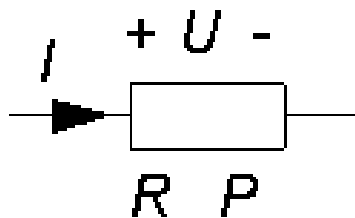
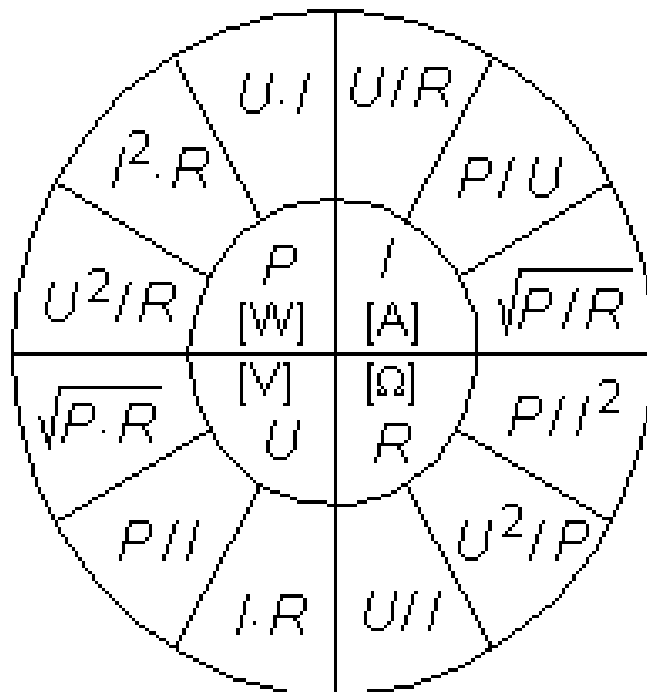


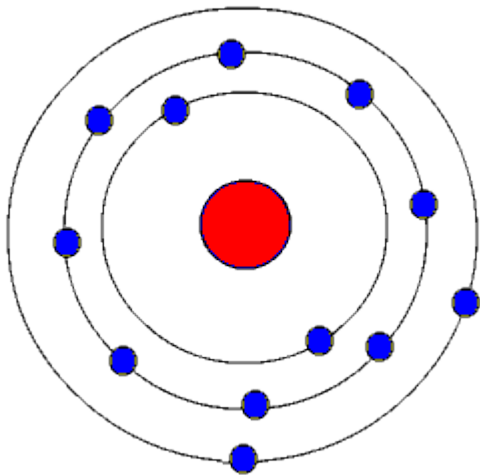
Ellära

för Ingenjörshögskolans Elektroinriktning

Häfte: Introduktion till Elläran



Vad är elektricitet?



Modell av en Magnesiumatom.

Magnesium med atomnumret 12 har 12 protoner i kärnan som binds ihop med 12 neutroner.

I banor runt kärnan kretsar 12 elektroner.

Det innersta skalet är fullt och har 2 elektroner, nästa skal är fullt och har 8 elektroner,

det yttersta sk. valensskalet innehåller 2 elektroner (med plats för ytterligare 6).

Materiens uppbyggnad

Enligt dagens skolmodell är alla ämnen uppbyggda av **atomer**, som i sin tur består av **elementarpartiklar**. Den positivt laddade **protonen**, den oladdade **neutronen** och den negativt laddade **elektronen**. Atomen är normalt utåt sett neutral, så den måste innehålla lika många protoner som elektroner. Protonerna och neutronerna är tunga och bildar atomkärnan - neutronerna utgör "klistret" som håller samman de positivt laddade protonerna (det behövs ungefär lika många neutroner som protoner till "klistret"). Elektronerna är lätta, och kretsar i banor runt atomkärnan.

Period = 8

group	1	2	13	14	15	16	17	18
1	H							He
2	Li	Be	B	C	N	O	F	Ne
3	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	Ar
	19	20	21	22	23	24	25	26

1869 studerade den ryske kemisten Mendelejev de då kända grundämnena i turordning efter atomvikt. Han fann att liknande materialegenskaper i allmänhet återkom hos ämnen med avståndet *åtta* steg i atomviktslistan. Han placerade därför grundämnena i följd i en "matris" med 8 kolumner, i stället för som en enkel atomviktslista. Detta visade sig vara lyckosamt, för många grundämnen kunde man "förutsäga" deras fysikaliska och kemiska egenskaper genom att snegla på grannarnas.

Li	Be	B
Na	Mg	Al
K	Ca	Sc

Mg, Magnesiums fysikaliska egenskaper

kan på ett ungefär beräknas som medelvärden av "grannarnas" egenskaper.

Idag känner vi till elementarpartiklarna, och vet att atomvikten beror på hur många protoner (och neutroner) ämnen innehåller, och även att de har lika många elektroner som protoner.

Elektronbanor och skal

Elektronerna kan bara omkretsa kärnan i vissa banor, och dessa ligger nära varandra och sammansätts till sk. **skal** (energinivåer). Ämnens atomnummer anger antalet protoner i kärnan, och samma antal elektroner måste placeras ut så att skalen fylls inifrån och ut. Det innersta skalet, skal0, rymmer två elektroner, nästa skal, skal1, rymmer 8 liksom det nästföljande, skal2. (Sedan blir det mer komplicerat eftersom skalet därefter, skal3, börjar med att fyllas upp till 8, därefter fortsätter man med att fylla nästföljande skal, skal4, till 8 först därefter kan man fortsätta att fylla skal3 till totalt 18. Skal4 kan sedan fyllas till 32 elektroner).

Denna "periodicitet" finns genomförd i det sk. **periodiska systemet**. Grundämnena placeras ut i rader, **perioder**, efter atomnumren, och varje ny rad innebär att ett skal blivit fullt, och att man får placera ut elektronerna i ett *nytt* skal. Slutet av raderna innebär alltid att det yttersta elektronskalet blivit helt fullt. Det yttersta skalet (som innehåller elektroner) kallas för valensskalet och elektronerna där för **valenselektroner**.

Det är valenselektronerna som ger ämnena deras kemiska egenskaper, det är därför som ämnen i samma kolumn (inom samma **grupp**) som ju har samma antal valenselektroner, också har liknande egenskaper.

Elektricitet handlar om laddningar, så även grundämnens elektriska egenskaper avgörs av valenselektronerna.

Periodic table

group																		18																		
1	2											13	14	15	16	17	18																			
1	H											5	B	6	C	7	N	8	O	9	F	10	He													
2	Li	4	Be											13	Al	14	Si	15	P	16	S	17	Cl	18	Ar											
3	11	12	Na	Mg	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	Al	14	Si	15	P	16	S	17	Cl	18	Ar										
4	19	20	K	Ca	21	Sc	22	Ti	23	V	24	Cr	25	Mn	26	Fe	27	Co	28	Ni	29	Cu	30	Zn	31	Ga	32	Ge	33	As	34	Se	35	Br	36	Kr
5	37	38	Rb	Sr	39	Y	40	Zr	41	Nb	42	Mo	43	Tc	44	Ru	45	Rh	46	Pd	47	Ag	48	Cd	49	In	50	Sn	51	Sb	52	Te	53	I	54	Xe
6	55	56	Cs	Ba	57	La	72	Hf	73	Ta	74	W	75	Re	76	Os	77	Ir	78	Pt	79	Au	80	Hg	81	Tl	82	Pb	83	Bi	84	Po	85	At	86	Rn
7	87	88	Fr	Ra	89	Ac	104		105		106		107		108		109		110		111		112													
6	58	59	Ce	Pr	60	Nd	61	Pm	62	Sm	63	Eu	64	Gd	65	Tb	66	Dy	67	Ho	68	Er	69	Tm	70	Yb	71	Lu								
7	90	91	Th	Pa	92	U	93	Np	94	Pu	95	Am	96	Cm	97	Bk	98	Cf	99	Es	100	Fm	101	Md	102	No	103	Lr								

©1997 Encyclopaedia Britannica, Inc.

Grundämnen indelas i metaller och icke-metaller. Mer än tre fjärdedelar av våra grundämnen är metaller (medan vår närmaste omvärld, vårt jordklot består till 75% av icke-metaller).

Metaller har bra förmåga att leda elektrisk ström, de är **ledare**. De har som mest halvfulla valensskal (1 ... 5 valenselektroner). Atomernas elektronhölje bildar ett för metallen gemensamt "elektronmoln".

Icke-metallerna är **isolatorer**, det vill säga dåliga ledare av elektrisk ström. De har fulla, eller nästan fulla, valensskal med hårt bundna elektroner.

Även ämnen med halvfulla valensskal kan vara isolatorer. Det finns kristallinska material där valenselektronerna binds hårt till närliggande atomer. Kol i form av grafit är ett ledande material, medan kol i form av diamant är en isolator.

I det periodiska systemet står metallerna till vänster och icke-metallerna till höger.

I området mellan metaller och icke-metaller finns halvmetallerna, som i elektriskt hänseende är **halvledare**. Dessa material har fått en stor betydelse för elektroniken.

Spänning, ström och resistans

En elektrisk ström består av av laddningar i rörelse. En metalltråd innehåller fria elektroner men även om de hela tiden rör sig (p.g.a. värmerörelsen), så sker detta slumpmässigt utan att därför någon nettoström uppkommer.

Om man tillför laddning, elektroner, till metalltrådens ena ände så stör man jämvikten och en utjämningsström av elektroner flyter kortvarigt i tråden. Om man dessutom kan bortföra elektronerna från metalltrådens andra ände så fortsätter strömmen att flyta genom tråden.

Storheten laddning betecknas Q . Enheten för laddning benämnes amperesekund [As], eller coulomb [C].

Hur tillför/bortför man elektroner?

I ett batteri sker elektrokemiska reaktioner som resulterar i ett överskott av elektroner vid den ena elektroden och ett underskott vid den andra (mer om detta senare). Om metalltrådens ändar ansluts till ett batteris elektroder så flyter det således en elektrisk ström.

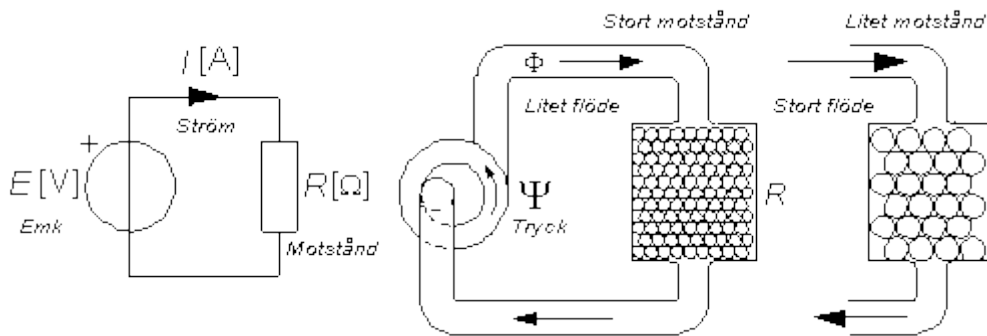
Batteriet kan ses som en "laddningspump" som pumpar elektroner genom den elektriska kretsen. Batteriet har, med ett ålderdomligt ord, en elektromotorisk kraft **emk**.

Storheten för emk betecknas med E (eller med U). Enheten för emk är volt [V].



Många tycker att elektrotekniken är abstrakt. Det är därför vanligt att man jämför de abstrakta elektriska kretsarna med mer konkreta vätskeanalogier. Emken (batteriet) kan liknas vid en vattenpump. Pumpens tryckskillnad mellan inlopps- och utloppsrör Ψ motsvarar emkens spänning E .

Pumpen kan cirkulera vätska igenom tex. ett filter (eller en kylare). Vätskeflödet möter hinder eller motstånd längs vägen. Om filtret är fyllt med "sand" blir motståndet stort och pumpens tryck kommer bara räckta till att cirkulera ett litet vätskeflöde. Om filtret är fyllt med grus, räcker trycket till ett större flöde.



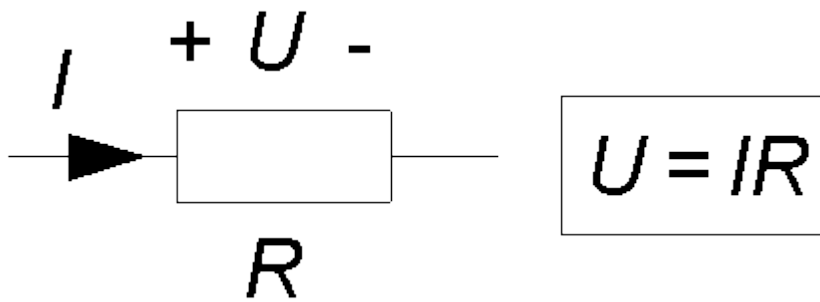
För den elektriska kretsen motsvaras vätskeflödet av strömmen av laddningar.

Storheten ström betecknas med I . Enheten för ström är ampere [A].

Den ström I som Emken E förmår driva genom metalltråden är materialberoende. Material med få fria elektroner har sämre ledningsförmåga, de har högre motstånd, än de med fler. När elektronerna passerar igenom materialet "krockar" de ibland med atomkärnor, det är detta som ger upphov till motståndet i materialet.

Det elektriska motståndet, resistansen, betecknas med R . Enheten för resistans är ohm [Ω].

Ohms lag



Den tyske fysikern *Simon Ohm* uppställde år 1826 den regel som brukar kallas för **Ohms lag**. Om en ström I passerar igenom en ledare med resistansen R så faller spänningen med $U = I \cdot R$. Spänningsfallet blir proportionellt både mot strömmen och resistansen. Med en vätskeanalogi kan man säga att det blir ett "tryckfall" när vätskeflödet passerar ett motstånd.

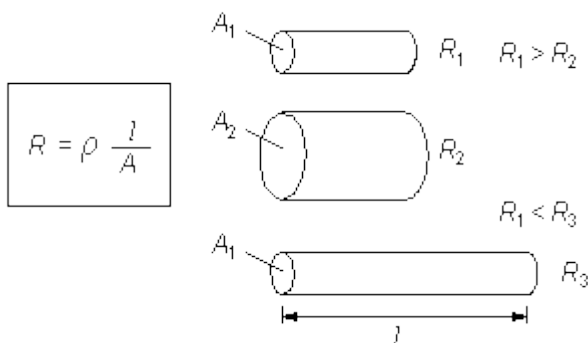
Man brukar rita spänningsfallets plustecken där strömmen går in i resistorn. Detta innebär att strömmens riktning är från plus till minus - men är inte detta fel? Om strömmen består av elektroner så bör ju de dras mot resistorns positivt laddade ände? På Ohms tid hade man ingen kännedom om elementarpartiklarna och "gissade" helt enkelt fel - det är för sent att rätta till detta nu, så alla fortsätter på samma felaktiga sätt än idag ...

Ledningsresistans

En ledningstråds resistans beror på hur många fria ledningselektroner som finns tillgängliga för laddningstransporten, det vill säga vilket material den är tillverkad av, men även på trådens area A . Eftersom ledningselektronerna stöter på motstånd längs tråden, så beror resistansen även på hur lång den är l . Resistansen bestäms ur formeln:

$$R = \rho l / A$$

Det kan även vara bra att känna till sambandet mellan area och diameter: $A = \pi D^2 / 4$



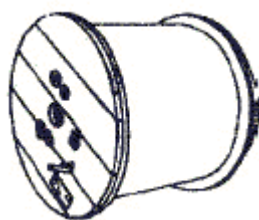
Resistivitet

Materialkonstanten ρ i resistansformeln brukar anges i sorten $[\Omega \text{mm}^2/\text{m}]$. Detta förenklar beräkningar av kabelresistanser, eftersom det är naturligt att tala om kabellängder i m och tvärsnittsareor av storleksordningen mm^2 - den som inte känner till detta kan dock bli mycket förbryllad!

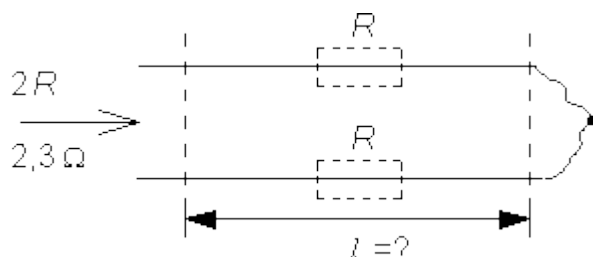
Metall	Resistivitet ρ [$\Omega\text{mm}^2/\text{m}$]	Legering	Resistivitet ρ [$\Omega\text{mm}^2/\text{m}$]
Aluminium	0,027	Kanthal A	1,4
Guld	0,022	Konstantan	0,5
Järn	0,11	Manganin	0,43
Koppar	0,018	Nichrom	1,1
Nickel	0,08	Nikrotal	1,09
Silver	0,016		
Volfram	0,06		

Exempel - hur lång är kabeln?

En elinstallationsfirma brukar ge sina praktikanter följande uppdrag - på lagret finns en stor och tung kabelrulle, hur lång är kabeln?



En kabel består av två ledare. En ledare och en återledare. De två ledarna i den kabelände som är inlindad längst in i rullen har avisolerats och tvinnats ihop. Den andra kabeländan är direkt åtkomlig. På kabelrullens sida står stämplat att ledarna har tvärsnittsarean $A = 2,5 \text{ mm}^2$.



En smart praktikant går och hämtar en Ω -meter och mäter resistansen mellan de två ledarna. Denna mätning ger $2R = 2,3 \Omega$. Vardera ledaren har då resistansen $R = 1,15 \Omega$.

I tabellen ovan står resistiviteten för koppar $\rho = 0,018$ (detta är utantillkunskap för många inom elbranschen).

Kabelns längd l kan beräknas:

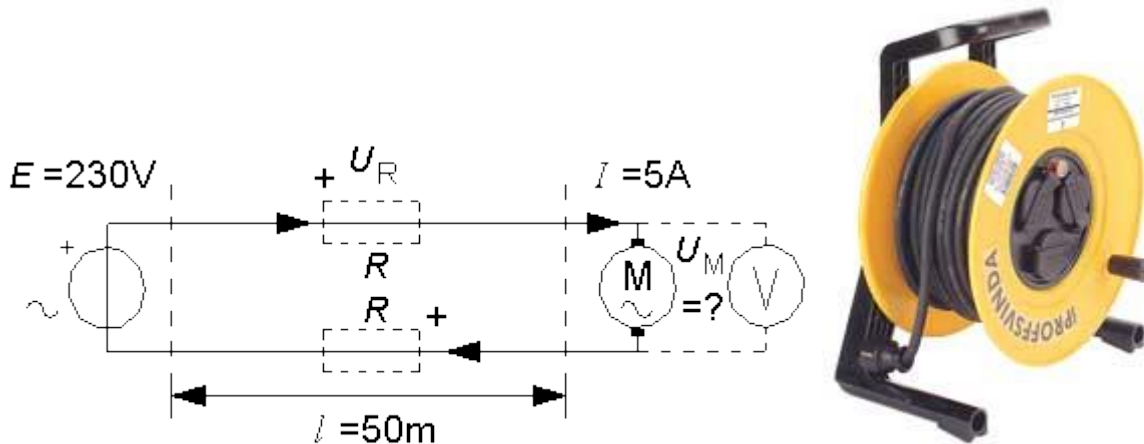
$$l = R \cdot A / \rho = 1,15 \cdot 2,5 / 0,018 = 159,7 \text{ m}$$

Det hade varit arbetsamt att mäta upp den längden med måttband!

Exempel - spänningsfall i kabel

Man använder en bormaskin långt bort från ett vägguttag med spänningen $E = 230 \text{ V}$. Bormaskinen drar strömmen $I = 5 \text{ A}$ och är ansluten med en 50 m skarvsladd vars ledare har tvärsnittsarean $A = 1,5 \text{ mm}^2$.

Hur hög blir spänningen U_M vid bormaskinen?



Vi börjar med att beräkna ledarnas resistans $R = \rho l/A = 0,018 \cdot 50/1,5 = 0,6 \Omega$.

Enligt Ohms lag ger strömmen upphov till ett spänningsfall i till-ledaren $U_R = I \cdot R = 5 \cdot 0,6 = 3 \text{ V}$, och ett lika stort spänningsfall i åter-ledaren. Vi får:

$$E - I \cdot R - U_M - I \cdot R = 0. \quad U_M = 230 - 2 \cdot 3 = 224 \text{ V}.$$

Resistansens temperaturberoende

Om man värmer en metalltråd ökar resistansen. Detta beror på att atomernas värmerörelse ökar, och då är det fler elektroner som "krockar" med atomkärnor under färden längs tråden.

Temperatureffekten är betydande. För en hel del material kan resistansen fördubblas innan man uppnår smältpunkten!

Metall	temp.koeff. α	Metall	temp.koeff. α	Legering	temp.koeff. α
Aluminium	$4,3 \cdot 10^{-3}$	Nickel	$6,7 \cdot 10^{-3}$	Kanthal A	$49 \cdot 10^{-6}$
Guld	$4 \cdot 10^{-3}$	Koppar	$3,9 \cdot 10^{-3}$	Konstantan	$\pm 50 \cdot 10^{-6}$
Platina	$3,8 \cdot 10^{-3}$	Wolfram	$4,5 \cdot 10^{-3}$	Manganin	$\pm 2,5 \cdot 10^{-6}$

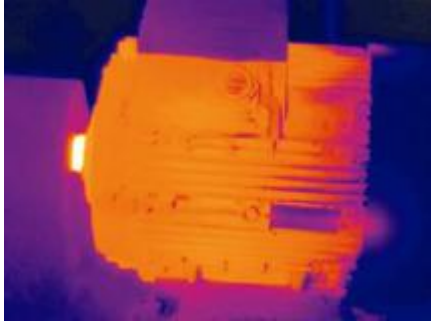
För en resistor som har resistansen R_1 vid temperaturen t_1 , och resistansen R_2 vid temperaturen t_2 gäller följande linjära samband:

$$\Delta t = t_2 - t_1$$

$$R_2 = R_1(1 + \alpha \cdot \Delta t)$$

Exempel - Vilken temperatur har motorlindningen

Om man belastar en elmotor för hårt, kan effektförlusten bli så hög och de elektriska lindningarna bli så uppvärmda, att isoleringsmaterialet riskerar att smälta. Motorlindningen kortsluts i så fall och motorn blir obrukbar.



IR-bild (värmebild) av en hårt belastad elmotor.

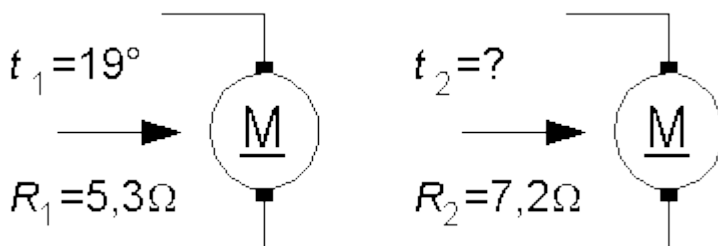
Antag att man har en elmotor med en lindning som är isolerad med ett material som tål temperaturen 110°C . Man är osäker på om man riskerar att överbelasta motorn, så man planerar att mäta temperaturen i lindningen.

Hur placerar man en termometer inuti lindningen?

Tips! Lindningen av koppartråd kan vara sin egen termometer!

När motorn vilat mäter man rumstemperaturen till 19° . Vi antar att också motorlindningen antagit denna temperatur, $t_1 = 19$. Man mäter då resistansen i motorlindningen $R_1 = 5,3 \Omega$. Motorn körs därefter under hård belastning. Man stannar motorn och mäter lindningsresistansen igen $R_2 = 7,2 \Omega$.

Är motortemperaturen nu så hög att man är nära överbelastning? $t_2 = ?$



Lindningen är av koppartråd som har temperaturkoefficienten $\alpha = 3,9 \cdot 10^{-3}$.

$$\Delta t = (R_2 - R_1) / R_1 \cdot \alpha = (7,2 - 5,3) / 5,3 \cdot 3,9 \cdot 10^{-3} = 91,9^{\circ}\text{C}.$$

$$t_2 = t_1 + \Delta t = 19 + 91,9 = 110,9^{\circ}\text{C} \text{ Oj! Oj!}$$

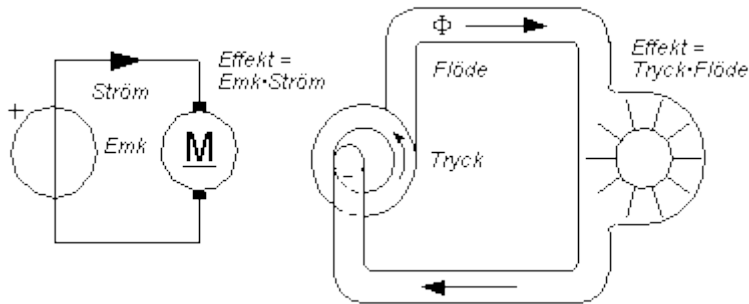
Elektrisk effekt

En vattenpump kan utföra arbete genom att pumpa upp vatten. Arbete är ju kraft ggr. sträcka [Nm] och effekten P är arbetsmängd per tidsenhet [Nm/s, W].

Om pumpen driver ett vattenhjul får man effekten som produkten av tryck och vätskeflöde:
 P [Nm/s, W] = Ψ [N/m²] · Φ [m³/s].

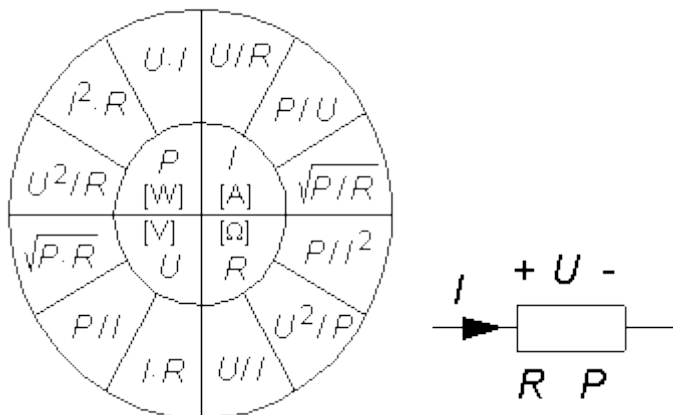
Den elektriska strömmen kan också utföra arbete. Här gäller att effekten är produkten av spänning och ström:

$P = U \cdot I$ Effekten anges i enheten watt [W].



Om den elektriska strömmen flyter igenom en resistor så är det arbete som utförs att denna värms upp. Gäller det ett värmeelement eller en kokplatta är detta önskvärt, men ofta är uppvärmningen av resistorn en förlust.

Uttrycket för den elektriska effekten kan kombineras med Ohms lag. Man får då en mängd användbara samband. Ofta presenteras dessa i form av en cirkel.



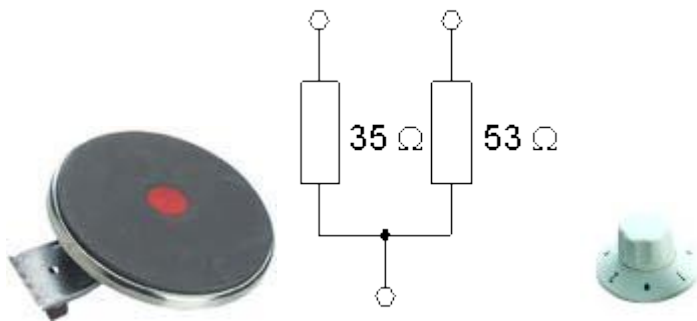
En ström passerar igenom en resistor.

I centrum av cirkeln står $U I R$ och P .

I de tolv cirkelsektorerna står sambanden mellan storheterna.

Exempel – Effekt, kokplattan

För den som hellre byter en trasig kokplatta än hela spisen finns det lösa reservplattor att köpa. Kokplattorna innehåller två värmelindningar (= resistorer) med olika resistansvärden. Anslutning till värmelindningarna sker med tre stift. Spisens vred styr en omkopplare som kopplar in lindningarna på olika sätt, så att fyra jämnt fördelade effektlägen erhålls.



En kokplatta med resistanserna 35Ω och 53Ω ansluts till 230 V nätet.

Beräkna effekterna P_{35} , P_{53} , P_{35+53} (seriekoppling), $P_{35//53}$ (parallellkoppling).

Rangordna effekterna i stigande ordning.

Här är det lämpligt att använda effektformeln: $P = U^2/R$

$$P_{35+53} = 230^2/(35+53) = 600 \text{ W}$$

$$P_{53} = 230^2/53 = 1000 \text{ W}$$

$$P_{35} = 230^2/35 = 1500 \text{ W}$$

$$35//53 = 35 \cdot 53/(35+53) = 21$$

$$P_{35//53} = 230^2/21 = 2520 \text{ W}$$

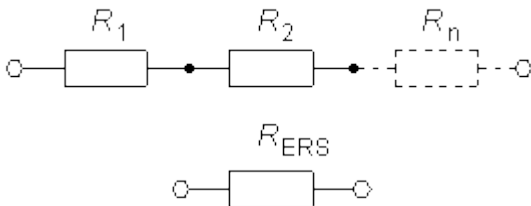
Blir dom fyra effektlägena jämnt fördelade?

Strömkretslära

Seriekopplade och parallellkopplade resistorer

Seriekopplade resistorer - ersättningsresistans

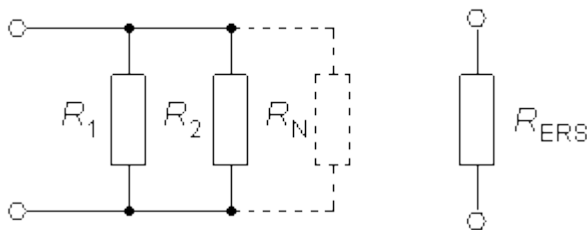
Seriekopplade resistorer $R_1 R_2 \dots R_n$ kan vid beräkningar ersättas med en **ersättningsresistans** R_{ERS} som är summan av resistorerna. Summan är naturligtvis *större* än den största av de ingående resistorerna. Seriekopplade komponenter kännetecknas av att de är sammanbundna med varandra i *en* punkt.



$$R_{ERS} = R_1 + R_2 + \dots + R_N$$

Parallellkopplade resistorer - ersättningsresistans

Parallellkopplade komponenter har *båda* anslutningarna gemensamma med varandra. Parallellkopplade resistorer $R_1 R_2 \dots R_n$ kan vid beräkningar ersättas med en ersättningsresistans R_{ERS} .



$$\frac{1}{R_{ERS}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_N}$$

Om man speciellt har två parallellkopplade resistorer R_1 och R_2 kan formeln omformuleras till:

$$\frac{1}{R_{ERS}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = \frac{R_2}{R_2} \cdot \frac{1}{R_1} + \frac{R_1}{R_1} \cdot \frac{1}{R_2} = \frac{R_1 + R_2}{R_1 \cdot R_2}$$

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

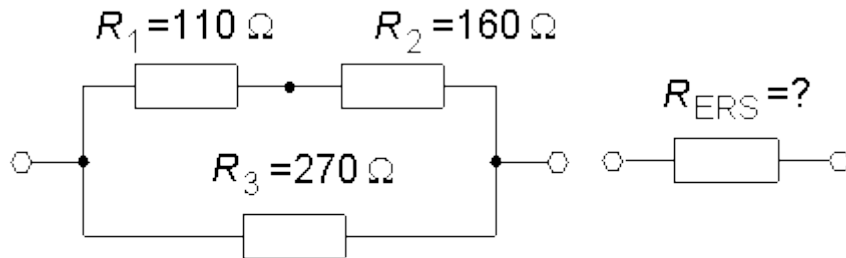
Har man fler parallellkopplade resistorer än två upprepar man denna formel för två resistorer åt gången tills man får ersättningsresistansen.

Vid parallellkoppling blir alltid ersättningsresistansen *mindre* än den minsta av de ingående parallellkopplade resistorerna.

Exempel - serie och parallellkoppling

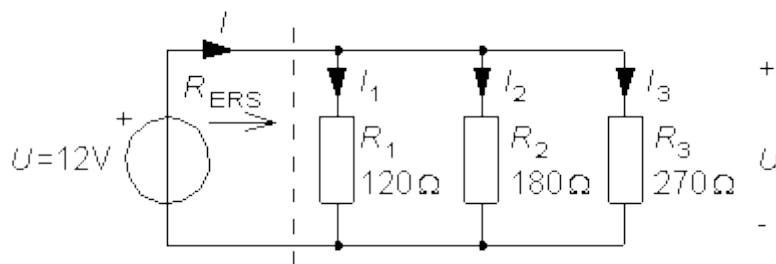
Resistorerna $R_1 = 110 \Omega$ och $R_2 = 160 \Omega$ är seriekopplade med varandra. Den resulterande resistorn är parallellkopplad med $R_3 = 270 \Omega$.

Hur stor blir ersättningsresistansen R_{ERS} ?



$$R_{ERS} = \frac{R_3 \cdot (R_1 + R_2)}{R_1 + R_2 + R_3} = \frac{270 \cdot (110 + 160)}{270 + 110 + 160} = 135 \Omega$$

Parallellkretsen



- Samma U över alla resistorer.

$$I_1 = \frac{U}{R_1} = \frac{12}{120} = 0,1 \quad I_2 = \frac{U}{R_2} = \frac{12}{180} = 0,067 \quad I_3 = \frac{U}{R_3} = \frac{12}{270} = 0,044$$

$$I = I_1 + I_2 + I_3 = 0,1 + 0,067 + 0,044 = 0,21 \text{ A}$$

Från emken U ser man bara strömmen I , den kunde lika gärna gå till en ensam resistor, en ersättningsresistor R_{ERS} . Ohms lag ger:

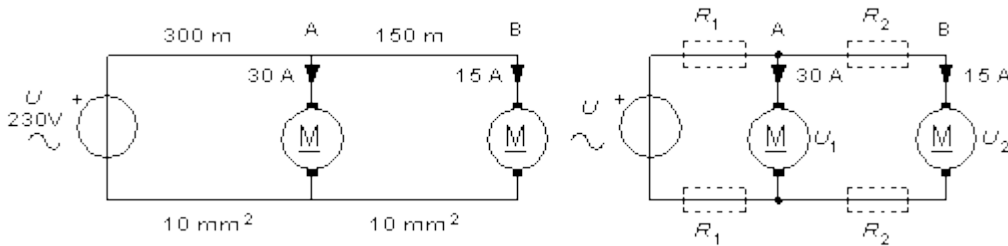
$$R_{ERS} = \frac{U}{I} = \frac{U}{I_1 + I_2 + I_3} = \frac{U}{\frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} + \frac{U}{R_3}} = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}} = \frac{1}{\frac{1}{120} + \frac{1}{180} + \frac{1}{270}} = 56,8 \Omega$$

$$I = \frac{U}{R_{ERS}} = \frac{12}{56,8} = 0,21 \text{ A} \quad \frac{1}{R_{ERS}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

Den framräknade ersättningsresistorn $R_{ERS} = 56,8 \Omega$ ger samma totalström $I = 0,21 \text{ A}$ som tidigare. Beräkningen visar även hur formeln för ersättningsresistans vid parallellkopplade resistorer härleds.

Exempel - inte en parallellkrets!

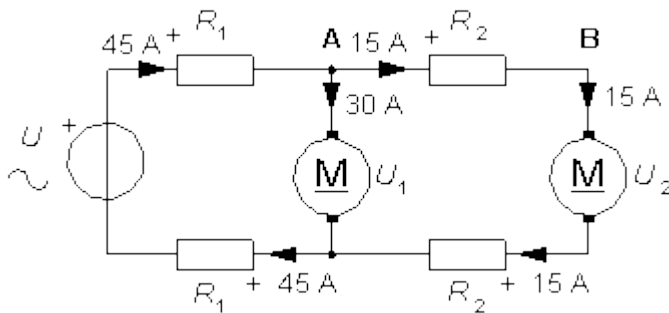
Två elektriska avloppspumpar A och B är placerade 150 m från varandra. A, och därefter B, matas med 230V från ett uttag 300 m bort. Pumpen A drar strömmen 30 A och B 15 A. Se figuren.



På papperet ser det ut som om motorerna är parallellkopplade, men då har man inte räknat med den resistans som finns i de *långa* ledningarna.

Till höger i figuren har man kompletterat schemat med resistanssymboler för ledningsresistanserna. När motorerna arbetar, och därmed drar ström, blir det spenningsfall i ledningarna:

$$U > U_1 > U_2$$



Hur stora blir spänningarna U_1 och U_2 när båda pumparna är igång?

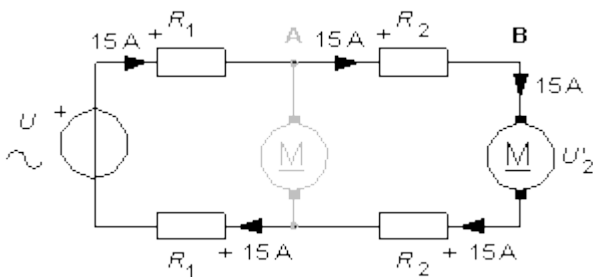
Ledningarna är av koppar med resistiviteten $0,018 [\Omega\text{mm}^2/\text{m}]$. $R = \rho \cdot l / A$

$$R_1 = 0,018 \cdot 300 / 10 = 0,54 \Omega$$

$$R_2 = 0,018 \cdot 150 / 10 = 0,27 \Omega$$

$$U_1 = U - 2 \cdot R_1 \cdot 45 - 2 \cdot R_2 \cdot 15 = 230 - 2 \cdot 0,54 \cdot 45 = 181,4 \text{ V}$$

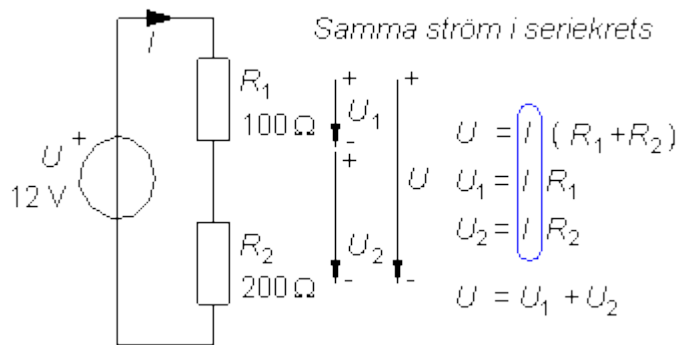
$$U_2 = U_1 - 2 \cdot R_2 \cdot 15 = 181,4 - 2 \cdot 0,27 \cdot 15 = 173,3 \text{ V}$$



Hur stor blir spänningen vid pump B, U'_2 , när pump A är avslagen?

$$U'_B = U - 2 \cdot 15 \cdot (R_1 + R_2) = 230 - 2 \cdot 15 \cdot (0,54 + 0,27) = 205,7 \text{ V}$$

Seriekretsen



- Samma I genom alla resistorer.

Seriekretsen kännetecknas av att det är samma ström som går igenom alla resistorerna. Paradexemplet är julgransbelysningen. Om en glödlampa är trasig så går det naturligtvis ingen ström genom den, och eftersom det är en seriekrets så betyder i detta fall "samma ström" att det inte går någon ström genom någon annan lampa heller!

Hur stora blir spänningarna U_1 och U_2 ?

$$R_{ERS} = R_1 + R_2 = 100 + 200 = 300$$

$$I = U/R_{ERS} = 12/300 = 0,04 \text{ A}$$

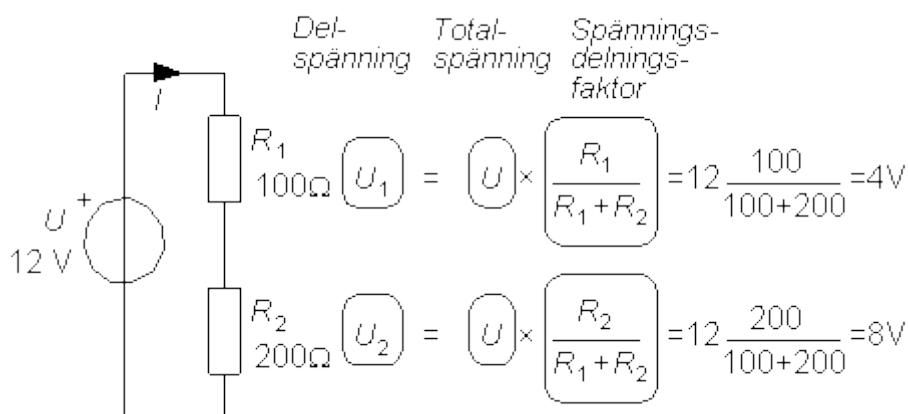
$$U_1 = I \cdot R_1 = 0,04 \cdot 100 = 4 \text{ V}$$

$$U_2 = I \cdot R_2 = 0,04 \cdot 200 = 8 \text{ V}$$

$$U = U_1 + U_2 = 4 + 8 = 12 \text{ V}$$

Spänningsdelningsformeln

Eftersom alla resistorer har samma ström vid seriekoppling, blir spänningsfallen proportionella mot deras resistanser. Genom att använda Ohms lag (två gånger) kan man ta fram en formel, **spänningsdelningsformeln**, som kan användas som ett "halvfabrikat" för att snabbt ta reda på spänningsfallet över en resistor som är seriekopplad tillsammans med andra resistorer.

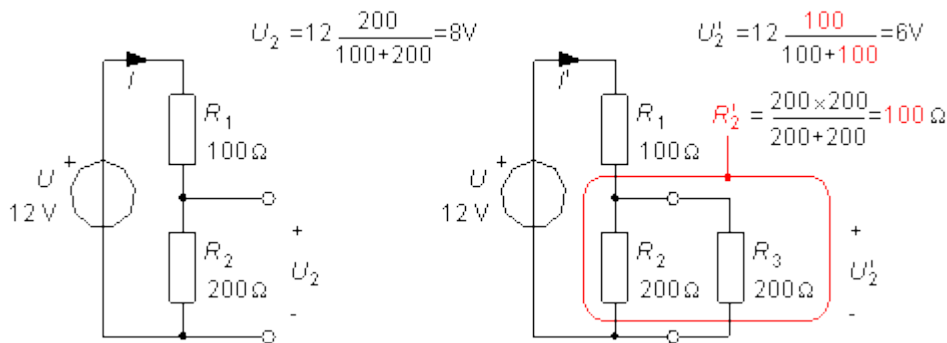


Enligt spänningsdelningsformeln får man en delspänning, tex. U_1 över resistorn R_1 , genom att multiplicera den totala spänningen U med en spänningsdelningsfaktor.

Spänningsdelningsfaktorn är resistansen R_1 delad med summan av *alla* resistanser som ingår i seriekopplingen.

Belastad spänningsdelare

I personbilar har man batterispänningen 12 V. Antag att man behöver spänningen 8 V till en elektronikutrustning i bilen. Man kan då *sänka* spänningen med en spänningsdelare.

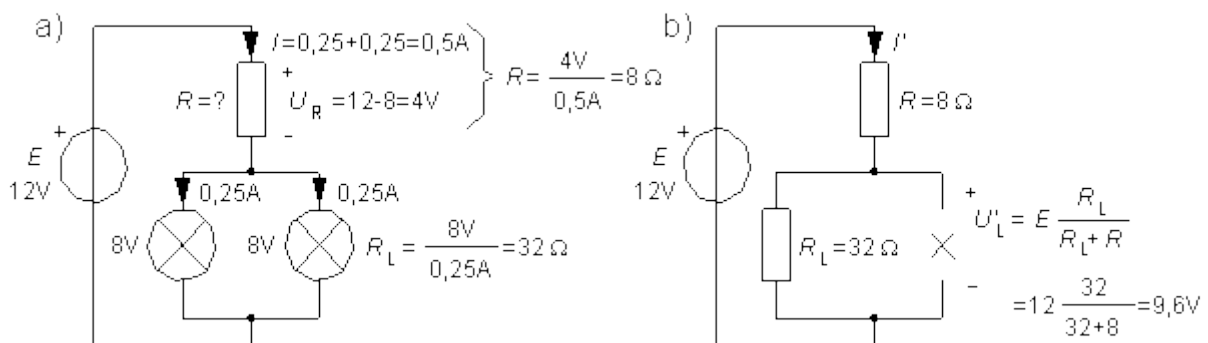


I figuren ovan till höger får resistorn $R_3 = 200 \Omega$ symbolisera elektronikutrustningen. För att spänningsdelningsformeln ska kunna användas måste man nu se R_2 och R_3 som parallellkopplade. Det är denna ersättningsresistans R'_2 som är i serie med R_1 . Delspänningen U'_2 för den belastade spänningsdelaren beräknas nu till 6 V, 2 V lägre än för den obelastade spänningsdelaren.

För att en spänningsdelare ska bibehålla delspänningen när den belastas, krävs det att den anslutna lasten har mycket *högre resistans* (i detta exempel tex. $R_3 = 2000 \Omega$) än de resistorer som ingår i spänningsdelaren.

Exempel - spänningsdelare för glödlampor

Två 8 V 0,25 A lampor ska användas i en bil med ett 12 V batteri. Lamporna parallellkopplas och kopplas via en serieresistor till 12 V batteriet.



a) Beräkna serieresistorn R så att lampspänningen blir den rätta, 8 V.

Strömmen genom serieresistorn blir summan av strömmarna till lamporna.

$$I = 0,2 + 0,25 = 0,5 A$$

Spänningsfallet över resistorn ska vara $12 - 8 = 2 V$

$$\text{Ohms lag ger: } R = 2/0,5 = 4 \Omega$$

b) Antag att en av lamporna går sönder - hur stor blir då spänningen över den andra lampan?

Lampornas resistans beräknas ur märkdata: $R_L = 8/0,25 = 32 \Omega$

Serieresistorn och den hela lampan bildar en spänningsdelare. Lampspänningen fås med spänningsdelningsformeln:

$$U'_L = E \cdot R_L / (R + R_L) = 12 \cdot 32 / (32 + 8) = 9,6 \text{ V}$$

Vad tror Du händer med den ensamma lampan?

Kirchoffs lagar

Ohms lag handlar om en resistor ett spänningsfall och en ström.

Ofta har man mer komplicerade kretsar med flera spänningskällor och många resistorer.

Spänningskällorna kan vara anslutna så att de samverkar eller motverkar varandra. Resistorerna grenar strömmar mellan spänningskällorna.

Ohms lag måste därför kompletteras med en *metod* som tar hänsyn till hur kretsen är sammansatt. Kirchoffs två lagar gör det möjligt att ställa upp ett ekvationsystem för att lösa hur stora strömmar som flyter i en elektrisk krets och hur de är riktade.

Om man gör kretsen mer komplicerad skapar man samtidigt möjligheten att ställa upp fler ekvationer - Kirchoff lovar att alla kretsar är lösbara!

- Kirchoffs strömlag. I elektriska kretsar finns knutpunkter, noder. Summan av alla strömmar till och från en nod är noll. Strömmen grenar sig mellan de ledare som är anslutna till noden. Den passerar knutpunkten utan förluster.
Man brukar räkna alla strömmar som är på väg in till en nod med plusstecken, och allaströmmar på väg ut ur noden med minustecken.
- Kirchoffs spänningslag. I elektriska kretsar finns maskor, slingor. (En slinga startar och slutar i samma punkt). Om man följer en slinga "hela varvet runt" och summerar ihop alla spänningar, vid passagen av emker och av resistorer så ska summan vara noll.
Man brukar räkna en positiv spänning om man passerar ut genom en emk vid pluspolen, och en positiv spänning om man passerar ut genom en resistor i den ände där strömmen går in. Annars räknar man negativ spänning.

Arbetsgång

Man börjar med att rita ut strömmarna I_1 I_2 och I_3 . Man kan definiera strömriktningen som man vill (om man har fel ger beräkningarna ett minustecken). När strömmarna definierats kan man markera resistorernas spänningsfall. Där strömmen går in i resistorn har spänningsfallet plustecknet.

Kirchoffs strömlag (summan av alla strömmar i en nod är 0, strömmar på väg in i noden tas med "+"-tecken, strömmar på väg ut ur noden tas med "-"-tecken).

$$I_1 + I_2 + I_3 = 0$$

Kirchoffs spänningslag (summan av alla spänningar runt en maska är 0).

två maskor:

$$1 + 2I_1 - 3I_2 = 0$$

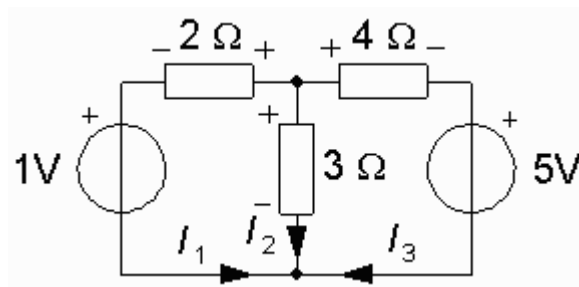
$$5 + 4I_3 - 3I_2 = 0$$

hyfsa, tre ekvationer:

$$I_1 + I_2 + I_3 = 0$$

$$2I_1 - 3I_2 + 0 = -1$$

$$0 - 3I_2 + 4I_3 = -5$$



på matrisform (Jämför matriserna med Ohms lag $R \cdot I = U$).

$$\begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 2 & -3 & 0 \\ 0 & -3 & 4 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ -1 \\ -5 \end{pmatrix}$$

Lösning av ekvationssystem med matematikprogram

Med Mathematica

(Använd bokstaven J i stället för I som är **protected** i Mathematica)

R= {{1, 1, 1} , {2, -3, 0} , {0, -3, 4}}

U= {{0}, {-1}, {-5}}

J= Inverse [R] .U

Mathematica svarar (Shift + Enter startar beräkningen)

$$\left\{ \left\{ \frac{4}{13} \right\}, \left\{ \frac{7}{13} \right\}, \left\{ -\frac{11}{13} \right\} \right\}$$

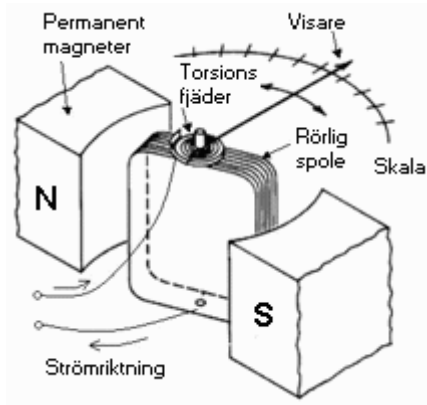
Med Matlab

```
R = [ 1 1 1
      2 -3 0
      0 -3 4 ] ;
U = [ 0 -1 -5 ]' ;
J = R \ U
```

Matlab svarar

```
J =
    0.3077
    0.5385
   -0.8462
```

Multimetern



Vridspoleinstrument

Spolen befinner sig i magnetfältet mellan två magnetpoler. Den är lagrad så att den enda möjliga rörelsen är en vridning. På spolen är en visare monterad som på en skala anger vridningen.

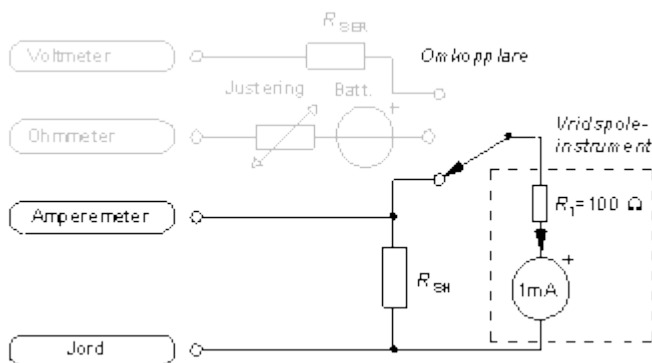
När det flyter ström genom spolen uppstår det krafter som vrider denna. På ett sk.

vridspoleinstrument har man en återförande torsionsfjäder som är fäst i visaren. Utslaget på skalan blir då proportionellt mot strömmen. (Under förutsättning att den magnetiska kretsen utförts så att magnetfältet förblir homogent och konstant under spolens vridning).

En sk. **galvanometer** saknar denna återförande torsionsfjäder, den är därför mycket känslig och används främst som en *indikator* för att påvisa om det flyter någon ström eller ej i en ledare.

Idag är det mycket vanligt att man använder digitalinstrument, men många mätningar blir i praktiken bättre med visarinstrument. Om signalen varierar under mätningen, som ofta är fallet, så är det enklare att uppskatta medelvärde och variation med ett visarinstrument än med ett digitalt instrument. De digitala instrumenten har hög inre resistans och hög känslighet. De "fångar" därmed lätt upp störningar som av misstag kan uppfattas som mätsignalen.

Visarinstrumentet kommer därför fortfarande att ha en framtid som billigt och enkelt testinstrument.



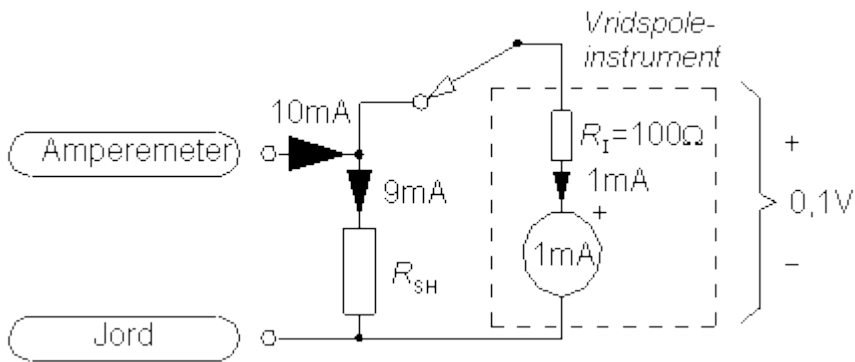
Ampere-mätaren

Vridspoleinstrumentet är i princip ett strömmätinstrument. För fullt utslag krävs tex 1 mA. Ett sådant instrument har en spole lindad med många varv tunn tråd som sammantaget kan ha

resistansen 100Ω . Med Ohms lag kan spänningsfallet över instrumentet vid fullt utslag beräknas till:

$$I \cdot R = 0,001 \cdot 100 = 0,1 \text{ V.}$$

Antag att vi vill mäta större strömmar än 1 mA . För att få mätaren att tex. göra fullt utslag för 10 mA behöver vi en sk. **shuntresistor** R_{SH} som avgrenar 9 mA från instrumentet se figur ($10 = 9 + 1$).



Shuntresistorn och visarinstrumentet är parallellkopplade med varandra. De har då samma spänning över sig, vid fullt utslag $0,1 \text{ V}$.

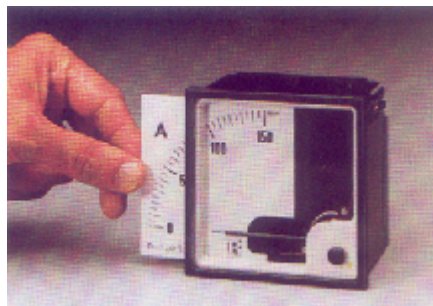
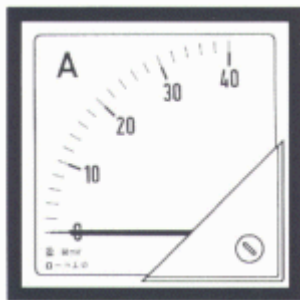
Shuntresistorn kan beräknas med Ohm's lag $R_{SH} = 0,1/0,009 = 11,11 \Omega$.

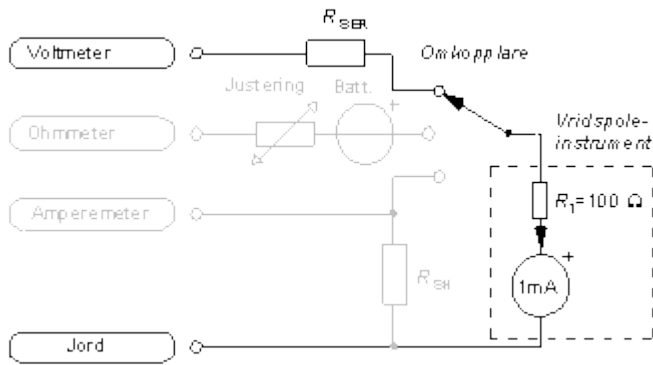
Ett sådant resistansvärde kan vara svårt att få tag på, såvida man inte köper resistanstråd och mäter upp en lämplig längd.

(En Nikrotal-tråd med diametern 1 mm har resistansen $1,39 \Omega/\text{m}$. För $11,11 \Omega$ behövs $11,11/1,39 = 7,99 \text{ m}$, det vill säga c:a 8 m .)



Med hjälp av shuntresistorer kan man således skräddarsy instrumentet för olika mätområden. För att få mätvärdet att stämma överens med den använda shunten kan man stoppa in en passande utbytbar skala.





Volt-mätaren

På samma gång som vridspoleinstrumentet är en strömmätare med fullt utslag för 1mA, säger Ohm's lag att den även är en spänningsmätare med fullt utslag för 0,1 V.

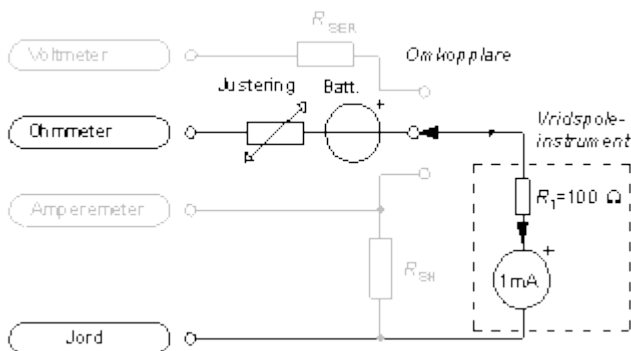
Ofta vill man kunna mäta högre spänningar än 0,1 V. Vanliga batterier har tex spänningarna 1,5V 4,5V 9V 12V osv. För att få mätaren att tex. göra fullt utslag för 1 V behöver man en serieresistor R_{SER} som sänker spänningen med 0,9 V så att instrumentet får 0,1 V. En sådan resistor brukar kallas för ett **förkopplingsresistor**.

Förkopplingsresistorn och visarinstrumentet är seriekopplade med varandra. De har då samma ström genom sig, vid fullt utslag 1 mA (0,001 A).

Förkopplingsresistorn kan beräknas med Ohm's lag $R_{SER} = 0,9/0,001 = 900 \Omega$.

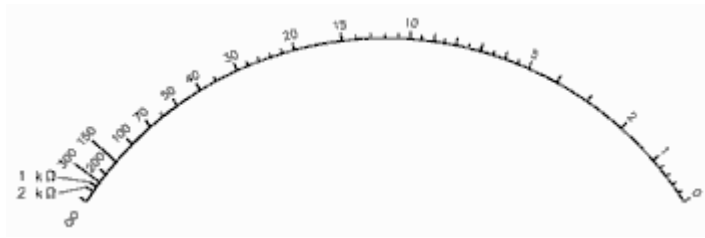


Med hjälp av förkopplingsresistorer kan man således skräddarsy instrumentet för olika spänningsområden.



OHM-mätaren

Vridspoleinstrumentet är en strömmätare (eller spänningsmätare). För att mäta resistanser mäter man den ström som passerar genom resistorn när den ansluts till en känd spänning. Detta är en indirekt mätning, Ohm's lag gör det sedan möjligt att beräkna och tillverka en OHM-skala till instrumentet.



Vid OHM-mätning har man ett inbyggt batteri i instrumentet. Detta är seriekopplat med vridspoleinstrumentet och en varierbar justerresistor. Eftersom batteriets spänning varierar från "dag till dag" börjar man med att kalibrera instrumentet. Om man "kortsluter" instrumentets mätledning har man i princip anslutit ett känt motstånd till instrumentet - nämligen 0Ω . Med justerresistorn ser man till att instrumentet gör fullt utslag eftersom det är detta som motsvarar 0Ω på OHM-skalan.

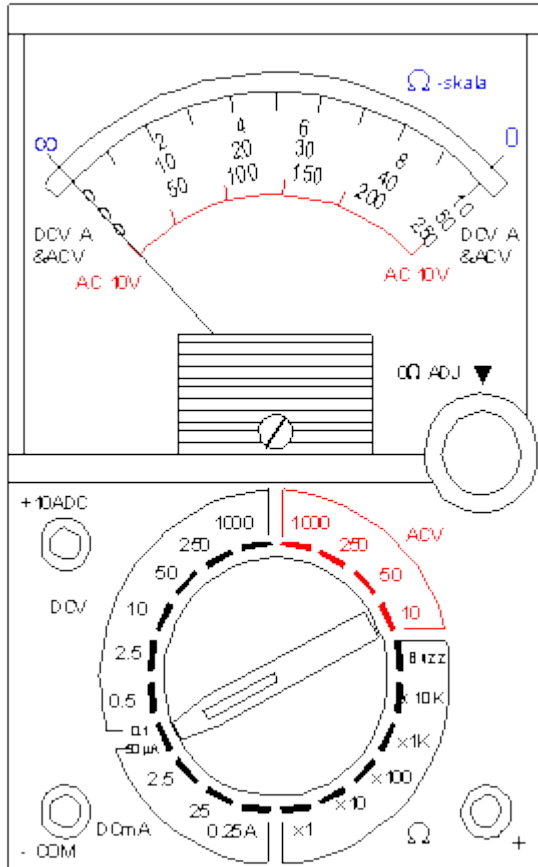
Ju större resistans som mäts desto mindre ström går genom instrumentet och desto mindre blir utslaget. OHM-skalan går därför som synes från höger till vänster (baklänges)!

Hur tillverkar man OHM-skalan? När man kalibrerar instrumentet med kortslutna mätkablar blir strömmen från batteriet 1 mA . Resistansen i kretsen är $R_I + R_{\text{JUST}}$. Om instrumentets batteri har spänningen $1,5 \text{ V}$ och instrumentet som tidigare har den inre resistansen 100Ω får vi justerresistorns inställda värde till $R_{\text{JUST}} = 1,5/0,001 - 100 = 1400 \Omega$.

När man känner R_{JUST} kan instrumentets utslag vid mätning av olika resistorer beräknas. Antag tex. att man mäter en 200Ω resistor, strömmen genom instrumentet blir då $1,5/(1400 + 100 + 200) = 0,88 \text{ mA}$, det vill säga att 200Ω -markeringen ska placeras vid 88% av fullt utslag.

Multimeter AVM360

AVM360 ELFA 76-015-03



Velleman AVM360 är en typisk multimeter av klassiskt utförande. Instrumentet tillverkas i Kina till ett pris som gör det överkomligt för alla. Med hjälp av inkopplingsbara förkopplingsresistorer och shuntresistorer har man gett instrumentet 21 mätområden fördelade på fyra grupper.

- **ACV** är den första gruppen. Här mäter man växelspanning. Instrumentet måste då använda en inbyggd likriktare och denna inför tyvärr spänningsfall och olinjäritet. Det känsligaste växelspanningsområdet kräver 10 V för fullt utslag. Man läser av mot den röda skalan (som korrigerar olinjäriteten) och tolkar skalstrecken med siffrorna 0, 2, 8, 10.
För de övriga växelspanningsområdena 50, 250 och 1000 V spelar likriktarens spänningsfall mindre roll, så här läser man av mot den svarta skalan och tolkar skalstrecken med siffrorna 0 ... 50, 0 ... 250 och 0 ... 10 som läses som 0 ... 1000.

OBSERVERA! multimetern är kalibrerad att visa rätt spänningsvärde (effektivvärdet) när den använda kurvformen är en sinusvåg, och det är ju det vanligaste fallet. Om man mäter växelspanning med annan kurvform - tex spänningen från en "dimmer" ska man i stället hämta ett modernt elektroniskt instrument som mäter effektivvärde oavsett kurvform.

- Nästa grupp är resistansmätning Ω . Här används multimeterens inbyggda batterier. Den ska ha två 1,5V celler och ett 9V batteri. Det man mäter på ska därför *inte* ha någon egen spänning, inte vara spänningssatt.

BUZZER är en inbyggd summer, som man använder för att undersöka om det är avbrott i elektriska kretsar. Det kan gälla en ledningstråd som "gått av" innanför isoleringen, en lödning som inte "häftat" mot någon ledare, en säkring som "brunnit av" mm. Genom att indikeringen sker med ljud så behöver man inte titta på instrumentets skala utan kan i stället hela tiden hålla ögonen på mätobjektet.

Resistansvärden avläses med den blå översta Ω -skalan. Den löper "baklänges".

Instrumentet måste kalibreras inför varje resistansmätning, genom att man kortsluter mätsladdarna och justerar med ratten 0 Ω ADJ så att visaren står på 0 (=fullt utslag).

Resistansområdena är X10K, X1K, X100, X10, X1. Detta ska tolkas så att det avlästa värdet ska multipliceras med 10000, 1000, 100, 10 eller 1 beroende på område. Ex. 30 på X100 området innebär att resistansen är 3000 Ω .

I blå text under mätområdena står det hur stor mätström som används. Ex. under mätområdet X1 står det 150 mA. Försöker man mäta resistansen hos en säkring med värdet 50 mA så kommer mätströmmen att vara så hög att säkringen "bränns av"!

- Multimetern har fem områden för strömmätning **DCmA**. 50 μ A, 2.5, 25, 0,25A (10A). Man läser av den svarta översta skalan och tolkar skalstrecken 0 ... 50 som 0 ... 50 μ A, 0 ... 250 tolkar man som 0 ... 2,5 0 ... 25 0 ... 0,25 beroende på valt mätområde. Instrumentet har även ett område för höga strömmar - upp till 10 A. Man ska då välja området 0.25A samtidigt som man flyttar den positiva mätledningen till uttaget märkt +10ADC. Skalstrecken på den övre svarta skalan tolkas som 0 ... 10 A.

Strömmätning tillgår så att man "bryter upp" sin elektriska krets och kopplar in amperemätaren så att strömmen passerar igenom denna i stället. (Glöm inte att återställa kretsen till nästa mätning!)

- Multimetern har sju st mätområden för likspänning **DCV**. 1000, 250, 50, 2.5, 0.5, 0.1. Man läser av den svarta översta skalan, och tolkar skalstrecken med hjälp av siffergrupperna under dessa.

Det lägsta spänningsområdet 0,1 V och det lägsta strömområdet 50 μ A är gemensamt. I princip blir man då direktkopplad till visarinstrumentets spole. Instrumentet har då den inre resistansen $R_I = 0,1/50 \cdot 10^{-6} = 2000 \Omega$.

Instrumentet skyddas mot överströmmar med en säkring. Om den går sönder finns det en reservsäkring innanför höljet.

Batterier

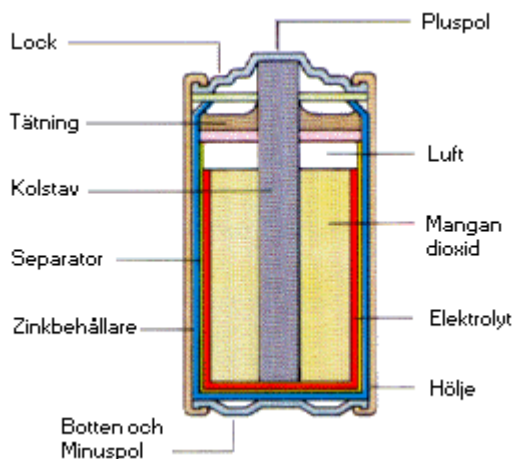
Det blir allt vanligare med utrustningar som drivs med batterier. I bilen, i skruvdragaren, i bärbara datorer, i MP3-spelare och mobiltelefoner - vi kommer alla dagligen i kontakt med batteridrivna utrustningar.

Det kan gälla sk. **primärbatterier**, som innehåller en bestämd mängd energi, och som kastas och ersätts när denna förbrukats, eller sk. **sekundärbatterier** som kan laddas upp och ur med energi gång på gång.

(Om dom sköts på rätt sätt ...).

Idag finns det många olika typer av batterier att välja mellan, var och en med sina brister och förtjänster.

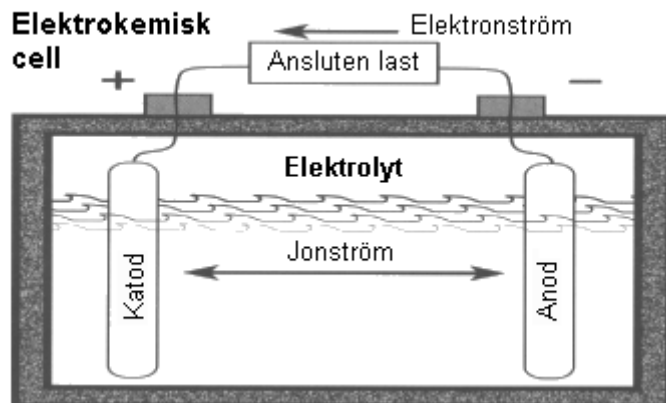
Primärbatterier har funnits sedan år 1800 då Alessandro Volta byggde en "stapel" av zink- och silverplattor med saltindränkta läskapper emellan. Ju fler plattor som ingick i stapeln desto kraftigare "stöt" fick han när han berörde den. Det är för att hedra denna händelse som enheten för den elektriska spänningen är **Volt**.



Praktiskt hanterbara och ekonomiska batterier har vi haft sedan 1890-talet i form av det sk. **brunstensbatteriet**. Det är den klassiska batteritypen till tex. ficklampor, och andra tillämpningar där lågt pris är viktigare än hög kapacitet. (Ett typexempel på användning av brunstensbatterier är till ljusen i luciakronan - 30 minuter en gång om året).

Det är den batterityp som är lättast att ta om hand vid våra miljöstationer.

Den elektrokemiska cellens funktion



Ett enkelt batteri, eller elektrokemisk cell, har energin lagrad inom sig i elektrodmaterialen och i de ingående kemikalierna. När vi tar ut elektrisk energi ur batteriet omvandlas den elektrokemiska energin till elektrisk, och en del av kemikalierna förbrukas.

Om en metall doppas ned i en elektriskt ledande vätska, en elektrolyt, så sker det ett utbyte av elektroner mellan metallen och vätskan. En del av metallatomerna blir laddade, blir till joner, och ger sig ut i vätskan. Det bildas då en liten elektrisk spänning mellan metallen och elektrolyten, storleken på denna beror på vilken metall det gäller. Så ger tex. Litium och Zink upphov till en negativ spänning, medan Koppar, Silver och Kvicksilver ger positiv spänning.

Batterikonstruktörer försöker hitta två material med så stor spänningsskillnad som möjligt, eftersom det är den skillnaden som blir cellens spänning.

Om två sådana olika metallstycken, elektroder, placeras i en elektrolyt så uppkommer det en kemisk reaktion mellan jonerna från dessa. Det ena ämnet förlorar en elektron, sk. oxidation, medan det andra tar upp en elektron, sk. reduktion (sammantaget sker det en sk. redoxreaktion).

Oxidationsreaktionen sker vid den av elektroderna som upptar elektroner. Detta blir den negativa elektroden. Reduktionsreaktionen sker vid den andra elektroden, den positiva elektroden.

När elektroderna på detta sätt blir laddade stöter de bort ytterligare joner så att den kemiska reaktionen avstannar. Om man däremot utanför batteriet ansluter de två elektroderna till varandra med en elektrisk ledare, kommer laddningsskillnaden mellan dem att utjämnas, och den kemiska reaktionen hålls igång.

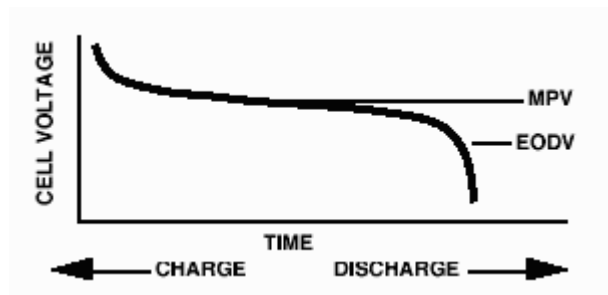
Resistansen i den anslutna elektriska lasten avgör den kemiska reaktionshastigheten. Den kemiska reaktionen fortgår så länge den elektriska kretsen är sluten och det finns kemiskt aktivt material kvar i cellen.

Den ovan avbildade elektrokemiska cellen är av "våt" typ men om elektrolyten suggs upp av ett poröst material, som tex. Voltas "läskpapper", får man en **torrcell**. Torrceller kan vridas och vändas hur som helst utan att någon vätska läcker ut - och det är ju så vi är vana att hantera dagens batterier.

Urladdningskurva och kapacitetstal

Ett batteris kapacitet uttrycks i Ampertimmar [Ah], vilket är samma sak som den laddningsmängd som finns i de kemiskt aktiva materialen i batteriet. Ampertim-talet definieras som den ström [A]

som batteriet skulle kunna leverera under *en timma* för att därefter ta slut.



Ett batteris **kapacitetstal** C baserar sig på urladdningskurvor från verkliga urladdningsexperiment. Urladdningen sker med konstant ström tills batterispänningen sjunkit till ett slutvärde, EODV (End Of Discharge Voltage). Kurvans mittpunkt kallas för MPV (MidPoint Voltage) och det är detta värde på spänningen som brukar uppges som batteriets polspänning. Se figuren.

Urladdningen behöver inte nödvändigtvis ha pågått i en timma. Man anger därför urladdningens tid med kapacitetstalets index.

$C_{20} = 60$ Ah betyder att urladdningen pågått i 20 timmar och att batteriets kapacitet $I \cdot t$ var 60 Ah. Den konstanta urladdningsströmmen I som användes var då $60/20 = 3$ A.

Exempel på kapacitetsberäkningar

Antag att batteriet med kapacitetstalet $C_{20} = 60$ Ah används till en glödlampa som "drar" strömmen 1 A. Hur länge räcker batteriet?

Kapacitetstalet är framtaget vid strömmen 3 A. Då kan man utgå från att batteriets kapacitet är oförändrad vid det närliggande strömvärdet 1 A.

Vi får $t = C/I = 60/1 = 60$ h.

Antag nu att batteriet ska driva en startmotor som "drar" strömmen 300 A. Hur länge räcker batteriet?

Den höga strömmen 300 A är ett helt annat driftfall än det som använts av fabrikanten för att ta fram kapacitetstalet. Av erfarenhet (här givet) vet man att batteriets kapacitet blir sämre vid höga strömmar. Därför räknar man med att kapacitetstalet reducerats till 70%.

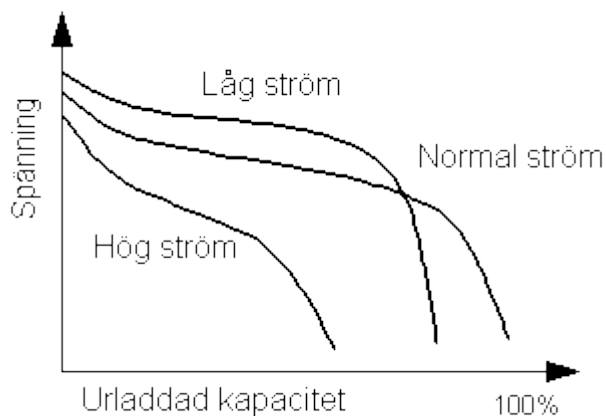
$C' = 0,7 \cdot C = 0,7 \cdot 60 = 42$.

Vi får $t = C'/I = 42/300 = 0,14$ h $0,14 \cdot 60 = 8,4$ min.

Olika urladdningsfall

Ett batteris kapacitet beror naturligtvis på storleken och hur mycket kemiskt aktivt material som finns tillgängligt. Det är anledningen till att man kan köpa så många olika storlekar. Förutom batteristorleken beror den verkliga kapaciteten i hög grad på vilket sätt som urladdningen går till.

Urladdningströmmen



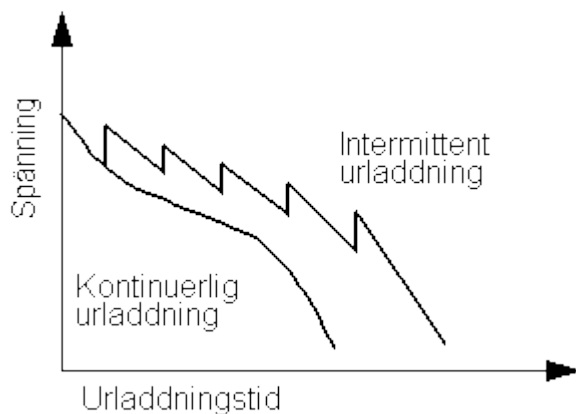
Vi har redan nämnt att mycket höga urladdningsströmmar reducerar ett batteris kapacitet. Den höga strömmen ger upphov till förluster i batteriets inre resistans, och den energi som kan lämna batteriet blir därför lägre.

Vid normalt strömuttag är kapaciteten 100%, men vid lågt strömuttag blir kapaciteten mindre. Detta beror på att batteriet har en viss *självurladdning*, elektrolyten har en viss elektrisk ledningsförmåga. Även utan yttre urladdningsström avtar kapaciteten med tiden.

Självurladdningen är temperaturberoende. Man brukar lagra batterier i kylskåp för att minska självurladdningen.

Den viktigaste anledningen till att man använder primärbatterier är att de har mycket lägre självurladdning än sekundärbatterierna.

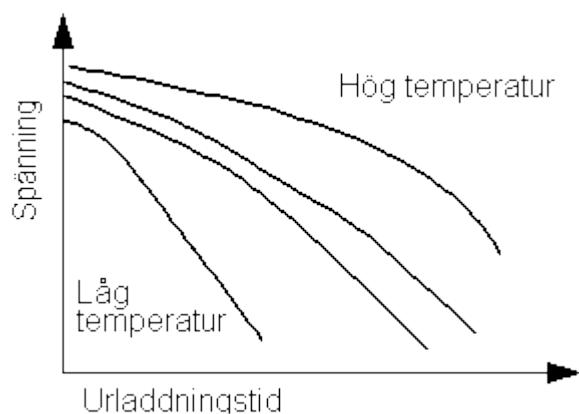
Intermittent drift



Den som använt en ficklampa i mörker har säker märkt att man får längre livslängd på batteriet om man ger detta tillfälle att då och då *återhämta sig*. (Detta faktum har en elektrokemisk förklaring). Om man har flera batterier kan man växla mellan batterierna så att de får omväxlande urladdas respektive återhämta sig.

Man får då totalt ut mer energi än om man använder batterierna i följd efter varandra. Denna effekt är så utpräglad att den borde utnyttjas av elektronikkonstruktörerna - något som inte sker ännu ...

Batteritemperatur



De elektrokemiska processerna är temperaturberoende. Vid låga temperaturer förmår batterier bara att leverera en bråkdel av den energi som kan utvinnas vid normal temperatur. Den som lyder rådet att lagra batterier i kylskåpet, gör klokt i att vänta med att använda dem tills de värmts upp till rumstemperatur.

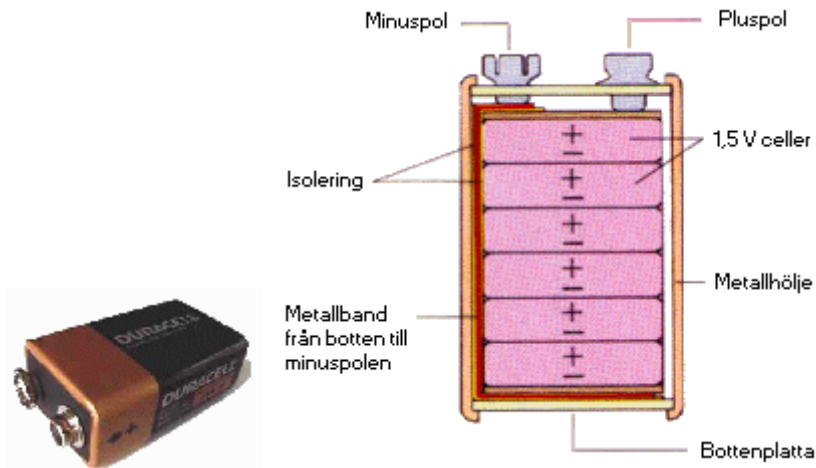
Med ökande temperatur sker de elektrokemiska processerna snabbare, detta ger en *kapacitetsökning*, men observera att denna motverkas av *ökad självurladdning* vid höga temperaturer.

Förmodligen skulle det löna sig värma/kyla batteriet till en optimal arbetstemperatur även om man skulle ta energin till detta skulle från det egna batteriet!

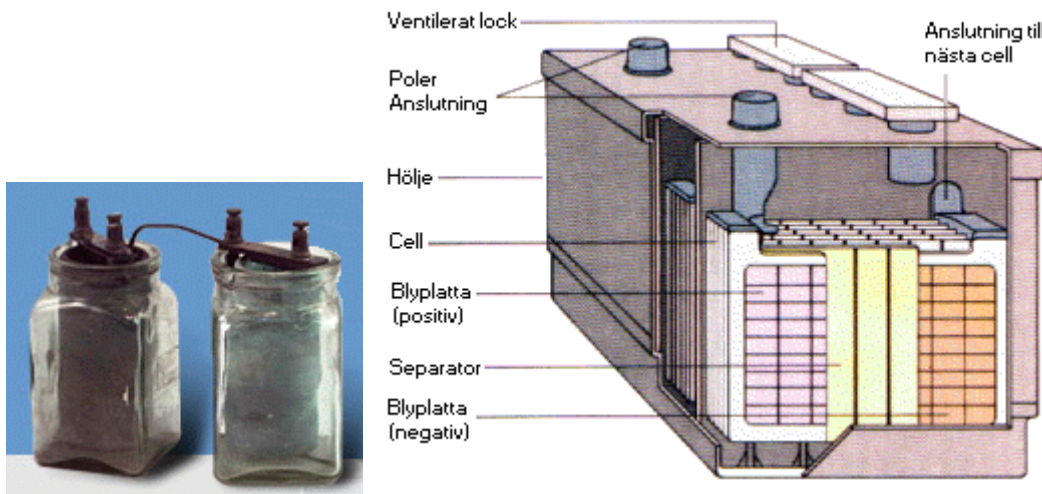
Cell och batteri



Om man ska vara noga med begreppen så är en cell ett ensamt elektrokemiskt system med egen positiv och negativ elektrod, medan det som kallas för ett batteri är en samling av sådana celler. Termen är lånad från artilleriet där ett batteri är ett antal pjäser som kan avfyras i serie eller samtidigt. Det elektriska batteriet består av celler i serie eller i parallellkoppling. I figuren ovan finns det egentligen bara ett batteri, 9V-batteriet.



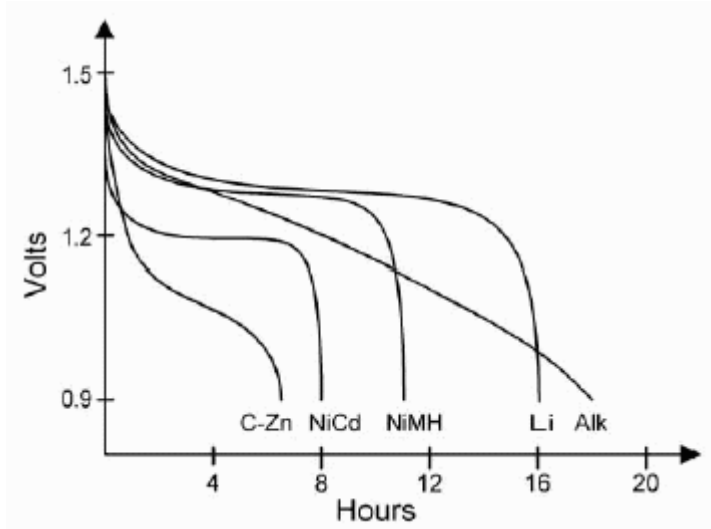
I 9V-batteriet har man seriekopplat 6 st 1,5V-celler för att uppnå totalspänningen 9 Volt.



I Bilbatteriet har man seriekopplat 6 st 2V-celler för att uppnå totalspänningen 12 V. Cellerna är av här av en typ som härstammar från fransmannen Gaston Planté (1859) och som går att både urladda och ladda upp. De kemiska processerna som äger rum vid plattorna är omvändbara, reversibla. Laddningsbara batterier kallas för **sekundärbatterier**.

Jämförelse mellan olika batterityper

Om man ritar urladdningskurvorna för olika batterityper i samma diagram kan man jämföra deras egenskaper. Figuren gäller vanliga 1,5 V AA-celler som på utsidan ser lika ut, men som inuti är av olika teknologier. Cellerna har urladdats med den konstanta strömmen $I = 100 \text{ mA}$. Ytan under urladdningskurvorna är därför proportionell mot den uttagna elektriska energin ($W = U \cdot I \cdot t$, I är konstant).



C-Zn

Brunstensbatteriet tappar fort spänningen och har den lägsta kapaciteten - dock tillräcklig för Lucia-kronans ljus. Egenurladdningen är låg - kanske kan överblivna brunstenceller förvaras i kylskåpet till nästa Lucia?

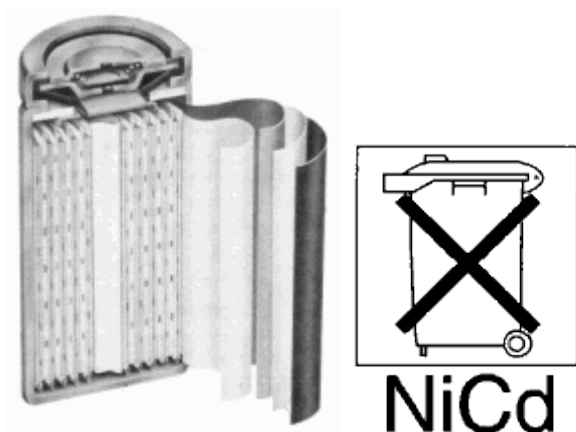
NiCd

Nickel-Cadmium cellens spänning faller snabbt ned till 1,2 V där den håller sig ända tills slutet. Cellen kan laddas upp. Antingen med strömmen $I = C/10$ under 14 timmar vilket är 40% längre tid än vad som teoretiskt behövs för att ladda cellen. Vid denna låga laddningsström tål cellen överladdning.

Man kan även **snabbladda** cellen tex. med strömmen $I = C$. Laddningen tar då teoretiskt 1 timme, men förutom laddningstiden behöver en "snabbladdare" även övervaka cellens spänning och temperatur eftersom överladdning med denna höga ström är mycket skadlig för cellen.

NiCd-cellens självurladdning är c:a 1%/dygn - efter tre månader är cellen helt tom. Vill man lagra en fulladdad NiCd-cell måste den vara ansluten till en **underhållsladdare** som hela tiden laddar den med en liten ström som uppväger självurladdningsströmmen ($I = 0,05C$).

Om NiCd-celler ofta laddas upp innan de urladdats helt kan det uppkomma en sk. minneseffekt. Urladdningskurvan sjunker med c:a 150 mV långt innan cellen tagit slut. Detta borde inte ha någon betydelse, men det kan "lura" den batteridrivna utrustningens elektronik att felaktigt indikera "batteriet slut". En fullständig cykel med urladdning följt av uppladdning raderar denna "minneseffekt".



NiCd-cellens uppbyggnad är mycket mer komplicerad än brunstencellen.
I toppen sitter en säkerhetsventil som släpper ut de gaser som kan bildas vid överladdning med höga strömmar.
Om NiCd-celler hamnar i naturens kretslopp utgör de en stor miljöfara.

NiMH

Nickel-metallhydrid ackumulatorm har högre kapacitet än NiCd-cellen, men för övrigt likartade egenskaper. NiMH-cellen saknar "minneseffekt". Cellen innehåller inga miljöfarliga metaller.

Li



Litium-celler kan ge polspänning på upp till 3,3 V. Det finns 1,5V-celler och det är en sådan som avbildas i diagrammet. Litium är den lättaste metallen och en Litium-cell är c:a hälften så tung som de övriga celltyperna. Självladdningen är låg så cellen kan lagras i upp till 10 år. Kapaciteten är jämförelsens överlägset högsta - men detta är en mycket dyr cell!

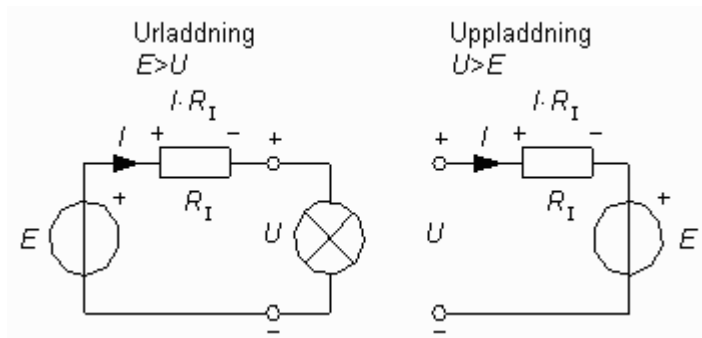
Laddbara Litium 3,3V-celler återfinns i din mobiltelefon.

Alk

Alkaline-cellen är en vidareutveckling av brunstencellen. Den har mycket högre kapacitet än denna och har därför blivit den vanligaste och mest använda batteritypen.

Numera tillverkas Alkaline-cellerna utan kvicksilver, och de innehåller därmed *inga* miljöfarliga metaller.

Emk inre resistans och polspänning



Som en enkel modell för batterier brukar man använda en emk (en ideal spänningskälla) i serie med en inre resistans. Detta är inga konstanter, utan siffervärden som varierar från driftfall till driftfall och med batteriets "kondition".

Man talar om ett batteris **emk** E , **inre resistans** R_I och **polspänning** U (eller med ett ålderdomligt ord, klämspänning). Polspänningen är det man kan mäta utanför batteriet. Om man ansluter en last, tex. en lampa, till batteriet så kommer batteriströmmen att ge upphov till ett spänningsfall över den inre resistansen ($I \cdot R_I$). Polspänningen blir därför lägre än batteriets emk, $E > U$. Större batterier, med högre kapacitet, har lägre inre resistans och får därmed en polspänning som ligger närmare emk'en.

Om man ansluter en polspänning som är *större* än batteriets emk, $U > E$, så flyter strömmen i den motsatta riktningen. Om det är ett **sekundärbatteri**, där de elektrokemiska processerna är reversibla, så kommer batteriet att laddas upp. Kirchoffs spänningslag ger:

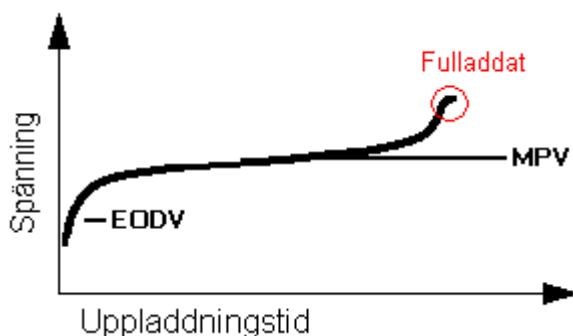
$$U = I \cdot R_I + E$$

Om man förlänger detta uttryck med " I " får man sambandet mellan tre effekter.

$$U \cdot I = I^2 \cdot R_I + E \cdot I$$

$U \cdot I$ är effekten till eller från batteriet. $I^2 \cdot R_I$ är effektförlust inuti batteriet och termen $E \cdot I$ är ett uttryck för den kemiska energi som tas ur eller lagras i batteriet.

Om man "överbilddar" ett batteri så står även termen $E \cdot I$ för förluster. Vid "överbilddning" kan batteriet därför bli överhettat.

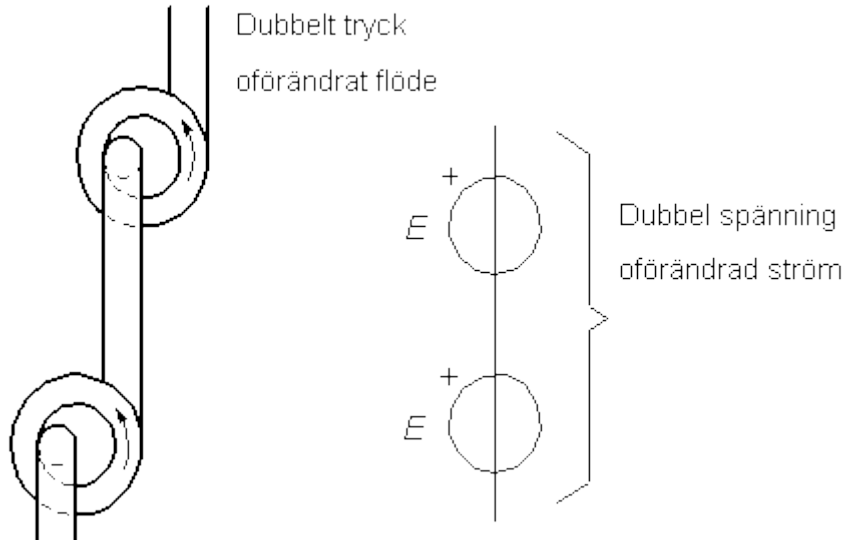


Ett batteris uppladdningskurva är i princip urladdningskurvan speglad baklänges. När batteriet är färdigladdat minskar polspänningen i stället för att öka ($-dV$). "Intelligenta" batteriladdare brukar utnyttja detta som "tecken" på att batteriet troligen är fulladdat och avslutar laddningen.

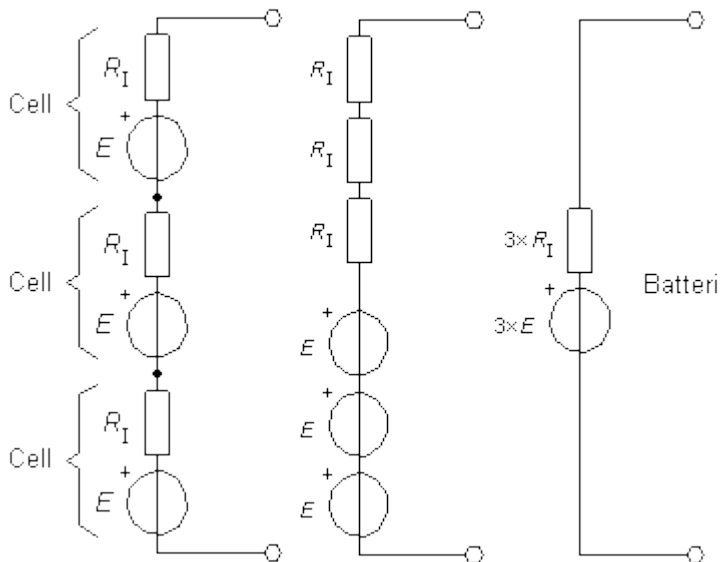
Serie och parallellkoppling

Seriekoppling av celler

En cells spänning bestäms av kombinationen av elektrodmaterial. Vanliga cellspänningar ligger mellan 1 ... 3 V. För att erhålla högre spänningar seriekopplar man celler. Exempel på detta är 9V-batteriet och 12V-bilbatteriet.



Centrifugalpumpar för vätskor kan seriekopplas för att ge högre lyfthöjd. Det vätskeflöde som kan passera genom pumparna förblir detsamma. På samma sätt ger två seriekopplade celler den dubbla spänningen, medan förmågan att leverera ström är oförändrad.



Tre seriekopplade celler. Cellernas E och R_I kan summeras. Det seriekopplade batteriet kan ses som en cell med $3E$ och $3R_I$.

Exempel, hur många seriekopplade celler behövs?

Batteriet till en äldre bärbar dator är slut. Valet står mellan att beställa ett nytt till höga "reservdelspriser" eller att själv "plocka ihop" ett batteri av vanliga lösa NiCd-celler.

Hur många NiCd-celler med $E = 1,1 \text{ V}$ och $R_I = 0,1 \Omega$ skulle man behöva?

Först behöver man veta datorns strömbehov. Till datorn finns en nätadaptorn och man mäter upp den avgivna spänningen och strömmen vid drift av datorn med en multimeter. Man finner att datorn förbrukar $1,7 \text{ A}$ vid 14 V .

Det är inte så enkelt att det räcker med 13 celler ($13 \cdot 1,1 = 14,3$) eftersom batteriets polspänning sjunker när man drar ström ur det.

Så här beräknar man hur många celler n som behövs:

Kirchoffs spänningslag ger:

$$n \cdot E - n \cdot R_I \cdot I - U = 0$$

$$n = U / (E - R_I \cdot I) = 14 / (1,1 - 0,1 \cdot 1,7) = 15,05$$

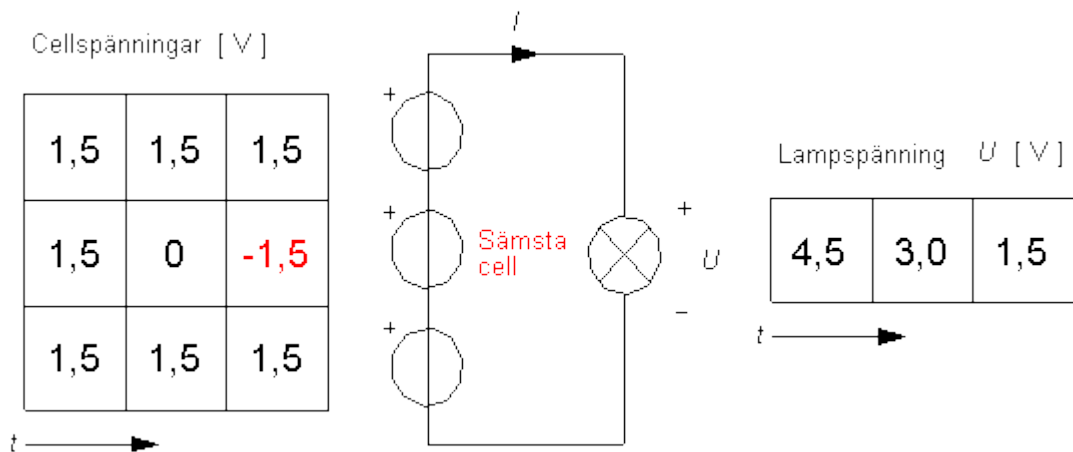
antalet celler är naturligtvis ett heltal, så i praktiken blir svaret **15 st.**



Det hembyggda datorbatteriet kan bestå av 15 st NiCd-celler. Man väljer en typ med "lödändar" för att enkelt kunna seriekoppla dem.

Risken med seriekoppling - omvänd cellspänning

En ficklampa drivs av tre seriekopplade celler. Vi antar att en av dem (tex. den mittersta) har sämst kapacitet. Figuren nedan visar vad som händer under tiden då ficklampan är på.



Först lyser lampan normalt med tre seriekopplade celler och lampspänningen $4,5 \text{ V}$. Efter ett tag har den "sämsta" cellen tagit slut och då lyser lampspänningen svagare med 3 V . Om man nu fortsätter med att låta lampan lysa kommer den cell som är slut att "ta emot" ström från de andra två cellerna. Cellen kommer att kemiskt laddas upp, men med fel polaritet, till sist med full felaktig cellspänning $-1,5 \text{ V}$! Lampan får bara $1,5 \text{ V}$ över sig och glöder bara svagt. I det här

läget tjänar man på att ta ut det tomma batteriet och ersätta det med en "kortslutningstråd" - då skulle lamspanningen åter bli 3 V.

Exemplet visar att det är viktigt att alla celler i en seriekoppling har samma kapacitet. Därför levereras de flesta batteridrivna utrustningar med **Batteripaket** som består av celler som alla tagits från fabriken vid ett och samma tillfälle.

Om cellerna har olika kapacitet får man dålig batteriekonomi, gäller det uppladdningsbara batterier så riskerar man dessutom att den omvända cellspänningen reducerar cellens livslängd.

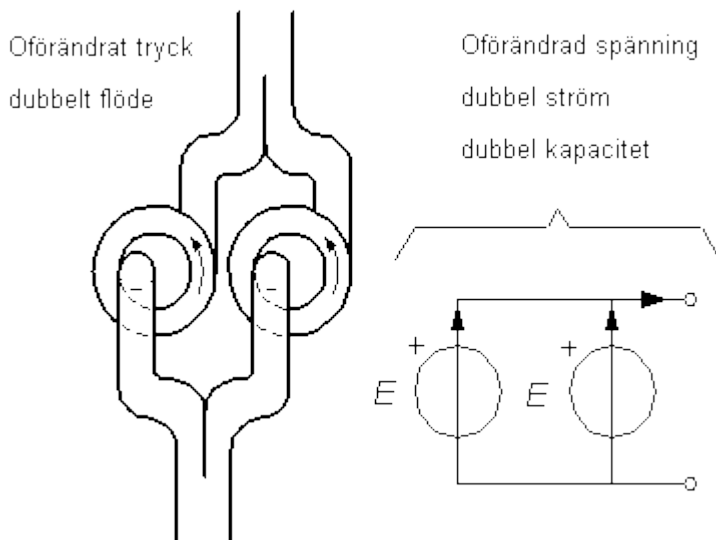
Kapacitetstalet C [Ah] för ett seriekopplat batteri blir detsamma som för de enskilda cellerna. Om cellerna har olika kapacitet (detta bör undvikas) så bestäms kapacitetstalet av den sämsta cellen - när den är slut är hela batteriet i praktiken obrukbart.

Parallellkoppling av batterier

Celler finns att få i en mängd olika standardiserade storlekar. Ju större storlek desto högre kapacitet. Det enklaste sättet att få högre kapacitet är således att byta till större celler. Eftersom batterier är tunga komponenter så skulle detta ibland kunna leda till en ofördelaktig viktfördelning - tänk bara på ett modellflygplan som har batteriet inuti ena vingen, men ingenting inuti den andra! Då kan det vara bättre att fördela kapaciteten över flera parallellkopplade celler.



Antalet standardiserade cellstorlekar är mycket stort.

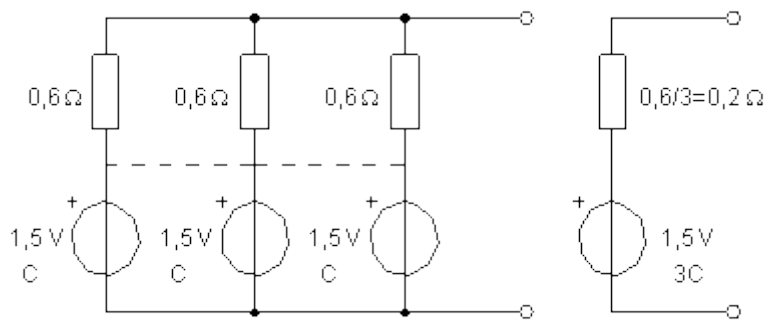


Centrifugalpumpar för vätskor kan parallellkopplas för att ge större flöde.

Lyfthöjden/trycket förblir densamma.

På samma sätt kan två parallellkopplade celler tillsammans leverera högre ström.

Spänningen blir oförändrad. Kapacitetstalet C [Ah] fördubblas.



Tre parallellkopplade celler som vardera har emk $E = 1,5$ och inre resistans $R_I = 0,6$.
 Som den streckade linjen åskådliggör är i praktiken de tre E liksom de tre resistorerna R_I parallellkopplade.
 Det parallellkopplade batteriet kan ersättas av en cell med spänningen $1,5$ V och inre resistansen $0,2$ Ohm.

De streckade linjerna har ritats in för att förtydliga. Vore de ledningstrådar skulle de vara strömlösa eftersom de har samma spänning i båda ändar. De påverkar därför inte kretsen.

Risken med parallellkoppling - ökad självurladdning

Om man parallellkopplar celler som inte är helt lika med varandra kommer de starkare cellerna att ladda de svagare. Kapaciteten utjämnas mellan cellerna. Det totala batteriets kapacitet blir emellertid lägre än summan av cellernas kapacitet eftersom omfördelningen av laddningen ger förluster. Alla Celler självurladdas dessutom lika snabbt som den sämsta cellen.