

PRAKTIINE ELEKTROONIKA

Teine loeng
Sügis 2014

Martin Jaanus

martin.jaanus@ttu.ee

620 2110, 56 91 31 93

Teemad (1)

- Sissejuhatus
- Elektri olemus
- Põhiseosed
- Ühikud, kordajad.
- Elektrienergia allikad
- Komponendid: takisti, kondensaator, induktor, trafo

Teemad (2)

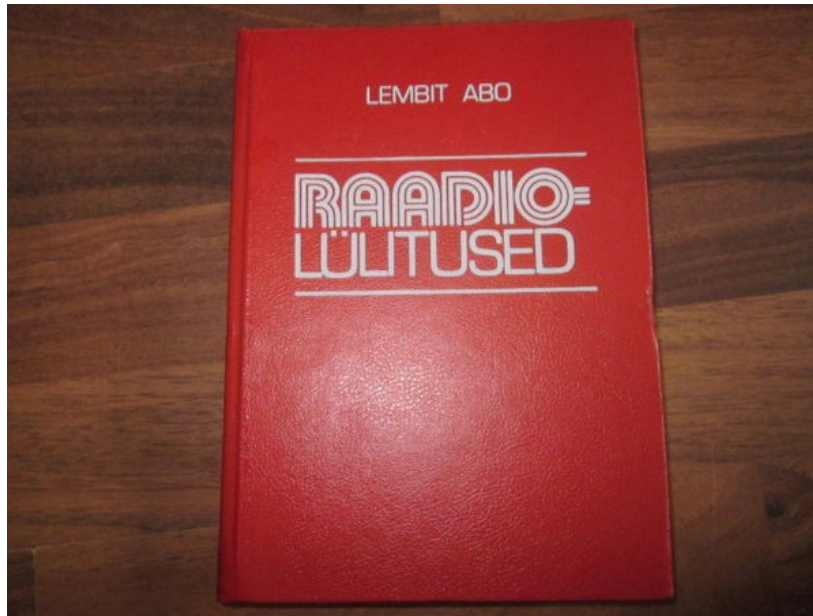
- Algteadmised signaalitöötlustest
- Elektri ja välismaailma seostamine (andurid, täiturid)
- Komponendid: diood, transistor, operatsioonvõimendi
- Tagasiside (automaatjuhtimine)
- Võimendid

Teemad (3)

- Elektrimõõtmised
- Mõõteriistade kasutamine
- Ohutustehnika

Ülitähtis raamat

Lembit Abo – Raadiolülitused



See raamat ei vanane – komponendid uuenevad kuid seosed ja arvutuseeskirjad jäävad samaks !!!

Igale algajale (ka proffesionaalile) elektroonikadisainerile

KOHUSTUSLIK KIRJANDUS !!!!

Signaalitöötlus

Signaalitöötlus (inglise keeles signal processing) hõlmab elektroonikas elektroonilise signaali analüüsi, interpretatsiooni ja manipulatsiooni.

Signaalitöötluse meetodite abil on võimalik signaali elektrooniliselt filtreerida, salvestada ja rekonstrueerida, eraldada müra informatsiooni, teostada andmete kompressiooni (data compression), analoog-digitaal-muundamist ja tuletada signaali olulised omadused (feature extraction).

Elektrooniliseks signaaliks võib olla näiteks heli (audiosignaali), pilt, bioloogiline signaal (EKG) või radarisignaali.

- **Analoogsignaali – pidevad väärtused (vool, pinge)**
- Digitaalsignaali – nivood, väärtused on diskreetsed ja tõlgendamine kokkulepitud

Signaali teisendamine

Piisab kõige lihtsamal juhul takistist- .

- Vool → Pinge
- Pinge → Vool

See ongi takisti ülesanne

Võimendamine ja nõrgendamine

Võimendiks nimetatakse seadet, mis välise energiaallika abil suurendab signaali mingit väärtust (pingevõimendi, vooluvõimendi). Kõik võimendid võimendavad signaali võimsust.

Saab teisendada ka näiteks (ei käsitle)

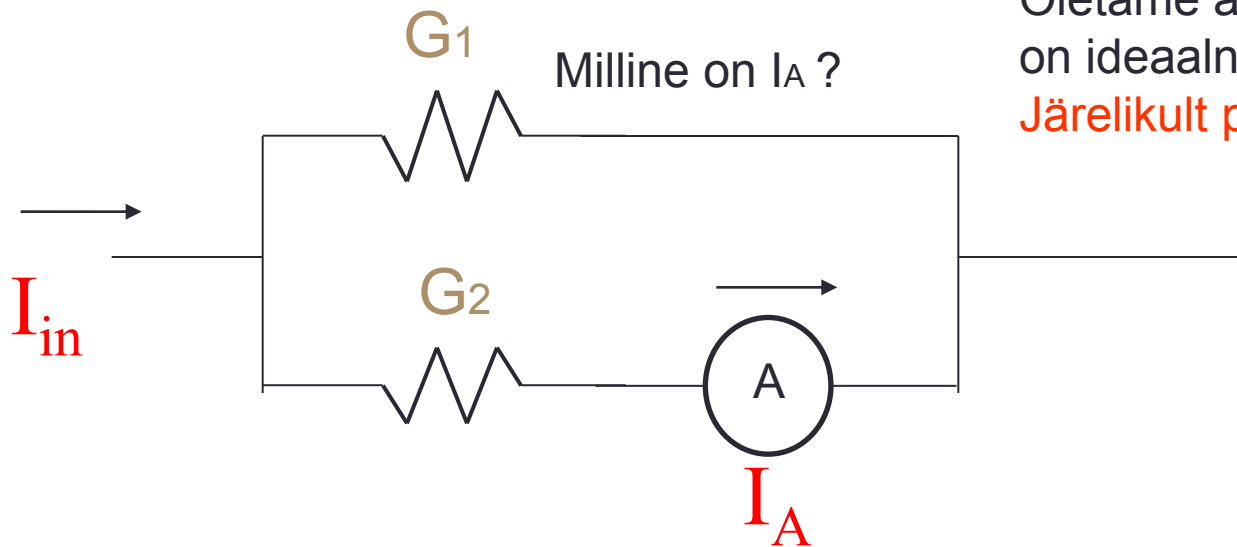
- Alaline → Vahelduv (vastupidi piisab lihtsamal juhul dioodist)
- Pinge → Sagedus
- Sagedus → Sagedus (kogu raadioside)
- Jne....

Ülekanne

- Ülekanne on ahela väljundi ja sisendi suhe
- (mitu korda nõrgendab, võimendab)
- Võib olla ühikuta (pingeülekanne)
- Muundurite puhul on olemas ühik

$K = \text{väljund} / \text{sisend}$

Voolujagur



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

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

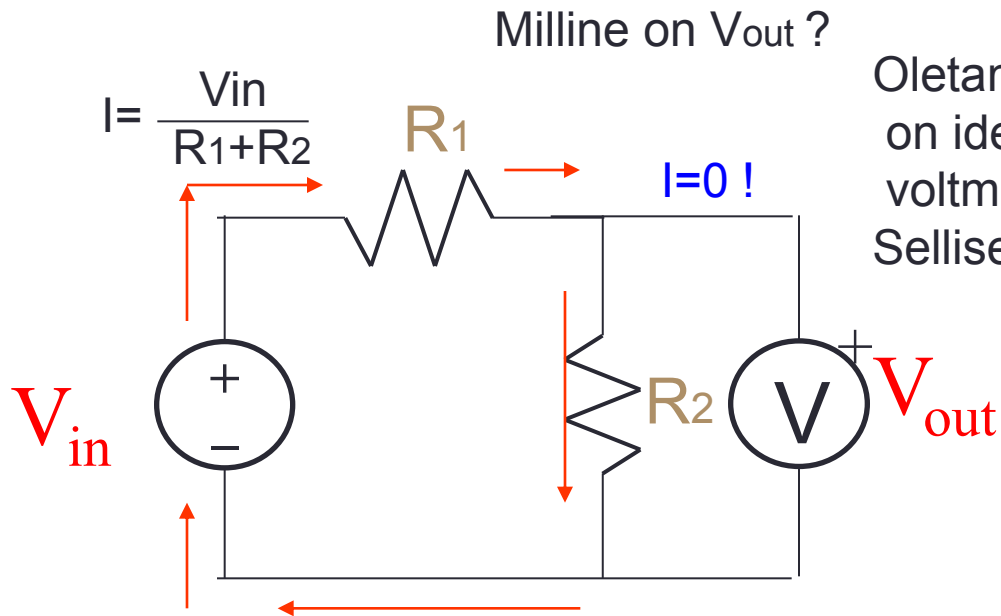
$V_{G1}=V_{G2}= \frac{I_{in}}{G_1+G_2}$ Vool, mis läbib juhtivust G_2 , avaldub G_2 pinge ja

juhtivuse korrutisena: $I_{G2}=I_A=V_{G2}*G_2$. Asendades eelmisest sisse V_{G2} saame, et

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

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

Pingejagur



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:

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

Detsibell (dB)

Kasutatakse kui suuruste diapaseon on väga suur

- Mobiiltelefon – saatja 2 W , vastuvõtja 0.02 μ W
- Kuulmine

Kasutatakse ühikut **bell** (B) , mis on võimsuste suhte kümnnendlogaritm.
(Alexander Graham Bell) . Praktiliseks kasutamiseks suur.

Kasutatakse **detsibelli** $X(\text{dB}) = 10\log(X/X_0)$

Korrutamine-jagamine muutub liitmiseks-lahutamiseks !
Väga mugav kasutada signaalitöötluses.

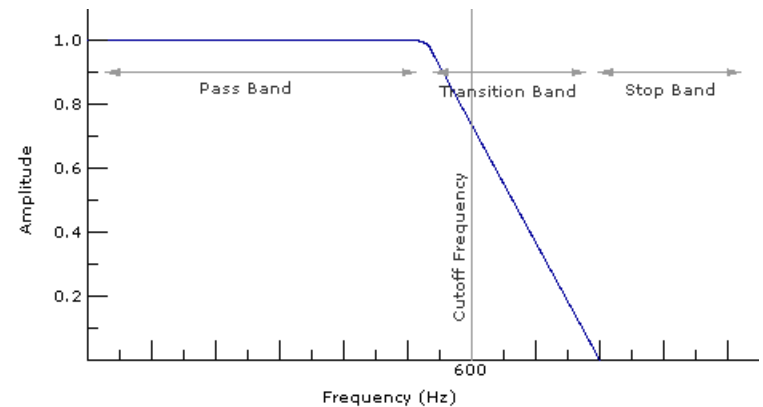
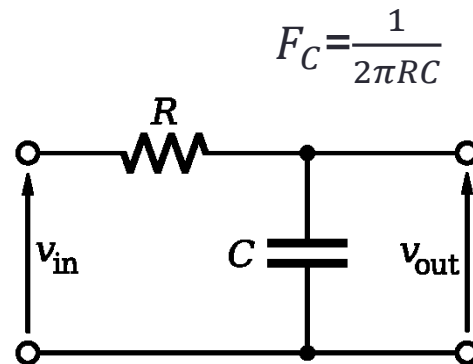
NB ! Pinge ja voolu korral !

Kuna võimsus on võrdeline pinge (ja ka voolu) ruuduga siis.

$$K(\text{dB}) = 10\log(V^2/V_0^2) = \mathbf{20\log(V/V_0)}$$

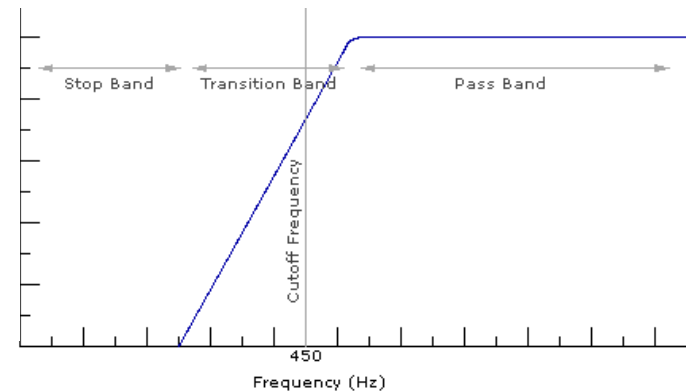
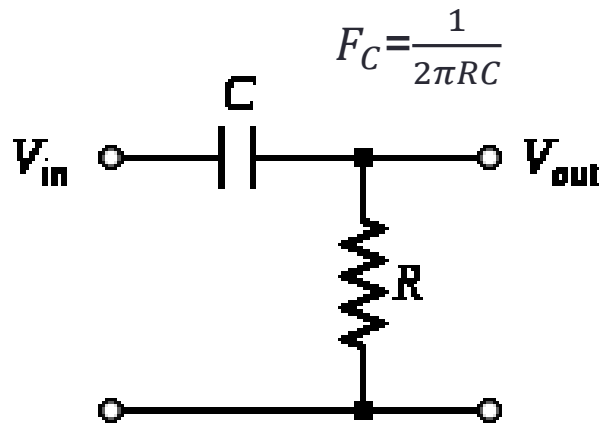
Filtrid

Madalpääsfilter



Low pass filter with a cutoff frequency of 600Hz

Kõrgpääsfilter



High pass filter with a cutoff frequency of 450Hz

Lihtsaimad RC passiivfiltri realisatsioonid

Võimaldavad muuta signaaliülekanne sagedusarakteristikuid

Piltidel on amplituudsagedusarakteristikud

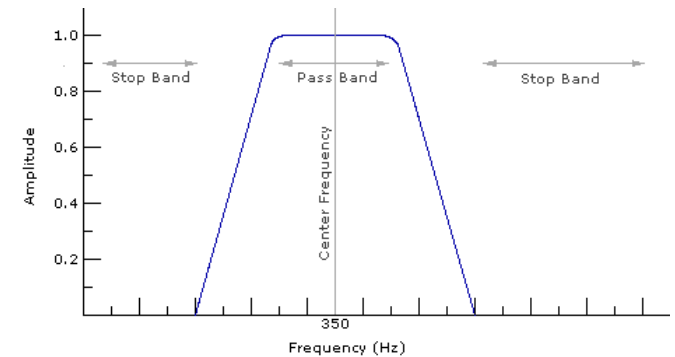
Olemas on ka faasisagedusarakteristikud

Filtrid

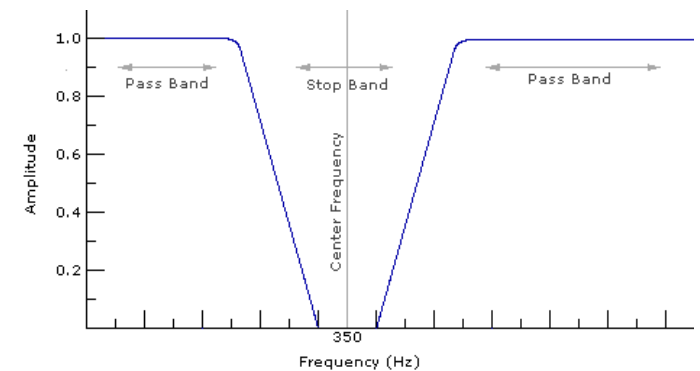
Ribafilter

- Tõkkefilter

- Pääsufilter



Band pass filter with a center frequency of 350Hz



Band reject filter with a center frequency of 350Hz

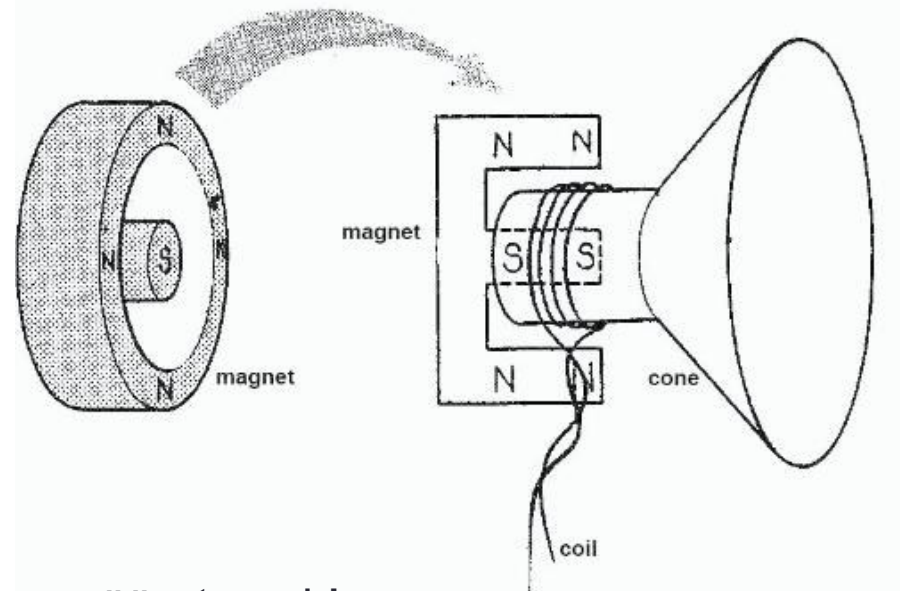
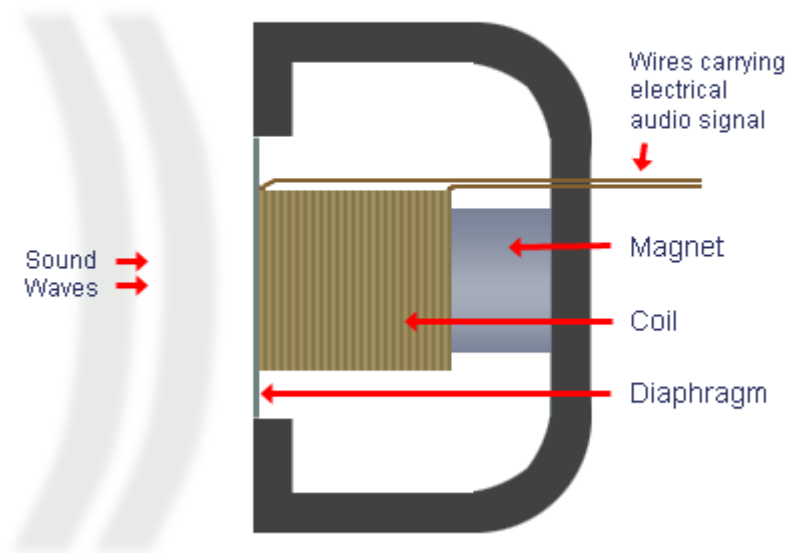
Disainitakse madal ja kõrgpääsfiltritest

Side elektri- ja muu maailma vahel

Jõud, nihe, rõhk (heli)

- Elektromagnetiline induktsioon
- Magnetväljade vastasmõju
- Saab teha ka elektrostaatikaga (eriti tänapäeval mikrofonid)

Cross-Section of Dynamic Microphone

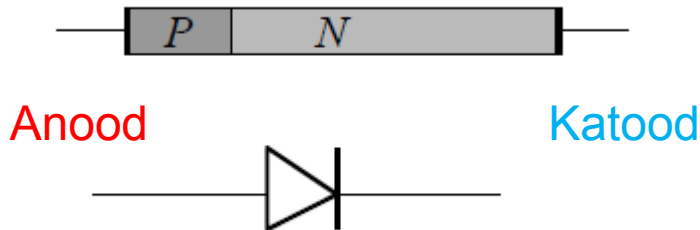


Dünaamilised mikrofonid ja valjuhääldid on pööratavad !

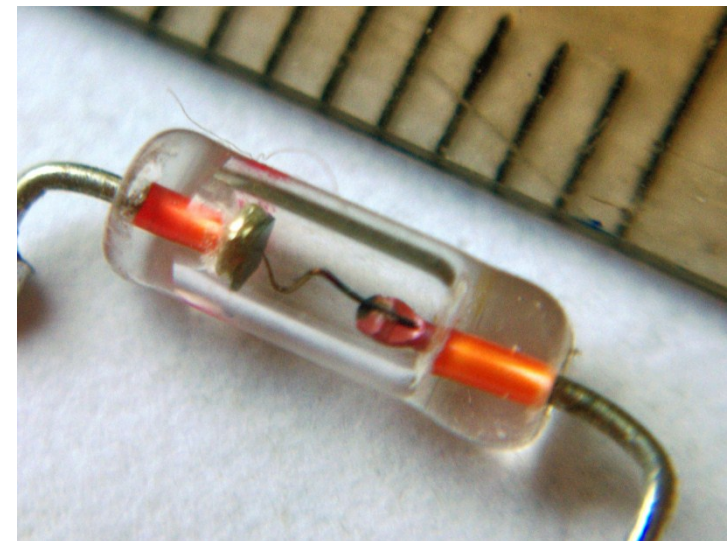
Elektroonikakomponent - diood

Mittelineaarne kaksiklemm

- Tekib erinevate omadustega materjalide kokkupuutes
- Tavaline on p- ja n- tüüpi juhtivusega pooljuhtide kokkupuutes tekkiv pn-siire



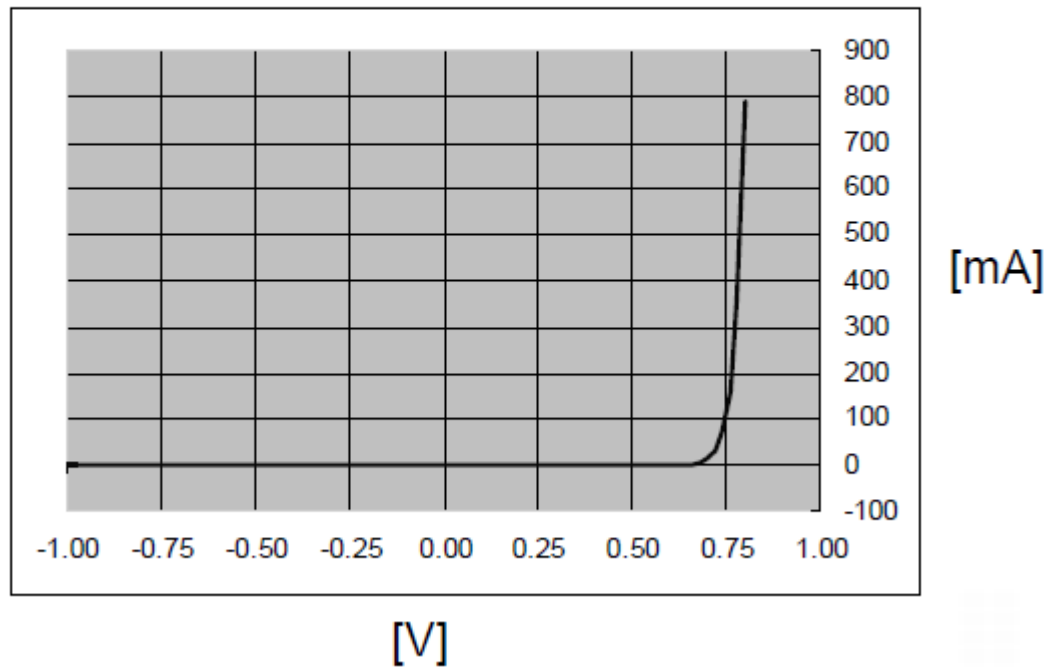
- Hüdraulika analoog – tagasilöögiklapp



Elektroonikakomponent - diood

- Juhtivus sõltub pingest
- Põhieesmärk – vahelduvsignaali alaldamine

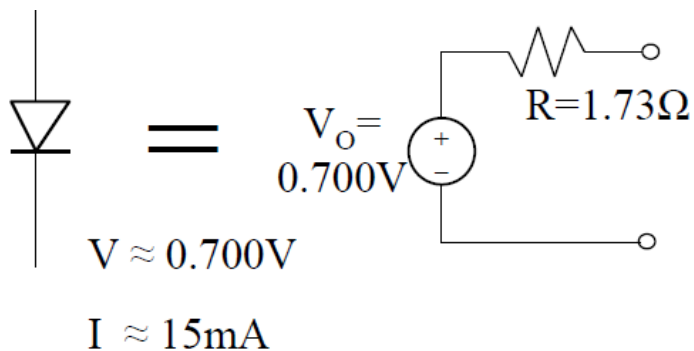
Volt-amperekarakteristik



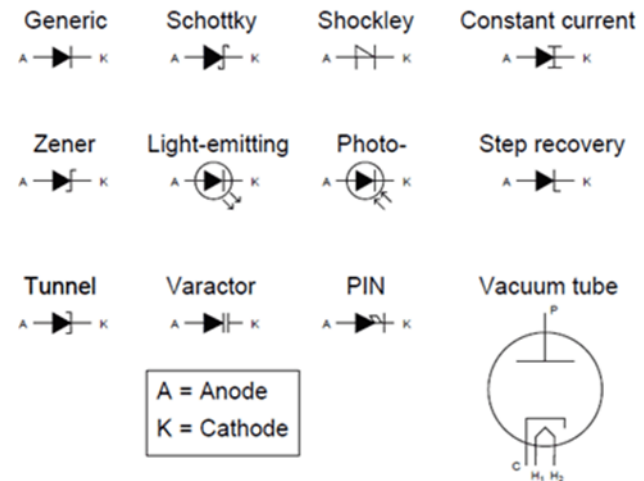
Elektroonikakomponent - diood

- Stabliltron (zener)
- Valgusdood , fotodood (avanemispinge $>0.7V$)
- Mahtuvusdood
- Tunneldood

Päripingestatud ränidiodi aseskeem



Päripingestatud diood
on ligikaudu 0.7V
pingeallikas!



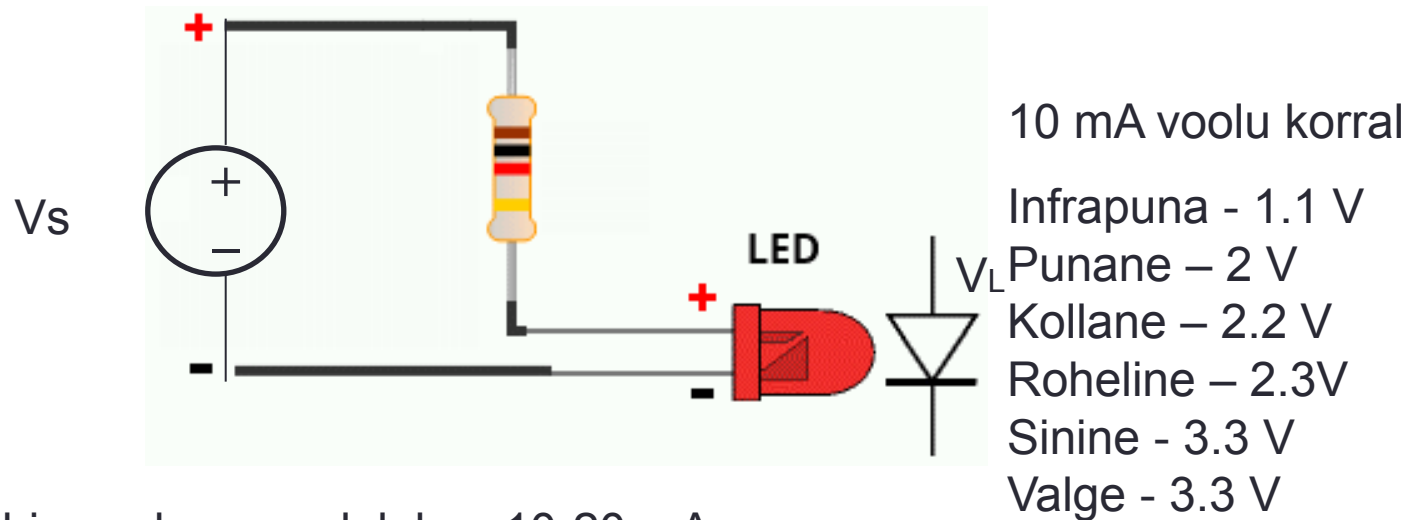
Various symbols of Diode

Valgusdiod (LED)

Eeltakisti arvutus

Kasutame

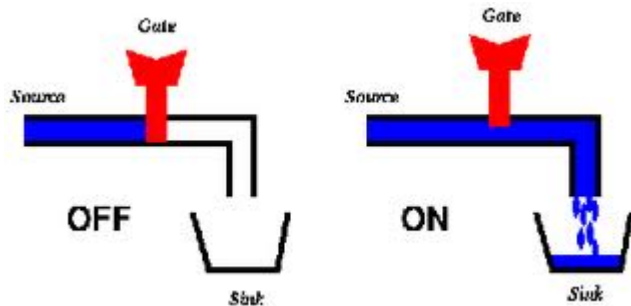
- Kirchhoffi pingeseadust (arvutame takistile jääva pinge $V_R = V_s - V_L$)
- Ohmi seadust $R = V_R / I$



Valgusdiodi läbiv vool normaalolekus 10-20 mA

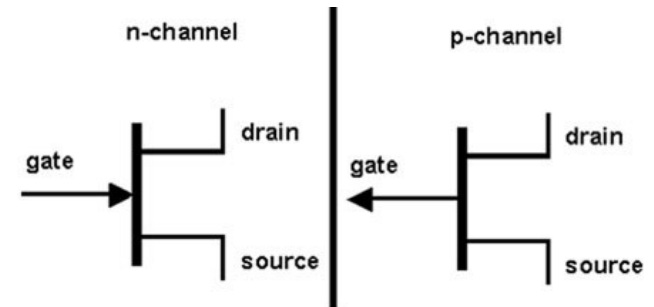
Elektroonikakomponent - transistor

- Olemuselt tüüritav takisti (**trans**former of res**istor**)
- Hüdraulika analoog – kraan
- Väikese energiakuluga tüürime suuremat energiavoogu
- Bipolaartransistor
- Väljatransistor



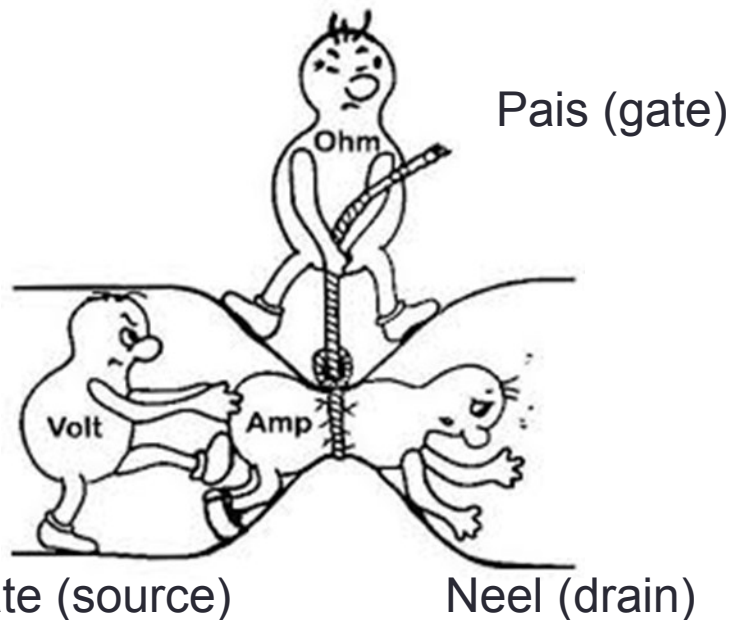
Väljatransistor

- Elektriväli mõjutab laengute liikumist
- Olemuselt **pingega** tüüritav takisti
- Põhiline komponent mikroelektronikas (IT)
- 50 miljonit tükki aastas inimese kohta (USA 2001)
- Kaks juhtivust N ja P , tüübid MOSFET ja J-FET

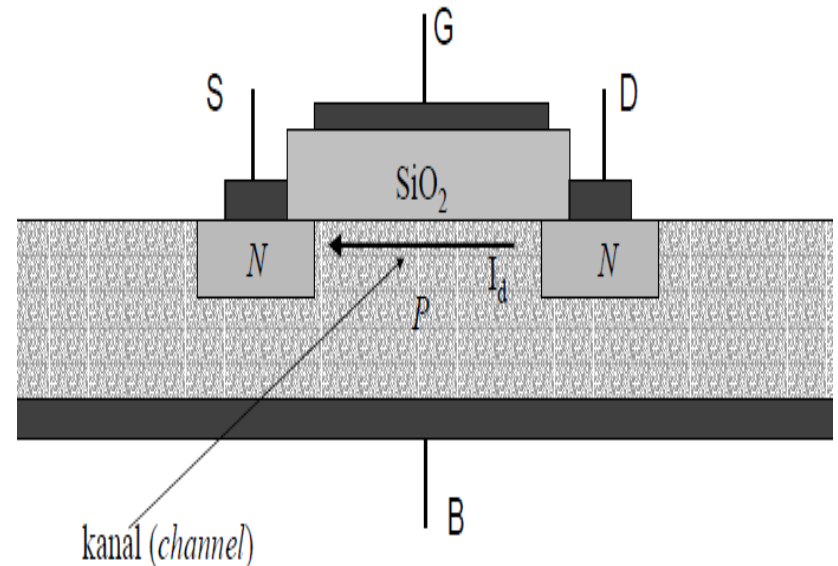


FET

Field-Effect Transistor

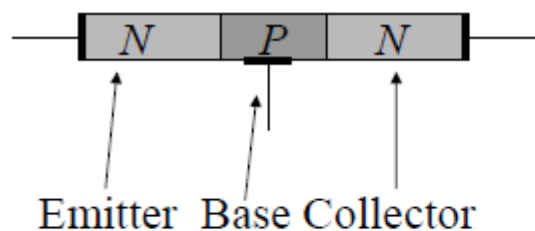


Metal-Oxide-Semiconductor Field Effect Transistor

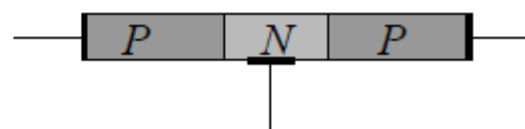
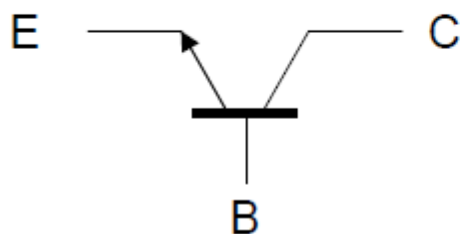


Bipolaartransistor

- Kaks juhtivust PNP ja NPN
- Võib võrrelda diodidega
- Olemuselt **vooluga** tüüritav takisti
- Enamlevinud analoogelektronikas

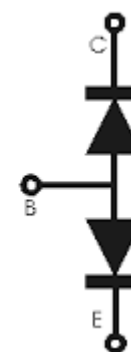
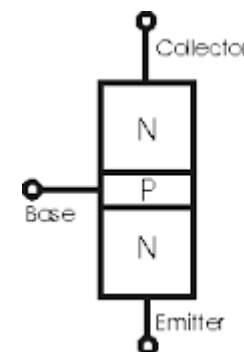
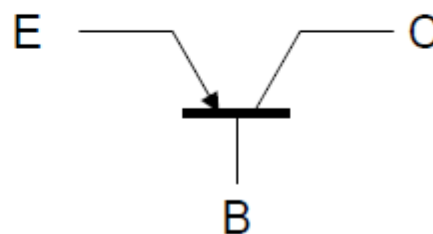


nnp



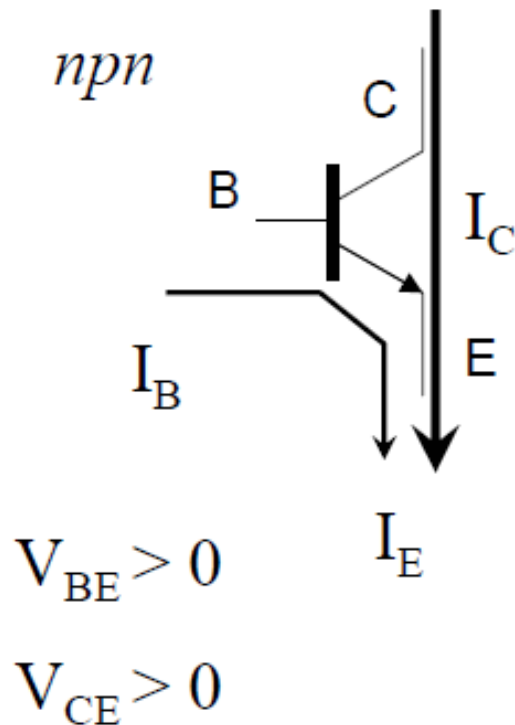
Emitter Base Collector

pnp



Bipolaartransistor

Bipolaartransistor: võrrandid



$$I_E = I_s \left(e^{\frac{V_{BE}}{\varphi_T}} - 1 \right)$$

$$I_C \approx I_E$$

$$I_B = \frac{I_C}{\beta} \quad \beta \gg 1$$

Hea transistor

$$\beta = 100$$

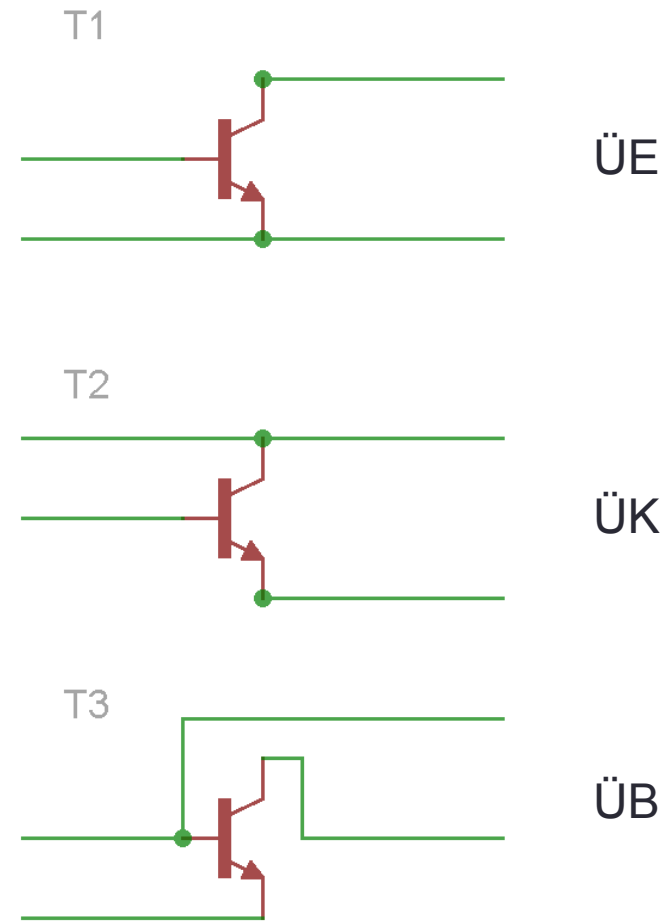
Kui β on „suur“, siis lihtsuse mõttes loeme baasivoolu nulliks !

Lihtsustab tunduvalt ligikaudseid arvutusi.

Bipolaartransistori ühendamine

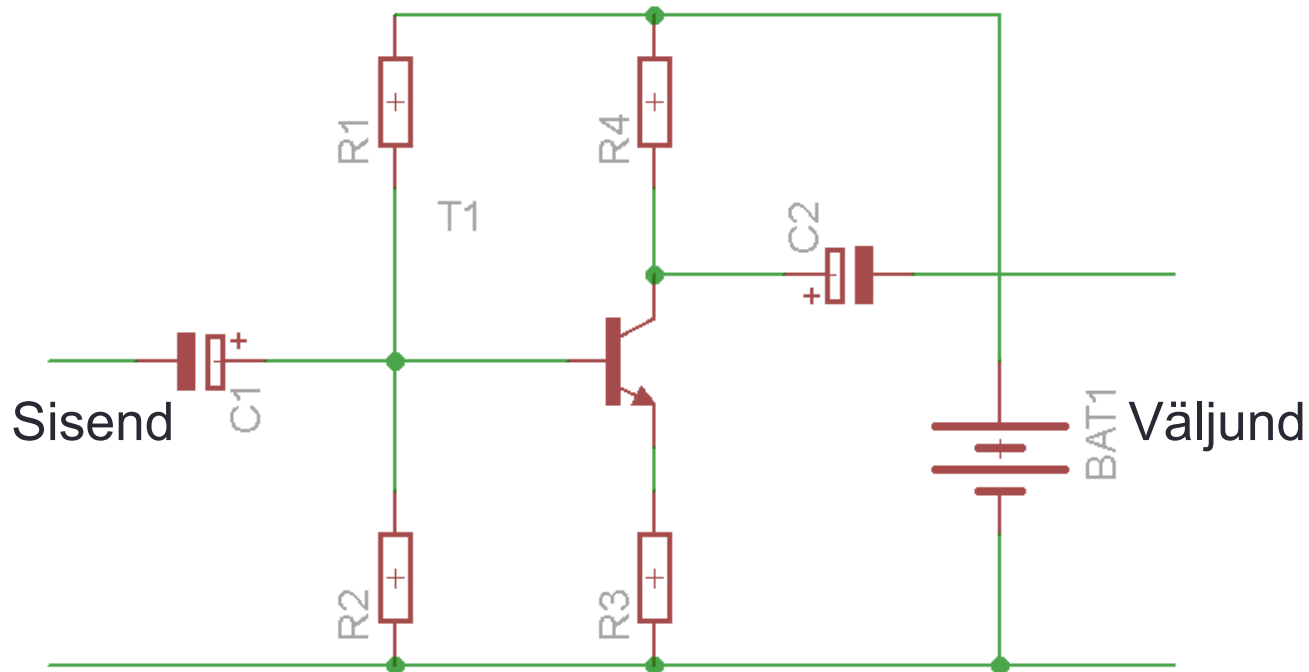
Kolm võimalikku režiimi

- ÜE – enamlevinud (suur pinge ja keskmine vooluvõimendus)
- ÜK – ehk emitterjärgur (suur vooluvõimendus, pingevõimendus veidi alla 1 – võimsusvõimendite lõppastmed)
- ÜB – vooluvõimendus veidi alla 1, pingevõimendus keskmine, kasutatakse harva, erijuhtudel, raadiosagedustel.



Bipolaartransistori ühendamine

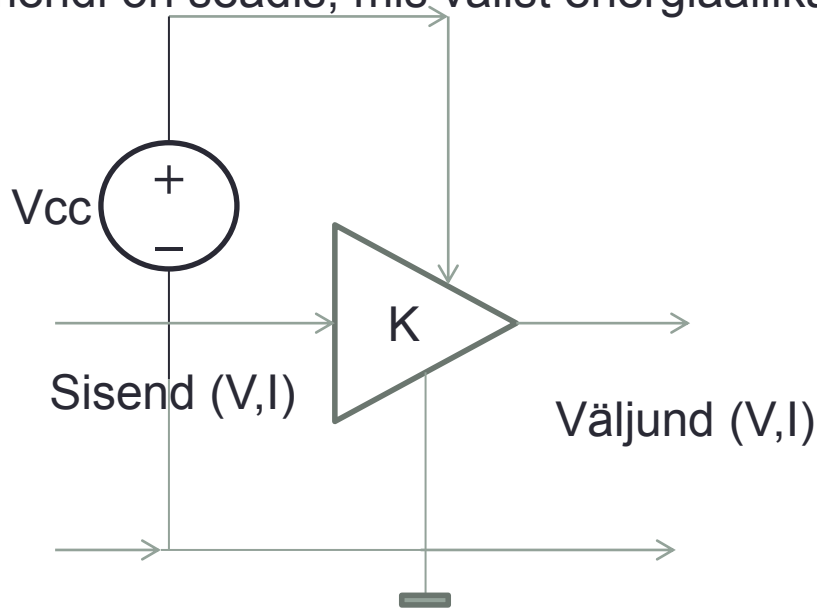
- Näide ÜE lülituses helivõimendusastmest
- Kõige levinum ühendusskeem !



- Komponentide väärtused ja arvutused mikrofonivõimendi töötoas
- Lihtsamal ja ebastabiilsemal variandil R2 puudub ja R3 on lühistatud
- **PNP transistori kasutamisel vahetame toiteallika ja kondensaatorite polaarsused !**

Võimendi

Võimendi on seadis, mis välist energiaallikat kasutades tõstab signaali võimsust.



- Pingevõimendi
- Vooluvõimendi
- V-I muundur (ülekanne - juhtivus)
- I-V muundur (ülekanne - takistus)

Ülekanne (võimendus)

$$K_V = \frac{V_{out}}{V_{in}} , K_V(\text{dB}) = 20 * \log(K_V)$$

$$K_I = \frac{I_{out}}{I_{in}} , K_I(\text{dB}) = 20 * \log(K_I)$$

$$K_V \text{ ei pea } = K_I$$

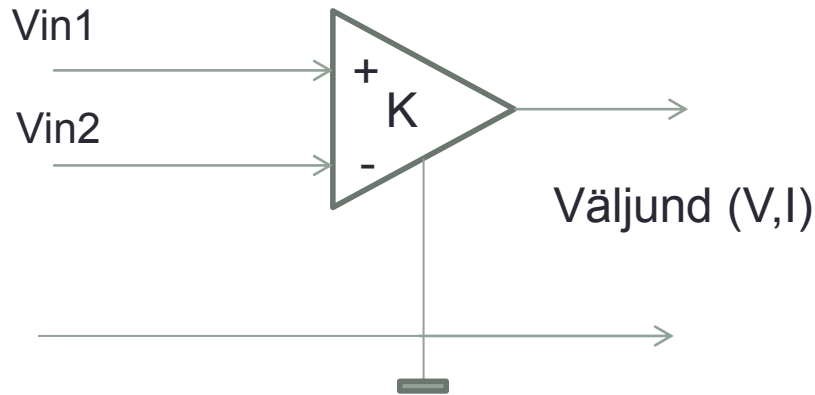
Võimsusvõimendus

$$K_P = \frac{P_{out}}{P_{in}} , K_P(\text{dB}) = 10 * \log(K_P)$$

Võimsus on võrdeline pinge (ja ka voolu) ruuduga !

Operatsioonvõimendi

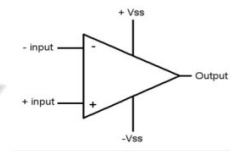
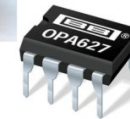
Võimendab vaid sisendsignaale vahet (diferentsiaalvõimendi).



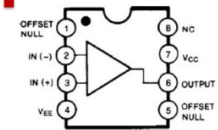
Väljundpinge

$$V_{out} = K * (V_{in1} - V_{in2})$$

- K on väga suur (kuni 100 000)
- Mõõtevõimenditel K fikseeritud
- Väga universaalne
- Kui on negatiivselt tagasisidestatud, omandab väljund väärtuse (V või I), et $V_{in1} = V_{in2}$.



OP-AMP



Opvõimendiga saab analoogelektronikas praktiliselt kõike teha !!!

Kõiki difsisendiga võimendeid saab käsitleda OVna (helivõimsusvõimendid)
OV-I võivad olla lisaklemmid korrektsioonideks.

Tagasiside

Tagasiside on süsteemi väljundi toime tema sisendile.

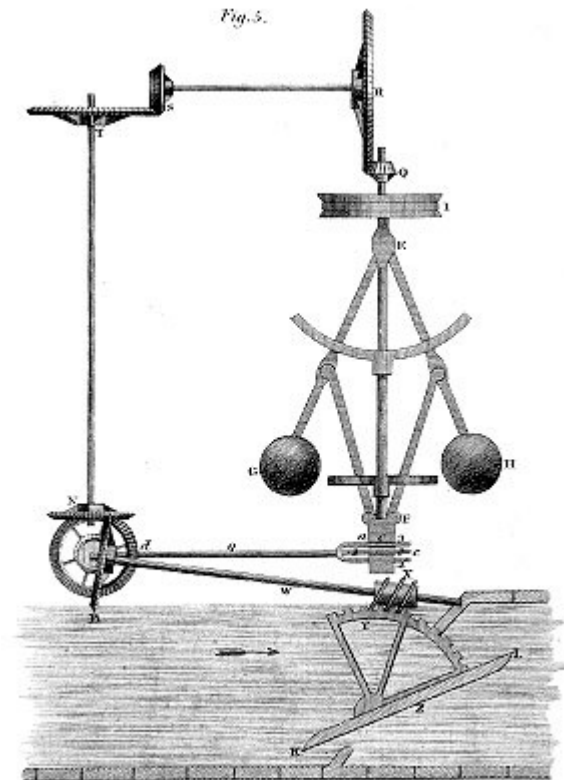
- Negatiivsel tagasisidel mõjub väljundi suurenemine sisendit vähendavalt. See võimaldab süsteemil tasakaalustuda. (aktsiisid, euribori reguleerimine)
- Positiivse tagasiside korral mõjub väljundi suurenemine sisendit suurendavalt. (ebastabiilsus, generaatorid, lõhkeseadeldised, majanduskasv laenurahaga).

Tagasisidestatud süsteemi korral

- Mida mõõdame, seda saame
- Tahtsime parimat, aga välja kukkus nagu alati.

Tagasiside

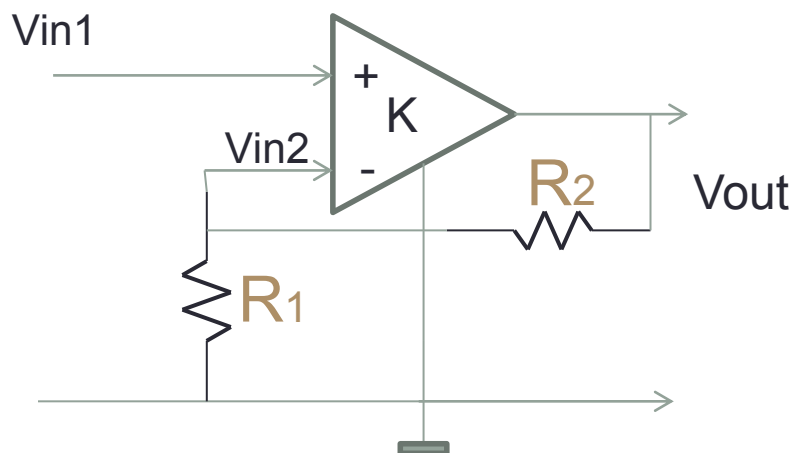
Näide – aurumasin



Mehaaniline tagasiside
pöörlemiskiiruse stabilisaator

Operatsioonvõimendi

Mitteinverteeriv võimendi.



Väljundpinge

$$V_{out} = K * (V_{in1} - V_{in2})$$

Anname inverteerivasse
sisendisse pinge väljundist läbi
pingejaguri

$$V_{in2} = V_{out} * \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

Asendame V_{in2} ülemisse valemisse,
saame:

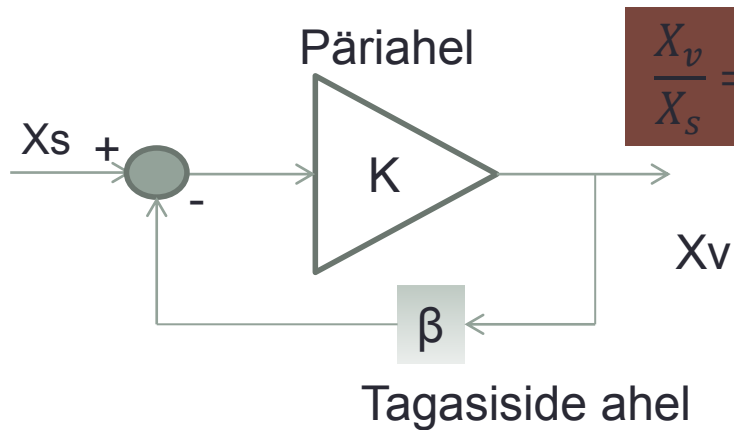
$$V_{out} = K * (V_{in1} - V_{out} * \frac{R_1}{R_1 + R_2}) \rightarrow$$

$$V_{out} = V_{in1} * \frac{K}{1 + K * \frac{R_1}{R_1 + R_2}}$$

Mida suurem on K , seda väiksem on selle mõju !

Tagasiside (pingejaguri ülekanne) β

Tagasiside



$$\frac{X_v}{X_s} = K_f = \frac{K}{1 + K\beta}$$

Kui $K\beta \gg 1$ siis $K_f = \frac{1}{\beta}$

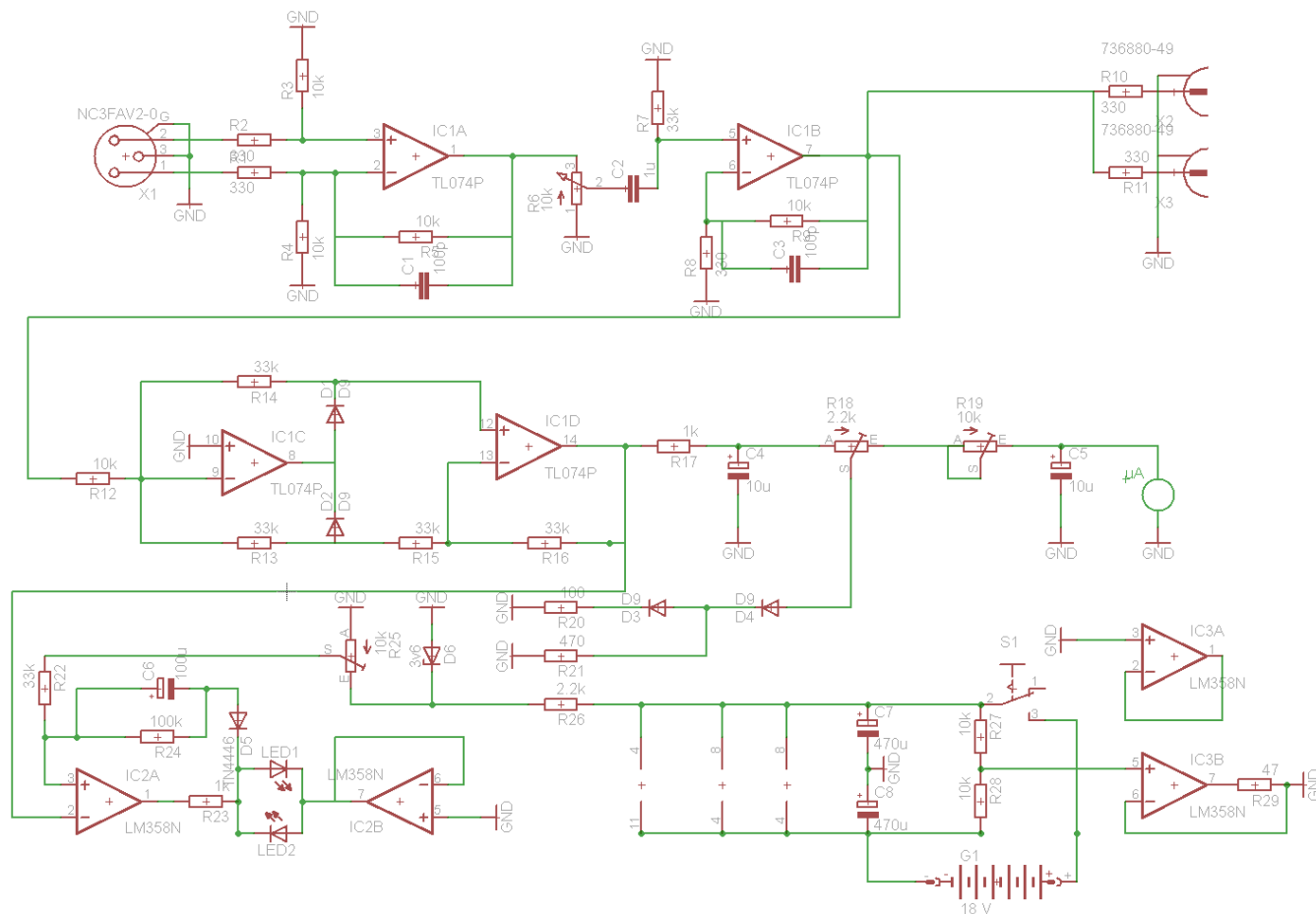
Päriahelas (K) saab kasutada viletsaid (odavaid) komponente. Tagasiside ahel peab olema täpne !

X_v teisendatakse tagasi X_s –ga sarnasesse kujusse ja neid võrreldakse

Automaatjuhtimise alus !

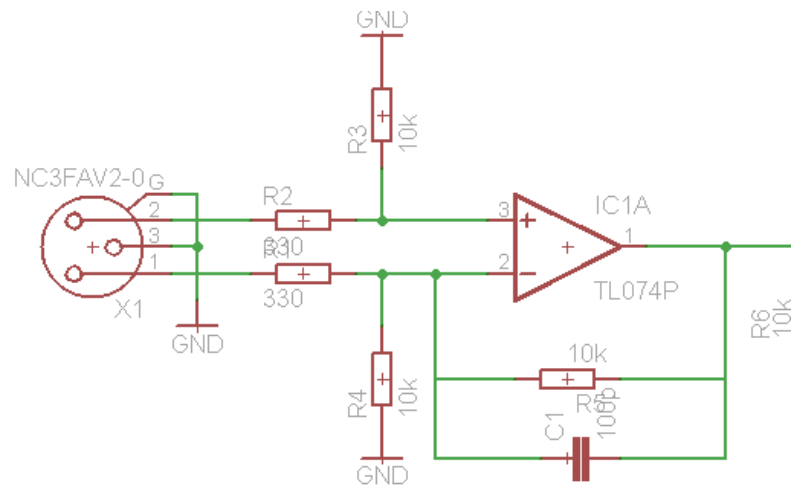
Operatsioonivõimendi - skeeminäide

Mikrofonivõimendi (mj-2014)

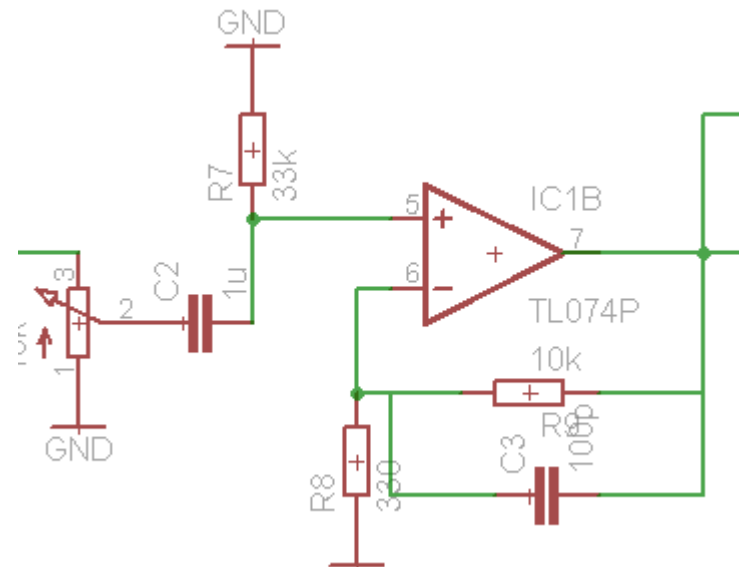


Operatsioonivõimendi - skeeminäide

- Diferentsiaalvõimendi



- Mitteinverteeriv võimendi



- Lineraarne alaldi (inverteeriv võimendi+difvõimendi)



Operatsioonvõimendi - skeeminäide

- Toitepoolitaja

-

Kasutamata OV

