

ISC0100

KÜBERELEKTROONIKA

Kevad 2018

Üheteistkümnes loeng

Martin Jaanus

U02-308 (hetkel veel)

martin.jaanus@ttu.ee

620 2110, 56 91 31 93

Õppetöö : <http://isc.ttu.ee>

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

Teemad

Elektroonika ja muu maailm

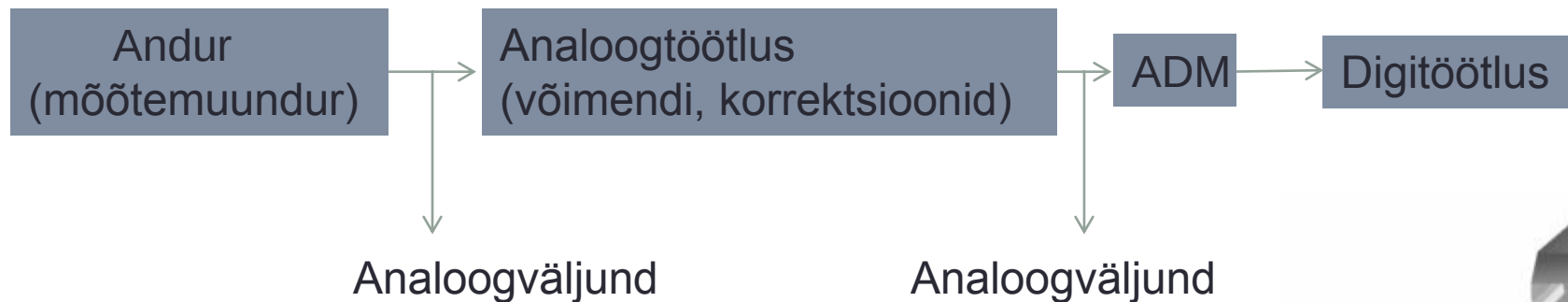
- Mitteelektrilised andurid
- Täiturid

Mitteelektrilised suurused

Mitteelektriline suurus (näit temperatuur) muudetakse elektriliseks (pinge, vool, sagedus, mahtuvus jne)

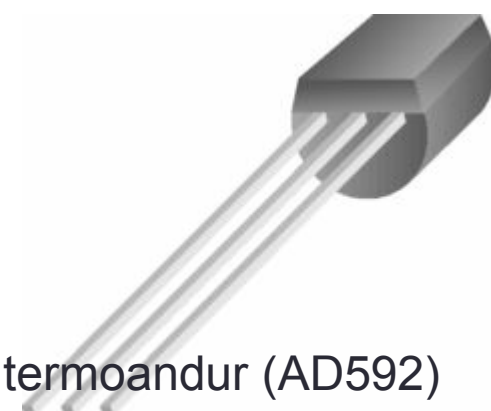
Tänapäeval eelistatakse viia mõõtetulemused võimalikult muunduri lähedalt viia digitaalkujule. Bitid on odavad, kvaliteetne analoogelektronika kallis. Sellegipoolest on analoogtöötlusel üks eelis – vajab vähem energiat kui digitöötlus ning toimib reaalajas.

Integreeritud tänapäeval praktiliselt kõikjale (nutitelefon, IoT).



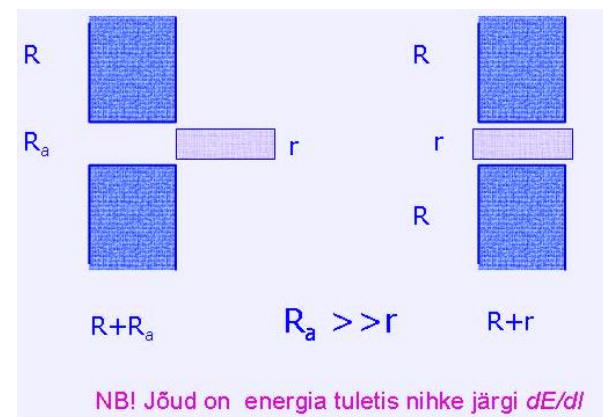
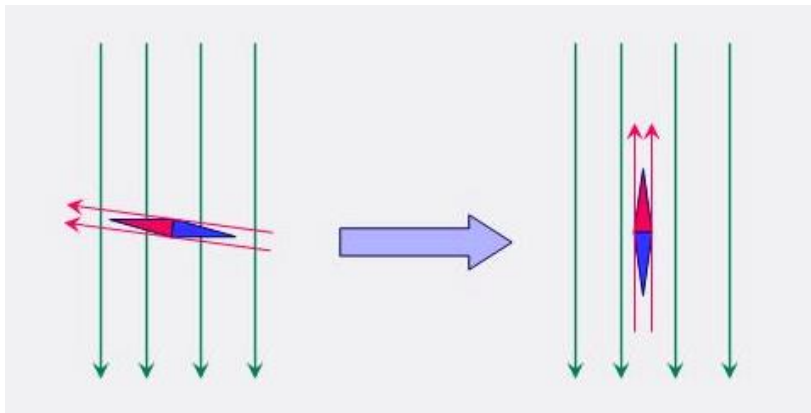
Probleem: Andurid on tundlikud mitmele parameetrile (eelkõige temperatuurile)

Digiväljundiga termoandur (AD592)



Elektromagnetilised muundurid

- Elektri- ja magnetnähtused on looduses toimiva üldise elektromagnetilise vastastikmõju avaldumisvormid.
- Elektromagnetjõudude kaks tähtsaimat tehnilist rakendust on elektroenergeetika ning elektriline side- ja infotehnika.
- 1831 Elektromagnetilise induksiooni seadus (M.Faraday)
- Vooluga juhet ümbriteb magnetväli
- Ajas muutuv magnetväli tekitab elektrivoolu.
- Muundureid võib vaadata kui (pööratavaid) kaksporte.
- Liikumise motiiv : Iga süsteem püüab võtta minimaalse energiaga olekut – seega tema liikumine on minimaalse energia suunas.



Elektromagnet(relee)

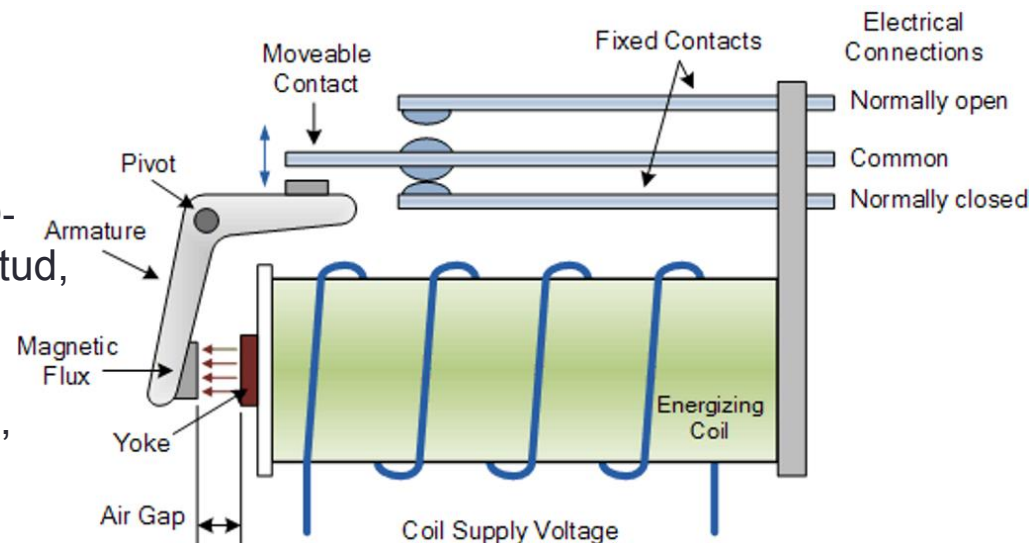
- Elektriliselt juhitud lüliti.
- Elektromagnet võib liigutada ka mitteelektrilisi täitureid (ventiilid, klapid)
- Iseloomulik on hüsterees – rakendumiseks on vajalik suurem voolutugevus kui asendi hoidmiseks.



http://www.vazzoler.it/electromagnetic_machinery.php

Olulised parameetrid:

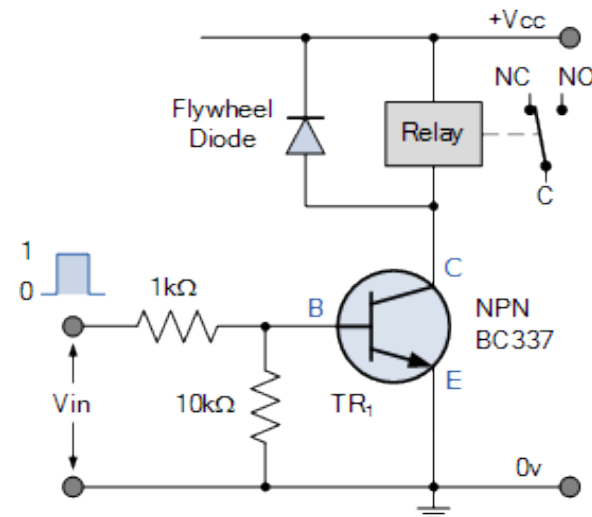
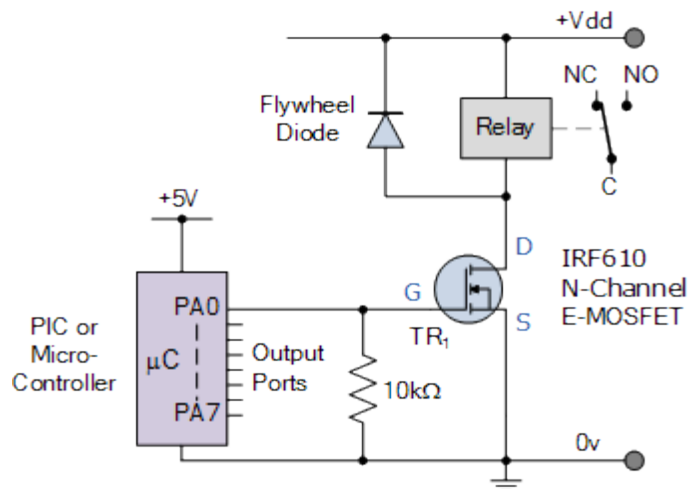
- Kontaktigruppide arv ja lülitusviis (NO- Normally Open, lähteolukorras lahutatud, NC- Normally Closed, lähteolukorras suletud)
- Tööpinge, rakendumisvool, hoidevool, mõõtmed, lülituskordade arv.



<https://www.allaboutcircuits.com/projects/use-relays-to-control-high-voltage-circuitswwith-an-arduino/>

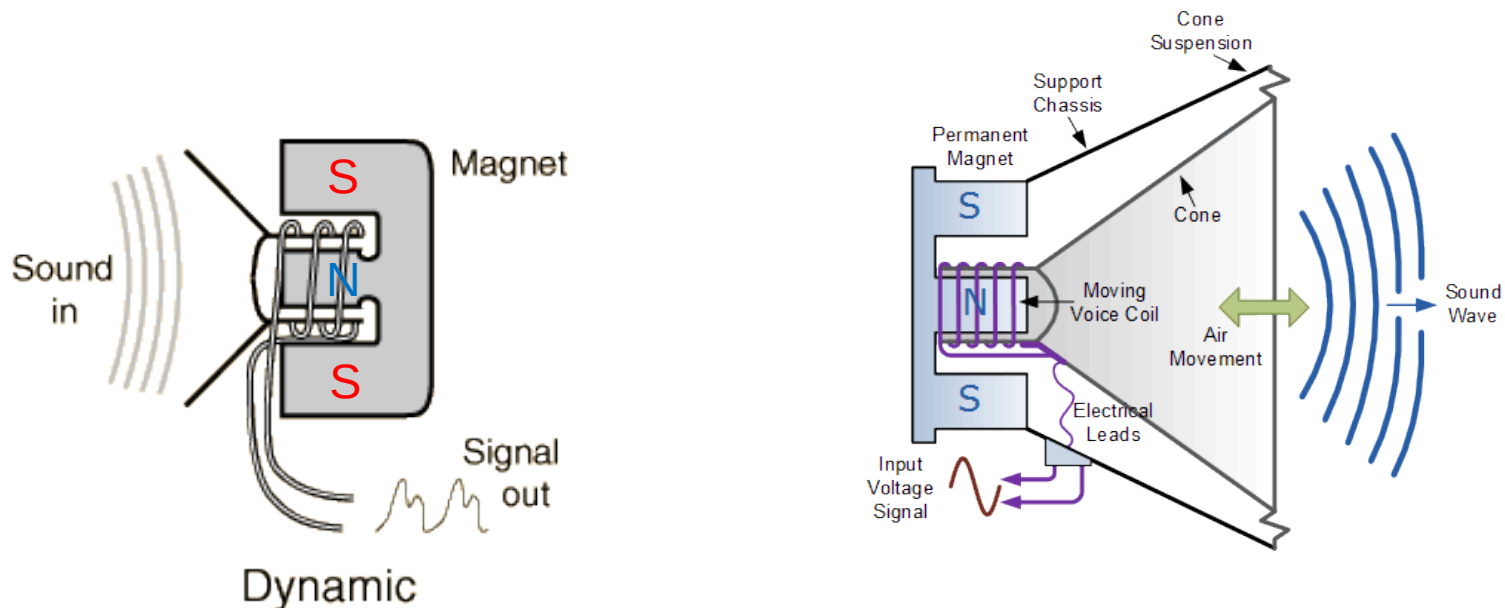
Elektromagnetite kasutamine

- Skeemi jaoks paistab (ja käitub) kui induktor ! Seda peab arvestama.
- Induktori vool on pidev ! Vool ei katke välja lülitamisel hetkeliselt !
- Kaitседiod on kohustuslik (kehtib ka mootorite kohta) !
- Üleliigse energiakulu vältimiseks tuleb lülitustransistoril aktiivrežiimi vältida.



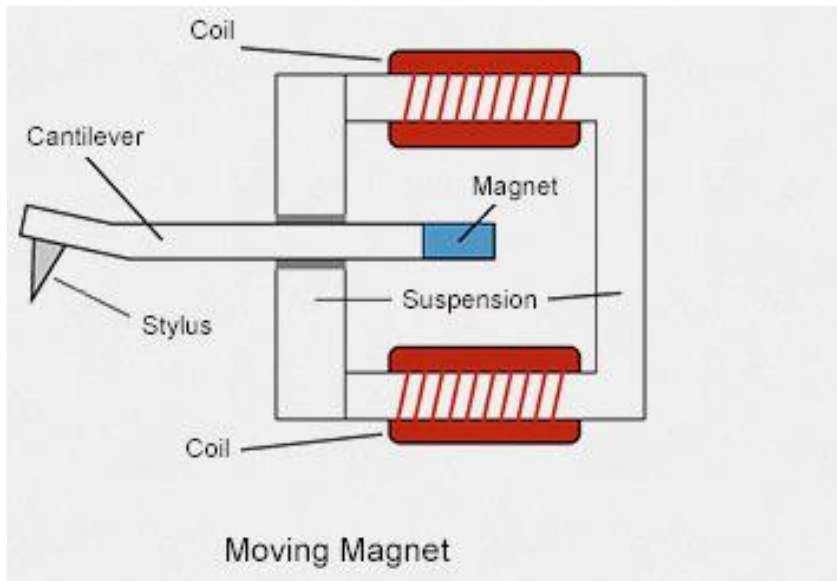
Elektroakustilised muundurid

- (dünaamilised)mikrofonid, valjuhääldid (kõlarid)
- Tööpõhimõte - magnetväljade vastasmõjul tekkiv liikumine ja vastupidi.
- Pööratav – valjuhääldit saab põhimõtteliselt kasutada mikrofonina ja vastupidi (tegelikkuses kasutatakse harva)



Mehaaniline salvestus

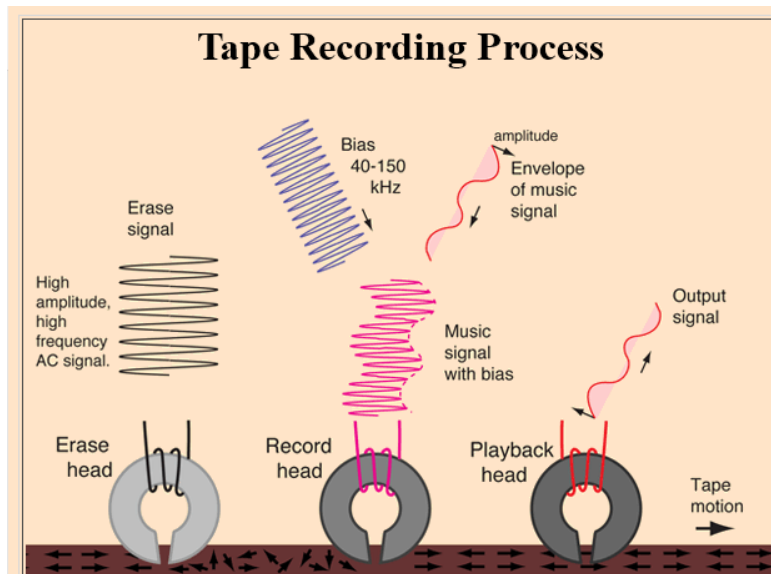
- Elektromagnetiline muundamine toimub ka mehaanilisel ja magnetsalvestusel.
- (Elektro)mehaaniliste salvestiste põhipuudus – salvestise kandja peab liikuma (reeglina ühtlase kiirusega).
- Põhieelis – salvestuse kandja ja taasesitusseade ei kuulu füüsiliselt kokku (kehtib ka optilise salvestuse puhul – CD,DVD...)



<http://coloredvinylrecords.com/blog/best-budget-phono-cartridges/>

Magnetsalvestus

- Idee – magnetiseerida liikuvat andmekandjat elektromagnetiga .
- Magnetofonid (nii heli, video, kui ka andmesalvestus). põhipuudus – jadapöördus . Eelis-lindi pikkus ei ole piiratud (arhiveerimisseadmed) .
- Tänapäeval põhikasutus – kõvakettad.
- Magnetkaardid.



Nõrga signaali allikate ühendamine

Mikrofonid, magnetpead-andurid, aga ka termopaarid jms .

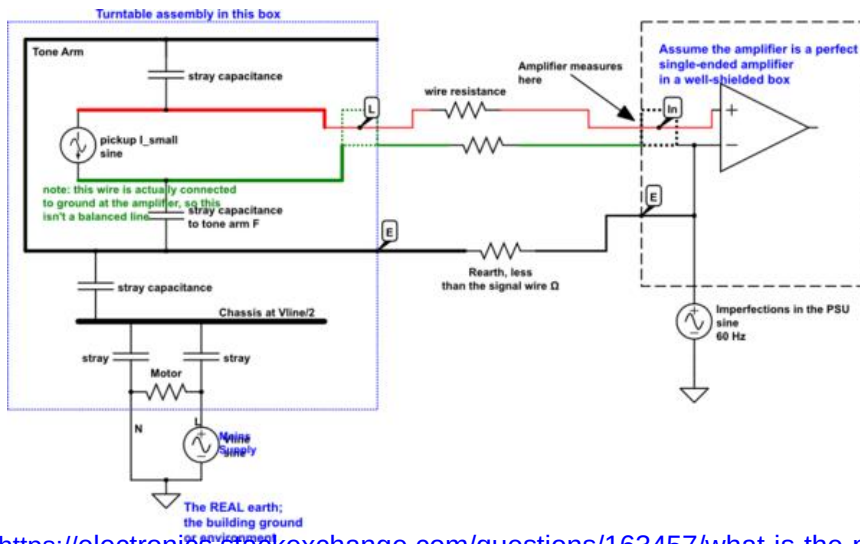
- Varjestada välise magnetvälja eest ! Voolu indutseerib juhtmes samamoodi nii kasulik magnetvälja muutus kui ka välise magnetvälja muutus.
- Paigutada tundlikud elektromagnetilised allikad võimalikult kaugele trafodest, induktoritest, mootoritest ning tugeva vooluga juhtmetest , samuti digitaallülitustest. Vajadusel tuleb needki varjestada !
- Vaskplekk varjestab elektrivälja, raudplekk lisaks ka magnetvälja.



<https://www.youtube.com/watch?v=PY061qeM8xA>

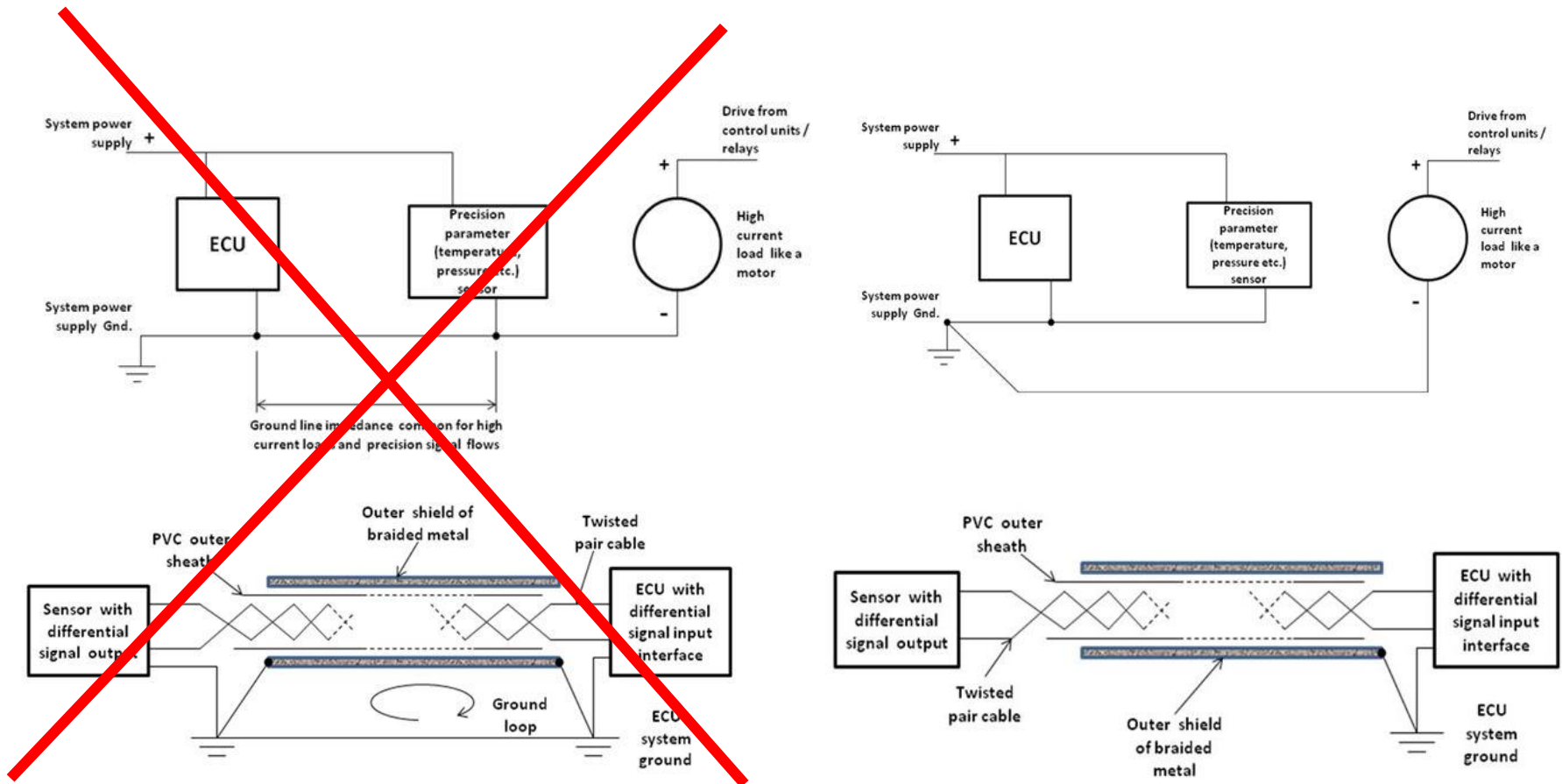
Nõrga signaali allikate ühendamine

- Austa Kirchhoffi seadusi ja probleemide hulk väheneb !
- Varjestuses ei tohi signaal liikuda !
- Kuigi allika üks ots võib olla „maa“ tuleb see ühendada „maaga“ alles võimendusastme juures.
- Võimalusel kasutada difrentsiaalvõimendit ja sümmeetrilist ühendamist.



Nõrga signaali allikate ühendamine

- Väldi maasilmuseid (Ground Loop)



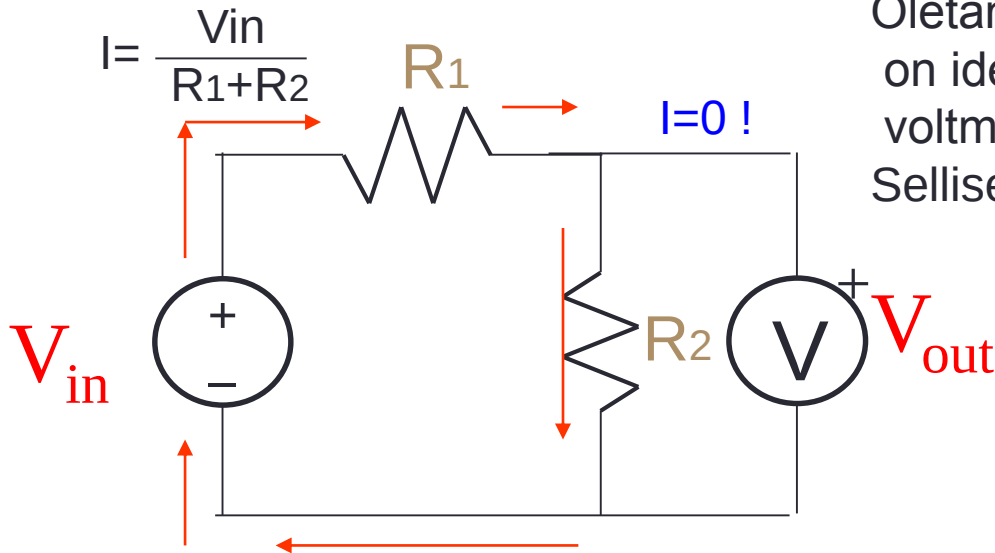
Juhtmete mõju

Pingejagur

Milline on V_{out} ?

Oletame arvutustes, et allikas ja mõõtur on ideaalsed (pingeaallikas on lühis ja voltmeeter tühis).

Sellisel juhul **voltmeetrit läbiv vool on 0.**



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

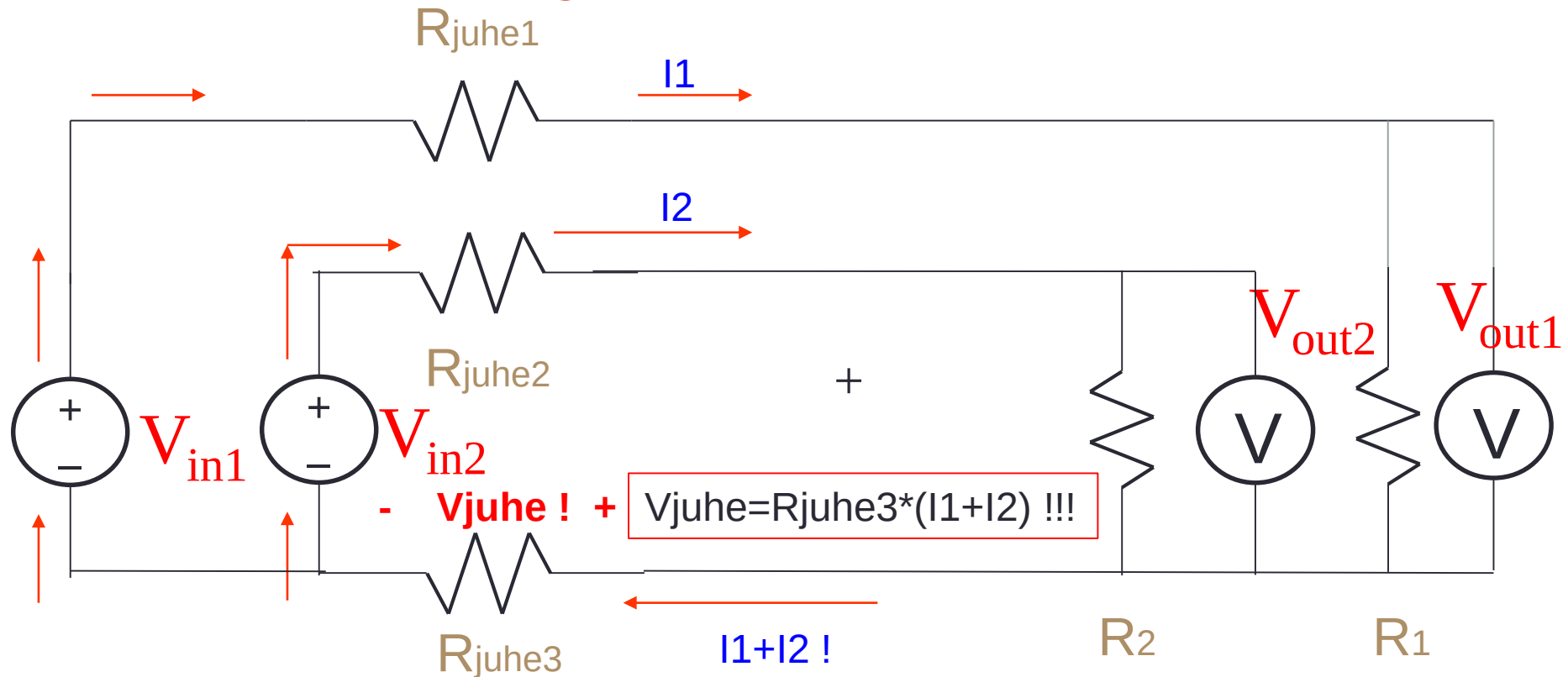
Takistil R_2 tekib pinge V_{out} : $V_{R_2} = V_{out} = I * R_2$ Asendades sisse voolu, saame, et

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

Ülekanne avaldub sellest:

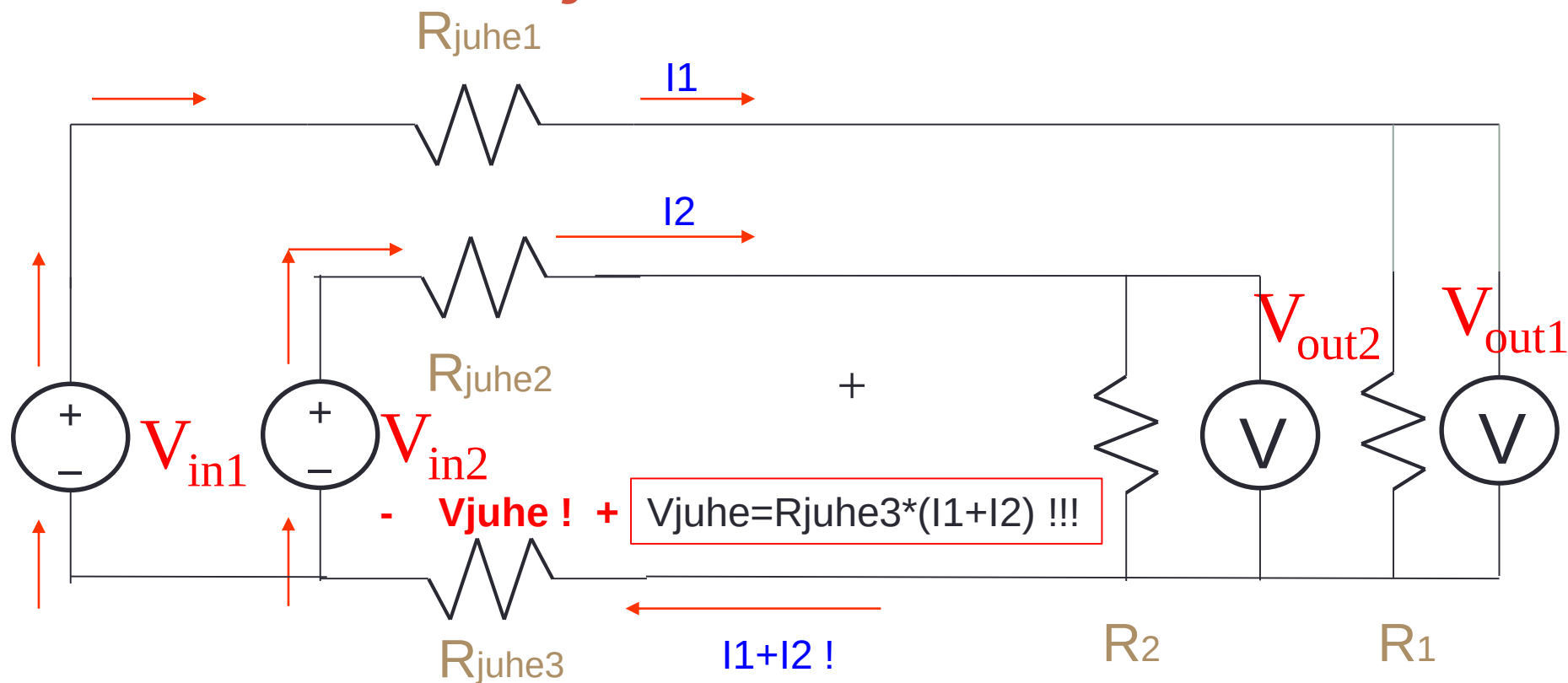
$$K = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

Juhtmete mõju



$$V_{out1} = \frac{V_{in1} * R_1}{R_1 + R_{juhe1} + \frac{R_{juhe3}(R_{juhe2} + R_2)}{R_{juhe3} + R_{juhe2} + R_2}} - \frac{V_{in2} * R_{juhe3}}{R_2 + R_{juhe2} + R_{juhe3}}$$

Juhtmete mõju



Oletame, et V_{in1} on toiteallikas, pinge 12 V, juhtmete takistus 0.1Ω , koormuse R_1 takistus on 10Ω (näiteks mootor).

V_{in2} on anduri väljundpinge, suurusjärgus 1 mV, R_2 (võimendi sisendtakistus) $10 \text{ k}\Omega$.

V_{in1} põhjustab takistil R_2 pinge -117 mV !

Elektrimootorid (generaatorid)

- Liikumise motiiv : Iga süsteem püüab võtta minimaalse energiaga olekut – seega tema liikumine on minimaalse energia suunas.
- Pideva (pöörleva) liikumise jaoks on vaja tekitada olukord, kus energia koos liikumisega jääb suuremaks minimaalsest.

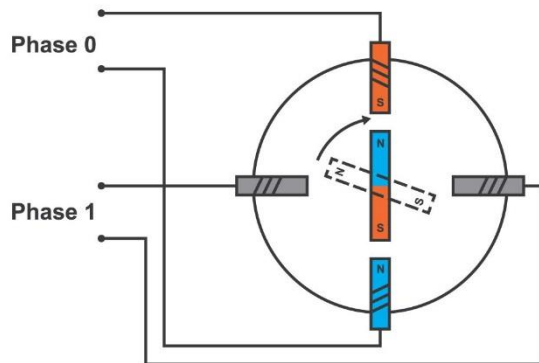
Pöörlev magnetväli- saab teha

- Voolude juhtimisega mähistes pöörlemisest sõltumatult
- Voolude juhtimisega sõltuvalt pöörlemisest.

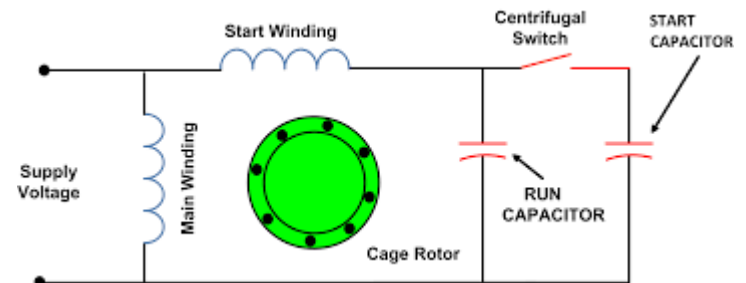
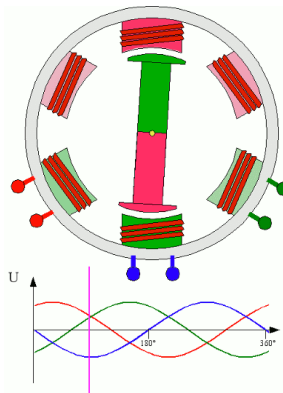
Süsteem on pööratav – mootor töötab ka generaatorina.

Vahelduvvoolumootorid

- Harmoonilise signaaliga saab tekitada pöõrmagnetvälja, kui paigutada mähised ringjoonele ja suunata nendesse ajaliselt nihkes signaal. Väga hea video https://www.youtube.com/watch?v=LisefA_YuVg
- Faasinihe saavutatakse kas kondensaatori kasutamisega või on kasutusel mitme(reeglina kolme-)faasiline energiaülekanne
- Kiirus sõltub toitepinge sagedusest .



Kahefaasiline mootor kolmefaasiline mootor

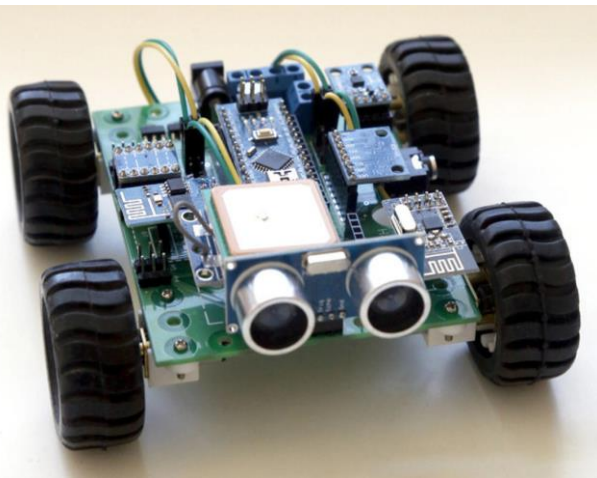


Kahefaasiline mootor
ühefaasilises süsteemis

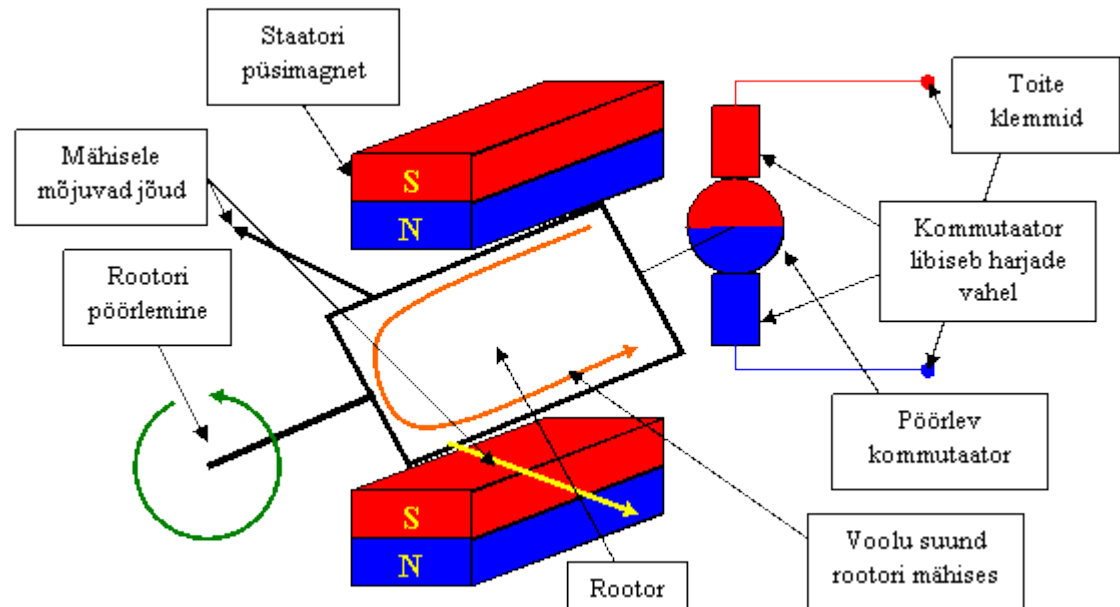
https://www.youtube.com/watch?time_continue=369&v=P-eTLmJC2cQ

Alalisvoolumasinad

- Mootori tööpõhimõte – magnetväljade vastastikuline mõju muutmine pöördliikumiseks
- Kui magnetjõud hakkavad tasakaalustuma, muudetakse kommutaatoriga voolu suund vastupidiseks.



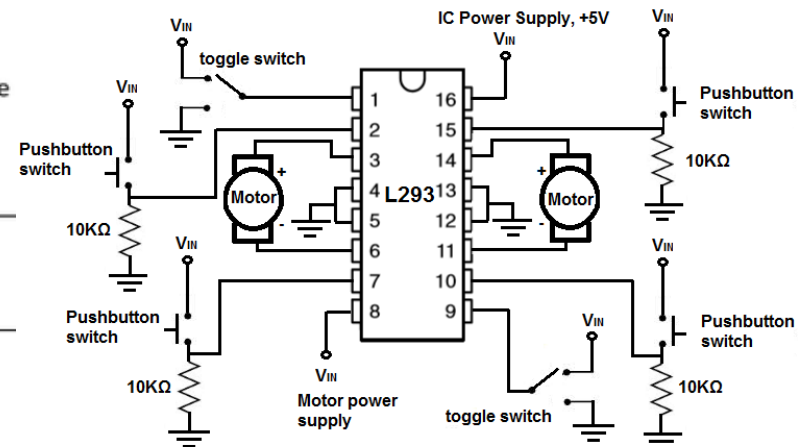
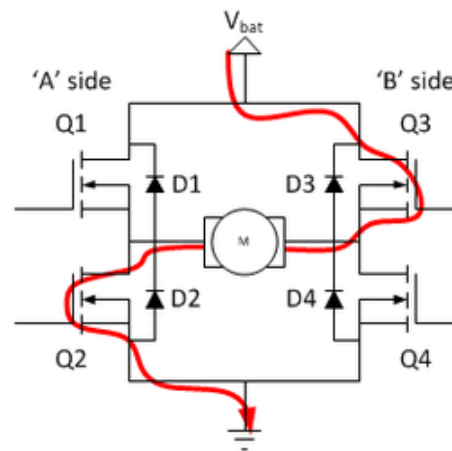
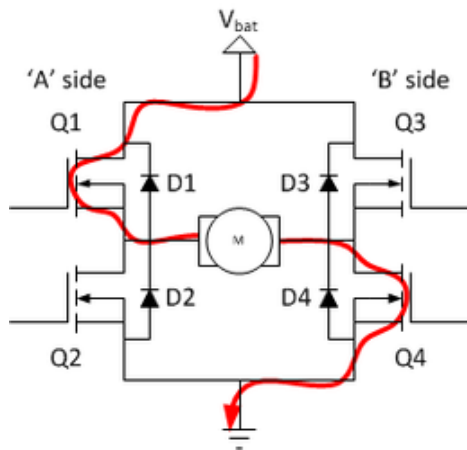
Kommutaatormootor →



<http://digi.physic.ut.ee/rvp/stuff/html/DC-Mootor.html>
<https://www.youtube.com/watch?v=LAtPHANefQo>

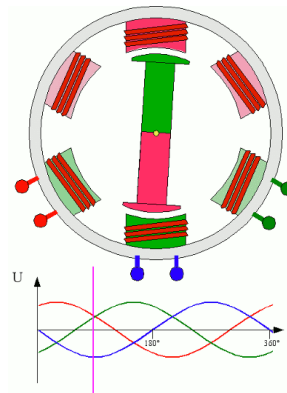
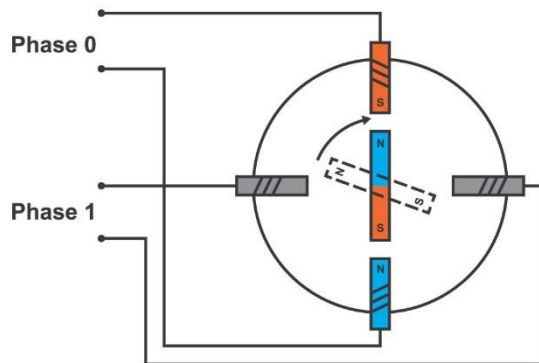
Alalisvoolu(kommutaator)mootori ühendamine

- Pöörlemissuund sõltub toitepinge polaarsusest, pöörlemiskiirus toitepingest ja tehnoloogiast.
- Lihtne skeem – vt rele slaid. Kiiruse muutmise reeglina impulss-
laiusmodulatsiooniga(PWM).
- H-sild (H bridge)
- **Riistvaraliselt tuleb vältida korraga sama öla lülituselementide avanemine !**



Harjadeta alalisvoolumootor

- Tööpõhimõte on sama mis vahelduvvoolu-sünkroonmootoril.
- Rootoris on (elektro)magnet, pöörlev magnetväli tekitatakse selle ümber.
- Eriliik -samm-mootorid (step-motor)



Kahefaaline mootor kolmefaasiline mootor



<https://www.youtube.com/watch?v=eyqwLiowZiU>

Kompensatsioonimeetod

Kompensatsioonimeetodi puhul muudetakse mõõdetava või temaga funktsionaalselt seotud suuruse mõju mõõteriistale sama liiki tuntud suuruse vastutoimega nulliks.

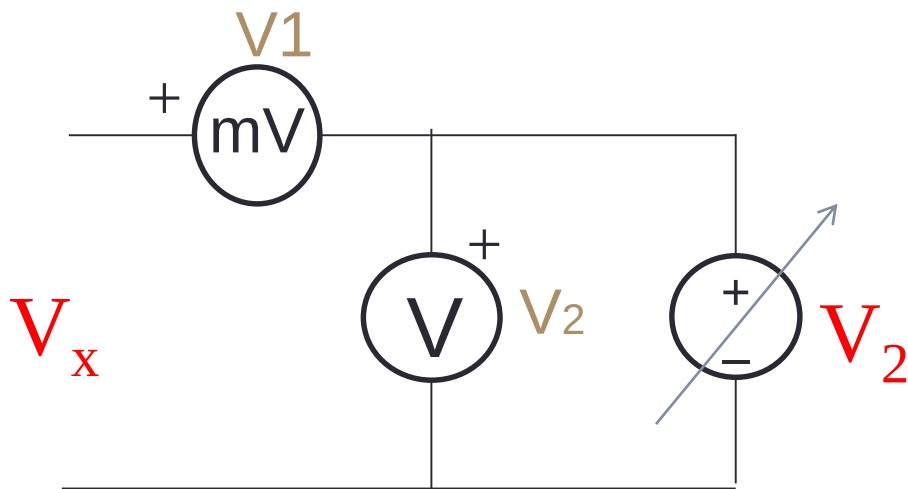


Kompensatsioonimeetod

Eelis- võimaldab mõõtu mõju minimeerida.

- Fooni kompenseerimine (tõstame nulli kõrgemale)
- Väikseid muutusi on lihtsam avastada
- Mõõtmine on tülikas

Näide : pingestabilisaatori kvaliteedi kontroll.

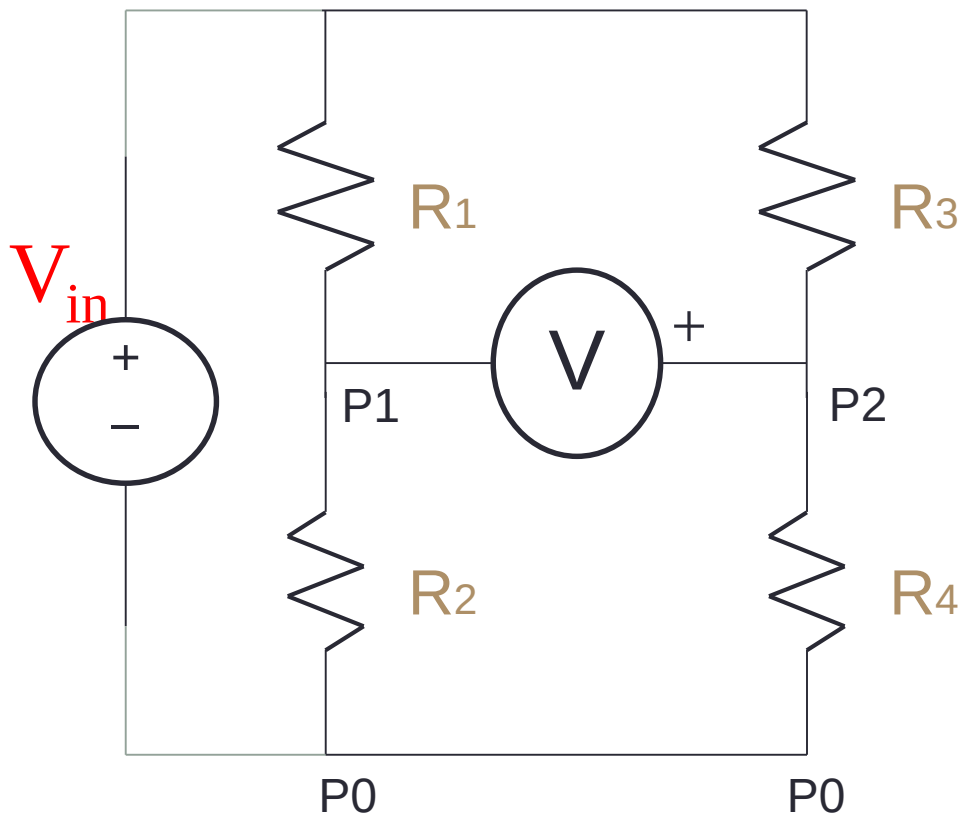


1. Reguleeritakse V_2 selliselt, et $V_1 = 0$. Siis $V_2 = V_x$
2. Kui V_2 hoida püsivana ja V_x mingil põhjusel muutub, näitab millivoltmeeter V_1 pinge muutust, mis võib olla väga väike.

Wheatstone'i sild

Võrreldakse takistuse muutusest tekkivat ülekande muutust

- „Nulli“ on lihtsam avastada
- Saab kasutada ebatäpseid komponente(k.a toidet)
- Mõõta võib nii pinget kui ka voolu.



Sild sisaldab kahte pingejagurit. Mõõtur näitab nulli siis, kui Pinged punktides P_1 ja P_2 (P_0 suhtes) on võrdsed ehk pingejagurite ülekanded (jagamistegurid) on võrdsed.

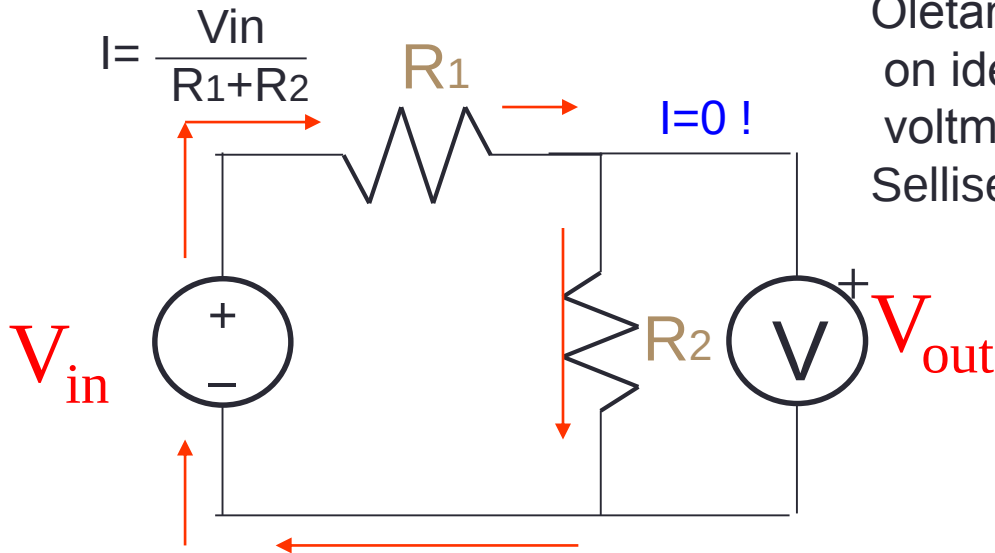
Wheatstone'i sild

Pingejagur

Milline on V_{out} ?

Oletame arvutustes, et allikas ja mõõtur on ideaalsed (pingeaallikas on lühis ja voltmeeter tühis).

Sellisel juhul **voltmeetrit läbiv vool on 0.**



Ahelas tekkiv 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

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

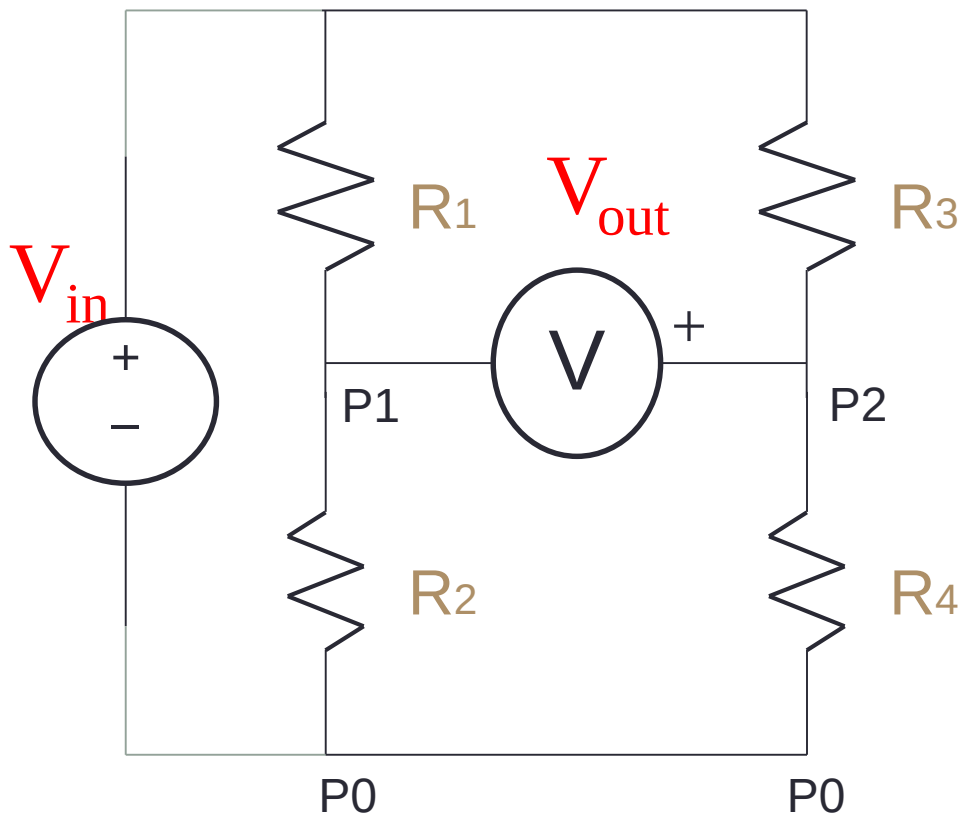
Ülekanne avaldub sellest:

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

Wheatstone'i sild

Tasakaalustatud sild

- diagonaalide vahetamisel tasakaal ei muutu
- ei sõltu toitepingest V_{in}
- ei vaja täpset toitepinget
- indikaator võib olla A-meeter või V-meeter



$$V_{P1} = V_{in} \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

$$V_{P2} = V_{in} \frac{R_4}{R_3 + R_4}$$

$$V_{out} = V_{P2} - V_{P1}$$

$$V_{out} = V_{in} * \left(\frac{R_4}{R_3 + R_4} - \frac{R_2}{R_1 + R_2} \right)$$

Tasakaalutingimus $V_{out}=0$

$$\frac{R_2}{R_1 + R_2} = \frac{R_4}{R_3 + R_4} \quad \text{--->}$$

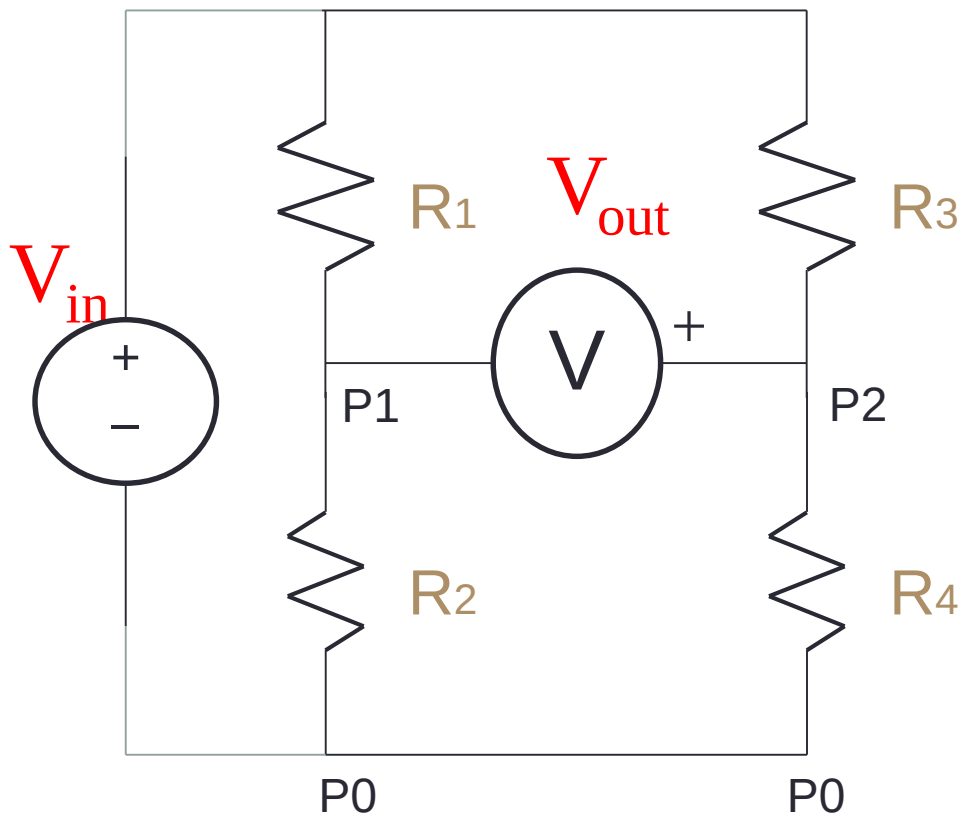
$$R_2 R_3 = R_1 R_4$$

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4}$$

Wheatstone'i sild

Tasakaalustamata sild

- Väikeste erinevuste mõõtmine
- Väljund sõltub toitepingest V_{in}
- vajab täpset toitepinget
- indikaator võib olla A-meeter või V-meeter



$$V_{out} = V_{in} * \left(\frac{R_4}{R_3 + R_4} - \frac{R_2}{R_1 + R_2} \right)$$

Avaldame R_1

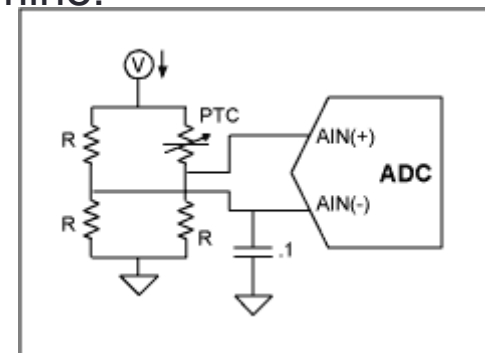
$$R_1 = \frac{R_2 * \left(\frac{R_4}{R_3 + R_4} - \frac{V_{out}}{V_{in}} \right)}{1 - \frac{R_4}{R_3 + R_4} - \frac{V_{out}}{V_{in}}}$$

Mõõdetakse V_{out} , teised on teada

Sõltuvus mittelineaarne !!!!

Lineaarseks teisendatakse digitaalselt

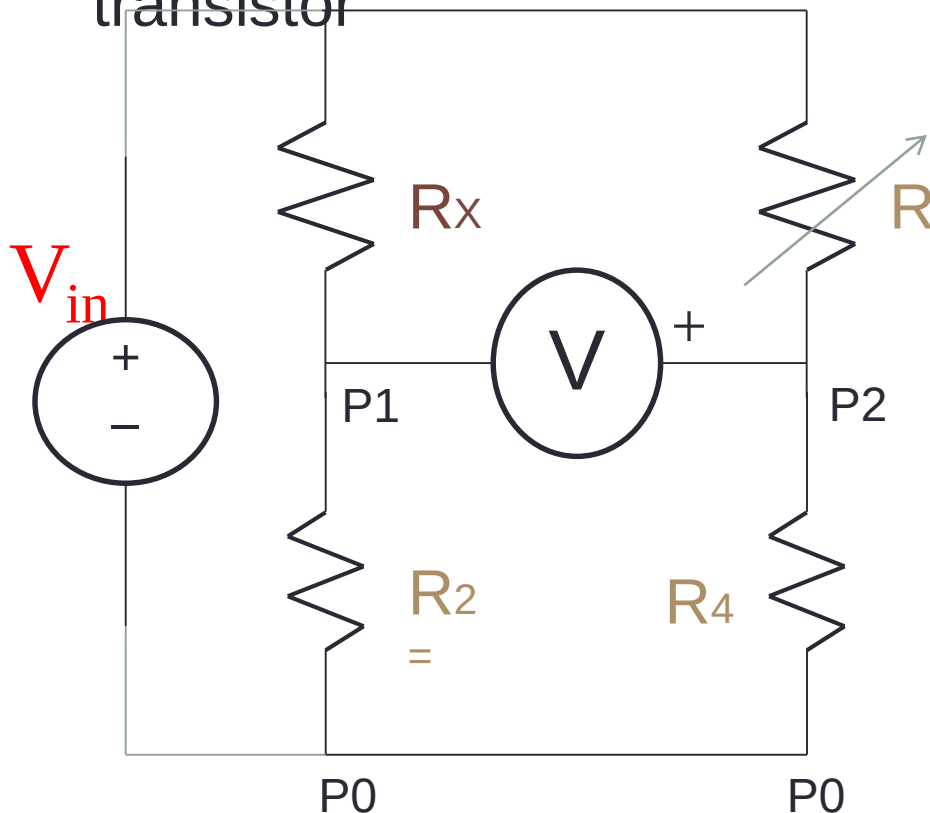
Näide mikrokontrolleri ja termistori
Ühendamine.



Wheatstone'i sild

Tasakaalustamine. Üldjuhul on üks tundmatu takistus R_x ja üks muudetav takistus R

- Käsitsi
- Automaatne (tagasiside). Muudetava takisti asemel on transistor



Kui $R_2 = R_4$ siis $R = R_x$ kuid

R_2 ei pea olema sama suur kui R_4

Wheatstone'i sild

Vahelduvvoolusild

- Tasakaalu jaoks peavad olema sama nii amplituudi- kui ka faasiülekanne
- Tänapäeval kasutatakse otsese realisatsioonina mõõtetehnikas harva.
- Wieni silda kasutatakse siinusgeneraatoris

The Wien bridge

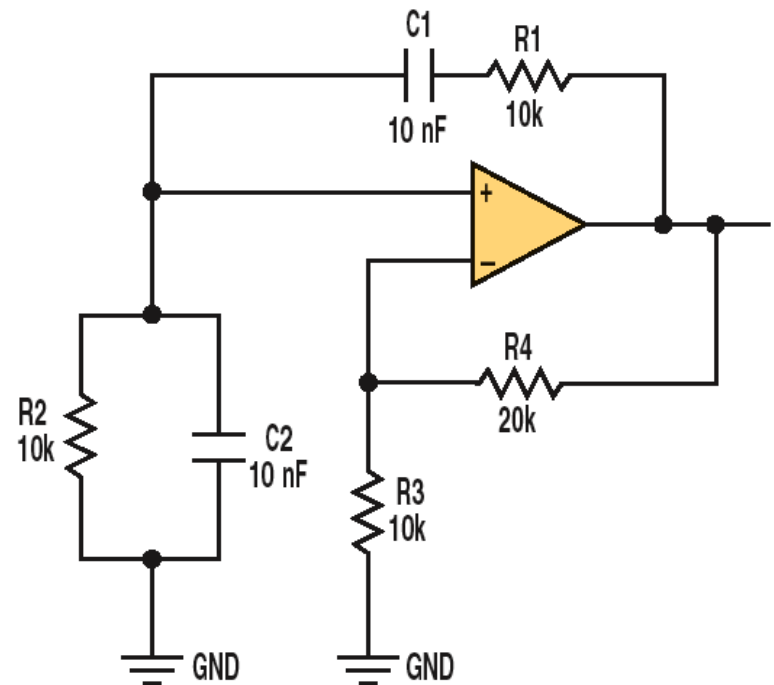
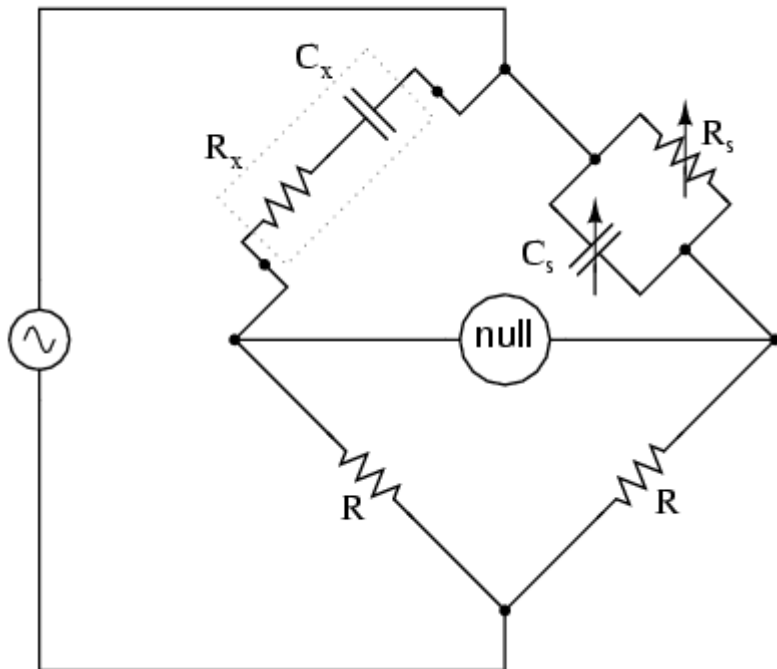


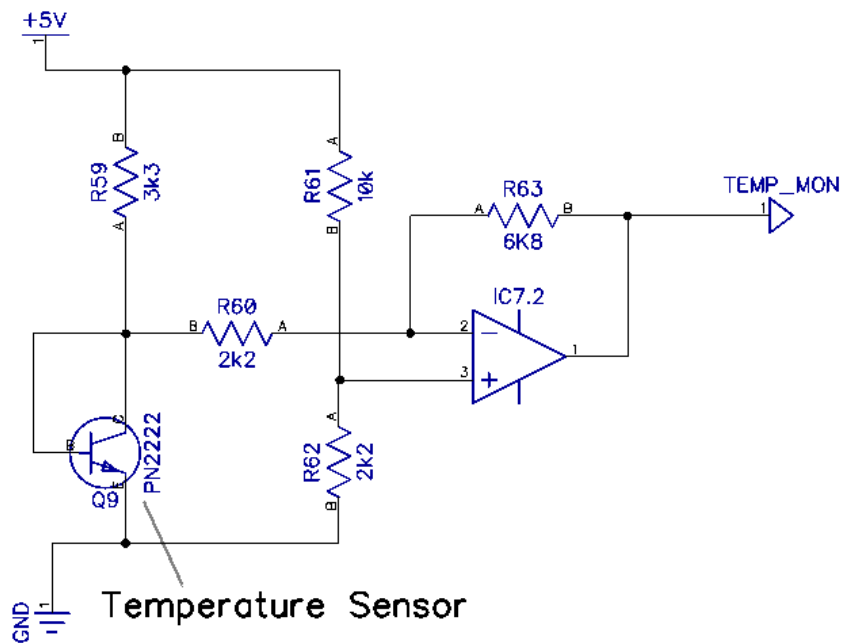
Figure 1

Temperatuur

Metallide ja pooljuhtide takistus sõltub temperatuurist.

- Diodid
- Termistorid (termotakistid) Sõltuvus mittelineaarne

Ühendatakse üldjuhul Wheatstone silda.



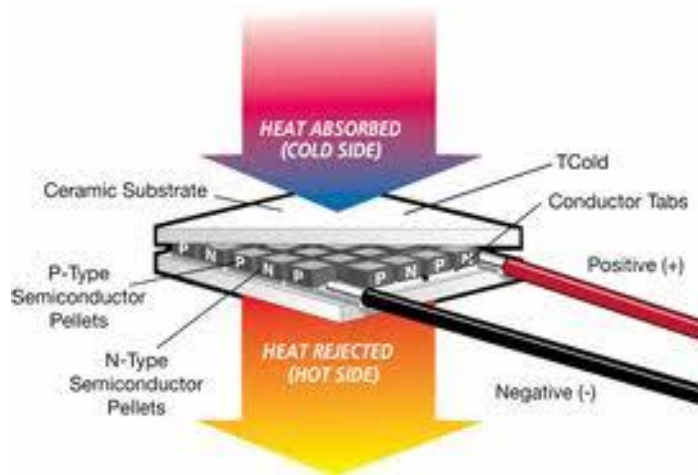
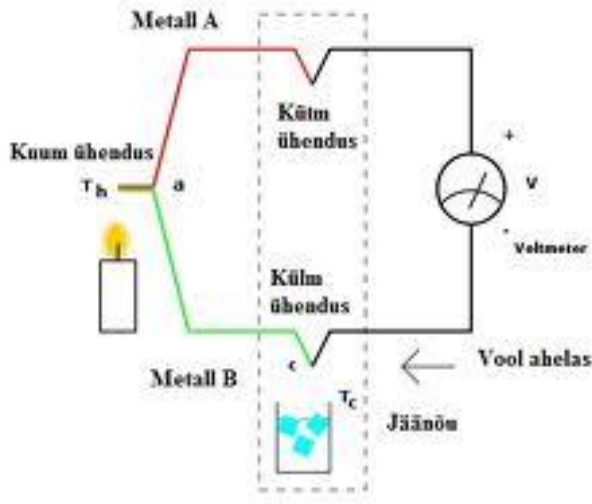
Temperatuur

Termopaar

- Thomas Seebeck 'i efekt

Seebecki efekt ehk termoelektriline efekt on termoelektriline nähtus, mis seisneb selles, et suletud vooluringis, mis sisaldab eri temperatuuriga ühenduskohti eri materjalist elektrijuhtide või pooljuhtide vahel, tekib pinge .

Efekt on pööratav – Peltieri element , soojuspump.

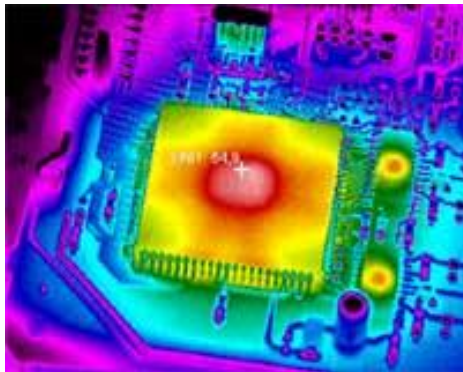


Temperatuur

Soojuskiirgus (infrapunakiirgus)

- Kaugmõõtmine
- Kontaktivaba
- Läbi takistuste

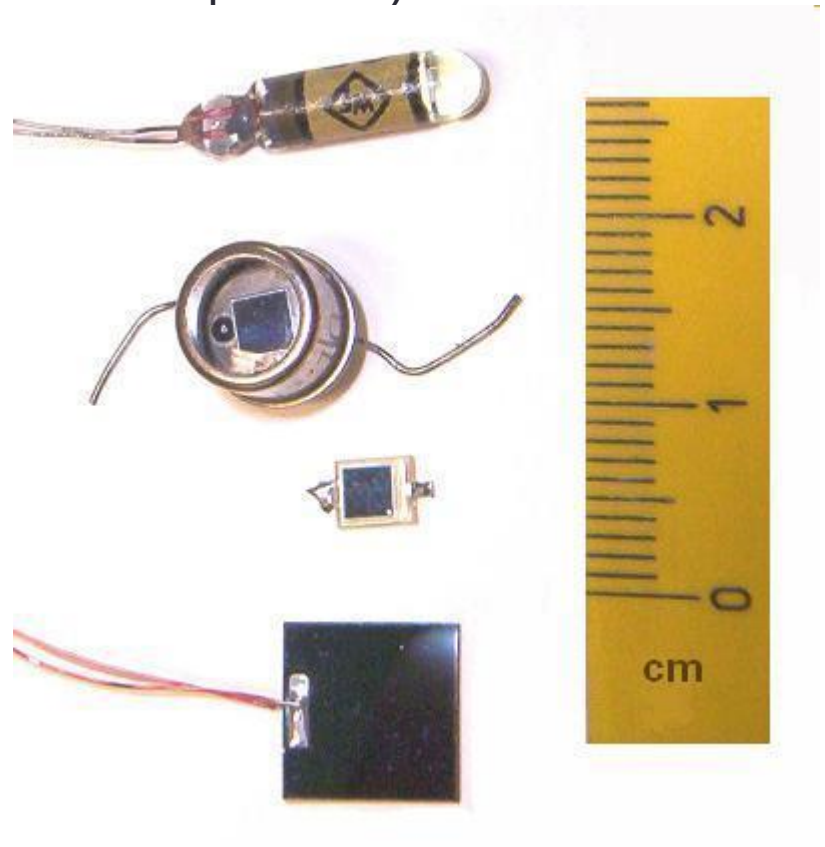
Termokaamera
Öövaatlusseadmed



Valgus

Fotodiod, fototakisti

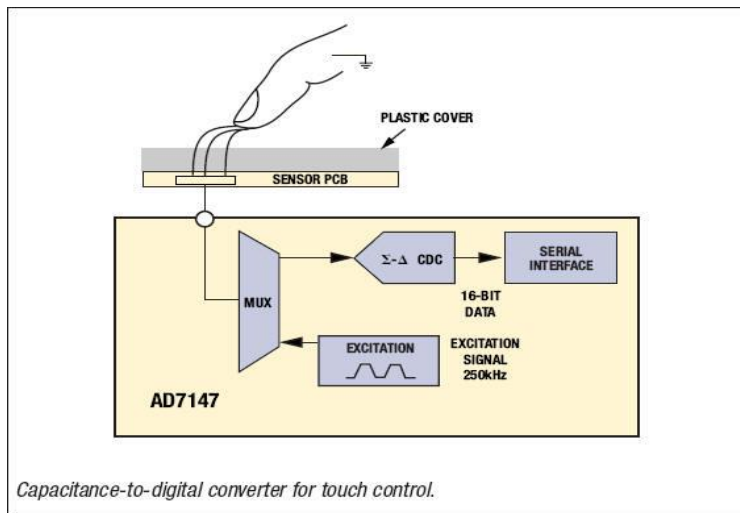
- Takistus, vool, pinge sõltuvad valgustugevusest (aga ka temperatuurist)
- Temperatuurikompensatsioon (samasugune andur pimedas)



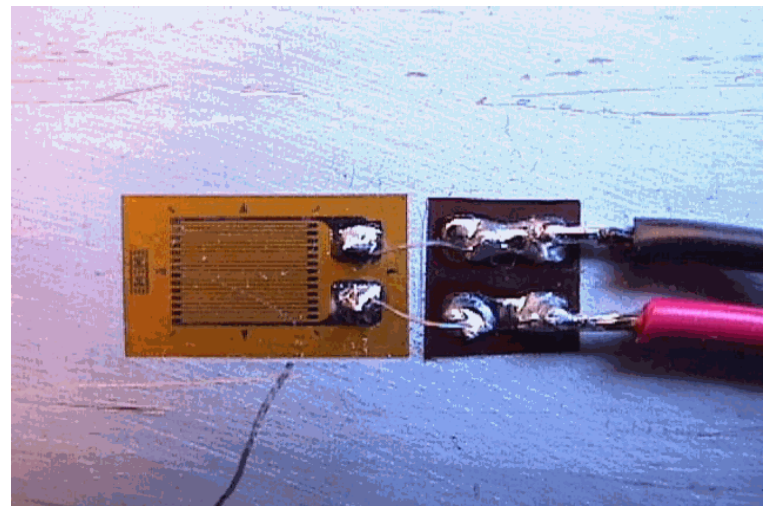
Jõud, nihe, rõhk

Mehaaniliselt muudetakse

- Takistust (tensoandur)
- Mahtuvust
- Induktiivsust (liigutatakse südamikku)
- Loetakse fotopaariga impulsse
- Liigutatakse pooli magnetväljas või vastupidi (mikrofonid, vibratsioon)
- Elektriline parameetri muutus väike, üldjuhul kasutatakse mõõtesilda.
- Element ühendatakse sagedussõltuvasse generaatorahelasse, mõõdame sagedust



Mahtuvusandur



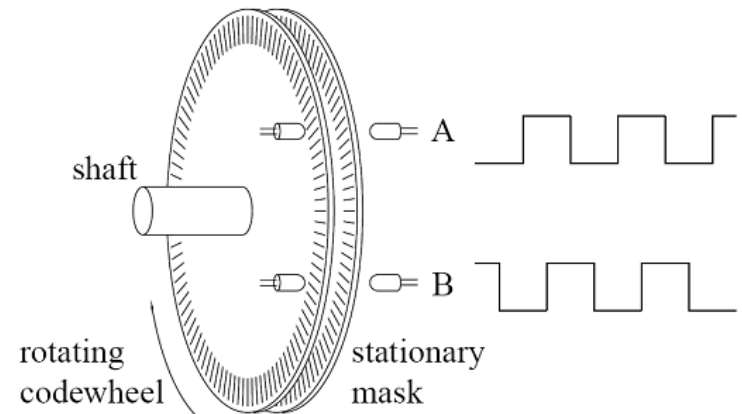
Tensoandur

Kiirus, nihe

Pöörlevale, liikuvale objektile kinnitatakse

- (foto)katkesti – impulsid ajaühikus (rotary encoder)
- Generaator (dünamo) – väljund analoog (pinge, sagedus)

Teepikkuse leidmiseks liidame impulsid
(Integraator)



Kiirendus

Saab mõõta ka otsest kiiruse muutust, aga tülikas (tuletise võtmine)
Kiirendus muudetakse erinevate massidega kehi kasutades liikumiseks.

