



# EITF90 Ellära och elektronik

## Föreläsning 1

Mats Gustafsson

[mats.gustafsson@eit.lth.se](mailto:mats.gustafsson@eit.lth.se)  
Institutionen för elektro- och informationsteknik  
Lunds universitet

# Outline

---

- 1 **Introduktion**
- 2 **Kretsteori**
- 3 **Komponenter**
- 4 **Kirchhoffs lagar**
- 5 **Serie och parallellkoppling**

# Outline

---

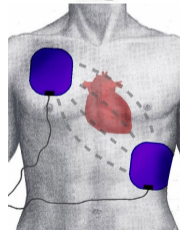
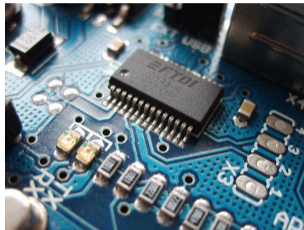
- 1 **Introduktion**
- 2 Kretsteori
- 3 Komponenter
- 4 Kirchhoffs lagar
- 5 Serie och parallellkoppling

- ▶ Vi använder zoom för föreläsningar (899965566).
  - ▶ ha mikrofonen avstängd (mute) när ni inte svarar på en fråga eller ställer en fråga.
  - ▶ ha video avstängt.
  - ▶ räck upp handen (raise hand) om du vill fråga (säga) något.
  - ▶ kan också använda chat för frågor.
  - ▶ använd inte Annotate på föreläsningarna.
- ▶ Vi använder också zoom på övningarna (636223522, 613858019, 913481181, se schema)
  - ▶ Förbered frågor.
  - ▶ Ni kan dela skärm, använda Annotate, chat och raise hand.
- ▶ Vi behöver hjälpas åt för att få kursen att fungera.
  - ▶ Meddela mig (epost eller chat) om fel (typos) och saker som kan förbättras i föreläsningarna.
  - ▶ Prata med övningsledarna.
  - ▶ Återkoppla gärna genom era kursrepresentanter om vad vi kan förbättra.

# Varför ska ni läsa den här kursen?

---

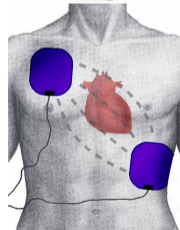
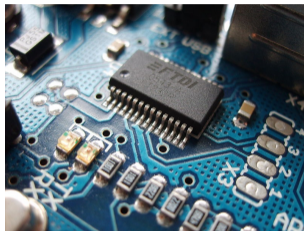
- ▶ Ellära är grunden för många fenomen och tillämpningar.
- ▶ Elektronik finns i så gott som alla tekniska system.
- ▶ Världsomfattande industri, stor arbetsmarknad.



# Varför ska ni läsa den här kursen?

---

- ▶ Ellära är grunden för många fenomen och tillämpningar.
- ▶ Elektronik finns i så gott som alla tekniska system.
- ▶ Världsomfattande industri, stor arbetsmarknad.
- ▶ Spännande och roligt!

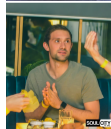
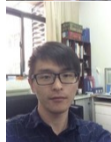


# Kursfakta

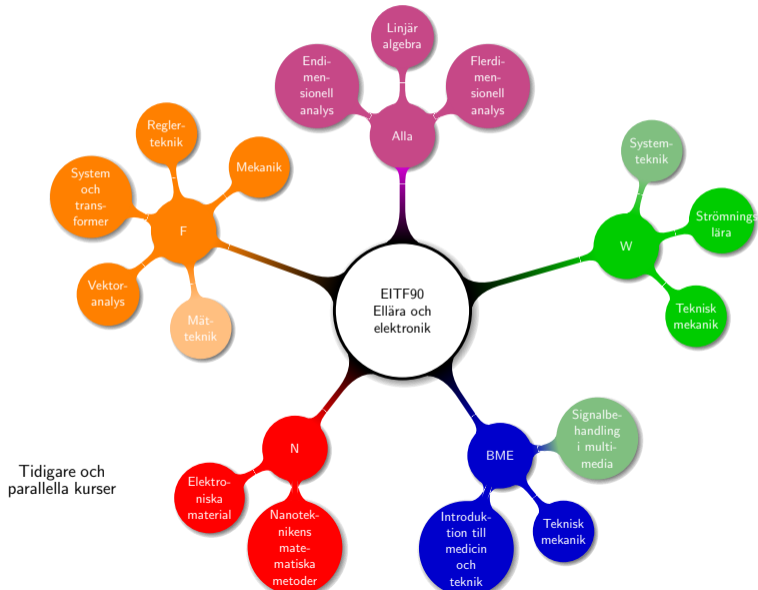
---

- ▶ Obligatorisk kurs för F2, N2, BME2, alternativobligatorisk W3
- ▶ Huvudsakligen uppbyggd kring föreläsningar (Mats Gustafsson zoom:899965566) och övningar (Niklas Wingren 913481181, Zhongyunshen Zhu 636223522, Ben Nel 613858019). Ni kan välja vilka övningar ni vill delta i men försök fördela er jämnt mellan passen.
- ▶ Elektroniska frågeformulär (mer på onsdag)
- ▶ Frivilliga laborationer (första är inställd)
- ▶ Tentamen (mer information senare)

All information finns samlad i det utdelade kursprogrammet, samt på hemsidan <http://www.eit.lth.se/kurs/eitf90>.



# Kopplingar till andra kurser för olika program

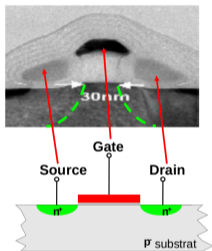




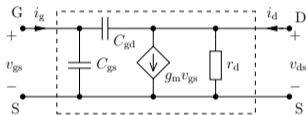
# Kopplingar till andra kurser för olika program



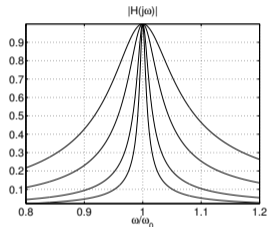
# Kursens delar och mål



Fysisk komponent



Kretsmodell



Systemegenskaper

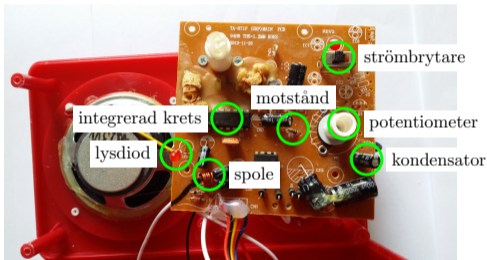
Ni ska kunna ta er från fysiska komponenter, via kretsmodeller, till att erhålla systemegenskaper som förstärkning.

## Exempel på konsumentelektronik

En typisk billig radio, ca 100 kr. Zooma in på den högra bilden nedan för att se närmare.



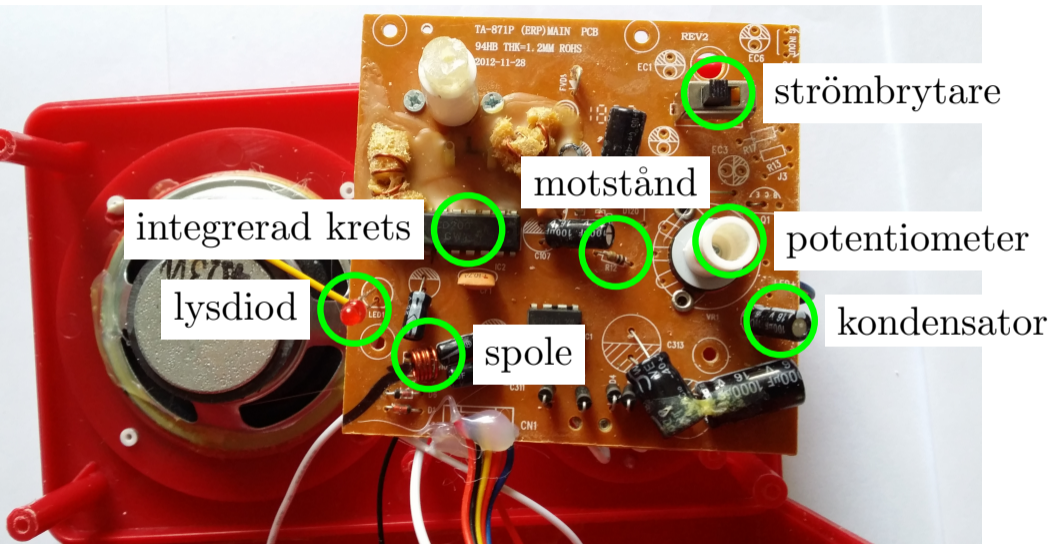
Utsida



Insida

En del komponenter är enkla att identifiera. En integrerad krets kan oftast bara förstås med hjälp av ett datablad.

# Exempel på konsumentelektronik



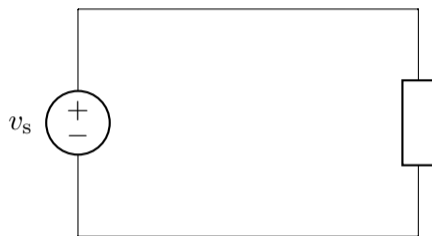
# Outline

---

- 1 Introduktion
- 2 Kretsteori**
- 3 Komponenter
- 4 Kirchhoffs lagar
- 5 Serie och parallellkoppling

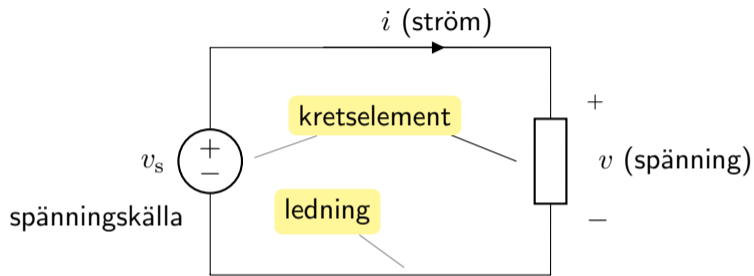
# Kretsteori den (matematiska) teorin för kretsar

---



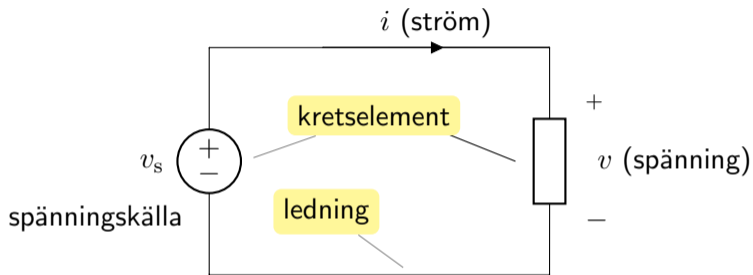
# Kretsteori den (matematiska) teorin för kretsar

---



# Kretsteori den (matematiska) teorin för kretsar

---



## Grundläggande (mätbara) storheter

- ▶ ström  $i$
- ▶ spänning  $v$
- ▶ effekt  $p$

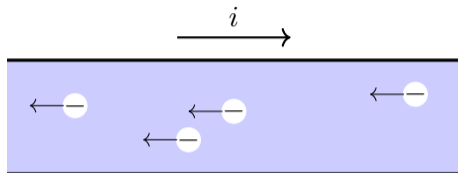


## Ström $i$ och strömtäthet $\mathbf{J}$ (1.3)

---

## Ström $i$ och strömtäthet $\mathbf{J}$ (1.3)

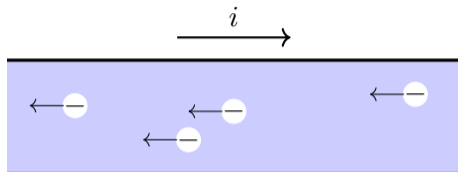
- ▶ Ström  $i$  är laddning per tidsenhet.
- ▶ På tiden  $dt$  passerar en nettoladdning  $dq$  genom ett tvärsnitt vilket ger  $i = \frac{dq}{dt}$ .
- ▶ Enheten A (Ampère).



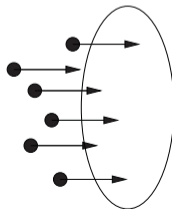
elektroner med laddning  
 $q \approx -1.6 \cdot 10^{-19}$  As och medelhastighet  
 $\approx 10^{-6}$  till  $10^{-3}$  m/s.

## Ström $i$ och strömtäthet $\mathbf{J}$ (1.3)

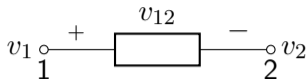
- ▶ Ström  $i$  är laddning per tidsenhet.
- ▶ På tiden  $dt$  passerar en nettoladdning  $dq$  genom ett tvärsnitt vilket ger  $i = \frac{dq}{dt}$ .
- ▶ Enheten A (Ampère).
- ▶ Strömtäthet  $\mathbf{J}$  beskriver laddningar i rörelse (laddning  $q_p$  och hastighet  $\mathbf{v}_p$ )
- ▶  $i = \int_S \mathbf{J} \cdot \mathbf{e}_n dS$ , där  $\mathbf{J}$  är strömtätheten och  $S$  tvärsnittsytan med ytnormal  $\mathbf{e}_n$
- ▶ Enhet  $C/s/m^2 = A/m^2$



elektroner med laddning  
 $q \approx -1.6 \cdot 10^{-19}$  As och medelhastighet  
 $\approx 10^{-6}$  till  $10^{-3}$  m/s.



## Spänning $v$ och elektriskt fält $E$



- ▶ Spänning (potentialskillnad från + till -)
- ▶ Då en laddning  $q$  flyttas från anslutning 1 till anslutning 2 ändras dess energi med  $q(v_1 - v_2) = qv_{12}$ .
- ▶ Energin övergår i värme (spis, glödlampa)
- ▶ Enhet V (Volt).
- ▶ Använder  $v$  för spänning (ofta också vanligt med  $u$ ).
- ▶ Elektriskt fält  $E$  defineras av kraften på en testladdning

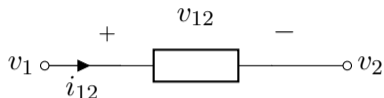
$$\mathbf{F}_q = q\mathbf{E} \Rightarrow \mathbf{E} = \lim_{q \rightarrow 0} \frac{\mathbf{F}_q}{q}$$

- ▶ Enhet V/m.
- ▶ Elektrostatiska fält  $\mathbf{E} = -\nabla v$  kan representeras med en potential  $v$ . Elektrisk potential svarar mot den potentiella energin för laddning.

## Effekt — energi per tidsenhet

---

Effekt är den energi per tidsenhet som utvecklas i en komponent.



På tiden  $dt$  passerar laddningen  $dq = i_{12} dt$  från 1 till 2.

Energiskillnad:  $dW = (v_1 - v_2) dq = v_{12} i_{12} dt$

Effekt:  $p = \frac{dW}{dt} = v_{12} i_{12}$

Enheten för effekt är W (Watt).

**Obs!** Referensriktning för ström och spänning måste samordnas.

$$p = v_{12} i_{12} = -v_{12} i_{21}$$

# Outline

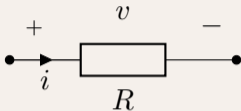
---

- 1 Introduktion
- 2 Kretsteori
- 3 Komponenter**
- 4 Kirchhoffs lagar
- 5 Serie och parallellkoppling

# Ohms lag (1.5)

## Ohms lag (resistans)

$$v = Ri$$



För fälten  $\mathbf{J} = \sigma \mathbf{E} = \mathbf{E}/\rho$  där  $\sigma$  är ledningsförmågan och  $\rho$  resistiviteten för materialet.

Lång rak ledare (längd  $\ell$  och tvärsnittsytta  $A$ )

$$R = \frac{\ell}{\sigma A} = \frac{\rho \ell}{A}$$



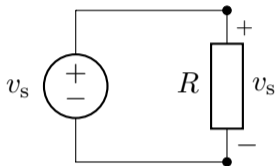
Georg Simon Ohm 1789-1854

Exempel för några material:

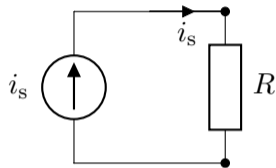
	$\sigma$	$\rho$	klassificering
koppar	$5.8 \cdot 10^7 \text{ S/m}$	$1.7 \cdot 10^{-8} \Omega\text{m}$	ledare
kisel	$4.3 \cdot 10^4 \text{ S/m}$	$2.3 \cdot 10^3 \Omega\text{m}$	halvledare
glas	$1.0 \cdot 10^{-12} \text{ S/m}$	$1.0 \cdot 10^{12} \Omega\text{m}$	isolator

## Spännings- och strömkällor

En ideal spänningskälla ger spänningen  $v_s$   
oavsett belastning



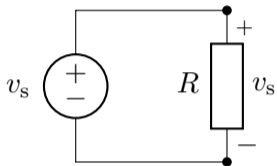
En ideal strömkälla ger strömmen  $i_s$   
oavsett belastning



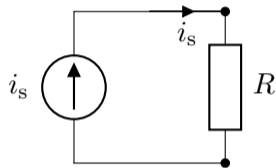


## Spännings- och strömkällor

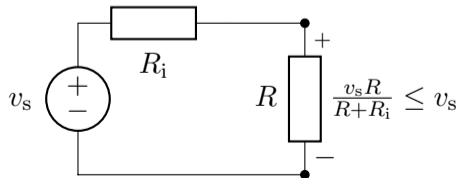
En ideal spänningskälla ger spänningen  $v_s$   
oavsett belastning



En ideal strömkälla ger strömmen  $i_s$   
oavsett belastning

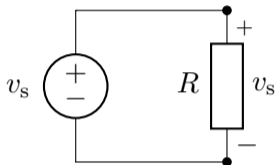


En verklig spänningskälla har en inre  
resistans  $R_i$

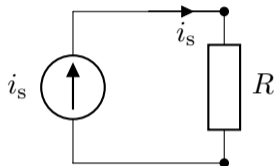


# Spännings- och strömkällor

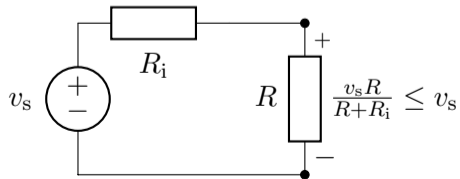
En ideal spänningskälla ger spänningen  $v_s$  oavsett belastning



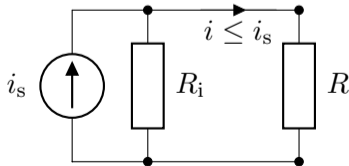
En ideal strömkälla ger strömmen  $i_s$  oavsett belastning



En verklig spänningskälla har en inre resistans  $R_i$

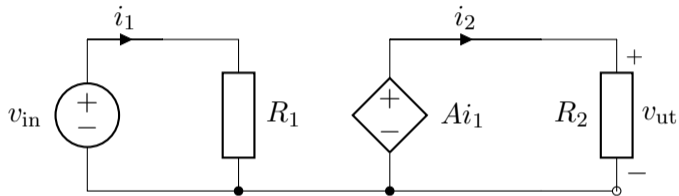


En verklig strömkälla har en inre resistans  $R_i$



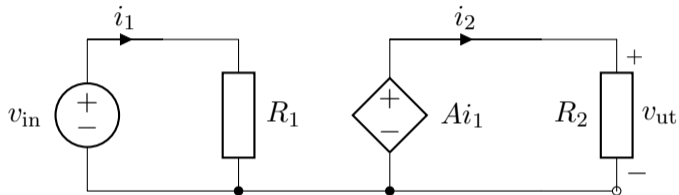
## Styrda källor: exempel

Styrda källor ingår i modeller för transistorer och förstärkare. Exempel med en strömstyrd spänningskälla



## Styrda källor: exempel

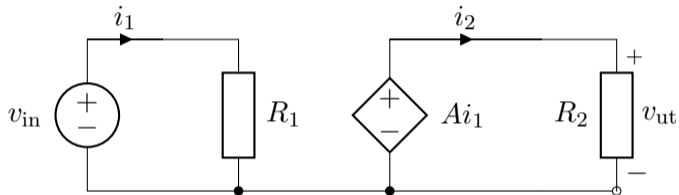
Styrda källor ingår i modeller för transistorer och förstärkare. Exempel med en strömstyrd spänningskälla



Den strömstyrda spänningskällan ger spänningen  $Ai_1$  där  $i_1$  är strömmen i den vänstra delen av kretsen. Bestäm  $i_2$ .

## Styrda källor: exempel


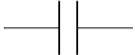

Styrda källor ingår i modeller för transistorer och förstärkare. Exempel med en strömstyrd spänningskälla


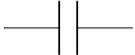


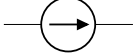



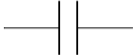





Den strömstyrda spänningskällan ger spänningen  $Ai_1$  där  $i_1$  är strömmen i den vänstra delen av kretsen. Bestäm  $i_2$ .

$$i_2 \stackrel{\text{Ohm}}{=} \frac{v_{ut}}{R_2} \stackrel{\text{styrd}}{=} \frac{Ai_1}{R_2} \stackrel{\text{Ohm}}{=} \frac{Av_{in}}{R_1 R_2}$$

där vi använt att  $i_1 = v_{in}/R_1$  i den vänstra delen.

Namn	Symbol	Konstitutiv relation	Kommentar
Resistans		$v = Ri$	$[R] = \Omega$ (Ohm)
Kapacitans		$i = C \frac{dv}{dt}$	$[C] = F$ (Farad)
Induktans		$v = L \frac{di}{dt}$	$[L] = H$ (Henry)

Namn	Symbol	Konstitutiv relation	Kommentar
Resistans		$v = Ri$	$[R] = \Omega$ (Ohm)
Kapacitans		$i = C \frac{dv}{dt}$	$[C] = F$ (Farad)
Induktans		$v = L \frac{di}{dt}$	$[L] = H$ (Henry)
Spänningskälla		$v = v_0$	(oberoende av $i$ )
Strömkälla		$i = i_0$	(oberoende av $v$ )

Namn	Symbol	Konstitutiv relation	Kommentar
Resistans		$v = Ri$	$[R] = \Omega$ (Ohm)
Kapacitans		$i = C \frac{dv}{dt}$	$[C] = F$ (Farad)
Induktans		$v = L \frac{di}{dt}$	$[L] = H$ (Henry)
Spänningskälla		$v = v_0$	(oberoende av $i$ )
Strömkälla		$i = i_0$	(oberoende av $v$ )
Styrd spänningskälla		$v = f()$	$f()$ beror på annan del av kretsen)
Styrd strömkälla		$i = g()$	$g()$ beror på annan del av kretsen)



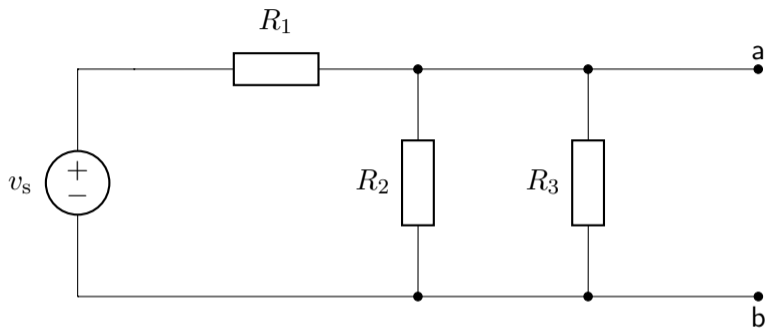
# Outline

---

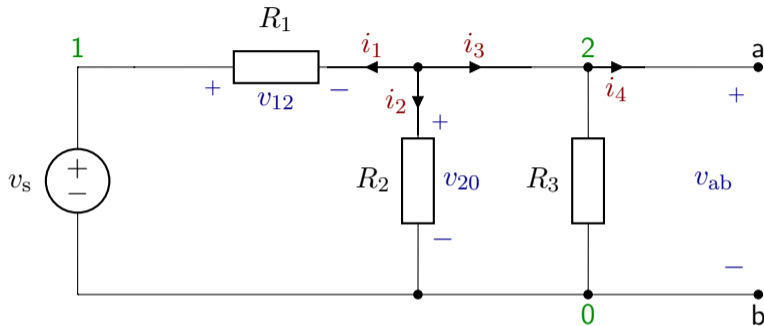
- 1 Introduktion
- 2 Kretsteori
- 3 Komponenter
- 4 Kirchhoffs lagar**
- 5 Serie och parallellkoppling

## Kirchhoffs lagar (1.4)

---



## Kirchhoffs lagar (1.4)



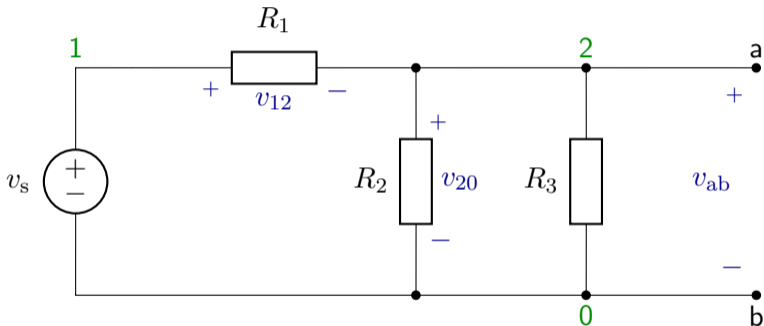
### Inför

- ▶ noder 0, 1, 2, ..
- ▶ spänningar  $v_{12}, v_{20}, v_{ab}, \dots$  mellan noderna (över kretselementen)
- ▶ strömmar  $i_1, i_2, i_3, \dots$  i ledningarna

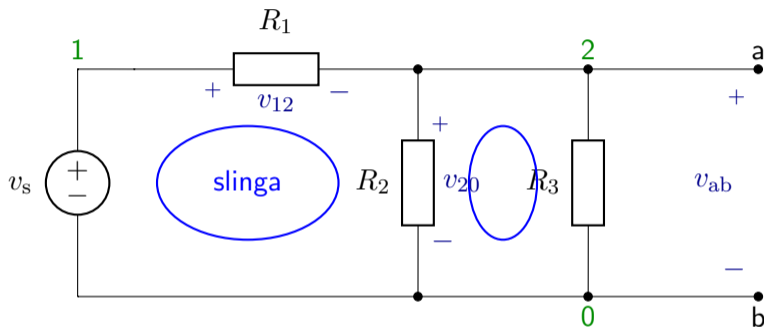
Vad vet vi om spänningarna och strömmarna?

## Kirchhoffs spenningslag (KVL)

---



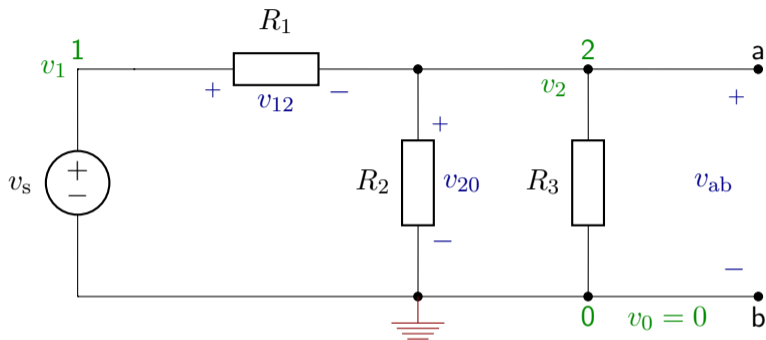
## Kirchhoffs spänningslag (KVL)



Den totala spänningsvariationen i en sluten slinga är noll

- ▶  $0 = v_s - v_{12} - v_{20}$
- ▶  $0 = v_{20} - v_{ab} \Rightarrow v_{20} = v_{ab}$

## Kirchhoffs spänningslag (KVL) och potential

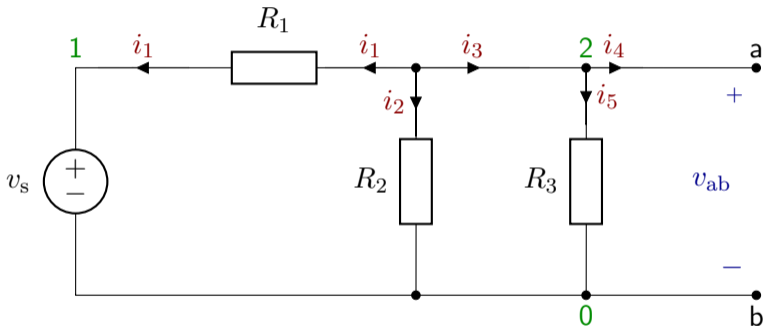


Potentialen i en nod ges av spänningsdifferensen till jord

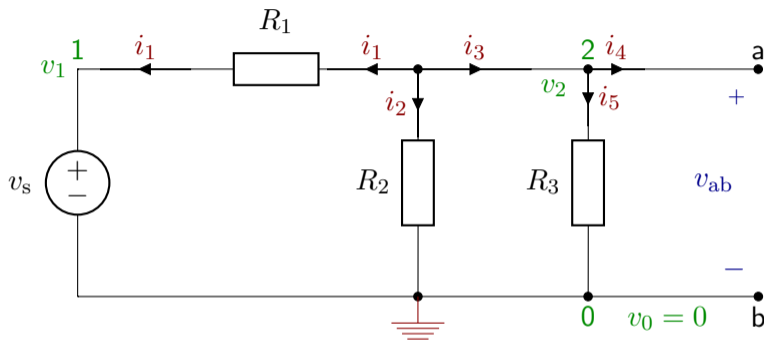
- ▶ nod 0:  $v_0 = 0$  jord är en referensnod med potential noll
- ▶ nod 1:  $v_1 = v_s = v_{20} + v_{12}$
- ▶ nod 2:  $v_2 = v_s - v_{12} = v_{20} = v_{ab}$

KVL garanterar att det existerar en potential.

# Kirchhoffs strömlag (KCL)



## Kirchhoffs strömlag (KCL)

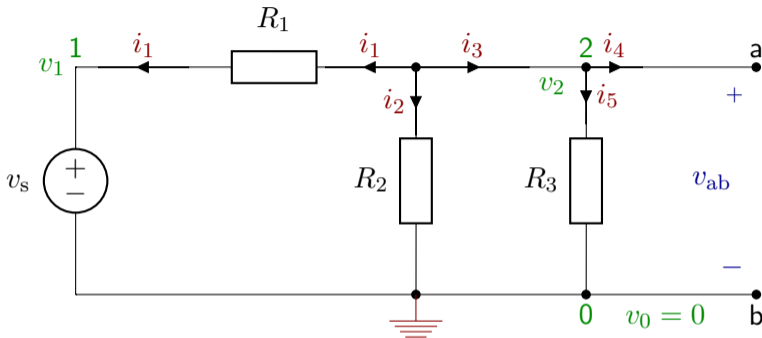


Den totala strömmen ut från en nod är noll

- ▶ nod 2:  $i_1 + i_2 + i_3 = 0$
- ▶ nod 2:  $-i_3 + i_4 + i_5 = 0$  eller  $i_4 + i_5 = i_3$
- ▶ nod a:  $i_4 = 0$
- ▶ nod 2:  $i_1 + i_2 + i_5 = 0$  (samma nod. Kan också använda en sluten yta)



## Kirchhoffs strömlag (KCL) uttryckt i nodpotentialer



Uttryck strömmarna i nodpotentialer för att få en ekvation

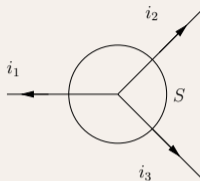
- ▶  $i_1 = (v_2 - v_s)/R_1$ ,  $i_2 = (v_2 - 0)/R_2$  och  $i_5 = (v_2 - 0)/R_3$
- ▶ KCL på nod 2:  $i_1 + i_2 + i_5 = 0$  vilket ger en ekvation för att bestämma  $v_2$

$$\frac{v_2 - v_s}{R_1} + \frac{v_2 - 0}{R_2} + \frac{v_2 - 0}{R_2} = 0 \Rightarrow v_2 = \frac{v_s/R_1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}}$$

# Kirchhoffs kretslagar

Kirchhoffs strömlag (KCL)  $\nabla \cdot \mathbf{J} = 0$

$$0 = \oint_S \mathbf{J} \cdot \mathbf{e}_n dS = i_1 + i_2 + i_3$$

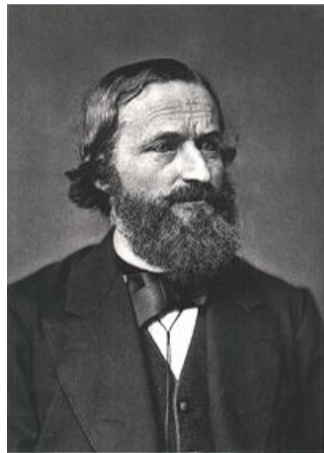
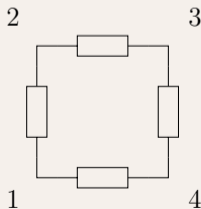


Kirchhoffs spänningslag (KVL)  $\nabla \times \mathbf{E} = 0$

$$0 = \oint_C \mathbf{E} \cdot d\mathbf{r} = - \oint_C \nabla v \cdot d\mathbf{r}$$

eller

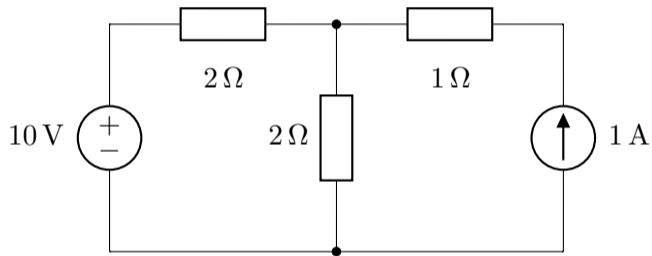
$$0 = v_{12} + v_{23} + v_{34} + v_{41}$$



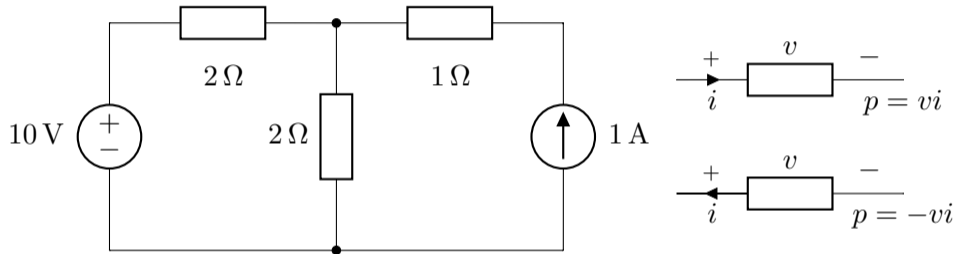
Gustav Robert Kirchhoff 1824-1887

## Ex: Bestäm effektutvecklingen i komponenterna

---

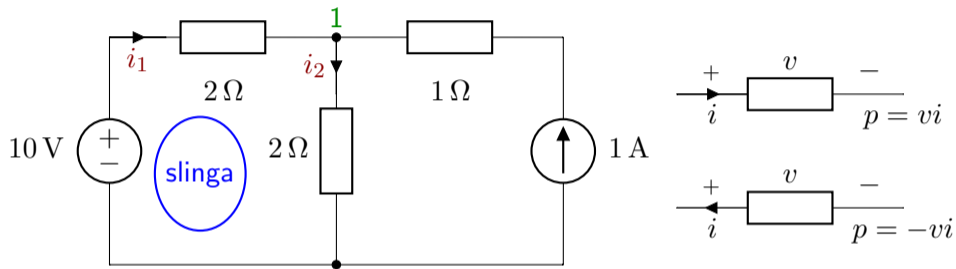


## Ex: Bestäm effektutvecklingen i komponenterna



Effektutvecklingen  $p$  i en komponent ges av  $p = vi$  så vi börjar med att bestämma ström och spänning för alla komponenter.

## Ex: Bestäm effektutvecklingen i komponenterna

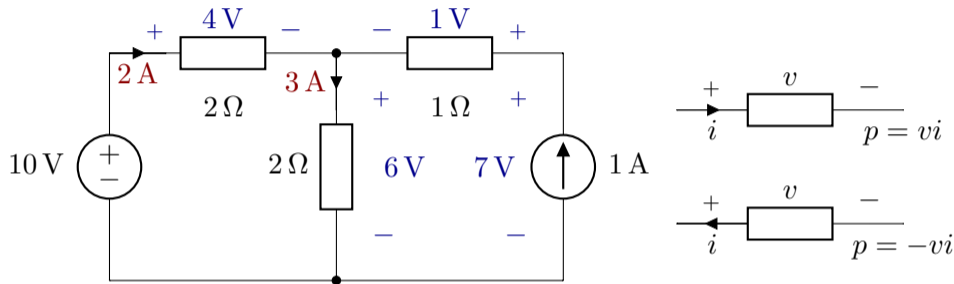


KCL på nod 1:  $-i_1 + i_2 - 1 \text{ A} = 0$  ( $i_2 = i_1 + 1 \text{ A}$ ) och KVL på vänstra slingan ger

$$10 \text{ V} - i_1 2 \Omega - (i_1 + 1 \text{ A}) 2 \Omega = 0 \Rightarrow i_1 = 2 \text{ A} \quad \text{och} \quad i_2 = 3 \text{ A}$$

Ohms lag ger också spänningarna över motstånden.

## Ex: Bestäm effektutvecklingen i komponenterna

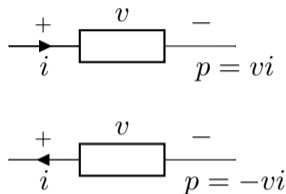
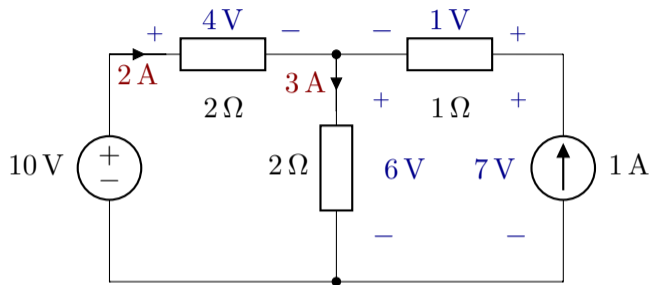


KCL på nod 1:  $-i_1 + i_2 - 1 \text{ A} = 0$  ( $i_2 = i_1 + 1 \text{ A}$ ) och KVL på vänstra slingan ger

$$10 \text{ V} - i_1 2 \Omega - (i_1 + 1 \text{ A}) 2 \Omega = 0 \Rightarrow i_1 = 2 \text{ A} \quad \text{och} \quad i_2 = 3 \text{ A}$$

Ohms lag ger också spänningarna över motstånden.

## Ex: Bestäm effektutvecklingen i komponenterna



- ▶  $p_{2\Omega} = 4 \cdot 2 \text{ W} = 8 \text{ W} > 0$  absorberar effekt (passive)
- ▶  $p_{2\Omega} = 6 \cdot 3 \text{ W} = 18 \text{ W} > 0$  absorberar effekt (passive)
- ▶  $p_{1\Omega} = 1 \cdot 1 \text{ W} = 1 \text{ W} > 0$  absorberar effekt (passive)
- ▶  $p_{10\text{V}} = -10 \cdot 2 \text{ W} = -20 \text{ W} < 0$  avger effekt (aktiv)
- ▶  $p_{1\text{A}} = -7 \cdot 1 \text{ W} = -7 \text{ W} < 0$  avger effekt (aktiv)

Totalt  $(8 + 18 + 1 - 20 - 7) \text{ W} = 0 \text{ W}$  (effektbevaring)

# Outline

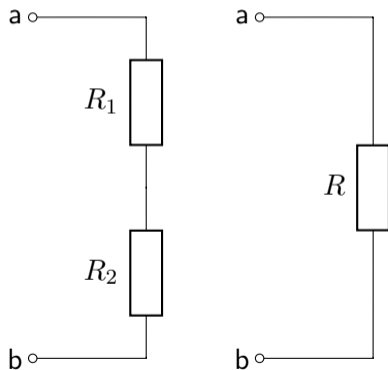
---

- 1 Introduktion
- 2 Kretsteori
- 3 Komponenter
- 4 Kirchhoffs lagar
- 5 Serie och parallellkoppling**



## Seriekoppling av resistanser (2.1)

Bestäm ersättningsresistansen  $R$  så att kretsarna är ekvivalenta om man mäter ström och spänning i nodparet  $ab$ :



## Seriekoppling av resistanser (2.1)

Bestäm ersättningsresistansen  $R$  så att kretsarna är ekvivalenta om man mäter ström och spänning i nodparet ab:

- Använd KVL och Ohms lag på första kretsen

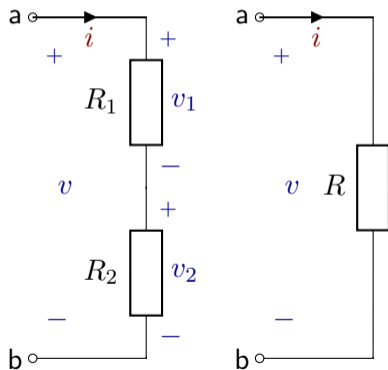
$$v \stackrel{\text{KVL}}{=} v_1 + v_2 \stackrel{\text{Ohm}}{=} iR_1 + iR_2 = i(R_1 + R_2)$$

- Ohms lag på andra kretsen

$$v \stackrel{\text{Ohm}}{=} iR$$

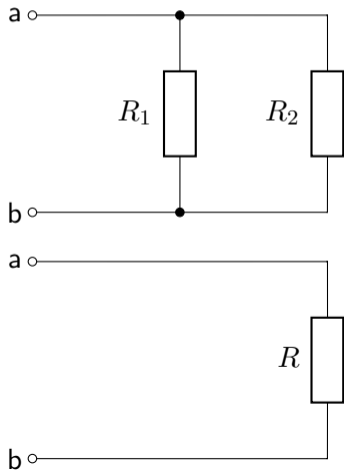
- Seriekoppling

$$R = R_1 + R_2$$



## Parallellkoppling av resistanser (2.2)

Bestäm ersättningsresistansen  $R$  så att kretsarna är ekvivalenta om man mäter ström och spänning i nodparet ab:



## Parallellkoppling av resistanser (2.2)

Bestäm ersättningsresistansen  $R$  så att kretsarna är ekvivalenta om man mäter ström och spänning i nodparet ab:

- Använd KCL och Ohms lag på första kretsen

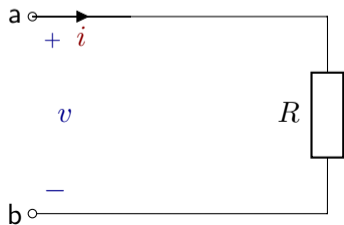
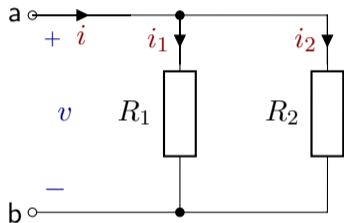
$$i \stackrel{\text{KCL}}{=} i_1 + i_2 \stackrel{\text{Ohm}}{=} \frac{v}{R_1} + \frac{v}{R_2} = v \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

- Ohms lag på andra kretsen

$$i \stackrel{\text{Ohm}}{=} v/R$$

- Parallellkoppling

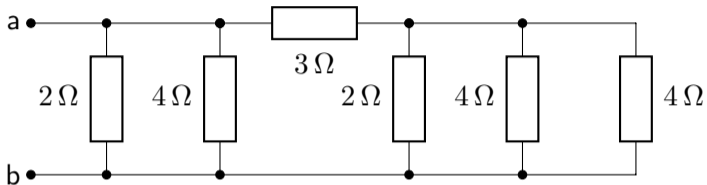
$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \Rightarrow R = R_1 \parallel R_2 = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$



# Ersättningsresistans, $R_{ab}$

Använd serie och parallellkopplingar för att förenkla kretsen

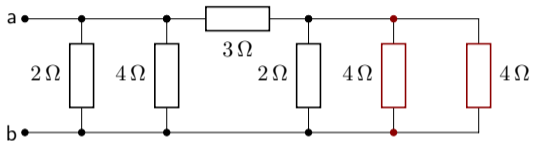
---



# Ersättningsresistans, $R_{ab}$

Använd serie och parallellkopplingar för att förenkla kretsen

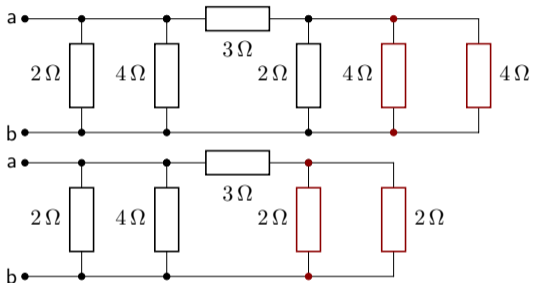
---



$$4\ \Omega \parallel 4\ \Omega = \frac{4 \cdot 4}{4+4}\ \Omega = 2\ \Omega$$

# Ersättningsresistans, $R_{ab}$

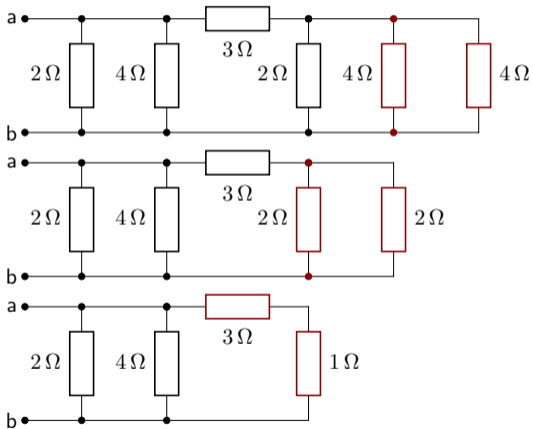
Använd serie och parallellkopplingar för att förenkla kretsen



$$2\Omega \parallel 2\Omega = \frac{2 \cdot 2}{2+2} \Omega = 1\Omega$$

# Ersättningsresistans, $R_{ab}$

Använd serie och parallellkopplingar för att förenkla kretsen

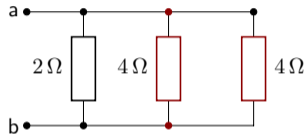
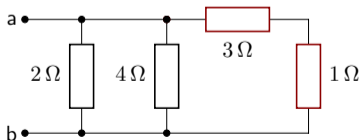
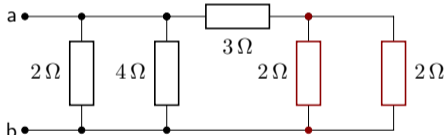
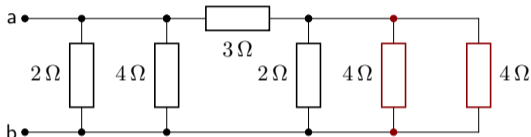


$$3\Omega + 1\Omega = 4\Omega$$



# Ersättningsresistans, $R_{ab}$

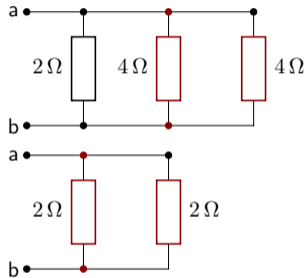
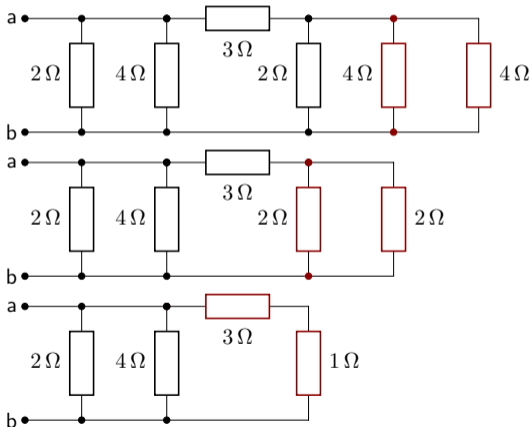
Använd serie och parallellkopplingar för att förenkla kretsen



$$4\Omega \parallel 4\Omega = \frac{4 \cdot 4}{4+4} \Omega = 2\Omega$$

# Ersättningsresistans, $R_{ab}$

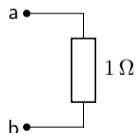
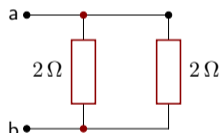
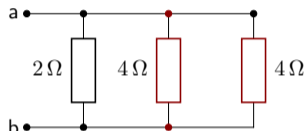
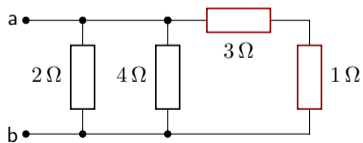
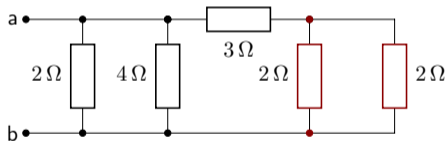
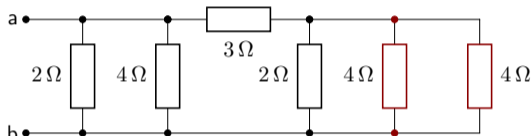
Använd serie och parallellkopplingar för att förenkla kretsen



$$2\Omega \parallel 2\Omega = \frac{2 \cdot 2}{2+2} \Omega = 1\Omega$$

# Ersättningsresistans, $R_{ab}$

Använd serie och parallellkopplingar för att förenkla kretsen



$$R_{ab} = 1\Omega$$

## Sammanfattning och nästa föreläsning

---

- ▶ Kursöversikt, mer om quiz och examination på nästa föreläsning.
- ▶ Grundläggande storheter: ström, spänning, effekt (1.1-1.3).
- ▶ Kirchhoffs lagar (KVL, KCL) (1.4)
- ▶ Kretselement (1.5)
- ▶ Serie och parallellkoppling (2.1-2.2)
- ▶ Övningar på zoom i eftermiddag och i morgon, se schema för zoom id (636223522, 613858019, 913481181).
- ▶ Nästa föreläsning (zoom 899965566) resistiva kretsar, nodanalys och tvåpolsekvivalenter, läs kursboken 2.3-2.6.