

# Praktisk Ellära

**Reidar Gustavsson**

NORBO KraftTeknik AB  
[www.norbo.se](http://www.norbo.se)

Detta material befinner sig i “betastadiet” och utvecklas för att passa våra kurser.

Det är tänkt att användas som ett material i våra kurser i ellära samt ett repetitionsmaterial före övriga kurser.

Materialet får fritt användas i icke kommersiellt syfte av privatpersoner för egen fortbildning samt av kursdeltagare på kurser anordnade av NORBO KraftTeknik AB.

Materialet får **ej** användas av andra företag i kommersiellt syfte.

För ytterliggare upplysning var vänlig kontakta NORBO KraftTeknik AB:

[info@norbo.se](mailto:info@norbo.se)

0708-793397

**Ansvarig utgivare NORBO KraftTeknik AB**

**[www.norbo.se](http://www.norbo.se)**

**Tryckning ADT digitaltryck**

**[www.adttryck.nu](http://www.adttryck.nu)**

**Copyright NORBO KraftTeknik AB 2003-2007**

Första upplagan

## Likströmskretsar 5

SI-Systemet	6
Atomen	8
Elektrisk spänning	9
Elektrisk Ström	10
Resistans	12
Ohms lag	13
Ohm 's lag och mätteknik	14
Analog instrument	14
Ström	14
Spänning	14
Resistans	14
Digital instrument	15
Spänning	15
Ström	15
Resistans	15
Ledarresistans	16
Resistivitet	17
Resistivitetens Temperaturberoende	19
Seriekretsen	20
Spänningsdelning	22
Spänningspotential	23
Potentialdiagram	24
Parallellkretsen	25
Parallellkoppling av olika motstånd	27
Inre resistans	29
Elektrisk energi och effekt	31
Energi	31
Effekt	32

## Växelsströmskretsar 37

### 1-Fas Växelsström 38

- Frekvens och periodtid 38
- Momentanvärde 39
- Effektivvärde (RMS) 39
- Resistiva växelsströmskretsar 40
- Induktiva kretsar 41
  - Fasförskjutning 42
- Reaktans 43
  - Induktiv reaktans 43
  - kapacitiv reaktans 44

### Effekt i växelsströmskretsar 45

- Resistiv krets 45
- Induktiv krets 46
- Kapacitiv krets 48

### Impedans 49

- Seriekretsen 49
  - Beräkningsexempel 52
- Parallellkrets 53
- Sammansatt krets 55
- Faskompensering 56

### 3-fas växelsström 59

- Inledning 59

### Huvud- och fasspänning 60

- 0-Ledaren 62
- Y-D koppling 64
- Övriga Huvudspänningar 65
- Effekt i 3-fas system 66
  - Skenbar effekt 66
  - Aktiv effekt 66
  - Reaktiv effekt 66
- Faskompensering 3-fas 67

## Formelsamling 69

### Formelsamling DC 70

- Ohm 's lag 70
- Ledarresistans 70
- Resistans i seriekrets 71
- Resistans i parallellkrets 71
- Inre resistans 72
  - Pythagoras sats 74
  - Trigonometri 74

### Formelsamling AC 75

- Induktiv reaktans 75
- Kapacitiv reaktans 75
- Impedans (seriekrets) 75
- Impedans (parallellkrets) 76
- Tidskonstant 76
  - Kapacitiv 76
  - Induktiv 76

### 3-fas växelström 76

- Effekt i 3-fas system 77
- Transformatorberäkningar 77



# Kapitel 2

## Likströmskretsar

Vi skall i denna modul repetera valda delar av elläran för likström

- Ledarresistans
- Seriekretsen
- Parallellkretsen
- Inre resistans
- Effekt
- Motståndstyper



## SI-SYSTEMET

När vi skall utbyta information är det en fördel om vi använder samma språk. Detta är något som vi betraktar som en självklarhet. Men när vi önskar att utbyta information om fysikaliska skeenden och mätvärden har det inte alltid varit lika självklart. Det har förekommit ett antal olika system för att definiera våra måttenheter. Ett exempel är längdmåttet där vi har måttangivelser både i centimeter och tum.

Det finns ett internationellt system som kallas för SI-systemet som har utgivits av det internationella standardiseringsorganisationen ISO. Detta system är i dag internationellt accepterat och används i Sverige sedan 60-talet. Det består av 7 grundenheter och 2 supplementenheter. De övriga enheterna är härledda ur dessa 9 enheter.

Tabel 2.1

STORHET		ENHET	
Benämning	Beteckning	Benämning	Beteckning
Längd	l	meter	m
Massa	m	kilogram	kg
Tid	t	sekunder	s
Elektrisk ström	I	A	A
Temperatur	T	Kelvin	K
Ljusstyrka	I	candela	cd
Substansmängd	n	mol	mol

Tabel 2.2

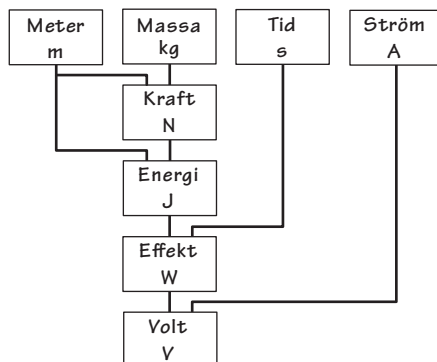
STORHET		ENHET	
Benämning	Beteckning	Benämning	Beteckning
Plan vinkel	$\beta$ (beta)	radian	rad
Rymdvinkel	$\Omega$ (omega)	steradian	sr





## Kapitel 2 Likströmskretsar

**Fig 2.1** Några samband mellan SI-storheter



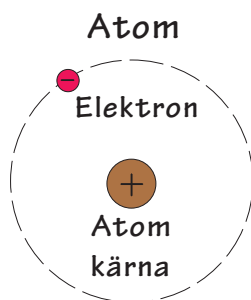
**Tabel 2.3**

STORHET		ENHET	
Benämning	Beteckning	Benämning	Beteckning
Frekvens	f	Hertz (Hz)	1/s
Kraft	F	Newton	[N] $\text{kg} \times \text{m}/\text{s}^2$
Tryck	p	Pascal	[Pa] $\text{N}/\text{m}^2$
Energi	W	Joule	[J] $\text{N} \times \text{m}$
Effekt	P	Watt	[W] J/s
Spänning	U	V	[V] W/Q
Motstånd	R	Ohm	[Ω] V/A
Laddning	Q	Coulumb	[C] A × s
Kapacitans	C	Farad	[F] C/V
Konductans	γ (gamma)	Siemens	[S] A/V
Magnetiskt flöde	Θ (teta)	Weber	[Wb] V × s
Magnetisk flödestäthet	B	Tesla	[T] Wb/m <sup>2</sup>
Induktans	L	Henry	[H] Wb/A
Temperatur (Celsius)	v, t	grader	[°C] K
Ljusflöde	F	lumen	[lm] cd × sr
Belysning	E	lux	[lx] lm/m <sup>2</sup>



## ATOMEN

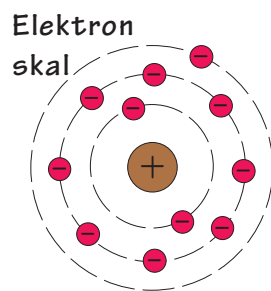
Fig 2.2



Den fysiska verkligheten som omger oss är uppbyggd av atomer. Men vi har inte en absolut kunskap om atomernas inre uppbyggnad. Här arbetar forskarna utifrån modeller och hypoteser som de försöker att bekräfta. Det betyder att vi inte kan ge en absolut entydig förklaring av vad magnetism och elektricitet är. Men det har ingen praktisk betydelse för vår dagliga användning av elektriciteten eftersom vi finner att alla modeller vi använder för att förutsäga och förklara faktiska skeenden är tillräckligt noggranna för våra behov.

Fig 2.2 visar en enkel bild av den minsta atomen vi har, väteatomen. Atomen kan förenklat beskrivas som bestående av en atomkärna omgiven av en eller flera elektroner. Väteatomen består av kärnan och en elektron. Kärnan är positivt laddad och elektronen är negativt laddad. Då den positiva och den negativa laddningen är lika stora medför detta att atomen är elektriskt neutral dvs laddningarna balanserar varandra

Fig 2.3



Om vi betraktar olika atomer finner vi att i takt med att atomens kärna ökar i storlek ökar även antalet elektroner som omger den, detta för att atomen skall fortsätta att vara elektriskt neutral. Då det finns en gräns för antalet elektroner som får röra sig på en och samma nivå runt en atomkärna kommer elektronerna att ordna sig i skal runt kärnan.

Fig 2.3 visar en atomkärna med flera elektronskal. Observera att det är atomens yttersta skal som bestämmer dess elektriska egenskaper. Om elektronerna i det yttre skalet är fast bundna till atomen kommer materialet att uppföra sig som en isolator t.ex. glas eller gummi. Men om elektronerna i det yttre skalet är löst bundna kan en elektron lätt vandra över till en närliggande atom, koppar är ett exempel på ett sådant material. Dessa material, som kan härbergera fria elektroner, kallar vi för ledare. Andra exempel på ledare är aluminium, silver, guld.

Detta är en synnerligen förenklad beskrivning, men den räcker för våra behov av att kunna beskriva skeenden i våra elektriska anläggningar. Om du vill få en större förståelse för skeenden i atomvärlden får du söka dig till fysikböckerna.

Elektronens massa är liten:  $m_e = 0,91 \times 10^{-30} \text{ kg}$

Dess laddning är också mycket liten:  $e = 0,16 \times 10^{-18} \text{ C}$



Vi kan ge en formell definition av dess laddning enligt SI-systemet:

Tabel 2.4

STORHET		ENHET	
Benämning	Beteckning	Benämning	Beteckning
Laddning	Q	Coulumb	[C] As

## ELEKTRISK SPÄNNING

Fig 2.4

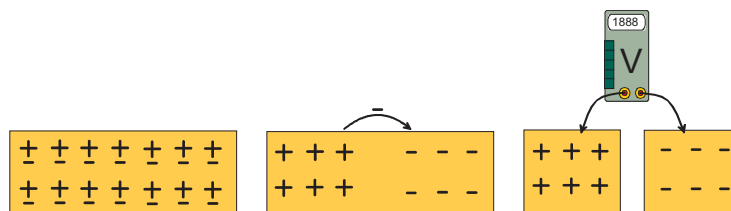


Fig 2.4 visar längst till vänster en kopparbit med jämn fördelning av elektroner. Om vi skulle förflytta en elektron från varje atom i en kopparbit från dess vänstra sida till dess högra får vi ett överskott av elektroner, (mittre figuren).

Observera att ovanstående figur endast är möjlig i teorins värld!

Vi klipper sedan isär kopparplåten för att isolera de två områdena från varandra, dvs vi har ett område med underskott på elektroner och ett med överskott på dessa. Som du säkert minns från fysiken kallas atomer med ett underskott på elektroner för joner. Detta underskott på elektroner medför att denna kopparbit uppvisar en positiv potential jämfört med den med elektronöverskottet. Denna potentialskillnad uppstår då de krafter som verkar i atomerna strävar efter att utjämna fördelningen av elektroner så att vi får en potentialfri värld. Om vi skall skapa potentialskillnader tvingas vi tydligen till att uträtta någon form av arbete då vi måste förflytta våra elektroner för att uppnå en potentialskillnad.

En elektrisk generator tillförs mekanisk energi som t.ex. vatten- eller vindkraft. Om vi vill lagra denna energi är vårt exempel med kopparbiten inget för det verkliga livet, där kan vi använda t. ex. ett batteri där vi på kemisk väg kan lagra energin tills vi behöver den.

## Elektrisk Ström



Potentialskillnaden kallar vi för elektrisk spänning. Definitionen av elektrisk spänning är följande:

*Om vi uträttar arbetet  $W$  när vi förflyttar laddningen  $Q$  från punkt 1 till punkt 2 blir spänningen mellan punkt 1 och 2 lika med:*

### Beräkning 2.1

$$U = \frac{W}{Q} = \frac{\text{Nm}}{\text{As}}$$

Den formella definitionen av spänning enligt SI-systemet:

Tabel 2.5

STORHET		ENHET	
Benämning	Beteckning	Benämning	Beteckning
Spänning	$U$	$V$	[V] W/Q

## ELEKTRISK STRÖM

Fig 2.5

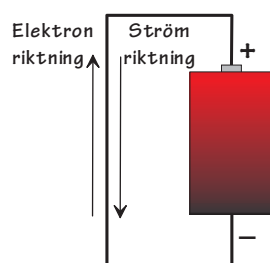


Fig 2.5 Visar ett batteri med en ledare ansluten mellan dess poler. När vi nu har slutit strömkretsen kommer vi att få en elektronvandring från batteriets negativa pol till dess positiva. Detta pågår så länge som batteriet uppvisar en potentialskillnad dvs en spänningsskillnad, mellan sina poler.

Observera att strömriktningen är motsatt elektronriktningen. Detta beror på att när man först definierade strömmen förstod man inte elektronernas roll i det hela och man valde att definiera den elektriska strömmen såsom flytandes från den positiva polen till den negativa.

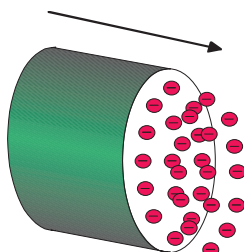
Det har ingen praktisk betydelse för vår hantering av elektriska kretsar men i fortsättningen när vi pratar om elektrisk ström menar vi att den flyter från plus till minus!



## Kapitel 2

### Likströmskretsar

Fig 2.6



Om vi betraktar ett tvärsnitt av en ledare då den genomflyts av en elektrisk ström "ser" vi att det passerar ett antal elektroner per tidsenhet. Observera att elektronerna inte rusar förbi utan rör sig förhållandevis sakta, bråkdelen av en millimeter per sekund.

Men verkan av strömmen är i princip omedelbar. Antalet elektroner per tidsenhet är en funktion av strömmens storlek.

Fig 2.6 visar ett tvärsnitt av en ledare som genomflyts av en ström. Du kan jämföra bilden med ett rör fullt med ärtor. Så fort du petar in en ny ärtä i ena änden ramlar en annan ut från andra änden. Ärtorna i röret har bara rört sig lite grand, men verkan av den instoppade ärtan var omedelbar. I verkliga livet begränsas dock hastigheten med vilken strömmen kan verka, ljusets hastighet är den absoluta maxhastigheten.

Dock är verkan i våra ledningar långsammare på grund av diverse fysikaliska orsaker. Denna hastighet kallas för våghastigheten.

Ljusets hastighet är ca 300 000 km/s. För en vanlig gummikabel är våghastigheten ca 0.7 ggr. ljusets hastighet.

1 A motsvaras rörelsen av  $6,242 \times 10^{18}$  elektroner per sekund.

Om laddningen  $Q$  passerar vårt tvärsnitt av ledaren på tiden  $t$  fås (Om  $Q$  är konstant under tiden  $t$ ):

#### Beräkning 2.2

$$I = \frac{Q}{t} \quad \frac{[As]}{[s]} = [A]$$

Den formella definitionen av ström enligt SI-systemet:

Tabel 2.6

STORHET		ENHET	
Benämning	Beteckning	Benämning	Beteckning
Elektrisk ström	$I$	Ae	$[A] \text{ A}$



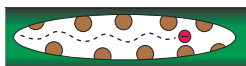
labb 1\_1

## Resistans



### RESISTANS

Fig 2.7



Då de fria elektronerna förflyttar sig i ledaren som förbinder strömkällans båda poler kommer de att kollidera med atomerna i ledaren. Om vår ledare endast innehåller ett mycket litet antal fria elektroner kommer det inte att finnas utrymme för en stor ström dvs ledaren uppvisar ett hinder mot vår elektriska ström. Om vi använder en ledare av koppar kommer vi att lätt kunna leda en ström genom den, då den innehåller många fria elektroner.

Som du enkelt kan inse är ledarens area av stor betydelse för strömmens storlek. Det betyder att en ledare med stor area leder en större ström jämfört med en ledare med mindre area vid en given spänning.

Vi kan jämföra detta med två vattenledningar som bägge matas med samma vattentryck. Vi inser att vattenströmmen ökar om vi ökar ledningens diameter och att även en ökning av vattentrycket kommer att öka vattenflödet.

Motståndet mot elektronförflyttning i vår ledare kallar vi för *resistans*.

Resistans definieras enligt följande:

Beräkning 2.3

$$R = \frac{U}{I} \quad \frac{[V]}{[A]} = [\Omega]$$

Den formella definitionen av Resistans enligt SI-systemet:

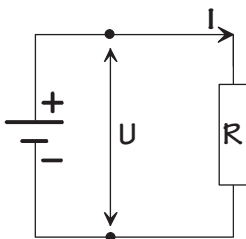
Tabel 2.7

STORHET		ENHET	
Benämning	Beteckning	Benämning	Beteckning
Resistans	R	Ohm	$[\Omega]$ V/A



## OHMS LAG

Fig 2.8



Vi skall nu undersöka Ohms lag närmare. Den är grunden för många av de framtida elberäkningar du kommer att utföra.

Om vi använder ett perfekt batteri, dvs utan några egna resistanser, kommer strömstorleken endast att bestämmas av batteriets spänning och ledarens resistans.

$$R = \frac{U}{I} = \frac{V}{A} = \Omega$$

Detta förhållande kan vi se om vi stuvor om ovanstående formel som gav oss definitionen av resistans:

### Beräkning 2.4

$$I = \frac{U}{R}$$

Fig 2.8 Visar en enkel krets med ett batteri och ett motstånd. Enligt ovanstående beräkning kommer den ström som flyter genom motståndet att bestämmas av förhållandet mellan spänning och resistans.

### Beräkning 2.5

$$U = I \times R$$

Vi kan givetvis stuva om formeln en gång till! Nu kan vi beräkna den spänning som driver en känd ström genom en känd resistans.

### Lär dig nedanstående samband:

Om vi dubblar spänningen för ett givet motstånd kommer även strömmen att fördubblas.

Halverar vi motståndets resistans vid en given spänning kommer strömmen att fördubblas.

Har du ovanstående samband klart för dig kommer du att enkelt kunna göra överslagsberäkningar för att verifiera dina beräkningar och mätresultat

Ohms lag är en formel  
som du bör lära dig utantill  
och verkligen förstå!

Den är tillämplig på  
nästan alla "elektriska"  
händelser som du  
kommer att  
stöta på.



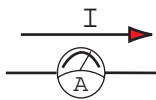
## Ohm's lag och mätteknik

Vi skall först undersöka hur vi kan mäta spänning och resistans med hjälp av ett instrument som mäter ström dvs ett analogt mätinstrument.

### Analoga instrument

#### Ström

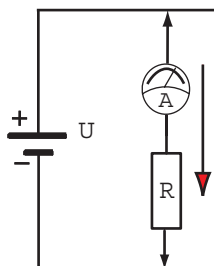
Fig 2.9



Vi börjar nu med att mäta ström och då använder vi helt enkelt ett instrument konstruerat för att mäta ström! I ett visarinstrument kan vi utnyttja den elektromagnetiska kraft som det magnetfält som utvecklas i en spole som genomflyts får utveckla mot en fast permanentmagnet. Spolen är rörlig och försed med en visare och belastas mekaniskt med en fjäder. Visarutslaget är då proportionerligt mot den ström som flyter genom vårt instrumentet.

#### Spänning

Fig 2.10

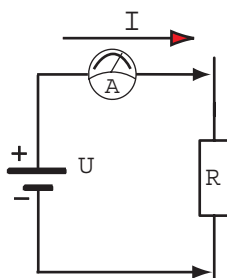


När vi mäter spänning använder vi det faktumet att strömmen är proportionerlig mot spänning och resistans. Om vi kopplar ett motstånd vars resistans vi känner, i serie med vår amperemätare, kan vi enkelt räkna om strömutslaget till ansluten spänning. Genom att variera storleken på resistansen kan vi mäta allt från små till stora spänningar. Formeln var:

$$U = R \times I$$

#### Resistans

Fig 2.11



När vi skall mäta resistans använder vi samma princip som när vi mätte spänning men vi vänder på "steken". Strömmen genom det motstånd vi önskar mäta resistansen för, är proportionerlig mot ansluten spänning. Om vi vet spänningen för batteriet kan vi enkelt räkna ut resistansen via strömmen:

$$R = \frac{U}{I}$$

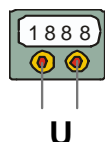




## Digitala instrument

### Spänning

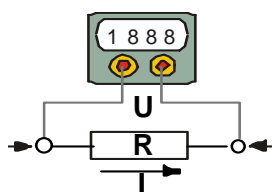
Fig 2.12



Dagens digitala mätinstrument är annorlunda uppbyggda än de analoga mätinstrumenten. Basfunktionen i de olika analoga instrumenten är strömmätning medan basfunktionen i de digitala är spänningsmätning. Det innebär att det digitala instrumentet har en grundläggande spänningsmättningsmodul dvs vi kan mäta spänningen direkt. Dock kan inte denna modul hantera stora inspänningar utan vi tvingas tillgripa en spänningsdelning via en seriekrets av resistorer, se "Spänningsdelning" på sidan 22.

### Ström

Fig 2.13

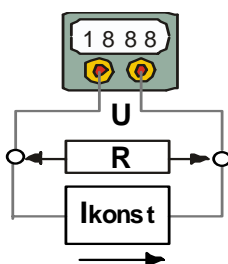


Vid strömmätning kan vi inte mäta strömmen direkt som vid användandet av den analoga strömmätaren. Här måste vi använda oss av ohms lag och det faktumet att ett motstånd som genomflyts av en ström uppvisar ett spänningsfall som är en funktion av resistans och strömstorlek. Om vi vet resistansens storlek och mäter spänningsfallet över motståndet blir strömmen:

$$I = \frac{U}{R}$$

### Resistans

Fig 2.14



Vid resistansmätning kopplas det motstånd vi önskar mäta till vårt mätinstrument. Detta är försett med en konstanströmsgenerator dvs en krets som justerar sin spänning så att det alltid flyter samma ström i kretsen. Genom att mäta spänningen över motståndet kan vi med hjälp av ohms lag beräkna resistansen då vi känner strömmen:

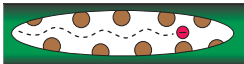
$$R = \frac{U}{I}$$





## LEDARRESISTANS

Fig 2.15



När elektronerna vandrar i en ledare kommer denna att värmas upp pga. kollisionerna mellan de fria elektronerna och de orörliga atomerna. Denna uppvärmning får till resultat att den elektriska energi omvandlas till värmeenergi i ledningen. Detta innebär att det uppstår energiförluster i ledningen och det är inte riktigt vad vi tänkt oss då ledningens uppgift är att transportera den elektriska energin till en last, t.ex. en glödlampa.

Alla ledare uppvisar förluster! Det betyder att vi måste minimera förlusterna genom att välja en ledare med ett material och en diameter som minimerar förlusterna.

Givetvis finns det en ekonomisk gräns för materialval och ledningsdiameter där det inte längre lönar sig att förbättra ledningens egenskaper i förhållande till de energimängder vi vill transportera.

Som vi har konstaterat uppvisar alla ledare ett motstånd mot elektrisk ström. Men motståndet är en funktion av ledarens material och dess temperatur. Om vi först endast betraktar vår ledare vid 20 grader Celsius finns det en enkel formel som beskriver sambandet mellan ledarens resistans och ledarmaterial, dess area och längd:

### Beräkning 2.6

$$R = \frac{\rho \times l}{a}$$

Där:  $R$  = Ledarens resistans i ohm

$\rho$  = Resistiviteten för materialet ( $\rho$ )

$l$  = Ledarens längd i meter

$a$  = Ledarens area i  $\text{mm}^2$

Enheten för resistivitet är:

$$1 \frac{\Omega \text{mm}^2}{\text{m}}$$

Dvs resistiviteten är resistansen i en given ledare med arean  $1 \text{ mm}^2$  och längden 1 m.



## Resistivitet

Resistiviteten varierar för olika material:

Aluminium	0.028
Bly	0.2
Koppar	0.017-0.018
Silver	0.016

Kopparens resistivitet varierar med dess renhet. I takt med att kopparn blir allt renare minskar dess resistivitet och därmed kan man även minska ledarens diameter för en given strömstyrka. Vi uppnår därmed en minskad kopparförbrukning och lättare kablar.

Fig 2.16

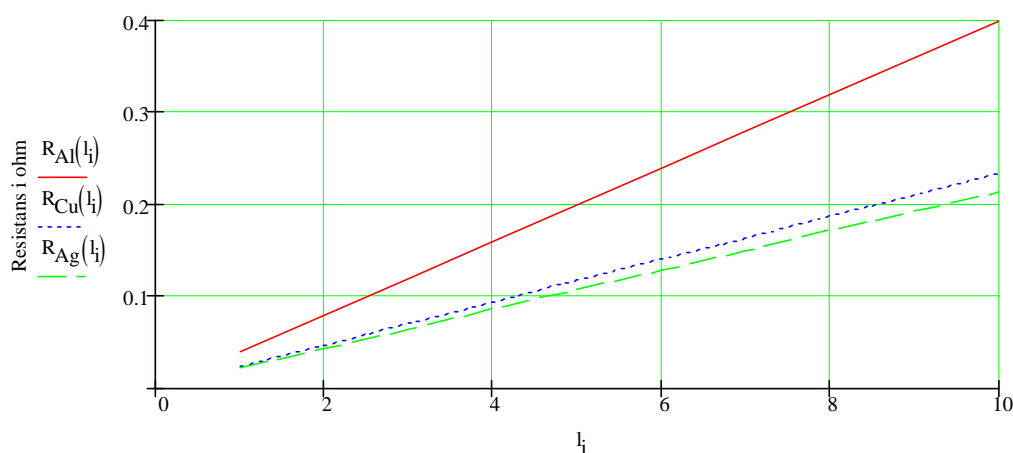


Fig 2.16 visar resistansen för tre olika ledningar, (samma diameter,  $1 \text{ mm}^2$ ) vid en varierande längd från 1 till 10 meter.

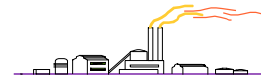
Al=Aluminium,  
Cu=Koppar,  
Ag=Silver.

Som du ser är inte resistansskillnaden mellan koppar- och silverledaren så stor. Prisskillnaden är dock betydligt större!

### Beräkning 2.7

Exempel: 10 meter EK 0.75, dvs en enkelledare med arean  $0.75 \text{ mm}^2$  ger en resistans av:

$$R = \frac{\rho \times l}{a} = \frac{0,0175 \times 10}{0,75} \approx 0,23 \Omega$$



Samma ledningsdimensioner men av aluminium ger:

**Beräkning 2.8**

$$R = \frac{\rho \times l}{a} = \frac{0,028 \times 10}{0,75} \approx 0,37 \Omega$$

Om vi vill att aluminiumledaren skall uppvisa samma resistans som kopparledaren måste vi öka aluminiumledarens diameter med ca  $1 \text{ mm}^2$

**Beräkning 2.9:**

Vilken resistans uppvisar en 50 meter lång aluminiumledare med en area av  $2 \text{ mm}^2$ ?

$$R = \frac{\rho \times l}{a} = \frac{0,028 \times 50}{2} = 0,7 \Omega$$

**Beräkning 2.10**

Vi skall dra en 200 meter lång ledare. Då vi skall leda en stor ström genom ledare vill vi att dess resistans är maximalt  $0,2 \text{ ohm}$ . Vilken area måste vår ledare uppvisa?

Se Beräkning 2.8

$$R = \frac{\rho \times l}{a} \text{ då vi söker diametern löser vi ut A: } a = \frac{\rho \times l}{R}$$

$$a = \frac{\rho \times l}{R} = \frac{0,0175 \times 200}{0,2} = 17,5 \text{ mm}^2$$

**Repetitionsfråga 2.1**

Om vi skall dra en matningsledning av koppar som skall vara 100 meter, till en last som drar en ström av  $100 \text{ A}$  och vi accepterar endast ett spänningsfall av  $1,5 \text{ V}$ , hur stor måste ledararean vara?

**Repetitionsfråga 2.2**

Hur stor måste ledarens area vara om vi i föregående fråga väljer att använda en ledare av aluminium?



Labb 1:3



## Resistivitetens Temperaturberoende

För att kunna bestämma resistansen vid en viss temperatur måste vi definiera hur  $\rho_0$  beror av temperaturen:

$$\rho = \rho_0(1 + \alpha t)$$

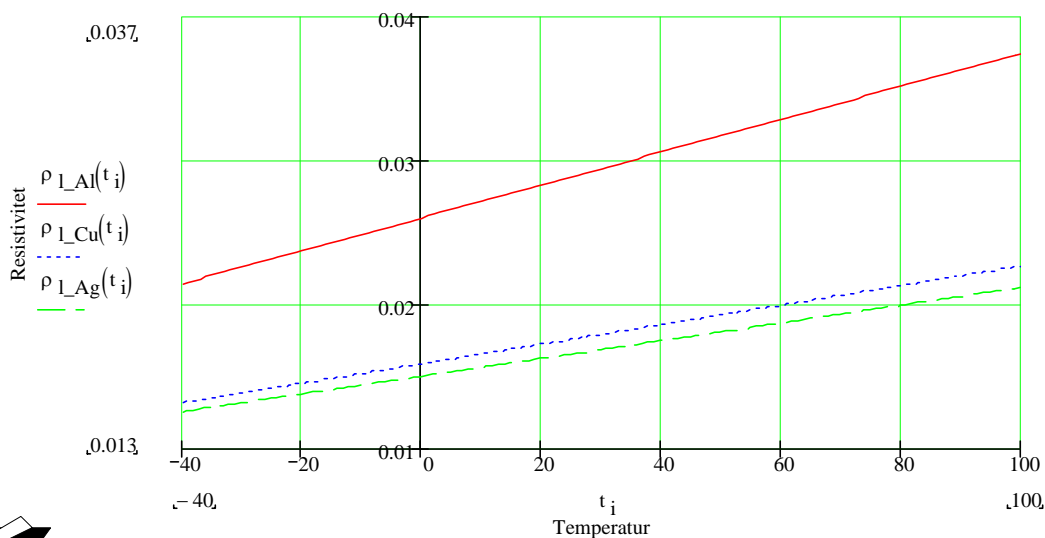
Där:  $\rho_0$  = Ledarens resistivitet vid 0°C  
 $\alpha$  = Temperaturkoefficient vid 0°C  
 $t$  = Den temperatur vi söker

Aluminium	$\rho_0 = 0,026$	$\alpha = 4,39 \times 10^{-3}$
Bly	$\rho_0 = 0,203$	$\alpha = 4,19 \times 10^{-3}$
Koppar	$\rho_0 = 0,01588$	$\alpha = 4,27 \times 10^{-3}$
Silver	$\rho_0 = 0,015$	$\alpha = 4,11 \times 10^{-3}$

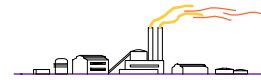
Vi använder inte temperaturberäkningarna så ofta men de är bra att känna till. Vi kan lätt bli lurade om vi dimensionerar matningen för en viss maskin utifrån "kalla" värden och om arbetstemperaturen är 75 grader. Ett exempel är fältlindningen för en likströmsmaskin som kan uppvisa stora temperaturvariationer och därmed stora resistansvariationer.

Nedanstående figur visar resistiviteten för några olika metaller som en funktion av temperaturen. (Aluminium, koppar och silver).

Fig 2.17

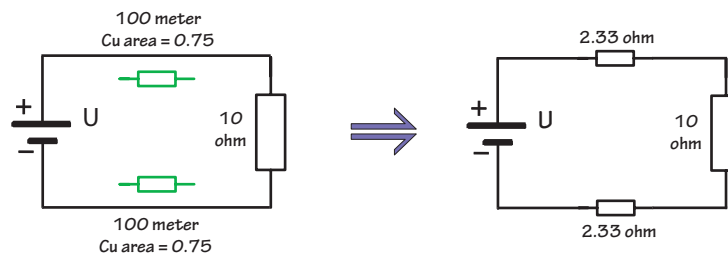


Lab 1:4



## SERIEKRETSEN

Fig 2.18



Seriekretsen uppstår automatiskt när vi ansluter en last till en spänningskälla via en ledare, se Fig 2.18.

De ledare som ansluter lasten till matningen uppvisar en resistans som är en funktion av längd, area och materialval (nu antar vi att temperaturen alltid är 20 grader om inget annat anges). Om vi nu beräknar resistansen i de två ledarna och sätter in dessa som två motstånd så kan vi sedan analysera kretsen vidare. Resistansen för respektive ledare blir:

**Beräkning 2.11**

$$R = \frac{\varphi \times l}{a} = \frac{0,0175 \times 100}{0,75} = 2,33\Omega$$

Högra delen i figuren visar de ingående resistanserna i vår krets.

Vår tanke var att lasten behöver 1 A för att utföra det arbete vi önskar, det kan t.ex. vara ett värmeelement. Enligt Ohms lag kräver en resistans av  $10\Omega$  en spänning av 10 V för att driva en ström av 1 A genom motståndet:

**Beräkning 2.12**

$$I = \frac{U}{R} \text{ Vi stuvlar grundformeln:}$$

$$U = R \times I = 10\Omega \times 1A = 10V$$

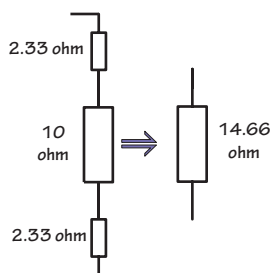
Men observera att denna beräkning inte stämmer längre! Om vi önskar att lasten skall genomflytas av en ström på 1 A då den sammanlagda resistansen i seriekretsen överstiger  $10\Omega$  måste vi tydligen höja spänningen!

Men hur mycket måste vi höja spänningen?



## Kapitel 2 Likströmskretsar

**Fig 2.19**



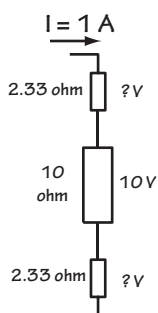
Vi beräkna den totala resistansen i vår krets. Alla resistorer är kopplade i serie, därmed genomflyts alla av samma ström. Dvs vi kan helt enkelt addera de tre resistansvärdena:

**Beräkning 2.13 se Fig 2.19**

$$2,33 + 10 + 2,33 = 14,66\Omega$$

Fig 2.19 visar att de tre resistorerna kan ersättas med en resistor som motsvarar den totala resistansen. Vad skall vi då höja vår matningsspänning med för att driva en ström av 1 A genom kretsen? Vi får använda oss av Ohms lag igen. Vi önskar en ström av 1 A i en resistans av 14.66 ohm:

**Fig 2.20**



**Beräkning 2.14**

$$U = R \times I = 14,66\Omega \times 1\text{ A} = 14,66\text{ V}$$

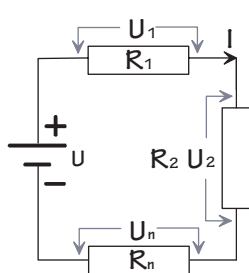
Vi måste uppenbarligen mata vår krets med 14.66 V för att vår last skall genomflytas av en ström av 1 A. Den enkla matematiken berättar för oss att om vi vill få en ström av 1 A att flyta genom en resistor av 10  $\Omega$  måste spänningen över den vara 10 V, se Fig 2.20! Men då vi nu matar kretsen med 14.66 V måste det betyda att det uppstår ett spänningsfall på vägen till vår last. Om vi använder oss av Ohms lag ser vi att spänningsfallet är strömmen gånger värdet på den resistans den genomflyter. Det betyder att spänningsfallet över de två resistorerna på 2.33  $\Omega$  måste vara lika med:

**Beräkning 2.15**

$$2,33\Omega \times 1\text{ A} = 2,33\text{ V} \text{ för varje resistor, totalt } 4,66\text{ V.}$$

Det är också lätt att inse att summan av spänningsfallen över de tre resistorerna måste vara lika med den anslutna matningsspänningen

**Fig 2.21**



### Sammanfattning av seriekretsen

Om vi seriekopplar två eller flera motstånd kommer den resulterande resistansen i kretsen att bli lika med summan av alla i kretsen ingående resistanser:

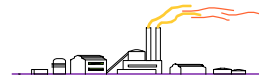
**Beräkning 2.16**

$$R_{\text{tot}} = R_1 + R_2 + R_n$$

Summan av alla delspänningsfall över anslutna motstånd är lika med matningsspänningen. Spänningsfallet över enskilt motstånd är lika med dess resistans gånger genomfluten ström.



Lab 1:5



## Spänningsdelning

Vi skall nu undersöka närmare hur vi kan använda ett antal resistorer för att erhålla flera olika spänningar utifrån en spänningsmatning

Fig 2.22

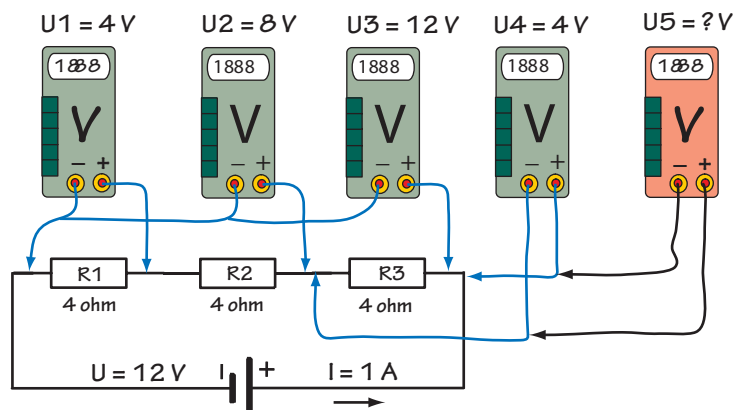


Fig 2.22 visar en seriekrets bestående av tre lika stora motstånd. Då den totala resistansen i kretsen är lika med  $12\ \Omega$  och matningsspänningen är  $12\text{ V}$  ser vi att den totala strömmen i krets är  $1\text{ A}$ . Då strömmen är  $1\text{ A}$  och resistansen för varje motstånd är lika med  $4\ \Omega$  betyder det att spänningen över varje motstånd måste vara  $4\text{ V}$ . Detta bekräftas av den fjärde voltmätaren,  $U_4$  vilken mäter över det högra motståndet. Om vi då utgår från den vänstra anslutningspunkten ser vi att vi kan erhålla följande spänningar i kretsen:  $4$ ,  $8$  och  $12\text{ V}$  (mätt med de tre första voltmätarna).

Om du känner dig osäker på detta påstående kan du beräkna spänningsfallet över varje motstånd med Ohms lag.

### Repetitionsfråga 2.3

Är du klar över varför den tredje och fjärde voltmätaren,  $U_3$  och  $U_4$ , visar olika resultat fast de verkar att mäta över samma motstånd vid en snabb betraktelse. Titta gärna en gång till!

### Repetitionsfråga 2.4

Men vad kommer voltmätaren längs till höger,  $U_5$  att visa? Undersök hur den är kopplad och var uppmärksam på polariteten på de olika voltmätarna



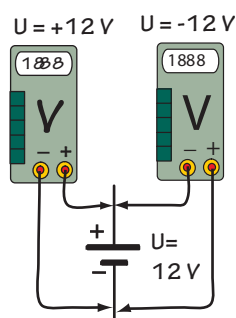




## SPÄNNINGSPOTENTIAL

Den sista repetitionsfrågan, se Repetitionsfråga 2.4 är lite besvärlig. Voltmätaren kommer givetvis att visa 4 V men den visar -4 V. Det är om skillnaden mellan tredje och fjärde volmätarens mätresultat som detta stycke skall handla.

Fig 2.23



När vi mäter spänning i en krets mäter vi potentialskillnaden mellan två punkter i kretsen. Vi märker vårt mätinstrument med en positiv och en negativ mätanslutning. Vi använder den negativa mätpunkten som referens när vi mäter. Det betyder att om mätaren visar en positiv spänning är den positiva ledaren från instrumentet ansluten till en mätpunkt som uppvisar en högre spänningspotential än den negativa ledaren

Om du studerar Fig 2.23 ser du att vi mäter ett batteri som lämnar 12 V. Vi mäter med två mätinstrument. Bägge visar en spänning av 12 V men det vänstra visar +12 V och det högra -12 V.

Om du studerar instrumenten i figuren ser du att instrumentens anslutningar är omkastade. Därav följer den motsatta polariteten!

Fig 2.24

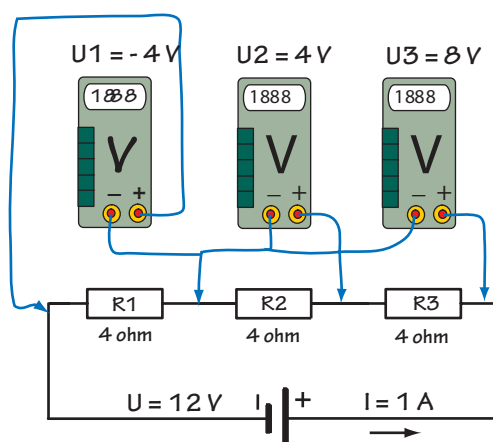


Fig 2.24 känner du igen sedan tidigare figurer. Vi har nu bestämt oss för att kopplingspunkten mellan R1 och R2 är vår referenspunkt dvs den punkt vi använder för att mäta alla andra punkters spänningspotential mot. Observera att spänningen över kretsen, U, är som tidigare 12 V.

## Spänningspotential Potentialdiagram



Spänningen  $U_2$  är 4 V i förhållande till referenspunkten. Det verkar rimligt då vi mäter över en resistans på  $4\ \Omega$  som genomflyts av en ström på 1 A. Spänningen  $U_2$  är 8 V.

Spänningen  $U_1$  är -4 V. Då  $R_1$  genomflyts av en ström på 1 A är det en riktig mätning av spänningsnivån. Då strömmen flyter från höger till vänster i kretsen betyder det att alla resistorer har en positiv spänningspotential på sin högra sida jämfört med den vänstra sidan. Jämför med definitionen av strömriktningen, strömmen flyter från den positiva potentialen till den negativa.

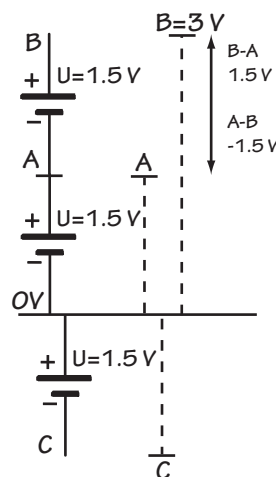
Då vi har kopplat instrumentet med vilket vi mäter  $U_1$  så att dess referensgång dvs den negativa anslutningen är ansluten till  $R_3$ 's högra sida kommer det givetvis att visa att dess positiva ingång befinner sig på en lägre potential. Därav det negativa förtecknet.

### Repetitionsfråga 2.5

Vad händer med de uppmätta spänningarna i Fig 2.24 om vi byter riktning på den matande strömmen, dvs vad förändras?

## Potentialdiagram

Fig 2.25



Vi kan välja att betrakta spänningarna i en krets med hjälp av ett potentialdiagram, se Fig 2.25.

I ett sådant diagram anger vi en spännings storlek med hjälp av staplar vars längd anger respektive spänning. Staplarna A och B anger spänningen för de två spänningsnivåerna vi erhåller via våra batterier. Vi kan nu helt enkelt mäta stapelns längd och sedan beräkna aktuell spänning utifrån den skalning vi använder dvs antal V per centimeter.

I detta system anger en stapel som sträcker sig uppåt från referenslinjen en positiv spänning, jämför batteri A och stapel A. Därmed är det lättare att hålla reda på vad som verkligen är positiva eller negativa potentialer, oberoende av hur kretsen är ritad.

Observera att följderna av indexbokstäverna anger hur vi kopplar vårt mätinstrument dvs om vi skriver A-B betyder det att vi ansluter instrumentets positiva anslutning till punkten A och den negativa till punkten B. Om vi skriver B-A har vi skiftat instrumentets anslutningar och polariteten på den uppmätta spänningen skiftar också.



Fig 2.26

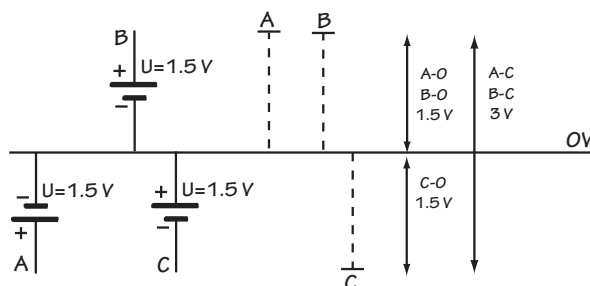


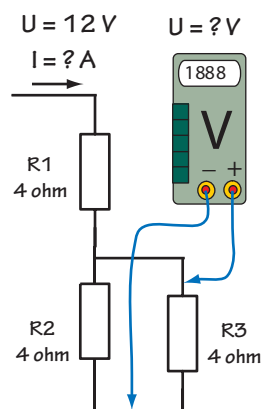
Fig 2.26 visar hur vi med hjälp av staplarna kan reda ut spänningspotentialerna i kretsen. Vi ser direkt att spänningspotentialen mellan punkt A och B är 0 V. Diagrammet hjälper oss även att se skillnaden på spänningspotentialen mellan punkt A och C vilket inte är så enkelt om vi bara betraktar batterierna.



Lab 1:7-8

## PARALLELLKRETSEN

Fig 2.27



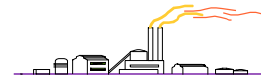
I detta avsnitt undersöker vi kretsar med parallellkopplade resistorer.

Som du minns från avsnittet om spänningsdelning kan vi använda ett antal seriekopplade resistorer för att åstadkomma en ny spänning utifrån en given. Om vi betraktar Fig 2.27 ser vi en spänningsdelare som består av R1-R2. Då motståndet uppvisar samma resistans inser vi att spänningen i kopplingspunkten mellan R1-R2 måste bli halva matningsspänningen dvs 6 V!

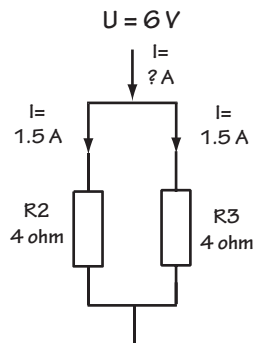
Men då har vi inte tagit hänsyn till motståndet R3's inverkan på vår krets. Då vi ansluter R3 till vår krets kommer det att flyta en ström genom R3, eftersom det ansluts till en krets som har en spänningskillnad mellan R3 anslutningspunkter. Men var kommer den ström ifrån som genomflyter R3?

Innan vi anslöt R3 var strömmen i kretsen 1.5 A. När vi ansluter R3 kommer det att genomflytas av en ström som tas från den gemensamma matningspunkten. Det betyder att strömmen genom R1 måste öka. Men en ökad ström genom R1 medför, enligt Ohms lag, att spänningsfallet över R1 ökar. Det måste få till följd att spänningen i kopplingspunkten mellan R1-R2 nu är lägre än de 6 V vi kunde mäta tidigare.

## Parallellkretsen Potentialdiagram



**Fig 2.28**



Vår enkla seriekrets är nu plötsligt inte så enkel längre. För att vi skall förstå vad som sker i kretsen förenklar vi den och studerar först de två parallellkopplade resistorena R2-R3 dvs R2 och R3 i Fig 2.27 återfinns i Fig 2.28.

Om vi ansluter en spänning av 6 V över resistorerna inser vi att samma spänning ligger över bägge resistorerna. Strömmen genom respektive resistor blir enligt Ohms lag:

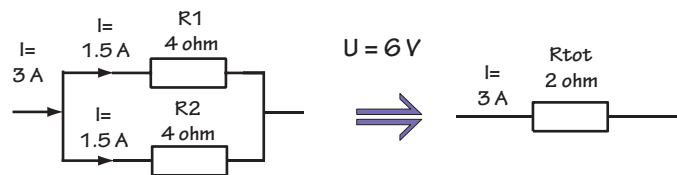
**Beräkning 2.17**

$$I = \frac{U}{R} = \frac{6}{4} = 1,5 \text{ A}$$

Men vad blir den totala strömmen?

Om vi betraktar kretsen inser vi att den totala ström kretsen genomflyts av måste vara lika med summan av de två strömmar R2-R3 genomflyts av! Den totala ström som vår krets drar från den anslutna matningen är 3 A.

**Fig 2.29**



Om vi funderar på vad en ström av 3 A vid en matning av 6 V säger oss inser vi att, om vi sätter in dessa värden i Ohms lag, vi kan beräkna den resistans som genomflyts av strömmen:

**Beräkning 2.18**

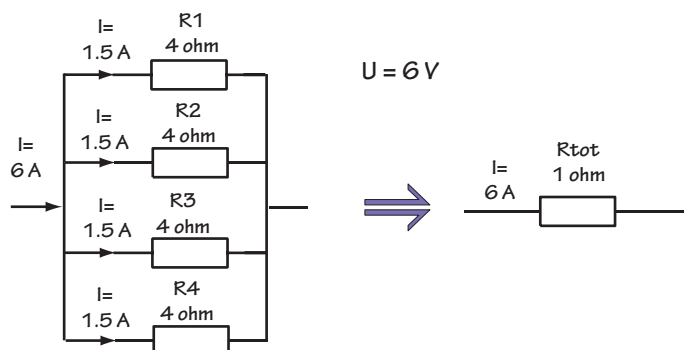
$$R = \frac{U}{I} = \frac{6}{3} = 2 \Omega$$

Men vad är sambandet mellan denna beräknade resistans och de vi ser i Fig 2.28? Den resistans vi beräknade till  $2 \Omega$  är helt enkelt det motstånd med vilken vi kan ersätta R2-R3 med i vår krets och ändå dra samma ström från matningen, se Fig 2.29. Du känner igen resonemanget från våra diskussioner om ersättningsresistans i avsnittet om seriekretsen.



Om vi parallellkopplar 4 resistorer med en resistans på respektive 4  $\Omega$  styck mot en matning på 6 V, hur stor kommer då summaströmmen i kretsen att bli och hur stor blir ersättningsresistor:

Fig 2.30



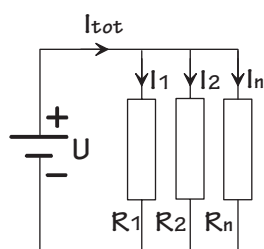
I Fig 2.30 ser du en parallellkoppling bestående av fyra motstånd med samma resistans och kretsens ersättningsmotstånd.

Vi kan nog utan större problem ana att den resulterande resistansen bör bli en fjärdedel av de enskilda resistansernas värde. Därmed är det inte heller svårt att se att strömmen givetvis är 6 V vid en matning av 6 V.

Det kan synas primitivt att ägna sig åt denna typ av överslagsberäkningar. I det praktiska yrkeslivet har de en given plats för att göra grova överslagsberäkningar för att bekräfta olika typer av mätningar och dimensioneringar som utförs. Det är tyvärr mer än ett projekt som har fått problem på grund av ett felplacerat decimalkomma!

## Parallellkoppling av olika motstånd

Fig 2.31



Summaströmmen  $I_{tot}$  är lika med summan av alla grenströmmar. Vi kan ersätta de parallellkopplade motstånden med ett ersättningsmotstånd som drar lika mycket ström som  $I_{tot}$ . Dess resistans blir:

**Beräkning 2.19** Två eller flera parallellkopplade motstånd med lika resistans

$$R_{tot} = \frac{R_n}{n}$$

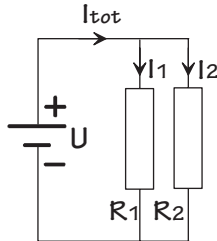
Där:  $n$  är antalet parallellkopplade resistorer  
 $R_n$  är resistansen för ett av motstånden

## Parallellkretsen

### Parallellkoppling av olika motstånd



Fig 2.32



Om vi sammankopplar två stycken motstånd i parallell med olika resistanser vad blir den resulterande resistansen för denna krets?

Vi kan koppla upp kretsen och mäta dess totala ström, och med hjälp av Ohms lag beräkna kretsens resulterande resistans. Men vi kan givetvis även beräkna kretsens ersättningsresistans:

**Beräkning 2.20** Två parallellkopplade motstånd med olika resistanser

$$R_{\text{tot}} = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2} \quad \text{Där } R_1 \text{ och } R_2 \text{ är resistanserna för motstånden.}$$

Fig 2.33

**Beräkning 2.21** Ett obegränsat antal motstånd med valfria resistanser

$$\frac{1}{R_{\text{tot}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_n} + \dots$$

### Beräkningsexempel

Vi har parallellkopplat 7 stycken motstånd på 1.2 k $\Omega$ , vad blir den resulterande resistansen?

**Beräkning 2.22**

$$R = \frac{1200\Omega}{7} \approx 171,4\Omega$$

Vi parallellkopplar två motstånd på 130 och 220  $\Omega$ , vad blir den resulterande resistansen?

**Beräkning 2.23**

$$R = \frac{130\Omega \times 220\Omega}{130\Omega + 220\Omega} \approx 81,7\Omega$$

Vi parallellkopplar fem motstånd med följande resistanser 500, 350, 600, 120, samt 1200  $\Omega$ . Vad blir den resulterande resistansen?

**Beräkning 2.24**

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{500\Omega} + \frac{1}{350\Omega} + \frac{1}{600\Omega} + \frac{1}{120\Omega} + \frac{1}{1200\Omega} = \frac{1}{0,01569\Omega} \approx 63,7\Omega$$

Vid parallellkoppling av motstånd blir alltid kretsens sammanlagda resistans mindre än den minsta resistans som ingår i kretsen



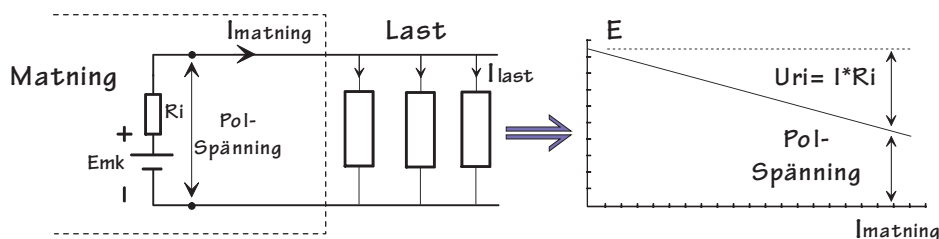
labb 1:9-10  
Beräkning 1:2



## INRE RESISTANS

Vi har hittills studerat lasterna och matningsledarnas resistanser och dess betydelse för lastströmmarna. Vi skall nu undersöka spänningsmatningens resistans och dess betydelse för spänningen över lasten.

Fig 2.34



Alla spänningskällor uppvisar en egen, inre resistans. Det gäller både batterier och generatorer.

Fig 2.34 visar en enkel modell över ett batteri och några belastningar anslutna över batteriet. Utifrån våra övriga diskussioner om resistans inser vi att det uppstår ett spänningsfall över ett motstånd som genomflyts av en ström. Det betyder att när vi belastar batteriet i figuren kommer vi att få ett spänningsfall över dess inre resistans,  $R_i$ , som är en funktion av strömmens och resistansens storlek. (Om du återvänder till Fig 2.27, sidan 25 känner du igen ovanstående koppling).

Spänningsfallet över den inre resistansen medför att spänningen över lasten kommer att minska i takt med att lastströmmen ökar!

Om vi har en last som kräver en stor lastström måste vi välja en spänningskälla med låg inre resistans om vi vill försäkra oss om att spänningsfallet blir lågt. I vår batterimodell har vi använt bokstaven  $E$  för att ange batteriets inre spänning.  $E$  står för *Elektromotorisk kraft*. Vi kan mäta batteriets inre spänning, dess  $Emk$ , när batteriet är obelastat.

Som du ser i grafen kommer spänningsfallet över den inre resistansen,  $U_r$  att öka i takt med att lastströmmen ökar dvs polspänningen kommer att minska. Med polspänning menar vi den spänning vi mäter över batteriets poler. Vi har anslutit lasterna parallellt över det matande batteriet. Detta är den vanligaste anslutningen av laster i kraftsammanhang. Då lasterna kan variera mycket krävs det att matningens inre resistans är liten i förhållande till belastningens lägsta möjliga resistans. Detta för att minimera polspänningens variation när lasten varierar

## Inre resistans

### Parallellkoppling av olika motstånd



#### Beräkning 2.25

Vi kan enkelt beräkna det inre spänningsfallet över  $R_i$  för en given belastningsström. Vi antar följande värden:

$$E_{mk} = 12 \text{ V}$$

$$U = 11.3 \text{ V}$$

$$R_y = 1.2 \text{ } \Omega$$

$$I_{ry} = 10 \text{ A}$$

Fig 2.35

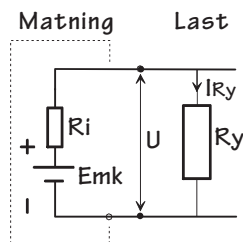


Fig 2.35 visar kretsen. Dessa värden talar om för oss att  $E_{mk}$ -spänningen är 12 V. När vi ansluter en given last till batteriet sjunker polspänningen  $U$  till 11.3 V.

Vad är då  $R_i$ ?

Först beräknar vi spänningsfallet över den inre resistansen  $R_i$ :

$$U_{R_i} = E_{mk} - U = 0.7 \text{ V}$$

Lastströmmen var 10 A. Med hjälp av Ohms lag kan vi nu beräkna batteriets inre resistans:

$$R_i = \frac{E_{mk} - U}{I_{R_y}} = \frac{0.7 \text{ V}}{10 \text{ A}} = 0.07 \text{ } \Omega$$

Batteriets inre resistans är 0.07 ohm.

#### Beräkning 2.26

Men vi kan även beräkna den inre resistansen i matningskällan genom att mäta  $E_{mk}$ 'n och polspänningen  $U$  och sedan använda en lämplig formel. Vi antar att kretsen har följande data:

$$E_{mk} = 24 \text{ V}$$

$$U = 21.3 \text{ V}$$

$$R_y = 1.2 \text{ } \Omega$$

$$R_i = \frac{R_y(E - U)}{U} = \frac{1.2(24 - 21.3)}{21.3} \approx 0.15 \text{ } \Omega$$

Matningskällans inre resistans är 0.15  $\Omega$ .



Labb 1:11

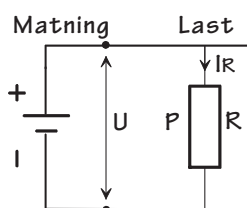




## ELEKTRISK ENERGI OCH EFFEKT

### Energi

Fig 2.36



Det åtgår alltid energi när ett arbete uträttas! Detta oberoende om det handlar om att sända en raket till månen eller tända en lampa för att lysa upp ett mörkt rum.

Fig 2.36 visar en enkel elektrisk krets. Vi antar att motståndets uppgift är att värma upp en kastrull med vatten dvs motståndet är värmespiralen i en elektrisk kokplatta. När vi talade om resistans i kapitel 2 nämnde vi att det var friktionen mellan de fria elektronerna och de fasta atomerna som bestämde ett materials specifika resistans. Men som all friktion kommer denna friktion även att ge upphov till värme. Desto fler elektroner som passerar genom ledaren per tidsenhet desto högre blir ledarens temperatur dvs i takt med att strömmen ökar genom en ledare ökar även dess temperatur. Detta är ett fenomen vi utnyttjar när vi vill omvandla elektrisk energi till värme, som t.ex. i en kokplatta, eller till ljus i en glödlampa. I glödlampan använder vi en ström av lämplig storlek som får glödtråden att bli så varm att den börjar att glöda och därmed avge synligt ljus förutom värme. Skulle vi använda en för stor ström skulle glödtråden brinna av pga den höga temperaturen. Då strömmen genom ett motstånd styrs av spänningen över motståndet kan vi definiera energi enligt följande:

$$\text{Energi} = \text{spänning} \times \text{ström} \times \text{tid}$$

Vi får inte glömma bort tiden! Desto längre en lampa lyser, desto mer energi förbrukar den! Enheten för tid,  $t$ , som vi använder vid energiberäkningar är sekund. Energi betecknas  $W$  och mäts i wattsekund  $Ws$  eller Joule  $J$  eller newtonmeter  $Nm$ . Den formella definitionen av energi enligt SI-systemet:  $W = U \times I \times t$

Tabel 2.8

STORHET		ENHET	
Benämning	Beteckning	Benämning	Beteckning
Energi	$W$	joule	$[J] N \times m$

Om strömmen 1 A vid spänningen 1 V flyter genom ett motstånd under tiden 1 sekund har vi förbrukat en energimängd som motsvarar en Joule eller en wattsekund.



## Effekt

Effekt är ett mått på hur mycket energi som förbrukas per tidsenhet

Om vi uträttar ett arbete på kortare tid än tidigare förbrukar vi samma energimängd men utvecklar en högre effekt

Med effekt menar vi den energi som en apparat kan förbruka (eller egentligen avge) per sekund. Det betyder att ju högre effekt en värmeplatta är märkt med desto mer värmeenergi avger den per tidsenhet.

Vi kan även konstatera att desto snabbare vi vill få ett arbete utfört desto högre måste effektutvecklingen vara dvs om vi vill få en liter vatten att koka på en kortare tid än tidigare måste vi öka kokplattans effekt jämfört med det tidigare försöket. Därmed har vi ökat energiförbrukningen per tidsenhet, t.ex. per sekund. Om vi uttrycker oss lite ovetenskapligt kan vi säga att vi kan få ett arbete utfört på kortare tid genom att använda högre effekt.

Fig 2.37

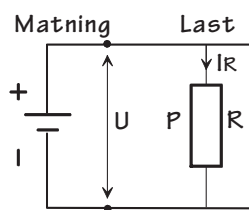


Fig 2.37 visar vår enkla elektriska krets. Vi kan nu även konstatera att vi måste ta hänsyn till motståndets förmåga att utveckla effekt när vi dimensionerar kretsen.

Effekten  $P$  är den energi som ett motstånd, eller en annan komponent kan utveckla per sekund. Om vi försöker att höja den effekt som komponenten utvecklar är risken stor att komponenten förstörs. Denna effekt som är specifik för en komponent kallas för komponentens märkeffekt. Effekten betecknas  $P$  och mäts i watt,  $W$ . Det är mycket lätt att förväxla  $W$  som är beteckningen för energi och som även används förkortning av watt. Tyvärr används samma bokstav till olika ändamål.

Den formella definitionen av effekt enligt SI-systemet är:

$$P = \frac{W}{t} \text{ eller } [W] = \frac{[J]}{[s]}$$

Tabel 2.9

STORHET		ENHET	
Benämning	Beteckning	Benämning	Beteckning
Effekt	$P$	Watt	$[W] \text{ J/s}$



**Beräkning 2.27**

Då  $W = U \times I \times t$  och  $P = \frac{W}{t}$  får vi följande uttryck för effekten:  $P = U \times I$

Ovanstående talar om för oss att om vi multiplicerar spänningen över en last med den ström den genomflyts av kan vi beräkna den effekt som lasten utvecklar

**Ex:** Ett motstånd med spänningen 10 V ansluten genomflyts av en ström på 1 A utvecklar en effekt av 10 W.

**Beräkningsexempel.**

Batteriets spänning i Fig 2.37 är 9 V och motståndets resistans är  $18 \Omega$ . Hur stor är den effekt som utvecklas i motståndet?

Vi konstaterade tidigare att  $P = U \times I$ . Men då vi saknar uppgifter på strömmens storlek kan vi inte använda formeln direkt, vi måste först beräkna strömmen:

$$I = \frac{U}{R} = \frac{9}{18} = 0,5 \text{ A} \text{ Därefter kan vi beräkna:}$$

$$P = 9 \times 0,5 = 4,5 \text{ W}$$

Vi kan även direkt beräkna effektutvecklingen i motståndet utifrån informationen om ansluten spänning och resistans. Om vi återvänder till grundformeln för effekt:  $P = U \times I$  ser vi att det är information om strömmens storlek vi saknar bland ursprungsinformationen. Vi beräknade strömmens storlek med hjälp av Ohms lag. Om vi byter ut  $I$  mot vad som krävs för att beräkna lastströmmen i ovanstående formel får vi följande formel:

$$P = U \times I \Rightarrow P = U \times \frac{U}{R} \Rightarrow P = \frac{U^2}{R} \text{ och därmed får vi:}$$

$$P = \frac{9^2}{18} = 4,5 \text{ W}$$

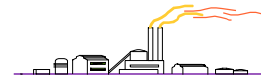
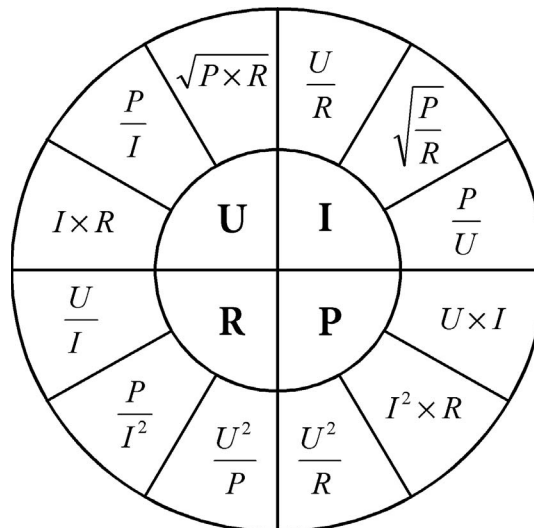


Fig 2.38



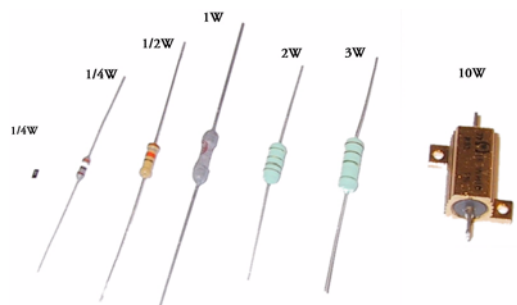
Som vi kunde konstatera på föregående sida kan vi stuva om formelerna för Ohms lag och formeln för effektberäkning för att anpassa dessa till de uppgifter vi har tillgängliga.

Fig 2.38 visar en sammanställning av de möjliga kombinationerna, en så kallad lathund. Som du kan se i kvadranten för effekt har vi tre möjliga kombinationer för att kunna beräkna effekt. Det är en god ide att lära sig dessa kombinationer utantill. Detta för att du i ditt yrkesliv enkelt skall kunna utföra enkla överslagsberäkningar när du vill kontrollera olika dimensioneringar, t.ex. att en uppmät ström är rimlig i förhållande till lastens effektförbrukning och ansluten spänning.





Fig 2.39



Figur 23 visar ett antal olika motstånd avsedda för olika effekter. Storleken är en funktion av den effekt som motståndet kan hantera utan att förstöras.

Motståndets effekttålighet är en funktion av 2 faktorer:

- 1: Motståndets yta. Ett stort motstånd har en stor yta som kan avge värme.
- 2: Det material som motståndet är tillverkat av dvs materialets tålig het mot höga temperaturer.

Fig 2.40



Fig 2.40 visar en vanlig tillämpning av elektronernas friktion i en ledare. Som du ser visar figuren en vanlig glödlampa.

Här låter vi elektronströmmen flyta genom en wolfram-tråd som vi har dimensionerat så att vi erhåller en given ström vid en fix matningsspänning dvs tråden skall tåla en given effekt.

Glödtråden är monterad i en lufttom glaskolv för att inte syret i luften skall reagera med glödtråden så att den brinner av.

Glödlampans nackdel är dess dåliga effektivitet dvs en liten del av den elektriska energin den förbrukar omvandlas till synligt ljus. Största delen av den förbrukade energin omvandlas till infraröd strålning dvs värme.

Vi kan förlänga glödlampans livsläng väsentligt genom att sänka matningsspänningen med 5% av märkspänningen. Vi sänker därmed temperaturen på glödtråden utan att ljuset minskar märkbart. Vi har dock ingen kontroll över den spänning vi får levererade i våra vägg-uttag!

## Elektrisk energi och effekt

### Effekt



# Kapitel 3

## Växelsrömskretsar

Vi skall i denna modul repetera valda delar av elläran för växelström

- 1-Fas växelström
- Toppvärde-Medelvärde-Effektivvärde
- Fasförskjutning
- Aktiv-Reaktiv-Skenbar effekt
- 3-Fas växelström



## 1-FAS VÄXELSSTRÖM

### Frekvens och periodtid

Fig 3.1

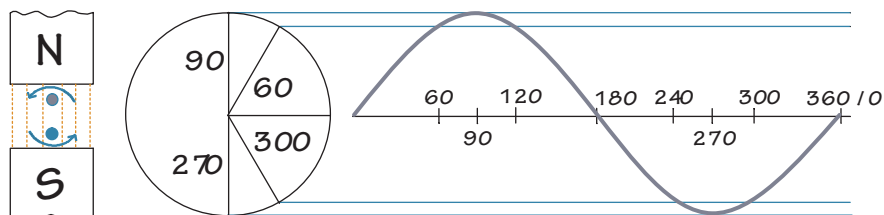


Fig 3.1 visar den grafiska konstruktionen av en sinusformad kurva som representerar vår växelspanning. Växelspanningen genereras i den ledare som roterar i magnetfältet och maximal spänning erhålles när ledaren skär flest antal fältlinjer per tidsenhet, dvs direkt under polerna. Det representeras i sinuskurvan av vårt spänningsmaxima och minima vid 90 respektive 270 grader. Spänningen ändrar polaritet vid 0 och 180 grader. Givetvis kan kurvan i Fig 3.1 även representera en växelström där strömmen ändrar riktning vid 0 och 180 grader. I växelströms-sammanhang är det vanligt att tala om vinkelhastighet.

Fig 3.2

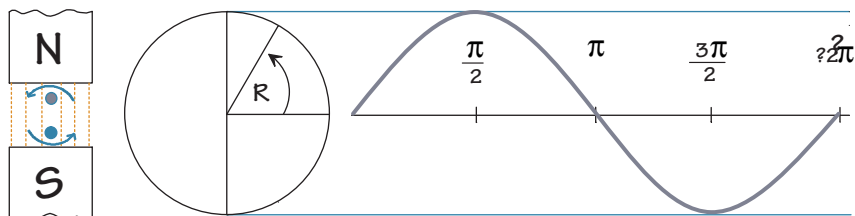


Fig 3.2 visar samma kurva som Fig 3.1 men vi låter en visare rotera och dess längd representerar kurvans amplitud och dess vinkel i radianer beskriver var vi befinner oss på kurvan. Uttrycket radianer kommer av benämningen för en cirkels radie. Ett varv på en cirkel motsvarar 360 grader eller 2 pi radianer. Som vi minns från matematiken så motsvaras en cirkels omkrets av dess diameter gånger pi och då en radie är halva diametern, därmed förklaras 2:an i formeln.





## Kapitel 3 Växelspänningsskretsar

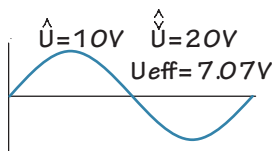
När vi talar om en växelspännings frekvens menar vi antalet perioder per sekund. Frekvens betecknas  $f$  och enheten är Hertz, som betecknas Hz. Med periodtid menas den tid som det tar en period att fullbordas, periodtid betecknas  $T$ .

Periodtid är frekvensens inverterade värde, dvs

$$50\text{Hz} \Rightarrow \frac{1}{f} \Rightarrow \frac{1}{50} = 20\text{ms}$$

### Momentanvärde

Fig 3.3



-Med momentanvärde menar vi ett storhetsvärde vid en bestämd tidpunkt, som kan uttryckas i sekunder, grader eller radianer.

-Spänningen respektive strömmens momentanvärde brukar betecknas  $u$  respektive  $i$ . Det största momentana värdet under en halvperiod kallas toppvärde (Peakvärdet) och betecknas med  $u$ .

-Med topp-till-botten värde menas skillnaden mellan topp och botten-värde.

### Effektivvärde (RMS)

RMS (root mean square) är den Engelska beteckningen för effektivvärde

När vi mäter växelspänning och ström så visar inte våra instrument toppvärdena för spänningen eller strömmen. Vi säger att instrumentet visar växelspänningens effektivvärde. Om vi låter ett motstånd på t.ex 1 ohm matas med en likspänning på 10 V kommer det att genomflytas av en ström på 10 A. Effektutvecklingen blir då 100 W i motståndet. Om vi nu ansluter en växelspänning till motståndet och justerar spänningen så att vi erhåller samma effektförlust i motståndet som vid likspänningsmatningen blir förhållandet mellan likspänningen och växelspänningens toppvärde lika med 1.414. Om vi väljer att presentera växelspänningens värde som toppvärdet dividerat med 1.414 erhåller vi växelspänningens effektivvärde. Genom detta förhållande så kan vi använda Ohms lag och formeln för effekt i både lik- och växelströmskretsar.

peak = topp  
RMS = effektivvärde

Förhållandet mellan toppvärde och effektivvärde är:

$$\frac{U_{\text{Peak}}}{U_{\text{RMS}}} = 1,414 = \sqrt{2} = \text{Crestfaktor}$$



## Resistiva växelströmskretsar

Fig 3.4

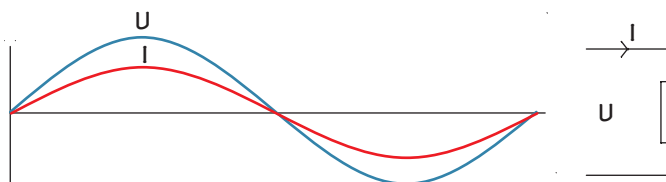


Fig 3.4 visar spänning och ström för en resistiv krets vilken matas med en växelspanning. Det som kännetecknar en resistiv krets är att, när den matas med en växelspanning kommer den att genomflytas av en växelström, vilken ligger i fas med spänningen. Det innebär att strömmen uppvisar nollgenomgångar av strömmen samtidigt med spänningen.

**Beräkning 3.1**

$$\frac{U_{\text{Peak}}}{U_{\text{RMS}}} = 1,414 = \sqrt{2} = \text{Crestfaktor}$$

Beräkning 3.1 visar förhållandet mellan en växel ström eller -spännings förhållande mellan toppvärde eller effektivvärde.

Det innebär att en spänning med ett effektivvärde av 10 V uppvisar en toppspänning av 14.14 V.

Det faktum att en växelspannings toppvärde är högre än dess effektivvärde innebär att vi måste ta hänsyn till detta vid arbete på växelspanningsförande anläggningar.

Om vi t.ex skall mäta spänningen i en krets som matas av ett 690 V nät måste vi försäkra oss om att vårt mätinstrument och dess mätsladdar klarar att hantera spänningens toppvärde av 976 V.

Nedanstående lilla tabell visar förhållandet mellan effektivvärdet och toppspänningen för några vanliga spänningar:

12 V	17 V
24 V	34 V
230 V	325 V
400 V	566 V
500 V	707 V
690 V	976 V



Lab 2:1



## Induktiva kretsar

Fig 3.5

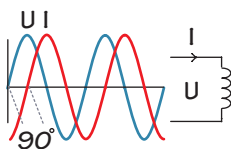


Fig 3.5 visar en koppling med en induktans i serie med en växelspänningsmatning. Vi antar att vår induktans är ideal dvs den är lindad av en resistansfri tråd. Vi kan se induktansen som ett svänghjul med en viss massa vilken kommer att ha en viss tröghet mot alla försök att förändra dess rotation, både mot att öka och minska varvtalet. På samma sätt uppvisar en induktans ett motstånd mot att förändra den ström som den genomflytes av.

Svänghjulet är en modell, som vi kan använda för att få en känsla för vad som händer i spolen när strömmens amplitud förändras. Men det är den mot-emk som det växlande magnetfältet ger upphov till i spolens lindningar som försöker att förhindra strömförändringar i spolen. Det får till följd att strömförändringen uppvisar en "tröghet" i förhållande till spänningen, se Fig 3.5, vilket visar sig som en färförskjutning i förhållande till spänningen.

Det magnetfält som byggs upp i spolen kan ses på samma sätt som den energi som finns lagrad i svänghjulets roterande massa. Den energi som lagras i spolen är lika med:

$$W = \frac{1}{2} \times L \times I^2$$

W = Energi lagrad i spolen [J]

L = Spolens induktans [H]

I = Ström [A]

Induktans betecknas med L och enheten är 1 Henry, 1H.

Tabel 3.1

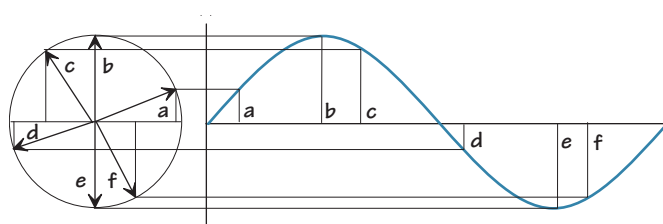
STORHET		ENHET	
Benämning	Beteckning	Benämning	Beteckning
Induktans	L	Henry	[H] Wb/A



### Fasförskjutning

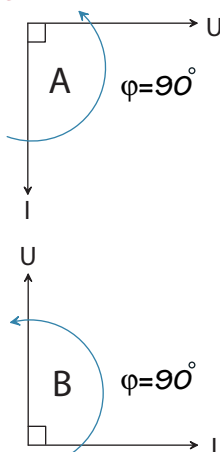
Fasförskjutningen mellan ström och spänning i en ideal induktans är 90 grader, och det är strömmen som ligger efter spänningen. Fasförskjutningsvinkeln brukar benämnas  $\varphi$  [ $^\circ$ ]. När vi skall presentera fasförskjutningen mellan olika storheter är det praktiskt att använda visardiagram, se Fig 3.6.

Fig 3.6



Vi kan låta en visare representera spänning eller ström. Vi väljer att ange referensaxeln lika med X-axeln dvs 0 grader motsvarar en visare klockan 3. Om vi vill konstruera en sinuskurva med hjälp av roterande visare kan vi låta visarens längd motsvara sinuskurvans toppamplitud och visarspetsens avstånd till X-axeln kurvans momentanvärde. Om visaren befinner sig på ovensidan av X-axeln är amplituden positiv, annars negativ.

Fig 3.7



När vi använder visardiagram för att studera fasförskjutningen mellan t.ex. spänning och ström väljer vi oftast att låta visarlängden motsvara storhetens effektivvärde och vinkeln mellan visarna fasförskjutningen. Vi anger normalt strömmen fasförskjutning mot spänningen dvs vi använder spänningsvisaren som referens.

Fig 3.7 visar två diagram. Visardiagram A i ovanstående figur visar en presentation av fasförskjutningen mellan spänning och ström. Vi ser här att strömmen kommer 90 grader efter spänningen dvs vi har en negativ fasförskjutning. Observera att vi här använder spänningen som referens. I visardiagram B har vi valt att använda strömmen som referens. Som du ser har ingenting förändrats vad det gäller fasförskjutningen, spänningen kommer fortfarande före strömmen. Men då vi nu har valt att använda strömmen som referens har vi en positiv fasförskjutning. Normalt använder vi spänningen som referens eller riktfas.



## Reaktans

### Induktiv reaktans

Fig 3.8

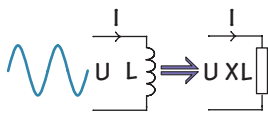


Fig 3.8 visas en induktor. Vi vet att ett motstånd uppvisar en bestämd resistans mot växelström, även en induktans uppvisar ett motstånd mot växelström. Detta kallas för reaktans, i detta fall även för induktiv reaktans. Formeln för beräkning av den induktiva reaktansen är:

$$X_L = 2 \times \pi \times f \times L \quad \text{Resultatet anges i ohm.}$$

#### Beräkning 3.2

En spole med induktansen 0.2 H är ansluten till frekvensen 50 Hz, beräkna dess reaktans:

$$X_L = 2 \times \pi \times f \times L = 2\pi \times 50 \times 0,2 = 62,8\Omega$$

#### Beräkning 3.3

Beräkna L om  $f=50$  Hz, och reaktansen  $=1 \text{ k}\Omega$

$$L = \frac{X_L}{2\pi f} = \frac{1000}{2\pi \times 50} = 3,18\text{H}$$

Då vi kan ange spolens växelströmsmotstånd i ohm betyder det att vi kan använda detta värdet i Ohms lag!

#### Beräkning 3.4

Antag att en spole med en induktans av 0.075 H är ansluten till en 50 Hz växelspänning på 230 V, hur stor är den ström som spolen genomflyts av? Vi beräknar först spolens reaktans:

$$X_L = 2 \times \pi \times f \times L = 2\pi \times 50 \times 0,075 = 23,56\Omega$$

Därefter beräknar vi strömmen i spolen med hjälp av Ohms lag:

$$I = \frac{U}{X_L} = \frac{230\text{V}}{23,56\Omega} \approx 9,76\text{A}$$

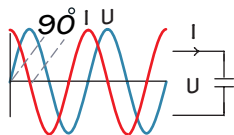


Labb 2:2  
Labb 2:3



### kapacitiv reaktans

Fig 3.9



En kondensator  
uppvisar, på samma sätt  
som en induktor, ett mot-  
stånd mot växelström  
dvs reaktans.

Om vi liknade en induktor med ett svänghjul så kan vi nog snarast likna en kondensator med en ackumulator som vi först måste fylla innan vi kan bygga upp ett tryck i den. På samma sätt förhåller det sig mellan spänning och ström för kondensatorn dvs vi måste först få en ström för att erhålla en spänning.

Fig 3.9 visar fasförhållandet mellan spänning och ström för en kondensator, jämför med fasförhållandet för en induktor, se Fig 3.5, sidan 41. Om vi jämför med induktorn så finner vi att strömmen ligger före spänningen med 90 grader.

$$X_C = \frac{1}{2\pi \times f \times C}$$

Som vi ser av formeln för kapacitiv reaktans så kommer reaktansen att avta med ökande frekvens medan reaktansen för en induktor ökar med stigande frekvens. Vi kan använda den kapacitiva reaktansen med Ohms lag:

Dock skiljer sig kondensatorerna från induktorerna vad gäller resistansen. Det finns ingen resistiv delkomponent i kondensatorn om vi undantar anslutningsledningarna. Detta får till följd att dess resulterande impedans är lika med dess reaktans, och att fasförskjutningen är 90 grader.

#### Beräkning 3.5

Beräkna reaktansen för en kondensator på 8  $\mu\text{F}$  vid en frekvens av 50 Hz:

$$X_C = \frac{1}{2\pi \times f \times C} = \frac{1}{6,28 \times 50 \times 8 \times 10^{-6}} = 400\Omega$$

#### Beräkning 3.6

Beräkna den ström som kondensatorn genomflyts av vid en spänning på 230 V

$$I = \frac{U}{X_C} = \frac{230}{400} = 0,55\text{ A}$$



Lab 2:4-5



## EFFEKT I VÄXELSTRÖMSKRETSAR

### Resistiv krets

Fig 3.10

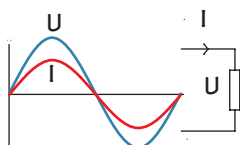


Fig 3.10 visar ett motstånd som matas av en växelspanning och den ström som flyter genom motståndet. Strömmens kurvform är en exakt kopia av spänningen. Observera att det betyder att kurvorna för ström och spänning är i fas! Strömmens storlek i varje ögonblick är en funktion av spänningens momentanvärde och motståndets resistans dvs enligt Ohms lag. Vi vet även att då ett motstånd genomflyts av en ström kommer vi att erhålla en effektförlust i motståndet.

Då effekten som utvecklas i motståndet är lika med:  $P = U \times I$  inser vi att då momentanvärdet för ström och spänning varierar under en period så kommer även effekten att variera.

Fig 3.11

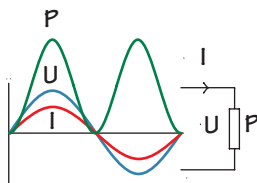
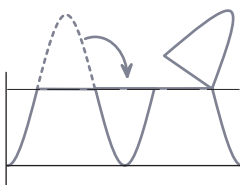


Fig 3.11 visar resultatet vi får när vi multiplicerar spänning och ström. Detta presenteras i form av en kurva som beskriver effektutvecklingen i motståndet.

Att effektkurvan är sinusformad är kanske ingen överraskning då vi multiplicerar två sinusformade storheter, vad som kan vara mer förvånande vid en första anblick är det faktum att effektkurvans frekvens är den dubbla mot växelspanningens frekvens. Orsaken till detta faktum är ju att vi får ett effekt maxima även för den negativa halvperiodens spänning/strömkurvan. Värmeutvecklingen i motståndet är ju den samma oberoende av strömmens riktning.

Fig 3.12



På samma sätt som vi valde att tala om en växelspannings effektivvärde så talar vi oftast om den medeleffekt som utvecklas och inte den momentana effekten. Vi kan lätt "vika ned" effekttopparna och skapa ett sammanhängande effektflyde.

Fig 3.12 visar en enkel graf över medelvärdesbildningen av effektkurvan. Om vi betraktar effektutvecklingen i en glödlampa "ser" vi att den varierar med en frekvens av 100 Hz vid en nätfrekvens av 50 Hz. Men om vi skulle mäta effektvariationen över tid och beräkna medeleffekten under denna tidsintervall, t.ex 1 sekund, ser vi att den är lika med halva toppeffekten. Och det är kretsens medeleffekt vi får när vi använder växelspanningens effektivvärden i effektformeln.



### Labb 2:6

#### Repetitionsfråga 3.1

Beräkna topp och medeleffekten vid en spänning av 1 V och 1 A (RMS).



## Induktiv krets

Vi studerade tidigare hur den momentana effektkurvan byggdes upp för ett motstånd, (se Fig 3.11, sidan 45). Vi skall nu titta på samma sak för en induktor. Vi börjar med att studera den ideala induktorn dvs den utan någon resistiv delkomponent.

Fig 3.13

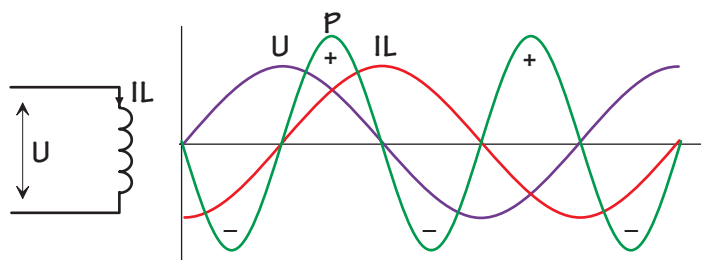


Fig 3.13 Visar graferna för en induktiv krets. Som vi ser är fäsförskjutningen 90 grader med spänningen före strömmen.

Som du minns så är effekten  $P$  lika med spänningen gånger strömmen, men här kommer ju ström och spänning att ha olika tecken (positiv-negativ) 2 gånger per period. Och det betyder att vi kommer att få en effekt som är negativ 2 gånger per period.

Och vad är då negativ effekt undrar du?

Negativ effekt är helt enkelt en effekt som kretsen avger så länge som teckenskillnaden mellan ström och spänning består dvs den effekt som magnetfältet avger när det bryts ned för att kunna skifta riktning då strömmen byter polaritet. Om vi studerar grafen i figuren ser vi att ytorna under effektkurvan är lika stora för den positiva och den negativa delen, vilket betyder att kretsen avger lika mycket energi som den upptar. Effekten sägs pendla mellan vår reaktans och matningskällan och kallas för reaktiv effekt.

I de avsnitt som spänning och ström uppvisar samma polaritet byggs magnetfältet upp och induktansen drar effekt från nätet, vi kan se det som positiv effekt. I de avsnitt där ström och spänning skiljer sig åt bryts magnetfältet ned och dess effekt återmatas till nätet vilket illustreras med en negativ effekttopp.

Om vi undersöker medelvärdet för den reaktiva effekten så kommer vi att finna att den är lika med 0 då de positiva och negativa effekttopparna är lika stora. Det betyder att vi inte förbrukar någon effekt i vår ideala induktor.





## Kapitel 3 Växelspänningsskretsar

Men kom ihåg att strömmen trots allt flyter i anslutningsledningarna till vår induktor. Och om strömmen är stor kan det medföra betydande effektförluster i ledningarna.

Man kan ofta höra påståendet att den reaktiva effekten som utvecklas i induktorn inte är någon nyttoeffekt, men det är att missförstå vad som händer i induktorn. Det är den reaktiva effekten som "bygger" vårt magnetfält och det är trots allt därför vi använder en induktor.

Fig 3.14

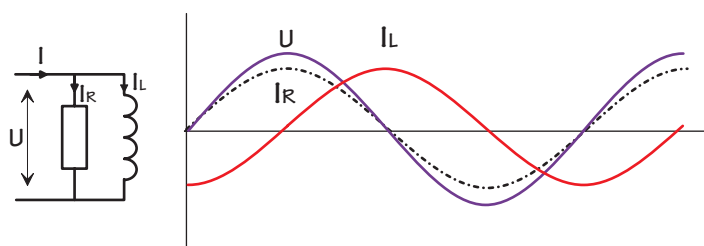


Fig 3.14 visar ett exempel på en last som består av en induktiv och en resistiv del i en parallellkoppling. Här ser vi grafen för spänning och graferna för  $I$  och  $I_L$ . Strömmarnas storlek är beroende av resistansen respektive reaktansen.

Fig 3.15

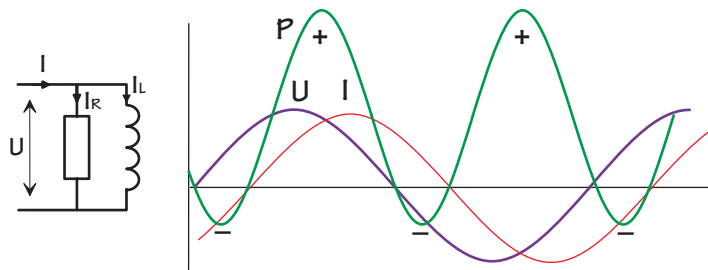


Fig 3.15 visar samma krets som Fig 3.14. Här ser vi spänningen och summaströmmen  $I$  för kretsen och den effekt som utvecklas i kretsen. Jämför Fig 3.15 med Fig 3.11, sidan 45 och Fig 3.13. Effekten uppvisar både en aktiv och en reaktiv komponent. I takt med att fasförskjutningen minskar, minskar även den reaktiva effekten!

Observera att summaströmmens storlek är en funktion av respektive grensströms storlek samt fasförskjutningen mellan strömmarna. Summaströmmen kallas för skenbar ström. Vi undersöker detta närmare lite senare i detta kapitel.



### Lab 2:7



## Kapacitiv krets

Fig 3.16

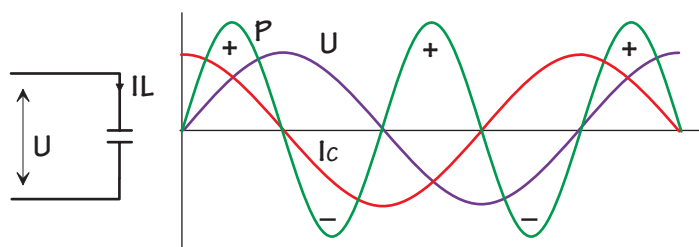


Fig 3.16 visar effektutvecklingen i en kondensator. Färförskjutningen är 90 grader varvid effektutvecklingen är reaktiv dvs summaeffekten är 0. Observera att effektkurvan är färförskjuten 180 grader jämfört med en rent induktiv last, se Fig 3.13, sidan 46.

Fig 3.17

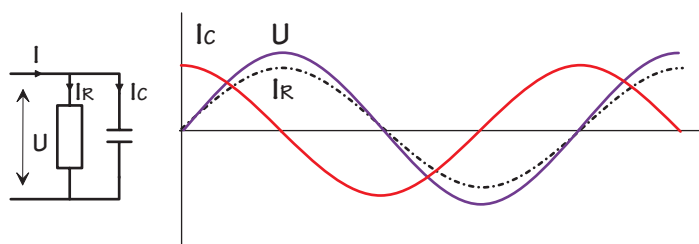


Fig 3.17 visar ett exempel på en kondensator parallellt med ett motstånd. Som vi kan se är i detta fallet strömmen 90 grader före spänningen. Jämför med Fig 3.14.

Fig 3.18

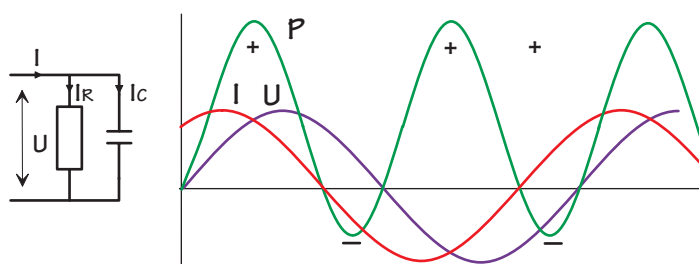


Fig 3.18 visar effektkurvan för en RC krets. Jämför denna figur med Fig 3.15. Här gäller, som för den induktiva kretsen att summaströmmen  $I$  är en funktion av grenströmmarna samt färförskjutningen.



Lab 2:8

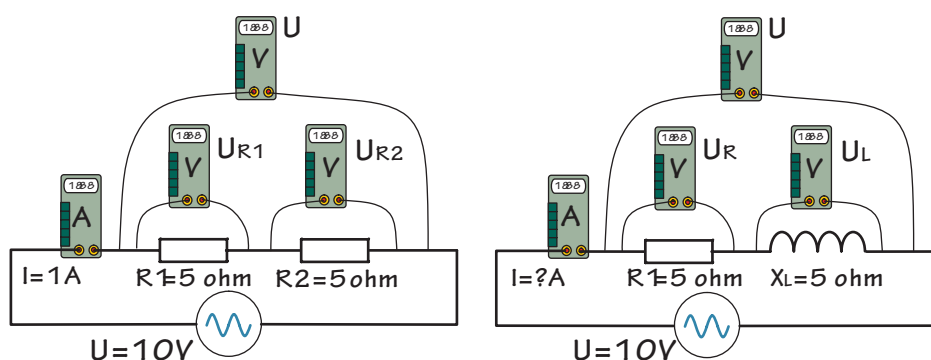


## IMPEDANS

Vi skall nu närmare undersöka vad som bestämmer summaströmmens storlek (skenbar ström) i sammansatta kretsar. Vi skall undersöka både serie- och parallellkretsar.

### Seriekretsen

Fig 3.19



Fasförskjutningen mellan  $U$  och  $I$  för ett motstånd är 0 grader.

Fasförskjutningen mellan  $U$  och  $I$  för en induktor är 90 grader

Fig 3.19 vänstra kretsen visar två stycken motstånd i serie som matas av en likspänning. Om vi antar att strömmen i kretsen är 1 A och respektive motstånds resistans är lika med 5 ohm dvs  $10 \Omega$  totalt, måste matningsspänningen vara lika med 10 V enligt Ohms lag.

Fig 3.19 högra kretsen visar ett motstånd och en induktans i serie. Visardiagrammet i Fig 3.20 visar de fasförskjutningar vi erhåller mellan spänningsfallen över motståndet och induktorn. Vi har här även ritat in strömmens visare i diagrammet. Kom ihåg att strömmen är gemensam för komponenter i en seriekrets. Normalt använder vi strömmen som riktfas för seriekretsar då alla seriekomponenterna genomflyts av samma ström! Vi ser i visardiagrammet att spänningsfallet över resistansen ligger i fas med strömmen och att spänningsfallet över induktorn ligger 90 grader före strömmen dvs strömmen ligger 90 grader efter spänningen.

Vi antar att motståndets resistans är lika med 5 ohm och induktansens reaktans också är 5 ohm (vid 50 Hz). Om vi nu ansluter en växelspanning på 10 V och 50 Hz är det lätt att anta att strömmen i kretsen blir lika med 1 A dvs samma som i den vänstra kretsen. Men om vi läser av amperemätaren finner vi att den visar en ström av ca 1.4 A.

## Impedans Seriekretsen

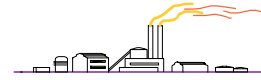
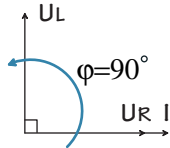
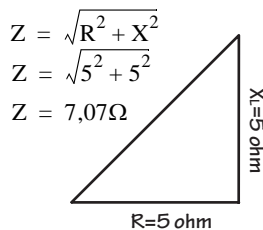


Fig 3.20



Om vi nu läser av Voltmätarna för  $U_R$  och  $U_L$  kommer dessa att visa på ett spänningsfall av ca 7.1 V över respektive komponent. Summan av dessa två spänningsfall är större än matningsspänningen! Det är en orimlighet som vi erhåller då vi försöker att addera de två spänningsfallen! Som vi konstaterade tidigare är strömmarna för ett motståndet och en induktor fasförskjutna med 90 grader. Därmed kan vi inte addera dessa två komponenters reaktans på samma sätt som vi kan addera resistansen för två seriekopplade motstånd för att erhålla det totala motståndet. Då den totala strömmen i den högra kretsen är ca 1.4A kan vi anta att det sammansatta motståndet för kretsen är mindre än 10 ohm, vilket var den totala resistansen i den högra kretsen som genomflöts av en ström på 1A

Fig 3.21



Som vi konstaterade tidigare kan vi inte addera  $R$  och  $X_L$  för motståndet och induktorn. Vi tvingas tillgripa andra metoder för att få fram det sammansatta växelströmsmotståndet vilket uppenbarligen är mindre än summan av de två, då strömmen är större än för seriekretsen med två motstånd. Det växelströmsmotstånd vi erhåller kallas för Impedans och betecknas med  $Z$ . När vi skall beräkna växelströmsstorheter i kretsar med både resistans och reaktans använder vi Pythagoras sats och trigonometrin för att hantera dessa storheter.

Se Fig 3.21.

Fig 3.22

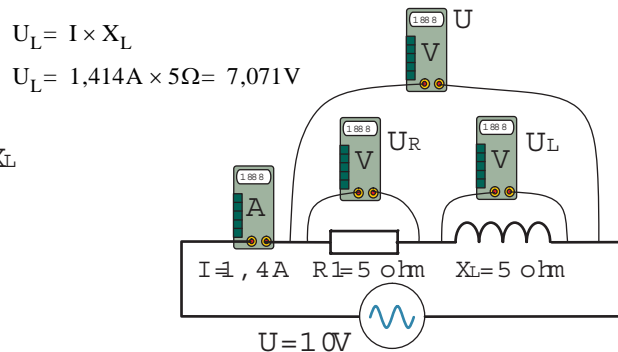
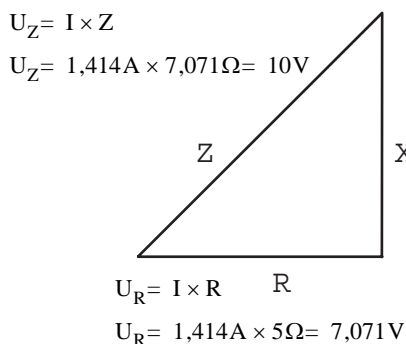


Fig 3.22 Visar en impedanstriangel för vår seriekrets. Vi har här även beräkningarna för spänningsfallen över motståndet och induktansen. Impedansen  $Z$  motsvarar det växelströmsmotstånd som matningen "ser", dvs den som bestämmer den skenbara strömmens storlek.



Men hur stora är de effekter som utvecklas i seriekretsen och vilken effekt måste matningen kunna leverera ?

Fig 3.23

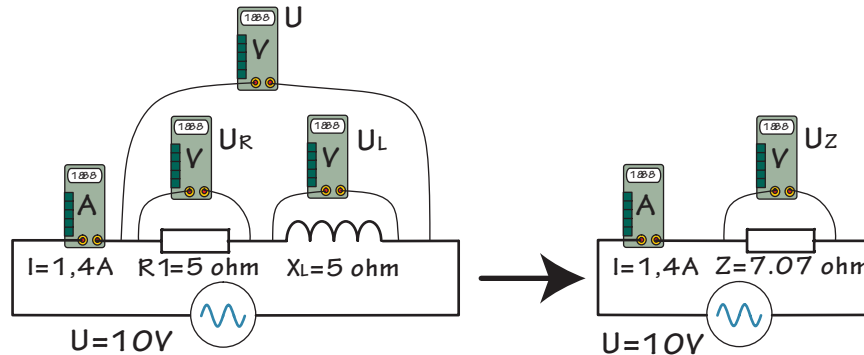


Fig 3.23 visar vår seriekrets omräknad till en impedans enligt beräkningarna i Fig 3.22.

Fig 3.24

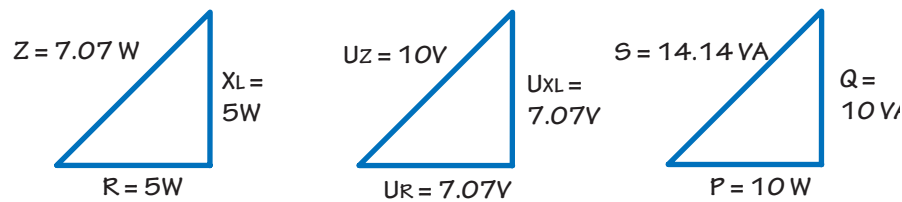


Fig 3.24 visar tre rätvinkliga trianglar (pytagoras sats):

- 1 Den första visar kretsens resistans, reaktans samt impedans.
- 2 Triangel nummer två visar spänningarna över de olika komponenterna i kretsen.
- 3 Tredje triangeln visar slutligen de olika effekterna som utvecklas i kretsen.

Vilken triangel vi beräknar först spelar ingen roll. Vi har komponentvärdena, matningsspänningen (vid 50 Hz) samt kretsens ström.

Studera Fig 2.38, sidan 34 och fundera på möjliga beräkningsvägar.

Vilken fasförskjutning uppvisar då kretsens ström i förhållande till matningsspänningen? Vi kan t.ex använda impedanstriangeln:

$$\cos \varphi = \frac{R}{Z} = \frac{5\Omega}{7,07\Omega} = 0,707 \Rightarrow 45^\circ$$



### Beräkningsexempel

Fig 3.25

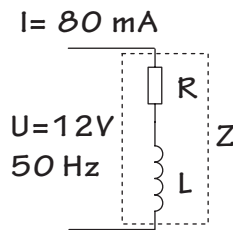


Fig 3.25 visar en seriekrets. Vi mäter ström och spänning i kretsen och med hjälp av Ohms lag kan vi beräkna det sammansatta växelströmsmotståndet dvs impedansen:

$$U = I \times Z \Rightarrow Z = \frac{U}{I} = \frac{12}{0,08} = 150 \Omega$$

Vi kan med hjälp av en resistansmätare finna kretsens resistans. Då vi redan känner R och Z kan vi beräkna X. Vi antar att resistansen är 30 ohm. Reaktansen blir då:

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

$$X_L = \sqrt{150^2 - 30^2} = 147 \Omega$$

Vi kan även beräkna den fasförskjutning som kretsen ger upphov till:

$$\cos \varphi = \frac{R}{Z} = \frac{30}{150} = 0,2 \Rightarrow \text{Vinkel } \varphi = 78,46^\circ$$

#### Repetitionsfråga 3.2

Beräkna spänningsfallet över motståndet och induktorn i ovanstående beräkningsexempel.

#### Repetitionsfråga 3.3

Beräkna induktansen för induktorn i ovanstående beräkningsexempel.

#### Repetitionsfråga 3.4

Beräkna effektförlusten för motståndet i ovanstående beräkningsexempel.





## Parallellkrets

Fig 3.26

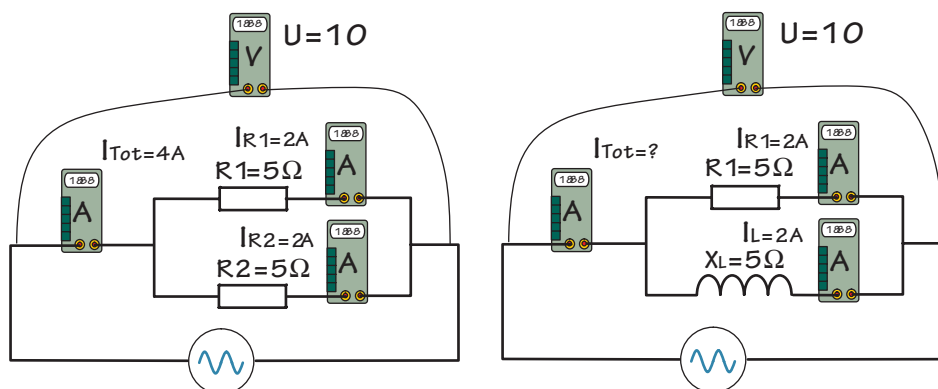


Fig 3.26 vänstra kretsen visar två parallellkopplade motstånd. Vi inser att kretsens totala ström är lika med summan av de två grenströmmarna. Om vi däremot betraktar den högra parallellkretsen där vi har ersatt det ena motståndet med en induktor inser vi att fasförskjutningen kommer att omöjliggöra en direkt addition av de två grenströmmarna för att erhålla den totala strömmen.

Fig 3.27

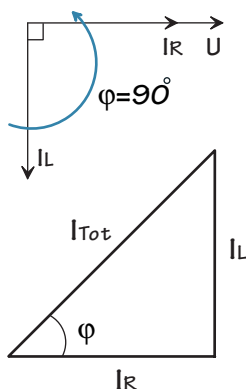


Fig 3.27 visar ett visardiagram för en parallellkrets. Då spänningen är gemensam för parallellkomponenterna använder vi spänningen som riktfas. Som vi ser är fasförskjutningen mellan strömmarna 90 grader. Om vi sätter in strömmarna i vår rätvinkliga triangel kan vi använda Pythagoras sats för att beräkna strömmen  $I_{tot}$  som kretsen drar.

### Beräkning 3.7

$$I_{tot} = \sqrt{I_L^2 + I_R^2} \Rightarrow \sqrt{2^2 + 2^2} = 2,83 \text{ A}$$

### Repetitionsfråga 3.5

Vi antar att strömmen genom motståndet är 3 A och strömmen genom spolen är 4 A. Kan du med hjälp av trigonometri beräkna den totala strömmen och även kretsens fasförskjutning?

## Impedans Parallellkrets



Fig 3.28

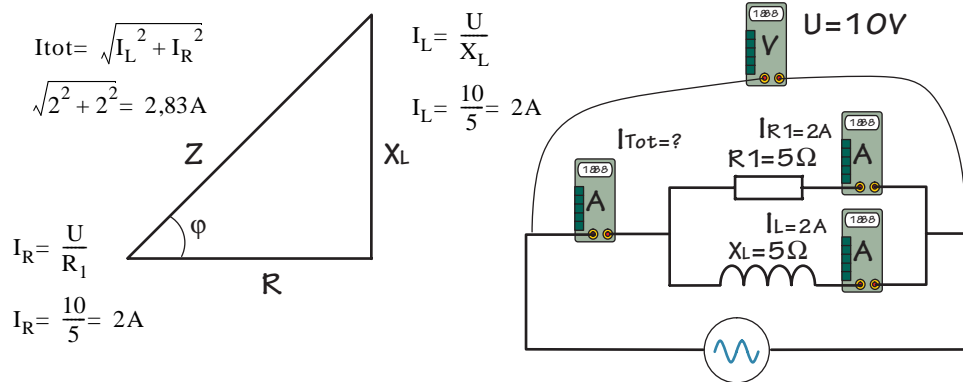


Fig 3.28 visar impedanstriangeln för vår parallellkrets med strömmarna för respektive sida inlagd. Det är inga problem att beräkna resistans och reaktans i kretsen, då vi har både ström och spänning för respektive komponent är det bara att använda Ohms lag. Men beräkningen av impedansen kompliceras något av att komponenterna är parallellkopplade:

### Beräkning 3.8

$$Z = \frac{R \times X_L}{\sqrt{R^2 + X_L^2}} = \frac{5 \times 5}{\sqrt{5^2 + 5^2}} = 3,54 \Omega \text{ eller } \frac{1}{Z^2} = \frac{1}{R^2} + \frac{1}{X^2}$$

Den fasförskjutningen som kretsen uppvisar beräknar vi enkelt med trigonometri:

### Beräkning 3.9

$$\cos \varphi = \frac{I_R}{I_Z} = \frac{2}{2,83} = 0,7067 = 45^\circ$$

### Repetitionsfråga 3.6

Beräkna effektförlusten för motståndet i ovanstående parallellkrets.

### Repetitionsfråga 3.7

Utför nu samma beräkning för seriekretsen i Fig 3.22, sidan 50. Förstår du orsaken till skillnaden i effektförlust mellan kretsarna?



Labb 2:10





## Sammanfatt krets

Fig 3.29

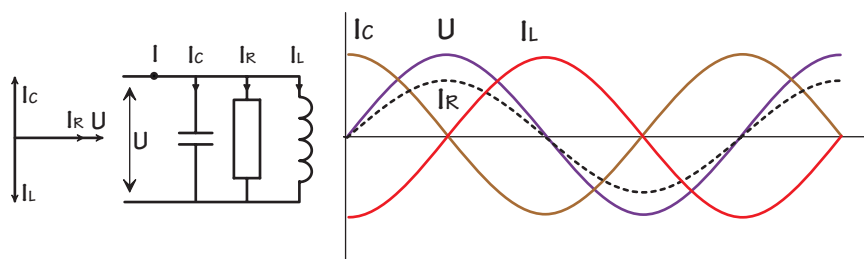


Fig 3.29 visar en krets bestående av en kondensator, ett motstånd och en induktans. Vi ser i figuren att den induktiva strömmen ligger 90 grader efter spänningen och den kapacitiva strömmen 90 grader före spänningen. Observera att den resistiva strömmen ligger i fas med spänningen. När vi ritar alla strömmarna i samma diagram ser vi att en kondensators lastström är fasförskjuten 90 grader före spänningen i motsats till induktansens fasförskjutning av strömmen 90 grader efter spänningen.

Det betyder att dessa två strömmar har en inbördes fasförskjutning av 180 grader dvs i motfas. Om vi antar att induktansen och kapacitansen uppvisar samma reaktans kommer de strömmar som dessa komponenter genomflyts av att vara lika stora. Därmed kommer dessa två strömmar att upphäva varandra och den sammansatta strömmen  $I$  består endast av den resistiva strömmen.

Fig 3.30

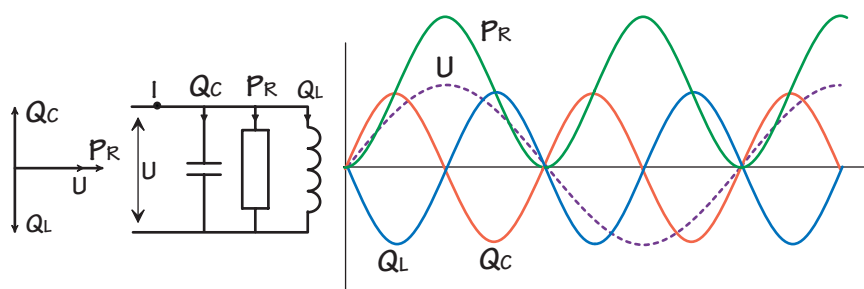


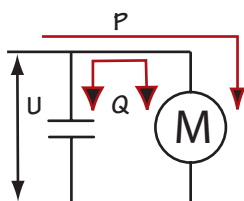
Fig 3.30 visar samma krets som i Fig 3.29. Här har vi ritat in efftkurvorna för de olika komponenterna. Här ser vi tydligt att de två reaktiva effekterna ligger i motfas och upphäver varandra. Matningen belastas endast med den aktiva effekten  $P_R$ .



## Faskompensering

Vi har tidigare sett att laster som har en induktiv del, t.ex. en asynkronmaskin drar, förutom den aktiva effekten som krävs för att uträtta ett arbete, även en reaktiv del för magnetiseringen. Observera att vi måste förbruka reaktiv effekt för att magnetisera våra asynkronmaskiner även om vi endast kan tillgodogöra oss den aktiva effekten i form av arbete. Det betyder att nyttjandegraden av nätavsnittets överförda skenbara effekt minskar i takt med att  $\cos \varphi$  minskar! Om vi kan producera den effekt som krävs för att magnetisera asynkronmaskinerna lokalt vid varje maskin skulle vi spara in kostnaderna för förlusterna i matningen. Även kabelareorna skulle kunna minskas i många delar av anläggningen.

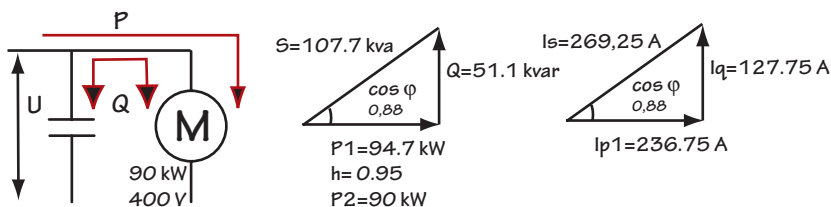
Fig 3.31



Om vi låter induktansen och motståndet representera en asynkronmaskin är det lätt att inse att om kapacitansen uppvisar samma reaktans som induktansen drar kondensatorn samma ström som induktansen. Då dessa reaktiva strömmar är i motfas kommer dessa att utjämna varandra och endast den aktiva strömmen återstår som nätbelastning. Fig 3.31 visar ett exempel på en asynkronmaskin som faskompenserats till  $\cos \varphi = 1$ . Maskinens magnetiseringseffekt tas från kondensatorbatteriet och matningen belastas endast med den aktiva effekten

## Exempel

Fig 3.32



Observera att på maskinens märkskylt anges dess skenbara ström vid märklaster, ej aktiv ström

Fig 3.32 visar en tänkt motorinstallation på 90 kW. Låt oss för enkelhetens skull först anta att motorn är 1-fasig. Vi skall faskompensera maskinen för att minska belastningen på matande nät. Vi önskar faskompensera så att vi erhåller ett  $\cos \varphi = 1$ . Vi studerar motorkatalogen och finner att  $\cos \varphi = 0.88$  för den aktuella maskinen. Observera att den angivna effekten är den av maskinen avgivna effekten på motoraxeln dvs den av maskinen förbrukade effekten minus maskinens förluster. Maskinens varkningsgrad är 0.95.



## Kapitel 3

### Växelströmskretsar

Det betyder att maskinen förbrukar 94,7 kW aktiv effekt och att 4,7 kW blir värmeförluster i maskinen. Inmatad effekt betecknas oftast med P1 och avgiven effekt med P2.

#### Beräkning 3.10

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \quad \text{där } \eta \text{ är verkningsgraden}$$

Vi beräknar först den skenbara effekten maskinen drar från nätet:

#### Beräkning 3.11

$$P = S \times \cos\varphi \Rightarrow S = \frac{P_1}{\cos\varphi} = \frac{94,7 \text{ kW}}{0,88} = 107,7 \text{ kva}$$

Därefter beräknar vi den reaktiva effekt som maskinen drar:

#### Beräkning 3.12

$$Q = S \times \sin\varphi = 107,7 \text{ kva} \times 0,47 = 51,1 \text{ kvar}$$

Observera att du får sin  $\varphi$  genom att först omvandla  $\cos\varphi$  till grader och därefter till sin  $\varphi$ !

Om vi nu skall faskompensera till  $\cos\varphi = 1$ , hur stor kondensator måste vi då installera? För att producera en reaktiv ström av samma storlek som magnetiseringen av motorn drar men med 180 graders färförskjutning, skall vi installera en kondensator som drar samma reaktiva effekt som magnetiseringen dvs 51,1 kvar.

Vi kan även beräkna den ström som maskinen drar, se högra triangeln i Fig 3.32. Observera att maskinens skenbara märkström finns angiven på dess märkplåt, men vi kommer att beräkna den via den skenbara effekten.

#### Beräkning 3.13

$$S = U \times I \Rightarrow I = \frac{S}{U} = \frac{107,7 \text{ kva}}{400} = 269,25 \text{ A } I=\text{skenbar}$$

Därefter beräknar vi aktiv och skenbar ström:

#### Beräkning 3.14

$$P = U \times I \Rightarrow I = \frac{P}{U} = \frac{94,7 \text{ kW}}{400} = 236,75 \text{ A } I=\text{aktiv}$$

#### Beräkning 3.15

$$Q = U \times I \Rightarrow I = \frac{Q}{U} = \frac{51,1 \text{ kvar}}{400} = 127,75 \text{ A } I=\text{reaktiv}$$

## Impedans Faskompensering



Fig 3.33

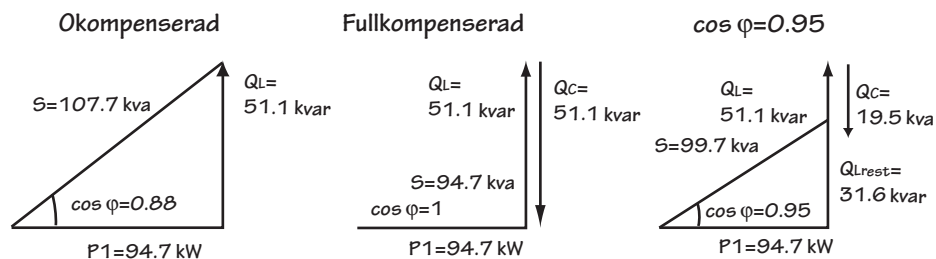


Fig 3.33 visar grafiskt ovanstående beräkningar för effekterna. Vi har här även visat ett exempel på en partiell faskompensering dvs vi har valt att inte fullkompensera maskinen. Vi har här valt att lägga  $\cos \varphi$  på 0.95. Observera att vi måste öka kondensatorbatteriets storlek 2.6 ggr för att höja  $\cos \varphi$  från 0.95 till 1. Därmed skulle vi minska  $S$  från 99.7 kva till 94.7 kva, en minskning på ca 5%.



### Repetitionsfråga 3.8

Du kan nu beräkna de strömmar vi erhåller i högra triangeln i Fig 3.33.

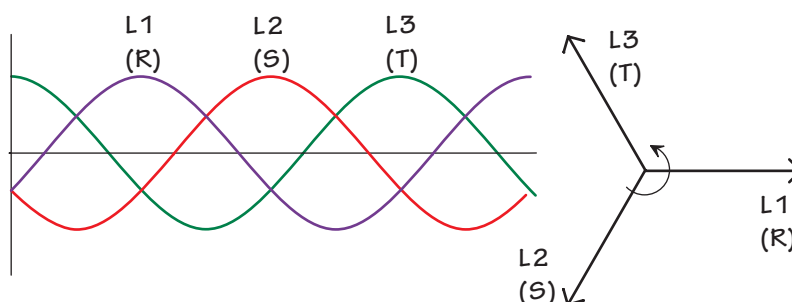
Labb 2:13



## 3-FAS VÄXELSTRÖM

### Inledning

Fig 3.34



Vi skall nu titta närmare på det vanligaste växelströmssystemet i elkraftsammanhang, 3-fassystemet. Det finns ett antal fördelar med att använda ett 3-fassystem vid effektöverföringar:

- Tunnare ledare kan användas för att överföra en given effekt jämfört med ett 1-fassystem, ca 25% mindre koppar
- De smalare linorna är lätta att installera och kräver mindre stolpkonstruktioner
- 3-fasmotorer och annan 3-fasutrustning har gynnsammare start- och driftsegenskaper
- I princip alla växelströmsmotorer över 1 kW är konstruerade som 3-fasmaskiner då de är självstartande med given rotationsriktning

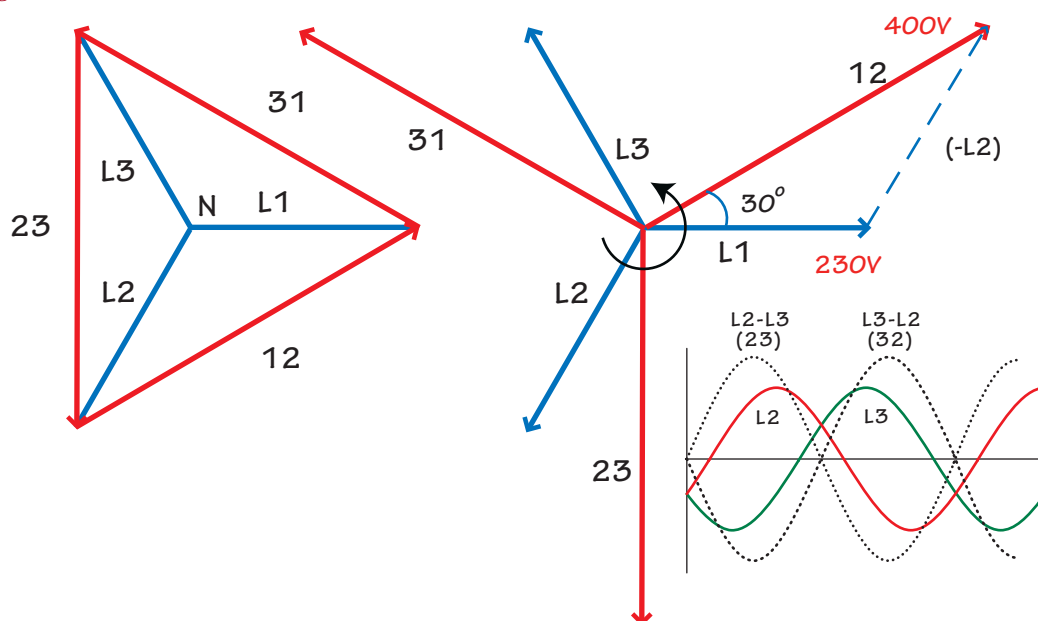
Fig 3.34 visar ett trefassystem med dess fasförskjutning på 120 grader mellan faserna, både som sinuskurvor och som visardiagram. Ett trefassystem med lika stora spänningar och med en fasförskjutning mellan faserna på 120 grader kallas för ett symmetriskt system. I figuren ser vi både den nya och gamla (inom parentes) fasmärkningen.

Även om 3-fassystemet är det förhärskande överföringssystemet idag så kan vi i mellansverige och upp efter norrlandskusten se högspänningsöverföringar med endast två ledare. Det är matningar till banverkets matningspunkter för järnvägen. Det är en 2-fasig 130-kV överföring.



## HUVUD- OCH FASSPÄNNING

Fig 3.35



Huvudspänningen är spänningen mellan 2 faser och fasspänningen är mätt mellan en fas och jord, se Fig 3.35

Observera att det är en fasförskjutning av 30 grader mellan respektive fas- och huvudspänningar

När vi mäter spänningen i våra lågspända trefas nät finner vi 2 spänningar, beroende på hur vi mäter. Om vi mäter mellan en fasledare och matningens 0-punkt finner vi en spänning av 230V. Om vi däremot mäter spänningen mellan två fasledare så är spänningen 400 V. Huvudspänningens momentanvärde är en aritmetisk funktion av respektive fasspänning. Fig 3.35, vänstra figuren, visar hur vi mäter spänningarna i nätet dvs antingen mellan nollpunkten och en fas eller mellan två faser.

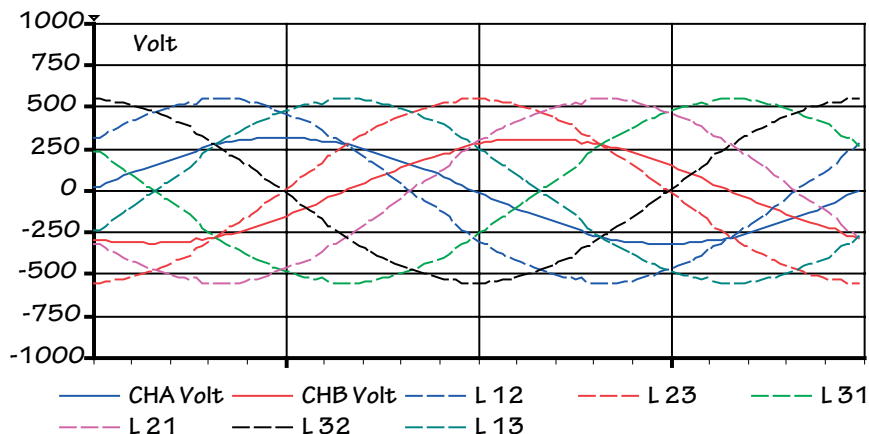
Om vi flyttar de visare som representerar huvudspänningen så att vi får ett rent visardiagram erhåller vi högra figuren. Observera att huvudspänningen är  $\sqrt{3}$  dvs 1.73 gånger större än fasspänningen. Huvudspänningens beteckning t.ex 23 betyder att vi mäter mellan L2 och L3 med L3 som referenspunkt. Det innebär att vi även kan mäta upp huvudspänningen 32. Enda skillnaden är att vi nu använder L2 som referensfas. Observera att huvudspänning 32 är fasvänd 180 grader jämfört med huvudspänning 23. Detta betyder att vi har 6 huvudspänningar i vårt 3-fas nät. Dock brukar vi vanligtvis endast ange tre huvudspänningar, 12, 31 och 23.



## Kapitel 3 Växelspänning

I Fig 3.35 ser vi även två fasspänningar och huvudspänningar såsom sinuskurvor. Här kan vi se hur huvudspänningarna 23 och 32 är uppbyggd av fasspänningarna L2 och L3

### Mätning 3.1



Mätning 3.1 Mätning 3.1 visar de 6 huvudspänningarna och 2 stycken fasspänningar, L1 och L2.

### Repetitionsfråga 3.9

Antag att vi har en asynkronmaskin som roterar medurs när vi ansluter faserna till dess terminaler (A, B, C) enligt kopplingsalternativ 1 i tabellen nedan.

I vilka av de följande kopplingsalternativen (2-6) kommer maskinen att fortsätta att rotera medurs efter en omkoppling:

- 1 L1 - A, L2 - B, L3 - C
- 2 L3 - A, L1 - B, L2 - C
- 3 L3 - A, L2 - B, L1 - C
- 4 L2 - A, L1 - B, L3 - C
- 5 L2 - A, L3 - B, L1 - C
- 6 L1 - A, L3 - B, L2 - C

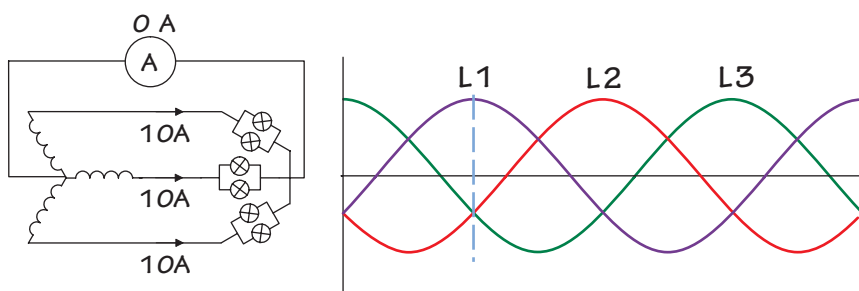


Lab 2:14



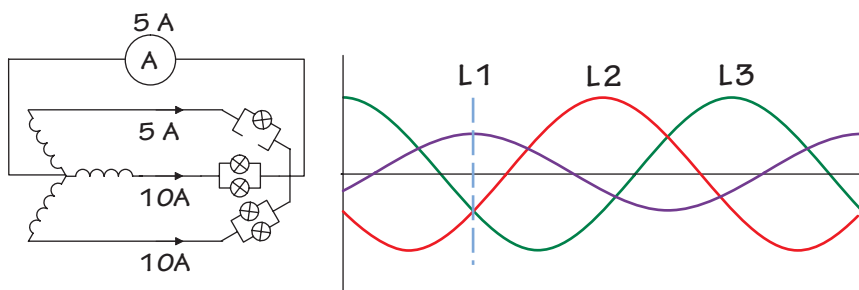
### 0-Ledaren

Fig 3.36



Fasspänningen på sekundärsidan av nättransformatorer i det borge-  
liga elnätet är 230 V mätt mot matningens 0-punkt. Vi kopplar även  
lasterna 1-fasigt mot en gemensam 0-punkt. Därefter förbinder vi  
lastens och matningens 0-punkt med en ledare. Men varför kommer  
vår gemensamma kopplingspunkt att kunna betraktas som en noll-  
punkt, även om alla tre faserna är spänningsförande? Om vi studerar  
Fig 3.36 närmare ser vi att vertikalsumman av alla faserna i varje  
ögonblick blir 0 V. Det betyder att vi kan använda vår kopplings-  
punkt som en nollpunkt vid enfasisa laster.

Fig 3.37



Men för att vår nollpunkt verkligen skall uppföra sig som en sådan  
måste även strömmarna i de tre faserna vara lika stora dvs belast-  
ningarna måste vara symmetriska. Om en av belastningarna drar en  
mindre ström kommer inte summa strömmen längre att bli noll, vi  
får en resterande ström i vår 0-ledare, se Fig 3.37.

Om våra laster vore symmetriska skulle vi kunna klara oss utan nol-  
ledaren från lasternas nollpunkt. Då summaströmmen i kopplings-  
punkten i varje ögonblick blir noll fungerar kopplingen utmärkt.





Fig 3.38

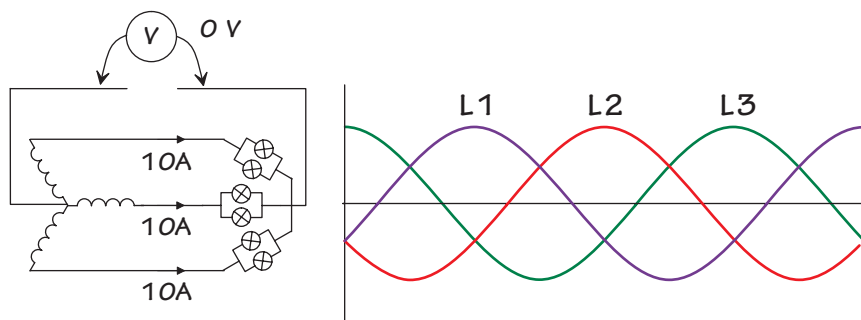


Fig 3.38 visar en krets där vi har brutit upp nollledaren och mäter spänningen mellan transformatorns nollpunkt och kretsens artificiella nolla. Om vi mäter spänningen mellan våra 2 nollpunkter kommer vi att kunna konstatera att spänningen är 0 V dvs våra nollpunkter befinner sig på samma potential.

Men vad sker om vår belastning är osymmetrisk? Det får till följd att vår nollpunkt för lasten kommer att uppvisa en potentialskillnad mot matningens nollpunkt som är en funktion av snedbelastningen. Det betyder att spänningarna över våra tre 1-fas laster kommer att bli olika pga snedbelastningen dvs spänningen är inte längre 230 V över våra laster. Lösningen är att ansluta en ledare från matningens 0-punkt till lastens 0-punkt. Genom att mäta om vi har någon ström i vår 0-ledare kan vi enkelt se om lasten är symmetrisk. Observera att även om vi ansluter nollledaren kommer vi att få en viss spänningsosymmetri pga transformatorns inre förluster vid en snedbelastning. Den är dock väsentligt mindre än utan vår 0-ledare.

Faran med att inte använda en nollledare är att vid snedbelastning av transformatorn kan vi få mycket stora spänningsskillnader mellan faserna. Vi kan t.ex. erhålla en spänning av 350 V över en mindre belastad fas vilket medför att anslutna laster förstörs!



Lab 2:15



## Y-D koppling

Fig 3.39

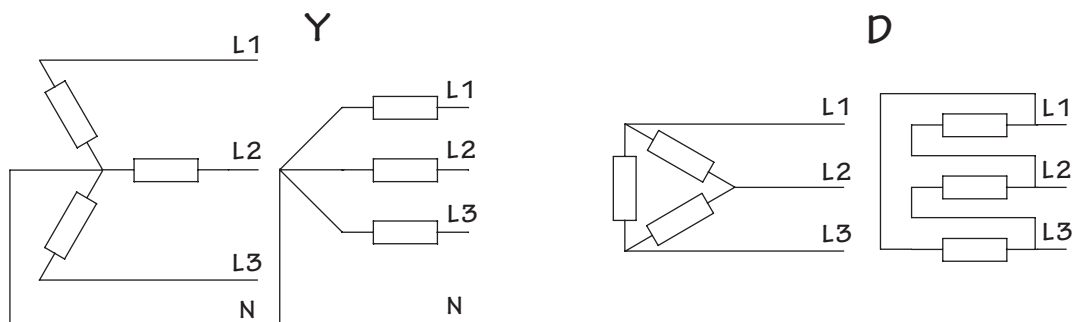


Fig 3.39 visar 2 olika kopplingsvarianter för spänningskällor och belastningar i ett 3-fas nät, Y- eller D-kopplat. Vi ser här två olika sätt att rita respektive koppling. Y-kopplade matningar är vanligast för lågspänningsapplikationer då de används för matning av våra bostäder och där nolledaren ger oss möjlighet att ansluta 1-fasiga belastningar förutom att den används för skyddsändamål.

Fig 3.40

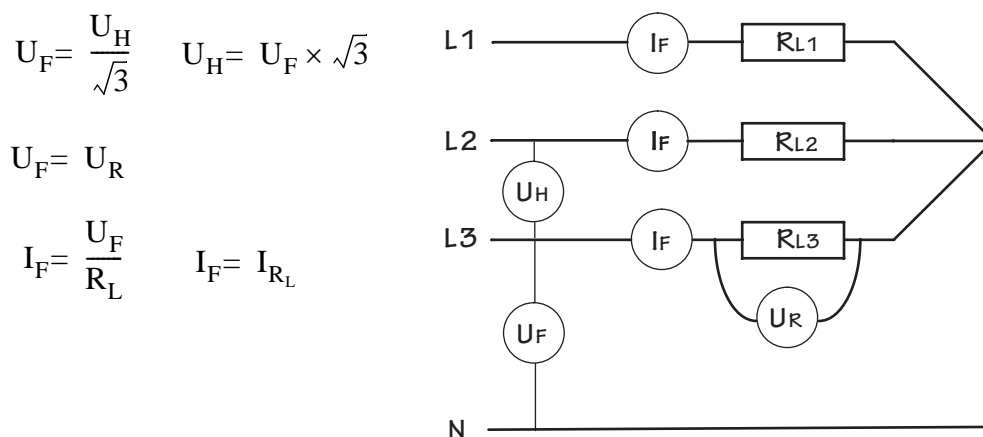


Fig 3.40 vänstra kopplingen visar en Y-kopplad resistiv belastning ansluten till ett 3-fasnät. Spänningen över varje resistor är lika med fasspänningen och strömmen genom resistorerna är lika med fasströmmen. Förhållandet mellan huvud- och fasspänningen är lika med kvadratroten ur 3, ca 1.73.

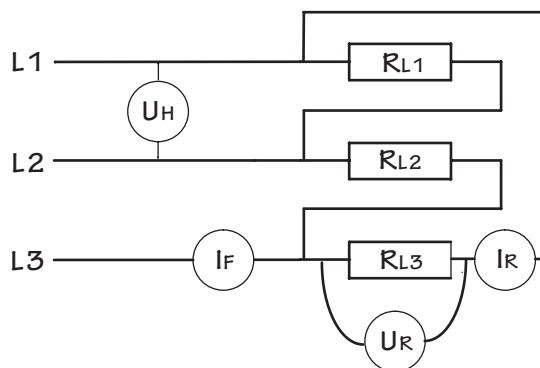


Fig 3.41

$$U_H = U_R$$

$$I_F = \frac{U_H}{R_L} \times \sqrt{3}$$

$$I_R = \frac{U_H}{R_L}$$



I en D-kopplad belastning är spänningen över belastningen lika med huvudspänningen och strömmen genom belastningen är lika med fasströmmen delat med roten ur 3.

## Övriga Huvudspänningar

Vi har konstaterat att i det vanliga borgele elnätet är Fas/Huvudspänningarna lika med:

230/400

500 V är en äldre huvudspänning som vi fortfarande kan stöta på inom industrin

Men i industrin kan vi även finna andra spänningsnivåer:

290/500

400/690

Observera att en motor märkt 230/400 INTE kan köras på 690V

Skall vara märkt 400/690

Fördelen med att höja matande näts spänningar är, för en given effektförbrukning hos en belastning, att lastströmmen minskar i takt med att nätspänningen ökar. Därmed minskar förlusterna i matande ledningar och vi kan därmed minska ledarnas diameter samt även motorernas storlek. Nackdelen är givetvis att isolationskraven stiger vid ökande nätspänning. En huvudspänning av 690V ställer även högre krav på våra mätinstrument jämfört med en matningsspänning av 400V.

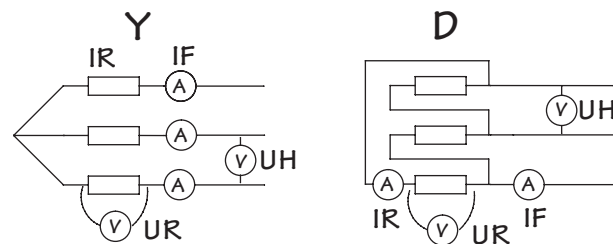
690V huvudspänning är en spänningsstandard som blir allt vanligare inom industrin. Fördelen med denna spänningsnivå är att vi kan även använda asynkronmotorer som är avsedda för 690V vid 400V. Maskinen körs Y-kopplad på 690V och D-kopplad på 400V.



### Effekt i 3-fas system

Om vi vill beräkna den skenbara effekt som utvecklas i en symmetrisk belastning så behöver vi bara räkna ut effekten som utvecklas i en av lasterna och multiplicera resultatet med 3.

Fig 3.42



För Y-kopplade belastningar får vi:

**Beräkning 3.16**

$$S_{TOT} = 3 \times U_R \times I_F$$

För D-kopplade belastningar får vi:

**Beräkning 3.17**

$$S_{TOT} = 3 \times U_R \times I_R$$

Vi kan även använda en generell formel för Y och D kopplade laster:  
(observera att vi här alltid räknar med huvudspänning och fasström)

**Beräkning 3.18**

#### Skenbar effekt

$$S = U_H \times I_F \times \sqrt{3}$$

#### Aktiv effekt

$$P = U_H \times I_F \times \sqrt{3} \times \cos \varphi$$

#### Reaktiv effekt

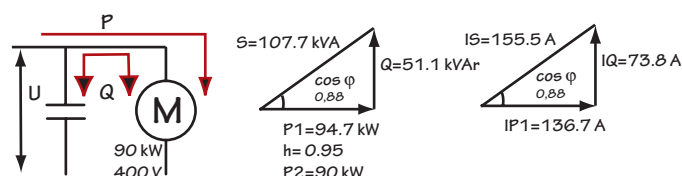
$$Q = U_H \times I_F \times \sqrt{3} \times \sin \varphi$$

Lab 2:16-17



## Faskompensering 3-fas

Fig 3.43



Om vi återvänder till den asynkronmaskin vi studerade faskompenseringen för i Fig 3.32, sidan 56, och nu väljer att använda en 3-fasig motor så skall vi se vad det medför för våra beräkningar. Fig 3.43 visar beräkningarna för maskinen. När vi jämför med Fig 3.32, sidan 56 ser vi att ingenting har förändrats för effektberäkningarna. Det är endast triangeln för ström som har nya värden. Vi ser här att vi får en lägre fasström då matningen är 3-fasig.

### Beräkning 3.19

$$S = U \times I \times \sqrt{3} \Rightarrow I = \frac{S}{U \times \sqrt{3}} = \frac{107,7 \text{ kVA}}{400 \times \sqrt{3}} = 155,5 \text{ A} \quad I \text{ skenbar}$$

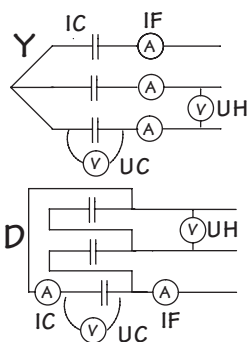
### Beräkning 3.20

$$I_{\text{Aktiv}} = \frac{P}{U \times \sqrt{3}} = \frac{94,7 \text{ kVA}}{400 \times \sqrt{3}} = 136,7 \text{ A} \quad I \text{ aktiv}$$

### Beräkning 3.21

$$I_{\text{reaktiv}} = \frac{Q}{U \times \sqrt{3}} = \frac{51,1 \text{ kvar}}{400 \times \sqrt{3}} = 73,8 \text{ A} \quad I \text{ reaktiv}$$

Fig 3.44



När vi skall konstruera faskompenseringsbatteriet för en 3-fas maskin skall vi dela upp den totala reaktiva effekten i tre lika stora batterier dvs ett kondensatorbatteri per fas.

### Repetitionsfråga 3.10

Beräkna kondensatorernas storlek i Farad per fas för ett Y- respektive D-kopplat kondensatorbatteri som skall utföra en faskompensering enligt Fig 3.43. Använd Fig 3.44 som stöd vid beräkningen. Ett tips är att du först beräknar reaktiv effekt per fas. Därefter kan du beräkna strömmen genom en kondensator för Y- och D-kopplingen. När du så har ström och spänning kan du beräkna nödvändig reaktans och så slutligen kapacitansen. Verifiera dina beräkningar i laborationen.



Lab 2:18-19



Om vi undersöker kopplingen på sekundärsidan av en D/Y kopplad lågspänningstransformator finner vi att kopplingen kan utföras på 3 olika sätt med avseende på jordning. Fig 3.45 visar exempel på de möjliga kopplingarna.

Fig 3.45

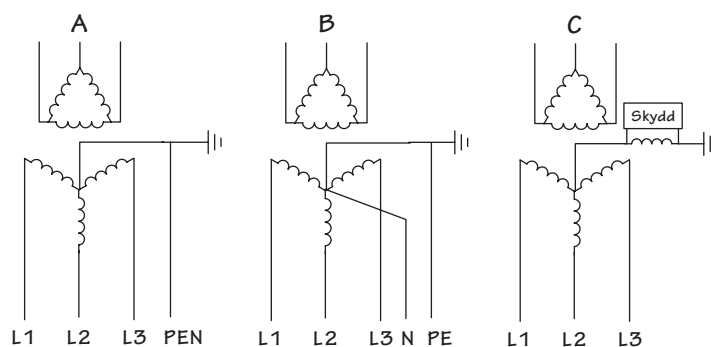


Fig 3.45 A visar exempel på ett 4-ledar-system dvs 3 faser och PEN, en kombinerad jord och nolledare.

Fig 3.45 B visar ett 5-ledar system dvs 3 faser och PE + N, separat jord och nolledare.

Fig 3.45 C visar ett icke direktjordat system. Det får endast användas i industrianläggningar och tillsammans med en jordfelsövervakning t ex med en nollpunktsutrustning som visas i figuren.



# Kapitel 2

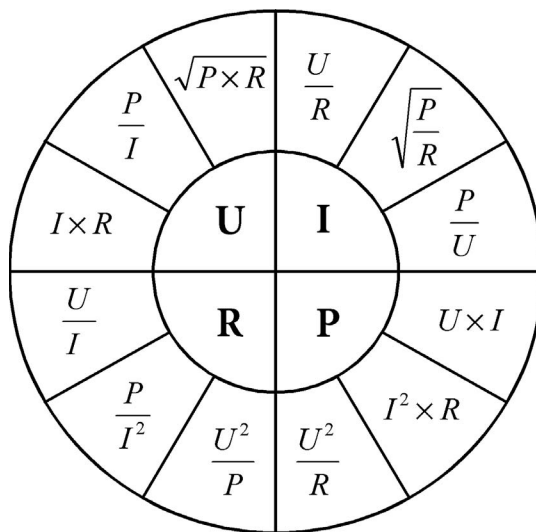
## Formelsamling



## FORMELSAMLING DC

## Ohm 's lag

Fig 2.1



## Ledarresistans

$$R = \frac{\rho \times l}{a}$$

Där:  $R$  = Ledarens resistans i ohm

$\rho$  = Resistiviteten för materialet ( $\rho$ )

$l$  = Ledarens längd i meter

$a$  = Ledarens area i  $\text{mm}^2$

Resistiviteten varierar för olika material:

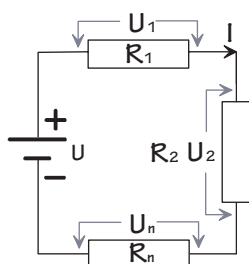
Aluminium	0.028
Bly	0.2
Koppar	0.017-0.018
Silver	0.016





## Resistans i seriekrets

Fig 2.2



Om vi seriekopplar två eller flera motstånd kommer den resulterande resistansen i kretsen att bli lika med summan av alla i kretsen ingående resistanser:

### Beräkning 2.1

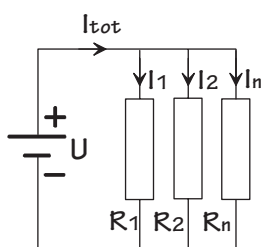
$$R = R_1 + R_2 + R_n$$

Summan av alla delspänningsfall över anslutna motstånd är lika med matningsspänningen. Spänningsfallet över enskilt motstånd är lika med dess resistans gånger genomfluten ström.

Vid seriekoppling blir alltid summan av de ingående resistanserna alltid större än värdet av den största enskilda resistansen i kretsen.

## Resistans i parallellkrets

Fig 2.3



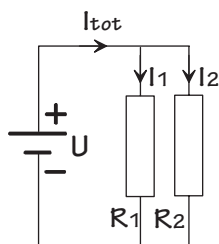
Summaströmmen  $I_{tot}$  är lika med summan av alla grenströmmar. Vi kan ersätta de parallellkopplade motstånden med ett ersättningsmotstånd som drar lika mycket ström som  $I_{tot}$ . Dess resistans blir:

### Beräkning 2.2 Två eller flera parallellkopplade motstånd med lika resistans

$$R = \frac{R_n}{n}$$

Där: n är antalet parallellkopplade resistorer  
 $R_n$  är resistansen för ett av motstånden

Fig 2.4



Om vi sammankopplar två stycken motstånd i parallell med olika resistanser vad blir den resulterande resistansen för denna krets?

Vi kan koppla upp kretsen och mäta dess totala ström, och med hjälp av Ohms lag beräkna kretsens resulterande resistans. Men vi kan givetvis även beräkna kretsens ersättningsresistans:

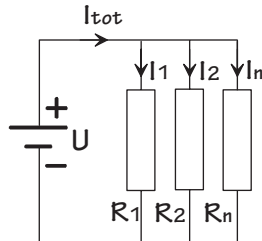
### Beräkning 2.3 Två parallellkopplade motstånd med olika resistanser

$$R_{tot} = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2}$$

Där  $R_1$  och  $R_2$  är resistanserna för motstånden.



Fig 2.5



Vid parallellkoppling av motstånd blir alltid kretsens sammanlagda resistans mindre än den minsta resistans som ingår i kretsen

#### Beräkning 2.4 Ett obegränsat antal motstånd med valfria resistanser

$$\frac{1}{R_{\text{tot}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_n} + \dots$$

#### Beräkningsexempel

Vi har parallellkopplat 7 stycken motstånd på 1.2 kΩ, vad blir den resulterande resistansen?

#### Beräkning 2.5

$$R = \frac{1200\Omega}{7} \approx 171,4\Omega$$

Vi parallellkopplar två motstånd på 130 och 220 Ω, vad blir den resulterande resistansen?

#### Beräkning 2.6

$$R = \frac{130\Omega \times 220\Omega}{130\Omega + 220\Omega} \approx 81,7\Omega$$

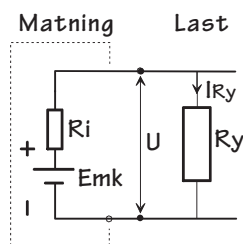
Vi parallellkopplar fem motstånd med följande resistanser 500, 350, 600, 120, samt 1200 Ω. Vad blir den resulterande resistansen?

#### Beräkning 2.7

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{500\Omega} + \frac{1}{350\Omega} + \frac{1}{600\Omega} + \frac{1}{120\Omega} + \frac{1}{1200\Omega} = \frac{1}{0,01569\Omega} \approx 63,7\Omega$$

## Inre resistans

Fig 2.6



Vi kan enkelt beräkna det inre spänningsfallet över Ri för en given belastningsström. Vi antar följande värden:

$$Emk = 12 \text{ V}$$

$$U = 11,3 \text{ V}$$

$$R_y = 1,2 \Omega$$

$$I_{ry} = 10 \text{ A}$$

Fig 2.6 visar kretsen. Dessa värden talar om för oss att Emk-spänningen är 12 V. När vi ansluter en given last till batteriet sjunker polspänningen U till 11,3 V.

Vad är då Ri?

Först beräknar vi spänningsfallet över den inre resistansen Ri:



$$U_{Ri} = E_{mk} - U = 0,7V$$

Lastströmmen var 10 A. Med hjälp av Ohms lag kan vi nu beräkna batteriets inre resistans:

$$R_i = \frac{E_{mk} - U}{I_{Ry}} = \frac{0,7V}{10A} = 0,07\Omega$$

Batteriets inre resistans är 0.07 ohm.

### Beräkning 2.8

Men vi kan även beräkna den inre resistansen i matningskällan genom att mäta Emk'n och polspänningen U och sedan använda en lämplig formel. Vi antar att kretsen har följande data:

$$E_{mk} = 24 V \quad U = 21.3 V$$

$$R_y = 1.2 \Omega$$

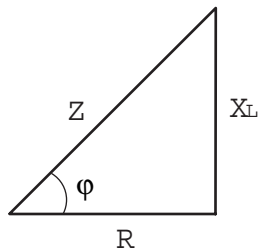
$$R_i = \frac{R_y(E - U)}{U} = \frac{1,2(24 - 21,3)}{21,3} \approx 0,15\Omega$$

Matningskällans inre resistans är 0.15  $\Omega$ .



### Pythagoras sats

Fig 2.7



“Summan av kateterna i kvadrat är lika med hypotenusan i kvadrat”  
dvs (vi låter impedansen motsvara hypotenusan och resistans och reaktans motsvara kateterna):

$$Z^2 = R^2 + X^2$$

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

Vi har en rätvinklig triangel och kan därmed utnyttja Pythagoras sats. Nackdelen med Pythagoras sats är att den kan inte ge oss fasförskjutningens vinkel.

### Trigonometri

Fig 2.7 visar vår impedanstriangel. Vi kan med hjälp av trigonometri beräkna enskilda storheter i triangeln och fasförskjutningens vinkel. Vi använder sinus, cosinus, tangens och cotangens. Dessa är mått på förhållandet mellan triangelns olika delar.

**Beräkning 2.9 Sinus är motstående katet dividerad med hypotenusan.**

$$\sin \varphi = \frac{X_L}{Z}$$

**Beräkning 2.10 Cosinus är närliggande katet dividerad med hypotenusan**

$$\cos \varphi = \frac{R}{Z}$$

**Beräkning 2.11 Tangens är motstående katet dividerad med närliggande katet**

$$\tan \varphi = \frac{X_L}{R}$$

**Beräkning 2.12 Cotangens är närliggande katet dividerad med motstående katet**

$$\cot \varphi = \frac{R}{X_L}$$



## FORMELSAMLING AC

### Induktiv reaktans

Fig 2.7 Vi vet att ett motstånd uppvisar en bestämd resistans mot växelström, även en induktans uppvisar ett motstånd mot växelström. Detta kallas för reaktans, i detta fall även för induktiv reaktans. Formeln för beräkning av den induktiva reaktansen är:

#### Beräkning 2.13

$X_L = 2 \times \pi \times f \times L$  Resultatet anges i ohm.

Då vi kan ange spolens växelströmsmotstånd i ohm betyder det att vi kan använda detta värdet i Ohms lag!

### Kapacitiv reaktans

#### Beräkning 2.14

$$X_C = \frac{1}{2\pi \times f \times C}$$

Som vi ser av formeln för kapacitiv reaktans så kommer reaktansen att avta med ökande frekvens medan reaktansen för en induktor ökar med stigande frekvens.

### Impedans (seriekrets)

En krets som innehåller både resistiva och reaktiva komponenter uppvisar ett sammansatt växelströmsmotstånd, Impedans.

#### Beräkning 2.15

$$Z^2 = R^2 + X^2 \Rightarrow Z = \sqrt{R^2 + X^2}$$

Om vi löser ut reaktansen får vi:

#### Beräkning 2.16

$$X^2 = Z^2 - R^2 \Rightarrow X = \sqrt{Z^2 - R^2}$$

Om vi löser ut resistansen får vi:

#### Beräkning 2.17

$$R^2 = Z^2 - X^2 \Rightarrow R = \sqrt{Z^2 - X^2}$$



## Impedans (parallellkrets)

Beräkning 2.18

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

## Tidskonstant

## Kapacitiv

Beräkning 2.19

$$\tau = R \times C$$

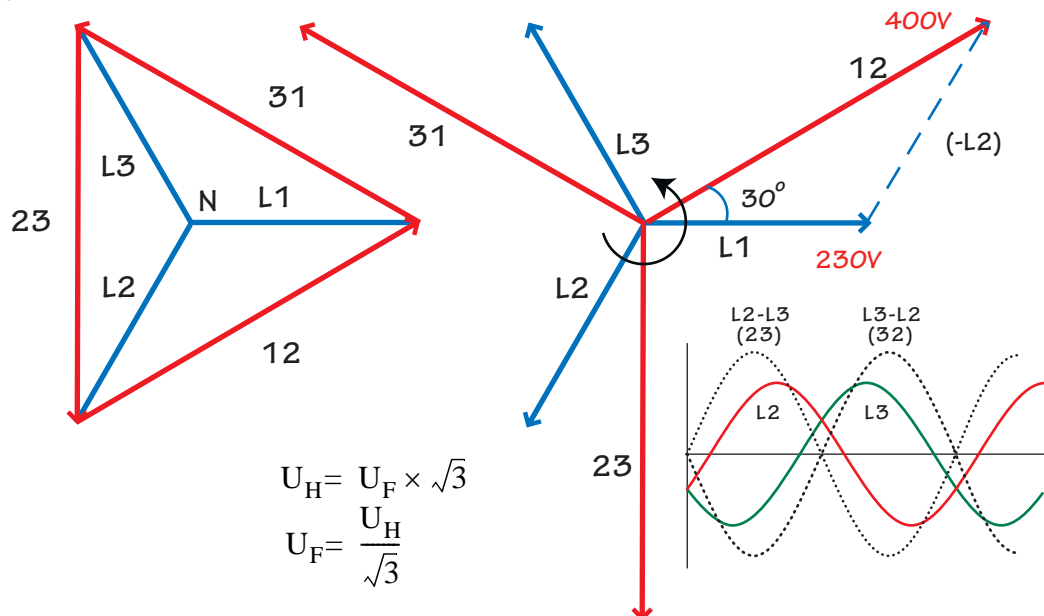
## Induktiv

Beräkning 2.20

$$\tau = \frac{L}{R}$$

## 3-FAS VÄXELSTRÖM

Fig 2.8





## Effekt i 3-fas system

### Beräkning 2.21

#### Skenbar effekt

$$S = U_H \times I_F \times \sqrt{3}$$

#### Aktiv effekt

$$P = U_H \times I_F \times \sqrt{3} \times \cos \varphi$$

#### Reaktiv effekt

$$Q = U_H \times I_F \times \sqrt{3} \times \sin \varphi$$

#### Fasström

### Beräkning 2.22

$$I_F = \frac{S}{U \times \sqrt{3}} = \frac{P}{U \times \sqrt{3} \times \cos \varphi}$$

## Transformatorberäkningar

#### Omsättningsförhållande spänning, ström och varvtal

### Beräkning 2.23

$$\frac{U_P}{U_S} = \frac{I_S}{I_P} = \frac{n_P}{n_S}$$

#### Impedansomsättning

### Beräkning 2.24

$$Z_P = n^2 \times Z_S$$

#### Verkningsgrad

### Beräkning 2.25

$$\eta = \frac{P_s}{P_p}$$

Verkningsgraden är ett mått på hur mycket av den inmatade effekten som vi kan tillgodogöra oss i den anslutna lasten.

3-fas växelström

## Transformatorberäkningar

