IE1206 Inbyggd Elektronik

F1 → F2 PIC-block Dokumentation, Seriecom Pulsgivare

F3 → Ö1 → KK1 LAB1 *I*, *U*, *R*, *P*, serie och parallell

Pulsgivare, Menyprogram

- ***Start för programmeringsgruppuppgift***

F4 → Ö2 Kirchoffs lagar Nodanalys Tvåpolsatsen R2R AD

F5 → Ö3 → KK2 LAB2 ***Tvåpol, AD, Komparator/Schmitt***

F6 → Ö4 → F7 → KK3 LAB3 Transienter PWM

Step-up, RC-oscillator

F8 → Ö5 → F9 Visare jω PWM CCP KAP/IND-sensor

Ö6 → F10 → F11 → KK4 LAB4 ***LC-osc, DC-motor, CCP PWM***

F12 → Ö7 → redovisning LP-filter Trafo + Gästföreläsning

- ***Redovisning av programmeringsgruppuppgift***

F13 → tentamen Trafo, Ethernetkontakten

William Sandqvist william@kth.se

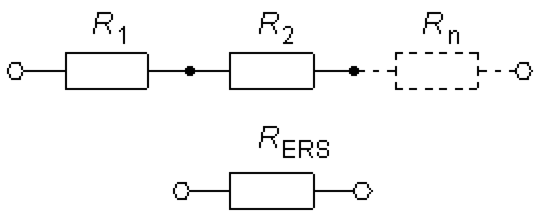
Strömkretslära

Seriekopplade och Parallellkopplade Resistorer

William Sandqvist william@kth.se

Seriekopplade resistorer - ersättningsresistans

Seriekopplade resistorer - ersättningsresistans
Seriekopplade resistorer R_1 R_2 ... 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.



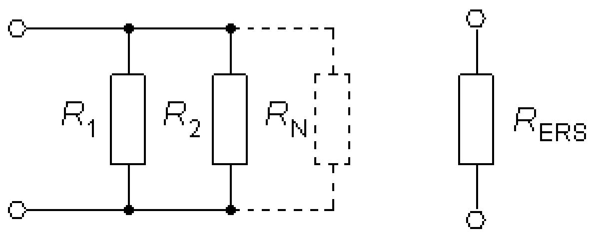
$$\boxed{R_{ERS} = R_1 + R_2 + \ldots + R_N}$$

Seriekoplade komponenter kännetecknas av att de är sammanbundna med varandra i *en* punkt.

William Sandqvist william@kth.se

Parallellkopplade resistorer - ersättningsresistans

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

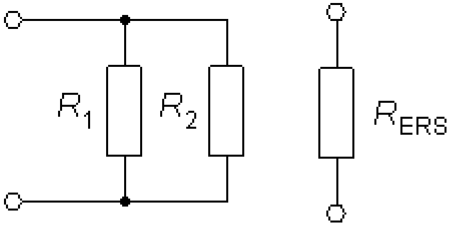


$$\boxed{\frac{1}{R_{ERS}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \ldots + \frac{1}{R_N}}$$

Parallellkoplade komponenter kännetecknas av att de är sammanbundna med varandra i *båda* ändarna.

William Sandqvist william@kth.se

Två Parallellkopplade resistorer



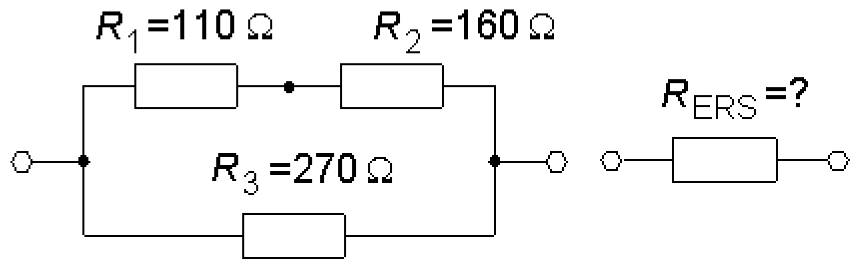
Om man speciellt har två parallellkopplade resistorer R_1 och R_2 kan formeln omformuleras till:

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

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

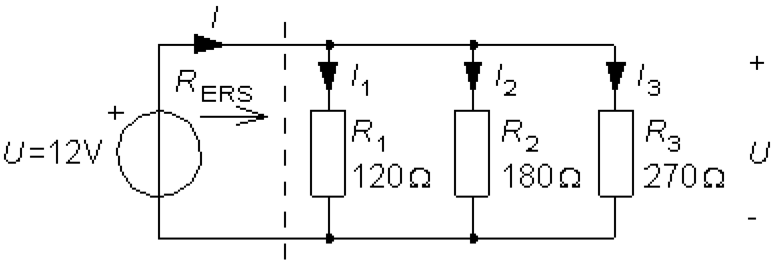
Har man har fler parallellkopplade resistorer än två upprepar man denna formel för två resistorer åt gången tills man får ersättningsresistansen.
Vid parallellkoppling blir alltid ersättningsresistansen *mindre* än den minsta av de ingående parallellkopplade resistorerna.

Exempel – serie och parallellkoppling



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

Parallellkretsen

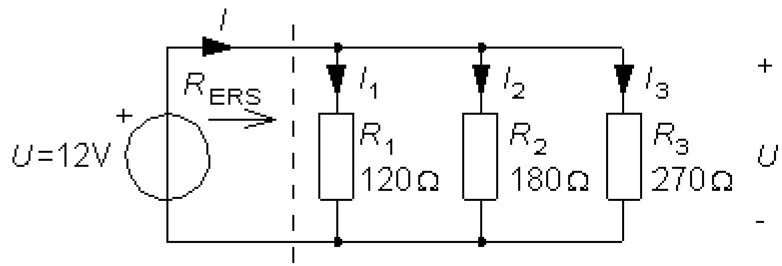


Samma *U* över alla resistorer!

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

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

Ersättningsresistansen



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

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

$$I = \frac{U}{R_{ERS}} = \frac{12}{56{,}8} = 0{,}21\,\text{A}$$

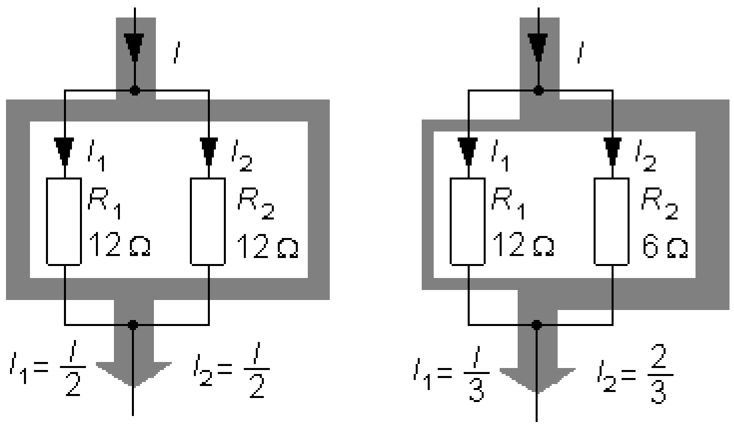
$$\frac{1}{R_{ERS}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

Den framräknade ersättnings-resistorn $R_{\text{ERS}} = 56{,}8\ \Omega$ ger samma totalström $I = 0{,}21$ A som tidigare.

Det är så här man härleder uttrycket för ersättningsresistansen.

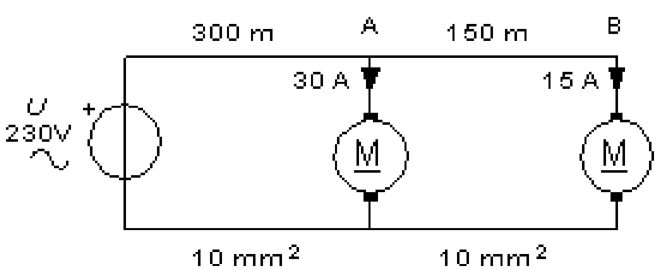
William Sandqvist william@kth.se

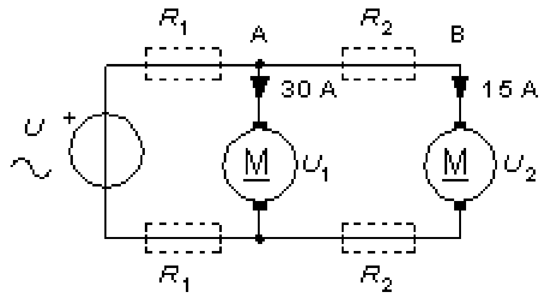
Strömgrening



Strömmen grenar sig mellan parallella grenar i *omvänd* proportion mot grenarnas resistans (= minsta motståndets lag).

Exempel – *inte* en parallellkrets

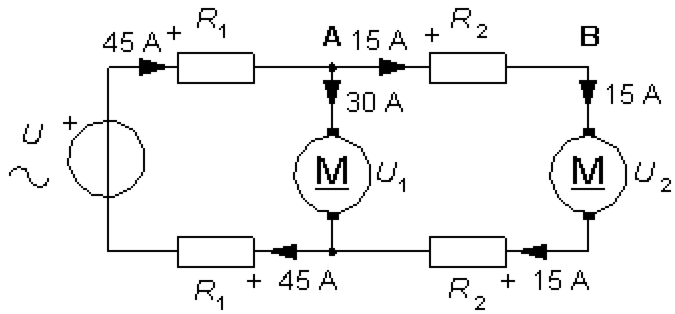




Två elektriska avloppspumpar A och B är placerade 150 m från varandra. A, och därefter B, matas med 230V från ett uttag 300 m bort. Pumpen A drar strömmen 30 A och B 15 A. Se figuren.

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.

Exempel – *inte* en parallellkrets



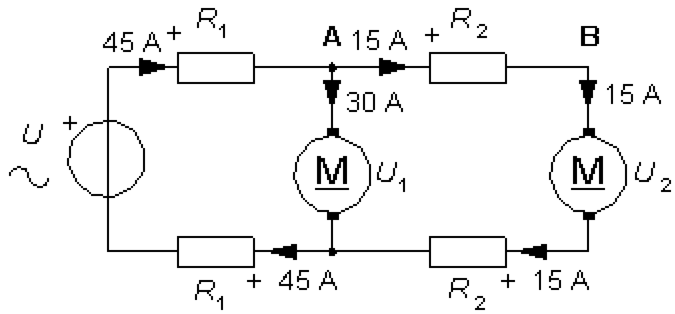
När motorerna arbetar, och därmed drar ström, blir det spänningsfall i ledningarna:
$U > U_1 > U_2$

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

Ledningarna är av koppar med resistiviteten 0,018 [Ωmm^2/m]. $R = \rho \cdot l / A$
$R_1 = 0{,}018 \times 300/10 = 0{,}54\ \Omega$
$R_2 = 0{,}018 \times 150/10 = 0{,}27\ \Omega$

William Sandqvist william@kth.se

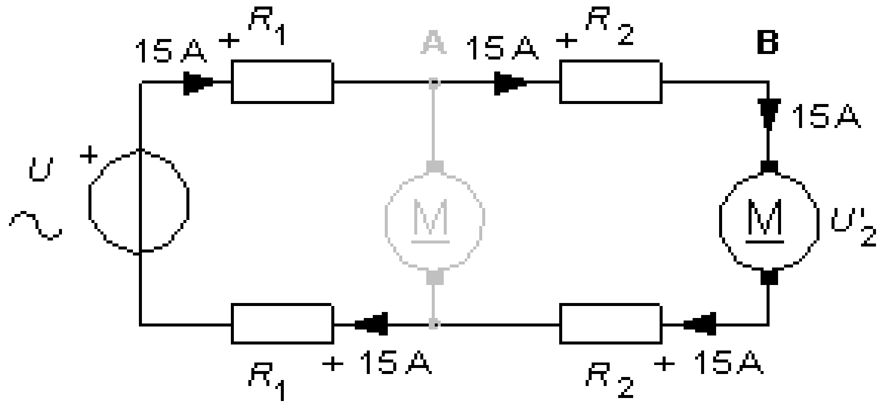
Exempel – *inte* en parallellkrets



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

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

Om Pump A är avslagen?

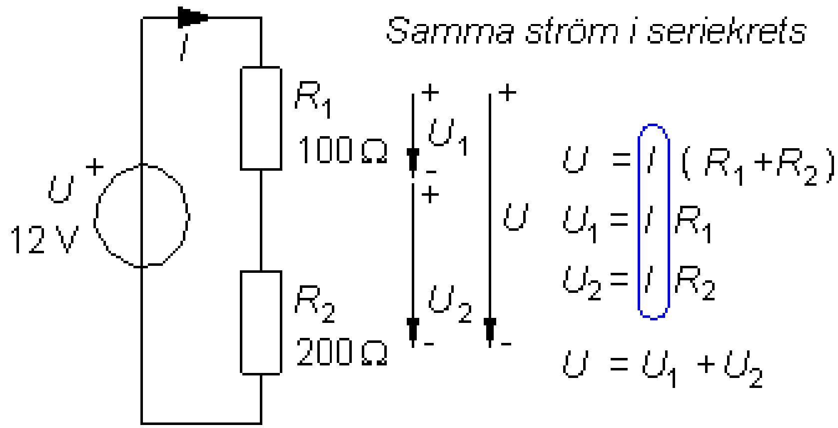


Hur stor blir spänningen vid pump B, U'_2, när pump A är avslagen?

$U'_2 = U - 2\times15\times(R_1 + R_2) = 230 - 2\times15\times(0{,}54 + 0{,}27) = 205{,}7$ V

$U'_2 = 205{,}7$ V ($U_2 = 173{,}3$ V) – det kommer att märkas!

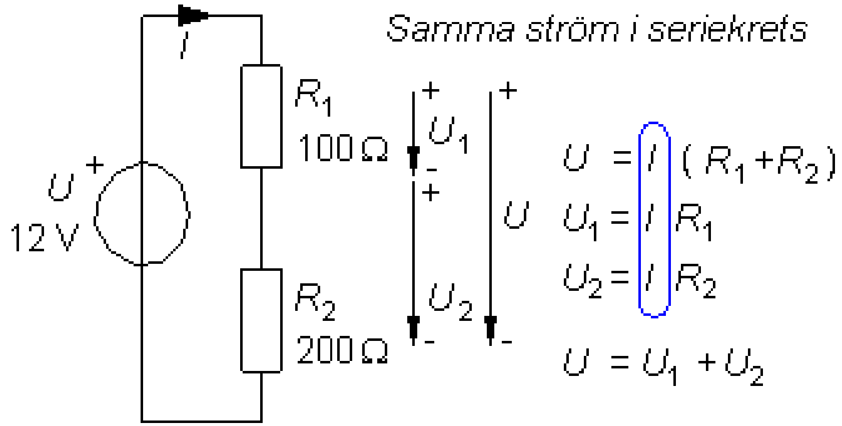
Seriekretsen



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!

Seriekretsen



Hur stora blir spänningarna U_1 och U_2?

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

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

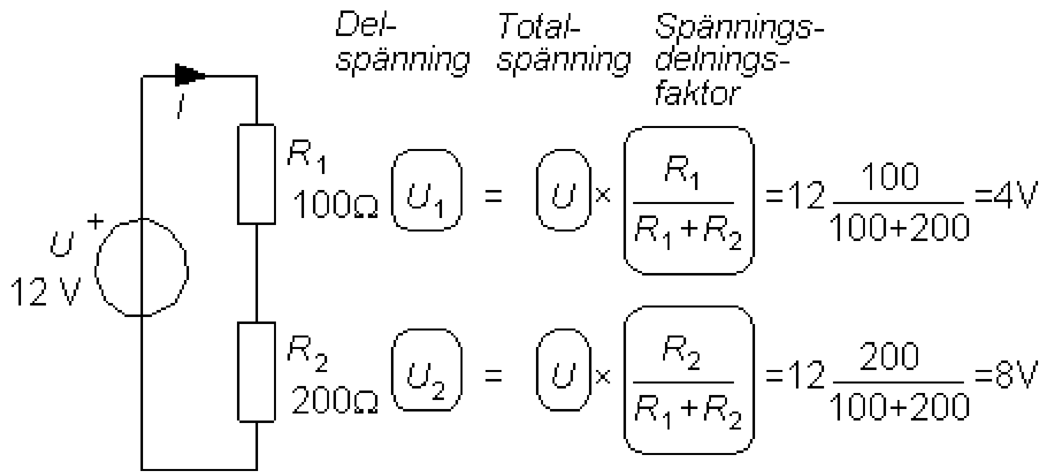
$U_1 = I \times R_1 = 0{,}04 \times 100 = 4$ V

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

$U = U_1 + U_2 = 4 + 8 = 12$ V

Spänningsdelningsformeln

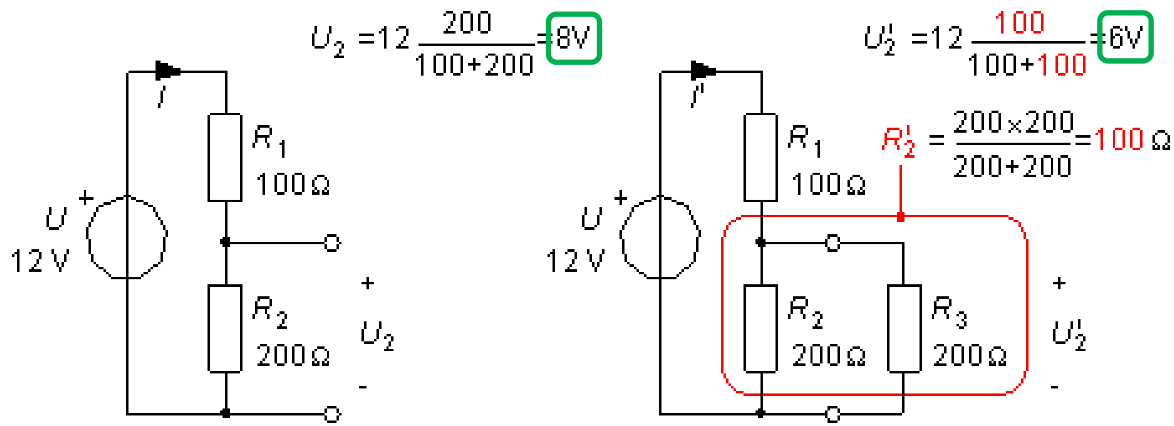
Eftersom alla resistorer har samma ström vid seriekoppling, blir spännings-fallen proportionella mot deras resistanser. Genom att använda Ohms lag (två gånger) kan man ta fram en formel, **spänningsdelningsformeln**, som kan användas som ett "halvfabrikat" för att snabbt ta reda på spänningsfallet över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

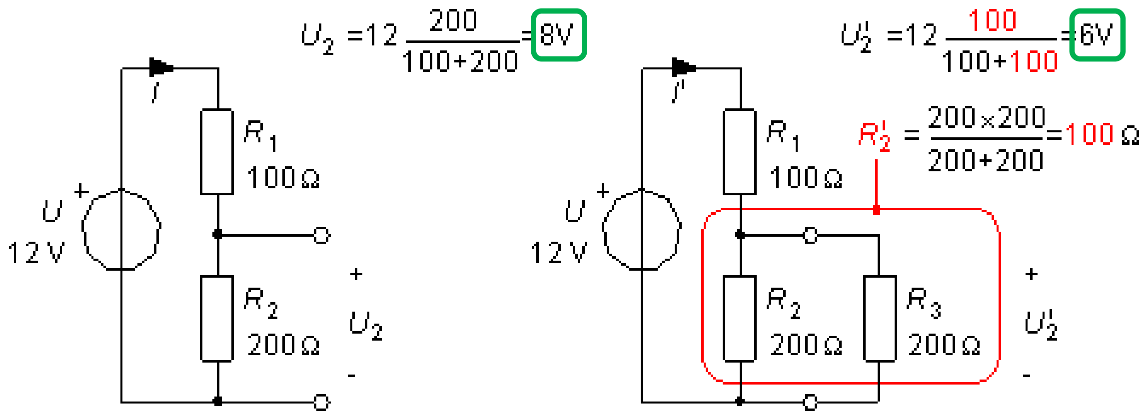
I personbilar har man batterispänningen 12 V.
Antag att man behöver spänningen 8 V till en elektronikutrustning i bilen.
Man kan då *sänka* spänningen med en spänningsdelare.



I figuren ovan till höger får resistorn $R_3 = 200\ \Omega$ symbolisera elektronik-utrustningen. 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.

William Sandqvist william@kth.se

Belastad spänningsdelare



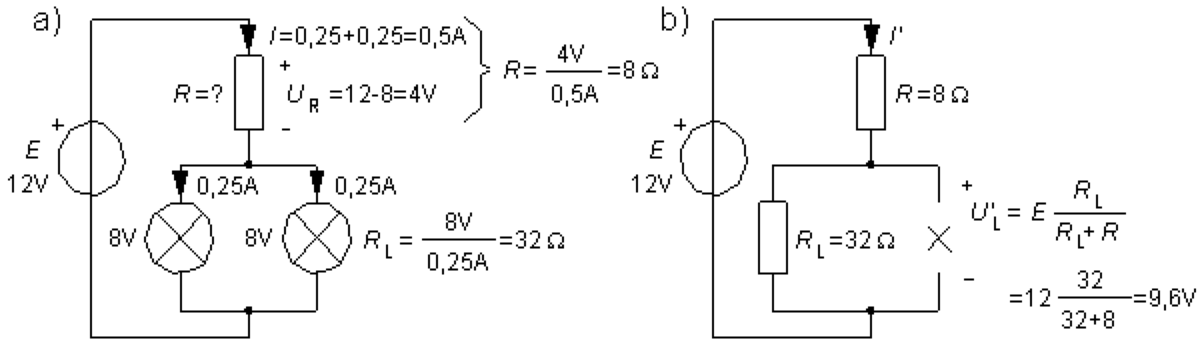
För att en spänningsdelare ska bibehålla delspänningen när den belastas, krävs det att den anslutna lasten har mycket *högre resistans* än de resistorer som ingår i spänningsdelaren.

(I detta exempel skulle tex. $R_3 = 2000\ \Omega$ ge ett $U_2 = 7{,}74$ som ligger närmare det obelastade värdet 8,0) .

($R_3 = 20000\ \Omega$ ger $U_2 = 7{,}97$ ändå närmare 8,0).

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.



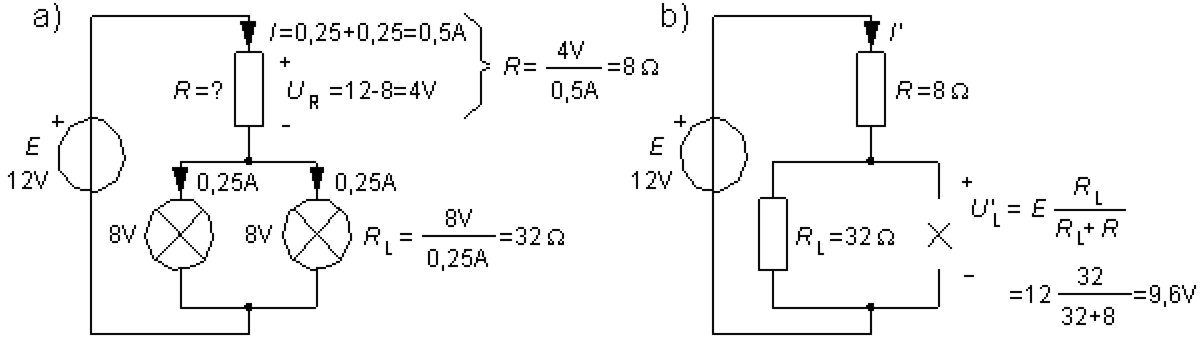
a) Beräkna serieresistorn *R* så att lampspänningen blir den rätta, 8 V.

Strömmen genom serieresistorn blir summan av strömmarna till lamporna.
I = 0,25 + 0,25 = 0,5 A

Spänningsfallet över resistorn ska vara 12 - 8 = 4 V

Ohms lag ger: R = 4/0,5 = 8 Ω

Exempel – spänningsdelare för glödlampor



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:

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

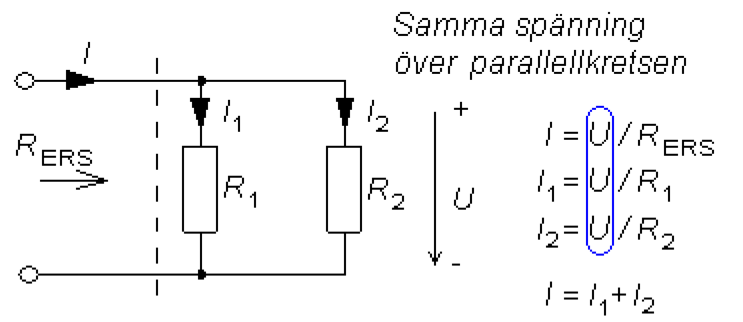
Vad tror Du nu händer med den ensamma lampan?

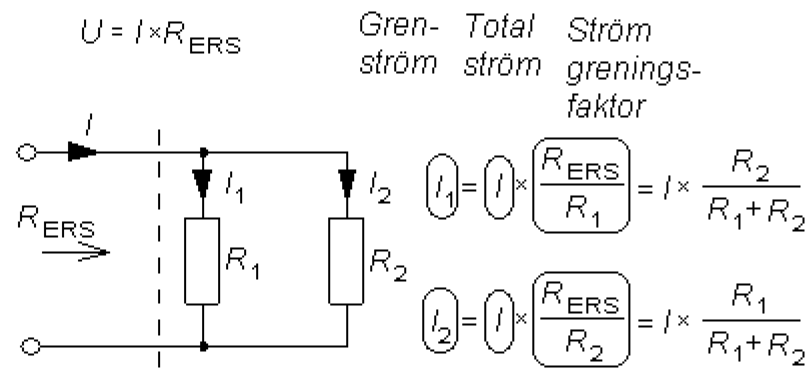
Strömgreningsformeln

På samma sätt som med spännings-delning, kan man ta fram en formel för strömgrening.

I praktiken har man dock mindre nytta av **strömgreningsformeln**.

$$I_1 = \frac{\overset{U}{\boxed{I \cdot \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}}}}{R_1} = I \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

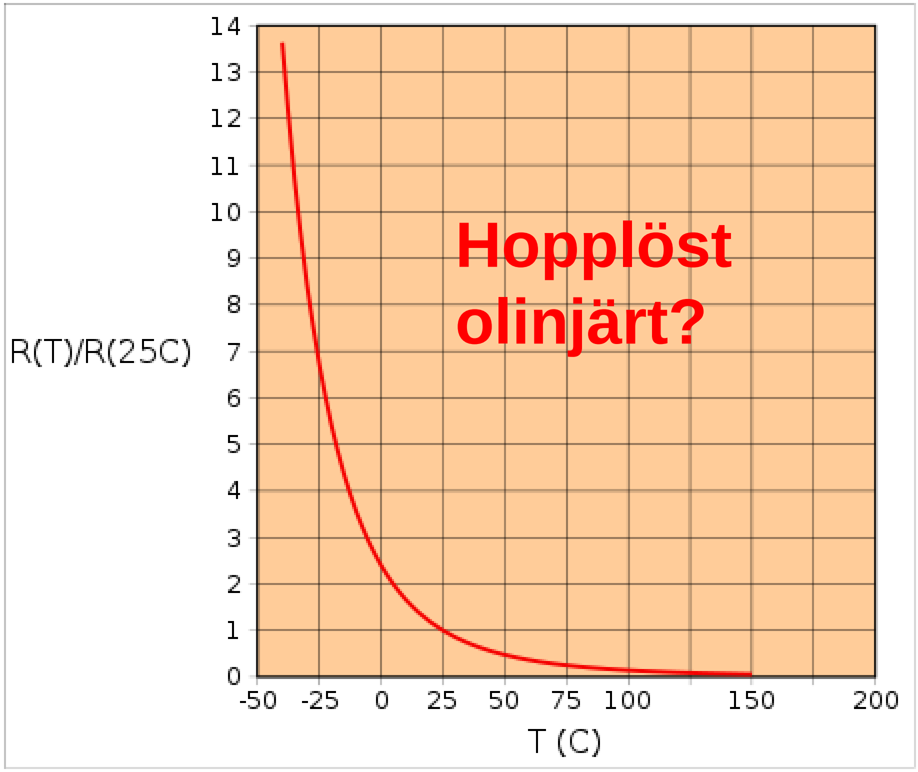




En tillämpning av spänningsdelningsformeln

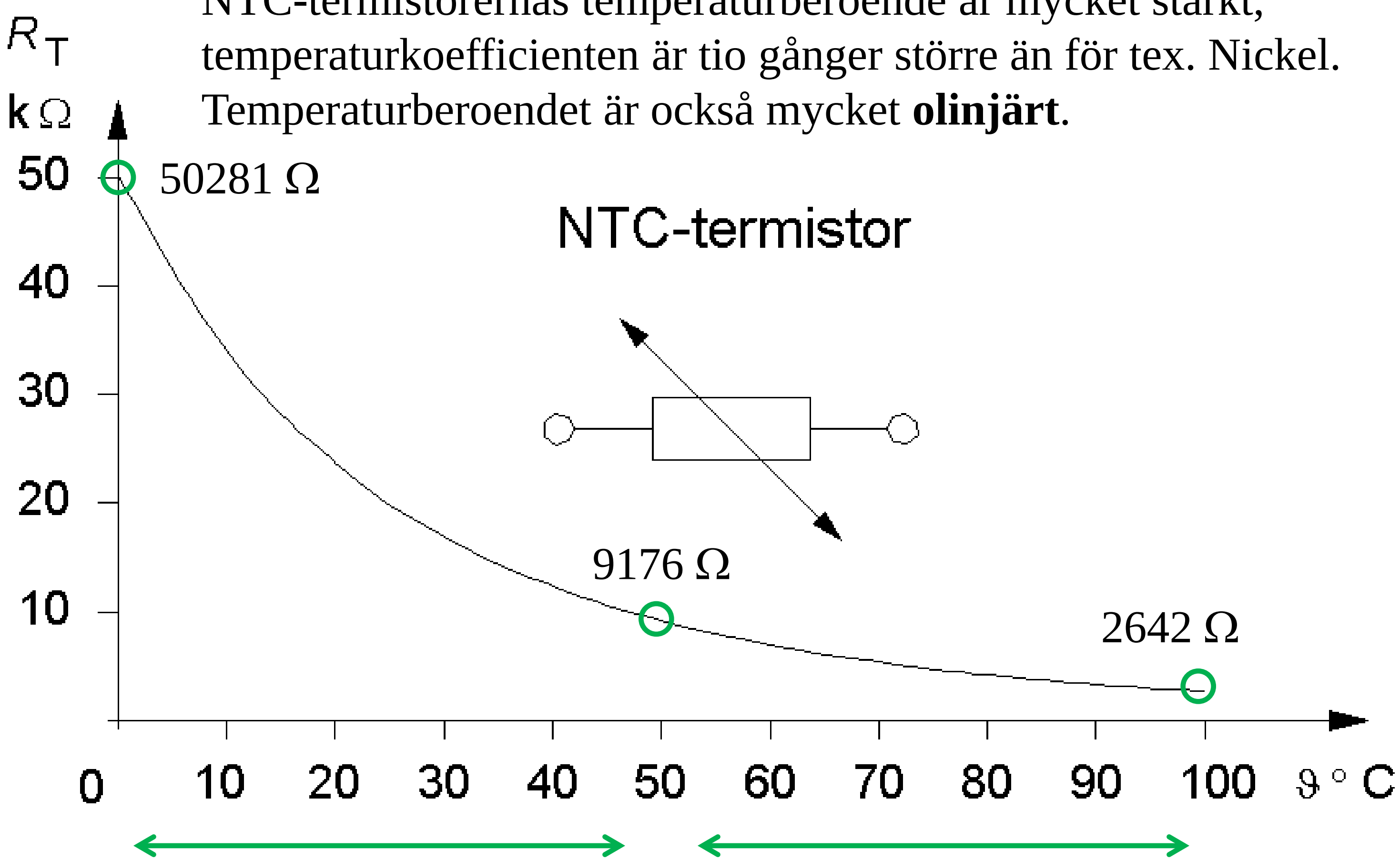
NTC-termistorn

Nu känner Du till spännings-delningsformeln – då är det dags att visa linjäriserings-metoden …



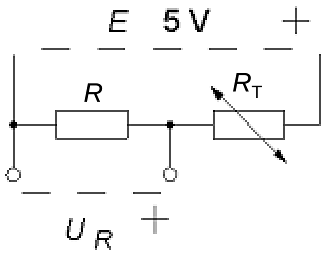
Linjärisering av NTC-termistor

NTC-termistorernas temperaturberoende är mycket starkt, temperaturkoefficienten är tio gånger större än för tex. Nickel. Temperaturberoendet är också mycket **olinjärt**.



William Sandqvist william@kth.se

Linjärisering



Om ett fast motstånd *R*, kopplas i serie med NTC-termistorn R_T har kombinationen *mindre* olinjäritet än termistorn ensam har. Man kan låta de båda motstånden bilda en spänningsdelare.

Om temperaturen ökar, minskar termistorn sin resistans, och då ökar den del av spänningen som faller över det fasta motståndet U_R som därför ger ett bra mått på temperaturen.

Spänningsdelningsformeln:

$$U_R = E\frac{R}{R_T + R}$$

$U_R(R_T)$ är monotont *avtagande* funktion, och $R_T(\vartheta)$ är också monotont *avtagande*. Den sammansatta funktionen $U_R(R_T(\vartheta)$ har därför förutsättning att bli någotsånär linjär, om man ger *R* ett lämpligt värde.

Linjäriseringsexempel

Vi mäter upp resistansen vid tre "**jämnt fördelade**" temperaturer, tex 0 °C, 50 °C, och 100 °C. R_{T0} = 50281 Ω, R_{T50} = 9176 Ω, och R_{T100} = 2642 Ω.

Om det råder linjäritet kommer spänningarna från spänningsdelaren U_{R0}, U_{R50}, och U_{R100} även de vara "jämnt fördelade". Vi ansätter:

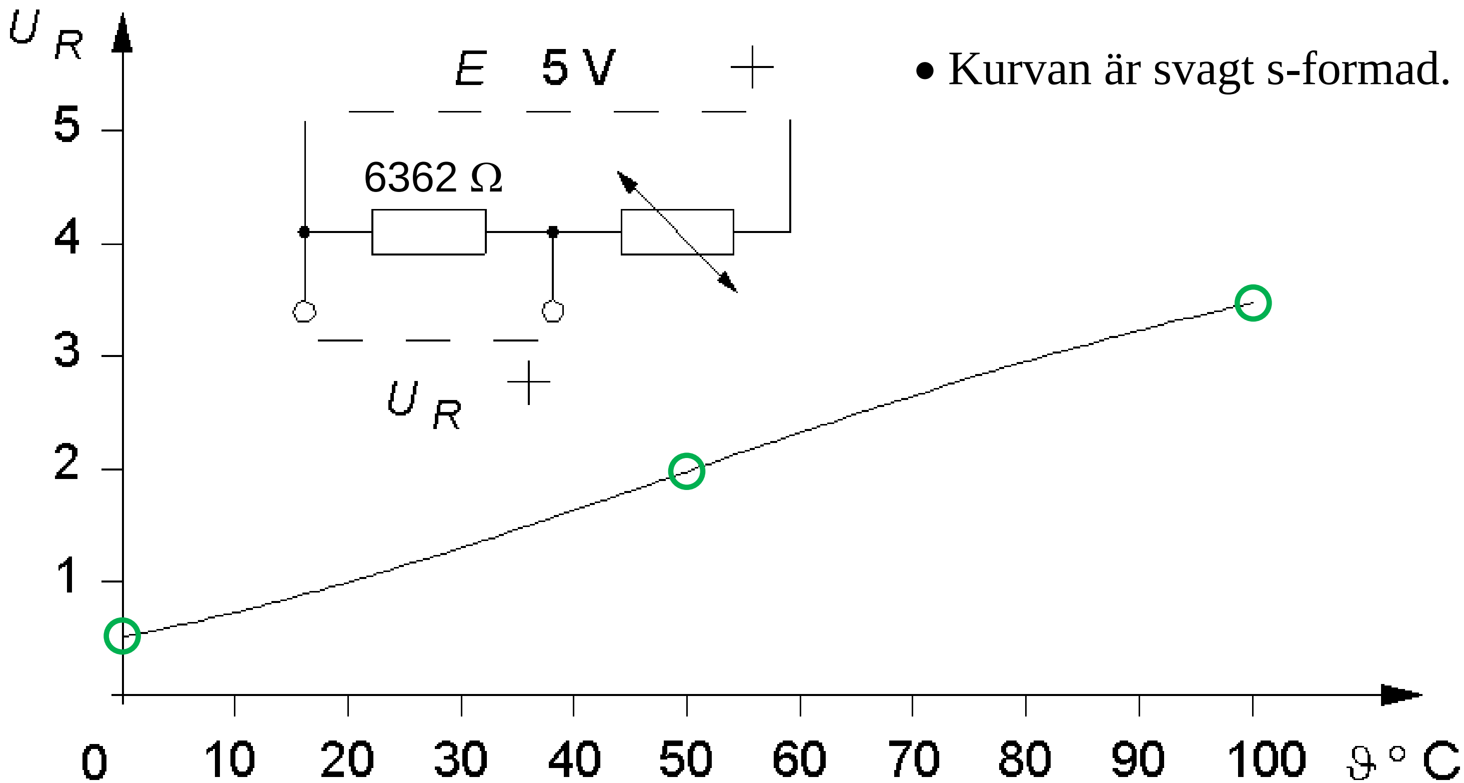
$$\cancel{E}\frac{\cancel{R}}{R_{\mathrm{T50}}+R}-\cancel{E}\frac{\cancel{R}}{R_{\mathrm{T0}}+R}=\cancel{E}\frac{\cancel{R}}{R_{\mathrm{T100}}+R}-\cancel{E}\frac{\cancel{R}}{R_{\mathrm{T50}}+R}$$

Om R löses ut:

$$\boxed{R=\frac{R_{\mathrm{T0}}R_{\mathrm{T50}}+R_{\mathrm{T50}}R_{\mathrm{T100}}-2R_{\mathrm{T0}}R_{\mathrm{T100}}}{R_{\mathrm{T0}}+R_{\mathrm{T100}}-2R_{\mathrm{T50}}}}$$

Efter insättning av våra siffervärden får vi R = 6362 Ω.

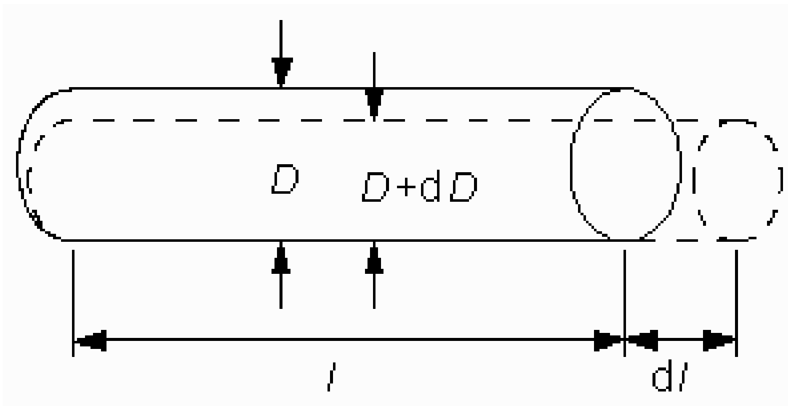
Resultatet – förvånadsvärt linjärt!

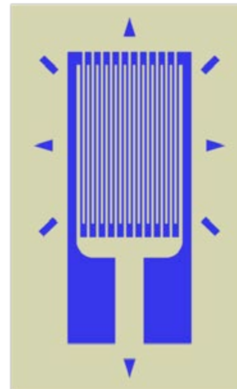


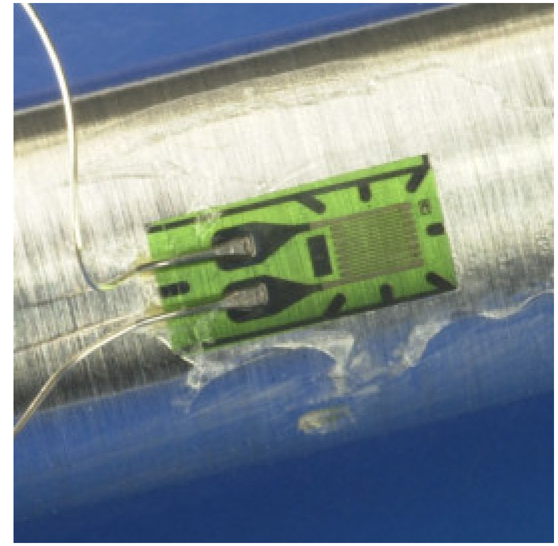
- Kurvan är svagt s-formad.

NTC-termistorer. Alla möjliga (och omöjliga) utföranden finns!

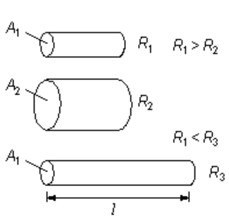
Exempel - trådtöjningsgivare







Hur mäter man så här små resistansändringar ΔR?

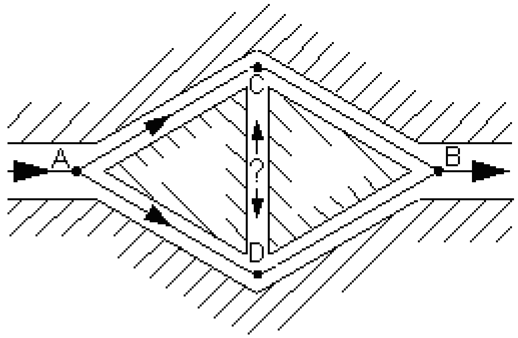


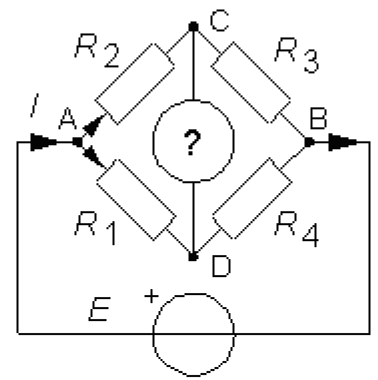
$$R = \rho \frac{l \cdot 4}{D^2 \cdot \pi} \qquad \Delta R \approx k \cdot dl$$

Wheatstonebryggan

William Sandqvist william@kth.se

Wheatstonebrygga – grenat flodsystem





Antag att
$R_4 = R_x$

Indikatorn är strömlös när $U_{R4} = U_{R3}$. Spänningsdelning ger:

$$\cancel{E}\frac{R_4}{R_1+R_4} = \cancel{E}\frac{R_3}{R_2+R_3} \quad \Leftrightarrow \quad R_4R_2 + \cancel{R_4R_3} = R_3R_1 + \cancel{R_3R_4}$$

Vid balans: $\boxed{R_4 = R_1\frac{R_3}{R_2}}$

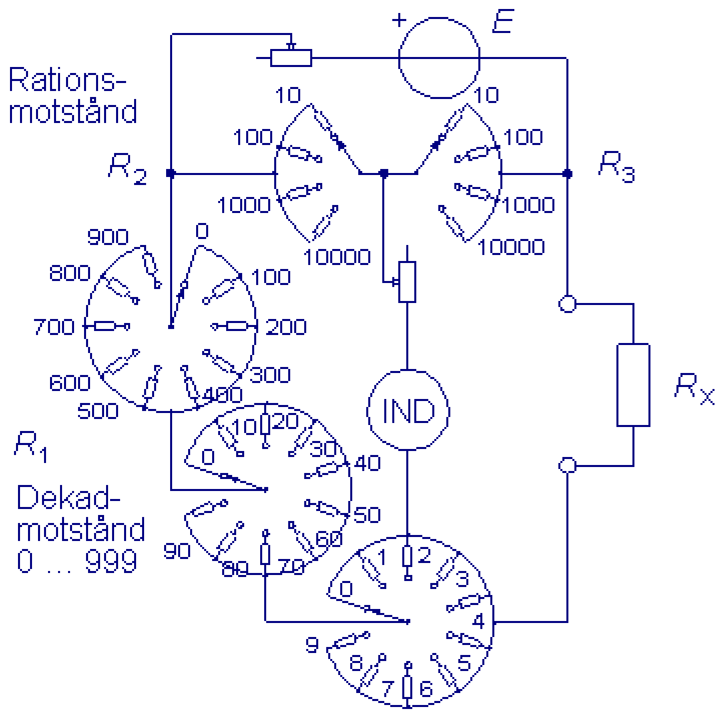
William Sandqvist william@kth.se

Wheatstonebryggan

Wheatstonebrygga för noggranna resistansmätningar
Kretsschemat visar utförandet av en brygga med god noggrannhet. När bryggan är balanserad, det vill säga när indikatorn IND visar 0, gäller att:

$R_X = R_1(R_3/R_2)$

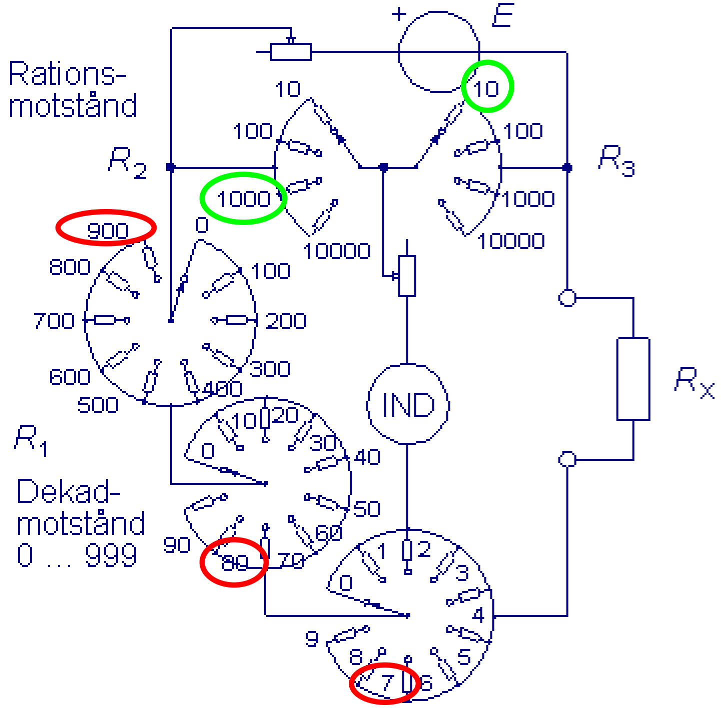
Med de så kallade rationsmotstånden R_3 och R_2 kan kvoten R_3/R_2 ställas in på någon av multiplikatorerna 10^{-3}, 10^{-2}, 10^{-1}, 1, 10, 10^2, 10^3.
Man väljer den multiplikator som ger flest siffror på dekadmotståndet R_1. (R_1 är ett dekadmotstånd med vanligen 3-6 dekader).



Som Indikator används ett vridspoleinstrument utan återföringsfjäder!

$R_x = ?$

$$R_X = R_1 \frac{R_3}{R_2}$$

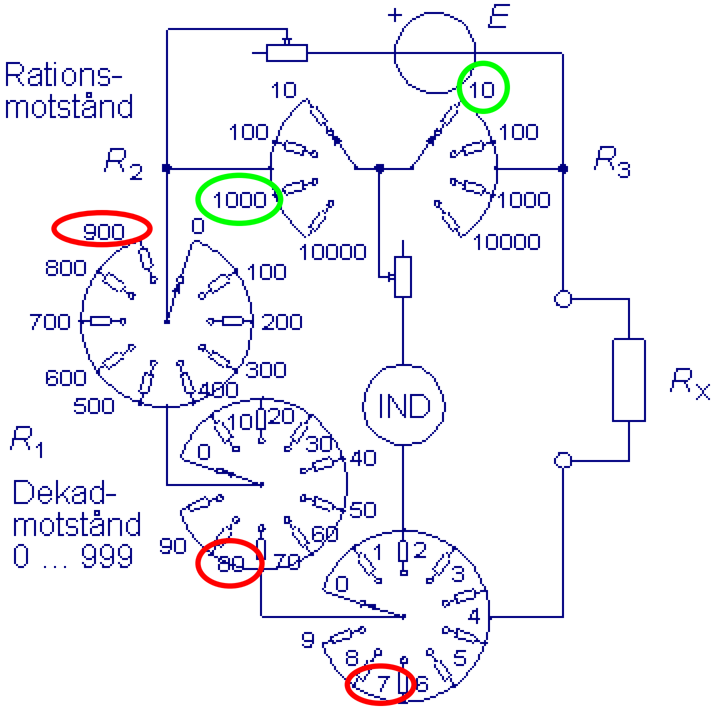


William Sandqvist william@kth.se

$R_x = ?$

$$R_X = R_1 \frac{R_3}{R_2}$$

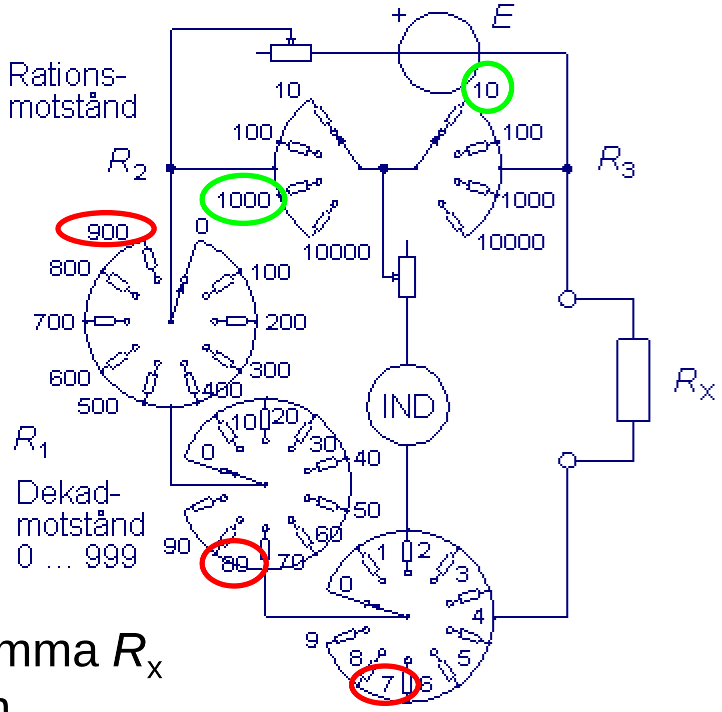
$$R_X = \boxed{987}\frac{\boxed{10}}{\boxed{1000}} = 9{,}87\ \Omega$$



$R_x = ?$

$$R_X = R_1 \frac{R_3}{R_2}$$

$$R_X = \boxed{987}\,\frac{\boxed{10}}{\boxed{1000}} = 9{,}87\ \Omega$$



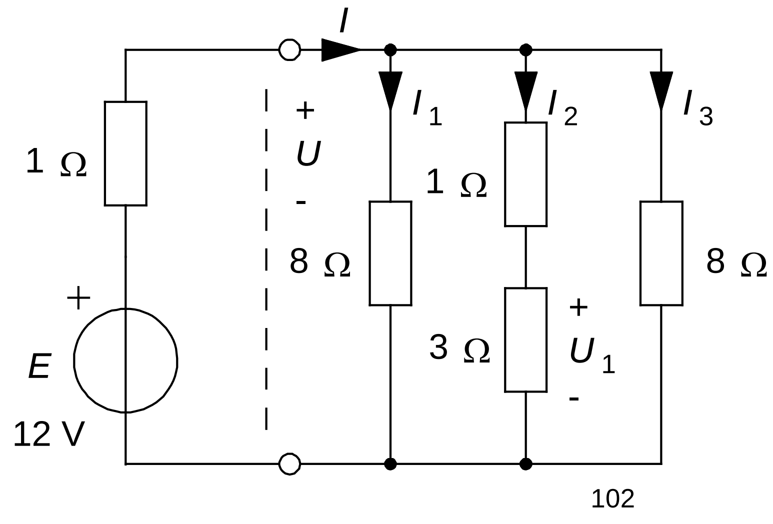
Balanseringsmetoden för att bestämma R_x är enkel att använda, men långsam.

Den fungerar vid tex. temperaturmätning, men inte om man vill följa ett snabbt dynamiskt förlopp.

(3.2) OHM's lag räcker långt!

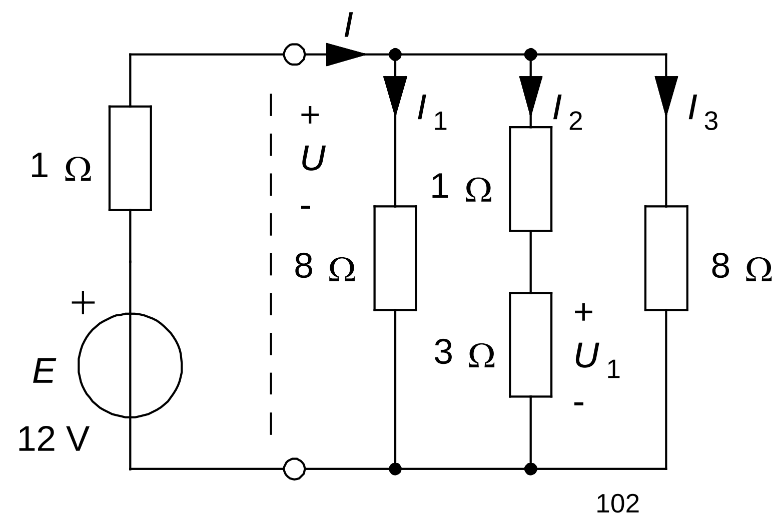
a) Beräkna den resulterande resistansen R_{ERS} för de tre parallellkopplade grenarna.

b) Beräkna strömmen I och spänningen U.



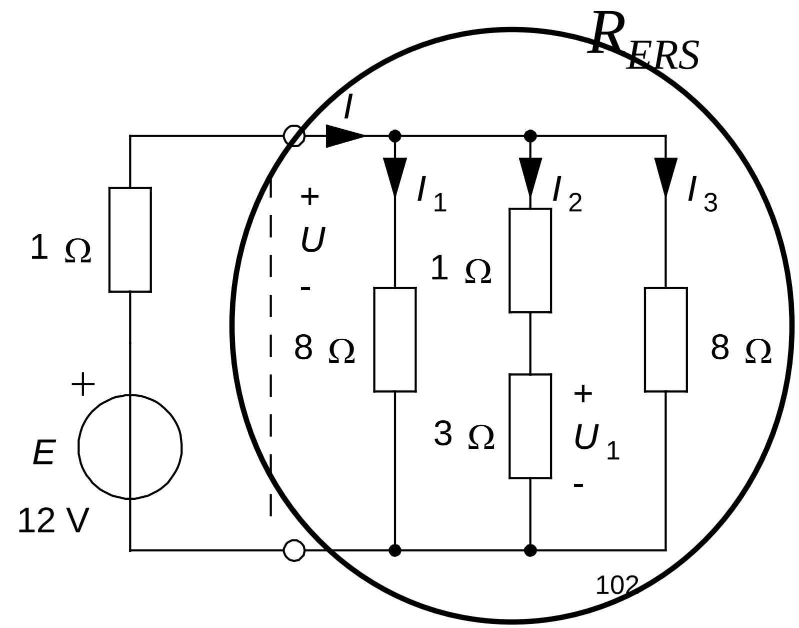
c) Beräkna de tre belastningsströmmarna I_1 I_2 och I_3 samt spänningen U_1 över 3 Ω-motståndet.

OHM's lag …



OHM's lag …

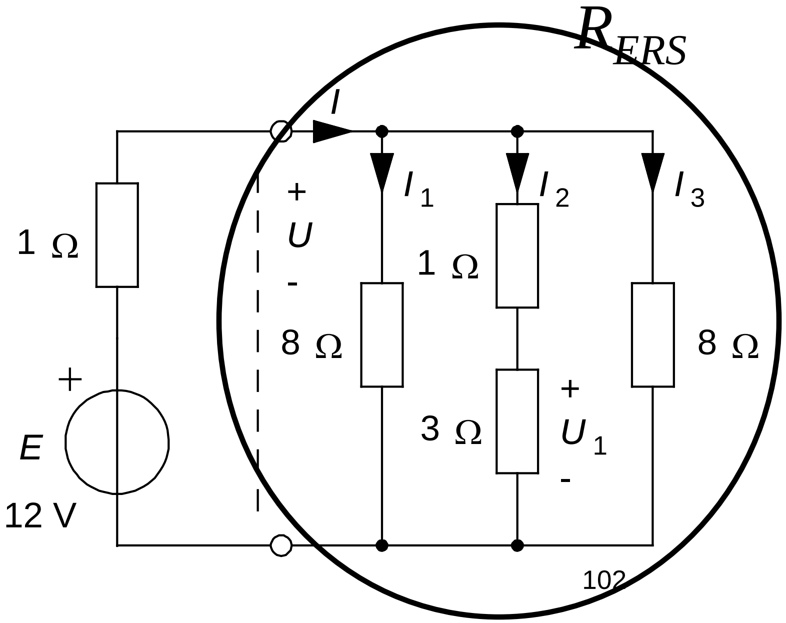
$$\frac{1}{R_{ERS}} = \frac{1}{8} + \frac{1}{1+3} + \frac{1}{8} = \frac{4}{8} \quad \Rightarrow \quad R_{ERS} = \frac{8}{4} = 2$$



OHM's lag …

$$\frac{1}{R_{ERS}} = \frac{1}{8} + \frac{1}{1+3} + \frac{1}{8} = \frac{4}{8} \quad \Rightarrow \quad R_{ERS} = \frac{8}{4} = 2$$

$$I = \frac{E}{1+R_{ERS}} = \frac{12}{1+2} = 4$$

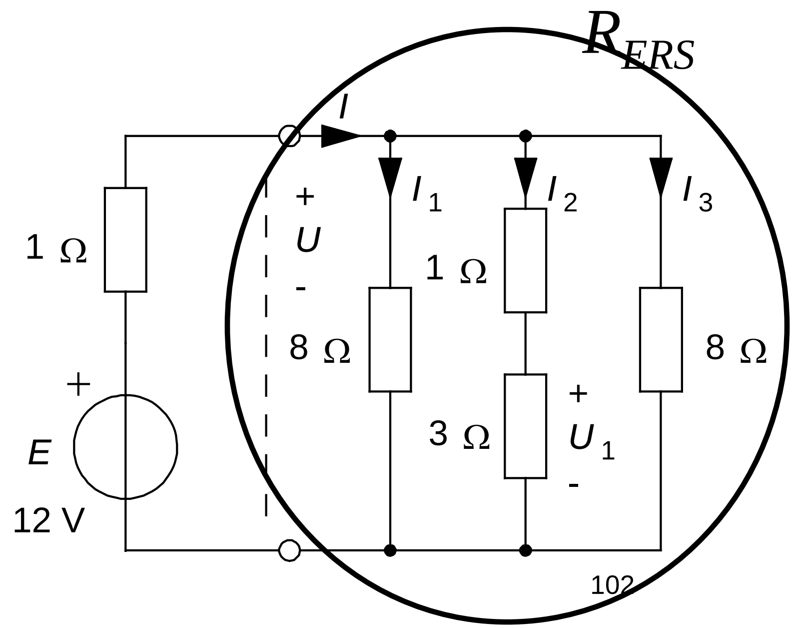


OHM's lag …

$$\frac{1}{R_{ERS}} = \frac{1}{8} + \frac{1}{1+3} + \frac{1}{8} = \frac{4}{8} \quad \Rightarrow \quad R_{ERS} = \frac{8}{4} = 2$$

$$I = \frac{E}{1+R_{ERS}} = \frac{12}{1+2} = 4$$

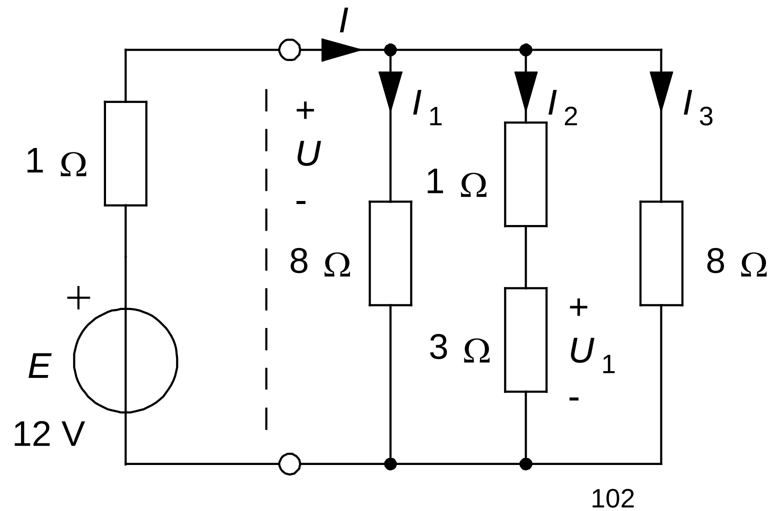
$$U = I \cdot R_{ERS} = 4 \cdot 2 = 8$$



William Sandqvist william@kth.se

OHM's lag …

$$\frac{1}{R_{ERS}} = \frac{1}{8} + \frac{1}{1+3} + \frac{1}{8} = \frac{4}{8} \quad \Rightarrow \quad R_{ERS} = \frac{8}{4} = 2$$



$$I = \frac{E}{1+R_{ERS}} = \frac{12}{1+2} = 4$$

$$U = I \cdot R_{ERS} = 4 \cdot 2 = 8$$

$$I_1 = \frac{U}{8} = \frac{8}{8} = 1$$

William Sandqvist william@kth.se

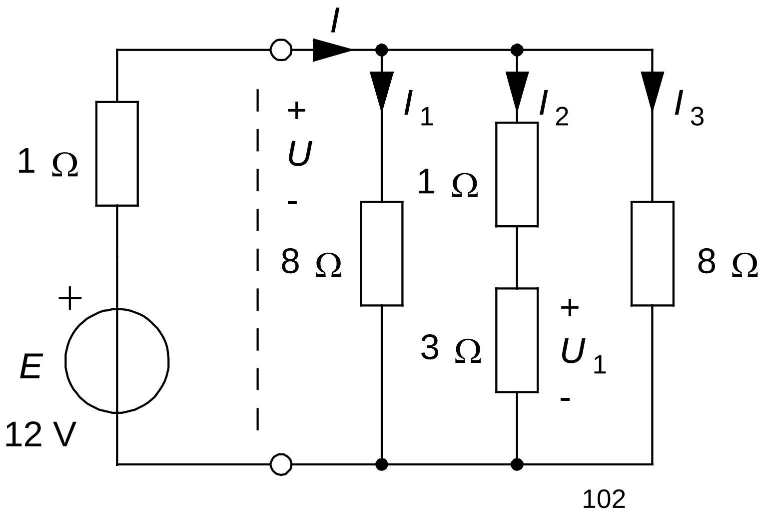
OHM's lag …

$$\frac{1}{R_{ERS}} = \frac{1}{8} + \frac{1}{1+3} + \frac{1}{8} = \frac{4}{8} \quad \Rightarrow \quad R_{ERS} = \frac{8}{4} = 2$$

$$I = \frac{E}{1+R_{ERS}} = \frac{12}{1+2} = 4$$

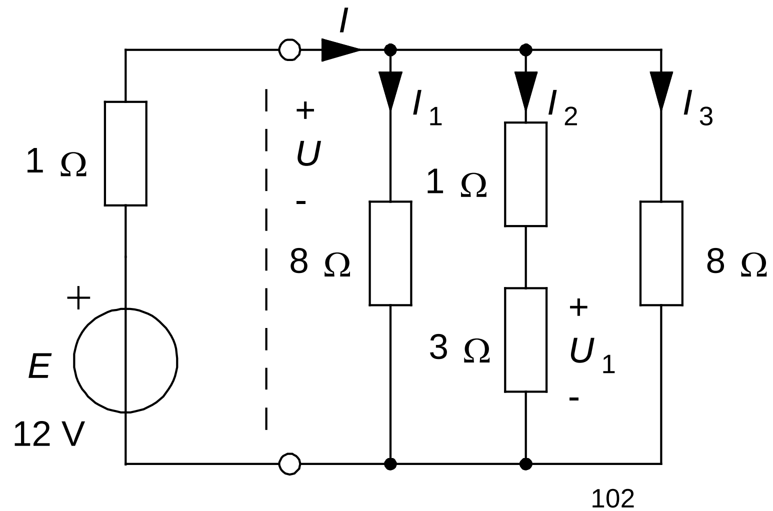
$$U = I \cdot R_{ERS} = 4 \cdot 2 = 8$$

$$I_1 = \frac{U}{8} = \frac{8}{8} = 1 \qquad I_2 = \frac{U}{1+3} = \frac{8}{1+3} = 2$$



OHM's lag …

$$\frac{1}{R_{ERS}} = \frac{1}{8} + \frac{1}{1+3} + \frac{1}{8} = \frac{4}{8} \quad \Rightarrow \quad R_{ERS} = \frac{8}{4} = 2$$



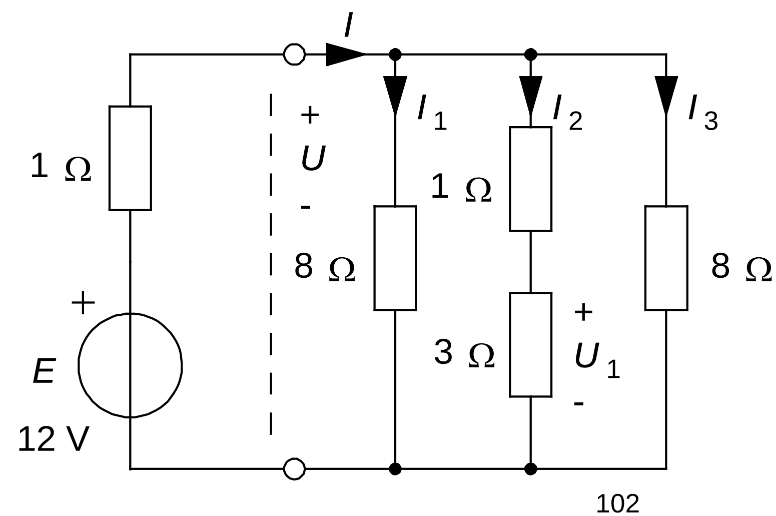
$$I = \frac{E}{1 + R_{ERS}} = \frac{12}{1+2} = 4$$

$$U = I \cdot R_{ERS} = 4 \cdot 2 = 8$$

$$I_1 = \frac{U}{8} = \frac{8}{8} = 1 \qquad I_2 = \frac{U}{1+3} = \frac{8}{1+3} = 2 \qquad I_3 = \frac{U}{8} = \frac{8}{8} = 1$$

OHM's lag …

$$\frac{1}{R_{ERS}} = \frac{1}{8} + \frac{1}{1+3} + \frac{1}{8} = \frac{4}{8} \quad \Rightarrow \quad R_{ERS} = \frac{8}{4} = 2$$



$$I = \frac{E}{1+R_{ERS}} = \frac{12}{1+2} = 4$$

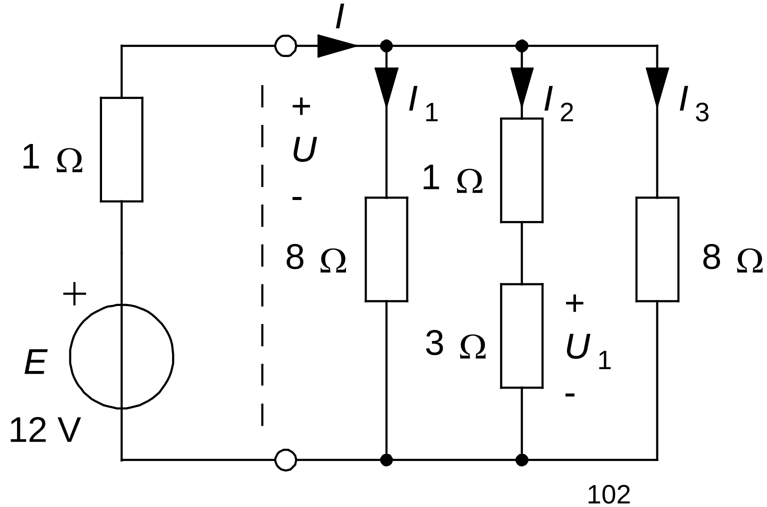
$$U = I \cdot R_{ERS} = 4 \cdot 2 = 8$$

$$I_1 = \frac{U}{8} = \frac{8}{8} = 1 \qquad I_2 = \frac{U}{1+3} = \frac{8}{1+3} = 2 \qquad I_3 = \frac{U}{8} = \frac{8}{8} = 1$$

$$U_1 = I_2 \cdot 3 = 2 \cdot 3 = 6$$

OHM’s lag …

$$\frac{1}{R_{ERS}} = \frac{1}{8} + \frac{1}{1+3} + \frac{1}{8} = \frac{4}{8} \quad \Rightarrow \quad R_{ERS} = \frac{8}{4} = 2$$



$$I = \frac{E}{1+R_{ERS}} = \frac{12}{1+2} = 4$$

$$U = I \cdot R_{ERS} = 4 \cdot 2 = 8$$

$$I_1 = \frac{U}{8} = \frac{8}{8} = 1 \qquad I_2 = \frac{U}{1+3} = \frac{8}{1+3} = 2 \qquad I_3 = \frac{U}{8} = \frac{8}{8} = 1$$

$$U_1 = I_2 \cdot 3 = 2 \cdot 3 = 6$$

OHM’s lag räckte långt!

William Sandqvist william@kth.se