

## 1.1 - Grundläggande begrepp inom elektronik

### 1.1.1 - Grundläggande storheter i elektriska kretsar

- För att våra elektriska apparater, exempelvis din dator, skall drivas så måste vi se till att elektrisk ström flödar genom den, se  $I$  i figuren till höger. Ström är inget annat än ett flöde av negativt laddade partiklar, som kallas elektroner. Vi skall nu gå igenom hur ström uppstår genom att analysera en enkel likströmskrets.

- En enkel likströmskrets har följande beståndsdelar:

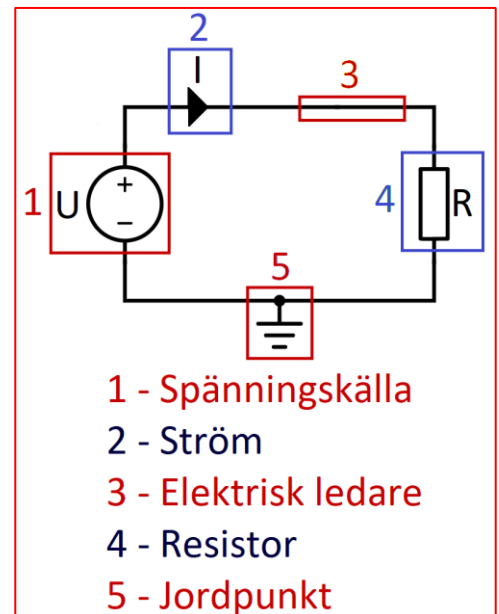
1. **Spänningskälla:** Exempelvis ett batteri. Laddningsskillnaden mellan plus- och minuspolen möjliggör ett flöde av negativt laddade partiklar, elektroner, förutsatt att kretsen är sluten med en elektrisk ledare. Då flödar en ström i kretsen. Spänning har beteckningen  $U$  (V i engelsk litteratur) och mäts i enheten *Volt* (V).

2. **Ström:** Ett flöde av elektroner från minus- till pluspolen. På grund av ett missförstånd för hundratals år sedan, då positivt laddade partiklar antogs flöda från plus- till minuspolen, så ritas flödar ström alltid från plus- till minuspolen. Ström har beteckningen  $I$  och mäts i enheten *Ampere* (A). Av praktiska skäl används ofta *milliAmpere* (mA), då A är rätt mycket i de flesta applikationer; 100 mA kan döda en människa på mindre än en sekund.

3. **Ledare:** Ett material som elektronerna kan röra sig igenom, vilket medför att materialet leder ström. Vanligtvis används någon typ av metall, oftast koppar, då detta är billigt och leder ström bra. Andra metaller, såsom guld, hade givetvis också kunnat användas, men det är inte ekonomiskt gångbart.

4. **Resistor:** Komponent som reglerar strömmen till lagom nivå via sin resistans. Om resistansen är för hög så kommer ingen ström flöda igenom kretsen. Vi hade då inte kunnat driva våra komponenter. Om resistansen istället är för låg så kommer strömmen bli för hög, vilket kan leda till brand. I bästa fall så leder det till ökad effektförbrukning, vilket ökar elräkningen. Notera att komponenter, även ledaren, har en viss intern resistans som kommer begränsa strömmen till viss grad. Dock behövs oftast externa resistorer för att strömmen inte skall bli för hög. Resistorers resistans mäts i enheten *Ohm* ( $\Omega$ ). Ofta används dock i resistorer vars resistans ligger i storleksordningen *kiloOhm* (k $\Omega$ ), vilket oftast medför strömmar av storleksordningen *milliAmpere* (mA).

5. **Jordpunkt:** Gemensam referenspunkt/utgångspunkt för komponenter där potentialen (laddningen) är lika med noll. I jordpunkten så är alltså spänningen lika med noll. Vanligtvis ansluts spänningskällors minuspole till jordpunkten. Genom att använda en gemensam referenspunkt för spänningen så kan olika komponenter och kretsar enkelt sammankopplas via jordpunkten, alltså den punkt då samtliga kretsars laddning är lika med noll. I våra hus är ett stort antal komponenter anslutna till en gemensam jordpunkt, så att de alla har samma spänningspotential. Vi säger då att komponenterna är jordade. Eftersom det inte finns någon laddningsskillnad mellan apparaterna så kommer inte någon ström flöda mellan dem, vilket annars hade kunnat bli mycket farligt för oss.

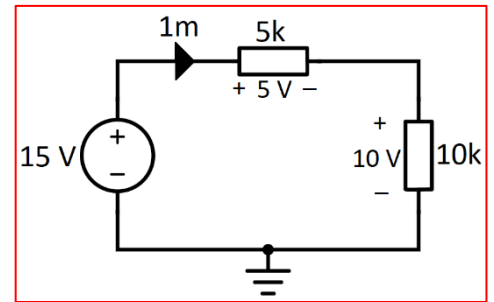


*Likströmskrets med en spänningskälla (till exempel ett batteri), ström samt resistorer utritade. För att strömmen skall kunna flöda i kretsen så måste ledaren (tänk kabeln) bestå av ett ledande material, som oftast är koppar.*

*Resistorerna begränsar strömmens storlek; utan resistorer så hade strömmen kunnat bli extremt hög, vilket hade kunnat leda till brand.*

### 1.1.2 - Samband mellan spänningskälla, ström, resistans och elektrisk ledare i en elektrisk krets

- För att ström skall uppstå så behöver vi en laddningsskillnad mellan två punkter/poler, exempelvis via ett batteri, se U i figuren till höger. Som ni har sett på batterier så har dessa en pluspol och en minuspol. Elektronerna befinner sig på minuspolen. På grund av laddningsskillnaden mellan plus- och minuspolen så vill elektronerna hoppa över till pluspolen, vilket medför att ström uppstår.
- På grund av att man tidigare trodde att det var positiva partiklar som flödade från plus- till minuspolen, inte tvärtom, så flödar ström från plus- till minuspolen. Så ritas ström upp även idag, vilket medför att i elektriska kretsritning så flödar strömmen alltid från plus- till minuspolen, inte tvärtom (som är den egentliga riktningen på atomnivå).
- Ett vanligt batteri har alltså en spänningsskillnad mellan plus- och minuspolen, så varför flödar ingen ström mellan dessa automatiskt? Det beror på att två polerna är separerade, så det finns ingen väg för elektronerna att flöda till pluspolen (elektronerna kan inte röra sig effektivt i luften). Vi behöver därför sammankoppla plus- och minuspolen med ett material som elektronerna kan röra sig igenom, en så kallad elektrisk ledare.
- Genom att vi sammankopplar batteriets plus- och minuspol med en elektrisk ledare, vanligtvis någon typ av metall, exempelvis koppar, så skapar vi en väg för elektronerna att flöda till pluspolen. Då gäller att det att kretsen är sluten, alltså att det finns en väg för elektronerna hela vägen från minuspolen till pluspolen.



Enkel likströmskrets med två seriekopplade resistorer. Den totala resistansen i kretsen blir summan av resistorernas respektive resistans, alltså  $5k + 10k = 15k\Omega$ .

Om det finns något avbrott, alltså ett hålrum, i ledaren så kommer elektronerna inte kunna passera. Ibland placeras därmed en switch i en krets, då man enkelt kan öppna denna för att skapa ett avbrott i kretsen, vilket leder till att ingen ström flödar genom kretsen. Om switchen istället sluts så kan strömmen flöda fritt genom kretsen.

- Men anta att vi sluter kretsen genom att använda en ledare utan avbrott. Nu uppstår ett nytt problem; om vi inte begränsar elektronflödet så kommer strömmen bli enormt högt, vilket kan leda till brand. Det är här som resistorerna (komponenterna märkta R, se 3 i figuren till höger) kommer in i bilden. Resistorer används generellt för att begränsa elektronflödet, alltså strömmens storlek, till en lagom nivå. Som exempel, en fördubbling av resistansen medför en halvering av strömmen.
- Dock så behövs inte alltid externa resistorer för att begränsa strömmens storlek. Alla komponenter, även kopparledaren och lampan, har en viss intern resistans som begränsar strömmen till viss grad. För att driva en komponent effektivt, exempelvis en lampa, så måste strömmen igenom denna vara tillräckligt stor, annars kommer lampan inte lysa. Dock vill vi inte heller att strömmen är för hög, då detta kan leda till onödiga förlusteffekter eller att det börjar brinna.
- Låt oss säga att den tidigare nämnda lampan har relativt hög intern resistans. Detta kan medföra att strömmen genom lampan blir relativt låg med vårt val av batteri, vilket medför att lampan lyser väldigt dåligt. Vi kan då öka strömmen genom att byta till ett batteri med högre spänning, alltså högre spänningsskillnad mellan plus- och minuspolen. Låt oss säga att vi går från att använda ett batteri på 9 V till ett batteri på 18 V, alltså dubbelt så mycket spänning, så kommer strömmen genom kretsen fördubblas.
- Kom ihåg:** En spänningskällas plus- och minuspol sammankopplade via en sluten elektrisk ledare leder till att ström flödar genom kretsen, vars storlek enkelt kan regleras med resistorer. Minussidan ansluts oftast till en jordpunkt, som används som en utgångspunkt där potentialen är noll. Högre resistans leder till lägre ström om allting annat förblir oförändrat; en fördubbling av den totala resistansen i kretsen medför en halvering av strömmen. Däremot leder högre spänning till högre ström om allting annat förblir oförändrat; ifall spänningen från spänningskällan fördubblas så kommer strömmen i kretsen fördubblas.

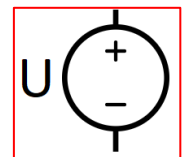
### 1.1.3 - Definitioner av vanliga storheter i likströmskretsar

#### Elektrisk laddning:

- I atomer finns elektriska laddningar, både positiva och negativa. De partiklar som är negativt laddade kallas elektroner och de attraheras av positiva laddningar (och vice-versa). Det är flödet av elektroner som medför att ström uppstår.
- Det är skillnader i laddningar, elektrisk potential, mellan två punkter som medför att elektroner börjar därför röra på sig. De rör sig då mot den positivt laddade punkten, vilket ger upphov till ström, alltså ett flöde av elektroner. Elektrisk laddning ( $Q$ ) mäts i Coulomb (C). Laddningen 1 C motsvarar ca  $6,24 \cdot 10^{18}$  elektroner.
- På grund av att man för några hundra år sedan trodde att det var positivt laddade partiklar som rörde sig från plus till minus i stället för tvärtom, så målar vi ut att strömmen flödar från plus till minus även idag. Även om detta är fel på atomnivå så känns det naturligt och utgör inget problem, så man har fortsatt med detta.

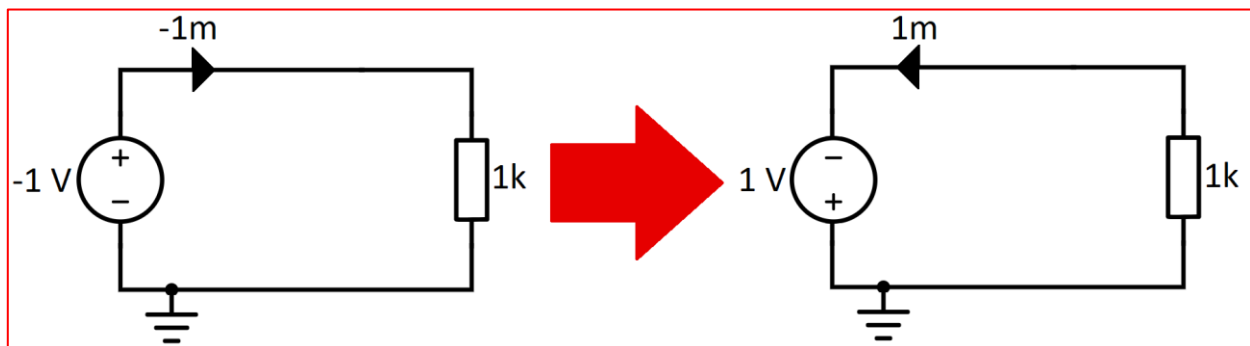
#### Spänning:

- Spänning innebär en laddningsskillnad, eller potentialskillnad, mellan två poler, en pluspol och en minuspol. I minuspolen finns en stor mängd elektroner. Som nämndes tidigare så vill dessa elektroner flöda till pluspolen. Spänningen ( $U$ ) mäts i enheten Volt (V).
- Närmaste vägen från minus- till pluspol är rakt över, men polerna är separerade. Därför måste elektronerna röra sig den andra vägen, exempelvis genom en krets, för att nå pluspolen. Därmed uppstår en s.k. ström, som flödar från plus- till minuspolen, alltså tvärtemot elektronernas flöde.



Generell  
spänningssymbol  
(likspänning).

#### Negativ spänning och polaritet:

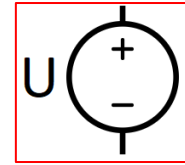


I den vänstra figuren ovan så har vi en spänningskälla med spänningen -1 V, vilket leder till en ström på -1 mA från vänster till höger (eftersom resistansen i kretsen är 1 k $\Omega$ ). Att spänningen och strömmen är negativa betyder i praktiken att de har motsatt polaritet/riktning. Därmed så är spänningskällan egentligen lika med 1 V åt motsatt håll och strömmen är 1 mA från höger till vänster.

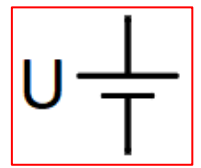
- Det är värt att notera att spänning kan vara negativ. Detta betyder i så fall att spänningen har motsatt polaritet, vilket kommer ändra riktningen på elektronflödet och därmed också strömmen. I den vänstra figuren ovan så är spänningen från spänningskällan -1 V, med pluspolen på ovansidan av kretsen. Eftersom resistansen i kretsen är 1 k $\Omega$  så blir därmed strömmen i kretsen lika med  $-1 / 1k = -1$  mA, i enlighet med Ohms lag, se mer information senare.
- Att spänningen är negativ betyder i praktiken av spänningen har motsatt polaritet, alltså att pluspolen egentligen är på den nedre sidan av kretsen. Detta medför att strömmens riktning är motsatt de exempel vi har sett tidigare; istället för att flöda från vänster till höger så kommer strömmen flöda från höger till vänster. Kom ihåg att strömmen alltid flödar från pluspolen till minuspolen, oavsett polaritet. Om spänningen dock är negativ så blir strömmen också negativ.
- Eftersom spänningen från spänningskällan var -1 V med pluspolen på ovansidan av kretsen så är spänningen i praktiken 1 V, med pluspolen på nedre sidan av kretsen. Att strömmen är -1 mA från vänster till höger betyder i praktiken att strömmen är 1 mA, men flödar från höger till vänster, alltså motsatt riktning.

## Likström:

- Figurerna till höger visar de två vanligaste symbolerna för likspänningskällor. Spänningen ur dessa spänningskällor kallas likspänning, vilket betyder att spänningen är konstant i storlek och polaritet, som på exempelvis ett batteri. Om vi använder en likspänningskälla så får vi så kallad likström i kretsen, vilket är ström som är konstant sett till storlek och riktning, alltså sådan ström vi har sett hittills.
- Den vänstra figuren visar en generell symbol för likspänningskällor, som dock inte indikerar vilken typ av spänningskälla som används. Den högra figuren visar symboler för ett vanligt batteri, som är en vanlig slags likspänningskälla
- Alla spänningskällor vi har sett hittills har varit likspänningskällor, även om spänningskällor med motsatt polaritet presenterades tidigare. Dock var strömmen ur denna konstant samt hade konstant riktning, så det var också en likströmskälla.
- Värt att notera är att definitionen på likspänning är spänning som inte byter polaritet. Dock kan likspänning vara ojämn, dock så brukar ojämnheter reduceras genom användning av likriktare, så att spänningen är nästan helt jämn. Detta leder till att likspänning vanligtvis har konstant polaritet samt (nästintill) konstant storlek.



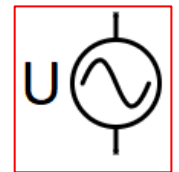
Symbol för en generell likspänningskälla.



Symbol för ett batteri, vilket är en vanlig slags likspänningskälla

## Växelström:

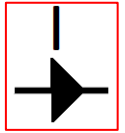
- Spänningssymbolen till höger visar en så kallad växelspänningskälla. Spänningen ur en sådan spänningskälla kallas växelspänning, vilket betyder att spänningen varierar i storlek och polaritet över tid med en viss frekvens, exempelvis som spänningen ur våra eluttag. Om vi använder en växelspänningskälla så får vi så kallad växelström i kretsen, vilket är ström som varierar i både storlek och riktning; strömmen kommer alltså skifta riktning, exempelvis från att flöda från vänster till höger ett visst intervall, exempelvis 10 ms (millisekunder) för en frekvens på 50 Hz (Hertz), för att sedan flöda från höger till vänster lika länge. Därmed så tar det 20 ms för strömmen att växla fram och tillbaka ett helt varv. Under en sekund så sker 50 sådana svängningar. Därav säger man att växelströmmens frekvens är 50 Hz.
- Även om de flesta komponenter vi använder förslagsvis drivs på likström så finns det undantag. Som nämndes tidigare så utgörs spänningen (och därmed också strömmen) i våra eluttag av växelström. Även ljudsignaler är växelström, där växelströmmens frekvens avgör hur hög tonen är. De flesta människor hör signaler vars frekvens ligger mellan ca 20 Hz upp till ca 20 kHz, där basfrekvenser ligger i det lägre spannet och mycket höga toner ligger i det övre spannet.
- Vissa komponenter, såsom högtalare, tål bara växelström och går sönder av likström. Vissa komponenter, såsom en del lampor fungerar med både lik- och växelström, medan de flesta elektronikkomponenter, såsom din dator skall drivas på likström. Vanligtvis används då en så kallad likriktare, alltså en komponent som omvandlar växelström till likström, placerad i din dators nätaggregat. Vi kommer gå igenom växelström i mer detalj senare.



Symbol för en växelspänningskälla. Spänningen ur en sådan spänningskälla kommer ändra både polaritet och storlek över tid, vilket leder till att strömmen i kretsen kommer byta både riktning storlek.

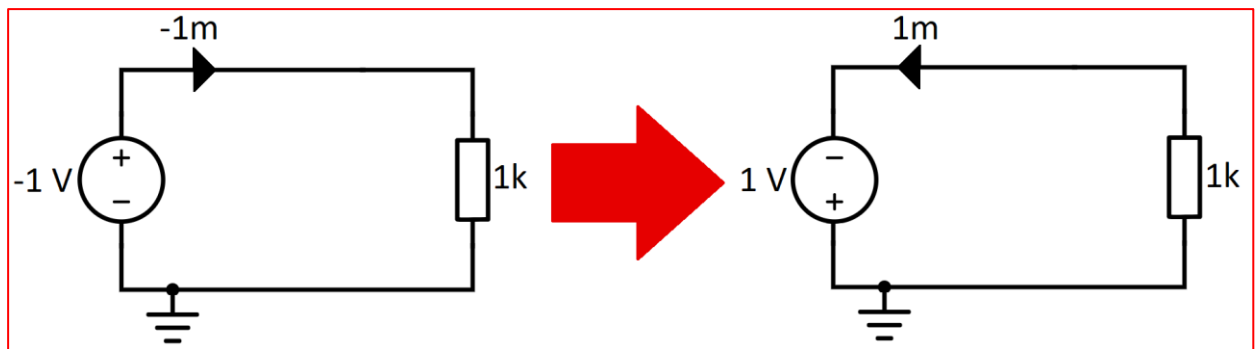
### Ström:

- Ström är ett mått på antalet elektroner alltså. vilken elektrisk laddning som förflyttas från minus- till pluspolen varje sekund.
- Ström ( $I$ ) mäts i enheten Ampere (A). Strömstyrkan 1 A betyder att laddningen 1 C förflyttas från minus- till pluspol per sekund, alltså. ca  $6,24 \cdot 10^{18}$  elektroner förflyttas från minuspolen till pluspolen varje sekund.
- För att dessa elektroner skall börja röra på sig till pluspolen så måste en spänningskälla, exempelvis ett batteri, vara kopplad till ett ämne där elektronerna har möjlighet att röra sig, en s.k. elektrisk ledare, exempelvis en metall.
- Då får man elektronerna i ledaren att röra sig i samma riktning, alltså uppstår ett flöde av elektrisk ström i en viss riktning. Strömmen går från spänningskällans plus- till minuspol, medan elektronerna rör sig från minus- till pluspol.
- Den kraft som spänningskällan utövar på elektronerna bestäms av dess elektriska spänning. Därför ger en hög spänning kraftigare ström än en svag spänning.



Symbol för ström, även kallad strömpil.

Strömpilen indikerar strömmens riktning (här från vänster till höger).



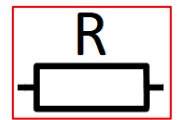
Som vi såg tidigare så betyder ett negativt strömvärde att strömmen flödar i motsatt riktning. I den vänstra figuren ovan så har vi en ström på -1 mA från vänster till höger, vilket i praktiken betyder en ström på 1 mA som flödar från höger till vänster.

Notera att det är spänningskällans polaritet som avgör strömmens riktning; strömmen flödar alltid från pluspolen till minuspolen, men om spänningen är negativ så blir strömmen också negativ. Vi kan då ändra spänningskällans polaritet samt strömmens riktning, för att sedan skriva ut dessa som positiva storheter, se den högra figuren ovan.

- Precis som för spänning så kan ström vara negativ, vilket betyder att strömmen har motsatt riktning. Ström kan också vara likström, vilket är ström som har konstant riktning samt oftast (nästintill) konstant storlek. Det finns också växelström, vilket är ström vars riktning och storlek varierar över tid med en viss frekvens. Om vi använder växelspänningskällor så blir strömmen växelström, men om vi använder likspänningskällor så blir strömmen likspänning.
- Värt att notera är att definitionen på likström är ström med konstant riktning, alltså. strömmen flödar alltid från ett håll till ett annat, exempelvis från vänster till höger. Dock kan likström precis som likspänning vara ojämn. Sådana ojämnheter i växelströmmen (och växelspänningen) brukar oftast reduceras genom användning av likriktare, så att strömmen blir nästan helt jämn. Detta leder till att likström vanligtvis har konstant riktning samt (nästintill) konstant storlek.

### Resistans/resistor:

- Resistans är motstånd för elektrisk ström. Ju högre resistans desto lägre ström. Om resistansen fördubblas så halveras strömstyrkan, alltså. hälften så många elektroner rör sig från minus- till pluspol per sekund.
- Alla elektriska kretsar har en viss resistans. Det finns även separata komponenter som endast används som elektriska motstånd, s.k. resistorer, se mer information nedan.
- Resistans (R) mäts i enheten  $\Omega$  (Ohm).
- Lagom mycket resistans är bra. Om resistansen är extremt stor och går mot det oändliga så blir strömmen lika med noll, alltså. inga elektroner rör sig.
- Om ingen resistans hade funnits så hade det blivit kortslutning, alltså. strömmen hade blivit oändligt stor, vilket leder till stor värmeökning och hög risk för brand.



*Symbol för en resistor, en komponent som används för att reglera strömmen i en krets genom att öka resistansen, alltså. motståndet i kretsen.*

### Linjära resistorer och introduktion till E12-serien:

- Resistorn är ett motstånd för strömmens flöde i elektriska kretsar och delas in i linjära och olinjära/icke linjära resistorer.
- Linjära resistorer har samma resistans oberoende av yttre omständigheter, ex. ljus, mörker och temperatur.
- Tyvärr kan vi oftast inte välja exakt vilket resistorvärde vi vill ha. Istället får vi använda det närmaste som går att införskaffa. Tillverkare av resistorer tillverkar vanligtvis resistorer inom så kallade resistorserier, som betecknar hur många olika resistorvärden som finns per tiotal.
- Ju vanligare resistorserie, desto lättare och billigare brukar det vara att införskaffa resistorer av ett visst värde. Den vanligaste resistorserien, E12-serien, innehåller tolv värden per tiotal och dessa är följande:

**10, 12, 15, 18, 22, 27, 33, 39, 47, 56, 68 och 82**

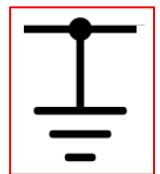
- Som exempel, värdet 27 ligger i E12-serien. Detta betyder att vi enkelt kan införskaffa resistorer av storleken 27 m $\Omega$ , 270 m $\Omega$ , 2,7  $\Omega$ , 27  $\Omega$ , 270  $\Omega$ , 2,7 k $\Omega$ , 27 k $\Omega$ , 270 k $\Omega$ , 2,7 M $\Omega$ , 27 M $\Omega$  och så vidare. Detta ligger inom normala områden, men det finns mindre och större resistorer än så, dock är dessa relativt ovanliga.
- Principen gäller även för övriga resistorvärden ovan, så ett tips är att komma ihåg dessa värden för att lättare kunna veta vilket resistorvärde som är lämpligast att använda i praktiken, exempelvis om vi skulle bygga en förstärkare.

### Icke-linjära resistorer:

- Icke linjära resistorers resistans förändras beroende på externa faktorer, såsom ljus eller mörker, temperatur osv. Dessa typer av resistorer passar utmärkt som sensorer. Några exempel på icke-linjära resistorer är:
  - Potentiometern*, som används för att ställa in resistansen manuellt med ett reglage, exempelvis vanliga volymkontroller. Det kan också användas vid ändamål där vi behöver kunna ställa in spänningsfall över komponenter med mycket hög precision, exempelvis slutsteg i audioförstärkare.
  - LDR (Light Dependent Resistor)*, även kallat fotomotstånd är en ljuskänslig resistor; resistansen minskar med ökat ljus och ökar ju mörkare det blir.
  - Termistorn*, som är känslig för temperaturförändringar och används exempelvis i en termostat. Termistorn finns i två varianter:
    - PTC (Positive Temperature Coefficient)*: Resistansen ökar med ökad temperatur.
    - NTC (Negative Temperature Coefficient)*: Resistansen minskar med ökad temperatur.
  - Varistorn, VDR (Voltage Dependent Resistor)*, vars resistans förändras beroende på spänningsfallet över den. Vissa varistorers resistans ökar med ökat spänningsfall, andra tvärtom. De flesta varistorer minskar sin resistans vid ökat spänningsfall och används då som ett överspänningsskydd; om spänningsfallet över resistorn överstiger en viss gräns så minskar varistorns resistans, vilket leder till att strömmen som flödar genom den blir hög, vilket i sin tur leder till att en säkring går.

### Jordpunkt:

- Referenspunkt för elektriska kretsar där potentialen är noll (spänningen är alltså 0 V i jordpunkten). Vanligtvis så ansluts spänningskällors minuspol eller komponenters minussida (om sådan finns) till jordpunkten.



Symbol för jordpunkt. I jordpunkten är spänningen lika med noll.

### Ledare, halvledare och isolatorer:

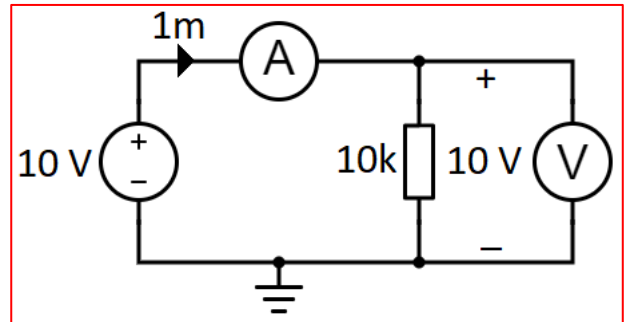
- I alla ämnen finns det rörliga elektroner. Ledare är sådana ämnen där elektroner rör sig mycket lätt, exempelvis metaller. Att elektronerna kan röra sig så lätt medför att dessa ämnen leder därför ström när de matas med en spänningskälla. Isolatorer är ämnen som har mycket få lätttrörliga elektroner, exempelvis glas, plast och gummi. Isolatorer leder ström mycket dåligt.
- Halvledare är ämnen som leder ström, men inte lika bra som ledare, exempelvis kisel och germanium. Halvledare är ämnen där elektronerna kan röra sig, men inte så lätt som de kan i en ledare. De grundläggande materialen i de elektroniska apparaterna är tillverkat av en halvledare som heter kisel, världens näst mest vanliga grundämne. Komponenter såsom dioden och transistoren, som vi kommer gå igenom senare, är tillverkade av kisel.

### 1.1.4 - Mätning av spänning, ström och resistans i en krets

- För att mäta spänning, ström och resistans så används vanligtvis en apparat som kallas multimeter. För att mäta spänning så ställer man in multimetern på V, vilket betyder Voltmeter (spänningsmätare). För att mäta ström så ställer man in multimetern på A, vilket betyder Amperemeter (strömmätare). För att mäta resistans så ställer man in multimetern på  $\Omega$ , vilket står för Ohmmeter (resistansmätare).
- Förutom att ställa in multimetern på V, A eller  $\Omega$  (beroende på vilken storhet som skall mätas) så måste multimetern också placeras olika beroende på vad som skall mätas.

#### Mätning av spänning med Voltmeter

- Mätning av spänning sker parallellt, se figuren nedan, där en Voltmeter (cirkeln med ett V i) mäter spänningsfallet över en 10 k $\Omega$ s resistor. Den ena proben (oftast röd) kopplas till resistorns plussida och den andra proben (oftast svart, ansluten till COM) kopplas till minussidan.
- Om proberna kopplas på fel håll så blir polariteten omvänd, vilket medför att den avlästa spänningen blir -10 V istället för 10 V. Detta utgör egentligen inget problem, för då vet man ändå att spänningsfallet över resistorn är 10 V, bara att vi satte proberna på fel håll.



*Mätning av spänning sker parallellt över resistorn, medan mätning av strömmen sker seriellt.*

#### Mätning av ström med Amperemeter:

- Mätning av strömmen i kretsen sker seriellt, se figuren nedan, där en Amperemeter (cirkeln med ett A i) mäter strömmen som flödar genom lampan (cirkeln med ett kryss i). Samma ström som flödar genom lampan (samt resten av kretsen i detta fall) kommer då flöda genom amperemetern.
- Voltmetern kan tänkas ha extremt hög resistans, så i princip ingen ström kommer flöda genom denna, samtidigt som Amperemetern kan tänkas ha nästintill obefintlig resistans, vilket medför att spänningsfallet över denna blir i princip noll. Därmed så påverkar närvaron av Volt- eller Amperemeter inte kretsens storheter till någon betydande grad. Därmed så blir spänningsfallet över resistorn samt strömmen genom kretsen i princip samma som om vi inte hade placerat Volt- eller Amperemeter i kretsen.



### Mätning av resistans med Ohmmeter:

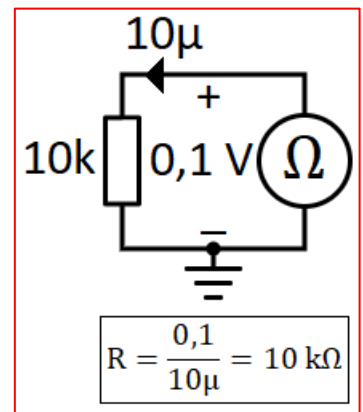
- Mätning av resistans görs med en Ohmmeter (cirkeln med en Ohmsymbol i) genom att placera proberna på var sin sida av resistorn. Ohmmetern fungerar ungefär som en blandning av en Voltmeter och en Amperemeter, då den mäter parallellt över resistorn, precis som en Voltmeter, samtidigt som den mäter ström och har nästintill obefintlig resistans, såsom en Amperemeter. Därmed så blir spänningsfallet över Ohmmetern obefintligt och våra uppmätta värde blir ackurata.
- Notera att vi måste koppla ur spänningskällan för att mäta resistansen, eftersom Ohmmetern kommer mata resistorn med en liten spänning, för att sedan mäta strömmen som flödar genom Ohmmetern (och därmed resistorn).
- Resistansen beräknas sedan av Ohmmetern med Ohms lag, då resistorns resistans är lika med spänningen som Ohmmetern matar resistorn med dividerat på den uppmätta strömmen:

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

där U alltså är den spänning som multimetern matar resistorn med och I är den uppmätta strömmen genom Ohmmetern (och resistorn).

- Antag att vi skall beräkna resistansen på resistorn i figuren till höger. Antag att vi inte vet hur hög resistansen är. Vi kan då placera Ohmmeterns prober på var sin sida av resistorn. Vi kopplar först bort resten av kretsen, exempelvis genom att stänga av spänningskällan.
- Därmed så skapar vi en egen krets för mätning av resistansen, såsom i figuren ovan. Därefter så kommer Voltmetern mata resistorn med en spänning på 0,1 V. Då kommer en ström på 10  $\mu$ A flöda genom kretsen, vilket Ohmmetern mäter upp. Därefter så beräknas resistansen med Ohms lag till 10 k $\Omega$ :

$$R = \frac{U}{I} = \frac{0,1}{10\mu} = 10 \text{ k}\Omega$$



*Mätning av resistans över en resistor. Ohmmetern matar kretsen med en liten spänning, för att sedan mäta strömmen. Därefter beräknas resistansen med Ohms lag.*

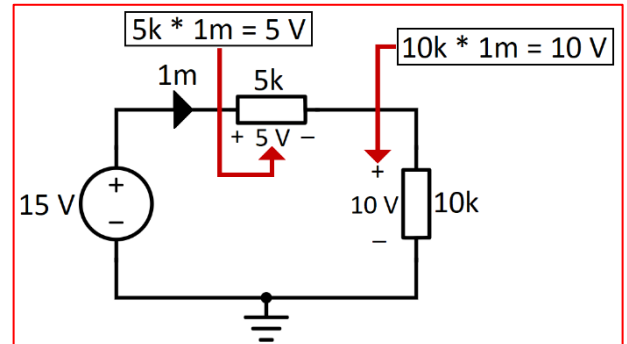
### 1.1.5 - Ohms lag

- Ohms lag ger att spänningsfallet över en komponent, exempelvis en resistor, är lika med resistorns resistans multiplicerat med strömmen som flödar genom denna.

$$U = R * I.$$

där U är spänningsfallet, R är komponentens resistans och I är strömmen som flödar genom den.

- Spänningen U mäts i enheten Volt (V), strömmen I mäts i enheten Ampere (A) och resistansen R mäts i enheten Ohm ( $\Omega$ ).
- I de flesta fall är det mer praktiskt att mäta strömmen i milliAmpere (mA) och resistansen i kiloOhm (k $\Omega$ ), då strömmar på flera Ampere i det flesta fall är väldigt mycket; en ström på ca 100 mA dödar en människa på mindre än en sekund, så en normal strömstorlek är 1–10 mA i de flesta applikationer, men detta kan variera. Strömmen genom en högtalare kan uppgå till 10 A eller mer och strömmen inom högspänningsledningar kan ibland uppgå till flera kiloAmpere (kA).



- Som exempel, spänningsfallet över den första resistorn (5 k $\Omega$ :s-resistorn) i kretsen ovan är 5 V, eftersom dess resistans är 5 k $\Omega$  och strömmen som flödar genom den är 1 mA, vilket ger

$$U = R * I = 5k * 1m = 5 V$$

- Notera att kilo i k $\Omega$  och milli i mA tar ut varandra, eftersom kilo betyder multiplicerat med 1000 och milli betyder dividerat med tusen. Som ni vet så är 1000 / 1000 lika med 1, vilket medför att resistansen kan mätas i k $\Omega$  och strömmen i mA, vilket ger spänningen i V.
- Spänningsfallet över den andra resistorn (10 k $\Omega$ :s-resistorn) i kretsen ovan är 10 V, eftersom dess resistans är 10 k $\Omega$  och strömmen som flödar genom den är 1 mA, vilket ger

$$U = R * I = 10k * 1m = 10 V$$

- Ohms lag kan även användas för att beräkna spänningen från spänningskällan som matar kretsen ovan. I detta fall så är spänningen från spänningskällan lika med den totala resistansen i kretsen (10k + 5k = 15 k $\Omega$ ) multiplicerat med den strömmen som flödar genom spänningskällan, som i detta fall är 1 mA, alltså 15 V, eftersom

$$U = R_{TOT} * I = (5k + 10k) * 1m = 15 V$$

#### Kort introduktion till Kirchhoffs spänningslag:

- Dock så hade vi enkelt kunnat se att denna spänning är 15 V genom att summera spänningsfallen över de två resistorerna i kretsen. Det finns en lag, Kirchhoffs spänningslag, som i sin grundform säger att summan av spänningen ett helt varv genom en krets är lika med noll.
- Vi kan använda Kirchhoffs spänningslag för att verifiera att spänningskällan har en spänning på 15 V. Vi börjar från spänningskällan och noterar om spänningen slutar på plus eller minus. Endast spänningskällan slutar på plus (+15 V), eftersom denna matar resten av kretsen med spänning, de andra slutar därmed på minus (-5 V samt -10 V). Om vi går ett varv med Kirchhoffs spänningslag så ser vi då att summan av spänningarna i kretsen är lika med noll:

$$15 - 5 - 10 = 0$$

- Lite mer intuitivt så kan Kirchhoffs spänningslag lag uttryckas som att summan av alla spänningsfall över ett helt varv i en krets är lika med spänningen från spänningskällan. Summan av spänningsfallen i kretsen är lika med 15 V, eftersom

$$U = 5 + 10 = 15 \text{ V}$$

- Därmed ser vi att spänningskällan matar kretsen med 15 V.

#### Andra sätt att uttrycka Ohms lag:

- Ohms lag kan även uttryckas på följande sätt för att beräkna strömmen genom en komponent, exempelvis en resistor eller en högtalare (som har en viss intern resistans, oftast 8 Ω):

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

där I är strömmen genom komponenten, U är spänningsfallet över den och R är komponentens resistans.

- I kretsen ovan så hade vi kunnat räkna ut strömmen genom att använda Ohms lag över hela kretsen; strömmen i kretsen är lika med spänningen från spänningskällan (totala spänningen i kretsen), som är lika med 15 V, dividerat på den totala resistansen. När 5 kΩ:s och 10 kΩ:s resistorn är seriekopplade såsom i figuren ovan så adderas deras resistans, vilket medför att den totala resistansen i kretsen blir 15 kΩ, eftersom

$$R_{TOT} = 5k + 10k = 15 \text{ k}\Omega$$

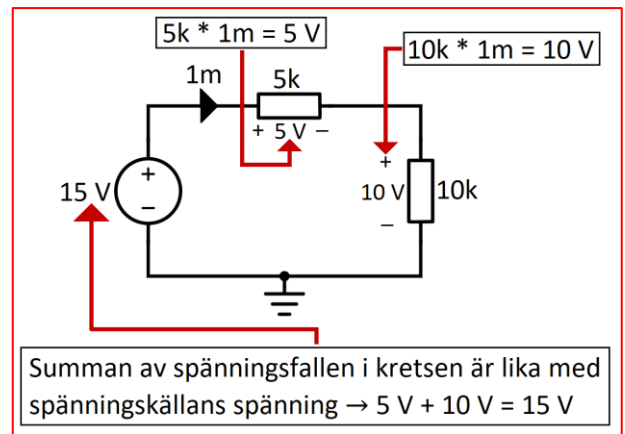
- Därefter beräknas strömmen enkelt med Ohms lag till 1 mA:

$$I = \frac{U}{R_{TOT}} = \frac{15}{15k} = 1 \text{ mA}$$

- Vi hade också kunnat använda Ohms lag lokalt för att beräkna strömmen genom en enskild resistor. Strömmen genom en resistor är lika med spänningsfallet över denna resistor dividerat med dess resistans. Vi vet att spänningsfallet över 5 kΩ:s resistorn är 5 V, vilket medför att strömmen genom denna är lika med 1 mA, eftersom

$$I = \frac{5}{5k} = 1 \text{ mA}$$

- I detta fall så är strömmen 1 mA genom hela kretsen, men detta är inte alltid fallet, vilket vi kommer se senare. Då är Ohms lag applicerat lokalt, exempelvis över en enskild resistor, användbart.



*Kirchhoffs spänningslag uttrycks enklast som att spänningen från spänningskällan fördelas sig över komponenterna i kretsen. Därmed så fördelas totalt 15 V ut över de två resistorerna i kretsen. 5 V av dessa faller över den första resistorn, medan resten, alltså 15 V – 5 V = 10 V, faller över den andra resistorn.*

- Med Ohms lag så ser vi därmed att strömmen genom en komponent, exempelvis en högtalare, är lika med spänningsfallet över den dividerat på dess resistans. Om spänningsfallet över en högtalare på  $8\ \Omega$  är lika med  $40\text{ V}$ , såsom i figuren till höger, så flödar det alltså  $5\text{ A}$  genom högtalaren, eftersom

$$I = \frac{U}{R} = \frac{40}{8} = 5\text{ A}$$

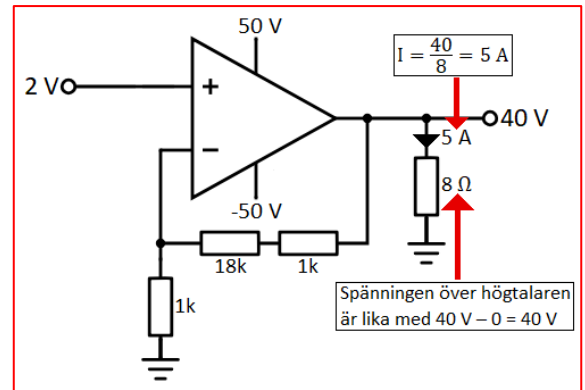
- $5\text{ A}$  är relativt högt för de flesta ändamål. Dock så behövs relativt hög ström genom en högtalare för att effektutvecklingen i denna skall bli hög, vilket leder till högt ljud i högtalaren.

- Notera att spänningarna är utritade annorlunda i figuren till höger; inga plus- och minustecken är utritade. Så här ritas ofta kretsar upp, då ritningen blir enklare. Istället för att skriva  $40\text{ V}$  mellan utgången och jord så skrivs endast  $40\text{ V}$  vid utgångens plussida. Dock är detta samma sak. Vi ser att spänningsfallet över högtalaren är  $40\text{ V}$ , eftersom spänningen på ovansidan är  $40\text{ V}$  och spänningen på nedsidan är  $0\text{ V}$ , eftersom denna sida är direkt ansluten till jord.

- Ibland är det också önskvärt att beräkna ett lämpligt värde på en resistor för att få en viss strömstorlek. Låt oss säga att vi har ett spänningsfall på  $10\text{ V}$  och vi vill ha en ström på  $1\text{ mA}$ . Vi hade då kunnat beräkna ett lämpligt resistorvärde med Ohms lag:

$$R = \frac{U}{I} = \frac{10}{1\text{ m}} = 10\text{ k}\Omega$$

- Notera att spänningen beräknas i enheten  $\text{V}$ , samtidigt som strömmen beräknades i enheten  $\text{mA}$ . Vi fick då resistansen i enheten  $\text{k}\Omega$ . Det är mycket praktiskt att beräkna på detta sätt, då strömmen ofta mäts lämpligen i  $\text{mA}$  och resistansen i  $\text{k}\Omega$ .



OP-förstärkare, som driver en högtalare på  $8\ \Omega$ . OP-förstärkaren har en spänningsförstärkningsfaktor på 20, vilket betyder att inkommande signaler förstärks med en faktor 20. För en insignal på  $2\text{ V}$  så blir då utsignalen  $40\text{ V}$ . Eftersom högtalaren har en resistans på  $8\ \Omega$  så blir då strömmen genom denna  $5\text{ A}$ , vilket medför en effekt på  $200\text{ W}$ .

Dock är detta en förenkling av verkligheten; i praktiken så kommer inspänningens värde variera över tid, vilket leder till att strömmen genom högtalaren kommer variera över tid (ljudsignaler varierar i storlek och riktning över tid, något som kallas växelström och växelspänning). Vi kommer se mer av växelström längre fram i kapitlet.

### 1.1.6 - Effektlagen

- Effekt är ett mått på hur mycket energi som utvecklas i kretsen per sekund. Exempelvis är det önskvärt att driva relativt hög effekt, exempelvis 200 W, genom en högtalare för att spela högt ljud, samtidigt som det är önskvärt att begränsa effektförbrukningen i resten av kretsen, exempelvis där det flödar ström som inte används för att driva högtalaren, exempelvis på ingången.
- Den totala effektutvecklingen i en krets ges av

$$P = U * I,$$

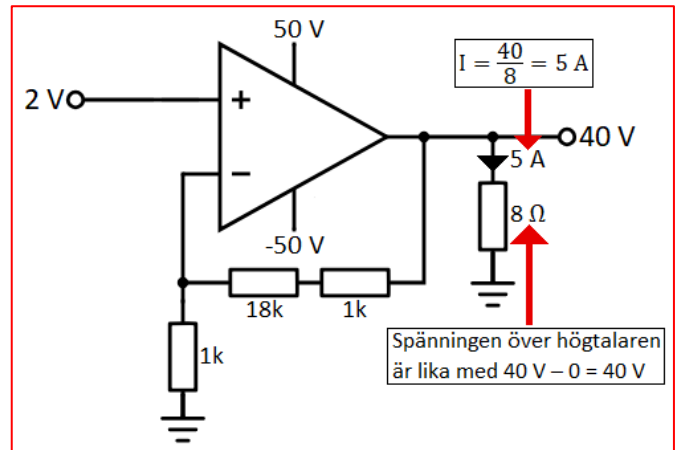
där P är effektutvecklingen, U är spänningen från spänningskällan och I är den totala strömmen genom kretsen. Effekten P mäts i Watt (W).

- Så om ett spänningsfall på 40 V ligger över en högtalare på 8 Ω, så blir strömmen genom högtalaren lika med 5 A, vilket vi såg tidigare, eftersom

$$I = \frac{U}{R} = \frac{40}{8} = 5 \text{ A}$$

- Då blir effektutvecklingen genom högtalaren lika med 200 W, eftersom

$$P = U * I = 40 * 5 = 200 \text{ W}$$



En ström på 5 A flödar genom en last på 8 Ω, vilket medför en effektutveckling genom högtalaren på 200 W. Spänningen över högtalaren är då 8 \* 5 = 40 V.

#### Andra sätt att uttrycka effektlagen:

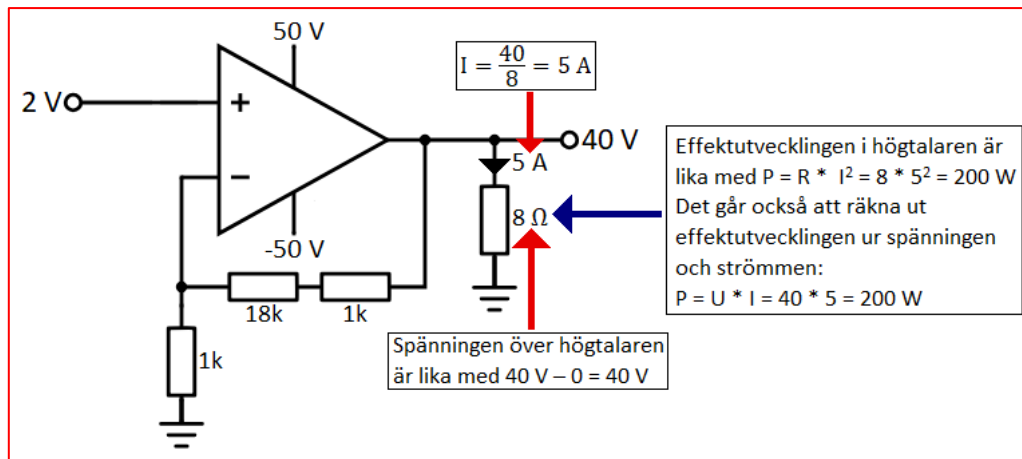
- Vi hade kunnat beräkna effektutvecklingen på ett annat sätt, som oftast är att föredra ifall vi vet strömmen genom högtalaren samt dess resistans. Vi hade då transformerat formeln ovan genom att sammansätta effektlagen med Ohms lag; vi ersätter så spänningen U i effektlagen med R \* I i enlighet med Ohms lag, vilket ger formeln

$$P = U * I = (R * I) * I = R * I^2$$

- Effektutvecklingen genom högtalaren är alltså lika med högtalarens resistans multiplicerat med strömmen som flödar genom den i kvadrat. Om vi applicerar denna formel på effektutvecklingen i högtalaren vi såg tidigare så ser vi då att effektutvecklingen återigen blir 200 W, eftersom

$$P = R * I^2 = 8 * 5^2 = 8 * 25 = 200 \text{ W}$$

- Därmed så ser vi att vi kan beräkna effektutvecklingen i komponenter på flera sätt.



Effektutvecklingen i högtalaren kan beräknas på tre olika sätt. Här visas de två vanligaste. Den tredje metoden är att räkna effektutvecklingen  $P = U^2 / R = 40^2 / 8 = 200 \text{ W}$ , vilket vi kommer göra nedan.

- Notera att effektutvecklingen ökar kvadratisk med ökad ström. Så om vi fördubblade strömmen genom högtalaren till 10 A så kommer effektutvecklingen öka med en faktor  $2^2 = 4$ , alltså till  $200 * 4 = 800 \text{ W}$ . Vi kan också visa detta med effektlagen:

$$P = R * I^2 = 8 * 10^2 = 800 \text{ W}$$

- Därmed så ser ni att strömmen genom högtalaren har mycket stor betydelse för effektutvecklingen, och därmed också volymen på ljudet, i högtalaren.
- Vi kommer gå igenom detta i mer detalj senare. Något som är viktigt att notera är att högtalare inte tål likström som vi beräknar på här (de går sönder ifall likström flödar genom dem). Högtalare tål endast växelström, vilket är ström som ändrar riktning med en viss frekvens. Ni vi senare mäter ström genom en högtalare så kommer vi istället mäta växelströmmens toppvärde och sen dividera detta med roten ur två för att få ett ström värde som är likvärdigt med de likströmvärden vi använder ovan.
- Vi hade också kunnat transformera formeln för effektlagen, återigen genom att sammansätta effektlagen med Ohms lag, men i detta fall så ersätter vi istället strömmen  $I$  i effektlagen med  $I = U / R$  i enlighet med Ohms lag, vilket ger formeln

$$P = U * I = U * \frac{U}{R} = \frac{U^2}{R}$$

- Detta hade varit det enklaste sättet att beräkna effektutvecklingen i det första fallet, då vi visste att ett spänningsfall på 40 V låg över en högtalare på 8 Ω. Då hade vi direkt kunnat beräkna effektutvecklingen genom högtalaren till 200 W med formeln ovan:

$$P = \frac{U^2}{R} = \frac{40^2}{8} = 200 \text{ W}$$