

A close-up, macro photograph of a red spiral binding. The metal coils are tightly wound and have a glossy, reflective finish. The perspective is from the side, showing the depth of the coils. The background is a soft, out-of-focus grey.

**Faktasidor**

**ELFA**

## Faktasidor

Säkringar	1723	Transformatorer	1762-1763
Jordfelsbrytare	1723-1724	Nätaggregat	1763-1764
Ljus och lampor	1724-1727	Batterier och ackumulatorer	1764-1767
Strömställare och reläer	1727-1729	Solceller	1767-1768
Givare	1729	PC-datorn	1768-1771
Impulsräknare och tidmätare	1729-1730	Dataordlista	1771-1772
Larm	1730	Datakommunikation	1772-1773
Fläktar	1730	Mät- och styrsystem	1773-1775
Kylelement	1730-1731	Allmänt om mätning	1775-1776
Elektromagneter och motorer	1731	Mätinstrument	1776-1780
Pneumatik	1731-1732	Temperaturmätning	1780-1782
Kontaktdon	1732-1734	Radiovågors utbredning	1782
Fiberoptiska ledningar	1734	Antenner	1782-1783
Mönsterkortstillverkning	1734-1735	Radiokommunikation	1783-1785
Inkapslingar	1735-1736	Verktyg och produktionshjälpmedel	1785-1786
Kabel	1737-1740	ESD	1786-1787
Spolar och drosslar	1741-1744	Kemikaliehantering	1787
Motstånd	1744-1748	Limning	1788
Potentiometrar	1748-1749	Lödning	1788-1790
Kondensatorer	1749-1753	Virning – Wire Wrap	1791
Dioder, transistorer och tyristorer	1753-1755	Elsäkerhet	1791-1792
Elektronrör	1755-1756	WEEE och RoHS	1792
Optokomponenter	1756-1757	Plaster	1792-1794
Operationsförstärkare	1757	ASCII-koder	1794
A/D- och D/A-omvandlare	1758	Konstanter och måttenheter	1794-1796
Logikkretsar	1758-1760	Elektromagnetisk strålning	1797
Mikroprocessorer	1761		
Minneskretsar	1761-1762		

## Säkringar

Säkringen är en säkerhets- och skyddskomponent som bryter strömmen. Vanligen menar man en komponent som känner av strömförbrukningen i en krets och bryter strömmen om den blir för stor, som vid kortslutning eller överbelastning.

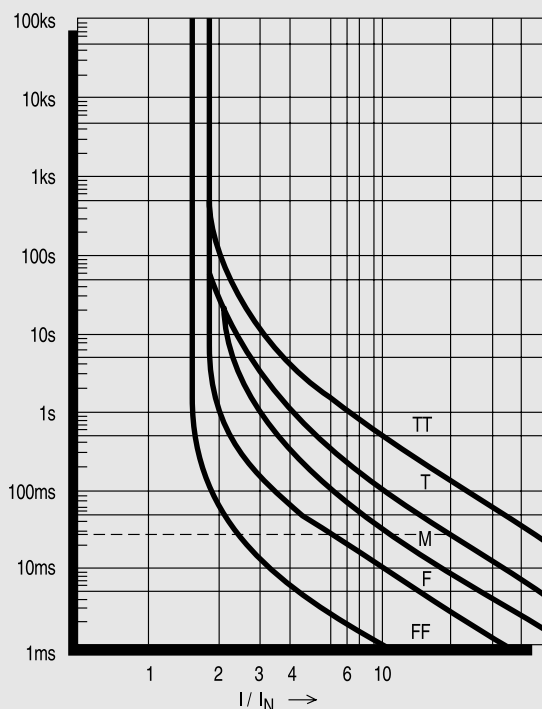
### Data

**Märkspänningen** är den största varaktiga arbetsspänning och den spänningsart (växel- eller likspänning) som säkringen får användas vid.

**Märkströmmen** är den arbetsström som säkringen är avsedd att användas vid. Märkströmmen är något mindre än den ström som varaktigt kan flyta utan att säkringen bryter. Skillnaden mellan dessa två strömmar är olika stor för olika standarder (t.ex. CSA, IEC, Miti, UL).

**Brytkaraktäristiken** beskriver sambandet mellan hur snabbt säkringen bryter och hur stor strömmen är. Huvudgrupperna är snabba och tröga säkringar. Snabba säkringar används i speciella fall då man vill ha så snabb brytning som möjligt, t.ex. i en instrumentingång. De är ibland också nödvändiga ur säkerhetssynpunkt. Tröga säkringar är nödvändiga att använda då belastningen drar hög ström under starten, t.ex. då en motor kopplas in. En transformator ger också förhöjd inkopplingsström och i särskilt hög grad gäller det ringkärnstransformatörer.

Det finns standardiserade karaktäristiker. För säkringar enl. IEC finns FF (mycket snabb), F (snabb), M (medeltrög), T (trög) och TT (mycket trög). För säkringar enl. UL finns t.ex. T-D och D (båda tröga). För automatsäkringar finns B (snabb), C (trög) och D (mycket trög).



Smälttider för säkringar.  $I/I_N$  anger förhållandet mellan belastningsström och säkringens märkström.

**Brytförmågan** är den största ström som säkringen förmår bryta vid en viss spänning, utan att det t.ex. blir överslag eller återsmältning i säkringen. Specifikationen för brytförmågan kan innehålla t.ex. brytströmmens storlek, arbetsspänningens storlek och art (växel- eller likspänning), samt  $\cos \phi$  hos lasten. Brytförmågan måste vara tillräcklig för alla förhållanden. Vid kortslutning t.ex. kan hela den ström som matningssidan kan ge, komma att flyta genom säkringen.

### Utföranden

**Smältsäkringar** förekommer i många utföranden.

*Glasrörssäkringar* och *keramiska säkringar* är vanligast förekommande. I europeisk utrustning har säkringarna som regel måtten  $5 \times 20$  mm medan amerikansk utrustning använder litet större säkringar med måtten  $6,3 \times 32$  mm. De keramiska utförandena har större brytförmåga.

Specialsäkringar med andra storlekar och egenskaper finns i många varianter. *Subminiätyrsäkringar* finns t.ex. i ingången på vissa mätinstrument för att skydda dem mot överbelastning. De finns i utförande för montering i hållare eller för fast montering, både för hålmontage och ytmontage.

*Bilsäkringar* tillverkas i två utföranden, dels som en keramikstav med måtten  $6 \times 25$  mm och med utanpåliggande metallremsa som smälter av, dels plastkapslade med två parallella flatstiftskontakter. Den senare typen används i moderna bilar. Fördelen med den är att kontakten mot säkringshållaren blir så mycket säkrare än hos de äldre keramiksäkringarna där oxid ofta förorsakade avbrott efter några års drift.

**Automatsäkringar** kan återställas och behöver inte bytas ut efter det att de har löst ut. För de flesta användningar skall säkringen vara konstruerad så att automatisk återställning förhindras så länge överlasten finns kvar. Återställningen görs manuellt.

Automatsäkringar med termiskt arbetssätt kan konstrueras så att de får lång livslängd. De tillverkas för olika utlösningsskaraktärstika. Somliga säkringar har elektromagnetisk snabbutlösning för strömmar som i hög grad överstiger säkringens märkström. Säkringar utan snabbutlösning är vanligen tröga och därför lämpliga att använda där man har höga inkopplingsströmmar.

Den termiska säkringen är p.g.a. sitt arbetssätt påverkad av omgivningstemperaturen. Säkringens märkvärde anges vanligen vid  $+20^\circ\text{C}$ . Tillverkaren ETA anger för sina säkringar följande omräkningsfaktorer för olika omgivningstemperaturer (säkringens märkvärde = utlösningssström x omräkningsfaktor):

Omgivn. temp. ( $^\circ\text{C}$ )	-20	0	20	30	40	50	60	70
Omräkningsfaktor	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,45	1,65

**Automat- eller termosäkringar i polymerteknik** ersätter vanliga glasrörssäkringar i de flesta lågspänningsapplikationer. Efter att ha löst ut vid överström eller övertemperatur behöver de endast svalna för att återgå till lågohmigt läge. Tekniken används även för överspänningsskydd.

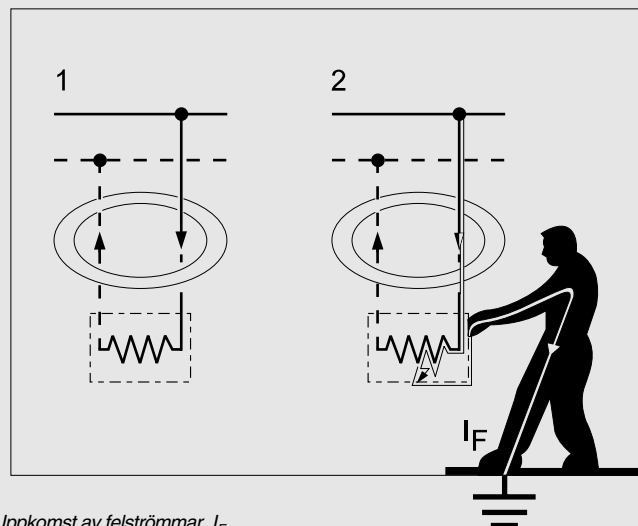
Polymersäkringar tillverkas i ett flertal utföranden såsom för hålmontage, ytmontage samt i ett folieutförande som speciellt är avsedd för batteripaket. De används i motorer, transformatorer, nätaggregat, batteripaket, högtalare, larm, telefoner, testinstrument, kretskort m.m.

**Termosäkringar** känner av omgivningstemperaturen och bryter en krets om temperaturen passerar en viss gräns. Detta gör dem lämpliga att skydda de flesta elektriska och elektroniska utrustningar från överhettning. Termosäkringar kan vara uppbyggda med en smältkropp som bryter strömmen. En annan konstruktion använder en bimetalldjäder som böjs av värmen och återgår när den svalnar.

## Jordfelsbrytare

### Felströmmar

Felströmmar är strömmar som på grund av isolationsfel i elektriska installationer eller apparater flyter till systemets nollpunkt via skyddsledaren eller direkt via marken.



Uppkomst av felströmmar,  $I_F$ .

1. Felfri strömkrets. 2. Felaktig strömkrets (defekt apparat).

Människor och djur som kommer i beröring med defekta eller spänningsförande delar och därigenom genomflytes av en felström, är i högsta grad utsatta för fara.

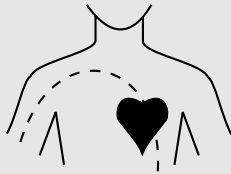
Felströmmar i form av krypströmmar som flyter mot jord via t.ex. fuktiga balkar kan medföra brandfara eller medverka till nedbrytning av isolationsmaterial.

80 mA



Vid påverkan i mer än 0,5 till 1 sekund – omedelbart dödande.

30 mA



Oregelbunden hjärtverksamhet och förhöjt blodtryck.

15 mA



Muskelkramp – hand som håller i strömförande föremål kan inte öppnas.

0,5 mA

Ej märkbart.

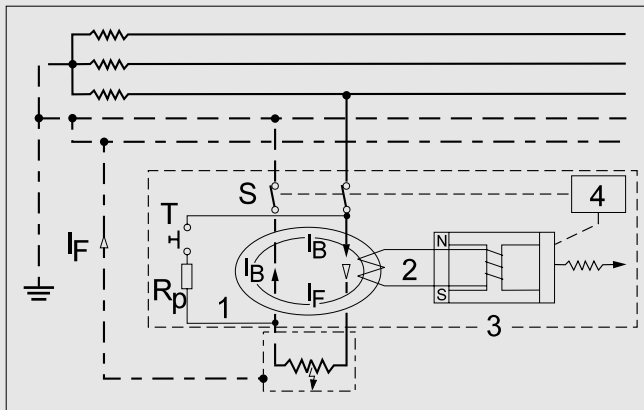
Hur människan reagerar på ström.

## Principen för felströmsbrytning

Till grund för jordfelsbrytartechniken ligger Kirchhoffs lag, enligt vilken summan av inkommande strömmar är lika med summan av utgående strömmar. I en jordfelsbrytare mäts dessa strömmar och jämförs med varandra. Är summan av strömmarna inte lika stor, d.v.s. om en felström har uppstått, kopplas via en utlösare den defekta delen bort. Detta sker snabbt och redan vid små felströmmar och innan människor, djur och egendom kommer till skada.

## Jordfelsbrytarens konstruktion

De väsentliga beståndsdelarna i en jordfelsbrytare är summaströmstransformatorn (-trafon), magnetutlösaren och kontaktsystemet med kontaktmekanismen. Alla fasledare och nollledaren på den inkommande sidan av det objekt som skall skyddas, föres genom summaströmstrafon (1). Se figur.



Principen för jordfelsbrytare.

Strömmen genom var och en av dessa ledare inducerar ett magnetflöde  $\Phi$  i summaströmstrafon. I en felfri anläggning är den ingående och utgående strömmen lika stor. De genom dessa strömmar (i summaströmstrafon) bildade magnetfälten upphäver därför varandra.

Är strömmarna i ledarna olika uppstår ett magnetflöde i trafon ( $\Phi_B + \Phi_F$ ) –  $\Phi_B = \Phi_F$ , orsakad av strömmarna  $I_B$  +  $I_F$  i fasledaren respektive  $I_B$  i nollledaren.

Magnetflödet  $\Phi_F$  inducerar en spänning i sekundärlindningen (2) som driver en sekundärström genom magnetutlösarens lindning (3).

Denna ström försvagar magnetfältet i magnetutlösaren så mycket, att ankaret släpper och öppnar huvudkontaktarna via utlösningmekanismen (4).

På bilden visas även testknappen (T) som via motståndet ( $R_p$ ) simulerar en felström. Därigenom kan jordfelsbrytarens funktionssäkerhet ständigt provas.

## Ljus och lampor

Våra elektriska ljuskällor är så konstruerade, att de omvandlar elektrisk ström till strålning. Sambandet mellan en ljuskällas ljusutbyte, livslängd och den elektriska effekten är således mycket viktigt.

## Ljuskällors märkning

I likhet med andra tekniska produkter är ljuskällorna stämplade med viktiga upplysningar. Användaren kan då hitta den rätta typen med den rätta spänningen och dessutom ha möjligheten att välja rätt lampa för rätt tillfälle. **Glödlampor** märks med spänning (i volt) och effekt (i watt), eller för små lampor ström (i milliampere). **Lysrör** och andra **urladdningslampor** bara med effekt (i watt).

Sambandet mellan spänning, effekt och ström kan beskrivas med följande formler.

$$U = R \times I \quad \text{och} \quad P = U \times I$$

där U är spänningen i volt, I strömmen i ampere, R resistansen hos lampan i ohm och P effekten i watt.

Vid växelströmkretsar som inte har rent resistiv belastning, t.ex. lysrörsarmaturer eller motorer, kommer ytterligare en faktor in, fasförskjutningsfaktorn  $\cos\phi$ . Detta på grund av den fasförskjutning som uppstår mellan spänning och ström i en sådan krets. Förhållandet blir då:

$$P = U \times I \times \cos\phi$$

## Ljustekniska storheter och enheter

De grundläggande storheterna och enheterna inom ljus och belysningstekniken framgår av följande tabell:

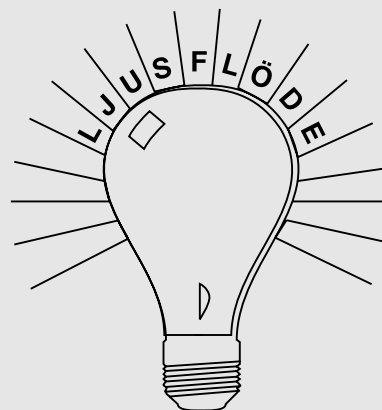
Några ljustekniska storheter och enheter.

Storhet	Storhets-symbol	Enhet
Ljusflöde	$\Phi$ (fi)	lm (lumen)
Ljusstyrka	I	cd (candela)
Belysningsstyrka	E	lx (lux)
Luminans	L	cd/m <sup>2</sup>
Ljusutbyte	$\eta$ (äta)	lm/W

Dessa används för att ange ljuskällornas och armaturenas ljusegenskaper, ljusfördelningar, effektivitet etc. De är nödvändiga för beräkning av ljusanläggningar och de resultat som uppnås anges alltid i dessa storheter och enheter.

## Ljusflöde ( $\Phi$ ) – lm

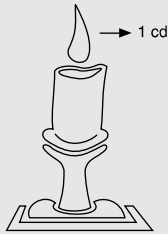
Ljusflödet anges i lumen (lm) och är det totala ljuset som strålar ut från en ljuskälla. Ljusflödet är dock inte lika i alla riktningar.



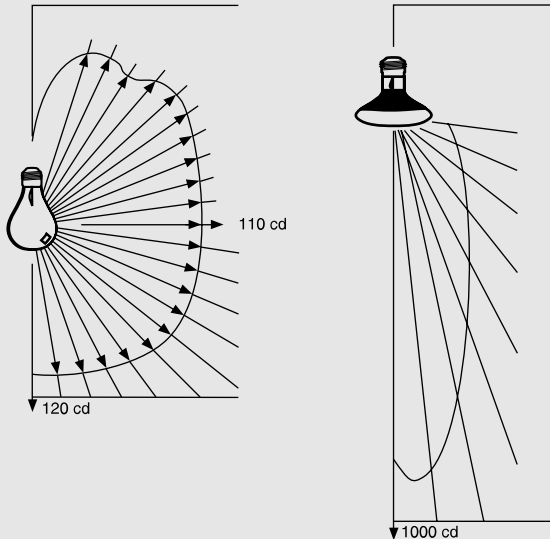
Ljusflödet är det totala ljuset som strålar ut från en ljuskälla.

## Ljusstyrka (I) – cd

Ljusstyrka anges i candela (cd) och är ljuset från en ljuskälla i en bestämd riktning.



För att få en känsla för hur mycket 1 candela är, kan nämnas att ett stearinljus med en diameter på 25 mm ger en ljusstyrka på ca 1 cd.



En glödlampa ger inte samma ljusstyrka i alla riktningar. En 100 watt, 1000 timmars normallampa ger en ljusstyrka på ca 120 cd i lampaxelns riktning och ca 110 cd vinkelrätt mot lampaxeln.

En reflektorlampa på 100 watt, med strålningsvinkel av 35°, sänder tack vare reflektorn ut allt ljus i nästan samma riktning med en ljusstyrka på 1000 cd i lampans längdriktning.

### Belysningsstyrka (E) – lx

Belysningsstyrkan anges i lux (lx) och är ett mått på det ljusflöde som träffar en yta.

Belysningsstyrkan – E – är förhållandet mellan det totala ljusflödet –  $\Phi$  – som träffar en yta, och ytans storlek – A.

$$E = \Phi / A$$

När en yta – A – på 1 m × 1 m (=1 m<sup>2</sup>) belyses jämnt med ett ljusflöde på 1 lumen, så kommer belysningsstyrkan att vara

$$E = \Phi / A = 1 \text{ lm} / 1 \text{ m}^2 = 1 \text{ lx}$$

Föregående gäller egentligen bara när vi har samma ljusflöde mot hela ytan. Detta sker emellertid väldigt sällan, så det vi räknar ut är i stället den genomsnittliga belysningsstyrkan.

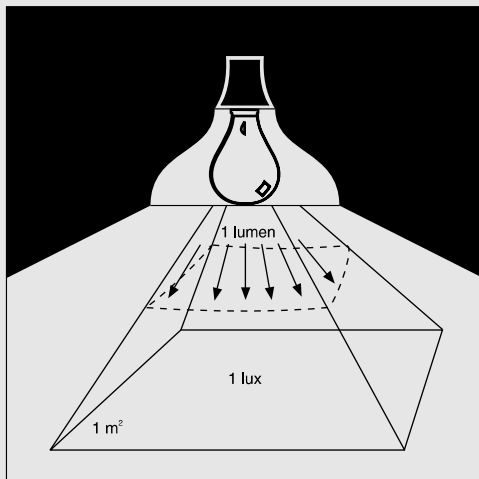
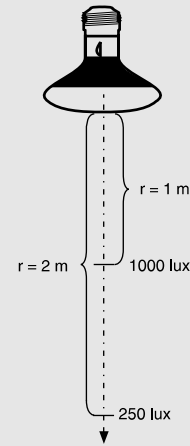


Illustration av belysningsstyrkan E.



Belysningsstyrkan beror av avståndet.

Belysningsstyrkan är beroende av avståndet till ljuskällan och avtar med ökande avstånd efter en bestämd lag. Eftersom nämligen  $E = \Phi / A$  och  $I = \Phi / \omega$  som vi tidigare sett och ju  $A = \omega \times r^2$  (r är avståndet) så blir

$$E = I / r^2$$

där E är belysningsstyrkan i lx, I är ljusstyrkan i cd och r är avståndet i m.

Vi kan alltså beräkna den belysningsstyrka som kan uppnås i en bestämd punkt om vi vet vilken ljusstyrka som ljuskällan sänder ut i riktning mot punkten.

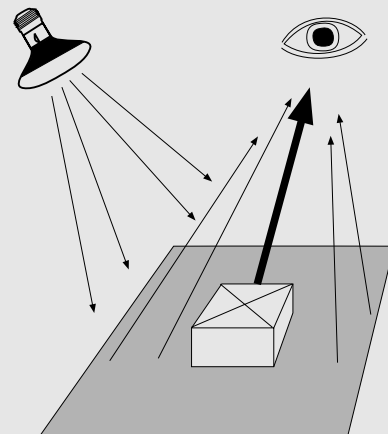
Exempel: Ljusstyrkan 1000 candela ger på 1 m avstånd belysningsstyrkan  $E = I / r^2 = 1000 / 1^2 \text{ lx} = 1000 \text{ lx}$ ; på 2 m avstånd  $E = I / r^2 = 1000 / 2^2 \text{ lx} = 250 \text{ lx}$ .

Detta förhållande är grunden för bl.a. beräkning av strålkastaranläggningar, ljusanläggningar med stora upphängningshöjder, spotlightanläggningar och liknande.

### Luminans (L) – cd/m²

Luminansen anges i candel per m² (cd/m²), eller cm² (cd/cm²), och är ett mått för det ljusintyck ögat får från en lysande yta; "upplevd ljushet". Luminansen anges med ljusstyrkan i candela i förhållande till den storlek (i m²) som ögat uppfattar av den lysande ytan (ytans projektion vinkelrätt mot synriktningen).

En reflekterande ytas luminans är beroende av det infallande ljuset och ytans reflektionsförmåga i synriktningen.



Luminans är den upplevda ljusheten från en yta.

I samband med gatubelysningsanläggningar är begreppet mycket viktigt. En svart gatubeläggning har en mycket dålig reflektionsförmåga och därmed låg luminans. I motsats till en ljus gatubeläggning, som ger ett långt bättre synförhållande, tack vare hög luminans.

Goda reflektionsegenskaper gör också att ljusinstallationen kan vara mindre under sådana förhållanden.

I samband med bländningsfrågor kommer luminansbegreppet in som en viktig faktor. Är det stora luminansskillnader i synfältet kan detta skapa bländning och irritation.

Tittar vi in i en strålkastare om natten, kan den blända mycket starkt i motsats till om samma strålkastare betraktas en solig dag. Strålkastaren har ju både natt och dag samma luminans. På natten är dock omgivningsluminansen mycket låg. Därmed blir *kontrasten* stor och *bländningen* hög. På dagen kan omgivningsluminansen i stort sett vara lika stor som strålkastarens. Därmed blir kontrasten liten och bländningen obefintlig.

**Ljusutbyte ( $\eta$ ) – lm/W**

Ljusutbytet anges i lumen per watt (lm/W) och är ett mått för en ljuskällas effektivitet eller verkningsgrad. Ljusutbytet ger besked om hur mycket ljusflöde en ljuskälla ger i förhållande till förbrukad elektrisk effekt.

$$\eta = \Phi / P$$

Ju högre ljusutbyte, desto effektivare är ljuskällan. I samband med detta förhållande måste dock ljuskällans livslängd tas med i beräkningen.

*Jämförelse mellan olika ljuskällors egenskaper.*

Typ	Effekt	Ljus- flöde lm	Ljus- utbyte lm/W	Livs- längd h
Glödlampa	60 W	730	12,1	1000
	100 W	1380	13,8	1000
Lågvolthalogen	20 W	350	17,5	2000
Lågenergilampa	11 W	600	54,5	8000
Lysrör	36 W	3450	95,8	12000
Kviksilverlampa	80 W	4000	50	15000

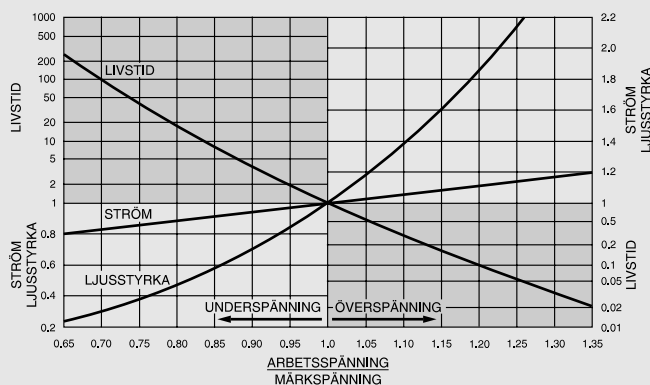
**Lampor**

**Glödlampor** tillverkas med socklar enligt internationell standard. Lampor med skruvgånga betecknas t.ex. E5,5, E10, E14 och E27, där siffrorna anger gängans ytterdiameter i mm. Lampor med bajonettfattning betecknas t.ex. BA7s, BA9s, BA15s etc. Det finns också miniaturlampor med trycksockel av "wedge"-typ och av "tefontyp" samt lampor med två anslutningsstift, "Bi Pin", som monteras i sockel eller löds in. Vidare finns lampor utformade som glaströr samt miniaturlampor i olika utföranden.

Glödlampans funktion är som bekant att dess glödnäsa genom den genomgående strömmen upphetas till en så hög temperatur att den avger synligt ljus. Som material för glödnäsan används volfram som har en smältpunkt av 3 655 K. I en vanlig glödlampa har glödnäsan en temperatur av mellan 1 800 och 2 500 K. En högre temperatur ger ett vitare ljus (som brukar anges just i K), men den högre temperaturen minskar också livslängden.

Vissa tillämpningar kräver lampor med vitare ljus, t.ex. vid belysning inom foto och film. För detta ändamål finns det glödlampor som klarar mellan 2 500 och 2 900 K tack vare att de är gasfyllda.

En glödlampa drar mer ström i tillslagsögonblicket, upp till ca 12 ggr, än när den blivit så varm att den lyser. Tiden för tillslag är kortast för lågströmslampor. Inom 20 ms är strömmen nere i ca 2 ggr den nominella för en lampa på 0,1 A. Strömmen vid tillslag kan begränsas med en förvärmningsström som får flyta genom lampen utan att tända den.



*Glödlampans strömförbrukning, ljusstyrka och livslängd som funktion av drivspänningen.*

Om glödlampans arbetsspänning avviker från märkspänningen så ändras dess egenskaper. Av diagrammet i fig. framgår hur livslängden reduceras till 0,05 ggr den nominella vid 25 % överspänning. Å andra sidan ökar ljusutbytet då till 2,1 ggr. Samtidigt ökar färgtemperaturen (vitare ljus). I speciella tillämpningar kan detta vara önskvärt. I andra fall, t.ex. i indikatorlampor för utrustning där tillförlitligheten sätts främst, kan det finnas skäl att sänka spänningen. I de fallen kan det dock vara ännu lämpligare att använda lysdiodlampor som indikatorlampor.

Livslängden hos glödlampor påverkas, förutom av spänningens storlek, även av om den drivs med likspänning istället för växelspanning. Då halveras livslängden. Stötar och vibrationer minskar också livslängden. Lågvoltslampor tål stötar och vibrationer bäst. Även förhöjd omgivningstemperatur minskar livslängden.

**Halogenglödlampor** har en glödnäsa som i vanliga, evakuerade lampor, men här pågår en ständig volfram-halogenprocess. Föreningen volfram-halogen är gasformig och genomskinlig. Den avsätter sig genom värmecirkulation på glödnäsan men inte på glaskolven. Det gör att ljusflödet är konstant under lampans hela livslängd.

Ljusutbytet är bättre än i vanliga glödlampor och färgtemperaturen högre, ca 3 000 K, vilket bl.a. är till nytta i belysning för film och foto, i diaprojektorer, belysning av konstverk etc. En annan fördel är att den har längre livslängd än den vanliga glödlampen.

**Lysrör** ger mycket högt ljusutbyte. Ofta är det 100 lm/W eller mer. Detta skall jämföras med exempelvis halogenlampor som ger ca 12–25 lm/W, eller en vanlig volframglödlampa som ger upp till 18 lm/W vid 2.500–2.900 K eller 1–8 lm/W vid 1.800–2.500 K. Livslängden är ca sex ggr högre än för en glödlampa. Rören tillverkas med färgtemperaturer mellan 2.700 och 6.300 K och för UV-strålning.

I serie med lysrören måste det finnas en reaktor som begränsar strömmen. Reaktorn har också en annan uppgift, nämligen att ge tillräcklig tändspänning. Med hjälp av en glimtändare genomflyts reaktorn (liksom rörets båda glödnäsar) av ström innan lysröret tänds. Den upplagrade energin i reaktorn ger upphov till en spänningspuls då strömmen upphör, varvid lysröret tänds. Reaktorns storlek måste anpassas till rörets effekt. Reaktorn är som regel tillverkad för 230 V växelspanning. Större avvikelser kräver reaktorbyte.

Kompaktlysroren finns med speciella socklar eller vanlig E27-gånga. I det senare fallet ingår alltid drivkretsar, d.v.s. reaktor och tändare. Lysrören har en fasvinkel  $\cos \phi = 0,4-0,5$ . Därför bör de i fasta installationer kompenseras med en kondensator till ca  $\cos \phi = 0,9$ .

**Lysdiodlampor** skiljer sig helt från vanliga glödlampor genom att de saknar glödnäsa. I stället har de lysdioder med halvledande material som emitterar ljuset. Då en elektron faller in i och binds vid ett hål utplånas detta. Därvid frigörs energi. Detta blir värme i vanliga kiselhalvledare, men genom att använda andra halvledarmaterial kan man få synligt ljus i olika färger eller IR-ljus beroende på använda material och dopningar. Rött, orange och gult kan fås från galliumarsenidfosfid (GaAsP) medan galliumfosfid (GaP) används för grönt och blått.

Lysdiodlampor är vanligen anpassade för en bestämd matningsspänning. Det finns även s.k. lysdiodlampor som enbart innehåller en lysdiod med ca 2 V framspänningsfall. Dessa lampor måste förses med ett seriemotstånd enligt formeln:

$$\text{Motståndet (k}\Omega\text{)} = \frac{\text{Matningsspänning (V)} - \text{Framspänning (V)}}{\text{Ström (mA)}}$$

Exempel: Vi vill driva lampen med 10 mA och har 5 V matningsspänning. Insatt i formeln ger det  $(5-2)/10 = 0,3$  kohm.

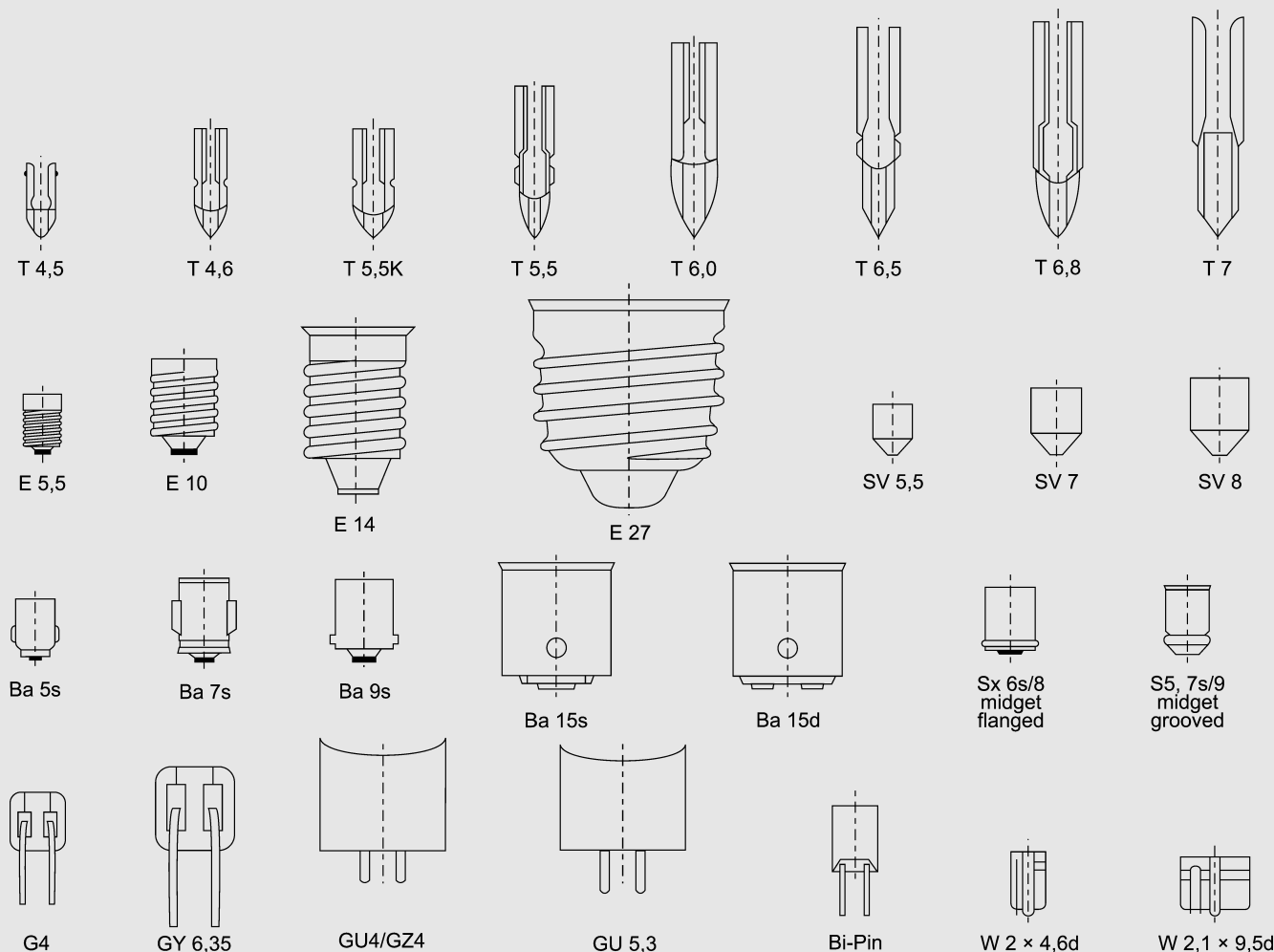
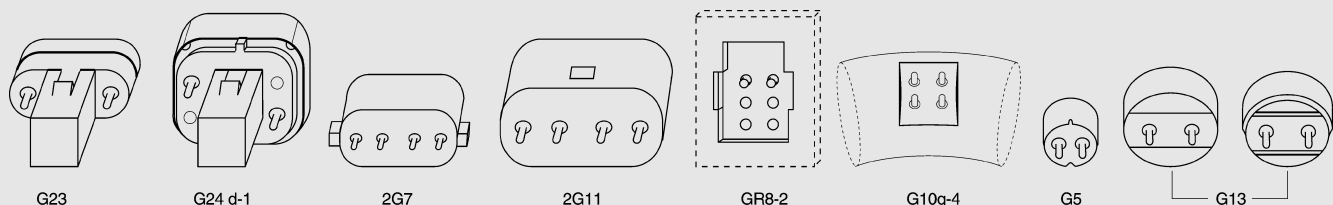
Med motståndet har vi skyddat lysdioden genom att begränsa strömmen. Vi måste dock *polvända lysdioden rätt!* En backförspänd lysdiod lyser inte. Den förstörs dessutom omedelbart om spänningen är ca 5 V eller högre.

**Glimlampor** är en helt annan typ av lampor än glödlampor. De består av två elektroder i ett ädelgasfyllt glashölje. När den pålagda spänningen överstiger ett visst värde kommer gasen att bli ledande genom att den joniseras. Man måste även i det här fallet koppla in ett seriemotstånd för att begränsa strömmen. Spänningen över själva lampen blir då konstant. Spänningens värde beror på det gastryck som tillverkaren har valt. Vanligen ligger brinnspänningen på mellan 60 och 150 V. Tändspänningen är dock högre. Matningsspänningen måste därför vara minst lika med tändspänningen. Seriemotståndet dimensioneras enligt följande:

$$\text{Motståndet (k}\Omega\text{)} = \frac{\text{Matningsspänning (V)} - \text{Brinnspänning (V)}}{\text{Ström (mA)}}$$

Glimlampor kan tack vare sitt arbetssätt användas som spänningsstabilisator. **Glimstabilisatorröret** fungerar på samma sätt. Egentligen skiljer bara det mekaniska utförandet från glimlampor samt det faktum att stabilisatorrörets brinnspänning är väl specificerad.

Det finns också glimlampor med inbyggt seriemotstånd. För dessa är matningsspänningen angiven.

**Lampsocklar. Skala 1:1**

**Lysrörsocklar. Skala 1:2**

**Strömställare och reläer**
**Strömställare**

Strömställare är ett sammanfattande namn för komponenter som sluter, bryter eller kopplar om strömmen, vanligen på manuell väg.

Man måste ha klart för sig vilken spänning strömställaren skall användas för, så att man kan välja ett passande isolationsmaterial och tillräckligt isolationsavstånd. Strömstyrkan är viktig. Observera att tillslaget ger stora strömstötter i många laster.

Strömtåligheten hänger samman med kontaktyrornas utformning, det valda materialet, måtten och kontaktrycket. Den är dessutom inte lika stor för lik- och växelström. Detta beror bl.a. på den ljusbåge som kan uppstå vid brytning. För att ljusbågen skall slockna krävs att avståndet mellan kontaktyrorna blivit tillräckligt stort eller att strömmen minskas. Vid växelström minskar strömmen periodvis till noll och underlättar på så vis släckningen.

Växelströmmen förhindrar även materialvandring från den ena polen till den andra. Vissa tillverkare anger plus- och minuspoler för anslutningarna. I det fallet är den ena kontakten försilvrad medan den andra består av massivt silver. Man väljer polaritet så att materialet vandrar från den massiva silverkontakten till den försilvrade.

Isolationsmaterialen bör väljas med hänsyn till hur strömställaren skall användas. Isolermaterialen uppvisar förluster som stiger med frekvensen. Högfrekvenssignaler kräver keramik eller PTFE som isolermaterial. För mycket höga frekvenser måste ledningsbanorna dessutom vara impedansavstämde för att hålla nere förluster och signalreflexioner.

Mekaniskt sett finns flera typer av strömställare.

**Vippströmställaren** fordrar som regel ganska stor mekanisk kraft och slaglängd, men lägena är distinkta.

**Skjutströmställaren** är en annan typ som inte är lika distinkt. Den används bara för lågspänning, t.ex. i miniatyrströmställare i DIL-kapsel.

**Mikrogapströmställaren** är idealisk om man önskar en mycket kort slaglängd och därtill manövrering med liten kraft. Genom en sinnrik utväxling mångdubblas kontaktrörelsen. Strömställaren innehåller en böjd bladfjäder som gör att den rörliga kontakten intar endera ändläget. Mellan dessa är läget instabilt. Detta ger exakta och distinkta operationslägen med en snabb växling.

**Tungelementet** är en magnetkänslig strömställare. I en glaskolv finns en metalltunga som vid påverkan av ett magnetfält sluter strömmen mellan tungelementets två elektroder. Tungelementet förekommer dels som enskild komponent, dels ingår de i tungelementreläer.



Vid användandet av magnetiska tungelement skall man beakta följande:

- Om anslutningsbenen klipps av eller böjs minskar känsligheten.
- Om anslutningarna bockas kan glaset spricka. Håll därför emot med tång närmast glaset. Detta gäller inte tungelement med flat glaskropp och flata anslutningsben.

### Funktionsbeskrivningar

**SP** (Single Pole) = 1-polig. **DP** (Double Pole) = 2-polig. **ST** (Single Throw) = tvåläges kontakt med utgång endast för det ena läget (d.v.s. slutande eller brytande funktion). **DT** (Double Throw), **CO** (Change Over) = tvåläges kontakt med separata utgångar för de två lägena (d.v.s. växlande funktion).

**Form A:** Slutande kontakt. **Form B:** Brytande kontakt. **Form C:** Växlande kontakt, break-before-make. **Form D:** Växlande kontakt, make-before-break. Finns en siffra i anslutning till beteckningen så betyder den antalet kontakter.

**Kortslutande, make-before-break:** När strömställaren växlar från ett läge till nästa, så sluts kontakten till det nya läget innan kontakten till det förra läget bryts. Detta innebär att anslutningarna till utgångarna för det förra och det nya läget kortsluts under ett ögonblick (om strömställaren inte har helt separata kontakter för de olika lägena).

**Icke-kortslutande, break-before-make:** När strömställaren växlar från ett läge till nästa, så bryts kontakten till det förra läget innan kontakten till det nya läget sluts. Det blir ingen kortslutning mellan utgångarna.

**Momentan, återfjädrande, (till), (från), normalt slutet (eng.: NC), normalt öppet (eng.: NO), öppnande, slutande** är beteckningar som används för kontakter som har ett ursprungsläge som de återgår till när man släpper manöverknappen. Beteckningen "återfjädrande" kan ibland dock betyda att bara manöverknappen återgår men inte kontakterna. Beteckningarna "(till)" resp "(från)" betyder att kontakterna återgår från ett till- resp från-läge. Beteckningen "normalt" står för funktionen i ursprungsläget. Beteckningarna "öppnande" och "slutande" anger hur kontaktläget ändras från ursprungsläget.

**Dubbeltryck, latching action** innebär att vid första trycket ändras kontaktläget och återgår inte förrän vid nästa tryck.

**Gruppupplösning** innebär att flera strömställare är sammankopplade i grupp på så sätt att när en strömställare i gruppen trycks in, så återgår de strömställare som varit intryckta till utgångsläget.

### Reläer

Reläer är strömställare som kan fjärrstyras, vanligen med hjälp av ström genom en spole som med sin magnetkraft påverkar mekaniska kontakter.

De egenskaper som är karaktäristiska för reläer hänför sig till kontaktfunktion och spoldata.

### Kontaktfunktion

Kontakter finns med slutningsfunktion (form A), brytfunktion (form B) eller växlingsfunktion (form C).

Kontakterna är dimensionerade för att klara en viss maximal effekt. Den maximala effekten beror på kontakttrycket samt kontaktytornas storlek och material. Fullständiga data omfattar maximal spänning, ström och effekt.

### Spoldata

Reläer tillverkas med manöverspolar för lik- eller växelström i spänningar 5–230 V i normalfallet. Vid val av relä kan reläets egenförbrukning vara av intresse. För likströmsreläer beror den på reläspolens resistans och ju högre den är, desto lägre blir reläets effektförbrukning.

Utifrån spolspänningen (U) och resistansen (R) kan man räkna ut reläets effektförbrukning med följande formel:

$$P = U^2/R$$

### Speciella relätyper

**Bistabila reläer** är reläer som kvarstår i växlat läge tills en motriktad puls läggs på. Om reläet har två spolar kan man välja den ena spolen för tillslag och den andra spolen för fränslag.

**Halvledarreläer** består oftast av ett drivsteg och ett utgångssteg. Vanligtvis finns mellan stegen en isolerande komponent, t.ex. en optokopplare eller ett tungelementrelä. Beroende på strömart och effekt består utgångssteg av en transistor, en triac eller två motriktade thyristorer.

**Tungelementreläer** består av ett tungelement (beskrivet i föregående avsnitt Strömställare) som påverkas av en spole.

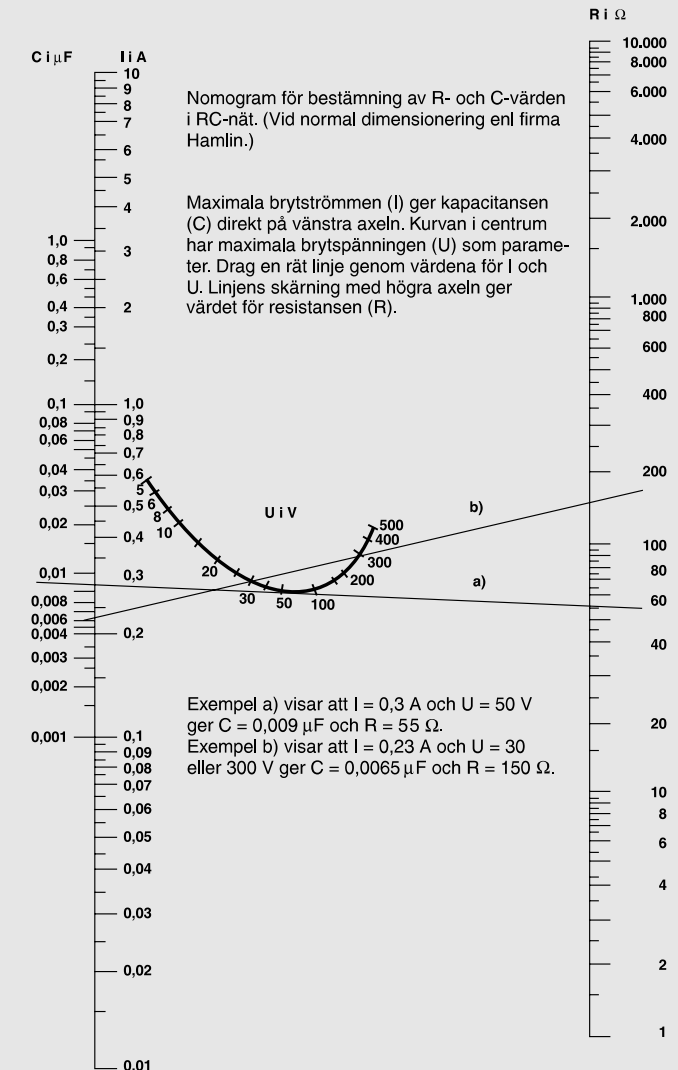
### Kontaktskydd

För att en strömställare eller ett relä skall klara av fabrikanten uppgiven livslängd får angivna data för spänning, ström och effekt inte överskridas.

Kontaktdata anges normalt endast för resistiv last. Vid kapacitiva och induktiva laster är reläets brytförmåga lägre. Den belastning ett relä klarar vid induktiva laster framgår av tillverkarnas datablad.

### Kapacitiva laster

Vid tillslag av en glödlampa, motor eller kapacitiv last, t.ex. ett lysrör, uppkommer en strömrusning som överstiger den normala märkströmmen 10–15 gånger. Det kan avhjälpas genom att t.ex. en drossel, ett NTC-motstånd eller ett PTC-motstånd läggs i serie med lasten. Passar både för lik- och växelströmstillämpningar.



Dimensionering av en RC-länk som kontaktskydd.

### Induktiva laster

Vid fränslag av en induktiv last, t.ex. en magnetventil eller en motor, uppkommer en fränslagstransient som kan överstiga matningsspänningen med flera hundra volt. För att förhindra uppkomsten av denna transient kan man använda olika slags kontaktskydd, t.ex. Comgap, varistorer, dubbla zenerdioder, dioder eller RC-länkar.

**Comgap.** Comgap är ett transientskydd av plasmatyp. När spänningen över Comgap överstiger märkspänningen sjunker resistansen från min 10 Mohm till några mohm på mindre än en  $\mu\text{s}$ . Passar för lik- och växelspanningstillämpningar.

**Varistorer.** Vid en viss knäspänning ändras resistansen mycket snabbt från ett mycket högt till ett mycket lågt värde. Varistorn absorberar energi från transienten och håller spänningen på en acceptabel nivå. Tyvärr påverkas fränslagstiden negativt av varistorn.

Vid arbetsspänningar mellan 24–28 V bör varistorn monteras över lasten och vid spänningar mellan 100–240 V över reläkontakten. Passar för lik- och växelström.



**Dubbla zenerdioder.** Två seriekopplade motriktade zenerdioder monterade parallellt över kontakten eller lasten. Deras arbetssätt liknar varistors. Passar för lik- och växelström.

**Diod.** En vanlig diod eller transientskyddsdiode monterad över lasten. Om en zenerdiod läggs i serie med dioden blir fränslagstiden inte lika mycket påverkad som med bara en diod. Passar för likström. Vissa typer av transientskyddsdiode kan även användas för växelström.

**RC-länk.** En RC-länk består av en seriekopplad resistans och kapacitans. Den kan anslutas parallellt över kontakten eller lasten. I vissa sammanhang bör den användas även vid rent resistiva laster, t.ex. när kvicksilverfuktade reläer används.

RC-länken kan förutom att utgöra skydd mot fränslagstransienter också förhindra uppkomsten av vissa radiostörningar.

RC-länken bör monteras över lasten när matningsspänningen uppgår till 24–28 V och över kontakten när spänningen är 100–240 V. En RC-länk kan kombineras med alla andra typer av kontaktskydd och kan användas både för lik- och växelström.

## Givare

En givare eller sensor (eng.: transducer) är en komponent som avkänner något och omvandlar det till en signal.

Givare kan i huvudsak delas in i två grupper: de som ger en signal med bara två olika tillstånd (t.ex. slutning/brytning) eller de som ger en (mer eller mindre) proportionell signal.

Givarna med två tillstånd har ofta en transistorutgång i stället för mekanisk slutning/brytning. Transistorutgången kan vara av 3-trådstyp eller 2-trådstyp. 3-trådstypen finns vanligtvis i två olika utföranden, PNP och NPN, med standardiserad koppling och färgmärkning av ledarna. PNP-givarens utgång sluter mot matningsspänningens pluspol vid aktivering, NPN-givaren sluter mot minuspolen. 2-trådsgivaren kallas även Namur-givare. Den kan bäst beskrivas som ett variabelt motstånd som är höghögt då givaren är aktiverad, och låghögt då den är oaktiverad. Givare med transistorutgång är oftast kortslutnings- och felpolningssäkra.



Inkoppling av givare av NPN- respektive PNP-typ.

Några givartyper:

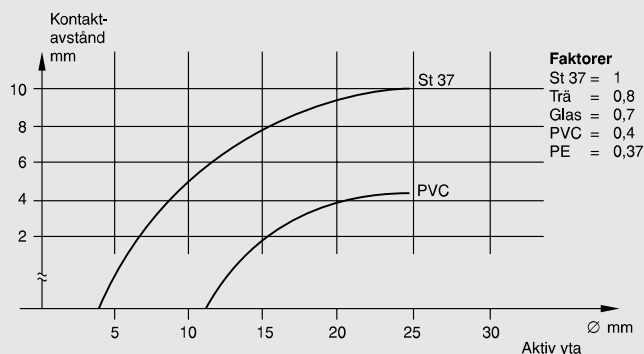
**Nivåvakter** kan innehålla en flottör som försetts med en magnet som kan påverka ett tungelement.

**Tryckkänsliga sensorer** utför omkoppling vid en viss förutbestämd trycknivå.

**Tiltströmställare** ger omslag för små ändringar av lutningsvinkel och används i lägesgivare.

**Kapacitiva givare** ger en resistans ut som varierar med kapacitansen mot t.ex. en metall eller en vätska. Ju lägre dielektricitetskonstanten är desto närmare måste givaren föras för att påverkas. Några exempel på dielektricitetskonstanter är: luft 1, polyamid 4–7, glas 5–15, metall 50–80 och vatten 80.

Givaren kan känna av t.ex. vatten som finns på andra sidan av en glasskiva, d.v.s. en högre dielektricitetskonstant kan avkännas genom material med lägre dielektricitetskonstant.



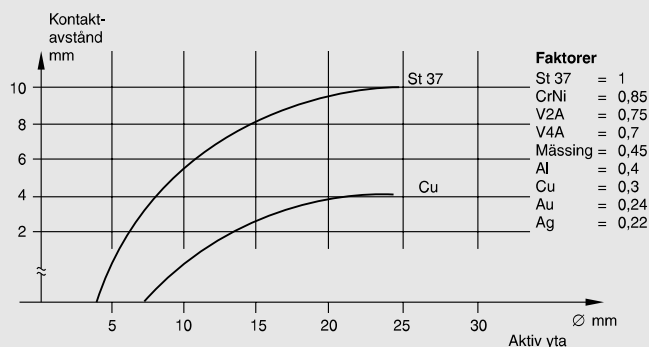
Kapacitiva givare: Typiskt samband (för olika material) mellan kontaktavståndet och storleken på avkänningsytan.

Vanligen vill man ha en givare som är nivåkänslig och som ger omslag kring denna nivå. Det finns färdiga sådana givare med en omkopplingsfunktion ut. Dessa innehåller en oscillator som aktiveras vid en viss kapacitans mot ett medium. Givarna innehåller dessutom förstärkare och transistorslutsteg.

En kapacitiv givare av detta slag kan användas för nivåövervakning av behållare som innehåller vätskor eller pulveriserade material, som impuls-givare för att räkna detaljer, för att känna av transportband och kilremmar eller t.ex. känna av varornas lägen på ett transportband. Avkänningen är helt beröringsfri. Givartypen är underhållsfri, den slits inte och ger distinkta pulser ut, utan kontaktstuds eller gnistbildning. Funktionen tillåter dessutom hög kopplingsfrekvens.

**Induktiva givare** består i sitt enklaste utförande bara av en spole som fångar upp en magnetfältsändring.

Det finns induktiva givare som inte behöver ett yttre magnetfält utan som reagerar för en förändring i det egna alstrade fältet. Detta påverkas av metalliska föremål. Magnetfältet alstras av en intern signalgenerator.



Induktiva givare: Typiskt samband (för olika material) mellan kontaktavståndet och storleken på avkänningsytan.

Det finns också givare med inbyggda triggkretsar som ger ett säkert till- eller fränslag vid en viss påverkan av magnetfältet. Till- och fränslagen sker med hysteres för att bli koncisa. Egentligen skulle de kategoriseras som induktiva strömställare. Utgången styr direkt elektronik, reläer eller kontaktorer.

Omkopplingen sker beröringsfritt på ett visst avstånd från givaren. Det finns oskärmade och skärmade givare, av vilka den skärmade givaren har ett kortare kontaktavstånd men kan monteras helt inbyggd i metall.

Vanliga användningsområden för induktiva givare är som beröringsfria ändlägesbrytare och gränslägesbrytare. De lämpar sig väl för positionering eller räkning av föremål.

**Optiska givare** innehåller en fototransistor, en fotodiod eller ett fotomotstånd som mottagande sensor, se även avsnittet Optokomponenter. Givaren som helhet brukar innehålla såväl sändare som mottagare för modulerat infrarött (IR) ljus och en IR-känslig mottagare.

Man kan skilja på i huvudsak tre typer:

- Sammanbyggda sändare/mottagare som arbetar mot en reflektor. Dessa ger omslag när ljuset bryts.
- Sammanbyggda sändare/mottagare som registrerar ett ljust objekt som när det passerar i givarens fångområde ger en reflexion av signalen vilket resulterar i ett omslag på utgången.
- Separata sändare och mottagare. Dessa kan vara sammanbyggda i en gemensam givare. Ljuset leds sedan ut till sändnings- och mottagningspunkter via fiberoptiska ledare.

Givarna finns med halvleder- eller reläutgång. Att ljuset är modulerat gör att givarna blir känsliga endast för IR-ljus med överlagrad modulationsfrekvens, vilket skiljer av störande ljus. Ytterligare säkerhet kan man få i ett givarsystem som arbetar med synkroniserat ljus. Mottagardelen är då endast känslig för modulerat ljus som ligger i fas med sändarens ljus.

## Impulsräknare och tidmätare

### Impulsräknare

I den traditionella typen av impulsräknare stegas siffrorna fram elektromekaniskt. Helelektroniska impulsräknare har sifferfönster av typ flytande kristaller eller lysdioder. Räknerställningen är där batteriuppackad eller lagrad i EEPROM.

Vissa räknare har förval från vilka upp- eller nedräkning sker. Enheter med inbyggd intelligens kan dessutom räkna ut frekvens, t.ex. för varvtal/min eller periodtid, d.v.s. tiden mellan två pulser.

Räkningen sker på inkommande spänningspulser eller slutningar av ingångskretsen beroende på räknarutförande.

## Tidmätare

Att registrera drifttiden i en apparat kan vara värdefullt bl.a. ur servicesynpunkt. Drifttidmätare arbetar enligt tre olika principer:

- Den enklaste principen bygger på att nätspänningens frekvens, 50 Hz, är referens. I grunden är detta en stegmotor som driver ett mekaniskt räkneverk.
- Likspänningsdriven drifttidmätare. Denna innehåller en oscillator. Den förstärkta klocksignalen driver en stegmotor som är kopplad till ett mekaniskt räkneverk.
- Batteridrivna, med inbyggd oscillator som driver en räknare. Elektronikretsarna är byggda i CMOS med teckenfönster av typ flytande kristaller för att hålla strömförbrukningen nere.

## Larm

Larm påkallas vanligen med siréner som kan ge mycket höga ljudtryck. Siréner av olika slag består av en elektroakustisk omvandlare, typ piezoelektrisk högtalare med ett horn. Inbyggda drivkretsar ger en fast, svepande eller pulserande ton. Inomhusmonterade siréner arbetar helst med höga frekvenser för att irritera så mycket som möjligt. Utomhusmonterade siréner bör ha lägre frekvens för att kunna uppfattas på längre avstånd.

Larm kan också påkallas genom ljus från en blixtlampa.

Aktiveringen av larm sker med givare av olika slag. Några vanliga typer är:

- Mekaniskt påverkade tryckkontakter.
- Magnetkontakter, exempelvis monterade på fönster och dörrar. Ena parten består av en magnet, den andra av ett tungelement.
- IR-detektorer som reagerar på samtidig värme och rörelse, till exempel från människor.

Valet av givare måste givetvis anpassas till den lokal där installationen skall ske. Skall man kunna vistas i lokalen när larmet är inkopplat? I en villa använder man i huvudsak magnetbrytare, eventuellt kompletterade med piezogivare på fönster.

## Fläktar

Kompakta kretsar och ökad byggtäthet medför att även små effektförluster hos de individuella komponenterna förorsakar värmeproblem.

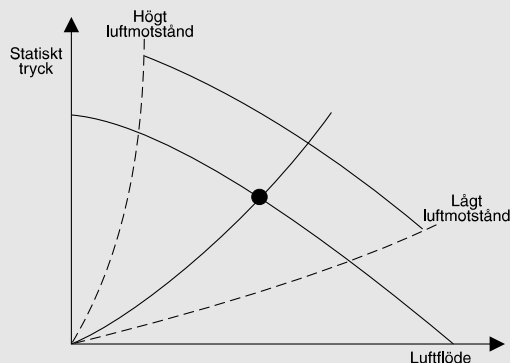
Med ökad drifttemperatur minskar livslängden hos komponenterna. Därför är det viktigt att överskottsvärme leds bort. Det enklaste sättet att åstadkomma detta är att använda en fläkt. Fläkten kan blåsa in kallluft eller suga ut den varma luften ur kapslingen. Mest fördelaktigt för fläkten, ur livslängdssynpunkt, är att blåsa in kallluft. Då kyls även fläkten och övertryck skapas i apparaten.

De vanligast förekommande fläkttyperna är:

**Axialfläktar**, som är dominerande i elektroniktillämpningar. De tillverkas i flera olika storlekar för olika krav på luftmängd, lufttryck, ljudnivå m.m. De tillverkas med kul- eller glidlager. Normalt klarar glidlagrade fläktar de flesta tillämpningar, men där höga krav ställs på livslängd och hög omgivningstemperatur rekommenderas kullagrade fläktar. Glidlagrade fläktar bör monteras med axeln horisontellt. Om en större luftmängd krävs kan två fläktar monteras bredvid varandra i samma vägg. Om man i stället kräver ett högre lufttryck kan två fläktar monteras efter varandra i samma kanal.

**Radialfläktar** används i tillämpningar där det krävs ett högre lufttryck vid en given luftmängd. Ljudnivån på radialfläktar brukar ligga högre än för jämförbara axialfläktar.

**Tangentialfläktar** klarar av att med en mycket låg ljudnivå ge en given luftmängd. Nackdelar kan vara den fysiska storleken samt att lufttrycket är lågt.



Tryck-flödeskurvor för val av fläktens arbetsområde. Fläkten arbetar bäst med avseende på effektivitet och ljudnivå inom de streckade kurvorna. Inte för högt statiskt tryck (och luftmotstånd) men inte heller för lågt.

## Val av fläkt

För att få en vägledning om vilken luftmängd som krävs för att transportera bort en given förlusteffekt kan man använda följande förenklade formel:

$$V = 3,0 \times P / (T_2 - T_1)$$

där

V = Luftmängden i m<sup>3</sup>/h

P = Förlusteffekt i W

T<sub>1</sub> = Omgivningstemperatur i °C

T<sub>2</sub> = Max tillåten temperatur i °C inuti kapslingen.

Att den valda fläkten klarar uppgiften bör man prova praktiskt i den avsedda tillämpningen, exempelvis genom att mäta temperaturhöjningen inuti kapslingen. Om önskat resultat ej uppnåtts kan man byta ut fläkten mot en med större kapacitet eller alternativt parallellkoppla flera fläktar.

## Kylelement

Halvledare som exempelvis transistorer och dioder av effekttyp har effektförluster som av enheten själv inte kan överföras till omgivande luft på ett tillfredsställande sätt. För att motverka otillåtet hög temperatur måste denna värmeledningsförmåga förbättras.

Detta kan åstadkommas med hjälp av ett kylelement som överför den uppkomna värmen i transistorn till omgivande luft genom ledning och strålning.

En flat metallplatta är den enklaste formen av kylelement, dock inte den mest effektiva. I de flesta fall har en mer komplicerad konstruktion fördelar med avseende på kostnad, storlek och vikt.

I en halvledare genereras värmen i gränsskiktet. Därifrån överförs värmen huvudsakligen till enhetens hölje och sedan via kylelementet till den omgivande luften. En sådan värmeöverföring kan jämföras med strömflödet genom elektriska ledare. Analogt med denna motsvarar den termiska resistansen (K i °C/W) den elektriska resistansen (R i V/A).

Följande enkla formel kan användas för att beräkna kylelementet:

$$T_j - T_{amb} = P \times (K_{j-m} + K_{m-h} + K_h)$$

T<sub>j</sub> = Temperaturen i gränsskiktet.

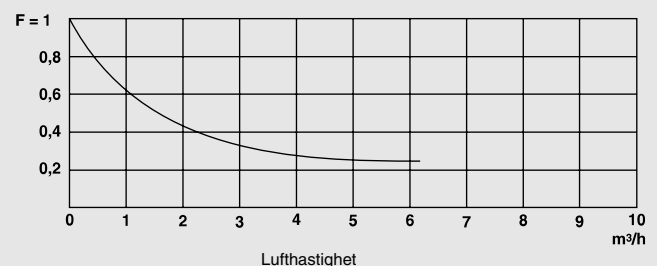
T<sub>amb</sub> = Omgivande lufts temperatur.

P = Den effekt som utvecklas i halvledaren.

K<sub>j-m</sub> = Den termiska resistansen mellan gränsskiktet och höljet. Detta värde återfinns i tillverkarens datablad.

K<sub>m-h</sub> = Den termiska resistansen mellan hölje och kylelement. Detta värde är beroende på anliggningsytans storlek samt dess beskaffenhet. Även detta värde kan återfinnas i databladet.

K<sub>h</sub> = Kylelementets termiska resistans. Detta är den termiska resistansen mellan anliggningsytan och omgivande luft.



Forcerad kylning med fläkt. Kylflänsens termiska resistans multipliceras med faktorn F för att få de reducerade värden som svarar mot olika luftfästigheter.

Den termiska resistansen mellan halvledare och kylelement kan och bör göras så liten som möjligt genom att använda en stor, plan och väl bearbetad anliggningsyta. Skruvförbanden bör dras med rekommenderat moment, tillräckligt för att ge god värmeöverföring men utan risk för mekanisk utmattnings. För att fylla ut lufthåligheter lägger man kiselfett mellan halvledaren och kylelementet, men applicera bara så litet som behövs. Tjockare skikt minskar värmeöverföringen. Den termiska resistansen K<sub>m-h</sub> varierar mellan 0,14 till 0,05 °C/W.

Ofta vill man isolera halvledaren från kylaren genom en mellanliggsbricka. Den termiska resistansen skiljer mellan olika typer. För en 0,05 mm tjock glimmerskiva är den ca 1 °C/W, för en 0,4 till 0,06 mm glimmerbricka som är försilvrad på båda sidorna ca 0,5 °C/W och för en 3 mm tjock aluminiumskiva med isolerande aluminiumoxid ca 0,3 °C/W. Även mellanläggsskivor av kapton, kiselgummi och berylliumoxid förekommer.

Bäst är mellanlägg av berylliumoxid. De används företrädesvis i HF-slutsteg men materialet säljs inte i Sverige därför att det är synnerligen giftigt. Den som gör service på utlandstillverkad radioutrustning bör betänka att dessa kan innehålla berylliumoxid i mellanläggsskivorna. Om dessa bryts kan inandning av dammet vara livsfarlig. Det kan resultera i kronisk berylliumförgiftning som

ger astmatiska problem. Långvariga exponeringar kan framkalla cancer. I det termiska fettet kan det också finnas berylliumoxid.

Den termiska resistansen för många kylare är angiven för svarta och vertikala ytor. Om kylaren monteras så att kylvytan blir horisontell ökar den termiska resistansen med 20 % och om den inte vore svart mattoxiderad utan i stället blank skulle den termiska resistansen öka med 15 %. Lägg märke till att kylare som kan fås i olika färger också har skilda termiska resistanser!

För att öka kyleffekten kan man tillgripa forcerad luftkylning med fläkt. En annan metod är att använda *peltierelement* vars kalla sida läggs mot halvledaren och den varma sidan mot omgivande luft eller mot ett kylelement. Det förekommer även kylelement med kanaler för vatten- eller freonkylning.

I kretsar med kortvarigt hög effektutveckling har också den termiska impedansens betydelse. Denna är tidsberoende och svarar mot trögheten, massan, i systemet. För mycket kortvariga termiska transienter är den termiska resistansen inne i halvledarhöljet av avgörande betydelse.

## Elektromagneter och motorer

### Elektromagneter

När man väljer elektromagnet bör man tänka på om den skall tåla kontinuerlig inkoppling, 100% eller reducerad inkopplingstid, t.ex. 25%. (En inkopplingstid av 25% innebär att dragmagneten är inkopplad t.ex. 20 sekunder till, 60 sekunder från.)

Kraften hos drag- och tryckmagneter varierar med hur långt ankaret är utdraget. Variationen är inte linjär. Kraften beror även på hur magneten monteras. De krafter som vanligen anges avser horisontell montering. Om magneten i stället monteras vertikalt, måste man ta hänsyn till ankarvikten. Ankarvikten sam- eller motverkar med elektromagnetens kraft beroende på om det är en tryckmagnet som verkar nedåt eller en dragmagnet som verkar uppåt.

### Småmotorer

Småmotorer byggs enligt en rad olika principer. Här följer en kort beskrivning av några typer.

**Permanentmagnetmotorn** är den vanligaste likströmsmotorn. Den har ett utmärkt startmoment. Varvtalet sjunker linjärt med strömmen och strömmen stiger linjärt med momentet.

**Järnlösa likströmsmotorn** har fått sitt namn p.g.a. att rotorkärnan inte innehåller järn utan endast kopparlindningar. Järnet ger stora förluster när det måste ommagnetiseras ofta. Så är fallet i små likströmsmotorer som ofta arbetar med mycket höga varvtal. Här är det alltså en fördel att få bort järnet i rotorn. I stället ersätts järnet i rotorn med en stillastående järncylinder.

Den järnlösa likströmsmotorn har litet tröghetsmoment och den får därigenom en liten mekanisk tidskonstant. Därför är motorn lämplig för servobruk.

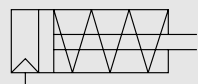
**Stegmotorn** har en permanentmagnet som rotor och en stator med två eller fyra lindningar. För varje fasändring hos lindningarna kommer rotorn att förflytta sig stegvis med en viss vinkel som bestäms av antalet poler hos rotorn och antalet faser. Den mekaniska stegvinkeln blir  $360/(n \times p)$ , där  $p$  är poltalet och  $n$  är antalet faser hos motorn.

Genom sin funktion är stegmotorn mycket användbar för positionering i t.ex. X-Y bord. Lämpligen drivs den av en speciell drivkrets som i sin tur styrs av en mikroprocessor.

## Pneumatik

### Cylindrar

Cylindrar omvandlar pneumatisk energi till mekanisk energi (linjär rörelse).



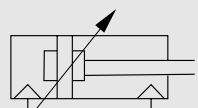
#### Enkelverkande

Cylinder i vilken tryckluften verkar i endast en riktning. Returslag genom yttre krafter och/eller inbyggd fjäder.

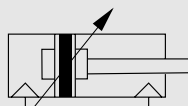


#### Dubbelverkande

Cylinder i vilken trycket verkar i båda riktningarna.



Cylinder med ställbar, dubbelsidig dämpning.



Cylinder med magnetkolv för beröringsfri lägesindikering.

### Riktningssventiler

Riktningssventiler dirigerar luftflödet. De kan styras t.ex. manuellt, elektriskt eller med tryckluft till sina olika lägen. Varje kopplingsläge representeras av en ruta. Viloläge är det läge som anslutningarna ritas till. Flödesvägarna anges med pilar och linjer. Porttyperna anges med tecken vid anslutningarna, de bokstäver som har använts tidigare bör i framtiden ersättas med siffror enligt den preliminära CETOP-rekommendationen RP68P.

Siffror  
enl RP68P:

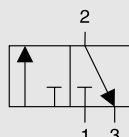
1  
2, 4, 6  
3, 5, 7  
10, 12, 14

Porttyp:

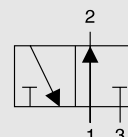
Inloppsport  
Utloppsport  
Avloppsport  
Styrport

### 3/2-ventil

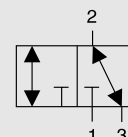
3 portar/2 lägen. Normal användning: på- och avluftning av en volym, t.ex. enkelverkande cylinder.



Påluftsventil



Avluftsventil



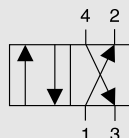
På-/avluftsventil

För påluftsventiler är i viloläge utloppsporten 2 kopplad till avloppsporten 3, medan inloppsporten 1 är stängd. Vid manövrering kopplas utloppsporten till inloppsporten och avluftningen stängs.

För avluftsventiler är i viloläge inloppsporten 1 kopplad till utloppsporten 2, medan avloppsporten 3 är stängd. Vid manövrering kopplas utloppsporten till avluftningen och inloppsporten stängs. Funktionen hos en 3/2-ventil kan även erhållas med en 4/2- resp 5/2-ventil (se nedan), om en av de båda utloppsportarna 4 eller 2 stängs.

### 4/2-ventil

4 portar/2 lägen. Växelvis på- och avluftning av två volymer, t.ex. dubbelverkande cylinder.

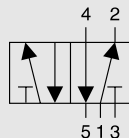


I en 4/2-ventil kopplas de båda utloppsportarna 4 resp. 2 växelvis till inloppsporten 1 och till avloppsporten 3.

Båda utloppsportarna avluftas via den gemensamma avloppsporten 3. Här är det inte möjligt att med strypning av avluftningen reglera hastigheten i båda riktningarna var för sig hos en ansluten dubbelverkande cylinder.

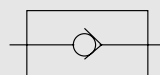
### 5/2-ventil

5 portar/2 lägen. Används normalt som 4-ports, 2-lägesventil samt för specialtilämpningar.



I en 5/2-ventil kopplas de båda utloppsportarna 4 resp. 2 växelvis till inloppsporten 1 och avloppsportarna 5 resp. 3. Utloppsportarna 4 och 2 avluftas via 5 resp. 3. Här är det möjligt att med strypning av avluftningen reglera cylinderns hastighet i båda riktningarna var för sig hos en ansluten dubbelverkande cylinder.

### Stryp- och backventiler



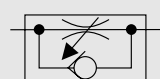
#### Backventil

Släpper fram flöde i endast en riktning. Öppnar när inloppstrycket är högre än utloppstrycket.



#### Inställbar strypventil

Inställbar strypning som verkar i båda riktningarna.

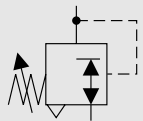


#### Inställbar strypbackventil

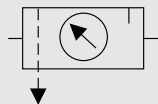
Inställbar strypning i en riktning. Fritt flöde i motsatt riktning.

**Tryckstyrande ventiler**

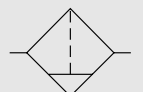
En tryckstyrande ventil är en apparat som reagerar för tryckändringar i inloppet resp. utloppet enligt ett givet bör-värde (mekaniskt, pneumatiskt eller elektriskt). Den representeras av en enkel ruta. Den streckade linjen anger vilken ledning som påverkar ventilen vid tryckändring. Pilen anger flödesriktningen, fjädersymbolen står för bör-värdet.

**Tryckreglerventil (reduceringsventil)**

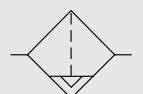
Ett varierande inloppstryck reduceras till ett konstant tryck i utloppet.

**Luftbehandling****Luftbehandlingsenhet**

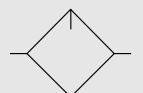
Förenklad presentation.



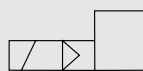
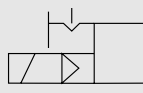
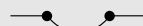
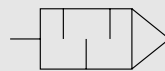
Manuell dränering.



Automatisk dränering.

**Dimsmörjare**

Tillför tryckluften oljedimma i syfte att smörja efterföljande apparater.

**Styrning****Spak****Magnet****Magnet och pilotventil****Magnet och pilotventil med manuell styrning****Energiöverföring****Ledning för huvudflöde****Ledning för styrtryck****Korsande ledningar som har förbindelse med varandra****Korsande ledningar utan förbindelse med varandra****Böjlig ledning****Tryckkälla****Proppad anslutning****Anslutning med ledning****Elektrisk ledning****Utlopp utan röranslutning****Utlopp med röranslutning****Ljuddämpare****Avstängningsventil (förenklad symbol)****Övrigt****Kompressor**

Apparat för förtätning av gaser, i detta fall luft till tryckluft. Omvandlar mekanisk energi till pneumatisk energi.

**Manometer**

Tryckmätare.

**Kontaktdon**

Kontaktdon utgör en förbindning som enkelt kan brytas. Det ger flexibilitet i ett system.

Kontaktdon tillverkas i allmänhet efter någon norm eller specifikation som kan vara BS (brittisk standard), CCTU (fransk standard), DIN (tysk standard), EN (europeisk standard), MIL (amerikansk militärstandard), IEC (internationell standard) m.fl. Denna standardisering har stor betydelse då det gäller möjligheten till byte mellan olika fabrikat av samma kontaktdon, likaså att donen uppfyller samma miljökrav, livslängdskrav m.m.

Vid val av kontaktdon gäller det att ha klart för sig vilka krav man ställer på donet i fråga om ström, spänning, livslängd och miljö. Något universellt användbart kontaktdon existerar inte. Idealet vore en kontaktövergång som har resistansen noll i slutet tillstånd och oändlig i öppet tillstånd.

Valet av kontaktmaterial, pläteringstjocklek och kvalitet på pläteringen är avgörande för kontaktelementens livslängd. Olika användningsområden är givetvis av betydelse för de krav som skall ställas på kontaktdonet.

I kontaktpinnar och hylsor är mässing ett mycket vanligt och föga kostsamt material. Dessutom finns olika kvaliteter med avseende på fjädringsegenskaper och hårdhet. Ett avsevärt bättre material är fosforbrons vilket har utmärkta fjädringsegenskaper. Berylliumkoppar används vanligen i hylskontakter och fjädrar i mycket kvalificerade don.

Normalt belägger, *pläterar*, man kontaktelementen med olika material för att minska övergångsresistansen. Dessa beläggningar kan bestå av guld, silver, rodium, palladium, tenn, nickel, koppar m.m. var för sig eller i vissa kombinationer. Av dessa kombinationer har guld och nickel visat sig vara en mycket bra kombination både när det gäller övergångsresistanser, mekaniska påkänningar och långtidsstabilitet. Hårda legeringar ger god slitstyrka men kan ge hög övergångsresistans vid låg ström. Det bildade oxidskiktet kan i kombination med metallen skapa en diodverkan med distorsion som följd. Audiokontakter är därför med fördel guldpäterade. I kontakter som överför höga strömmar är guldpäteringen olämplig p.g.a. dess låga smältpunkt. Försilvring är här lämpligare eftersom det är det bäst ledande materialet, men man får ge akt på att inte bryta en stor ström över kontakten då annars en ljusbåge kan få silvret att smälta.

Kontaktdontillverkaren uppger normalt sett antingen pläteringstjockleken och/eller det antal operationer, d.v.s. det antal i- och urdragningar, som kontaktdonet skall klara av.

För t.ex. Europadon talar man om tre olika prestandaklasser enligt DIN:

Klass I:	500 operationer
Klass II:	400 operationer
Klass III:	50 operationer

Som isolationsmaterial används i enklare kontaktdon bakelit, makrolon, nylon, keramik, PVC m.m. Bättre isolationsmaterial är kiselgummi, DAP, PTFE, nylon 66 och Delrin som har bra högfrekvens- och temperaturegenskaper. I donhus, höljen, kåpor och dragavlastningar används mässing, ABS-plast, stål, rostfritt stål, gummi, aluminium m.m.

## Termineringsmetoder

Här beskrivs i korthet de fem vanligaste förbindningstyperna.

### Lödning

Lödning är en metod som är relativt lätt att utföra. Den kräver inte dyrbar utrustning och ledardimensionen är inte kritisk. Till svagheterna hör ojämnhet i kvalitet, det finns komponentanslutningar med dålig lödbarhet och det kan förekomma föroreningar i kontaktpunkten. Lödningen är dessutom tidskrävande. Det som påverkar kvaliteten är bl.a. skickligheten hos den som löder, val av tenn och flussmedel samt verktygens kvalitet. Se även Faktasida Lödning.

### Kontaktpressning

Kontaktpressning (eng. crimp) går att utföra snabbt och enkelt. Resultatet blir en jämn förbindningskvalitet och det är möjligt att åstadkomma en säker och gastät förbindning. Metoden kräver dock specialverktyg och därtill ställer den krav på valet av ledare.

### IDC

IDC, eller Insulation Displacement Connection, används vid förbindning av mångpoliga kontakter till flatkablar. På några sekunder kan samtliga ledare anslutas. Kabeln kläms och avisoleras samtidigt. Förbindningen blir gastät och säker. Ledarna är dock fina och därför begränsas ström- och spännings-tåligheten. Kontaktteringsmetoden kräver specialverktyg och endast flatkabel av viss typ kan användas. I PC-datorer används flatkabel med den här typen av anslutning för att exempelvis ansluta hårddiskarna internt.

### Press-fit

Pressteknik har också utvecklats för mångpoliga kretskortsanslutningar. Alla typer av exempelvis Europadon finns idag i "Press-fit" utförande. Tekniken bygger på att kontaktens anslutningspinnar har en något fjädrande anslutning som passar i genompläterade hål i kretskortet. När anslutningarna pressas in i kretskortet kommer tenn från sidorna i det pläterade hålet att skrapas av och en ny helt oxidfri gastät förbindning skapas. Fördelarna är bland annat att man slipper den kraftiga uppvärmningen som lödning av kontakter med många anslutningar innebär. Dessutom behövs ingen efterföljande rengöring av anslutningarna och man kan enkelt göra kontaktpinnarna extra långa för att tillåta kompletterande viranslutning.

### Virning

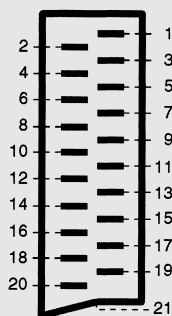
Virning är en metod som lämpar sig väl för prototypbyggen. En rätt utförd virning ger en säker och gastät kontakt. Det är lätt att göra ändringar i en virad konstruktion genom att trådarna kan viras av och åter. Till nackdelarna hör att metoden är utrymmeskrävande. Stiften har en rektangulär profil. De måste ha en viss höjd för att tillåta att ett antal trådar skall få plats. Normalt viras en tråd 5–7 varv. Virningen kräver specialverktyg. Se även Faktasida Virning.

## Fasta förbindningar

Kontaktidon är alltid en svag punkt i ett system och i vissa fall duger bara don som uppfyller militära specifikationer. Felintensiteten stiger med antalet poler. I vissa elektronikutrustningar är dock kraven på hög MTBF (Meantime Between Failure) så stränga att kontaktidonen helt eller delvis måste ersättas av *fasta förbindningar*. Det kan gälla t.ex. i rymdapplikationer där skakningar, vibrationer, temperaturväxlingar och eventuellt gaser eller vätskor kan äventyra kontaktfunktionen.

## Applikationer

**SCART-kontaktidon** används för video- och audiosignaler i TV-sammanhang, se figur.

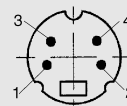


SCART-kontaktidon.

Signal-Stift namn	Beskrivning	Signal-nivå	Impe-dans
1 AOR	Audio UT Höger	0,5 V rms	<1 kΩ
2 AIR	Audio IN Höger	0,5 V rms	>10 kΩ
3 AOL	Audio UT Vänster + Mono	0,5 V rms	<1 kΩ
4 AGND	Audio Jord		
5 B GND	RGB Blå Jord		
6 AIL	Audio IN Vänster + Mono	0,5 V rms	>10 kΩ
7 B	RGB Blå IN	0,7 V	75 Ω
8 SWITCH	Audio/RGB switch / 16:9		
9 G GND	RGB Grön Jord		
10 CLKOUT	Data 2: Clockpulse Out		
11 G	RGB Grön IN	0,7 V	75 Ω
12 DATA	Data 1: Data Out		
13 R GND	RGB Röd Jord		
14 DATAGND	Data Ground		
15 R	RGB Röd IN / Chroma	0,7 V 0,3 V burst <sup>1)</sup> 1–3 V <sup>2)</sup> 0–0,4 V <sup>3)</sup>	75 Ω
16 BLNK	Blanking Signal		75 Ω
17 VGND	Composite Video Jord		
18 BLNK GND	Blanking Signal Jord		
19 VOUT	Composite Video UT	1,0 V	75 Ω
20 VIN	Composite Video IN / Luminans	1,0 V	75 Ω
21 SHIELD	Jord/Chassi		

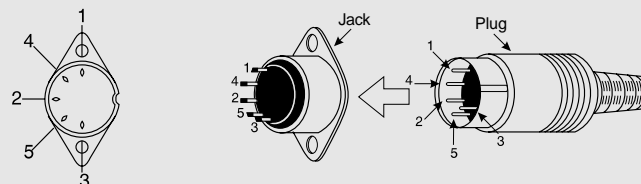
<sup>1)</sup> Chroma. <sup>2)</sup> RGB. <sup>3)</sup> Composite.

**S-video-kontaktidon** är ett 4-poligt mini-DIN-kontaktidon. Det används för de två videosignalerna från videokameror. Signalerna är luminans Y (signalnivå: 1 V inkl. sync; impedans: 75 ohm) och chroma C (signalnivå: 0,3 V burst; impedans: 75 ohm).



Kontaktkonfiguration för S-videon sedd från hylsdonets lödsida. Stift 1: Jord för luminans Y. Stift 2: Jord för chroma C. Stift 3: Luminans Y. Stift 4: Chroma C.

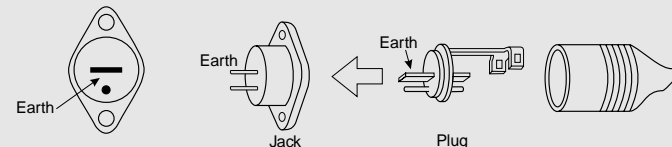
**5-poliga DIN-kontakter** används i stor utsträckning i europeisk HiFi-apparaturl för såväl ingångar som utgångar. Stiftanslutningen för olika typer av apparater är standardiserad enligt sammanställningen nedan:



5-polig DIN-kontakt.

Apparattyp	Kontaktidon för	Ingång V	Ingång H	Utgång V	Utgång H	Jord
Förstärkare	Pickup, tuner	3	5			2
"	Bandspelare	3	5	1	4	2
Tuner	Förstärkare			3	5	2
"	Bandspelare			1	4	2
Skivspelare	Förstärkare			3	5	2
Bandspelare	Förstärkare	1	4	3	5	2
"	Mikrofon	1	4			2

**2-poliga DIN-kontakter** används för högtalarutgångar vid måttliga uteffekter. Det breda stiftet anslutes alltid till jord. Vid högre effekter används polskruvar.



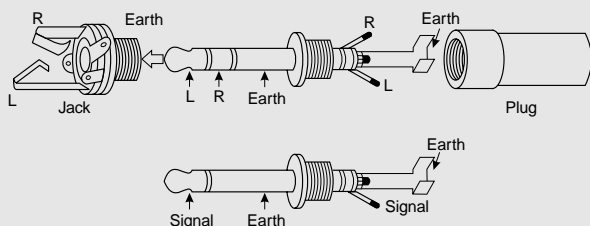
2-poliga DIN-kontakter, högtalkarkontakter.

**Phonokontakter** används företrädesvis i japanska och amerikanska apparater men förekommer också rätt allmänt i europeiska, i senare fallet tillsammans med eller parallellkopplade med DIN-kontakter. För att ansluta en stereosignal med phonokontakter behövs det två skärmskablar med varsin phonokontakt.



Phonokontakter.

**Teleproppar och telejackar** används huvudsakligen för utgångar till hörtelefoner och till ingångar för mikrofoner. Trepoliga don används för stereo, med vänster och höger kanal i samma don. Trepoliga don används också i balanserade system. Då ansluts "hot" till V och "cold" till H.



Teleproppar och telejackar.

**XLR-kontaktton** är de vanligaste kontakttonen till mikrofoner och ljudanläggningar. I balanserade system ansluts stift 1 till jord, stift 2 till plusledare (hot, send), och stift 3 till minusledare (cold, return). På vissa amerikanska utrustningar (mikrofoner, mixerbord) kan stift 2 och 3 vara skiftade. I obalanserade system kan man ansluta det ena av stift 2 eller 3 till jord.



Kontaktkonfiguration för XLR-don sedd från stiftdonets lödsida.

## Fiberoptiska ledningar

Det finns flera orsaker till att fiberkabel används istället för kopparledningar. Den optiska överföringen gör förbindningen okänslig för elektromagnetiska störningsfält, något man gärna drar nytta av i industriell miljö. Ett annat skäl är att optisk överföring kan göras mycket bredbandig och den är därför lämplig att använda för telefoni-, data- och TV-signaler i digitaliserad form.

Gemensamt för alla optiska fibrer är att de har en kärna kring vilken det finns en mantel. Brytningsindex i kärnan är litet högre än i manteln. Ljusstrålen hålls därför kvar i kärnan genom att den reflekteras i övergången mot mantel. Omkring denna brukar det finnas ett skyddande hölje.

Fibrerna förekommer i två grundtyper: Singelmod och multimod. Man kan i sin tur dela upp multimodfibrer i två olika typer: *stegindex-* och *gradientindexfibrer*.

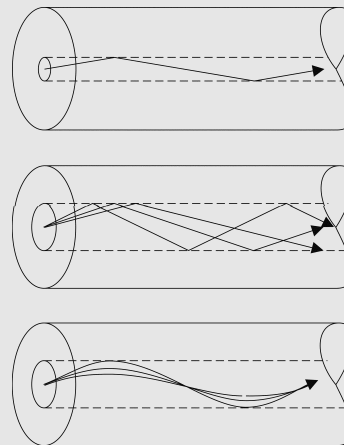
I stegindexfibern är kärnan så grov, ca 50 µm, att ljusstrålen kan överföras med flera moder. Om man minskar kärnan tillräckligt mycket (till ca 5–10 µm om ljusvåglängden är 1,3 µm) kan den optiska ledningen bara överföra en mod. Resultatet blir en singelmodfiber. Denna får hög överföringskapacitet, men den tunna kärnan försvårar skarvningen av fiberkablar.

Ett mellanting mellan singelmod- och stegindexfibrer är gradientindexfibrer. I denna minskar brytningsindex successivt från kärnans mitt och ut. En ljusstråle på väg snett ut från kabelcentrum böjs därför kontinuerligt tillbaka mot kabelns centrum. Kärnan i en gradientindexfiber är så tjock att flera moder av ljuset kan överföras.

Det som främst begränsar avståndet för ljusöverföringen är fiberkabelns dispersion och dämpning. Dispersion innebär att ljusstrålarna genom kabeln får olika löptid. Därför kommer en ljuspuls att breddas vilket sätter en gräns för maximala pulsrepetitionsfrekvensen, d.v.s. bandbredden för överföringen begränsas. Olika moder ger olika löptider i en multimodfiber vilket minskar bandbredden. Detta kommer man ifrån i singelmodfibern. I både singel- och multimodfibrerna får man även dispersion i själva materialet. Detta orsakas av att glasets brytningsindex varierar med våglängden samt av ojämnheter i materialet. Dispersionen beror av att hastigheten och därmed löptiden varierar med brytningsindex enligt  $v = c_0/n$  där  $c_0$  är ljushastigheten i vakuum och  $n$  är brytningsindex.

Dämpning och dispersion varierar med den våglängd som används. När den första fibern kom 1970 hade den en dämpning av 20 dB/km. Efter det har man dels lärt sig att tillverka fiberkabel med väsentligt lägre dämpning, dels gått mot längre våglängder där dämpningen är mindre. Den första generationen optofibersystem arbetade vid 0,85 µm, den andra vid 1,3 µm och den tredje vid 1,55 µm. Dämpningen är lägst vid den senare våglängden, teoretiskt sett 0,16 dB/km, medan den minsta dispersionen förekommer kring 1,3 µm.

Det är svårt att skarva och kontaktera fiberkabel. Särskilt gäller det singelmodfiber där de tunna kärnorna i respektive kabelsegment måste linjeras väl med varandra. Man får också se k Fresnelreflexioner i övergången med en minsta teoretisk gräns (ca 4 %). Kontaktdämpningen varierar mellan 0,2 och 2 dB beroende på typ.



Tre olika fibertyper: 1 – I en singelmodfiber transporteras bara en mod. Det innebär att alla strålar reflekteras med samma vinkel mot mantelytan. Alla strålar går således lika långt och det tar lika lång tid. Det innebär att ingen dispersion uppstår. 2 – I en tjockare fiber (stegindex-) uppstår flera olika reflektionsvinklar och därmed dispersion. 3 – I gradientindexfibern bryts strålarna kontinuerligt.

## Mönsterkortstillverkning

Vid framtagning av mönsterkort finns en rad olika metoder att tillgå. De två metoder som kortfattat beskrivs nedan är:

1. Direktöverföring av mönster till kort.
2. Fotografisk överföring av mönster till kort.

Dessa metoder är lämpliga vid tillverkning av enstaka kort eller små serier.

### Direktöverföring

Vid direktöverföring tejpas, gnuggas eller ritas symbolerna och ledningarna direkt på ett väl rengjort kopparlaminat. Detta etsas sedan i en lösning bestående av natriumperoxidsulfat och vatten. Man kan även etsa med järnklorid, men det är ej att rekommendera ur hälsosynpunkt. Observera att gnuggssymbolerna ska vara av en speciell typ, avsedda för direktetsning samt ej försedda med bärfolie.

### Fotografisk överföring

Vid fotografisk överföring används kopparlaminat belagt med ett lackskikt, *fotoresist*, som är känsligt för ultraviolett strålning (UV-ljus). Denna fotoresist kan vara positiv eller negativ (jfr fotografi), men för enkelhetens skull behandlas här bara positiv resist. Trots att resisten inte är överdrivet känslig för vanligt ljus ska man dock inte långvarigt utsätta resisten för ljus.

Arbetsgången vid tillverkning av mönsterkort med fotometoden är följande:

### Tillverkning av mönsteroriginal (layout)

Med kurvtejp, gnuggssymboler och en genomskinlig plastfilm tillverkas ett mönsteroriginal. Man tejpar och gnuggar helt enkelt upp mönstret på plastfilmen. Symboler och tecken placeras mycket snabbt och exakt tack vare plastfilmens genomskinlighet. Det är lätt att få gnuggremssornas tecken att fästa. Det räcker att trycka eller gnugga med ett finger. Gnugga efter med det silikonbehandlade skyddssarket, som ligger bakom varje remsa, så sitter symbolen ännu bättre. Symbolerna har en kantskärpa på  $\pm 0,05$  mm, är mycket tunna och har hög motståndskraft mot mekanisk påverkan. Vid applicering av gnugglinjer kan linjen läggas mot underlaget och skäras av genom plastfilmen till önskad längd. Vid korrigering av symbolerna, skrapa bort dem med en kniv, lyft bort dem med tejp eller använd specialradérgummi. När mönsteroriginalen är färdiga kan man direkt använda detta, alternativt göra en "arbetskopia" på positiv/positiv film.

### Exponering

Originalen eller eventuell kopia läggs direkt på skiktssidan (skala 1:1) av det resistbelagda laminatet varpå laminatet exponeras med hjälp av en UV-lampa eller med en mer professionell UV-ljuslåda. UV-ljuset skall ha ett våglängdsområde på 350–370 nm. Kvartslampor eller sollampor, som har ett våglängdsmaximum på 256 nm, är ej att rekommendera. Vid exponeringsarbetet är det viktigt att passa in filmen på kortet så exakt som möjligt och vara noga med att damm eller andra främmande partiklar ej påverkar resultatet. Exponeringstiden, speciellt om man använder UV-lampa, varierar med lampans höjd över det belysta laminatet, eventuell glasskiva mellan lampen och film laminatet m m. Följande värden kan dock tas som riktvärden:

Med UV-lampa på 300 W, glasskiva och avstånd 40–50 cm: 5–7 min.  
Med UV-låda: ca 2–5 min.

OBS! ANVÄND ÖGONSKYDD vid arbete med UV-ljus.

## Framkallning

Efter exponering är det dags för framkallning. Detta sker i ett bad av natriumhydroxid och vatten. Lösningen ska vara 1,5 %. Framkallningstiden varierar mellan 30 s och 4 min beroende på typ av resist, och man får anpassa exponeringen efter detta. Efter framkallning ska mönstret framträda tydligt. Då det är fråga om positiv resist kommer det som ej blivit belyst (där teipen täckt) att skyddas vid etsning, kvar blir alltså mönstret. Efter framkallning skall kortet sköljas noga i rinnande vatten FÖRE etsningen.

## Etsning

Här används med fördel natriumperoxidsulfat både för direktöverföring och fotoöverföring. För att etsbadet ska bli effektivt löses pulvret i kokhett vatten, vilket ger etslösningen en temperatur på ca +50 °C, vilken bör bibehållas för bästa resultat. Tänk på att skydda händer och ögon från kemikalier. Använd handskar och glasögon! Lämpliga kärl för framkallning och etsning är vanliga fotokålar. Förmåligast är dock att använda någon typ av etstank med luftpump och gärna med doppvärmare.

## Kvalitetssäkring

Om exponeringstiden av fotoresisten är för kort eller om felaktig lampa har använts, kommer detta att visa sig vid framkallningen och/eller vid efterföljande etsning. Felaktig lamptyp, för kort exponering eller för gammal/kraftlös framkallare medför att partier av fotoresisten blir kvar på kopparytan. Dessa partier, som kan vara svåra att se p.g.a. att de kan vara mycket tunna, kommer att framträda som icke etsbara solar eller öar vid etsningen. För att undvika detta ska följande iaktas:

1. Originalen ska vara heltäckande svart. Inget UV-ljus tillåts att tränga igenom symbolerna som ska bilda det överförda mönstret. Undantaget från heltäckande svart gäller den direkt positiva filmen vilken ger UV-täckande oxblods-röda linjer. Ett UV-täckande original underlättar och tillåter en fullständig exponering av fotoresisten. Detta ger de rätta förutsättningarna för en fullständig framkallad fotoresist. Överexponera hellre 1–2 minuter om osäkerhet finns vad gäller lampans effektivitet.
2. Framkalla i en färsk framkallare. En använd och sparad framkallare kan ge dåligt resultat, speciellt om den har använts många gånger.
3. Kontrollera vid framkallningen att all exponerad fotoresist verkligen har försvunnit. Om exponeringen har varit för kort måste framkallningstiden förlängas upp till 10 minuter. Omrörning påskyndar processen.
4. Vid etsningen av laminatet är det nödvändigt att etsvätskan rörs om hela tiden på ett eller annat sätt för att underlätta att aktiv etsvätska hela tiden kommer fram till kopparytan. Vid temperaturer under +30 °C förloras mycket av etsförmågan, varför någon form av uppvärmningsanordning är att föredra.

OBS! ANVÄND SKYDDSHANDSKAR och ÖGONSKYDD vid arbete med kemikalier, speciellt vid etsning och framkallning.

## Dimensionering av folieledningar

### Resistansen i folieledningar

Resistansen R för en kopparfolieledning kan beräknas ur formeln:

$$R = \rho_{Cu} \times l / (b \times t) = (\rho_{Cu} / t) \times (l / b)$$

där  $\rho_{Cu}$  = resistiviteten för Cu, l = ledningens längd, b = ledningens bredd samt t = foliens tjocklek.

$\rho_{Cu} / t$  är för 70 µm folie 0,25 × 10<sup>-3</sup> Ω, för 35µm folie 0,5 × 10<sup>-3</sup> Ω och för 17,5 µm folie 1,0 × 10<sup>-3</sup> Ω.

Exempel: Resistansen för en 0,35 µm tjock kopparfolieledning med längden 10 cm och bredden 1 mm är således

$$(\rho_{Cu} / t) \times (l / b) = 0,5 \times 10^{-3} \Omega \times (10 \times 10^{-2} \text{ m} / 1 \times 10^{-3} \text{ m}) = 0,05 \Omega$$

### Maximal ström och minsta avstånd i folieledningar

Maximalt tillåten ström beror på foliens tjocklek, ledningens bredd och hur hög övertemperatur som ledningen kan tillåtas anta. Om det finns plats på mönsterkortet använder man lämpligen folieledningar med bredd 1,57 mm (0,062") eller 1,27 mm (0,05"). Den minsta ledningsbredd som kan framställas vid fotografisk exponering av ledningsmönstret är 0,3 mm.

Tabell. Max ström i A genom folieledningar på kretskort med 17,5 µm folie.

Ledningsbredd (mm)	Tillåten övertemperatur hos ledningen					
	10 °C	20 °C	30 °C	60 °C	75 °C	100 °C
0,5	0,6	1	1,2	1,7	2	2,3
1,0	1,1	1,5	2	3	3,2	3,7
1,5	2	2,6	3,4	4,3	5	6
2	2,3	3,2	4	5	6	7
4	4	5	7	9	10	11
6	5	7	9	12	13	14
8	6	9	11	14	16	18
10	7	10	13	16	19	21

Tabell. Max ström i A genom folieledningar på kretskort med 35 µm folie.

Ledningsbredd (mm)	Tillåten övertemperatur hos ledningen					
	10 °C	20 °C	30 °C	60 °C	75 °C	100 °C
0,5	1,3	2	2,3	3	3,5	4
1,0	2	2,8	3,1	4	5	6
1,5	2,6	3,7	4,4	6	7	8
2	3,2	5	6	8	9	10
4	5,5	8	10	11	15	16,5
6	8	11	13	18	21	23
8	9,5	13	16	22	24	26
10	11	16	20	27	29	33

Tabell. Max ström i A genom folieledningar på kretskort med 70 µm folie.

Ledningsbredd (mm)	Tillåten övertemperatur hos ledningen					
	10 °C	20 °C	30 °C	60 °C	75 °C	100 °C
0,5	2,4	3,2	4	5	6	7
1,0	3,3	4,5	6	8	9	10
1,5	4,3	6	8	10	12	13
2	5	8	10	13	14	15
4	9	13	15	21	23	25
6	12	16	22	30	32	35

Tillåtet minsta avstånd mellan ledarna, isolationsavstånd, är beroende av framställningssätt och maximal spänning, se tabell.

Tabell. Tillåtet minsta avstånd mellan folieledarna vid fotografisk exponering av ledningsmönstret.

Spänning (V) mellan ledarna:	50	150	300	500
Minsta avstånd (mm) mellan ledarna:	0,3	0,6	1,2	1,8

## Legotillverkade mönsterkort

Mönsterkort som du har ritat i ett CAD program kan ELFA leverera genom ett samarbete med mönsterkortstillverkaren Elprint. Det är möjligt att beställa ner till stycketal för prototyper och mindre serier, se *Kundanpassade mönsterkort* på sidan 426.

## Inkapslingar

### Lådor

Lådor och inbyggnad är kanske det man kommer att tänka på sist när det gäller en konstruktion, men området är så viktigt att man bör tänka på kapslingen i ett mycket tidigare skede.

Det finns en rad faktorer att ta hänsyn till då konstruktionen skall anpassas för en viss miljö, t ex med avseende på hållfasthet, fuktålgighet, brandålgighet och skärmning.

Priset är förstås en viktig faktor när det gäller anpassning till en viss kundkrets liksom utseende och praktiskt utförande. I kostnadsbilderna ligger givetvis anpassningen av konstruktionen och lådan. Det lönar sig mycket sällan att göra en helt egen mekanisk konstruktion. En fabrikstillverkad låda, ett låd- eller racksystem spar mycket tid och därmed kostnad.

**Material** utgör grunden för lådan och dess egenskaper. Stål är mycket stabilt men tungt och korroderar om inte ytbehandlingen är mycket effektiv. Aluminiumlegeringar är betydligt lättare. Med strängsprutade profiler och plåtar går det att bygga mycket flexibla lådsystem. Plast är inte ett utan många material med vitt skilda egenskaper avseende mekanisk hållfasthet, möjlighet till bearbetning, temperaturålgighet och benägenhet att brinna.

De flesta ljusa plastmaterial som lådorna tillverkas av klarar solljus (UV-strålning) dåligt. Det medför att lådorna gulnar med tiden. Till vissa plaster tillsätts UV-inhibitorer, vilket medför att ålgigheten mot solljus väsentligt förbättras. Läs utförligare i avsnittet om *plaster*.

**Brandålgigheten** specificeras i normen UL 94, en norm som exempelvis lådorna från OKW uppfyller. Materialen klassificeras enligt följande:

94V-0 innebär att testobjektet släcks inom fem sekunder i genomsnitt. Inget av testobjekten brinner mer än 10 sekunder. Inget av testobjekten avskärmar partiklar vid förbränningen. Ett exempel på ett sådant material är flamresistent ABS.

94V-1 betyder att släckningen sker inom 25 sekunder i medeltal och att testobjekten aldrig brinner mer än 60 sekunder samt att de aldrig avger partiklar under förbränningen.

94V-2 överensstämmer med 94V-1 med skillnaden att förbränningspartiklar bildas. Exempel på plaster som klarar 94V-2 är flamresistent polystyren och polykarbonat.

Om testobjektet skulle brinna mer än 25 sekunder kan det inordnas under 94HB. Sådana material är exempelvis plasterna polystyren, ASA och ABS.



**Skärmning** har blivit en allt viktigare egenskap eftersom snabba stigtider i logikkretsar genererar ett stort spektrum av övertoner. I vissa fall vill man även skärma känsliga kretsar mot inkommande fält.

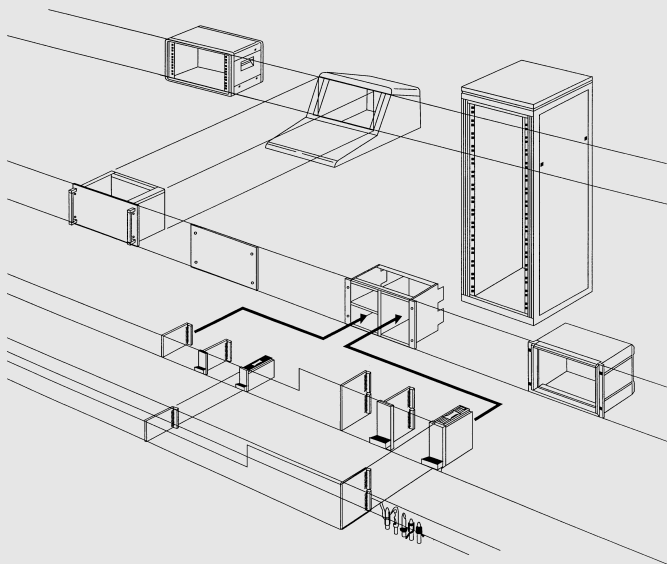
När det gäller störutstrålning duger i många fall en filtrering av de in- och utgående ledningarna. Vid frekvenser över 1 MHz behöver man dock en skärmbur enligt principen *Faradays bur*, d.v.s. ett elektriskt ledande hölje. En aluminiumlegering är därvid ofta lämplig eftersom materialet är lätt och kan bearbetas enkelt. Zinklegering används då man söker en något bättre skärmning.

Vid renodlat magnetiska, mycket lågfrekventa fält måste man använda magnetiska material, t.ex. järn. Ett mycket bra sådant material är legeringen mymetall, som bl.a. används för att kapsla in LF-transformatorer. Aluminium leder dock strömmen betydligt bättre än järn och är ofta bättre.

Höga krav på dämpning ställer också krav på lådans sammansättning, att de olika metalldelarna ger kontakt med varandra, att avståndet mellan kontaktpunkterna inte är för stort (vilket är avgörande för hur högt i frekvens lådan ger dämpning mot omvärlden). Se upp för eloxerad eller oxiderad aluminium vars yta har mycket hög resistans, i storleksordningen 10-tals MΩ.

Ofta har man dock måttliga krav på dämpning. Därvid kan man använda plastlådor som är försedda med ett ledande lager av folie, förångad aluminium, nickellack, sprutat kolpulver eller dylikt. Enligt tillverkaren PacTec är det stor skillnad på sådana material. Vid exempelvis 5 MHz dämpar ett 0,5 mm tunt skikt av koppar i epoxy 60 dB, nickel i akryl 50 dB, silver i akryl 45 dB, silversprayplätering 35 dB och grafitlack i akryl 15 dB.

**Värmeavledningen** är många gånger betydelsefull. Tänk på att en sänkning av temperaturen med bara några grader kan förlänga tiden mellan fel med 1.000-tals timmar. Värmen kan ledas bort eller bortföras genom luftkylning. Se avsnittet om *fläktar*.



19" inbyggnadssystem för elektronik.

## 19" inbyggnadssystem för elektronik

När mekanik för elektronik ännu inte omfattades av några normer, övertog Schroff 19"-måttet för frontplattor ( $482,6 \pm 0,4$  mm) från USA. Detta visade sig vara ett viktigt steg. Schroff har sedan dess varit vägvisande och bidragit väsentligt till utvecklingen av 19"-normen med europac-systemet.

Måttmässigt uppfyller systemet gällande internationella normer: DIN 41 494, IEC 297, BS 5954, EIA RS 310-C.

Enkelt uttryckt är systemet konstruerat för mekanisk uppbyggnad av industrielektronik. Frontplattans 19" bredd och indelningen i höjdener (sv. HE, eng. U), 1 HE = 44,45 mm, var den första normering som möjliggjorde en modulär uppbyggnad.

Enkelt och dubbelt europakort är välkända begrepp för de mest förekommande kortformaten. De passar i kortramar med modulhöjd 3 HE respektive 6 HE.

Inbyggnadsbredden indelas i breddenheter (sv. TE, eng. HP), 1 TE = 5,08 mm. Detta möjliggör maximalt 84 TE inom 19"-bredden. För standardiserade mikrodatorsystem har modulbredden 4 TE (20,32 mm) visat sig ändamålsenlig. Förenklat kallades denna indelning 1 *s/ot*.

19"-systemet erbjuder användaren ett komplett byggsystem för alla tänkbara uppbyggnadsdimensioner samt elektriska eller miljömässiga krav. Genom användning av standarddelar kan en mångfald uppbyggnadsvarianter realiseras till en mycket låg kostnad. Systemet erbjuder även ett fullständigt tillbehörsprogram för en mängd applikationer.

Enligt DIN delas normen i följande nivåer (se figur):

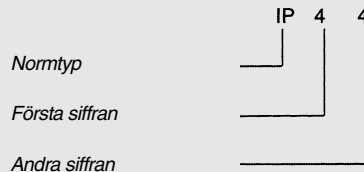
- **Komponentnivån** omfattar kretskort och kontaktdon.
- **Insticksenheter** som kortkassetter eller enkla kretskortsmoduler.
- **Frontplattor och kortramar**
- **Apparatlådor** i många format direkt kompatibla med kortramar, som bordslådor eller (med 19" vinklar) för inbyggnad i 19" skåp.
- **19" lådor, skåp och stativ**

Vid uppbyggnad av ett kortsytem i låda eller skåp måste man dels ta hänsyn till elektriska och mekaniska faktorer, dels till skärmning och även till kylningen av de ofta tätt sittande kretskorten.

## Kapslingsklasser för elektrisk materiel – IP-klasser

Kort översikt. För den som vill veta mer så går det att beställa SS IEC 529 från SIS.

### Exempel på beteckningar



En kapsling med denna beteckning är skyddad mot inträngande av fasta föremål större än 1,0 mm och mot överstrålning med vatten.

### Första siffran anger grad av mekaniskt skydd. Kort beskrivning.

- 0 Inget speciellt skydd.
- 1 Skydd mot fasta föremål större än 50 mm. T ex kroppsdel såsom en hand (men inget skydd mot avsiktligt inträngande).
- 2 Skydd mot fasta föremål större än 12 mm. T ex fingrar eller liknande, ej överstigande 80 mm i längd.
- 3 Skydd mot fasta föremål med en diameter eller tjocklek större än 2,5 mm. T ex verktyg, trådar etc.
- 4 Skydd mot fasta föremål större än 1,0 mm. T ex trådar eller remsor.
- 5 Skydd mot damm. Inträngning av damm är ej helt förhindrad, men damm kan ej intränga i sådan mängd att matrielens normala drift äventyras.
- 6 Dammtät. Inget inträngande av damm.

### Andra siffran anger grad av vattenskydd. Kort beskrivning.

- 0 Inget speciellt skydd.
- 1 Skydd mot droppande vatten. Droppande vatten (vertikalt fallande droppar) får ej ha skadlig inverkan.
- 2 Skydd mot droppande vatten vid en lutning av 15°. Vertikalt droppande vatten får icke ha skadlig inverkan då kapslingen lutar högst 15° från sitt normala läge.
- 3 Skydd mot strilande vatten. Strilande vatten med en vinkel av högst 60° från lodlinjen får icke ha skadlig inverkan.
- 4 Skydd mot överstrålning av vatten. Vatten som strilas mot kapslingen från en godtycklig riktning får icke ha skadlig inverkan.
- 5 Skydd mot vattenstrålar. Vatten som spolas genom ett munstycke i godtycklig riktning mot kapslingen får icke ha skadlig inverkan.
- 6 Skydd mot tung sjö. Vatten från tung sjö eller vatten som spolas i kraftiga strålar får ej intränga i kapsling i skadlig mängd.
- 7 Skydd mot inverkan av kortvarig nedsänkning i vatten. Inträngning av vatten i skadlig mängd får icke vara möjlig då kapsling nedsänks i vatten vid visst tryck och under viss tid.
- 8 Skydd mot inverkan av långvarig nedsänkning i vatten. Materielen är lämpad för långvarig nedsänkning i vatten under villkor som skall anges av tillverkaren.

## Symboler

### Första siffran

5	6

### Andra siffran

1	3	4	5	7	8

## Kabel

### Elektriska ledningar

Ledare i praktiskt taget alla elektriska ledningar utgörs av koppar. Endast undantagsvis och för speciella ändamål ingår silver, aluminium, konstantan eller dylikt i ledarna. Resistansen är en viktig egenskap hos en ledare och kan beskrivas med formeln:

$$R = \rho (L/A)$$

där  $R$  är resistansen,  $\rho$  är en konstant som kallas resistiviteten och beror av materialet och temperaturen,  $L$  är längden och  $A$  är arean.

För metaller är resistivitetsens temperaturberoende ett nästan linjärt samband. Resistansen kan därför tecknas:

$$R_T = R_{T_{ref}} + \alpha(T - T_{ref}) R_{T_{ref}}$$

där  $R_T$  är resistansen vid temperaturen  $T$ ,  $R_{T_{ref}}$  är resistansen vid referenstemperaturen,  $\alpha$  är en konstant som kallas temperaturkoefficienten,  $T$  är ledarens temperatur och  $T_{ref}$  är referenstemperaturen.

Resistiviteten  $\rho$  och temperaturkoefficienten  $\alpha$  för några vanliga metaller.

Metall	Resistivitet vid 20°C ( $10^{-6} \Omega m$ )	Temp- koeff ( $10^{-3}/^\circ C$ )
Aluminium	0,027	4,3
Guld	0,022	4,0
Järn	0,105	6,6
Koppar	0,0172	3,9
Nickel	0,078	6,7
Silver	0,016	3,8
Konstantan	0,50	$\pm 0,03$
Mässing (tryck-)	0,065	1,5
Stål (0,85% C)	0,18	—

Resistansen medför en effektförlust som höjer ledarens temperatur. För att välja lämplig ledardimension med hänsyn till temperaturhöjningen kan man använda begreppet strömtäthet ( $S$ ), ström/ledararea. För vanlig koppartråd gäller att korta och/eller fritt förlagda ledare kan belastas med 6–10 A/mm<sup>2</sup>. I större transformatorer i elektronikutrustningar är 2,5 A/mm<sup>2</sup> ett vanligt värde, i mindre transformatorer 3–3,5 A/mm<sup>2</sup>. För att räkna ut vilken diameter som svarar mot en viss strömtäthet och strömstyrka kan du använda formeln:

$$d = 1,13 \sqrt{I/S}$$

där  $d$  är diametern,  $I$  är strömstyrkan och  $S$  är strömtätheten.

I tabellen *Data över koppartråd* som följer, finns strömmen för olika tråddiametrar angiven då  $S = 3$  A/mm<sup>2</sup>.

Vid höga frekvenser rör sig elektronerna i huvudsak vid ledarens ytor (skin-effekten). På VHF och UHF använder man därför ofta tråd med bättre ledningsförmåga i periferin (t.ex. försilvrad tråd) eller tråd med större yta i förhållande till sin grovlek (s.k. litztråd som består av ett stort antal individuellt isolerade ledare).

Ledare måste *isolas* med ett lämpligt material så att de kan ligga mot varandra, mot jordade metallföremål eller mot andra spänningsförande ledare. Det i särklass vanligaste isoleringsmaterialet är polyvinylklorid (PVC). Vanliga är också gummi eller EP-gummi samt plaster som polyeten (PE), polypropylen (PP), polyuretan (PUR), polyamid (nylon), polytetrafluoreten (PTFE, av Du Pont kallat Teflon), FEP (Teflon FEP), silikongummi och neopren.

I transformatorer, drosslar av olika slag, reläer m.m. används lackad (emaljerad) tråd. Sådan finns i olika temperaturklasser. Ofta är det bekvämt att använda direkt lödbar tråd, men i t.ex. transformatorer och dragmagnetar, som utvecklar hög värme, önskar man värmetåligare tråd där lacken därför måste skrapas bort.

I **koaxialkablar** används vanligen massiv polyeten eller skumpolyeten mellan innerledaren och skärmen, medan ytterhöljet består av PVC. I miniatyrkablar och i speciella lågförlustkablar används PTFE mellan inner- och ytterledare.

Koaxialkabelns skärmade uppbyggnad och definierade och standardiserade karaktäristiska impedans gör den speciellt lämplig vid högfrekvenstillämpningar. Skärmen skyddar mot elektromagnetiska högfrekvensfält. Vid lägre frekvenser ger den endast en elektrostatisk skärmning.

För att undvika magnetiskt inducerade störningar är en **tvinnad kabel** lämpligare. Speciella audiokablar har tvinnade ledare med en omgivande skärm. Innanför skärmstrumpan finns ibland en folie som ger extra skärmning. Alternativt är kabeln dubbelskärmad. Det finns också mångpolig kabel med parvis skärmade ledare.

**FIBEROPTIK** kan överföra ljuset från en lysdiod eller laser till en fotodetektor. Principen för en optisk fiberkabel är att inkommande stråle, med liten vinkel i förhållande till kabelns riktning, totalreflekteras mot kärnans vägg eftersom kärnan har högre brytningsindex än den omgivande manteln.

Glasfiberkablar kan ge mycket låg dämpning, bara någon dB per km. Dämpningen i plastfiber är avsevärt högre, men plastfiber är ett billigt alternativ som är användbart vid korta överföringssträckor, < 100 m, t.ex. inom en fabriksbyggnad. Plastfiber är billig och enkel att montera till skillnad från glasfiber som kräver speciella kontakter och ett omständligt monteringsförfarande. En plastfiber har typiskt en kärna med 1 mm diameter medan fiberkabeln kan ha en kärndiameter ned till 5–10 µm. Se *Faktasida Fiberoptiska ledningar*.

### Kabelbeteckningar

Många olika system för kabelbeteckningar har utvecklats. Några av de vanligast förekommande presenteras här.

**CENELEC** är en europeisk organisation vars uppgift är att underlätta handelsutbytet mellan berörda länder genom att så långt som möjligt eliminera sådana tekniska hinder som beror på skillnader i nationella elföreskrifter och normer. En kabel som är konstruerad och provad enligt ett harmoniseringsdokument, HD, måste vara försedd med HAR-märkning och ursprungsmärkning.

**SEK** (Svenska Elektriska Kommissionen) är en förening med intressenter från svenskt näringsliv och offentlig förvaltning med uppgift att tillvarata svenska intressen inom standardiseringen på elområdet. SEK är svensk nationalkommitté av International Electrotechnical Commission (IEC) och CENELEC.

### Svenska beteckningar

*Kraftkablar, styrkablar och installationskablar* enligt svensk standard (SS) typbetecknas enligt två olika system:

- Enligt den föreliggande standarden SS 424 17 02, utgåva 3, som helt motsvarar beteckningssystemet enligt CENELEC HD 361 S3, System for cable designation, och som tillämpas på kablar som omfattas av europeiska standarder (EN eller HD) som fastställts av CENELEC
- Enligt SS 424 17 01, utgåva 4, som innehåller ett i Sverige länge använt beteckningssystem och som tillämpas på nationella kabeltyper som inte omfattas av europeiska standarder (EN eller HD) som fastställts av CENELEC.

På kablar för teletekniska anläggningar används typbeteckningar enligt SS 424 16 75.

Exempel:

#### Nätkabel

RDOE Oljebeständig (kloropren-gummi) gummikabel  
REV Gummikabel för inomhusbruk  
RKK Rund plastisolerad kabel  
SKX Oval plastisolerad kabel

#### Svagströmskabel

EKKX Enkeltrådig PVC-isolerad telekabel  
RKUB Extra mångtrådig kopplingsledning för fordon

### Tyska beteckningar

LiYCY är en mycket vanligt förekommande kabel som följer en tysk beteckningsnorm.

J Installationskabel  
S Signalkabel  
Li Flerkardelig ledare  
C Flätad kopparskärm  
(L) Aluminiumfolieskärm  
Isolering och mantelmateriäl  
Y PVC  
2Y PE  
5Y PTFE  
11Y PUR  
2G Silikongummi  
5G Kloropren-gummi

LiYCY betyder alltså Flerkardelig, PVC-isolerad, skärmad, PVC-mantlad kabel.

**Kraftkablar och installationskablar  
– typbeteckningar enligt CENELEC****Beteckningens uppbyggnad**

Exempel:	H	05	V	V	–	F	3	G	1,5							
Tabell:	1	2	3	4	5	6	–	7	8	9	10	11	+	9	10	11

**Tabell 1 – Typ av standard**

Symbol	Betydelse
H	Kabel som överensstämmer med av CENELEC fastställd standard
A	Av CENELEC accepterad nationell standard som kompletterar av CENELEC fastställd standard.

**Tabell 2 – Märkspänning**

Symbol	Betydelse
01	100/100 V
03	300/300 V
05	300/500 V
07	450/750 V

**Tabell 3 – Isolering**

Symbol	Betydelse
B	Etenpropengummi (EPR) för 90°C arbetstemperatur
G	Etenvinylacetat (EVA)
J	Glasfiberfläta
M	Mineraliskt material
N	Kloroprenummi (CR) eller likvärdigt material
N2	Speciell kloroprenkomponent för svetskablar enligt HD 22.6
N4	Klorosulfonerad polyeten (CSM) eller klorinerad polyeten
N8	Speciell vattentät polykloroprenummi
Q	Polyuretan (PUR)
Q4	Polyamid
R	Etenpropengummi (normalt) eller motsvarande syntetisk elastomer för 60°C arbetstemperatur.
S	Silikonummi
T	Textilfläta, impregnerad eller oimpregnerad
T6	Textilfläta, impregnerad eller oimpregnerad, över varje part i flerledarkablar
V	Polyvinylklorid (PVC) (normal)
V2	PVC för högst 90°C arbetstemperatur
V3	PVC för kablar installerade vid låg temperatur
V4	Tvårbunden PVC
V5	Oljeresistent PVC
Z	Polyolefinbaserad tvårbunden komponent med liten emission av korrosiva gaser, lämplig för kablar med låg rökavgivning vid brand
Z1	Polyolefinbaserad termoplast-komponent med liten emission av korrosiva gaser, lämplig för kablar med låg rökavgivning vid brand

**Tabell 4 – Metallmantlar, koncentrisk ledare, skärmar**

Symbol	Betydelse
C	Koncentrisk kopparledare
C4	Skärm av koppar, utförd som fläta över kablade parter

**Tabell 5 – Icke-metalliska mantlar**

Se innehållet i Tabell 3.

**Tabell 6 – Speciella konstruktioner och speciellt utförande**

Symbol	Betydelse
D3	Draghållfast konstruktion bestående av en eller flera komponenter av textila material eller metall placerade i centrum av rund kabel eller fördelade inom flat kabel
D5	Utfyllnad (ej draghållfast) i kabelcentrum (endast för hisskablar)
(ingen)	Kabel med cirkulärt tvärsnitt
H	Flat, delbar kabel, mantlad eller omantlad
H2	Flat, odelbar kabel
H6	Flat kabel med 3 eller fler ledare, enligt HD 359 eller EN 50214
H7	Kabel med dubbelt lager extruderad isolering
H8	Spiraliserad ledning

**Tabell 7 – Ledarmaterial**

Symbol	Betydelse
(ingen)	Koppar
-A	Aluminium

**Tabell 8 – Ledarform**

Symbol	Betydelse
-D	Mångtrådig ledare för användning i svetskabel enligt HD 22 Part 6 (annan böjlighet än enligt HD 383, Class 5)
-E	Fintrådig ledare för användning i svetskabel enligt HD 22 Part 6 (annan böjlighet än enligt HD 383, Class 6)
-F	Mångtrådig ledare för anslutningskabel (böjlighet enligt HD 383, Class 5)
-H	Fintrådig ledare för anslutningskabel (böjlighet enligt HD 383, Class 6)
-K	Mångtrådig ledare för kabel för fast installation (om inte annat anges, böjlighet enligt HD 383, Class 5)
-R	Fåtrådig, rund ledare
-U	Massiv, rund ledare
-Y	Spinnsledare

**Tabell 9 – Ledarantal**

Symbol	Betydelse
(tal)	Antal ledare

**Tabell 10 – Skyddsledare**

Symbol	Betydelse
X	Grön/gul skyddsledare saknas
G	Grön/gul skyddsledare ingår

**Tabell 11 – Ledararea**

Symbol	Betydelse
(tal)	Nominell ledararea (i mm <sup>2</sup> )
/	Avgränsningstecken före ett tal som betecknar arean (i mm <sup>2</sup> ) för koncentrisk ledare
Y	Spinnsledare, utan angivande av ledararean

Publicering med tillstånd av Svenska Elektriska Komissionen, SEK.

**Kraft-, styr- och installationskablar – typbeteckningar enligt svensk standard SS 424 17 01****Första bokstaven – Ledare**

A	Aluminium
B	Aluminiumlegering
E	Koppar, entrådig (klass 1)
F	Koppar, fåtrådig (klass 2)
J	Ståltråd
R	Koppar, mångtrådig (klass 5)
S	Koppar, fintrådig (klass 6)

**Andra bokstaven – Isolering**

B	Flamskyddad termoplastisk polyolefin (halogenfri, låg rök)
C	Impregnerat papper
D	Gummi med yttre gummimantel
E	Etenpropengummi
H	Silikonummi
I	Uretanplast
K	PVC
L	Polyeten (PE)
O	Kloroprenummi
Q	Flamskyddad termoplastisk polyolefin (halogenfri, låg rök)
T	Fluorplast
V	Gummi utan yttremantel
X	Tvårbunden polyeten (PEX)
Z	Flamskyddad tvårbunden polyolefin (halogenfri, låg rök)

**Tredje bokstaven – Mantel eller annan konstruktionsdetalj**

A	Skärm av aluminiumfolie
B	Flamskyddad termoplastisk polyolefin (halogenfri, låg rök)
C	Koncentrisk koppartråd
F	Fläta av koppartråd
I	Mantel av uretanplast
J	Armering av stålband
K	PVC
L	Skärm av plastbelagt aluminiumband
O	Kloroprenummi
P	Armering av förzinkat stålband
Q	Flamskyddad termoplastisk polyolefin (halogenfri, låg rök)
R	Armering av plastbelagt aluminiumband
T	Armering av ståltråd
U	Saknar yttre mantel
V	Etenpropengummi
X	PVC, ovals tvärsnitt
Z	Flamskyddad tvårbunden polyolefin (halogenfri, låg rök)

**Fjärde bokstaven – Konstruktionsdetalj eller användning**

B	Förbindningstråd
E	Förstärkt utförande
F	Fläta av koppar eller ståltråd
H	Hisskabel
J	Förläggning i mark
K	PVC
P	Armering av förzinkat stålband
R	Styrkabel
S	Självbärande
T	Tung anslutningskabel
V	Förläggning i vatten
Z	Kabel för neonanläggning

**Femte bokstaven – Konstruktionsdetalj eller användning**

E	Förstärkt utförande
K	PVC
L	PE

Publicering med tillstånd av Svenska Elektriska Komissionen, SEK.

**Telekablar – typbeteckningar enligt svensk standard SS 424 16 75****Första bokstaven – Optisk eller elektrisk ledare**

A Aluminium, obelagd  
 B Aluminiumlegering  
 C Brons  
 D Glas/plast, fiber  
 E Koppar, entrådig  
 F Koppar, fåtrådig  
 G Glas/glas, fiber  
 H Fiberknippe  
 J Kopparklädd ståltråd  
 K Koaxialpar (koaxialtub)  
 L Ledande plast  
 M Koppar, mångtrådig  
 P Plast/plast, fiber  
 R Koppar, extra mångtrådig  
 S Koppar, fintrådig  
 T Koppar, extra fintrådig  
 Z Spinnsledare

**Andra bokstaven – Ledarisolering eller sekundärskydd**

A Akrylatbelagt fiberband  
 C Kombinerad cell- och homogen polyolefin  
 I Termoplastisk polyuretanelastomer (TPU)  
 J Fiber utan sekundärskydd  
 K PVC  
 L Polyeten (PE)  
 M PP  
 N PA  
 O Termoplastisk elastomer  
 P Papper, oimpregnerat  
 Q Halogenfritt, flamskyddat material  
 R Polyester  
 S Spårkåma  
 T Fluoretenplast PTFE, FEP m.fl.  
 U Cellpolyolefin

**Tredje bokstaven – Hölje eller annan konstruktionsdetalj**

A Skärm av aluminiumband  
 B Blymantel  
 C Kombinerad cell- och homogen polyolefin  
 D Kabel av endast dielektriskt material  
 E Individuellt skärmade parter eller tvinnggrupper  
 F Metalltrådsfläta, metalltrådsomspinning eller dragavlastare i metall  
 G Metallfri förstärkning av fläta, omspinning eller dragavlastare  
 H Parter lagda kring en dragavlastare  
 I Termoplastisk polyuretanelastomer (TPU)  
 J Armering av stålband  
 K PVC  
 L Polyeten (PE)  
 M Metallmantel, orillad  
 N PA  
 O Termoplastisk elastomer  
 P Armering av förzinkade stålband  
 Q Halogenfritt, flamskyddat material  
 R Polyester  
 S Spårkåma  
 T Armering av förzinkad ståltråd  
 U Utan hölje  
 W Metallmantel, rillad  
 X Ovalt tvärsnitt  
 Z Skärm av kopparband

**Fjärde bokstaven – Konstruktionsdetalj eller egenskap**

A Skärm av aluminiumband  
 B Förbindningstråd  
 C Kabel med i manteln ingjuten bärlina  
 D Kabel av endast dielektriskt material  
 E Förstärkt utförande eller lågkapacitanskablar  
 F Metalltrådsfläta, metalltrådsomspinning eller dragavlastare i metall  
 G Metallfri förstärkning av fläta, omspinning eller dragavlastare  
 H Parter lagda kring en dragavlastare  
 I Termoplastisk polyuretanelastomer (TPU)  
 J Armering av stålband  
 K PVC  
 L Polyeten (PE)  
 M Metallmantel, orillad  
 N PA  
 O Termoplastisk elastomer  
 P Armering av förzinkade stålband  
 Q Halogenfritt, flamskyddat material  
 R Signalkabel  
 S Självbärande kabel  
 T Armering av förzinkad ståltråd  
 U Brandhårdig kabel  
 W Metallmantel, rillad  
 X Icke väderbeständig kabel  
 Y Väderbeständig kabel  
 Z Skärm av kopparband

**Femte bokstaven – Konstruktionsdetalj eller egenskap**

B Halogenfri flamskyddad kabel  
 C Kabel med i manteln ingjuten bärlina  
 D Kabel av endast dielektriskt material  
 E Förstärkt utförande eller lågkapacitanskablar  
 F Metalltrådsfläta, metalltrådsomspinning eller dragavlastare i metall  
 G Metallfri förstärkning av fläta, omspinning eller dragavlastare  
 H Parter lagda kring en dragavlastare  
 I Termoplastisk polyuretanelastomer (TPU)  
 J Armering av stålband  
 K PVC  
 L Polyeten (PE)  
 N PA  
 P Armering av förzinkade stålband  
 Q Halogenfritt, flamskyddat material  
 R Signalkabel  
 T Armering av förzinkad ståltråd  
 U Brandhårdig kabel  
 V Vattenblockering  
 W Metallmantel, rillad  
 X Icke väderbeständig kabel  
 Y Väderbeständig kabel

**Efterföljande bokstäver anger egenskaper och är angivna i bokstavsordning.**

B Halogenfri, flamskyddad kabel  
 C Kabel med i manteln ingjuten bärlina  
 D Kabel bestående av endast dielektriskt material  
 E Förstärkt utförande eller lågkapacitanskablar  
 H Parter lagda kring dragavlastare  
 S Självbärande kabel  
 U Brandhårdig kabel  
 V Vattenblockering  
 X Icke väderbeständig kabel  
 Y Väderbeständig kabel

**Publicering med tillstånd av Svenska Elektriska Komissionen, SEK.****Färgmärkning och numrering****Svensk telekabelstandard, t.ex. EKKX**

Par nr	Ledarparets färger	Par nr	Ledarparets färger	Par nr	Ledarparets färger	Par nr	Ledarparets färger
1	Vit – Blå	6	Röd – Blå	11	Svart – Blå	16	Gul – Blå
2	Vit – Orange	7	Röd – Orange	12	Svart – Orange	17	Gul – Orange
3	Vit – Grön	8	Röd – Grön	13	Svart – Grön	18	Gul – Grön
4	Vit – Brun	9	Röd – Brun	14	Svart – Brun	19	Gul – Brun
5	Vit – Grå	10	Röd – Grå	15	Svart – Grå	20	Gul – Grå

**Starkströmskabel 450/750 V**

Ledare	Färgkod
2	Ljusblå, brun
3	Gul/grön, brun, ljusblå
4	Gul/grön, brun, ljusblå, svart
5	Gul/grön, svart, brun, ljusblå, grå

**DEF STAN 61-12 (Engelsk försvarsstandard)****Kablar med upp till 25 ledare**

Nr	Färg	Nr	Färg	Nr	Färg
1	Röd	10	Rosa	19	Gul/blå
2	Blå	11	Turkos	20	Vit/blå
3	Grön	12	Grå	21	Blå/svart
4	Gul	13	Röd/blå	22	Orange/blå
5	Vit	14	Grön/röd	23	Gul/grön
6	Svart	15	Gul/röd	24	Vit/grön
7	Brun	16	Vit/röd	25	Orange/grön
8	Violett	17	Röd/svart		
9	Orange	18	Röd/brun		

**Kablar med 26 till 36 ledare**

Nr	Färg	Nr	Färg	Nr	Färg	Nr	Färg
1	Röd	10	Rosa	19	Gul/blå	28	Orange/grön
2	Blå	11	Turkos	20	Vit/blå	29	Grå/grön
3	Grön	12	Grå	21	Blå/svart	30	Gul/brun
4	Gul	13	Röd/blå	22	Orange/blå	31	Vit/brun
5	Vit	14	Grön/röd	23	Grön/blå	32	Brun/svart
6	Svart	15	Gul/röd	24	Grå/blå	33	Grå/brun
7	Brun	16	Vit/röd	25	Gul/grön	34	Gul/violett
8	Violett	17	Röd/svart	26	Vit/grön	35	Violett/svart
9	Orange	18	Röd/brun	27	Grön/svart	36	Vit/violett

## DIN 47100 (partvinnad samt mångledare)

Par nr	Ledare nr	Färg	Par nr	Ledare nr	Färg	Par nr	Ledare nr	Färg
1	1	Vit	9	17	Vit/grå	17	33	Grön/röd
1	2	Brun	9	18	Grå/brun	17	34	Gul/röd
2	3	Grön	10	19	Vit/rosa	18	35	Grön/svart
2	4	Gul	10	20	Rosa/brun	18	36	Gul/svart
3	5	Grå	11	21	Vit/blå	19	37	Grå/blå
3	6	Rosa	11	22	Brun/blå	19	38	Rosa/blå
4	7	Blå	12	23	Vit/röd	20	39	Grå/röd
4	8	Röd	12	24	Brun/röd	20	40	Rosa/röd
5	9	Svart	13	25	Vit/svart	21	41	Grå/svart
5	10	Violett	13	26	Brun/svart	21	42	Rosa/svart
6	11	Grå/rosa	14	27	Grå/grön	22	43	Blå/svart
6	12	Blå/röd	14	28	Grå/grön	22	44	Röd/svart
7	13	Vit/grön	15	29	Rosa/grön			
7	14	Brun/grön	15	30	Gul/rosa			
8	15	Vit/gul	16	31	Grön/blå			
8	16	Gul/brun	16	32	Gul/blå			

## Data över koppartråd

Diam Blank mm	Diam Emalj mm	Area mm <sup>2</sup>	AWG-nr	Resistans vid 20 °C Ω/km	Ström vid 3 A/mm <sup>2</sup> mA	Längd m/100 g	Vikt 100 g/km
0,04	0,05	0,0013	46	13700	3,8	8200	0,12
0,05	0,06	0,0020	44	8750	6	5400	0,18
0,06	0,07	0,0028	42	6070	9	3800	0,22
0,07	0,08	0,0039	41	4460	12	2800	0,35
0,08	0,09	0,0050	40	3420	15	2100	0,47
0,09	0,11	0,0064	39	2700	19	1700	0,59
0,10	0,12	0,0078	38	2190	24	1400	0,71
0,11	0,13	0,0095	37	1810	28	1100	0,91
0,12	0,14	0,011		1520	33	950	1,00
0,13	0,15	0,013	36	1300	40	820	1,21
0,14	0,16	0,015	35	1120	45	710	1,40
0,15	0,17	0,018		970	54	620	1,60
0,16	0,18	0,020	34	844	60	560	1,80
0,17	0,19	0,023		757	68	490	2,05
0,18	0,20	0,026	33	676	75	440	2,25
0,19	0,21	0,028		605	85	390	2,55
0,20	0,22	0,031	32	547	93	360	2,77
0,25	0,27	0,049	30	351	147	230	4,35
0,30	0,33	0,071	29	243	212	160	6,25
0,35	0,38	0,096	27	178	288	120	8,35
0,40	0,43	0,13	26	137	378	90	11,15
0,45	0,48	0,16	25	108	477	70	14,10
0,50	0,53	0,20	24	87,5	588	57	17,50
0,55	0,58	0,24		72,3	715	47	21,01
0,60	0,64	0,28		60,7	850	40	25,0
0,65	0,69	0,33	22	51,7	1,0 A	34	29,4
0,70	0,74	0,39		44,6	1,16	29	34,5
0,75	0,79	0,44		38,9	1,32	25	40,0
0,80	0,84	0,50	20	34,1	1,51	22	45,5
0,85	0,89	0,57		30,2	1,70	20	50,0
0,90	0,94	0,64	19	26,9	1,91	18	55,5
0,95	0,99	0,71		24,3	2,12	16	62,5
1,00	1,05	0,78	18	21,9	2,36	14	71,5
1,10	1,15	0,95		18,1	2,85	12	83,5
1,20	1,25	1,1		15,2	3,38	10	100,0
1,30	1,35	1,3	16	13,0	3,97	8,5	118,0
1,40	1,45	1,5		11,2	4,60	7,5	140,0
1,50	1,56	1,8		9,70	5,30	6,4	155,0
1,60	1,66	2,0	14	8,54	6,0	5,5	179,0
1,70	1,76	2,3		7,57	6,7	5,0	200,0
1,80	1,86	2,6	13	6,76	7,6	4,5	225,0
1,90	1,96	2,8		6,05	8,5	4,0	250,0
2,00	2,06	3,1	12	5,47	9,40	3,5	285,5

## AWG-tabell

AWG betyder American Wire Gauge och är ett amerikanskt måttssystem för en ledares grovlek. För varje påföljande steg i AWG-skalan ändras grovleken med en konstant faktor. AWG-systemet uppfanns 1857 av J.R. Brown.

AWG-mått	Ledaruppbyggnad xAWG	Ledaruppbyggnad xdiam (mm)	Ledararea mm <sup>2</sup>	Ledardiam oisolerad (mm)
1	1x1	1x7,35	42,4	7,35
1	259x25	259x0,45	42,1	9,50
1	817x30	817x0,25	41,4	9,70
2	1x2	1x6,54	33,6	6,54
2	133x23	133x0,57	34,4	8,60
2	665x30	665x0,25	33,8	8,60
3	1x3	1x5,83	26,7	5,83
3	133x24	133x0,51	27,2	7,60
4	1x4	1x5,19	21,1	5,19
4	133x25	133x0,45	21,6	6,95

(forts.)

(Forts.)

AWG-mått	Ledaruppbyggnad xAWG	Ledaruppbyggnad xdiam (mm)	Ledararea mm <sup>2</sup>	Ledardiam oisolerad (mm)
5	1x5	1x4,62	16,8	4,62
6	1x6	1x4,11	13,2	4,11
6	133x27	133x0,36	13,6	5,51
7	1x7	1x3,66	10,5	3,67
8	1x3,66	1x3,26	8,37	3,26
8	133x29	133x0,29	8,61	4,38
9	1x9	1x2,91	6,83	2,91
10	1x10	1x2,59	5,26	2,59
10	105x30	105x0,25	5,32	2,85
11	1x11	1x2,30	4,17	2,30
12	1x12	1x2,05	3,31	2,05
12	18x25	18x0,45	3,09	2,24
12	37x28	37x0,32	2,99	2,31
13	1x13	1x1,83	2,70	1,83
14	1x14	1x1,63	2,08	1,63
14	18x27	18x0,36	1,94	1,76
14	41x30	41x0,25	2,08	1,83
15	1x15	1x1,45	1,65	1,45
16	1x16	1x1,29	1,31	1,29
16	18x29	18x0,29	1,23	1,40
16	28x30	28x0,25	1,32	1,47
17	1x17	1x1,15	1,04	1,15
18	1x18	1x1,03	0,824	1,03
18	7x26	7x0,40	0,897	1,03
18	19x30	19x0,25	0,963	1,02
19	1x19	1x0,91	0,653	0,91
20	1x20	1x0,81	0,519	0,81
20	7x28	7x0,32	0,563	1,01
20	10x30	10x0,25	0,507	0,97
21	1x21	1x0,72	0,412	0,72
22	1x22	1x0,64	0,325	0,64
22	7x30	7x0,25	0,355	0,80
22	19x34	19x0,16	0,382	0,78
23	1x23	1x0,57	0,259	0,57
24	1x24	1x0,51	0,205	0,51
24	7x32	7x0,20	0,227	0,64
24	19x36	19x0,13	0,241	0,62
25	1x25	1x0,45	0,163	0,45
26	1x26	1x0,40	0,128	0,40
26	7x34	7x0,16	0,140	0,50
26	19x38	19x0,10	0,154	0,50
27	1x27	1x0,36	0,102	0,36
28	1x28	1x0,32	0,080	0,32
28	7x36	7x0,13	0,089	0,40
28	19x40	19x0,08	0,092	0,39
29	1x29	1x0,29	0,065	0,29
30	1x30	1x0,25	0,051	0,25
30	7x38	7x0,10	0,057	0,33
30	19x42	19x0,06	0,057	0,36
31	1x31	1x0,23	0,040	0,23
32	1x32	1x0,20	0,032	0,20
32	7x40	7x0,08	0,034	0,26
33	1x33	1x0,18	0,025	0,18
34	1x34	1x0,16	0,020	0,16
34	7x42	7x0,06	0,022	0,21
35	1x35	1x0,14	0,016	0,14
36	1x36	1x0,13	0,013	0,13
37	1x37	1x0,11	0,010	0,11
38	1x38	1x0,10	0,009	0,10
39	1x39	1x0,09	0,006	0,09
40	1x40	1x0,08	0,005	0,08
41	1x41	1x0,07	0,004	0,07
42	1x42	1x0,06	0,003	0,06

## Spolar och drosslar

Induktiva komponenter förekommer som spolar och drosslar för frekvensselektiva ändamål. En spole som huvudsakligen används för att undertrycka växelspanningar kallas ofta för drossel.

Spolar och drosslar består som regel av ett antal varv koppartråd lindat tätt ihop, med eller utan någon form av kärna. De tillverkas i olika utförande med induktanser från några få nH upp till ett tiotal H (henry).

Induktans är den egenskapen hos en spole som motverkar alla förändringar i strömmen som går genom den. Detta genom en motriktad spänning som uppstår i spolen, kallad mot-emk (elektromotorisk kraft). En spole med induktansen 1 H, har en mot-emk på 1 V då strömmen genom den förändras sig med hastigheten 1 A/s (1 H = 1 Vs/A).

### Användningsområden

Några användningsområden för spolar och drosslar är bl.a.:

**Avstämda filter** (svängningskretsar). För att selektera ut eller blockera vissa frekvenser. Här eftersträvar man spolar med högt Q-värde och med bra stabilitet. Spolarna är ofta luftlindade eller med kärna av järnpulver eller ferrit, då ofta med ett luftgap. Toroider och trimbara spolburkar med eller utan skärmning är vanliga.

**RFI-filter.** För att dämpa oönskade högfrekventa signaler (störningar). Spolen ska ha hög impedans över ett stort frekvensområde (lågt Q-värde). Ferritkärnor är lämpliga till detta. Är strömmen låg används ofta toroidkärnor som har en sluten magnetisk krets och litet störfält. Vid högre strömmar inför man ett luftgap eller använder en kärna med öppen magnetisk krets som t.ex. en ferritstav.

**Likströmsfiltrering och lagring av energi.** I t.ex. switchande nätaggregat som drossel för att filtrera bort högfrekvent rippel och i DC/DC omvandlare som energilagringsdrossel. Här är det viktigt att drosseln klarar hög likström utan att kärnmaterialet mättas (hög mättnadsflödestäthet). Järnpulver är det vanligaste valet av kärnmateriale för dessa applikationer.

### Spolens impedans

Spolar har ett frekvensberoende motstånd kallad reaktans, och ett likspänningsmotstånd, som är resistansen i tråden. Den *induktiva reaktansen* ( $X_L$ ) beräknas ur formeln

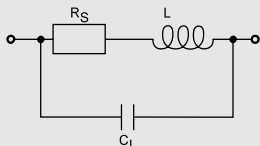
$$X_L = \omega L$$

där  $\omega$  = vinkelfrekvensen ( $2 \times \pi \times f$ ) i rad/s,  $f$  = frekvensen i Hz och  $L$  = induktansen i henry.

Impedansen ( $Z$ ) hos spolen vid en viss frekvens är kombinationen av reaktans och resistans:

$$Z = \sqrt{X_L^2 + R^2}$$

För att lättare förstå spolen som komponent, kan vi använda oss av ett förenklat ekvivalent schema, se figur.



*Spolens ekvivalenta schema.*  $L$  = induktansen,  $R_S$  = serieresistansen (resistansen i tråden + övriga förluster i tråd och kärna),  $C_L$  = egenkapacitansen i spolen, t.ex. kapacitans mellan trådvarv (kallas även läck-, parasit- eller strökapacitans).

**Q-värdet** (Q från Quality), eller spolens godhetstal, är kvoten mellan spolens reaktans och serieresistans. Lägre resistans ger högre Q-värde och brantare filter.

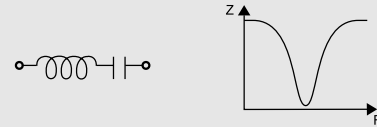
$$Q = X_L / R_S$$

### Resonans

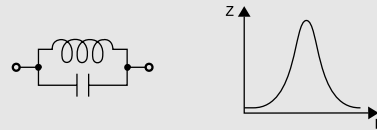
Tillsammans med en kondensator bildar en spole en svängningskrets. Denna krets har en resonansfrekvens, d.v.s. en frekvens där reaktansen för spolen och kondensatorn är lika stora. Vid denna frekvens är den sammanlagda impedansen som lägst om de är seriekopplade, och som högst vid parallellkoppling. Formeln för *resonansfrekvensen* är:

$$f = 1 / (2\pi \times \sqrt{LC})$$

Frekvensen fås i Hz om  $L$  anges i H och  $C$  i F. Om  $L$  och  $C$  anges i  $\mu H$  respektive  $\mu F$  får man frekvensen i MHz.



Serieresonanskrets.



Parallellresonanskrets.

Egenkapacitansen ( $C_L$ ) i spolen bildar en svängningskrets med induktansen. Dess resonansfrekvens kallas *självresonansfrekvens* (SRF). Egenkapacitansen kan ställa till problem vid höga frekvenser om man inte tar den i beaktande. Testfrekvensen för Q-värde bör vara högst en tiondel av självresonansfrekvensen.

### Beräkningar på spolar utan kärna

Energin som finns lagrad i en drossel kan vara av intresse. Den kan räknas ut med formeln:

$$W = 1/2 L \times I^2$$

där  $W$  = energin (i joule),  $L$  = spolens induktans (i henry) och  $I$  = strömmen (i ampere) genom spolen.

Innan vi går in på beräkningen av en spole ska vi konstatera att även en rak tråd ger upphov till en induktans. Det är något som man bör se upp med i HF sammanhang. Det gäller alltså att ha så korta ledningar som möjligt, t.ex. i serie med en avkopplingskondensator, annars skulle en svängningskrets kunna uppstå.

Formeln för *induktansen i en tråd* är:

$$L = 0,002 s (\ln (4 s/d) - x)$$

Med trådens längd ( $s$ ) och diameter ( $d$ ) angivna i cm blir induktansen angiven i  $\mu H$ . Faktorn  $x$  beror på frekvens och form. En rak tråd och en hög frekvens ger  $x = 1$ , låg frekvens ger  $x = 0,75$ . Om tråden böjs blir induktansen lägre. En cirkel med 1 varv ger  $x = 2,45$  vid höga och 2,20 vid låga frekvenser, en kvadrat 2,85 respektive 2,60.

Om man vill öka induktansen kan man omge ledaren med ett magnetiskt material, t.ex. en ferritpärla, eller linda flera varv av tråden i spiral. I det senare fallet är tråden böjd men effekten av samverkan är stor. Spolens induktans ökas proportionellt med kvadraten på antalet varv i spolen.

För en *enkellagrig, luftlindad spole* kan induktansen beräknas enligt formeln:

$$L = (0,08d^2n^2) / (3d + 9s)$$

där spolens längd ( $s$ ) och diameter ( $d$ ) anges i cm.  $n$  är antalet varv. Spolens induktans fås i  $\mu H$ . Högsta Q-värdet får man om spolens längd är mellan 2 och 2,5 gånger större än spolens diameter. Spolens diameter bör vara större än 5 gånger trådens diameter.

En *kort flerlagrig, luftlindad spole* beräknas med formeln:

$$L = (0,08d^2n^2) / (3d + 9s + 10a)$$

där  $d$  = medeldiametern och  $a$  = radiella tjockleken på lindningen, allt i cm. Induktansen fås i  $\mu H$ .

För en *tryckt spole* som etsas fram på ett kretskortslaminat, med folietjockleken 35  $\mu m$ , beräknas induktansen med följande formel:

$$L = nD_m (nK_1 + K_2)$$

där  $L$  = induktansen i  $\mu H$ ,  $n$  = varvantalet och  $D_m$  = medeldiametern hos spolen i cm.  $K_1$  och  $K_2$  är konstanter som beror av formen på spolen. Se figur nedan för beräkning av  $D_m$ ,  $K_1$  och  $K_2$ .

Exempel: Beräkna induktansen för en tryckt spiralformig spole med  $d_1 = d_2 = 0,5$  mm, folietjocklek 35  $\mu m$ , 14 varv och  $d = 10$  mm.

Av figur nedan framgår:

$$c = n (d_1 + d_2) = 14 (0,5 + 0,5) \text{ mm} = 1,4 \text{ cm}$$

$$D_m = c + d = 1,4 + 1,0 \text{ cm} = 2,4 \text{ cm}$$

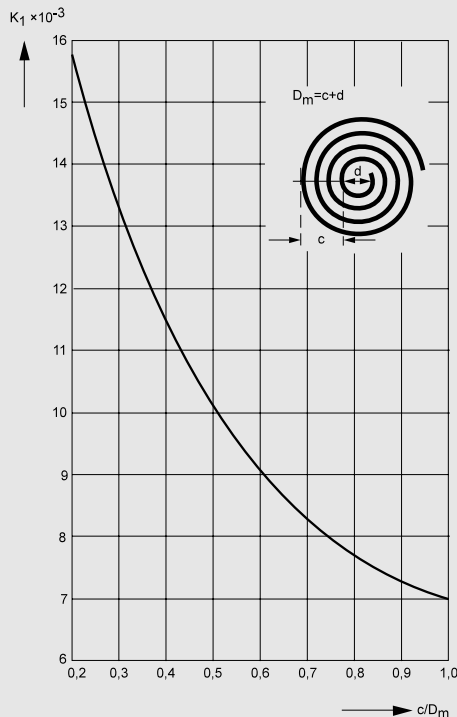
$$c/D_m = 1,4/2,4 = 0,58 \text{ vilket ger } K_1 = 9,2 \times 10^{-3}$$

$$(d_1 + d_2) / d_1 = (0,5 + 0,5)/0,5 = 2 \text{ vilket ger } K_2 = 3,5 \times 10^{-3}$$

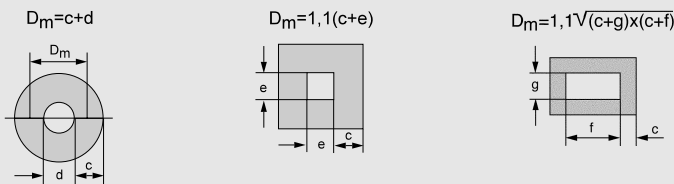
Härav erhålles:

$$L = nD_m (nK_1 + K_2) = 14 \times 2,4 (14 \times 9,2 \times 10^{-3} + 3,5 \times 10^{-3}) \mu H = 4,45 \mu H$$

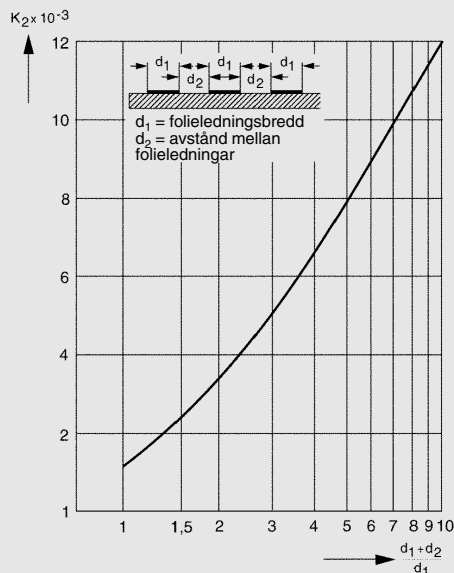
## Beräkning av $K_1$ för tryckta spolar.



## Beräkning av $D_m$ för tryckta spolar.



## Beräkning av $K_2$ för tryckta spolar.



## Spolar med kärna

För att höja induktansen kan man, som tidigare nämnts, tillföra en kärna och/eller ett hölje av ett ferromagnetiskt material. De vanligaste materialen är ferriter och järnpulver. Dessa kallas för magnetiskt mjuka material, d.v.s. de tappas det mesta av det magnetiska flödet när fältstyrkan tas bort. Motsatsen, magnetisk hårdhet, uppvisar permanentmagneter.

Ferrit är ett sintrat keramiskt, mikrokristallint kubiskt material, och består av järnoxid ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) och en metallblandning. Vanligaste kombinationerna är mangan/zink (MnZn) och nickel/zink (NiZn).

MnZn ferriter har högsta permeabilitet ( $\mu_i$ ) och mättnadsflödestäthet ( $B_s$ ), medan NiZn ferriterna har högre resistivitet (lägre förluster) och lämpar sig bäst för frekvenser över 1 MHz.

Ferrit har fördelar som mycket hög permeabilitet ( $\mu_i$  100–10 000), låga förluster och hög frekvenstålighet, men har låg mättnadsflödestäthet ( $B_s < 0.5 \text{ T}$ ). Detta innebär att ferrit mycket lätt går i mättnad och försiktighet måste iaktas när man har höga likströmmar. Ett sätt att klara problemet är att använda en ferritkärna med öppen magnetisk krets, t.ex. en stav, eller införa ett luftgap någonstans i kretsen.

Ferritkärnor används i HF-induktanser, RFI-filter och i effektransformatorer upp till 1 MHz. De tillverkas som toroider, spolburkar (potcores, RM-kärnor m.m.), C- och E-kärnor (och varianter därav), stavar, gängade stavar, pärlor, block m.m.

Järnpulverkärnor består, som namnet antyder, av pulvriserat järn, där partiklarna är isolerade från varandra t.ex. genom att ytan oxiderats. Sedan bindmedel tillsatts pressas materialet till den form som kärnan ska ha och bakas i ugn.

Den största fördelen med en järnpulverkärna jämfört med ferrit är att den klarar höga strömmar genom tråden, mättnadsflödestätheten ( $B_s$ ) är ca 1,5 T. De är också temperaturstabila, ger bra Q-värden och klarar höga frekvenser. Den stora nackdelen är den låga permeabiliteten ( $\mu_i = 2-90$ ). Det är resultatet av att den mängd små luftgap som finns mellan alla järnpartiklarna sammanlagt blir stort (distribuerat luftgap).

Järnpulverkärnor används främst i drosslar för filtrering av likspänning eller lågfrekvent (50 Hz) växelspanning. De används även som energilagringssdrosslar i t.ex. switchregulatorer, i avstämda filter och i impedansanpassningar vid höga frekvenser. Järnpulverkärnor tillverkas främst som toroider.

Järnkärnor används nästan uteslutande till nättransformatorer, då förlusterna (inducerade virvelströmmar p.g.a. låg resistivitet), trots att man laminarer kärnan, blir så stora att frekvenser över 1 kHz blir opraktiska att hantera.

När man konstruerar spolar med ferromagnetiska kärnor är det nödvändigt att ha viss kännedom om magnetism. Vi börjar därför med lite grundläggande magnetisk teori.

## Magnetiskt fält

När en ström går igenom en spole som är lindad på en kärna uppstår en magnetomotorisk kraft (mmf) som i sin tur ger upphov till ett magnetiskt flöde ( $\Phi$ ) genom kärnan. Storleken på detta flöde beror på kärnans reluktans ( $R_m$ ). Reluktans kan ses som "magnetisk resistans" (i analogi med Ohms lag  $E = I \times R$ ).

$$\text{mmf} = \Phi \times R_m$$

Enheten för mmf är amperevarv ( $\text{N} \times \text{I}$ ), men skrivs A då varv är enhetslöst. Ibland skriver man, trots att det är felaktigt men mer lättförståeligt, At (ampere-turns). Det magnetiska flödet har enheten weber (Wb).

Om man relaterar mmf till den effektiva magnetiska spårlängden ( $l_e$ ) i meter får man magnetisk fältstyrka (H) i A/m (eller At/m).

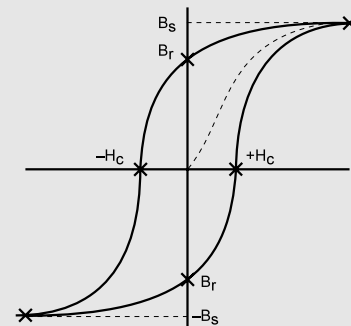
$$H = N \times I / l_e$$

Fältstyrkan är alltså varvtalet gånger strömmen delat med magnetiska spårlängden. Observera att spårlängd inte är lika med kärnans fysiska längd.

Flödestätheten (B) eller induktionen som det även kallas, är flödet ( $\Phi$ ) dividerat med den effektiva magnetiska arean ( $A_e$ ):

$$B = \Phi / A_e$$

Flödestäthet (B) har enheten tesla (T).  $1 \text{ T} = 1 \text{ Wb/m}^2$ .



## Hystereskurva.

Hystereskurvan (B/H-loop) är ett sätt att visa ett materials flödestäthet (B) i förhållande till fältstyrkan (H). I ett ferromagnetiskt material i vilotillstånd är det ett kaos av molekyllära magneter som är slumpvis riktade åt olika håll. Dessa magneter "tar ut" varandra. När ett magnetfält tillförs kommer de molekyllära magneterna att vrida sig och anta samma riktning som magnetflödet, ju högre fältstyrka (H) desto fler. När alla molekylmagneterna blivit riktade åt samma håll är materialet mättat ( $B_s$ ) och högre flödestäthet kan ej uppnås även om man ökar



fältstyrkan (H) ytterligare. När man minskar på fältstyrkan följer inte kurvan sitt gamla spår, då en del molekyilmagneter inte helt återgår till sitt ursprungsläge. När fältstyrkan är noll ( $H = 0$ ) finns det ett visst flöde kvar i materialet. Denna flödestäthet kallas för remanens ( $B_r$ ). För att få flödet tillbaka till noll krävs ett motriktat flöde. Den fältstyrka som behövs för detta kallas koercivkraft ( $H_C$ ) eller koercivitet.

### Permeabilitet

Man kan relatera flödestätheten (B) till fältstyrkan (H):

$$B = \mu \times H$$

Där  $\mu$  är permeabiliteten och kan liknas vid "magnetisk ledningsförmåga" ("konduktivitet"), se även ovan om reluktans. Grafiskt sett är permeabiliteten lutningen på hystereskurvan. Permeabilitet är ett vitt begrepp, och är egentligen  $\mu_0 \times \mu_r$ , där  $\mu_0$  är permeabiliteten i absolut vakuum, och  $\mu_r$  är materialets permeabilitet relativt  $\mu_0$ . Ex  $\mu_r = 100$  betyder att materialets permeabilitet är 100 gånger högre än permeabiliteten i vakuum. Formeln kan alltså skrivas som:

$$B = \mu_0 \times \mu_r \times H$$

Permeabiliteten i vakuum är  $4\pi \times 10^{-7}$  (H/m)

I en sluten magnetisk krets, som en toroid, kallar man  $\mu_r$  för *initieell permeabilitet*  $\mu_i$  (eller toroidpermeabilitet  $\mu_{tor}$ ). Den ger ett korrekt värde endast vid liten flödestäthet ( $B < 0,1$  mT).  $\mu_i$  är oftast den permeabilitet som tillverkarna anger i materialspecifikationerna.

I en magnetisk krets med ett luftgap kallar man  $\mu_r$  för *effektiv permeabilitet*,  $\mu_e$ . Förhållandet mellan  $\mu_e$  och  $\mu_i$  beskrivs med formeln:

$$\mu_e = \mu_i / (1 + (G/l_e \times \mu_i))$$

där  $G$  = Luftgapets längd och  $l_e$  = magnetiska spårlängden.

Då permeabiliteten på ett material inte är linjär i förhållande till B och H (se hystereskurvan) talar man även om andra typer av permeabilitet.

*Amplitudpermeabilitet* ( $\mu_a$ ), som är permeabiliteten då strömmen genom spolen är enbart en växelström. Redan vid några få mT kan avvikelser mot  $\mu_i$  vara stor. Störst är den kring halva mättnadsflödestätheten ( $B_s$ ), där kan den vara 2–3 gånger så stor som  $\mu_i$ . Permeabiliteten varierar alltså beroende på fältstyrkan.

*Reversibel permeabilitet* eller inkremental permeabilitet ( $\mu_\Delta$ ) är när man har en på likström överlagrad växelström t.ex. en filterdrossel i ett nätaggregat. Här varierar permeabiliteten beroende på fältstyrkans storlek. En jämpulverkärna håller permeabiliteten upp i 10 000-tals A/m, medan ferrit redan vid några 100 A/m gått i mättnad och tappat all permeabilitet.

### Magnetiska förluster

När man talar om *komplex permeabilitet* tar man hänsyn till förlusterna i spolen.

För att redogöra för de magnetiska förlusterna lägger man till en resistiv term till permeabiliteten.

$$\mu = \mu_s' - j\mu_s''$$

där  $\mu_s' = \mu_i$  och  $\mu_s'' = \tan\delta \times \mu_i$ . I tillverkarnas datablad kan man ofta läsa ut  $\mu_s'$  och  $\mu_s''$  kontra frekvens direkt ur ett diagram.

De magnetiska förlusterna ( $\tan\delta_m$ ) kan delas upp i tre delar: hysteresförlust ( $\tan\delta_h$ ) som är beroende av flödestätheten (B), virvelströmsförlust ( $\tan\delta_F$ ) som är frekvensberoende och en restförlust ( $\tan\delta_r$ ) som är konstant.

$$\tan\delta_m = \tan\delta_h + \tan\delta_F + \tan\delta_r$$

I databladen kan en förlustfaktor ( $\tan\delta_{\mu_i}$ ) vid en angiven frekvens utläsas.  $\tan\delta_{\mu_i}$  ökar logaritmiskt mot frekvensen. Här tar man hänsyn till virvelströmsförluster och restförluster ( $\tan\delta_F + \tan\delta_r$ ), men ej till hysteresförluster ( $\tan\delta_h$ ). För att visa hysteresförlusten anger man materialets hystereskonstant ( $\eta_B$ ). Från denna konstant kan hysteresförlusten för en viss flödestäthet uträknas.

$$\tan\delta = \eta_B \times B \times \mu_i$$

För en kärna med luftgap kan de magnetiska förlusterna ( $\tan\delta_\mu$ ) multipliceras med kvoten  $\mu/\mu_e$ .

Förutom förluster i kärnan, har man förluster i tråden ( $\tan\delta_w$ ). Trådförlusterna kan även de, delas upp i tre delar: resistiv förlust ( $\tan\delta_R$ ), som är resistansen i tråden, virvelströmsförlust ( $\tan\delta_C$ ), som är frekvensberoende, och dielektriska förluster i isoleringen ( $\tan\delta_d$ ), som kan ses som en serieresistans till egenkapacitansen. De två sistnämnda är förhållandevis små jämfört med den resistiva förlusten (vid måttliga frekvenser).

$$\tan\delta_w = \tan\delta_R + \tan\delta_C + \tan\delta_d$$

### Skin-effekten

Den resistiva förlusten ( $\tan\delta_R$ ) kan räknas som DC-resistansen om frekvensen inte överstiger 50 kHz. Om frekvensen är högre bör man ta hänsyn till den s.k. "skin-effekten", vilken ökar AC-resistansen.

När en ström går genom en ledare bildas ett magnetfält, inte bara runt, utan även inne i ledaren. Detta magnetfält inne i ledaren, som är vinkelrätt mot strömriktningen, inducerar i sin tur en virvelström i ledarens längsriktning. Permeabiliteten hos koppar är låg ( $\mu_r \sim 1$ ), men resistiviteten är också låg, vilket gör att virvelströmmarna vid frekvenser över 50 kHz kan bli betydande. De långsgående virvelströmmarna går mot strömriktningen i centrum av ledaren, och med strömriktningen i ytterkant av ledaren. Detta ger en strömförtätning i ytterkanten av ledaren och minskar därigenom den aktiva arean på ledaren vilket i sin tur ökar resistansen.

Med termen **skin-djup** menar man det djup där strömtätheten är nere på 37 % (1/e). Detta djup är även detsamma som den väggjocklek ett lika långt rör med en DC-resistans motsvarande ledarens AC-resistans skulle ha. Djupet kan räknas ut med formeln

$$\delta = 1/\sqrt{f\mu\rho}$$

där  $\delta$  = skin-djup i meter,  $f$  = frekvensen i Hz,  $\mu$  = permeabiliteten  $\mu_0 \times \mu_r$  och  $\rho$  = konduktiviteten i S/m. För koppar är  $\mu_r = 1$  och  $\rho = 5,8 \times 10^{-7}$  S/m. Resistansen kan sedan räknas ut med

$$R_{AC} = R_{DC} \times A / (2\pi \times r \times \delta) = R_{DC} \times r / (2 \times \delta)$$

där  $R_{AC}$  = AC-resistansen,  $R_{DC}$  = DC-resistansen,  $A$  = trådens area,  $r$  = trådens radie och  $\delta$  = skin-djupet.

Dessutom inducerar en tråd i en spole virvelströmmar i intilliggande trådar, vilket ytterligare ökar AC-resistansen.

Ett sätt att minska effekten av virvelströmmarna är att använda s.k. *litz-tråd* istället för en massiv ledare. Litz-tråd består av ett flertal (3 till 400) isolerade ledare hopbuntade, som hela tiden växlar position inom bunten. Litz-trådens AC-resistans är lika med DC-resistansen.

Resistansen på en kopparledare är ca 30 % högre vid 100°C än vid 25°C.

Om man har en skärm (kopparburk) eller någon komponent med ferromagnetiskt material (t.ex. X7R eller Z5U kondensator) i närheten, uppstår förluster i den ( $\tan\delta_s$ ). Dessa förluster anses oftast vara försumbara.

Totala förlusten i en spole är:

$$\tan\delta = \tan\delta_m + \tan\delta_w + \tan\delta_s$$

Som regel får man bästa Q-värde när trådförlusterna är lika stora som kärnförlusterna.

### Beräkningar på spolar med kärna

För att enkelt kunna räkna på en kärna anger man i databladen *effektiva magnetiska dimensioner* som kallas effektiv spårlängd  $l_e$ , effektiv area  $A_e$  och effektiv volym  $V_e$ . Om kärnan inte är en toroid anges dimensionerna för en toroid med motsvarande egenskaper. Kvoten  $\Sigma l_e/A_e$  kallas för kärnfaktor. I europeiska tillverkares datablad anges ofta  $l_e$ ,  $A_e$  och  $V_e$  i mm ( $\text{mm}^2$ ,  $\text{mm}^3$ ), och i amerikanska cm ( $\text{cm}^2$ ,  $\text{cm}^3$ ).

$$\begin{array}{ll} 1 \text{ mm}^2 = 10^{-6} \text{ m}^2 & 1 \text{ mm}^{-1} = 10^3 \text{ m}^{-1} \\ 1 \text{ cm}^2 = 10^{-4} \text{ m}^2 & 1 \text{ cm}^{-1} = 10^2 \text{ m}^{-1} \\ 1 \text{ mm}^3 = 10^{-9} \text{ m}^3 & \\ 1 \text{ cm}^3 = 10^{-6} \text{ m}^3 & \end{array}$$

För att räkna ut induktansen använder man följande formel:

$$L = \mu_0 \times N^2 / ((1/\mu_r) \times (\Sigma l_e / A_e))$$

som även kan skrivas som:

$$L = N^2 \times \mu_0 \times \mu_r / (\Sigma l_e / A_e)$$

För att förenkla beräkandet bryter man ofta ut permeabiliteterna och kärnfaktorn och anger en *induktansfaktor*  $A_L$ .

$$A_L = \mu_0 \times \mu_r / (\Sigma l_e / A_e)$$

Om man kombinerar dessa två formler får man:

$$L = N^2 \times A_L$$

$A_L$ -värdet anges oftast i nH/N<sup>2</sup>.

Exempel: En spole på 100  $\mu\text{H}$  önskas, och kärnan har ett  $A_L$ -värde på 800 nH/N<sup>2</sup>. Om man bryter ut N ur ovanstående formel får man:

$$N = \sqrt{L / A_L}$$

$$N = \sqrt{(100\,000/800)} \approx 11 \text{ varv}$$

Tänk på att ange L i nH om  $A_L$  är angivet i nH/N<sup>2</sup>.

Ferritstavar används inte bara som antennkärnor utan ofta även som kärnor i HF- och RFI-drosslar. De har en öppen magnetisk krets som gör att man kan ha höga strömmar genom spolen utan att mäta kärnan. Permeabiliteten ( $\mu_{rod}$ ) är, förutom av initieella permeabiliteten ( $\mu_i$ ), beroende av förhållandet mellan längd och diameter.  $\mu_{rod}$  kan utläsas ur diagrammet i fig.

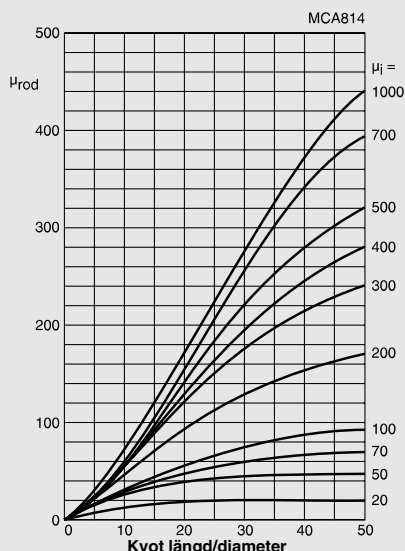


Diagram som visar ferritstavnens permeabilitet som funktion av kvoten mellan dess längd och diameter.

Då induktansen är starkt beroende av lindningens längd och placering på staven är det svårt att ange ett  $A_L$ -värde. Induktansen får istället räknas ut med formeln:

$$L = \mu_o \times \mu_{rod} \times N^2 \times A / l$$

där  $\mu_o = 4\pi \times 10^{-7}$ ,  $\mu_{rod}$  = stavens permeabilitet som utläses ur diagrammet,  $N$  = antalet varv,  $A$  = arean på staven och  $l$  = längden på lindningen centrerad på staven.

## Kärnans flödestäthet

Det är viktigt att räkna ut vilken flödestäthet ( $B$ ) man har i kärnan, för att undvika mättning ( $B_s$ ). En mättad kärna har permeabiliteten 1 ( $\mu_r = 1$ ) och därigenom induktansen som om den vore luftlindad. Dessutom har man stora förluster som resulterar i värme, speciellt vid höga frekvenser. För att räkna ut flödestätheten finns flera metoder, t.ex. att först räkna ut fältstyrkan ( $H$ ) med formeln:

$$H = N \times I / l_o$$

och därefter räkna ut flödestätheten med formeln:

$$B = \mu_o \times \mu_r \times H$$

Flödestätheten ( $B$ ) fås i ovan nämnda och samtliga nedan nämnda fall i tesla ( $T$ ). Om det är ren likström kan man använda denna formel:

$$B = L \times I / (N \times A_e)$$

där  $L$  = induktansen,  $I$  = strömmen,  $N$  = varvtalet och  $A_e$  = effektiva arean. För helvägsläsligriktad ofiltrerad likspänning gäller:

$$B = U_{eff} / (19 \times N \times A_e \times f)$$

där  $U_{eff}$  = rippelspänningens effektivvärde och  $f$  = frekvensen. Ofta har man en likspänning med ett visst rippel. Då får man räkna ut detta. eller om man kan nöja sig med ett något för högt ungefärligt värde, räkna på toppspänningen som likspänning.

Om det är fråga om en växelspanning kan man för sinusvåg tillämpa:

$$B = \sqrt{2} \times U_{eff} / (\omega \times N \times A_e)$$

där  $U_{eff}$  = spänningens effektivvärde och  $\omega$  = vinkelfrekvensen ( $2 \times \pi \times f$ ). För fyrkantssvåg blir formeln:

$$B = 2,5 \times \hat{U} / (f \times N \times A_e)$$

$\hat{U}$  är toppspänningen.

## Värmeutveckling

I applikationer över 100 kHz är problemet sällan mättning utan oftast värmeutveckling. Tråden i spolen värms av både lik- och växelströmmen, medan kärnan värms enbart av växelströmmen. I tabell nedan ges maxvärden på flödestätheten (växelström) som kan tjäna som vägledning för både ferrit och jämpulver:

Riktvärden för maximal flödestäthet i relation till frekvens för undvikande av hög temperatur i kärnan.

Frekvens:	100 kHz	1 MHz	7 MHz	14 MHz	21 MHz	28 MHz
Flödestäthet:	50 mT	15 mT	6 mT	4,5 mT	4 mT	3 mT

I likströmsapplikationer med överlagrad växelström, t.ex. filterdrosslar i ett nättaggregat, har man försumbara förluster om den totala flödestätheten inte överstiger 200 mT för de flesta ferriter, och 500 mT för jämpulverkärnor.

## Temperaturberoende

Permeabiliteten på en ferrit eller jämpulverkärna är starkt temperaturberoende. Den är generellt sett ökande upp till en viss temperatur (Curie-temperaturen,  $T_C$ ,  $\vartheta_C$ ) där den brant faller till 1. Temperaturkoefficienten betecknas  $\alpha_F$  och anger förändringen per K inom ett angivet temperaturområde. Induktansförändringen ( $\Delta L$ ) i förhållande till temperaturförändringen kan räknas ut med formeln:

$$\Delta L = \alpha_F \times \mu_i \times \Delta \vartheta \times L$$

där  $\Delta \vartheta$  är temperaturförändringen i K. Om kärnan har ett luftgap multiplicerar man  $\vartheta$  med kvoten  $\mu_e / \mu_i$ .

Med ökad temperatur ökar även förlusterna. När permeabiliteten ökar får man högre flödestäthet och därigenom högre hystereseffekt (  $\tan \delta_h$  ). Dessutom minskar resistiviteten med ökad temperatur, vilket gör att virvelströmsförlusterna (  $\tan \delta_p$  ) ökar.

Direkt efter en avmagnetisering, genom att materialet utsätts för ett långsamt avtagande växelströmsfält eller genom att man överstiger Curie-temperaturen, uppstår en spontan ökning av permeabiliteten. Den återgår till normalvärdet med en logaritmisk funktion. Den här temporära instabiliteten kallas för disackommodation. Den beskrivs genom disackommodationsfaktorn ( $D_F$ ) som relateras till den initiala permeabiliteten ( $\mu_i$ ). Induktansförändringen i förhållande till tiden beräknas med formeln

$$\Delta L = - D_F \times \mu_i \times \log (t_1 / t_2) \times L$$

där  $t_1$  och  $t_2$  är de två tiderna efter avmagnetiseringen, mellan vilka induktansförändringen beräknas. Även här minskas  $\Delta L$ , om kärnan har ett luftgap, med kvoten  $\mu_e / \mu_i$ .

## Magnetiska enheter

I t.ex. USA används ofta andra enheter.

Storhet	SI-enhet	Annan enhet
Magnetomotorisk kraft (mmf)	A (ampere; "amperevarv")	1 G (gilbert) = 1,257 A
Flöde ( $\Phi$ )	Wb (weber)	1 M (maxwell) = $10^{-8}$ Wb
Fältstyrka (H)	A/m ("amperevarv"/m)	1 Oe (oersted) = 79,6 A/m
Flödestäthet (B)	T (tesla)	1 G (gauss) = $10^{-4}$ T

## Motstånd

Motståndet, eller resistorn som den även kallas, är den vanligast förekommande komponenten i elektronikapparater. Den består av en oftast isolerad kropp med anslutningar. Den innehåller ett motståndselement, tillverkat av ett material med känd resistivitet ( $\rho$ ), i form av en stav, ett rör, folie, ytskikt eller tråd med viss längd ( $l$ ) och area ( $A$ ). Detta beskrivs med formeln

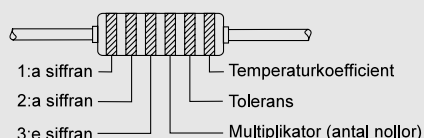
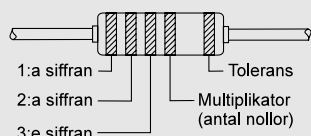
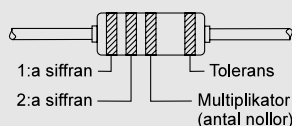
$$R = \rho \times l / A$$

Enheten för resistansen ( $R$ ) är ohm ( $\Omega$ ). 1 ohm är den resistans som vid 1 volt släpper igenom laddningsmängden 1 coulomb per sekund, d.v.s. 1 ampere. Resistiviteten anges i  $\Omega \times m$ , eller vanligare  $\Omega \times mm^2/m$ .

Ett motstånd som är tänkt att ha en resistans som är oberoende av ström, spänning och yttre faktorer som t.ex. temperatur och ljus, kallas för *linjärt motstånd*, eller bara motstånd. Ska motståndet variera sin resistans beroende på ström, spänning eller någon yttre faktor, kallas det för *olinjärt motstånd* eller benämns med ett namn som antyder vad resistansen är beroende av.

För att förenkla konstruktion och handel, tillverkas motstånd med standardiserade resistansvärden. Vanligast är de s.k. E-serierna men R-serier och dekadserier förekommer fortfarande. E- och R-serierna följer en harmonisk delning av varje dekad. Grunden för talserierna utgör E192, E24 och R40. E192 betyder att det finns 192 värden per dekad. Man utgår från 10 som man dividerar med 192:a roten ur 10. Resultatet, som blir 9,88, dividerar man åter med 192:a roten ur 10 och får 9,76 o.s.v. tills man nått 1,00 efter 192 divisioner. På samma sätt får man fram de 24 värdena i E24-serien genom att dividera med 24:e roten ur 10. E96 är vartannat värde ur E192-serien och E48 vart fjärde. E12 är vartannat E24-värde o.s.v. R-serien (R från Renard) är konstruerad på samma sätt med R40-serien som grund, med 40:e roten ur 10 som nämnare. R-serien används ibland till effektmotstånd och reostater, men är vanligast bland andra komponenter som t.ex. filterdrosslar och säkringar. Den gamla dekadserien med värden som 1,0; 1,5; 2,0 o.s.v. tillämpas fortfarande i precisionsmotstånd och används bl.a. av det amerikanska försvaret.

## Märkning av motstånd



## Märkning av motstånd.

Små motstånd har ofta sin resistans, tolerans och ibland temperaturkoefficient markerade med 4 till 6 färgringar.

## Färgkoder vid motståndsmärkning.

Färg	Siffror	Multiplikator	Tolerans ± %	Temp koeff ± ppm/K
Svart	0	10 <sup>0</sup>	1	20
Brun	1	10 <sup>1</sup>	10	1
Röd	2	10 <sup>2</sup>	100	2
Orange	3	10 <sup>3</sup>	1000	3
Gul	4	10 <sup>4</sup>	10000	0... +100
Grön	5	10 <sup>5</sup>	100000	0,5
Blå	6	10 <sup>6</sup>	1000000	0,25
Violett	7	10 <sup>7</sup>	10000000	0,1
Grå	8	10 <sup>-2</sup>	0,01	—
Vit	9	10 <sup>-1</sup>	0,1	—
Guld	—	10 <sup>-1</sup>	0,1	5
Silver	—	10 <sup>-2</sup>	0,01	10

Ibland finns endast tre färgringar. Då är toleransen, som är ±20 %, ej markerad. Andra varianter på färgmarkeringar förekommer i sällsynta fall, t.ex. vissa MIL-specifierade motstånd, som har en sista ring som indikerar tillförlitlighetsnivå (failure rate). Tidigare har en rosa sista ring använts på högstabla motstånd.

Tänk på att drosslar, kondensatorer, termistorer och säkringar kan ha ett liknande utseende och vara färgmärkta på samma sätt.

Större motstånd märks oftast i klartext. Då skrivs R eller E (för ohm), k (för kohm) och M (för Mohm) på platsen för kommatecknet.

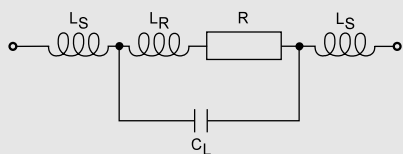
0R1 = 0,1 Ω  
 0E1 = 0,1 Ω  
 4k7 = 4,7 kΩ  
 22M = 22 MΩ

Ibland använder man tre- eller fyrsifferkod, där de två eller tre första siffrorna är de signifikanta siffrorna och den sista siffran är antalet nollor.

100 = 10 Ω  
 101 = 100 Ω  
 103 = 10 kΩ  
 4754 = 4,75 MΩ

## Frekvensberoende

För att lättare förstå motståndets beteende, kan vi använda ett förenklat ekvivalentschema:

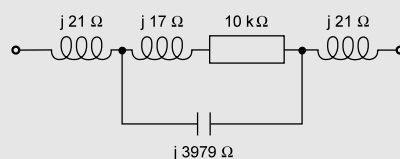


## Motståndets ekvivalenta schema.

$R$  = resistansen,  $C_L$  = egenkapacitansen (kallas även läck-, parasit- och strökapacitans),  $L_R$  = induktansen i motståndselementet och  $L_S$  = induktansen i tilldelarna.

Av detta framgår att det finns gott om kapacitiva och induktiva delar i ett motstånd. Dessa ger vid växelströmstillämpningar (speciellt HF) upphov till reaktanser, som kombinerat med resistansen ger en impedans man i vissa fall måste ta hänsyn till.

Exempel: Vilken impedans kommer ett 10 kΩ metallfilmsmotstånd att ha vid en frekvens på 400 MHz? Vi uppskattar  $C_L$  till 0,1 pF. Anslutningsstrådarna är 10 mm långa och har en diameter på 0,6 mm. Med formeln för induktansen i en rak tråd (se avsnitt *Spolar och drosslar*) får vi en induktans ( $L_S$ ) på 8,4 nH i varje anslutningsstråd. Induktansen i motståndselementet ( $L_R$ ) kan man räkna ut med formeln för en enkellagrig luftlindad spole. Vi uppskattar kroppens diameter till 2 mm, och spiraliseringslängd 4 mm och 3 varv. Formeln ger 6,9 nH. Omräknat till reaktans får man 3979 Ω på  $C_L$ , 21 Ω på  $L_S$  och 17 Ω på  $L_R$ .



Exempel. Ekvivalent schema för ett 10 kΩ metallfilmsmotstånd vid frekvensen 400 MHz.

Vi kan anse de induktiva reaktanserna som försumbara. Impedansen ( $Z$ ) vid parallellkoppling blir då:

$$1/Z = \sqrt{(1/R)^2 + (1/X_{CL})^2}$$

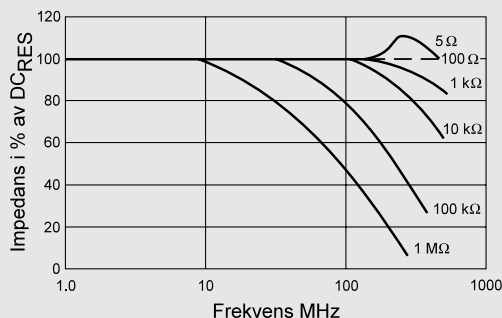
Som även kan skrivas:

$$Z = R \times X_{CL} \times 1 / (\sqrt{R^2 + X_{CL}^2})$$

$$Z = 10 \text{ k} \times 3979 \times 1 / (\sqrt{10^2 + 3979^2}) = 3697 \Omega$$

10 kΩ-motståndet har alltså en impedans på bara 3,7 kΩ vid 400 MHz.

Ytskiotsmotstånd under 100 Ω kan som regel betraktas som induktiva (impedansen ökar med frekvensen), 100 till 470 Ω som nästan ideala. Över 470 Ω är motstånden kapacitiva (impedansen minskar med ökad frekvens). Ju högre resistansvärde desto större kapacitans. Ur följande diagram kan impedansen i % av resistansen som en funktion av resistans och frekvens, för metallfilmsmotstånd från en tillverkare, utläsas.



Impedansens frekvensberoende hos metallfilmsmotstånd.

Trådlindade motstånd har både stor induktans och kapacitans, vilket gör att de har en resonansfrekvens där impedansen är som störst. Vid låg frekvens är de induktiva, och vid hög kapacitiva.

## Temperaturberoende

Ett motstånd som passerar av en ström värms upp. Mängden värme är beroende på effektutvecklingen ( $P$ ), som är lika med strömmen ( $I$ ) genom motståndet multiplicerat med den spänning ( $U$ ) som driver strömmen ( $P = U \times I$ ).

Effekt/värmeutvecklingsförhållandet kallas *termisk resistans* ( $R_{th}$ ). Temperaturen på motståndet kan räknas ut med formeln

$$T_{hs} = T_{amb} + P \times R_{th}$$

$T_{hs}$  = "hot spot"-temperaturen, d.v.s. temperaturen på den punkt på ytan som är varmest.  $T_{amb}$  = omgivningens temperatur.  $P$  = effekten i W och  $R_{th}$  = den termiska resistansen i K/W (kelvin/watt). Den maximala  $T_{hs}$  är beroende på t.ex. isolations-, kapslings- och resistansmaterialet och den termiska resistansen ( $R_{th}$ ) mellan motståndselementet och ytan.

Den i databladet angivna effekttåligheten (max kontinuerlig effekt) är den effekt där temperaturstegringen ( $P \times R_{th}$ ) och den angivna omgivningstemperaturen ( $T_{amb}$ ) sammanlagt uppnått den maximala temperatur motståndet klarar utan att påverka parametrar som t.ex. långtidsstabilitet och tolerans.

Är omgivningstemperaturen högre än den temperatur som effekttåligheten är specificerad vid (som regel 25, 40 eller 70 °C), sänks effekttåligheten linjärt till noll (derating) vid den s.k. nolleffekttemperaturen. Denna temperatur är för epoxilackerade motstånd ca 150 °C, för silikoniserade och aluminiumkapslade ca 200 °C, och för glaserade motstånd ca 350 °C.

Om man ändå överskrider den maximala temperaturen ( $T_{hs}$ ) för motståndet, kommer man att förkorta motståndets förväntade *livslängd*. Överskrider man

med stor marginal kan den faktiska livslängden bli bara sekunder eller delar därav.

Det finns olika standardnormer för hur man ska testa effekttåligheten, som tillverkarna följer. Dessa normer skiljer sig från varandra när det gäller t.ex. monteringsförfarande, benlängd, luftcirkulation (vertikalt eller horisontellt montage), omgivningstemperatur, temperaturhöjning, ytemperatur och förväntad livslängd. Därför kan ett motstånd som enligt en tillverkare klarar 1 W, bara klara 1/10 W enligt en annan, trots att de har samma storlek. Erfarenheten visar att det sällan är praktiskt möjligt att "ligga på maxeffekt", inte minst då temperaturen på en lödförbindning ej bör överskrida 100 °C för att inte åldras i förtid.

**Resistanstoleransen** är den maximala avvikelsen på resistansen uttryckt i %. Resistansen mäts enligt standardnormer avseende typ av mätutrustning, spänning, temperatur, benlängd etc. På standardmotstånd är toleransen  $\pm 1-10\%$ , men det finns specialtyper på ned till  $\pm 0,005\%$ .

Alla motstånd är något temperaturberoende, som anges genom en **temperaturkoefficient**. Enheten är oftast ppm/K (miljondelar per grad,  $10^{-6}/K$ ). Temperaturkoefficienten varierar i storlek på olika typer av motstånd. Kolmotstånd har en relativt stor negativ koefficient ( $-200$  till  $-2000$  ppm/K beroende på resistans), medan det finns speciella metallfoliemotstånd med en koefficient under  $\pm 1$  ppm/K.

**Max arbetsspänning** är den maximala lik- eller växelspänning man kontinuerligt kan lägga över motståndet. Detta gäller bara resistanser över den s.k. kritiska resistansen, d.v.s. den resistans där max spänning ger den maximala effekttäthet för motståndet. För resistanser under den kritiska resistansen är den maximala spänningen:

$$U = \sqrt{R \times P}$$

**Isolationsspänningen** är den spänning isoleringen runt motståndselementet klarar.

### Brus

I alla motstånd uppstår brus. Dels det s.k. termiska bruset som uppstår i allt som leder ström, p.g.a. att alla elektroner inte alltid går i strömriktningen, och dels ett strömbrus som beror på motståndstypen. Det termiska bruset, som är oberoende av motståndstyp, kan räknas ut med följande formel:

$$U = \sqrt{4kTRB}$$

där  $U$  = brusspänningen rms i volt,  $k$  = Boltzmanns konstant ( $1,38 \times 10^{-23}$  J/K),  $T$  = den absoluta temperaturen i kelvin,  $R$  = resistansen i ohm och  $B$  = bandbredden i hertz. Strömbruset, som beror på t.ex. typen av motståndsmaterial, oregelbunden area och orenheter i motståndsmaterialet, redovisas som regel i tillverkarnas datablad. Brusnivån anges i  $\mu V/V$  eller i dB. 0 dB motsvarar  $1 \mu V/V$ . Det totala bruset är en kombination av det termiska bruset och strömbruset.

$$\text{Totalt brus} = \sqrt{(\text{strömbrus}^2 + \text{termiskt brus}^2)}$$

### Spänningsberoende

Resistansen hos alla motstånd är något spänningsberoende, och ligger vanligen mellan 10 och 1 000 ppm/V. Detta ger upphov till en distorsion i form av övertoner, om man lägger på en växelspänning. Ofta kallar man det för olinjäritet, och anger ett förhållande mellan signalens och tredje övertonens spänningar, i dB.

### Uppbyggnad

**Kolkompositmotståndet**, eller massamotståndet, är en gammal typ av motstånd. Den är byggd som en kolstav eller kolrör med fastlödda anslutningstrådar. Kolkroppens materiella sammansättning bestämmer resistansvärdet. Dessa motstånd har fördelen av att ha låg induktans. Därför är de lämpliga att använda i pulstillämpningar som t.ex. i RC-nät för gnistsläckning och i switchande nätaggregat. En annan fördel är att motstånden tål tillfällig överbelastning utan att brinna av. En stor nackdel är den stora egenkapacitansen, ca 0,2–1 pF beroende på typ och resistansvärde. Den stora egenkapacitansen, som beror på uppbyggnaden med kolpartiklar och bindmedel, gör kolkompositmotståndet mer eller mindre obrukbart vid frekvenser över 5–10 MHz. Det har en hög temperaturkoefficient ( $-200$  till  $-2 000$  ppm/K), stort spänningsberoende (200–500 ppm/V), högt brus och dålig långtidstabilitet.

**Kolytskiktst motstånd**, eller kolfilmsmotstånd, består av ett keramikrör på vilket ett resistivt skikt av kol är förångat. Ytskiktet spiraliserar upp till ca 10 varv med diamantegg eller laser för att uppnå rätt resistansvärde. Reaktansen på den induktans man skapar genom spiraliseringsen är liten jämfört med den reaktans som egenkapacitansen på ca 0,2 pF utgör. De har hög temperaturkoefficient ( $-200$  till  $-1 000$  ppm/K). Spänningsberoendet är under 100 ppm/V. Brusnivån är något hög och långtidstabiliteten är dålig. Kolytskiktst motstånden är dock mycket billiga att tillverka.

**Metallfilmsmotståndet** skiljer sig från kolytskiktst motståndet genom att kolytskiktet är ersatt av ett metallskikt. Tillverkningsprocessen är i stort sett densamma. Motstånden har bra HF-egenskaper då egenkapacitansen är liten (under 0,2 pF). För höga resistansvärden och vid hög frekvens kan reaktansen ändå bli av betydelse. Temperaturkoefficienten är låg (5–100 ppm/K). Spän-

ningsberoendet är ca 1 ppm/V. Brusnivån är låg och långtidstabiliteten är god. Pulståligheten är dock låg, t.o.m. lägre än för kolytskiktst motstånd. Var därför försiktig med att byta ut kolytskikt mot metallfilm i pulsapplikationer.

**Tjockfilmsmotstånden** kallas ibland metalglaze eller cermetmotstånd. Ytskiktet består av en blandning av metalloxider och glas eller keramik, screentryckt på en keramisk bas. De har bra HF-egenskaper vid låga resistansvärden. Egenkapacitansen är ca 0,1–0,3 pF. Spänningsberoendet är under 30 ppm/V. Långtidstabiliteten är mycket bra. Motstånden är pulståliga, tillförlitliga och klarar höga temperaturer. Brusnivån är jämförbar med kolytskiktst motstånd. Ytmonterade motstånd är oftast tillverkade av tjockfilm.

**Tunnfilmsmotstånd** har ett mycket tunt ytskikt av metall, oftast nickel-krom, som förångats på ett glas- eller keramikunderlag. Motståndet etsas och lasertrimmas för att uppnå rätt resistans. HF-egenskaperna är sällan bra. Temperaturkoefficienten är mycket bra, t.o.m. under 1 ppm/K kan tillverkas. Spänningskoefficienten är under 0,05 ppm/V. Långtidstabiliteten är extremt bra. Bruset är lägst av alla typer av ytskiktst motstånd. Effekt- och pulståligheten är låg. Den höga stabiliteten gör att tunnfilmsmotstånd ofta används i precisionsapplikationer som t.ex. i mycket noggranna spänningsdelare.

**Metalloxidmotstånd** har ett ytskikt av en metalloxid, ofta tennoxid, som har spiraliserats. HF-egenskaperna är moderata då egenkapacitansen är ca 0,4 pF. Temperaturkoefficienten är ca  $\pm 200$  ppm/K, spänningsberoendet under 10 ppm/V och brusnivån är låg. De är pulståliga och klarar höga temperaturer, vilket gör dem till ett bra alternativ till trådlindade effektmotstånd, särskilt vid höga resistanser.

**Motståndsnät** görs av tjock- eller tunnfilm. De består följaktligen av ett keramiskt substrat med påtryckta motstånd och ledningsbanor. Två typer av hålmotterade kapslingar förekommer, SIL-kapsel (Single In Line) med en rad med 4–14 ben och 2–24 motstånd, och DIL-kapsel (Dual In Line) med två rader med totalt 14–20 ben och 7–36 motstånd. För ytmontering tillverkas en mängd olika typer av kapslingar. Ofta specialtillverkas motståndsnät för att passa speciella applikationer. Då kan man ha olika interna kopplingar mellan motstånden, olika resistansvärden på motstånden samt förse näten med andra komponenter som kondensatorer och dioder.

Till fördelarna hör att motståndsnäten spar utrymme på kretskortet, att motståndens temperaturdrift följs åt, att monteringen är enkel och därigenom tidsbesparande vilket i sin tur medför lägre pris för den monterade komponenten.

**Trådlindade motstånd**, består av en tråd med hög resistivitet, vanligen av nikrothal (CrNi), kanthal (CrAlFe) eller konstantan (CuNi), lindad kring en stomme av keramik, glas eller glasfiber. De är isolerade med plast, silikon, glasyr eller inkapslade i ett aluminiumhus. Det senare för att lättare sprida ut värmen i ett kylande underlag. De tillverkas för precisionsändamål av en högkvalitativ och stabil tråd, och för effekttillämpningar av en grov och tålig tråd. HF-egenskaperna är dåliga. Hög induktans (0,1–10  $\mu H$ ) och hög kapacitans (0,2–10 pF) beroende på antalet trådvarv och stommens dimensioner. För att minska induktansen kan man linda tråden på olika sätt, t.ex. bifilärlindning, krysslindning (Ayrton Perry-lindning) eller sektionslinda åt olika håll. Hos precisionstypen är temperaturkoefficienten låg (1–100 ppm/K). Spänningsberoendet är ca 1 ppm/V. Bruset är mycket lågt och långtidstabiliteten är bra. Dock är effekttåligheten låg. Effekttyper har en temperaturkoefficient på  $-50$  till  $+1 000$  ppm/K beroende på typ av tråd, spänningsberoende och brus som precisionstypen. Långtidstabiliteten är starkt beroende på ytemperaturen ( $T_{hs}$ ) på motståndet. Vid monteringen av trådlindade effektmotstånd är det viktigt att tänka på att ytemperaturen kan bli så hög som 200–400 °C. Så höga temperaturer kan påverka omgivande komponenter, material och lödningar.

**NTC-motståndet** är ett olinjärt motstånd vars resistans är starkt beroende på motståndskroppens temperatur. Som namnet antyder (Negative Temperature Coefficient) har det en negativ temperaturkoefficient d.v.s. en resistans som minskar med ökande temperatur. Det är uppbyggt av en polykristallin halvledare som består av en blandning av krom, mangan, järn, kobolt och nickel. Dessa ämnen sintras samman med ett plastiskt bindmedel.

Resistansen ändras enligt formeln

$$R = A \times e^{B/T}$$

där  $A$  och  $B$  är konstanter som beror på materialet och  $T$  är temperaturen. Detta är dock en förenklad formel. Över stora temperaturområden ändrar sig  $B$  något med temperaturen.

För att räkna ut en ungefärlig resistans ( $R_1$ ) vid en viss temperatur ( $T_1$ ) kan man använda ovanstående formel om man vet resistansen ( $R_2$ ) vid en referenstemperatur ( $T_2$ ) och  $B$ -värdet.

$$R_1 = A \times e^{B/T_1}$$

$$R_2 = A \times e^{B/T_2}$$

Om vi dividerar dessa två får vi:

$$R_1/R_2 = A \times e^{B/T_1} / (A \times e^{B/T_2})$$

Då kan vi stryka A och flytta  $R_2$  och vi får den s.k. Beta-formeln:

$$R_1 = R_2 \times e^{(B/T_1 - B/T_2)}$$

Beta-formeln ger ett relativt riktigt värde inom det temperaturområde B-värdet är specificerat. B<sub>25/85</sub> anger att B-värdet är någorlunda korrekt inom 25 till 85 °C.

**Effektkonstanten** (D) definieras som mängden effekt i Watt (eller mW) som behövs för att motståndets temperatur ska stiga med 1 K över omgivningstemperaturen.

**Tidskonstanten** ( $\tau$ ) är den tid ett NTC-motstånd behöver för att uppnå 63,2 % ( $1 - e^{-1}$ ) av det nya resistansvärdet vid en temperaturförändring, utan att den värms av den genomgående strömmen. Det är ett mått på hur snabbt den reagerar, och är beroende på t.ex. motståndets massa.

NTC-motståndet används t.ex. för temperaturmätning, temperaturreglering, temperaturkompensering, tidsfördröjning, begränsning av startströmmar och flödesmätning.

**PTC-motstånd** har en positiv temperaturkoefficient, d.v.s. en resistans som ökar med ökande temperatur. De tillverkas på liknande sätt som NTC-motstånden men har en bas av BiTiO<sub>3</sub> som dopas med olika ämnen. Genom att tillsätta rikligt med syre under avsvlningsperioden efter sintringen får man en stor positiv temperaturkoefficient. Resistansen är något minskande vid låga temperaturer men när man uppnått materialets *Curie-temperatur*, ( $T_C$ ), ökar resistansen starkt.

**Omslagstemperaturen** ( $T_{sw}$ ), eller switchtemperaturen är den temperatur där resistansen är  $2 \times$  min resistansen, se fig. PTC-motstånd tillverkas med omslagstemperaturer mellan 25 och 160 °C (upp till 270 °C om de är tillverkade som värmelement).

**Omslagstid** ( $t_{sw}$ ) eller switchtid är den tid det tar för PTC-motståndet att uppnå omslagstemperaturen genom uppvärmning av den genomgående strömmen, vid en konstant spänning. Vid den tidpunkten är strömmen reducerad till hälften. Omslagstiden kan räknas ut med följande formel:

$$t_{sw} = h \times v \times (T_{sw} - T_{amb}) / (I_t^2 \times R_{25} - D \times (T_{sw} - T_{amb}))$$

där

$h$  = specifika värmetalet på keramiken, t.ex.  $2,5 \times 10^{-3} \text{ J} \times \text{K}^{-1} \times \text{mm}^{-3}$ ,

$v$  = volymen på keramiken i mm<sup>3</sup>,

$T_{sw}$  = omslagstemperaturen i K,

$T_{amb}$  = omgivningstemperaturen i K,

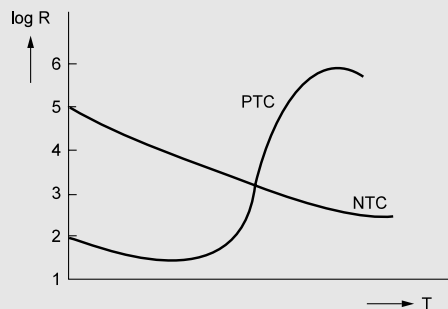
$I_t$  = strömmen i A,

$D$  = effektkonstanten i W/K.

Med temperaturkoefficient menar man PTC-motståndets maximala temperaturkoefficient i det parti där kurvan är som brantast.

Det är viktigt att man inte överstiger max spänning. Då fås troligen ett överslag, och motståndet blir förstört. Man kan ej heller seriekoppla flera PTC-motstånd för att uppnå en högre spänningstålighet. Det mesta av spänningen kommer ändå att hamna över ett av motstånden, som då går sönder.

PTC-motstånd används som överströmsskydd för t.ex. motorer, självreglerande värmelement, avmagnetiseringslänkar i färg-TV, tidsfördröjningskretsar och för temperaturindikering.



Resistansvärdets temperaturberoende hos PTC- respektive NTC-motstånd.

**Varistor**, eller VDR (Voltage Dependent Resistor), är ett motstånd vars resistans sjunker starkt med ökad spänning. Varistorn tillverkas idag oftast av granulerad zinkoxid, dopad med olika ämnen som Bi, Mn, Sb etc., som sintras till en tablett. Kontaktytorna mellan kornen (miljontals), som fungerar som en halvledarövergång med ett spänningsfall på ca 3 V vid 1 mA, bildar långa kedjor. Det totala spänningsfallet beror på kornstorleken och tjockleken på varistorn. Upp till denna spänning (varistorspänningen), då strömmen genom den är mindre än 1 mA, är varistorn höghög. Överskrider man varistorspänningen ökar strömmen genom varistorn logaritmiskt, d.v.s. resistansen sjunker. En varistor kan slå om från höghög till låghög till lägre än 20 ns.

Diametern på varistorn avgör effekttålighet och livslängd. Uppbyggnaden med korn gör att varistorn får en egenkapacitans på 50–20 000 pF beroende på spänning och storlek.

Olinjäriteten kan vi utnyttja för att ge skydd mot spänningstransienter, som uppstår genom t.ex. åska eller switching av induktiva laster. En varistor kan användas för både lik- och växelspänning. En överlagrad transient minskar resistansen i en varistor till 0,1–50 ohm beroende på transientspänning, varistorspänning och varistorns diameter.

Varistorer monteras på följande olika sätt. Mellan fas och nolla, och eventuellt till jord, i 230 V växelströmsnät (för att dämpa inkommande transienter). På spänningsmatningar i en apparat mellan plus och minus. Mellan parterna och till jord på signalledningar. Över en kontakt som bryter en spole (för att förhindra gnistbildning). Över en triac (för att minska radiostörningar).

**Fotomotståndet**, som även kallas LDR (Light Dependent Resistor), är som namnet antyder ett motstånd som varierar sin resistans beroende på mängden ljus (fotokonduktans). Starkare ljus ger lägre resistans.

Fotomotstånd tillverkas huvudsakligen i två olika material. Kadmiumsulfid (CdS) som är känslig för ungefär samma ljusspektrum som det mänskliga ögat. Kadmiumselenid (CdSe) vars känslighet är förskjutet mot det infraröda. CdS har maximal känslighet vid 515 nm och CdSe vid 730 nm, men genom att blanda de två materialen kan man få olika kurvformer med maximal känslighet mellan 515 och 730 nm.

Kadmiumsulfiden eller seleniden har vid mörker inga eller få fria elektroner och resistansen är då hög. Då energi i form av ljus tillförs frigör sig valenselektroner och flyttar till konduktansskalet. Resistansen blir då låg.

Storleken på resistansförändringen beror, förutom av materialets sammansättning och typ av tillverkningsprocess, även av area och avstånd mellan elektroderna samt arean som kan belysas. Fotomotstånd har ett relativt stort temperaturberoende, 0,1 till 2 %/K. Responstiden varierar från 1 ms till flera sekunder, beroende på ljusstyrka samt belysnings- eller mörkertid. CdSe-typen är snabbare än CdS-typen. Båda besitter en viss "minneseffekt". Efter långa statiska ljusförhållanden förskjuts resistansen temporärt. CdSe-typen har kraftigare minneseffekt än CdS-typen.

## Standardserier av värden i en dekad enl IEC-63

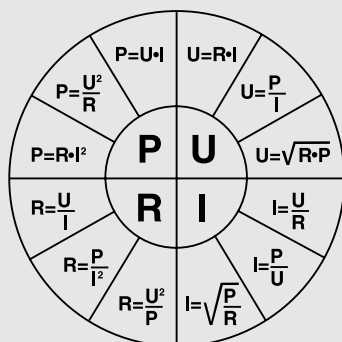
E192	E96	E48	E192	E96	E48	E192	E96	E48	E192	E96	E48
100	100	100	178	178	178	316	316	316	562	562	562
101			180			320			569		
102	102		182	182		324	324		576	576	
104			184			328			583		
105	105	105	187	187	187	332	332	332	590	590	590
106			189			336			597		
107	107		191	191		340	340		604	604	
109			193			344			612		
110	110	110	196	196	196	348	348	348	619	619	619
111			198			352			626		
113	113		200	200		357	357		634	634	
114			203			361			642		
115	115	115	205	205	205	365	365	365	649	649	649
117			208			370			657		
118	118		210	210		374	374		665	665	
120			213			379			673		
121	121	121	215	215	215	383	383	383	681	681	681
123			218			388			690		
124	124		221	221		392	392		698	698	
126			223			397			706		
127	127	127	226	226	226	402	402	402	715	715	715
129			229			407			723		
130	130		232	232		412	412		732	732	
132			234			417			741		
133	133	133	237	237	237	422	422	422	750	750	750
135			240			427			759		
137	137		243	243		432	432		768	768	
138			246			437			777		
140	140	140	249	249	249	442	442	442	787	787	787
142			252			448			796		
143	143		255	255		453	453		806	806	
145			258			459			816		
147	147	147	261	261	261	464	464	464	825	825	825
149			264			470			835		
150	150		267	267		475	475		845	845	
152			271			481			856		
154	154	154	274	274	274	487	487	487	866	866	866
156			277			493			876		
158	158		280	280		499	499		887	887	
160			284			505			898		
162	162	162	287	287	287	511	511	511	909	909	909
164			291			517			920		
165	165		294	294		523	523		931	931	
167			298			530			942		
169	169	169	301	301	301	536	536X	536	953	953	953
172			305			542			965		
174	174		309	309		549	549		976	976	
176			312			556			988		

E24	E12	E6	E3	E24	E12	E6	E3	E24	E12	E6	E3
10	10	10	10	22	22	22	22	47	47	47	47
11				24				51			
12	12			27	27			56	56		
13				30				62			
15	15	15		33	33	33		68	68	68	
16				36				75			
18	18			39	39			82	82		
20				43				91			

## Ohms lag

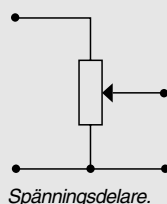
Här är en enkel hjälprea för storheterna spänning  $U$  (volt), ström  $I$  (ampere), resistans  $R$  (ohm) och effekt  $P$  (watt). Formlerna i de yttre sektionerna används för att räkna fram storleken på den inre sektorns storhet.

Ett exempel: Vid inkoppling av en lysdiod till 24 volt behövs ett förkopplingsmotstånd för att begränsa strömmen till t ex 20 mA (0,02 ampere). Då ser vi i cirkeln på sektion R (resistans) och använder formeln  $R = U/I$ . Det ger: 24 volt/0,02 ampere = 1200 ohm. För att veta vilken effekt vårt förkopplingsmotstånd måste klara av, tar vi sektion P (effekt) och använder t.ex. formeln  $P = U \times I$  dvs 24 volt  $\times$  0,02 ampere och det ger 0,48 watt. Vi väljer t.ex. ett motstånd på 1200 ohm och 1/2 watt.

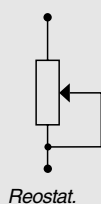


## Potentiometrar

En potentiometer är ett variabelt motstånd som är mekaniskt påverkligt. Den har två anslutningar kopplade till varsin ände på motståndselementet, och en tredje, kopplad till en släpkontakt (löpare) som kan flyttas över motståndsbanan. Namnet potentiometer har den fått efter sin funktion att reglera potential, eller vanligare uttryckt, funktionen som spänningsdelare. Genom att använda endast den ena ändanslutningen och den varierbara anslutningen, kan man använda potentiometern som ett justerbart motstånd (reostat).



Spänningsdelare.



Reostat.

En potentiometer kan tillverkas i en mängd olika utföranden, beroende på den tilltänkta applikationen.

**Panelpotentiometern** är tänkt att manövreras från en panel. Den monteras i panelen med en bussning (gångad hals kring axeln) eller med skruvar, ibland monteras den i t.ex. en vinkel bakom panelen och endast axeln går igenom panelen. Potentiometern är utformad som en vridpotentiometer med en cirkulär resistansbana och en axel som med en vridande rörelse förflyttar löparen, eller som en skjutpotentiometer med en rätlinjig bana. För enklare ändamål används ett motståndselement av kol som är billigt, men för mera krävande applikationer används cermet-, konduktiv plast- eller trådlindad bana.

**Precisionspotentiometern** är en sorts panelpotentiometer som tillverkas huvudsakligen i två utföranden. Flervärgig med trådlindad bana, för att kunna ställas in mycket exakt, eller envärgig med plast- eller trådlindad bana, utan mekaniska stopp i ändlägena. Den senare har hög upplösning och lång livslängd för att användas som t ex vinkelgivare. För att mäta en rak rörelse finns det linjära lägesgivare, där banan är rätlinjig och löparen manövreras med en stång.

**Trimpotentiometrar** tillverkas med kol- eller cermetbana, en- eller flervärgig och med eller utan kapsling. De är som regel mindre än panelpotentiometrarna då axel och bussning saknas, samt för att de har lägre mekaniska krav. En trimmer har ofta en livslängd på bara 200 vridningar. Detta då kontaktrycket på löparen är mycket högt för att ge hög stabilitet. De flervärgiga trimpotentiometrarna finns i två typer, en med rätlinjig bana och spindelväxel, där en lång gångad axel flyttar löparen, och en med cirkulär bana med en löpare som vrids med en snäckväxel.

**Dämpsatser** består av motstånd i T- eller  $\pi$ -länk som gör att in- och utimpedanserna är konstanta då graden av dämpning ändras. I steglösa dämpsatser består dessa motstånd av sammankopplade potentiometrar som är gångade (manövreras med en och samma axel). I många sammanhang är det viktigt att veta exakt vilken dämpning man har. Därför finns det stegade dämpsatser där man med omkopplare kan kombinera ihop önskad dämpning.

**Joystick** eller styrspak som den också kallas, är en eller flera potentiometrar som regleras med en rakt utstickande axel (spak). De används som manövreringsorgan i en, två eller tre dimensioner (X-, Y- och Z-led). Potentiometrarna i en joystick är speciellt tillverkade för dessa och har en vridningsvinkel på bara 30–60°. Kolbana används i de billigaste typerna medan det är vanligast med plastbanor i högkvalitetstyper. Joysticks kompletteras ofta med mikroflytare och förses ibland med speciella typer av handtag.

Resistansbanan i en potentiometer görs, som tidigare nämnts, i olika material för att man ska kunna utnyttja materialets fördelar till en viss applikation.

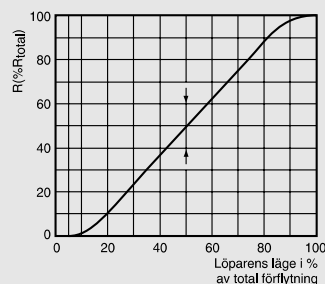
Billigast och enklast att göra är en **kolbana**. Den tillverkas av en kolmassa som trycks på en bas av fenolpapp. Kolbanepotentiometrar tål endast låg effekt. De har dålig upplösning och linjäritet, högt brus samt en kort livslängd. Dock är de mycket billiga att tillverka, vilket gör dem lämpliga i många okritiska tillämpningar.

En variant på kolbanan är **konduktiv plastbana**, där finkornigt kolpulver blandas med plast och trycks på ett underlag. Fördelarna är oändlig upplösning och lågt brus såväl när löparen står stilla (statiskt brus) som när den förflyttas (dynamiskt brus). Genom att man kan ha ett mycket lågt kontaktryck blir livslängden lång. Nackdelen med den konduktiva plastbanan är den låga effekttåligheten och löparens dåliga strömtålighet samt det stora temperaturberoendet på  $\pm 1\,000$  ppm/°C. Plastbanepotentiometrar används t.ex. i industriapplikationer där man ställer stora krav på upplösning och livslängd, samt i audioutrustning där det låga bruset är en fördel.

Hög effekttålighet är däremot en av **cermetbanans** fördelar. Cermetbanan består av en blandning av metaller och keramik som trycks på ett keramiskt underlag. Banan är temperaturstabil, effekttålig, ger god upplösning och har ett lågt statiskt brus. Då den tål ett högt kontaktryck av löparen är långtidsstabiliteten mycket bra. Därför är cermetbanan vanlig i trim- och panelpotentiometrar.

**Trådlindad bana** används för att få hög effekttålighet eller bra temperatur- och långtidsstabilitet. Trådlindade potentiometrar är att föredra när hög ström går genom löparen. I flervärgiga precisionspotentiometrar används ibland en trådlindad bana som är överdragen med ett lager konduktiv plast för att öka upplösningen. Andra användningsområden för trådlindade potentiometrar är t.ex. som justerbara seriemotstånd (reostater) för att reglera ström till olika typer av laster.

För att passa olika applikationer gör man motståndsbanan med olika *kurvformer*. En *linjär* potentiometer har en resistansbana med konstant resistivitet och area över hela banans längd, och därför är resistansförändringen likformig över hela banan. En *logaritmisk* potentiometer har resistansbanan uppdelad i oftast tre avsnitt. Varje avsnitt är linjärt men med olika resistanser. När löparen befinner sig i början av banan är resistiviteten låg och resistansförändringen är liten. I slutet av banan är resistiviteten hög, då förändras resistansen i mycket högre takt än i början av banan. Förutom de vanligaste kurvformerna, linjär och logaritmisk, tillverkas en mängd olika kurvor för att passa speciella ändamål.



Linjär respektive logaritmisk potentiometer.

**Max effekt** är den högsta effektutvecklingen som potentiometern tål. Det är viktigt att tänka på att den angivna effekten gäller för hela banan. Används endast en del av banan, som i en reostatkoppling, så minskar effekttåligheten proportionellt. Strömmen genom löparen får ej överstiga strömmen genom resistansbanan vid max effekt. Denna ström kan överskridas när man t.ex. mäter resistans mellan ett änduttag och löparen med en vanlig multimeter, och flyttar löparen mot änduttaget.

Med **max arbetsspänning** menar man i de flesta fall isolationsspänning. Det är den högsta spänning som får kopplas till potentiometern. Max spänning över resistansbanan är även begränsad av max effektutveckling. Detta kan beräknas med formeln

$$U = \sqrt{R \times P}$$

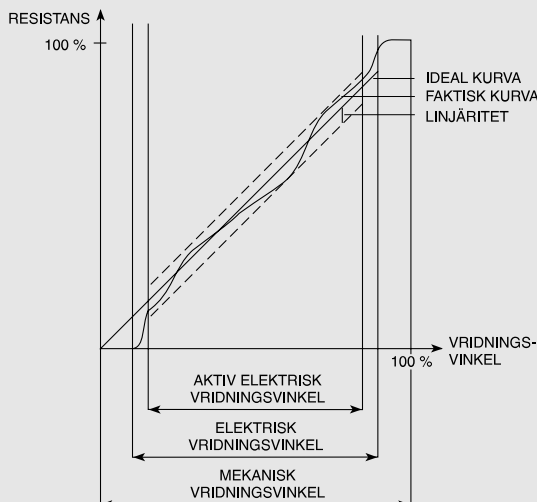
där  $U$  = spänningen,  $R$  = resistansen och  $P$  = effektutvecklingen. **Testspänning** är en spänning mellan någon av anslutningarna och ytterhöljet på potentiometern. Den är ofta tidsbegränsad.

**Toleransen** på potentiometerns resistans är sällan av betydelse. I en spänningsdelare är det förhållandet mellan resistanserna på båda sidor om löparen som är avgörande. I en reostatkoppling gör toleransen att man får olika max resistanser, men om värdet väljs så att löparen hamnar någonstans mitt på banan, är toleransen även här utan betydelse.

**Temperaturområdet** kan beskrivas på två olika sätt: Dynamiskt temperaturområde, där potentiometern uppfyller alla data när löparen är under förflyttning. Statiskt temperaturområde är med stillastående löpare. Det som framför allt skiljer vid dessa olika specifikationsätt är vridmomentet vid låga temperaturer.

**Temperaturkoefficienten** beskriver resistansförändringen beroende på temperatur. Den anges i ppm/°C (miljondelar per grad). En spänningsdelare är temperaturstabil då resistansen på båda sidor om löparen förändras lika mycket.

I många sammanhang, t.ex. vid vinkelmätning, använder man linjära precisionspotentiometrar. Då är det viktigt att den verkliga kurvformen följer den teoretiska så bra som möjligt. Detta benämns med *linjäritet*, där den största avvikelser i resistans uttrycks i procent. Linjäriteten är beroende på faktorer som renheten i råmaterialet och variationer i resistansbanans area.



*Linjäritetsfel hos en potentiometer.*

Om man har en potentiometer kopplad som spänningsdelare kommer lastens resistans att vara parallellkopplad med en del av resistansbanan. Detta gör att linjäriteten försämrats. En lastresistans som är två gånger potentiometerns resistans ger ett linjäritetsfel på ca 11 %. För att räknas som försumbar bör lastens resistans vara minst 100 gånger större än potentiometerns.

**Elektrisk vridningsvinkel** är den vinkel under vilken en resistansförändring sker. Aktiv elektrisk vridningsvinkel är ca 20° mindre. Ungefär 10° i början och slutet på banan kan påverkas av anslutningarnas infästning. Ofta är linjäriteten mätt enbart inom den vinkeln. **Mekanisk vridningsvinkel** är ca 30° större än den elektriska för att man ska få god kontakt med ändanslutningen.

Med löparen i ett ändläge får man inte noll-resistans, utan vad man kallar **ändlägesresistans** eller min resistans. Detta beror på bl.a. övergångsresistans mellan löparen och banan, resistans i anslutningarna och mekaniska toleranser som kan göra att löparen inte når ända till slutet på banan. Ändlägesresistansen uttrycks i procent men med ett minimum i ohm (t.ex. "1% eller 2 ohm") där det högsta värdet gäller.

**Kontaktresistansen** som finns mellan löparen och banan, i synnerhet under löparens förflyttning, är till stor del strömberoende. Mycket låga strömmar har svårt att överbrygga den diodverkan ett tunt lager av oxid åstadkommer. Kontaktresistansen varierar mycket under löparens förflyttning. Detta kallas **CRV** (Contact Resistance Variation) och kan ses som ett brus. Med termen **ENR** (Equivalent Noise Resistance) så tar man dessutom hänsyn till de resistansvariationer som finns i banan. En trådlindad potentiometer har högt ENR då resistansen tar ett språng varje gång löparen förflyttas från ett trådvarv till ett annat. CRV uttrycks i procent av den totala resistansen och ENR i ohm.

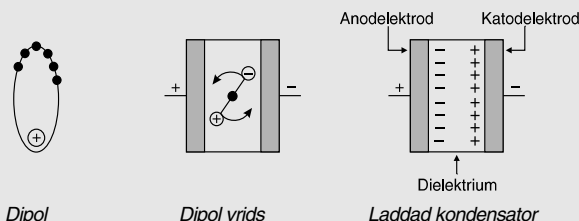
## Kondensatorer

En kondensator består av två plattor (elektroder) med ett isolerande material (**dielektrikum**) emellan. Elektroderna kan då laddas upp utan att elektroner hoppar över från den negativa till den positiva elektroden. För en kondensator är förhållandet C mellan laddningen Q och spänningen U konstant.

$$C = Q / U$$

C kallas **kapacitans**. Enheterna är coulomb för Q och volt för U. För C blir enheten coulomb/volt vilket fått namnet **farad** (F).

Kapacitansen ökar med ökad area hos elektroderna och minskat avstånd mellan dem. För att minska avståndet mellan elektroderna använder man som regel inte luft som dielektrikum utan ett material som kan göras mycket tunt, t.ex. plast, keramik eller ett oxidskikt. Dessa material innehåller dessutom ofta s.k. dipoler som ger en ännu högre kapacitans. I en dipol kan nämligen elektronerna i atomerna bilda utdragna ovala banor runt atomkärnan så att en negativ tyngdpunkt bildas vid sidan av den positiva kärnan. Dipolerna kan vrida sig och anta samma riktning som det elektriska fältet när de attraheras av de uppladdade elektroderna. Detta gör att verkan av avståndet mellan elektroderna minskar och kapacitansen ökar. Denna inverkan på kapacitansen beskrivs med egenskapen **permittivitet**.



Kondensators kapacitans kan beräknas med följande formel:

$$C = \epsilon \times A / d$$

där C = kapacitansen i farad, A = arean i m<sup>2</sup>, d = avståndet mellan elektroderna i m och  $\epsilon$  = permittiviteten, som egentligen är  $\epsilon_0 \times \epsilon_r$ , där  $\epsilon_0$  är permittiviteten i vakuum,  $\epsilon_r$  är ett relativt tal som beskriver dielektrikumets permittivitet i förhållande till permittiviteten i vakuum.  $\epsilon_r$  kallas ofta **dielektricitetskonstant** eller **kapacitativitetstal**.

$$\epsilon_0 = 8,85 \times 10^{-12} \text{ F/m}$$

Som framgår av tabell avgör valet av dielektrikum kondensators kapacitans och storlek i stor utsträckning. Det finns dock andra egenskaper och brister hos de olika materialen som gör att man ej alltid kan använda materialet med den högsta konstanten.

**Dielektricitetskonstanten ( $\epsilon_r$ ) för några material.**

Luft	1	Glimmer	4–8
Vatten	80	Aluminiumoxid Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7
Glas	10	Tantaloxid Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	11
Impregnerat papper	3,5–6	Keramik klass 1	5–450
Pertinax	3,5–4,5	Keramik klass 2	200–15000
Polyester	3,3	Keramik klass 3	10000–50000
Polykarbonat	2,8	Keramik NP0	60
Polypropylen	2,2	Keramik X7R	1500
Polystyren	2,6	Keramik Z5U	5000

En kondensator har ett frekvensberoende motstånd som kallas **kapacitiv reaktans** ( $X_C$ ).

$$X_C = 1 / (\omega \times C)$$

där  $X_C$  = reaktansen i ohm,  $\omega$  = vinkelfrekvensen ( $2 \times \pi \times f$ ) i rad/s, f = frekvensen i herz och C = kapacitansen i farad.

**Energ** som kan lagras i en kondensator ges av formeln:

$$W = (1/2) \times C \times U^2$$

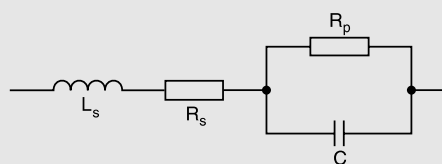
där W = energin i kondensatorn i joule (=Ws), C = kapacitansen i farad och U = spänningen i volt.

Upp- och urladdning av en kondensator tar alltid en viss tid. Förändringen i laddning går genom en resistans. Som lägst är den resistansen lika med resistansen i anslutningstrådar och elektroder. Med **tidskonstanten** ( $\tau$ ) menar man den tid det tar för laddningen att nå till 63,2 % ( $1 - e^{-1}$ ) av den nya spänningen.

$$\tau = R \times C$$

där  $\tau$  fås i sekunder om R anges i  $\Omega$  och C i farad. En kondensator anses fulladdad efter tiden  $5 \times \tau$ .

För att lättare förstå kondensatorn som komponent kan vi använda ett ekvivalent schema, se figur.



**Kondensators ekvivalenta schema.**

$R_s$  = serieresistansen i tilledarna, elektroderna och ev. elektrolyt samt förlusterna i dielektrikum,  $L_s$  = induktansen i tilledarna och elektroderna, C = kapacitansen,  $R_p$  = isolationsresistansen i dielektrikum.



Med begreppet *ESR* (ekvivalent serieresistans) menar man samtliga förluster i kondensatorn, som förutom serieresistansen ( $R_s$ ) i tillledarna och elektroderna, innefattar de dielektriska förlusterna ( $R_p$ ) som finns då dielektrikum utsätts för en förändring i det elektriska fältets fältstyrka. ESR är frekvens- och temperaturberoende.

Förlusterna ger en temperaturstegring som måste kontrolleras om den är betydande. För att beskriva förlustresistanserna anger man även en *förlustfaktor* ( $\tan\delta$ ). Den beskrivs med formeln:

$$\tan\delta = ESR/X_c$$

Förlustfaktor är alltså kvoten mellan ESR och reaktans  $X_c$ . Den effekt som utvecklas i kondensatorn räknas ut med formeln:

$$P = U^2 \times \omega \times C \times \tan\delta$$

Om pålagd frekvens är densamma som ESR är specificerad vid, kan man även skriva formeln som:

$$P = U^2 \times ESR / X_c^2$$

Formeln gäller under förutsättning att ESR är mycket mindre än absolutbeloppet av  $X_c - X_L$  vid den aktuella frekvensen. ( $X_L$  se nedan.)

Med *ESL* (ekvivalent serieinduktans) menas induktansen i tillledarna och elektroderna  $L_s$ . Induktansen i moderna kondensatorer ligger vanligtvis mellan 10 och 100 nH.

*Impedansen* hos en kondensator ges av formeln:

$$Z = \sqrt{(ESR^2 + (X_c - X_L)^2)}$$

där  $Z$  = impedansen i  $\Omega$ ,  $X_c$  och  $X_L$  är de kapacitiva resp. induktiva reaktanserna. Dessa är frekvensberoende och måste således beräknas, eller anges, för den aktuella frekvensen.

En kondensator har även en *självresonansfrekvens* där  $X_c$  och  $X_L$  är lika stora och tar ut varandra. Vid denna frekvens är impedansen lika med ESR.

Resistansen i det isolerande dielektrikumet ( $R_p$ ) är aldrig oändlig, utan är alltid något ledande. Det ger upphov till en ström genom dielektrikumet som kallas *läckström* och gör att kondensatorn får en viss självurladdning. Detta kan vara en kritisk faktor i t.ex. tidkretsar.

Flera egenskaper hos en kondensator är *temperaturberoende* som t.ex. dielektricitetskonstanten, ESR och läckström. Därför måste man välja rätt typ av dielektrikum beroende på det temperaturområde som kondensatorn ska arbeta inom.

För att beskriva kapacitansförändringen relativt temperatur anger man en *temperaturkoefficient*. Den anges ofta i ppm/°C (miljondelar per grad).

Dessutom är många parametrar mer eller mindre beroende på frekvens och spänning, vilket kan vara avgörande för valet av dielektrikum.

*Pulstålighet* är ett sätt att beskriva med vilken hastighet kondensatorn kan upptäckas. Spänningsförändringen ger upphov till en ström genom elektroder och tillledare, vars resistans ger en effektutveckling. Om strömtätheten i elektroderna blir stor, ökar resistiviteten och därigenom förlusteffekten. Vid en mycket hög ström kan elektroderna börja förångas, och ett övertryck bildas i kondensatorn som kan få katastrofala följder. Spänningsförändringen orsakar dessutom förluster i dielektrikumet som tillsammans med de resistiva förlusterna höjer kondensatorns temperatur. Pulståligheten är specificerad med en driftspänning som är lika stor som märkspänningen. Är driftspänningen lägre kan pulståligheten multipliceras med kvoten mellan märk- och driftspänning.

Den pulstålighet som anges i datablad kan vara specificerad under vitt skilda förhållanden. Antalet pulser, frekvens, temperaturstegring m.m. skiljer sig mellan olika normerade testmetoder.

Strömmen som en spänningsförändring skapar kan räknas ut med följande formel:

$$I = C \times (\Delta V / \Delta t)$$

Om kapacitansen  $C$  och pulståligheten  $\Delta V / \Delta t$  anges i  $\mu F$  respektive  $V/\mu s$  fås strömmen  $I$  i A.

*Max arbetsspänning* är beroende på flera saker, bl.a. dielektrikumets spänningstålighet och tjocklek, avståndet mellan anslutningstrådarna och kapslingens utförande. Spänningståligheten är även beroende av temperatur och frekvens. Därför är det viktigt att man ej överstiger max spänning under de rådande förhållandena. Även om man inte får ett genomslag i dielektrikumet direkt, kan en för hög fältstyrka orsaka långsiktiga förändringar i dielektrikumet.

När en kondensator har laddats och dielektrikumets dipoler har skapats och vridits i linje med spänningsfältet, återgår inte alla dipoler till ursprungsläget när kondensatorn urladdas. Dessa kvarvarande dipoler gör att en viss spänning återuppträffar i den urladdade kondensatorn. Detta kallas *dielektrisk absorption*, och finns, mer eller mindre, hos alla kondensatorer. I vissa applikationer som t.ex. sample and hold-kretsar och i audiosammanhang är det önskvärt att ha den så låg som möjligt. Den dielektriska absorptionen mäts i procent av den ursprungliga spänningen efter en tids kortslutning. Det finns dock ett flertal olika normer för mätförfarandet.

## Användningsområden

Som *kopplingskondensator* blockerar den en likspänning men leder en växelspänning vidare. Som *avkopplingskondensator* kortsluter den en växelspänning som är överlagrad på en likspänning.

I *avstämde filter* och *resonanskretsar*, där kondensatorn, ofta tillsammans med ett motstånd eller en spole, är frekvensbestämmande. T.ex. i en oscillator eller ett delningsfilter till en högtalare.

I t.ex. ett nättaggregat finns kondensatorer för att *lagra energi* som används för att filtrera (glätta) en likspänning.

I *tidkretsar* utnyttjar man en kondensators laddnings- och urladdningskurva för att bestämma tid. En astabil multivibrator är ett exempel på det.

För *avstörning* används kondensatorn för att absorbera spänningstransienter, som i ett RC-nät kopplat över t.ex. en reläspole. Man använder även kondensatorer, t.ex. X- och Y-kondensatorer, för att dämpa högfrekventa störningar (RFI).

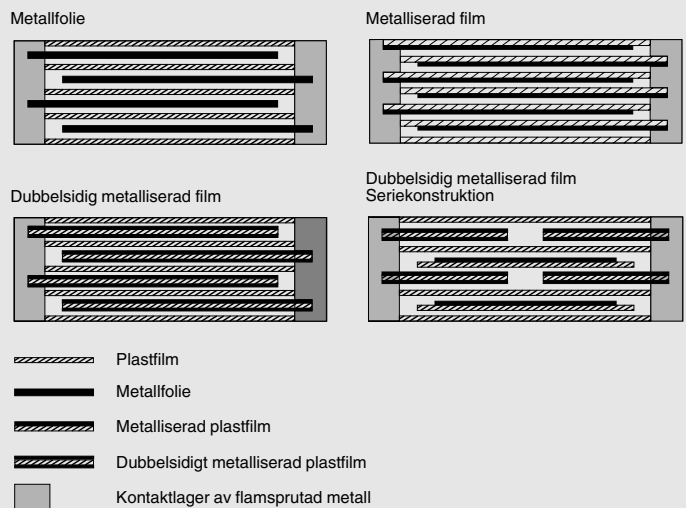
Vid högspänd växelström använder man ofta en *kapacitiv spänningsdelare* för att t.ex. mäta spänning. Den har inte så stora förluster som en resistiv spänningsdelare.

## Kondensatortyper

**Plastfilmskondensatorer** har en plastfilm som dielektrikum. De har små förluster tack vare låg resistans i elektroderna och hög isolationsresistans. De kan tillverkas rationellt vilket gör priset lågt. De är opolariserade (det spelar ingen roll vilken elektrod som blir positiv eller negativ) och har mycket låg läckström.

Plastfilmskondensatorer används t.ex. som kopplings- och avkopplingskondensatorer i analoga och digitala kretsar, i tidkretsar och i avstämde filter. De tillverkas med kapacitanser från 10 pF till 100  $\mu F$ .

Elektroderna består av en metallfolie eller en metallisering. Det senare är ett tunt påångat skikt av metall som bl.a. har den fördelen att vid ett överslag förångas metallbeläggningen runt överslagsstället och en eventuell kortslutning förhindras. Flera olika typer av lindningar förekommer, några av de vanligaste visas i figur.



### Olika uppbyggnader av plastfilmskondensatorer.

Som framgår av figuren kan lindningarna arrangeras så att kondensatorn internt utgörs av två seriekopplade kondensatorer. Detta ökar kondensatorns pulstålighet.

I tidiga konstruktioner av plastfilmskondensatorer anslöts tillledaren till ena änden av lindan. På en modern plastfilmskondensator är den hoprullade foliens sida belagd med ett kontaktskikt av metall genom en metod som kallas flamsprutning. På detta sätt kan folie- eller filmremsans hela långsida kopplas till anslutningstråden och resistans och induktans i kondensatorn minskas avsevärt.

### Flera olika typer av plast används till kondensatorer:

**Polyester** (PET, polyetylenfthalat, mylar) är lätt att göra tunn (ca 1  $\mu m$  är möjligt) och lätt att metallisera, vilket ger små dimensioner och lågt pris. Polyester har sämst prestanda av de moderna plastmaterialen. Polyester-kondensatorer med elektroder av metallfolie betecknas ofta KT, och om den är metalliserad, MKT. Dessa kondensatorer används i många kritiska applikationer som t.ex. avkoppling.

**Polykarbonat** (PC) går även den att göra tunn. Den är relativt lätt att metallisera. Polykarbonat har lägre dielektricitetskonstant än polyester och blir därför något större och dyrare. Den har dock betydligt lägre förluster och bättre stabilitet.

Kondensatorerna betecknas KC respektive MKC om den är metalliserad. Polykarbonatkondensatorer används i kritiska applikationer där man kan utnyttja den höga stabiliteten, t.ex. i avstämda filter och i oscillatorer.

**Polypropylen (PP)** är svår att göra tunn. Den kräver dessutom förbehandling för att kunna metalliseras. Polypropylenkondensatorer är därför både stora och dyra jämfört med polyester och polykarbonat. Till fördelarna kan nämnas mycket små förluster, hög stabilitet och låg dielektrisk absorption. Polypropylenkondensatorer med folieelektroder kallas KP, och om de är metalliserade, MKP. Polypropylenkondensatorer används ofta i pulsapplikationer och där man behöver låg dielektrisk absorption, t.ex. i sample and hold-kretsar och i audioutrustningar.

**Polystyren (styrol, styroflex)** är ett gammalt plastmaterial som mer och mer ersätts av polykarbonat och polypropylen. Den kan bara med svårighet metalliseras och den låga dielektriska styrkan (spänningståligheten) gör filmen betydligt tjockare än de andra plastmaterialen. Den har däremot mycket låga förluster, hög stabilitet och låg dielektrisk absorption. Polystyren används framför allt i kritiska filterapplikationer.

**Polyfenylensulfid (PPS)** är ett nytt material, vilket har som främsta egenskaper hög temperaturlåglighet, bra stabilitet och mycket låga förluster. Nackdelen är låg spänningstålighet som har till följd att filmtjockleken måste ökas.

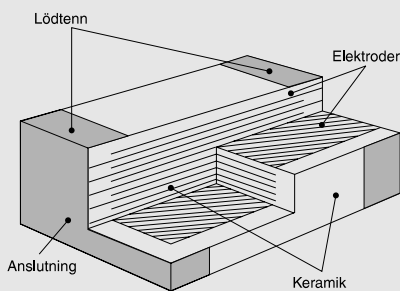
Jämförelsetabell över plastmaterial (typiska värden).

	Poly- ester	Poly- karbonat	Poly- propylen	Poly- styren
Dielektricitetskonstant:	3,3	2,8	2,2	2,5
Tan $\delta$ vid 1 kHz:	$5 \times 10^{-3}$	$1 \times 10^{-3}$	$2 \times 10^{-4}$	$2 \times 10^{-4}$
Tan $\delta$ vid 100 kHz:	$18 \times 10^{-3}$	$10 \times 10^{-3}$	$3 \times 10^{-4}$	$3 \times 10^{-4}$
Högsta arbetstemp °C:	125	125	100	70
Dielektrisk absorption %:	0,2-0,25	0,12-0,2	0,05-0,1	0,02-0,05
Temperaturkoeff ppm/°C:	+400	+150	-200	-150
Dielektrisk styrka V/mm:	250	180	350	150

**Papperskondensatorer** är i de flesta sammanhang ersatta av plastfilmskondensatorer. Trots en hög dielektricitetskonstant blir papperskondensatorerna både större och dyrare än plastkondensatorer. Fördelarna med papperskondensatorer är pulstålighet och den låga kolhalten (ca 3 % mot 40–70 % i plast) som ger mycket goda självläkande egenskaper och liten brandrisk. De används idag nästan uteslutande som avstörningskondensatorer (X- och Y-kondensatorer), då papprets fördelar gentemot plast kan utnyttjas.

Ibland använder man både plast- och pappersfolie i kondensatorlindan. Man talar då om mixat dielektrikum, där man försöker utnyttja fördelarna hos respektive material.

**Keramiska kondensatorer** är tillverkade med en eller flera skivor av keramik med en metallektrodot påtryckt. En keramisk kondensator med ett lager dielektrikum kallas enskikt-, single plate- eller skivkondensator. Är kondensatorn uppbyggd med flera lager dielektrikum med mellanliggande elektroder, kallar man den för flerlayers-, multilayer- eller monolitisk kondensator. Utbudet av olika material och utföranden är enormt stort. Keramiska kondensatorer tillverkas med kapacitanser från 0,5 pF upp till flera 100  $\mu$ F. Kondensatorer över 10  $\mu$ F är dock ovanliga p.g.a. kostnadsskäl.



Flerlayerskondensator i genomskärning.

#### De keramiska materialen delas upp i tre grupper:

**Klass 1** är material med en låg dielektricitetskonstant. De är högstabila inte bara relativt temperatur utan även mot frekvens, spänning och tid. De har mycket låga förluster även vid höga frekvenser. Kondensatorer med ett lager tillverkas med kapacitanser från 0,47 till 560 pF. Multilayerkondensatorer tillverkas i NP0-dielektrikum med värden från 10 pF till 0,1  $\mu$ F. De används i t.ex. HF-applikationer och temperaturkritiska frekvensbestämmande applikationer som oscillatorer.

Klass 1 dielektrikum har en nästan linjär temperaturkoefficient och betecknas med ett P eller N som visar om koefficienten är positiv eller negativ, samt ett tal som är lika med temperaturkoefficienten.

#### Beteckning och märkning av klass 1 kondensatorer.

Dielektrikum	Temp koeff ppm/°C	Färgkod	EIA-benämning
P100	+100 $\pm$ 30	röd/violett	M7G
NP0	0 $\pm$ 30	svart	C0G
N075	-75 $\pm$ 30	röd	U1G
N150	-150 $\pm$ 30	orange	P2G
N220	-220 $\pm$ 30	gul	R2G
N330	-330 $\pm$ 60	grön	S2H
N470	-470 $\pm$ 60	blå	T2H
N750	-750 $\pm$ 120	violett	U2J
N1500	-1500 $\pm$ 250	orange/orange	P3K

**Klass 2** är material med hög dielektricitetskonstant. De har ett olinjärt temperatur-, frekvens-, och spänningsberoende. Här finns många olika typer av dielektrikum med skilda egenskaper. Klass 2 dielektrikum har låga förluster vid måttliga frekvenser. De åldras 1–5 % per timdekad. De ursprungliga värdena kan återfås genom uppvärmning över keramikens Curie-temperatur som är ca 150 °C.

De tillverkas som enskikt-kondensatorer med kapacitanser från 100 pF till 0,1  $\mu$ F och som multilayerkondensator från 10 pF till 10  $\mu$ F. De används i kritiska applikationer som t.ex. koppling och avkoppling.

Klass 2 dielektrikum betecknas med ett K och ett tal som visar dielektricitetskonstanten, eller enligt EIA med tre tecken där de två första indikerar ett temperaturområde och det tredje visar kapacitansförändringen inom detta temperaturområde.

#### EIA-benämning av klass 2 kondensatorer.

1:a tecknet	Temperaturområdets undre gräns	2:a tecknet	Temperaturområdets övre gräns	3:e tecknet	Kapacitansförändring
Z	+10 °C	2	+45 °C	A	$\pm 1,0$ %
Y	-30 °C	4	+65 °C	B	$\pm 1,5$ %
X	-55 °C	5	+85 °C	C	$\pm 2,2$ %
		6	+105 °C	D	$\pm 3,3$ %
		7	+125 °C	E	$\pm 4,7$ %
		8	+150 °C	F	$\pm 7,5$ %
		9	+200 °C	P	$\pm 10$ %
				R	$\pm 15$ %
				S	$\pm 22$ %
				T	+22, -33 %
				U	+22, -56 %
				V	+22, -82 %

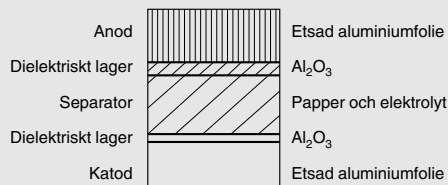
Z5U betyder således att kapacitansen kan variera mellan +22 och -56 % inom temperaturområdet +10 till +85 °C.

**Klass 3** bygger på ett halvledande material och har ofta en sintrad granulerad inre struktur, där en liten kapacitans mellan de individuella kornen tillsammans bildar en stor sammanlagd kapacitans. Materialet har i stort sett samma eller något sämre prestanda som klass 2 kondensatorer, men spänningståligheten är låg. Ofta är 16–50 V max arbetsspänning. Den extremt höga dielektricitetskonstanten gör att stora kapacitanser kan göras med små dimensioner och med lågt pris. De tillverkas med kapacitanser från 1 000 pF upp till 1 fF.

**Glimmerkondensatorer (mica)** är uppbyggda som de keramiska multilayerkondensatorerna, men då kondensatorelementet inte behöver bakas i hög temperatur kan silver användas som material i elektroder. Glimmer är egentligen mineralet muskovit som utvinns i indiska gruvor där kvaliteten är speciellt hög. Muskovit är ett segt och tåligt mineral som har den goda egenskapen att spalta upp sig i tunna skivor, som kan föras med elektroder och stackas. De elektriska egenskaperna som t.ex. isolationsresistans, förluster och stabilitet är utmärkta, och helt jämförbara med de bästa plaster och keramiska material. Glimmerkondensatorer är dock förhållandevis stora och dyra, vilket gjort att de i stor utsträckning ersatts av bl.a. polypropylenkondensatorer. Kondensatorer med glimmerdielektrikum används ofta i HF-applikationer, där inte bara de låga förlusterna utan även den höga frekvens- och temperaturstabiliteten utnyttjas. De tillverkas med kapacitansvärden från 1 pF upp till 0,1  $\mu$ F.

**Elektrolytkondensatorer** har elektroder av aluminium eller tantal, där anodelektrodens (pluspolens) yta har oxiderats och det mycket tunna oxidskiktet används som dielektrikum. För att minska avståndet mellan det dielektriska oxidskiktet och katodelektroden (minuspole) använder man en lågresistiv elektrolyt.

**Våt aluminiumelektrolytkondensator** har en elektrolyt bestående av t.ex. borsyra, glykol, salt och lösningsmedel. Elektroder etsas i syrabad för att ytan ska bli porös. På så sätt kan arean på elektroder ökas med upp till 300 gånger. Anodens dielektriska oxidskikt formeras (byggs upp), i ett bad med vattenhaltig elektrolyt, till en tjocklek av ca 13 Å per Volt, som den ska tåla. Även katoden ges ett tunt (ca 40 Å) oxidskikt. För att förhindra kontakt mellan elektroder och oxidskikt, som då kan skadas, placerar man ett tunt papper som separator mellan elektroder. Eftersom elektrolyten är negativ blir höljet på kondensatorn kopplat till minuspole. Höljet kan dock inte användas som anslutning.



Uppbyggnaden hos en våt elektrolytkondensator.

Oxidskiktet fungerar som en diod och leder ström i backriktningen. Max spänning i backriktningen är 1,5 V. Överskrider man denna spänning kan det få katastrofala följder.

ESR är hos en våt aluminiumelektrolyt relativt högt, beroende på den höga resistiviteten på elektrolyten jämfört med t.ex. aluminium eller koppar.

**Temperaturberoendet** är mycket stort, speciellt vid låga temperaturer. Vid temperaturområdets undre gräns kan ESR vara 20 gånger högre än vid rumstemperatur. Kapacitansförändringen beroende på temperatur är  $\pm 20\%$  inom temperaturområdet.

**Läckströmmen** genom dielektrikumet är specificerad vid märkspänningen. Lägre spänning minskar läckströmmen. Vid halva spänningen är läckströmmen bara 20 % av den specificerade. Läckströmmen ökar med ökad temperatur. Vid temperaturområdets övre gräns är läckströmmen 10 gånger så stor.

**Livslängd** är ett diffust begrepp. Med livslängd på en elektrolytkondensator menar man driftstiden till dess någon parameter uppnått ett värde utanför de angivna gränsvärdena. Det finns flera olika normer för att mäta livslängd, vilket kan göra jämförelser svåra. De parametrar som kontrolleras är t.ex. kapacitans, förlustfaktor och läckström. Det är framför allt elektrolyten som åldras genom att förändras på olika sätt. Elektrolyten bryts ned genom kemiska reaktioner, och den kan även bryta ned oxidskiktet. I moderna elektrolytkondensatorer används mycket flyktiga lösningsmedel som trots en god kapsling avdunstar och kondensatorn torkar. Hög temperatur i kondensatorn accelererar åldrandet kraftigt. En temperatursänkning med 10°C fördubblar livslängden.

Våta aluminiumelektrolyter tillverkas med kapacitanser från 0,1  $\mu\text{F}$  till 0,5 F. Högre spänningstålighet än ca 500 V görs ej. Den vanligaste applikationen för aluminiumelektrolytkondensatorer är som filterkondensator (reservoarkondensator) i nätaggregat. För växelspänningsändamål tillverkas speciella aluminiumelektrolyter, s.k. **bipolära aluminiumelektrolyter**. De har tilledarna anslutna till var sin anodelektrod med oxidskikt. Mellan anoderna finns en katodfolie utan tilledare.

**Torra aluminiumelektrolyter** började tillverkas strax efter år 1900. De har föga gemensamt med dagens torra aluminiumelektrolyter. För att skilja dem åt kallas ofta de moderna typerna, med mangandioxid eller organisk halvledare som elektrolyt, för **solida aluminiumelektrolytkondensatorer (SAL)**.

Mangandioxidtypen har som framgår en elektrolyt av mangandioxid, vilken har låg resistans. Aluminiumelektroden etsas och doppas i formeringsbad där ett oxidlager formeras. Ett skikt av glasfiberväv, som även fungerar som separator mellan elektrodena, beläggs med mangandioxid och placeras mellan elektrodena som lindas eller vikts till ett kompakt kondensatorelement. Sedan förses kondensatorn med passande kapsling och tilledare.

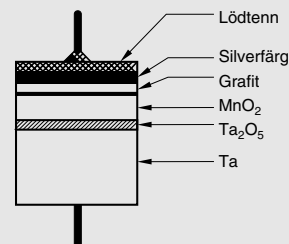
Denna kondensator har flera fördelar mot andra elektrolyter, som t.ex. lång livslängd, då elektrolyten inte kan avdunsta, stort temperaturområde, -55 till +175°C och vissa typer -80 till +200°C, den klarar 30 % av märkspänningen kontinuerligt i backriktningen, litet temperaturberoende samt att en överhetning inte ger kortslutning som följd. Livslängden är inte lika temperaturberoende som hos andra elektrolyter. Den är däremot beroende på spänningen. De tillverkas i kapacitanser från 0,1 till 2 200  $\mu\text{F}$ .

Den andra typen har en organisk halvledare som elektrolyt. Den består av ett komplext salt, kallat TCNQ, vilket har mycket bra elektriska och termiska egenskaper. Även denna typ har etsade elektroder och separator mellan dem. Denna typ har ESR jämförbar med keramiska och plastkondensatorer, och för att erhålla samma låga ESR med en våt aluminiumelektrolyt måste man gå upp ca 50 gånger i kapacitansvärde.

Denna typ är lämplig som t.ex. filterkondensator i switchande nätaggregat, där den höga frekvensen ger till följd att värdet på ESR är viktigare än kapacitansen. Den klarar inte lika höga temperaturer som mangandioxidtypen. 105°C är högsta tillåtna temperatur. Vid låga temperaturer (ned till -55°C) har den, precis som mangandioxidtypen, mycket liten avvikelse på kapacitans och ESR. Den klarar ca 10 % av märkspänningen i backriktningen. Livslängden är mer temperaturberoende än på vanliga våta elektrolyter. 2 000 h vid 105°C ökar till 20 000 h vid 85°C. En överspänning kan ge kortslutning som följd, men om strömmen är mindre än 1 A blir temperaturen lägre än de 200°C då en nedbrytning av elektrolyten sker, och kondensatorn får inga bestående skador. De tillverkas i värden från 0,1 till 220  $\mu\text{F}$ .

**Tantalelektrolytkondensatorer** har som dielektrikum tantaloxid, vilken har utmärkta elektriska egenskaper. Kondensatorns anod tillverkas av tantalpulver

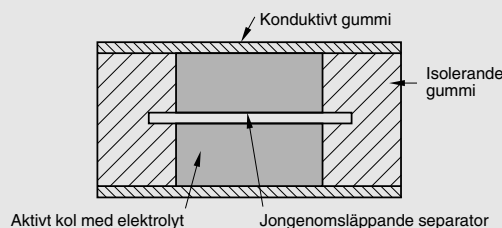
som pressas och sintras till en porös cylinder eller kub kring en bit tantaltråd. Ca 50 % av volymen består av luft, vilket gör att den invändiga ytan är 100 gånger större än den utvändiga ytan. Sedan den försätts med ett oxidskikt i ett syrebadd doppas kondensatorelementet i mangannitratlösning som fyller alla porer. Nitratet omvandlas med värme till mangandioxid som blir den torra elektrolyten. För att få kontakt till katodelektroden, som består av ledande silverfärg, beläggs kondensatorelementet med ett lager kolgräfit. Den gamla typen av tantalkondensator med våt elektrolyt och silverkapsling har av flera skäl, inte minst kostnad, ersatts av den torra typen.



Uppbyggnaden hos en tantalelektrolytkondensator.

En tantalkondensator har lågt ESR tack vare tantalet och mangandioxidens låga resistivitet. Den är även betydligt mindre än en aluminiumelektrolyt med motsvarande värde. De används i applikationer som t.ex. koppling, avkoppling, energilagring och i tidkretsar där den låga läckströmmen kommer till nytta. Den stora nackdelen med tantalkondensatorer är tendensen att gå i kortslutning om spänning eller temperatur blir för höga. Detta kan leda till brand i kondensatorn. Tidigt i tantalkondensatorns utveckling rekommenderades ett seriemotstånd på 3 ohm per volt, för att begränsa i- och urladdningsströmmen, som resulterar i en effektförlust och värme. Till moderna kondensatorer rekommenderas en kretsimpedans på 0,1 ohm per volt, vilket betyder att oftast inget seriemotstånd alls behövs, då resistans i kopparbanor och ledningar ger tillräcklig säkerhet. Max backspänning är 15 % av märkspänningen vid 25°C, men sjunker med ökad temperatur. Vid 85°C klarar den bara 5 % i backriktningen. Tantalelektrolyter har bra temperaturstabilitet. De tillverkas med kapacitanser från 0,1 till 1 000  $\mu\text{F}$ .

**Dubbellagerkondensatorn** (back-up kondensator, supercap, goldcap), är något mitt emellan en kondensator och ett batteri. Kondensatorn har i motsats till andra typer av kondensatorer inget dielektrikum, utan funktionen bygger på den teori som Helmholtz publicerade 1879 om elektriska dubbla lager, som bygger på elektriska laddningars egenskap att attrahera varandra och bilda ett positivt och ett negativt lager på var sin sida om två mediars kontaktyta. Den är uppbyggd av flera seriekopplade celler bestående av två lager aktiva kolpartiklar som är fuktade med en elektrolyt. Mellan kollagren finns en jongenomsläpande separator. De bägge lagren och separatorn kapslas i gummi som vulkaniseras ihop. När kondensatorn spänningssätts, och anodlagrets kolpartiklar blir positivt laddade och katodens kolpartiklar blir negativt laddade, vandrar elektrolytens negativa joner genom separatorn och samlas kring de positiva kolpartiklarna. På samma sätt samlas de positiva jonerna i katodlagret. På detta sätt kan stora laddningar lagras i denna typ av kondensator. 1 gram kolpulver kan teoretiskt ge en kapacitans på 200 till 400 farad.



Uppbyggnaden hos en dubbellagerkondensator.

Då cellernas elektrolyt innehåller vatten, blir den maximala spänningståligheten 1,2 V per cell. Vid den spänningen delar vattnet upp sig i syre och väte. Kondensatorn har högt ESR på 1 till 300 ohm, som kraftigt begränsar urladdningsströmmen. Den kan fulladdas på ca 1 minut, och har en livslängd på mer än 10 000 upp-/urladdningscykler, eller 10 år med kontinuerlig laddning. Läckströmmen (självurladdningen) är ca 1  $\mu\text{A}$ , vilket gör att ca 50 % av spänningen är kvar efter en månad. Temperaturberoendet är stort. Inom temperaturområdet -25 till +70°C förändrar sig kapacitansen -50 till +150 %. ESR vid -25°C är 3 gånger högre än vid rumstemperatur. De är opolariserade men den anslutning som är förbunden till höljet rekommenderas vara negativ.

Den här typen av kondensatorer tillverkas med kapacitanser från 10 mF upp till 22 F, men utvecklingen går mot större kapacitanser. Den används nästan uteslutande som spänningsreserv till bl.a. minnen och mikroprocessorer. Men också för att lagra energi för korta behov, som t.ex. extra energi för att starta en motor, dra ett relä eller alstra en tändpuls.

## Kapacitansstabelle

## Kapacitansomvandlingstabell

0,000 001 $\mu\text{F}$ =	0,001 nF =	1 pF
0,000 01 $\mu\text{F}$ =	0,01 nF =	10 pF
0,000 1 $\mu\text{F}$ =	0,1 nF =	100 pF
0,001 $\mu\text{F}$ =	1 nF =	1 000 pF
0,01 $\mu\text{F}$ =	10 nF =	10 000 pF
0,1 $\mu\text{F}$ =	100 nF =	100 000 pF
1 $\mu\text{F}$ =	1 000 nF =	1 000 000 pF
10 $\mu\text{F}$ =	10 000 nF =	10 000 000 pF
100 $\mu\text{F}$ =	100 000 nF =	100 000 000 pF

## Dioder, transistorer och tyristorer

## Allmänt om halvledare

I halvledarnas barndom var germanium (Ge) den viktiga byggstenen. Med 420 grader lägre smältpunkt jämfört med kisel, som smälter först vid 1410 °C, så var germanium enklare att hantera. De första transistorerna tillverkades av germanium 1947. Under de efterföljande 7 åren presenteras ungefär ett hundratal olika transistorer i främst USA. Gordon Teal på Texas Instruments visar 1954 de första proverna av kiseltransistorer och redan 1955 så blir de första kommersiella typerna tillgängliga. Dioder, transistorer och integrerade kretsar är uppbyggda av halvledare.

Kiseltransistorn hade bättre egenskaper som högre genombrottspänning och högre effekttålighet än germaniumtransistorer. Med kisel kunde man också bemästra många av de temperaturproblem som man tidigare haft. När germanium hettas upp så ökar också antalet fria elektroner, vilket ökar den ström som flyter genom transistor som då leder till att temperaturen ökar. En positiv återkoppling med strömrusning som resultat och som till slut bränner upp transistor om inte strömmen begränsas.

Halvledare är den största gruppen av aktiva komponenter och innefattar allt från enkla dioder till avancerade integrerade kretsar. Till grund för de här komponenternas funktion finns PN-övergången. Ett halvledande material kan dopas med olika störmännen som gör att halvledarmaterialet kommer att ha ett överskott, n-typ eller underskott, p-typ av elektroner. Typiska dopningsmaterial är fosfor och bor. Det saknas grund för benämningen i rent fysisk mening men ett underskott av elektroner brukar kallas att det finns "hål".

I övergången mellan p-dopat och n-dopat material bildas ett område som kommer att leda ström i en riktning. I dioden, den enklaste av halvledarkomponenterna tar man fördel av den här likriktande egenskapen.

## Dioder

Den viktigaste funktionen för en diod är att fungera som en envägsventil för elektroner. När dioden är förspänd i framriktningen leder den ström medan den när den blir förspänd i bakriktningen blockerar ström. En enkel och mycket användbar egenskap.

Dioder har tillverkats av både selen och germanium men idag är kisel-dioden i det närmaste ensam på marknaden. Det finns vissa speciella tillfällen då fortfarande germaniumdioder kan vara av intresse på grund av sitt låga framspänningsfall, bara 0,3 V jämfört med 0,7 V för kisel-dioden. Annars visar sig kisel-dioden vara en tillförlitlig komponent som passar i nästan alla applikationer från likriktardioder i nätdelar till applikationer med radiofrekvens, spänningsreferenser och solfångare. Som serieomkopplare används dioder ofta för att styra signalvägar i audioapplikationer eller som shuntkopplad för att till exempel slå till och från oscillatorer i RF-sammanhang.

**Kisel-dioden** har för småsignaldioder ca 0,7 V framspänningsfall medan kraftdioder kan ha 1 V framspänningsfall eller mer. Om backspänningen överskrider det specificerade värdet förstörs dioden.

**Avalanchedioden**, som också kallas **lavindioden**, är en speciell typ som inte tar skada av överskriden backspänning. Överspänningen absorberas av dioderna och de är därför lämpliga som transient- och överspänningsskydd.

**Fast recovery**, d.v.s. kort återhämtning, är en typ av diod som är snabb och därför lämplig för switchning. Den kallas därför ofta för switchdiod och återhämtnings- (omkopplings-) tiden ligger mellan 1 och 500 ns.

**Lägläckande** diod är en variant med mycket låg läckström i bakriktningen.

**Zenerdioden** fungerar som en vanlig diod i framriktningen men har en väl specificerad backspänning. Dioden används alltså i bakriktningen och man utnyttjar då den s.k. zenerspänningen. Det är den spänning där genombrott sker. Ett motstånd eller en strömgenerator måste ligga i serie med zenerdioden för att begränsa strömmen.

En bra zenerdiod har en väl definierad zenerspänning. Kurvan skall uppvisa ett skarpt knä. Dessutom bör temperaturdriften vara minsta möjliga. De bästa zenerdioderna ligger i området 5,6 till 6,2 V. Lägre spänning leder till att temperaturkoefficienten blir alltmer negativ medan den blir positiv för högre spänningar. Därför kan det vara lämpligt att seriekoppla flera zenerdioder.

Ibland lägger man en vanlig kisel-diod i serie med en högspänd zenerdiod för att temperaturkoefficienterna skall jämnas ut varandra. Diodernas sammanlagda resistanser gör dock att zenerknät inte blir lika skarpt.

Det finns också dioder i området under 2 V. Dessa kallas **stabistorer**. De arbetar i framriktningen och det är alltså inte fråga om zenerdioder.

**Transientskyddsdioder** är egentligen zener- eller avalanchedioder som klipper spänningstoppar. De används för att skydda elektronikkomponenter och system. Klippningen sker distinkt och mycket snabbt. Diodtypen tål temporärt de höga strömmar som uppkommer vid klippning.

**Kapacitansdioden**, eller varaktordioden, verkar som en spänningsstyrd kapacitans. Så gör även en vanlig backförspänd diod, där kapacitansen ökar ju mindre spänningen är, men kapacitansdioden är optimerad för uppgiften. Det som skiljer är dopningsprofilen i PN-övergången. I huvuddrag gör man en uppdelning av gradvis, abrupt och hyperabrupt övergång. De praktiska skillnaderna består i ändringarna av kapacitans som funktion av spänningsändringen, där hyperabrupta dioder uppvisar de brantaste förloppen. Kapacitansdioder används för att ersätta vridkondensatorer i avstämda kretsar. De kan också användas i steg för frekvensmångfaldigande, för omkoppling i smalbandiga system samt i parametriska förstärkare.

**Diac** är en triac utan anslutningar för gate. När den angivna spänningen överskrider får man ett genombrott och diacen börjar leda till dess att hållströmmen blir för låg. Den leder i båda riktningarna och används för att styra triacar.

**Konstantströmdioden** är egentligen en fälteffekttransistor där source och drain är sammankopplade.

**Tunneldioden** får ett genombrott redan vid mycket låg framspänning, ca 0,1 V. Då hög ström genomflyter dioden ökar dess framspänningsfall till en punkt då strömmen i stället minskar med ökad spänning, d.v.s. där vi får en negativ resistans. Ökar vi spänningen med ca 0,3 V vänder sedan kurvan och uppvisar positiv karaktäristik där resistansen i stället blir positiv. Tunneldioden kan tack vare sin negativa resistans utnyttjas som ett aktivt element i en oscillator. Den negativa resistansen kompenserar kretsens förlustr resistanser och självsvängning uppstår.

**PIN-dioden** brukar användas som switch i högfrekvenssammanhang. Den har låg resistans i framriktningen och låg kapacitans då den är backspänd. Den ger följaktligen låg dämpning i tillägg och hög dämpning i spärrat läge. Utmärkande för dioden är tröghet vid omslag. Det innebär att dioden inte ligger och förändrar sin karaktäristik i takt med radiosignalen, vilket i sin tur innebär att den inte bidrar med att ge distorsion. I huvudsak fungerar dioden som en resistor för höga frekvenser. Trögheten, återhämtningstiden från backspänning,  $\tau$ , beror på minoritetsbärarnas livstid. PIN-dioder för mikrovågsområdet kan ha  $\tau$  lika med några ns medan det finns PIN-dioder som är användbara ända ned till några MHz med ett  $\tau$  på flera ms. Den undre gränshänsikten =  $1/(2\pi\tau)$ . Under denna fungerar dioden som en vanlig PN-övergång.

PIN-diodens resistans i framriktningen kan varieras mellan 1 och 10.000 ohm genom att variera strömmen genom den. Detta kan man utnyttja i strömstyrda dämpsatser.

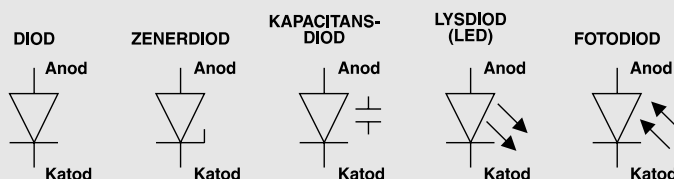
PIN-dioden har ett inneboende (I=Intrinsic) lager av resistivt material som ligger inbakat mellan regioner av högdopat P-material och N-material.

**Step recovery** är en diodtyp som likt PIN-dioder har tre lager. Den skiljer sig dock genom att resistansändringen sker abrupt vid en liten ändring av laddningen mellan P och N. Den abrupta spänningsändringen kan ge en snabb transient, vilket är liktydigt med en rad övertoner till infrekvensen. Ett vanligt tillämpningsområde är frekvensmultiplikator för höga frekvenser.

**Gunndioden**, döpt efter J.B. Gunn på IBM, används huvudsakligen som oscillator i mikrovågsområdet. En Gunndiod är en diod bara i avseende på att den har två anslutningar. Den har ingen likriktande effekt. För mikrovågsapplikationer använder man också ofta en impatt- (Impact Avalanche Transit Time) diod som förstärkare efter Gunndiodoscillatorn.

**Lyisdioder** utnyttjar att det bildas fotoner om man utnyttjar speciella kristallmaterial i PN-övergången. Läs mer i avsnittet om optokomponenter.

**Solceller** är också en typ av stora dioder där man utnyttjar de fotoelektriska egenskaperna i halvledare. När fotoner absorberas nära pn-övergången bildas par av "hål" och elektroner. Spänningen är ca 0,5 V per cell och maximal ström beror på cellens yta men är ofta i området 1 till 2 A. Genom parallell- och seriekoppling kan man bygga i stort sett obegränsat stora solenergisystem.



Några vanliga diod-symboler.

## Transistorer

Transistorn har förmågan att arbeta som en ström- eller spänningsstyrd förstärkare. Oftast har transistorer tre anslutningar. För bipolära transistorer kallas de emitter, bas och kollektor. För fälteffekttransistorer kallas anslutningarna drain, gate och source. Ordet transistor kommer av det engelska ordet för transport "TRANSfer" och ordet för motstånd "resISTOR". Man kan se transistor som en ledare av elektrisk laddning och ett variabelt motstånd. Den bipolära transistorn arbetar som en strömförstärkare. En liten ström i basen öppnar för en större ström mellan kollektor och emitter. För fälteffekttransistorn motsvaras basen av gate men istället för ström så är det spänningen på gate-anslutningen som öppnar för ström mellan source och drain.

Det finns idag en stor mängd specialiserade transistorer för olika användningsområden. Transistorn förekommer som enskild komponent, ofta som effektsteg eller lågbrusförstärkare, men framför allt så är den byggsten i integrerade kretsar. **Småsignaltransistorn** kan vara optimerad för lågt brus och/eller hög frekvens. **Switchtransistorn** skall vara snabb och ha lågt bottenfallsfall. **Effekttransistorn** skall, som namnet anger, ha egenskaper som hög ström- och/eller spänningstålighet. Vissa transistorer, t.ex. HF-effekttransistorer, har speciell uppbyggnad och struktur för att högfrekvensegenskaperna skall kunna optimeras.

Idag är fälteffekttransistorer de vanligaste diskreta komponenterna. De har övertagit den roll som de bipolära transistorerna traditionellt har haft. Integrerade kretsar i kombination med fälteffekttransistorer ger i de flesta fall överträffade prestanda både vad det gäller lågfrekvens- eller högfrekvensapplikationer, nätaggregat eller switchapplikationer.

Den **bipolära transistorn** kan enklast beskrivas som två dioder riktade mot basen (PNP) eller från basen (NPN).

**Unipolära transistorer (fälteffekttransistorer)** kan delas upp i JFET (junction-FET), eller fälteffekttransistorer av spärskiktstyp, och MOSFET- (Metal Oxide Semiconductor-FET) transistorer. En JFET bygger på att det finns ett spärskikt vars bredd varierar med pålagd spänning. Den har en mycket hög inresistans och kan betraktas som en spänningsstyrd strömgenerator. I en MOSFET är inresistansen ännu högre och styrelektroden kan betraktas som isolerad. Inresistansen är minst 100 Mohm. Inkapacitansen gör dock att impedansen sjunker med ökad frekvens. Kraftiga effekt-MOSFET kan ha en mycket hög inkapacitans, från några hundra till flera tusen pF, vilket spelar stor roll vid konstruktionsarbetet även i lågfrekvensslutsteg.

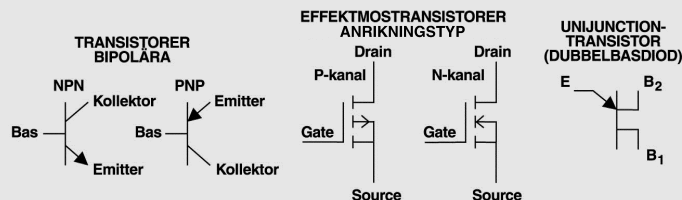
Som effektswitch så har MOSFET-transistorn idag en dominerande position med sina goda egenskaper för omkopplingstid, effekttålighet, stor SOA (Safe Operating Area) och goda dV/dT egenskaper.

Fälteffekttransistorer har många fördelar. En viktig sådan är att den negativa temperaturkoefficienten för transistorens utström kan förhindra termisk strömrusning i linjära steg.

Fälteffekttransistorer finns av två olika slag. Utarmnings- (depletion mode) och anrikningstyp (enhancement mode). Anrikningstypen drar inte någon ström förrän gatespänning läggs på. Utarmningstypen däremot drar ström då basspänningen är noll. För att strypa denna måste gaten ges en positiv spänning, om fälteffekttransistorn är av P-typ, och negativ spänning om den är av N-typ.

**IGBT-transistorn** (Insulated Gate Bipolar Transistor) är en komponent som på ett bra sätt kombinerar fördelarna med effekt-MOSFET och bipolära effekttransistorer. Den har låg effektförlust, den har bipolärtransistorernas höga tålighet för komplexa laster och MOSFET-transistorernas enkla drivning.

**Dubbelbasdioden** kallas även **unijunctiontransistor**. I princip är denna uppbyggd som en homogent N-dopad stav. På stavens mitt finns en P-dopad zon. Man får därvid två motriktade dioder med basanslutningarna i stavens bågge ändar och emittern vid den P-dopade zonen. Om en spänning läggs över denna stav kommer potentialen att vara proportionell mot avståndet från ena änden. Staven fungerar alltså som en spänningsdelare. Om spänningen mellan emittern och den negativa basanslutningen understiger stavens potential vid emitterpunkten kommer PN-övergången att vara spärrad. Om basemitterspänningen överstiger denna potential kommer resistansen i staven att minska eftersom emittern drar in en del av de elektroner som kommer från den negativa basen. Därmed sjunker basemitterspänningen när emitterströmmen ökar. Resultatet blir en karaktäristik med negativ resistans vilken kan användas för att skapa en oscillator. Dubbelbasdioden används t.ex. i pulsooscillatorer och i triggerkretsar.



Några vanliga transistorsymboler. MOS-transistorn av utarmningstyp ritas likadant som anrikningstypen men med ett heldraget streck mellan drain och source. Heldraget = leder i vila, streckat = avbrott i vila.

### Grundkopplingar för transistorer

#### GE

Fördel: Hög förstärkning.  
Nackdel: Kan vara ostabil i vissa fall.

#### GK

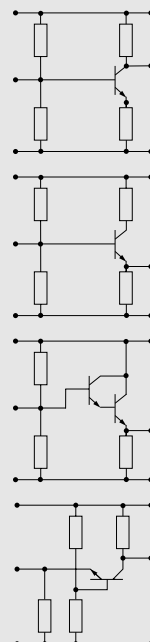
Fördel: Låg utimpedans.  
Nackdel: Spänningsförstärkning lägre än 1. Här utnyttjar man i stället strömförstärkningen för att åstadkomma en impedanstransformering.

#### Darlington (GK)

Fördel: Låg utimpedans, hög inimpedans.  
Nackdel: Spänningsförstärkning mindre än 1. Två emitterspänningsfall begränsar utstyrbarheten vid låg matningsspänning.

#### GB

Fördel: Stabil mot självsvängningar och ofta använd i HF-kretsar.  
Nackdel: Ger lägre förstärkning än GE-koppling.

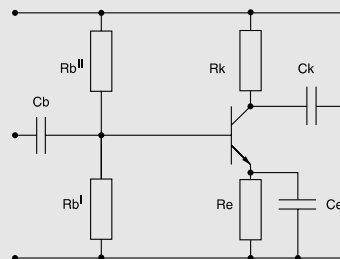


### Dimensioneringstips för GE-steg

Låt spänningsfallet vara 1 V eller mer över  $R_e$ , se figur, för att temperaturstabiliteten skall bli god och för att förstärkningen inte skall påverkas så mycket av spridning i transistorernas strömförstärkningsfaktor. Spänningen över  $R_b^I$  skall då göras till  $1 + 0,7 = 1,7$  V för kiseltransistorer eftersom bas-emitterspänningsfallet är ca 0,7 V (något mindre för småsignaltransistorer och högre för effekttransistorer).

$R_e$  ger emittermotkoppling vilket sänker förstärkningen. Detta stabiliserar mot temperaturodrift och minskar spridningen av förstärkningen i kopplingen på grund av skillnaden i strömförstärkningsfaktor i olika transistorexemplar.

På frekvenser högre än noll (likspänning) vill man inte ha motkoppling utan i stället största möjliga förstärkning. Därför finns  $C_e$  som fungerar som kortslutning mot jord. Värdet på  $C_e$  i förhållande till  $R_e$  bestämmer undre gränshänsfrekvensen. Även  $C_b$  och  $C_k$  väljer man med tanke på undre gränshänsfrekvensen. Observera att inimpedansen bestäms av parallellkopplade värdena av  $R_b^I$  och  $R_b^{II}$  och detta även parallellt med transistorens inimpedans.



Dimensionering av GE-staget.

## Tyristorer

Tyristorn är en fyrskiktskomponent (PNPN). Symbolen är den samma som för en diod men med en extra anslutning, Gate, eller Styre. Tyristorn kan betraktas som två transistorer anslutna mot varandra. Tyristorn kommer att leda (tända) först när vi ansluter styret till plusspänning och tillför en styrström  $I_{gt}$ . Tyristorn kommer att vara tänd oberoende av om styrströmmen bryts eller om en spänning med negativ polaritet ansluts till styret. Den kan återställas till sitt blockeringsläge genom att:

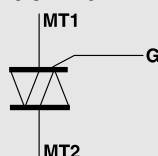
– Anodströmmen minskas så att den understiger hållströmmen  $I_h$  (anges i datablad).

– Anodströmmen bryts.

**Triacen** kan betraktas som två motriktade tyristorer byggda i samma kapsel och med gemensamt styre. Den triggas på positiv eller negativ puls och släcks när spänningen över den är noll. Anslutningen närmast styret benämns MT1 (main terminal 1) och den andra MT2. Triggpulsen refereras alltid till MT1.

En användbar komponent i styrkretsar är triggdioden eller **diacen**. Den kan betraktas som en triac utan styre. Den har en låg tändspänning, ca 30 V. När den spänningen överskrider tänder den och släpper igenom triggpulsen till triacen.

TRIAC SYMBOL



## Komponentbeteckningar för halvledare

Ett antal oberoende system för beteckning av halvledare har utvecklats och används idag.

Världens bredaste koordinerande organisation inom elektronikindustrin är JEDEC (Joint Electron Device Engineering Council). Alla JEDEC-anslutna tillverkare producerar komponenter enligt centralt registrerade specifikationer.

Den äldsta europeiska organisationen för standardisering och administrering av typnummer är Pro Electron. Den bildades i Bryssel 1966. Systemet medger gruppering av komponenter enligt deras användningsområde samt materialet de är tillverkade av.

## Det europeiska systemet Pro-Electron

Två eller tre bokstäver som följs av en 3 eller 4 ställig siffergrupp ger en grov uppfattning om komponenttyp och effektklass.

### Den första bokstaven anger material:

A Ge, germanium eller material med ett bandgap av 0,6-1 eV  
B Si, kisel eller annat material med bandgap på 1-1,3 eV  
C GaAs, galliumarsenid eller annat material med bandgap större än 1,3 eV

### Den andra bokstaven pekar ut komponenttyp:

A Dioder, signal lågnivå  
B Kapacitansdioder  
C Transistor, lågfrekvens lågnivå  
D Transistor, lågfrekvens effekt  
E Tunneldioder  
F Transistor, HF, lågnivå  
H Dioder, Hall-effekt komponenter  
L Transistor, HF, effekt  
N Optokopplare  
P Bl a fototransistorer  
Q Bl a lysdioder, laserdioder  
R Tyristor, lågnivå  
S Transistor, switch, lågeffekt  
T Tyristor, effekt  
U Transistor, effekt, switch  
W Ytvägskomponent  
X Diod, HF multiplikator  
Y Likriktare, booster  
Z Zenerdiod, spänningsreferens

En tredje bokstav visar att komponenten är avsedd för industriella eller professionella applikationer. Bokstaven är oftast W, X, Y eller Z. Efter bokstäverna följer ett serienummer på 3 till 4 siffror samt i vissa fall en ytterligare bokstav som exempelvis kan uttolka förstärkningsfaktor.

## Det amerikanska systemet JEDEC

Det amerikanska systemet är inte entydigt. I grova drag kan en transistor som börjar på 2N, t ex 2N2222, vara en bipolär transistor medan 2N3819 är en JFET. Börjar beteckningen med 3N, t ex 3N128, betyder det att det är en MOSFET. Olika tillverkare tillämpar också bokstavs-beteckningar som TIP34, MJE3055 etc.

## Det japanska systemet JIS

### Första siffran:

1 Två tilldare  
2 Tre tilldare  
3 Fyra tilldare

### De två följande bokstäverna:

SA PNP-transistorer och Darlington (HF)  
SB PNP-transistorer och Darlington (LF)  
SC NPN-transistorer och Darlington (HF)  
SD NPN-transistorer och Darlington (LF)  
SE Dioder  
SF Tyristorer  
SG Gunnedioder  
SH Unijunctiontransistorer  
SJ P-kanal FET  
SK N-kanal FET  
SM Triac, dubbelriktade tyristorer  
SQ Lysdioder  
SR Likriktardioder  
SS Signaldioder  
ST Lavindioder  
SV Kapacitansdioder, PIN-dioder  
SZ Zenerdioder

Serienumret består av två till fyra siffror med ett talområde mellan 10 och 9999. Efter följer ett suffix som består av en eller flera bokstäver. Den sista av dessa talar om inom vilket område halvledaren används.

D Godkänd av det japanska televerket (NTT)  
G Komponenten används för kommunikation  
M Godkänd av den japanska marinen (DAMGS)  
N Den japanska rundradioorganisationen (NHK) har godkänt komponenten  
S Avsedd för industriella tillämpningar

Ur beteckningen enligt den japanska industristandarden, JIS, framgår det inte om halvledarna är tillverkade av kisel eller germanium. På ritningar och i trycket på själva komponenten är ofta de två första tecknen utelämnade. Det betyder att en transistor av exempelvis typen 2SC940 kan vara märkt C940.

## Elektronrör

Elektronrören, som nog av många uppfattas som föregångare till transistorerna, är inte helt ersatta i alla tillämpningar. Det finns ett antal specialfall där rören fortfarande har sin givna plats, t.ex. för sändarslutsteg för höga frekvenser. Röntgen- och Geiger-Müllerrören har speciella utformningar, liksom även katodstråleröret. Ännu en tid framöver kommer det att behövas rör i form av reservdelar.

Ett område där rören faktiskt upplever en renässans är i slutförstärkare för audiobruk. Rörens distorsion har en annorlunda sammansättning än hos de bipolära transistorerna.

De jämna tonerna dominerar i rören och de för örat så störande ojämna deltonerna är svagare. Mättnadsegenskaperna i utgångstransformatorn bidrar till detta, av vissa, eftersträfvade "rör ljud". Det gäller inte minst i gitarr- och basförstärkare där signalerna ofta klipps. Den mjukare klippningen gör att man kan styra ut slutsteget till en högre medeleffekt utan att det låter illa. Det är orsaken till att en rörförstärkare kan låta mycket mer än en transistorförstärkare trots att de båda mättnadsegenskaperna är samma utseende.

Det nyvaknade intresset för rören i audiosammanhang har lett till utvecklingen av speciella audiorör. De finns även i matchade par, utvalda efter spektrumanalys.

Ur beteckningarna kan man utläsa vissa egenskaper. USA och Europa har därvid olika standardbeteckningar:

## Europeiska standardbeteckningar

- Första bokstaven anger glödspänning/glödström: A = 4 V, E = 6,3 V, D = 1,4 V batterispänning, G = 5 V, H = 150 mA serieglöd, K = 2 V batterispänning, P = 300 mA serieglöd, U = 100 mA serieglöd, V = 50 mA serieglöd. Första bokstaven Q anger att det är en tetrad för sändarslutsteg.
- Andra bokstaven anger vad slags rör det är fråga om: A = diod, B = dubbel-diod, C = triod, F = pentod för småsignal, H = heptod, L = pentod för effektesteg, M = "magiskt öga", Y = likriktare.
- Tredje bokstaven anger att röret har dubbla eller fler funktioner: ECC83 anger t.ex. en dubbeltriad med 6,3 V växelspanningsglöd.

Ibland är siffror och bokstäver omkastade för att ange att det är ett specialrör. E83CC, t.ex. motsvarar ECC83 men här i långlivsutförande.

Det förekommer även bokstavs-betecknade specialrör som inte alls följer det här systemet. Det brittiska röret KT66 har t.ex. 6,3 V glödspänning trots den missvisande första bokstaven K som borde ha betytt 2 V.





omfattande: videoförstärkare för intensitetsreglering, ett komplicerat avlänkningssystem, konvergenskorrektion för färgrör och ofta kretsar för att motverka den bild distortion som bland annat en tillplattad och fyrkantig skärm ger.

**Displaymoduler** innebär att själva displayen, av LED-, LCD-, TFT-, VF- eller EL-typ, är kompletterad med drivelektronik som multiplexar segmenten eller som innehåller avkodare och vanligen en mikroprocessor för att kunna drivas direkt med ASCII-kod eller videosignal.

**Snabbheten**, d.v.s. ett omslag från vitt till svart eller tvärtom, varierar starkt mellan olika indikatorer. En lysdioddisplay kan slå om på 10 ns, ett katodstrålerör på mindre än 0,1 ms, plasmadisplayer på i storleksordningen 1 ms, EL-displayer på 0,1 ms till 1 s och LCD/TFT på 10 ms till 1 s. Flytkristallernas omslagstid ökar starkt med minskad temperatur och deras funktion är oftast helt borta vid temperaturer under minus 20 grader.

## Operationsförstärkare

Operationsförstärkaren kom till på 1960-talet och har sedan dess utvecklats i många avseenden. Grovt kan den beskrivas som en förstärkare med en inverterande (-) och en icke inverterande (+) ingång. Spänningskillnaden mellan dessa förstärks och normalt har operationsförstärkaren mycket stor förstärkning. Den motkopplas för att ge önskad förstärkning. Motkopplingen ökar bandbredden och förbättrar linjäriteten. De flesta operationsförstärkare kan motkopplas ned till förstärkningen = 1 utan att det resulterar i stabilitetsproblem. En del klarar dock inte detta och måste då kompenseras med yttre RC-nät.

Vilket *maximalt sving* man kan få på utgången beror på vilka matningsspänningar som används. Traditionellt har  $\pm 15$  V varit vanligast men idag finns förstärkare i många olika familjer med olika användningsområden och matningsspänningar. Speciella typer kommer ner till matningsspänningar under  $\pm 1$  V och vissa är avsedda för enkel matningsspänning. Enkel matningsspänning innebär att man inte lika enkelt kan arbeta med balanserade signaler.

Vissa tillämpningar kräver låg *offsetspänning*, d.v.s. låg spänningsavvikelse, på ingången och låg *temperaturberoende spänningsdrift*. För att nå långt i det avseendet utvecklades *chopperförstärkaren*. Inspänningen hackas med hög frekvens i en analog grind och en kondensator lagrar mellan samplingstillfällena. Choppertekniken gör det möjligt att nå en felspänning av bara  $\pm 1$   $\mu$ V. Spänningsdriften kan vara så låg som 0,05  $\mu$ V/°C. Choppertekniken används huvudsakligen för statiska eller mycket lågfrekventa signaler.

När operationsförstärkarens bägge ingångar utnyttjas som en balanserad ingång är det viktigt att de likfasiga signalerna balanseras ut. Databladet anger dämpningen i dB, s.k. CMRR eller "*Common Mode Rejection Ratio*". På svenska skulle man kunna uttrycka det som undertryckning av likfasiga signaler.

Snabbheten brukar anges i "*slew rate*". På svenska betyder det maximal spänningsderivata eller helt enkelt hur många volt signalen kan stiga på en  $\mu$ s. Hög spänningsderivata svarar mot stor bandbredd.

Bruset bestäms av kretsens *brusfaktor*. Vanligen uttrycks den i enheten nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$ . Det innebär alltså att brusspänningen ökar med roten ur den använda bandbredden.

Hög ingångsimpedans krävs i många tillämpningar. Här kan det vara lämpligt att använda en operationsförstärkare med FET eller MOSFET i ingången. Genom BIFET-tekniken går det att blanda FET och bipolära kretsar på samma chip. MOSFET-förstärkarna ger ännu högre inresistans, eftersom ingångarna i princip är rent kapacitiva, men i praktiken ligger inresistansen i samma storlek som för FET. Detta beror på att MOSFET måste skyddas med skyddsdiode och att läckströmmen i dessa sänker inresistansen.

Två specialfall av operationsförstärkare är Nortonförstärkaren och transkonduktansförstärkaren.

**Nortonförstärkaren** har mycket låg inresistans och den är rent strömstyrd. I princip kan de båda inverterande ingångarna betraktas som en diodsträcka. En svensk beskrivning skulle kunna vara "strömkillnadsförstärkare".

**Transkonduktansförstärkarens** differentialingång är höghögmig. Utmärkande är att det finns en tredje ingång från vilken man kan styra strömförstärkningen.

**Komparatorer** är egentligen byggda på samma sätt som operationsförstärkare, men de är optimerade för att snabbt slå om från fullt positiv till fullt negativ utspänning, och vice versa, vid en liten ändring av inspänningen. En viss grad av positiv motkoppling används ibland för att ge hysteres hos omslagsnivåerna. Det ger ofta säkrare omslag och minskar risken för oscillation om insignalen ändrar sig långsamt.

**Instrumentförstärkare** är en utveckling av operationsförstärkare med inbyggda motstånd som ger en fast eller programmerbar förstärkning. Hög undertryckning av likfasiga signaler (CMRR) är ett annat krav eftersom differentialingång ofta används i mätsammanhang. Ofta utgör instrumentförstärkare en höghögmig last till signalkällor med mycket låg utspänning.

"**Unity gain amplifier**" betecknar en operationsförstärkare där den inverterande ingången är kopplad till operationsförstärkarens utgång. Denna typ av operationsförstärkare ger förstärkningen 1, därav namnet. Den används för att

öka drivförmågan, likt en emitterföljare, och kan också användas inom en återkopplingsslinga, t.ex. efter en operationsförstärkare.

**Lågeffektförstärkare** har specialanpassats för att dra så lite effekt och ha så låg matningsspänning som möjligt. Det finns förstärkare som drar under 1  $\mu$ A i vilostrom och i många bärbara mätapplikationer kan lågspänningsvarianter klara sig bra med endast två battericeller som spänningsmatning.

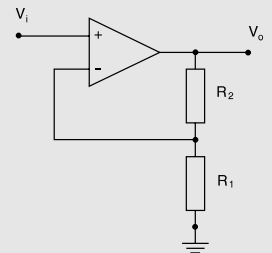
**Videoförstärkare** har optimerats för att förstärka videosignaler. Normalt har dessa operationsförstärkare bandbredder på över 100 MHz. De har också anpassats för att ha lågt brus och goda fsegenskaper. Många typer har dessutom hög drivförmåga för att direkt kunna lastas med 75 ohm.

**Lågbrusförstärkare** för speciella mät-, audio- och videoapplikationer erbjuder brusegenskaper som gör det möjligt att enkelt konstruera och bygga avancerade system för ljud- och videoproduktion med professionella prestanda.

**Isolationsförstärkare** överför linjärt en signal där in- och utgångar har galvaniskt skilda jordpotentialer. Överföringen kan vara optisk, induktiv eller kapacitiv. En sådan förstärkare kan klara flera tusen volt mellan in- och utgångar och isolationsresistansen kan uppgå till mer än 10 Mohm. Förstärkartypen är också lämplig att använda då man söker en undertryckning av likfasiga signaler på mer än 100 dB. Det betyder att man kan ta hand om små signaler som är överlagrade på en starkt varierande potential. Exempel på tillämpningar finns inom den medicinska tekniken där man vill kunna övervaka patienter och ha hög isolationsresistans mellan dem och utrustningen. Mätvärdesinsamling i miljöer med höga störfält är en annan tillämpning.

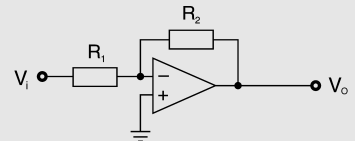
### Icke-inverterande förstärkare

$$V_o = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) V_i$$



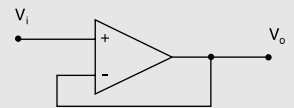
### Inverterande förstärkare

$$V_o = -\frac{R_2}{R_1} V_i$$



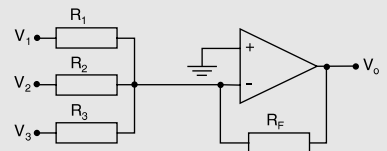
### Spänningsföljare

$V_o = V_i$   
Hög ingångsimpedans och låg utgångsimpedans.



### Summaförstärkare

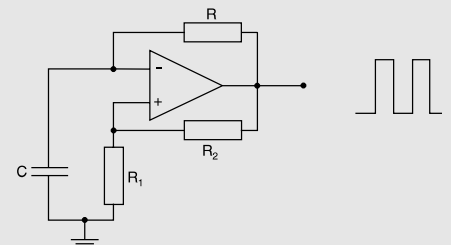
Om  $R_F$ ,  $R_1$ ,  $R_2$  och  $R_3$  görs lika stora blir utspänningen:  
 $V_o = -(V_1 + V_2 + V_3)$



### Fyrkantsvågsgenerator

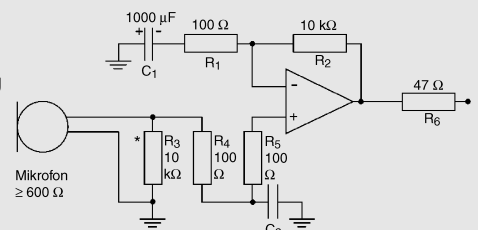
$$f_o \approx \frac{1}{2 RC \ln\left(\frac{2R_1}{R_2} + 1\right)}$$

$R_1$  och  $R_2$  väljs så att  $R_1$  är ungefär 1/3 av  $R$  och  $R_2$  är 2 till 10 gånger  $R_1$ .



### Mikrofonförstärkare

Förstärkning = 40 dB  
För 20 dB förstärkning  
 $R_2 = 1$  k $\Omega$



\*  $R_3$  skall vara  $10 \times$  mikrofonimpedansen

## A/D- och D/A-omvandlare

Kretsar för att omvandla analoga signaler till digitala, och vice versa, finner allt fler tillämpningar. Det finns flera orsaker till det. Digitala kretsar och mikroprocessorer är billiga att massstilla. Rent analoga kretsar är svåra att tillverka eftersom man måste ta hänsyn till sådana analoga parametrar som brus, spänningsdrift, spänningsavvikelse, frekvensgång etc.

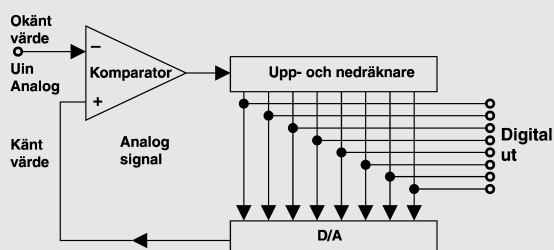
Genom digital signalbehandling av i grunden analoga signaler kan man få en bättre kontroll på systemets parametrar och därigenom ett minskat behov av intrimning i produktionen och efterföljande kontrollmätningar och justeringar vid service. Traditionella analoga kretsar inom t.ex. kommunikationsradio ersätts allt mer av signalprocessorer. Programmen i dessa ombesörjer de algoritmer som ger verkan av t.ex. ett filter (IIR eller FIR), en detektor eller en modulator.

### A/D-omvandlare

Ett vanligt användningsområde för kretsarna är i datorer, t.ex. för mätinsamling. De analoga mätvärdena omvandlas till digitala ord i en analog/digitalomvandlare. Denna A/D-omvandlare brukar föregås av en multiplexer, vilket gör att samma omvandlare i tur och ordning kan ta hand om mätvärden från olika givare. Det finns A/D-omvandlare med inbyggd multiplexer och dessutom med anpassningssnitt direkt till en mikroprocessor, vilket förenklar inkopplingen och spar kretsar. Ibland använder man en sample-and-hold-krets på A/D-omvandlaren ingång för att frysa ett analogt värde under omvandlingstiden.

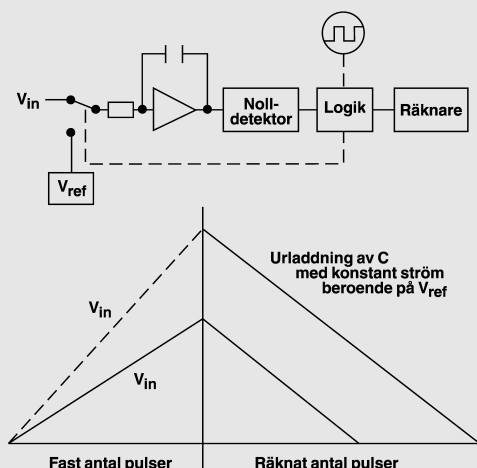
Omvandlingstiden varierar starkt med vilken princip som används. A/D-omvandlare följer tre huvudprinciper: ramp, successiv approximation och flash.

A/D-omvandlare med **successiv approximation** är vanligast. Den prövar med att slå om största biten (den mest signifikanta) först, därefter näst största etc, och fortsätter så att pröva till dess att det digitala värdet motsvarar det analoga på ingången.



A/D-omvandlare enligt principen successiv approximation.

Multimetrar brukar ha en **rampomvandlare**, om det inte är fråga om ett precisionsinstrument som använder successiv approximation. Rampomvandlaren tar god tid på sig att göra en omvandling, men den är billig att tillverka. Det finns en mängd varianter på denna princip. I digitalmultimetrar är dubbelrampomvandlare vanligast. Under ett fast tidsintervall, t.ex. under 1 000 klockpulser, byggs en spänning upp över en kondensator. Spänningen över kondensatorn är proportionell mot mätspänningen (inspänningen). I nästa moment kopplas in-signalen bort. Kondensatorn laddas ur under ett antal klockpulser. Räknerställningen av dessa motsvarar direkt inspänningen.



A/D-omvandlare, rampomvandlare.

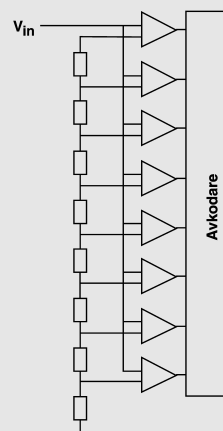
Vissa tillämpningar kräver mycket snabba A/D-omvandlare, t.ex. digitala oscilloskop och digitala spektrumanalysatorer. Här är **flashomvandlaren** oöverträffat snabb. Instrumenttillverkarna tillverkar för eget bruk omvandlare som klarar 1

GHz eller mer. På öppna marknaden finns det standardtyper som klarar några hundra MHz. I princip består flashomvandlaren av en steg av komparatorer. Dessa slår om samtidigt och ger direkt ett digitalt värde ut.

En variant på temat, "**halv-flash**", gör omvandlingen i två steg. Metoden är därigenom hälften så snabb som full flash, men den ger högre upplösning för en given kostnad. Eftersom flashomvandlarna har ett stort antal komparatorer på ingången har de en låg och mycket varierande inimpedans. Därför bör de föregås av ett drivsteg med god drivförmåga för att inte impedansvariationerna skall ge linjäritetsfel.

Genom att använda medelvärdesbildning är det möjligt att öka antalet bitars upplösning utöver det använda antalet. En 8 bitars omvandlare kan därför ge t.ex. 10 bitars upplösning. Omvandlingen kräver ett antal uppsättningar ord för att ge medelvärde och omvandlingstiden förlängs därför drastiskt.

Ett specialfall av medelvärdesbildningen är **sigma/delta-omvandlare**. De kallas även delta/sigma- eller bitströmsomvandlare. I princip är detta en 1 bits omvandlare (!) som genom medelvärdesbildning kan ge ända upp till 20 bitar, men då med mycket låg bandbredd. Tekniken tillämpas numera i CD-spelare. Bitströmsomvandlarna är billiga att tillverka, de ger god linjäritet och problemet med spänningsspikar för de största bitomslagen bortfaller. Dessutom är de billigare att tillverka tack vare att större delen av kretsen utgörs av digitala funktioner.



A/D-omvandlare, flashomvandlare.

### D/A-omvandlare

D/A-omvandlare kan byggas med viktade motstånd (1, 2, 4, 8, 16 ohm o.s.v.), eller med ström- eller spänningsmatade ladder-nät. Även andra varianter förekommer i monolitkretsar.

Specifikationer av en D/A-omvandlare innefattar information om upplösning (antal bitar, noggrannhet hos utsignalen), settid (eng settling time) samt "slew rate", max förändringskoefficient hos utsignalen. Utrustning för audiobruk, t.ex. i CD-spelare, har mycket höga krav på prestanda hos D/A-omvandlare.

## Logikkretsar

Ett enkelt sätt att dela in dagens logikfamiljer är att titta på matningsspänningen. Den traditionella TTL (Transistor-Transistor-Logic)-familjen matas med 5 volt. Idag finns även familjer för 3,3 volt och 2,5 volt, anpassade till nya krav från minneskomponenter och nya, mycket snabba bussarkitekturer.

Ytterligare en indelning görs efter teknologi. De vanliga Bipolär- och CMOS-teknologierna har kompletterats med BiCMOS så att det idag finns tre vanliga teknologier.

### Bipolära familjer

Bipolära familjer arbetar normalt med en matningsspänning som är relativt kritisk. Den skall för 74-familjen (5 V matningsspänning) hålla sig inom 4,75 till 5,25 V. Spänningen bör kopplas av på spridda delar av konstruktionen eftersom belastningen varierar med signalerna och eftersom strömspikar uppkommer då totpole-utgångarnas transistorer kortvarigt kan leda ström samtidigt. Avkopplingskondensatorer bör ha så korta anslutningstrådar som möjligt. För att få god störmarginal, även då kretsarna hanterar snabba signaler, bör även jordplanet vara stabilt. Nivågränserna för en TTL-utgång är för nolla högst 0,4 V och för etta minst 2,4 V och upp till matningsspänningen. Att ett-nivån inte är högre beror på TTL-utgångens uppbyggnad med spänningsfall över ett 130 ohm motstånd, en transistor och en diodsträcka. För en ingång gäller max 0,8 V respektive min 2,0 V. I värsta fall har man alltså att räkna med en störmarginal av 0,4 V för etta och 0,4 V för nolla. Vanligen räknar man dock med 0,7 V för etta.

**74 Standard-TTL** är den ursprungliga TTL-familjen. Idag används med fördel modernare varianter. Per grind räknat är fördröjningstiden ca 10 ns och effektutvecklingen 10 mW.

**74S Schottky-TTL** var den första snabba TTL-familjen. En Schottkydiod ingår och den hindrar en transistor att bli bottnad. Idag använder man hellre AS, som är snabbare. Fördröjningstiden per grind är ca 3 ns för S-TTL. Effekten per grind är 20 mW. Schottkydioden består av en metall-n-övergång i stället för en pn-övergång som i en vanlig diod. Schottkydioden har låg kapacitans, lägre framspänningsfall än kiseldioden, och den är lätt att integrera.

**74AS Advanced Schottky-TTL** har en fördröjningstid på ca 1,5 ns per grind. Effektförbrukningen per grind uppgår till 22,5 mW.

**74LS LowPowerSchottky-TTL** används idag som ersättare för Standard-TTL. Fördröjningstiden är ca 9 ns per grind, d.v.s. något snabbare än Standard-TTL. Effektförbrukningen per grind är dessutom bara 2 mW.

**74ALS Advanced Low Power Schottky-TTL** förenar snabbhet och låg effektförbrukning. Det innebär 4 ns stegfördröjning och 1 mW per grind.

**74F FAST-TTL** är mycket snabb med 3 ns fördröjningstid och en effektförbrukning per grind på 4 mW.

### CMOS-familjer

Bland dessa kan vi utskilja två huvudtyper. De som arbetar med CMOS-nivåer och de som arbetar med TTL-nivåer. De senare kan användas tillsammans med bipolära TTL-kretsar om man iakttar vissa konstruktionsregler. Kretsarnas utgångar består av komplementära MOS-transistorer, därav namnet. Effektförbrukningen är mycket låg i vila, ca 10 nW per grind. Den stiger dock med ökad arbetsfrekvens och vid några MHz är den ungefär densamma som i ALS-TTL. Störmarginerna är mycket högre för CMOS-kretsarna. De kan höjas ytterligare genom att man höjer matningsspänningen. Tack vare denna möjlighet har CMOS tagit över rollen som högnivålogik från de gamla bipolära högnivåfamiljerna. Detta är värdefullt i industriell miljö där arbetsfrekvenserna är måttliga. Man får se upp med att kombinationen hög arbetsspänning och hög klockfrekvens kan resultera i alltför stor effektutveckling i kretsarna.

**4000-familjen**, som är den äldsta CMOS-familjen, kom under 60-talets slut. Den är långsam, jämfört med TTL-familjerna. Fördröjningen är ca 20 ns per grind. Benkonfigurationen skiljer från TTL. Matningsspänningen kan ligga mellan 3 och 15 V (i vissa fall 18 V). I familjen finns det buffrade versioner, 4000B som jämfört med de obuffrade har längre genomgångsfördröjning men bättre störmarginer, konstant utimpedans, högre förstärkning och lägre inkapacitans. Det finns en risk för oscillation om de buffrade matas med en långsamt stigande flank.

**74C** är en variant av 4000-serien med benanslutningar enligt TTL, men med CMOS-nivåer.

**74HC och 74HC4000** ersätter till 74C och 4000-familjerna. Benkonfigurationen är oförändrad men de är betydligt snabbare. Fördröjningen är ca 8 ns per grind. Matningsspänningen kan tillåtas ligga mellan 2 och 6 V. Störmarginerna är 1,4 V mot hög och låg nivå.

**74HCT** utgör en variant av HC, anpassad för TTL-nivåer. Den har samma snabbhet som HC. Matningsspänningen tillåts ligga mellan 4,5 och 5,5 V. Störmarginerna är 0,7 V mot låg och 2,4 V mot hög nivå om HCT är kopplad till HCT. För HCT kopplad till LS-TTL gäller 0,47 resp 2,4 V och från LS-TTL till HCT gäller 0,4 resp 0,7 V, d.v.s. samma värde som för LS-TTL till LS-TTL.

**ACL** med dess varianter **AC** (CMOS-nivåer) och **ACT** (TTL-nivåer) kom 1985. Den är väsentligt snabbare än HC. Grindfördröjningen understiger 3 ns. Bland fördelarna märks även en hög och symmetrisk drivförmåga, den kan driva såväl som sänka 24 mA. Vissa typer driver  $\pm 48$  mA eller  $\pm 64$  mA. Utgången kan direkt driva transmissionsledningar. Dessa kan bestå av koaxialkabel, tvinnad kabel eller microstripline. Mottagaränden bör då belastas med ett motstånd, t.ex. 300 ohm för att undvika reflektioner från den mycket högimpediva ingången.

**FCT** är byggd i CMOS, men kan också anslutas till TTL in- och utgångar. Utgången klarar att sänka 64 mA och driva 15 mA. En variant, FCT-T, ger i det höga läget 3,3 V vilket innebär nominellt hög TTL-nivå medan de komplementära CMOS-transistorerna i FCT fungerar som resistorer mot matningsspänning respektive jord. FCT-T är ungefär lika snabb som F och FCT är snabbare.

**AHC Advanced High-Speed CMOS** kan driva 8 mA vid 5 V och har en typisk grindfördröjning av 5,2 ns.

### Lågspänningsfamiljer

**ALB Advanced Low Voltage BiCMOS** är speciellt konstruerad för 3,3 V och ger 25 mA drivförmåga med 2,2 ns grindfördröjning. Ingångarna har clampdioder för att minska över- och underslängar av ingångssignalen.

**ALVC Advanced Low-Voltage CMOS** är en 3,3 V CMOS-familj med 2 ns stegfördröjning och 24 mA drivförmåga. Familjen är speciellt anpassad för att konstruera avancerade minnesystem med exempelvis SDRAM.

**AVC Advanced Very Low Voltage CMOS**-familjen kan arbeta ned till 1,8 V matningsspänning med bara 3,2 ns stegfördröjning.

**ALVT Advanced Low-Voltage BiCMOS** är en 2,5 och 3,3 V-anpassad familj för snabba bussystem. Den har 2,5 ns fördröjning och kan driva 64 mA. Dessutom klarar den att hantera "hot-swap"-system där spänningen är på vid i och urtagning av kretskort, så kallad "live-insertion".

**LVC Low Voltage CMOS**-familjen är en vidareutveckling av 74HC, där man kunnat behålla prestanda som snabbhet och drivförmåga trots att matningsspänningen sänkts till nominellt 3,3 V. Lägre spänning innebär lägre effektförbrukning och för batteridriven utrustning färre battericeller. 74LVC är pinkompatibel med 74HC och har matningsspänningsområdet 1,0 till 3,6 V. Familjen omfattar huvuddelen av de kretsar som finns i 74HC och tillverkas enbart för ytmontering. För sammankoppling med 5 V-logik gäller att 74LV kan drivas från bipolär TTL men inte från 74HC(T). Den kan själv driva TTL och 74HCT. För 74HC hamnar man utanför specifikationen, vilket innebär att den drivna kretsen kan komma att dra mer ström än normalt.

**LVT Low Voltage BiCMOS**-familjen är en 5 V-tålig 3,3 V-familj med 3,5 ns stegfördröjning och upp till 64 mA drivkapacitet för avancerade snabba bakplanslösningar.

### BiCMOS-familjer

Innehåller både bipolära transistorer och komplementära MOS-transistorer. De bipolära används till utgångarna för att kunna ge hög drivkapacitet medan MOS-transistorerna används för att få höghögsmiga ingångar och strömsnåla, interna kretsar.

**BCT** är en BiCMOS-familj med främst bussdrivkretsar. Utgångarna kan driva 25 ohms transmissionsledning vilket innebär att de temporärt klarar att sänka 188 mA. In- och utgångar blir höghögsmiga när matningsspänningen kopplas bort. Ingången, byggd med CMOS, har 1,5 V tröskelspänning och är därför anpassad till TTL-kretsar.

**ABT** är en mycket snabb BiCMOS-familj där de bipolära transistorerna har hela 13 GHz  $f_T$ . Grindfördröjningen är 4,6 ns. Kretsarna är lämpliga att använda för bussanpassning där man kräver hög snabbhet och god drivförmåga. Utgångarna sänker 64 mA och driver 32 mA. Till fördelarna hör fördröjningstider som är oberoende av temperaturen. Den statiska strömförbrukningen är mycket liten och vid höga frekvenser är den lägre än för CMOS.

### Speciella logikfamiljer

**ABTE/ETL Advanced BiCMOS Technology / Enhanced Transceiver Logic** ger drivförmåga upp till 90 mA och är anpassad för VME64-ETL-specifikationen.

**BTL/FB+ Backplane Transceiver Logic** för IEEE 1194.1 och IEEE 896 Future-bus+-standarden. Den fördröjer mindre än 5 ns och kan driva 100 mA.

**GTL/GTLP Gunning Transceiver Logic** och **Gunning Transceiver Logic Plus** är anpassade för högpresterande bakplanslösningar med 80 MHz eller mer som klockfrekvens. Drivförmågan kan varieras upp till 100 mA och utgångarna har styrning av stig- och falltid för att reducera reflektioner och minska EMI.

### Äldre logikfamiljer

**ECL Emitter Coupled Logic** användes mest när man sökte extrem snabbhet. Nivåerna är typiskt (MECL 10000-familjen)  $-0,9$  V för etta och  $-1,75$  V för nolla, d.v.s. svinget är typiskt 0,85 V. Internt arbetar kretsarna kring ett differentialsteg där strömmen styrs till den ena eller den andra kollektorutgången. Strömstyrningen förhindrar bottning, vilket ligger till grund för den höga snabbheten. Det förekommer ECL-kretsar som klarar åtskilliga GHz i klockfrekvens. De är förhållandevis effektkrävande.

**RTL Resistor Transistor Logic** tillhör den äldsta typen av halvledarlogikkoppling. Den är resistanskopplad och innehåller relativt få transistorer. Ingångarna består av ett antal resistorer till en transistorringång. En nackdel är överhörning mellan de olika ingångarna, en annan att kretsen blir långsam. Kopplingstypen kom aldrig ut som integrerad krets. Det gjorde däremot **DCTL**, en variant av den resistanskopplade logiken där varje ingång hade en transistor för att undvika överhörning. Stegfördröjningen är dock lång, 50 till 100 ns. Störmarginerna är låga, bara kring 0,2 V. Kretsarna har idag endast betydelse som reservdelar till äldre apparatur.

**DTL Diode Transistor Logic** var den första stora logikfamiljen. Den var vanlig kring mitten av 1960-talet men ersattes snart av den betydligt bättre familjen TTL. Vid den tiden kunde det hända att man i en och samma konstruktion blandade DTL- och TTL-kretsar eftersom nivåerna inte skiljde så mycket. I DTL är många av motstånderna från RTL ersatta med dioder som tar upp mindre kiselyta. Det logiska arbetet sköts av dioderna och en transistor återställer signalnivån. Utgången, med transistor och kollektormotstånd, gav dålig drivförmåga mot plusspänningen och bättre drivförmåga hade behövts p.g.a. läckströmmen i ingångsdioderna. TTL blev lösningen med sin "totem-pole"-utgång och sin ingång med multiemittertransistorer. Idag har DTL endast betydelse som reservdel.

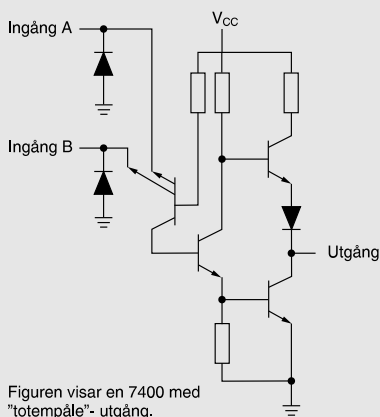
**DTLZ, HLL, HNIL** är exempel på äldre, bipolära kretsfamiljer som klassas som högnivåkretsar. De ansluts till 12 eller 15 V matningsspänning. Kretsarna är långsamma men har mycket god störmarginal. Ibland kopplar man in kondensatorer för att göra kretsarna ännu långsammare så att de blir tåligare mot störningar.

### Utgångssteg

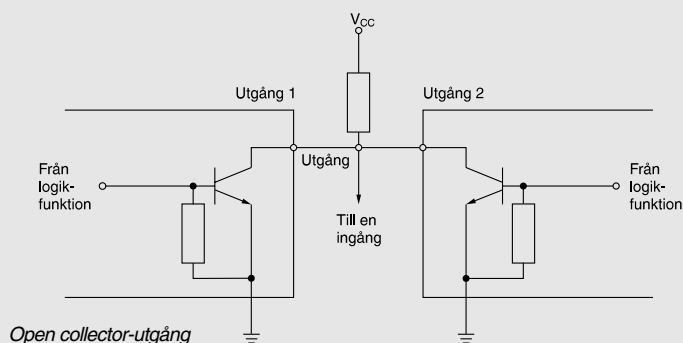
**Totempåle-utgången** (totem-pole) är vanligast inom TTL-logiken. I vissa sammanhang är den dock inte lämplig varför ett par alternativa utgångar har utvecklats.

**Öppen kollektor** (open collector) används antingen då man vill kunna aktivera en ingång från en av flera sammankopplade utgångar (wire-OR-funktion), eller som drivsteg för laster som är matade med hög spänning och/eller hög ström. För att kunna koppla vidare utgången till andra logikkretsar ansluts ett kollektormotstånd. En öppen kollektorutgång består endast av en NPN-transistors kollektoranslutning. Utgången leder antingen mot jord (till-läge) eller är helt öppen (från-läge).

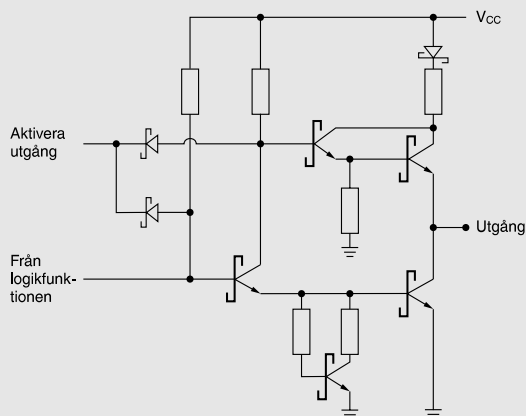
**TRI-state-funktionen** används till att ansluta flera utgångar till en ingång, t.ex. i datorbussen på datorer. En speciell anslutning används till att aktivera utgången så att transistorn (någon av utgångstransistorerna) kan leda. Kretsens utgång är normalt i det "tredje läget" och då leder inga av utgångstransistorerna, utgången är i högimpedansläget.



Totempåle-utgång



Open collector-utgång



TRI state-utgång

### Några konstruktionsregler

**Fan-in och fan-out** är något konstruktören måste ta hänsyn till. En grind i Standard-TTL, typ 7400, har fan-out = 10. Det betyder att den kan belastas med 10 ingångar. Det innebär då 0,4 mA matning från hög utgång eller 16 mA mot jord vid låg utgång. Det är också möjligt att blanda TTL-anpassad CMOS med TTL. En HCT-utgång kan exempelvis belastas med alternativt 2 st Standard TTL, 2 st S-TTL, 2 st AS-TTL, 10 st LS-TTL, 20 st ALS-TTL eller 6 st F-TTL.

**Strömförbrukningen** kan bli mycket låg genom att använda CMOS. I vila, d.v.s. statiskt sett, drar logiken mycket litet ström. Dynamiskt sett ökar strömmen med ökad arbetsfrekvens. Detta beror på att utgångarna belastas med kapacitanser från ledningsmönster och andra logikkretsars ingångar. Vid mycket höga frekvenser är det därför ingen skillnad i strömförbrukning mellan bipolära kretsar och CMOS.

**Störsäkerhet** är något man måste konstruera för från början. Generellt sett är CMOS bättre än TTL och man bör inte välja snabbare kretsar än nödvändigt. Använd med fördel snabba kretsar endast där det behövs i konstruktionen. Lägre spänning till CMOS-kretsarna sänker graden av genererade störningar men samtidigt minskar man störmarginalerna. Använd buffertkretsar, transmissionsledningar och avslutningar där snabba signaler skall överföras på längre avstånd. Kretsarna skall ha korta anslutningar till transmissionsledningen. Håll signaler och jordförbindningar samlade. Låt dem gärna följas åt på kretskortet eller lägg signalledare på ena sidan och jordplan på den andra. Se upp med jordslingor som kan fånga upp eller sända ut störningar.

### Programmerbara logikkretsar

Programmerbara logikkretsar ersätter alltmer de traditionella logikfamiljerna i nykonstruktioner och kan beskrivas som kretsar med konfigurerbara block av logik och vippor. Blocken kan ganska fritt kopplas samman och programmeras med hjälp av minnesceller för att skapa komplexa logikkonstruktioner. Olika typer av arkitekturer och en rad tillverkare gör att det idag finns många olika typer av programmerbara logikkretsar.

Några vanliga typer av programmerbar logik är:

SPLD Simple Programmable Logic Devices  
CPLD Complex Programmable Logic Devices  
FPGA Field Programmable Logic Arrays  
FPIC Field programmable InterConnect

**SPLD** (även kallad PAL, GAL, PLA, PLD beroende på tillverkare) är den minsta och billigaste formen av programmerbar logik. En SPLD består av några stycken till några 10-tal makroceller. Varje makrocell innehåller normalt några stycken typ 7400-seriekretsar och kan kopplas ihop med de övriga cellerna på kretsen. Programmering görs vanligen med EEPROM eller FLASH-teknologi.

**CPLD** (även kallad EPLD, PEEL, EEPLD, MAX beroende på tillverkare) kan liknas vid SPLD men har betydligt högre kapacitet. En typisk CPLD är ofta 2 till 100 gånger större än en SPLD och kan ha upp till en eller ett par hundra makroceller. Normalt är att makrocellerna är grupperade i grupper om 8 eller 16 stycken och är fullt sammankopplade inom varje grupp men inte 100 % sammankopplade mellan grupperna.

**FPGA** (även kallad LCA, pASIC, FLEX, APEX, ACT, ORCA, Virtex beroende på tillverkare) skiljer sig från SPLD och CPLD genom att erbjuda den högsta integrationen av logisk kapacitet. En FPGA består av ett nätverk av logiska block omgivna av programmerbara I/O-block, sammanbundna av programmerbara kopplingar. En typisk FPGA har från ett knappt hundratal till 10 000-tals logiska block och ännu fler vippor. Det finns inte en 100-procentig koppling mellan blocken utan man använder avancerad programvara som "router" (kopplar samman) blocken på effektivaste sätt. Även minnesblock och komplexa funktioner som processorkärnor är ofta integrerade i en FPGA med stora variationer mellan tillverkare och FPGA-familjer.

**FPIC** är egentligen inte en logisk funktion utan snarare en slags "telefonväxel" som på ett programmerbart sätt kan koppla samman ett stort antal I/O-pinnar på kretsen.

### VHDL

För att förenkla konstruktion och programmering av programmerbara logikkretsar har ett gemensamt språk utarbetats som idag är standard inom IEEE. Detta kallas VHDL (Very High Speed Integrated Circuit Hardware Description Language). Det är ett språk som beskriver kretsens struktur och beteende. Dvs. vilka in- och utgångar kretsen har samt den logiska kopplingen däremellan. Utvecklingsverktyg för detta ändamål finns som även kan simulera funktionen innan kretsen programmeras. För programmeringsändamålet har även en standard från JEDEC utarbetats som ger utseendet på den fil som programmeringsutrustningen använder som indata.

## Mikroprocessorer

Mikrodatorns tidiga historia började med ENIAC (the Electronic Numerical Integrator And Calculator), föregångare till dagens mikroprocessorer och PC-industri. ENIAC kunde prestera 5 000 additioner och 300 multiplikationer per sekund när den startades i november 1945. Den kostade en halv miljon dollar, drog 150 kW och vägde med sina 19 000 elektronrör cirka 30 ton.

Alan Turing formulerade idén att program och data kan existera tillsammans i datorns minne. John von Neuman formaliserade tankarna i en uppsats 1945 och lade grunden till "von Neuman"-arkitekturen. Data och programminne samexisterar vid sidan av kontrollenhet, aritmetisk enhet och in/ut-enhet.

Nyckeln till den första mikroprocessorn blev vad som testades i oktober 1958 när Jack Kilby (Nobelpris i fysik 2000) slog på spänningen till den första integrerade kretsen hos Texas Instruments. Utvecklingen som följde under 1960-talet gav Federico Faggin hos Intel det han behövde för att 1971 konstruera MCS4004-processorn, en 4 bitars CPU med 46 instruktioner och 10 mikrosekunders instruktionscykeltid. Processorn skulle sedan snabbt följas av 8008, 8080, 68-familjen från Motorola och senare Z80 från Zilog.

Det finns två huvudgrupper av mikroprocessorer. En processor för flerkretslösningar benämner vi **mikroprocessor** och en enchips- eller enkelkapseldator benämns **mikrokontroller** eller **mikrodator**. På engelska används benämningarna "microprocessor" respektive "microcontroller".

**Mikrodatorn** är självförsörjande och kräver inga ytterligare komponenter för att fungera. Den har integrerat på chipet data- och programminne samt in- och utfunktioner som exempelvis A/D- och D/A-omvandlare och digitala in- resp utgångar. Det finns ett stort urval av mikrodatorer från ett flertal tillverkare. Alla dessa är på ett eller annat sätt anpassade för att minimera antalet komponenter i de applikationer där mikrodatorer används, allt ifrån mikrovågsgunrar, blodanalyser, vågar och fjärrkontroller till bank-kort och självspelande gratulationskort.

Mikrodatorer, även de enklaste, programmeras numer vanligen i högnivåspråk, även om assemblerprogrammering fortfarande förekommer. Vanligast är C-programmering eller någon form av objektorienterad programmering (OOP) typ C++.

Programlagring för mikrodatorer finns i flera former. Traditionellt har många volymapplikationer utnyttjat ROM (Read Only Memory), varvid kretsarna programmeras redan i tillverkningsprocessen. Detta har gett den lägsta kostnaden men också krävt mycket stora volymer för att vara lönsamt. Vanligare är idag att man utnyttjar någon av de fäلتprogrammerbara minnestyperna som FLASH, EPROM eller EEPROM, vilka alla erbjuder sina speciella fördelar.

**FLASH**-baserade mikrodatorer ger fördelen av enkel programmering och möjlighet till programuppdatering utan att ta bort kretsen. Detta liknar hur man kan uppdatera program i till exempel BIOS för PC-moderkort. Med FLASH-teknologi kan man också få mycket stora programminnen integrerade i mikrodatorn.

**EPROM**-baserade mikrodatorer är ofta av typen OTP (One Time Programmable, engångsprogrammerbar). Det ger fördelen av att programmen inte går att förändra eller uppdatera. Tidigare fanns också en prisfördel till de då dyrare FLASH-baserade mikrodatorerna. I kretsar med fönster på kapslarna kan man radera programmen med UV-ljus. Dessa kretsar är förhållandevis dyra och används oftast bara vid programutveckling.

**EEPROM**-baserade mikrodatorer ger enkel programmering med ett i stort sett obegränsat antal omprogrammeringar. FLASH och EPROM har båda begränsningar i det avseendet. Det är dock svårt att göra stora EEPROM-minnen, så minnesstorleken är sällan större än några kilobyte för billigare typer.

**Mikroprocessorer** utvecklas i två riktningar, **CISC** eller **RISC**. Tidigare har CISC (Complex Instruction Set Computer) varit den dominerande processortypen. RISC (Reduced Instruction Set Computer) har används mest i snabba arbetsstationer och för bildbehandling och signalanalys. Moderna CISC-typer har övertagit en hel del av de funktioner som tidigare återfanns bara i RISC-processorer, t.ex. pipelines, parallell exekvering (som innebär att man har instruktioner och data uppdelade på var sin buss, s.k. Harvardarkitektur), cache-minnen m.m.

Att välja mikroprocessor eller mikrodator är dock inte enbart en fråga om att välja bästa prestanda. I viss utrustning kanske kostnadsaspekten dominerar, i en annan strömförbrukningen etc. Mycket avgörande är också utvecklingsmiljön, exempelvis att det finns emulatorer och programvara för mikroprocessor eller mikrodatorn.

**Utvecklingsmiljön** för programutveckling och avlusning har ofta stor betydelse för hur man lyckas med ett mikroprocessor- eller mikrodatorprojekt. Emulator-kort och system för ICE (In Circuit Emulation) är viktiga och tidsbesparande verktyg i kombination med väl fungerande högnivåspråk och avlusningsprogramvara.

**Högnivåspråk** sparar tid. Man räknar med att det tar samma tid att programmera och avlusa en rad i ett högnivåspråk som en rad Assemblerkod. Det gör det i storleksordningen 10 till 100 gånger effektivare att skriva även små program i högnivåspråk. Det kan bli mycket billigare, speciellt för mindre projekt, att lägga pengar på en dyrare komponent, med större programminne, än att spendera tid på programutveckling.

**Minnet** i mikrodatorer består av två typer, dataminne och programminne. Dataminnet på chipet har vanligen storlekar från 1 kbyte upp till 32 kbyte (256 kbit) och programminnet från 16 kbyte upp till 1 Mbyte (8 Mbit). Programminnen på flera hundra kbyte ger stora möjligheter till effektiv programmering i högnivåspråk av såväl enkla som mycket avancerade system.

Vanliga funktioner som ofta är integrerade i mikrodatorer är t.ex. timers, watchdog, serieinterface, A/D- och D/A-omvandlare och displaydrivare.

**Timers** finns i en mängd varianter. Dels enkla räknare med 8, 16 eller 32 bitars upplösning. Ofta används mikrodatorns oscillator (klocka) för att direkt eller via en frekvensdelare räkna eller mäta tid eller pulser. Men timers finns även som avancerade delsystem, byggda med register, som kan programmeras för att skapa avancerade pulståg eller styrsekvenser för t.ex. stegmotorstyrning eller pulsbreddsmodulerade signaler.

**Watchdog** (övervakningskrets) är något som de flesta system behöver för att hantera låsningar om processorn/mikrodatorn skulle stanna. Låsningar kan t.ex. uppstå som resultat av störningar i spänningsmatningen eller av programfel. Med en watchdog kan låsningen detekteras och mikrodatorn startas om på ett förutbestämt sätt.

**Serieinterface**. Seriell kommunikation finns i en mängd olika utföranden. Äldre traditionella asynkrona protokoll som RS232 behöver en UART (Universal Asynchronous Receive Transmit) eller den synkrona varianten USART. Ett system som Philips utvecklat och som många kretsar stöder är I<sup>2</sup>C (Inter-IC)-bussen. Även USB (Universal Serial Bus) och Ethernet stöds idag av integrerade periferisystem.

**A/D- och D/A-omvandlare** har utvecklats med ökad upplösning för varje år. Ofta finns analoga multiplexrar för ett antal kanaler integrerat vilket gör det möjligt att övervaka flera analoga signaler samtidigt.

**Displaydrivare**. I många fall är den enda utsignalen från ett mikrodatorsystem en display. Med displaydrivning integrerad krävs inga externa komponenter för att hantera mindre displayer direkt.

**Mikroprocessorer** och **mikrodatorer** kan enkelt delas in i vilken ordlängd (bussbredd) de arbetar med. Man kan generellt säga att med större ordlängd följer högre beräkningsprestanda. Fler bitar i ordet gör att man behandlar fler siffror samtidigt. 8 och 16 bitar är den vanligaste ordlängden för mikrodatorer men även 4 bitar förekommer i enkla, oftast äldre, mikrodatorer. För mikroprocessorer finns 32 och 64 bitar som standard och för speciella grafikprocessorer är även 128 och 256 bitars ordlängd vanlig.

**Digitala signalprocessorn (DSP)** är en speciell typ av processor som är avsedd att bearbeta numeriska algoritmer mycket snabbt. Många av de funktioner som traditionellt tillskrivits DSP:n finns idag med även i enklare mikrodatorer. Ett exempel är MAC-instruktionen (Multiply Add and accumulate) som kan effektivisera de flesta rutiner för signalbehandling. I kombination med integrerade A/D-omvandlare kan DSP-instruktioner göra det möjligt för mikrodatorer att exempelvis hantera taligenkänning eller rutiner för att känna igen handskrift på en LCD-display med tryckkänslig film.

## Minneskretsar

Alla former av datorer, vare sig det är frågan om konsumentprodukter som videokameror eller professionella produkter som styrsystem till rymdsonder, innehåller halvledarminnen. Minneskapaciteten har utvecklats från 1 024 bitar per krets 1971 till 1 073 741 824 bitar (=1 Gbit) per krets 30 år senare. En ökning som innebär att minnenas kapacitet fördubblas var 18:e månad (Moore's Lag). En utveckling som kan beskrivas med att ett halvledarminne årgång 1970 kunde lagra 2 rader text, och trettio år senare kan man lagra 200 normalstora böcker i ett 1 Gbit FLASH-minne.

De vanligaste halvledarminnena på marknaden kan delas in i flyktiga respektive icke-flyktiga minnen.

### Flyktiga minnen

Flyktiga minnen är minnen som mister informationen när spänningsmatningen upphör.

**DRAM (Dynamic Random Access Memory**, Dynamiskt Slumpmässigt Tillträde-Minne). En översättning som haltar men för fram det viktiga: att man kan läsa informationen utan att tänka på ordningsföljd eller var informationen finns lagrad. Varje minnesposition/minnescell kan adresseras individuellt/slumpmässigt. Minnesinformationen lagras som laddning i celler (egentligen små kondensatorer), vars laddning upprätthålls av refresh- (återskrivnings-) logik på minneskretsen.

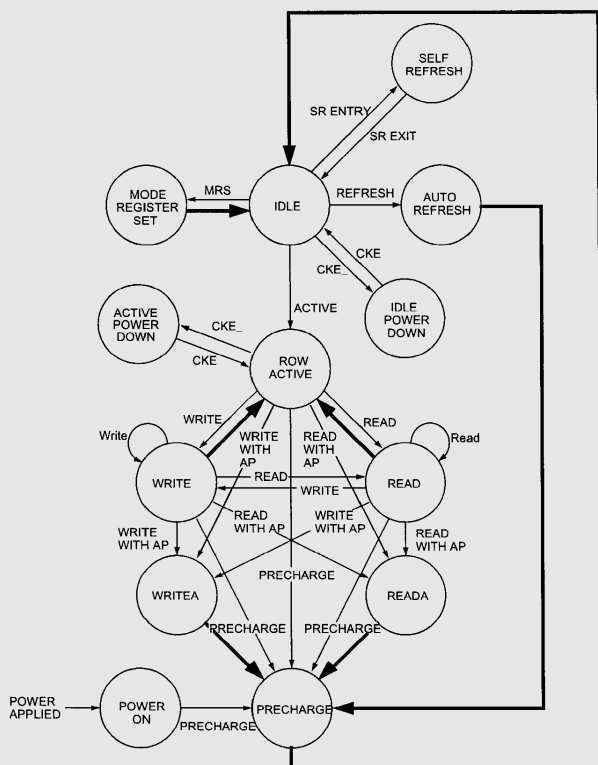
**FPM (Fast Page Mode)**, ett DRAM med en teknik som inte längre används för nykonstruktion. Minnestypen är vanlig i PC-datorer från början av 90-talet.

**EDO (Extended Data Output)** efterföljaren till FPM som normalt anses ha bättre (kortare) accesstid än FPM och kräver ungefär 25 % färre minnescykler för att läsa eller skriva samma mängd data. Detta är möjligt genom att adresseringen av nästa cell kan påbörjas samtidigt som den nuvarande cellens innehåll presenteras på bussen.

**SDRAM, (Synchronous DRAM)** utnyttjar att minnet matas med en separat klocka. PC66, PC100 eller PC133 för 66, 100 eller 133 MHz klocka är vanligast förekommande. Logikfunktioner i minnet gör att man kan läsa data blockvis, utan att förse minnet med nya adresser. Läsningen görs i samma takt som minnesklockan. För ett PC100-minne innebär det att man kan få minnesbandbredder på många hundra megabyte/sekund.

**DDR SDRAM (Double Data Rate Synchronous DRAM)**. Genom att använda varje flank för klockpuls, både positivt och negativt gående flank, kan data läsas ut med dubbla hastigheten jämfört med ett standard SDRAM.

**D-RDRAM (Direct Rambus DRAM)**. Rambus är ett företag som har utvecklat en speciell adresseringsmetodik som möjliggör en upprätthållen databandbredd på 1,6 GByte per sekund. I sina RDRAM har de också övergivit den multiplexade adressbussen som alla andra DRAM har. RDRAM kapslas i BGA (Ball Grid Array) eller CSP (Chip Scale Package) kapslar med storleksordningen 100 anslutningar per minneskapsel. Dessa kapslar hanterar enkelt många anslutningar med bibehållen låg kapacitans och induktans, vilket ger goda högfrekvenssegenskaper.



Det komplexa STATE-diagrammet för ett typiskt modernt SDRAM.

**SRAM (Static Random Access Memory)**. Till skillnad mot ett DRAM är ett SRAM konstruerat så att informationen inte behöver återskrivas för att upprätthållas i minnet. Informationen lagras inte heller som laddning i en kondensator utan i en vippa som består av ett antal korskopplade transistorer. SRAM har lägre strömförbrukning och kan generellt sägas vara snabbare än DRAM. De vanligaste områdena för SRAM är som minne i batterimatade system och som snabba cacheminnen, exempelvis L2-cache för PC-datorer.

## Icke-flyktiga minnen

Icke-flyktiga minnen är minnen som behåller informationen när spänningsmatningen upphör.

**FLASH EPROM**, ett elektriskt raderbart och programmerbart läsminne, har fått sitt namn från sättet som det raderas på. Minnet är organiserat i block och varje block kan raderas med en enkel raderingsoperation, "flash"-blitz. Raderingen fungerar med vad som kallas Fowler-Nordheim-tunneleffekt, där elektroner passerar ett mycket tunt dielektriskt skikt och tar bort laddningen från ett flytande styre (gate) som finns i varje minnescell. FLASH-minnen är idag den vanligaste formen av halvledarminne för icke-flyktig datalagring. I vanliga FLASH-minnen

lagras en informations-bit per cell. Cellens laddningsnivå bestämmer om det är en etta eller nolla som är lagrad. Moderna typer av stora FLASH-minnen lagrar information med flera nivåer. Med fyra laddningsnivåer kan varje minnescell lagra två bitar med information. Denna multivåteknologi används i FLASH-minnen på 512 Mb eller mer. FLASH-minnen används bland annat i BIOS-kretsar för PC, mobiltelefoner och digitala kameror. FLASH används som lagringsmedia i olika typer av minneskort och som programlagring för många typer av mikroprocessorbaserade system.

**EEPROM (Electrically Erasable Programmable Read Only Memory)**, ett elektriskt raderbart och programmerbart läsminne. En motsvarande funktion som FLASH-minnen men med möjlighet att individuellt programmera enskilda minnesceller. EEPROM är ingen konkurrent till FLASH-minnen när det gäller storlek, men ett EEPROM tillåter ungefär 10 till 100 gånger fler skrivoperationer än ett FLASH-minne. Att det går att återskriva informationen så många gånger gör EEPROM lämpliga i många applikationer där data måste uppdateras kontinuerligt. Vanliga användningsområden för EEPROM är seriella minnen för lagring av exempelvis telefonnummer i mobiltelefoner och som programminne för små omprogrammerbara mikroprocessorer eller smarta kort som t.ex. GSM SIM-kort.

**EPROM (Electrically Programmable Read Only Memory)**, ett optiskt raderbart och elektriskt programmerbart läsminne. EPROM raderas optiskt med ultraviolett ljus och var den första typen av icke-flyktigt men elektriskt programmerbart läsminne. Redan på tidigt 70-tal fanns minnestypen och har under 25 år dominerat läsminnena men är nu till stor del ersatt av FLASH-minnen. Ingen nykonstruktion görs idag med EPROM.

**PROM**, ett ej raderbart och elektriskt programmerbart läsminne, är en föregångare till EPROM. Denna typ av minne förekommer visserligen fortfarande men i mycket liten utsträckning. Programmeringen görs genom att i kretsen inbyggda säkringar av en nickel/kromlegering bränns av. Därför kan kretsen ej raderas och återprogrammeras.

**ROM (Read Only Memory)**, ett ej raderbart maskprogrammerat läsminne. Maskprogrammerade läsminnen har länge varit ett kostnadseffektivt alternativ för att lagra stora mängder data på ett minneschip. Minnets information läggs in redan vid chip tillverkningen genom att modifiera en av maskerna som ligger till grund för minnets uppbyggnad. Beställaren av minnet betalar en, ofta inte obetydlig, maskkostnad till halvledartillverkaren. ROM används normalt bara i system eller apparater som tillverkas i mycket stora serier.

## Transformatorer

En transformator består i sin enklaste form av en järnkärna med två lindningar. Om strömmen i primärlindningen är sinusformad kommer även flödet i kärnan att ändra sig enligt en sinusfunktion. Flödesändringen inducerar i sekundärlindningen en sinusformad spänning. Om flödet vore konstant skulle däremot ingen spänning induceras i sekundärlindningen. Av detta följer att transformatorn inte överför likström.

Av denna enkla beskrivning ser vi att transformatorn har två uppgifter:

- Att överföra en växelspanning från primär- till sekundärsidan samtidigt som man, om man vill, får en galvanisk isolation mellan primär- och sekundärsidorna.
- Att transformera (= överföra och omvandla) en växelspanning till en annan. Detta kan beskrivas med en enkel formel:

$$U_p / U_s = n_p / n_s$$

där  $U_p$  = primärspänningen  
 $U_s$  = sekundärspänningen  
 $n_p$  = varvtalet hos primärlindningen  
 $n_s$  = varvtalet hos sekundärlindningen

**Nättransformatorn** är ett exempel på transformering av en växelspanning till en annan, t.ex. 230 V till 11 V. Inmatad effekt = utmatad effekt – förlusteffekter. Det betyder att om vi tar ut t.ex. 1 A på sekundärsidan kommer minst 0,05 A att flyta på primärsidan.

Transformatorn är dimensionerad för en viss maximal effekt som inte får överskridas. Det betyder att lindningsresistanserna skall vara tillräckligt låga för att inte ge stora spänningsfall. Det betyder också att transformatorns kärna måste ha tillräcklig storlek för att inte mättas. Dess storlek avgörs inte bara av den överförda effekten utan även av frekvensen. Allmänt gäller att ju lägre frekvensen är, desto större kärna behövs.

Kärnan är inte massiv eftersom *virvelströmmar* då skulle uppstå som resulterar i stora förluster. I stället används transformatorplåt som staplas till ett paket av blad som är isolerade. Dessa klipps ofta i formen av ett E och ett I. De bildar tillsammans en *EI-kärna* där spolen ligger i mitten för att så mycket som möjligt av magnetfältet skall samlas runt denna.

I vissa tillämpningar är läckflödet kritiskt. Det gäller t.ex. i Hi-Fi-förstärkare och mätutrustning där fältet inducerar brum. Här är ofta **ringkärnetransformatorn** ett bättre val eftersom denna har ett mycket litet läckflöde. En egenhet hos

ringkärnor är att tillslagsströmmen är kraftigare än hos EI-kärnetransformatorn. De överför även störningar på nätet i högre utsträckning. Ringkärnan används sällan för effekter över 500 VA.

**Fulltransformator** kallas en transformator med separata primär- och sekundärlindningar. Denna ger galvanisk åtskillnad mellan in- och utgång.

**Spartransformatorn** har gemensam primär- och sekundärlindning. Denna transformortyp ger därför ingen galvanisk isolering mellan in- och utgångar, men den kan användas för att transformera spänningar såväl upp som ned. P.g.a. den "tåta" kopplingen mellan lindningarna och att lindningen tar mindre plats blir denna transformortyp något mindre än en med två lindningar.

**Vridtransformatorn** är oftast en variant av spartransformatorn där inkopplingen av sekundärlindningen flyttas så att sekundärspänningen kan varieras. Den är lämplig att använda i laboratorier där man t.ex. vill kunna undersöka hur viss apparatur uppför sig vid varierande nätspänning. Vridtransformatorn tillverkas även som fulltransformator.

**Isolationstransformatorn** är en fulltransformator som används för att ge en strömförsörjning åtskild från elnätet. I mätlab utnyttjas den exempelvis där man inte kan använda de jordade nätuttagen för att man då får jordslingor som kan påverka mätresultaten.

Nätets båda poler har som bekant spänningarna 230 och 0 V mot jord. Isolationstransformatorns sekundärlindning kan lämnas utan jordanslutning och ger på så sätt ingen spänning mot jord (sekundärspänningen blir "flytande"). Denna flytande spänning minskar väsentligt risken för dem som arbetar i laboratoriet.

Isolationstransformatörer förses ofta med skärm mellan primär- och sekundärsida för att förhindra att störningar överförs kapacitivt.

**Skyddstransformatorn och mellantransformatorn för skyddsändamål** skall användas för att begränsa risken för elchock i vissa anläggningar och bruksföremål. Dessa fall finns beskrivna i de svenska starkströmsföreskrifterna. Transformatorerna skall ha betryggande isolering mellan primär- och sekundärsida, och en begränsad utspänning som kan vara t.ex. 12, 24, 42, 115 V beroende på användningsområde. Skyddstransformator kallas den som lämnar s.k. skyddsklenspänning om högst 50 V, mellantransformator för skyddsändamål den som lämnar spänning mellan 50 och 125 V.

Till leksaker skall man använda en s.k. **leksakstransformator** som lämnar skyddsklenspänning om högst 24 V och ger god säkerhet även vid oaktsam hantering.

**Ringledningstransformatorn** är en skyddstransformator avsedd för dörrlockor och liknande. Den får ha en kortslutningsström om högst 10 A för att undvika möjlig skada på ringledningen, och behöver bara klara kortvariga belastningar.

Dessa och övriga skyddstransformatortyper såsom **rakapparattstransformatörer** och **handlampstransformatörer** skall uppfylla olika krav som är specificerade i internationella normer.

**Lågfrekvenstransformatorn** har ett syfte som skiljer sig markant från nättransformatorns. Denna används inte främst för att transformera en växelspänning till en annan, utan för att *transformera en impedans* till en annan. Detta används vid anpassning mellan exempelvis två förstärkarsteg eller vid anpassning mellan en förstärkare och en högtalare.

Impedansomsättningen utgör kvadraten på lindningarnas varvtalsförhållande (= spänningsförhållande), d.v.s. en transformator med ett varvtalsförhållande av 10:1 har ett impedansförhållande av 100:1.

Lågfrekvenstransformatörer för Hi-Fi-bruk skall kunna överföra hela tonfrekvensområdet 20 Hz till 20 kHz utan variationer i dämpning och utan större fasvridning. Det innebär i praktiken att de skall ha ett frekvensområde som är ännu större. Det är därför betydligt svårare att konstruera och bygga en lågfrekvenstransformator än en nättransformator som bara behöver fungera väl på en enda frekvens.

**Utgångstransformatorn** är en mycket kritisk komponent. Den har åter fått aktualitet i audioförstärkare och instrument byggda med elektronrör. Rören skall belastas med en optimal impedans som man vid konstruktionsarbetet tar fram från rörkurvor. Det rör sig om åtskilliga kiloohm som sedan med transformator anpassas till den låga högtalarimpedansen. Den höga impedansen innebär många lindningsvarv vilket ger kapacitans mellan varven. För att man inte skall få en resonans som ligger i närheten av tonfrekvensområdet försöker man hålla denna kapacitans nere genom att linda transformatorn i sektioner där primär- och sekundärlindningarna blandas. Detta ökar även kopplingsgraden mellan lindningarna. Ibland använder man speciallegeringar för att hålla kärnförluster-na nere.

**Små lågfrekvenstransformatörer** används mellan t.ex. en mikrofon eller en pick-up med rörlig spole och förstärkaringången. Även här gäller kravet på stor bandbredd. Speciellt viktigt för en transformator som ligger i början av en förstärkarkedja är att den är väl skärmd mot brumfält. Mymetall kan ge mycket effektiv skärmning.

**Modemtransformatorn** ger galvanisk isolation mellan modem och telenätet. Den är uppbyggd för att passa de normer som teleförvaltningarna ställer. Observera att dessa normer kan variera avsevärt mellan olika länder. I Sverige kan man t.ex. klara sig med 2,5 kV provspänning medan länder som England och Tyskland kräver 4 kV.

**Mellanfrekvenstransformatorn** består av två kopplade resonanskretsar. Den är konstruerad för en viss arbetsfrekvens, t.ex. 455 kHz (AM) eller 10,7 MHz (FM), som kan trimmas med spolarnas trimkärnor. Vid AM, SSB och CW vill man ofta ha minsta möjliga bandbredd, d. v.s. ett så högt Q-värde som möjligt, medan transformatorer för FM-rundradio bör ha ca 250 kHz för att inte ge distorsion. I Hi-Fi-tuners önskas som regel större bandbredd, då man där främst söker låg distorsion, medan man i en bilradio kan tolerera högre distorsion för att i stället vinna högre känslighet.

**Strömtransformatorn** används för att på magnetisk väg mäta strömmen genom en ledare. Detta innebär att strömbanan inte behöver brytas för själva mätningen. Den används bl.a. i samband med jordfelsbrytare.

**Switchtransformatorn** används ofta i stället för en konventionell transformator i nätaggregat och DC/DC omvandlare. För ett switchande aggregat är frekvensen väsentligt högre än nätfrekvensen, ofta upp till ett par 100 kHz, ibland till och med några MHz.

## Nätaggregat

230 V växelspänning är utmärkt för att distribuera elenergi till olika förbrukare inom en byggnad, men sedan måste den omvandlas till lämplig spänning vid förbrukningsstället. Det finns ett antal metoder att göra denna omvandling på, mer eller mindre lämpliga, beroende på användningsområde.

Det enklaste nätaggregatet består av en transformator, likriktarbrygga och glättningfilter. Förlusterna i dessa jämte laddning och urladdning av kondensator(erna) p.g.a. den pulserande likströmmen ger dock en relativt hög utimpedans vilket gör att utspänningen varierar starkt med belastningen. Den typen av nätdel förekommer nästan enbart i s.k. batterieliminatörer för tillämpningar där man inte kräver en konstant spänning.

För att slippa spänningsvariationer vid varierande belastning måste vi reglera spänningen på något vis, t.ex. genom att komplettera det enkla nätaggregatet enligt ovan med en linjär regulatorkrets. Enklaste formen av en **parallellregulator** består av en zenerdiode. Denna kan kompletteras med en emitterföljare för att medge högre ström. Emitterföljarens utgångsresistans ökar dock utresistansen. Principen förekommer i batterieliminatörer och i enklare stabbaggregat.

Bättre är att bygga en **serieregulator** med servoslinga. En sådan kan byggas så att den ger mycket litet rippel ut och med låg utgångsresistans. All reglerad ström måste dock passera genom en serietransistor i vilken utvecklas hög förlusteffekt om strömmen är stor. Denna typ av nätaggregat har därför relativt låg verkningsgrad. Principen lämpar sig utmärkt för labbaggregat.

I **sekundärswitchande** aggregat hackar (switchar) man strömmen. Genom att variera pulsbredden kan man styra den överförda energin. En servoslinga kan på så sätt reglera utspänningen. Switchtekniken gör att verkningsgraden kan bli mycket hög. Fortfarande är det dock fråga om ett ganska stort aggregat p.g.a. den stora transformatorn. Dess storlek bestäms inte bara av den överförda effekten utan även av  $dq/dt$ .

Genom att öka frekvensen kan man minska transformatorns storlek. Frekvensen är vanligen 20–50 kHz, men upp till 2 MHz förekommer. I det här fallet hackar man spänningen på primärsidan, d.v.s. vi har här ett **primärswitchande** aggregat.

Switchningen i sig alstrar störningar, och det är viktigt att aggregatet förses med effektiva filter på in- och utgångar. Resonant omvandling, en gammal princip som allt mer används, innebär att man arbetar med nästan sinus- i stället för fyrkantvåg. Detta ställer lägre krav på filtrering och skärmning och ofta ger ett sådant aggregat mindre störningar.

DC/DC-omvandlare konverterar, som namnet anger, en likspänning till en annan. Den inkommande likspänningen hackas, transformeras till en annan spänning och stabiliseras via återkoppling till hackaren eller med linjär reglering. Sådana DC/DC-omvandlare finns att få med mycket små mått för att kunna monteras på ett kretskort. Vissa DC/DC-omvandlare har galvaniskt skilda in- och utgångar.

## Störningar

På vårt svenska elnät finns det en flora av olika typer av elstörningar som kan orsaka problem för känslig elektronik. Att störningarna kommer utifrån – d.v.s. från åskan, omkopplingar i kraftstationer, in- och urkoppling av faskompensering och omkopplingar i transformatorstationer – är normalt ganska känt. Men en stor mängd av störningarna uppkommer även inomhus. Dessa störningar kommer då oftast från hissar, lysrör, kopiatorer, kylanläggningar, kompressorer m.m. Till och med en kaffebryggare alstrar störningar på vårt elnät. Det är

framför allt vid till- och frånslag av dessa som störningarna uppkommer. Störningarna som uppkommer kan vara transienter, spänningsskarp, spänningsvariationer, frekvensvariationer och distorsion.

För att skydda känslig elektronik mot dessa olika störningstyper finns det ett antal olika typer av skydd.

## Filter

Störningsfilter är den enklaste formen av skydd mot transienter och spänningsskarp. Filtren har en dämpande effekt endast vid frekvenser över ca 50 kHz. De skyddar inte mot spänningsvariationer. Filtren innehåller normalt varistorer eller "Comgap". Dessa tar till viss del bort sådana transienter som kan förstöra elektronik. Men det finns en risk att den "klippta" störningen fortfarande är tillräcklig för att skada känslig elektronik. Dessutom har dessa filter en isolations-spänning på normalt mellan 600–1400 V vilket leder till att om den kopplas mot elnätet, som har 4 kV, sänks isolationsspänningen i just det uttaget som den kopplas till och man löper därmed risken att störningarna kommer att "dras" till just detta uttag.

## Störskyddstransformatorn

Störskyddstransformatorn dämpar störningar från ca 100 Hz och uppåt, d.v.s. även mellanfrekventa störningar såsom ringningar. Störskyddstransformatorn är framför allt lämpad att skydda datorutrustning och känslig elektronik mot transienter, spänningsskarp och jordstörningar. Störskyddstransformatorn är uppbyggd på en transformator med inbyggda skärmar för upptagande och avledande av störningar, dessutom har dessa normalt avbruten skyddsjord mellan in- och utgången. På utgången finns en ny s.k. "datorjord". Personersäkerheten vid eventuellt isolationsfel i den inkopplade utrustningen upprätthålls genom en inbyggd automatsäkring. Den effektiva störskyddstransformatorn har, liksom elnätet i sig, en isolations-spänning på 4 kV.

## Magnetstabilisatorn

Magnetstabilisatorn är en speciell typ av transformator som bygger på ferresonans-principen. Magnetstabilisatorns huvuduppgift är att stabilisera spänningen. Normalt har datorer inbyggda switchande nätaggregat som klarar spänningsvariationer på ca  $\pm 10-15\%$ . Magnetstabilisatorer klarar av att reglera spänningen inom ett mycket stort område, en stabilisator för 230 V reglerar upp spänningen till denna nivå redan från ca 135 V. Vid överspänning skyddar den alltid den anslutna lasten. Den har också en filtrerande verkan. Magnetstabilisatorn har även oftast separat "datajord" och en isolations-spänning på 4 kV.

## Avbrottsfri kraft

Avbrottsfri kraft används för att skydda datorer och annan känslig elektronik mot plötsliga spänningsvariationer, transienter och strömbavbrott som kan ge förödande konsekvenser. Dessa system innehåller effektomvandlare, batteri samt övervakningskretsar.

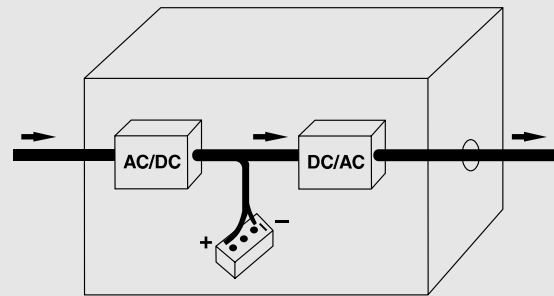
Aggregaten brukar bygga på i huvudsak två olika principer:

### On-line system (UPS – Uninterruptable Power Supply)

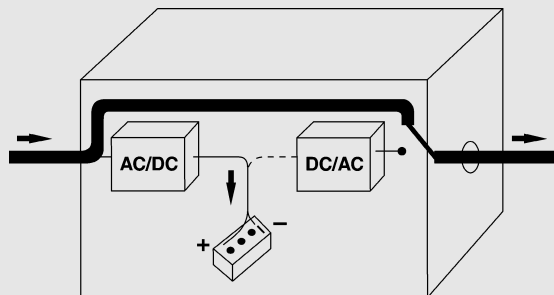
Nätspänningen omvandlas från 230 V växelspanning till likspänning; detta sker genom en kombinerad laddare och likriktare. Den omvandlade spänningen underhållsladdar det normalt inbyggda, underhållsfria blybatteriet, dessutom matar laddningslikriktaren den inbyggda växelriktaren som i sin tur omvandlar spänningen till 230 V växelspanning. Vid ett strömbortfall förser det inbyggda batteriet den inkopplade utrustningen med ström under ett antal minuter, normalt är 10–20 minuter. Omkopplingstiden är helt avbrottsfri. Dessa typer av aggregat skyddar även den inkopplade utrustningen mot transienter, spänningsskarp, spänningsvariationer och frekvensvariationer. För att ytterligare höja driftsäkerheten kan on-linesystemen vara försedda med en intern förbi-koppling (By-pass) som träder i funktion vid kraftig överlast och vid eventuellt fel på växelriktaren. I By-pass läge matas den anslutna utrustningen från nätet.

### Off-line system (SPS – Standby Power Supply)

Vid normaldrift går nätspänningen oreglerad till utgången, samtidigt underhållsladdas de normalt inbyggda underhållsfria blybatterierna. När den inkommande nätspänningen sjunker under en viss nivå (typiskt 197 V) kopplar en avkännande krets in växelriktaren och batterimatningen. Denna inkoppling förorsakar ett spänningsavbrott på mellan 2–10 msek. Ett off-linesystem har en viss transientdämpande funktion via ett inbyggt nätfiler. Reservtiden på ett off-linesystem är normalt mellan 10–20 minuter. Off-linesystemens utspänningskurvform vid batteridrift kan vara kantvåg eller sinus.



On-line system. Batteriet är kontinuerlig kraftkälla och får underhållsladdning av matande nät. Vid bortfall av nätet ligger batteriet redan inkopplat och driften fortsätter helt avbrottsfritt.



Off-line system. Nätet matar anläggningen samtidigt som batteriet enbart får underhållsladdning. Vid ett avbrott sker en snabb inkoppling av batteri och växelriktare. Omkopplingen är inte ögonblicklig utan ger ett avbrott på 2–10 ms.

## Batterier

Ett batteri är en utrustning som omvandlar kemisk energi till elektricitet. Batterier delas oftast in i två grupper: *primärbatterier* och *sekundärbatterier*. Benämningarna är gamla och kommer sig av att man förr ofta laddade ett sekundärbatteri från ett primärbatteri.

Primärbatterier är sådana som används en gång och sedan slängs. Den kemiska reaktionen som skapar den elektriska energin i dem är inte reversibel.

Sekundärbatterier däremot kan återuppladdas och användas igen. Den kemiska reaktionen i dem kan omvändas genom att man tillför en ström istället för att belasta batteriet med en. Dessa batterier används för att ackumulera energi och kallas därför för ackumulatorer eller laddningsbara batterier.

### Primärbatterier

Till denna grupp räknas t.ex. brunnstonsbatterier, alkaliska batterier, magnesi-umbatterier, kvicksilverbatterier, silverbatterier och litumbatterier.

**Brunnstonsbatteriet** eller zink-kolbatteriet är vårt vanligaste batteri. Dess pluspol består av en stav av kol runt vilken finns pulveriserad mangandioxid (brunnsten). Minuspolen utgörs av zink. Fysiskt sett är denna utformad som en zinkbägare. Mellan polerna finns en sur elektrolyt av salmiak och zinkklorid. Utanför



zinkhöljet brukar batterierna förses med en tät kapsel för att förhindra läckage. Om den sura elektrolyten kommer ut kan den fräta sönder batterihållare, mönsterkort och komponenter.

Den tidigare vanligaste standardtypen, även kallad transistorbatteri, ersätts successivt av motorbatteriet som inte bara tål högre strömmuttag utan som även har högre kapacitet beroende på att renare material används.

Ett nytt batteri ger 1,5 V men spänningen sjunker i takt med att kapaciteten tas ut. Kapaciteten begränsas kraftigt vid temperaturer under 0 °C.

**Alkaliska batterier** har en elektrolyt som är alkalisk, bestående av kaliumhydroxid. Elektroden består av zinkoxid som minuspol och mangandioxid som pluspol, d.v.s. samma material som i brunstensbatteriet. Kapaciteten är högre än i motorbatterier och det alkaliska batteriet tål högre strömmuttag. Skillnaderna i kapacitet mellan transistor-, motorbatterier och alkaliska batterier är störst vid stor belastning. Därför är det alkaliska batteriet lämpligt att använda i t.ex. små bandspelare, typ "freestyle", i blyttaggregat etc. Det alkaliska batteriet arbetar effektivt inom temperaturområdet -30 °C till +70 °C.

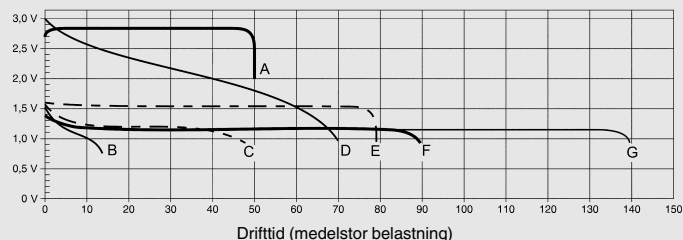
**Silveroxidbatteriet** har en minuspol av zink och en pluspol av silveroxid. Elektrolyten är alkalisk. Den största fördelen är att utspänningen håller sig relativt konstant vid 1,5 V för att sedan gå ned abrupt. Det används främst i kameror, kalkylatorer och klockor. Det finns alkaliska knappceller som ett billigare alternativ, men deras spänning sjunker med kapacitetsuttaget och de kan därför inte användas i spänningsskänslig utrustning.

**Kviksilverbatteriet** har en minuspol av zink, en pluspol av kvicksilver samt en elektrolyt av kaliumhydroxid. Det ger 1,35 V (1,4 V förekommer också) under sin förbrukningstid varefter spänningen sjunker snabbt. Användningsområdet är detsamma som för silveroxidbatterier.

**Litumbatterier** finns idag i en mängd olika utföranden och med varierande material i katod och elektrolyt. De vanligaste användningsområdena är minnesbackup, klockor, kameror, kalkylatorer och säkerhetsapparatur som ställer höga krav på kapacitet och tillförlitlighet, samt i utrustningar som utsätts för hårda miljöpåfrestningar, p.g.a. litumbatteriets förmåga att arbeta även under extrema temperaturförhållanden.

Den nominella cellspänningen är 3 V, utom Li/Thionylklorid som håller 3,6 V.

Idag finns även laddningsbara litiumceller på marknaden.



Jämförelse mellan primärbatterityper (enl Duracell). A – Litium/SO<sub>2</sub>. B – Brunsten. C – Alkaliskt. D – Litium/MnO<sub>2</sub>. E – Silveroxid. F – Kviksilver. G – Zink/luft.

**Zink/luft** är den tredje typen miljövänligt primärbatteri. Nominellt ger det 1,4 V. I batteriet oxideras zink katalytiskt av syret i omgivande luft. Cellen är försluten från fabriken och kan i detta tillstånd lagras upp till 4 år. När förslutningen bryts kan den användas i tre till fyra månader varefter innehållet karboniserar. Utspänningen håller sig kring 1,3 till 1,2 V under hela urladdningsfasen. Energitätheten är mycket hög eller mer än dubbelt så hög som hos litumbatteriet.

Zink/luftcellen arbetar inom -20 °C till +60 °C, men strömmuttaget avtar med minskad temperatur. Kapaciteten påverkas även av den relativa luftfuktigheten och koldioxidhalten i luften. En annan nackdel är att zink-luftcellen kan avge en relativt begränsad ström. Detta kan ge funktionsstörningar i vissa push-pull-kopplade hörapparater, men i de flesta fall kan zink-luftcellen ersätta kvicksilvercellen i hörapparattillämpningar. Zink-luftcellen passar även i t.ex. personsökarer och telemetriutrustning.

## Sekundärbatterier

- Låg vikt
- Lång livslängd
- Hög kapacitet
- Enkel laddning
- Stort strömmuttag
- Miljövänlighet
- Litet temperaturberoende

Säkert känns dessa igen som önskvärda egenskaper för mobila utrustningar. Alla kommer vi i kontakt med utrustningar som innehåller någon form av ackumulatorer. Allt fler vill ha större rörelsefrihet och slippa sladdar. Men det finns ju en ständigt växande flora av ackumulatorer som alla har olika egenskaper.

Vi ska här presentera de vanligaste typerna av ackumulatorer, deras olika egenskaper och hur de skall behandlas för att fungera på bästa sätt för att räkna så länge som möjligt. Vi kommer att koncentrera oss på de tre typer som vunnit störst framgång hos konsumenterna: bly-, nickelkadmium- och den nya nickel-metallhydridackumulatortypen.

## Blyackumulatorer

Sekundärbatterier har existerat sedan 1860 då Raymond Gaston Planté uppfann bly-syraackumulatortypen. Blybatterier svarar för ca 60 % av alla ackumulatorer som säljs. Oftast är blyackumulatorer det mest ekonomiska alternativet då kostnaden per Ah, speciellt i större storlekar, är klart lägst för denna typ av ackumulator. Utmärkande för ackumulatortypen är att den klarar tuffa krav på behandling både rent fysiskt och när det gäller i- och urladdning. Som startbatteri och reservkraftsbatteri är blykonstruktionen överlägsen. Tyvärr är materialet i elektroderna bly, vilket i och för sig innebär fördelar vid laddning och urladdning, men det innebär också att vikten blir hög.

Tidigare dominerades marknaden av de öppna blyackumulatorerna men den vanligast förekommande typen av blyackumulatorer är idag den ventilreglerade eller slutna typen, framför allt på den industriella delen av marknaden. I den följande texten har vi alltså valt att koncentrera oss på just den typen av blyackumulatorer.

I detta sammanhang bör man också nämna att det finns olika typer av ventilreglerade blyackumulatorer. Det finns t.ex. speciella typer av blyackumulatorer där elektroderna är spirallindade med en tunn separator mellan sig i en cylindrisk inkompling. Dessa typer har mycket lågt inre motstånd vilket ger möjlighet till mycket stort strömmuttag under kort tid.

## Laddning

Blyackumulatortypen laddas med konstant spänning. Elektroder i bly och elektrolyt av svavelsyra genererar en cellspänning på 2 V. Dessa celler byggs oftast samman till paket innehållande 3 eller 6 celler. Om ackumulatortypen används i cyklisk drift, d.v.s. laddas upp och sedan används för att senare laddas upp på nytt, så skall laddningsspänningen vara 2,40–2,50 V/cell, d.v.s. 14,4–15,0 V för en 12 V ackumulator. Många använder blyackumulatorer för underhållsdrift eller konstantladdning då ackumulatortypen normalt inte används men laddas hela tiden för att vara fulladdad vid behov, t.ex. i UPS:er eller vid larminstallationer. Laddspänningen skall då vara 2,25–2,30 V/cell eller 13,5–13,8 V för en 12 V ackumulator. Laddaren bör också vara så anpassad att laddströmmen normalt blir ca 10 % av ackumulatortypens kapacitet, 0,1 C, eller ca 5 % vid konstantladdning. Maximala laddströmmen bör aldrig överstiga en tredjedel av ackumulatortypens kapacitet.

När batteriet laddas kommer polspänningen att öka märkbart och denna stigning är så pass markerad att den kan användas som mått på laddningstillståndet. Därför kan ett nättaggregat med konstant (stabiliserad) utspänning också användas som automatisk laddare. Önskad toppspänning för batteriet ställs in på nättaggregatet utan batteri. När batteriet når denna spänning kommer laddströmmen att sjunka till ett värde som bara kompenserar för självurladdningen av batteriet. Om laddningen fortsätter trots att batteriet är fulladdat kommer strömmen endast att användas till att bilda knallgas av vattnet i elektrolyten. Cellspänningen är då 2,4 V. Ett reglerat nättaggregat har lågt rippel på utspänningen vilket är en fördel om batteriet skall laddas under tiden det är kopplat till känslig apparatur. I laddningen bör det byggas in en säkring för att förhindra en okontrollerbar stor ström från batteriet om en kortslutning skulle uppstå.

## Urladdning

När det gäller urladdning har konstruktionen utan tvekan sina största fördelar vid urladdning med höga strömmar under kort tid. Normalt kan ett ventilreglerat blybatteri belastas kortvarigt (< 5 sek) med en ström motsvarande 15 gånger ackumulatortypens kapacitet. Maximala kontinuerliga strömmuttaget bör inte överstiga 3 gånger kapaciteten.

## Livslängd

Den vanligast förekommande blyackumulatortypen har en normal livslängd på 3–5 år, men det finns typer med beräknad livslängd på över 10 år. Dessa används framför allt som reservkraft för telekommunikation och larm. Ett bättre mått på livslängden är ofta att ange hur många cykler en ackumulator klarar innan kapaciteten sjunkit till 60 % av ursprungsvärdet. Denna siffra påverkas väsentligt av hur mycket kapacitet som används vid varje urladdning (djupet av urladdningen). Ett standardvärde är ca 500 cykler då man använder 50 % av kapaciteten vid varje urladdning.

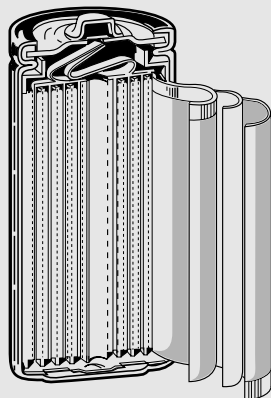
## Sammanfattning om blyackumulatorer

**Vikten** är ett klart minus för blykonstruktionen. **Livslängden** är mycket varierande mellan olika typer men är mycket god i jämförelse med andra ackumulatortyper. **Kapaciteten** ställs ofta i relation till vikten, vilket inte ger blykonstruktionen någon fördel. Det är dock lättare och billigare att tillverka blyackumulatorer i större kapaciteter än andra batterityper. **Laddningen** är ett klart plus för dessa ackumulatorer, då den är mycket enkel och inte kräver några speciella

övervakningskretsar. Tyvärr kan blyackumulatören inte ens med bästa vilja kallas miljövänlig då den innehåller ansevärliga mängder av den **miljöfarliga** metallen bly. Ackumulatortypen är inte speciellt **temperaturberoende** vid urladdning (kapaciteten kan påverkas negativt vid låga temperaturer), men vid uppladdning bör denna ske i rumstemperatur, annars måste laddspänningen justeras för att den skall bli fulladdad.

### Nickelkadmiumackumulatorer

Den första alkaliska ackumulatören, Ni-Fe (Nickel-järnackumulatör), uppfanns år 1899 av en svensk vid namn Jungner. Inte förrän 1932 fick den alkaliska ackumulatören elektroder av nickel och kadmium, och det var först på 1960-talet som den kom till verkligt stort kommersiellt bruk. Idag är NiCd-ackumulatören den absolut vanligast förekommande ackumulatören i mindre konsumentapplikationer.



Genomsnittsskärning av en NiCd-cell.

En stor del av framgången för den våg av trådlösa utrustningar som sveper över oss nu ligger i de förbättringar av prestanda och pris som NiCd-ackumulatören genomgått under de senaste åren.

Nickelkadmiumackumulatorer erbjuder en hög energidensitet (høgt energiinnehåll i förhållande till vikten), stor möjlighet till höga strömuttag och lång livslängd i antal cykler. Normalt används NiCd-ackumulatorer mest i storlek från några få mAh till ca 10 Ah. Tidigare gjordes dessa ackumulatorer endast i ett utförande som skulle täcka alla användningsområden, men nu görs de i ett antal specialiserade utföranden, allt för att skapa så bra prestanda som möjligt för den typ av användning som de är tänkta för. Vissa skall t.ex. bara ha så hög kapacitet som möjligt, andra skall kunna laddas väldigt snabbt eller kunna arbeta under höga omgivningstemperaturer.

Cellerna är konstruerade med en negativ elektrod av kadmium och en positiv elektrod av nickel. Elektrolyten, bestående av kaliumhydroxid i vatten, fungerar som jonledare. För att förhindra kortslutning hålls de två elektroderna elektriskt isolerade från varandra med hjälp av en porös separator, oftast bestående av plast. I de cylindriska cellerna är elektroderna spiralindade för att skapa så stor yta som möjligt (hög kapacitet) med så tunn separator som möjligt (lågt inre motstånd = hög urladdningsström). Elektrokemin i ackumulatören är så konstruerad att alla de gaser som bildas vid laddning (syrgas bildas genom elektrolys av vattnet) rekombineras och avlägsnas från gasfasen. Självklart är alla celler försedda med en säkerhetsventil som förhindrar att ett övertryck bildas i cellen vid mycket stor överladdning.

### Laddning

Nickelkadmiumackumulatören laddas med konstant ström. Elektroder i nickel och kadmium och elektrolyt av kaliumhydroxid ger en cellspänning på 1,2 V. Man måste tillföra mer energi under laddning än man tar ut under urladdningsfasen. Man brukar räkna med att man måste tillföra 140 % av uttagen kapacitet, d.v.s. man får en laddningsfaktor på 1,4. Normalt laddas NiCd-ackumulatorer med 0,1 C under 14–16 h. Laddningen kan bestämmas genom följande formel:

$$I = C \times 1,4 / t$$

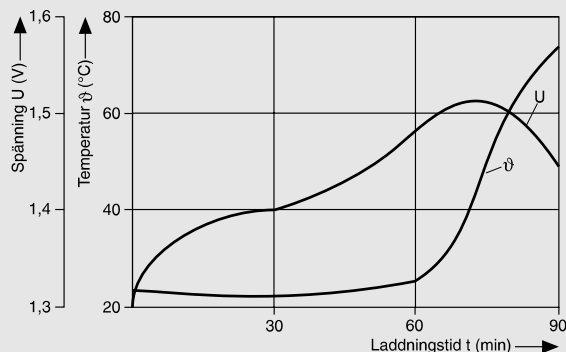
I = Laddningsströmmen i A  
C = Kapaciteten i Ah  
1,4 = Laddningsfaktor  
t = Laddningstiden i timmar

Cellspänningen kommer att öka hela tiden under laddningsfasen för att uppgå till ca 1,45–1,5 V under slutet av laddningscykeln. För laddningsströmmar under 0,2 C behöver laddningen ej övervakas. Laddningen bör ske i rumstemperatur. Var noggrann med polariteten vid inkopplingen. Ett NiCd-batteri blir förstört vid fel polaritet på laddaren.

### Snabbladdning (0,5–1,5C)

Nickelkadmiumackumulatören har mycket goda egenskaper när det gäller att kunna ta emot hög laddning under begränsad tid. Ju kortare tid man vill ladda på desto noggrannare övervakning av laddningen behöver man. Cellspänningen i NiCd-cellen ökar successivt under laddning för att slutligen minska något då cellen är fulladdad. Samtidigt ökar celltemperaturen kraftigt. Moderna snabbladdare utnyttjar  $\Delta V$ -metoden, d.v.s. de känner av denna spänningssänkning och avbryter då laddningen (se figur). Det man i första hand vill försöka undvika är att celltemperaturen skall öka för mycket, då detta ger cellen väsentligt kortare livslängd. Därför är det att rekommendera att alltid använda en (självvåter-

ställande) termosäkring som extra säkerhet. Yttertemperaturen på en fulladdad cell som blivit snabbladdad är ca 45 °C. Termosäkringen anslutes i serie med laddningen och utanpå batteripaketet. Denna bryter laddningen då temperaturen överstiger 45 °C. Snabbladdning <1 C kan också genomföras med enbart timerövervakning enligt ovan angivna formel, men även detta bör kombineras med en termosäkring för att undvika överhettning av cellerna. Snabbladdning är inte lämplig för högtemperaturceller eller knappceller.



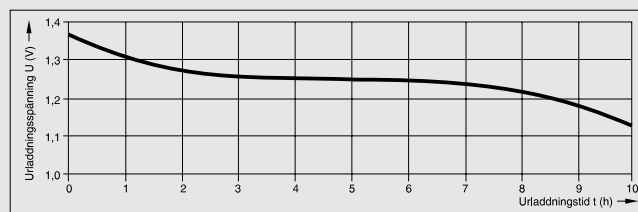
Snabbladdning av NiCd-cell. Kurvorna visar cellspänning och celltemperatur vid laddning av en snabbladdningsbar NiCd-ackumulatör med 1,0 C under en tidsperiod av ca 90 min. Av kurvorna framgår att ackumulatören är fulladdad då drygt 70 minuter har gått och ackumulatören har uppnått ca 45 °C i yttertemperatur.

### Underhållsladdning

Denna laddningsmetod är vanligast förekommande för högtemperaturceller och knappceller. Den innebär att ackumulatören befinner sig kontinuerligt under laddning för att sedan finnas tillgänglig vid ett spänningsbortfall, t.ex. som backup i en dator. För cylindriska NiCd-celler gäller att dessa skall underhållsladdas med 0,03–0,05 C medan knappceller skall underhållsladdas med 0,01 C. En cylindrisk cell på 800 mAh skall alltså underhållsladdas med 24–40 mA.

### Urladdning

NiCd-cellen har enastående belastningsegenskaper. Ända upp till 100 C kan man belasta en cell med, men då under mycket kort tid. Kontinuerligt bör det maximala strömuttaget ej överstiga 8–10 C i ca 4–5 min. NiCd-cellen har också den fördelen att cellspänningen är mycket konstant (1,2 V) under hela urladdningsförloppet. Slutspänningen (den polspänning då cellen inte längre har någon kapacitet kvar att leverera) definieras allmänt som ca 1,0 V. Tyvärr har NiCd-ackumulatorens nackdelen att självurladdningen är ganska stor, ca 1 % per dygn, vilket ger dålig verkningsgrad vid underhållsladdning som då måste kompensera för detta faktum.



Urladdningsspänningens tidsmässiga förlopp vid belastning med 0,1 C.

### Livslängd

En siffra som de flesta har hört är att NiCd-ackumulatorer klarar 1000 upp- och urladdningar. Man bör dock fästa uppmärksamhet vid att antalet cykler som en ackumulatör av denna typ klarar av är kraftigt beroende på hur den behandlats. Vid överladdning ökar som nämnts tidigare den inre temperaturen i cellen, vilket skyndar på degenereringen av materialen i cellen. Samma sak händer vid för kraftig urladdning. När ett ackumulatörpaket bestående av flera celler urladdas kan det finnas olikheter i den kvarvarande kapaciteten, varför en del celler når slutspänningen före de andra. Dessa kommer då att bli överurladdade och kommer att påverka livslängden för hela paketet negativt. Vid stor överurladdning då cellspänningen sjunker ned mot 0,2 V kan cellen reversera sin polaritet. NiCd-celler mår alltid bäst av att cyklas fullt ut, d.v.s. urladdas till 1,0 V innan uppladdningen påbörjas. På detta sätt undviker man skillnader i restkapaciteten och uppnår bäst totalfunktion för ackumulatörpaketet.

### Sammanfattning om nickelkadmiumackumulatorer

**Vikten** är en klar fördel med NiCd, speciellt då denna är liten i förhållande till **kapaciteten**. **Livslängden** eller framför allt cyklingsbarheten är mycket god för denna ackumulatortyp. **Laddningen** kräver noggrannhet om man vill snabbladda med mycket hög ström utan att minska ackumulatorns livslängd, men är annars ganska lätt att behärska. NiCd-cellen är **temperaturberoende** då den inre

resistansen ökar med minskad temperatur. Idag finns det typer av NiCd-ackumulatorer som är speciellt konstruerade för att fungera under hög omgivningstemperatur. De används i t.ex. nödljusarmaturer.

NiCd-ackumulatören innehåller **det mycket miljöfarliga ämnet kadmium**, vilket måste begränsas i naturen. För närvarande finns inget fullgott alternativ till denna ackumulatortyp. Till dess måste vi se till att returnera alla NiCd-ackumulatorer till de leverantörer som tillhandahåller utrustningar med sådana ackumulatorer i.

### Nickelmetallhydridackumulatorer

NiMH-ackumulatorer har funnits sedan mitten av 1970-talet. Det är först nu då opinionen har börjat kräva ett miljövänligare alternativ till NiCd som de stora tillverkarna har valt att utveckla systemet till konsumentledet. Den senaste tidens uppblossande miljödebatt har ofta handlat om de miljöfarliga NiCd-ackumulatorerna och deras eventuella ersättare Nickel-metallhydridackumulatorer. Faktiskt är det så att dessa ackumulatorer har vissa fördelar i jämförelsen med NiCd, men självklart också nackdelar. I många av dagens vanliga konsumentutrustningar kommer det att gå att ersätta de miljöfarliga NiCd-ackumulatorerna, medan många andra stora användningsområden med speciella krav på ackumulatorerna kommer att få vänta ytterligare ett tag.

Vi skall i denna presentation främst jämföra systemet med NiCd för att påvisa såväl likheter som skillnader mellan systemen och för att tydligare belysa hur dessa nya ackumulatorer skall behandlas för att lämna optimal energi under så lång tid som möjligt.

NiMH är det sekundära batterisystem som har högst energidensitet av de på marknaden existerande systemen. Det är också det system där man lyckats få in mest kapacitet i förhållande till ackumulatorns volym. Detta är den absolut största fördelen med NiMH jämfört med NiCd. NiMH kommer att kunna utnyttjas i alla normala användningsområden, t.ex. ficktelefoner, freestyles, videokamerautrustningar etc, där man kan dra nytta av den högre kapaciteten i form av längre drifttid. Fortfarande är det dock så att priset också blir väsentligt mycket högre. I framtiden kommer priset att sjunka då materialen är billigare för denna konstruktion.

Batterisystemet bygger på att man lagrar väte i en metallegering (tidigare kallades batterisystemet också för nickel-väteackumulator). En sintrad nickelplatta utgör den positiva elektroden och den negativa elektroden utgörs av en speciallegering bestående av ädla jordmetaller, nickel, mangan, magnesium, aluminium och kobolt. Ingen av dagens tillverkare vill uppges procentsatsen för respektive ingrediens, då denna legering avgör ackumulatorns egenskaper. Separatören består av polyamid eller polyolefin och elektrolyten är alkalisk. Vid laddning och urladdning förflyttar man väte mellan de olika elektroderna. För mågan att binda väte i metallegeringen avgör ackumulatorns kapacitet. Det största problemet man brottnas med nu är att ju högre kapacitet man får desto mindre reaktionsvilligt blir systemet, vilket alltså begränsar urladdningsström och uppladdningstid. Även NiMH-ackumulatören är, liksom NiCd, försedd med en säkerhetsventil som förhindrar att ett alltför stort övertryck bildas i cellen.

### Laddning

NiMH har högre kapacitet/volym än NiCd. Detta innebär att man tryckt in mer aktivt material i samma kapsling. Detta i sin tur får till följd att materialen har mindre volym i kapslingen att expandera i, vilket gör systemet mindre reaktionsbenäget. Följaktligen måste NiMH laddas långsammare än NiCd och måste också övervakas noggrannare för att undvika överladdning. Båda ackumulatorsystemen har en cellspänning på 1,2 V. Normaladdning sker på samma sätt, d.v.s. med en laddningsström på 0,1 C under 14–16 timmar. Detta innebär att laddningsfaktorn är samma för båda systemen, 1,4. På samma sätt kommer också cellspänningen att öka för att under slutet av laddningsfasen uppgå till 1,45–1,5 V. Ingen laddningskontroll förutom timer är nödvändig då laddströmmen är <0,2 C.

### Snabbladdning

Om en NiCd-ackumulator kan snabbladdas på ca 15 min så är motsvarande minimala laddningstid för NiMH ca 1 timme. Den temperaturstegring som sker i cellen då den närmar sig fulladdat tillstånd sker mycket snabbare för NiMH. Den spänningssänkning som sker samtidigt är också väsentligt mindre, varför noggrannheten för de kretsar som skall känna av den måste vara större. Det är rekommenderbart att då man snabbladdar NiMH-ackumulatorer alltid använda minst två av de tillgängliga säkerhetssystemen ( $-\Delta V$ , ytemperatur >45 °C, timer). I detta sammanhang bör också nämnas att NiMH-ackumulatorns livslängd är mer känslig för överhettning av cellen än NiCd. Däremot har man inte kunnat konstatera någon "minneseffekt" på NiMH-cellerna. Detta är ett fenomen som ibland uppträder på NiCd-celler där endast en liten del av cellens kapacitet används. Då detta sker upprepade gånger "lär sig" cellen detta varför den tillgängliga kapaciteten efter uppladdning minskar. Fenomenet kan oftast avhjälpas genom att man cyklar ackumulatören fullt ut några gånger, d.v.s. laddar ur den helt före uppladdning och upprepar det 3–4 gånger.

### Underhållsladdning

Denna typ av laddning kan bara rekommenderas för NiMH-ackumulatorer av knappcellstyp. För cylindriska ackumulatorer innebär en konstant laddström alltid en reducerad livstid. För knappcellsvarianterna däremot, så finns här inga skillnader gentemot NiCd.

### Urladdning

Som nämntes några stycken tidigare så har de aktiva materialen i NiMH-cellen mindre utrymme att expandera inuti cellen. Detta gör reaktionsbenägenheten mindre. Det är alltså naturligt att även den maximala urladdningsströmmen är lägre än för NiCd-cellen. Normalt kan urladdningsströmmar över 3–5 C ej rekommenderas. Däremot råder det absolut ingen skillnad mellan systemens slutspänning, ca 1,0 V. Tyvärr är det dock så att NiMH har en högre självurladdning, ca 1,5 % per dag jämfört med 1,0 % per dag för NiCd. Detta innebär att lagringstiden för en fulladdad ackumulator som man vill ha tillgänglig för snabbt bruk blir kortare än för motsvarande ackumulator av NiCd-typ.

### Livslängd

Eftersom NiMH är ett förhållandevis nytt ackumulatorsystem har vi inga egna praktiska långtidsstudier för att fastställa livslängden. Enligt de uppgifter som finns från de tillverkare som marknadsför sina ackumulatorer i Sverige skall livslängden inte vara kortare än för NiCd, d.v.s. ca 1000 cykler. Man bör observera att denna siffra gäller vid ideala förhållanden, t.ex. laddning med 0,1 C under 14 timmar i rumstemperatur vid varje uppladdning. Man tar inte heller någon hänsyn till eventuell överladdning som kan uppstå och även påverka livslängden negativt. En realistisk cyklingslängd under normala omständigheter bör vara ca 500–800 cykler.

### Sammanfattning om nickelmetallhydridackumulatorer

NiMH är den enda ackumulatortypen som saknar innehåll av miljöfarliga tungmetaller och är därför **miljövänligare** än de andra ackumulatorerna. **Vikten** är, i förhållande till kapaciteten, den andra fördelen med denna ackumulatortyp. Detta är det sekundära ackumulatorsystem som har den högsta **energidensiteten**. **Livslängden** är god när det gäller cykliskt bruk, men mindre bra när det gäller underhållsbruk. Detta gäller dock inte knappcellstyper, som har samma egenskaper som motsvarande NiCd-typer. **Laddningen** är känsligare och måste övervakas noggrannare än för de andra ackumulatortyperna som vi har behandlat här. I likhet med NiCd är NiMH-cellen också **temperaturberoende** och den rekommenderade arbetstemperaturen bör hållas.

I hela denna sammanställning har vi hållit oss till generella värden för de olika ackumulatorsystemen. Eftersom det råder så stora skillnader mellan olika typer av ackumulatorer rekommenderar vi att man alltid kontrollerar uppgifter om laddning och urladdning med respektive tillverkare eller representant före användning.

## Solceller och solcellspaneler

Solceller använder ljus för att producera elektrisk ström. Solcellen kan vara tillverkad av många olika ämnen men det vanligaste är kisel.

Man talar om enkel- (monokristallin) eller fler- (polykristallin) kristallceller och tunnfilm (amorfa). Skillnaden mellan enkel- och flerkristallceller är inte så stor, det är egentligen bara olika sätt att tillverka grundmaterialet till cellen. Tack vare homogenare material har enkelkristallcellen något högre verkningsgrad, dvs. att den omvandlar mer energi per ytenhet än flerkristallcellen. Skillnaden är dock ganska liten, 12–15 % för enkelkristall och 10–14 % för flerkristall.

En vanlig solcell av kristallint kisel brukar vara ca 10 × 10 cm och ha en nominell spänning på ca 0,5 V. Genom att seriekoppla solceller får man s.k. solcellspaneler. Det finns paneler med olika antal celler beroende på användningsområde samt kvalitet på den enskilda cellen. En solcellspanel som skall användas till att ladda ett blybatteri på våra breddgrader behöver ha minst 30 celler om den är av enkelkristallin typ och 32 st om cellerna är av flerkristallintyp. Vid stigande temperatur sjunker spänningen från cellen, vilket innebär att man kan behöva en panel med ännu fler celler om det är mycket varmt där den skall installeras.

En normal panel med 30–32 celler brukar ha en toppeffekt på 40–45 W. Andra storlekar får man genom att antingen lägga till fler celler eller genom att dela cellerna i mindre delar. Detta är dock ganska dyrbara eftersom det kräver ytterligare steg i tillverkningen.

Tunnfilmstekniken däremot erbjuder flera fördelar ur tillverkningsteknisk synpunkt, då man exakt kan bestämma karaktäristiken genom att lägga ledningsmönstret på ett speciellt sätt. En tunnfilmspanel tillverkas genom att man lägger ett tunt lager av aktivt material direkt på en behandlad glasskiva. Med laser kan man sedan skära celler i vilka storlekar och antal som man vill. Tyvärr är verkningsgraden hos denna typ av cell väsentligt lägre än för celler av kristallin typ men för små applikationer som t.ex. miniräknare har denna typ av cell blivit väldigt vanlig. En standardpanel i tunnfilm för laddning av batteri har normalt en effekt på ca 10 W.

Solpanelen används normalt för att ladda batterier eller för att driva någon typ av förbrukare direkt som exempelvis vattenpump och fläkt. Ett batteriladdningssystem byggs upp av en eller flera paneler, en laddningsregulator för att ge batteriet maximal laddning och skydd för överladdningar och skadliga djupurladdningar samt ett batteri. Batteriet kan vara av olika typer, något speciellt "solarbatteri" finns ej. Ett vanligt bilbatteri är inte lämpligt eftersom det är konstruerat för att ge mycket energi under en begränsad tid och inte för att ge en mindre energi under en längre tid vilket är det vanliga driftförhållandet i solanläggningar. S.k. "fritidsbatterier" är dock utmärkta i dessa sammanhang.

Solpanelen skall monteras så att den exponeras för så mycket ljus som möjligt. Uteffekten står i direkt proportion till hur mycket ljus som strålar in. Man bör välja en plats som ligger mellan SO och SV och som är så skuggfri som möjligt. Kristallina paneler är speciellt känsliga för skuggning, och även om endast en cell i panelen är skuggad förlorar man det mesta av energin. En diffus skugga är inte så farlig som en mer distinkt. Vinkeln mot solen är också av betydelse, under vinterhalvåret är en vinkelrät montering att föredra medan under sommarhalvåret en vinkel på 30–45° passar bäst. Solpanelen producerar energi även om inte solen skiner, men naturligtvis är den producerade energin beroende av ljusinstrålningen. En solig sommardag kan instrålningen i Sverige vara uppemot 1000 W/m<sup>2</sup> och då laddar en rätt monterad panel maximalt 3 A om batteriet inte är fulladdat innan. En mulen sommardag kanske instrålningen bara är 200 W/m<sup>2</sup> och då är strömmen inte större än ca 0,5 A.

## PC-datorn

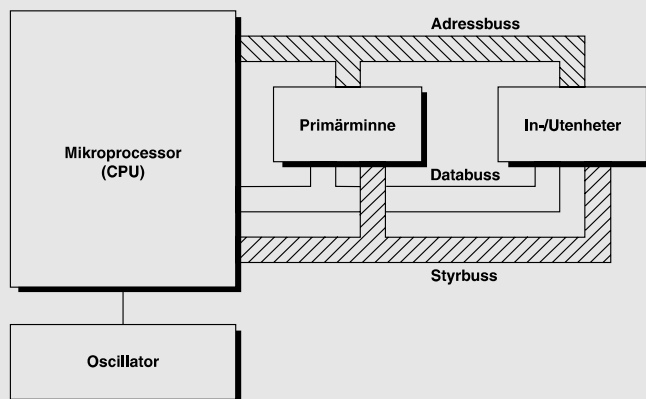
### Historik

PC:n som vi känner den idag föddes med introduktionen av IBMs Personal Computer 1981. Från ett pressmeddelande som gick ut den 13 augusti kan man läsa att "IBM introducerar IBM 5150 PC Personal Computer i New York". Texten fortsätter – PC:n har en 4,77 MHz Intel 8088 CPU med 64 kB RAM som kan utökas till 256 kB. 40 kB ROM (BIOS) en 5,25" diskettstation med 160 kB kapacitet samt levereras med PC-DOS 1.0 från Microsoft. En komplett dator med färggrafik kostar ca 6 000 USD.

Redan tidigare hade flera "mikrodatorer" sett dagens ljus. I januari året efter, 1982, skrev Gregg Williams i tidningen "BYTE": "Vilken dator har färggrafik som Apple II och en 80 teckens skärm som TRS-80 Model II, en omdefinierbar teckenuppsättning som Atari 800 och en 16-bitars mikroprocessor som Texas Instruments TI99/4 samt ett komplett tangentbord med både gemener och versaler? Svaret är IBM PC".

Många har försökt jämföra utvecklingen som PC-datorn har haft under 20 år med bilar, båtar eller varför inte storleken på parkeringsplatser. Med samma utvecklingstakt skulle alla Stockholms, Göteborgs och Malmös bilparkeringar kunna rymmas i ett normalt vardagsrum. Intels IA-64 Itanium använder 42 miljoner transistorer, 8088-an hade 25 000. 8088-an kunde adressera 1 MByte minne, en Pentium II adresserar 64 GByte eller ca 64 000 gånger mer.

### CPU:n, datorns hjärta



Nödvändiga delar i en mikrodator.

I mikroprocessorns centralenhet CPU (Central Processing Unit) sker bearbetning av data genom att CPU:n utför enkla binära logiska operationer. I processorn finns ett antal minnesplatser som kallas register. "Taktpinne" för det mesta som sker i en PC är oscillatorn eller i vanligt språkbruk "klockan". Oscillatorn ger systemet klockpulser, t.ex. 300 MHz, 1,8 GHz eller mer, som styr arbetet i processorn och på datorns olika bussar.

En kort översikt av de vanligaste mikroprocessorerna som återfinns på moderkort från PC-datorns barndom 1981 till idag.

Processor-namn	Tillverkare	Processor-hastighet MHz	Buss MHz	Kommentar
8088	Intel	4,77	4,77	Den första IBM-PC:n
V20	NEC	8 – 10	8 – 10	
8086	Intel	8	8	
V30	NEC	10 – 16	10 – 16	
80286	Intel	6 – 12	6 – 12	
386DX	Intel	16 – 33	16 – 33	
486DX	Intel	25 – 50	25 – 50	
486DX2	Intel	50 – 66	25 – 33	
486DX4 100	Intel	100	33	
486DX4 100	AMD	100	33	
586P75	AMD	133	33	
Pentium	Intel	60 – 150	60	
Pentium	Intel	66 – 200	66	
K5 Pxx	AMD	75/920/100/120	60	
686 Pxxx	Cyrix	120/133/150	66	
Pentium MMX	Intel	200/233/266	66	
Pentium Pro	Intel	150 – 200	66	
K6	AMD	166 – 300	66	
MII Pxxx	Cyrix	166/188	75	
MII	Cyrix	300 – 433	75	
Pentium II	Intel	233 – 450	66 – 100	Slot 1 Slot 1/Socket 370/ FCPGA
Celeron	Intel	266 – 733	66	
K6-2	AMD	266 – 550	100	
K6-3	AMD	400/450	100	
Pentium III	Intel	450 – 1 GHz	100 – 133	
K7 Athlon	AMD	500 – 1,2 GHz	200	Slot A/Socket A Slot A/Socket A Socket A
K7 Duron	AMD	600 – 800	200	
K7 Thunderbird	AMD	800 – 1,1 GHz	200	
IA64 Itanium	Intel	1,5 GHz	400	

### RISC och CISC

Det kan vara på sin plats att definiera begreppen RISC och CISC. För att i någon mån balansera den marknadsföring där flera företag försökt överglänsa varandra med RISC-prestanda så beskrivs här i ett historiskt perspektiv vad RISC-arkitekturen försökte åstadkomma.

De tidiga datorerna hade "ackumulator-arkitektur" och var baserade på att man i en **ackumulator** utförde **operationer** på **data** som var **lagrade** i **register** som i sin tur **laddats** med data från datorns **minne**.

**Minne till minne-arkitektur** följde och gav datorn möjlighet att arbeta med register som kunde innehålla både adresser och data, generella register. Det gjorde det möjligt att låta data direkt påverka programförloppet.

**Stack-arkitekturen** gav möjligheten att på ett enkelt sätt hantera kompletta uppsättningar av register och enkelt lagra bland annat maskinstatus och byta arbetsuppgift, "task switch". Men fortfarande var minne till minne-arkitekturen relativt långsam. Att ladda register från minne tog tid. Naturligt var en utveckling mot fler interna register, operationer internt i CPU:n var snabba. Det var nu man reducerade antalet operationer direkt i minnet och optimerade arbetet mellan olika register. Berkeley gav arkitekturen namnet RISC (Reduced Instruction Set Computer). CISC (Complex Instruction Set Computer) föddes på samma gång som en följd av att man behövde kalla den "traditionella" gamla typen datorer för något.

**RISC** beskrivs ofta med att alla instruktioner är på ett ord. Instruktioner är lika långa och använder bara en datorcykel för att utföras. Datorn utnyttjar en instruktions "pipeline", utför bara instruktioner med eller mellan register. De enda minnesoperationerna är hämtning och lagring (Load, Store), och RISC datorn använder ingen mikrokod samt har ett stort antal register, ofta 64 stycken eller fler.

**CISC** kan som konstruktionsfilosofi sägas representera det yttersta målet att varje instruktion i ett högnivåspråk (C++, Perl, Basic) skall kunna representeras av en enkel maskininstruktion. Nackdelen är att högre komplexitet ger större "chip" som också gör det svårare att öka klockhastighet och prestanda.

Jämförelse över några kända processors arkitektur och ordbredd.

Arkitektur	4 bitar	8 bitar	16 bitar	32 bitar	64 bitar
CISC			Z8000	Pentium-Pro	PowerPC
CISC	4040	Z-80	8086		
CISC		8080	68000		
CISC	4004	8051	TMS9900	Pentium	
CISC		2650		80486	
CISC	Am2901	6800	80C166	68020	IA-64
CISC		650x		68040	Itanium
CISC		F8		29000	
CISC		1808		SH	Alpha
RISC				ARM	

## Busstrukturen, datorns motorvägar

En **buss** är ett system av ledningar som har en speciell funktion i datorn. Man skiljer på databuss, adressbuss och kontrollbuss.

**Databussen** hanterar transporten av data mellan olika enheter i datorn. En databuss kan ha olika bredd (antal parallella ledare): 8, 16, 32, 64 bitar o.s.v. Ju bredare databuss, desto mer information kan överföras på bussen samtidigt. En bredare buss ger en högre bussbandbredd vilket generellt ger en snabbare dator. I allmänhet är det CPU:n som bestämmer när och hur en överföring ska göras på databussen. Andra enheter kan också styra och vara s.k. **Bus Masters**. Det utnyttjas bland annat i **DMA**- (Direct Memory Access-) överföring där oftast systemminne och en periferenhet (exempelvis en hårddisk som kan agera bus master) utväxlar information utan att data leds och detaljstyrs av CPU:n.

**Adressbussen** överför information om varifrån och till var en överföring ska göras. Ju fler trådar (linjer) på adressbussen, desto fler adresser finns tillgängliga. Om ordbredden är 8 bitar kan en processor med 32 adresslinjer adressera 4 Gbyte. ( $2^{32} = 4 \text{ Gi}$ .)

$$1 \text{ Ki} = 2^{10} = 1024$$

$$1 \text{ Mi} = 2^{10} \text{ Ki} = 1048576$$

$$1 \text{ Gi} = 2^{10} \text{ Mi} = 1073741824$$

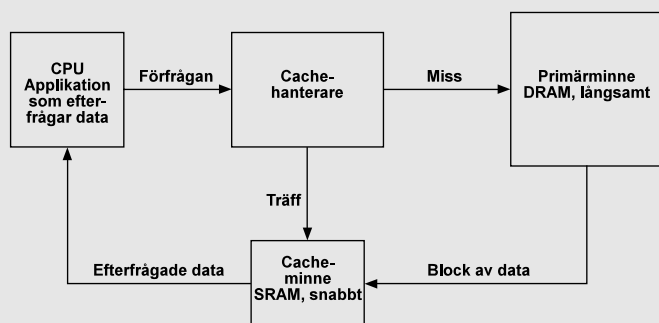
**Kontrollbussen** innehåller ett antal ledningar där styrsignaler överförs. Här bestäms de exakta tidsförloppen vid t.ex. skrivning till minne. Detta brukar kallas "timing". Kommunikation mellan datorns enheter och felsignaler styrs också av signaler på kontrollbussen.

## Primärminnet

Datorn har olika typer av minne. Primärminne ur vilket program- och datahämtning sker, och sekundärminne som kan lagra information även när datorn är avstängd.

**Primärminne** är det arbetsminne i datorn som processorn behöver. I arbetsminnet (oftast **DRAM** av någon typ) lagras datorns operativsystem och alla program som datorn ska köra. För en PC-dator lagras operativsystemet på disk, i sekundärminne, (jfr **DOS**, Disk Operating System) men läses in till arbetsminnet när datorn startas eller bootas, ("bootas" från engelska "pull oneself up by the bootstraps", jfr **BOOT** och **BIOS**). Arbetsminnets snabbhet är en av de stora flaskhalsarna för en modern PC och värt att titta på vid bedömningen av datorprestanda.

**Cacheminne** innebär att en liten del snabbt minne, ofta **SRAM**, används som ett extra litet minne närmast processorn. Vid läsning finns ofta efterfrågade data redan lagrat i detta minne, och hämtning går då extra snabbt. Cacheminnet delas vanligen in i L1 (Level 1) eller internt cache och L2 (Level 2) yttre cache. En AMD K7 har 128 kB L1 och upp till 8 MB L2 cache.



*Minnescache. En kopia av den mest använda informationen hålls i cacheminnet. Processorn skriver/läser i regel i det snabba cacheminnet och behöver inte vänta på det långsammare systemminnet.*

## Sekundärminne

**Sekundärminnet** skiljer sig från primärminnet och lagrar program och data som inte används för stunden. Vi känner igen sekundärminnen som hårddiskar och diskett- eller floppyenheter – minnen som lagrar stora mängder information som finns kvar även sedan datorn stängts av. En snabb utveckling av hårddiskars kapacitet har gjort att vi idag har hårddiskar med uppemot 100 GByte som standard.

### Lagringstekniker för masslagring

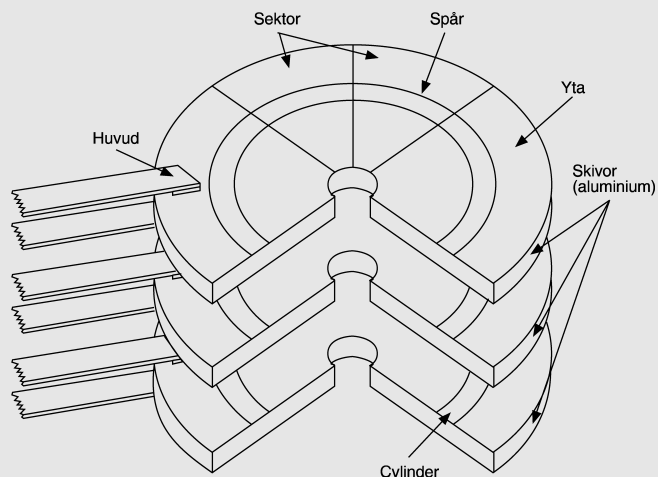
Information lagras på magnetisk väg i band, disketter eller hårddiskar och på optisk väg i CD-ROM och DVD. Även hybridtekniker förekommer även om dessa inte är lika vanliga. Elektrisk masslagring sker i olika typer av Flash-minnen, exempelvis CF (Compact Flash), MMC (Multi Media Card), Smart Media, eller Sony Memory Stick. Flash med AND-teknik kan nå lagringskapaciteter på många 100 MByte.

**Disketter** eller "floppy disks", är tunna böjliga skivor av plast. Plastbasen beläggs med bindemedel blandat med magnetiskt material och förpackas i ett fodral. Data förs över från eller till skivan med ett läs- och skrivhuvud som kan förflyttas mellan skivans olika spår. Disketten har en kapacitet på vanligen 1,44 MByte och har idag ofta ersatts av CD-ROM för att transportera programvara.

**Hårddiskar** (skivminnen eller fasta skivor) är den vanligaste typen av sekundärminne. En hårddisk kan idag rymma upp till 100 Gbyte. En hårddisk är normalt uppbyggd av en eller flera skivor av aluminium. Dessa är precisionspolerade och därefter belagda med ett mycket tunt skikt av magnetiskt material. En hårddisk kan packa informationen väsentligt tätare än vad som görs på en diskett. Skivan snurrar med upp till 10 000 varv/minut eller mer. Ett eller flera läshuvuden flyter ovanpå en luftkudde tätt över hårddiskens magnetiska beläggning. Med avancerad aerodynamisk utformning kan läshuvudet "flyga" lågt (några 100 nm d.v.s. mindre än ett hundradels hårstrå!) och den magnetiska spårbredden görs mycket liten.

Vanliga standarder för hårddisk-controllers är ST-506 (mycket gamla), ESDI (äldre), IDE och SCSI. IDE (Integrated Drive Electronics) är en standard som togs fram 1986-87 av Compaq och Western Digital.

IDE utmärks av att nästan hela styrdelen till hårddisken sitter på hårddiskens chassi, alltså inte på ett separat styrkort. Detta ger hårddisktillverkarna möjlighet att utforma styrkort och disksystem med stor frihet inom standarden. Idag har tekniken utvecklats och kallas Enhanced IDE (E-IDE) eller Advanced Technology Attachment (ATA). E-IDE är väsentligt snabbare än den ursprungliga IDE. Den klarar att styra större hårddiskar och även andra enheter som bandstationer och CD-ROM. E-IDE är ett mycket bra alternativ till SCSI för datorer i de lägre prisklasserna.



Uppbyggnad hos hårddisk.

**SCSI (Small Computer System Interface)** har en lång historia inom dataindustrin. Det har använts länge för disksystem till Macintosh-datorer och är idag vanlig även i övriga PC-världen och standard för "server"-system. SCSI är en generell standard som passar alla typer av periferenhet. Det används ofta för anslutning av backup-enheter (tape-stationer) och olika typer av CD-ROM och DVD-enheter.

SCSI-standarderna finns i olika versioner. Dessa skiljer sig åt bland annat vad gäller bussbredd, signalspecifikationer, överföretyp och hastighet på bussen samt hur intelligent de olika enheterna kan vara. SCSI började som en smal buss med 50 anslutningar som kunde överföra 1 byte data per tidsenhet. Nyare SCSI-2 och SCSI-3 överför 2 respektive 3 byte samtidigt. Utvecklingen av standarden har till idag gett oss 7 generationer av SCSI. Man har även definierat en standard med 640 MByte/sekund för system som kräver ytterligare bandbredd.

### Översikt, SCSI-standarder.

Generic name	SCSI-1	SCSI-2	SCSI-3	Fast-20 Ultra SCSI SE	Ultra2 SCSI	Ultra3 or Ultra160 SCSI	Ultra320 SCSI
Bus width	8-bit data bus		Wide 16- and 8-bit data bus			Wide 16-bit databus	
Bus speed Mbyte/s	5	10	20	40	80	160	320
Signal standard	Single ended and HVD (High Voltage Differential) SCSI				LVD (Low Voltage Differential) SCSI		

**Band/Tape-enheter** för masslagring av data används idag för säkerhetslagring ("backup") av datorer. Många olika standarder konkurrerar med varandra. De vanligaste är QIC, DAT och DLT. QIC (Quarter-Inch Cartridge) finns i storlek från under 100 MB till över 10 GB lagringskapacitet. QIC används normalt för

backup av enskilda datorer på samma sätt som mer robusta och dyrare 4 och 8 mm DAT-baserade enheter. För nätverkssystem och datalagring med krav på mer än 2 MB/sekund överföringshastighet används DLT (Digital Linear Tape) som kan lagra 100 GB och kommer upp i överföringshastigheter på över 6 MB per sekund. DLT har fördelen av direkt läsning efter skrivning; en teknik som möjliggör direkt datakontroll när man skriver data till bandet och därför kan hantera defekter i databandet vilket ger ökad datasäkerhet.

**CD-ROM/CD-R/CD-RW/DVD.** På CD-skivor kan man normalt lagra 650 eller 700 MB. På en CD-ROM etsas på undersidan ett mönster av små fördjupningar som sedan läses med hjälp av en laser. CD-ROM är billiga att framställa och används som distributionsmedium för både programvaror och information. CD-ROM-enheterna finns i olika typer. Överföringshastigheten varierar från den ursprungliga 150 kB/s 1X (single speed) till 40X eller mer. CD-R och CD-RW ger möjlighet att också skriva data. CD-R (Recordable) går att skriva på en gång emedan en CD-RW (ReWritable) går att skriva över flera gånger. Överföringshastigheten vid skrivning kan uppgå till över 2 MB per sekund. DVD (många hävdar att detta står för Digital Video Disc eller Digital Versatile Disc, men ingen av förklaringarna är officiell) är 6 tums skivor med kapacitet på 4,7/8,5/9,4 eller 17 GB data. DVD använder normalt MPEG-2 videokomprimering och Dolby Digital eller DTS (Digital Surround) för ljudlagring men utnyttjas också för ren datalagring av stora mängder data som exempelvis i uppslagsverk.

### ROM-BIOS/FLASH-BIOS

ROM betyder Read Only Memory, läsminne. I en PC:s BIOS sitter flera viktiga funktioner. Här sitter det program som gör det möjligt att starta datorn. Detta s.k. bootprogram innehåller bl.a. ett litet testprogram som snabbt kontrollerar PC:ns olika delar vid start och därefter läser in ett operativsystem från disk. Ofta är BIOS lagrat i ett FLASH-minne och går då att uppdatera för att exempelvis kunna använda nya typer av periferenheter till datorn.

### Flash-ROM

Flash-ROM är en typ av elektriskt raderbart minne. Precis som andra typer av ROM behåller den informationen efter det att strömmen stängts av. Innehållet i ett Flashminne kan lätt ändras med speciell programvara. Flash-ROM har fått stor användning som programminne i många olika typer av periferenheter såsom CD-enheter och laserskrivare, som lagringsmedia för digitala kameror m.m., och som BIOS-minne i PC-datorer.

### In- och utenheter

En dator vore helt oanvändbar om man inte kunde kommunicera med den. Inenheter används för att mata in information och därmed styra datorn. Utenheter gör det möjligt att se eller lagra resultatet av datorns bearbetning av information. In- och utenheter ansluts via ett interface (anpassningskort) till expansionsbussen. Sekundärminnen kan alltså betraktas som in-uteheter.

### Expansionsbussar

PC-datorer har en eller flera expansionsbussar, kortplatser, där extra utrustning som t.ex. grafikkort och nätverkskort kan installeras. Idag finns flera olika standarder för expansionsbussen:

**ISA-bussen** var den vanligaste, har idag ersatts av PCI, och var en vidareutveckling av IBMs första PC-buss från ca 1981. ISA står för Industry Standard Architecture och kallades från början AT-buss efter IBM AT där den första gången användes, år 1984. Med tiden har expansionsbussen mer och mer kommit att vara begränsande för prestanda, och därför har nyare bussar utvecklats som exempelvis PCI och AGP.

**MCA** (Micro Channel Architecture) är en av IBMs expansionsbussar och lanserades 1987.

**EISA** (Extended Industry Standard Architecture) var en förbättring av ISA och lanserades år 1989.

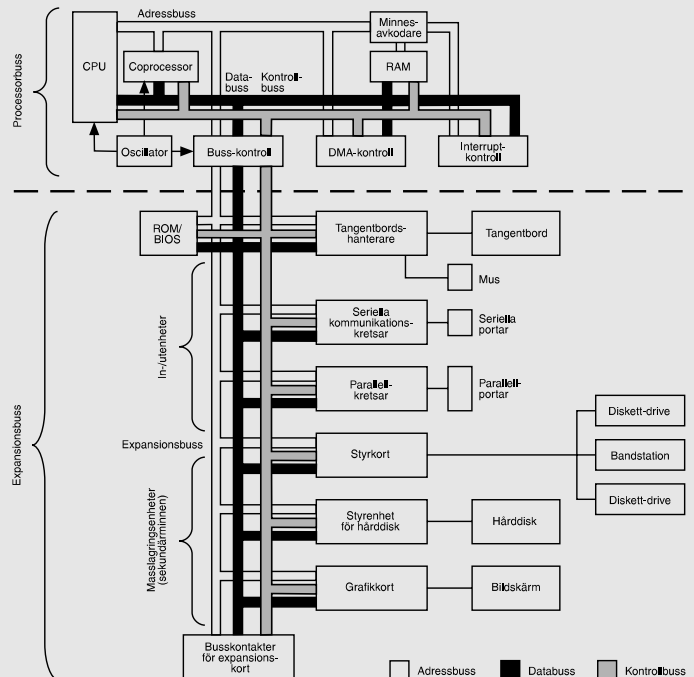
**Nubus** är namnet på Apples gamla 32-bitars buss.

**VL-Bus** var föregångaren till PCI-bussen och brukade kallas "Local Bus".

**PCI** (Peripheral Component Interconnect) är Intels lokalbuss som kan klara upp till 264 MB/s och även kan användas i 3,3 volt system. Den är idag standard på alla PC-datorer.

**AGP** (Accelerated Graphics Port) är en bildskärmsport för direkt access till minne och kan enkelt hantera exempelvis 1024x768 punkters bildupplösning med 30 bilder per sekund. Den presenterades 1996 av Intel och används med en separat kortkontakt för grafikkortet. 1xAGP (AGP) överför 264 MByte/s. 2xAGP (AGP 2x), överför data på båda flankerna av klockpulsens och överför 528 MByte/s. 4xAGP (AGP 4x), kan överföra 1017 MByte/s.

**PCMCIA** är en anpassning och vidareutveckling av ISA. Den har därför samma bussbredd, d.v.s. 8 eller 16 bitar. PCMCIA har tagits fram för användning i bärbara datorer och har därför en mycket liten busskontakt.



En PC-dators buss-system med skild processor- och expansionsbuss.

### In- och utenheter Skild processorbuss och expansionsbuss

I dagens mikrodatorer är processorbussen helt separerad från expansionsbussen, se figur. Processorbussen är kraftfullare än expansionsbussen genom högre klockfrekvens och bredare buss. Expansionsbussens prestanda begränsas av standarden (se ovan), medan processorbussens prestanda bestäms bl.a. genom valet av processor. Genom att skilja bussarna åt kan man alltså utnyttja maximal prestanda på processorbussen men ändå hålla "kompatibel" hastighet på expansionsbussen. Med bussarna skilda åt kan dessutom överföringar ske samtidigt på de båda bussarna. Översättningen av bussbredd och klockfrekvens sker i den s.k. **buss kontrollern**. För att få bättre prestanda på överföringar mellan de båda bussarna sker dessutom en buffring av signaler på data och adressbussarna.

### Inenheter

Den vanligaste inenheten är **tangentbordet**. En mus (**pekdon**) används för att utföra kommandon och arbete med markering av text och bilder på skärmen. Med hjälp av en **skanner** eller **digitalkamera** kan man överföra bilder till digitalt format för bearbetning i en PC. En **streckkodsläsare** av samma typ som används i dagligvaruhandeln kan utföras som en **läspenna** för PC-datorer. Den läser informationen i en streckkod som sedan lagras i format som kan läsas och bearbetas av en dator. Streckkodning med EAN-kod (European Article Numbering) är idag standard på nästan alla typer av varor. För att spela spel finns det "**joysticks**" och "**rattar**" med eller utan taktill återmatning (mekanisk feedback) för att höja spelupplevelsen. En joystick ansluts normalt via datorns **spelport** ("gameport").

### Utenheter

**Bildskärmen** är den kanske viktigaste delen av en PC-dator. En bildskärm bör uppfylla TCO 95-krav, vilket ska borge för god ergonomi, användarvänlighet och att hänsyn har tagits till den yttre miljön. Utrustningen ska också vara förberedd för återvinning. Givetvis ska dator och bildskärm också ha en "standby"-funktion som stänger av dem efter en given tid. Sådana aspekter tillgodoses genom att man väljer utrustning som godkänts enligt EnergyStar/NUTEKs krav på energi-effektivitet. Som bildskärmar finns det flera olika teknologier att välja på. För stationära datorer är skärmar med bildrör fortfarande vanliga, men olika typer av TFT- eller plasma-skärmar gör snabbt sitt intåg och saknar i det närmaste helt magnetiska och elektriska störfält. För bärbara datorer är TFT-skärmar helt dominerande. Normalt finns även någon form av **skrivare** ansluten till en PC, antingen direkt eller via ett nätverk.

### Grafikhistorik

**MDA** var en standard för monokrom grafik, utan färg.

**Hercules** var en monokrom grafikstandard från ett fristående företag och fick stor spridning i början av 80-talet. Lågt pris och bra upplösning karaktäriserade Hercules-grafik.

**CGA** var den första grafikstandarden för PC. Antalet punkter (pixels) som maximalt kan visas, den s.k. upplösningen, var 640 x 200 st.

**EGA**, lanserat 1984, medger 640 × 350 punkters upplösning, medan **VGA** tillåter 640 × 480 punkter. Än idag är VGA den vanligaste grafikstandarden för PC.

**XGA** är en IBM-standard från 1987, med max upplösning 1024 × 768 punkter.

### Högupplösande grafik

Ganska snart vidareutvecklades EGA och VGA till olika "super"-varianter av standarden med större upplösning och fler färger. Idag finns en mångfald grafikkort och skärmar som stöder 1024 × 768 pixels och 256 färger eller mer. Gemensamt för dessa kort är att de har inbyggt utökat ROM, eget RAM om 1 Megabyte eller mer, samt kanske även en egen grafikprocessor som tar över beräkningsarbetet från PC:ns huvudprocessor.

### Översikt grafikstandards.

Grafik	Upplösning	Antal färger
MDA	720 × 350 (endast text)	monokrom
Hercules	720 × 384	monokrom
CGA	640 × 200	16
EGA	640 × 350	16
VGA	640 × 480	16
Högupplösande	800 × 600 eller högre	16 eller fler

### VGA-kablage

Koppling av kablage för VGA-monitor. Kontaktdon: HD D-Sub 15-pol stiftdon mot både PC och monitor.

Kontaktnr PC, monitor	Signalnamn	Beskrivning	Signalriktning PC - monitor
1	RED	Röd Video (75 Ω, 0,7 V t-t)	>
2	GREEN	Grön Video (75 Ω, 0,7 V t-t)	>
3	BLUE	Blå Video (75 Ω, 0,7 V t-t)	>
4	ID2	Monitor ID Bit 2	<
5	GND	Jord	—
6	RGND	Röd Jord	—
7	GGND	Grön Jord	—
8	BGND	Blå Jord	—
9	KEY	Nyckel (ingen anslutning)	—
10	SGND	Sync Jord	—
11	ID0	Monitor ID Bit 0	<
12	ID1 or SDA	Monitor ID Bit 1	<
13	HSYNC or CSYNC	Horisontal Sync (Composite Sync)	>
14	VSNC	Vertical Sync	>
15	ID3 or SCL	Monitor ID Bit 3	<

### Portar

Anslutning av yttre enheter sker med s.k. portar. **Parallellport** eller **printerport** medger överföring av data över 8 parallella ledningar samtidigt. Dessutom finns ett antal ledningar för styrning och felmeddelanden från printern. Parallellporten används förutom till skrivare även till anslutning av nätverk, yttre diskettenheter, bandstationer m.m. Ursprungligen kunde parallellportens 8 signalstift endast användas som en utgång, d.v.s. en **enkelriktad** (eng. unidirectional) parallellport. Endast vissa av ledningarna för de speciella printerfunktionerna kunde användas som ingångar. Moderna PC-datorer har alltid en **dubbelriktad** (eng. bidirectional) parallellport. Ytterligare en förbättring av parallellportens prestanda har man fått med **EPP** (Enhanced Parallel Port). Detta är en hårdvarustandard med stöd i maskinens BIOS.

Över **serieporten** sker överföring av endast en bit i taget över en ledning. En serieport är därför betydligt långsammare än en parallellport, och används där kraven på överföringshastighet är lägre. Serieporten används normalt vid anslutning av **modem** för Internet-anslutning via telefonnätet. Den vanligaste standarden för seriell anslutning på en PC-dator kallas RS232. En serieport styrs av en UART (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter). Denna krets har funnits i ett antal varianter. Utvecklingsstegen har i tur och ordning varit 8250, 16450 och 16550. I dagens PC är UART:n inte en särskild krets, utan normalt en del av PC-datorns "chipset". Mer avancerade UART:ar har buffring som tillåter kommunikation med höga hastigheter.

### Nätverk

Datanätverk (LAN) beskrivs i avsnittet Datakommunikation.

## Dataordlista

**10Base-2**. BNC-ansluten tunn koaxialkabel RG58 för Ethernet.

**10Base-5**. AUI-ansluten tjock koaxialkabel RG8 för Ethernet.

**10Base-F**. Fiberoptisk Ethernet.

**10Base-T**. RJ45-ansluten "twisted pair"-kabel för Ethernet.

**3270**. Synkront sidbaserat terminalprotokoll för stordatormiljö.

**AC-3**. Den amerikanska Dolby Digital ljudstandarden för DVD-skivor.

**ADPCM**, Adaptive Delta Pulse Code Modulation. Kompression för i huvudsak digitalt ljud. ITU-standard för att koda rösttrafik.

**ADSL**, Asymmetrical Digital Subscriber Line. Teknik för asymmetrisk överföring via vanlig partivinnad koppartråd.

**AGP**, Accelerated Graphics Port. Standard på PC-sidan. Används för att minska flaskhalsen mellan PC:ns minne och grafikkortet.

**AMD**, Advanced Micro Devices. Processortillverkare.

**ANSI**, American National Standards Institute. Amerikanskt standardiseringsorgan.

**APM**, Advanced Power Management. Samarbetsprojekt mellan Microsoft och Intel för effektstyrning i framförallt bärbara datorer.

**ARP**, Address Resolution Protocol. Används för att översätta en IP-adress till en MAC-adress och tvärtom.

**ARPANET**, Advanced Research Projects Agency. Föregångaren till dagens Internet. Utvecklades 1957 av den amerikanska militären som ett datanätverk med hög redundans.

**ASCII**, American Standard Code of Information Interchange. Världsstandard för alla skrivtecken, nummer och punkteringar i datavärlden.

**ASP**, Active Server Page. Kod som exekveras i webbservern innan den skickas till användaren.

**AT-kommandon**. Kommandon enligt Hayes-standard som används för att styra ett modem, antingen direkt eller via kommunikationsprogram.

**ATX**. Standard för moderkort med måtten 305×244 mm.

**Baby AT**. Förminskad version av den gamla AT-standard för moderkort. Höll samma mått som den äldre standarden 8,5×11 tum.

**BASIC**, Beginners All-purpose Symbolic Instruction Code. Programmeringsspråk.

**baud**. Enhet för modulationshastighet som antalet förändringar per sekund. Mått på dataöverföringshastighet. Sågs ofta felaktigt beskriva antalet bitar per sekund, bps.

**BBS**, Bulletin Board System. Dator det går att ringa till via modem och som fungerar som en anslagstavla.

**BIOS**, Basic Input/Output System. En del av operativsystemet lagrat i ett ROM eller FLASH-minne.

**bit**, Binary digit. En etta eller nolla. Den minsta informationsenheten för datorer.

**boot**. "Bootas" från engelska "pull oneself up by the bootstraps". Dataslang för processen att ladda in systemprogramvaran i en dator vid uppstart.

**brandvägg** (firewall). Oftast både hård- och mjukvarubaserat skydd som hindrar obehöriga att ta sig in i datasystem via Internet eller andra nätverk.

**BRI**, Basic Rate ISDN eller Basic Rate Interface. Ett ISDN-gränssnitt med två B-kanaler (bärarkanaler) och en D-kanal för styrsignalerna.

**BSA**, Business Software Alliance. Programleverantörsförening som bekämpar piratkopiering av programvara.

**BSD-Unix**. Unix-varianten Berkeley Software Distribution.

**bugg**, (bug). Fel i program. Ett uttryck som sägs ha sitt ursprung från datorernas barndom när en kackerlacka fastnat i ett av den klassiska ENIACs kretsar och orsakat ett programstopp.

**buss**. En samling av signaler med logiskt sammanhang. Ofta som databuss eller signalbuss.

**byte**. Ett dataord bestående av 8 bitar.

**BYTE**. Klassisk PC-tidning (nu nerlagd) som började ges ut på 1970-talet.

**C**. Programmeringsspråk utvecklat på tidigt 70-tal av Dennis Ritchie på en Digital PDP-11.

**C++**. Utökad version av C med "OOP", objektorienterad programmering.

**cache**, cacheminne. Snabbt lokalt minne.

**CAD**, Computer Aided Design. Datorstödd konstruktion.

**CAE**, Computer Aided Engineering. Datorstött ingenjörsarbete.

**CAM**, Computer Aided Manufacturing. Datorstödd tillverkning.

**CC**, Carbon Copy. Kopia vid e-postsändning.

**CCD**, Charge-Coupled Device. Vanliga som elektronisk "film" d.v.s. ljuskänsliga arrayer i digitala kameror.

**CCITT**, Comité Consultatif Internationale de Télégraphie et Téléphonie. Standardiseringsorgan för telekommunikation. Numera ITU-T.

**CDMA**, Code-Division Multiple Access.

**CD-R**, CD-Recordable. Inspelningsbara CD-skivor.

**CD-ROM**, Compact Disc Read Only Memory. Rymmer cirka 700 MB.

**CDRW**, CD ReWritable. Omskrivningsbara CD-skivor.

**CORBA**, Common Object Request Broker Architecture. En standard för att möjliggöra kommunikation mellan objekt distribuerade i olika datorer.

**CPU**, Central Processing Unit. Egentligen själva processorn i en dator. Används nu för tiden ofta om hela datorns huvudenhet med moderkort, internminne, hårddisk och diskettstation.

**CRC**, Cyclic Redundancy Check. En algoritm för felkontroll.

**DES**, Data Encryption Standard. Krypteringsstandard.

**DHCP**, Dynamic Host Configuration Protocol. Protokoll som används för att automatiskt och dynamiskt tilldela IP-adresser till arbetsstationer i ett nätverk.

**DIN**, Deutsche Industrie Norm. Tysk industristandard.

**DMA**, Direct Memory Access. Metod för att hantera direkt dataöverföring mellan minne och periferienhet.

**DNS**, Domain Name Server. Domännamn-databas. Versätter namn på datorer till numeriska IP-adresser och tvärtom.

**DOS**, Disk Operating System. Operativsystem som finns lagrat på disk.

**DRAM**, Dynamic Random Access Memory. Läs och skrivminne.

**DSP**, Digital Signal Processor. Specialbyggd datorarkitektur för snabb, ofta numerisk, databearbetning.

**EAN**, European Article Numbering. Vanligt system för streckkoder som kan läsas av läspennor och kassapparater.

**ECC**, Error Checking and Correction. Felkorrigerings teknik.

**ECDL**, European Computer Driving Licence. Det europeiska datakörkortet.

**EDO**, Extended Data Out. En typ av DRAM.

**EEPROM**, Electrically Erasable Programmable Read Only Memory.

**EPP**, Enhanced Parallel Port. Förbättrad parallellport.

**EPS**, Encapsulated PostScript. Ett format för att importera och exportera delar av Postscript-grafik.

**Ethernet**. Vanlig standard för dataöverföring i nätverk framtagna av Xerox 1976.

**Firewire**. Standard för att ansluta externa enheter till datorn. Egentligt namn IEEE 1394.

**FORTAN**, FORmula TRANslation. Programmeringsspråk.

**free BSD**. En gratisversion av Unix liknande Linux.

**FTP**, File Transfer Protocol. Program och protokoll för att överföra och kopiera filer över Internet.

**GIF**, Graphical Interchange Format eller Graphic Image File. Bildformat som bland annat används på hemsidor på Internet.

**giga**, (G). En "binär" gigabyte (1 giB eller 1 Gi) är egentligen 1 073 741 824 bytes.

**GNOME**, GNU Network Object Model Environment. Ett grafiskt gränssnitt för Linux.

**HAL 9000**. Skeppsdator i filmen 2001.

**hub**. Nav på engelska. En central del och kopplingspunkt i nätverk.

**ICMP**, Internet Control Message Protocol. Internet-protokoll invänt i internetprotokollet IP.

**IrDA**, Infrared Data Association.

**ISDN**, Integrated Services Digital Network.

**ISO**, International Standards Organisation. Internationella organisationen för världsstandarder.

**Java**. Programmeringsspråk utvecklat av SUN anpassat för att kunna leverera exekverbar kod över nätverk.

**JPEG**, Joint Photographic Experts Group. Standard för bildkomprimering. Dataförstörande, vilket innebär att data tas bort från bilden.

**KDE**, Kool Desktop Environment Open Source. Grafiskt gränssnitt för Linux/X11.

**LAN**, Local Area Network. Datornätverk.

**Linux**. Den kanske snabbast växande Unix-dialekten.

**MAC-adress**. Hårdvaruadress i ett Ethernet och samma sak som Ethernet-adressen som är unik för varje adapter.

**modem**. Förkortning för Modulator/Demodulator.

**Moore's lag**. En princip först uttalad av en av Intels grundare Gordon Moore 1965. Han förutspådde att mängden transistorer på ett chip kommer att fördubblas var 18 månad.

**MPEG**, Moving Picture Experts Group.

**nörd**, (Eng: nerd). Tönt. Vanligen datanörd, person med väsentligt större intresse och kompetens inom området datorer än social kompetens med andra än likasinnade.

**open-source**. Betyder öppen källkod.

**PERL**, Practical Extradition and Report Language. Används ofta för att skriva script till Internet-tillämpningar. Ursprungligen utvecklat för att finna information i textfiler. Liknar C.

**PGA**, Pin Grid Array. Kapseltyp med en "matta" av anslutningar på en sida av kapseln.

**SCSI**, Small Computer System Interface. Standard för dataöverföring mellan enheter i datorer.

**SIMM**, Single In line Memory Module. Minnesmodul.

**TCP**, Transmission Control Protocol. Sköter transportsiktet vid TCP/IP-kommunikation. Garanterar överföring mellan ändpunkterna, sköter fel- och flödeskontroll. Kräver bekräftelse för varje datapaket.

**TCP/IP**, Transmission Control Protocol/Internet Protocol. De protokoll som Internet bygger på.

**USB**, Universal Serial Bus. Ett system som liknar Apples ADB (Apple Desktop Bus), fast avsett för en PC.

**VT100**. Terminaltyp som många terminalemuleringsprogram kan "emulera" eller "se ut" som.

## Datakommunikation

### Kort om kommunikation

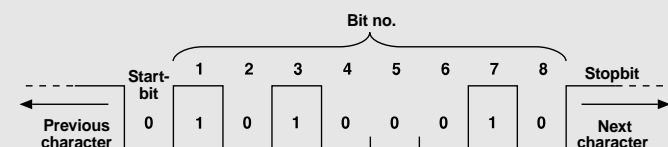
I världen av data och telekommunikation skickas elektriska signaler från några millimeter i ett halvledarchip till några tiotal meter för ett lokalt datornätverk men också tusentals kilometer för kablar på havsbotten och i rymdsammanhang miljontals kilometer. I alla dessa fall talar man om datakommunikation, men det är stor skillnad på kraven som ställs. När det gäller de korta avstånden så är man mest intresserad av stig- och falltider och spänningsnivåer på signalen, medan för långdistans så blir störningar som brus, distorsion och signaldämpning det som betyder mest.

En kommunikationslänk är "vägen" via vilken information skickas. Den kan exempelvis bestå av en fysisk koppling i form av en kopparledning men kan lika gärna vara en elektromagnetisk radiosignal mellan två punkter eller en logisk koppling i ett nätverk. Även om vi oftast tänker oss en sändare och en mottagare så är det mesta av dagens kommunikation det vi kallar för "multicast", d.v.s. en sändare och många mottagare (jämför med radio och television).

Kommunikationen mellan sändare och mottagare kan ske på följande tre sätt: **Simplex**. d.v.s. envägs-kommunikation (Rundradio, TV, GP). **Halv duplex**. d.v.s. tvåvägs-kommunikation men en åt gången (Walkie-Talkie, Ethernet). **Full duplex**. d.v.s. dubbelriktad kommunikation (Telefon, GSM), i verkligheten är det ofta två parallella motriktade simplex-kanaler.

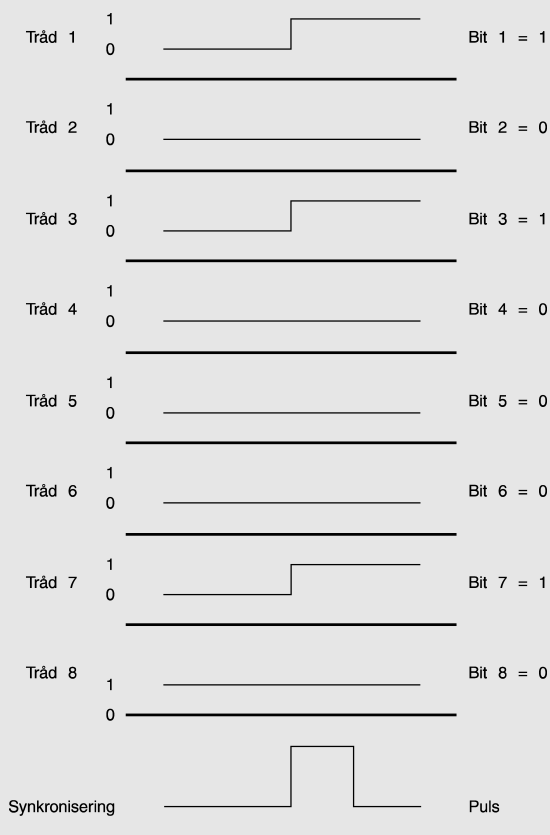
### Överföringshastighet och baudrate

Hastigheten som man kommunicerar med mäts historiskt ofta i "Baud" men idag talar vi om bitar per sekund. Skillnaden är att "Baud" representerar "signalförändringar per sekund", eller modulationshastighet. Om vi behöver 1 signalförändring per bit så får Baud och Bits/sekund (bps) samma värde. Skulle vi behöva 2 signalförändringar per bit (vilket kan bli fallet vid exempelvis Manchesterkodning) så blir bithastigheten bara hälften av modulationshastigheten. På samma sätt kan man se att för ett V.32-modem så är Baudrate 2 400 medan Bithastigheten är 9 600 eftersom varje symbol består av 4 bitar information genom en kombination av fas och amplitudmodulation av signalen.



Seriell överföring av ASCII "E", 8 bitar, ingen paritet. Observera att den minst signifikanta biten, bit 1, sänds först.

Ett annat sätt att öka hastigheten är att utnyttja parallella ledare, parallellöverföring. I figuren nedan används 8 ledare och bithastigheten blir 8 gånger symbolhastigheten.



Parallell överföring av ASCII "E".

### Asynkron och synkron överföring

Seriell information måste på något sätt kompletteras med information om början och slutet av en överföring. På samma sätt som att telefonen ringer när vi startar ett samtal och vi normalt säger "hej då" när vi avslutar och lägger på luren. I datavärlden motsvaras det för asynkron kommunikation av en startbit och en



stoppsbit (se figur) och för synkron kommunikation av en speciell synkroniseringssekvens. Motsvarande information är inte nödvändig för parallell överföring, eftersom varje bit där identifieras på en speciell ledning eller tråd.

### Modem

Ordet MODEM är en sammandragning av MODulator/DEModulator. Modemet sköter anpassningen till den överföringsstandard som man vill utnyttja för överföringen via telefonnätet eller över egen kabel, stad till stad eller land till land. Modemet omvandlar datorns signaler till toner som nätet kan hantera. De anslutna utrustningarna betecknas som DTE (Data Terminal Equipment, terminal eller dator) och DCE (Data Communication Equipment, Modem).

Det finns många olika typer av modem som till exempel korthållsmodem och telefonmodem. I Europa definieras bl.a. hastigheter och överföringssätt på telefonmodem med hjälp av CCITT-standarder. Den s.k. V-serien definierar standarder för det allmänna telefonnätet. De vanligaste finns beskrivna i tabell nedan.

Modemstandarder för det allmänna telefonnätet.

ITU/CCITT-standard	Hastighet mottagning/sändning bitar per sekund	Kommentar
V.21	300	
V.22	1200	
V.22bis	2400	
V.23	1200/75, 75/122, 1200 halv duplex	
V.24		Standard för kopplingen mellan dataterminal och system
V.26	2400	
V.26bis	2400 och 1200	
V.27	4800	
V.29	9600	4-trådsförbindelse
V.32	Upp till 9600	
V.32bis	Upp till 14400	
V.32terbo	Upp till 19200	Lucent ersatt av V.34
V.32terbo+	Upp till 21600	3Com (USR) ersatt av V.34
V.33	14400	4-trådsförbindelse
V.34	Upp till 33600	
V.90	Upp till 56000/33600	Ersätter X2, K56Flex
V.92	Upp till 56000/47000	

För överföring mellan två datorer kan man ofta använda ett "Nollmodem" d.v.s. en kabel som är kopplad så att datorerna uppfattar varandra som om de kommunicerade med ett modem. Vanliga kopplingar för nollmodemkablage som passar den seriella COM-porten på PC-datorer (både 9-poliga och 25-poliga D-Sub kontaktton) visas i tabell nedan.

Koppling av nollmodemkablage. Kontaktton: D-Sub 25- eller 9-pol stiftton mot dator.

Dator 1 Kontakt nr 25-p (9-p)	Signalnamn	Signal- riktning	Dator 2 Kontakt nr 25-p (9-p)	Signalnamn
3 (2)	Received Data	<	2 (3)	Transmitted Data
2 (3)	Transmitted Data	>	3 (2)	Received Data
20 (4)	Data Terminal Ready	>	6+8 (6+1)	Data Set Ready + Carrier Detect
7 (5)	Signal Ground	—	7 (5)	Signal Ground
6+8 (6+1)	Data Set Ready + Carrier Detect	<	20 (4)	Data Terminal Ready
4 (7)	Request To Send	>	5 (8)	Clear To Send
5 (8)	Clear To Send	<	4 (7)	Request To Send

Koppling av modemkablage. Kontaktton: D-Sub 25- eller 9-pol stiftton mot dator, D-Sub 25-pol hylsdon mot modem.

Dator Kontakt nr 25-p (9-p)	Signalnamn	Signal- riktning	Modem Kontakt nr 25-p	Signalnamn
1 (—)	Shield	—	1	Shield
2 (3)	Transmitted Data	>	2	Transmitted Data
3 (2)	Received Data	<	3	Received Data
4 (7)	Request To Send	>	4	Request To Send
5 (8)	Clear To Send	<	5	Clear To Send
6 (6)	Data Set Ready	<	6	Data Set Ready
7 (5)	Signal Ground	—	7	System Ground
8 (1)	Carrier Detect	<	8	Carrier Detect
20 (4)	Data Terminal Ready	>	20	Data Terminal Ready
22 (9)	Ring Indicator	<	22	Ring Indicator

### Modemkontroll för uppringbara modem

Det finns olika sätt att styra modem. De två vanligaste är Hayes AT-kommandon och CCITT V.25bis. Av dessa är Hayes den mest spridda. Hayes har byggt upp sina kommandon runt ordet AT från engelskans ATTENTION. Alla kommandon inleds med AT. Ett exempel: ATDT12345, som uttyds ATtention Dial **T**one 12345 (eller på svenska Hör Upp Ring **T**onsignalering 12345).

### Felkorrigering och komprimering

Med hjälp av avancerade protokoll försöker man minska de överföringsfel som kan uppkomma i telenäten. CCITTs norm V.42 är exempel på ett sådant protokoll. När stora datamängder ska överföras samtidigt används om möjligt protokoll som komprimerar data för att minska överföringstiden.

### Korthållsmodem

Korthållsmodem eller basbandsmodem kallas även för "Line Boosters". De används för att få en säker dataöverföring vid långa överföringsavstånd mellan utrustningar med seriell kommunikation. Det i särklass mest använda interfacet V.24/RS232 kan användas upp till ungefär 15 meter med bibehållen säkerhet. Med korthållsmodem kan avståndet mellan utrustningarna ökas till flera kilometer. Överföringen sker ofta på 4-tråd (partvinnad), men även koaxialkabel och optisk fiber förekommer. Med fiberoptisk kommunikation kan man nå 10-tals mil med överföringshastigheter på många Gigabit/sekund.

### Datanätverk (LAN)

I lokala nätverk och för anslutning till Internet finns flera olika typer av kommunikation. Den vanligaste är Ethernet (IEEE 802.3) som är ett CSMA/CD-protokoll. CSMA/CD uttyds CS=Carrier Sense, MA=Multiple Access och CD=Collision Detect, d.v.s. känn av om kanalen är öppen, tillåt att fler använder kanalen och detektera om två försöker använda kanalen samtidigt. Ethernet finns i många olika former med bandbredder på 10, 100 och 1000 Mbit per sekund. Överföring kan göras upp till ca 100 meter.

### ISDN

Integrated Services Digital Network används ofta för nyinstallation av telefonjänster och möjliggör datahastigheter på upp till 64 kbit/sekund för varje kanal. Varje BRI-ISDN anslutning (Basic Rate Interface) innehåller 2 B kanaler med 64 kbit och en kontrollkanal.

### xDSL

Den nya teknologin med Digital Subscriber Lines finns i flera utföranden men den vanligaste är ADSL (Asymmetric DSL). Den erbjuds för abonnenter som bor inom en radie av ca 3 km från en telefonstation och ger användaren upp till flera Mbit/sekund i bandbredd. Asymmetrin består i att hastigheten skiljer mellan mottagen och skickad data.

## Mät- och styrsystem

Mätning och styrning av processer och skeenden är ett viktigt område bl.a. inom industrin. Sedan länge har man för detta ändamål använt så kallade *relästyrningar*, bestående av en kombination av reläer, tidreläer, räknare och annat. För mer sammansatta processer användes tidigare dyra specialutrustningar, ofta i samverkan med specialbyggda datorer. Utvecklingen av mikrodatortekniken har gjort det möjligt att till en betydligt lägre kostnad få en mät- och styrutrustning som är både mer mångsidig och har bättre prestanda än äldre utrustning.

Två vanliga mikrodatorbaserade system är PLC-system och persondator-baserade system.

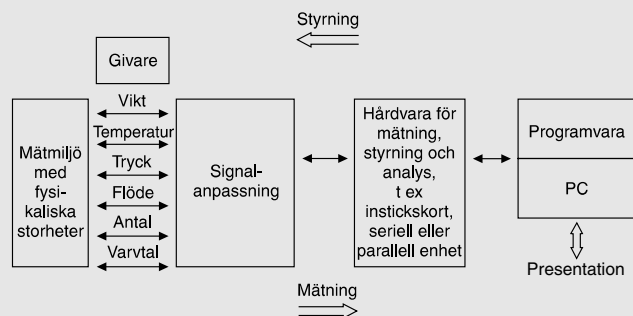
**PLC-system** (PLC = Programmable Logical Controller; i engelsk litteratur dock ofta PC = Programmable Controller) kan använda symboler som liknar kontakter och reläer för att beskriva en funktion. Detta gör det möjligt att programmera PLC-system med en metod som brukar kallas reläschema-programmering (Ladder Diagram). Liksom relästyrningar är PLC-system uppbyggda med ingångar och utgångar (eng Input, Output = I/O). Till ingångarna ansluts t.ex. gränslägesströmbrytare och tryckknappar, och till utgångarna ansluts t.ex. magnetventiler och signallampor. De reläer, tidreläer, räknare m.m. som finns mellan ingångar och utgångar i en relästyrning, motsvaras i en PLC av en mikrodator.

**Persondatorbaserade system** består av en vanlig persondator och diverse anpassningsenheter.

### Mätning och styrning med dator

Mätning och styrning kan principiellt indelas i följande delområden:

- Mätmiljö
- Givare
- Signalanpassning
- Hårdvara för mätning/styrning/analys
- PC
- Koppling mellan dator och mät- och styrutrustning
- Programvara



Blockschema för mätning och styrning.

## Mätmiljö

Ett flertal olika fysiska fenomen kan mätas. Härvid används olika typer av givare, se följande avsnitt.

En industriell miljö ställer ofta höga krav på mätutrustningen. Den elektriska miljön med tunga maskiner kan ge upphov till variationer i nätspänningen som påverkar utrustningen. Elektromagnetiska störningar är vanligt förekommande. Dessutom utsätter den rent fysiska miljön mätutrustning och datorer för svåra påfrestningar. Som exempel kan nämnas extrema temperaturer eller temperaturväxlingar, fukt, damm, föroreningar samt vibrationer. Den krävande miljön gör specialanpassningar nödvändiga, t.ex. dammfilter och speciella vibrationsdämpande upphängningar.

## Givare

Det finns två huvudgrupper av givare (eng. transducers), de som ger digital utsignal och de som ger analog utsignal. Exempel på givare med *digital utsignal* är termostater, lägesgivare av olika slag samt optiska givare. Dessa givare har endast två tillstånd, 1 eller 0, och kan direkt kopplas till digital mätutrustning. Givare för temperatur, flöde, tryck, vikt, varvtal etc. är av typen *analoga givare*. Utsignalen från en analog givare ändras mer eller mindre linjärt med mätstorheten. Analoga signaler kan behöva anpassas innan själva mätningen sker, se avsnittet Signalanpassning.

## Signalanpassning

Utsignalen från givaren måste vanligen anpassas innan den kan analyseras och presenteras av hårdvaran/mjukvaran. Exempel på anpassning är förstärkning, dämpning, filtrering, isolering och linjärisering. Vanligt är att man gör en *förstärkning* av signalen så nära givaren som möjligt. Det möjliggör längre ledningar mellan givare och mätelektronik genom att utsignalen blir mer okänslig för störningar. *Dämpning* kan behöva göras av en alltför kraftig signal. Med *filtrering* kan man ta bort oönskade komponenter ur signalen. I industrimiljö med höga spänningar, störningar eller jordningsproblem behövs ofta en *isolering* av signalen från resten av elektroniken. För ändamålet används bl.a. opto-kopplare. *Linjärisering* används för att kompensera för olinjäritet hos t.ex. en temperaturgivare.

Signalanpassning krävs även för styrning av processer. Stängning av en ventil exempelvis kan kräva 5 A vid en växelspanning på 220 V, medan utsignalen direkt från en digital utgång eller A/D-omvandlare är 5 V likspänning och 10-talet mA.

## Hårdvara för mätning, styrning och analys

En mängd olika typer av kort finns, med en eller flera av följande huvudfunktioner inbyggda:

- A/D-omvandlare (analoge ingångar)
- Signalanpassning, t.ex. förstärkning
- D/A-omvandlare (analoge utgångar)
- Digitala in- och utgångar
- Reläer och kontaktorer
- Räknare och/eller timers
- Hårdvara för analys av data

### A/D-omvandlare

En A/D-omvandlare (eng.: ADC; Analog-Digital Converter) producerar en digital utsignal som är direkt proportionell mot insignalen. Ju fler bitars *upplösning* omvandlaren har, desto noggrannare kan den analoga signalen representeras. En 8-bits omvandlare kan t.ex. ge  $2^8 = 256$  st olika utnivåer. Det s.k. bitlet blir då  $1/256$ , d.v.s. mindre än 0,5 % av REF-värdet, det största insignalvärdet. 12-bits omvandlare är vanligast i A/D-omvandlare. Alltför hög upplösning är dyrt och ger även längre omvandlingstid.

Mätkort har ofta flera oberoende *kanaler* där mätning kan göras. Mätningarna (samplingarna) fördelas genom multiplexing över de olika kanalerna. *Samplingfrekvensen* minskar då i motsvarande grad. Om t.ex. ett kort har en samplingfrekvens på 32 000 samples/sekund (32 kHz) och man använder 8 samtidiga kanaler, kommer varje kanal att samplas med 4 kHz. *Nyquists Samplingsteorem* säger att sampling måste ske med en frekvens som är minst dubbelt så hög som den högsta frekvenskomponent man vill mäta. Om man exempelvis ska mäta en 10 kHz växelspanning, måste sampling ske med minst 20 kHz.

Ingången kan vara "single-ended" eller differentiell. Differentiella ingångar är mindre känsliga för störningar, och används därför i störningsrik miljö, vid långa kablar mellan givare och A/D-omvandlare eller vid låg insignal. Fel såsom *linjäritetsfel* eller *förstärkningsfel* kan elimineras med hjälp av antingen hårdvara eller mjukvara.

Många kort innehåller kretsar för varierbar *förstärkning*, *dämpning* eller *filtrering*. Detta gör kortet dessutom användbart i flera olika sammanhang. Många kort har möjlighet till valbar förstärkning på respektive kanal, vilket gör att A/D-omvandlaren upplösning kan utnyttjas bättre.

### D/A-omvandlare

Digital till analog omvandling innebär att en digital insignal omvandlas till motsvarande analog spänning eller ström. Specifikationer av en D/A-omvandlare innefattar information om *upplösning* (antal bitar, noggrannhet hos utsignalen), *settid* (eng.: settling time) samt "*slew rate*", max förändringskoefficient hos utsignalen.

### Digitala in- och utgångar

Digitala ingångar används för att läsa status hos digitala givare, t.ex. lägesgivare och termostater. Digitala utgångar används för styrning av t.ex. ventiler och reläer. Specifikationerna innefattar *antal kanaler*, *max drivström* och *hastighet* som data kan tas emot eller sändas ut med.

### Reläer och kontaktorer

Reläer och kontaktorer användes för att direkt styra yttre utrustning. På detta sätt kan större effekter kontrolleras än direkt från en digital utgång. Reläer kan vara av både elektromagnetisk typ och av halvledartyp. Reläkort har ofta många reläer på samma kort.

### Räknare och/eller timers

Räknare och timers används för att räkna förekomsten av en digital händelse, för att mäta tidsintervall mellan pulser eller för att generera fyrkantpulsar. Viktiga egenskaper är *antal bitar*, vilket direkt påverkar hur stora tal som kan räknas, och klockfrekvens (tidbas). En del räknare har flera *kanaler*.

### Hårdvara för analys av data

Med dagens PC utförs i allmänhet merparten av analysarbetet av datorns CPU, se nedan. I en del högprestanda-applikationer hinner dock inte central-CPU bearbeta signalen tillräckligt snabbt. Även överföringen mellan mätutrustning och dator kan vara en flaskhals. Vissa utrustningar har därför egen hårdvara för analys och bearbetning av data. Vanligen utnyttjas en DSP, Digital Signal Processor, med höga prestanda. Dubbel buffering används för att kunna samla in och bearbeta data oberoende av varandra.

## PC

I mät- och styrsystem kontrollerade av en PC är det datorn som avgör den generella processhastigheten. Även om ett kort för mätinsamling har mycket höga prestanda, måste även PC:n tillräckligt snabbt kunna ta emot, analysera och presentera indata. Den mjukvara man använder kan ställa olika höga krav på PC:n. I en applikation där enkla mätningar utförs ett par gånger per sekund är en billig och enkel PC säkerligen tillräcklig, medan ett system med realtidsmätning och beräkning av högfrekvenssignaler förmodligen kräver en 32-bits processor (eller mer), coprocessor för flyttalsberäkningar, bra minnesarkitektur och snabba disksystem.

### Industri-PC

Inom industrin används ofta specialbyggda datorer med moduluppbyggnad i racksystem. Servicevänligheten är god för dessa system. Speciella anpassningar görs för skydd mot damm, smuts, vibrationer, störningar etc. Det blir dock allt svårare för utvecklarna av industri-PC att hinna med i den extremt snabba utveckling som "standard-PC" kontinuerligt genomgår vad gäller prestandaförbättringar.

## Koppling mellan dator och mät- och styrutrustning

Det finns tre olika huvudmetoder att ansluta en PC till mät- eller styrutrustningen:

- **Via PC:ns serie- eller parallellport** (detta är fortfarande det vanligaste)
- **Med instickskort för mätning och styrning**, sätts på datorns expansionsbuss
- **Via speciella bussar**, utvecklade för mät- och styrändamål

### Anslutning via serie- eller parallellport

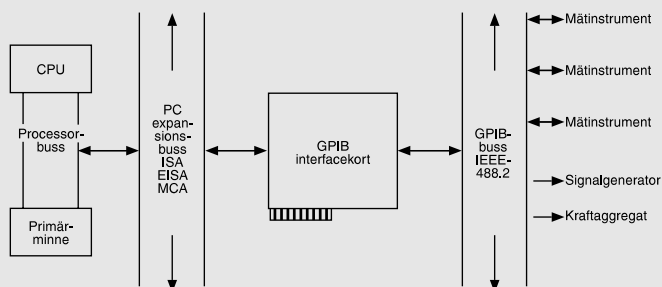
Enklare utrustning kan anslutas direkt till PC:ns portar. Vanligen används serieporten och standarden RS232. Det är ofta fråga om utrustning för att mäta eller styra bara en storhet, t.ex. flöde. Även speciella expansionskort med många serieportar förekommer, s.k. multiport boards. Serieporten har begränsad överföringskapacitet och kan alltså inte användas för insamling eller styrning av mycket snabba förlopp. Den lämpar sig inte heller för överföring över långa avstånd. Parallellporten är snabbare. Se tabell. Vid mätning/styrning av långsamma förlopp, exempelvis temperaturändringar eller flöde, kan dock detta vara en väl fungerande och kostnadseffektiv lösning.

### Anslutning med instickskort för mätning och styrning

Här sker datainsamlingen eller styrningen via ett speciellt expansionskort på datorns expansionsbuss. Bussen begränsas hos PC med ISA-buss vanligen maximal överföringshastighet. Datorer med MCA- eller EISA-buss är snabbare, liksom bussen hos arbetsstationer såsom t.ex. Sun Sparc-stationer. Instickskort på datorns expansionsbuss är väsentligt snabbare än överföring via serieport. Mät- och styrkort har i regel ett flertal huvudfunktioner inbyggda och är därför mycket flexibla.

### Anslutning via specialbussar för mätteknik

Specialiserade och avancerade mätinstrument ansluts ofta till en dator via en speciell instrumentbuss.



Blockschema för användning av GPIB-buss vid mätning med PC.

**GPIB-buss** = General Purpose Interface Bus. Kallas även HP-IB, IEEE-488 eller IEC 625. Hewlett-Packard utvecklade denna kommunikationsbuss för mätutrustningar i mitten av 1960-talet. Flera mätinstrument kan anslutas till en PC över GPIB-bussen genom att ett GPIB interface-kort sätts i PC:n. På bussen finns en eller flera talkers, listeners och controllers. PC:n som styrande enhet kan spela alla tre rollerna med hjälp av lämplig mjukvara. GPIB är en 8-bits buss och är relativt långsam, ca 1 MB/s. GPIB är ändå mycket vanlig inom styr- och mättekniken.

**VXI-buss.** Lanserades 1987 som en utökning av VME- och GPIB-bussarna. VXI är en 32-bitsbuss och tillåter överföringar snabbare än 10 MB/s. VXI är vanlig i tillämpningar med industri-PC.

**MXI-buss.** Multisystem Extension Interface Bus, introducerad 1989 av National Instruments. Stöds idag av bl.a. HP. MXI är en 32-bitsbuss med stöd för flera bus masters, med en max. överföringshastighet om 20 MB/s.

Överföringshastigheter på olika kanaler och bussar som används inom mät- och styrteknik. Observera att hastigheterna anges i MegaByte/sekund.

	Max överföringshastighet
<b>PC-portar</b>	
Serieport	2-12 kB/s
Parallellport	1 MB/s
<b>Expansionsbuss</b>	
ISA-buss	1-5 MB/s
EISA-buss	33 MB/s
MCA-buss	20 MB/s (MCA-2 40 MB/s)
<b>Speciella bussar för mätteknik</b>	
GPIB	1 MB/s
VXI	ca 10 MB/s
MXI	20 MB/s
<b>Nätverk</b>	
Nätverk (Ethernet)	1, 10, 100, 1000 MB/s

### Programvara

Användaren har via programvaran (mjukvaran) den slutgiltiga kontrollen över mät- och styrprocesserna.

Programvaran utför en eller flera av följande uppgifter:

#### Datainsamling

Programvaran handhar styrning av mätkortens ingångar. *Dataanpassning* kan göras helt mjukvarumässigt, t.ex. korrigering av linjäritet eller andra fel.

### Styrning

Styrning av instrument och processer kan göras direkt från mjukvaran, som i grafisk form med bilder, symboler och siffror direkt visar resultatet av förändringarna.

Observera att det engelska ordet för styrning är *control* och bör ej förväxlas med det svenska ordet *kontroll*.

### Analys

Analysen är en form av digital signalbehandling (Digital Signal Processing). Mjukvaran samverkar med hårdvara i dator och mät- och styrutrustning för att omvandla och analysera data. Mjukvaran kan även ta fram *statistik*.

### Presentation

Det sista steget i kedjan är presentationen av data för operatören. Det är viktigt att detta sker på ett enkelt och åskådligt sätt, samtidigt som all nödvändig information måste gå fram. Presentation kan ske på bildskärm eller till skrivare av olika slag.

### Datalagring

Datalagring är en annan viktig del av mätningarna. Data måste lagras i lämpligt format på t.ex. hårddiskar eller band för senare kontroll eller analys.

## Allmänt om mätning

### Metrologi

Förenklat kan man säga att metrologi är vetenskapen om mätning. Allt som har att göra med mätresultat, i utveckling, mätning eller analys av ett test omfattas av metrologins lagar och regler. Området täcker allt från det abstrakta som t.ex. att tolka statistiskt material eller till det praktiska som att t.ex. välja vilken skala på en linjal man skall använda.

### Kalibrering

Kalibrering är att jämföra ett mätodon med en bättre standard. En standard är i måtsammanhang en referens som vid jämförelse anses vara den rätta. Man kalibrerar för att ta reda på hur stor avvikelser i testobjektet är i förhållande till referensen.

*Justering* är inte detsamma som kalibrering. Justering innebär att om ett instrument inte uppfyller sina specifikationer vid kalibreringen och om kvalitetsrutinerna tillåter kan man justera det. Rekommenderat är då att spara mätdata innan justeringen (as-found) och efter att justeringen är klar (as-left).

Kalibrering kan göras på olika nivåer beroende på utrustning och vad den används till. Den vanligaste formen för kalibrering är spårbar kalibrering vilket i korthet betyder att de normaler som används för kalibreringen är spårbara mot nationella och internationella standarder. Vid *spårbar kalibrering* garanteras metoder och utförande av ett kvalitetssystem som t.ex. ISO 9001:2000. Sen finns det *ackrediterad kalibrering*, vilket inte behöver betyda större mätosäkerhet utan främst garanterar att det ackrediterade laboratoriet har nödvändig kompetens och rutiner att utföra vissa typer av kalibrerings- och mätuppgifter (t.ex. kalibrering av normaler). I detta fall har landets nationella ackrediteringsorgan (i Sverige Swedac) ackrediterat organisationen och en ansvarig person som säkerställer metoder och utförande.

### Spårbarhet

Processen att göra en mätning är endast en del av kalibreringen. Under mätningen bör alla data om testobjektets mätvärden sparas, antingen manuellt eller automatiskt till en dator (ofta kan det vara god- eller underkänt istället för mätvärden). Efter mätningen sammanställs all information om referensen och mätobjektet med mätdata, denna information talar om spårbarheten i testet. Informationen skall innehålla kalibreringsdatum för referensen, och testdatum. Många laboratorier sparar mer data än så för att uppfylla olika myndighetskrav. Spårbarhet är en obruten kedja av jämförande mätningar mellan aktuell mätning till nationella och internationella standarder. Förenklat kan man säga att man vill säkerställa att t.ex. 1 volt i USA motsvarar 1 volt i Europa, Sverige osv.

### Kalibreringsplatser

Man kan säga att kalibreringar görs överallt. Men det mesta av metrologiarbetet utförs i laboratorier där omgivningsfaktorer som temperatur, luftfuktighet, vibrationer och påverkan av elektriska störningar övervakas och styrs noga. Det finns fem typer av metrologilaboratorier med olika metrologiska funktioner.

**Primärlaboratorier** - här utförs den högsta nivån i metrologin och man forskar i metoder att mäta noggrannare och precisare. Man kalibrerar även primär- och sekundärstandarder.

**Sekundärlaboratorier** - här kalibrerar man främst sekundär- och arbetsstandarder. Kalibrering av lägre noggrannhet men som kräver speciell utrustning och metoder kan även göras här. Mobila kalibreringsenheter kan utgå från sekundärlaboratorier.

**Forskningslaboratorier** - metrologikraven på forskningslaboratorier skiljer sig från andra laboratorier då det beror på forskningens inriktning och mål. Ett forskningslaboratorium kan t.ex. behöva den mest noggranna referensen för att mäta ström på en enskild elektron.

**Kalibreringslaboratorier** - Kalibreringslaboratorier riktar in sig på att utföra volymkalibrering med referenser som är kalibrerade av primär- eller sekundär laboratorier. Målet för ett kalibreringslaboratorium är att kunna kalibrera så många instrument som möjligt på kort tid för att slutanvändaren skall slippa vara utan sitt arbetsverktyg i onödan, utan att ge avkall på kvalitetskraven. De största kalibreringslaboratorierna kalibrerar tiotusentals instrument per år.

**Mobila laboratorier** - Ibland är det mest praktiskt och ekonomiskt att ta kalibreringsutrustningen till testobjekten än tvärtom t.ex. militär kalibrering, eller stora företag där processen är för dyr för att stoppa den genom att sända iväg instrumenten. Mobil kalibrering ställer däremot stora krav på logistik då man ofta har många instrument på kort tid att kalibrera.

## Mättermer

**Onoggrannhet.** Ett värde som anger hur nära ett uppmätt värde ligger ett "sant värde". Metrologer föredrar att använda mätosäkerhet som term istället för onoggrannhet.

**Mätavvikelse.** Skillnaden mellan uppmätt värde och det "sanna värdet" på mätobjektet. Den verkliga mätavvikelsen kan man aldrig veta exakt, bara uppskatta.

**Mätosäkerhet.** En uppskattning av det största mätfelet i en mätning. Mätosäkerheten anges ofta som en sannolikhet till att ett uppmätt värde ligger inom specifikationen.

**Tolerans.** I metrologi betyder det gränsvärdena (mätosäkerheten) inom vilka ett instrument anses uppfylla specifikationerna.

**Verifiering.** Hänvisar till arbetet att säkerställa att instrumentet uppfyller specificerade prestanda. Om det inte gör det leder det till ett beslut att justera, reparera, nedgradera specifikationerna eller att helt enkelt kassera instrumentet.

**Kalibreringsetikett.** En dekal som klistras på instrumentet och som visar dess kalibreringsstatus. Den skall visa instrumentets certifikatsnummer, vem som utförde den senaste kalibreringen och när kalibreringen utfördes.

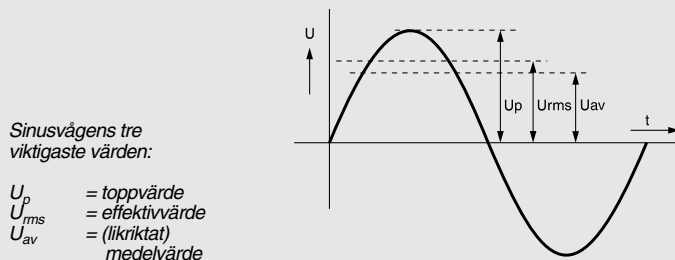
## Mätinstrument

### Multimetern

Multimetern, eller universalinstrumentet, behövs i nästan alla elektroniskmanhang. Detta kombinationsinstrument mäter resistans, lik- och växelspanning samt lik- och växelström. Allt fler funktioner läggs till, som t.ex. frekvens, kapacitans, induktans, transistortest m.m.

När det gäller växelström och växelspanning måste man ha klart för sig hur instrumentet sköter likriktning och hur det presenterar resultatet. Vanligen används topplikriktning medan värdet presenteras (med visare eller siffror) i form av effektivvärde. Detta går bra så länge som vi registrerar ren sinusvåg.

Om vi skall mäta på en förvrängd kurvform eller annan kurvform än sinus, behöver vi en sant effektivvärdesvisande (*True RMS*, *TRMS*) multimeter. Antingen räknar instrumentet fram det sanna effektivvärdet med en integrerad krets (klarar inte lika svåra signaler, hög crest faktor) eller med en omvandlare där insignalen omvandlas till värme (energi) i ett motstånd som direkt svarar mot det sanna effektivvärdet. På en del instrument kan även likspänningskomponenten kopplas i eller ur.



Det är viktigt att definiera exakt vad som skall mätas. Definitionen på TRMS-värdet (True Root Mean Square = sanna effektivvärdet) hos en växelspanning är det värde som i en resistiv last producerar samma mängd värme (energi) som en likspänning med samma värde. T.ex. får en växelspanning på 230 V RMS en lampa att lysa lika starkt som en likspänning på 230 V. Det betyder att toppvärdet hos en växelspanning alltid är högre än RMS-värdet, utom i fallet med en fyrkantvåg där RMS-värdet är lika med toppvärdet.

**Crestfaktor**, eller toppfaktor som är den svenska översättningen, är ett mått på förhållandet mellan toppvärde och effektivvärde. För ren sinusvåg är den 1,414:1 (d.v.s.  $\sqrt{2}$ ), och för en fyrkantvåg är den lika med 1. Ju högre crestfaktor instrumentet klarar desto svårare signal klarar den av att visa rätt.

Vissa instrument klarar av att mäta toppvärdet på en signal och man kan med hjälp av detta beräkna crestfaktorn.

**Formfaktor** definieras som förhållandet mellan effektivvärdet och medelvärdet. Den utnyttjas internt i medelvärdeskännande instrument som ska visa effektivvärdet. De är då kalibrerade för rena sinussignaler som har en formfaktor på 1,11.

Den som köper en multimeter bör vara medveten om att det finns tillfällen där det är fullt tillräckligt med ett medelvärdesmätande instrument och det finns tillfällen där det är nödvändigt med ett TRMS-visande instrument.

Det väsentliga är dock att man alltid försöker få en så god uppfattning som möjligt av signalens utseende och tar hänsyn till detta när slutsatser om mätningen dras.

	Medelvärde	Effektivvärde	Toppfaktor	Formfaktor	Fel med vanlig multimeter (%)	Korrektionsfaktor
Sinusvåg	$\frac{2}{\pi} V_p$ (0.637 $V_p$ )	$\frac{1}{\sqrt{2}} V_p$ (0.707 $V_p$ )	$\sqrt{2}$ (1.414)	$\frac{\pi}{2\sqrt{2}}$ (1.111)	0	1
Fyrkantvåg	$V_p$	$V_p$	1	1	+11	0.900
Triangelvåg	$\frac{V_p}{2}$	$\frac{V_p}{\sqrt{3}}$	$\sqrt{3}$ (1.732)	$\frac{2}{\sqrt{3}}$ (1.155)	-4	1.039
Pulsvåg	$n V_p$	$\sqrt{n} V_p$	$\frac{1}{\sqrt{n}}$	$\frac{1}{\sqrt{n}}$	$100 \times \left( \frac{n\pi}{2\sqrt{2n}} - 1 \right)$	$\frac{2\sqrt{2n}}{n\pi}$
$n = \frac{T}{t} = \text{Pulsförhållande}$						

*Felvisning och korrektionsfaktor vid användning av multimeter. Tabellen avser ett medelvärdeskännande, effektivvärdesvisande instrument kalibrerat för sinussignaler. Korrektionsfaktor för respektive kurvform fås som förhållandet mellan kurvans formfaktor och formfaktor för sinus = 1,11. Förutom felvisning enligt tabellen måste givetvis hänsyn tas till multimeterns onoggrannhet.*

### Onoggrannhet

Man bör också vara medveten om multimeterns onoggrannhet och inte blint lita på vad siffrorna visar. Onoggrannheten anges ofta som en procentsiffra plus ett antal siffrors avvikelse, t.ex. 0,5 %  $\pm 2$  siffror. Det betyder att om multimetern visar 225,5 V kan det i verkligheten vara 225,5 + 0,5 % = 226,6 + 2 siffror – alltså 226,8 V eller den andra ytterligheten 225,5 - 0,5 % = 224,4 - 2 siffror – alltså 224,2 V. Detta gäller ett instrument som har en skallängd på min 2999 (ibland kallad 3-2/3 siffrors). Hade det varit ett instrument med en skallängd på 1999 (ibland kallad 3-1/2 siffrors) och instrumentet visat 225 V så kunde det i verkligheten varit 225 V  $\pm 0,5$  %  $\pm 2$  siffror = 222–228 V.

Slutsatsen blir: Ta reda på instrumentets skallängd samt onoggrannheten både i procent och i siffror.

### Tånginstrument

En tångamperemeter är ett mycket användbart instrument för att mäta ström (A), speciellt stora strömmar. Den stora fördelen ligger i att man inte behöver bryta upp strömkretsen utan helt enkelt griper omkring den ena ledaren på kretsen och värdet avläses direkt på instrumentet.

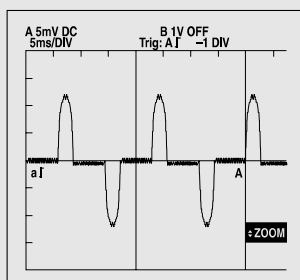
Tånginstrument finns för både växelström och likström. Växelströmtänger är vanligast samt oftast enklare att tillverka (billigare) än likströmtänger. Ofta kombineras tånginstrument med mätområden för spänning och resistansområden.

Även mer avancerade strömtänger förekommer, som förutom ovanstående mäter aktiv och skenbar effekt, samt tänger speciellt för felsökning av läckströmmar. När man väljer likströmtänger bör beaktas att instrumentet bör ha låg remanens (kvarstående magnetism). Motsatsen leder till försämrad noggrannhet med tiden. Även för tånginstrument bör beaktas vad som är sagt ovan om RMS och onoggrannhet.

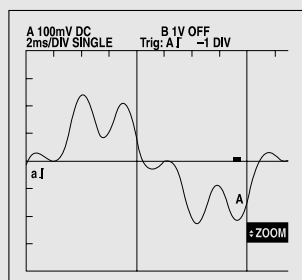
## Problem med nätspänningens övertoner

Symptom på övertoner visar sig oftast i elnät där många icke-linjära enfaser och trefas strömförbrukare är anslutna.

Varje komponent i elinstallationen bidrar på sitt sätt med att sända ut övertoner eller påverkas av övertoner. Totalt sett innebär det försämrade prestanda och i värsta fall skador.



Enfas icke-linjär lastström.



Trefas icke-linjär lastström.

### Udda övertoner blir en "spökström" som överhettar nollledaren

I ett trefas-system kan nollledaren föra en "spökström" som orsakas av icke linjära laster anslutna till 230 V gruppledningar.

I normala fall, med jämnt fördelade laster på faserna, ska fas-strömmarna med 50 Hz grundton ta ut varandra i nollledaren. Om det trots allt flyter en ström i nollledaren är den sannolikt resultatet av trippelövertoner, nr 3, 9, 15 etc. De utjämnar inte varandra utan adderas till varandra.

I en installation med många icke-linjära laster kan nollströmmen t.o.m. bli större än fasströmmen! Risken är stor för överhettning, eftersom nollledaren till skillnad från fasledarna inte är avsakrad (den får inte avsakras). Dessutom har ofta nollledaren mindre area än faserna eftersom det normalt ska gå en väsentligt lägre ström där.

Hög ström i nollledaren medför dessutom högre spänningsfall än normalt mellan nollan och skyddsjord.

Problem av detta slag kan avhjälpas med installation av 5-ledarsystem.

### Säkerhetsbrytare

Termomagnetiska säkerhetsbrytare utlöses av att en bimetall uppvärms av den passerande strömmen. Bimetallen känner strömmens verkliga effektivvärde (TRMS). Brytare av den här typen skyddar bättre mot överlast av övertonsström än standardsäkringar och överlastreläer.

En toppvärdeskännande elektronisk säkerhetsbrytare reagerar för strömmens 50 Hz-toppvärde. Däremot reagerar den inte alltid på rätt sätt för övertonsströmmar. Eftersom toppvärdet av övertonsströmmen kan vara högre än det normala 50 Hz-toppvärdet, utlöses brytaren för tidigt vid låg nominell ström. Om å andra sidan toppvärdet är lägre än normalt, kanske brytaren inte löser ut när den egentligen borde göra det.

### Nollskenor och anslutningsklämmor

Nollskenor och anslutningsklämmor är dimensionerade för den nominella fasströmmen. De kan därför bli överbelastade när nollledarna överbelastas med summan av övertonerna.

### Elcentraler

Övertoner i elcentraler kan orsaka ljud. Höljet på en central för 50 Hz-ström kan komma i mekanisk resonans p.g.a. det magnetfält som bildas av övertonsströmmar. Höljet ger då ifrån sig ett ljud.

### Telekommunikation

I telekommunikationssystem visar sig ofta problem med övertoner. För att hålla inducerade störningar från fasström på en så låg nivå som möjligt, drar man teledningar närmast elinstallationens nollledare. Men det kan då medföra att problemen ökar eftersom eventuella trippelövertoner i nollledaren överförs induktivt och hörs i telefonen.

Övertonernas fasläge och verkan.

Varje överton har ett namn, en frekvens samt ett visst fasläge i förhållande till grundtonen (F). I en induktionsmotor betyder det att en övertonsström med positivt fasläge alstrar ett roterande magnetfält med samma riktning som grundtonens magnetfält. En övertonsström med negativt fasläge ger ett magnetfält med motsatt rotationsriktning.

De första 9 övertonerna och deras fasläge visas i tabellen.

Namn	F	2:a*	3:e	4:e*	5:e	6:e*	7:e	8:e*	9:e
Frekvens	50	100	150	200	250	300	350	400	450
Fasläge	+	-	0	+	-	0	+	-	0

\* Jämförda övertoner försvinner när vågformen är symmetrisk (gäller i en normal krets)

### Fasläge Rotation Verkan

Positivt	Fram	Uppvärmning av ledare, säkerhetsbrytare etc
Negativt	Back	Uppvärmning (se ovan) + motorproblem
Noll**	Ingen	Uppvärmning + ökad nollström i 3-fas 4-ledarsystem

\*\* Övertoner med fasläge noll (udda multiplar av 3:e överton) kallas trippel-övertoner (3:e, 9:e, 15:e, 21:a etc)

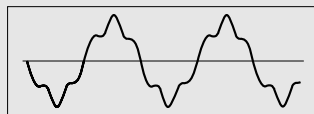
## Felsökning av läckströmmar och nätstörningar

Problemen med störningar och läckströmmar mot jord blir allt större. Tångamperemätare speciellt anpassade för att mäta små strömmar är ett utmärkt hjälpmedel. Vid läckströmsmätning läggs oftast tången direkt över alla tre faserna och nollan eller runt fas och nolla samtidigt. Resultatet bör bli noll, annars har man en läckström.

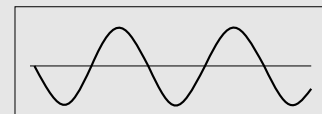
En ordinär tångamperemeter tar ingen hänsyn till om signalen är förvrängd eller inte. Det betyder också att det medelvärde instrumentet visar ej berättar om signalen är förvrängd. Med hjälp av en frekvensomkopplare kan övertonsproblemet på linjen lokaliseras. Med ett bandpassfilter på 50 Hz kan alla övertoner filtreras bort varvid endast grundtonen bibehålls vid mätningen.

Vid undersökning mäter man först strömmen i läge "bred" och därefter i läge "smal". Skillnaden mellan de båda mätvärdena är svaret på vilken övertonshalt signalen har. Denna funktion underlättar felsökningen och man kan snabbt och enkelt spåra den utrustning som genererar störningen på nätet.

Denna funktion finns ej på alla tånginstrument.



Vågform i läge "bred".



Vågform i läge "smal".

Vågformer vid olika inställning på mätinstrument med frekvensomkopplare.

## Isolationsprovare

En isolationsprovare testar isolationen i en elinstallation, maskin, motor eller apparat genom att man mäter isolationsresistansen med hjälp av en hög spänning, vilket omedelbart avslöjar begynnande överslag m.m. Isolationsmätningen kan göras med olika testspänningar, ofta från 50 V upp till 10 kV (50 V-området används bl.a. i ESD-sammanhang), och resultatet avläses i MΩ, ibland GΩ. Ju högre mätspänning, desto högre resistans är möjlig att mäta.

En annan viktig faktor som påverkar säkerheten är dålig kontakt i en kontaktpunkt. Om en sådan kontaktpunkt genomflyts av stor ström, bildas det värme i den punkten, vilket kan leda till brand. Därför är det viktigt att resistansen är så låg som möjligt. Till följd därav bör en isolationsprovare också vara försedd med en lågohmmeter med relativt hög testström (ca 200 mA).

## Installationsprovare

Testinstrument för el-installationer. Hjälper installatören att mäta och dokumentera så att anläggningen uppfyller gällande krav och normer.

EN61557, europeisk standard för CE-märkning av elinstallationer.

Installatören ansvarar för att:

- Materialleverantörens anvisningar följs vid installationen.
- Installationen utförs korrekt enligt gällande norm.
- CE-märka kopplingsutrustningen.
- Dokumentera utrustningens uppbyggnad, utförande och vem som utfört arbetet samt överlämna detta till beställaren.
- Kontrollera och ta anläggningen i drift enligt norm.
- Dokumentationen sparas i 10 år.

På begäran av installatören, då en ny servis dras fram eller kompletteras, är nätägare skyldiga att lämna information om förimpedansen (Z) vid leveranspunkten omedelbart före elmätaren. Med uppgift om (Z) kan installatören dimensionera rätt förkopplingskydd i förhållande till det matade nätets kortslutnings-effekt och efterföljande installation.

Installatören är skyldig att kontrollera fränkopplingstiderna vid kort- eller jordslutning så de ej överskrider gränsvärdena. Med information om förimpedansen (Z) kan detta beräknas, men det är mycket enklare att använda sig av en installationsprovare. Dessa värden ska dokumenteras.

Installatören ska ansvara för kontroll av jordfelsbrytare, såsom funktion, utlösningstid, utlösningssström, beröringsspänning samt dokumentera uppgifterna.

Installatören är skyldig att innan en installation överlämnas till beställaren eller innehavaren att dokumentera anläggningen. Vid en enklare installationer räcker det med en förteckning, i övrigt ska scheman, diagram eller tabeller visa art och uppbyggnad av kretsar, matningspunkter, antal ledare, ledararea, ledningstyp, ledningslängd samt redogöra för brytande apparater och deras placering.

Det bästa är att *alltid* dokumentera resultat från provning av jordslingimpedans och jordfelsbrytare. Om något skulle inträffa i anläggningen så är det bättre att ha "klara papper" på att allt är rätt från början, än att i efterhand bevisa att man inte gjort fel.

Ovanstående är fritt tolkat ur gällande normer. Fullständig information kan rekvideras från Elsäkerhetsverket.

## Kombinationsmultimetrar/oscilloskop

Detta är en typ av instrument som förutom att mäta signaler och presentera värdet i siffror också ska kunna visa kurvformen hos signalen. Dessa instrument kombinerar ofta en avancerad multimeter med ett digitalt oscilloskop. Vidare är de små och lätta att bära med sig. Dessutom har de oftast någon form av minne för att man skall kunna "ta hem" kurvformen och analysera den i lugn och ro. Ambitionen hos tillverkarna är att instrumenten skall vara lätthanvända så att multimeteranvändare skall kunna använda dessa instrument.

## Säkerhet

Användning av handhållna mätinstrument i miljöer med höga spänningar och höga effekter innebär risker för användaren.

I grund och botten handlar det om att följa några enkla rutiner men också valet av instrument är viktigt.

De vanligaste felmätningarna är:

- Försök till spänningsmätning fast testsladdarna sitter kvar i strömuttaget.
- Försök till spänningsmätning på resistansområdet.
- Mycket höga transientspänningar på mätobjektet.
- Överskridande av max ingångsspänning.

### Vad gör en multimeter till en säker multimeter?

Något entydigt svar på den frågan finns inte eftersom det finns så många nivåer och specifikationer. Men följer man nedan angivna specifikationer så har man kommit väldigt långt.

- Avsäkrade strömingångar.
- Användande av högeffektsåkringar (600 V eller mer) som klarar hög bryt/stötström.
- Högspänningsskydd i resistansläge (500 V eller mer).
- Transientskydd (6 kV eller mer).
- Säkerhetsmåtsladdar med halkskydd samt isolerade bananproppar.
- Utrustningen ska vara testad och godkänd av en oberoende testinstans (UL, VDE etc).
- Den ska vara tillverkad enligt IEC1010-normen.

Några vanliga symboler på apparater. Även om texterna är på engelska är de ganska självförklarande. Längst ner syns också symbolerna och namnen för några vanliga internationella ackrediterade laboratorier som utför säkerhetstester av olika slag.

	OFF (power) SWITCH POSITION
	ON (power) SWITCH POSITION
	ALTERNATING CURRENT OR VOLTAGE
	DIRECT CURRENT OR VOLTAGE
	EITHER ~ OR -
	DANGEROUS
	GROUND
	SEE EXPLANATION IN MANUAL
	DOUBLE INSULATION (Protection Class II)
	FUSE
	Underwriters Laboratories Inc., U.S.A.
	Factory Mutual Research Corp., U.S.A.
	Canadian Standards Association, Canada
	Technischer Überwachungsverein Rheinland
	Verband Deutscher Elektrotechniker (VDE) Germany
	UL recognition mark

## Oscilloskopet

Oscilloskopet är det andra vanliga universalinstrumentet. Det gör det möjligt att se vågformer och förlopp, överlagrad spänning, störningar i form av spikar etc.

Välj ett oscilloskop med tillräcklig bandbredd. Tänk på att angivelsen i MHz avser sinusvåg. Delar vi upp en fyrkantvåg i sina frekvenskomponenter (enligt Fourier) finner vi att oscilloskopet måste ha minst 10 ggr så hög bandbredd som klockfrekvensen för att vi skall kunna se stigtider, överslängar etc. Oscilloskopets *stigtid* är därför en bättre parameter att ta fasta på än dess angivna *bandbredd* i MHz.

Det *digitala oscilloskopet* omvandlar den analoga signalen till ett binärt siffervärde som sedan kan bearbetas av digitala kretsar. Omvandlingen görs i en A/D-omvandlare med vanligen 6 till 8 bitars upplösning. Den högsta frekvens som kan registreras motsvarar (högst) hälften av *samlingsfrekvensen* enligt *Nykvistteoremet*. På ingången måste det finnas ett antivikningsfilter som förhindrar spegling av frekvenser över samlingsfrekvensen. Detta filter begränsar ytterligare bandbredden eftersom det inte kan göras idealt.

Det digitala oscilloskopet har fördelen att kunna minnas en vågform som helt enkelt lagras i ett minne. Värdet kan sedan, när som helst, presenteras på skärmen eller matas ut till en yttre skrivare eller en dator. Den största fördelen ligger i att kunna minnas engångsförlopp, men man måste också ha klart för sig det digitala oscilloskopets begränsningar. Det kan missa smala spikar som råkar ligga mellan två samlingspunkter. Uppträder den smala spiken återkommande kan den registreras med ett analogt oscilloskop, men detta ställer stora krav på ljusintensiteten som blir låg om spiken uppträder lågfrekvent.

Oscilloskopet bör ha hög accelerationsspänning för att ge bra ljus och god skärpa.

Eftersom analoga oscilloskop har vissa fördelar och digitala har andra, kan det vara fördelaktigt att välja ett kombinationsoscilloskop som förenar de bästa egenskaperna hos båda. Nu finns också en ny typ av oscilloskop som kallas för *DRO (Digital Real time Oscilloskop)*. Där har man med hjälp av en mycket hög samlingshastighet fått ett digitalt oscilloskop att uppföra sig som ett analogt. Typiskt för dessa är att samlingshastigheten är 4-5 gånger större än den analoga bandbredden. Bland fördelarna är att engångsförlopp kan fångas ända upp till den analoga bandbredden samt att problemen med s.k. aliasing är borta.

Triggermöjligheterna i de digitala oscilloskopen är mer avancerade än i de analoga eftersom man ofta kan för- och eftertrigga eller trigga på fönster och logiska villkor.

**Probar** till oscilloskop bör man välja och använda rätt. En prob som ej dämpar signalen (1:1) har en kapacitans som läggs parallellt med oscilloskopets ingång. Denna kapacitans, och oscilloskopets ingångsresistans, belastar mätobjektet. Om man inte behöver oscilloskopets maximala känslighet är det bättre att använda en prob med dämpning, t ex 10 ggr. Därvid minskar belastningen på mätobjektet genom att ingångsimpedansen förändras från typiskt 1 Mohm och 40 pF till 10 Mohm och 15 pF. I proben finns en trimkondensator som alltid måste ställas in första gången proben ansluts till oscilloskopet. Anslut proben till oscilloskopets triggguttag. Fyrkantspänningen ställs in så optimalt som möjligt så att fyrkantvågen ej får vare sig översläng eller en rundad framkant.

För att utnyttja oscilloskopet optimalt är det viktigt att välja en prob med kort stigtid. Denna adderas till oscilloskopets egen stigtid. En bra tumregel är att proben ska ha dubbelt så hög bandbredd som oscilloskopet. Vissa märkesprobar specificerar inte probens bandbredd utan vilken bandbredd på oscilloskopet som proben är lämplig för.

Vid höga frekvenser och/eller höghögma mätställen räcker inte de hittills beskrivna proberna till. Ibland kan man använda 50 ohms impedansanpassad ingång för att inte reflexer ska ge upphov till felaktiga mätresultat. Ett annat bra alternativ är en *aktiv prob* som har en förstärkare ute vid probspetsen. Detta ger en höghögma prob med korta anslutningsledare (inga stående vågor) och således bästa möjliga mätning. Nackdelen är förutom priset att den blir stor, kan upplevas klumpig och därigenom svår att komma åt med på vissa mätpunkter.

Proben måste tåla den spänning man mäter på. Toppspänningen i t.ex. ett 230 V-vägguttag är 325 V.

## Oscilloskopetermer

**A/D-omvandlare (ADC).** Analog till digital omvandlare. Viktig del i ett digitalt oscilloskop. Hämtar in signalen och omvandlar den till siffror som läggs in i ett minne. Bör finnas en separat för varje kanal, annars sänks den totala samlingshastigheten vid 2-kanaldrift. Jfr D/A-omvandlare nedan.

**Aliasing (vikningsdistorsion).** När en signal är "samlad" med en hastighet som är mindre än 2 ggr per period av den högsta frekvenskomponenten i signalen uppträder en effekt som kallas aliasing. Resultatet blir en vågform som liknar den riktiga men med en lägre frekvens, om signalen endast innehåller en frekvenskomponent. I annat fall kommer de frekvenser som ligger över halva

samlingsfrekvensen att bli transformerade och den resulterande signalen blir distorderad och kan bli svår att känna igen.

**Alternate mode.** Flera kanaler visas samtidigt genom att oscilloskopet växlar mellan kanalerna mellan "svepen", så att en hel skärmbild ritas upp för en kanal åt gången. Används vid korta sveptider. Jämför Chop mode.

**Analog bandbredd.** Analog bandbredd avser ingångsförstärkaren hos både analog och digitala oscilloskop. Det ger den högsta frekvens (sinusvåg) som kan återges utan större förändringar av kurvans form och amplitud (–3 dB-punkten ger en kurva med 30% lägre amplitud). Andra kurvformer än sinus kräver högre bandbredd för att återge samma frekvens utan att kurvans vågform ändras. Om man ofta vill studera fyrkantvåg är det lämpligare att välja oscilloskop efter stigtiden.

**ART Analogt Real Time Oscilloskop.** Fritt översatt: analogt oscilloskop.

**Auto-setup.** Ger automatiskt en inställning för bästa visning av kurvan. Ej att förväxla med automatisk områdesinställning som hela tiden följer med och ställer om inställningarna vartefter insignalen ändrar sig.

**Averaging (medelvärdesbildning).** "Averaging" är en vågforms-processteknik som arbetar på multipla vågformer. Ett antal mätningar tas i varje mätpunkt och man räknar fram medelvärdet för punkten. En fördel med "averaging" är bl.a. att det minskar bruset i signalen.

**Bandbredd.** Se "Analog bandbredd".

**Chop mode.** Flera kanaler visas samtidigt genom att oscilloskopet växlar mellan kanalerna under samma "svep", så att endast ett kort avsnitt av kurvan för en kanal ritas upp före kanalväxling. (Kurvorna "hackas upp"; chop = hacka). Används vid långa sveptider. Jämför Alternate mode.

**CRT (Cathode-Ray Tube).** Bildröret i oscilloskopet. Bör ha en hög accelerationsspänning för att ge god ljusintensitet.

**Cursor.** Se "Markörer".

**D/A omvandlare (DAC).** Digital till analogomvandlare i digitala oscilloskop. Omvandlar siffervärden från oscilloskopets minne och visar det som en kurva på skärmen. Jfr A/D-omvandlare ovan.

**Digital bandbredd.** Se "Sampling" och "Singelskottsbändbredd".

**DRO (Digital Real time Oscilloscope).** Ett digitalt oscilloskop som har en betydligt högre (4–5 ggr) samlingsfrekvens än den analoga bandbredden. Ger det digitala oscilloskopet analog-känsla ända upp till den maximala bandbredden och förhindrar aliasing.

**DSO (Digital Storage Oscilloscope).** Fritt översatt: Digitalt minnesoscilloskop.

**Dual-sweep (dubbel tidbas).** Ett oscilloskop som kan visa en signal med två oberoende tidsinställningar. Man kan då förstora upp en liten del samtidigt som man ser hela kurvan. Används även vid fördröjt svep.

**Fördröjt svep.** Se "Dual-sweep".

**Glitch Capture (Peak Detect).** Funktion hos digitala oscilloskop som hjälper till att fånga korta "spikar" oavsett vilken tidbas som är inställd. Man kan fånga spikar mellan samlingspunkterna.

**Holdoff.** Trigger Holdoff är en funktion som hindrar oscilloskopet att trigga under ett visst inställbart tidsintervall. Funktionen används vid komplicerade vågformer för att oscilloskopet ska trigga bara på den första punkt i vågformen som uppfyller triggvillkoret.

**Markör (cursor).** Funktion med t.ex. två kors som kan flyttas längs kurvan på skärmen för att mäta tid, frekvens, och spänning. Svaret ges som siffror på skärmen. Oscilloskop med markörer som följer kurvan automatiskt finns samt även instrument som kan mäta spänning, tid och frekvens direkt utan att använda markör.

**Minnesdjup (Minneslängd).** Anger hur många mätpunkter en inspelad kurva innehåller (exempelvis 1 Ki = 1024 punkter). Ju fler punkter, desto längre tid eller bättre resultat på skärmen.

**Ordlängd.** Anger upplösningen i vertikalled (exempelvis ger 8 bitar 256 punkter). Ju fler bitar desto bättre upplösning och bättre resultat på skärmen.

**Pre-trigger.** Hos digitala oscilloskop finns möjlighet att spela in signalen innan oscilloskopet triggar.

**Read-out.** Denna funktion visar vissa inställningar i klartext på skärmen, t.ex. 0,5 V/ruta, 20 ms/ruta. Ofta markeras också triggpunkten på digitala oscilloskop. Så kallas också funktionen på prober som då "talar om" för oscilloskopet om den är en 1:1 eller 1:10 prob. Om det är en 1:10 prob kan man se det på probens BNC-kontakt som då är försedd med ett litet stift.

**Sampling.** Ett digitalt oscilloskop samplar (mäter) spänningen på signalen med jämna mellanrum, exempelvis 10 miljoner ggr/sek (10 MS/s). Korta spikar som råkar komma mellan två samplings kan dock inte ses på skärmen. Då krävs funktioner som "Glitch Capture". För att återge en signal krävs ca 10 samplings

per period. Samplingshastigheten bestämmer alltså bandbredden i digitalt läge, under förutsättning att inte samlingshastigheten är högre än den analoga bandbredden. Se "DRO".

**Sampling, realtid.** Singelskottsinspelning (inspelning av ett engångsförlopp) av signalen innebär att alla datapunkter samlas under en enda period av signalen. Bandbredden begränsas av samlingshastigheten.

**Sampling, ekvivalentid.** På repetitiva signaler tas några punkter på varje period för att successivt bygga upp signalen. Bandbredden blir samma som den analoga bandbredden. Men här får man se upp med "aliasing" och att korta störningar, som ej återkommer ofta och på samma ställe, kan missas med denna metod.

**Singelskottsbändbredd (Digital bandbredd).** Singelskottsbändbredden eller bandbredden vid engångsförlopp är den högsta frekvensen som oscilloskopet kan visa på skärmen. Den kallas även för realtidsbandbredd. För analoga oscilloskop (även för DRO) är det ingångsförstärkarna som avgör. För digitala oscilloskop (dock ej för DRO) är det samlingsfrekvensen som avgör.

**Stigtid.** Den tid det tar för signalen att stiga från 10 till 90 % av sitt ursprungliga värde på skärmen.

**Trigg.** Signelhändelse som används för att starta svepet hos oscilloskopet.

## Frekvensräknare

Frekvensräknare innehåller en räknare som är inkopplad en viss tid. En oscillator sköter denna tidslucka och det är i huvudsak oscillators noggrannhet som avgör noggrannheten hos instrumentet. Många siffrors noggrannhet kräver lång inkopplingstid vid låg frekvens. Vissa frekvensräknare är därför reciproka vilket innebär att det i stället är insignalens periodtid som styr antalet räknepulser från oscillatoren. Räknarvärdet inverteras och presenteras sedan. En reciprok räknare kan därför få snabb uppdatering även vid låga frekvenser. Triggnivåerna kan vara fasta eller justerbara.

Universalräknare har ofta dessutom möjligheter att mäta parametrar som tidsintervall, periodtid, kvot mellan två frekvenser och varvtal.

## Mätomvandlare

Mätomvandlaren (eng. transducer) anpassar signaler från givare samt skyddar elektronisk utrustning som PLC, styrelektronik och industridatorer. Den ger en galvanisk isolation mellan givare och övrig elektronik vilket eliminerar jordströmmar och elektrostatiska störningar samtidigt som den filtrerar bort elektriska störningar.

Utsignalen från en mätomvandlare är oberoende av belastningens storlek (inom vissa gränser). Dess fördelar kan sammanfattas enligt följande:

- Överföring av mätvärden över relativt stora avstånd.
- Flera mätande eller registrerande instrument kan samtidigt anslutas till samma omvandlare inom ramen för tillåten last. Särskilda trimningsåtgärder erfordras ej.
- Injustering av ledningsresistans behövs ej för anslutna mätinstrument.
- Ledningsdragningen blir enkel och billig.
- Enskilda instrument eller andra mätande och registrerande organ kan kopplas ur en krets efter kortslutning av motsvarande anslutningsledning utan att störa övrig utrustning.
- För anpassning till panelinstrument på ett enkelt sätt.

## Genererande instrument

Genererande instrument är t.ex. signalgeneratorer för höga frekvenser samt tongeneratorer och funktionsgeneratorer för låga frekvenser.

Av en **tongenerator** kräver man främst låg distorsion samt god amplitudnoggrannhet över hela frekvensområdet. Den brukar även ha en utgång med fyrkantvåg.

**Funktionsgeneratorn** är mer universell. Den ger förutom sinus- även kantvåg och triangelvåg och ibland även tonskurar (bursts). Ofta kan den ge linjära eller logaritmiska frekvenssvep vilket gör den användbar i automatiserade mätsystem. En relativt hög distorsion gör den dock olämplig för distorsionsmätningar.

På en **signalgenerator** för högfrekvens finns det en rad krav att ställa, beroende på användningsområde. Generellt sett gäller att den skall vara väl skärmd och ha en god dämpsats så att amplitudnoggrannheten blir hög.

**Syntesgeneratorer** ger god frekvensnoggrannhet genom att frekvensen refereras till en, eller några, kristallosillatorer med låg temperaturdrift. Olämpligt eller enkelt utförda kopplingar kan ge högt fasbrus vilket gör signalgeneratorm otjänlig för selektivitetsmätningar (utombandsmätningar). Fasbruset är inte kritiskt för inombandsmätningar om man inte behöver ett högt signal/brusförhållande.

## Systeminstrument

Systeminstrument är sådana instrument som kan kopplas samman så att de styrs centralt från en dator. Ett instrument i en sådan konstellation kan också verka som "master" och de andra som slavar. Den mest accepterade standarden är GPIB (General Purpose Instrument Bus), som också benämns IEEE-488, HPIB och IEC625. GPIB används ofta i automatiserade mätsystem (ATE, Automatic Test Equipment).

En enklare och billigare lösning är RS232C med vilken dock hastigheten begränsas.

## Temperaturmätning

Temperaturmätning är den vanligaste mätningen i industrin. Temperatur mäts i de mest skiftande sammanhang. Några exempel: lödning, formning av plast, livsmedelsindustri, snabbbladdning av batterier, för att hitta överbelastade högspänningsdetaljer, olika former av processindustri o.s.v.

När man väljer mätmetod bör man fundera på syftet med mätningen.

- Inom vilket temperaturområde skall man mäta?
- Hur skall givaren vara utformad?
- Hur noggrant resultat behövs?
- Hur snabb skall mätningen vara?

Vilket är viktigast av följande punkter:

- Ett exakt siffervärde.
- Skillnaden mellan flera mätpunkter.
- Skillnaden mellan återkommande mätningar på samma mätpunkt.

Här kommer några av de i industrin vanligaste temperaturmätmetoderna att beskrivas.

Givaren består av en inkapslad metalltråd vars resistans ökar när temperaturen ökar. Tråden kan bestå av platina, koppar eller nickel. Resistansen är ofta 100 ohm vid 0°C men även 10, 500 och 1000 ohm förekommer. **Pt 100** är den vanligaste av dem. Beteckningen står för platina, 100 ohm vid 0°C. Pt-givare kan tillverkas för mätning från -250 till +800°C.

Resistansändringen vid ändrad temperatur är relativt liten, runt 0,4 Ω/°C för Pt 100. För att inte få för stort mätfel måste man kompensera för resistansen i kabeln mellan givare och instrument. Med 4-trådskoppling kan mycket hög noggrannhet uppnås.

## Resistansgivare

Resistansen i en Pt100-givare enligt EN 60751 (ITS 90) ska följa följande formler:

för -100°C < t < 0°C :

$$R_t = R_0 (1 + At + Bt^2 + C(t - 100)t^3)$$

för 0°C < t < 850°C :

$$R_t = R_0 (1 + At + Bt^2)$$

där

$R_t$  är resistansen vid temperaturen t

$R_0$  är resistansen vid 0°C

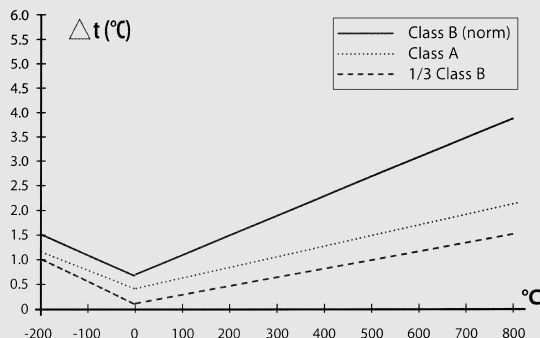
$A = 3,9083 \times 10^{-3} / ^\circ\text{C}$

$B = -5,775 \times 10^{-7} / ^\circ\text{C}^2$

$C = -4,183 \times 10^{-12} / ^\circ\text{C}^4$

Några resistans- och temperaturvärden enligt denna formel finns i tabell "Utsignal från Pt100-givare och termoelement typ K".

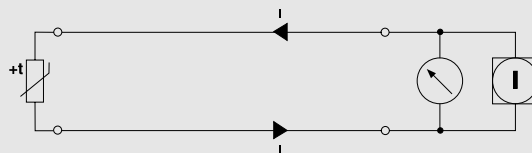
EN 60751 definierar tre klasser, A, B och 1/3 B, för hur mycket givaren får avvika från de normerade värdena. Se figur nedan.



Onoggrannhet hos Pt100-givare. Δt anger givarens tillåtna fel i °C för för klass A, B och 1/3 B enligt EN 60751.

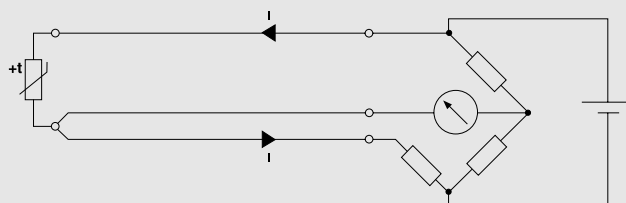
## Inkoppling av resistansgivare

Ett exempel på **2-trådskoppling**. Resistansen i kabelns vardera ledare uppgår till 0,5 ohm. Totalt känner instrumentet givarens resistans plus 1 ohm. För Pt 100 motsvarar 1 ohm en temperaturändring på ca 3°C. Instrumentet kommer att visa ca 3°C för hög temperatur. 2-trådskoppling bör endast användas där givaren sitter nära instrumentet eller där hög noggrannhet ej krävs.



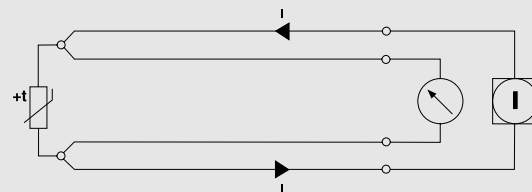
**2-ledarkoppling.** Mätströmmen leds i samma ledare som spänningen över motståndet mäts med. Spänningsfall i ledarna orsakar felvisning om ledarna är för långa.

**3-trådskoppling.** Lite förenklat kan man säga att den tredje tråden används för att mäta kabelns resistans för att instrumentet ska kunna kompensera för denna. De tre ledarna ska ha lika resistans. (2-ledare med en skärm som en tredje ledare rekommenderas inte). Om signalen ska ledas långa sträckor eller i störande miljö (nära starkströmskablar och stora elmaskiner) rekommenderas skärmad kabel. Pt 100 med 3-trådskoppling används ofta i industrin.



**3-ledarkoppling.** En Wheatstone-brygga kan på detta sätt kompensera för ledningsresistansen. Spänningen mäts högimpedivt.

Den mest noggranna varianten är **4-trådskoppling**. Den kan även kompensera för en eventuell skillnad i resistans mellan de fyra ledarna (jfr 3-trådskoppling). Det ger hög noggrannhet och används främst vid noggrann laboriemätning och kalibrering.



**4-ledarkoppling.** Mätströmmen leds i två ledare och spänningen mäts högimpedivt med de två andra ledarna. Hög mät noggrannhet kan uppnås.

Utsignal från Pt100-givare och termoelement typ K.

Temperatur °C	Resistans Pt 100 Ω	Spänning Termoelement typ K μV
-50	80,31	-1889
-40	84,27	-1527
-30	88,22	-1156
-20	92,16	-778
-10	96,09	-392
0	100	0
10	103,90	397
20	107,79	798
30	111,67	1203
40	115,54	1612
50	119,40	2023
60	123,24	2436
70	127,08	2851
80	130,90	3267
90	134,71	3682
100	138,51	4096
110	142,29	4509
120	146,07	4920
130	149,83	5328
140	153,58	5735
150	157,33	6138



## Termoelement

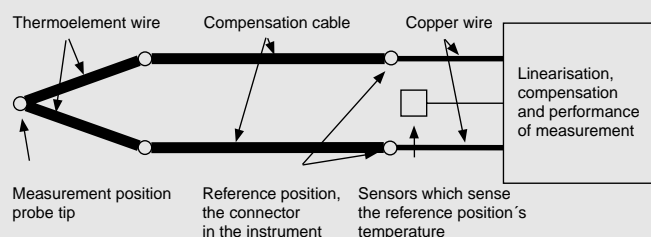
Den här mätmetoden bygger på att olika metaller avger eller upptar olika mycket elektroner vid samma temperatur. Om man seriekopplar två olika metalliska ledare och mäter spänningen mellan dem, får man en spänning som varierar med temperaturen i den punkt där de två olika materialen möts. Denna spänning kallas termoelektrisk spänning. Spänningen är liten, ca  $40 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$  (för typ K). Termoelement används i de flesta industriella temperaturmätningar.

Termoelement kan tillverkas av många olika metallkombinationer som har olika egenskaper, t.ex. för mätning av extremt höga temperaturer. För enkelhetens skull har man standardiserat några typer. En vanlig standard kallas **typ K**. För typ K finns många instrument och givare. De ger en noggrannhet som oftast är tillräckligt hög. (Typ K används ofta i industrin.)

## Inkoppling av termoelement

Eftersom principen bygger på att två olika metaller seriekopplats i givaren, måste kabeln mellan givare och instrument bestå av samma två metaller som givaren, eller metaller med samma termoelektriska egenskaper.

Denna typ av kabel kallas **kompensationskabel**. Även kontaktdon m.m. ska vara tillverkade av samma metaller. Annars kommer man att seriekoppla ett antal termoelement, ett i varje punkt där olika metaller möts. Man kommer då att mäta temperatur på flera punkter och få ett betydande mätfel. Man måste också observera polariteten på givare, kompensationskabel och kontakter.



Principskiss för inkoppling av termoelement.

Figuren nedan visar färgmärkning enligt DIN IEC 584 resp. DIN 43714 för kompensationsledningar. Man bör tänka på att  $200^\circ\text{C}$  är max temperatur även om isolationsmaterialet tillåter högre värden. Detta beror på att de termoelektriska egenskaperna endast är garanterade upp till  $200^\circ\text{C}$ . Vid högre temperaturer måste termoelementtråd eller termotråd användas. En blandning av olika fabrikat kan innebära mätfel då aldrig exakt samma legeringar används av de olika tillverkarna. Vid skarvning av kompensationsledningar bör ledarna vara i direkt kontakt med varandra. Tvinnas ihop ledarna och kläm dem under samma skruv. Skydda sedan skarven mot oxidering.

**DIN IEC 584**  
Vit minusledare,  
plusledare  
enligt nedan



**DIN 43714**  
Röd plusledare,  
minusledare  
enligt nedan

T Brun	Cu - CuNi
E Lila	NiCr - CuNi
J Svart	Fe - CuNi
N Rosa	NiCrSi - NiSi
B Grå	Pt30Rh - Pt6Rh
K Grön	NiCr - NiAl
R Orange	Pt13Rh - Pt
S Orange	Pt10Rh - Pt

U Brun	Cu - CuNi
L Blå	Fe - CuNi
K Grön	NiCr - NiAl
S Vit	Pt13Rh - Pt
S Vit	Pt10Rh - Pt

Färgmärkning för kompensationsledningar enligt DIN IEC 584 resp. DIN 43714. Blanda ej typ J (Fe-CuNi) med typ L (Fe-CuNi). De har olika temperaturkoefficienter. Samma sak gäller för typ T (Cu-CuNi) och U (Cu-CuNi). Observera att angivna material avser termoelementen, medan kompensationsledningens kan variera.

**Referensställe**, eller **kallt lödställe**, kallas den punkt där kompensationskabeln övergår till vanlig koppartråd, oftast inuti instrumentet. Givaren eller proben kallas mätställe eller varmt lödställe.

Om referensstället och mätstället har samma temperatur, t.ex.  $+20^\circ\text{C}$ , är den elektriska spänning som instrumentet känner lika med noll. Men instrumentet skall inte visa noll om proben känner temperaturen  $+20^\circ\text{C}$ . Därför måste man kompensera för den temperatur referensstället har, "kompensation för kalla lödstället". I varje instrument för termoelement sitter därför en temperaturgivare vid kontakten. Denna givares onoggrannhet kan ge upphov till mätfel om instrumentet är för varmt eller kallt. Högst mättnoggrannhet fås för de flesta instrument när instrumentet är i normal rumstemperatur.

Vissa standardtermoelement kan användas från  $-200^\circ\text{C}$  och vissa mäter upp över  $+1500^\circ\text{C}$ .

## Termistorer

Termistorer används som givare till en del instrument. Det finns två typer av termistorer: PTC (= positiv temperaturkoefficient, d.v.s. resistansen ökar när temperaturen ökar) samt NTC, negativ temperaturkoefficient.

Det är relativt lätt att konstruera den elektronik som krävs i instrumentet för att linjärisera signalen från givaren. Detta gör instrumentet billigt att tillverka.

Det har inte så hög noggrannhet, men den kan förbättras genom att man kalibrerar och trimmar instrumentet med en givare. Man kan också trimma instrumentet för att få en högre noggrannhet inom ett begränsat temperaturområde. Termistorer används vanligen inom området  $-50^\circ\text{C}$  till  $+150^\circ\text{C}$ , maximalt några hundra grader. Exempel på användningsområden är "inne/ute"-termometrar samt febertermometrar.

## Halvledargivare

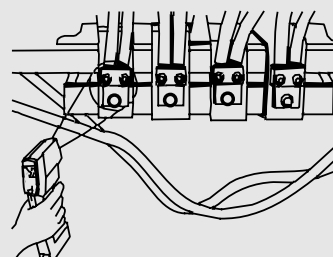
Halvledargivare finns i olika varianter, mer eller mindre intelligenta. En del har mV-utgång, andra har datoranpassad utgång i komponenten. De har lågt pris men litet temperaturområde, upp till ca  $+150^\circ\text{C}$ . Användaren får själv konstruera den kringelektronik som behövs.

## Temperaturkänsliga indikatorer

Temperaturkänsliga indikatorer ser ut som en tejprensa med ett eller flera fält med maxtemperatur angiven. När den angivna temperaturen överskrids ändras fältets färg. Förändringen kvarstår för att man senare ska kunna inspektera om objektet blivit utsatt för för hög temperatur.

## IR-mätning, pyrometrar

Alla föremål varmare än den absoluta nollpunkten (ca  $-273^\circ\text{C}$ ) avger värme-strålning i form av infrarött ljus, IR. Strålningen ökar med ökad temperatur. En pyrometer "ser" strålningen och representerar resultatet som temperatur.



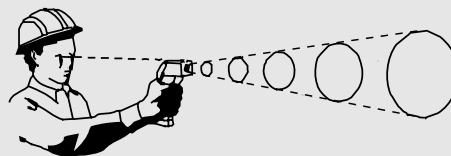
Kontaktlös temperaturmätning kan användas för felsökning i högspänningssystem under drift. Överhettade kontaktpunkter kan vara ett tecken på överbelastning eller dålig kontakt.

Vid mätning måste man ta hänsyn till vilket ytmateriäl mätobjekt har. Olika ytmateriäl har olika förmåga att avge strålning vid samma temperatur. **Emissionsfaktorn**  $\epsilon$  beskriver denna egenskap. På många instrument kan man ställa denna faktor för att man ska kunna mäta rätt på olika ytor. Andra instrument har denna fast inställd på 0,9–1,0. Instrumentet visar då något för låg temperatur vid mätning på t.ex. blanka metalltytor. Vissa ytor kan också fungera som spegel och reflektera värme-strålning från heta föremål i närheten. I dessa fall kan man måla ytan med mattsvart färg och/eller göra en kalibreringstabell.

Denna mätprincip har hög repeterbarhet, d.v.s. man får liten skillnad mellan mätresultaten varje gång man mäter likadant. Eftersom man mäter kontaktlöst kan man mäta på föremål som är omöjliga att mäta på med traditionella mätmetoder, t.ex. stora väggar, mycket heta föremål, roterande och andra rörliga föremål samt föremål som är högspänningssatta. Dessutom är mätningen mycket snabb eftersom det inte finns någon prob som har en massa som måste värmas upp av mätobjektet.

Observera dock att instrumentet kommer att visa ett medelvärde om givaren "ser" flera zoner med olika temperatur. Med zoner menas både tid och yta.

Pyrometri är den enda mätmetod som kan mäta temperatur över  $2000^\circ\text{C}$ .



Vid kontaktlös temperaturmätning blir mätytan större på längre avstånd.

## Kalibrering av temperaturinstrument

Man kan själv göra en enkel kalibrering av ett temperaturinstrument. Proben eller givaren röres i en blandning av is och vatten. Resultatet ska ligga nära 0°C. Proben eller givaren sättes sedan i ånga från kokande vatten eller i det kokande vattnet utan att röra kokkärls botten. Instrumentet ska då visa nära 100°C vid normalt lufttryck.

Felvisningen skrivs i en tabell och används om man behöver exakta mätresultat. Eventuellt kan instrumentet behöva justeras.

## Radiovågor utbredning

Radiovågor utbreder sig rätlinjigt mellan två punkter, precis som ljus som även det är en elektromagnetisk vågrörelse. Utbredningen kräver fri sikt. Detta begränsar kommunikationsavståndet till i stort sett avståndet till horisonten. Räckvidden kan ökas med ökad antennhöjd.

Det finns dock en rad faktorer som gör det möjligt att ta emot sändningar från fjärran belägna orter, långt bortom horisonten.

Här ger vi några exempel på utbredningsvägar:

- Den s.k. **ytvågen** uppstår genom en växelverkan med inducerade strömmar i marken. Denna våg följer jordytans krökning och kan på så vis nå långt bortom horisonten. Den når längst över vatten och är märkbar för frekvenser upp till några MHz, d.v.s. framför allt långvåg, men även mellanvåg.
- Radiosignalerna kan studsas mot de olika **joniserade skikt** som bildas i atmosfären på olika höjd över jordytan. På dagen är det lägst belägna skiktet aktiverat. Det skiktet dämpar i huvudsak frekvenser under 3 MHz och är inte reflekterande. Högre frekvenser passerar till de högre liggande lagren, som dessutom är mer joniserade och som verkar som speglar. Därför är kortvågsförbindelser effektiva dagtid. Över en viss frekvens reflekteras inte signalerna längre utan de passerar ut i rymden. Den högsta användbara frekvensen kallas **MUF** (Maximum Usable Frequency). Den varierar inte bara under dygnet utan även i olika riktningar och under året. Framför allt påverkas den av solfläckstalet som har en topp vart 11:e år. Då är MUF som högst. Sporadiska s.k. E-skikt kan ibland ge långväga överföringar på VHF. Dessa uppträder främst under sommarhalvåret.
- **Scatter**, eller framåtspridning, innebär att signalen sprids p.g.a. ojämnheter i ett skikt och en del av signalen går ned mot jorden och kan mottagas, om än med mycket svag intensitet. Troposfärscatter är en vanlig utbredningsväg för signaler på VHF och UHF som medger förbindelser på långa avstånd. Detta kräver hög sändareffekt och riktantenner med hög antennvinst.
- **Meteorspår förbindelse** kan upprättas med hjälp av de skikt som uppstår då meteorskurar, som kommer in i atmosfären, förbränns och därvid joniserar luften. Dessa joniserade skikt utgör en god reflektor och dämpar de reflekterade signalerna relativt litet. Däremot kan en sådan förbindelse existera i bara någon eller några sekunder vilket man kompenserar genom att sända telegrafi i mycket hög hastighet, t.ex. 1.000 tecken/s. Tekniken används av sändaramatörer och militärer.
- **Norrskén**, Aurora Borealis, ger upphov till kraftigt joniserade skikt. En sändaramatör som bor i Mellansverige kan rikta sin antenn norrut, mot det joniserade området, och på så sätt få förbindelse med söderut belägna stationer. P.g.a. att skikten rör sig kommer de reflekterade signalerna genom doppleffekten att ändra frekvens. Signalen blir starkt modulerad med lågfrekvent brus. De omodulerade telegrafisignalerna får en brummande ton och talmodulerade signaler, t.ex. SSB, blir mycket förvrängda. De mottagna radiosignalerna är ofta starka trots måttlig sändareffekt hos motstationen. Eftersom det joniserande området kan vara stort kan det vara en fördel med en antenn som har relativt bred mottagningsvinkel, d.v.s. en antenn med liten antennvinst.
- **Månstuds** innebär, som namnet antyder, att månens yta utnyttjas som reflektor. Tekniken kräver antenner med mycket hög antennvinst, hög sändareffekt och en mycket känslig mottagare (med låg brusfaktor och smal bandbredd).
- **Satellit**. Det finns ett antal satelliter för amatörradio i bruk. Med hjälp av dessa kan långa överföringsavstånd fås med låg effekt. De ligger oftast på VHF/UHF- eller SHF-frekvensområdet.

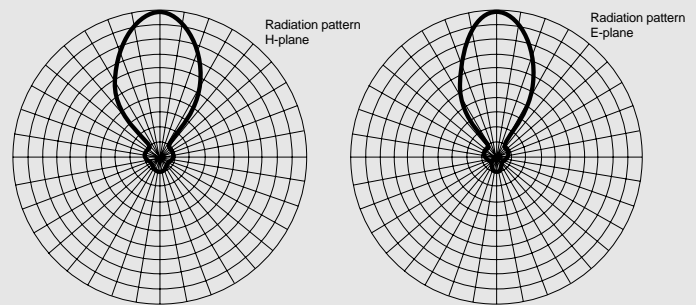
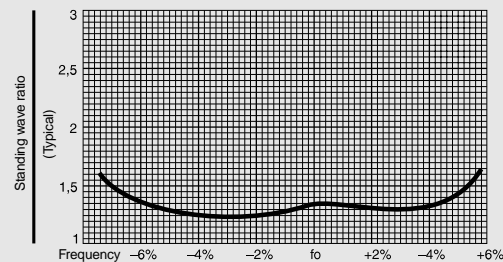
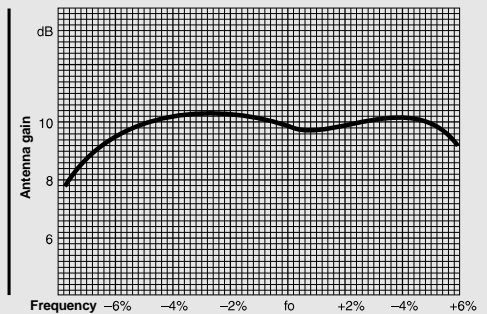
## Antenner

En antenn kan vara antingen rundstrålande eller riktad. En rundstrålande antenn ger samma effekt i alla riktningar medan en riktad antenn har en större effekt i en viss riktning, den s.k. huvudlobens riktning. Detta större värde ses som en förstärkning relativt en rundstrålande antenn och benämnes **antennförstärkning**. Förstärkningen är densamma vare sig den verkar som sändar- eller mottagarantenn. Antennen är rent passiv och dess förstärkning uppnås alltså endast genom riktverkan. Den inkommande eller utsända energin koncentreras i en smal lob. Ju smalare denna är, desto högre blir förstärkningen. Eftersom förstärkningen ej är aktiv, talar man även om "antennvinst". Antennvinsten brukar anges i dB gentemot en (rundstrålande) dipol.

Om antennen optimeras för att få så smal huvudlob som möjligt, d.v.s. för största möjliga antennvinst, uppkommer det ofta sidolober i backriktningen. Detta har mindre betydelse för en sändarantenn. För mottagning söker man på VHF och UHF också som regel högsta möjliga antennvinst, och sidolober spelar liten roll. Vid mottagning på kortvåg, där stationerna ligger tätt i frekvenshänseende, är det däremot viktigt att få största möjliga förhållande mellan önskad och störande signaler. I detta fall kan det vara fördelaktigare att använda en antenn som har mindre effektivitet i huvudriktningen och som i stället är optimerad för minsta möjliga sidolober.

Fler element och längre bom bidrar till att öka vinsten i en antenn av Yagityp, t.ex. en TV-antenn. Därmed minskar antennens lobvinkel inte bara i horisontal- utan även i vertikalled. Vid radiokommunikation vill man ofta kunna flytta loben runt horisonten och använder då en rotor. Om antennen har mycket hög antennvinst (smala lobber) kan det även bli nödvändigt att ändra vinkeln i vertikalled, d.v.s. att tilla (luta) antennen.

För att få bästa uteffekt från sändaren resp. signal/brusförhållande från mottagaren måste nedledning och antenn vara impedansanpassade till varandra, för att så mycket energi som möjligt skall överföras. Missanpassning ger upphov till stående vågor.



Exempel på antennvinst, ståendevåg-förhållande och strålningsdiagram för en Yagi-antenn med 8 element.

## Bredbandsantenn

**Mottagarantenn** för 0,3–3 MHz kan utformas som en tråd i L- eller T-form eller en tråd dragen snett upp mot en hög punkt. Tråden kan vara från några meter upp till 30–40 m lång. Det är också viktigt med god jordförbindning till mottagaren.

**Mottagarantenn** för 3–30 MHz kan utgöras av en 5 till 10 m lång tråd. Avsevärt längre tråd kan användas utan att man har någon praktisk nackdel av de stående vågor som vid vissa frekvenser sätter ned antennens effektivitet.

**En aktiv antenn** kan vara en lösning där man inte har plats att sätta upp en längre antenntråd. Den aktiva antennen består av ett kort spröt som har mycket hög och kapacitiv impedans. Spröten är anslutet till en aktiv krets som ger impedansomvandling till 50 Ω och eventuellt förstärkning.

## Avstämda antenner

**Antenner för amatörradio** är avstämda för ett eller flera amatörfrekvensband för att ge bästa anpassning till sändare och mottagare.

En halv vågsdipol är en utmärkt antenn. Dess längd beräknas ur formeln:

$$L = v_c \times 0,95 / (2 \times f)$$

Där L är antennens längd (i m),  $v_c$  är ljushastigheten i vakuum ( $300 \times 10^6$  m/s) och f är frekvensen (i Hz =  $s^{-1}$ ). Konstanten 0,95 behövs därför att utbredningshastigheten i kopparkabel är lägre än ljushastigheten i vakuum.

En halv vågsdipol har ca 70  $\Omega$  impedans och man bör därför som nedledare välja t.ex. 75  $\Omega$  koaxialkabel. Dipolen har ett strålningsdiagram likt en åtta, d.v.s. den har två breda lobar tvärs antenntvningen med utsläckning i antenntvningens riktning.

På kortvåg vill man gärna ha bättre riktverkan för att kunna undertrycka störningar. Vid långvägskommunikation på VHF och UHF är det nödvändigt med hög antenntvinst. Flera Yagiantenner kan "stackas" i bredd och höjdd för att öka antenntvinsten. Varje fördubbling av antenntalet ger 3 dB extra antenntvinst.

**Antenner för privatradio** är uteslutande rundstrålande och vertikall monterade. Genom att höja antennen kan man öka räckvidden.

**Nedledaren** från antenner utgörs vanligen av 50  $\Omega$  koaxialkabel. Tänk på förlusterna som stiger med ökad längd och ökad frekvens. Se data för koaxialkabel.

Om dämpningen i kabeln är t.ex. 3 dB innebär det att sändareffekten mot antennen minskar till hälften från t.ex. 100 till 50 W. Det innebär också att känsligheten vid mottagning sänks, eftersom mottagarens brusfaktor också ökar med 3 dB. Vid varje försämring, dämpning, med 3 dB halveras effekten. I exemplet ovan minskar effekten vid 6 dB dämpning till 25 W, vid 9 dB dämpning till 12,5 W o.s.v.

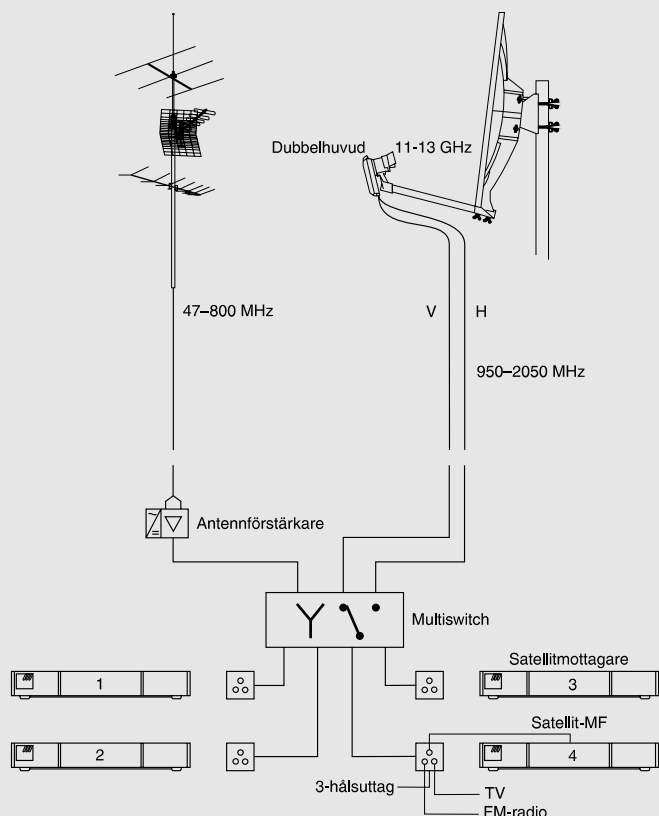
**Årsskydd** är nödvändigt. Antennmasten bör jordas med en grov kopparledare i en god jordpunkt, t.ex. i ett jordspett nerslaget 1,5–2 m i marken. Ett transientskydd bör kopplas mellan mottagare och antenn.

**Varning.** Använd ej silikon som skydd mot korrosion på antenner eftersom det har en isolerande funktion.

## TV- och rundradiobanden

TV- och rundradiobandet är uppdelade i 5 frekvensband som i sin tur är indelade i ett antal kanaler.

Av tekniska skäl är det svårt att tillverka en antenn som fungerar effektivt över hela detta frekvensspektrum. Det finns dock s.k. kombiantenner, men dessa är en stark kompromiss och fungerar bara tillfredsställande om man bor nära TV-sändaren. Även i dessa fall kan man få problem med skuggbilder särskilt på TV1.



Anläggning för markbunden radio och TV samt satellitmottagning med distribution till flera hushåll.

## Stackning av antenner

Vid montering av två eller flera antenner (exempelvis UHF och VHF-antenner) på litet avstånd från varandra kommer deras respektive strålningsdiagram att påverkas. Lämpligt avstånd, stackningsavstånd, mellan två likadana antenner beror på bomlängden och öppningsvinkeln hos den aktuella antenntypen.

Ett enkelt sätt att finna det mycket ungefärliga avståndet är att sätta det till 2/3 av bomlängden. Mer noggrant, men fortfarande approximativt, erhålles avståndet för långa antenner genom formeln

$$\text{Avstånd} = \frac{\text{våglängd}}{2 \times \sin\left(\frac{\text{öppningsvinkel}}{2}\right)} \times 0,8$$

där 0,8 motsvarar formfaktorn för antennen. Formfaktorn erhålles från antenntillverkaren.

## Antennförstärkare med förnuft

Vid dålig mottagning är det inte säkert att en antennförstärkare är den enda och bästa lösningen. En antennförstärkare, hur bra den än är, kan nämligen inte förvandla en dålig signal till en bra signal utan den kompenserar oftast bara för de kabelförluster som uppstår mellan antenn och TV-mottagare. Då många TV-uttag installeras är oftast en antennförstärkare nödvändig.

Före installationen av antennförstärkaren bör man kontrollera att antenntyperna är hela och inte rostiga. En s.k. kombiantenn bör först bytas till separat TV1- och TV2/4-antenn. Om antennförstärkare ändå är nödvändig, skall i första hand en utomhusförstärkare användas och den bör monteras så nära antennen som möjligt.

Du måste veta vilka kanalnummer som gäller på den plats där du bor för att beställa rätt TV-antenn (OBS. Blanda ej ihop kanalnumren med programbolagens kanalnamn). Du får några tips här nedan. För exakt besked kan du kontakta Teracom.

*Bandplan för radio (FM)- och TV-sändare.*

Band I	TV-kanal 2–4	47–68 MHz
Band II	FM-rundradiobandet	87,5–108 MHz
Band III	TV-kanal 5–12	174–230 MHz
Band IV/V	TV-kanal 21–69	470–854 MHz

Inom band I och III återfinns normalt TV1-sändarna.

Inom band IV/V återfinns alltså TV2 och TV4.

Lokalt kan det finnas slavsändare som sänder både TV1 och TV2/4 på band IV/V.

## Radiokommunikation

Radiokommunikation utnyttjas i alltför många sammanhang. Radio och TV från markstationerade eller satellitförmiddade sändare, kommunikationsradio för olika ändamål, punkt-till-punkt kommunikation för tal eller data, navigation m.m.

## Modulering

De olika tekniker som används inom *bärvågsmodulering* (bärvågsmodulering innebär att signalen frekvensförflyttas, translateras, till ett högre frekvensområde) kan indelas i några huvudgrupper. Dels skiljer man på *analog* resp. *digital modulering*, dels mellan *amplitud-* och *frekvensmodulering*. (Alternativa benämningar på de senare är linjär resp. argument-modulering.) De analoga mobiltelefonisystemen använder frekvensmodulering, FM, i likhet med många kommunikationsradiosystem. De digitala modulationssystemen använder vanligtvis en kombination av ASK (Amplitude Shift Keying), där amplituden varierar i en eller flera nivåer, och PSK (Phase Shift Keying), där fasläget varierar i vissa lägen.

Gemensamt för AM, amplitudmodulering, och FM är att de låter meddelandet, som är en analog signal, påverka en bärvåg. Om vi tänker oss den omodulerade bärvågens spänning tecknad som

$$s(t) = A \times \sin(\omega t + \Phi)$$

så innebär det att vid AM får amplituden, A, variera med meddelandet och vid FM får  $\omega$  variera. Vid AM kommer samma information att finnas på "båda sidor om" bärvågens frekvens i frekvensplanet. Man kan då välja att antingen sända båda (dubbelt sidband, DSB) eller bara det ena (enkelt sidband eller single sideband, SSB). Dessutom kan man välja att vid DSB även sända bärvågen, som en referenssignal. Enda fördelen med det senare är att detekteringen kan utföras mycket enkelt, med en enveloppedetektor. (En enveloppedetektor består av en halv vågsläktare, diod, följt av ett lågpassfilter, RC-krets.) SSB kräver mindre bandbredd än DSB.

Fördelen med FM-sändningar framför AM är att ett bättre signal-brusförhållande, S/N, erhålles efter detekteringen, vilket kan erhållas på bekostnad av högre bandbredd. Vanligtvis används 200 kHz vid sändning av tal och musik.

En annan typ av argumentmodulering än FM är *fasmodulering* (PM). Vid PM är det f som varierar. I praktiken blir det ofta en kombination av FM och PM p.g.a. åtgärder för förbättrat S/N, s.k. "pre-emfas" och "de-emfas".

Alternativet till bärvågsmodulering är *basbandsmodulering* som innebär att signalen endast "anpassas" till överföringskanalen men finns kvar i det låga frekvensområdet, basbandet. Ett exempel på digital basbandsmodulering är PCM, pulskodmodulering, vilken används t.ex. inom digital telefoni.

## Lyssning

I Sverige får vi inneha radiomottagare som kan ta emot vilka frekvenser vi vill, en rättighet som kan vara beskuren i vissa länder där mottagaren t.ex. enbart tillåts täcka de frekvensband som är upplåtna för rundradiosändningar mot allmänheten. Se tabell. För andra band än rundradiobanden gäller att vi i Sverige får lyssna men inte föra meddelanden vidare.

**DX-ing**, att lyssna på avlägsna stationer, genomgår en renässans. Många vill t.ex. kunna följa utländska nyhetssändningar vars rapportering i många fall kan skilja sig markant från de svenska. Mottagaren bör ha stor kanalspridning, bra selektivitet samt bra störsignalegenskaper. En bra antenn är A och O för ett lyckat resultat. Se vidare avsnittet om *antenn*. Tack vare att mottagarna har blivit mindre kan man lätt ta med dem på resa, till sommarstugan etc.

*Rundradioband inom lång-, mellan- och kortvåg (LV, MV, KV).*

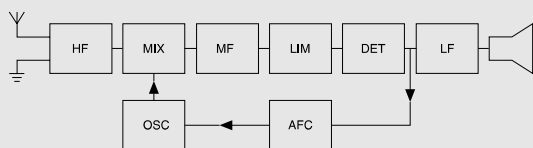
LV	148,5–283,5	kHz	25 m	11,65–12,05	MHz
MV	526,5–1606,5	kHz	22 m	13,6–13,8	MHz
74 m	3,95–4,0	MHz	19 m	15,1–15,6	MHz
49 m	5,95–6,2	MHz	16 m	17,55–17,9	MHz
41 m	7,1–7,3	MHz	13 m	21,45–21,85	MHz
31 m	9,5–9,9	MHz			

**Scanner-lyssning**, att avlyssna radiotrafik på en självsökande mottagare, kan både vara roligt och spännande. Det är fullt tillåtet så länge man inte vidarebefordrar något som man hört. Man kan lyssna på lokala sändare som polis, brandkår, taxi, men även mer långväga kommunikation från t.ex. flygplan.

Mottagaren bör ha ett så brett frekvensspektrum som möjligt och bör ha en hög scanningshastighet, dock blir storsignalegenskaperna normalt sämre om mottagaren har ett mycket brett frekvensspektrum. Den bör ha två scanningsätt, kanalscanning samt frekvensscanning. Kanalscanning innebär att den söker igenom de av dig programmerade kanalerna. Frekvensscanning söker kontinuerligt alla kanaler mellan två givna frekvenser.

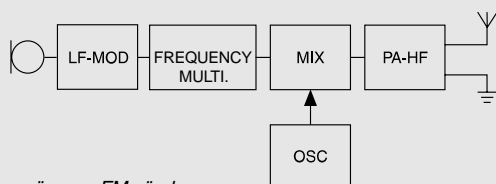
*Några intressanta frekvenser att lyssna på, t.ex. vid scanning.*

1,5–2 MHz	Olagliga sladdlösa telefoner
46,5–47 MHz	Olagliga sladdlösa telefoner
79 MHz	Polisen, brandkår, tull m.m.
118–137 MHz	Flygband (AM)
140–174 MHz	Diverse kommunikation
144–146 MHz	Amatörradio
155–162 MHz	Marin VHF
400–430 MHz	Diverse kommunikation
410–412 MHz	Polis storstäder
432–438 MHz	Amatörradio
438–470 MHz	Diverse kommunikation
862–868 MHz	Sladdlösa telefoner
914–915 MHz	Sladdlösa telefoner



*Blockschema över en FM-(superheterodyn)mottagare.*

HF = högfrequensförstärkare med filter, MIX = mixer eller blandare, MF = mellanfrekvensförstärkare, LIM = limiter, DET = detektor, LF = lågfrekvens(audio-)förstärkare, AFC = återkoppling för automatisk frekvenskontroll, OSC = oscillator vars frekvens varierar för att ställa in önskad mottagningsfrekvens (station).



*Blockschema över en FM-sändare.*

## Avancerad kommunikation

Som privatpersoner kan vi få tillstånd att inneha och nyttja egna sändare under vissa förutsättningar.

**Amatörradiocertifikat/amatörradiolicens** ger dig tillstånd att bedriva icke-yrkemässig radiotrafik för övning, kommunikation och tekniska undersökningar om det görs av personligt intresse och utan vinningssyfte.

Amatörradio är en spännande hobby. Många radioamatörer skaffar sig radio för att prata och kontakta andra sändaramatörer världen över, men många är även tekniskt intresserade och försöker hela tiden förbättra sin anläggning och kunskap. Amatörradiostationer ligger ofta tekniskt på en högre prestandanivå än professionell utrustning.

Föreningen Sveriges Sändareamatörer, SSA, kan ge närmare upplysningar om vad som gäller för att erhålla amatörradiocertifikat/amatörradiolicens. Bl.a. måste man genomgå prov i radioteknik och bestämmelser. SSA har adressen Box 45, 191 21 Sollentuna, telefon 08-585 702 73.

Det finns olika sätt att kontakta och överföra meddelanden till andra radioamatörer.

**CW Telegrafi.** När långt med låg sändareffekt, okänslig för störningar och har smal bandbredd.

**SSB Tal.** Kallas enkelt sidband och är det effektivaste sättet att nå långt med talöverföring med låg sändareffekt. SSB har smal bandbredd.

**Paketradio.** Sändaramatörernas paketradiosystem bygger på att data överförs i paket enligt ett felkorrigering dataprotokoll som heter AX-25. Uppkoppling kan ske mot en station eller mot en brevlåda där information kan lämnas och hämtas. För att nå längre kan man koppla upp sig mot en eller flera s.k. digipeatrar. På det viset kan man nå brevlådor i hela världen. **Packetcluster** är ett s.k. konferensmode, där flera samtidigt informerar varandra om sekundaktuella DX på kortvågsbandet.

**RTTY**, radioteletype, kallas också för fjärrskrift. Det är ett trafiksätt som används för att sända text. Metoden är gammal och känd. Används både för dubbelriktade sändningar mellan radioamatörer samt enkelriktade sändningar, t.ex. nyhetsbulletiner. De flesta större nyhetsbyråerna sänder ut nyheter på KV-bandet som enkelt kan avlyssnas.

**AMTOR** är radioamatörernas namn på felrättande RTTY. Andra namn som används kommersiellt är ARQ, FEC, Navtex m.fl.

**Facsimile**, fax-bilder. Sänds ut på kortvåg och via satellit, bl.a. väderkartor, pressfoton och marin information. Med rätt utrustning kan man ta emot dessa bilder.

**SSTV**, Slow Scan Television. TV-sändningar över kortvåg är en smal men intressant gren av amatörradiohobbyn. Metoden bygger på att man linje för linje sänder bilden till motstationen.

*Amatörradioband i Sverige*

160 m	1,81–1,85; 1,93–2,00	MHz	10 m	28,0–29,7	MHz
80 m	3,5–3,8	MHz	70 cm	432–438	MHz
40 m	7,0–7,1	MHz	23 cm	1240–1300	MHz
30 m	10,1–10,15	MHz	13 cm	2,3–2,45	GHz
20 m	14,0–14,35	MHz	6 cm	5,65–5,85	GHz
17 m	18,068–18,168	MHz	3 cm	10–10,5	GHz
15 m	21,0–21,45	MHz	samt olika band		
12 m	24,89–24,99	MHz	upp till 250		
					GHz

**Privatradiobandet** på 27 MHz kallas också medborgarbandet. Privatradiobandet används bl.a. för kommunikation mellan fritidsbåtar, i jaktlag, mellan bilar etc. Bandet omfattar 40 kanaler. Dagens stationer arbetar med frekvensmodulation (FM). Stationen skall vara godkänd och T-märkt. Inget tillstånd krävs.

Äldre stationer som har AM får inte längre användas.

**Marin VHF** omfattar 60 kanaler i frekvensområdet 155,5–157,4 MHz. Max tillåten uteffekt från sändaren är 25 W. Stationen får användas internationellt av tillståndsinnehavaren. Här har man också möjligheten att ringa till en kustradiostation som kan koppla förbindelsen vidare till det allmänna telefonnätet.

Förbindelserna blir som regel störningsfriare än på privatradiobandet, dels p.g.a. mindre risk för störningar från utländska stationer, dels p.g.a. bättre trafikdisciplin på bandet. För att använda marin VHF måste man ha minst begränsat radiotelegrafistcertifikat, s.k. D-certifikat. Post & Teletyrelsen kan ge upplysningar om provet och dess omfattning. Stationen skall vara godkänd och T-märkt.

Företag och institutioner kan också få tillstånd att använda **kommunikationsradio** för punkt-till-punktförbindelser inom exempelvis banden kring 150 och 430 MHz. Ansökan sker till Post & Teletyrelsen, som efter frekvensplanering delar ut tillstånd och frekvens.

**Flygbandet** 118–135 MHz används både för privatflyg och för inrikes och utrikes flyg, framförallt för dirigerad start och landning.

**Dataöverföring per radio** förekommer såväl kommersiellt som bland sändar-amatörer.

Användningen av **mobilteltelefoner** har ökat kraftigt på senare år. Detta skedde ungefär samtidigt som de digitala systemen infördes.

Det första analoga systemet NMT (Nordisk MobilTelefoni) finns fortfarande kvar i Sverige men används mycket litet numera. NMT arbetade ursprungligen på 450 MHz-området, men i takt med att mer kapacitet efterfrågades kom man att utnyttja 900 MHz-bandet, där det fick samsas med det digitala systemet GSM.

Den ursprungliga betydelsen för GSM var Groupe Spécial Mobil, men har senare övergått i betydelsen Global System for Mobile communication. Det var ett sameuropeiskt projekt, medan USA använde D-AMPS (Digital Advanced Mobile Phone System).

Det har vuxit fram ett flertal olika system med olika geografisk spridning. Tanken att få ett gemensamt system resulterade i det som vi idag kallar för tredje generationens mobilteltelefoni. Dess officiella beteckning är UMTS, Universal Mobile Telephony System. Tyvärr har det till slut resulterat i några olika tekniska varianter, där ETSI (European Telecommunications Standards Institute) antagit två standards, dels TD-CDMA som är ett tidsmultiplexat system, dels en modulations/access-metod kallad WCDMA, (Wideband Code Division Multiple Access). WCDMA har även antagits som standard i Japan och innebär i korthet att samtalet 'sprids ut' över ett större frekvensområde. Detta frekvensområde delas av alla samtal. Till varje samtal knyts en digital kod som används både vid spridningen och detekteringen. Det finns inte som i GSM ett absolut högsta antal samtidiga samtal utan i praktiken innebär det att ju fler samtal som pågår desto mer stör de varandra, vilket resulterar i en gradvis sämre kvalitet (och/eller lägre datahastighet). Varje samtal, eller snarare kommunikationskanal, kan variera sin överföringskapacitet alltefter behov.

De nya systemen utnyttjar frekvenser kring 2 GHz. Det innebär att räckvidden är kortare än för GSM, vilket kan vara en fördel i städerna, där cellerna är små och basstationerna på grund av samtalstätheten måste stå tätt. Däremot är det en nackdel på landsbygden eftersom det kräver så många basstationer. I glesbefolkade områden finns det stora fördelar med 450 MHz-system.

Det är mycket som skiljer den tredje generationens system från de tidigare. Bland annat har man ett mycket avancerat effektförhållningssystem som gör att den utsända effekten kan ändras 1600 ggr per sekund (för WCDMA) i avsikt att inte sända onödigt starka signaler. Det innebär fördelar såsom längre livslängd på batteriet och minskad onödig strålning. Det är också nödvändigt att alla telefoner sänder ungefär lika starkt för att inte störa de övriga användarna. Vidare finns det mycket större överföringskapacitet tillgänglig för 'telefonen', upp till 2 Mbps, vilket möjliggör överföring av rörliga bilder genom MMS (Multi-Media Services), anslutning till Internet mm. Du kan använda 'telefonen' som en handdator eller din handdator/laptop som telefon. Begreppet 'telefon' börjar kännas ofullständigt, telefon kan ju översättas med 'fjärrljud' ungefär. Det är mera en mobil kommunikationsenhet.

## Avstörning

I vissa fall uppträder störningar sedan sändaren installerats. Det kan gälla såväl amatörradiosändare, privatradio eller mobilteltelefoner. Störningarnas uppkomst har två orsaker:

- Sändaren sänder ut övertoner eller falska frekvenser (spuriöser). I detta fall måste sändaren åtgärdas, t.ex. förses med ett filter och eventuellt skärmas. Impedansanpassningen mellan sändare och antenn är viktig samt jordningen. Anpassningen mellan den osymmetriska koaxialkabeln och en symmetrisk matad antenn, t.ex. en dipol, måste göras med en baluntransformator. Låt gärna koaxialkabeln passera ett antal stora ferritkärnor eller linda kabeln i flera varv i en ring. Detta minskar risken för strålning från antennens nedledning.
- Det utsända fältet har sådan styrka att det kan detekteras i t.ex. en förstärkare eller bandspelare, i en TV, en videobandspelare eller en hörapparat. Felet måste här åtgärdas i den störda apparaten, inte i sändaren.

I det första fallet åtgärdas felet av sändarinnehavaren. I det andra fallet, där åtgärder måste ske i den störningsdrabbades utrustning, gäller att parterna måste samarbeta. Gäller det störningar p.g.a. amatörradiosändare kan SSA bidra med hjälp från sin störningsfunktionär. Post & Telestyrelsen undersöker efter anmälan radio- och TV-störningar.

## Verktyg och produktionshjälpmedel

ELFAs ambition är att ha ett sortiment av verktyg och produktionshjälpmedel som är funktionella, rationella och ergonomiskt utformade.

**Pincetter** är i standardutförande tillverkade i förkromat stål. Det finns också omagnetiska i rostfritt stål. I vissa känsliga miljöer, som i renrum, duger endast keramiska pincetter som inte kan lämna ifrån sig några metallspån. De angrips ej av kemikalier och korroderar över huvud taget inte. Ytterligare en fördel är att materialet är en god isolator vilket tillsammans med andra åtgärder kan ge ESD-skydd. Se avsnittet *Elektrostatisk urladdning*.

**Tänger** bör vara greppvänliga, ha isolerade skänklar och god precision i lagring och käftar. Avbitartänger för grövre trådar bör ha egg med fas. Detta ger dock en chockverkan som kan förstöra sådana komponenter som tungelement i glasrör. För detta ändamål bör man ha en tång utan fas och vända den plana sidan mot den känsliga komponenten.

Ett speciellt verktyg finner vi i snedavbitaren utan fas med distans som lämnar en bit tråd kvar för att kunna lödas.

**Mikroskop** gör det möjligt att noggrant avsyna små kretsar. Värmekänsliga komponenter belyses med kalljus vilket förs fram till objektet med fiberledare. Ringbelysning förhindrar skuggbildning. Objektivet bör ha zoom. På vissa mikroskop kan man avskärma ett okular och få ut bilden på en TV-monitor via videokamera. Möjlighet finns även att koppla in en videoprinter för dokumentation. Ett annat alternativ är att koppla till en stillbildskamera.

## Skruvmejslar

Skruvmejslar finns i olika utföranden för att passa olika typer av tillämpningar och krav, exempelvis:

- **Hög spänningstålighet**, med isolerad klinga, för att klara t.ex. 1000 V.
- **Klingor för olika typer av skruvar**, t.ex. rak klinga, insex, Phillips kryss, Pozidrive kryss och Torx. Var noga med att välja rätt kryssmejsel eftersom vinkeln på mejseln skiljer mellan de olika typerna. Torx klarar det största vridmomentet vid en given diameter. Torx blir därför allt vanligare.
- **Lösa klingor**, typ "bits", kan ge ett mycket flexibelt system där man också kan byta ett handtag mot t.ex. ett motordriv. Som handverktyg är fasta verktyg dock i regel stabilare och enklare att hantera, och är därför att föredra för de dimensioner som man använder ofta.
- **Skruvhållare** kan vara till nytta vid montering i trånga utrymmen. Ibland är en magnetiserad skruvmejsel till hjälp, ibland förödande (t.ex. vid service på bandspelare eller massminnen). Använd gärna en kombinerad magnetisera-re/avmagnetisera-re.
- **Trimmejslar** för högfrekvenskretsar måste vara omagnetiska. Därför tillverkas de vanligen i plast. För UHF och högre frekvenser gäller även att materialet skall ha låg dielektricitetskonstant för att inte påverka HF-fälten. Keramikmejslar är mycket hårda till skillnad från plastmejslar, men också betydligt dyrare. Mycket viktigt är att välja en mejsel som passar exakt. En järnpulverkärna förstörs annars mycket lätt.
- **Ergonomi** är viktig. Det betyder att skafet skall vara greppvänligt och vara utformat så att man får ett bra tag med handen. Miniaturskruvmejslar har med fördel en roterande topp. Vevhandtag för skruvmejselklingor kan förenkla och snabba upp monteringsarbetet.

## Val av skruvmejsel

Tabellerna underlättar valet av skruvmejsel.

Så här gör du: Mät dimensionen på skruven och sök sedan lämplig klingbredd och spårbredd på skruvmejseln.

Exempel. Till en spårskruv med 3,0 mm diameter (M3) bör du använda en mejsel med dimension 4,0 x 0,80 mm.

## Spårskruvar

Klingbredd x Spårbredd mm	Skruv- storlek	Maximalt åtdragnings- moment i Nm Handkraft	Maskin
0,8 x 0,16	(Special)	–	–
1,0 x 0,18	(Special)	–	–
1,5 x 0,25	M1	–	–
1,8 x 0,30	M1,2	–	–
2,0 x 0,40	M1,6	0,40	0,42
2,5 x 0,40	M1,8	0,40	0,42
3,0 x 0,50	M2	0,70	0,80
3,5 x 0,60	M2,5	1,3	1,4
4,0 x 0,80	M3	2,6	2,9
5,5 x 1,0	M3,5	5,5	6,2
6,5 x 1,2	M4	9,4	10,5
8,0 x 1,2	M5	11,5	12,9
10,0 x 1,6	M6	25,6	28,7
12,0 x 2,0	M8	48,0	53,8



## Krysspår

Phillips (PH) och Pozidriv (PZ)

Storlek PH + PZ	Skruv- storlek	Maximalt åtdragnings- moment i Nm Handkraft	Maskin
00	(Special)	–	–
0	M1,6-M1,8	1	2
1	M2-M3	4	5
2	M3,5-M5	10	14
3	M6	20	42
4	M8	30	60



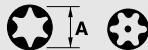
## Insexspår

A-mått mm	Skruv- storlek	Maximalt åtdragnings- moment i Nm Handkraft
0,7	(Special)	0,08
0,9	(Special)	0,18
1,3	M1,4	0,53
1,5	M1,6-M2	0,82
2,0	2,5	1,9
2,5	M3	3,8
3,0	M4	6,6
4,0	M5	16
5,0	M6	30
6,0	M8	52
7,0	M10	78
8,0	M10	120
10,0	M12	220



## Torxspår

Nyckel nr	A-mått mm	Skruv- storlek	Maximalt åtdragnings- moment i Nm Handkraft	Maskin
T3	1,17	(Special)	–	–
T4	1,28	(Special)	–	–
T5	1,42	M1,6	0,43	0,5
T6	1,70	M2	0,75	0,9
T7	1,99	M2,5	1,4	1,7
T8	2,31	M2,5	2,2	2,6
T9	2,50	M3	2,8	3,4
T10	2,74	M3-M3,5	3,7	4,5
T15	3,27	M3,5-M4	6,4	7,7
T20	3,86	M4-M5	10,5	12,7
T25	4,43	M4,5-M5	15,9	19,0
T27	4,99	M4,5-M6	22,5	26,9
T30	5,52	M6-M7	31,1	37,4
T40	6,65	M7-M8	54,1	65,1
T45	7,82	M8-M10	86,2	104
T50	8,83	M10	132	159
T55	11,22	M12	252	257
T60	13,25	M14	437	446



**Fetstil** markerar de vanligast förekommande storlekarna.

Samtliga beräkningar utgår från metrisk skruvar.

## Kontaktpressning

Kontaktpressning är en metod att skapa en elektrisk förbindning genom att klämma fast en kontakthylsa på en ledare. Med ett speciellt verktyg pressas hylsan till varaktig deformation så att tillräckligt goda elektriska och mekaniska egenskaper nås. Pressverktyg och hylsa måste passa till den aktuella ledaren. Dagens kontaktpressningsverktyg är försedda med spärrsystem, som gör att pressningsförloppet fullföljs, och de är försedda med utväxling för låg handtagskraft.

### Jämförelse med andra tekniker

Metoden uppkom som ett alternativ främst till lödning. Kontaktpressningstekniken har fått stor spridning inom dagens industri. Dess popularitet grundar sig mycket på att kvaliteten på förbindningen inte är avhängig av operatören utan av kvaliteten på verktyget. Egenskaperna i den pressade förbindningen beror till stor del på hur stor reduktion av hylsan som pressverktyget ger. Detta ställer stora krav på verktyget och dess exakthet.

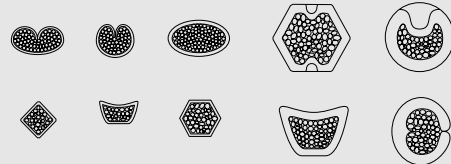
Men visst finns det alternativ inom olika användningsområden, exempelvis termiska metoder såsom *lödning* och *svetsning*, eller mekaniska metoder såsom *skruvklämning*, *viming*, *slitskontaktering (IDC)* m.fl. De flesta av dessa metoder har begränsningar, som gör användningen mindre lämplig inom ett brett område. Särskilt för kraftkabel har kontaktpressning därför kommit att bli dominerande.

Kontaktpressning har många fördelar:

- snabbhet
- tillförlitlighet
- enkelhet och lättillgänglighet
- låg styckkostnad
- ingen värme
- inga kemikalier
- etablerade egenskapstandarder
- enkel kontroll
- mycket stort tillämpningsområde

### Olika typer av kontaktpressning

Beroende på ledarmaterial, förbindningskonstruktion och användningsbehov används många olika former och utförande av kontaktpressning och därigenom olika verktygstyper. Det läggs ner stora resurser på att prova ut former och komponenter. Se till att du drar nytta av dessa ansträngningar i ditt arbete.



Exempel på tvärsnitt av olika typer av kontaktpressning.

### Koaxialförbindningar

Inom koax är kontaktpressningen mer styrd av olika normeringar, bl.a. MIL, som anger måtten på kabel och kontaktdon. Därigenom finns klara anvisningar om måtten på kontaktpressningsverktygens uttag. Dock är inom detta område kraven på att pressningen utförs på korrekt sätt mycket höga. Då man inom koaxanvändningen arbetar med mycket låga spänningar och strömmar räcker det ofta med relativt små misstag i en kontaktpressning för att man ska erhålla för höga övergångsresistanser och därav få felkällor i koaxsystemen. Se därför till att ni endast använder kvalitetsverktyg.

## Elektrostatisk urladdning

ESD står för Electro Static Discharge som på svenska betyder elektrostatisk urladdning. Redan under 60-talet upptäckte man att MOS-transistorn var känslig för ESD. Sedan dess har en mängd nya typer av halvledare utvecklats med allt tunnare ledare och mindre isolationsavstånd mellan ledarna. Detta har medfört att känsligheten för ESD-skador ökat.

De typer av skador som orsakas av ESD kan delas in i två grupper. Antingen upphör funktionen på komponenten direkt vid urladdning eller så uppstår ett latent fel. Den förstnämnda skadan är relativt enkel att lokalisera, medan ett latent fel innebär att komponentens ledarbanor skadas utan att funktionen direkt upphör. Resultatet kan bli att komponenten kan få oönskade egenskaper i funktion samt att komponenten enbart tidvis fungerar, s.k. intermittent fel. Kostnader som orsakas av ESD-skadade komponenter blir omfattande både i produktion och service.

## Komponenters känslighet

I tabell nedan återfinns de vanligaste komponenterna med känslighetsnivån angiven. Värdena är generella men ger ändå goda riktlinjer för respektive komponenttyp.

### Statisk känslighet.

Kretstyp	Nivå i V
MOS-FET	100 – 200
J-FET	140 – 10.000
C-MOS	250 – 2.000
Schottky-TTL	300 – 2.000
Bipolära transistorer	380 – 1.500
ECL, kortmonterad	500 –
SCR	600 – 1.000

### Elektrostatisk uppladdning i dagliga situationer.

Situation	Nivå i V, <20 % RH	Nivå i V, >65 % RH
Person gående på heltäckningsmatta	35.000	1.500
Person gående på PVC-golv	12.000	250
Person vid arbetsbänk	6.000	100
Plastfodral för arbetsorder (PVC)	7.000	600
DIP i plastlåda	12.000	3.500

### Elektrostatisk uppladdning

Statisk elektricitet uppstår genom kontakt, friktion och separation av material. Statisk elektricitet finns alltid i vår omgivning, på arbetsytor, golv, stolar, kläder, förpackningsmaterial, papper och plastappar. En person som går över ett golv eller arbetar vid en bänk kan bygga upp en statisk laddning på flera tusen volt. Värdena i tabell ovan visar att man i dagliga situationer kan nå spänningar som utgör stor riskfaktor för komponenterna.

### Åtgärder för skydd mot statisk elektricitet

Det finns en grundregel som gäller för att förhindra ESD-skador: **Undvik uppladdning!** Den går som en röd tråd inom ESD-skydd. Genom att vidta följande tre åtgärder kan man erbjuda ett effektivt skydd mot ESD-skador.

- Hantera alla ESD-känsliga produkter i ett ESD-säkert område.
- Transportera alla ESD-känsliga komponenter i skärmda lådor eller förpackningar.
- Kontrollera och testa allt ESD-skydd för att säkerställa rätt funktion och kvalitet.

### ESD-säkert område

En ESD-skyddad arbetsplats kan utformas enligt följande. På golvet placeras en *konduktiv golvmatta* som är förbunden med jord. Så fort någon person närmar sig arbetsplatsen och stiger på mattan avleds den statiska laddningen via golvmattan. Därigenom skyddas produkter inom arbetsområdet för elektrostatiska urladdningar av tillfälliga besökare. Arbetsbänken förses med en *avledande bänkskiva* vilken förbinds med golvmattan. För att personen som arbetar vid arbetsbänken inte skall utgöra någon risk för komponenterna är personen förbunden till arbetsplatsens jordsystem via ett *handledsband*. Om isolermaterial som inte laddas ur ej kan undvikas på arbetsplatsen bör man använda sig av en *joniseringsfläkt* som blåser joniserad luft över arbetsytan. Därigenom neutraliseras den lagrade laddningen hos isolermaterialet och risken för statisk urladdning elimineras.

### ESD-skyddande förpackningar

Det är viktigt att skilja mellan metalliserade, konduktiva och lågladdande material. Materialen har skilda elektriska egenskaper och därmed olika användningsområden.

*Metalliserade och skärmande material* har ett metallskikt som bildar en Faradays bur och förhindrar laddningar och elektriska fält att tränga igenom. Metallskiktet i påsarna består vanligtvis av nickel eller aluminium och ger ett mycket bra skydd för komponenterna.

*Konduktiva material* är ledande. Vanligtvis blandar man kol i plastmaterial för att få önskad egenskap. Materialet är åldersbeständigt och dess ledande egenskaper är oförändrade även vid låg luftfuktighet. Materialets konduktiva egenskaper gör det lämpligt för tillverkning av lådor och askar för hantering där både mekanisk och skärmande skydd eftersträvas. Materialets skärmande egenskaper styrs av materialtjockleken. Påsar av konduktivt material har därför begränsad skärmningsförmåga jämfört med metalliserade påsar.

*Lågladdande material* (även kallade antitriboelektriska) är vanligtvis kemiskt behandlade plaster. Dessa material har inga skärmande egenskaper men behandlingen gör att materialet har begränsad uppladdningsförmåga mot sig själv och andra material. Behandlingen medför att påsarna åldras och t.ex. påsar av lågladdande material skall därför betraktas som färskvara. Materialet rekommenderas endast som förpackningsmaterial för komponenter som inte är ESD-känsliga.

### Kontroll och underhåll

För att nå en hög kvalitet på ESD-skyddet skall allt ESD-material kontrolleras för att säkerställa rätt funktion och kvalitet. Testinstrument finns för att kontrollera handledsband, bänk, skor och golvsivor samt mätinstrument för mätning av statisk elektricitet. Kontroll av utrustningen skall ske regelbundet. Handledsband bör testas varje dag medan övrig arbetsplatsutrustning bör testas varje månad.

## Kemikaliehantering

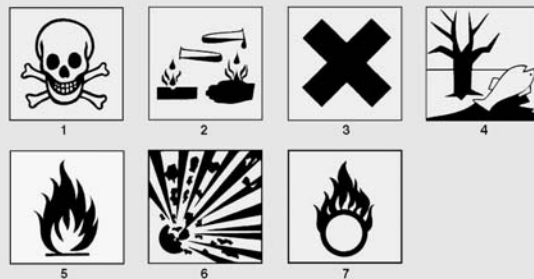
För att skydda människor och miljö mot olika kemikalier finns olika lagar. Några av dessa lagar är:

- Miljöbalken.
- Lagen om transport av farligt gods.
- Arbetsmiljölagen, där kemiska risker är ett av flera riskområden.

## Miljöbalken

Miljöbalken syftar till att främja en hållbar utveckling som innebär att nuvarande och kommande generationer tillförsäkras en hälsosam och god miljö. Den innehåller bland annat grundläggande regler om import och hantering av kemiska ämnen och beredningar.

Den som importerar eller tillverkar en kemisk produkt är skyldig att låta göra egna utredningar om vilka hälso- och miljöskador produkten kan orsaka. Produkter skall farlighetsklassas och man använder sig då av följande kategorier:



Farokod	Farobeteckning	Symbolnr
T+	Mycket giftig	1
T	Giftig	1
C	Frätande	2
Xn	Hälsoskadlig	3
Xi	Irriterande	3
N	Miljöfarlig	4
F+	Extremt brandfarligt	5
F	Mycket brandfarligt	5
E	Explosivt	6
O	Oxiderande	7

## Lagen om transport av farligt gods

Denna lag innehåller bestämmelser där man definierar begrepp som:

- Transport
- Farligt gods
- Transportmedel

I förordningen om transport av farligt gods indelas kemikalier i olika huvudklasser.

- Klass 1** Explosiva ämnen och föremål.
- Klass 2** Komprimerade, kondenserade eller under tryck lösta gaser.
- Klass 3** Brandfarliga vätskor.
- Klass 4.1** Brandfarliga fasta ämnen.
- Klass 4.2** Självantändande ämnen.
- Klass 4.3** Ämnen som utvecklar brandfarlig gas vid kontakt med vatten.
- Klass 5.1** Oxiderande ämnen.
- Klass 5.2** Organiska peroxider.
- Klass 6.1** Giftiga ämnen.
- Klass 6.2** Vämjliga ämnen och ämnen med benägenhet att orsaka infektioner.
- Klass 7** Radioaktiva ämnen.
- Klass 8** Frätande ämnen.
- Klass 9** Övriga farliga ämnen och föremål.

Farligt gods är ett samlingsbegrepp för ämnen och produkter, som har sådana egenskaper att de kan skada människor, miljö, egendom och annat gods, om de inte hanteras rätt under en transport.

Regelverk styr hantering, märkning och transport av farligt gods.

### Transportinformation

Farligt gods är märkt i katalogen med denna symbol:



Vid leverans av små mängder (s.k. begränsade kvantiteter) påverkas ej transporttid och transportkostnader. Vid större mängder blir transporttiden längre och transportkostnaden högre.

Se våra allmänna leveransbestämmelser på sid 4.

## Arbetsmiljölagen

Denna lag innehåller grundläggande regler för skydd mot hälsorisker och andra skadeverkningar i arbetslivet. Lagen gäller all yrkesmässig hantering av sådana ämnen som är brandfarliga, explosiva, frätande, giftiga eller hälsofarliga på annat sätt.

## Limning

Limning som metod att sammanfoga material har ett brett användningsområde, man limmar allt från leksaker till avancerade konstruktioner inom flyg- och rymdindustri.

Lim kan indelas i 3 huvudgrupper:

- Hårdande lim, t.ex. 2-komponent epoxi och cyanoakrylat.
- Torkande lim, där lösningsmedel eller vatten avdunstar, t.ex. kontaktlim.
- Smältlim, t.ex. termolim.

### Hårdande lim

**Epoxilim** av 2-komponenttyp består av bas och härdare. Det är mycket viktigt att blandningsförhållandet är det rätta. Ett felaktigt blandningsförhållande ger en undermålig fog, i värsta fall uteblir härdning helt.

Limmerna kan ha mycket olika härdningstid, och i övrigt kräva olika betingelser som t.ex. härdningstemperatur.

**Cyanoakrylatlim** härdar genom inverkan av fukt. Härdar mycket snabbt och kallas ofta för sekundlim. Ger hårda fogar med oftast dåliga värden på mekaniska påkänningar. Det finns cyanoakrylat med gummiinblandning som har betydligt bättre värden.

**Silikonlim** ger mjuka, elastiska fogar. Finns som både 1- och 2-komponentlim. 1-komponentlim härdar med hjälp av fukt, vilket gör att limmet ej kan användas i slutna utrymmen eller i fogar tjockare än 5–6 mm.

2-komponentlim finns med flera olika härdsystem. Det som är lämpligast för elektronik är oximhärdande. Det ger inga korrosiva produkter och krymper mycket lite. För att få bra vidhäftning mot glas bör man använda ättiksyrahärdande limmer. Dessa är ej lämpliga för elektronik.

### Torkande lim

Torkande lim består av plaster eller elastomerer lösta i lösningsmedel eller vatten. Vid avdunstning blir limmet allt mer trögflytande för att så småningom bli ett fast material.

Vid användande av kontaktlim låter man en del av lösningsmedlet avdunsta innan man sammanfogar de olika delarna.

### Smältlim

Smältlim är vanligtvis termoplast som man smälter för att sedan låta svalna. Smältlim stelnar fort, vilket kan vara en fördel i t.ex. produktion.

### Allmänt

För att erhålla god vidhäftning och en stark fog är det viktigt att man har en lämplig yta att limma mot.

Olika limmer har skilda krav på ytan man önskar limma fast. Generellt kan man dock säga att ytan ska vara ren och torr.

Vissa material kan behöva etsas eller aktiveras. Detta gäller framförallt s.k. feta plaster, t.ex. PTFE eller polyeten.

### Förarbete

Innan man börjar limma bör man tänka igenom vilka påfrestningar limfogen ska klara av. Några exempel:

- temperaturer
- mekaniska påkänningar
- vatten eller annat lösningsmedel
- skall fogen målas?

## Lödning

Lödning är en förbindningsmetod som använts i 1000-tals år för tillverkning av t.ex. smycken och vapen. Det är emellertid under de senaste 50 åren som lödningen kommit att bli en betydelsefull förbindningsmetod för elektronikindustrin. Utvecklingen tog fart under andra världskriget när man letade efter nya metoder som kunde lämpa sig för masstillverkning. Under senare år har de teoretiska kunskaperna om lödning ökat snabbt och man har kunnat kartlägga förloppet vid bindningen mellan lod och grundmaterial. Därmed har man fått möjlighet att utveckla nya lod för olika ändamål, vilket ökat lödningens användningsområden inom industrin. Vi kommer här främst att beskriva de processer som sker vid mjuklödning och även gå igenom de baskunskaper man bör ha för att få ett gott lödresultat.

Vid lödning sammanbinder man metaller av samma eller olika slag med ett metalliskt bindemedel, lod, som har en lägre smältpunkt än de metalldelar som skall sammanfogas. Genom kapillärkraften utbreder sig lodet mellan de metall-delar som skall sammanfogas.

## Mjuklödning och hårdlödning

Man brukar tala om mjuklödning när lodets arbetstemperatur är lägre än 450 °C och om hårdlödning vid högre temperatur.

Vid hårdlödning arbetar man med en öppen flamma som alstras av exempelvis en gasbrännare eller svetsutrustning. Gasbrännaren drivs med butangas och lågan uppnår en temperatur på ca 1300 – 1500 °C. Med en svetsutrustning uppnås en temperatur på ca 2700 °C. Svetsutrustningen består av separat gas- och syrgasflaska.

Ur metallurgisk synpunkt finns det inga principiella skillnader mellan mjuk- och hårdlödning. Vid lödning av ledare, komponenter och halvledare eftersträvas alltid en lödförbindning med god metallisk förbindelse som ger lågt elektriskt motstånd. I förbindningen bör inga eller obetydliga mekaniska påkänningar förekomma.

### Lodet

Mjuklod finns i flera olika former, t.ex. tråd, stång, folie, pasta.

Vid mjuklödning används lod med en legering av tenn och bly i olika proportioner och med olika smältpunkter. En legering med 63 % tenn och 37 % bly kallas för eutektisk legering och har en smältpunkt på 183°C. Fördelen med en eutektisk legering är låg smältpunkt samt att den har kort smältintervall. När man upphetar ett lod inträder det först i ett plastiskt halvflytande tillstånd för att sedan övergå till att bli flytande. Temperaturskillnaden mellan det fasta och flytande tillståndet kallas för smältintervall. Under smältintervallet får man inte utsätta lödfogen för vibrationer medan lodet stelnar, då man i så fall får en spröd fog med låg hållfasthet och dålig elektrisk ledningsförmåga.

Ibland har man behov av att förändra egenskaperna hos lodet och detta gör man genom att legera tenn och bly med andra ämnen.

- Koppar, ökar livslängden på lödspetsar om lodet legeras med ca 2 %.
- Silver, används för lödning av silverpläterade detaljer för att förhindra upplösning av silverskiktet. 2 % brukar tillföras för att nå denna effekt.
- Vismut, kadmium och indium används för att sänka smälttemperaturen på lodet.

### Miljöhänsyn

Eftersom bly är en oönskad metall ur miljöhänsyn bör vi givetvis undvika den. Det finns alternativa lod på marknaden idag. Nackdelen med dem är den något högre smälttemperaturen, 217–227 °C. I övrigt har de ungefär samma hållfasthet, se nedan.

### Lodets hållfasthet

Vid lödning eftersträvas god elektrisk förbindelse, men man vill också att lödförbindningen skall ha en viss hållfasthet. Maximal hållfasthet erhålls när spaltbredden är 0,05–0,25 mm. Den spänning som finns i gränsoområdet mellan lod och grundmaterial är då gynnsammast. Den minskade hållfastheten vid spaltbredder under 0,05 mm beror på att ojämnheterna i ytorna hämmar en fullständig utfyllnad av spalten. Hållfastheten avtar med tiden, och lödförbindelsen får sin slutliga hållfasthet, ca 75 % av den ursprungliga hållfastheten, efter ungefär ett år. Eftersom mjukloden har relativt låg arbetstemperatur avtar hållfastheten snabbt med stigande temperatur. Den minskar också snabbt med belastningstiden, därför att mjukloden har en benägenhet att flyta om de belastas under en längre tid.

### Flussmedel

Då de flesta metaller oxiderar snabbt måste man tillsätta ett "flussmedel", som tar bort den existerande oxiden och även förhindrar återoxidation.

Flussmedlets främsta uppgift är att möjliggöra själva lödprocessen och genom sina egenskaper förbättra lödbarheten på komponenten. Flussmedlet skall därför uppfylla följande krav:

- Lösa befintligt oxidskikt och förhindra ny oxidation under lödförloppet.
- Tåla uppvärmning upp till lödtemperatur utan att förångas.
- Låta sig undanträngas av det utflytande lodet utan att lämna kvar slaggrester eller gasfickor.
- Inte inverka ogynnsamt på metallen eller försämra fogens elektriska egenskaper.

Många teorier har försökt att förklara tekniken hos flussets verkningsätt och en del av dessa har blivit användbara vid utveckling av nya fluss. Den vanligaste åsikten är att flusset tar bort oxidhinnan från metallen och lodet samt upplöser eller lösgör hinnan och låter den flyta bort in i flussets massa. Det smälta flusset bildar även ett skyddande hölje över metallen vilket förhindrar att ny oxidhinna bildas.

Flussmedlet kan vara fast eller flytande och kan tillföras på olika sätt. Den vanligaste metoden inom mjuklödning är lödråd med flusskanaler.

Man brukar dela upp flussmedlen i olika grupper beroende på tillsatsen av aktiveringsmedel.



**Ej aktivt fluss**

Harts löst i alkohol utan tillsatser av aktiveringsmedel.

**Svagt aktivt fluss**

Harts löst i alkohol med små tillsatser av aminer/amider eller halogener, vanligtvis klor. Halten av aktiveringsmedel får ej överstiga 0,5 %. Flussrester från svagt aktiverade flusser orsakar inte korrosion och är ej elektriskt ledande.

**Starkt aktiverat fluss**

Harts löst i alkohol aktiverat med mer än 0,5 % halogener eller andra oxidlösande ämnen som ger samma effekt. Mängden halogener som tillsätts finns beskrivna i ett flertal normer som specificeras av tillverkaren, t.ex. BS 441 typ 1 D.T.D 599 A o.s.v. Gemensamt för starkt aktiverade flusser är att de drar till sig luftfuktighet och blir därför ledande och förorsakar lätt isolationsfel. De är också svagt elektriskt ledande och måste noggrant avlägsnas genom tvättning. Starkt aktiverat fluss får ej användas vid mjuklödning av försvarsmateriel.

Då kolofoniumflusmedel (med tillsats av harts, kolofonium) ger upphov till formaldehydångor kan man p.g.a. allergiska problem välja att använda sig av ett syntetiskt framställt flusmedel.

Det blir allt vanligare att använda flusmedel med lägre fastmassahalt. I stället för de traditionella kolofoniumflusmedlens fastmassahalter på uppemot 20 % kan man nu erhålla fluss med fastmassahalter omkring 2–3 %. Dessa ger obetydliga rester av flusmedel efter lödning.

**Metallytan**

Om man betraktar en polerad metallyta med tillräcklig förstoring upptäcker man att den liknar ett berglandskap med förhöjningar och fördjupningar. Metallytans yttersta atomer har en förmåga att dra till sig syreatomer från den omgivande luften och ingå föreningar med dessa, varvid en oxidhinna bildas på metallen. Genom att luften har en viss fuktighetsgrad bildas vattenånga på oxidskiktet och på denna hinna finns praktiskt taget alltid ett lager av fett och smuts. Detta ökar ytspänningen på metallen vilket leder till försämrad lödbarhet.

**Vätning**

Vätning är ett uttryck som ofta förekommer inom mjuklödning. Vätningen beror av ytspänningen på de metallytor som skall sammanfogas. När ett lod efterlämnar ett jämnt permanent skikt på metallytan innebär det att lodet väter bra. Utan vätning blir det ingen lödningsverkan. För att få vätning måste det finnas en starkare attraktion mellan atomerna i lodet och metallen än mellan atomerna i själva lodet. För detta erfordras låga ytspänningar och god verkan hos flusmedlet. Av erfarenhet vet man att ett lödställe som uppvisar god vätning är en bra lödning. Lödningar med god vätning är därför lätta att kontrollera och ger därför låga kontrollkostnader.

**Kapillärkraft**

Vid lödning spelar kapillärkraften en viktig roll. Varje rätt utförd lödning bygger på den principen att det smälta lodet skall tränga in i spalten mellan metallytorna. Placerar man två plåtar med en spalt emellan i en vätska kommer denna att dras upp efter plåtkanterna. Detta beror på vätskans förmåga att väta metallen. Vid bra vätning stiger vätskan mellan plåtarna, medan den vid dålig vätning även kan sjunka. Ju bättre kapillärkrafter desto bättre fylls lödspalten med lod.

**Lödningsarbete****Förbehandling och förtenning**

För att få fullgod lödning är det viktigt att lödstället är ytbehandlat och väl rengjort. Ytbehandlingen, som vanligen består av tenn, silver eller guld, skall ha god lödbarhet. Lödbarheten avtar med tiden, och lödställen som oxiderat eller på annat sätt förorenats skall rengöras före lödning. Vid förtenning med lödkolv skall lodet tillföras ledaren och inte lödspetsen för att inte fluset skall förångas direkt.

**Lödning och montering**

Före lödning skall man se till att lödspetsen är fri från föroreningar, samt att spetsen har flytande lod på ytan, varigenom värmeöverföringen går fortare. Lödspetsens förtenta yta hålls mot den del av lödstället som har den största massan. Detta gör att hela lödstället blir ordentligt uppvärmt och man minimerar risken för kalllödningar. Lodet tillförs sedan mot det uppvärmda lödstället och inte mot lödspetsen. Sätter man lodet direkt mot den uppvärmda lödspetsen förångas fluset utan att nå fram till lödstället. Lodmängden som tillförs skall inte vara större än att det täcker lödställets ytor med ett tunt skikt. När lodet flutit ut avbryts uppvärmningen omedelbart. Detta förhindrar att lodet flyter utanför lödstället.

Hoplödda detaljer får inte mekaniskt belastas eller rubbas ur sina lägen innan lodet säkert stelnat. Lödningen får då ett kristalliniskt grynigt och grått utseende, vilket är ett tecken på en undermålig lödning. Komponenter och ledare bör om möjligt inte hållas på plats med tång eller pincett eftersom det lätt förstärker skakningar i handen.

Vid arbeten med lödhylsor används en något annorlunda metod. Mångpoliga anslutningsdon, som har hylsor med botten, löds genom att fylla varje hylsa till ungefär hälften med lod. Hylsan värms upp så att lodet blir flytande varefter ledningen sticks in till botten och hålls stilla tills lodet stelnat. Denna metod kräver en väl förtent och avtorkad lödspets.

**Lödning av kretskort**

Vid lödning på kretskort är det särskilt viktigt att välja:

- Rätt temperatur.
- Rätt kolveffekt.
- Rätt dimension på lodet.

Vid lödning av enkelsidiga kort krävs en kolveffekt på minst 40 W vid upprepade lödningar. Temperaturen varierar mellan 300 och 350 °C beroende på operatörens skicklighet. En högre spetstemperatur ställer större krav på operatören, men man får istället kortare lödtid och mindre värmespridning.

Vid lödning av genompläterade dubbelsidiga kort gäller samma förfarande som enkelsidiga förutom att temperaturen ej bör understiga 350 °C. Detta beror på att kretskort som är pläterade har större massa som skall värmas upp. Man skall snabbt värma upp lödstället till lodtemperatur och därefter utan tvekan tillföra rätt lodmängd i en och samma rörelse. Om lodmängden tillförs under för lång tid eller med en försiktig rörelse kommer flusmedlet att förångas och man får en försämrad lödning som följd.

Lödning av flerlayerskort har samma förfarande som vid lödning av genompläterade dubbelsidiga kort. Lödtiden blir dock något längre beroende på den högre massan som skall värmas upp.

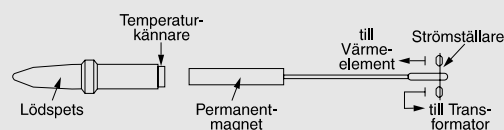
Något som är viktigt vid lödning på pläterade kretskort är att lodet väter på runt komponentbenet på båda sidor om kortet. Detta förhindrar oxider att tränga in mellan lod och lödställe. Vid lödarbeten på kretskort kan det också vara bra att känna till att komponentbenen skall vara avklippta till rätt längd innan lödarbetet utförs. Om detta sker efter lödning utsätter man lödfogen för den mekaniska chockverkan det blir när man klipper av komponentbenen med sidavbitaren.

**Lödverktyg****Lödstation eller lödkolv**

Valet mellan lödstation (lödpenna med transformator) och lödpenna/lödkolv för anslutning direkt till el-nätet beror på lödarbetets art. Lödstation är att föredra vid industriell lödning i produktion. Direktanslutet lödverktyg är lämpligare ur hantlingsynpunkt för servicetekniker på fältet men även för hobbyisten. Lödstationer och de mest avancerade direktanslutna lödverktygen har automatisk reglering av spetstemperaturen. Det finns olika tekniker för reglering av spetstemperatur, t.ex. de vi här kallar mekanisk respektive elektronisk.

**Mekanisk temperaturreglering**

Lödkolven/pennan är uppbyggd med en permanentmagnet som styr ett kontaktbleck. I lödspetsens ände sitter ett stycke legering som vid en viss temperatur, Curie-punkten, blir omagnetisk. Magneten släpper och strömkretsen till elementet bryts. När temperaturen sjunker blir metallen åter magnetisk och strömkretsen sluts. Beroende på styckets sammansättning av metaller varierar temperaturen.



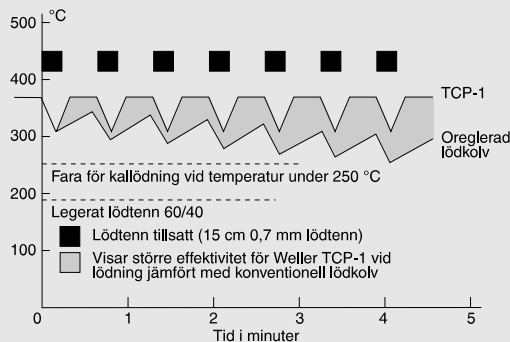
Lödkolv med mekanisk temperaturreglering.

**Elektronisk temperaturreglering**

Spetstemperaturen varierar på elektronisk väg. I lödpennan sitter en sensor med ett inbyggt NTC- eller PTC-motstånd. Sensorn ligger an mot lödspetsen och känner av temperaturen. Med en potentiometer på strömförsörjningsenheten regleras temperaturen steglöst.

Fördelen med elektronisk temperaturreglering kontra mekanisk är att om behov finns för olika spetstemperaturer på ett lödarbete är omställningen snabbare och enklare på den elektroniska.

Fördelen med den mekaniska är att det ej går att ändra temperaturen utan att byta lödspets. Detta kan vara en fördel vid exempelvis lödning av serietillverkade produkter där man vill försvåra ändring av temperaturen för operatören.



Temperaturvariationer med resp. utan temperaturreglering.

### Lödkolvspets

Det finns två olika tillverkningsmetoder för lödspetsar – icke-pläterade och pläterade. Båda är i grunden tillverkade av koppar, som har god värmeledningsförmåga. Den pläterade spetsen ytbehandlas i olika processer för att uppnå en högre kvalitet. Den icke pläterade genomgår ej detta.

Icke-pläterade spetsar oxiderar snabbt, ändrar form snabbt (kopparn "äts upp"), har kort livslängd och bra värmeledningsförmåga.

Pläterade spetsar har lång livslängd, är lätta att hålla rena och har relativt bra värmeledningsförmåga.

Val av lödkolvsspets beror på lödställets utformning och åtkomlighet.

### Lödrök

Röken som alstras vid lödning innehåller formaldehyd, vilken kan ge allergiska besvär vid inandning och därför bör sugas bort. Dock får ej suget vara för stort så att det påverkar spetsstemperaturen i alltför hög grad. Utsuget kan byggas upp på flera olika sätt. En lösning är att suga upp lödröken direkt vid källan, d.v.s. lödspetsen. Röken transporteras genom en slang och rörsystem till ett aggregat där de farliga partiklarna filteras bort.

### Avlödning

Avlödning av komponenter kan ske på flera sätt:

- Manuell tennsug som används ihop med en lödpenna.
- Speciellt tillverkade spetsar som monteras direkt på lödpennan.
- Lödflåta som läggs på lödpunkten och sedan tillförs värme via en lödpenna.
- Avlödningssystem med inbyggt vakuum. Stationen har en avlödningsspena med vilken man hettar upp lödtennet. Vakuumpumpen aktiveras och lödtennet sugas upp i en behållare. Till avlödningssystemen finns också olika avlödningsspetsar. Val av avlödningsspets beror på komponentbenens och lödöns diameter.

### Efterarbete

#### Tvättning efter lödning

Tvättning av kretskort efter lödning görs oftast av utseendeskäl men även då det kan föreligga risk för korrosion, t.ex. vid långtidslagring, eller då man riskerar att utsätta korten för extrema miljöer.

För att uppfylla förutbestämda normer kan det också vara nödvändigt att tvätta.

Då det förekommer många olika flussmedel på marknaden bör man alltid rådfråga flussmedelsleverantören om lämpligt tvättmedel. Hänsyn måste tas till brandskyddsregler, kemikalieutsläppsregler, hälsoaspekter m.m.

#### Skyddslackering

Skyddslackering av kretskort görs för att skydda det mot miljöpåverkan. Skyddslacken påförs på det färdigmonterade kortet. Vissa delar kan behöva "maskeras" före lackering, t.ex. kontakter och potentiometrar. Detta görs med lödmaskeringslatex eller lödmaskeringstejp.

Det är viktigt att tidigt planera för skyddslackeringen så att kortet designmässigt passar för lackering.

Samtliga lacker innehåller något lösningsmedel, och det är viktigt att detta lösningsmedel är förenligt med komponenterna samt att det är hälsomässigt acceptabelt.

## Ytmontering

Ytmontering kräver speciella verktyg, t.ex. vakuumdriven plockpincett, karusell för hantering av lösa komponenter, monteringsstation och värmehåll för yt-lödning eller för härdning av lim m.m.

Fördelar med ytmontering kontra hålmontering:

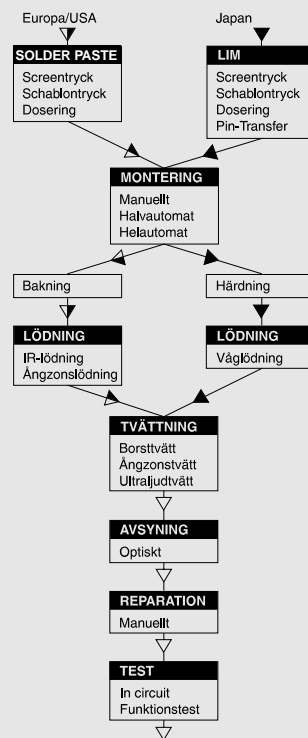
- Miniaturisering med upp till 70% sparad mönsterkortsyta.
- Lägre vikt trots fler komponenter och funktioner i samma konstruktion.
- Mycket bra elektriska egenskaper vid höga frekvenser.
- Förbättrad kvalitet och tillförlitlighet.
- Lägre komponentkostnad med bättre ekonomi i stora tillverkningsserier.

Produktion av kretskort med ytmonterade komponenter kräver vissa nyinvesteringar i produktionsutrustningarna för de olika arbetsoperationerna. Vad som behövs bestäms av tillgången på komponenter för den typ av kretskort som skall tillverkas samt val av monterings- resp. lödteknik i processen.

Generellt förekommer det två olika tillverkningsprocesser vid renodlad ytmontering:

- Tennpastemetoden
- Limmetoden

Vid renodlade ytmonteringskort används tennpastemetoden, medan limmetoden är betydligt mer användbar vid blandmontering, d.v.s. kort med både yt- och hålmonterade komponenter. Förutom dessa två grundmetoder förekommer även tillverkningsprocesser med blandmontering på kortets båda sidor, d.v.s. ytmonterade komponenter blandat med hålmonterade. Detta innebär givetvis betydligt mer komplicerade monteringssteg med härdning och lödning i flera omgångar.



Ytmonteringsmetoder.

## Övergång till blyfritt lod

Blyfritt lod har högre smälttemperatur än blyhaltigt lod. Därigenom krävs större temperaturtålighet hos mönsterkort och komponenter.

Blyfritt lod är känsligt för föroreningar exempelvis från bly. Se upp för blyhaltiga komponentanslutningar och lodrester på mönsterkort.

Legeringarna i blyfria lod har sämre vätningssegenskaper än legeringarna i blyhaltiga lod. Därigenom ställs högre krav på flussmedlet.

Lödfogen har ett mattare utseende för blyfritt lod och kan vara svår att skilja från en kalllödning.

Vid handlödning kan man undvika alltför höga lödtemperaturer genom att välja lödverktyg med hög temperaturstabilitet, tillräcklig effekt och god värmeledningsförmåga. Kortare och tjockare lödspetsar har vanligen bättre värmeledningsförmåga. Håll spetsen ren och kontrollera den ofta eftersom den också slits mer av blyfritt lod.

Vid maskinell produktion bör hela processen ses över och trimmas in. Mer information kan hittas på exempelvis <http://www.ittf.no>: "Varför blyfri elektronik?" och <http://leadfree.ipc.org>.

## Virning – Wire Wrap

Virning som förbindningsmetod uppfanns av Bell Telephone Laboratories, USA, i början av 1950-talet. Det var i första hand utvecklat för användning inom telefonsystemutrustning.

Virning innebär att en enkeltrådig ledare sträcks runt ett fyrkantigt stift med ett speciellt verktyg. Ledaren sträcks så hårt att en gastät och metallisk förbindning uppstår som tål temperaturväxlingar, korrosiva miljöer, fuktighet och vibrationer.

### Virklina och hylsa

Val av klinga och hylsa är beroende av en rad olika parametrar, bl a ledarens diameter, isoleringens diameter, virstiftets diagonal, reguljär eller modifierad virning och virstiftets längd.

Reguljär virning innebär att ingen isolering viras på stiftet. Modifierad virning innebär att 1,5 varv med isolering lindas på stiftet, som en extra dragavlastning.



Det är mycket viktigt att rätt klinga, hylsa och ledare används. Annars får man ingen fullgod virning och kontaktproblem uppstår. Det är också viktigt att ledningen har rätt skalllängd för att erhålla max kontaktyta (för lång skalllängd tjänar inget syfte utan tar bara plats på stiftet). Med en ledare på 0,25 mm skall skalllängden vara 25,4 mm, vilket ger 7 varv på virstiftet.

Skalningen ska ske så att ledaren ej skadas. Det är därför viktigt att använda ett för ändamålet avsett skalverktyg.

Det finns också speciella klingor och hylsor som ej kräver någon förpreparering av ledaren – "Cut, Strip and Wrap" (CSW). Klingan och hylsan är så konstruerad att den skalar, klipper och virar ledaren i ett moment. Denna metod ställer dock stora krav på ledarens isolering, som måste vara speciellt tillverkad för detta ändamål.

### Virverktyg

Det finns ett antal olika kategorier av virverktyg:

**Enkla handverktyg.** Oftast kombinerat verktyg för virning, avvirning och skalning.

**Manuella verktyg.** Kombinerade verktyg för virning och avvirning. Även verktyg som kompletteras med klinga och hylsa. Avsett för industriellt bruk.

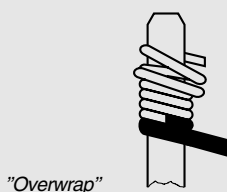
**Batteridrivna verktyg.** Kompletteras med passande klinga och hylsa. Kan även användas för avvirning. Avsett för service, prototyper och mindre serier.

**Nätdrivna verktyg.** Kompletteras med passande klinga och hylsa. Avsett för prototyper och produktion.

**Pneumatiska verktyg.** Avsett för produktion.

**Automatmaskiner.** Produktion i stora serier.

De batteridrivna, nätdrivna och pneumatiska verktygen kan förses med en mottrycksfjäder för att motverka "over-wrapping", d.v.s. att ledaren lindar sig ovanpå sig själv i flera lager. Är verktyget inte utrustat med detta måste operatören "följa med" verktyget under virningen.



Avvirningsverktyg finns i olika utföranden och är beroende av ledarens diameter. Verktyget är försett med en "krok", som tar tag i ledaren och lossar den från stiftet. En del verktyg är försedda med en hylsa som är "gängad" på insidan för att lyfta upp ledaren. Med denna typ undviker man också kortslutningar mellan stift, om man avvirrar när utrustningen är i funktion.

## Elsäkerhet

För att produkter och apparater skall få säljas skall dessa vara säkra för användaren, husdjur m.m. Innan Sverige anslöt sig till den europeiska unionen så gällde enligt dåvarande svensk lag obligatorisk s.k. S-märkning av elektriska apparater (kallas också för tredjepartscertifiering). Det utfördes en s.k. apparatprovning enligt gällande bestämmelser, såväl svenska som internationella elsäkerhetsstandarder användes för att visa att apparaten kunde anses som säker.

Inom EU heter lagen som reglerar elsäkerhet *Lågspänningsdirektivet* 73/23EEG, 93/68EEG.

I och med Sveriges anslutning till EU så infördes europeisk lagstiftning i svensk lag. Kravet på obligatorisk certifiering (S-märkning) ersattes med *CE-märkning*.

CE-märkning är ett myndighetskrav för att varor skall kunna handlas fritt mellan medlemsländerna. I korta drag innebär CE-märkningen att:



- Tillverkaren (om denna finns inom EU) eller importören (om tillverkaren finns utanför EU) intygar med CE-märket att produkten uppfyller de säkerhetskrav som gäller inom EU. Som stöd för detta påstående används relevanta harmoniserade EN-standarder (europeiska standarder).
- Till varje produkt skall det finnas dokumentation tillgänglig. Det enklaste dokumentet är en s.k. "egenförsäkran om överensstämmelse" (engelska: declaration of conformity) där produkten beskrivs övergripande och hänvisning till standarder görs, plus namn och adress till tillverkare eller importör. Detta dokument skall vara tillgängligt så att myndigheten skall kunna få en kopia inom 3 arbetsdagar. Bland övriga dokument kan nämnas "Technical File" som är en ingående dokumentation av produkten inklusive spårbara mätprotokoll.

Ett närbesläktat direktiv är *EMC-direktivet* (89/336EEG, 92/31EEG, 93/68EEG). Detta direktiv anger hur elektriska apparater skall uppfylla givna krav avseende elektromagnetisk strålning, både vad gäller emission och immunitet. Vanligast är att en apparat måste uppfylla kraven i både lågspänningsdirektivet och EMC-direktivet för att kunna CE-märkas.

För att systemet med egencertifiering skall fungera så bedriver tillsynsmyndigheterna (i Sverige Elsäkerhetsverket) inom EU så kallad marknadskontroll. Detta innebär att myndigheten tar in produkter för kontroll. Visar det sig vid en sådan kontroll att produkten inte är säker så har myndigheten ett antal åtgärder att välja mellan, varav den enklaste är ett påpekande och den kraftigaste vite eller fängelse.

För ytterligare information i ämnet se Elsäkerhetsverkets hemsida [www.elsak.se](http://www.elsak.se).

### Praktiska råd från SEMKO för självbyggaren

1. Se till att du har **nödvändiga verktyg**. Särskilt viktigt är att du har en bra lödkolv och kan utföra riktiga lödningar. Har du aldrig lött förut, be då någon som kan, att han lär dig konsten. Använd syrafritt flussmedel, eller lödtenn som innehåller detta, vid alla lödningar. Se vidare avsnitt *lödning*.
2. Var försiktig vid **lödningen** så att komponenter och isoleringar inte skadas av den varma lödkolven.
3. Motstånd som utvecklar **värme** måste vara fritt monterade från kretskort, ledningar och andra brännbara delar.
4. Uteslut inga **säkrings- och skyddskomponenter**.
5. Se till att du använder komponenter som är **rätt dimensionerade**. Använd exempelvis ej ett 0,5 W motstånd, där du enligt anvisningen skall ha ett 1 W motstånd.
6. Se till att riktiga **isolationsavstånd** till nätspänningsförande delar erhålls. Detta är speciellt viktigt mellan oisolerade nätspänningsförande delar och berörbara metalldelar (chassit och sekundärkretsen).
7. Se till att delar, komponenter, ledningar m m är betryggande fixerade, så att **risk för överledning** eller skadlig uppvärmning av omgivningen inte föreligger.
8. Bunta inte ihop **nätspänningsförande ledningar** med andra.
9. Ge dig inte in på att tillverka (etsa) **kretskort** om dessa är avsedda för komponenter som skall föra **nätspänning**.
10. Tillverka inte **nättransformatorn** själv utan välj en riktigt dimensionerad, färdig sådan.
11. Kontrollera att stickpropp, nätsladd, strömställare och säkringar är av **S-märkt** utförande.
12. Kontrollera att **säkringarna** har rätt data, så att åsyftat skydd erhålles.
13. Sätt aldrig i **säkringar** för större ström än byggnadsanvisningarna anger. Det kan resultera i brand och att du förstör dyrbara komponenter.

14. Om en säkring löser ut har du troligen gjort en felkoppling och du måste då **ta reda på felet** och rätta till det innan du byter säkring.
15. Gör **inga provisoriska kopplingar**, utan gå från början in för att göra ett rejält arbete.
16. Använd väl **isolerad kopplingstråd**, särskilt i kretsar som för nätspänning.
17. Se till att kopplingstrådarnas **isolering inte** kan **skadas** av skarpa metallkanter, rörliga delar eller varma komponenter.
18. Använd endast högtalare som är **anpassade** till förstärkarens impedans och utgångseffekt.
19. Se till att apparathöljet passar in och ger **tillräckligt beröringsskydd** och att erforderliga ventilationsöppningar finns i höljet. Höljet skall ej kunna lossas utan hjälp av verktyg.
20. Var försiktig när du **provkör** apparaten. Tänk på att det är livsfarligt att beröra nätspänningsförande delar. Se till att någon finns i närheten som kan bryta strömmen om du fastnar.

### Kontroll och service

Förvissa dig om att byggsatsen är **rätt hopkopplad** innan batteri eller nätspänning kopplas på.

Har du använt **rätt lödverktyg**? **OBS!** Transistorer och kondensatorer kan gå sönder om för hög temperatur användes.

**Garantin** på delar gäller endast om normal vaksamhet iakttagits vid sammankopplingen av byggsatsen.

Garantin gäller på komponenter inom **1 år** från köp, men aldrig på arbete respektive trimning.

Kontrollera aktuella bestämmelser hos **Elsäkerhetsverket**.

## WEEE och RoHS

### Producentansvar för elektriska och elektroniska produkter (WEEE)

Producentansvar för elektriska och elektroniska produkter ger tillverkare och distributörer (s.k. producenter) inom EU ansvar för att de varor som sätts ut på marknaden hanteras på ett miljövänligt sätt. Syftet med att låta producenterna ta ansvaret är att de som säljer eller använder en produkt också ska ta ansvar för de kostnader som därigenom uppstår, den så kallade "polluter pays-principen".

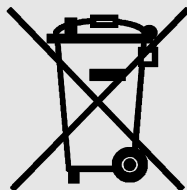
Syftet med lagstiftningen är att elektriska och elektroniska produkter ska utformas och tillverkas på ett sådant sätt att mängden avfall minimeras och att det avfall som ändå uppkommer ej ska skada miljön. Under år 2005 infördes producentansvar för dessa produkter inom hela EU, WEEE-direktivet.

Direktivet beskriver vilka åtaganden medlemsstaterna har och respektive stat ansvarar för att lagstiftning finns.

Ansvarsområdet täcker att produkterna märks på ett tydligt sätt, att insamling sker samt att de insamlade produkterna återvinns på ett miljörätt sätt. Detta kräver i sin tur att insamlingssystem upprättas och att det finns tydliga krav på återvinnare. Det finns även krav på att producenter ger information till alla berörda parter, såsom konsumenter, återvinnare, kommuner samt myndigheter.

De produkthierarkier som omfattas är:

1. Stora hushållsapparater
2. Små hushållsapparater
3. IT-, telekommunikations- och kontorsutrustning
4. Hemutrustning (TV-, audio- och videoutrustning)
5. Belysningsutrustning
6. Elektriska och elektroniska verktyg
7. Leksaker samt fritids- och sportutrustning
8. Medicinteknisk utrustning
9. Övervaknings- och kontrollutrustning
10. Automater



Den märkning som produkterna ska ha.

### Förbud om användning av vissa hälsofarliga ämnen (RoHS)

Elektriska eller elektroniska produkter kan innehålla ämnen som är farliga för människa och miljö. Vissa av dessa ämnen orsakar ej skada när produkten används men däremot som avfall. Att hantera dessa ämnen är både ohälsosamt och dyrt och det är därför viktigt att undvika dessa ämnen i produkterna.

Genom RoHS direktivet förbjuds vissa hälsofarliga ämnen i elektriska och elektroniska produkter.

Från och med den 1 juli 2006 får nyttillverkade elektriska och elektroniska produkter inte innehålla:

#### Metaller

Kviksilver, Hg (0,1 %)  
Kadmium, Cd (0,01 %)  
Bly, Pb (0,1 %)  
Sexvärt krom, Cr 6+ (0,1 %)

#### Flamskyddsmedel

Polybromerade bifenyl, PBB (0,1 %)  
Polybromerade difenyletrar, PBDE (0,1 %)

Ännu finns inte tekniska lösningar för att utesluta dessa ämnen i samtliga produkter i de produkthierarkier som omfattas av WEEE-direktivet, detta innebär att EU:s tekniska kommitté (TAC), har beslutat om undantag.

För samtliga EU:s medlemsstater är produkthierarkierna 8 och 9 undantagna, samt service och reparationer av de produkter som tillverkats före den 1 juli 2006. Batterier ingår ej i detta direktiv utan omfattas av batteridirektivet.

Utöver dessa undantag är vissa specifika produkter undantagna och det pågår en ständig genomgång av enskilda produkter för att uppnå målet att helt undvika de ämnen som ingår i RoHS-direktivet.

Av de ämnen som förbjuds i och med RoHS-direktivet är bly utan tvekan den mest vanligt förekommande i elektriska och elektroniska produkter, och är också det ämne som är svårast och dyrast att ersätta för elektronikindustrin. I stort sett alla lödpunkter innehåller bly. Från och med den 1 juli 2006 ska all produktion utföras med blyfritt lod och denna förändring påverkar produktionsprocessen i flera avseenden. Den största förändringen är att processtemperaturen höjs och därmed utsätter komponenterna för högre temperatur. Se även sidan 0000, "Övergång till blyfritt lod".

PBB och PBDE är två typer av flamskyddsmedel som kan finnas i plast. Sexvärt krom har använts som korrosionsskydd. Kviksilver som främst har använts i reläer, sensorer och fluorescerande lampor har det sedan flera år funnits ersättare för och flera länder har sedan länge förbud mot kviksilver. Kadmium som pigment och plättering har också haft restriktioner under flera år.

### ELFA:s åtagande

En del av de produkter som ELFA säljer omfattas direkt av de båda direktiven men den största delen av produktsortimentet består av komponenter som våra kunder använder för att producera eller reparera produkter med. Komponenterna som används för produktion måste uppfylla RoHS-direktivet för att kunna användas i färdiga produkter som omfattas av WEEE-direktivet.

För att hålla informationen om RoHS-kompatibilitet på komponenter och produkter aktuell hänvisar vi till vår hemsida [www.elfa.se](http://www.elfa.se) samt vår personal på teknisk information. På vår hemsida har vi även samlat länkar till EU:s direktiv och nationell lagstiftning.

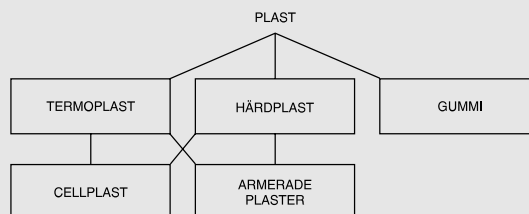
## Plaster

Den viktigaste komponenten i en plast är **polymeren**. En polymer är ett ämne vars molekyler är uppbyggda av många likadana atomgrupper. Plastmaterial kan bestå av en eller flera olika polymerer. Dessutom ingår olika typer av tillsatsmedel vilka modifierar polymerens egenskaper. Sammanfattat:

Polymer + Tillsatsmedel = Plast

Användning av plaster i olika sammanhang innebär en rad fördelar, men samtidigt måste hänsyn också tas till plasternas olika svagheter och negativa egenskaper. En viktig sådan egenskap är plasternas beständighet i en given miljö.

Polymererna bildar under framställningen och bearbetningen olika sorters **molekylkedjor**. Efter molekylkedjornas form delar man sedan in plasterna i termoplast, hårdplast och gummi.



Relationen mellan olika typer av plaster.

**Termoplaster** har raka eller förgrenade molekyler. Mellan dessa verkar svaga bindningar. Material med denna uppbyggnad kallar man termoplaster. De utmärks av att de blir mjukare och mer formbara ju högre temperaturen är. De har därmed ingen klar smältpunkt. En termoplast kan värmas upp och formas om upprepade gånger utan att egenskaperna ändras.

**Hårdplast** kallas den plast där molekylerna bildar ett nätverk. Gemensamt för hårdplasterna är att produkterna under formningsskedet får sin slutgiltiga form genom att en, två eller flera komponenter reagerar med varandra till en produkt med struktur av nät. Materialet hårdar. Vid upphettning behåller materialet sin form ända tills temperaturen blir så hög att materialet börjar förkolna. Hårdplasterna är i regel styva och spröda och utmärks av låg fuktabsorption, dimensionsstabilitet samt betydligt lägre formkrampning än de flesta termoplaster.

**Gummi** påminner i sin struktur om hårdplasterna. Tvärbindingarna och molekyledkjorna är dock glesare orienterade. Detta medför bl.a. ökad deformbarhet.

**Armerade plaster** innebär att man som fyllnadsmedel eller del av fyllnadsmedel använt starka fibrer för att armera (förstärka) materialet.

**Cellplaster** kan vara baserade på såväl hård- som termoplaster. Gemensamt för dem är att plastmaterialet genom tillsats av ett jämsmedel eller blåmsmedel bildar ett skum. Cellplasterna används främst som värmeisoleringsmaterial.

## Tillsatser

Genom tillsats av olika ämnen till polymeren kan man variera de olika plasternas egenskaper. Vi skall här ge några exempel på sådana tillsatser:

**Mjukgörare** tillsätter man för att göra speciellt termoplast mjukare och segare. Polymerer är annars för hårda och spröda för att kunna användas praktiskt. För termoplasterna verkar mjukgöraren så att bindningskrafterna mellan polymerkedjorna försvagas, vilket gör att kedjorna lättare kan förskjutas sinsemellan.

**Stabilisatorer** skyddar polymerer för ständigt olika åldringsframkallande angrepp. För att skydda polymerer mot dessa tillsätter man stabilisatorer av olika slag.

**Fyllmedel** kan göra att plastens egenskaper förbättras, men framför allt förbilligas slutprodukten. Alltför stora mängder fyllmedel ger visserligen en billig men ofta också en sämre produkt. Vanliga fyllmedel är stenmjöl, krita, lera, trämjöl och cellulosa.

**Brandskyddsmedel** är ytterligare en typ av tillsats. Vid en brand genomgår en plast tre olika skeden: uppvärmning, sönderdelning och antändning. När en polymer sönderdelas avges gaser. En del gaser är lätt antändbara, andra verkar korroderande på metaller i omgivningen och andra, t.ex. koldioxid, verkar kvävande på antändningen och betecknas som självslocknande. Temperaturen hos en polymer bestäms också i hög grad av sönderdelningsreaktionerna. Genom att hämma dessa reaktioner med olika tillsatser, brandskyddsmedel, kan antändningen fördröjas eller helt förhindras.

*Exempel på olika polymertyper.*

### Termoplaster

PVC	= Polyvinylklorid	
LDPE	= Polyeten (lågdensitet)	
HDPE	= Polyeten (högdensitet)	
PP	= Polypropen	
PA	= Polyamid	
FEP	= Fluorinerad eten och propen	} Polyfluor-karboner
PTFE	= Polytetrafluoreten	
ETFE	= Etentetrafluoreten	
PMMA	= Polymetylmetakrylat = Plexiglas	
PS	= Polystyren, standard styrenplast	
SAN	= Polystyren, värmestabil styrenplast	
ABS	= Polystyren, akrylnitril-butadien-styren	
PC	= Polykarbonat	
PETP,		
PET	= Polyester	
PUR	= Polyuretan (möbelstopning)	

### Hårdplaster

UF	= Karbamid-formaldehydplast = Karbamidplast
MF	= Melamin-formaldehydplast = Melaminplast
PF	= Fenol-formaldehydplast = Fenolplast, bakelit
EP	= Epoxiplast = Araldit
UP	= Polyester = Glasfiberarmerad polyesterplast (en form av termoplast)
PUR	= Polysiloxaner (för ytbeläggning)

### Plasternas egenskaper

Egenskaperna hos olika plaster kan varieras kraftigt med hjälp av olika tillsatser. Detta bör beaktas vid t.ex. brand, eftersom tillsatsmaterialen kan ge upphov till olika typer av risker. **Klor** eller **brom** i en plast kan vid brand ge upphov till dioxinbildning.

**PVC** är en mycket vanlig plast. Används bl.a. till kablar och förpackningar. PVC förekommer i en mängd olika varianter med mycket olika egenskaper. Vid förbränning av styv PVC bildas gråaktig rök, medan mjuk PVC ger svart rök.

Klorväte (saltsyra) avspjälkas vid förbränning, men neutraliseras ofta av ingående tillsatsämnen.

PVC är normalt självslocknande men kan förbrännas om brand understöds av andra material.

På grund av PVCs klorinnehåll anses denna plast ej vara lämplig ur miljösynpunkt och bör därför ersättas av andra plaster där så är möjligt.

PVC bör slipas före limning för att erhålla ett bra underlag. Limmas med PVC upplöst i lämpligt lösningsmedel. Vid limning till annat material kan man använda t.ex. kontaktlim, polyuretanlim eller tvåkomponent epoxi.

**PE** förekommer som LD-polyeten (låg densitet) och HD-polyeten (hög densitet). LDPE är ett mjukt material som används bl.a. till folier för ångspärr, plastpåsar, bärkassar, hinkar, kökskärl och leksaker. HDPE är styvare och används till backar, rör, behållare etc. Relativt lättantändligt och ej självslocknande. När plasten bränns avger den vatten och koldioxid. Den brinner med en tunn, vit rök som luktar stearin, underhåller förbränning och är lättantändlig. Den kan återvinnas. Etenplast är lättare än vatten. PE-plasten har mycket goda elektriska egenskaper (god isolationsförmåga), och dessutom ytterst låg vattengenomsäpplighet.

Polyeten är mycket svårlimmat.

**PP**, polypropen, liknar HDPE men har högre ythårdhet. God värmestabilitet. Kan värmas till +120 °C och tål att steriliseras. Används i sjukvårdsartiklar, läskedrycksbackar, detaljer till strykjärn, brödrostar, frys- och kylskåp och vissa bildelar. PP är den lättaste av de allmänt använda termoplasterna. De elektriska egenskaperna (isolationsförmågan) är bättre än polyetenets. PP lämpar sig därför utmärkt som råmaterial för telefon- och hörfrekvenskablar. Andra goda egenskaper är vätningsbeständighet och resistens mot sprickbildning under kemisk och fysikalisk påverkan. Köldbeständigheten är lägre än för polyeten.

Polypropen är lättantändligt och ej självslocknande. Inga farliga ämnen frigörs vid förbränning. Flamhämmande ämnen har tillsatts vissa produkter. Polypropen är svårlimmat och måste förbehandlas. Vid limning kan man t.ex. först grundera för att sedan limma med lämpligt cyanoakrylatlim.

**PA**, polyamid, känner vi mest under namnet nylon, som är handelsnamnet. PA är ett segt och starkt material som passar till textilier, drivremmar, knivskaft, kuggjul och motorhuvor. Svårantändlig men ej självslocknande. Vid förbränning uppstår ej några för människan farliga ämnen. Vid förbränning bildas kväveoxider, som kan bidra till försurning. Brinner med tunn, vit rök. Polyamid är svårt att limma, men kan göras med lösningsmedel med en tillsats av nylon.

Vid sammanfogning med andra material är det lämpligt att använda tvåkomponent epoxi.

**FEP, PTFE, ETFE** kan sammanfattas under begreppet polyfluorkarboner. Plasterna är sega, mycket rivhållfasta och tål de flesta kemikalier. Även de elektriska och dielektriska egenskaperna är mycket goda. Fluorkarbonerna tål mycket låga och höga temperaturer, -190 °C till +260 °C. De har bra tätningsegenskaper.

FEP är självslocknande. Vid upphettning till +400 °C frigörs det mycket aggressiva och giftiga gaser, fluorväte. Handelsnamnet är Teflon (Du Ponts varumärke).

I allmänhet är det mycket svårt att limma fluorkarboner. De måste alltid förbehandlas med grundering eller etsning.

**PMMA** är den viktigaste plasten inom gruppen akrylplaster. PMMA kännetecknas av mycket god genomsynlighet, mycket god väderbeständighet samt hög ythårdhet. PMMA är skonsamt mot miljön. Antändligt och ej självslocknande. Vid förbränning bildas enbart kol, väte och syre. Handelsnamnet på PMMA är plexiglas. Akrylpolymerer ingår i färger och fogmassor.

PMMA kan limmas med olika typer av lösningsmedel, men hållbarheten försämras av UV-strålning. Vid sammanfogning till annat material används kontaktlim.

**PS** betyder polystyrenplast. Den har god hårdhet, styvhet, dimensionsstabilitet och är ganska spröd. Den är lätt att bearbeta till färdiga artiklar och är billig. Värmebeständigheten är ganska låg. PS har dålig ljusbeständighet och bör ej användas för utomhusbruk. De elektriska egenskaperna (isolationsförmågan) är utmärkta.

Polystyrenplast är lättantändlig och ej självslocknande och brinner under kraftig utveckling av sot. Vissa polystyrenprodukter har en tillsats av brandhämmande ämnen.

Limning av polystyren kan göras med lösningsmedel, t.ex. aceton eller metylklorid. Vid limning till andra material används kontaktlim.

Polystyrencellplast innehåller slutna celler. Plasten är ett styvt material med mycket låg värmeledningsförmåga, 0,035 W/(m × K), och minimal vattenupptagningsförmåga, under 3 %. Polystyrencellplast säljs under namnen Frigolit och Styrolit.

**SAN-plast** har i jämförelse med styrenplast bättre hårdhet, styvhet och draghållfasthet. Den har också bättre värme- och kemikaliebeständighet. SAN-plasten är transparent. Den är svagt guldfärgad, men brukar färgas mycket svagt blå. SAN-plasten används bl.a. i instrumentpaneler, kåpor till kontorsmaskiner, kylskåpsdetaljer och hushållsgods. SAN innehåller kväve, som ger försurande kväveoxider vid förbränning.

**ABS-plast** utmärker sig framför allt för bättre slagseghet och bättre kemikalie- och åldringsbeständighet än styrenplast. Krympningen är låg. ABS-plast är ogenomskinlig (opak). Genom förändringar av förhållandet mellan de ingående monomererna kan egenskaperna hos ABS-plasten varieras inom tämligen vida gränser. Den kan därigenom anpassas till olika användningsområden. ABS används till kåpor på apparater som telefoner, radiomottagare, kameror, projektorer, kontorsmaskiner, instrumentpaneler i bilar, skyddshjälm, backar samt leksaker, Lego. ABS innehåller liksom SAN kväve som ger försurande kväveoxider vid förbränning.

**PC**, karbonatplast, har mycket goda mekaniska egenskaper, utmärkt dimensionsstabilitet samt utmärkt slagseghet kombinerad med hög styvhet. PC har god värmebeständighet och kan användas upp till +110 °C under längre tid. Den har utmärkt slagseghet även i kyla och kan användas ner till -100 °C. Kemikaliebeständigheten är måttlig men den angrips eller löses av flera organiska lösningsmedel samt bryts ner av alkali. Väderbeständigheten är god men ytan guldfärgas av UV-ljus. De elektriska egenskaperna (isolationsförmågan) är mycket goda för de flesta tillämpningar. PC används till apparatkåpor och andra apparatdetaljer, elektriska och elektroniska detaljer, verktygslådor, handtag till elektriska handverktyg, flerpoliga stickkontakter, dammskydd för reläer och liknande, kärl för livsmedel, skyddshjälm och skottsäkra rutor. PC är transparent. Den är självslöckande med antändningstemperatur högre än +500 °C. Vid förbränning bildas enbart koldioxid.

Små ytor kan limmas med t.ex. metylenklorid. Vid tjocka fogar och limning till annat material används tvåkomponent epoxilim.

**PET**, polyesterplast, kan förekomma som termoplast och hårdplast. Det är en icke armerad esterplast av normal hårdplasttyp. Den är hård, styv och ganska spröd med goda elektriska egenskaper (isolationsförmåga) och måttlig kemikaliebeständighet. PET tål ej starka syror och baser och ej heller opolära lösningsmedel. Vatten- och väderbeständighet är goda. Plasten kan göras självslöckande om klorhaltiga syror används till förpolymeren.

Linjära polyestrar hänförs till gruppen termoplaster. Används till film av hög kvalitet och till textiltillfibrer. Terylen, Dacron och Tergal är handelsnamn för sådana polyestrar.

Glasfiberarmerad esterplast har bättre styrka/massa-förhållande än många metaller. Omättad esterplast används till glasfiberarmerad plast, som lack, bindemedel och som plastspackel. Av glasfiberarmerad esterplast tillverkas båtar av varierande storlek, bilarosser, elektrisk utrustning, skydds-hjälm, flaggstänger, båtmaster, fiskespön och skidor.

**PUR**, polyuretan, kan förekomma som termoplast eller hårdplast. Som hårdplast används den alltmör inom industrin, inte minst i bilar. Man kan göra allt från elastiska, mjuka till hårda, träaktiga material, t.ex. bindemedel i färg- och fogmassor, madrasser, möbelstoppning, skosulor, kylskåpsinredning, cellplastskivor eller skum för värme- eller ljudisolering. PUR används i ringa omfattning för elektriskt material. Materialet är opakt, ogenomskinligt. Styv PUR-cellplast har god beständighet mot utspädda syror och baser, men sväller av t.ex. etanol, aceton och koltetraklorid. Halvstyv och mjuk PUR-cellplast har sämre kemikalieresistens än den styva. Den sväller av t.ex. bensin och terpentin. Väderbeständigheten är inte speciellt god. Materialet gulnar och i kombination med värme absorberas viss vattenhalt, varvid materialet blir sprödare. Vid upphettning kan isocyanater återbildas, varför det är olämpligt att bränna denna plast. Vid förbränning bildas dessutom försurande kväveoxider. Jäsmedlet CFS, som skadar ozonskiktet, har hittills använts vid framställning av polyuretaner.

**EP**, epoxiplast, är en relativt dyr plast. Icke armerad EP har god slagseghet. Den har hög elektrisk genomslagsförmåga, hög resistivitet och strålningsbeständighet. Den är användbar inom ett stort temperaturintervall. EP har synnerligen god kemikaliebeständighet. Användningsområden för epoxiharts är laminat och armerad plast, lack, lim, gjutharts och bindemedel. Laminat av epoxiplast med glasfiberväv används i stor utsträckning för framställning av tryckta kretsar. Epoxilim har synnerligen god vidhäftning till de flesta material. Lack och färg baserade på epoxiharts har utmärkt vidhäftning, kemikaliebeständighet och seghet, t.ex. brännlack för hushållsmaskiner. Gjutharts med eller utan fyllmedel används för ingjutning och inkapsling av känsliga elektriska komponenter.

**PF**, fenoplast, har goda mekaniska egenskaper, men de är beroende av fyllmedlet. Fenoplast har utmärkt dimensionsbeständighet, låg krympning och god styvhet. Slagsegheten är tämligen låg. Fenoplast har utmärkt värmebeständighet och kan användas till maximalt +150 °C. Kemikaliebeständigheten är ganska god och fenoplast tål vatten mycket bra. Väderbeständigheten är ganska dålig. Den har tämligen goda elektriska egenskaper (god isolationsförmåga), men bör ej användas i fuktig miljö på grund av vattenabsorptionen. Fenoplast förkolnar i ytan vid förbränning. Vissa typer är självslöckande. Fenolharts används som bas i bindemedel vid tillverkning av slippapper och bromsband och som lim i vattenfasta kvaliteter av plywood och spånskivor. Laminat av fenoplast används för radiodelar, brytare och tryckta kretsar.

**UF**, **MF** betecknar karbamidplast (UF) och melaminplast (MF). Samlingsnamnet är aminoplast. Denna har goda mekaniska egenskaper. Den är mycket hård och har synnerligen god nötningstålighet. Ytegenskaperna anses vara bäst bland alla plaster. Karbamidplast har god och melaminplast utmärkt värmebeständig-

het. Aminoplast har god kemikaliebeständighet. Den tål utspädd alkali och utspädda syror, olja, fett och de flesta organiska lösningsmedel. Melamin, men inte karbamid, tål kokande vatten. Väderbeständigheten är dålig och aminoplast bör ej användas utomhus. Aminoplast har goda elektriska egenskaper. Krypströmsäkerheten är mycket hög. Aminoplast blir ej statiskt uppladdad och är därför ej dammsamlade. Aminoplast är självslöckande. Aminoplast används till formgods och laminat, aminoharts som bindemedel, lim och lack. Brännlack, d.v.s. lack som hårdar snabbt vid förhöjd temperatur, är baserat på aminoharts.

## 8-bitars ASCII-tabell för PC-datorer

Dec value	0	16	32	48	64	80	96	112	128	144	160	176	192	208	224	240
Hex value	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F
0	0	NULL	DLE	SP	0	@	P	`	p	Ç	É	á	■	L	ll	α
1	1	SOH	DC1	!	1	A	Q	a	q	ü	æ	í	■	+	τ	β
2	2	STX	DC2	"	2	B	R	b	r	é	Æ	ó	■	T	π	Γ
3	3	ETX	DC3	#	3	C	S	c	s	â	ô	ú		†	ll	π
4	4	EOT	DC4	\$	4	D	T	d	t	ä	ö	ñ	—	—	Σ	ƒ
5	5	ENQ	NAK	%	5	E	U	e	u	à	ò	ñ	≡	+	F	σ
6	6	ACK	SYN	&	6	F	V	f	v	â	û	ª		†	π	μ
7	7	BEL	ETB	'	7	G	W	g	w	ç	ù	º		†	τ	≈
8	8	BS	CAN	(	8	H	X	h	x	ê	ÿ	¿		†	Φ	°
9	9	HT	EM	)	9	I	Y	i	y	ë	Ö	—		†	J	θ
10	A	LF	SUB	*	:	J	Z	j	z	è	Ü	—		†	Ω	.
11	B	VT	ESC	+	;	K	[	k	{	ï	½		†		δ	√
12	C	FF	FS	,	<	L	\	l	;	£	¼		†		∞	η
13	D	CR	GS	=	=	M	]	m	}	ì	¥		†		φ	²
14	E	SO	RS	.	>	N	^	n	~	Ä	Pt	«		†	ε	■
15	F	SI	US	/	?	O	_	o	△	Å	ƒ	»		†	∩	

### Förklaring till styrkoder i klartext.

NUL	= Null	DC1 = Device Control 1 (XON)
SOH	= Start of Heading	DC2 = Device Control 2
STX	= Start of Text	DC3 = Device Control 3 (XOFF)
ETX	= End of Text	DC4 = Device Control 4
EOT	= End of Transmission	NAK = Negative Acknowledgement
ENQ	= Enquiry	SYN = Synchronous Idle
ACK	= Acknowledge	ETB = End Of Transmission Block
BEL	= Bell	CAN = Cancel Line
BS	= Backspace	EM = End Of Medium
HT	= Horizontal Tabulation	SUB = Substitute
LF	= Line Feed	(Används även som EOF=End Of File)
VT	= Vertical Tabulation	ESC = Escape
FF	= Form Feed	FS = File Separator
CR	= Carriage Return	GS = Group Separator
SO	= Shift Out	RS = Record Separator
SI	= Shift In	US = Unit Separator
DLE	= Data Link Escape	SP = Space

## Konstanter och måttenheter

### Fysikaliska konstanter

Normalaccelerationen vid fritt fall	$g_n = 9,806\ 65\ \text{m/s}^2$
Utbredningshastigheten hos elektromagnetiska vågor i vakuum (ljushastigheten)	$c_0 \approx 2,99793 \times 10^8\ \text{m/s}$
Magnetiska konstanten, permeabiliteten i vakuum	$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}\ \text{H/m}$ $\approx 1,257 \times 10^{-6}\ \text{H/m}$
Dielektriska konstanten för vakuum	$\epsilon_0 \approx 8,854 \times 10^{-12}\ \text{F/m}$
Elementarladdningen	$e \approx 1,6021 \times 10^{-19}\ \text{C}$
Faradays konstant	$F \approx 9,6487 \times 10^4\ \text{C/mol}$
Boltzmanns konstant	$k \approx 1,38 \times 10^{-23}\ \text{J/K}$

### Temperatursamband

0 °C motsvarar 273,15 K

32,0 °F motsvarar 273,15 K

Temp i °C motsvarar ((Temp i °F) - 32) / 1,8.

Temp i °F motsvarar (Temp i °C) × 1,8 + 32.

## SI-enheter

Storhet	Benämning	Beteckning	Uttryckt i andra SI-enheter	Uttryckt i SI-systemets grundenheter
<b>Grundenheter</b>				
Längd (l)	meter	m		
Massa (m)	kilogram	kg		
Tid (t)	sekund	s		
Elektrisk ström (I)	ampere	A		
Temperatur (T)	kelvin	K		
Ljusstyrka (I)	candela	cd		
Substansmängd (n)	mol	mol		

## Härledda enheter

Frekvens (f)	hertz	Hz		s <sup>-1</sup>
Kraft (F)	newton	N		m × kg × s <sup>-2</sup>
Tryck, mekanisk spänning (p)	pascal	Pa	N/m <sup>2</sup>	m <sup>-1</sup> × kg × s <sup>-2</sup>
Energi, arbete* (W)	joule	J	Nm, Js	m <sup>2</sup> × kg × s <sup>-2</sup>
Effekt (P)	watt	W	J/s	m <sup>2</sup> × kg × s <sup>-3</sup>
Elmängd, laddning (Q)	coulomb	C	As	s × A
Elektrisk potential (V), elektrisk spänning (U)	volt	V	W/A	m <sup>2</sup> × kg × s <sup>-3</sup> × A <sup>-1</sup>
Kapacitans (C)	farad	F	C/V	m <sup>2</sup> × kg × s <sup>-3</sup> × A <sup>-2</sup>
Resistans (R)	ohm	Ω	V/A	m <sup>2</sup> × kg × s <sup>-3</sup> × A <sup>-2</sup>
Konduktans (G)	siemens	S	A/V	m <sup>2</sup> × kg <sup>-1</sup> × s <sup>3</sup> × A <sup>2</sup>
Magnetisk flödestäthet (B)	tesla	T	Wb/m <sup>2</sup>	kg × s <sup>-2</sup> × A <sup>-1</sup>
Magnetiskt flöde (Φ)	weber	Wb	Vs	m <sup>2</sup> × kg × s <sup>-2</sup> × A <sup>-1</sup>
Induktans (L)	henry	H	Wb/A	m <sup>2</sup> × kg × s <sup>-2</sup> × A <sup>-2</sup>
Ljusflöde (Φ)	lumen	lm	cd × sr	
Belysning, illuminans (E)	lux	lx	lm/m <sup>2</sup>	cd × sr × m <sup>-2</sup>

\* såväl mekanisk som elektrisk och termisk

## SI-prefix

Värde	Namn	Symbol
10 <sup>24</sup>	yotta	Y
10 <sup>21</sup>	zetta	Z
10 <sup>18</sup>	exa	E
10 <sup>15</sup>	peta	P
10 <sup>12</sup>	tera	T
10 <sup>9</sup>	giga	G
10 <sup>6</sup>	mega	M
10 <sup>3</sup>	kilo	k
10 <sup>2</sup>	hecto	h
10 <sup>1</sup>	deka	da

Värde	Namn	Symbol
10 <sup>-1</sup>	deci	d
10 <sup>-2</sup>	centi	c
10 <sup>-3</sup>	milli	m
10 <sup>-6</sup>	mikro	μ
10 <sup>-9</sup>	nano	n
10 <sup>-12</sup>	piko	p
10 <sup>-15</sup>	femto	f
10 <sup>-18</sup>	atto	a
10 <sup>-21</sup>	zepto	z
10 <sup>-24</sup>	yokto	y

Exempel: 1 MΩ = 1000 kΩ    1 pF = 10<sup>-12</sup> F = 10<sup>-6</sup> μF    1 μm = 10<sup>-3</sup> mm

## IEC-prefix för binära multiplikatorer

Värde	Namn	Symbol
2 <sup>60</sup>	exbi	Ei
2 <sup>50</sup>	pebi	Pi
2 <sup>40</sup>	tebi	Ti
2 <sup>30</sup>	gibi	Gi
2 <sup>20</sup>	mebi	Mi
2 <sup>10</sup>	kibi	Ki

Exempel: 1 Kibit = 1 kibibit = 1 "kilo binary"-bit = 1 × 2<sup>10</sup> bit = 1024 bit

## Konverteringstabell för måttenheter

**Längd.** SI-enhet meter (m).

Enhet	Förkortas	Motsvarar	Motsvarar i SI-enhet
1 fermi	fm	1 femtometre	10 <sup>-15</sup> m
1 x-enhet	X	1,00208 mÅ	1,00208 × 10 <sup>-13</sup> m
1 atomenhet	au	1 bohr	5,29177 × 10 <sup>-11</sup> m
1 ångström	Å	0,1 nm	10 <sup>-10</sup> m
1 mikron	μ	1/1000 mm	10 <sup>-6</sup> m
1 mil		0,001 in	0,0254 mm
1 inch (tum)	in, "	1000 mil	2,54 cm
1 foot	ft, '	12 in	30,48 cm
1 yard	yd	3 ft	0,9144 m
1 mile (statute mile)	mi	5280 ft	1609,344 m
1 nautisk mil	nmi, NM	6076 ft	1852 m
1 distansminut	M	1 nautisk mil	1852 m
1 astronomisk enhet	AU, ua		1,495978706 × 10 <sup>11</sup> m
1 ljusår		6,32 × 10 <sup>4</sup> AU	9,46053 × 10 <sup>15</sup> m
1 parsec	pc	2,06265 × 10 <sup>5</sup> AU	3,0857 × 10 <sup>16</sup> m

**Area.** SI-enhet kvadratmeter (m<sup>2</sup>).

Enhet	Förkortas	Motsvarar	Motsvarar i SI-enhet
1 barn		100 fm <sup>2</sup>	10 <sup>-28</sup> m <sup>2</sup>
1 circular mil	CM	0,7854 mil <sup>2</sup>	5,067 × 10 <sup>-10</sup> m <sup>2</sup>
1 square inch	in <sup>2</sup>	1,273 × 10 <sup>6</sup> CM	6,4516 cm <sup>2</sup>
1 square foot	ft <sup>2</sup>	144 in <sup>2</sup>	0,09290304 m <sup>2</sup>
1 square yard	yd <sup>2</sup>	9 ft <sup>2</sup>	0,83612736 m <sup>2</sup>
1 ar	a		100 m <sup>2</sup>
1 acre	ac, A	4840 yd <sup>2</sup>	4046,86 m <sup>2</sup>
1 hektar	ha	100 ar	10000 m <sup>2</sup>
1 square mile	mile <sup>2</sup>	640 acre	2589988 m <sup>2</sup>

**Volym.** SI-enhet kubikmeter (m<sup>3</sup>).

Enhet	Förkortas	Motsvarar	Motsvarar i SI-enhet
1 minim (Br)	min	59,2 μl	5,9194 × 10 <sup>-8</sup> m <sup>3</sup>
1 minim (US)	min	61,6 μl	6,1612 × 10 <sup>-8</sup> m <sup>3</sup>
1 cubic inch	cu in, in <sup>3</sup>	1,64 cl	1,6387 × 10 <sup>-5</sup> m <sup>3</sup>
1 engelsk fluid ounce	UK fl oz	2,84 cl	2,8413 × 10 <sup>-5</sup> m <sup>3</sup>
1 US fluid ounce	US fl oz	2,96 cl	2,9574 × 10 <sup>-5</sup> m <sup>3</sup>
1 US liquid pint	US lq pt	16 US fl oz, 0,473 l	4,7317 × 10 <sup>-4</sup> m <sup>3</sup>
1 US dry pint	US dry pt	0,551 l	5,5061 × 10 <sup>-4</sup> m <sup>3</sup>
1 engelsk pint	UK pt	20 UK fl oz, 0,568 l	5,5683 × 10 <sup>-4</sup> m <sup>3</sup>
1 US (liquid) quart	US (lq) qt	2 US lq pt, 0,946 l	9,4635 × 10 <sup>-4</sup> m <sup>3</sup>
1 liter	l	1 dm <sup>3</sup>	10 <sup>-3</sup> m <sup>3</sup>
1 US dry quart	US dry qt	2 US dry pt, 1,101 l	1,1012 × 10 <sup>-3</sup> m <sup>3</sup>
1 engelsk quart	UK qt	2 UK pt, 1,137 l	1,1365 × 10 <sup>-3</sup> m <sup>3</sup>
1 US liquid gallon	US gal	8 US dry pt, 3,785 l	3,785 × 10 <sup>-3</sup> m <sup>3</sup>
1 engelsk gallon	UK gal	8 UK pt, 4,546 l	4,546 × 10 <sup>-3</sup> m <sup>3</sup>
1 cubic foot	cu ft, ft <sup>3</sup>	1728 in <sup>3</sup> , 28,3 l	2,8317 × 10 <sup>-2</sup> m <sup>3</sup>
1 US dry barrel	dbl	7056 in <sup>3</sup> , 116 l	1,1563 × 10 <sup>-1</sup> m <sup>3</sup>
1 US liquid barrel	bl	31,5 US gal, 119 l	1,1924 × 10 <sup>-1</sup> m <sup>3</sup>
1 US petroleum barrel	bo	42 US gal, 159 l	1,5899 × 10 <sup>-1</sup> m <sup>3</sup>
1 engelsk barrel	bl	36 UK gal, 164 l	1,6365 × 10 <sup>-1</sup> m <sup>3</sup>
1 cubic yard	cu yd, yd <sup>3</sup>	765 l	7,6455 × 10 <sup>-1</sup> m <sup>3</sup>

**Massa.** SI-enhet kilogram (kg).

Enhet	Förkortas	Motsvarar	Motsvarar i SI-enhet
1 atommassenhet	u	1/12 av en atom C 12	1,6605402 × 10 <sup>-27</sup> kg
1 point	pt	1/100 ct	2 mg
1 grain	gr	1/7000 lb	64,79891 mg
1 carat (metrisk)	ct		0,2 g
1 dram	dr	1/16 oz	1,7718 g
1 ounce	oz	1/16 lb	28,3495 g
1 pound (avoirdupois)	lb		0,45359237 kg
1 stone	st	14 lb	6,3503 kg
1 US quarter	qtr, qr	25 lb	11,34 kg
1 engelsk quarter	qtr, qr	28 lb, 2 st	12,70 kg
1 short hundredweight	sh cwt	100 lb	45,36 kg
1 long hundredweight	cwt	112 lb, 8 st	50,80 kg
1 short ton	sh t	2000 lb	907,18 kg
1 metrisk ton	t		1000 kg
1 (long) ton	t	20 cwt	1016,05 kg

**Hastighet.** SI-enhet meter per sekund (m/s).

Enhet	Förkortas	Motsvarar	Motsvarar i SI-enhet
1 kilometer i timmen	km/h	5/18 m/s	0,2778 m/s
1 foot/second	ft/s	1,097 km/h	0,3048 m/s
1 mile/hour	mph	1,609 km/h	0,4470 m/s
1 knop	kn	1,852 km/h	0,5144 m/s
1 mach	M	ljushastigheten	ca 340 m/s

**Tid.** SI-enhet sekund (s).

Enhet	Förkortas	Motsvarar	Motsvarar i SI-enhet
1 minut	min	1/1440 d	60 s
1 beat		1/1000 d	86,4 s
1 timme	h	60 min	3600 s
1 dygn	d	24 h	86400 s
1 vecka		7 d	604800 s
1 kalenderår		365 d	31536000 s
1 tropiskt år (solår)	a	365,242 d	31556926 s
1 sideriskt år (stjärnår)		365,256 d	31558153 s
1 anomalistiskt år		365,260 d	31558432 s
1 skottår		366 d	31622400 s

**Vinkel.** SI-enhet radian (rad).

Enhet	Förkortas	Motsvarar	Motsvarar i SI-enhet
1 nysekund		1/100 nymnut	1,5707963 × 10 <sup>-6</sup> rad
1 sekund	"	1/3600 °	4,841368 × 10 <sup>-6</sup> rad
1 nymnut	,	1/100 °	1,5707963 × 10 <sup>-4</sup> rad
1 minut	'	1/60 °	2,9088821 × 10 <sup>-4</sup> rad
1 gon (nygrad)	°	1/400 varv, 0,9 °	1,5707963 × 10 <sup>-2</sup> rad
1 grad	°	1/360 varv	1,7453286 × 10 <sup>-2</sup> rad
1 nautiskt streck		1/32 varv, 11,25 °	0,1963495 rad
1 radian	rad	180/π °	57,2958 °

**Kraft.** SI-enhet newton (N).

Enhet	Förkortas	Motsvarar	Motsvarar i SI-enhet
1 dyn			10 <sup>-5</sup> N
1 gramkraft	gf	1/1000 kgf	9,80665×10 <sup>-3</sup> N
1 pond	p	1 gf	9,80665×10 <sup>-3</sup> N
1 poundal	pdl	1 lb ft/s <sup>2</sup>	1,38255×10 <sup>-1</sup> N
1 newton	N	1 kg m/s <sup>2</sup>	
1 pound force	lbf	0,45359 kp	4,44822 N
1 kilogramkraft	kgf	1 kp	9,80665 N
1 kilopond	kp	1 kgf	9,80665 N

**Tryck.** SI-enhet pascal (Pa).

Enhet	Förkortas	Motsvarar	Motsvarar i SI-enhet
1 newton/kvadratmeter	N/m <sup>2</sup>		1 Pa
1 mm vattenpelare	mm Vp		9,80665 Pa
1 mm kvicksilverpelare	mmHg		133 Pa
1 torr		1 mmHg vid 0 °C	133,322 Pa
1 pound-force/square inch	psi, lbf/in <sup>2</sup>	51,72 torr	6,8948×10 <sup>3</sup> Pa
1 kilopond/kvadratcentimeter	kp/cm <sup>2</sup>	1 at	9,80665×10 <sup>3</sup> Pa
1 teknisk atmosfär	at	1 kp/cm <sup>2</sup>	9,80665×10 <sup>3</sup> Pa
1 bar	b	750,1 torr	10 <sup>5</sup> Pa
1 normalatmosfär	atm	760 torr	1,01325×10 <sup>5</sup> Pa

**Moment.** SI-enhet newtonmeter (Nm).

Enhet	Förkortas	Motsvarar	Motsvarar i SI-enhet
1 poundforce inch	lbf in	1/12 lbf ft	0,112985 Nm
1 poundforce foot	lbf ft		1,35582 Nm
1 kilopondmeter	kpm	1 kgfm	9,80665 Nm

**Konverteringstabell tum till mm****Tum till millimeter**

Tum	mm	Tum	mm	Tum	mm	Tum	mm	Tum	mm	Tum	mm	Tum	mm
1/64	0,40	11/64	4,37	21/64	8,33	31/64	12,30	41/64	16,27	51/64	20,24	61/64	24,21
1/32	0,79	3/16	4,76	11/32	8,73	1/2	12,70	21/32	16,67	13/16	20,64	31/32	24,61
3/64	1,19	13/64	5,16	23/64	9,13	33/64	13,10	43/64	17,07	53/64	21,03	63/64	25,00
1/16	1,59	7/32	5,56	3/8	9,53	17/32	13,49	11/16	17,46	27/32	21,43	1	25,40
5/64	1,98	15/64	5,95	25/64	9,92	35/64	13,89	45/64	17,86	55/64	21,83		
3/32	2,38	1/4	6,35	13/32	10,32	9/16	14,29	23/32	18,26	7/8	22,23		
7/64	2,78	17/64	6,75	27/64	10,72	37/64	14,68	47/64	18,65	57/64	22,62		
1/8	3,17	9/32	7,14	7/16	11,11	19/32	15,08	3/4	19,05	29/32	23,01		
9/64	3,57	19/64	7,54	29/64	11,51	39/64	15,48	49/64	19,45	59/64	23,41		
5/32	3,97	5/16	7,94	15/32	11,91	5/8	15,88	25/32	19,84	15/16	23,81		

Tum	0	1/16	1/8	3/16	1/4	5/16	3/8	7/16	1/2	9/16	5/8	11/16	3/4	13/16	7/8	15/16
0	0,0	1,6	3,2	4,8	6,4	7,9	9,5	11,1	12,7	14,3	15,9	17,5	19,1	20,6	22,2	23,8
1	25,4	27,0	28,6	30,2	31,8	33,3	34,9	36,5	38,1	39,7	41,3	42,9	44,5	46,0	47,6	49,2
2	50,8	52,4	54,0	55,6	57,2	58,7	60,3	61,9	63,5	65,1	66,7	68,3	69,9	71,4	73,0	74,6
3	76,2	77,8	79,4	81,0	82,6	84,1	85,7	87,3	88,9	90,5	92,1	93,7	95,3	96,8	98,4	100,0
4	101,6	103,2	104,8	106,4	108,0	109,5	111,1	112,7	114,3	115,9	117,5	119,1	120,7	122,2	123,8	125,4
5	127,0	128,6	130,2	131,8	133,4	134,9	136,5	138,1	139,7	141,3	142,9	144,5	146,1	147,6	149,2	150,8
6	152,4	154,0	155,6	157,2	158,8	160,3	161,9	163,5	165,1	166,7	168,3	169,9	171,5	173,0	174,6	176,2
7	177,8	179,4	181,0	182,6	184,2	185,7	187,3	188,9	190,5	192,1	193,7	195,3	196,9	198,4	200,0	201,6
8	203,2	204,8	206,4	208,0	209,6	211,1	212,7	214,3	215,9	217,5	219,1	220,7	222,3	223,8	225,4	227,0
9	228,6	230,2	231,8	233,4	235,0	236,5	238,1	239,7	241,3	242,9	244,5	246,1	247,7	249,2	250,8	252,4
10	254,0	255,6	257,2	258,8	260,4	261,9	263,5	265,1	266,7	268,3	269,9	271,5	273,1	274,6	276,2	277,8
11	279,4	281,0	282,6	284,2	285,8	287,3	288,9	290,5	292,1	293,7	295,3	296,9	298,5	300,0	301,6	303,2
12	304,8	306,4	308,0	309,6	311,2	312,7	314,3	315,9	317,5	319,1	320,7	322,3	323,9	325,4	327,0	328,6
13	330,2	331,8	333,4	335,0	336,6	338,1	339,7	341,3	342,9	344,5	346,1	347,7	349,3	350,8	352,4	354,0
14	355,6	357,2	358,8	360,4	362,0	363,5	365,1	366,7	368,3	369,9	371,5	373,1	374,7	376,2	377,8	379,4
15	381,0	382,6	384,2	385,8	387,4	388,9	390,5	392,1	393,7	395,3	396,9	398,5	400,1	401,6	403,2	404,8
16	406,4	408,0	409,6	411,2	412,8	414,3	415,9	417,5	419,1	420,7	422,3	423,9	425,5	427,0	428,6	430,2
17	431,8	433,4	435,0	436,6	438,2	439,7	441,3	442,9	444,5	446,1	447,7	449,3	450,9	452,4	454,0	455,6
18	457,2	458,8	460,4	462,0	463,6	465,1	466,7	468,3	469,9	471,5	473,1	474,7	476,3	477,8	479,4	481,0
19	482,6	484,2	485,8	487,4	489,0	490,5	492,1	493,7	495,3	496,9	498,5	500,1	501,7	503,2	504,8	506,4
20	508,0	509,6	511,2	512,8	514,4	515,9	517,5	519,1	520,7	522,3	523,9	525,5	527,1	528,6	530,2	531,8
21	533,4	535,0	536,6	538,2	539,8	541,3	542,9	544,5	546,1	547,7	549,3	550,9	552,5	554,0	555,6	557,2
22	558,8	560,4	562,0	563,6	565,2	566,7	568,3	569,9	571,5	573,1	574,7	576,3	577,9	579,4	581,0	582,6
23	584,2	585,8	587,4	589,0	590,6	592,1	593,7	595,3	596,9	598,5	600,1	601,7	603,3	604,8	606,4	608,0

**Tum i decimaler**

1/64 = .015625	11/64 = .171875	21/64 = .328125	31/64 = .484375	41/64 = .640625	51/64 = .796875	61/64 = .953125
1/32 = .03125	3/16 = .1875	11/32 = .34375	1/2 = .5	21/32 = .65625	13/16 = .8125	31/32 = .96875
3/64 = .046875	13/64 = .203125	23/64 = .359375	33/64 = .515625	43/64 = .671875	53/64 = .828125	63/64 = .984375
1/16 = .0625	7/32 = .21875	3/8 = .375	17/32 = .53125	11/16 = .6875	27/32 = .84375	1 = 1.
5/64 = .078125	15/64 = .234375	25/64 = .390625	35/64 = .546875	45/64 = .703125	55/64 = .859375	
3/32 = .09375	1/4 = .25	13/32 = .40625	9/16 = .5625	23/32 = .71875	7/8 = .875	
7/64 = .109375	17/64 = .265625	27/64 = .421875	37/64 = .578125	47/64 = .734375	57/64 = .890625	
1/8 = .125	9/32 = .28125	7/16 = .4375	19/32 = .59375	3/4 = .75	29/32 = .90625	
9/64 = .140625	19/64 = .296875	29/64 = .453125	39/64 = .609375	49/64 = .765625	59/64 = .921875	
5/32 = .15625	5/16 = .3125	15/32 = .46875	5/8 = .625	25/32 = .78125	15/16 = .9375	



**Elektromagnetisk strålning**
