Kapitel 4 - Motstånd och energiomvandling

Elektronkollisioner och resistans

I en vattenkokare möter strömmen motstånd och elektrisk energi omvandlas till värme. I kapitlet får du lära dig vad som begränsar strömmen i en ledare och en isolatorer. Viktiga nya begrepp är resistans, resistivitet, spänningsfall, potentialvandring och ohms lag.

Lämplig bild!

Motstånd mot strömmen

Hittills har vi studerat hur strömmen ser ut i koppar som har ett stort antal fria elektroner och därför leder ström bra. Men vi måste fråga oss hur bra?

I en sluten strömkrets kommer de fria elektronerna att accelereras av den elektromagnetiska kraften (spänningen) mellan energikällans poler. Men elektronerna flyter inte friktionsfritt genom ledaren. De stöter på andra elektroner vilket stoppar upp deras rörelse och de kolliderar med atomer.

När elektroner kolliderar omvandlas deras rörelseenergi till värme. Denna energiomvandling kan jämföras med friktion.

Energiomvandlingen i elektriska kretsar kan vara avsiktlig som t.ex. i en vattenkokare, kokplatta eller ugn. I dessa enheter är ledningsförmågan dålig, med avsikt. Här avges energi för att erhålla värme.

Där emot vill vi att energiöverföringen genom ledningar och kablar, mellan källa och förbrukare, ska ske med så små energiförluster som möjligt.

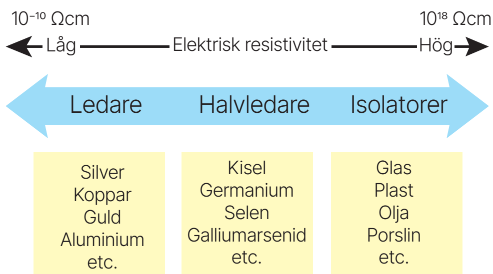
Vad är resistans?

Motståndet (resistansen) bromsar upp elektronens resa, medan den elektriska potentialskillnaden (spänningen) uppmuntrar resan och trycker på. Hastigheten (strömmen) på rörelsen genom kretsen är ett resultat av den kombinerade effekten mellan spänning och resistans.

Resistans betecknas med R och mäts i enheten ohm (Ω). Enheten är uppkallad efter den tyska fysikern George Simon Ohm (1789 – 1854).

Ledare och isolatorer

I kapitel 2 visades skillnaden mellan ledare och isolatorer. I ledare finns fria elektroner som rör sig relativt lätt. Detta gäller för de flesta metaller som t.ex. silver, koppar och guld. Det är dessa ämnen vi kallar ledare och vi säger att de har god ledningsförmåga. Även vätskor fungerar ofta som goda ledare. Detta gäller till exempel människokroppens vätskor.



Figur 4.1
Elektrisk motstånd i olika material

Resistivitet är begreppet man använder för att beskriva ett ämnes inbyggda resistans. Vi återkommer till det lite längre fram.

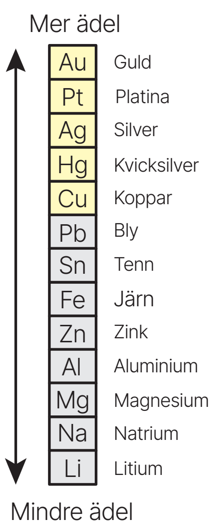
I isolatorer finns få fria elektroner eftersom gapet mellan valensbandet och ledningsbandet är stort. I en isolator är ledningsförmågan så liten att den saknar praktisk betydelse. Det finns grundämnen med liten ledningsförmåga (till exempel ädelgaser) men i första hand är det sammansatta ämnen som används som isolatorer. De vanligaste isolationsmaterialen är olika plaster, glas, porslin och gummi.

Vätskor och gaser kan leda ström

Vissa vätskor kan också fungera som elektriska ledare. Vatten, och då särskilt saltvatten leder ström då det bland annat innehåller natriumjoner och kloridjoner. Vätskor som leder ström via joner kallas för elektrolyter. Dock leder inte avjoniserat (destillerat) vatten någon ström då det inte finns några fria joner. Gaser som t.ex. luft är i allmänhet dåliga ledare då dess atomer eller molekyler är för långt ifrån varandra för att tillåta ett fritt utbyte av elektroner. Om en gas joniseras blir den en rimlig ledare för elektricitet. Joniserad gas kallas för plasma och förekommer i t.ex. lysrör och neonlampor.

Korrosionsbeständighet

En annan viktig faktor när man ska välja ett ledarmaterial i en koppling är att känna till dess förmåga att inte korrodera (rosta, oxidera).
Fördelen med ädla metaller är dess korrosionsbeständighet (ovilja att bilda kemiska föreningar med andra ämnen). Guld oxiderar inte och fräter ogärna sönder. Därför guldpläterar man gärna kontaktytor hos t.ex. strömbrytare och kablar. En av det mest använda ledarna är koppar, det på grund av sina mycket goda ledningsegenskaper och korrosionshärdighet. Aluminium används också ofta som ledare trots sina något sämre ledar- och korrosionsegenskaper, dock uppvägs det av den låga vikten och det lägre priset. Hur korrosivt ett ämne är kan man se i den elektrokemiska spänningsserien. Ju ädlare desto mindre korrosionsbenäget. Ett ämnes resistivitet och värmeledningsförmåga är inte kopplad till spänningsserien, utan den visar ett ämnes korrosivitet.



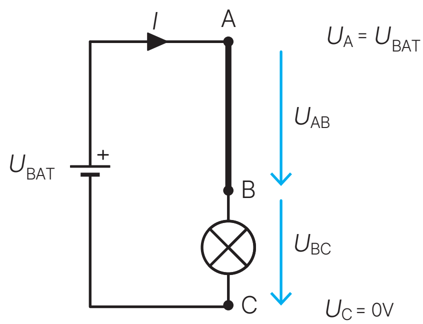
Figur 4.2
Oxidationsskalan

Ädla och oädla metaller

Hur bra en metall är på att bilda joner beror på hur många elektroner dess atomer har i sitt valensband. Oädla metaller bildar lätt joner medan ädla metaller ogärna gör det samma. Därför är oädla metaller mer reaktiva och har enklare att bilda kemiska föreningar. Beroende på ur bra ämnen är på att bilda joner, rankas i den så kallade elektrokemiska spänningsserien. Den elektrokemiska spänningsserien kallas även för oxidationsskalan. I **figur 4.2** visas exempel på metaller från serien.

Begreppet resistans

Resistans är ett direkt mått på hur stor energiförlusten blir när strömmen går genom en ledare. Energiförlusten kan vi mäta som ett spänningsfall (potentialfall) men strömmen har givetvis betydelse, ju större ström desto fler kollisioner.



Figur 4.3a
Spänningsfall över ledare och lampa

Spänningsfallet är direkt proportionellt mot resistansen

I lampkretsen är $U_{AB} < U_{BC}$ eftersom resistansen i ledaren (AB) är mindre än resistansen i lampan (BC).

Men spänningsfallet beror också på strömmen

Det är resistansen som tillsammans med strömmen som ger upphov till energiförlusten (potentialfallet). Ju högre resistans och ju större strömmen är, desto större blir energiförlusten (potentialfallet).

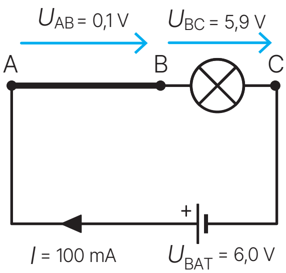
Vi får en formel för spänningsfallet och resistansen

Potentialfallet kan därför skrivas som $U=I \cdot R$ och härifrån får vi en definition på resistans som: $R=U/I$ (spänningsfallet/strömmen).

I kretsen (**figur 4.3a**) kan vi alltså beräkna ledarens resistans som $R_{AB} = U_{AB} / I$
och lampans resistans som $R_{BC} = U_{BC} / I$
Resistansen i hela kretsen (AC) blir:
$R_{AC} = U_{AC} / I = U_{BAT} / I$.

Enhet för resistans

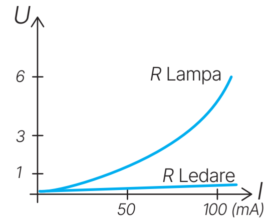
Eftersom R definieras som $\boldsymbol{R=U/I}$ blir enheten för resistans R [V/A] dvs. volt/ampere.
Istället för denna enhet används beteckningen ohm som förkortas med tecknet Ω, den grekiska bokstaven omega.



Figur 4.3b
Spänningsfall över ledare och lampa

Beräkning av resistans i en krets

Vi återvänder till vår enkla lampkrets och tänker oss att strömmen (I) är 100 mA och att spänningen (U_{BAT}) är 6,0 V.
Mätningen av spänningsfallet över lampan ger 5,9 V. Lampans resistans $R_{Lampa} = U/I = 5{,}9\ \text{V} / 0{,}1\ \text{A} = 59\ \Omega$.
På samma sätt blir ledarens resistans mellan A och B: $R_{Ledare} = 0{,}1\ \text{V} / 0{,}1\ \text{A} = 1\ \Omega$.
Vi kan också beräkna resistansen i hela kretsen som $R=U/I = 6\ \text{V} / 0{,}1\ \text{A} = 60\ \Omega$.
Om vi varierar batterispänningen och mäter strömmen kan vi rita de båda komponenternas resistans som kurvor i ett koordinatsystem.



Figur 4.4
Linjär och olinjär resistans

Det kommer att visa sig att ledarens resistans i det närmaste är linjär medan lampans resistans är lägre för låg ström än för hög ström. Lampans olinjära resistanskurva är ett temperaturfenomen. En vanlig glödlampa har en glödtråd av ämnet volfram. När strömmen genom lampan ökar, stiger temperaturen, men då ökar även resistansen vilket begränsar (sänker) strömmen.

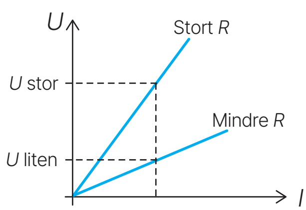
Temperaturberoende

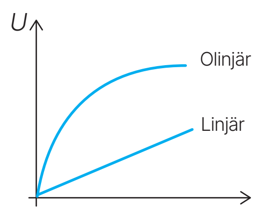
Om man utsätter en metall för hög temperatur kommer dess resistans att öka. Det finns material som fungerar omvänt, kol är ett exempel. Olika material har olika temperaturberoende. Temperaturberoende beskrivs med ett materials temperaturkoefficient, vilken betecknas med den grekiska bokstaven alfa (α). Med temperaturkoefficient menas materialets resistansförändring per grad temperaturförändring, anges vanligen i kelvingrader. Inom några 10-tals grader av tempera-

Grafisk representation av resistans

I ett koordinatsystem med spänningsfallet U=f(I) representeras en resistans av en linje.

Om linjen är rät säger vi att resistansen är linjär. I annat fall är den olinjär.

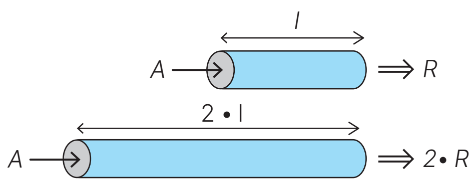




I varje punkt på linjen kan resistansen beräknas som U/I. Linjens lutning är ett mått på resistansen. Jämför med räta linjens ekvation: y=kx+m där y=U, k=R, x=I och m=0) turförändringar är resistans förändringen linjär, vid större förändringar på 100-tals grader gäller inte det. Som t.ex. när glödtråden av volfram är tänd, når den nära 3000 °C, vilket ökar resistansen med mer än 10 gånger.

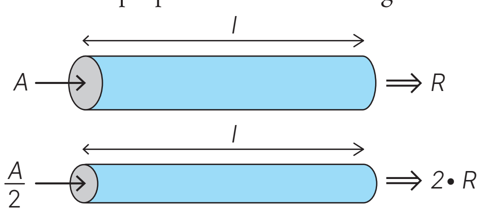
En ledares resistans

Resistansen är ett mått på hur mycket motstånd strömmen stöter på i en bestämd del av strömkretsen. När ledarens längd ökar, ökar också resistansen och därmed potentialfallet (spänningsfallet). Ökad längd (*l)* på ledaren ger därför en motsvarande ökning av resistansen (*R).* En given ledare med dubbla längden har dubbelt så stor resistans. Resistansen är alltså direkt proportionell mot ledningens längd.



Figur 4.5a
Ledarens längd

Om ledarens area (*A*) minskar blir det jämförelsevis färre fria elektroner vilket begränsar strömmen. Eftersom $R = U/I$ betyder lägre ström (*I*) mindre resistans (*R*).
Halva ledningsarean (*A*) ger dubbla resistansen (*R*). En given ledare med halverad ledningsarea har dubbelt så stor resistans. Resistansen är direkt omvänt proportionell mot ledningens area.



Figur 4.5b
Ledarens area

Förutom ovanstående har även en ledare ett visst temperaturberoende som också påverkar resistansen.

Resistivitet
Ju färre fria laddningsbärare som finns i ett material desto sämre blir ledningsförmågan. Resistivitet är en elektrisk materialegenskap som anges vid +20°C. Ämnen med låg resistivitet är lämpliga som ledare av elektrisk ström där man vill ha så låga förluster som möjligt. Motsatsen, hög resistivitet används när man vill begränsa strömmens storlek eller omvandla den elektriska energin till värme. Resistivitet anges med grekiska bokstaven ρ (rå) och har SI-enheten Ωm (ohm · meter). Tvärsnittsarean mäts i mm^2 och längden i meter. Resistiviteten anges som $\Omega mm^2/m$. Känner man till ett ämnes resistivitet kan man fastställa resistansen (eller längden) hos en ledare med beräkningsformlerna:

$$R = \frac{\rho \cdot l}{A} \qquad l = \frac{R \cdot A}{\rho}$$

Tvärsnittsarean (*A)* anges i mm^2 , längden (*l*) anges i meter och (ρ) är materialkonstanten som anges i $\Omega mm^2/m$. Ofta anges resistiviteten ρ även i grundenheten Ωm. Multiplicera med $1{\cdot}10^6$ för att byta från Ωm till $\Omega mm^2/m$.

Material	Resistivitet $\Omega \cdot mm^2/m$	Resistivitet $\Omega \cdot m$
Silver	0,016	$1{,}59 \cdot 10^{-8}$
Koppar	0,017	$1{,}67 \cdot 10^{-8}$
Guld	0,024	$2{,}35 \cdot 10^{-8}$
Aluminium	0,027	$2{,}65 \cdot 10^{-8}$
Zink	0,059	$5{,}92 \cdot 10^{-8}$
Mässing	0,065	$6{,}5 \cdot 10^{-8}$
Nickel	0,068	$6{,}84 \cdot 10^{-8}$
Järn	0,097	$9{,}7 \cdot 10^{-8}$
Platina	0,106	$1{,}06 \cdot 10^{-7}$
Tenn	0,124	$1{,}24 \cdot 10^{-7}$
Bly	0,206	$2{,}06 \cdot 10^{-7}$
Kvicksilver	0,984	$9{,}84 \cdot 10^{-7}$
Nikrom	1,50	$1{,}50 \cdot 10^{-6}$

Tabell med resistivitet hos olika ämnen. Värden gäller vid 20 °C. Sista ämnet, Nikrom-tråd används som värmeelement i elektriska ugnar, strykjärn osv.

Beräkning av en ledares resistans

Vi vill beräkna resistansen hos en ledning (koppar) med två ledare som är 250 m lång med arean 0,25 mm². Tänk på att en kabel två ledare måste multipliceras med två för att få hela längden som strömmen färdas, 2x250 m = 500 m.
$R = \rho \cdot l / A = 0{,}017 \cdot 500 \,/\, 0{,}25 = 34\ \Omega$.

Ledararea mm²	Ω vid 10 meter	Ω vid 50 meter
0,25	0,680	3,400
0,5	0,340	1,700
0,75	0,233	1,133
1,0	0,170	0,850
1,5	0,113	0,567
2,5	0,068	0,340
4	0,043	0,213

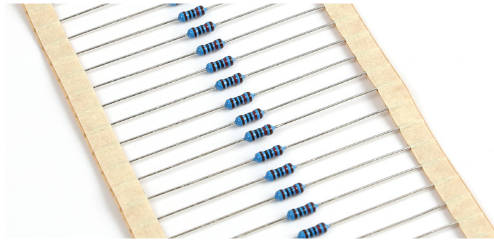
Tabell med några färdiga beräkningar av vanliga kabelareor som används både i 12 V-system och 230 V elanläggningar. Tänk på att multiplicera resistansen med två om kabeln är en två-ledare. Strömmen ska ju både fram och tillbaks. Gäller för kabel med kopparledare vid 20 °C.

Beräkning av en ledares längd

Vi kan även beräkna längden hos en ledare. Vi antar att en kabel med koppar ledare ligger upprullad på en rulle. Kabelns uppmätta resistans är 5,8 Ω. Ledningsarean är 0,25 mm².
$l = R \cdot A / \rho = 5{,}8 \cdot 0{,}25 \,/\, 0{,}017 \approx 85{,}3$ meter.

Konduktivitet är motsatsen till resistivitet

Bra att veta är att konduktivitet är motsatsen till resistivitet. Konduktans är det inverterade värdet av resistans. Konduktans är en egenskap som beskriver hur bra ett material leder elektrisk ström. Konduktivitet är en materialkonstant som representeras av den grekiska bokstaven sigma (σ). Enheten för konduktivitet är Siemens per meter (S/m). Beteckningen för konduktans är bokstaven *G*. Material med hög konduktivitet är bra ledare av elektricitet, medan de med låg konduktivitet är dåliga ledare eller isolatorer. Konduktiviteten hos ett material påverkas av faktorer som temperatur och närvaron av magnetfält.



Figur 4.6

Hålmonterade resistorer

Resistorn

Resistorn eller motståndet är ett av de vanligast förekommande komponenterna inom elektroniken. Resistorn används för att begränsa strömmen i en krets men även för att anpassa spänningen. Tillsammans med spolar och kondensatorer används resistorn för att bearbeta signaler på olika sätt. Resistorer tillverkas vanligen med fasta motståndsvärden men med olika egenskaper. Man skiljer mellan linjära och olinjära motstånd. Ett linjärt motstånd (den vanligaste typen) försöker att hålla sin resistans konstant oberoende av spänning och ström samt yttre faktorer som temperatur och ljus. Olinjära resistorer där emot varierar beroende på t.ex. spänning, temperatur eller ljus. Resistorer tillverkas i olika former och storlekar med olika material. Resistorer räknas till "passiva komponenter" då de varken kan förstärka signaler, öka spänningen eller strömmen. De kan bara minska den.

Figur 4.7

Europeisk och amerikansk resistorsymbol

Resistorns tolerans/avvikelse

Hur exakt ett motstånds värde är beror på dess tolerans (hur mycket det får avvika från angivet värde). Det vanligaste är att man använder resistorer med 1% eller 5% tolerans. En 1 kΩ resistor med 5% tolerans kan variera ±5% mot det angivna värdet. Det gör att det verkliga värdet ligger någonstans mellan 950 och 1050 Ω. Den högsta tillåtna avvikelsen finns angiven i E-serien. Toleranser sämre än 5% tillverkas knappast längre, varför 10-20% tolerans är någon man normalt bara ser i äldre apparater. En resistor med sämre tolerans kan alltid bytas ut mot en med bättre tolerans. Olika tillverkningsmaterial ger olika stor tolerans. Kolfilm ca 1-5%, metallfilm ca 0,1-1%.

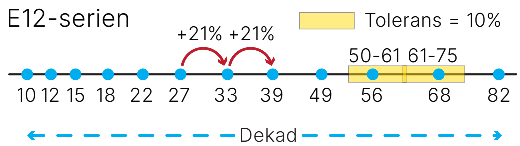
Vad är E-serien?

För att det ska finnas rimligt många resistorer att välja mellan och att lagerhålla finns en standard (IEC 60063:2015) för vilka fasta motståndsvärden som finns att välja mellan. Standarden kallas för E-serien, men brukar även benämnas "preferred number series" eller "preferred value system". E-serien är uppdelad i 7 serier (E6, E12, E24, E48, E96 och E192). E6 serien har 6 värden, E12 har 12 värden, E24 har 24 värden osv. Se **figur 4.9** för hur värden fördelas i respektive serie. E-serien används inte bara av motstånd utan även av andra komponenter som kondensatorer, spolar och zenerdioder.

E-seriens toleranser		Delning och ökning
E6	≤ ±20%	$\sqrt[6]{10} \approx 1{,}46 = +46\%$
E12	≤ ±10%	$\sqrt[12]{10} \approx 1{,}21 = +21\%$
E24	≤ ±5%	$\sqrt[24]{10} \approx 1{,}10 = +10\%$
E48	≤ ±2%	$\sqrt[48]{10} \approx 1{,}05 = +5\%$
E96	≤ ±1%	$\sqrt[96]{10} \approx 1{,}02 = +2\%$
E192	≤ ±0,5%	$\sqrt[192]{10} \approx 1{,}01 = +1\%$

E-seriens toleranser

E-serien är en geometrisk serie där värdefördelning bildar en logaritmisk modell. Tabellen visar hur stor den procentuella ökningen är till näst efterföljande värde i de olika E-serierna. Detta är också logiken till varför toleranser måste öka när stegen blir fler. Ju fler värden i serien desto större tolerans krävs.



Figur 4.8
E-seriens uppbyggnad, exempel från E12

Fördelning av värden i E12

För E12-serien ökar värdet i varje steg med:

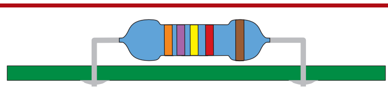
$$\sqrt[12]{10} \approx 1{,}21 = +21\%$$

Med 21% ökning i varje steg blir det en logaritmisk delning av värden. Det betyder att det finns fler värden i seriens början än i slutet. Då det är ca 20 % steg mellan varje värde i E12-serien, måste resistorn tillverkas med minst ±10 % tolerans. Ökningen på 21 % mellan värden stämmer inte helt och hållet, då vissa närliggande värden från äldre tiders serier har behållits. Majoriteten av resistorer som används inom elektroniken idag kommer fortfarande ur E12- och E24-serien, även om E96 blir allt mer vanlig.
I praktiken tillverkas resistorer idag ofta med teknik som ger ±5 % avvikelse eller bättre, varför toleranserna från resistorer vilka säljs som E6/E12 troligen kommer att ligga på ±5 % eller bättre, och inte ±10–20 % som förväntat.

2,2 Ω	22 Ω	220 Ω	2,2 kΩ
22 kΩ	220 kΩ	2,2 MΩ	

E-seriens dekader

E12-serien har 12 värden i varje dekad. Tabellen visar 7 dekader av värdet 22 från E12-serien. Värdet i varje nästkommande dekad blir 10 ggr större än den föregående, medan värdet i den föregående dekaden blir 10 ggr mindre.
Med 7 dekader och 12 värden per dekad, gör att det finns 7x12 = 84 st standardvärden i E12-serien. I E24-serien finns det 7x24 = 168 standardvärden.



Vad är skillnaden mellan hålmonterat och ytmonterat?

Komponenter med anslutningsben är avsedda för hålmontering. De monteras på ovansidan av mönsterkortet och löds fast på undersidan. Ytmonterade komponenter (SMD) saknar anslutningsben. De löds fast direkt på mönsterkortets ovansida.

E6	E12	E24	E48	E96
10	10	10	100	100
				102
			105	105
				107
		11	110	110
				113
			115	115
				118
	12	12	121	121
				124
			127	127
		13		130
			133	133
				137
			140	140
				143
			147	147
15	15	15		150
			154	154
				158
		16	162	162
				165
			169	169
				174
			178	178
	18	18		182
			187	187
				191
			196	196
		20		200
			205	205
				210

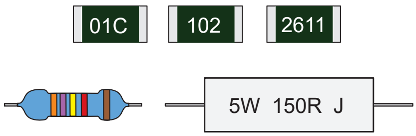
E6	E12	E24	E48	E96
			215	215
22	22	22		221
			226	226
				232
			237	237
		24		243
			249	249
				255
			261	261
				267
	27	27	274	274
				280
			287	287
				294
		30	301	301
				309
			316	316
				324
33	33	33	332	332
				340
			348	348
				357
		36	365	365
				374
			383	383
	39	39		392
			402	402
				412
			422	422
		43		432
			442	442
				453

E6	E12	E24	E48	E96
			464	464
47	47	47		475
			487	487
				499
		51	511	511
				523
			536	536
				549
	56	56	562	562
				576
			590	590
				604
		62	619	619
				634
			649	649
				665
68	68	68	681	681
				698
			715	715
				732
		75	750	750
				768
			787	787
				806
	82	82	825	825
				845
			866	866
				887
		91	909	909
				931
			953	953
				976

Figur 4.9 Dekader från E6- till E96-serien

Märkning av resistorer

Olika typer av resistorer identifieras på olika sätt. För hålmonterade resistorer används oftast färgkodning med ringar. Effektmotstånd märks ofta i klartext med toleransen angiven som bokstav. Ytmonterade resistorer märks med sifferkod.



Figur 4.10 Olika resistorers märkning

24L9	0,0229 Ω = 22,9 mΩ
0R1	0,1 Ω = 100 mΩ
R47	0,47 Ω = 470 mΩ
1R0	1,0 Ω
1R5	1,5 Ω
47R	47 Ω
1K2	1,2 kΩ
1M5	1,5 MΩ

Förenklad märkning

Man ser ofta förenklad märkning i klartext utan enheter. R motsvaras av en decimal, L motsvaras av decimal och mΩ (10^{-3}), medan K motsvaras av multipel (10^{3}) och M av multipel (10^{6}).

3-siffror E24	
R68	0,68 Ω
4R9	4,9 Ω
100	10 Ω
331	330 Ω
102	1 kΩ
683	68 kΩ
104	10 kΩ
225	2,2 MΩ
106	10 MΩ

4-siffror E48/96	
R562	0,562 Ω
5R62	5,62 Ω
56R2	56,2 Ω
1000	100 Ω
1001	1 kΩ
2611	2,61 kΩ
1002	10 kΩ
2743	274 kΩ
1504	1,5 MΩ

SMD-resistormärkning med 3- och 4-siffror

3-siffror: Resistorer ur E24-serien med 5% tolerans använder tre siffror. De första två siffrorna är värdet, medan den sista siffran är multipel (hur många nollor).
4-siffror: Resistorer ur E48 till E192-serien med 1% tolerans (eller bättre) använder fyra siffror. De första tre siffrorna är värdet, medan den sista siffran är multipel (hur många nollor).

SMD-märkning enligt EIA-96

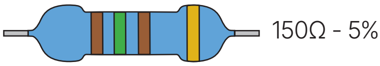
Högre noggrannhet och allt mindre SMD-komponenter skapar behov av en kort och effektiv märkning. EIA-96 resistormärkning bygger på 2-siffror som översätter till 3-siffrigt värde från E96-serien. Avslutningsbokstaven representerar multipeln. Tolerans: 1%. EIA-96-logiken är svår att lära sig utantill, varför man behöver ladda hem hela översättningstabellen. Googla på "EIA-96 resistor code".

01Y	1 Ω
01X	10 Ω
68X	49,9 Ω
01A	100 Ω
35A	226 Ω
01B	1 kΩ

40B	2,55 kΩ
01C	10 kΩ
34C	22,1 kΩ
76C	60,4 kΩ
39D	249 kΩ
01E	1 MΩ

Vad är skillnaden mellan SMD och SMT?

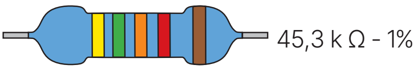
SMT står för Surface Mount Technology och hänvisar till den övergripande processen att montera ytmonterade komponenter på ett PCB (engelsk förkortning för mönsterkort, står för Printed Circuit Board), medan SMD står för Surface Mount Device, vilket hänvisar till de enskilda komponenterna som används i den processen.



Figur 4.11 4 ringar E6, E12 och E24

Resistorer med 4 ringar

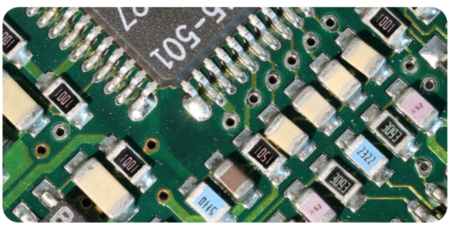
Resistorer med 4 ringar har 3 närliggande ringar samt en ring en bit ifrån. På så sätt kan man avgöra från vilket håll man ska avläsa färgringarna. Första två ringarna ger värdet, ring 3 anger antalet nollor och ring 4 anger toleransen. I E6 till E24-serien används två siffror/ringar för värdet.



Figur 4.12 5 ringar E48, E96 och E192

Resistorer med 5 ringar

Resistorer med 5 ringar har 4 närliggande ringar samt en ring en bit ifrån. De 3 första ringarna ger värdet, ring 4 ger antalet nollor och ring 5 anger toleransen. I E48 till E192-serien används tre siffror/ringar för värdet.



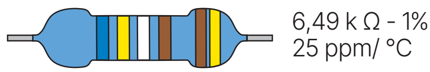
Figur 4.13
PCB med ytmonterade SMD-komponenter

Vad är ett PCB?

PCB (Printed Circuit Board) är ett mönsterkort (kretskort). Det är tillverkat av en isolerande glasfiberepoxi med en tunn yta av koppar. Vid tillverkning etsas kopparn som inte önskas bort, och kvar blir de ledningsbanor som förbinder de olika komponenterna.
Mönsterkortet kan tillverkas med ledningsbanor i ett eller flera lager. Syftet med flera lager är att man ska kunna korsa olika ledningsbanor, skapa jordplan mm. Vanligt är att ett PCB har både 4 och 6 lager, men det går att skapa betydligt fler. Mönsterkort kan tillverkas i önskade storlekar och former beroende på hur det ska användas och/eller byggas in.

Temperaturberoende hos resistorer - TCR

Det finns inga motstånd vars resistans är helt oberoende av temperaturen. Temperaturberoendet anges som komponentens temperaturkoefficient, TCR (Temperature Coefficient of Resistance). För standardmotstånd ligger den på ±50 ppm / °C. 50 ppm betyder 50 miljondelar dvs. 0,005% vilket innebär 0,5% vid en temperaturförändring på 100 °C. Det är en så liten ändring att man i normala fall helt kan bortse från den. I vissa fall kan det vara önskvärt med en bättre temperaturkoefficient.



Figur 4.14 6 ringar E48, E96 och E192 + TCR

Resistorer med 6 ringar, TCR

Den sjätte ringen används för att ange resistorns temperaturberoende. Resistorns temperaturkoefficient (TCR) talar om hur mycket dess värde ändras när temperaturen ändras. TCR anges i enheten ppm/ °C eller ppm/K. TCR anger hur stor resistansavvikelsen är per grad celsius (ibland anges det i kelvin).

Färg	TCR
Svart	± 200 ppm
Brun	± 100 ppm
Röd	± 50 ppm
Orange	± 15 ppm
Gul	± 25 ppm
Grön	-
Blå	± 10 ppm
Violett	± 5 ppm

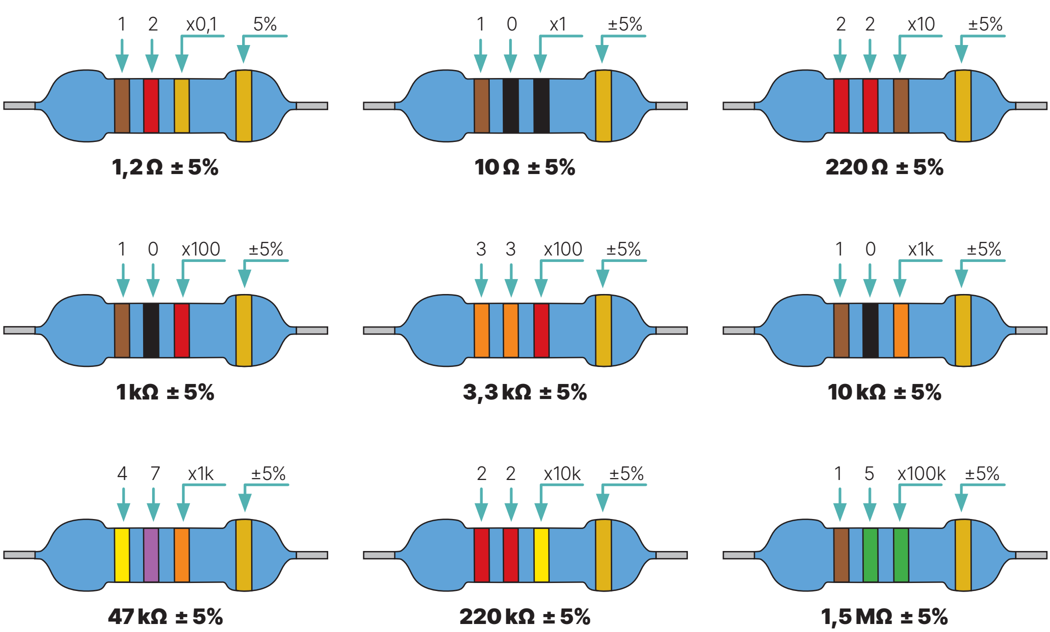
Figur 4.15
Ring nr 6 markerar temperaturberoende, TCR

Tabellen avkodar ring nummer 6 hos resistorn.

Färgkodning 4 ringar, E6-E24

Färg	1:a ringen	2:a ringen	3:e ringen Multiplikator	4:e ringen Tolerans/avvikelse
Svart	0	0	x 1 Ω	
Brun	1	1	x 10 Ω	± 1% (F)
Röd	2	2	x 100 Ω	± 2% (G)
Orange	3	3	x 1 kΩ	
Gul	4	4	x 10 kΩ	
Grön	5	5	x 100kΩ	± 0,5% (D)
Blå	6	6	x 1MΩ	± 0,25% (C)
Violett	7	7	x 10MΩ	± 0,1% (B)
Grå	8	8	x 100MΩ	± 0,05% (A)
Vit	9	9	x 1G	
Silver			x 0,01	± 10% (K)
Guld			x0,1	± 5% (J)

Figur 4.16 Färgkodning för resistorer med 4 ringar, E6-E24

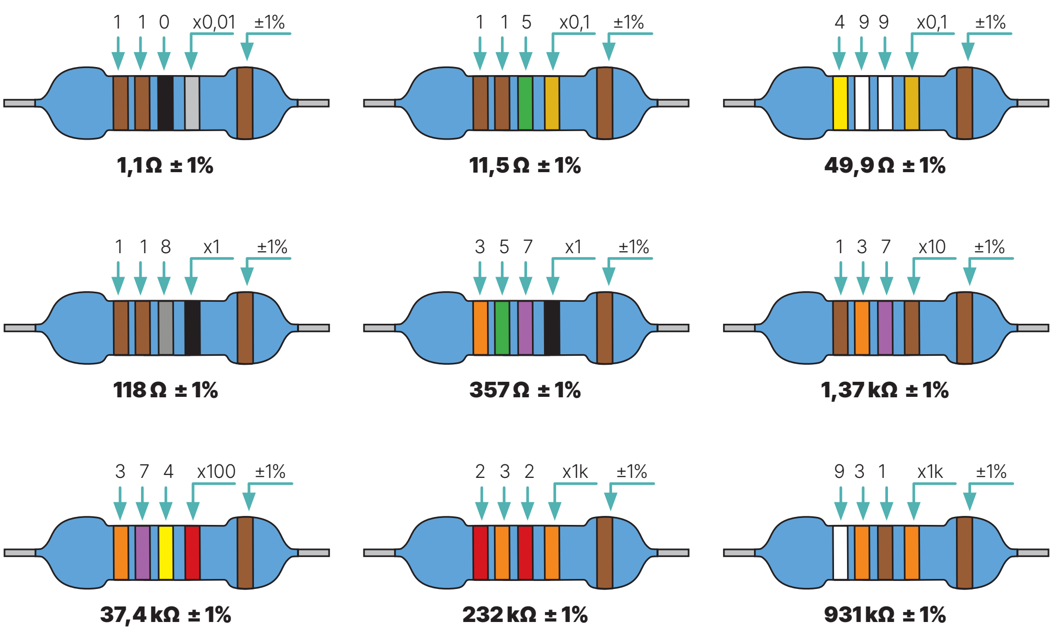


Figur 4.17 Exempel på avkodning av resistorer med 4 ringar

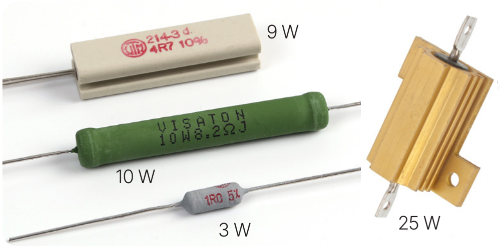
Färgkodning 5 ringar, E48-E192

Färg	1:a ringen	2:a ringen	3:e ringen	4:e ringen Multiplikator	5:e ringen Tolerans/ avvikelse
Svart	0	0	0	x 1 Ω	
Brun	1	1	1	x 10 Ω	± 1% (F)
Röd	2	2	2	x 100 Ω	± 2% (G)
Orange	3	3	3	x 1 kΩ	
Gul	4	4	4	x 10 kΩ	
Grön	5	5	5	x 100kΩ	± 0,5% (D)
Blå	6	6	6	x 1MΩ	± 0,25% (C)
Violett	7	7	7	x 10MΩ	± 0,1% (B)
Grå	8	8	8	x 100MΩ	± 0,05% (A)
Vit	9	9	9	x 1G	
Silver				x 0,01	± 10% (K)
Guld				x0,1	± 5% (J)

Figur 4.18 Färgkodning för resistorer med 5 ringar, E48-E192



Figur 4.19 Exempel på avkodning av resistorer med 5 ringar



Figur 4.20 Exempel på effektmotstånd

Resistorns effekttålighet

I motstånd utvecklas värme på grund av den effektförlust som alltid uppstår. När ström begränsas genom en resistor, stöter elektronerna på motstånd. Motståndet ger upphov till en elektrisk friktion vilket resulterar i värme. Resistorn måste kunna hantera värmen för att inte bli överhettad och ta skada. Överhettning kan även leda till att närliggande komponenter i kretsen tar skada. Värmeexponering under längre tid skadar och förkortar livslängden hos många komponenter. Det är därför det ofta behövs kylning, antingen aktivt med kylfläkt eller passivt med kylfläns.
Effekten som utvecklas i resistorn beror på både spänningen över resistorn och strömmen genom den. Man kan såklart alltid ersätta ett motstånd av lägre effekt med ett som har högre effekt (om det är det man har tillgängligt).

Hålmonterade motstånds effekttålighet

Märkeffekten hos en resistor anges som ett decimaltal eller i bråkform. Här följer en lista på standardiserade märkeffekter hos hålmonterade resistorer. Efter 0,5W anges märkeffekten i heltal 1 W, 3 W, 9W...

Märkeffekt W (decimal)	Märkeffekt W (bråk)
0,125	1/8
0,25	1/4
0,5	1/2

Effektberäkning

Effekten kan beräknas med den bekanta formeln:

$$P = U \cdot I$$

Effekten (P) = Spänningen (U) delat med strömmen (I). Effekten anges i watt. Om spänningen eller strömmen ökar, kommer även effekten att öka. Vid val av resistor är det viktigt att ta hänsyn till effekttåligheten. Resistorn behöver kunna hantera en högre effekt än den som utvecklas i den. Exempel: Spänningen över en resistor är 11,2 V, strömmen är 220 mA (0,22 A). Vad blir effektutvecklingen i resistorn?
$P = 11{,}2 \cdot 0{,}22 = 2{,}46$ W
I det här exemplet blir ett effektmotstånd på 3 W ett lämpligt val. Resistorns effekttålighet påverkas av resistormaterialets temperaturtålighet och dess yta/storlek. En större yta kan avge mer värme. Det finns olika tillverkningsteknik för att uppnå olika resistansvärden och effekttåligheter. Exempelvis är kolfilmresistorer billiga men har sämre noggrannhet (tolerans) än motsvarande metallfilmresistorer. Effektmotstånd är ofta trådlindade vilket gör att de kan hantera högre effekter än filmresistorer, men de är också större och dyrare.

Resistortyper

Det finns många typer av resistorer med olika konstruktion och egenskaper. Valet av resistor beror på användningsområde och effekttålighet. Vanliga typer är kolfilmsresistorer och metallfilmsresistorer, vanligast är dock ytmonterade resistorer. Variabla resistorer kallas potentiometer. Temperaturkänsliga resistorer kallas för termistorer medan resistorer som ändrar resistansen beroende på spänningen kallas för varistorer.

Figur 4.21 Kolfilmsresistorer 10kΩ, 5%

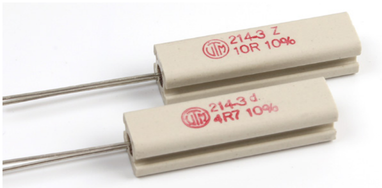
Kolfilmsresistorn

Kolfilmsresistorn består av en kärna (substrat) tillverkad av glas eller keramik. Runt kärnan finns en tunn kolfilm vilken fungerar som motståndsmaterial. Används vanligtvis i lågfrekventa applikationer och har en tolerans på 2-5%. Effekt: 0,25-5W. Kolfilmsresistorer är billiga och används fortfarande flitigt.

Figur 4.22 Metallfilmsresistorer 10kΩ, 1%

Metallfilmsresistorn

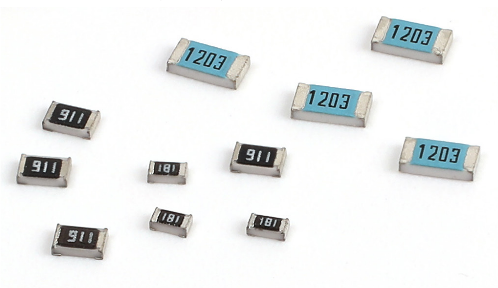
Har samma konstruktion som kolfilmsresistorn men med en metallfilmen i stället. Metallfilmen består av en blandning med metaller och/eller metalloxider. Metallfilmsresistorer har högre tolerans (0,1-2%) än kolfilmsresistorer och har ett lågt egenbrus. De har också en låg egenkapacitans vilket ger bättre högfrekvensegenskaper. Temperaturkoefficienten TCR är bättre än för kolfilm. Effekt: 0,25-2W.



Figur 4.23
Trådlindade effektmotstånd

Trådlindade resistorer, effektmotstånd

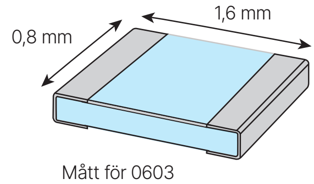
Trådlindade resistorer (en. wirewound) finns i variant för hög effekttålighet (effektmotstånd) samt variant för hög precision. Den trådlindade resistorn består av en keramisk kärna med trådlindning av resistiv tråd. Effektmotstånd tillverkas med hög effekttålighet för att tåla höga arbetstemperaturer. Normal tolerans: 1-10%. Mindre lämplig vid högre frekvenser då konstruktionen liknar en induktans. Har lågt egenbrus och hög stabilitet med avseende på temperaturvariationer (TCR).



Figur 4.24
SMD-resistorer

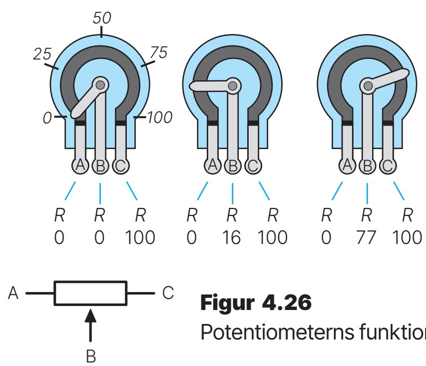
Ytmonterade resistorer (SMD)

Är den absolut vanligaste resistortypen. De används dels för att krympa storleken på mönsterkortet (PCB) men även för ökad tillverkningsautomation. Sammantaget sänker det tillverkningskostnaderna och ger en högre och jämnare kvalitet på slutresultatet. SMD-resistorer löds direkt på mönsterkortets yta och finns i ett antal standardstorlekar (en. footprints) och effekttåligheter, se **figur 4.25**. Ytmonterade resistorer är vanligtvis tillverkade av metallfilm.



Storlek	Mått (tum)	Mått (mm)	Effekt (W)
0201	0,024×0,012	0,6 × 0,3	1/20 (0,05)
0402	0,04×0,02	1,0 × 0,5	1/16 (0,063)
0603	0,063×0,031	1,6×0,8	1/10 (0,10)
0805	0,08×0,05	2,0×1,25	1/8 (0,125)
1206	0,12×0,06	3,2×1,6	1/4 (0,25)
1210	0,12×0,10	3,2×2,5	1/2 (0,50)
1812	0,18×0,125	4,6×3,2	3/4 (0,75)
2010	0,20×0,10	5,0×2,5	3/4 (0,75)
2512	0,25×0,125	6,3×3,2	1,0

Figur 4.25 Standardstorlekar hos SMD-resistorer

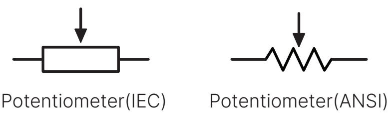


Figur 4.26
Potentiometerns funktion

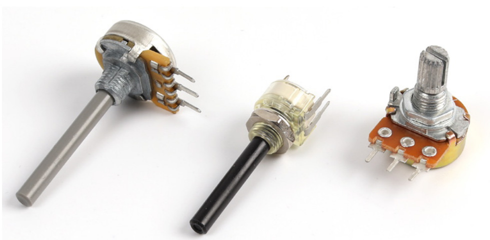
Potentiometer, variabel resistor

Potentiometern är ett variabelt motstånd. Resistansen justeras med en axel som förflyttar en släpkontakt över en resistiv bana. Förutom att fungera som ett vanligt motstånd kan potentiometern användas som en spänningsdelare, mer om det längre fram i kapitlet. Potentiometern har tre anslutningsben, de två yttersta, A och C är anslutna till den resistiva banan medan mittenanslutningen B, är anslutet till den rörliga släpkontakten. Potentiometrar tillverkas med en mängd olika resistanser. När man säger att en potentiometer har 10 kΩ resistans, menar man

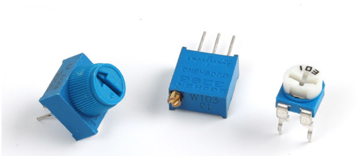
att det är 10 kΩ mellan anslutningarna A och C. Potentiometern i **figur 4.26** har en resistans på 100Ω. Det betyder att mellan anslutningen A och B blir resistansen:
1:a $R_{AB} = 0\Omega$, 2:a $R_{AB} = 16\Omega$ och
3:e $R_{AB} = 77\Omega$.
Resistansen hos AB beror alltså på axelns (rattens) läge.
Mellan anslutning B och C blir det ett omvänt förhållande:
1:a $R_{BC}= 100\Omega$, 2:a $R_{BC}= 84\Omega$ och
3:e $R_{BC}=23\Omega$.



Figur 4.27
Europeisk och amerikansk potentiometersymbol

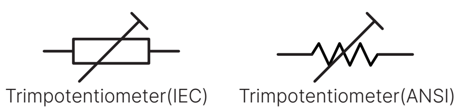


Figur 4.28
Exempel på panelmonterade potentiometrar



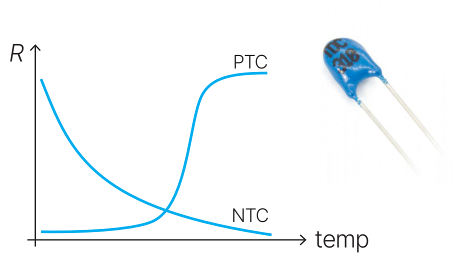
Figur 4.29
Exempel på trimpotentiometrar

Trimpotentiometer
Trimpotentiometern fungerar på samma sätt som en vanlig potentiometer. Den löds fast på mönsterkortet (PCB). Avsikten är att kunna göra finjusteringar av kretsen i efterhand (trimma), för att få exakt de värde man önskar.



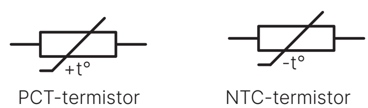
Figur 4.30
Europeisk och amerikansk trimpotentiometer-symbol

Olinjära resistorer



Figur 4.31
Positiv och negativ temperaturkurva

Termistorn
En termistor är en resistor som mäter temperaturförändringar genom att ändra sin resistans. Det finns två huvudtyper av termistorer:
NTC med negativ temperaturkoefficient
(Negative Temperature Coefficient) och
PTC med positiv temperaturkoefficient
(Positive Temperature Coefficient).
NTC-termistorer har en negativ temperaturkoefficient, vilket innebär att dess resistans minskar när temperaturen ökar. Det gör NTC-termistorn lämplig för temperaturmätning samt temperaturkompensation för andra komponenter.
PTC-termistorer har å andra sidan en positiv temperaturkoefficient, vilket innebär att dess resistans ökar när temperaturen ökar. Det gör PTC-termistorn lämplig som överströmsskydd, temperaturavkänning eller som ett självreglerande värmeelement.



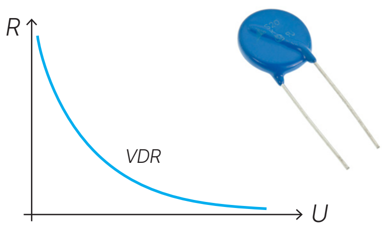
Figur 4.32
Symboler för termistorn

Termistorer tillverkas vanligen inom området −50 °C till +150 °C upp till några hundra grader. Man ska vara medveten om att resistansen hos en termistor inte är linjärt proportionerlig mot temperaturen. Därför kan man behöva utföra kompensationer innan mätvärdet kan användas. Termistorns datablad visar hur kurvan mellan resistans och temperatur ser ut, samt tabeller för kompensation. Värdet hos en termistor uppges i allmänhet vid temperaturen 25°C.

Figur 4.33
PTC-säkring eller polyswitch

PTC - säkring

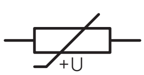
En PTC-säkring är en typ av PCT-termistor som utvecklats till att fungera som en säkring. Även kallad polyswitch. Den löser ut när märkströmmen överskrids, och återställs när den svalnat och överströmmen är borta. Den används som en självåterställande säkring i motorer, batteripaket, transformatorer mm.



Figur 4.34
Resistansen sjunker med ökad spänning

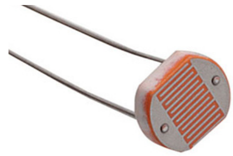
VDR - varistor

VDR (Voltage Dependent Resistor) kallas för varistor. Det är en spänningsberoende resistor vars resistans sjunker snabbt med ökad spänning. Vid normal drift har varistorn en mycket hög resistans och fungerar genom att låta lägre spänningar inom tröskelvärdet passera opåverkade. När spänningen över varistorns (oavsett polaritet) över- eller underskriderskrider dess tröskel, minskar dess resistans kraftigt.



Figur 4.35
Symbol för varistor

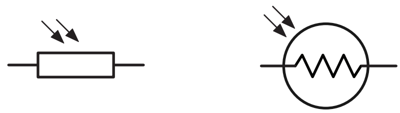
Varistorn används som skydd mot korta, snabba överspänningar s.k. transienter som kommer från elektriska motorer, åska mm. De används ofta som överspänningsskydd i apparater, och ibland som gnistsläckare över strömbrytare och reläkontakter. De flesta varistorer av typen MOV (Metal Oxid Varistor).



Figur 4.36
Fotoresistor LDR

LDR - Fotoresistor

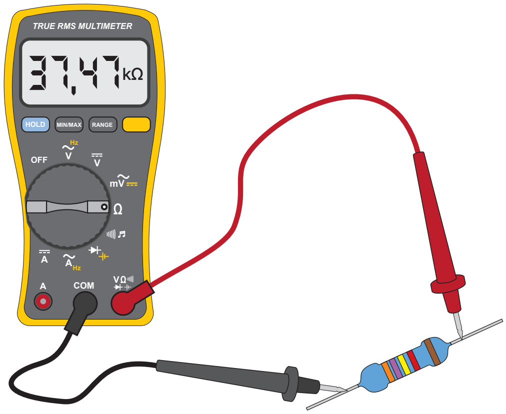
Ljusberoende resistor – LDR (Light Dependent Resistor). Tillverkas av halvledarmaterial. Den vanligaste modellen är känsliga för synligt ljus (CdS – kadimiumsulfid) men det finns även de som är känsliga för infrarött ljus (CdSe – kadmiumselenid). I mörker är dess resistans hög, upp till 1 MΩ, när sensorn utsätts för ljus sjunker motståndet snabbt till några kΩ, beroende på ljusintensitet och modell. Resistansen sjunker alltså med ökad ljusintensitet. Fotoresistorer har en tidsfördröjning mellan förändringar i ljusintensitet och förändringar i motståndet. Det tar vanligtvis ca 10–50 ms för motståndet att sjunka helt när ljus tillförs efter totalt mörker, medan det kan ta upp till 1 sekund för motståndet att stiga tillbaka till startvärdet. LDR-resisrorer användas till bl.a. ljusmätning och ljusstyrning.



Fotoresistor LDR (IEC) Fotoresistor LDR (ANSI)

Figur 4.37
Symbol för Fotoresistor LDR

Kretsanalys med ohms lag



Figur 4.38
Resistans mäts över resistorn

Resistansmätning med multimeter

Man kan enkelt mäta ett motstånds resistans med hjälp av en multimeter. Bilden visar hur man kopplar vid resistansmätning. Tänk på att man inte kan mäta resistans hos en resistor som sitter monterad i en krets. Ska det göras måste den först lödas ur. Om man mäter spänningen över ett motstånd och läser av dess resistans, kan man enkelt beräkna strömmen som flyter genom motståndet. Beräkna strömmen med: ***I*=*U*/*R***.

Sambandet mellan *U*, *R* och *I* kallas för ohms lag

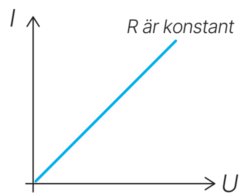
Ohms lag är den i särklass mest användbara formel man kommer i kontakt med inom elektroniken. Ohms lag beskriver förhållandet mellan spänning, ström och resistans i en elektrisk krets. Den säger att den ström som passerar genom en ledare mellan två punkter är direkt proportionell mot spänningen över de två punkterna och omvänt proportionell mot resistansen mellan dem. Matematiskt uttrycks ohm's lag som:

$$U = R \cdot I$$

Där spänningen (*U*) mäts i volt, strömmen (*I*) mäts i ampere och resistansen (*R*) mäts i ohm (Ω).

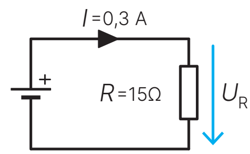
Tumregel att minnas:
- Om spänningen dubbleras vid ett givet motstånd, fördubblas även strömmen.
- Om motståndets resistans dubbleras, vid en given spänning, halveras strömmen.

Minns du detta samband förstår du också ohms lag.



Figur 4.39
Sambandet kallas ohms lag

Där det finns en ström genom ett material med resistans, uppstår ett spänningsfall.

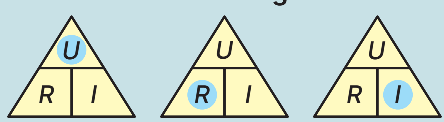


Figur 4.40
Det uppstår alltid ett spänningsfall över resistorn

Beräkna spänningsfallet U_R

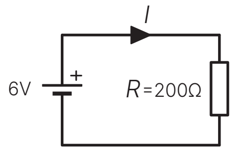
För att det ska uppstå en ström krävs potentialskillnad (spänning). Spänningen U_R över resistorn kan beräknas om resistansen *R* och strömmen *I* är känd. Ohms lag ger:
$U = I \cdot R = 15 \cdot 0{,}3 = 1{,}5$ V

Beräkningstriangel för ohms lag



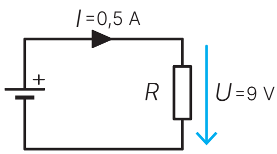
$U = R \cdot I$ $\quad R = \frac{U}{I}$ $\quad I = \frac{U}{R}$

U = Spänning = V (volt)
R = Resistans = Ω (ohm)
I = Ström = A (ampere)



Figur 4.41
$I = U / R$

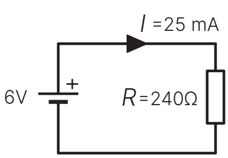
Beräkna strömmen *I* (genom *R*)
Strömmen genom resistorn kan beräknas om spänningen U och resistansen R är känd.
Ohms lag ger:
$I = U/R = 6 / 200 = 0{,}03$ A = 30 mA



Figur 4.42
$R = U / I$

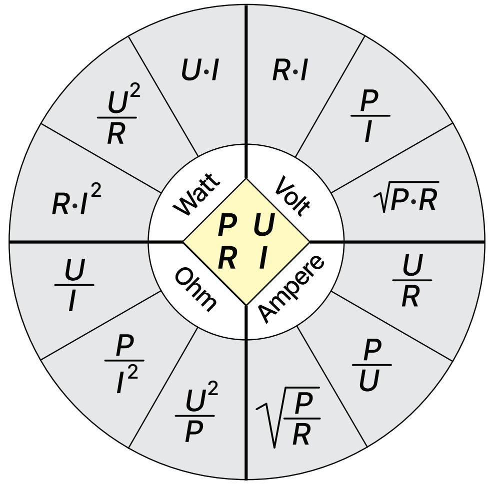
Beräkna resistansen *R*
Resistansen kan beräknas om spänningen U och strömmen I är känd.
Ohms lag ger:
$R = U/I = 9 / 0{,}5 = 18\Omega$.

Nya sätt att beräkna effekt
Med hjälp av ohms lag kan vi formulera några nya och praktiska formler för beräkning av effekt:
$P{=}U{\cdot}I$ och $U{=}I{\cdot}R$ ger $P{=}I^2{\cdot}R$ samt
$P{=}U{\cdot}I$ och $I{=}U/R$ ger $P{=}U^2/R$.
Det här är inga formler som man nödvändigtvis måste kunna men de är genvägar vid många beräkningar. PURI-snurran i **figur 4.44** sammanfattar effekt och ohms lags formler. Bra att alltid ha PURI till hands.



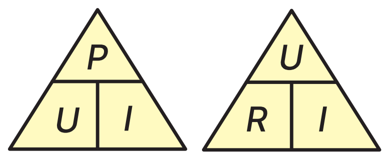
Figur 4.43
Tre sätt att beräkna effekt

Beräkna effekt på flera sätt:
$P = U \cdot I = 6 \cdot 0{,}025 = 0{,}15$ W
$P = I^2 \cdot R = 0{,}025^2 \cdot 240 = 0{,}15\ W$
$P = U^2 / R = 6^2 / 240 = 0{,}15$ W



Figur 4.44
Hjälpredan PURI

PURI-snurran, med effekt och ohms lag
Allt-i-ett-hjälpredan för beräkning av de fyra enheterna. Minns PURI, Både P och U står överst i sina respektive trianglar.



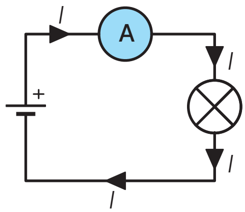
De viktiga trianglarna för ohms lag
Minns PURI, och trianglarna får man på köpet.

Tvåpoler
Hittills har vi använt oss av fyra komponenter som flitigt används i elläran: batteriet, lampan, resistorn och mätinstrument av olika slag. Gemensamt för dessa är att de har två anslutningar (noder), ström går in i den ena noden och ut i den andra. Den här typen av komponenter med två kopplingspunkter kallar man tvåpoler. Den stora fördelen med tvåpoler är att beräkningar och kretsanalys blir relativt enkel.

Tvåpolsatsen
Även känd som Thévenins teorem. Det är en är en användbar analysmetod som gör det möjligt att ersätta en komplex krets med en enklare tvåpol. Tvåpolsatsen säger att vilken som helst linjär tvåpol kan ersättas av en ekvivalent krets bestående av en enda spänningskälla och en resistans i serie. Mer om tvåpolssatsen i kapitel 6.

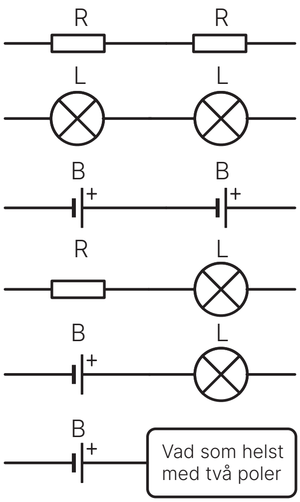
Seriekoppling

Från förra kapitlet vet du att seriekoppling är den kopplingstyp som används vid strömmätning. I den här kopplingen är amperemetern inkopplad i serie med lampan.



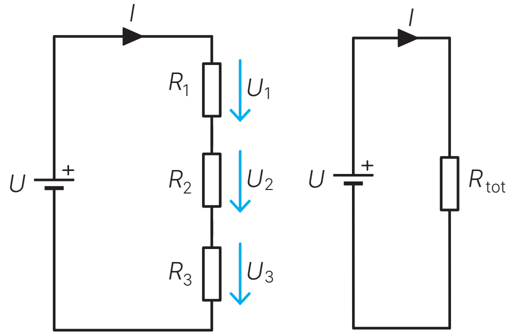
Figur 4.45
Seriekopplad krets

Men seriekoppling är ett generellt begrepp. Man kan seriekoppla komponenter av samma typ eller av olika typ. I det sista exemplet nedan är ett batteri seriekopplat med en okänd tvåpol.



Figur 4.46
Exempel på seriekopplingar

Seriekoppling är när två tvåpoler (men inte fler) är sammankopplade i en punkt. Vid seriekoppling av tvåpoler går samma ström genom de seriekopplade komponenterna.



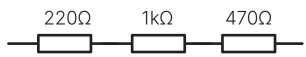
Figur 4.47a **Figur 4.47b**
$R_1 + R_2 + R_3$ = ersättningsresistansen, R_{tot}

Seriekoppling av resistorer

Att seriekoppla två resistorer eller fler, är det samma sak som att koppla in mera resistans i strömmens väg. Om vi skulle ersätta de tre seriekopplade resistorerna i **figur 4.47a** med en resistor, skulle vi få kretsen i **figur 4.47b**.
Eftersom båda kretsarna ska vara lika är:
$U = U_1 + U_2 + U_3$. Dividerar vi med strömmen I, blir det: $U / I = (U_1 / I) + (U_2 / I) + (U_3 / I)$ vilket är samma sak som: $R_{tot} = R_1 + R_2 + R_3$.

$$\boldsymbol{R_{tot} = R_1 + R_2 + R_3 ...}$$

R_{tot} kallas för ersättningsresistansen.



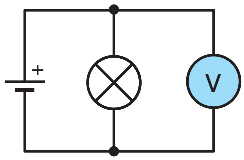
Figur 4.48
Beräkning av ersättningsresistansen

Beräkning av seriekopplade resistorer

Ersättningsresistansen blir:
$R_{tot} = 200+1000+470 = 1690\Omega = 1{,}69\ k\Omega$

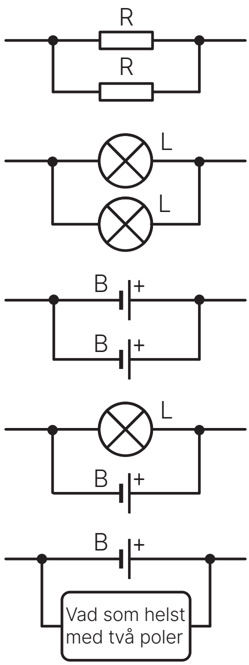
Parallellkoppling

Från förra kapitlet vet vi att parallellkoppling är den kopplingstyp som används vid potentialmätning (spänningsmätning). I den här kopplingen är voltmetern inkopplad parallellt över lampan (och batteriet).



Figur 4.49
Parallellkopplad krets

Men parallellkoppling är ett generellt begrepp. Man kan parallellkoppla komponenter av samma typ eller av olika typ. I det sista exemplet nedan är ett batteri parallellkopplat med en okänd typ av tvåpol.

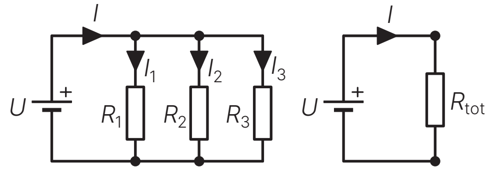


Figur 4.50
Exempel på parallellkopplingar

Parallellkoppling är när två tvåpoler är sammankopplade i båda ändarna. Vid parallellkoppling av tvåpoler är det samma spänningen över de parallellkopplade komponenterna.

Parallellkoppling av resistorer

När man parallellkopplar två resistorer kommer strömmen att fördelas genom motstånden.



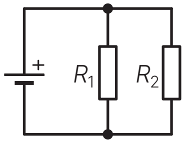
Figur 4.51a **Figur 4.51b**
$1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3$ = ersättningsresistansen, R_{tot}

Att parallellkoppla två resistorer eller fler, är samma sak som att minska resistansen i strömmens väg. Huvudströmmen (I) får fler vägar att ta sig genom kretsen, den kommer att delas upp på flera delströmmar. Om vi skulle ersätta de tre parallellkopplade resistorerna i **figur 4.51a** med en resistor, skulle vi få ersättningsresistansen R_{tot}, se **figur 4.51b**.

Kirchhoffs strömlag ger: $I = I_1 + I_2 + I_3$
Då spänningsfallet är lika stort över varje resistorer i parallellkopplingen som hos R_{tot}, kan vi uttrycka I som U/R, och får då:
$U/R_{tot} = (U/R_1) + (U/R_2) + (U/R_3)$
Dividera med U i båda leden och vi får:
$1/R_{tot} = (1/R_1) + (1/R_2) + (1/R_3)$

$$\frac{1}{R_{tot}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \ldots$$

Tumregel att minnas:
Ersättningsresistansen i en parallellkoppling blir alltid mindre än den minsta resistansen som ingår i kopplingen. En liten resistans hindrar strömmen mindre än en stor resistans.



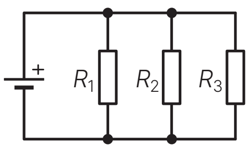
Figur 4.52
Beräkning av ersättningsresistans, förenklad

Beräkning av ersättningsresistans med två resistorer

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

Om man bara har två resistorer i parallellkopplingen kan man använda den enklare formeln.

Beräkning av ersättningsresistans med tre eller fler resistorer



Figur 4.53
Beräkning av ersättningsresistans

Vi beräknar ersättningsresistansen för det här resistansnätet: tre resistanser på 18Ω, 39Ω och 47Ω parallellkopplas. Vi vet säkert att den nya resistansen kommer att bli lägre än 18Ω.

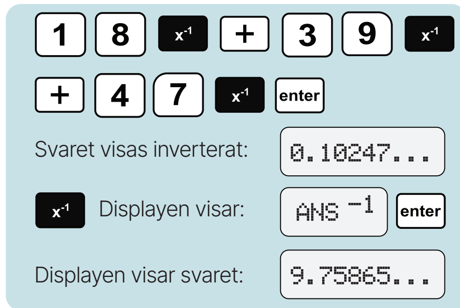
$$\frac{1}{R_{tot}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \ldots$$

$1/R_{tot} = (1/18) + (1/39) + (1/47) = < 18\Omega$

Hur beräknar vi ut detta på enklast sätt?
Vi behöver en räknare med möjlighet att invertera tal. Självklart kan man använda iphone-räknaren, men en teknisk skolräknare är enklare att arbeta med.

Räknare med inverteringsfunktion

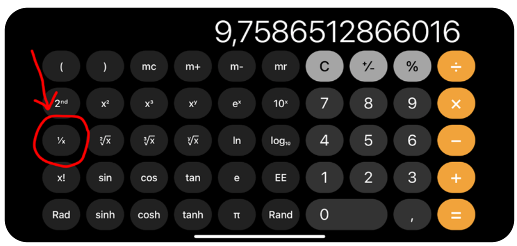
Ersättningsresistansen i en parallellkoppling kan enkelt räknas ut genom att använda räknarens inverteringsfunktion funktion (x^{-1}) eller (1/x). Nedan ett exempel med en Texas TI-84 räknare:



Figur 4.54a
Inmatningsexempel på Texas TI-84 räknare

$R_{tot} = (1/18) + (1/39) + (1/47) \approx 9{,}76\ \Omega.$

Glöm inte att invertera tillbaks svaret från additionen. Inmatningen fungerar nästan identiskt med t.ex. Casio fx-82.

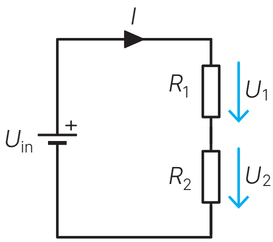


Figur 4.54b
Invertering, iPhones-standardräknare

Beräkningen går även bra att utföra med iPhones-räknare. Vänd telefonen horisontellt, så byter iPhone-räknaren skepnad från enkel räknare till teknisk räknare.

Spänningsdelning

En mycket vanlig användning av motstånd är för att ta ut en lägre spänning genom det som kallas spänningsdelning.
I kopplingen nedan har två motstånd seriekopplats. Vi skall undersöka hur man enkelt kan beräkna spänningen över vart och ett av motstånden.



Figur 4.55
Krets med spänningsdelning

Spänningen $U_1 = I \cdot R_1$

Spänningen $U_{in} = (R_1 + R_2) \cdot I$

Sammanslaget ger det formeln:

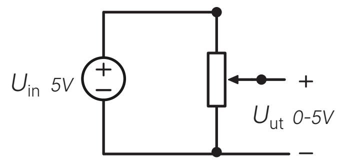
$$U_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot U_{in}$$

På samma sätt kan U_2 beräknas som:
$U_2 = (R_2 / (R_1 + R_2)) \cdot U$

Formeln ska tolkas så här: Hela spänningen U_{in} ligger över de två motstånden R_1 och R_2. Spänningen fördelar sig proportionellt mot storleken på motstånden. Den del av U_1 som ligger över R_1 blir då $R_1 / (R_1 + R_2)$ av U_{in}.
Detta är en mycket praktisk och användbar formel för beräkning av spänning över ett motstånd utan att man först behöver beräkna strömmen.

Potentiometern som spänningsdelare

Potentiometern används ofta som spänningsdelare. Man använder då den här kopplingen:

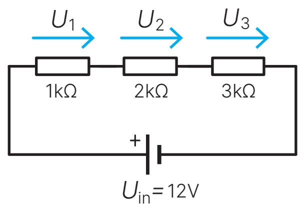


Figur 4.56
Potentiometer med ställbar utspänning

Om man ställer en 1kΩ potentiometern i sitt mittläge, kommer man att få 500Ω på båda sidor om släpkontakten. Man skulle kunna se det som att $R_1 = 500\Omega$ och $R_2 = 500\Omega$. I kretsen ovan blir alltså $U_{ut} = 2{,}5$ V.

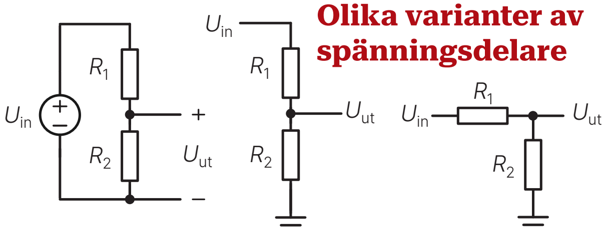
Beräkning av spänningsdelning

Vi beräknar spänningen över vart och ett av motstånden nedan:



Figur 4.57
Beräkna spänningen U_1 till U_3

Med hjälp av formeln får man:
$U_1 = R_1/(R_1 + R_2 + R_3) \cdot U_{in}$
$U_1 = (1k/(1k + 2k + 3k)) \cdot 12 = 1/6 \cdot 12 = 2$ V
På samma sätt beräknas:
$U_2 = (2k/6k) \cdot 12 = 4$ V och
$U_3 = (3k/6k) \cdot 12 = 6$ V
Värden på motstånden är valda så att du tydligt kan se hur spänningen fördelar sig proportionellt mot storleken på motstånden.



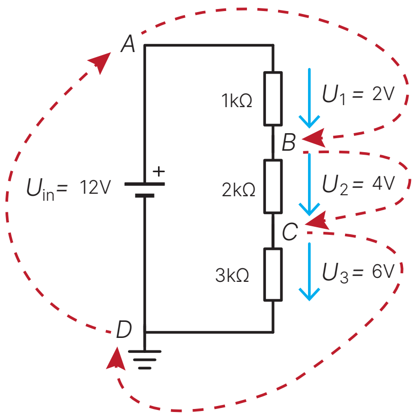
Olika varianter av spänningsdelare

I ett kretsschema känner man enkelt igen en spänningsdelare. Designen ser olika ut men det är exakt den samma.

$$U_{ut} = U_{in} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

Potentialer och potentialvandring

I förra kapitlet fick vi lära oss begreppet potential. Schemat nedan är från exemplet (**figur 4.57**) men det har lagts till en jordsymbol ansluten till batteriets minuspol. Batterispänningen är 12 V. Potentialen i A (U_A) blir då 12 V då noden D med jordsymbolen betraktas som referens (0 V). I noden D blir då potentialen $U_D = 0$ V.



Figur 4.58
Potentialvandring genom en krets

Ska man fastställa potentialer i mera komplicerade scheman måste man göra beräkningar, och ofta använder man en teknik som kallas potentialvandring. Vid en potentialvandring tänker man sig att man följer med laddningarna runt i kretsen och känner av potentialen (energitillståndet) under vandringen. Vi gör detta i schemat och börjar i A och går i strömmens riktning (medurs). När vi går från A till B (via resistorn) kommer potentialen att sjunka från 12 V till 10 V. Ändringen är negativ dvs. –2 V.
Vi nu fortsätter vår vandring runt i kretsen till C, där sjunker potentialen till 6 V, vi går vidare till D, där sjunker potentialen till 0 V.
Vi fortsätter vår vandring genom kretsen och tar vägen tillbaka genom batteriet. På vägen från D till A stiger potentialen med 12 V. Ändringen är alltså positiv och vi kan beteckna den som +12 V.
Om vi alltså går runt i hela kretsen från A och hela vägen tillbaka till A förändras potentialen som (–2) + (–4) + (– 6) + (12) = 0.
Summan av potentialförändringar i kretsen blev alltså 0 Volt.

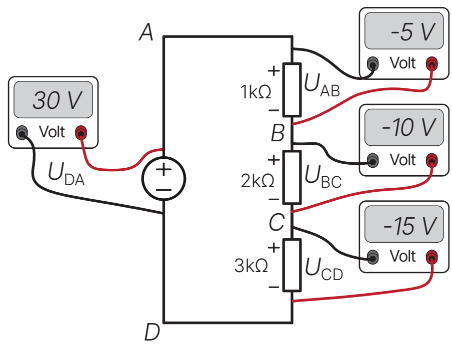
Kirchhoffs II:a lag, spänningslagen

En potentialvandring i en krets ger alltså alltid resultatet 0 V när potentialändringar summeras. I en kretsen **figur 4.58**, framgår det klart. Det är både en användbar och viktig kunskap som kallas för Kirchhoffs andra lag. Förkortas KVL (en. Kirchhoff's Voltage Law). Den beskriver hur potentialer fördelas i en krets och kan formuleras så här:

Spänningslagen:
I en sluten krets är summan av potentialändringar alltid 0 volt.

Mätningen av potentialförändringar med voltmeter

Vi beskriver samma krets igen, lite mer visuellt med voltmetrar inkopplade. Som vi vet är summan av potentialförändringar 0 V i den slutna kretsen.



Figur 4.59
Kirchhoffs andra lag, visuellt med voltmeter

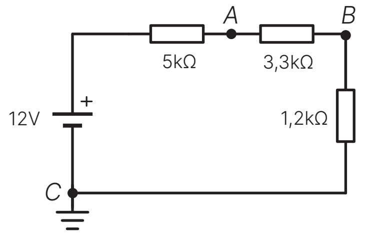
Voltmetrarna visar spänningsfallen över resistorerna. Potentialförändringar i kretsen:
$U_{DA} = +30$ V
$U_{AB} = -5$V
$U_{BC} = -10$V
$U_{CD} = -15$ V
Summa: 0 volt.

Man kan också beskriva det som att matspänningen är lika stor som de totala spänningsfallen i kretsen. $U_{DA} = U_{AB} + U_{BC} + U_{CD}$

$$\boldsymbol{U = U_1 + U_2 + U_3 \ldots}$$

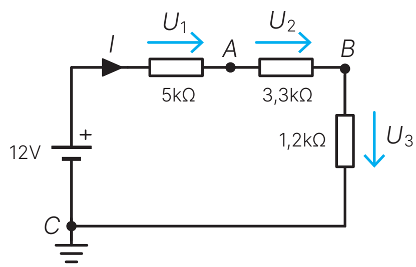
Potentialer kan beräknas på flera olika sätt

I exemplet skall vi tillämpa flera beräkningssätt för att ta reda på strömmen i kretsen samt potentialerna i A och B. Noden C är referens.



Figur 4.60
Beräkning av potentialen, A och B

Innan vi börjar är det lämpligt att sätta ut strömmen (I) och benämna de spänningsfall som finns i kretsen.



Figur 4.61
Vi startar med potentialvandring

Utgå från referensen

Börja med att göra en potentialvandring. Man kan i princip börja var som helst i schemat. Det viktiga är att gå hela varvet runt. Vi väljer vår potentialvandring från referensen C, varvet runt och tillbaka till C.
Enligt Kirchhoffs spänningslag är summan av alla spänningar i kretsen noll dvs. vi får ekvationen: $+12\text{V} - U_1 - U_2 - U_3 = 0$.

Beräkna potentialerna

För att beräkna potentialerna i A och B behöver vi beräkna U_1 och U_2 eller U_3. För övnings skull beräknar vi alla spänningsfallen i kretsen. Detta kan vi göra (utan att beräkna strömmen) med den metod vi lärt oss:

$U_1 = 5\text{k} / (5\text{k} + 3{,}3\text{k} + 1{,}2\text{k}) \cdot 12\text{ V} \approx$
$0{,}53 \cdot 12 \approx \mathbf{6{,}3\ V}$

$U_2 = 3{,}3\text{k} / (5\text{k} + 3{,}3\text{k} + 1{,}2\text{k}) \cdot 12\text{ V} \approx$
$0{,}35 \cdot 12 \approx \mathbf{4{,}2\ V}$

$U_3 = 1{,}2\text{k} / (5\text{k} + 3{,}3\text{k} + 1{,}2\text{k}) \cdot 12\text{ V} \approx$
$0{,}13 \cdot 12 \approx \mathbf{1{,}5\ V}$

Lägg märke till att summan av spänningsfallen U_1, U_2 och U_3 blir 12 V.

Beskrivet med Kirchhoffs spänningslag:
$+12 - 6{,}3 - 4{,}2 - 1{,}5 = 0$

Beräkna strömmen *I*

Om vi går "den långa vägen" kan vi först beräkna strömmen i kretsen med ohms lag $\boldsymbol{I=U/R}$:
$I = 12\text{ V}/(5\text{k} + 3{,}3\text{k} + 1{,}2\text{k}) = 12\text{ V}/9{,}5\text{k} \approx 1{,}26\text{ mA}$.

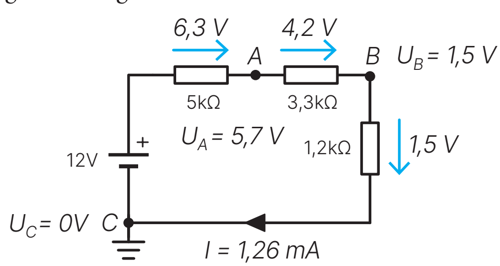
Beräkna spänningsfallen via strömmen

När vi känner till strömmen kan även spänningsfallen beräknas med ohms lag $\boldsymbol{U=R \cdot I}$:
$U_1 = 1{,}26\text{ mA} \cdot 5\text{k} = 6{,}3\text{ V}$
$U_2 = 1{,}26\text{ mA} \cdot 3{,}3\text{k} = 4{,}2\text{ V}$
$U_3 = 1{,}26\text{ mA} \cdot 1{,}2\text{k} = 1{,}5\text{ V}$
Som du ser blir det samma resultat som ovan där vi beräknade spänningsfallen utan att först beräkna strömmen.

Beräkna till slut potentialerna A och B

För att beräkna potentialerna i A och B måste man beräkna U_1 och U_2 eller U_3 först. Börja med en potentialvandring från till exempel referensen (C) och närmaste väg till den nod som skall beräknas:
$U_A = +12\text{ V} - U_1 = 12 - 6{,}3 = 5{,}7\text{ V}$
genom att gå från C till A medurs.

$U_B = +12\text{V} - U_1 - U_2 = 12 - 6{,}3 - 4{,}2 = 1{,}5\text{V}$
genom att gå från C till B medurs.

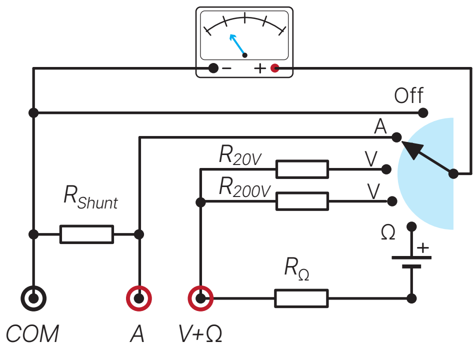


Figur 4.62
Resultat av beräkningar

Mättekniska problem

Multimetern kan inte mäta helt rätt

Vid mätning med en multimeter går det inte att mäta utan att påverka det du mäter. En ideal voltmeter med oändligt hög resistans, eller en ideal amperemeter helt utan resistans existerar inte. Alla mätinstrument har något som kallas för inre resistans vilken påverkar mätresultatet. Man behöver alltså både känna till instrumentets onoggrannhet och dess påverkan på den krets du avser att mäta.

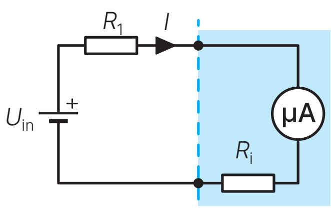


Figur 4.63
Principen för hur en multimeter fungerar

Som man kan se i principskissen för en multimeter finns flera resistanser som kommer att påverka mätresultatet. När en resistans serie- eller parallellkopplas förändras resistansen och där med både spänningen över den, och strömmen genom den.

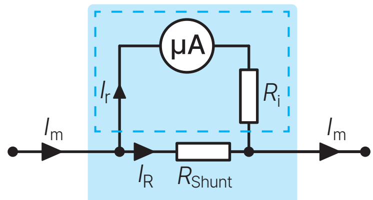
Problemet vid strömmätning

Vid strömmätning kopplas mätinstrumentet in i serie med den ledare där strömmen skall mätas. I kopplingsschemat ser man amperemeterns inre resistans R_i som kommer att påverkar kretsen.



Figur 4.64
Amperemetern har en inre resistans

I amperemetern finns en inre resistans (R_i) i serie med instrumentet. Den inre resistansen hos alla strömmätande instrument blir en felkälla, detta eftersom strömmen genom kretsen minskar på grund av instrumentets inbyggda resistans. Genom att lägga till ett shuntmotstånd kan man mäta högre strömmar och samtidigt minska den totala inre resistansen.



Figur 4.65
Strömmen genom går igenom amperemetern och shuntmotståndet

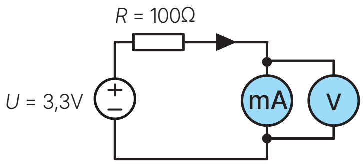
Hur fungerar en amperemeter?

Mikro-amperemetern kan mäta upp till något 10-tal µA. För att kunna mäta högre strömmar används ett shuntmotstånd (R_{shunt}) genom vilken man leder förbi den största delen av strömmen. Varje mätområde (t.ex. 20 mA, 200 mA, 10A) har ett separat shuntmotstånd. Området för µA, har inget shuntmotstånd utan bara amperemeterns inre resistans (R_i). Det gör att det området har den högsta inre resistansen, typiskt 100 ohm, vilket också gör att I_r blir mycket liten i förhållande till I_R. Strömmen (I_R) genom R_{shunt} + strömmen genom amperemetern (I_r) = totala mätströmmen (I_m).

$I_r + I_R = I_m$.

Shuntmotstånd

I **figur 4.63** och **figur 4.65** ser man hur ett shuntmotstånd används vid mätning av högre strömmar. Spänningsfallet som uppstår över shuntmotståndet kallas för belastningsspänning (en. burden voltage). Det är önskvärt att shuntmotståndet hålls så lågt som möjligt så att spänningen över det också blir så låg som möjligt. Detta för att påverka kretsen och där med mätresultatet så lite som möjligt. Olika mätområden har olika storlek på shuntmotståndet, från några milliohm (10 A mätområde) upp till ca 100Ω (µA mätområde).



Figur 4.66
Det behövs två instrument för att mäta belastningsspänningen

Mätning av belastningsspänning

Dyrare instrument anger belastningsspänningen (burden voltage) i sitt datablad. Belastningsspänningen anges som t.ex. 1,8 mV/mA. Det betyder att vid mätning av 100 mA, kommer belastningsspänningen att vara 1,8 · 100 = 180 mV. Ofta uppger inte tillverkarna belastningsspänningen, men den kan man mäta själv. För det behövs två multimetrar, en som mäter strömmen genom kretsen och en som mäter spänningen över amperemetern (och dess inbyggda shuntmotstånd).

När får spänningsfallet över shuntmotståndet betydelse?

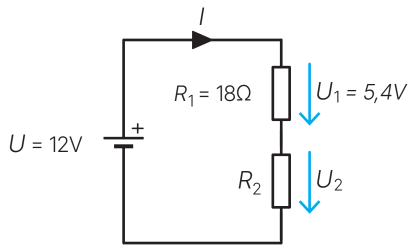
Antag att du har en krets med 3,3 V drivspänning, med en resistor på 100Ω i serie **(figur 4.66)**. Strömmen genom kretsen blir $\boldsymbol{I=U/R}$ = 3,3/100 = 0,033 A = 33 mA.
Om du nu ansluter en amperemeter i serie med kretsen för att mäta strömmen, kommer den att visa: 30 mA. Varför blir det så?
Det uppmätta spänningsfallet över shuntresistorn är 300 mV (0,3 V). Det betyder att man måste räkna bort 0,3 V från drivspänningen.
Med 3 V i stället för 3,3 V kommer amperemetern att visa:
$\boldsymbol{I=U/R}$ = 3/100 = 0,3 A = 30 mA, ett fel på 10%.
Detta är anledningen till att det kan vara bra att känna till, och kunna mäta/räkna på mätfelet som uppstår pga. den inre resistansen.

Shuntmotståndets storlek

Storleken på shuntmotståndet beror på vilket mätområde man väljer. Shuntmotståndets resistans ökar när man väljer ett mätområde med högre upplösning, t.ex 2 V i stället för 20 V.
När man väljer ett område med sämre upplösning (färre decimaler) kommer mätfelet att minska då shuntmotståndets resistans minskar, och där med dess påverkan av kretsen. Detta kan man bara göra om multimetern har manuell inställning av mätområden, och självklart om man kan acceptera att mätvärdet får sämre upplösning.

Indirekt strömmätning

Om komponenter är inlödda på ett mönsterkort kan det vara svårt att mäta strömmen. Det kräver att kretsen bryts upp för att kunna koppla in en amperemeter.
Ofta kan man ta reda på strömmen på ett enklare sätt. Tänk dig att du vill veta strömmen (I) i kopplingen, **figur 4.67**.

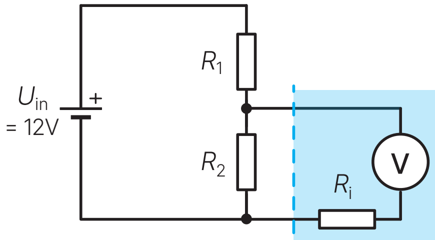


Figur 4.67
Indirekt strömmätning genom att mäta spänning

Istället för att mäta strömmen direkt, kan man läsa av motståndets resistans och mäta spänningen över motståndet. I exemplet beräknas strömmen enkelt med hjälp av ohms lag.
$\boldsymbol{I=U/R}$ = 5,4 / 18 = 0,3 A = 300 mA.
Detta kallas för indirekt strömmätning.
Även R_2 och U_2 kan enkelt beräknas om man även känner till drivspänningen.
U_2 = 12 – 5,4 = 6,6 V.
$R_2 = U/I$ = 6,6 / 0,3 = 22Ω.

Problemet vid spänningsmätning

När man mäter spänning kopplas instrumentet in parallellt över kretsen eller komponenten.
I den här kopplingen vill vi mäta spänningen över motståndet R_2.
Kan vi lita på voltmetern när vi kontrollmäter?
Det ideala är givetvis en voltmeter som inte påverkar kopplingen alls, utan visar den spänning som finns i kretsen fast att instrumentet är inkopplat och där med en del av kretsen.



Figur 4.68
Voltmetern har en inre resistans

I verkligheten är det inte så, detta på grund av att voltmetern har en inre resistans.

Voltmeterns inre resistans
Vid spänningsmätning hos en multimeter, är den inre resistansen runt 10 MΩ. Äldre instrument, de allra billigaste instrumenten och analoga instrument, kan ha betydligt lägre inre resistans, ca 0,5-1 MΩ. För att påverka kretsen så lite som möjligt när man mäter spänning, eftersträvas en så hög inre resistans som möjligt.

Figur 4.69
Mätning av voltmeterns inre resistans

Kontroll av inre resistans
Det går bra att kontrollera den inre resistansen hos voltmetern i multimetern. Det kan man göra med hjälp av en megger. I exemplet testas den inre resistansen hos en Uni-T UT33C+ (en relativt billig multimeter). Provspänning är 100 V och instrumentet är inställt på mätområdet för 200 V DC. Meggern visar att den inre resistansen är 10 MΩ. Samma test med 500 V provspänningen och 600 V mätområde ger samma resultat.

Hur påverkar voltmeterns inre resistans mätvärdet?
Om vi utgår från kretsen i **figur 4.68**, som är en spänningsdelare med R_1 = 10 kΩ och R_2 = 10 kΩ. Spänningen över R_1 respektive R_2 blir alltså 6 V.
Voltmetern med en inre resistans på 10 MΩ är inkopplad över R_2. Ersättningsresistansen blir enligt formeln för parallellkoppling:

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

R_{tot} = (10k · 10000k)/(10k+10000k) ≈ 9,99 kΩ

Med formeln för spänningsdelare blir spänningen över R_2:

$$U_2 = U_{in} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

U_2= (9,99/(10+9,99)) · 12 ≈ 5,997 V
Voltmetern visar 5,997 V* medan det förväntade mätresultatet är 6 V. Skillnaden är 6 – 5,997 = 0,003 = **3 mV**, vilket i sammanhanget får anses som försumbart.
* Voltmetern har dessutom en onoggrannhet som vi beskrivit tidigare, så ovanstående blir bara en teoretisk övning.

Om vi där emot ändrar resistansen i spänningsdelaren till: R_1 = 1 MΩ och R_2 = 1 MΩ.
U_2= (909k/(1000k+909k)) · 12 ≈ 5,714 V
Nu är skillnaden: 6 – 5,714 = **286 mV**.

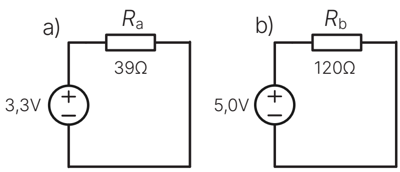
Felet ökar alltså när man mäter över höga resistanser.

Om vi skulle ha utfört den första beräkningen med 0,5 MΩ inre resistans hade skillnaden blivit betydligt större än 3 mV: 6–5,941 V = **59 mV**.

Felet ökar alltså även om voltmeterns inre resistans minskar.

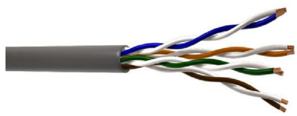
Slutsatsen är att voltmetern i en modern multimeter med 10 MΩ i inre resistans sällan skapar några betydelsefulla mätfel.

Övningsuppgifter



4.1 Dimensionera motstånden

Dimensionera effekttåligheten hos resistorerna R_a och R_b. Välj mellan följande märkeffekter: 0,125W, 0,25W, 0,5W och 1W.



4.2 Beräkna resistansen i nätverks kabel

Vad är resistansen hos ett ledningspar i en CAT 6 nätverkskabel med AWG23 (0,258 mm^2) ledare av koppar? Kabeln är 100 meter lång. Ett ledningspar = 2 st ledare.

4.3 Hur mycket kabel finns kvar?

Kopparledaren i en CAT 6 nätverkskabel är av typen AWG23 (0,258 mm^2). Efter att kortslutit ett ledningspar längst in i rullen, mäter du resistansen i samma ledningspar i andra änden till 18,5Ω. Hur mycket nätverkskabel finns kvar i en öppnad kabelrulle?

4.4 Resistormärkning

Vilken är resistansen hos motstånden med följande märkning:

a) 1R2 **b)** R12 **c)** 47R **d)** R10 **e)** 1R0
f) 1k2 **g)** 1M5.

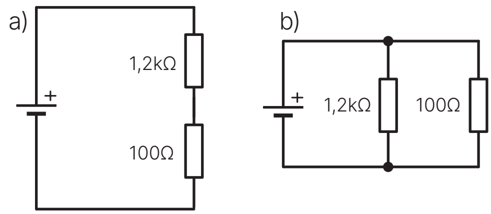
4.5 NTC och PTC, vad är det

Hur påverkas en termistor av värme?

- **a)** NTC-resistor.
- **b)** PTC-resistor.

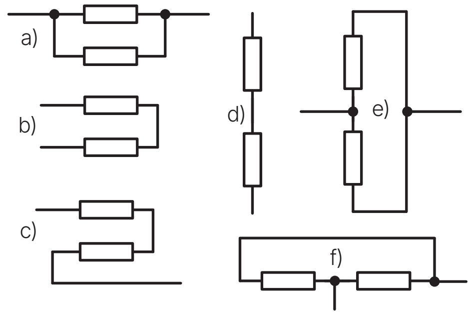
4.6 Sambandet i ohms lag

- **a)** Om spänningen dubbleras över ett givet motstånd, vad händer med strömmen?
- **b)** Om resistansen dubbleras vid en given spänning, vad händer med strömmen?



4.7 Serie och parallellkoppling

- **a)** Beräkna ersättningsresistansen i kretsen a).
- **b)** Vad blir ersättningsresistansen i kretsen b), gör en uppskattning enligt tumregeln.
- **c)** Beräkna den verkliga ersättningsresistansen i b)

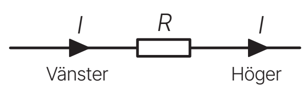


4.8 Hitta serie- och parallellkopplade motstånd

Vilka av motståndsparen är serie- och vilka är parallellkopplade?

4.9 Kirchhoffs II:a lag, spänningslagen

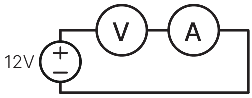
Vad går Kirchhoffs andra lag ut på?



4.10 Potential hos resistor

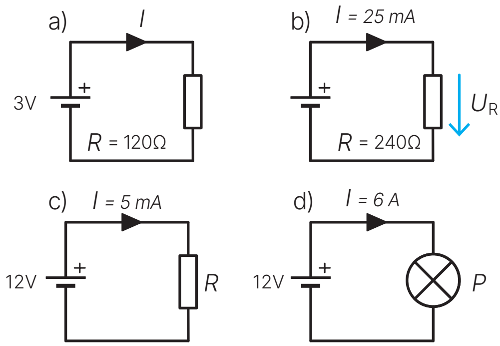
I en krets flyter strömmen (I) genom en resistorn (R). På vilken sida av resistorn är potentialen högst?

Övningsuppgifter



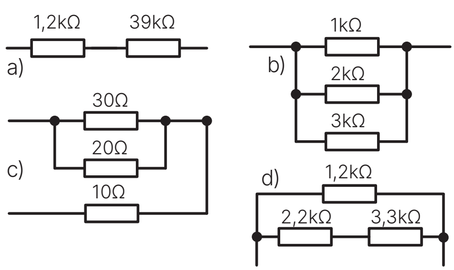
4.11 Mätare i serie

I kretsen har en amperemeter (visar 1,2 μA) seriekopplats man en voltmeter. Vad får vi veta om voltmetern i den här kretsen?



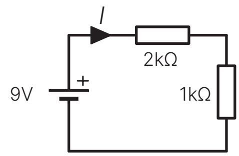
4.12 Enkla beräkningar med ohms lag

a) Vad blir strömmen i kretsen A?
b) Vad blir spänningen över motståndet i kretsen B?
c) Vad blir resistansen i kretsen C?
d) Vad blir lampans effektförlust i kretsen D?
e) Vilken resistans har lampan i kretsen D?



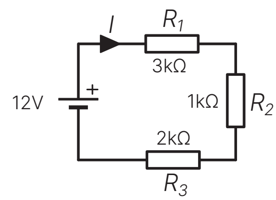
4.13 Beräkna ersättningsresistansen

Beräkna ersättningsresistanserna för ovanstående motståndsnät.



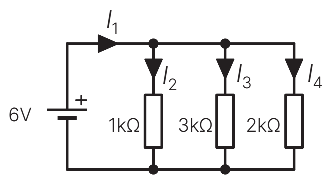
4.14 Beräkna spänningsfall

Beräkna först strömmen och sedan spänningsfallen över vart och ett av motstånden.



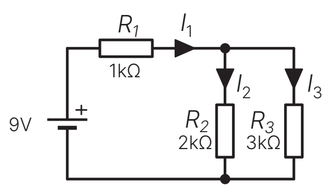
4.15 Spänningsdelning

Beräkna spänningsfallen i den här kopplingen, utan att först beräkna strömmen!



4.16 Strömdelning

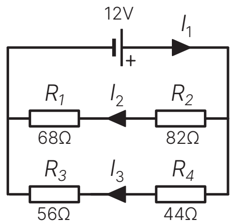
Beräkna huvudströmmen I_1 samt delströmmarna I_2, I_3 och I_3



4.17 Beräkna allt

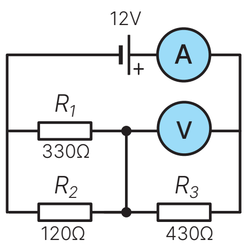
Beräkna spänningsfallen över vart och ett av motstånden samt huvudströmmen I_1 och delströmmarna I_2 och I_3. Innan du börjar så försök att hitta en bra ordning för dina beräkningar. Ibland kan man inte räkna ut det som efterfrågas direkt, utan måste börja med något annat först.

Övningsuppgifter



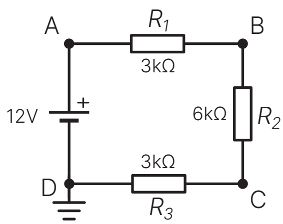
4.18 Beräkna kretsen

- **a)** Beräkna ersättningsresistanserna
- **b)** Beräkna huvudströmmen I_1
- **c)** Beräkna delströmmarna I_2 och I_3
- **d)** Beräkna spänningen över resistorerna



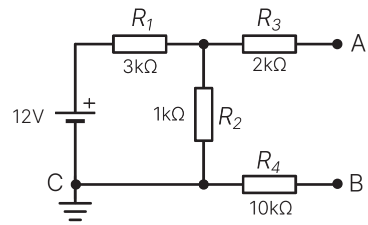
4.19 Vad visar instrumenten?

- **a)** Vad kommer amperemeterna att visa?
- **b)** Vad kommer voltmetern att visa?



4.20 Beräkna potentialer

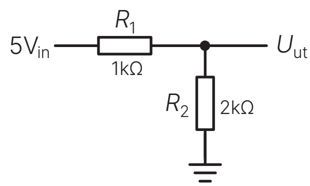
För att beräkna potentialer i kretsen, måste man först beräkna spänningsfallen. Beräkna sedan potentialerna i punkterna A, B och C. D är referens.



4.21 Den oanslutna ledaren

Studera schemat.

a) Vilken potential har du i A om C är referens?
b) Vilken potential har du i B om C är referens?



4.22 Spänningsdelare

- **b)** Vilken blir utspänningen?
- **c)** Vad kan den tänkas användas till?

Sammanfattning

$$R = \frac{\rho \cdot l}{A} \qquad l = \frac{R \cdot A}{\rho}$$

Resistans hos ledare

Resistansen (R) anges i ohm. Tvärsnittsarean (A) anges i mm^2, längden (l) anges i meter och (ρ) är materialkonsen som anges i Ωmm^2/m.

$$U = R \cdot I$$

Ohms lag

Spänningen (U) anges i volt. Resistansen (R) anges i ohm, Strömmen (I) anges i ampere.

Om spänningen dubbleras vid ett givet motstånd, fördubblas även strömmen.

Om motståndets resistans dubbleras, vid en given spänning, halveras strömmen.

$$P = U \cdot I$$

Beräkning av effekt

Effekten (P) anges i watt. Spänningen (U) anges i volt. Strömmen (I) anges i ampere.

$$I = I_1 + I_2 + I_3 \ldots$$

Kirchhoffs första lag, strömlagen

Summan av strömmar som kommer in i en punkt är lika med summan av alla strömmar som lämnar punkten. Ingen ström "försvinner" i kretsen.

$$U = U_1 + U_2 + U_3 \ldots$$

Kirchhoffs andra lag, spänningslagen

I en sluten krets är summan av potentialändringarna alltid noll.

Potential

Potentialen i en given punkt, är spänningen mellan denna punkt och jord. Potentialen kan vara positiv eller negativ. När en punkt är jordad så är dess potential noll.

Potentialförändring

Potentialen i en sluten krets minskar i strömmens riktning, på motsvarande sätt ökar potentialen om man går mot strömmens riktning.

$$R_{tot} = R_1 + R_2 + R_3 \ldots$$

Seriekoppling

I en seriekoppling flyter samma ström genom alla resistanserna, och den totala resistansen är summan av de enskilda resistanserna.

$$R_{tot} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} \qquad \frac{1}{R_{tot}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \ldots$$

Parallellkoppling

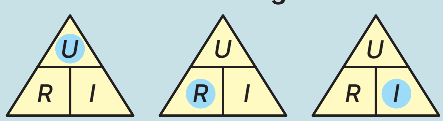
I en parallellkoppling är spänningen över varje ingående resistor densamma, och den totala resistansen är mindre än den minsta resistansen i kopplingen. Strömmen delas upp mellan varje ingående resistor baserat på dess resistans.

$$U_{ut} = U_{in} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

Spänningsdelare

En spänningsdelare är en krets som fördelar en ingående spänning över två eller flera resistanser. Det resulterar i en lägre spänning över varje ingående resistans i spänningsdelaren.

Beräkningstriangel för ohms lag



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

U = Spänning = V (volt)
R = Resistans = Ω (ohm)
I = Ström = A (ampere)

Facit

4.1 För att beräkna effekten, använd PURI-snurran för att slippa att räkna i två steg (först strömmen, sen effekten) Räkna ut effekten direkt med formel: $P=U^2/R$.
$P_a = 3{,}3^2/39 \approx 0{,}28$ W
$P_b = 5{,}0^2/120 \approx 0{,}21$ W
a) Välj ett **0,5 W** motstånd
b) Välj ett **0,25 W** motstånd

4.2 Med formel: $R=\rho \cdot l/A$
$R = 0{,}017 \cdot 2 \cdot 100 / 0{,}258 \approx$ **13,2 Ω**

4.3 Frigör längd (l) i formeln $R=\rho \cdot l/A$.
$l = R \cdot A/\rho = 18{,}5 \cdot 0{,}258 / 0.017 \approx 280$ m.
280 meter gäller för hela ledarens längd, dela med 2 för ledningsparets längd:
280/2 = **140 meter**

4.4 **a)** 1,2 Ω **b)** 0,12 Ω **c)** 47Ω **d)** 0,1Ω
e) 1,0 Ω **f)** 1,2kΩ **g)** 1,5 MΩ

4.5 **a)** En NTC-resistor har negativ temperaturkoefficient. Dess resistans **minskar** när temperaturen ökar.
b) En PTC-resistor har positiv temperaturkoefficient. Dess resistans **ökar** när temperaturen ökar.

4.6 **a)** Strömmen **dubbleras**
b) Strömmen **halveras**

4.7 **a** $R = 1200 + 100 = 1300 =$ **1,3 kΩ**
b) Resistansen i en parallellkopling blir alltid mindre än den minsta ingående resistansen: < **100 Ω**
c) Med formeln:

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

blir ersättningsresistansen:
$R_{tot} = (1200 \cdot 100) / (1200 + 100) =$
92,3 Ω

4.8 **a)** **e)** **f)** = Parallellkoppling
b) **c)** **d)** = Seriekoppling

4.9 Spänningslagen säger att:
I en sluten krets är **summan** av potentialändringarna alltid **0**.

4.10 Strömmen flyter från plus till minus, från högre potential till lägre potential. Alltså har **vänster** sida hos resistorn högre potential.

4.11 Genom att känna till strömmen som flyter genom voltmetern kan man räkna ut dess inre resistans (Ri).
$Ri = U/I = 12\text{V} / 1{,}2\mu\text{A}\ (12/1{,}2 \cdot 10^{-6})$
= **10MΩ**.

4.12 **a)** $I = U/R = 3/120 = 0{,}025$ A = **25 mA**
b) $U_R = R \cdot I = 240 \cdot 0{,}025 =$ **6 V**
c) R = U/I = 12/0,005 = = **2,4kΩ**
d) P = U · I = 12 · 5 = **60 W**
e) R = U/I = 12/5 = **2,4Ω**

4.13 **a)** 1,2 + 39 = **40,2kΩ**

$$\frac{1}{R_{tot}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \ldots$$

b) 1/Rtot = 1/1 + 1/2 + 1/3 ≈ **0,55 kΩ**
c) Räkna först ut parallellkopplingen och lägg sen till serieresistansen:
$R_{parallell} = (30 \cdot 20) / (30 + 20) = 12\Omega$.
$R_{serie} = 12 + 10 =$ **22 Ω**
d) Räkna först ut serieresistansen och använd den sedan i parallellkopplingen
$R_{serie} = 2{,}2 + 3{,}3 = 5{,}5$ k Ω
$R_{parallell} = (1{,}2 \cdot 5{,}5) / (1{,}2+5{,}5) \approx$
0,985kΩ = **985Ω**

4.14 Strömmen $I = U/R = 9 / (2k + 1k) = 3$ mA
Spänningarna blir:
$U\_2k\Omega = 3\ \text{mA} \cdot 2\ \text{k}\Omega =$ **6 V**
$U\_1k\Omega = 3\ \text{mA} \cdot 1\ \text{k}\Omega =$ **3 V**

Facit

$$U_{ut} = U_{in} \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2 + R_3 \ldots}$$

4.15 Spänningen fördelar sig proportionellt över motstånden dvs.
R serie = 3kΩ + 1kΩ + 2kΩ = 6kΩ
$U(R_1)$ = 12 V · 3kΩ / 6kΩ = **6V**
$U(R_2)$ = 12 V · 1kΩ / 6kΩ = **2V**
U (R_3) = 12 V · 2kΩ / 6kΩ = **4V**

4.16 I_2 = 6 V / 1kΩ = **6 mA**
I_3 = 6 V / 3kΩ = **2 mA**
I_4 = 6 V / 2kΩ = **3 mA**
$I_1 = I_2 + I_3 + I_4$ = 6+2+3 = **11 mA**

4.17 Beräkna först ersättningsresistansen för de parallellkopplade motstånden R_1 och R_2. R parallell = 2kΩ · 3kΩ / (2kΩ + 3kΩ) = 1,2kΩ.
Beräkna nu spänningsfallen genom spänningsdelning:
$U(R_1)$ = 9V · 1kΩ / (1kΩ + 1,2kΩ) ≈ **4,1V**
Detta ger spänningen över R2 och R3:
$U(R_1$ och $R_2)$ = 9 V – 4,1 V = **4,9 V**
I_2 = 4,9V / 2k = **2,45 mA**
I_3 = 4,9V / 3k ≈ **1,63 mA**
$I_1 = I_2 + I_3$ = 2,45 mA + 1,63 mA = **4,08 mA**

4.18 a) Serie $(R_1 + R_2)$ = 68+82 = 150Ω
Serie $(R_3 + R_4)$ = 56+44 = 100Ω
Parallell (150 · 100) / (150+100) = **60Ω**
b) I_1=12/60= **0,2 A**
c) I_2=12/150= **0,08 A**
I_3=12/100= **0,12 A**
d) $U(R_1)$ = 0,08 · 68 = **5,44 V**
$U(R_2)$ = 0,08 · 82 = **6,56 V**
$U(R_3)$ = 0,12 · 56 = **6,72 V**
$U(R_4)$ = 0,12 · 44 = **5,28 V**

4.19 a) Amperemetern:
Räkna först ut ersättningsresistansen:
R parallell: (330·120)/(330+120) = 88Ω
R serie: 88+430 = 518Ω
I = 12/518 = 0,023 ≈ **23 mA**
b) Voltmetern:
U = 0,023 · 430 ≈ **9,9 V**

4.20 R serie = 3kΩ + 6kΩ + 3kΩ = 12kΩ
$U(R_1)$ = 12 V · 3kΩ / 12kΩ = 3V
$U(R_2)$ = 12 V · 6kΩ / 12kΩ = 6V
U (R_3) = 12 V · 3kΩ / 12kΩ = 3V
Potentialer i punkter:
A = **12 V**
B = 12 V – 3 V (U_R_1) = **9 V**
C= 9 V – 6V (U_R_2) = **3 V**

4.21 R serie = 3kΩ + 1kΩ = 4kΩ
$U(R_1)$ = 12 V · 3kΩ / 4kΩ = 9V
$U(R_2)$ = 12 V · 1kΩ / 4kΩ = 3V
Potentialen i punkten:
A = 12–9 = **3 V**
(R_3 kommer inte att påverka spänningen)
B = **0 V**

4.22 a) Spänningen över R_2=
$U(R_2)$ = 5V · 2kΩ / (2kΩ+1kΩ) ≈ **3,3V**
b) En digital utgång med 5V logik som ska anslutas till digital ingång med 3,3 V logik. Fungerar bra med långsam signalöverföring.

Fördjupning ……

Catus 5
Sid 6:1
Wheatstonebryggan