

“Inseneeria vanasõnad”

- Üheksa korda kahtle, üks kord lõika (lõiketangidega) !
- Üheksa inseneri ei jõua iialgi enne mõõta kui üks turundaja lõigata. (M.J)
- Mida mõõdame, seda saame ! (Automaatikainstituut)
- Hädalamine teeb hädaldajaks, harjutamine teeb harjutajaks ! (M.J)
- Vajadusel muutub iga asi haamriks. (Murphy seadus)
- Pärast seadme kokkupanekut jäävad tavaliselt mõned kruvid üle.
- Kes, kurat , selle pistiku välja tõmbas ? (M.J 2015)
- Kus häda kõige suurem, seal MJ kõige armsam (M.J.2008)
- Asja ei saa paranda enne kui see pole katki läinud !
- Ma ei saa sellest aru – järelikult seda pole vaja (programmijuht)
- Ma ei saa sellest aru – järelikult see on vale ! (sotsiaalmeediast)
- Ma ju tegin kõik õigesti, aga ikkagi on see vale ! (EAAB tudeng)
- Elekter on seinakontaktis olemas - järelikult pole seda vaja meil õppida (EAAB tudeng)
- Meistri juuresolek (1) – asi hakkab tööle siis kui on vaja viga demonstreerida.
- Meistri juuresolek (2) - Parandatud asi keeldub töötamast kui meister tahab seda kliendile näidata.
- Kogenud meister on eksinud tunduvalt rohkem kui algaja. (M.J.+rahvatarkus)

ISC0100 KÜBERELEKTROONIKA

Kevad 2025

Alalisvooluteemad

Martin Jaanus

NRG-308

martin.jaanus@ttu.ee 56 91 31 93

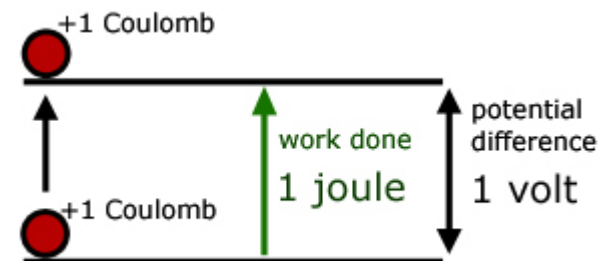
Õppetöö : <http://isc.ttu.ee>

Õppematerjalid : <http://isc.ttu.ee/martin>

Pinge

Pinge ehk elektriline pinge (maailmas levinum tähis V , teine tähis U) on füüsikas ja elektrotehnikas kasutatav füüsikaline suurus, mis iseloomustab kahe punkti vahelist elektrivälja tugevuse erinevust ning määrab ära kui palju tööd tuleb teha laengu ümberpaigutamiseks ühest punktist teise.

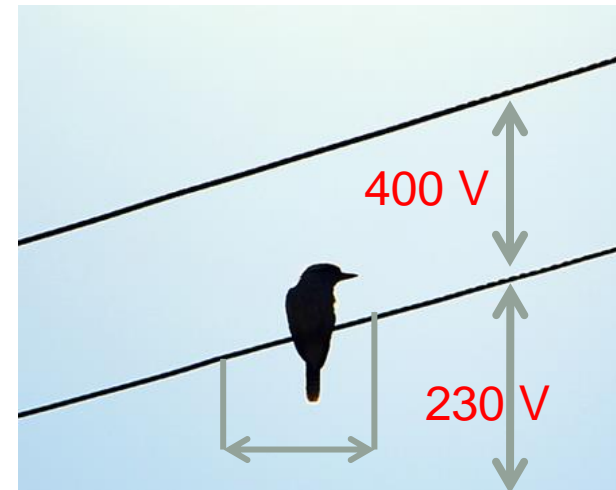
Pinge ühikuks SI-süsteemis on volt (V) . Üks volt on selline pinge, mille puhul 1 kuloni suuruse laengu ümberpaigutamisel teeb elektriväli tööd 1 džaul.



Kirchhoffi pingeseadus (1)

- Kõik sõltub pingetest, mitte potentsiaalidest.
- Kui muuta kõiki potentsiaale sama suuruse võrra, siis ei muutu mitte midagi.
- Kinnises kontuuris on pingete summa null.

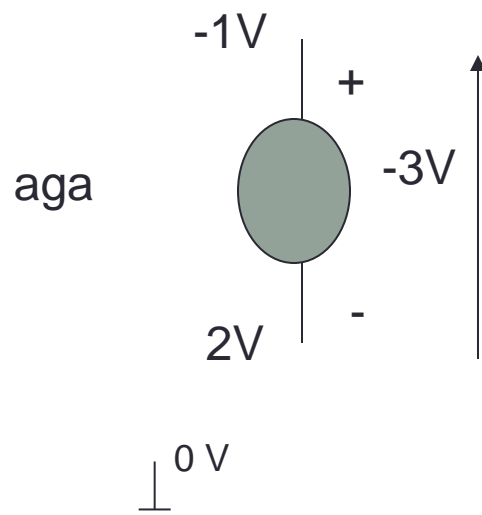
Miks traatidel istuvad linnud ei saa elektrilööki ?



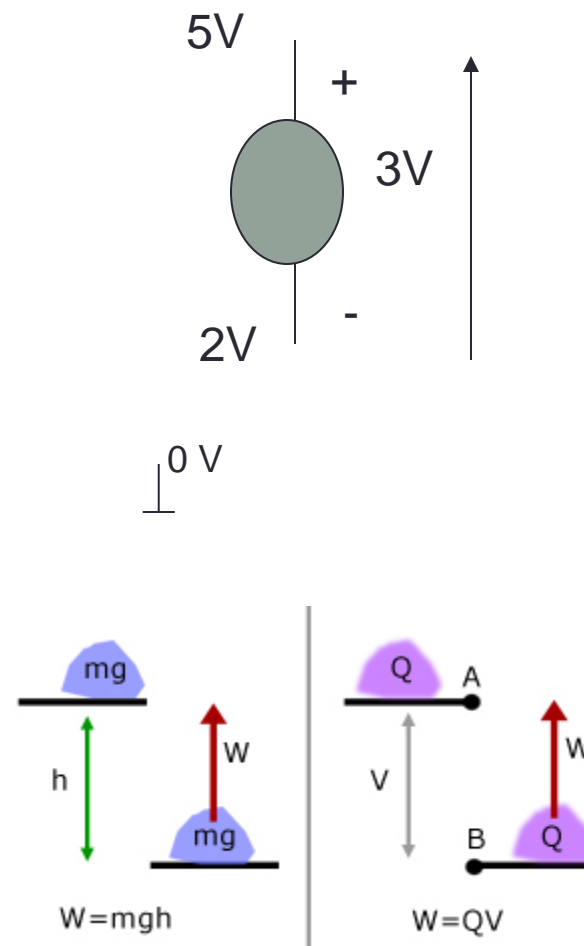
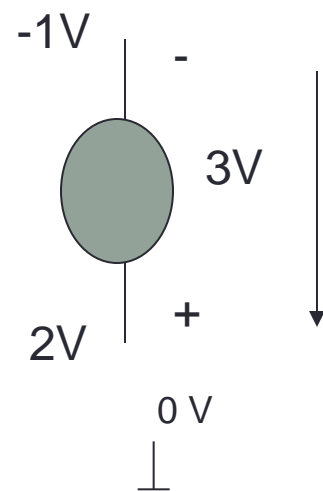
Kirchhoffi pingeseadus (2)

Kuidas leida pingeid ?

Pinge tõusu võtame plussmärgiga, kui liigume negatiivsele osalt positiivsele.



ja



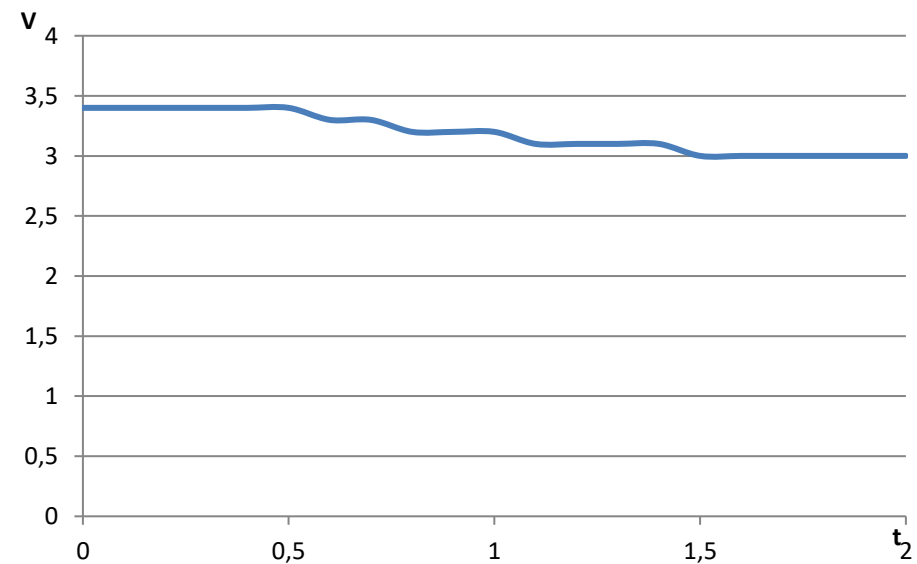
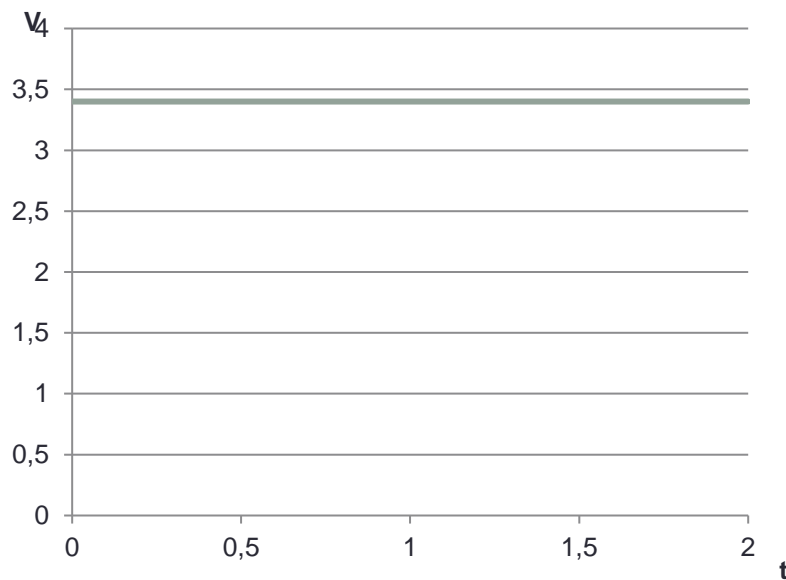
Elektrivool

Vool ehk elektrivool (tähis I) on füüsikas ja elektrotehnikas kasutatav füüsikaline suurus, mis iseloomustab laengukandjate liikumist elektrijuhis.

Voolu ühikuks SI-süsteemis on amper (A). Amper on konstantne selline elektrivool, mis põhjustaks kahes paralleelse lõpmatu pikkusega ja tühise ristlõike pindalaga elektrijuhi vahel jõu 2×10^{-7} njuutonit meetri kohta, kui need juhid asuvad teineteisest 1 meetri kaugusel vaakumis.

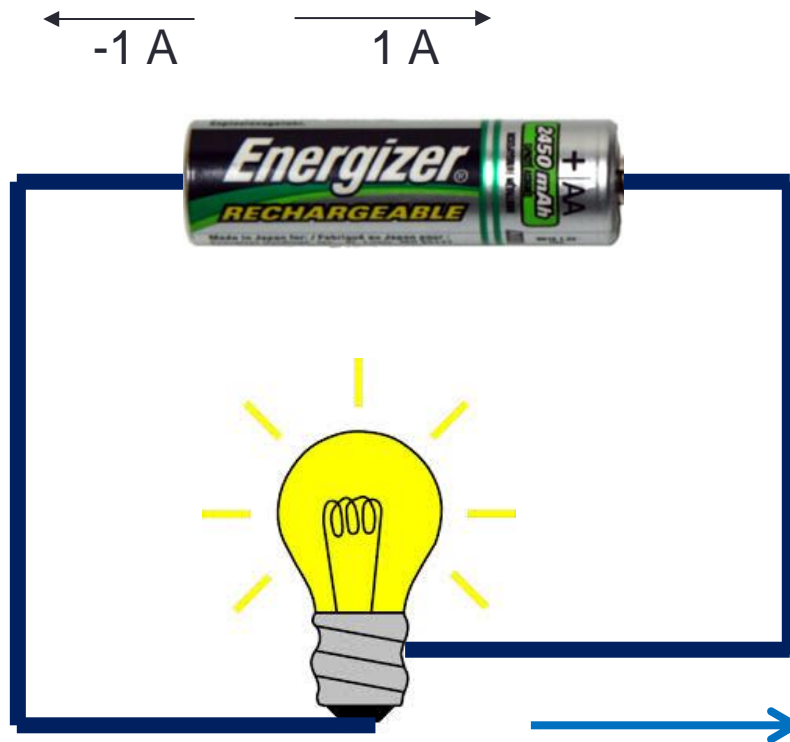
Alalisvool (ja – pinge)

Alalissignaali (DC, Direct current), (vool või pinge) – aeglaselt muutuv signaal. Märgiga suurus. Signaal mõõtmise ajahetkel ei muutu. Staatiline olek.



Elektrivool

Pideva voolu tekkimiseks peab ahel olema **suletud** !
Hargnematus ahelas on voolutugevus kõikjal sama !



Jätke see meelde !
Enamik probleeme elektrimaailmas
tekitab selle mittetajumine.

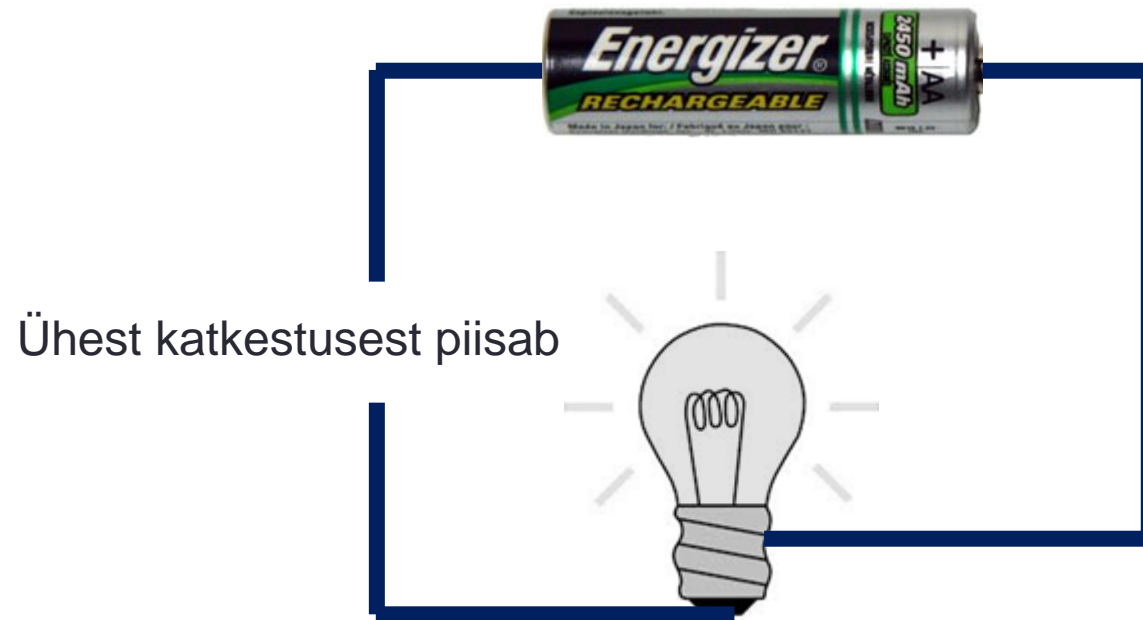
Voolu kokkuleppeline suund

Miks seinakontaktis on kaks auku ?

Elektronide liikumise suund

Elektrivool

Pideva voolu tekkimiseks peab ahel olema **suletud** !
Hargnematus ahelas on voolutugevus kõikjal sama !

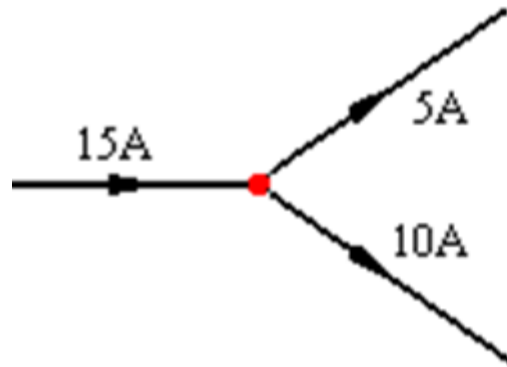


Kaksklemmi ühelt klemmilt lahkunud laegukandjad peavad teisele klemmile tagasi jõudma !

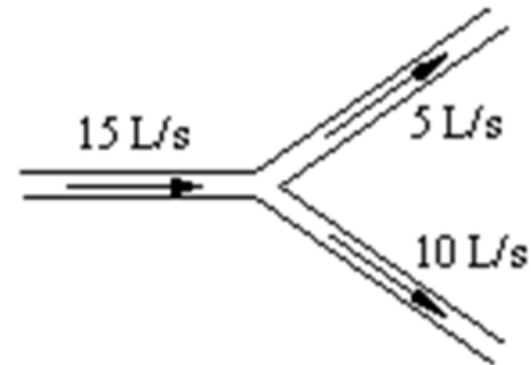
Miks seinakontaktis on kaks auku ?

Kirchhoffi vooluseadus

Samasse punkti sisenevate voolude summa on null.



Elektrivool



Veevool

Valemeid...

- *Enamik valemeid igapäevaelus on kujul : $A = B * C$ või siis $C = \frac{A}{B}$, võib olla juurde liidetud/korrutatud veel mõni konstant*
- A võib olla näiteks teepikkus, B võib olla aeg, C võib olla kiirus, aga
- A võib olla pinge , B takistus ja C vool....jne
- Kui muutus on **võrdeline** , läheb muutuja **lugejasse** !
- Kui muutus on **pöördvõrdeline** , läheb muutuja **nimetajasse** !
- Enamik valemeid, mis on seotud energiaga : $A = \frac{B * C^2}{2}$, kus A on energia, B on enegiasalvesti ja C, mille tõttu enegia tekib.
- Kui miski sõltub iseendast (tagasiside) , tuleb nimetajasse üldjuhul 1+midagi
- Kui midagi kuskil pöörleb, tuleb valemisse $2\pi r$, kus r on asi, mis pöörleb.
- Jäävusseadused : $A + B + C + \dots = 0$

Kordajad

Liide	Nimetuse tuletus	Tähis	Tegur
jotta	itaalia: kaheksa 10 ³ järku	Y	10 ²⁴
zetta	itaalia: seitse 10 ³ järku	Z	10 ²¹
eksa	kreeka: kuus 10 ³ järku	E	10 ¹⁸
peta	kreeka: viis 10 ³ järku	P	10 ¹⁵
tera	kreeka: üleloomulikult suur	T	10 ¹²
giga	kreeka: hiiglasuur	G	10⁹
mega	kreeka: suur	M	10⁶
kilo	kreeka: tuhat	k	10³
hekto	kreeka: sada	h	10 ²
deka	kreeka: kümme	da	10 ¹
			10 ⁰
detsi	ladina: kümme	d	10 ⁻¹
senti	ladina: sada	c	10 ⁻²
milli	ladina: tuhat	m	10⁻³
mikro	kreeka: väike	μ	10⁻⁶
nano	ladina: kääbus	n	10⁻⁹
piko	itaalia: väikene	p	10⁻¹²
femto	taani: viisteist	f	10 ⁻¹⁵
atto	taani: kaheksateist	a	10 ⁻¹⁸
zepto	ladina: seitse 10 ⁻³ järku	z	10 ⁻²¹
jokto	ladina: kaheksa 10 ⁻³ järku	y	10 ⁻²⁴

Lubatud kordsed ühikud

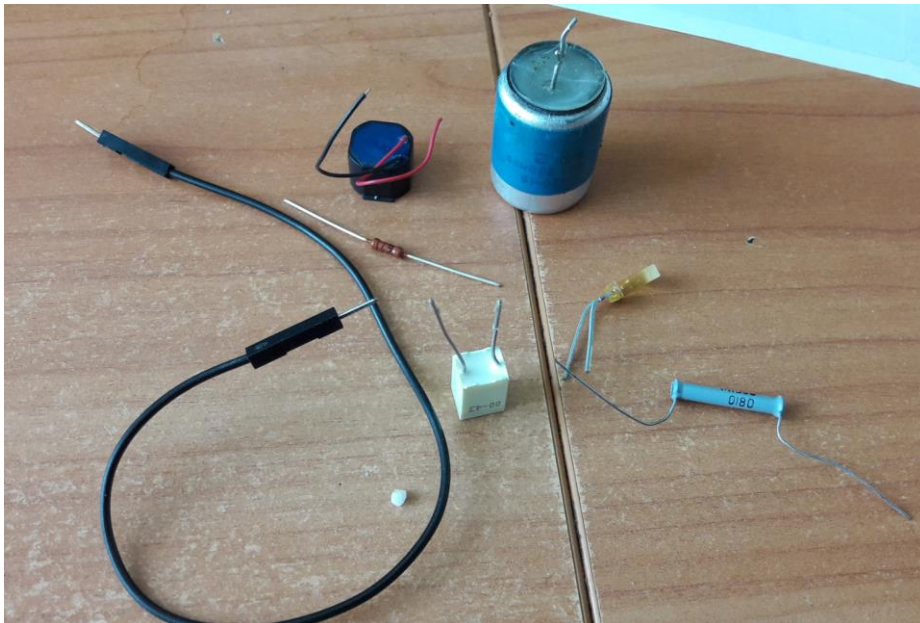
Nimetus	Sümbol	füüsikaline suurus	Seos teise suurusega
minut	min	aeg	1 min = 60 s
tund	h	aeg	1 h = 60 min
ööpäev	d	aeg	1 d = 24 h
nurgakraad	°	nurk	1° = (π / 180) rad
nurgaminut	'	nurk	1' = (1 / 60)°
nurgasekund	"	nurk	1" = (1 / 60)'
hektar	ha	pindala	1 ha = 10000 m ²
liiter	l või L	ruumala	1 L = 1 dm ³
tonn	t	mass	1 t = 10 ³ kg

Kordajad

- Kasutatakse korraga vaid üht eesliidet.
- Ajaühikutel 1-st suuremaid eesliiteid ei kasutata (Gs) Küll aga kasutatakse näiteks ms - millisekund).
- Lihtsam ja käepärasem on kui teha arvude asemel tehteid kordajatega.
- Näit. (milli*kilo=1)
- Ehk Ohmi seadust kasutades – kui pinge on voltides, ja vool milliamprites, tuleb takistus kilo-oomides.

Miks on kasulik lihtsustada ?

- Oluline on olulist ebaolulisest eristada. Ka elus on sedasi !
- Saame eemaldada selle, mis meid **segab**.
- Lihtsatest asjadest saab teha alati keerulisemat.
- Keerulisi asju on raskem lihtsaks mõelda kui lihtsaid asju keeruliseks. (M.J.)
- Kõige lihtsam komponent on **kaksklemm**.

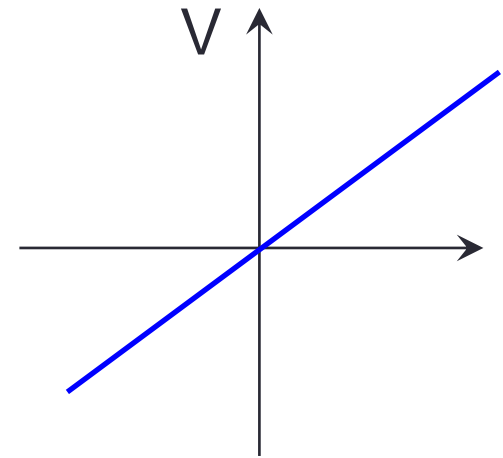
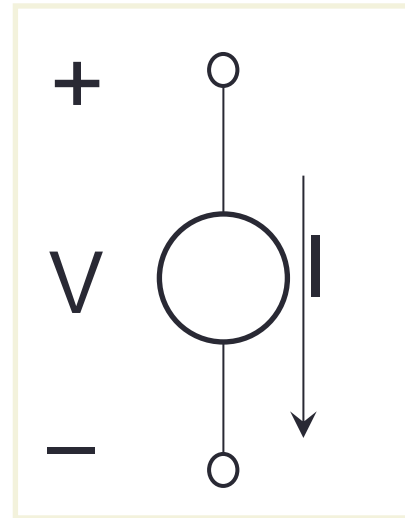
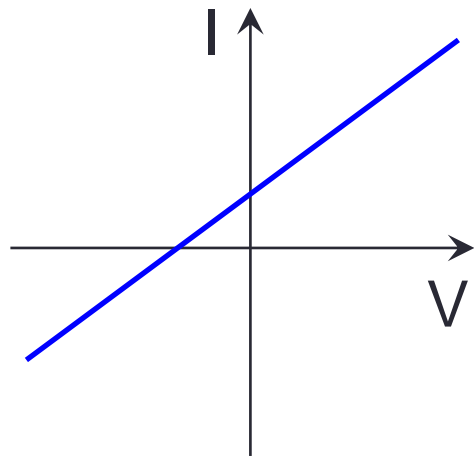


Aga ka 



Sisu võib olla suvaline,
aga maailma näeb läbi
kahe klemmi

Lineaarne kaksklemm



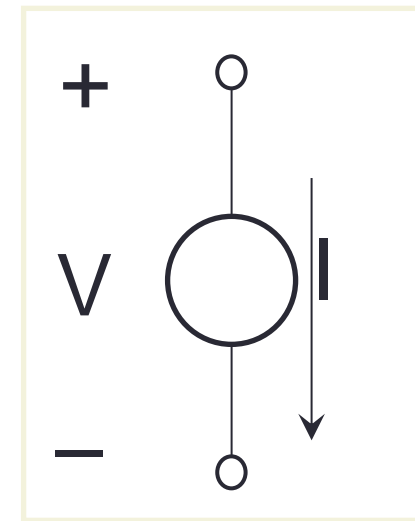
autonoomne $aV + bI + c = 0$ mitteautonoomne

Kaksklemmi jaoks on terve ülejäänud maailm kaksklemm !

Suunad

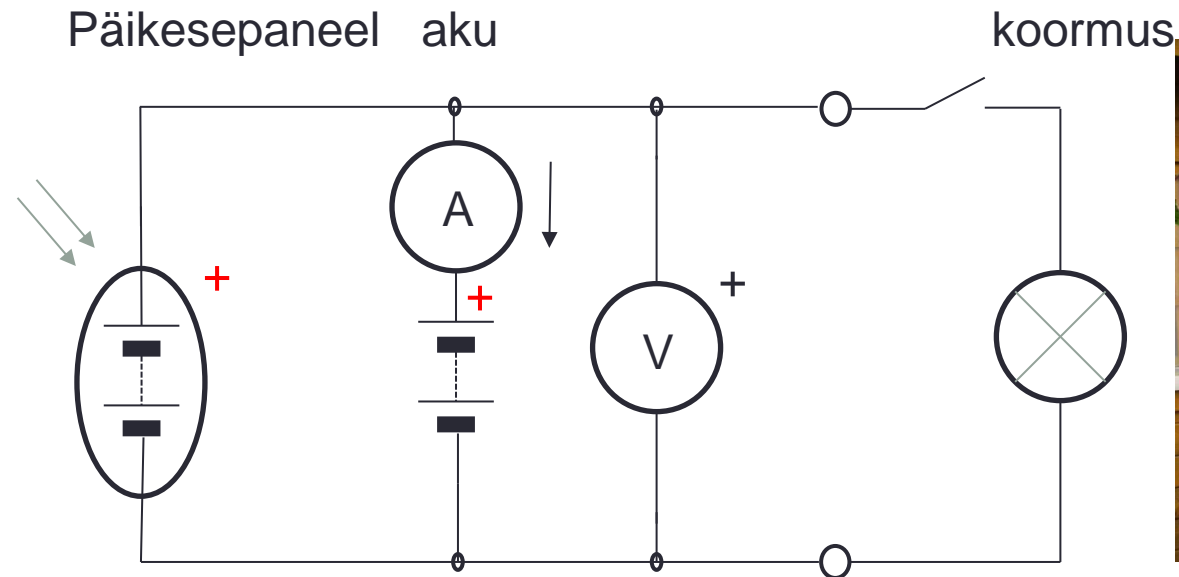
Kui ei ole märgitud teisiti (valik on tegelikult vaba, aga peab olema põhjendatud !!!!!) siis:

- Voolu kokkuleppeline suund on positiivselt klemmilt miinusele (võime suunda muuta, aga siis muutub ka märk !)
- Pinge on määratud potentsiaalide vahega + klemmil – klemmi suhtes (suuna muutmisel muutub märk !)
- **Veebikeskkonnas isc.ttu.ee on kasutusel sedasi !**
- Kui voolu ja pinge korrutis on positiivne, on tegu energiat tarbiva kaksklemmiga, vastasel juhul on kaksklemm energiat eraldav. Kehtib ka vahelduvvoolu puhul – tuleb vaadata hetkväärtusi – need on märgiga suurused .
- **Kui ei ole märgitud teisiti, tuleb kaksklemme kohelda võrdselt !**



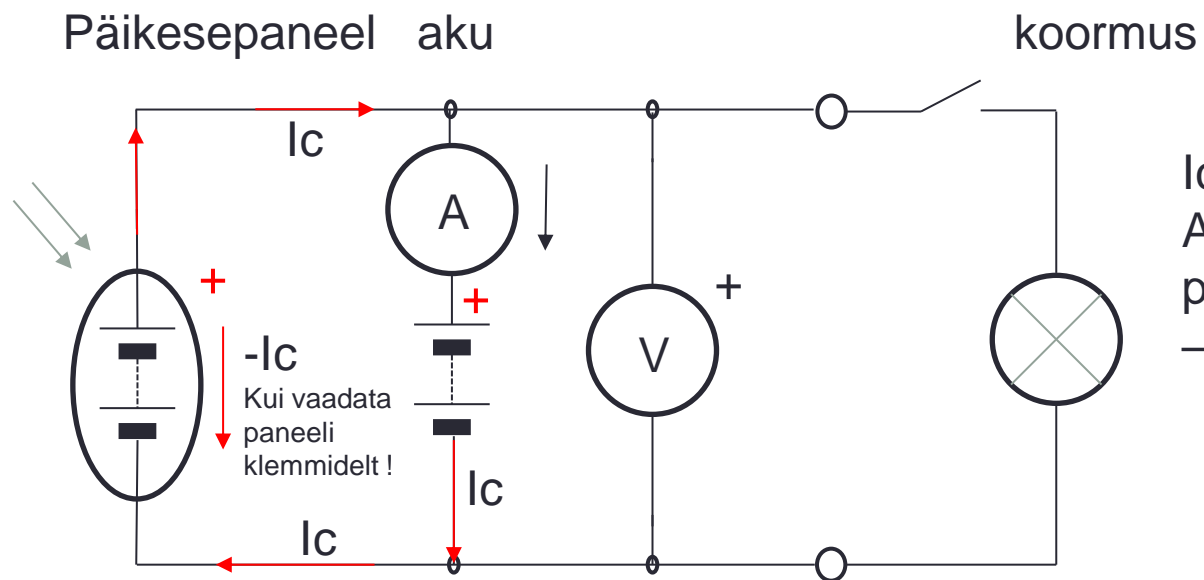
Näide

- Päikesepaneeliga toidetav autonoomne elektrilahendus.
- Lihtsustatud skeem :



Skeemilt puudub laadimiskontroller ja kaitselülitused, mis on sedalaadi lahendustes kohustuslik !

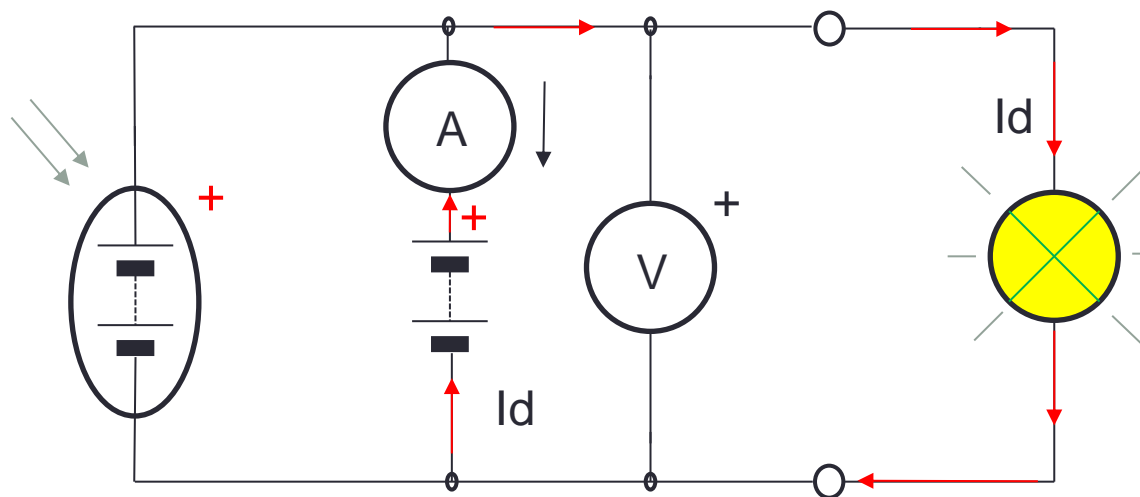
Aku laadimine



Aku tühjenemine

Päikesepaneel aku

koormus

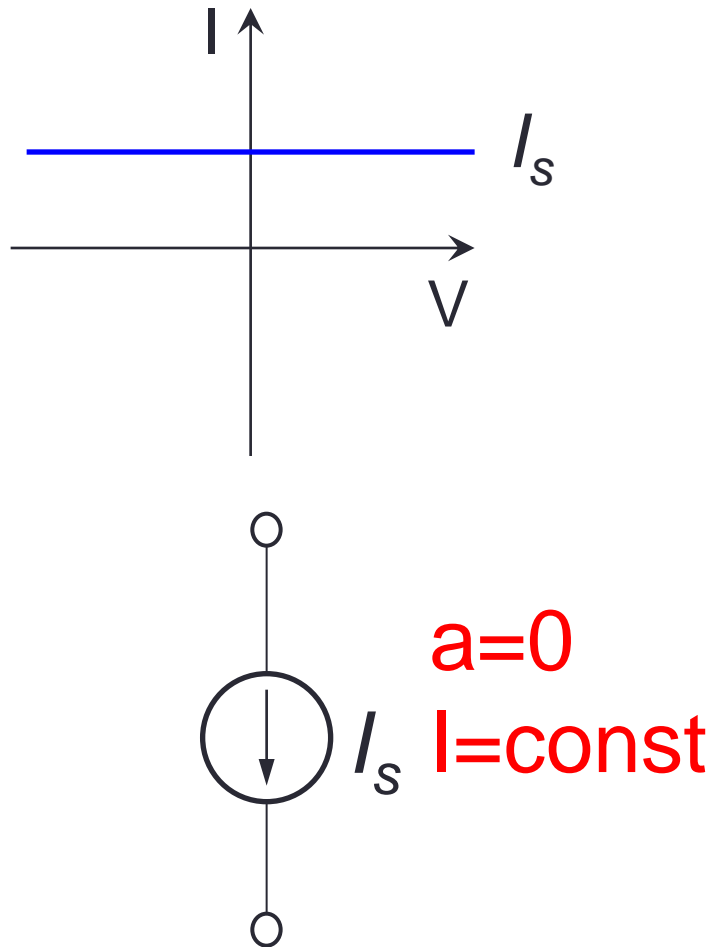


I_d – tühjenemisvool
Aku klemmidel vaadatuna on pinge ja voolu korrutis negatiivne – aku eraldab energiat !

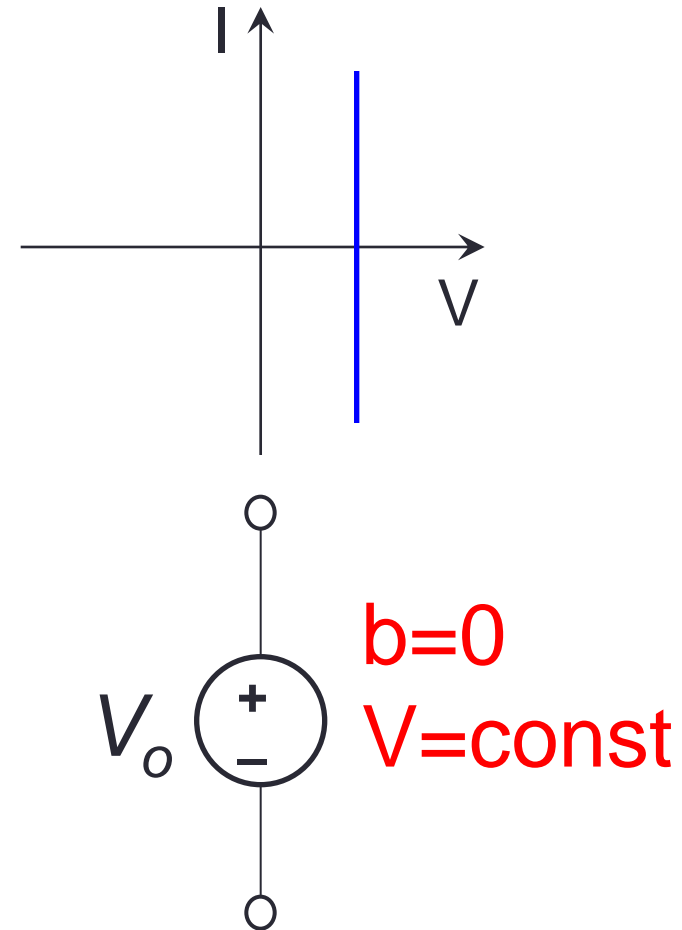
Reaalolukord –
Sõltuvalt Päikese
valgusest ja tarbimisest
võib aku olla kas energia
eraldaja või neelaja .



Lineaarne kaksklemm



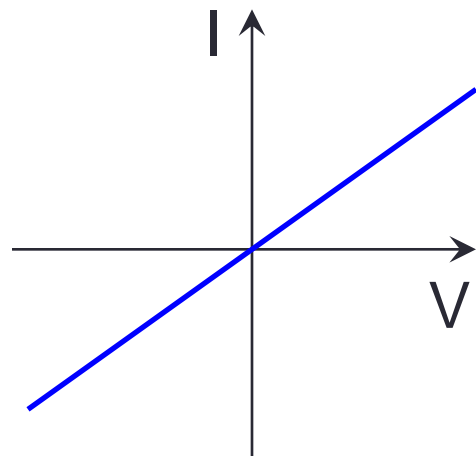
Ideaalne vooluallikas



Ideaalne pingevallikas Mõne slaidi pärast näited

Lineaarne kaksklemm

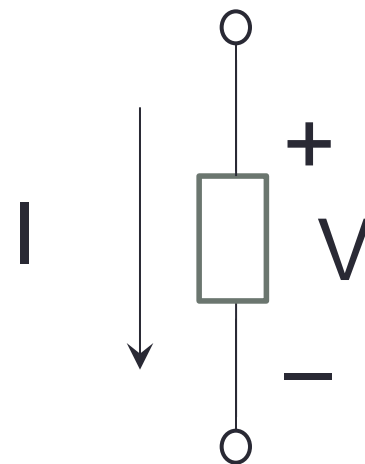
$c=0$



$$V=RI$$

$$[\Omega] = \left[\frac{\text{V}}{\text{A}} \right] \text{ oom}$$

$R=0$ - lühis



$$I=GV$$

$$[\text{S}] = \left[\frac{\text{A}}{\text{V}} \right] \text{ siimens}$$

$G=0$ - tühis

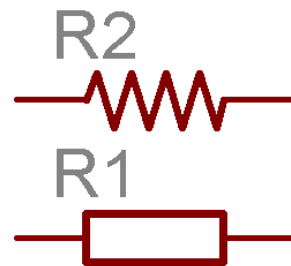
Takistus ja juhtivus

Takistuseks ehk elektritakistuseks nimetatakse juhi omadust avaldada elektrilaengute liikumisele takistavat mõju.

Elektritakistuse (tähis R) mõõtühik SI-süsteemis on oom (Ω).
1 Ω on takistus, millel 1 A voolu läbimisel tekib pinge 1 V.

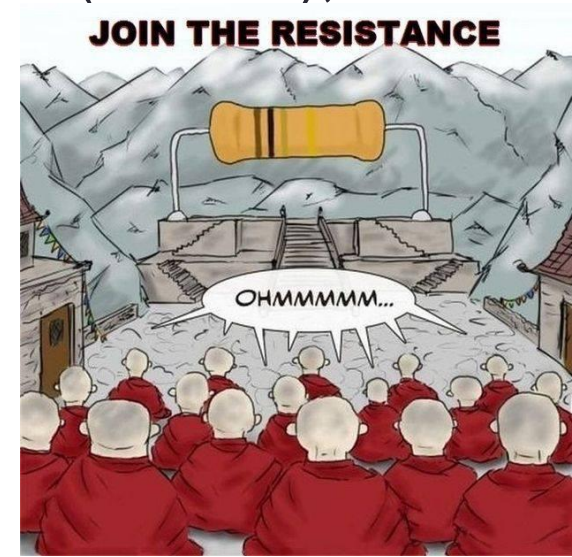
Elektritakistuse pöördväärtus on **elektrijuhtivus** (tähis G), ühik siimens (S).
 $G=1/R$ ja $R=1/G$

Püsitakisti (resistor)



Tähtsaim omadus – takistus!
(muude omaduste tähtsus sõltub olukorrast)

Pilt: Facebook



Takistus ja juhtivus

- Kaksklemm võib muu maailma jaoks näida resistorina (kuigi ta tegelikult olemuselt seda ei ole – näiteks mootorid – takistus sõltub koormusest.

Resistoril on kaks funktsiooni

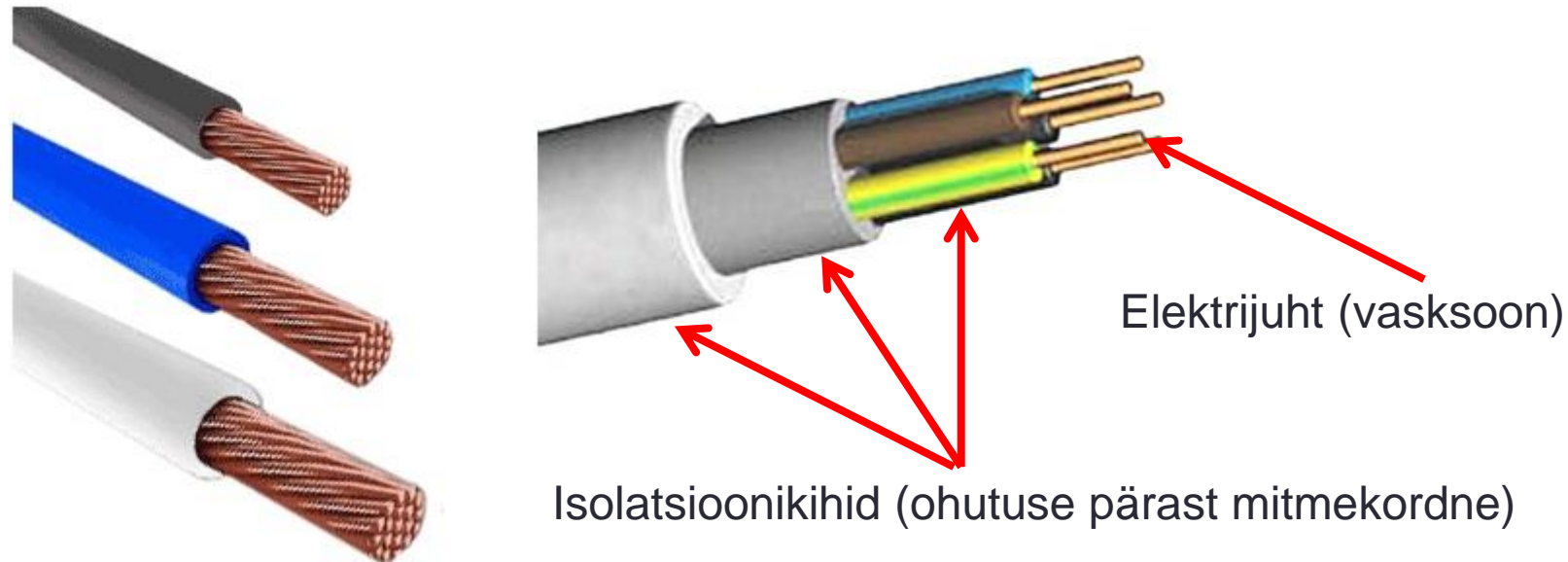
- muuta elektrienergia mõneks teiseks energialiigiks – alati ei pruugi seda tagasi saada (soojus).
 - Luua seos voolu ja pinge vahel .
-
- On olemas ka kaksklemmid, mis salvestavad energiat –
Kondensaator – elektrivälja, Induktor – magnetvälja
Nendesse salvetatud energia saame igal juhul tagasi
(Reaktiivsed kaksklemmid)

Elektrijuhtid ja isolaatorid

Neid materjale, mille takistus on väike (juhtivus suur), nimetatakse **elektrijuhtideks**. Laengukandjate vaba liikumine on võimalik (kõik metallid, soolade ja hapete vesilahused....)

Neid materjale, mille takistus on suur (juhtivus väike) nimetatakse isolaatoriteks (plastmass, klaas, õhk...)

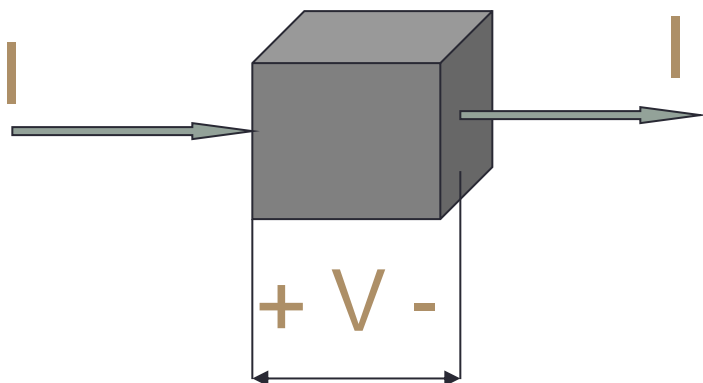
Nende vahel on pooljuhid (germanium, räni – liiv, millel põhineb kogu kaasaegne elektroonika).



Elektrikaabli ehitus. **Puutuda tohib vaid isolatsioonikohast !**

Eritakistus ja erijuhtivus

Kuubi külg on 1 meeter:



Oletame, et takistus on ρ oomi ehk juhtivus γ siimensit:

$$\rho = \frac{V}{I} \quad \gamma = \frac{I}{V}$$

Kui juhtme pikkus on L meetrit ja ristlõige S m², siis pinge on $L \cdot V$ ja vool on $S \cdot I$:

$$R = \frac{L \times V}{S \times I} = \rho \frac{L}{S}$$

$$G = \frac{S \times I}{L \times V} = \gamma \frac{S}{L}$$

Eritakistus ja erijuhtivus

Eritakistuse ühik on

$$R = \rho \frac{L}{S} \Rightarrow \rho = \frac{RS}{L} \Rightarrow \left[\frac{\Omega m^2}{m} \right] = [\Omega m]$$

Erijuhtivuse ühik on

$$G = \gamma \frac{S}{L} \Rightarrow \gamma = \frac{GL}{S} \Rightarrow \left[\frac{S m}{m^2} \right] = \left[\frac{S}{m} \right]$$

Eritakistus ja erijuhtivus

Aine	ρ	γ
hõbe	1.587 [n Ω m]	630 [MS/m]
vask	1.678 [n Ω m]	596 [MS/m]
raud	9.61 [n Ω m]	104 [MS/m]
konstantaan	45.4 [n Ω m]	22 [MS/m]
nikroom	112 [n Ω m]	8.9 [MS/m]

Takistus ja temperatuur

$$\rho = \rho_0 [1 + \alpha(T - T_0)]$$

Aine	ρ	α
vask	1.68 [nΩm]	0.0040 [1/°C]
raud	9.61 [nΩm]	0.0057 [1/°C]
konstantaan	45.4 [nΩm]	-0.000074 [1/°C]
manganiin	48.2 [nΩm]	±0.000015 [1/°C]

Ülijuhid

- 1911: Heike Kamerlingh Onnes avastab, et elavhõbe muutub temperatuuril $<4\text{K}$ (-269°C) ülijuhiks – tema eritakistus on võrdne nulliga. Vajalik keskkond – vedel heelium.
- 1986: keraamilises ülijuhhis saavutatakse ülijuhtivus temperatuuril 58K (-215°C). Nobeli preemia 1987
- 1987: 92K (-181°C). Vedel lämmastik – 77K .
- 1994: 138K (-135°C). $\text{Hg}_{0.8}\text{Tl}_{0.2}\text{Ba}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{8.33}$

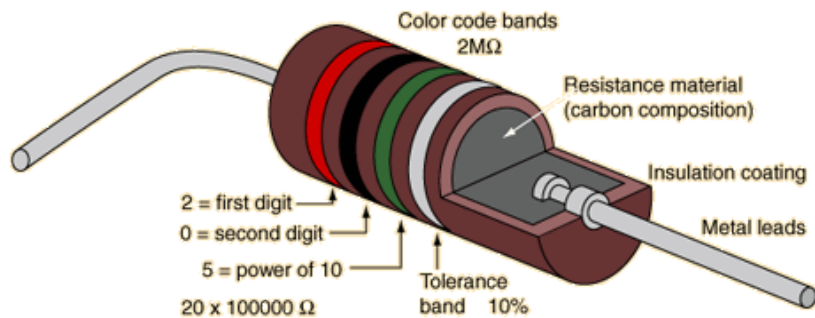
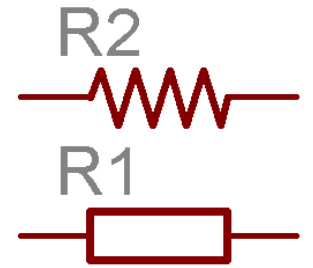
Ülijuhid

- Kuna ülijuhi takistus on null, siis püsib ülijuhtivas rõngas vool kuitahes kaua (energia ei eraldu).
- Seega: energiasalvesti!

- Ülijuhitivate mahistega tekitatav magnetväli sobib nt energiasalvesti hoorattale “laagrite” tekitamiseks.

Takistid (püsitakistid)

- Skeemil paistab sarnane , reaalsuses võivad olla väga erinevad.
- Olulised parameetrid – võimsustaluvus ($P= V \cdot I$) ja sellest tulenevad mõõtmed
- Takisti väärtused on reeglina värvikoodiga (vt google)



Takisti ehitus



Pindmontaažitakistid

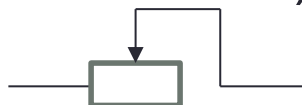


Läbiviigutakistid

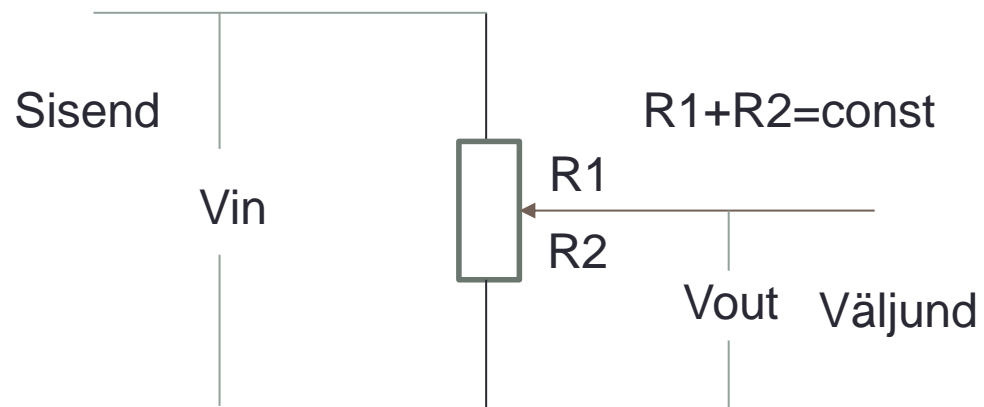
Takistid (Muuttakistid)

- Seadetakistid (seadme sees)
- Kasutajaliides (lükatavad, pööratavad)
- Digitaalsed (programmeeritavad)
- Kasutamine:

Reostaadina (kaskklemmina):



Potentsiomeetrina (pingejagurina, kaskspordina):



$$V_{out} = V_{in} \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$



Pilt : <https://energyeducation.ca/encyclopedia/Resistor>

NB ! ülekanne,
ÜHIKUTA !

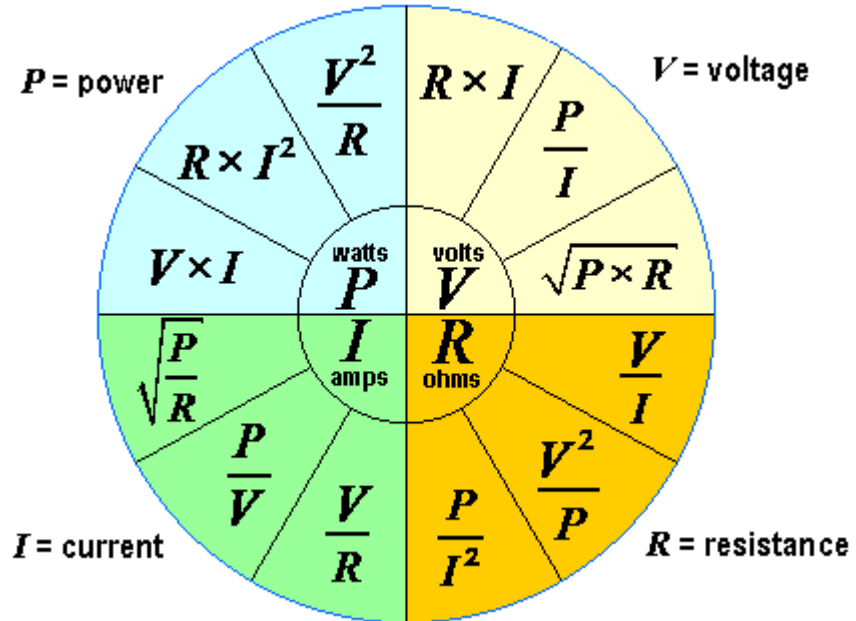
Helitugevusregulaator



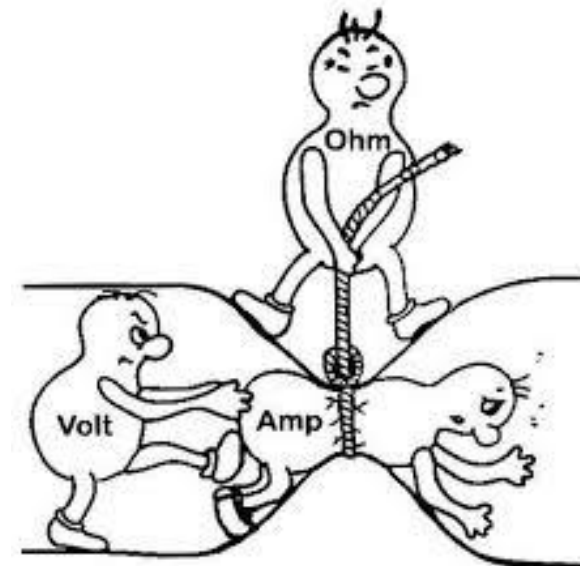
Ohmi seadus

Ohmi seadus: vool on võrdeline pingega ja pöördvõrdeline takistusega. Takistus on keha omadus. **Takistus ei ole võrdeline pingega ja pöördvõrdeline vooluga.**

Mehaanika analoog: Hooke'i seadus



Pilt:wikipedia

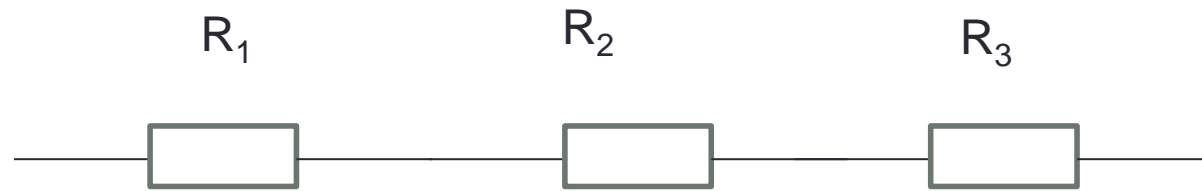


Pilt:goodwindocs.com

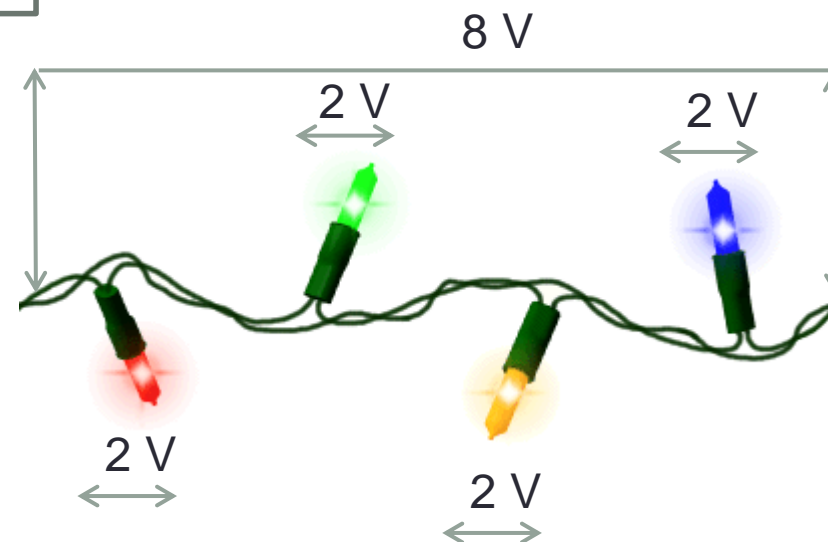
Jadaühendus

Kaks elementi on jadamisi kui neil on üks ühine klemm.

Jadaühendusel on vool elementides sama ja **liituvad takistused ja pinged**.



$$R = R_1 + R_2 + R_3$$

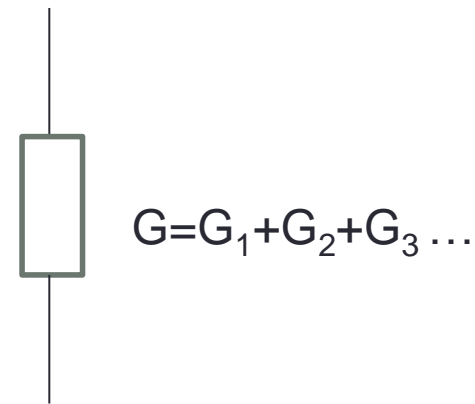
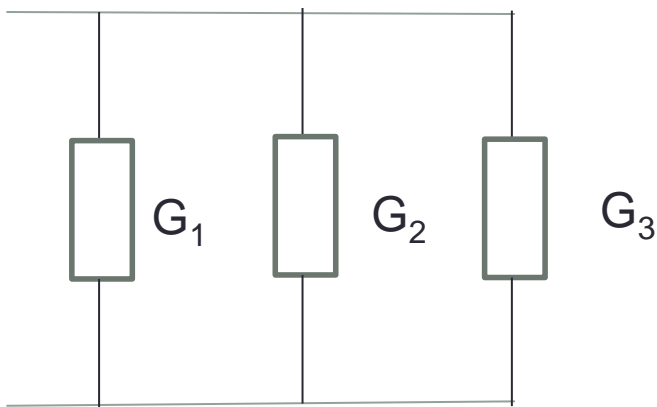


Kehtib vaid kaksklemmide korral!
Kehtib ka reaktiivtakistuste puhul (Z)

Rööpühendus

Kaks elementi on rööbiti kui neil on kaks ühist klemmi.

Rööpühendusel on pinge elementidel sama ja **liituvad juhtivused ja voolud**.



$$1/R = 1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3 \dots$$

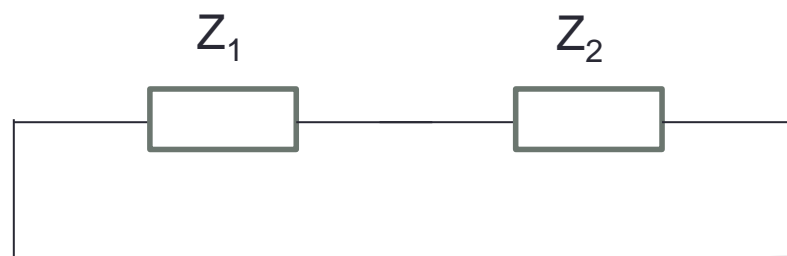
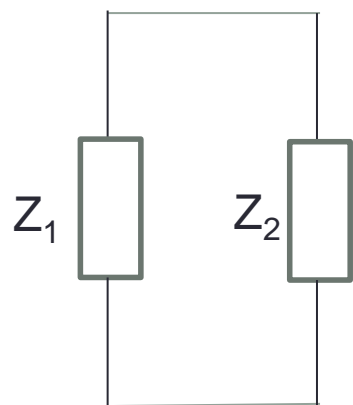
Kehtib vaid kaksklemmide korral !
Kehtib ka reaktiivtakistuste puhul (Z)

Ainult 2 elemendi korral !

$$R = \frac{R_1 * R_2}{R_1 + R_2}$$

Kas ?

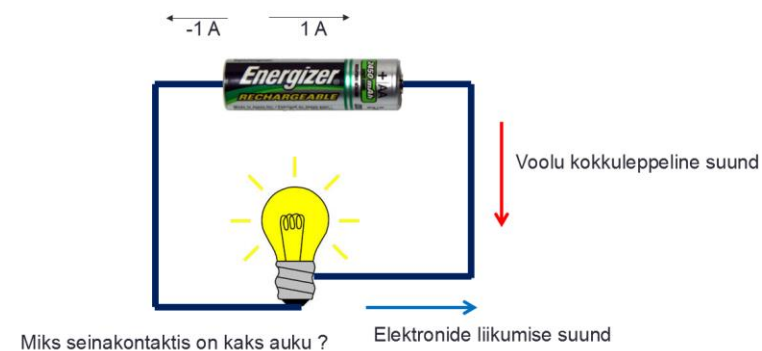
- Tegemist on jada- või rööpühendusega ?



Aga see ?

Peale skeemi lihtsustamist võib jadaühendus muutuda paralleelühenduseks ja vastupidi !

On võimalikud ka juhused, kus aliskomponendi jaoks on jadaühendus aga vahelduvkomponendile paralleelühendus (ja vastupidi samuti) – see ei mahu siia õppeainesse .



Kõik on siin maailmas suhteline

Elektrotehniline
Mõinasjutt
ÜHEST TAKISTIST

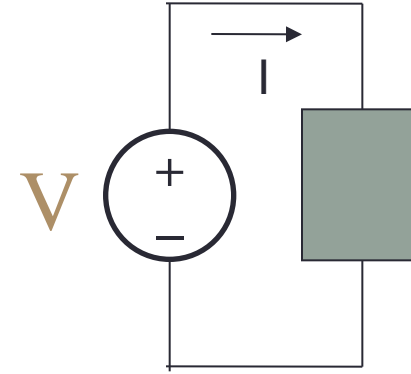


1Ω

Martin Jaanus 2020

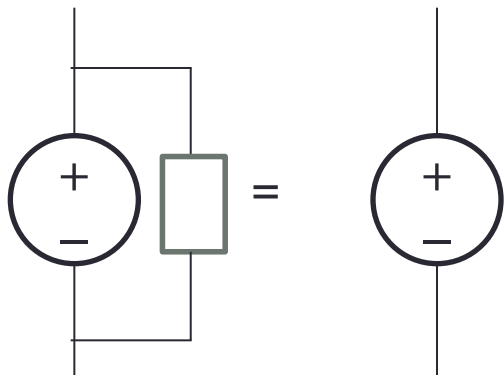
Pingeallikas

Pingeallika eesmärk on tekitada tema klemmidele teatud **pinge**, mis ei sõltu teda läbivast voolust.
Pingeallika sisetakistus on **0**.

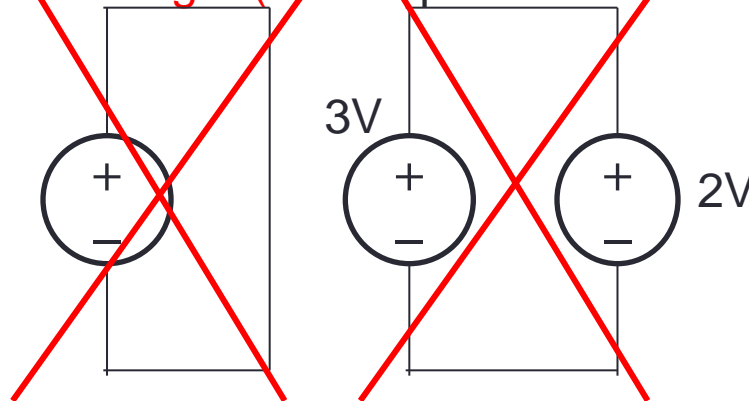


Kui on tegemist suletud süsteemiga, tekib vool, mille märk on antud skeemil sama, mis pingel.

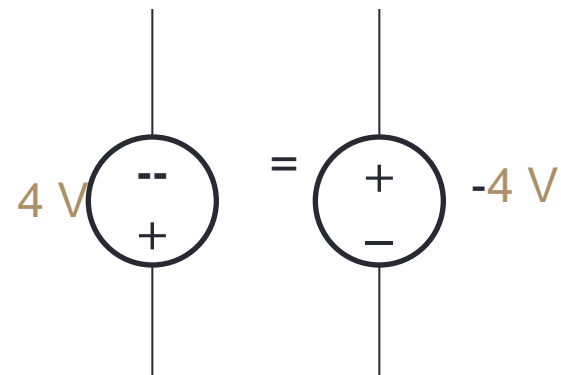
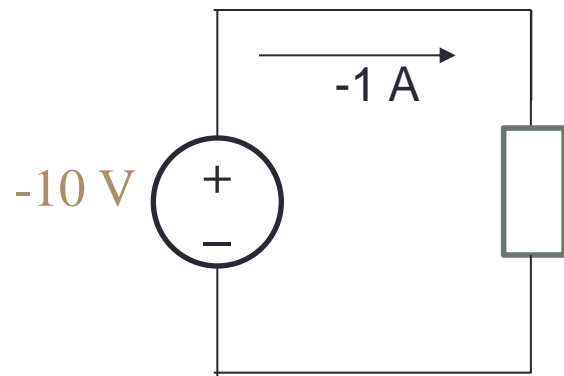
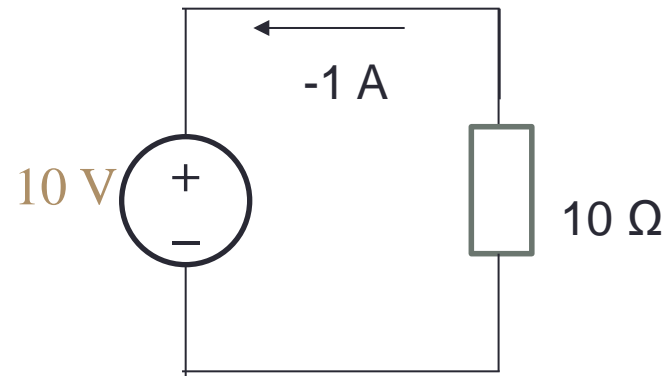
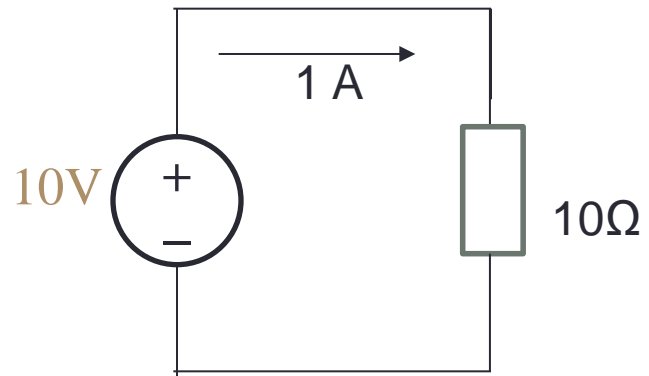
Pingeallika pinget ei mõjuta talle külge ühendatud koormused.



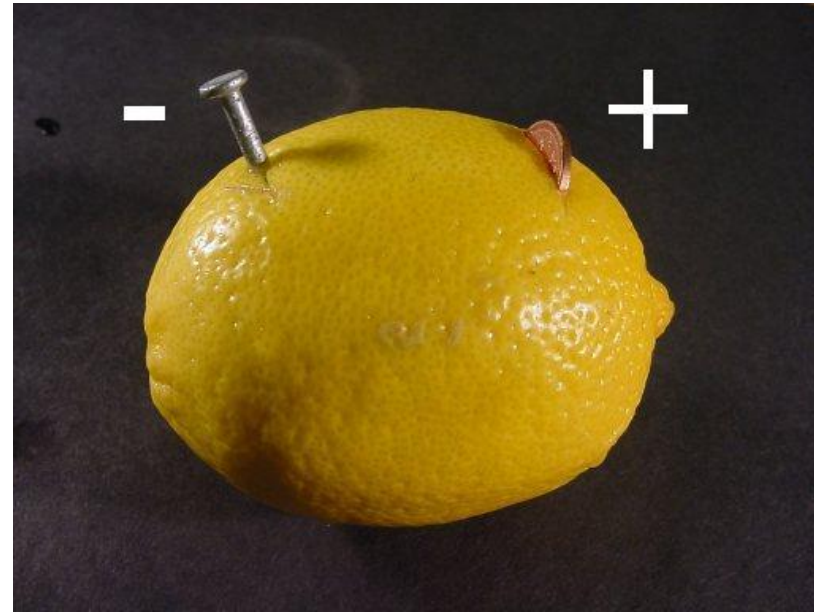
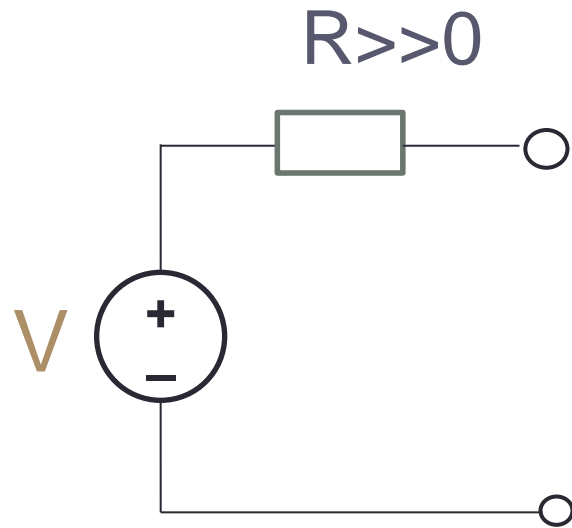
Pingeallikat ei tohi lühistada, ega ühendada paralleelselt teise pingeallikaga (tekib lõpmata suur vool) !



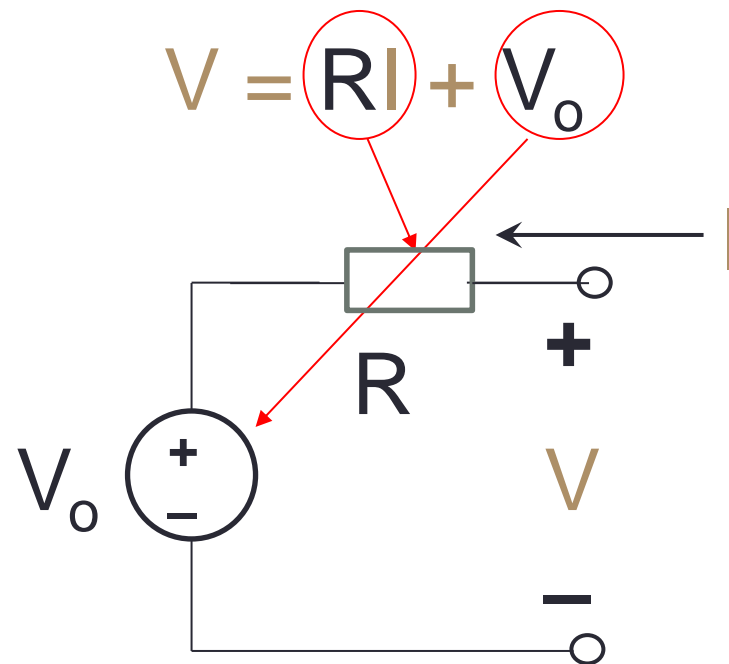
Pingeallikas



Reaalne pingevalik



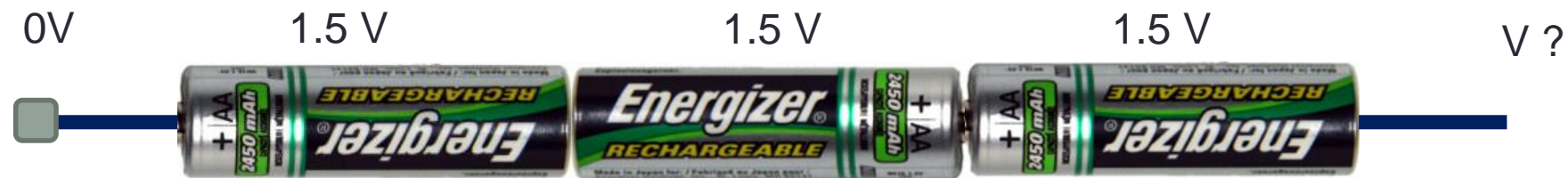
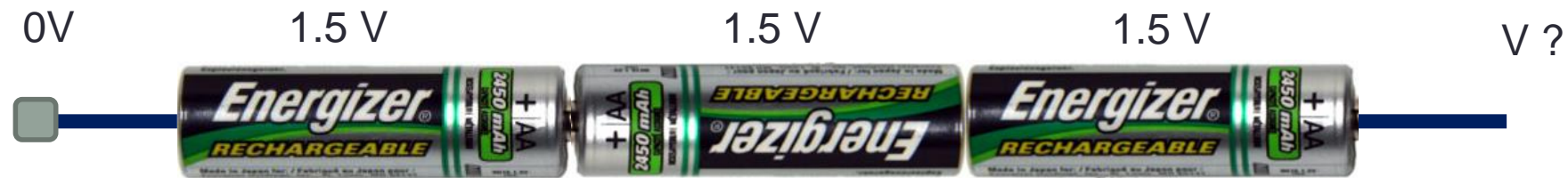
Thévenin'i teisendus ja aseskeem



Suvalise kaksklemmi sisu saab teisendada pingevallika ning takistuse (impedantsi) jadaühenduseks.

Pingeallikas

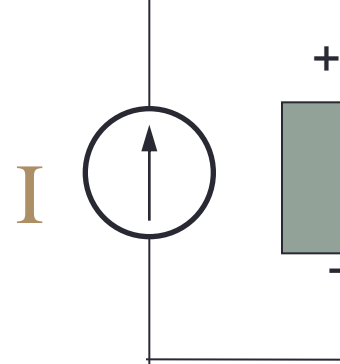
Jadaühendus . Pinged liituvad. Vool on sama !



Vooluallikas

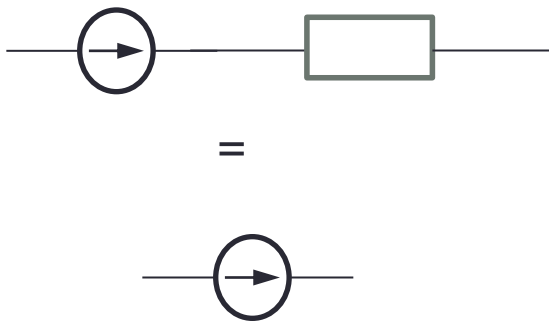
Vooluallika eesmärk on tekitada temast läbiv kindel **vool**, mis ei sõltu temal olevast pingest.

Vooluallika sisejuhtivus on **0**.

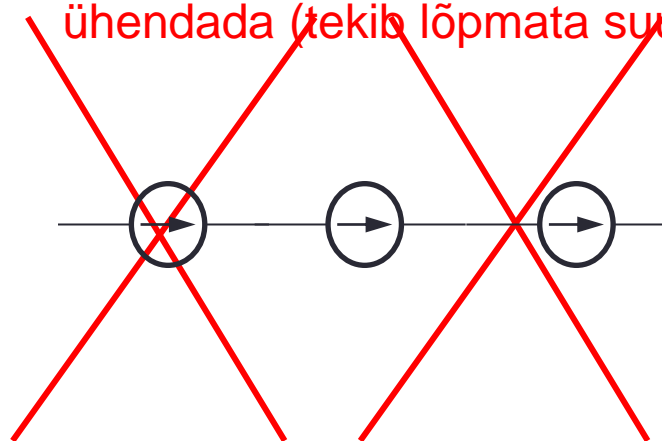


Kui on tegemist suletud süsteemiga, tekib pinge, mille märk on antud skeemil sama, mis voolul.

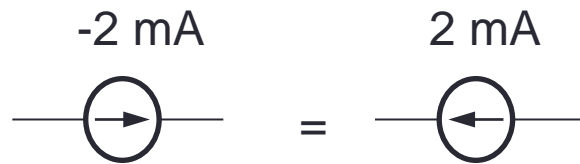
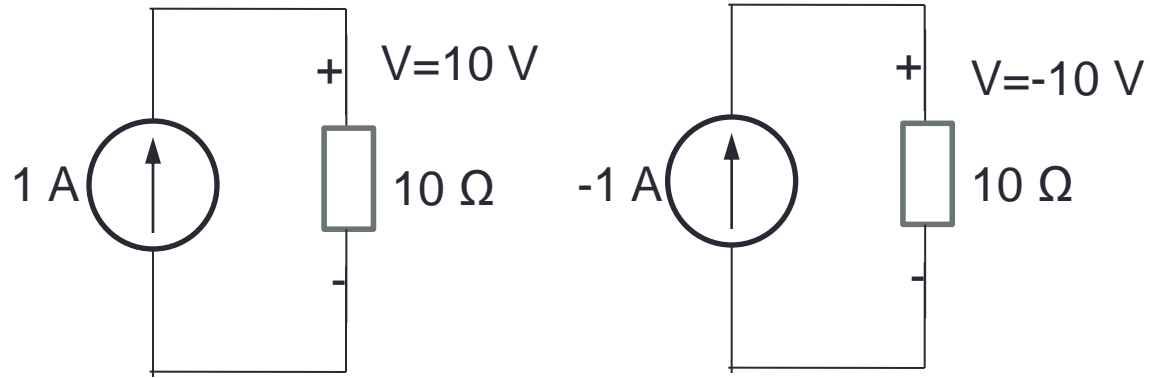
Vooluallika voolu ei mõjuta jadamisi külge ühendatud koormused.



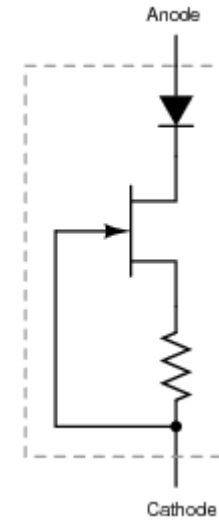
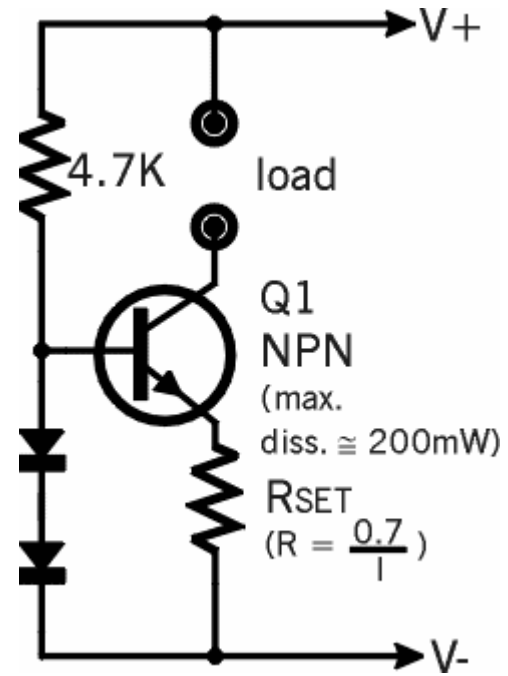
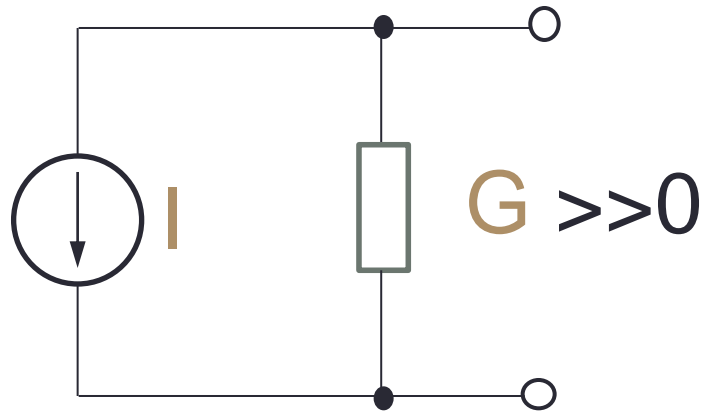
Vooluallikat ei tohi tühisesse jätta ega neid mitu tükki järjestikku ühendada (tekib lõpmata suur pinge) !!!



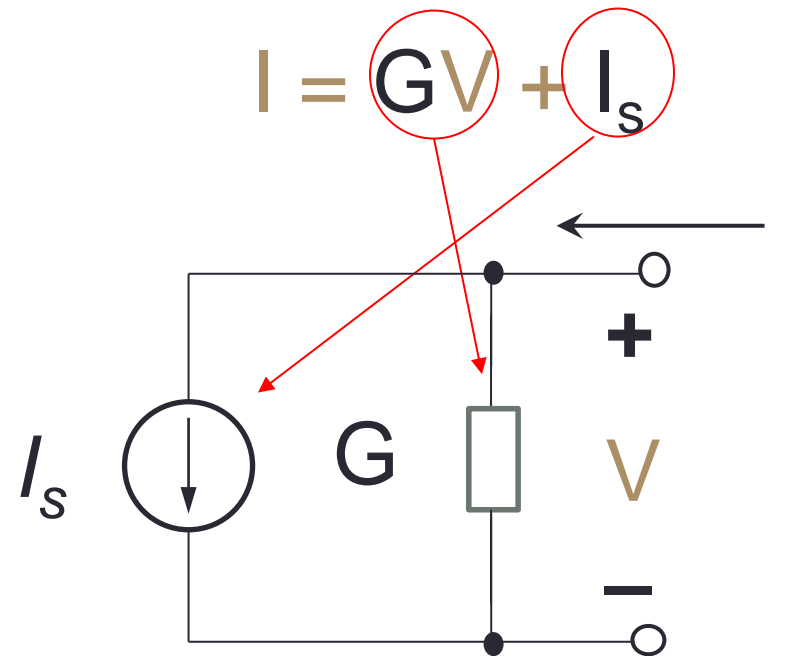
Vooluallikas



Reaalne vooluallikas



Norton'i teisendus



Suvalise kaks клемmi sisu saab teisendada
voolallika ning takistuse (impedantsi)
paralleelühenduseks.

Jagurid

Ülesanne: Ema tõi poest kommikoti, milles on 27 kommi.

Kuna Juta tegi ema äraolekul 2 korda vähem pahandust kui Juku, otsustas ema jagada kommid sedasi, et Juku saab kaks korda vähem kommi kui Juta.

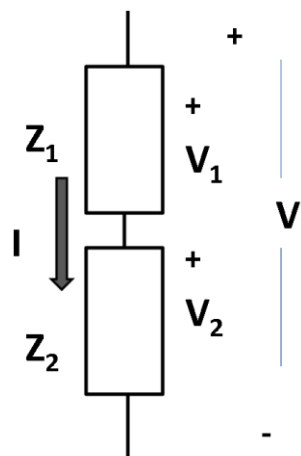
Mitu kommi saab Juku ja mitu kommi saab Juta ?

Vihje: – ema otsustas, et annab Jukule 1 osa tervikust ja Jutale 2 osa tervikust.

Pingejagur

- Tekib igal juhul , kui ühendame jadamisi kaks komponenti.
- Teadlik kasutamine elektroonikas, segab elektrotehnikas (energiakulu) .

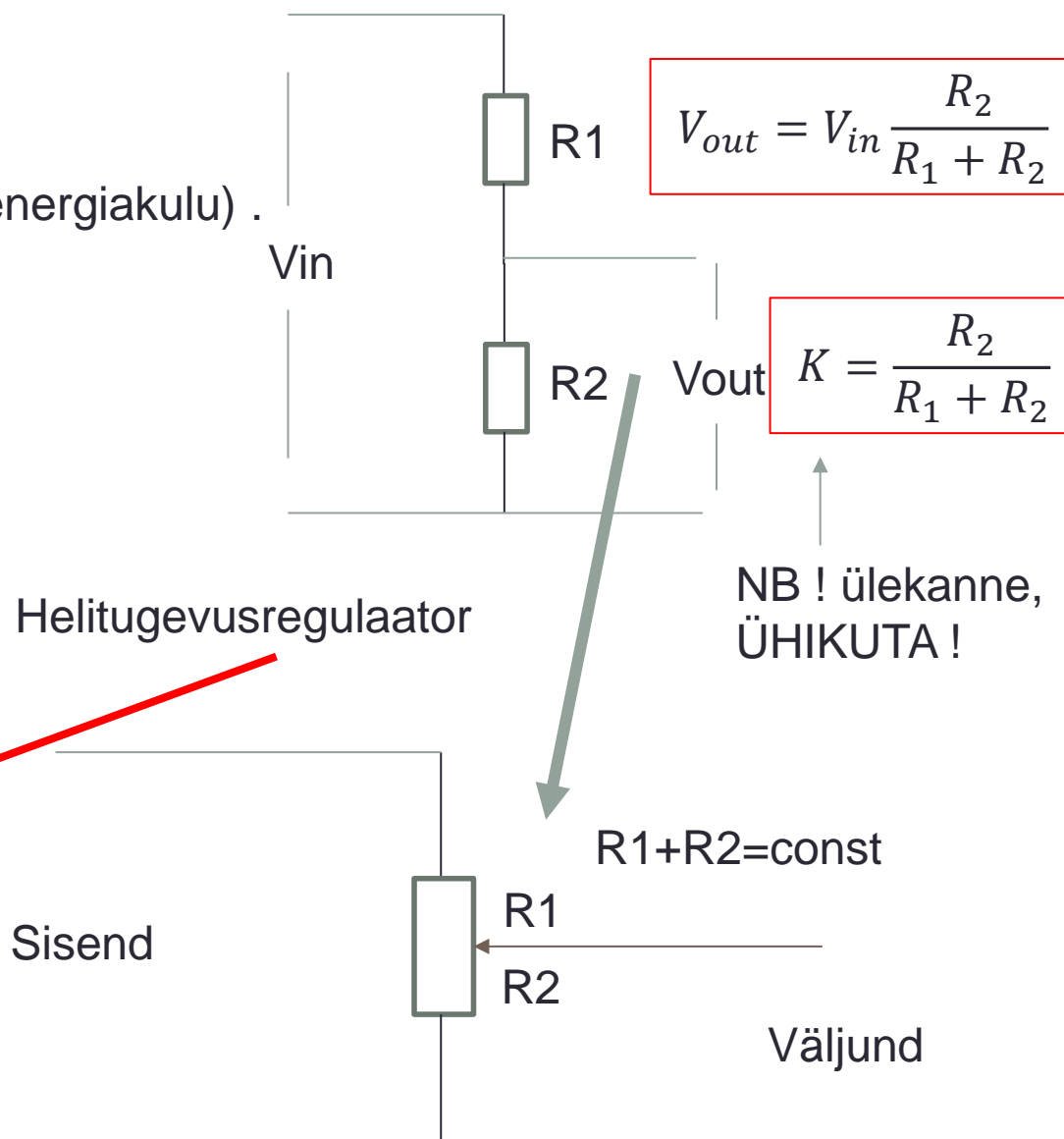
Y – juhtivuse üldtähis
(ka reatiivjuhtivus)
Z – takistuse üldtähis
(ka reaktiivtakistus)



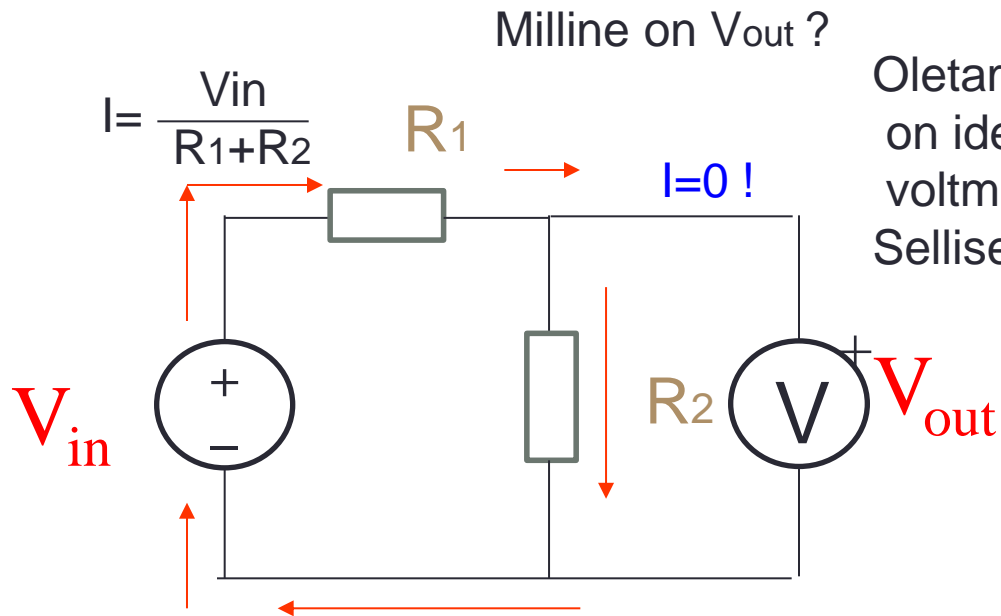
$$V = V_1 + V_2$$

$$V_1 : V_2 = Z_1 : Z_2$$

$$V_1 : V_2 = Y_2 : Y_1$$



Pingejagur



Oletame arvutustes, et allikas ja mõõtur on ideaalsed (pingeaallikas on lühis ja voltmeeter tühis).
Sellisel juhul **voltmeetrit läbiv vool on 0.**

Ahelas tekiv vool läbib mõlemat takistit ja avaldub Ohmi seaduse järgi : $I = \frac{V_{in}}{R_1 + R_2}$

Takistil R_2 tekib pinge V_{out} : $V_{R_2} = V_{out} = I * R_2$ Asendades sisse voolu, saame, et

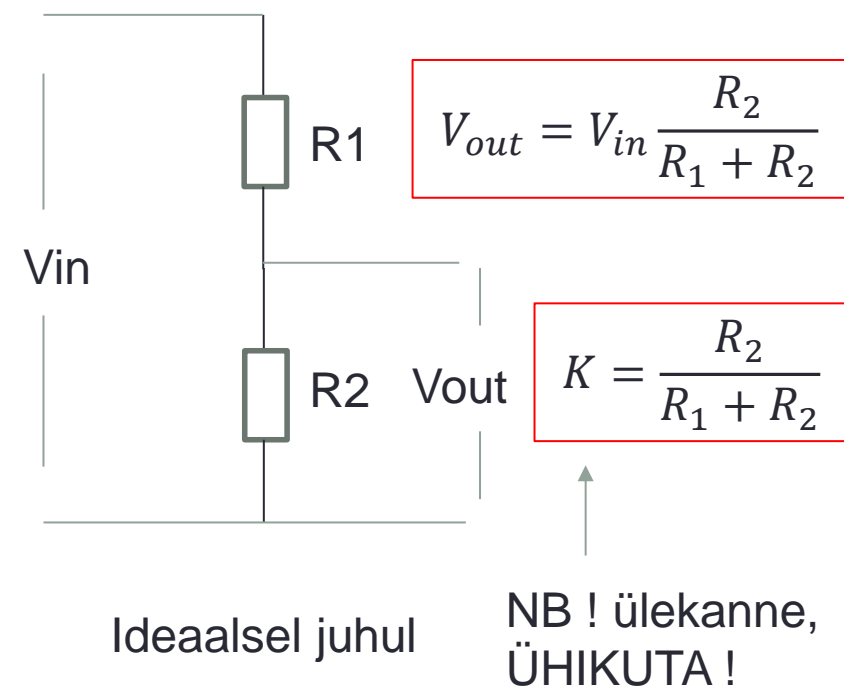
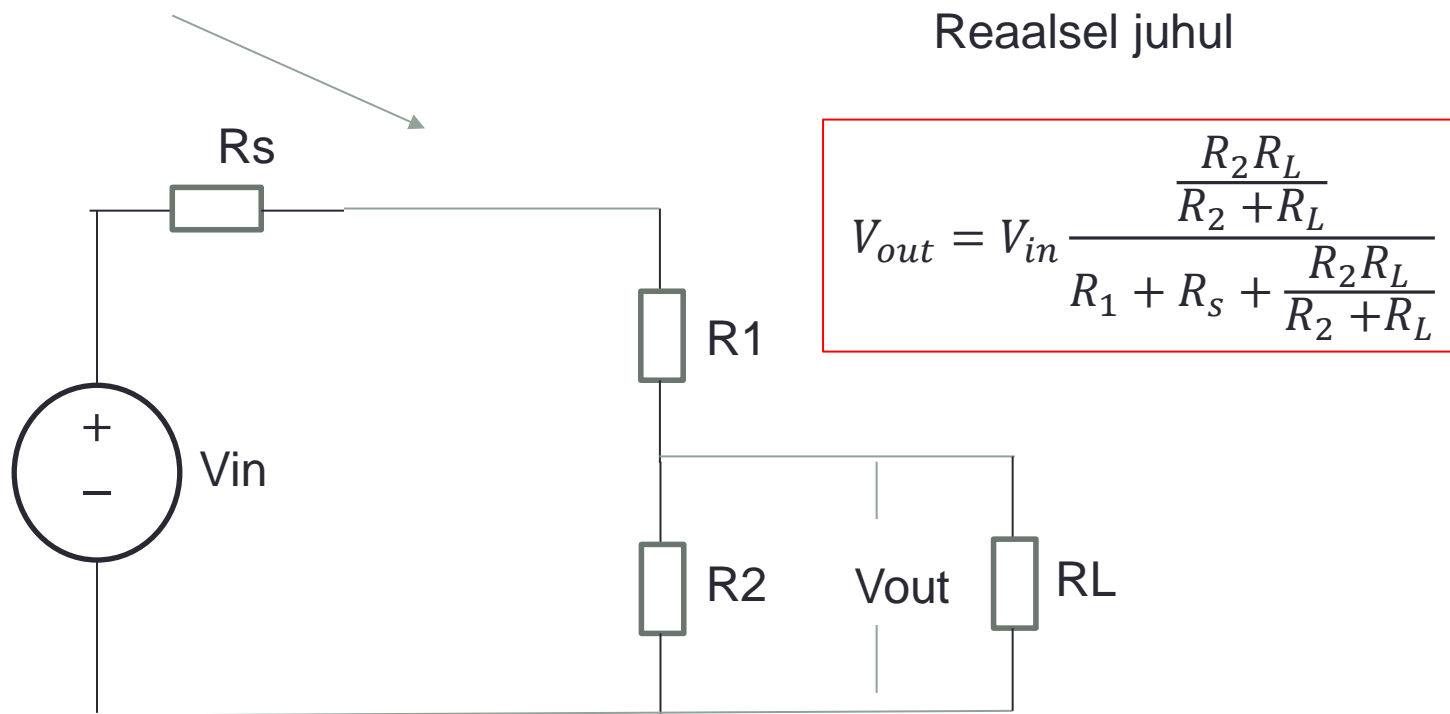
$$V_{R_2} = V_{out} = R_2 * \frac{V_{in}}{R_1 + R_2}$$

Ülekanne avaldub sellest:

$$K = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

Pingejagur

- Kui allikas oleks ideaalne ja tarbimine välisahelas puudub, ei sõltu ülekanne mitte takistuste väärtusest vaid nende **suhtest**.
- **Realne** maailm nii ilus ei pruugi olla.



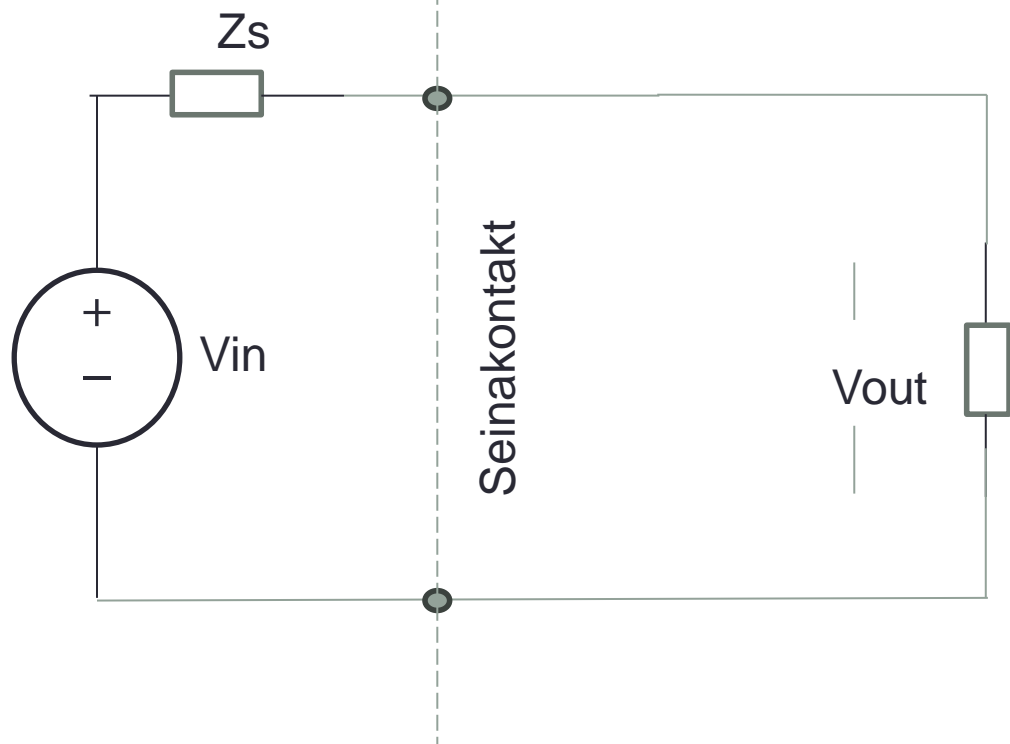
Praktikas üritatakse teha nii, et $R_s \ll R_1 + \frac{R_2 R_L}{R_2 + R_L}$ ja $R_L \gg \frac{R_2 (R_1 + R_s)}{R_2 + R_1 + R_s}$

Siis:

$$V_{out} \approx V_{in} \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

Pingejagur

- Näide elektroenergeetikast:
- NB $Z_s \ll Z_L$, see **PEAB** sedasi olema !
- Väikeste koormuste juures ei avalda koormuse muutus võrgupingele mõju
- Suuremal koormusel (nt veekeetja) langeb pinge seinakontakti klemmidel



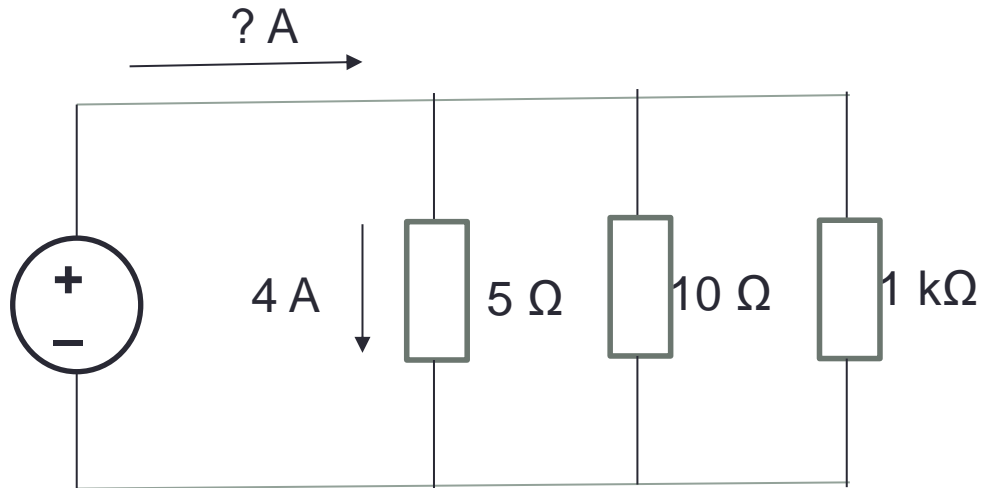
$$V_{out} = V_{in} \frac{Z_L}{Z_s + Z_L}$$

- Z_s – elektrivõrgu näivtakistus
- Z_L – tarbija näivtakistus (tegu on vahelduvvooluga ja mõlemad on reeglina kompleksarvud)

- Tarbija jaoks paistab kogu eelnev elektrisüsteem (tootjad, ülekandeahelad) lihtsa **kaksklemmina** !
- Kõiki komponente saab vaadelda eraldi ja hiljem panna neist kokku tervik.

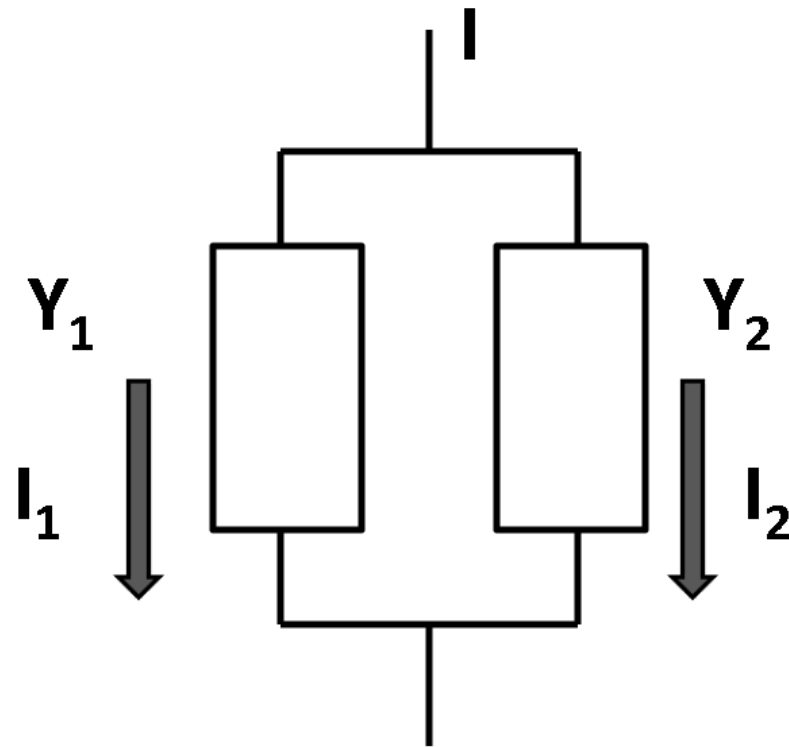
Mõelge “kastist” välja !

- Alati **pole** vaja kasutada valemeid, et õiget vastust saada.



- Inseneri praktiline ülesanne - Kas ma võin panna pingevalikuga jadamisi 5 A kaitsme ?

Voolujagur



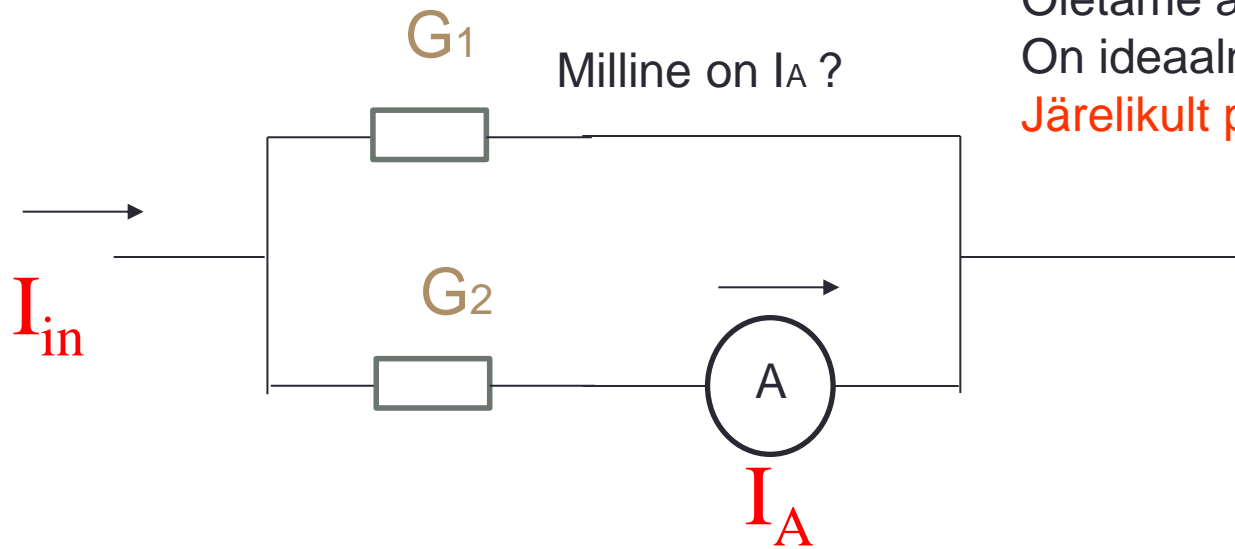
$$I = I_1 + I_2$$

$$I_1 : I_2 = Y_1 : Y_2$$

$$I_1 : I_2 = Z_2 : Z_1$$

Y – juhtivuse üldtähis (ka reatiivjuhtivus) Z – takistuse üldtähis (ka reaktiivtakistus)

Voolujagur



Oletame arvutustes, et ampermeeter
On ideaalne (sisetakistus on 0) .
Järelikult pinge ampermeetril on 0.

Vool I_{in} läbides juhtivusi G_1 ja G_2 tekitab nendel Ohmi seaduse järgi pinge:

$$V_{G_1}=V_{G_2}=\frac{I_{in}}{G_1+G_2}$$
 Vool , mis läbib juhtivust G_2 , avaldub G_2 pinge ja

juhtivuse korrutisena: $I_{G_2}=I_A=V_{G_2}*G_2$. Asendades eelmisest sisse V_{G_2} saame, et

$$I_A=G_2 * \frac{I_{in}}{G_1+G_2} \quad , \text{ ehk ülekanne avaldub : } K = \frac{I_A}{I_{in}} = \frac{G_2}{G_1+G_2}$$

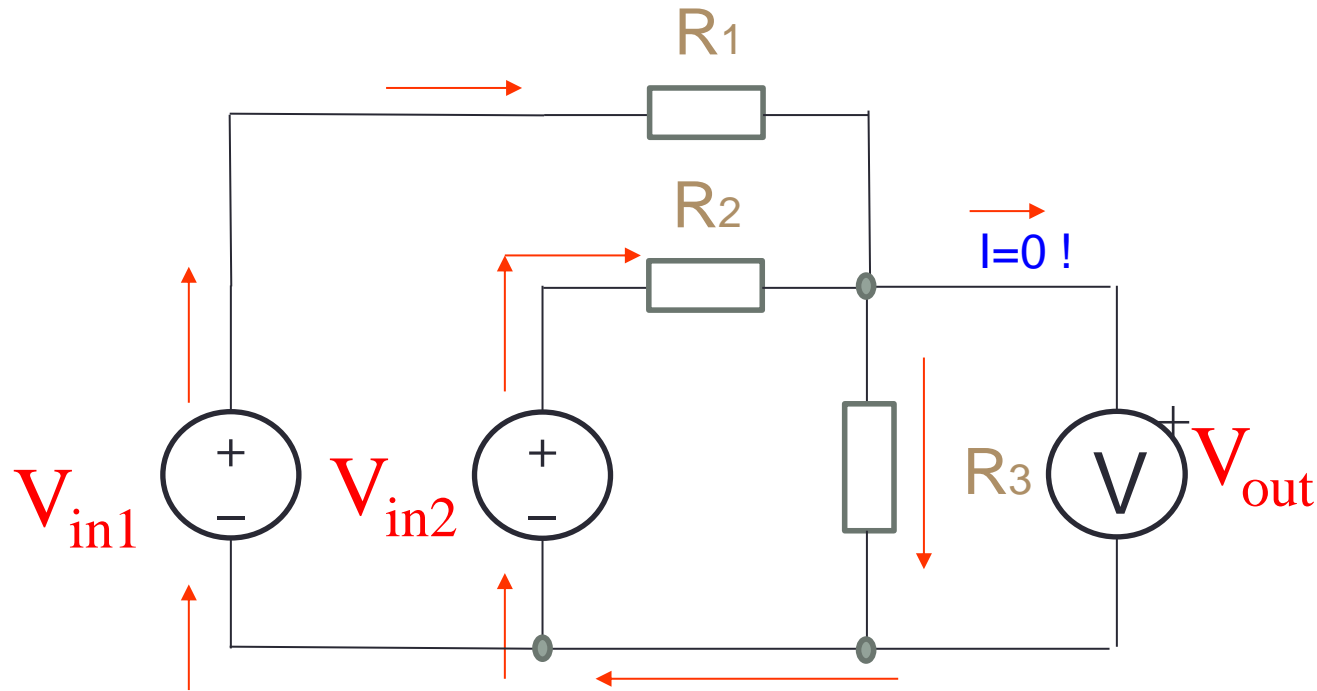
Arvestades, et $G=1/R$, võib ülekanne avaldada ka nii: $K = \frac{I_A}{I_{in}} = \frac{R_1}{R_1+R_2}$

Superpositsioon

- Lineaarses ahelas on süsteemi reaktsioon mitmele mõjurile sama, mis üksikute mõjurite poolt tekitatud reaktsioonide summa.
- Kui **lineaarne** (!!!) ahel sisaldab mitut allikat, saame välja arvutada väljundi reaktsiooni iga allika kohta eraldi ning tulemused kokku liita.
- Allikad, mida ei kasutata, tuleb asendada nende sisetakistustega (pingeallikas=lühis, vooluallikas=tühis)

Superpositsioon (näide)

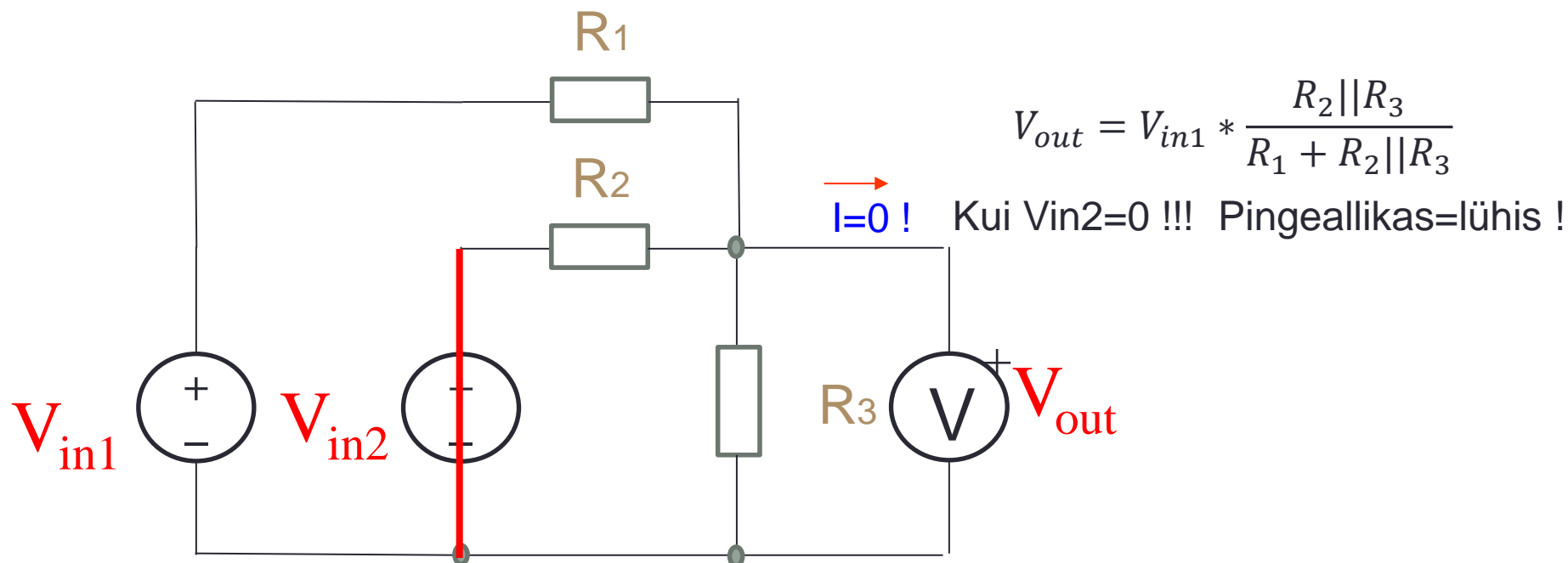
- Kuidas sõltub väljundpinge sisendpingetest ja takistustest ?



Lahenduskäike on erinevaid kuid peavad andma sama tulemuse !
Superpositsiooni meetodil arvutatakse välja väljundpinge mõlemast allikast eraldi ning need liidetakse.

Superpositsioon (näide)

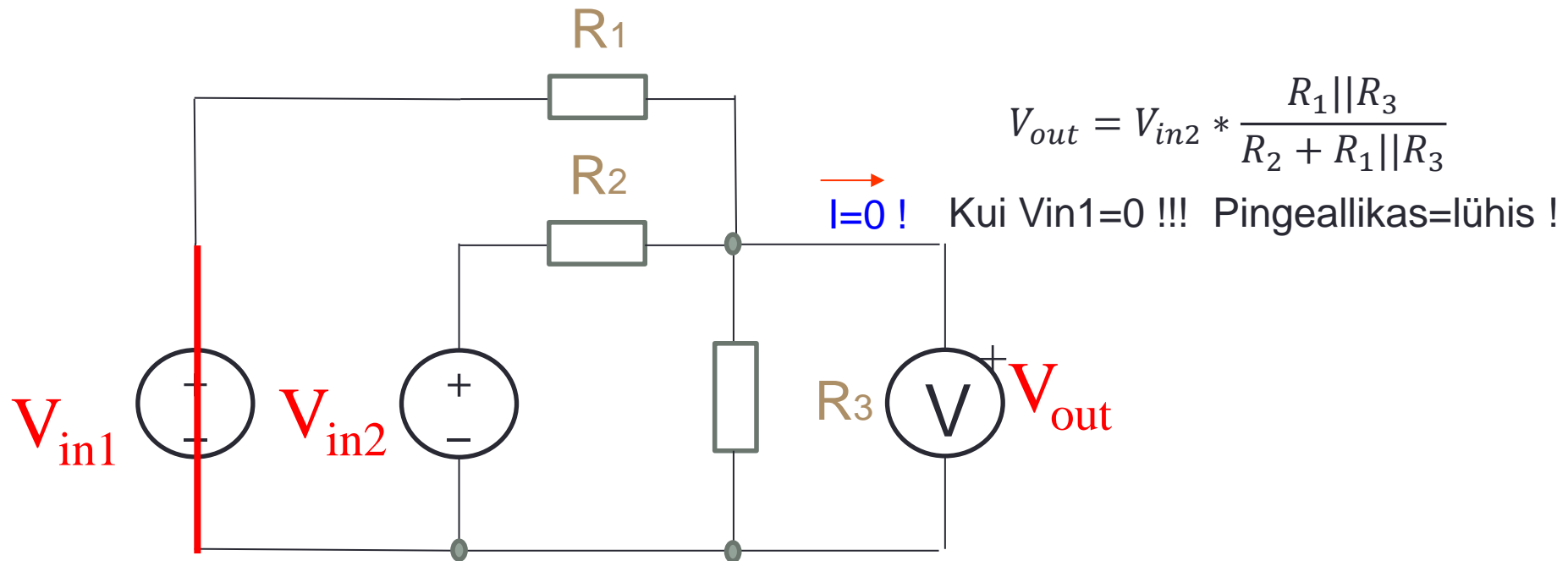
- Kuidas sõltub väljundpinge sisendpingetest ja takistustest ?



Võtame esialgu väljundi sõltuvuse pingest V_{in1} Ehk asendame teise allika ekvivalenttakistusega. Tekib R_2 ja R_3 paralleelühendus ning pingejagur.

Superpositsioon (näide)

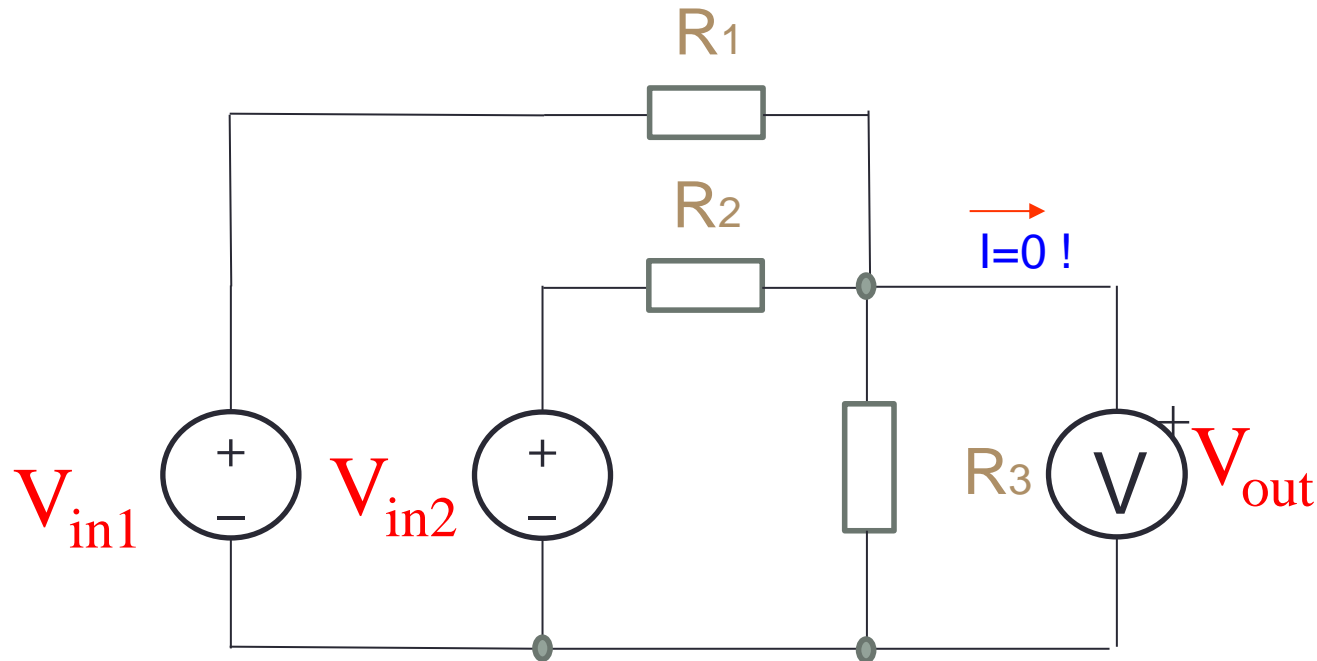
- Kuidas sõltub väljundpinge sisendpingetest ja takistustest ?



Võtame väljundi sõltuvuse pingest V_{in2} Ehk asendame esimese allika ekvivalenttakistusega. Tekib R_1 ja R_3 paralleelühendus ning pingejagur.

Superpositsioon (näide)

- Kuidas sõltub väljundpinge sisendpingetest ja takistustest ?

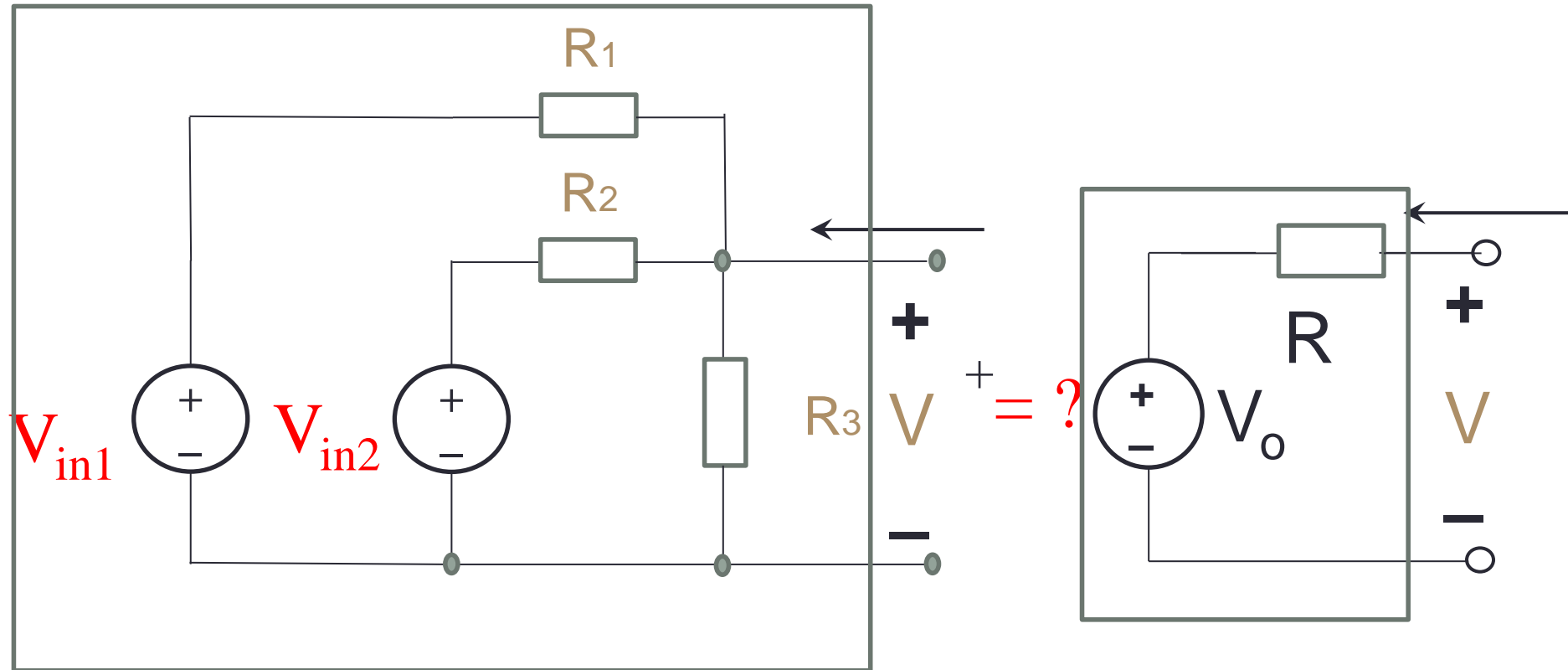


Liidame reaktsioonid :
$$V_{out} = V_{in1} * \frac{R_2 || R_3}{R_1 + R_2 || R_3} + V_{in2} * \frac{R_1 || R_3}{R_2 + R_1 || R_3}$$

$$V_{out} = V_{in1} * \frac{R_2 * R_3}{(R_2 + R_3)(R_1 + \frac{R_2 * R_3}{R_2 + R_3})} + V_{in2} * \frac{R_1 * R_3}{(R_1 + R_3)(R_2 + \frac{R_1 * R_3}{R_1 + R_3})}$$

Thévenin'i teisendus (näide)

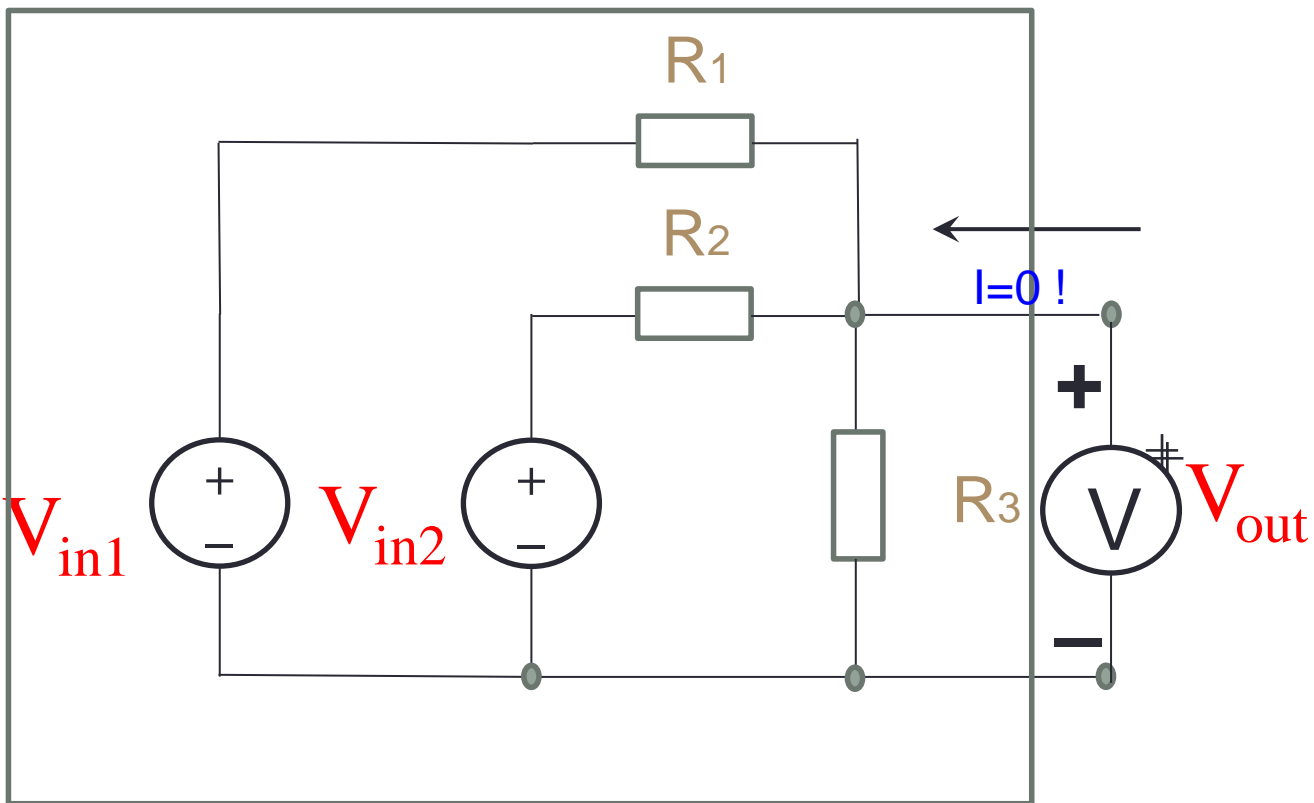
- Teeme Thévenini aseskeemi :



Vaja leida tühispinge ning sisetakistus

Thévenin'i teisendus (näide)

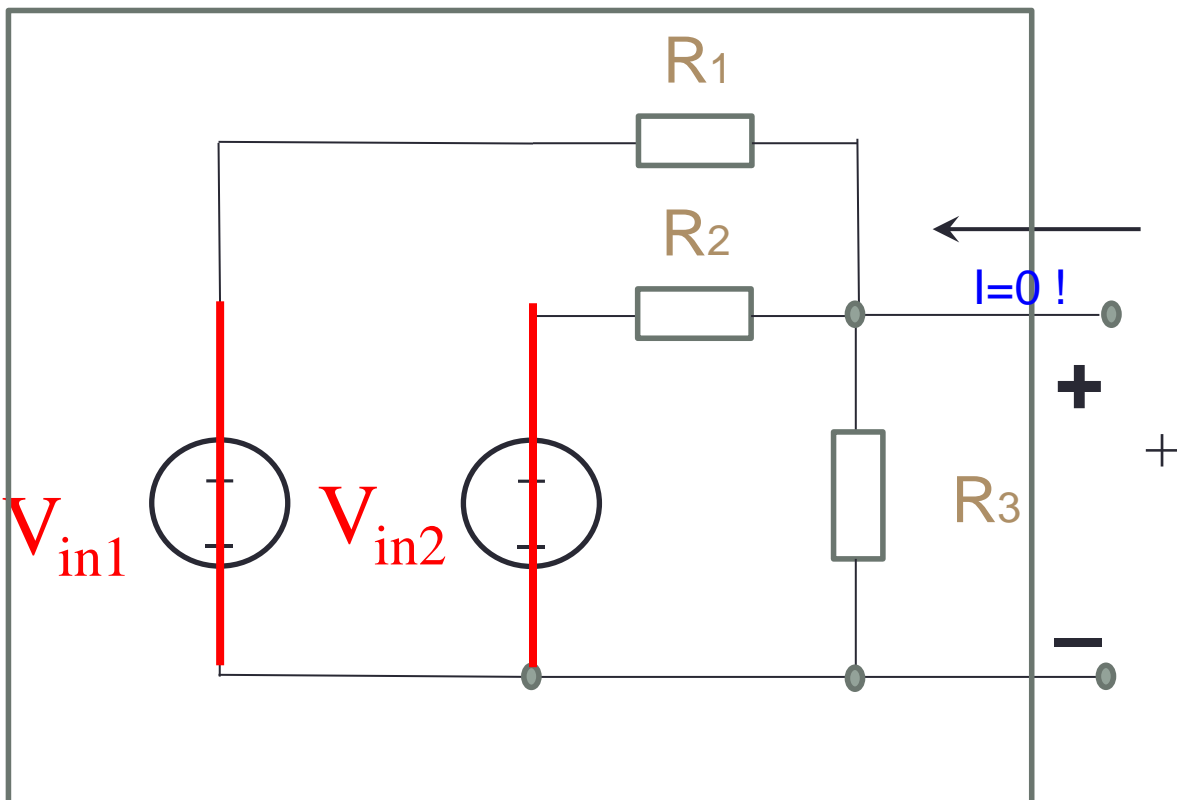
- Tühispinge leidmine on eelnevatel slaididel



$$V_{out} = V_{in1} * \frac{R_2 * R_3}{(R_2 + R_3)(R_1 + \frac{R_2 * R_3}{R_2 + R_3})} + V_{in2} * \frac{R_1 * R_3}{(R_1 + R_3)(R_2 + \frac{R_1 * R_3}{R_1 + R_3})}$$

Thévenin'i teisendus (näide)

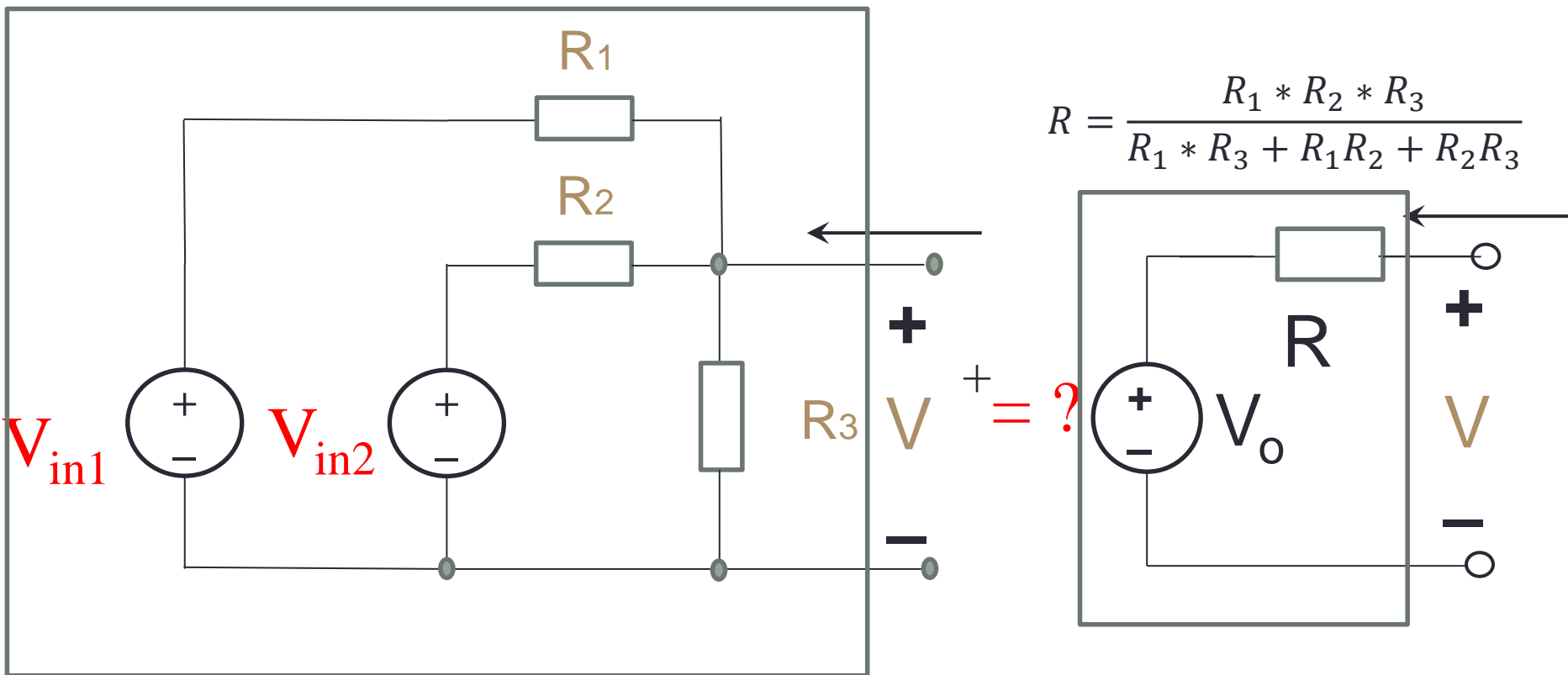
- Sisetakistus : Asendame kõik allikad nende sisetakistustega



Tekib kolme takisti paralleelühendus $R = R_1 || R_2 || R_3 = \frac{R_1 * R_2 * R_3}{R_1 * R_3 + R_1 R_2 + R_2 R_3}$

Thévenin'i teisendus (näide)

Lõpptulemus



$$R = \frac{R_1 * R_2 * R_3}{R_1 * R_3 + R_1 R_2 + R_2 R_3}$$

$$V_0 = V_{in1} * \frac{R_2 * R_3}{(R_2 + R_3)(R_1 + \frac{R_2 * R_3}{R_2 + R_3})} + V_{in2} * \frac{R_1 * R_3}{(R_1 + R_3)(R_2 + \frac{R_1 * R_3}{R_1 + R_3})}$$