



Aalto-yliopisto
Sähkötekniikan
korkeakoulu

Sähkötekniikka ja elektroniikka

Kimmo Silvonen (X)

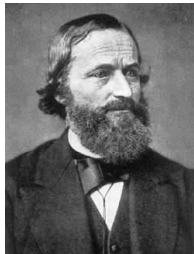
16.9.2020

Piiriteoria *Circuit Theory*. Työkalut *Tools*

Luento 16.9.2020

Oppikirja: *Elektroniikka ja sähkötekniikka*, Gaudeamus, 2018.
Tämän viikon teoria on yleispätevää eikä rajoitu DC-analyysiin!

- ▶ Virta, jännite, teho (I, U, P)
- ▶ Merkintätavat
- ▶ Kirchhoffin lait GRK (*Kustu*) →
- ▶ Yhtälöiden kirjoittaminen
- ▶ Komponentit: R, G, E, J
- ▶ $u = f(i), i = f(u)$
- ▶ **Tarvitset näitä tietoja jatkossa!**



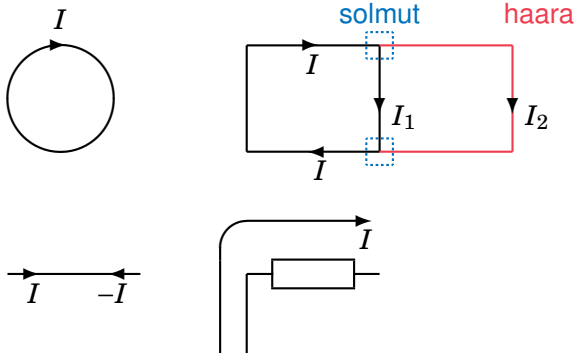
Kaikkien tuntemia väitteitä, joissa päättely mättää

vrt. "Talvella on lunta, koska joulupukki käyttää rekeä!"

- ▶ Virta kulkee plussasta miinukseen, paitsi jännitelähteissä miinuksesta plussaan. VÄÄRÄ YLEISTYS!
- ▶ Sähkötekniikan perustana on Ohmin laki. EIKÄ OLE!
- ▶ Virta on $\frac{E}{R}$. Tämä on AINA VÄÄRIN!
- ▶ Virtalähteen jännite on nolla. ONKO LITRAN MASSA NOLLA?
- ▶ Laskenpa ensiksi kokonaisresistanssin. TYPERÄÄ!
- ▶ Jännitelähteessä jännite on virran suuntainen. VÄÄRIN!
- ▶ Tasavirta ei kulje kondensaattorin läpi. VÄÄRIN!
- ▶ Muuntaja ei toimi tasavirralla. VÄÄRIN! (ei toimi vakiovirralla)
- ▶ Olen oppinut nämä asiat — jos en vielä äidinmaidossa — niin ainakin lukiossa. Aivan OIKEIN, juuri näinhän *sinä* olet nämä asiat *oppinut!*

Virta I kulkee suljetussa virtapiirissä!

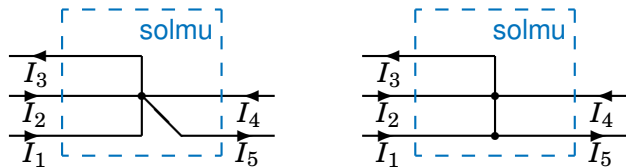
Kokonais(summa)virta I jakaantuu haaravirroiksi I_1 ja I_2 :



Virtalaki Kirchhoff's Current Law

Letkuissa suhisee

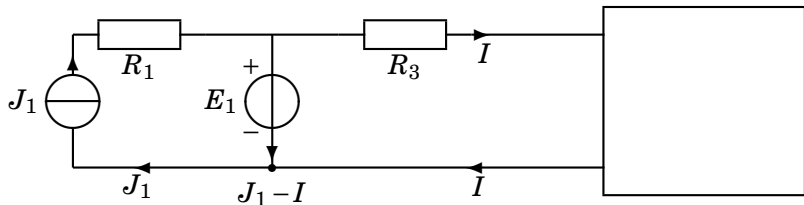
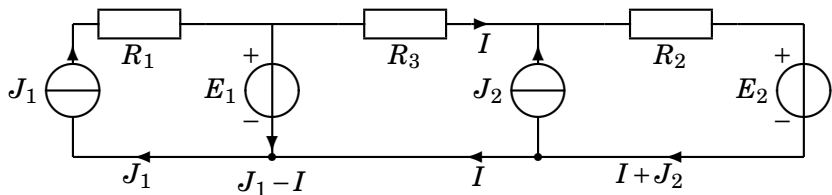
KCL



$$I_1 + I_2 + I_4 = I_3 + I_5$$

"Kirchhoffin virtalaki on kuin raikulipojan pankkitili, kaikki mikä tulee se myös menee!" [lähde: opiskelijapalaute]

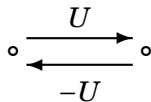
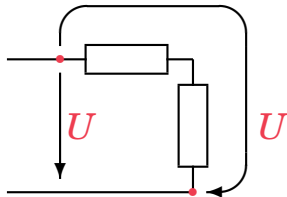
Virtalaki käytännössä



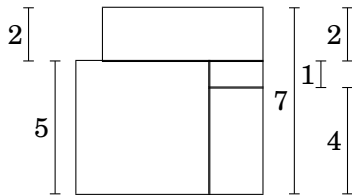
Jännite U kahden johtimen välillä!

Huomaa nuolen päätepisteet (siis ne johtimet, joihin nuoli liittyy)!

Jännite on kuin korkeusero!



Korkeusero mitataan mittanauhalla



Ompelun Ihanuus

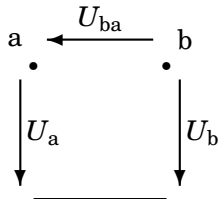
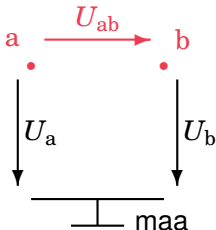
Potentiaaliero

Jännite eli potentiaaliero on verrattavissa korkeuseroon, joka mitataan mittanauhalla!

Oletko ymmärtänyt jännitteen käsitteen väärin? Veikkaan, että olet! Jännite ei mene mistään läpi, vaan vaikuttaa kahden mittauspisteen välillä!

$$U_{ab} = U_a - U_b = V_a - V_b$$

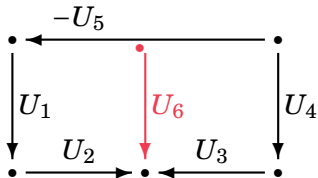
$$U_{ab} = -U_{ba}$$



Jännitelaki Kirchhoff's voltage law

Rengasmatka voi kulkea mitä tahansa reittiä!

KJL



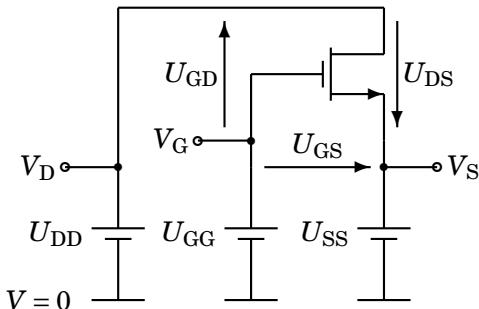
$$-U_1 - (-U_5) + U_4 + U_3 - U_2 = 0$$



Kuvassa oleva "huononäköinen serkkumme" aikoo opetella tämän, entä sinä? Yhtälö ei riipu siitä, mitä solmuihin on kytketty!

Jännite U_{ab} on potentiaaliero johtimien a ja b välillä

Potentiaali (vrt. korkeus) on jännite tarkastelupisteen ja sovitun vertailupisteen ($V = 0$) välillä. Huomaa kirjainten järjestys! (D=Drain, G=Gate, S=Source)



$$U_{DD} = V_D - 0$$

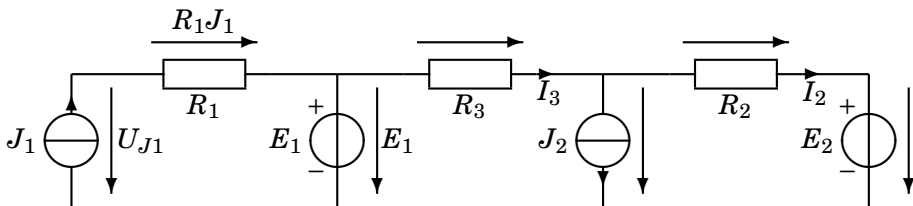
$$U_{GG} = V_G - 0$$

$$U_{SS} = V_S - 0$$

$$U_{GS} = V_G - V_S = U_{GG} - U_{SS}$$

Jännitelaki käytännössä

Tämä ratkaisee, pääsetkö kurssista läpi



$$-E_1 + R_3 I_3 + R_2 I_2 + E_2 = 0$$

Pääset!

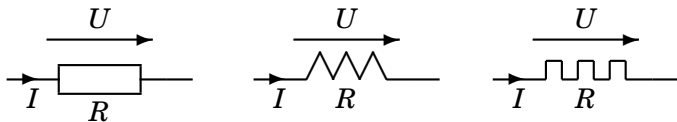
Vastus, resistanssi R

Ohmin laki — ei kovin yleispätevä!

Resistanssi on vain yksi tekijä, joka aiheuttaa jännitehäviötä.
Ohmin lain avulla ei voi laskea virtaa epälineaarisisa piireissä, kuten lamppu ja paristo tai puolijohdekomponentit!

$$U = RI$$

$$[R] = \frac{\text{V}}{\text{A}} = \Omega = \text{ohmi} \quad \text{voltti/ampeeri}$$



E12-sarja: 1,0 1,2 1,5 1,8 2,2 2,7 3,3 3,9 4,7 5,6 6,8 8,2 10 ...

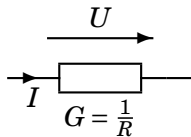
E24-sarja: 1,1 1,3 1,6 2,0 2,4 3,0 3,6 4,3 5,1 6,2 7,5 9,1

E...

Konduktanssi G

Siemensin laki

Konduktanssi on toinen tapa kuvata resistanssia: käänteislukuna!



$$I = GU$$

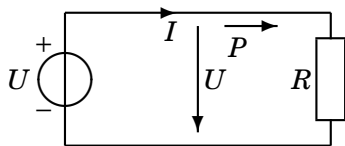
$$I = \frac{1}{R}U$$

Yksiköt:

$$[G] = \frac{\text{A}}{\text{V}} = \frac{1}{\Omega} = \text{V}^{-1} = \text{mho} = \mathbf{S} = \text{siemens}$$

$$1 \text{ mS} = 1 \text{ mmho} = 1 \text{ mA/V}$$

Joulen laki, teho, energia



Hetkellinen teho

$$p(t) = u(t) \cdot i(t) = \begin{cases} u(t)^2/R \\ Ri(t)^2 \end{cases}$$

Vaihtovirran teho ei ole UI , vaan P on keskimääräinen teho ajassa T :

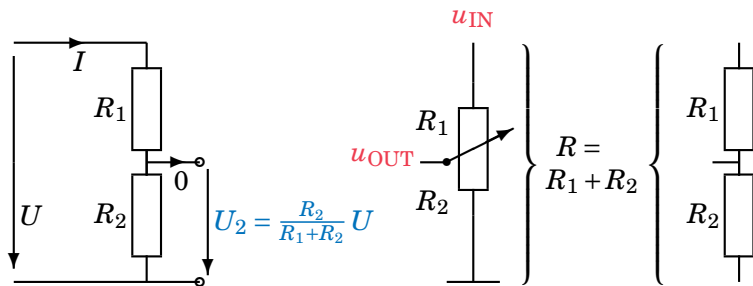
$$P = W/T \quad \left(W = \int_0^T p(t) dt \right)$$

$$[P] = \text{VA} = \mathbf{W} = \text{watti}$$

$$[W] = \text{Ws} = \text{VAs} = \mathbf{J} = \text{joule}$$

Jännitteenjakaja, potentiometri eli säätövastus

Jännitteet jakautuvat resistanssien suhteessa

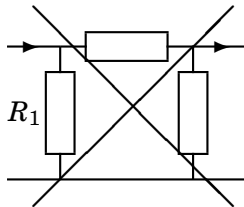
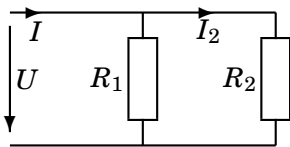


Vastusketjussa ei saa olla virrallisia väliulosottoja!

Esim. **volyymisäädin** tai joystick

Virranjakaja

Virrat jakautuvat konduktanssien suhteessa

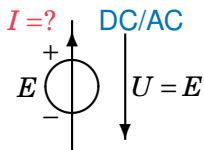


$$I_2 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} I$$

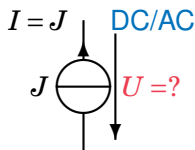
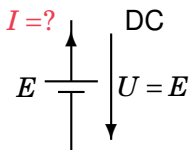
$$I_2 = \frac{G_2}{G_1 + G_2} I$$

Toimii vain vastusten rinnankytkennässä; kaava ei toimi silloin, kun itse yrität käyttää sitä!

Jännitelähde vai virtalähde, sama ja eri asia!

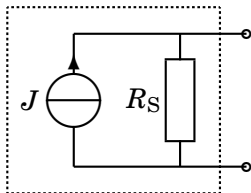
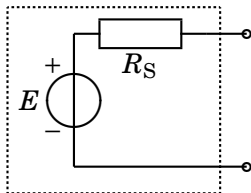


Yleispätevä



Esim. BJT, FET

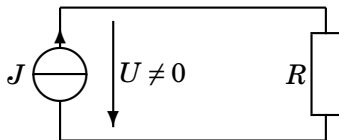
Sisäinen vastus R_S



Kerro se Yuasa-juttu! (Itse itseäni komentaen) Joo, kohta.

Virtalähteen jännite ei ole nolla!

Väännän tämän kanta-asiakkaille rautalangasta:



Pääset läpi, jos pystyt toistamaan seuraavan lauseen 5 kertaa:

Virtalähteen jännite ei ole nolla!

Virtalähteen jännite ei ole nolla!

Virtalähteen jännite ei ole nolla!

Virtalähteen jännite ei ole nolla!

Virtalähteen jännite ei ole nolla!

$U \neq 0$ ei tarkoita sitä, että U olisi nolla!

Ohmin laki pätee tässä kuitenkin: $U = RJ$

Jännitelähteitä *Voltage Sources*

Jännitelähde	Jännite (V)
Verkkojännite Euroopassa	230
Hifi-vahvistin (100 W)	\sqrt{PR} (20)
Auton akku	12
9 voltin paristo	alle 9,6
Litium-ioni-akku	3,6–3,7
Litiumpari	3
Hopeaoksidipari	1,55
Tavallinen ja alkalipari	1,5... 1,6
Elohopeapari	1,35
NiMH- tai NiCd-akku	1,24
CD-soittimen signaali	noin 1,0
Oikosulku	0

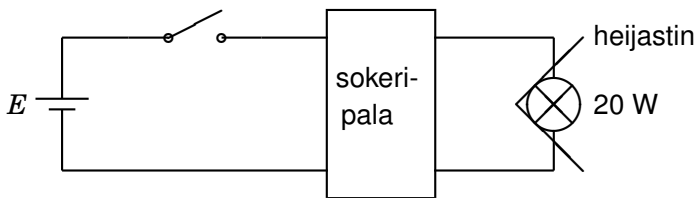
Epäonninen keksintöni: ”Head Light”



sokeripala = ruuviliitin

Yuasa Battery 12 V, 6 Ah
takin taskussa

halogeenilamppu
lippalakissa



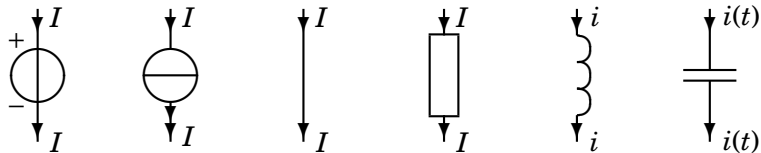
Oikosulku lampun liitännässä, savua ja voimasanoja!

Tämän jälkeen keksittiin LED-otsalamppu!

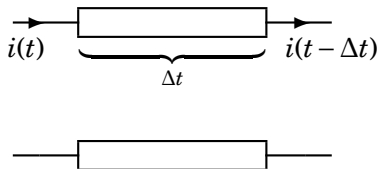


Keskitetetty *lumped* komponentti eli rakenneosa

vrt. keskitetty massa painopisteessä

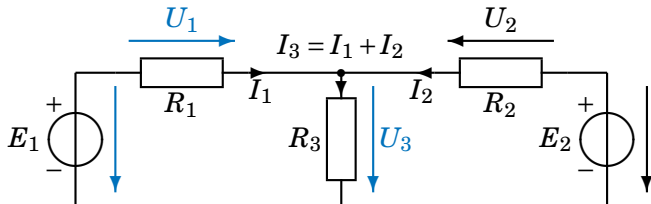


Jakautunut *distributed* komponentti:
esim. siirtojohto (5. luento/harjoitus)



Silmukkayhtälöt, KJL — Tärkeä!

Ehkä eniten käytetty esitysmuoto (vrt. silmukkamenetelmä)



$$-E_1 + U_1 + U_3 = 0$$

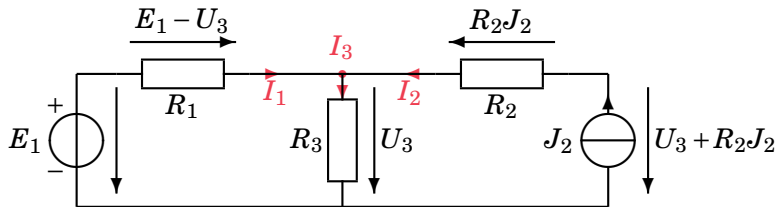
$$-U_3 - U_2 + E_2 = 0$$

$$-E_1 + R_1 I_1 + R_3 I_3 = 0$$

$$-R_3 I_3 - R_2 I_2 + E_2 = 0$$

Solmuyhtälöt, KCL

Hyvä vaihtoehtoinen lähestymistapa (vrt. solmu[piste]menetelmä)



$$I_1 + I_2 = I_3$$

$$\frac{E_1 - U_3}{R_1} + J_2 = \frac{U_3}{R_3}$$

Solmuyhtälöt on (ehkä) helpompi koodata simulointiohjelmiin.

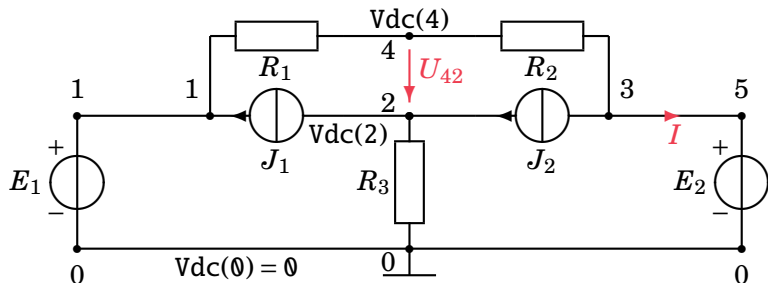
Piirisimulointiohjelma APLAC

https://en.wikipedia.org/wiki/AWR_Corporation

Tämä liittyy laboratoriotyöhön numero yksi.

- ▶ TKK teoreettisen sähkötekniikan lab. Martti Valtonen, 1972
- ▶ → Aplac Solutions Oy (ASO), Espoo 1998
- ▶ → Applied Wave Research (AWR), El Segundo 2005 mm. Microwave Office
- ▶ → National Instruments (NI), Austin 2011 mm. LabVIEW ja Multisim
- ▶ Käyttöohjeet: EPJK tai STE, myös laboratoriotyö nr. 1

Simulointi APLACilla



Netlist (txt-tiedosto koe.i):

```
Volt E1 1 0 DC=20
```

```
Volt E2 5 0 DC=10
```

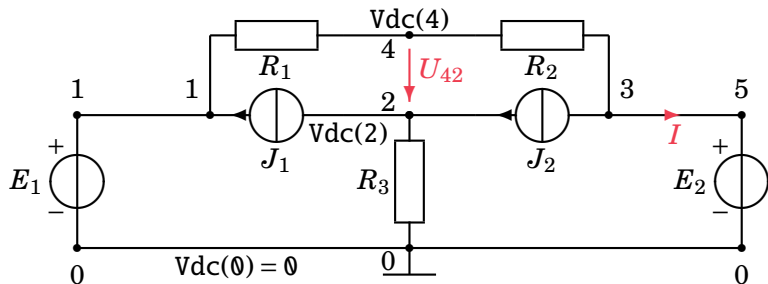
```
Curr J1 2 1 DC=1
```

```
Curr J2 3 2 DC=3
```

```
Res R1 1 4 4
```

```
Res R2 4 3 1 $ Kommentti: jatkuu!
```

Jatkuu



Netlist jatkuu:

```
Res R3 2 0 3
```

```
Short S 3 5 I=I2 $ Kommentti: tämä on 8. rivi!
```

```
Analyze DC
```

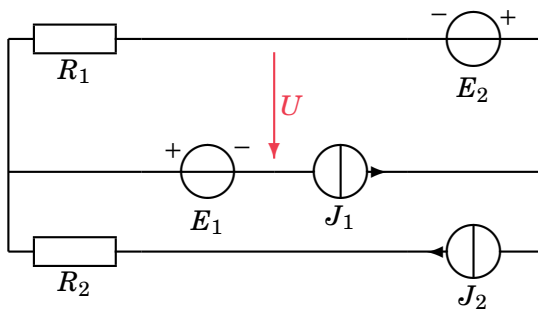
```
Print S "U42="REAL Vdc(4)-Vdc(2)
```

```
+ S "I="REAL Idc(I2) LF $ + = rivi jatkuu
```

Tehtävä

1. vk 30.10.2007

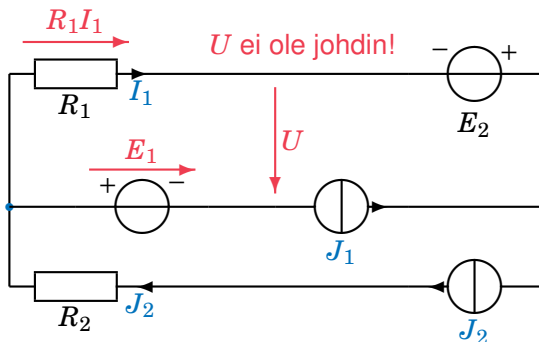
$R_1 = 4 \Omega$, $R_2 = 2 \Omega$, $E_1 = 10 \text{ V}$, $E_2 = 4 \text{ V}$, $J_1 = 1 \text{ A}$, $J_2 = 3 \text{ A}$. Laske jännite U .



Ratkaisu

Tämän aihepiirin tehtävä tulee aina 1. välikokeeseen ja tenttiin!

$$R_1 = 4 \Omega, R_2 = 2 \Omega, E_1 = 10 \text{ V}, E_2 = 4 \text{ V}, J_1 = 1 \text{ A}, J_2 = 3 \text{ A}.$$



$$\text{KCL: } J_2 = J_1 + I_1 \Rightarrow I_1 = J_2 - J_1 = 2 \text{ A}$$

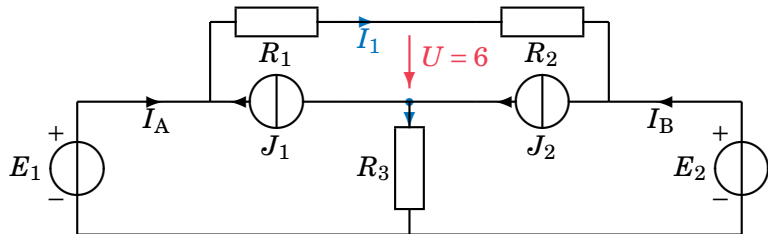
$$\text{KJL: } R_1 I_1 + U - E_1 = 0 \Rightarrow U = E_1 - R_1 I_1 = 2 \text{ V}$$

Osaisitko laskea tämän?

1. vk 12.3.2008. Koetehtävien ratkaisut ovat netissä (*kimmos.net ja MyCourses*)!

$R_1 = 4 \Omega$, $R_2 = 1 \Omega$, $R_3 = 3 \Omega$, $E_1 = 20 \text{ V}$, $E_2 = 10 \text{ V}$, $J_1 = 1 \text{ A}$, $J_2 = 3 \text{ A}$.

Laske jännite U .



Ensi kerralla derivointia ja differentiaaliyhtälöitä — elämä hymyilee ja opiskelijat naureskelevat!