

# ISC0100 - KÜBERELEKTROONIKA

---

Kevad 2025

Transistor

Martin Jaanus

NRG-308

[martin.jaanus@ttu.ee](mailto:martin.jaanus@ttu.ee) 56 91 31 93

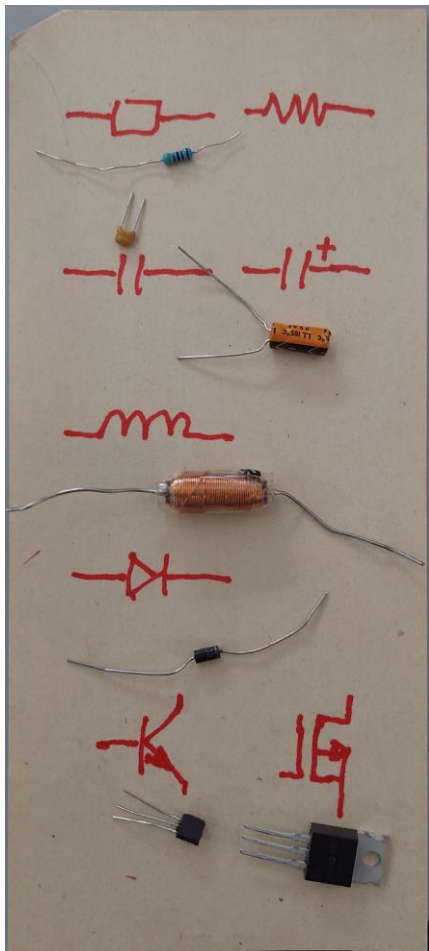
Õppetöö : <http://isc.ttu.ee>

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

# Teemad

- Võimendi kui kaksport
- Võimendamise idee
- Pooljuhid (dioodid, transistorid)

# Elektrooniku “Legoland”

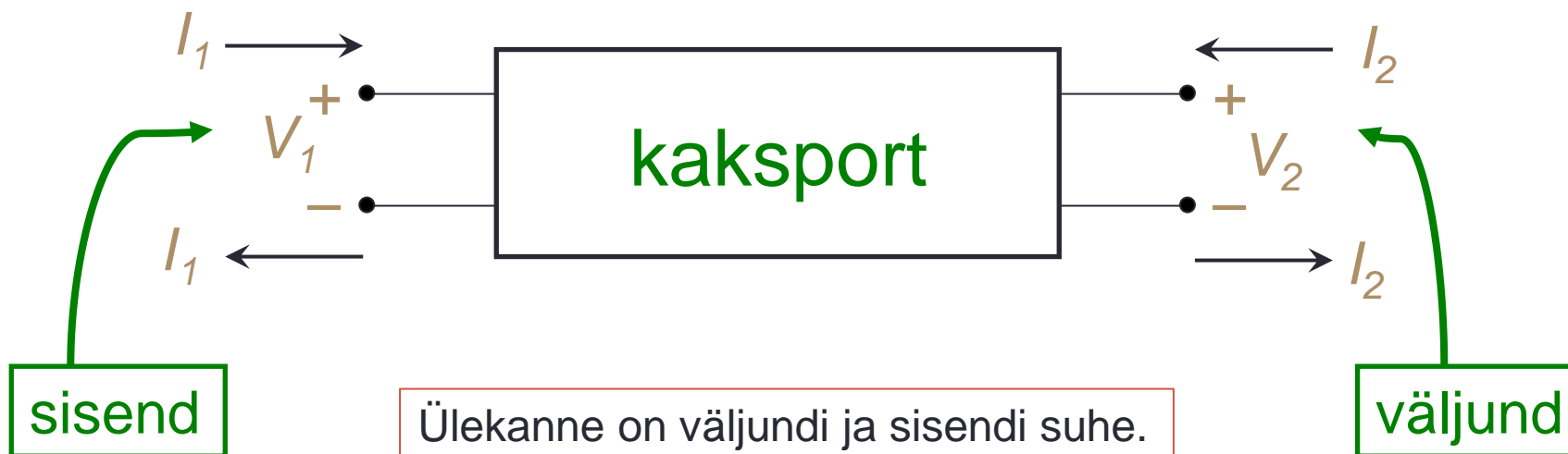


Igal elementaarkomponendil on oma roll

- Takisti (resistor) – Väga südamluk komponent ,loob suhte pinge ja voolu vahel, soojendades maailma nende korrutisega.
- Kondensaator – jonnakas komponent, ei taha unustada tema klemmidel olevat pinget .
- Induktor – töökas komponent, hoolitseb selle eest, et vool ahelas ei katkeks.
- Diod – põhimõttekindel jonnakas komponent, millel on iga pinge ning voolu jaoks oma arvamus
- Transistor – oma arvamust lihtsalt muutev komponent – takistus sõltub teiste komponentide soovist. (tema enda arvamus surutakse alla)

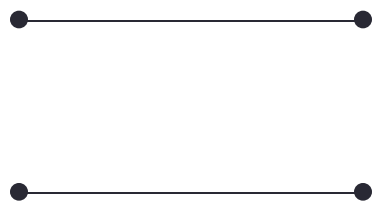
# Kaksport

- Olemuselt neliklemm kuid vaadeldakse klemmipaarina.
- Porti sisenev vool peab võrduma sealt väljuva vooluga.
- Kasutusel on pinged, mitte potentsiaalid.
- Port käitub kui **kaksklemm**.
- Sisu võib olla ülekandeahel, filter, võimendi...
- Sisendit ja väljundit seob **ülekanne** .

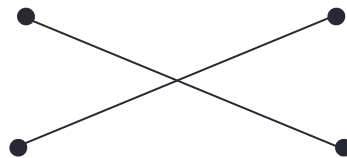


# Kaksport

- Meid ei huvita pinged sisendi ja väljundi klemmide vahel, vaid ainult sisendi ja väljundi pinged!
- Energiavahetus toimub ainult sisend- ja väljundportide kaudu, sest **teiste klemmipaaride voolud on nullid.**
- Sisend- ja väljundportide klemmid võivad kokku langeda:



$$I_1 = -I_2$$
$$V_1 = V_2$$



$$I_1 = I_2$$
$$V_1 = -V_2$$



Pikendusjuhtmed

# Kaksport

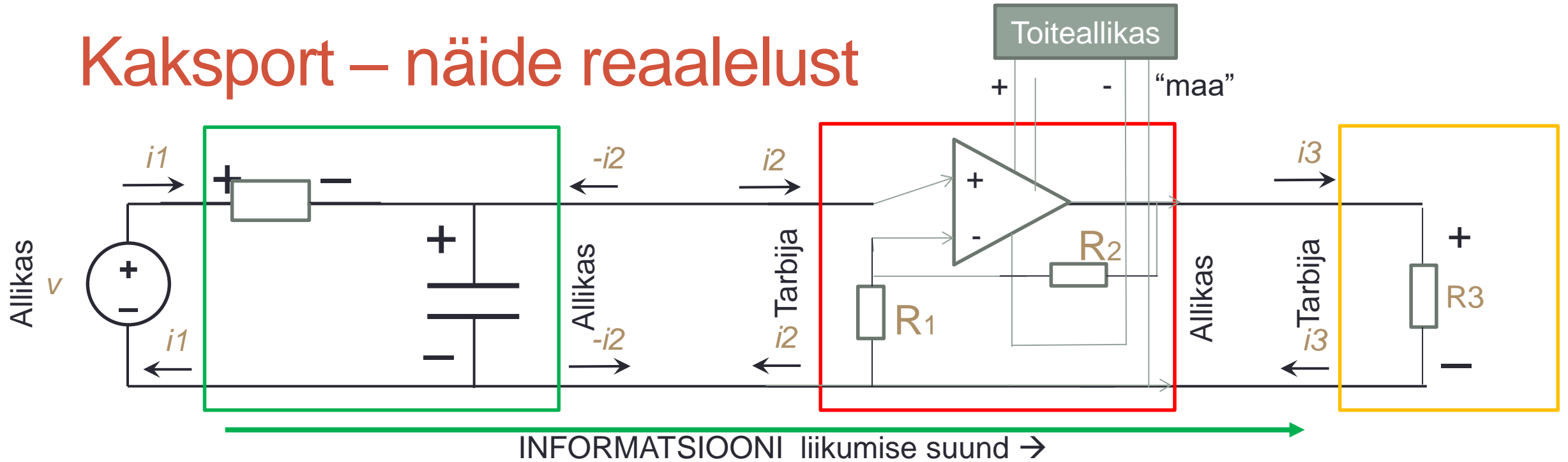
Praktiline tähtsus: väga paljud olukorrad on käsitletavad kui üksportide ühendamine kaksporti kaudu:



Nii sisendi kui väljundiga ühendatud üksportid võivad ise olla kaksportide kaudu ühendatud teistega. Selline **kaskaad**ühendus on paljudes rakendustes (kommunikatsioon, energiasüsteem jne) põhiline struktuur.



# Kaksport – näide reaalelust



Kahe kaksporti **kaskaadühendus** – tavaline näide sidetehnikast, mehhatroonikast, elektroonikast.

Korrutuvad ülekandeparameetrid (ABCD)

Võib vaadata kui "musta kasti" ....**kui on teada sisend- ja väljundparameetrid !**

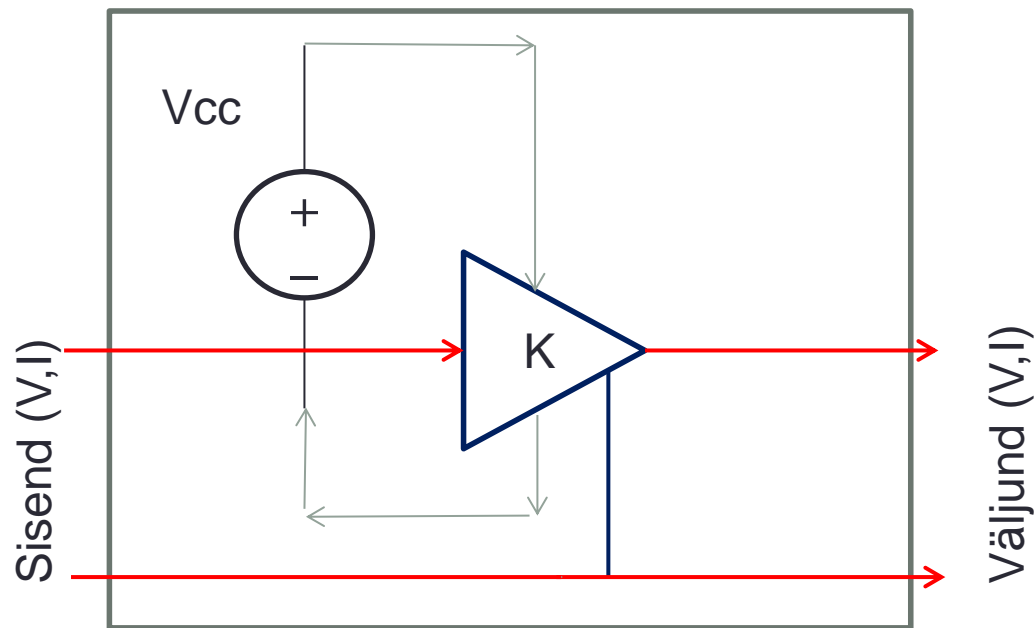
**Energiaülekanne ei ole sedasi ilma välise toiteallikata võimalik !**

Tavalised küsimused –

- Allika väljundpinge on suurusjärgus 1 mV , millised peavad olema takistid  $R_1$  ka  $R_2$  , et tarbijal oleks pinge 500 mV
- Sisendis on harmooniline signal sagedusega  $F$ , milline on väljundpinge sellel sagedusel ?, hilistumine ?
- Kas  $I_1=I_2=I_3$  ? V: Ei !
- Mis juhtub , kui ühendan seadmed omavahel kokku ?

# Võimendi kui kaksport

- Kui toiteallikat vaatame eraldi – on tegu kolmpordiga.
- Võimendi on seadis, mis välist energiaallikat kasutades tõstab signaali võimsust.
- Saab käsitleda kui **mittepööratavat** kaksporti, vajab **aktiivkomponenti** .



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

Ülekanne (võimendus)

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

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

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

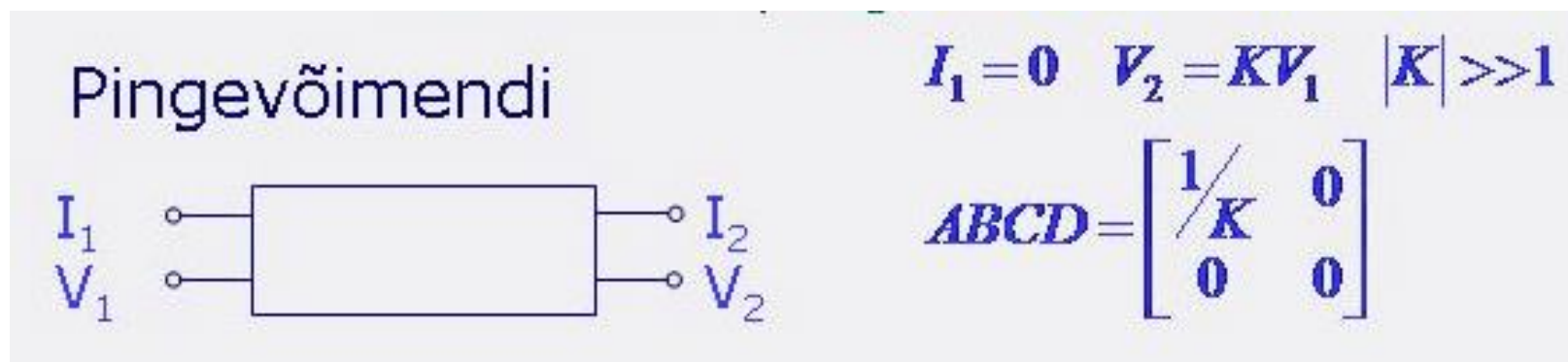
Võimsusvõimendus

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

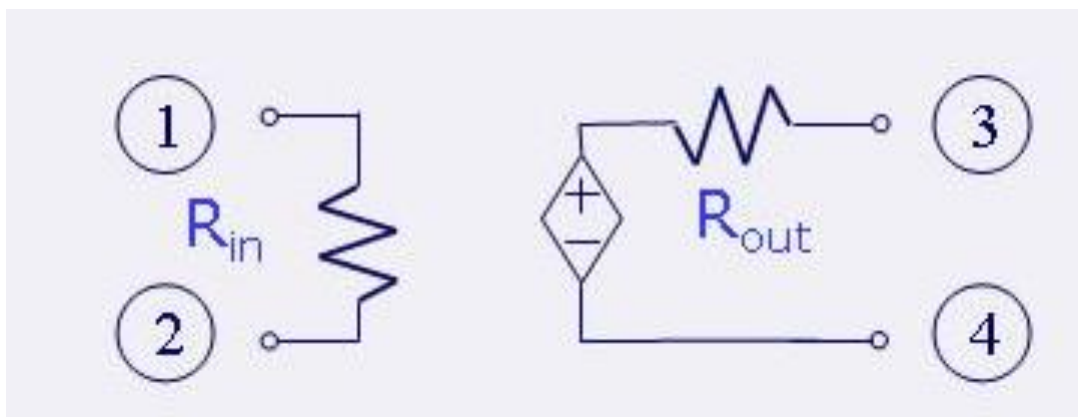
**Võimsus on võrdeline pinge (ja ka voolu ) ruuduga !**



# Võimendi aseskeem



- Reaalse võimendi aseskeem

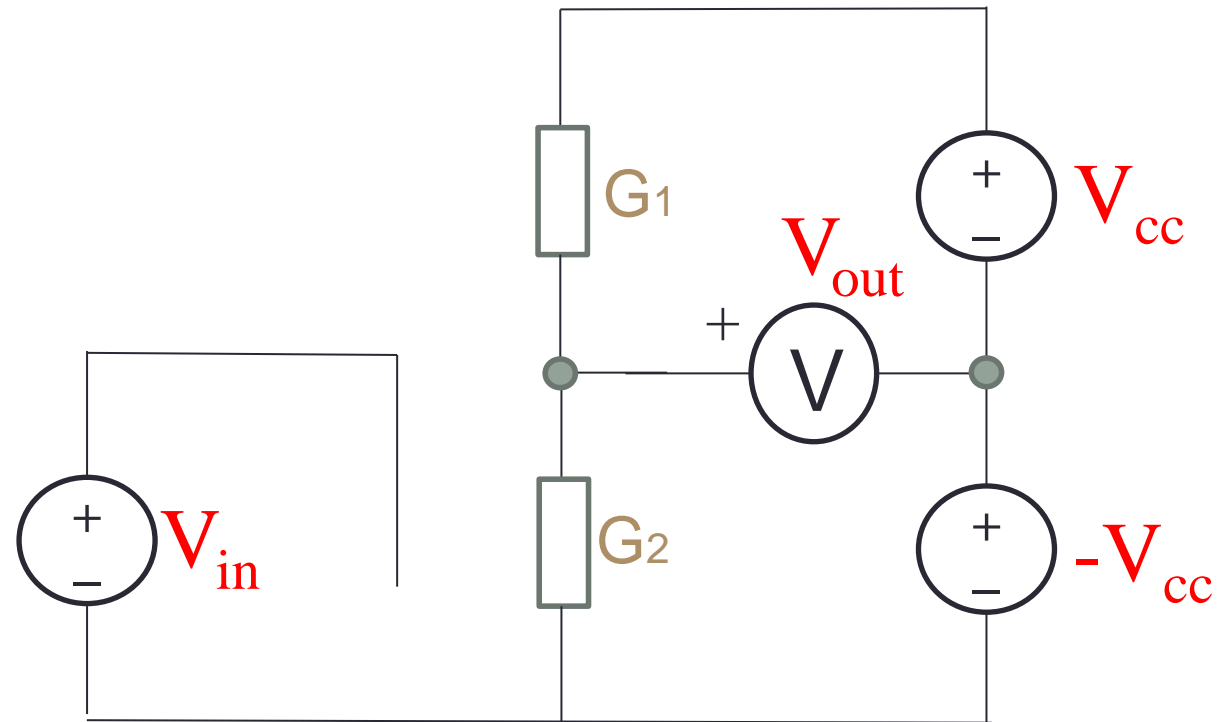


Pingevõimendi puhul

- $R_{in}$  võimalikult suur
- $R_{out}$  võimalikult väike

# Võimendi üldtööpõhimõte

Milline on  $V_{out}$  ja sõltuvus sisendist  $V_{in}$  ?



$$V_{out} = 2 * V_{cc} * \frac{G_1}{G_1 + G_2} - V_{cc}$$

Kui  $G_1 = G_2$  ( $R_1 = R_2$ ) siis  $V_{out} = 0$

Isegi , kui nad erineksid, ei sõltuks väljund üldse sisendist !

# Võimendi üldtööpõhimõte

Milline on  $V_{out}$  ja sõltuvus sisendist  $V_{in}$  ?

$$V_{out} = 2 * V_{cc} * \frac{G_1}{G_1 + G_2} - V_{cc}$$

Lahendus – kasutame komponenti, mille takistus sõltub näiteks sisendpingest.

$$G_2 = G_0 + V_{in} * X$$

Näiteks

$$V_{cc} = 10V$$

$$G_1 = 1mS \text{ (1 k}\Omega\text{)}$$

$$G_0 = 1mS \text{ (1 k}\Omega\text{)}$$

$$X = 0.1 S/V$$

Kui  $V_{in}$  siis  $V_{out} = 0$

Aga kui nüüd  $V_{in}$  muutub  $0 \rightarrow 2mV$  ?

$$G_2 = 1mS + 2mV * 0.1 S/V = 1.2mS$$

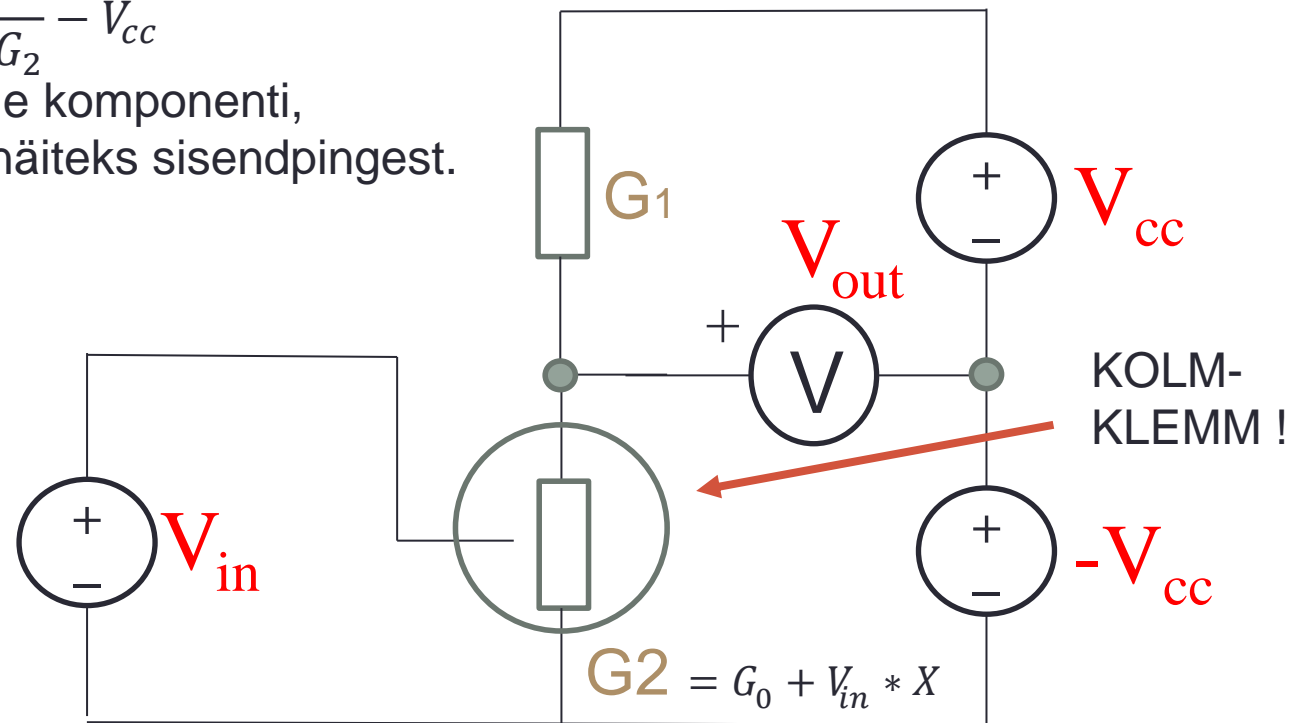
$$V_{out} = 2 * 10V * \frac{1mS}{1mS + 1.2mS} - 10V = -0.9V$$

Aga kui nüüd  $V_{in}$  muutub  $0 \rightarrow -2mV$  ?

$$G_2 = 1mS - 2mV * 0.1 S/V = 0.8mS$$

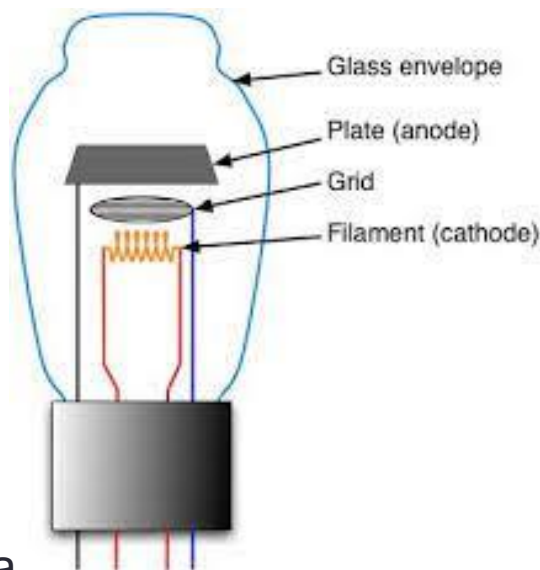
$$V_{out} = 2 * 10V * \frac{1mS}{1mS + 0.8mS} - 10V = 1.1V$$

Probleem - lineaarsus , muutus toimub nimetajas , selle vastu on skeemilahendused !



# Mittepööratav kolmklemm

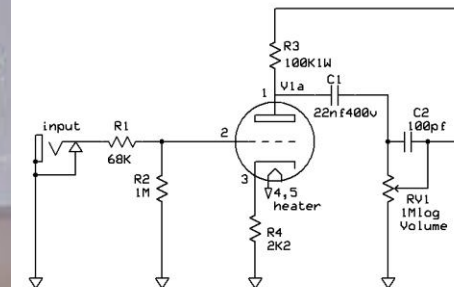
- Näiteks elektronlamp (1907)
- Elektronide voogu vaakumis juhitakse võre pingega katoodi suhtes.
- Vajab kütet (kütteniiti), et kuumast katoodist lenduksid elektronid. Olemas ka külmkatoodlambid.
- Tänapäeva kasutus :
  - Helitehnika – eelkõige kitarrivõimendid.
- Militaarside



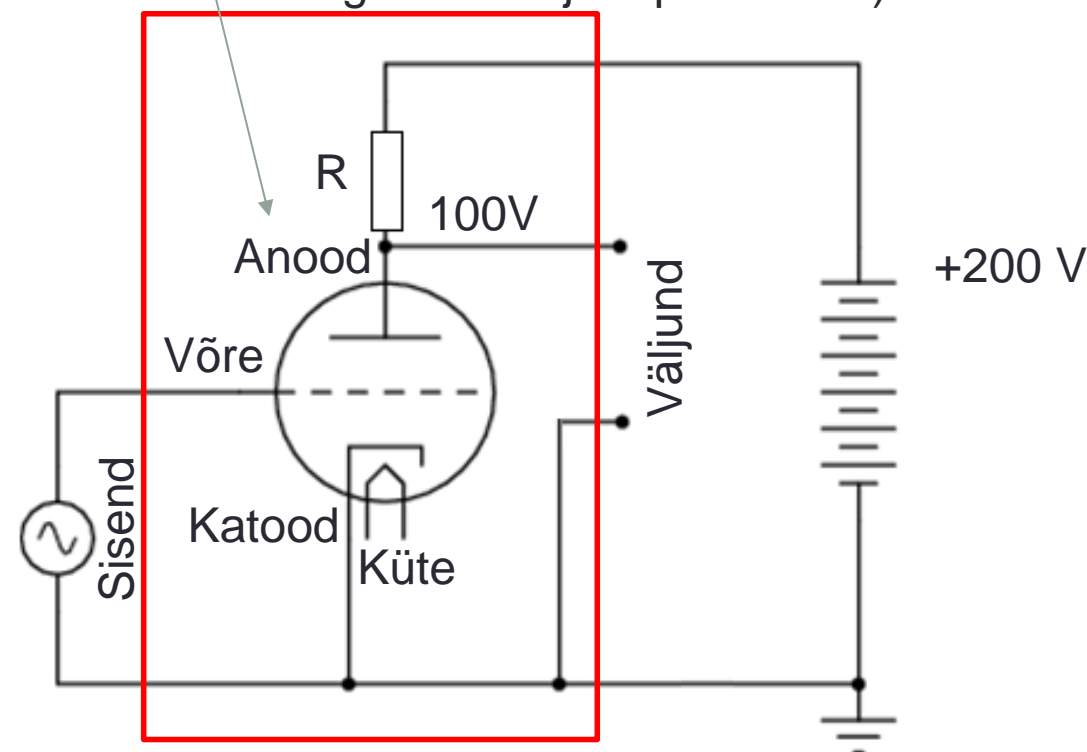
Pilt: wikipedia



Pilt: wikipedia

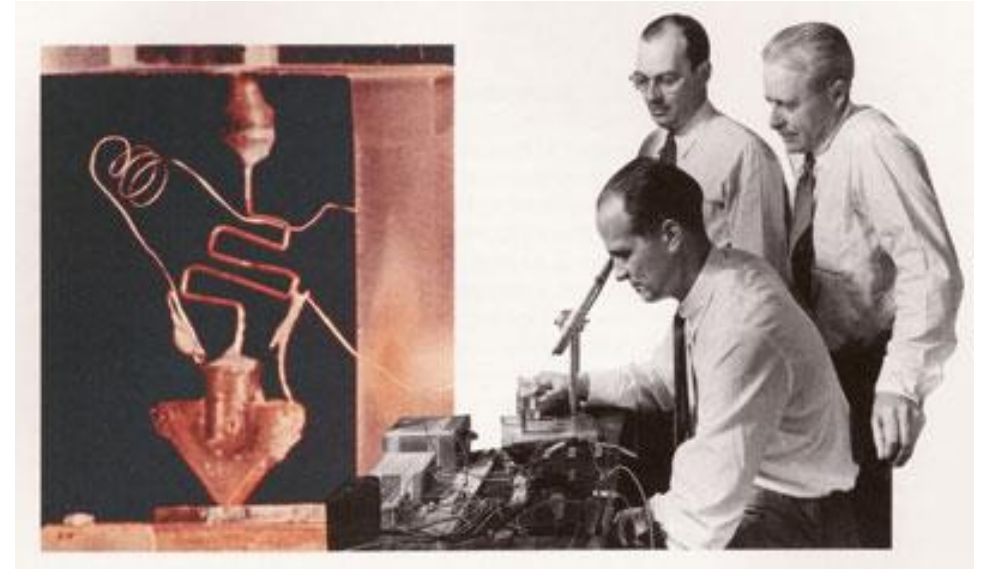
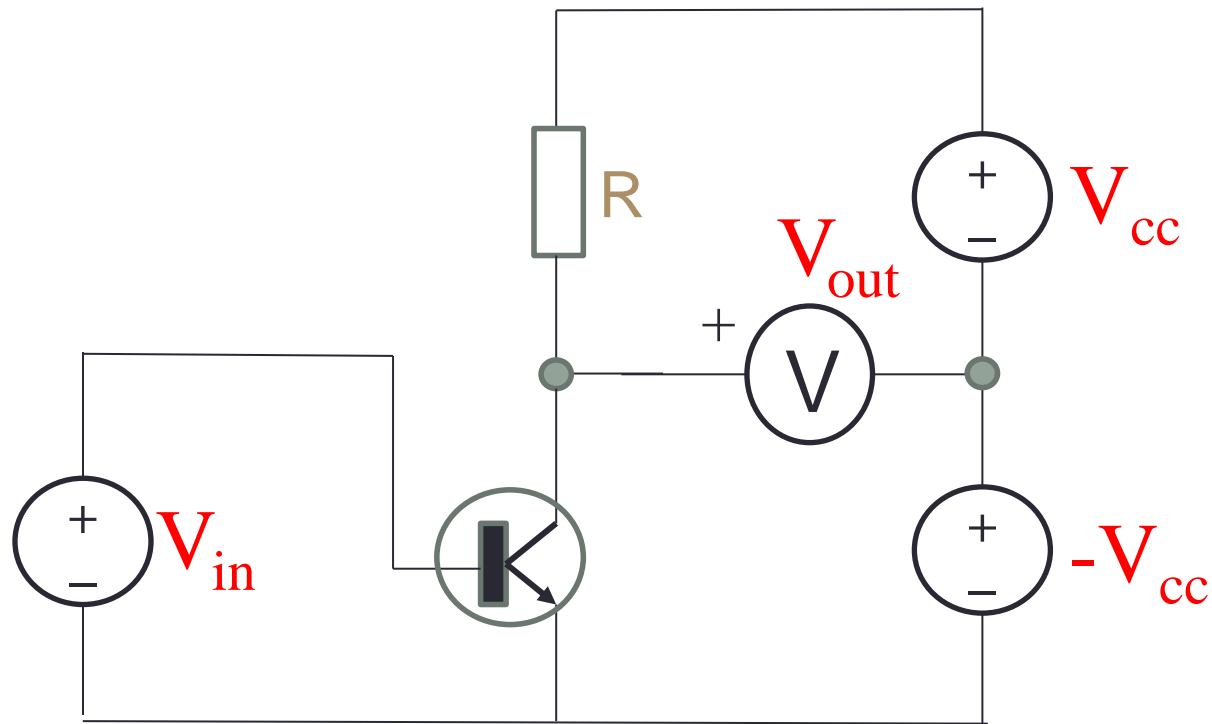


See on TRIOD (3 signaaliklemmi, üks võre, olemas ka rohkemate võredega lambid ja topeltlambid)

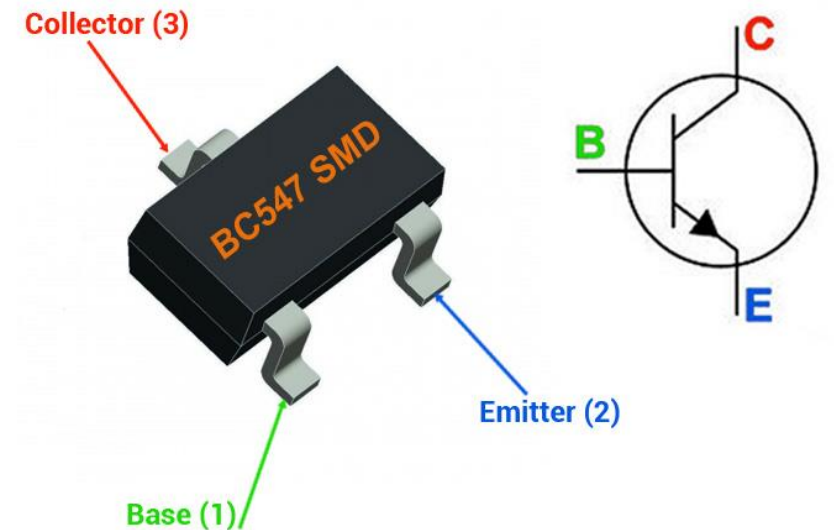


# Mittepööratav kolmklemm

- Germaaniumtransistor 1947
- Ränitransistor 1954
- Toimib elektriväljade vastastikusel toimel

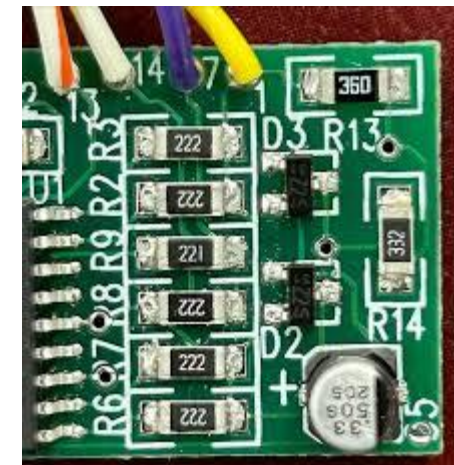


Pilt: Wikipedia, 1947



# Elektroonikakomponent - transistor

- **Kolmklemm** – (saab tükeldada teoreetiliselt abstraktseteks kakskeemmideks , aaseskeemidel , praktikas neid komponente ei eksisteeri)
- Olemuselt tüüritav takisti (**trans**former of re**sistor**)
- Hüdraulika analoog – kraan
- Väikese energiakuluga tüürime suuremat energiavoogu
- Bipolaartransistor ( alates 1947)
- Väljatransistor (patent 1925, valmis alates 1953)



# POOLJUHTSEADISED

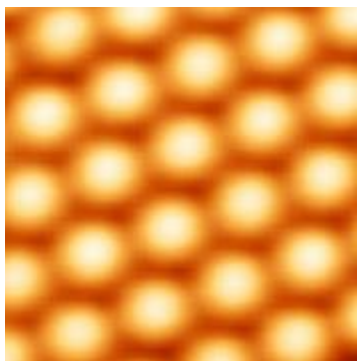
---

Tööpõhimõte

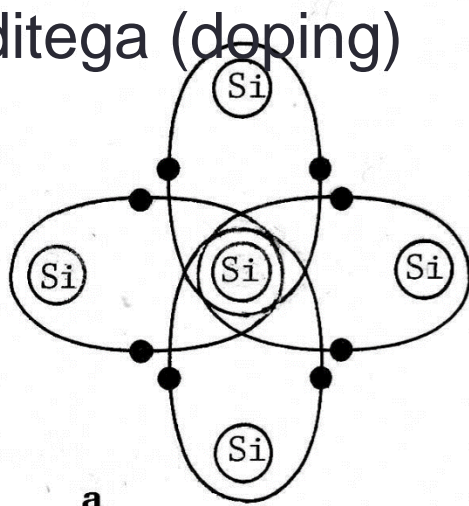


# Pooljuhid

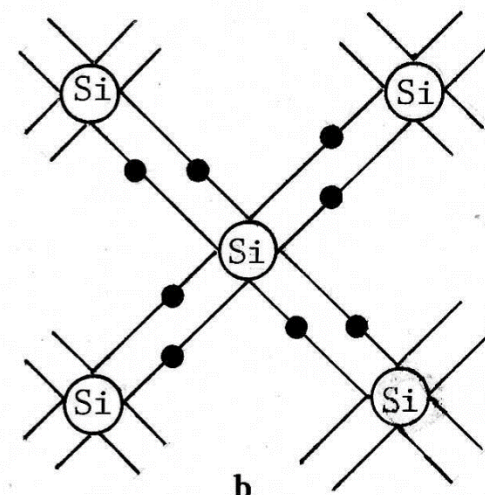
- <https://www.youtube.com/watch?v=7ukDKVHnac4>
- Madal elektrijuhtivus toatemperatuuril
- Elektrijuhtivus kasvab temperatuuri tõustes.
- Poolmetallid (metalloidid) Ge, Si, Se
- Mõned oksiidid ja sulamid
- Juhtivust saab muuta lisanditega (doping)



Räniaatomid 45,000,000  
x.suurendatult -wikipedia



a



b



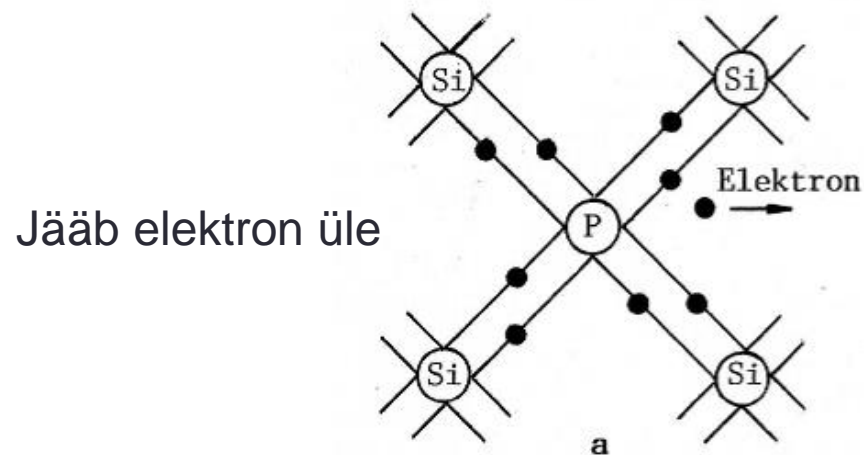
# Keemiliste elementide perioodilisustabel

	IA																	0	
1	1 H																		2 He
2	3 Li	IIA 4 Be										5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne		
3	11 Na	12 Mg	IIIB	IVB	VB	VIB	VII B	— VII —	IB	IB	13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar			
4	19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 Y	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr	
5	37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe	
6	55 Cs	56 Ba	*La	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn	
7	87 Fr	88 Ra	+Ac	104 Rf	105 Ha	106 Sg	107 Ns	108 Hs	109 Mt	110 110	111 111	112 112	113 113						

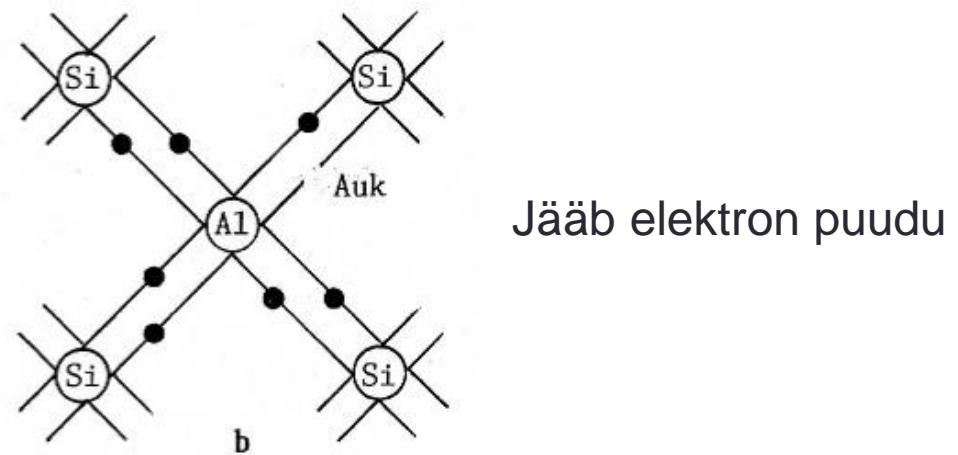
58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu
90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr

# N ja P tüüpi pooljuhid

- Puhtas pooljuhis on vabade elektronide arv võrdne aukude arvuga, sest kovalentsideme katkemisel moodustuvad paarikaupa üks vaba elektron ja auk.
- Erineva lisandiga saadakse erinevat tüüpi juhtivus.
- Laengukandjateks muutuvad N tüüpi pooljuhis elektronid
- P tüüpi pooljuhis augud.



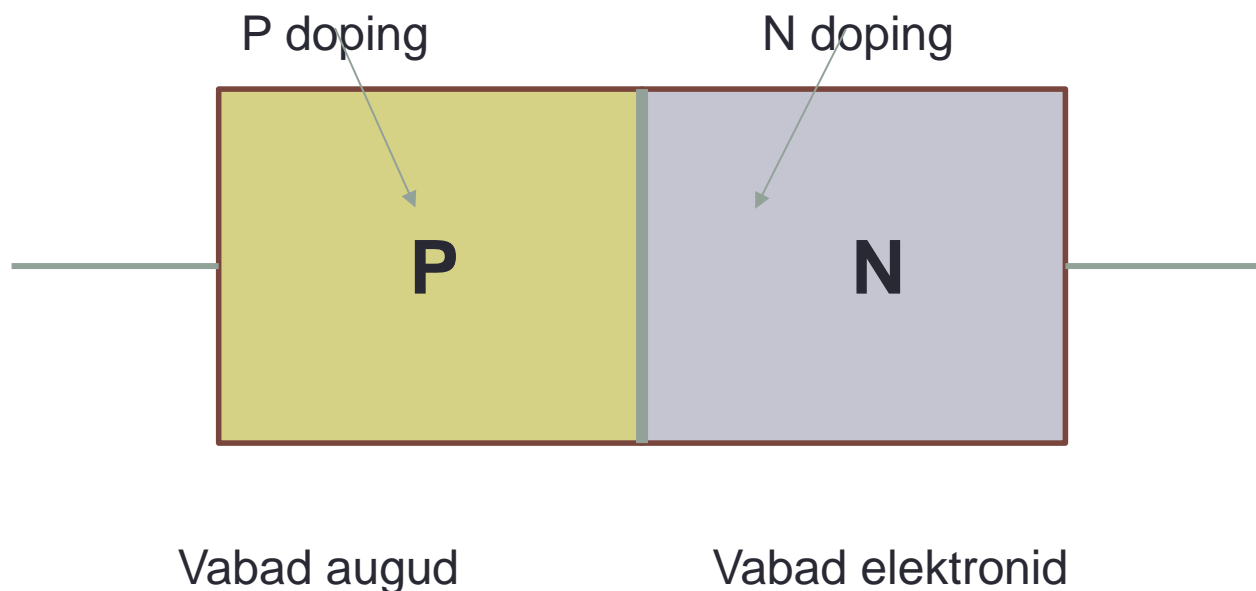
N tüüpi (lisatud fosfor)



P tüüpi (lisatud alumiinium)

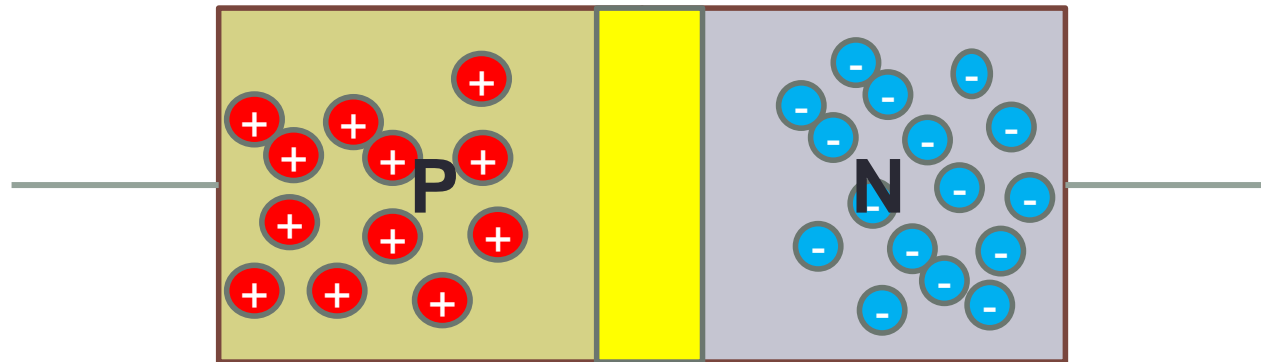
# p-n siire

- Põhiline kaasaegse elektroonikaseadme ehituskivi.
- Tekib erinevate lisanditega pooljuhtmaterjalide kokkupuutel.
- Toimub üleminek aukjuhtivuselt P elektronjuhtivusele N.
- Ruumilaengu mõjul tekib tõkkekiht



# Pingestamata p-n siire

- P kihil on elektronide vähesuse tõttu positiivne laeng.
- N kihil on elektronide rohkuse tõttu negatiivne laeng.
- Siirde läheduses olevad elektronid täidavad lähemad augud.
- Positiivsed ja negatiivsed laengud seetõttu kaugenevad, tekib nendevaheline pinge (räni puhul 0,6...0,7 V )

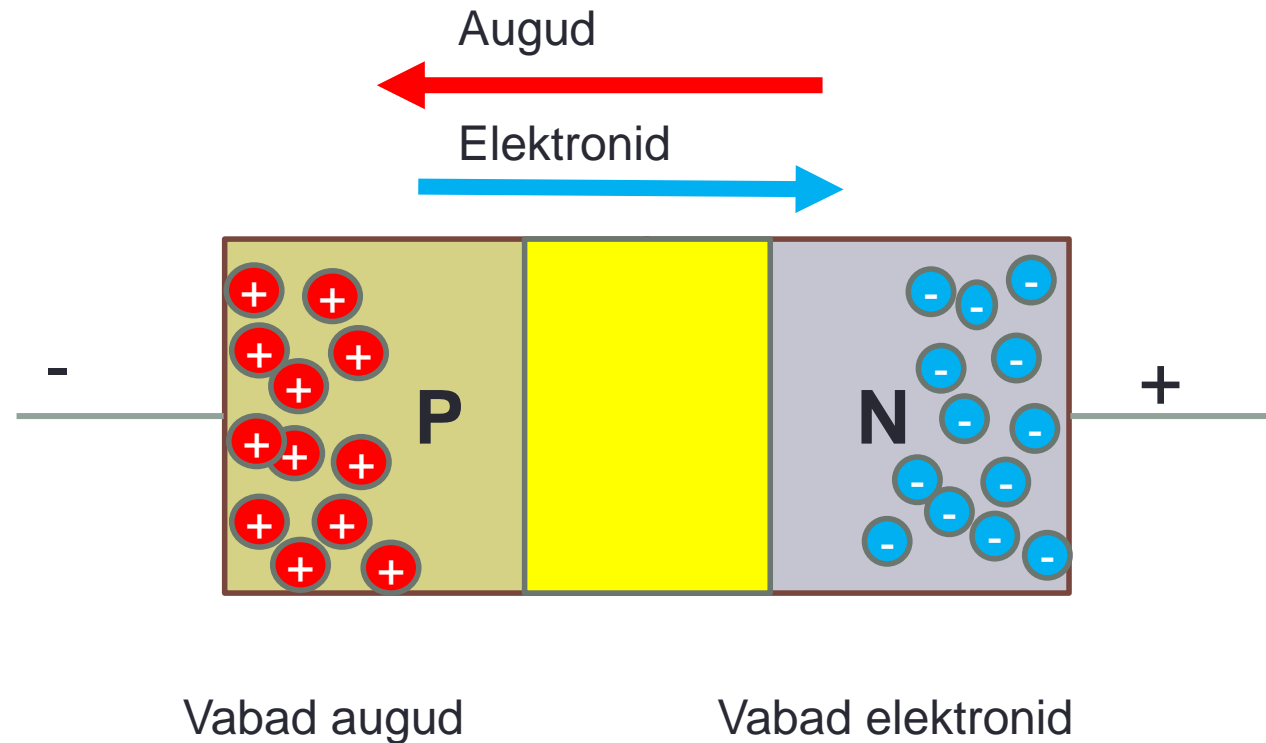


Vabad augud

Vabad elektronid

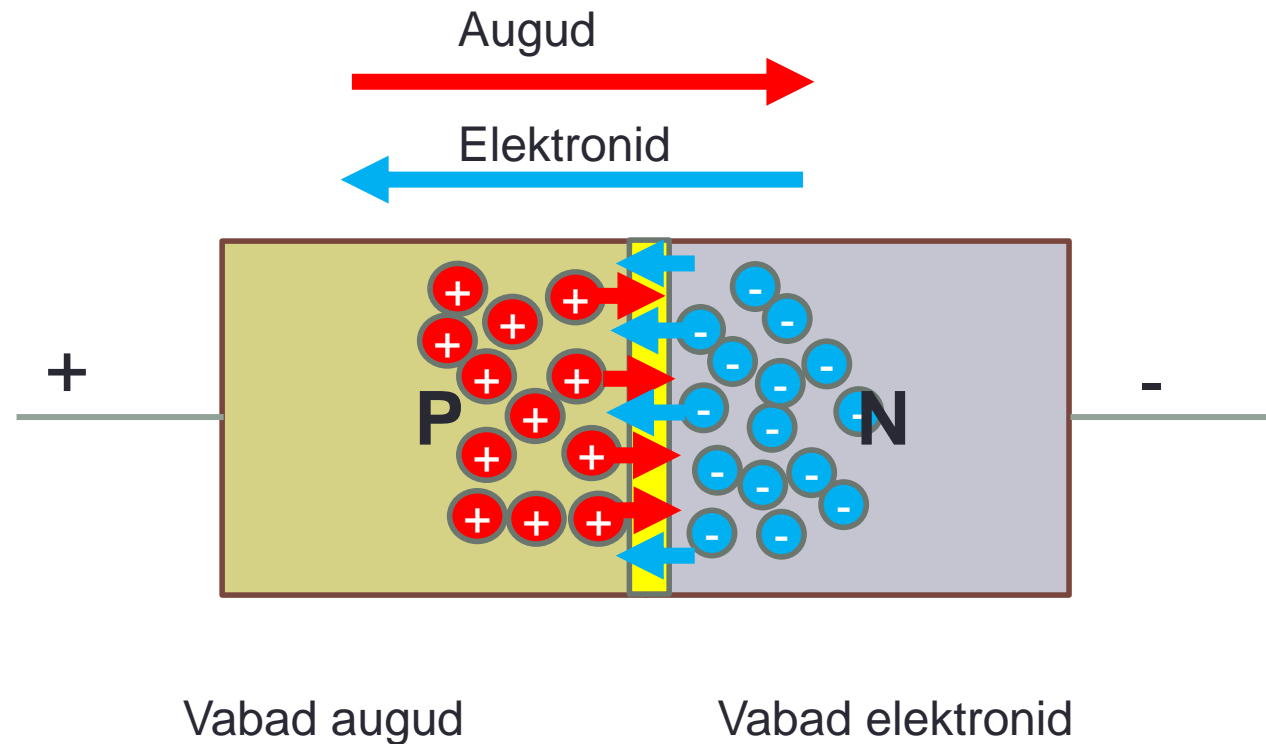
# Vastupingestatud p-n siire

- Vastaslaengud tõmbuvad kihtide otstele.
- Tõkkekiht (laenguta ala) suureneb.
- Elektrivoolu ei teki.



# Päripingestatud p-n siire

- Tõkkekiht väheneb, kuna laengud tõugatakse siirde poole.
- Alates avanemisingest (ränni puhul 0,6...0,7 V) tekib vool.

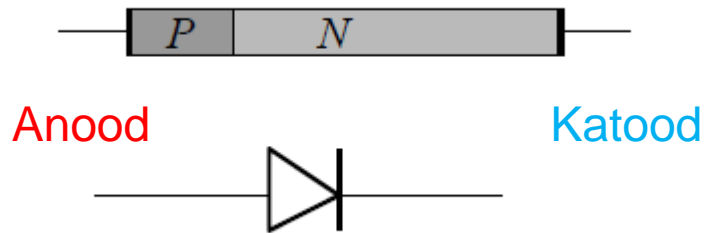


# Elektronikakomponent - diood

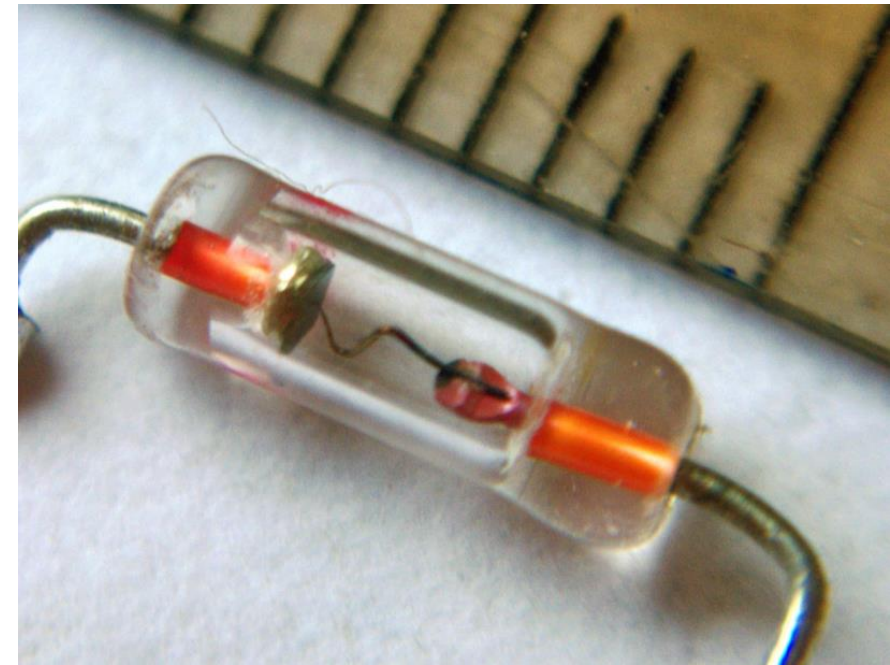
- **Mitte**lineaarne kakslemm
- Idee pärineb aastast 1874, kui saksa teadlane Ferdinand Braun avastas pooljuhtefekti kristallides.

Alaliigid:

- Mahtvusdiod, tunneldiod, valgusdiod, stabliitron.....



- Hüdraulika analoog – tagasilöögiklapp

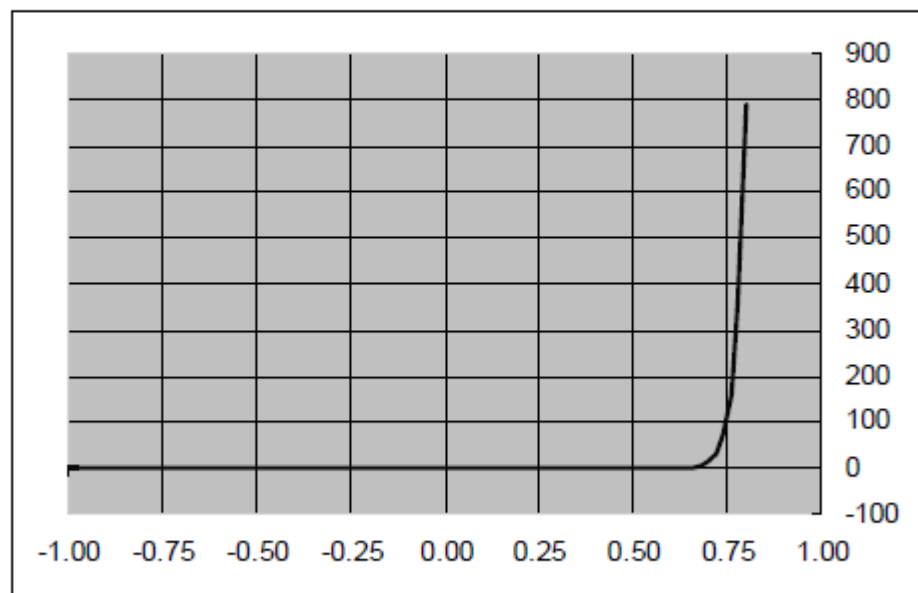




# Elektronikakomponent - diood

- Juhtivus sõltub pingest
- Põhieesmärk – vahelduvsignaali alaldamine

Volt-amperekarakteristik



[V]

[mA]

$$I_D = I_S \left( e^{\frac{V_D}{nV_T}} - 1 \right)$$

$$V_T = \frac{kT}{q} = \frac{1.38 \times 10^{-23} \text{ J}\cdot\text{K}^{-1} \times 300 \text{ K}}{1.6 \times 10^{-19} \text{ C}} \simeq 25.85 \text{ mV}$$

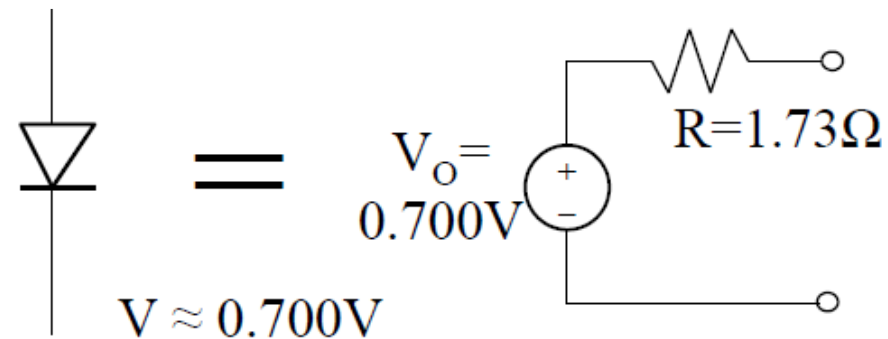
(ligikaudu toatemperatuuril)

- $I_D$  – dioodi vool
- $I_S$  – vastupingestatud dioodi küllastusvool
- $V_D$  – dioodi pinge
- $V_T$  – termopinge
- $n$  – ideaalsustegur (materjalist sõltuv)
- $k$  – Boltzmanni konstant
- $T$  – absoluutne temperatuur
- $q$  – elektroni laeng



# Elektroonikakomponent - diood

Päripingestatud ränidiodi aseskeem



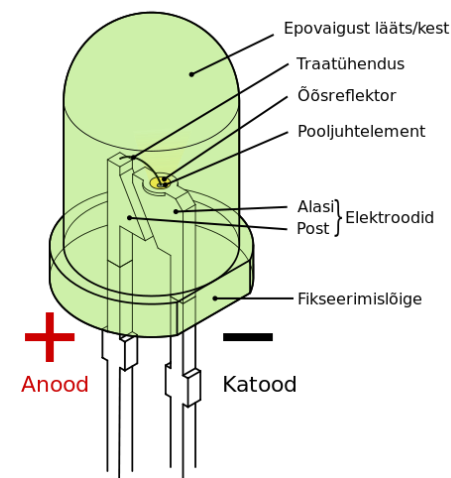
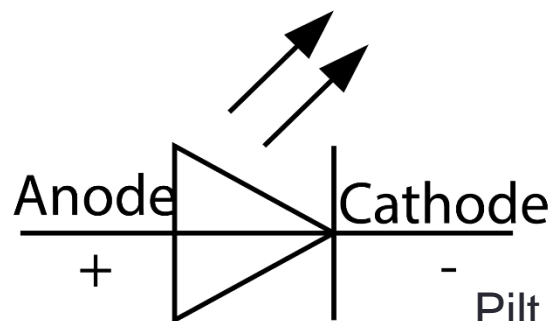
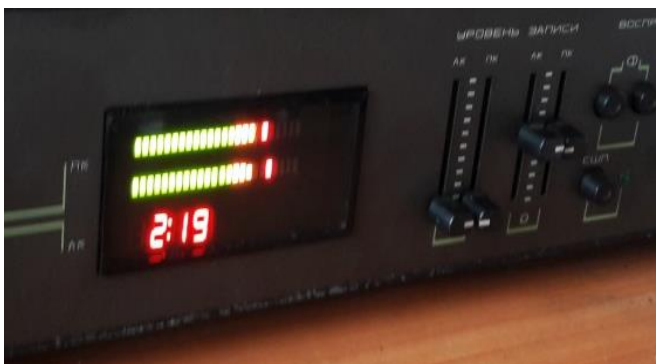
$$V \approx 0.700V$$

$$I \approx 15mA$$

Päripingestatud diood  
on ligikaudu 0.7V  
pingeallikas!

# Valgusdiod (LED)

- Valgusdiod on pn-siirdega diod, mis muundab elektrienergiat nähtavaks valguseks, samuti optiliseks kiirguseks spektri infrapunases või ultravioletses osas.
- LED= **L**ight **E**mitting **D**iode, 1961 , 200 USD tüki hind
- Pooljuhtmaterjal GaAs ,InP
- 1968 – masstootmine- punane, infrapunane , 5 senti tk.
- **1995 – Sinine valgusdiod** InGaN (Shuji Nakamura), sai aastal 2006 milleeniumi tehnoloogia auhinna . Mitmevärviline LED ühes kestas (punane, roheline, sinine). Ehk suvaline värvus
- 2009 – Valgusdiodide masskasutus olmes (valgustid)
- Tööpõhimõte – elektoluminessents, mis tekib elektronide ja aukude rekombinatsioonil. P-N siire tehakse serva peal.



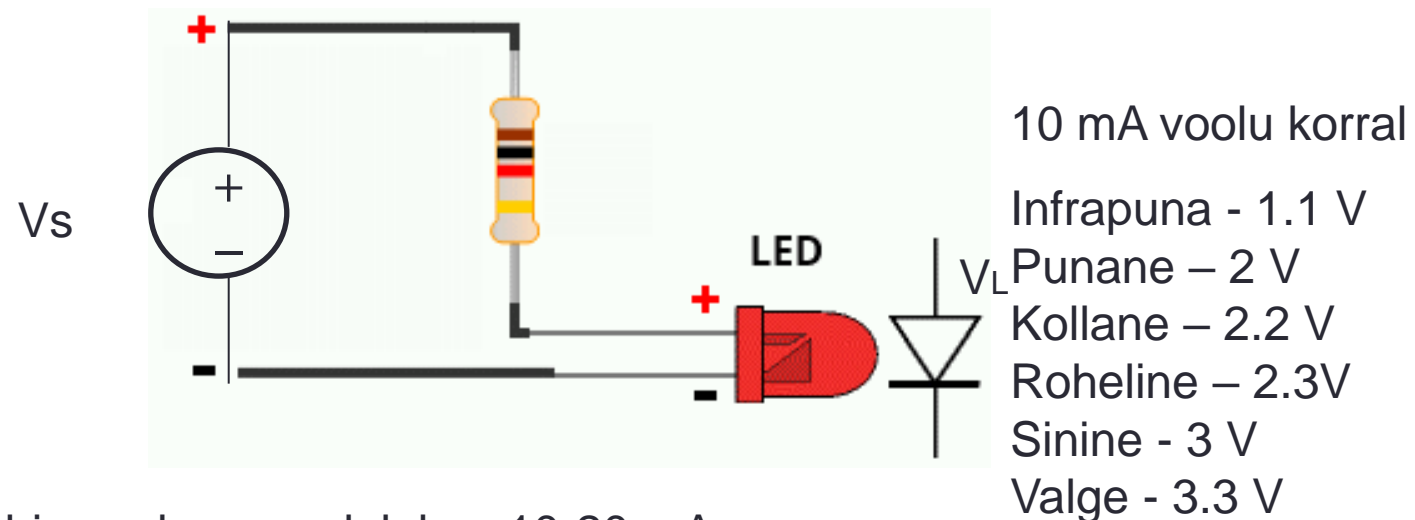
Pilt - wikipedia

# Valgusdiod (LED)

Eeltakisti arvutus

Kasutame

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

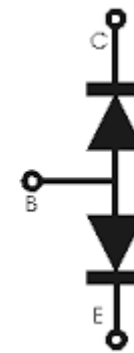
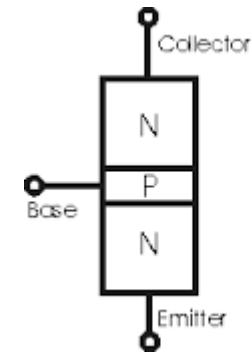
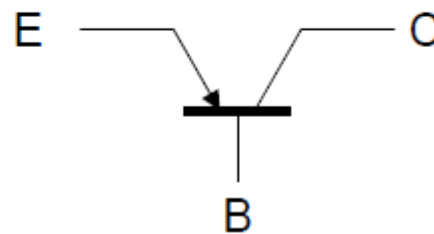
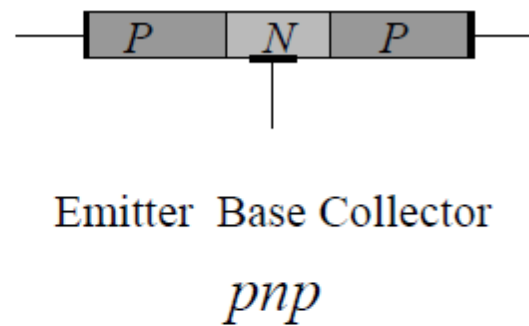
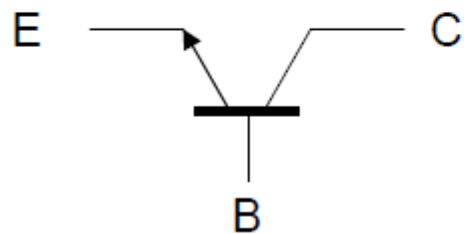
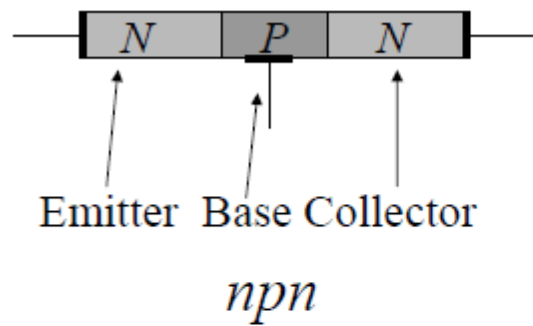


Valgusdiodi läbiv vool normaalolekus 10-20 mA



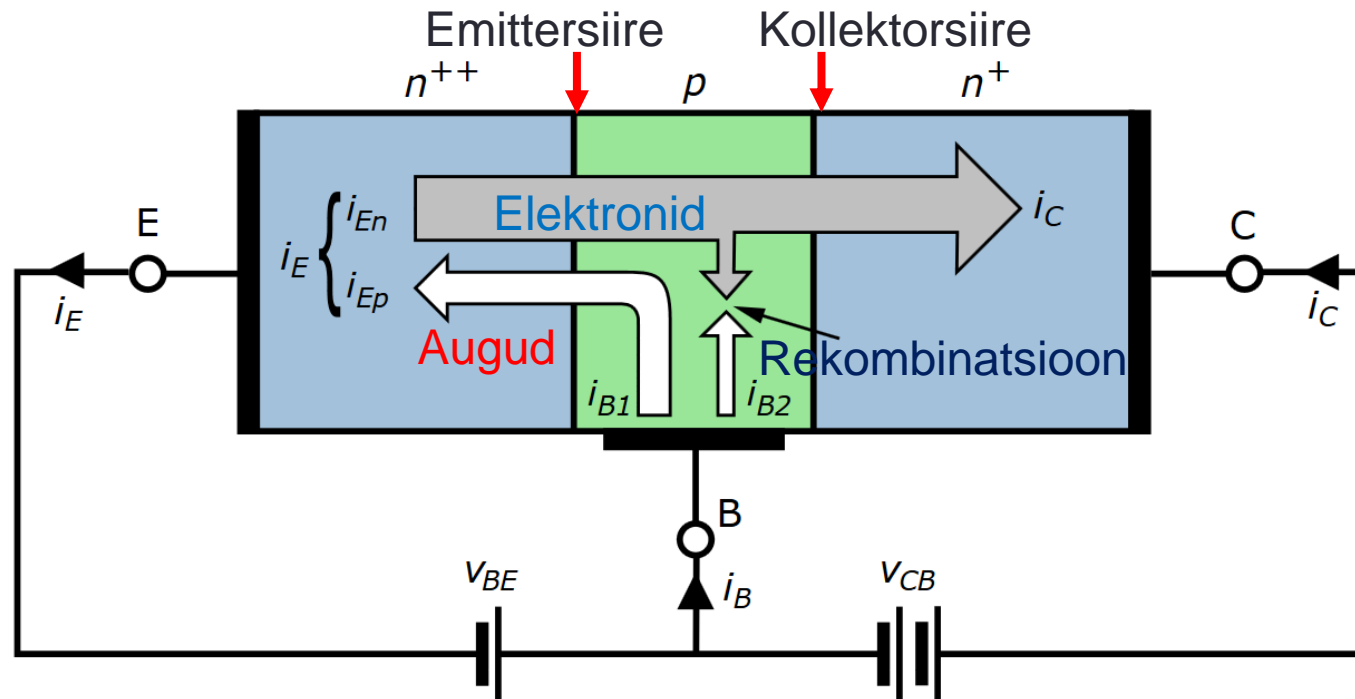
# Bipolaartransistor

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



# Bipolaartransistor

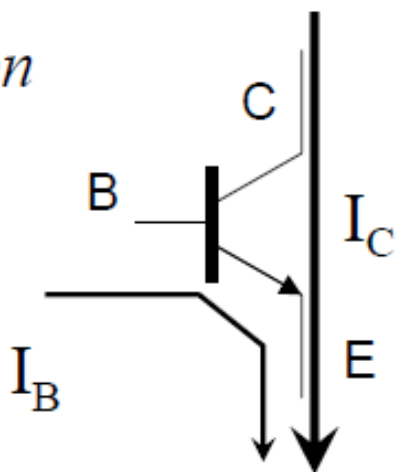
- Võimendustoime põhineb siirete vastastikusel mõjul.
- Baas on väga õhuke, võrreldes emitteri ning kollektoriga.
- Sisendignaali rakendatakse emittersiirdele.
- <https://www.youtube.com/watch?v=7ukDKVHnac4>



# Bipolaartransistor

Bipolaartransistor: võrrandid

*npn*



$$V_{BE} > 0$$

$$V_{CE} > 0$$

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

$$I_C \approx I_E$$

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

Hea transistor  
 $\beta=100$



Pilt facebook → elektroonikute grupp

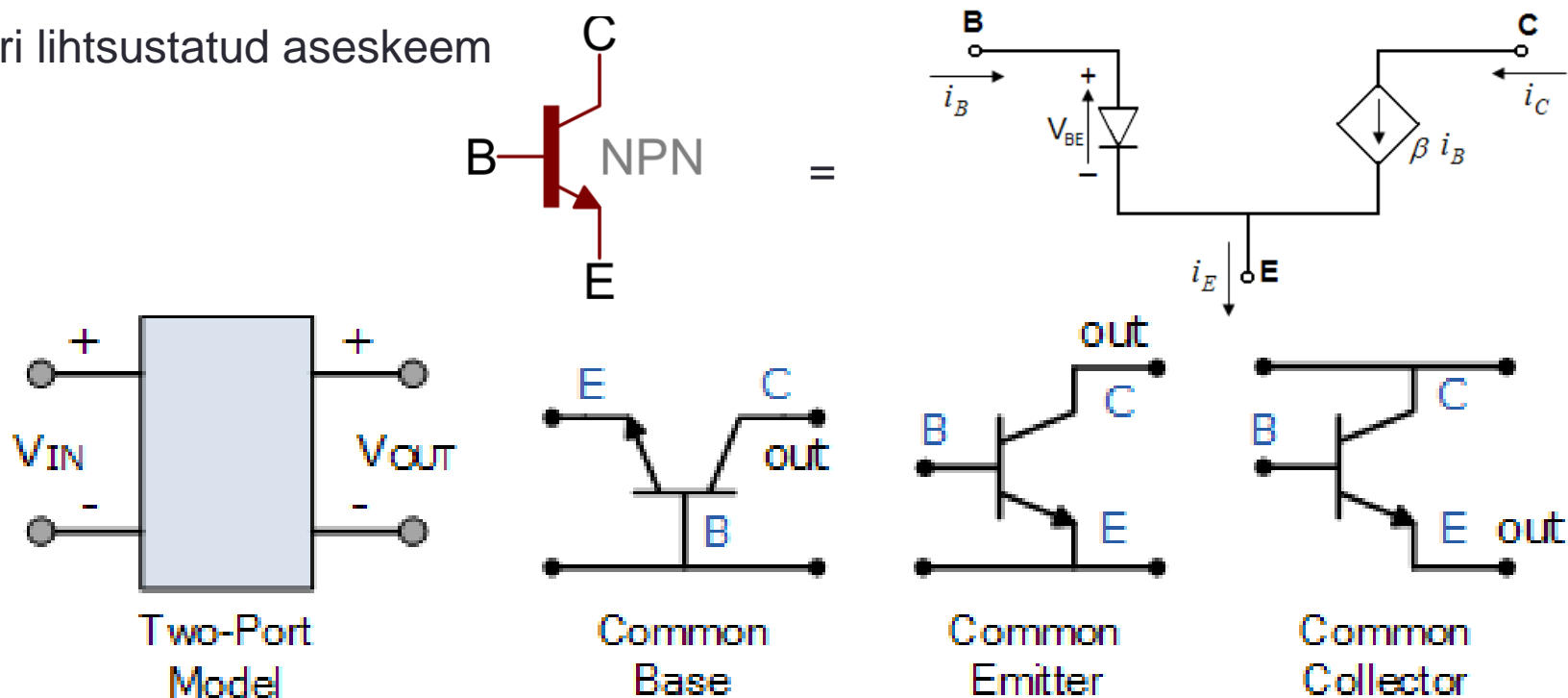
Kui  $\beta$  on „suur“, siis lihtsuse mõttes loeme baasivoolu nulliks!  
Lihtsustab tunduvalt ligikaudseid arvutusi.



# Transistor kui võimendi

- Et kolmeklemmi saaks kasutada kaksportina, tuleb üks klemm võtta ühiseks. **Igal juhul tuleb sisendsignaal rakendada emittersiirdele**.
- Kasutatakse valdavalt  $h$  parameetreid koos ühendusviisi näitava indeksiga, kõige olulisem neist on  $h_{21E}$ , - vooluülekanne, tähistatakse ka  $\beta$  ja  $H_{FE}$

NPN transistori lihtsustatud aseskeem



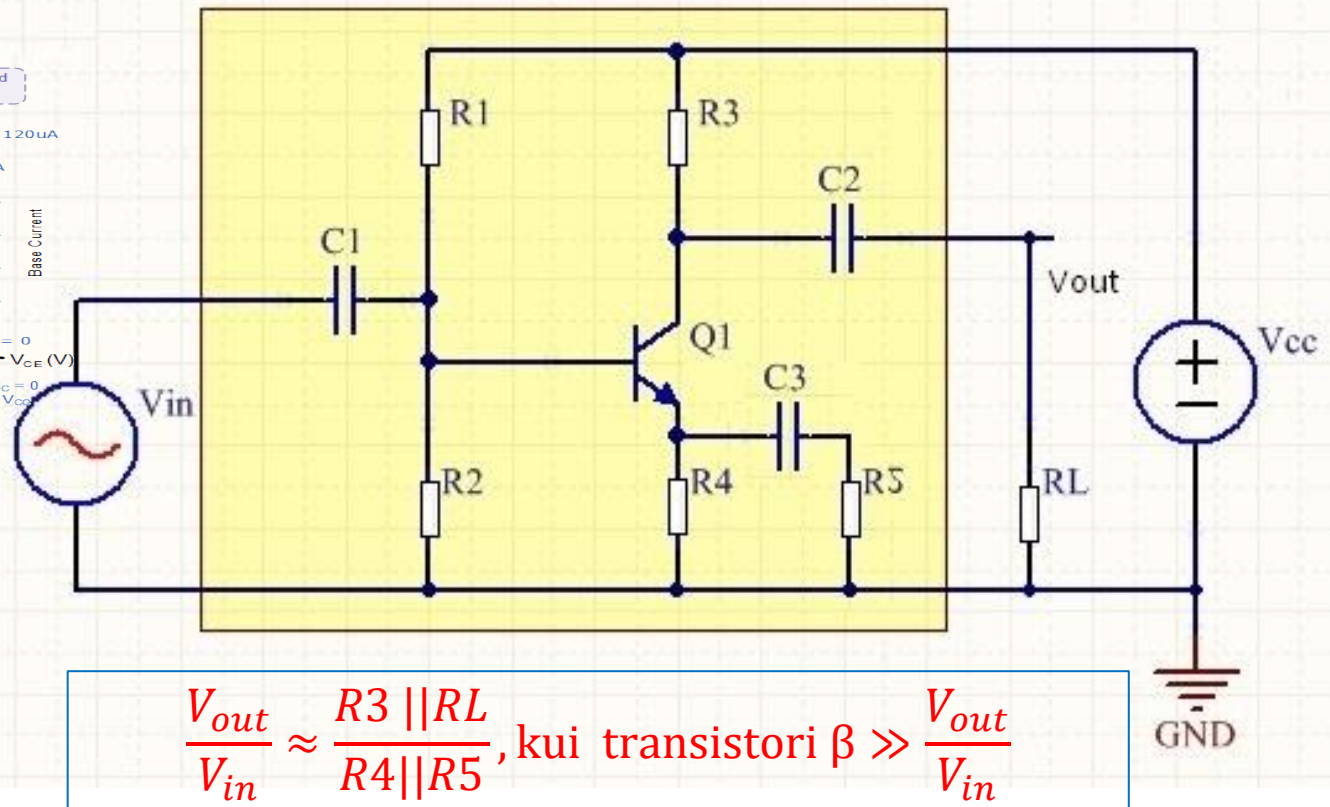
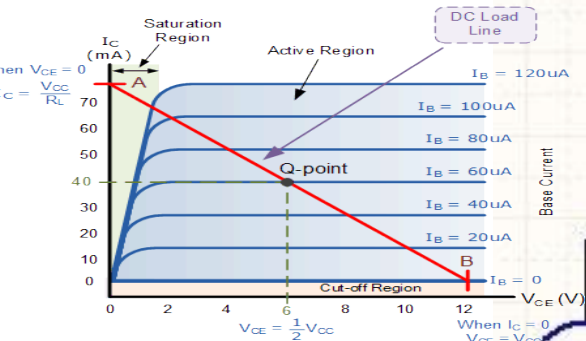
Täpsemad eestikeelsed kommentaarid ning ahelate arvutused:

Lembit Abo, Raadiolülitused, Tallinn 1990



# Bipolaartransistor võimendina

- Võimalik ühendada kolmel viisil – üks klemm tuleb võtta ühiseks.
- Transistor töötab aktiivrežiimis.
- Tüüpiline ühendusskeem (Ühise Emitteriga võimendi)
- Komponentid arvutatakse vastavalt toitepingele ja režiimile

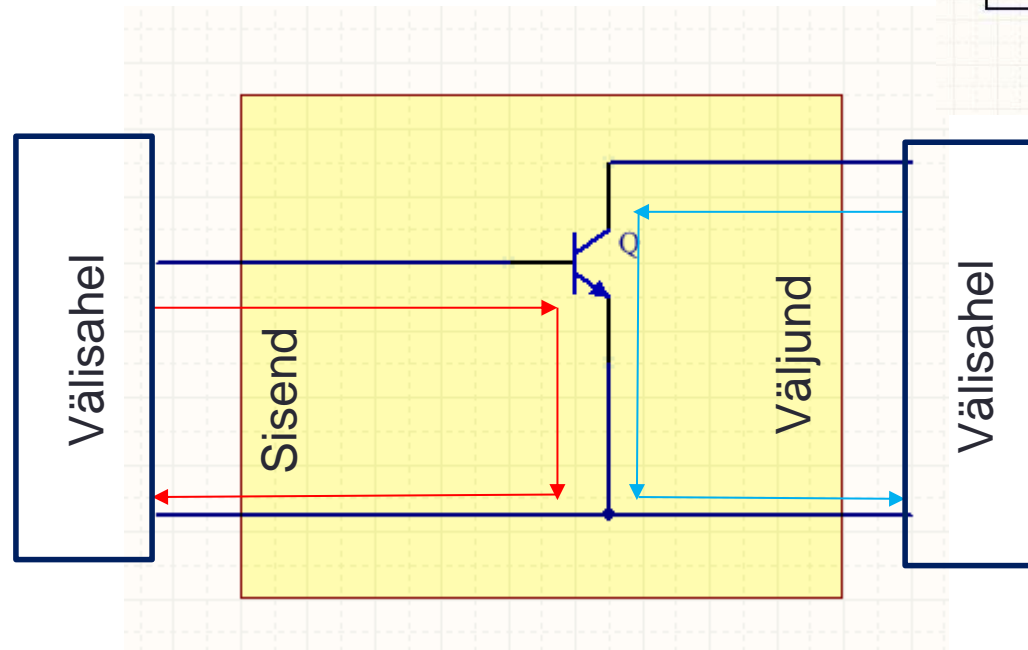
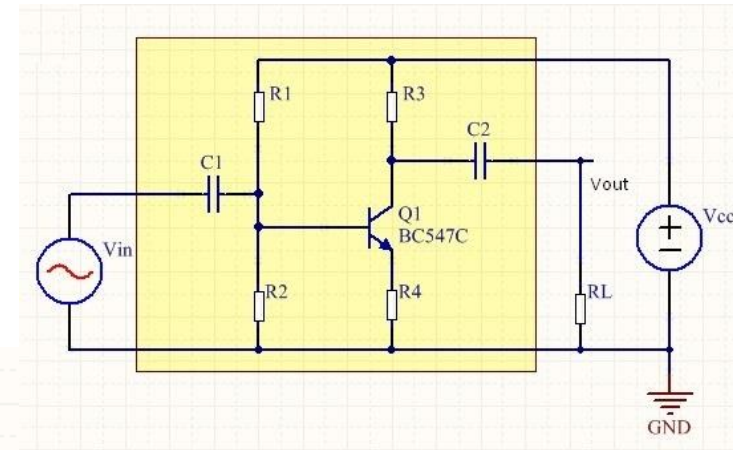


Pingevõimendus  $\rightarrow$

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} \approx \frac{R3 \parallel RL}{R4 \parallel R5}, \text{ kui transistori } \beta \gg \frac{V_{out}}{V_{in}}$$

# Ühise emitteriga lülitus

- Kõige levinum (võimendid, lülitid)
- Suur pingeline ning voluvõimendus
- Suur väljundtakistus

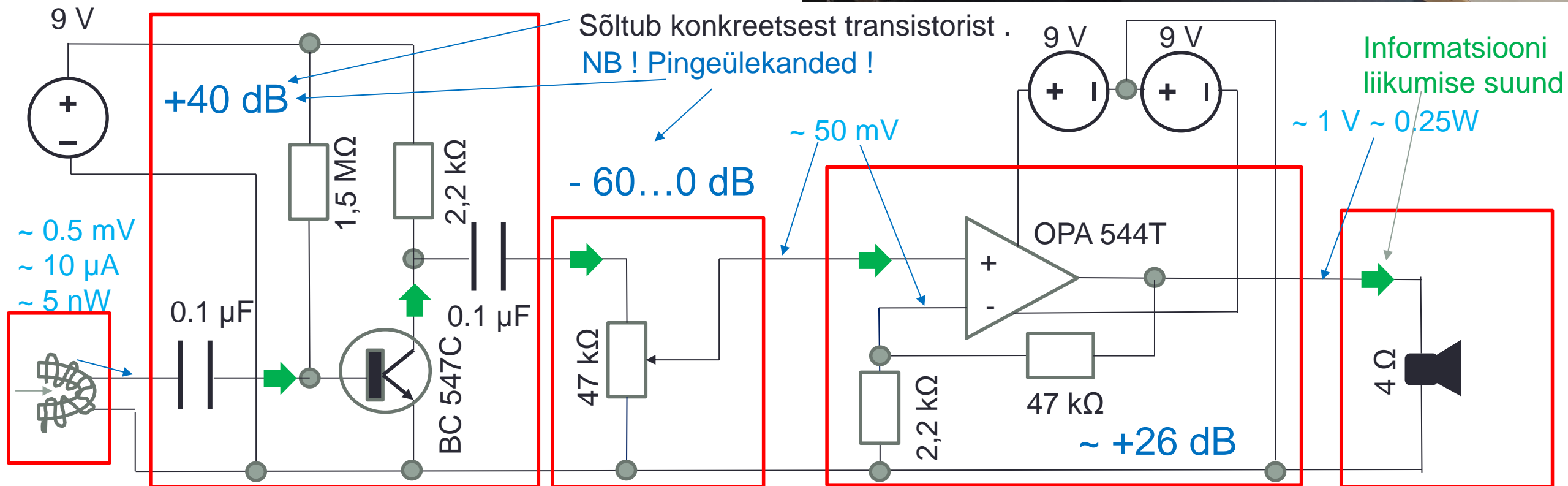
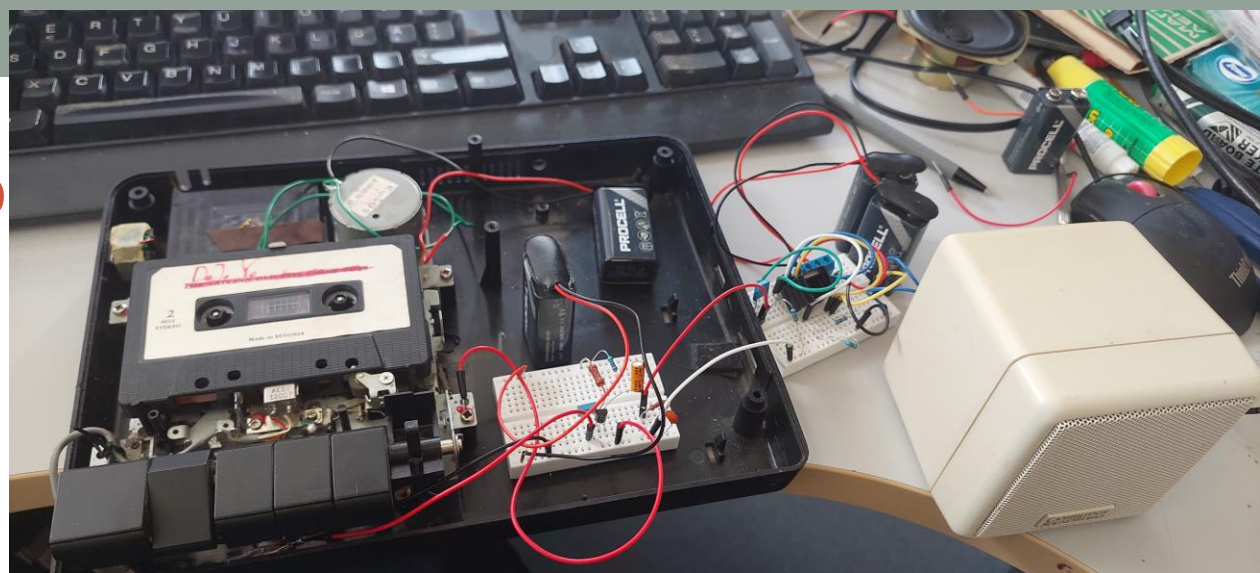


- $K_V = \frac{h_{21E} * R_C}{h_{11E}}$
- $K_I = h_{21E}$
- $R_{in} = h_{11E}$
- $R_{out} = \frac{1}{h_{22E}}$
- Faasinihe -  $180^\circ$

$R_C$  – kollektorahela kogutakistus

# Kõige lihtsam transistorvõimendi - demo

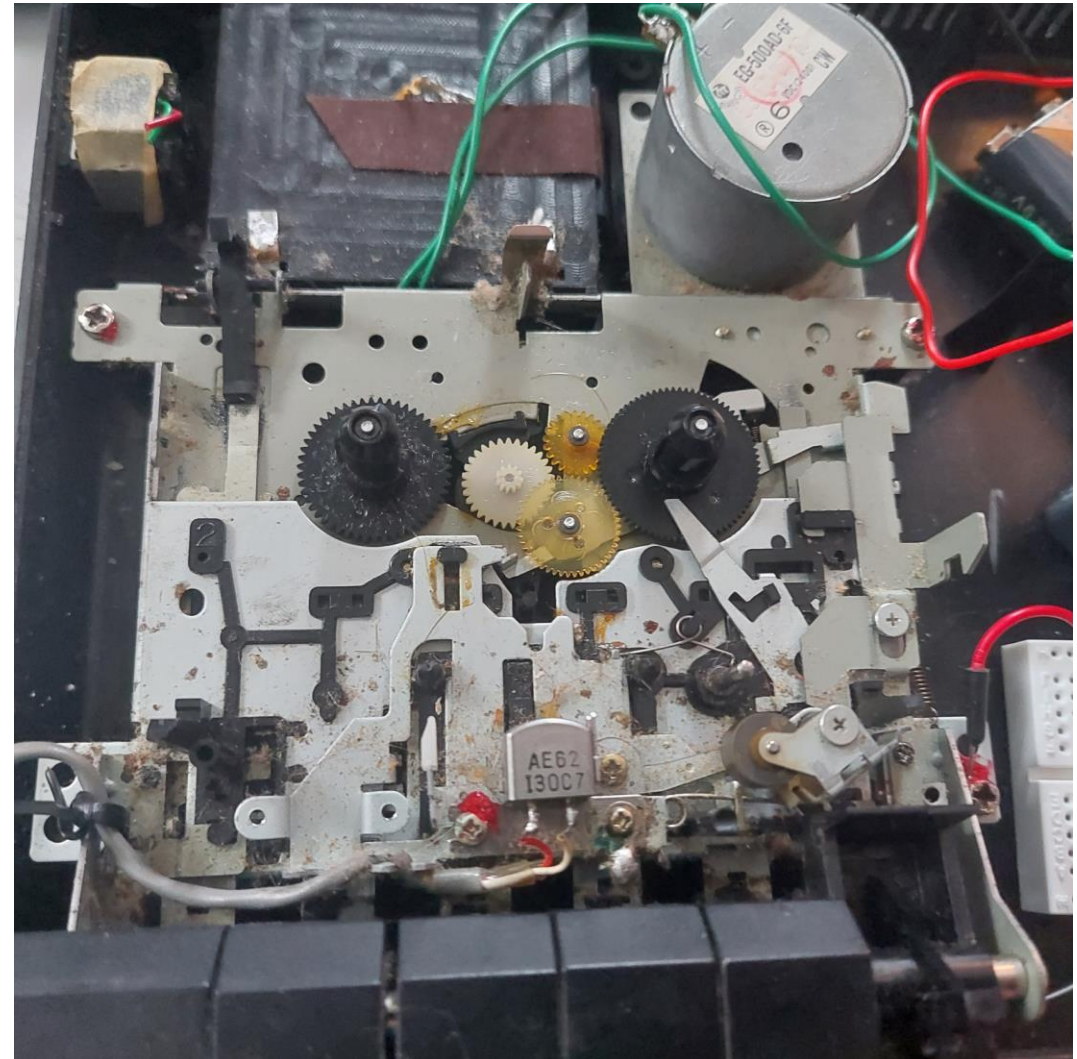
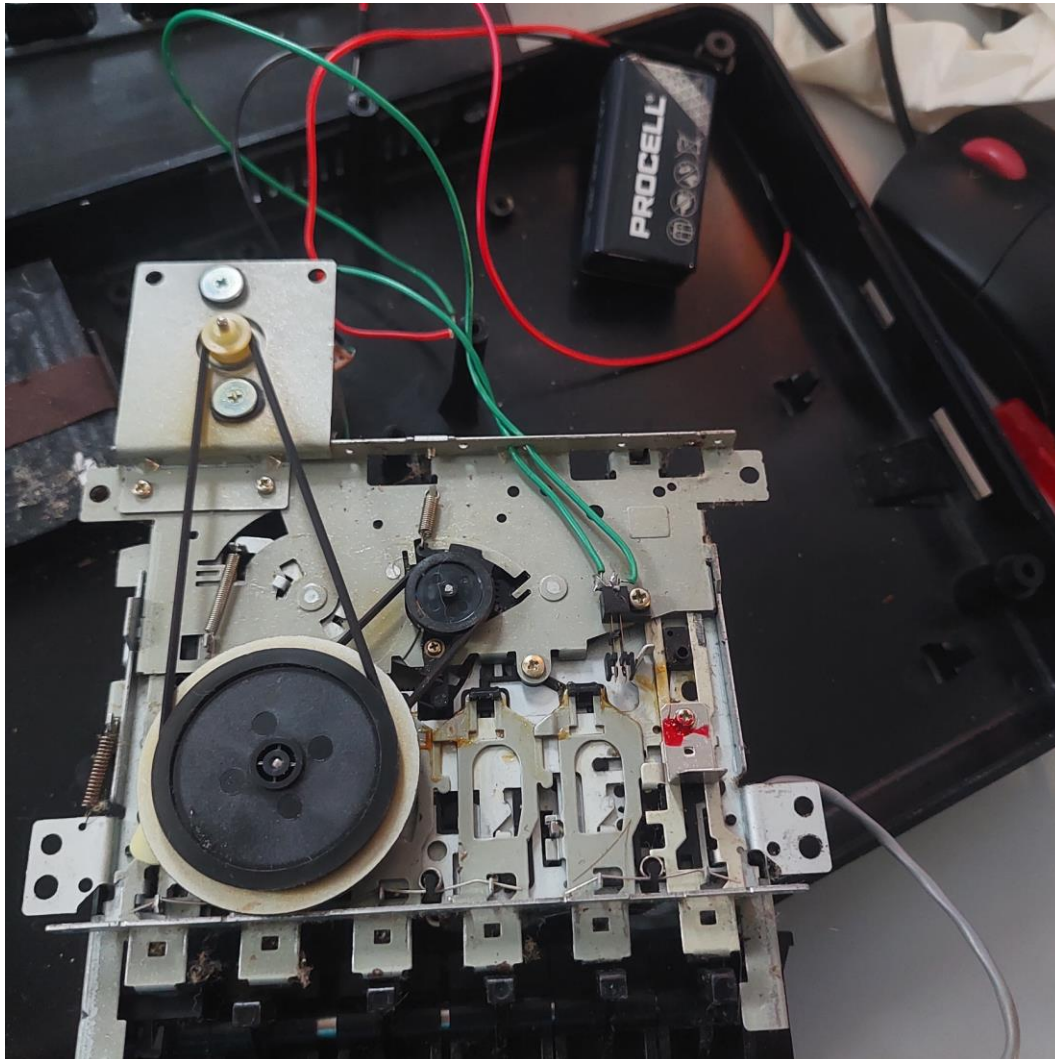
- Kuulame salvestist magnetlindilt
- Helipea väljundpinge on  $\sim 0.3..0.5$  mV , valjuhääldi vajab  $\sim 1$  V suurusjärgus pinget.
- Kõiki sõlmi saab käsitleda eraldi ja kui kaksporte (sisend – väljund = kaksklemm)



Helipea (magnetandur)  $\rightarrow$  eelvõimendi  $\rightarrow$  Helitugevusregulaator  $\rightarrow$  Võimsusvõimendi  $\rightarrow$  Valjuhääldi (e.m. täitur)

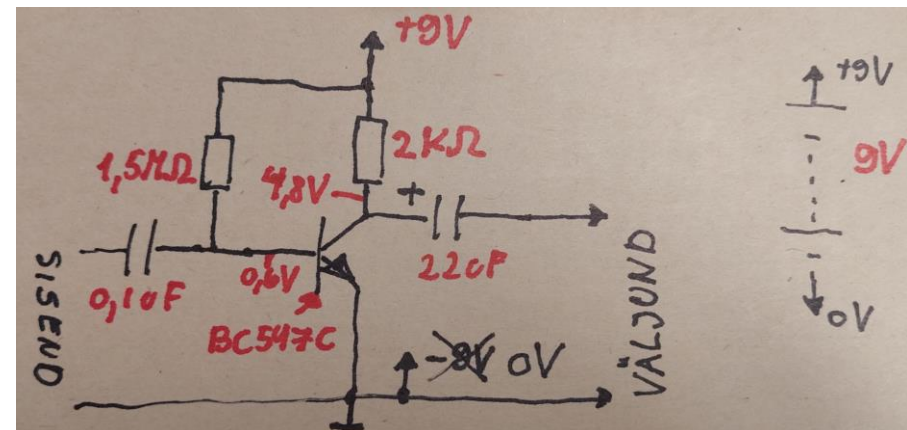


# Kõige lihtsam transistorvõimendi – demo , mehaanika



# Eelmise skeemi alalisrežiimi “disain”

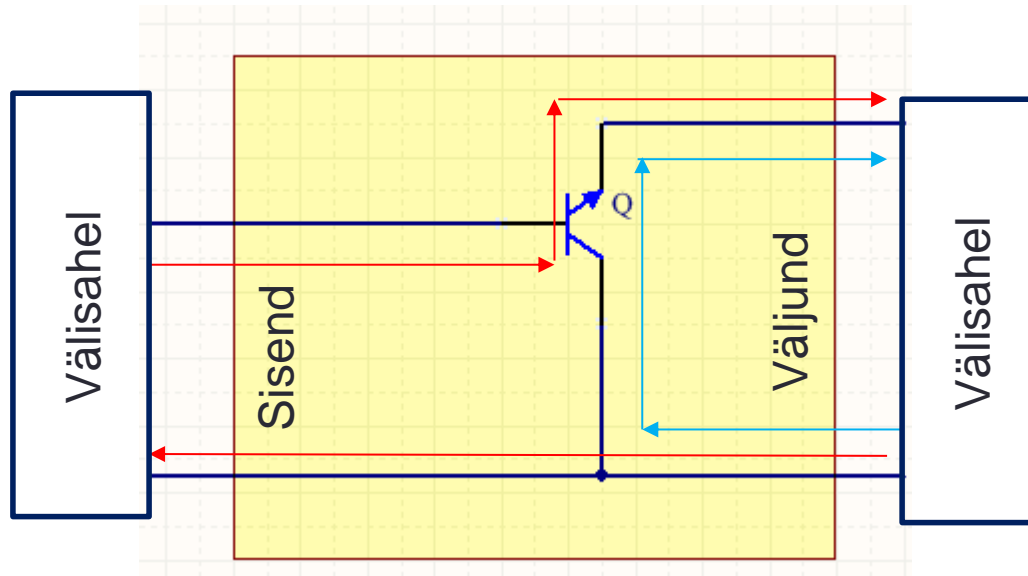
- BC547 <http://www.farnell.com/datasheets/59764.pdf>
- Sammud tagant ettepoole – arutuse idee sobilik ka mujal
- Analoogsignaali võimendades tahame, et “keskpunkt” jääks toitepinge “keskele”, ehk valime kollektorile maa suhtes 4.5 V (9V toite puhul)
- Nõrga signaali puhul soovituslik kollektorvool 0.5...2 mA, siis “tunneb” transistor ennast hästi. Valime 2.25 mA (sest mul oli käepärast 2 kΩ takisti) . Kollektortakisti takistus  $R_c = (V_{cc} - V_c) / I_c$ .  $V_{cc}$  on toitepinge ja  $V_c$  pinge kollektoril maa suhtes,  $I_c$  on kollektorvool.
- Et saavutada sellist kollektorvoolu, peab baasivool olema  **$\beta$  korda väiksem**. Transistori BC547 keskmine  $\beta$  on 400
- Järelikult baasivool  $I_b = I_c / \beta = 2.25 \text{ mA} / 400 = 5.625 \mu\text{A}$  .
- **Baasi ja emitteri vahele jääv pinge on 0.7 V** . Järelikult baasitakistile jääv pinge on  $V_{cc} - 0.7 \text{ V} = 9 \text{ V} - 0.7 \text{ V} = 8.3 \text{ V}$
- 8.3 V ja 5.125  $\mu\text{A}$  juures peaks baasitakisti olema 1.62 M $\Omega$



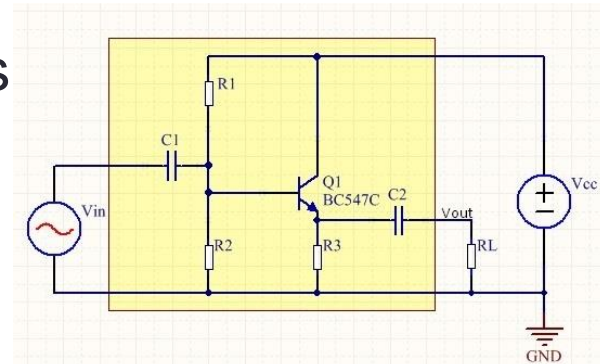
Tegelik takisti tuleb leida katseliselt, sest Isegi kui me mõõdame ära  $\beta$ , sõltub see temperatuurist ja iga konkreetne skeem on vaja häälestada !!! **Sobib vaid demoks!**

# Ühise kollektoriga lülitus

- Kasutatakse takistuse sobitamiseks
- Sisendvooluring sulgub läbi väljundi välisahela (jadapingevastuside). Väljundpinge on sisendis jadamisi sisendpingega.
- Suur vooluvõimendus, väike väljundtakistus



Reaalne kasutus – järgur (võimalik pinge „tõsta“ teise kohta) Võimendite, toitestabilisaatorite väljundid.



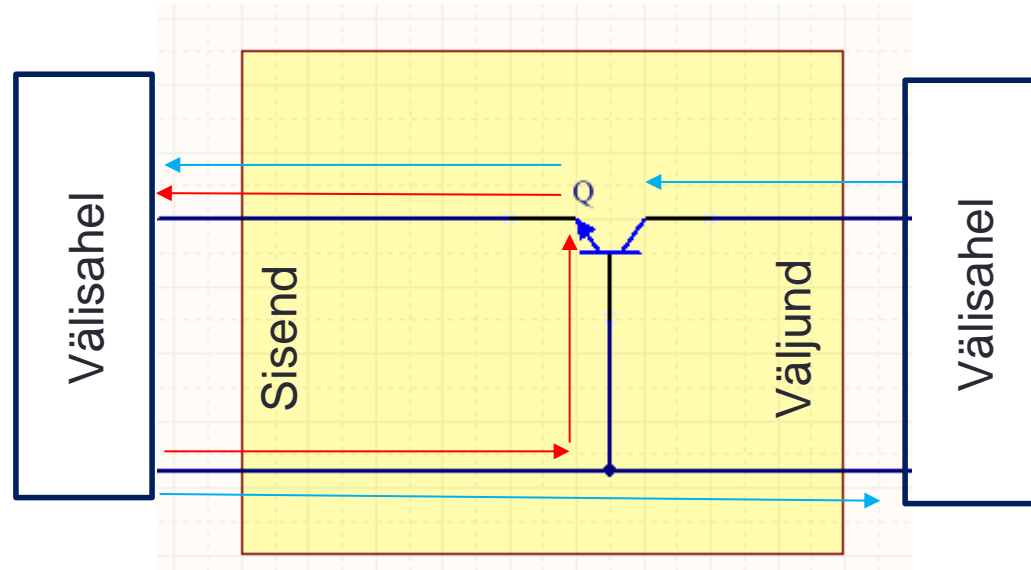
- $K_V \approx 0.9 \dots 0.99$
- $K_I = h_{21E}$
- $R_{in} = h_{11E} + h_{21E}R_e$
- $R_{out} = \frac{h_{11E} + R_S}{h_{21E}}$
- Faasinihe -  $0^0$

$R_e$  – emitterahela kogutakistus  
 $R_s$  – sisendahela kogutakistus

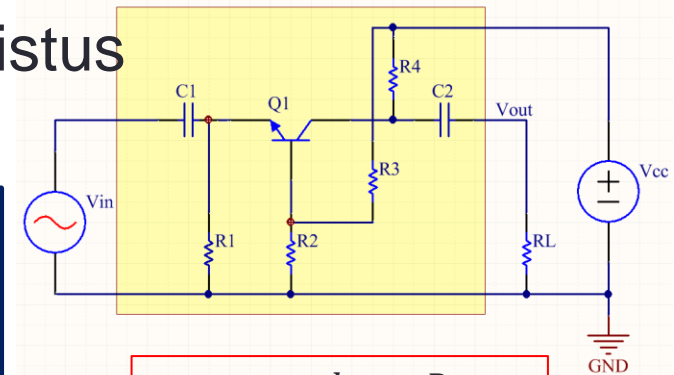


# Ühise baasiga lülitus

- Kasutatakse takistuse sobitamiseks
- Väljundvooluring sulgub läbi sisendi välisahela (rööpvooluvastuside)
- Suur pingevõimendus, **suur** väljundtakistus



Reaalne kasutus – kui on vaja isoleerida sisend-väljundahelad (kõrgsagedus, baas maandatud) või voolu-pinge muunduris, püsivooluallikad

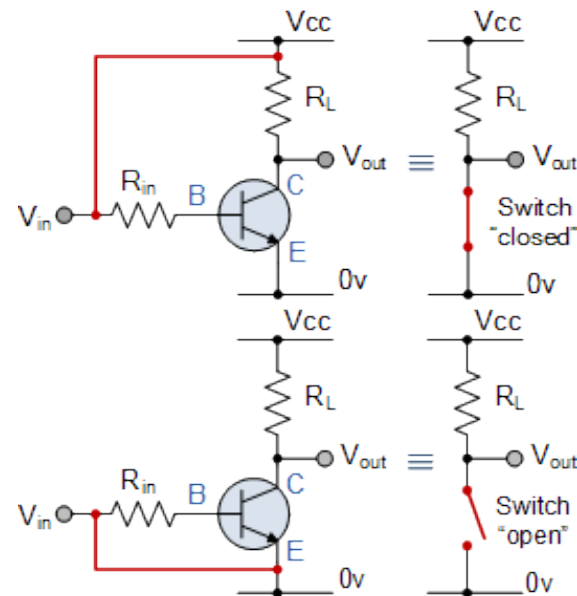
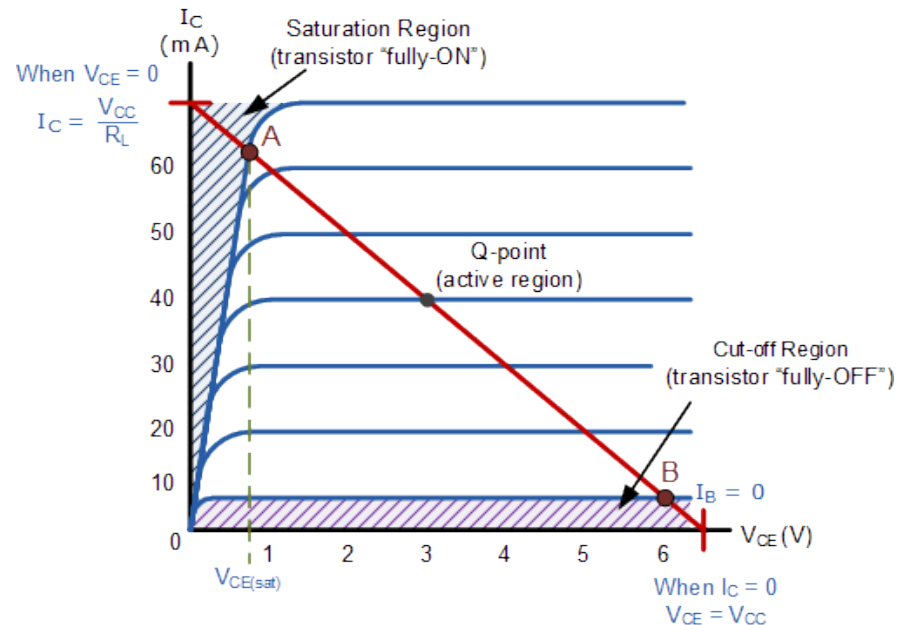


- $K_V = \frac{h_{21E} * R_C}{h_{11E}}$
- $K_I \approx 0.9 \dots 0.99$
- $R_{in} = \frac{h_{11E}}{h_{21E}}$
- $R_{out} > \frac{1}{h_{22E}}$
- Faasinihe - 0°

$R_C$  – kollektorahela kogutakistus

# Bipolaartransistor lülitina

- Valdavalt kasutusel digitaalelektronikas.
- Kaks põhilist olekut – avatud (küllastusrežiim) ning suletud.
- Saaks põhimõtteliselt kasutada ka vahepealseid olekuid (keerulisus, ebakindlus)
- Transistoril hajuv võimsus on mõlemal juhul väike.
- Valida saab lubatud transistori maksimaalse kollektrovoolu järgi.

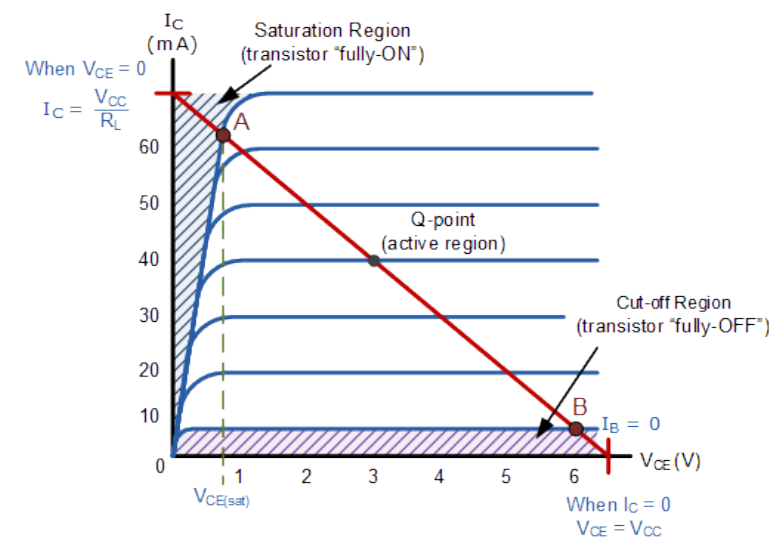
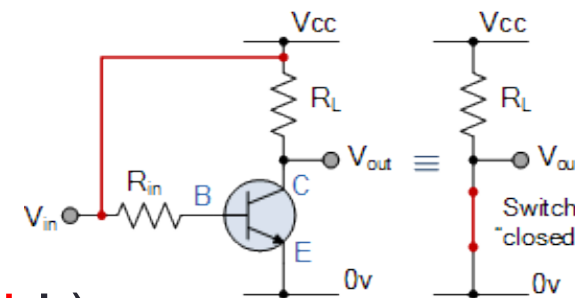




# Bipolaartransistor lülitina

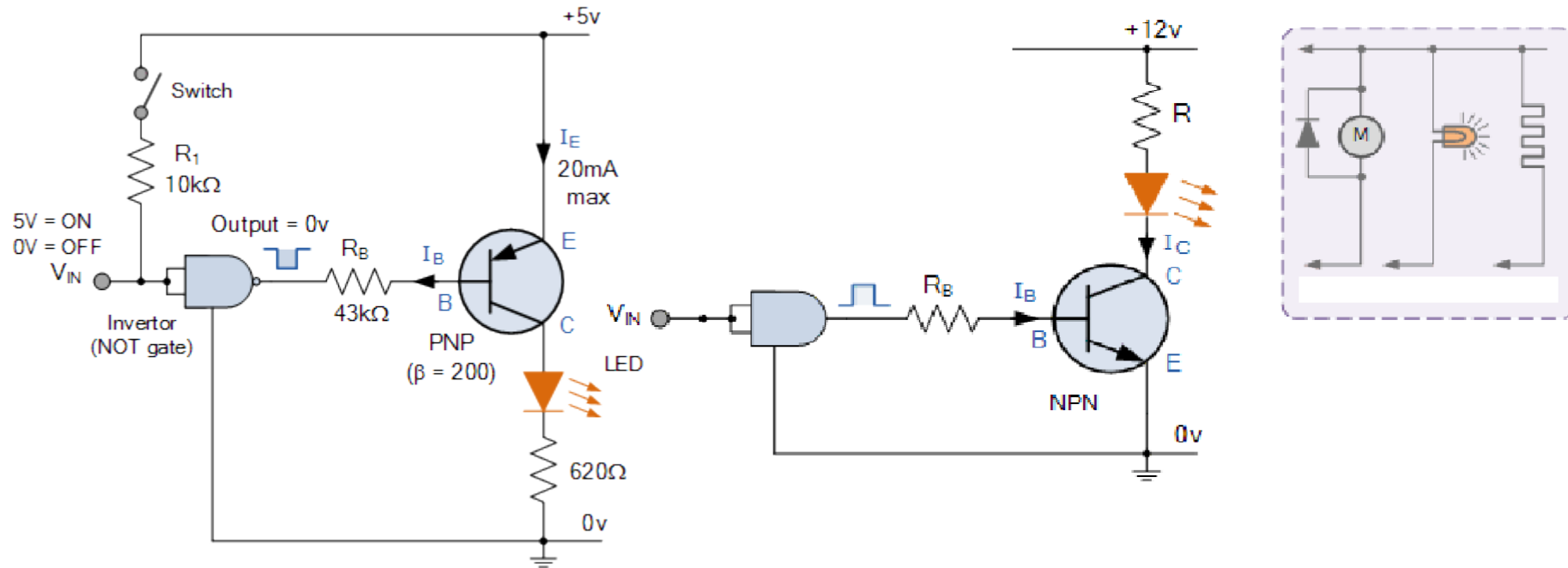
- Oluline on **võimalikult kiire** üleminek avatud režiimist küllastusrežiimi !
- Oluline on küllastustegur  $K_{sat}$
- Valitakse sõltuvalt olukorrast 2-5
- Küllastusteguri valik sõltub kollektorvoolust ja töötemperatuurivahemikust (**transistor ei tohi jääda aktiivrežiimi !**)
- Suurem väärtus kindlustab kindlama lülitamise kuid teeb selle väljalülitamise aeglasemaks

- Vajalik baasivool  $I_B = K_{sat} * \frac{I_C \text{ (kui } V_{CE} \approx 0)}{h_{21E}}$



# Bipolaartransistor lülitina (näited)

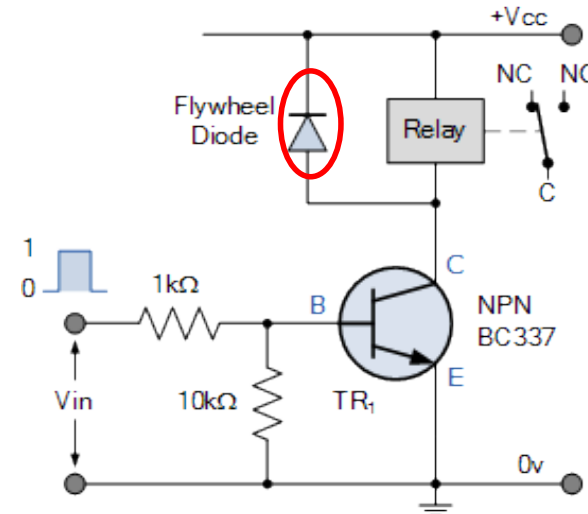
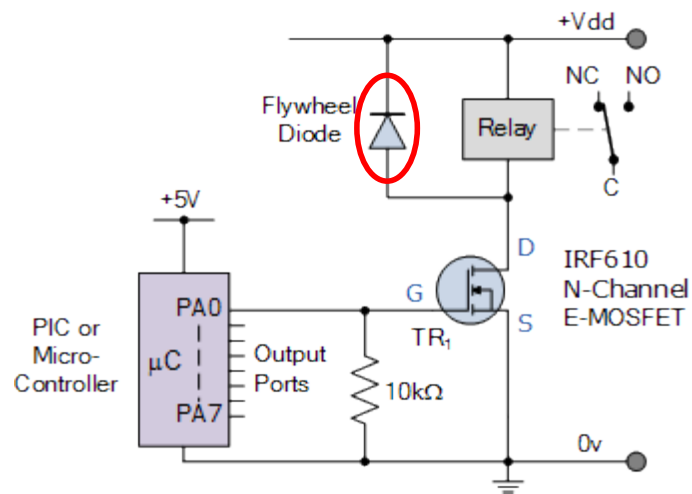
- Võib kasutada nii NPN kui ka PNP transistori



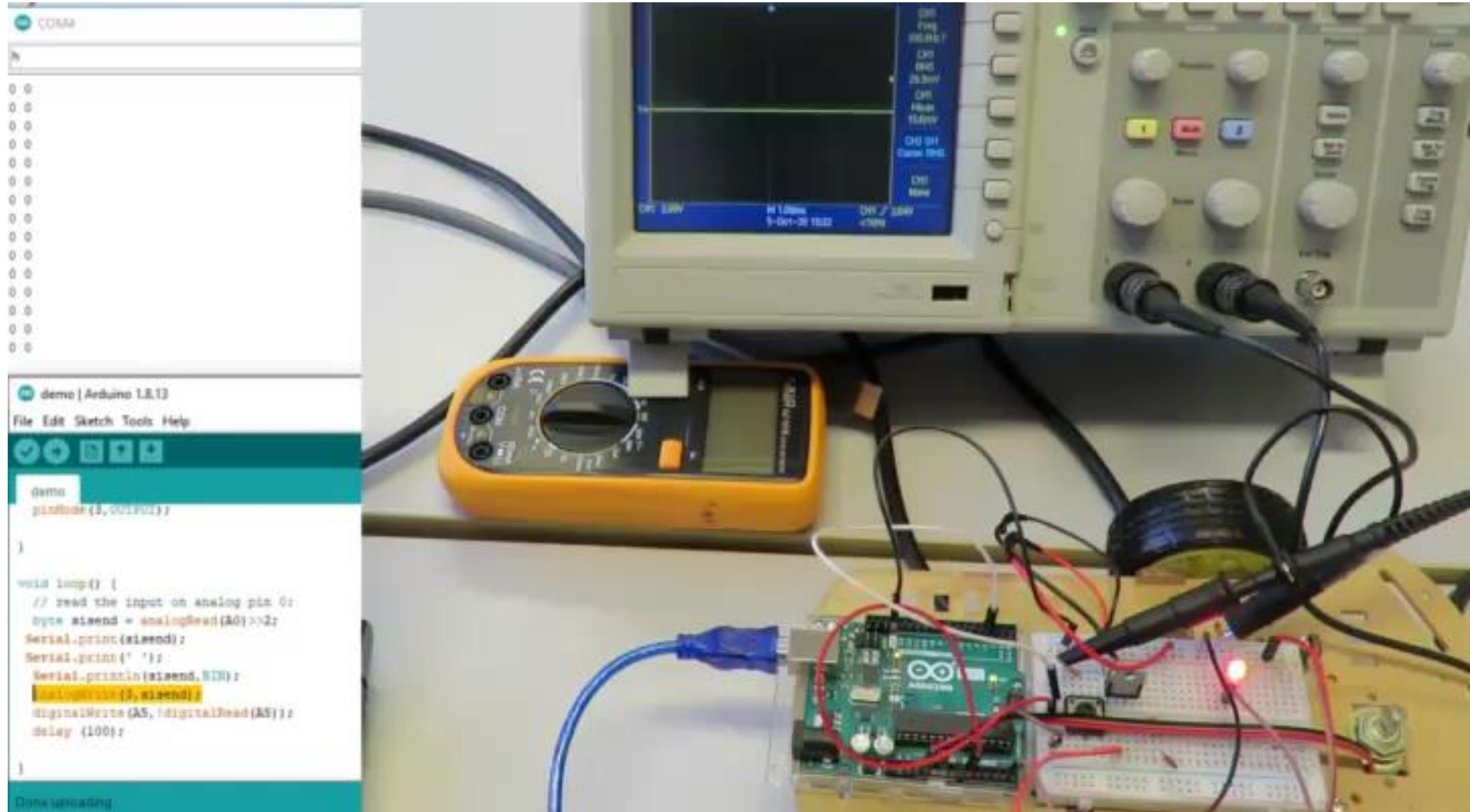
Liittransistoride (Darlington) kasutamine ei ole soovitatav.

# Induktiivse koormuse lülitamine

- Mootorid , releed, trafod paistavad skeemi jaoks ja ka käituvad kui induktor ! Energia, mis sinna salvestatud, saame igal juhul kätte !
- Induktori vool on pidev ! Vool ei katke välja lülitamisel hetkeliselt !
- **Kaitsediiod on kohustuslik** (kehtib ka mootorite kohta ) !
- Üleliigse energiakulu vältimiseks tuleb lülitustransistoril aktiivrežiimi vältida.



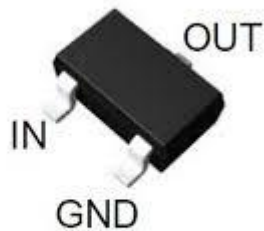
# DEMO



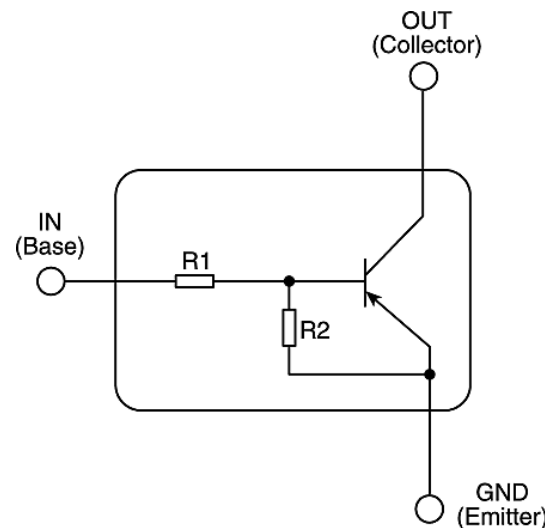
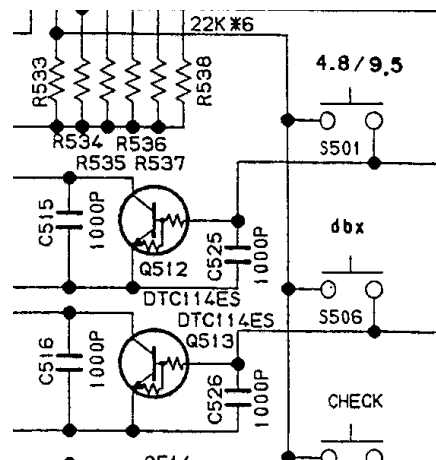
# „Digitaaltransistor“

- Olemuselt sisseehitatud eeltakistitega transistor
- Kasutusel lülitus- ja digitaaltehnikas (nii PNP kui ka NPN)
- Olemuselt EI – loogikaelement
- Ei sobi kasutamiseks võimendina !
- Oluline on lülituspinge (peab vaatama, kas sobib näiteks 5 V või 3 V loogikaskeemile )

SMT3

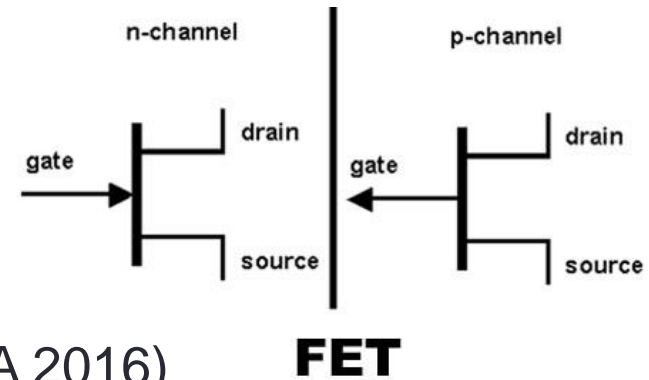


DTC143EKA  
SOT-346 (SC-59)

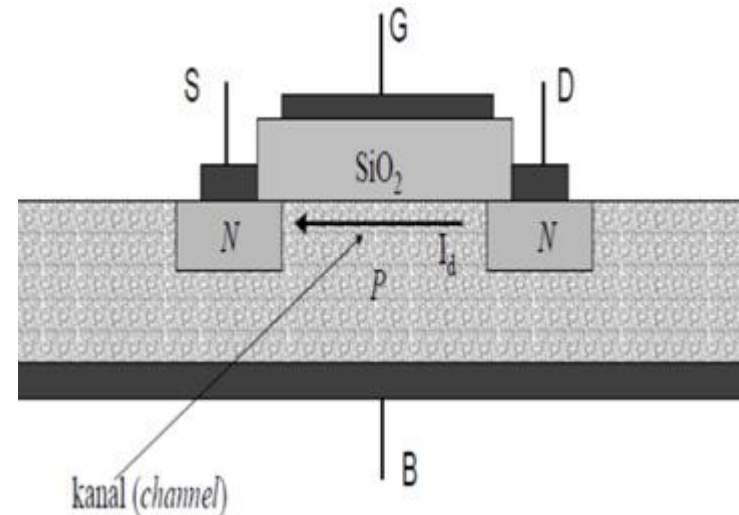
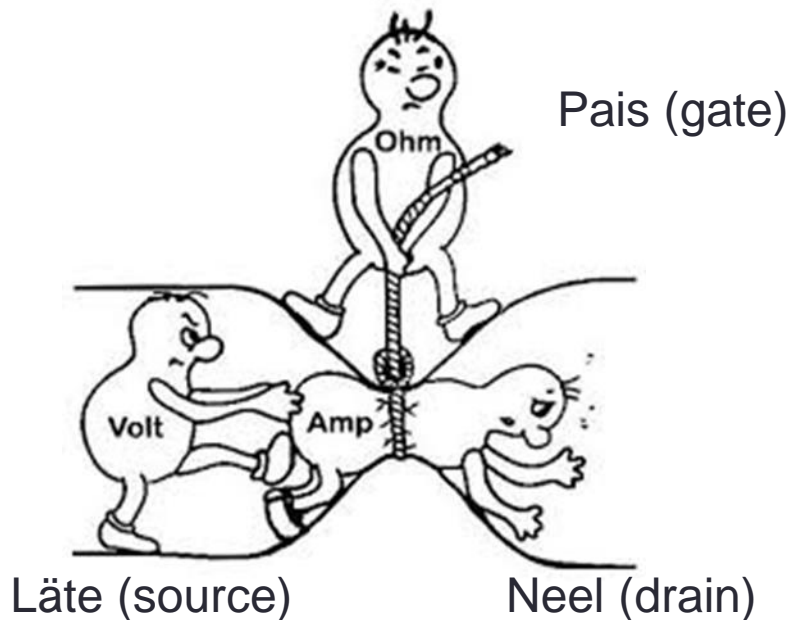


# Väljatransistor

- Elektriväli mõjutab laengute liikumist
- Olemuselt **pingega** tüüritav takisti
- Põhiline komponent mikroelektronikas (IT)
- 100 miljonit tükki aastas inimese kohta (USA 2016)
- Kaks juhtivust N ja P , tüübid MOSFET ja J-FET



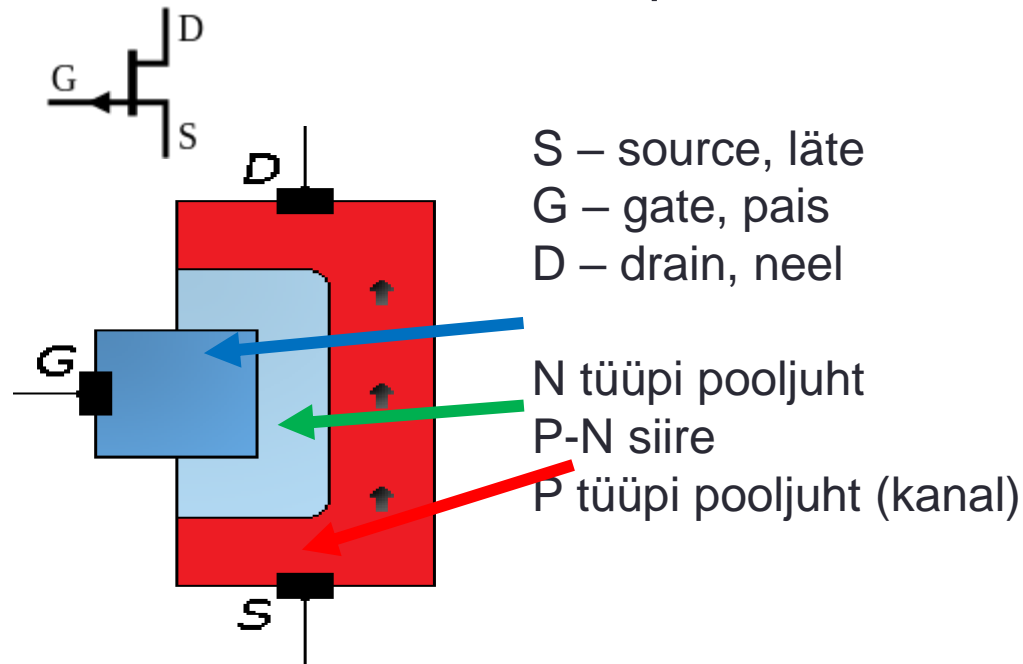
**Field-Effect Transistor**



Ümberkujundatud Ohmi seaduse pilt internetist

# P-N väljatransistor (J-FET)

- Elektriväli muudab kanali tegevristlõiget
- Olemuselt pingega tüüritav takisti, N ja P kanaliga
- Saab võrrelda elektronlambiga
- Kasutatakse harva, põhiliselt analoogelektronikas.

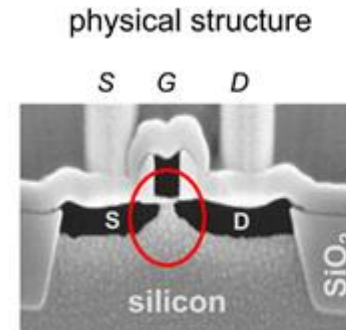
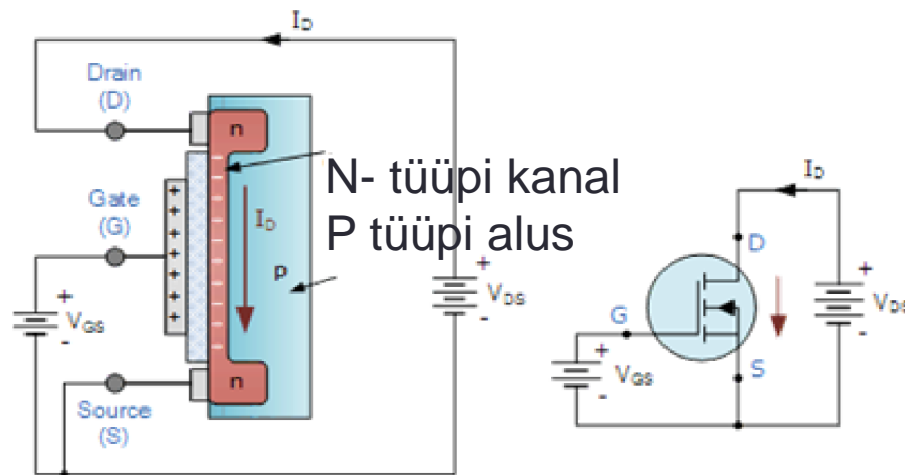


P kanaliga väljatransistor J-FET

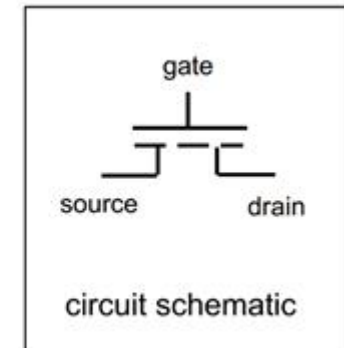
# Isoleeritud paisuga väljatransistor

- Elektriväli muudab laengukandjate kontsentratsiooni kanalis.
- MOSFET (*metal-oxide-semiconductor field-effect transistor*)
- Tänapäeva digielektronika põhiline komponent
- Kaks juhtivust - N ja P kanaliga

- Formeeritud kanaliga (voolukanal sisse moodustatud)
- Indutseeritava kanaliga (kanal tekib pingestamisel),



(Texas Instruments, 1997)

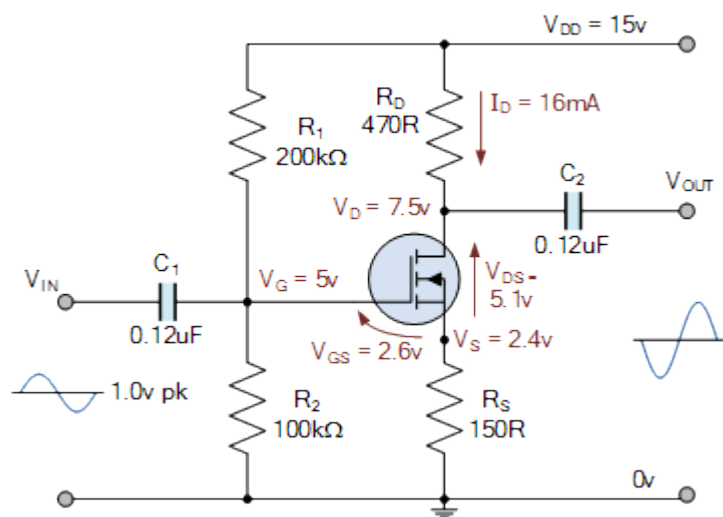


Indutseeritava kanaliga väljatransistor

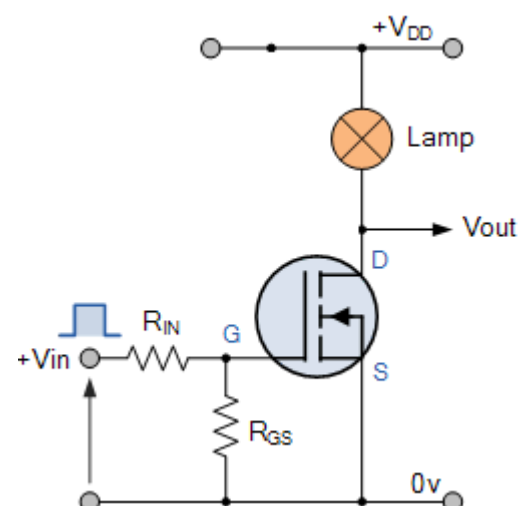


# Väljatransistori kasutamine

Võimendina

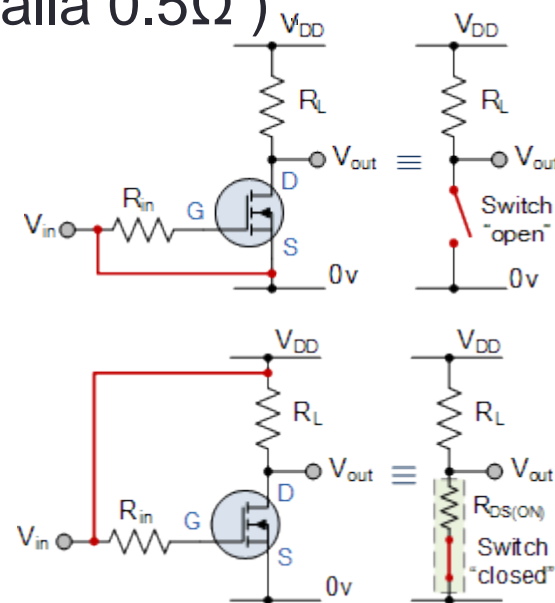
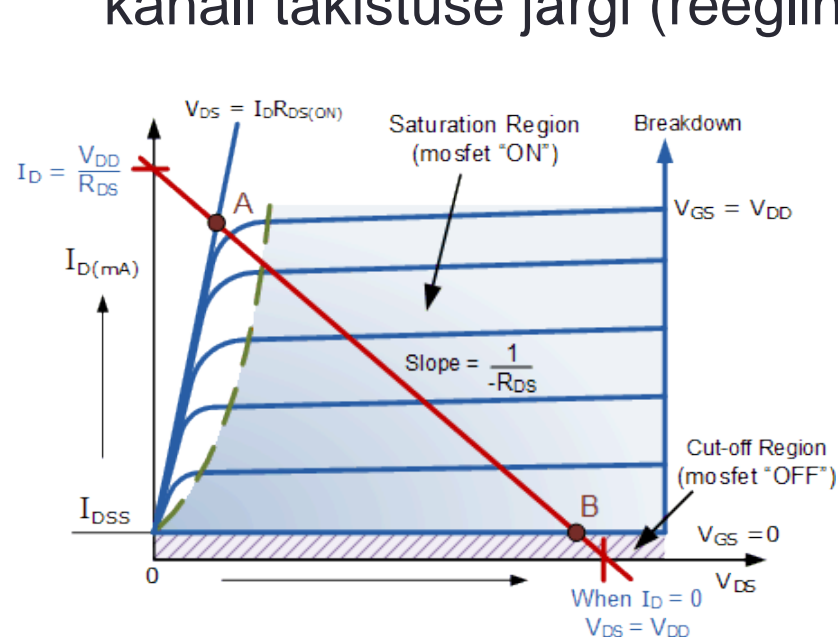


Lülitina



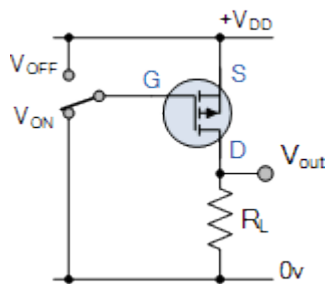
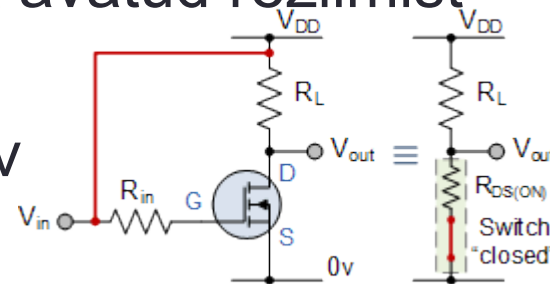
# Väljatransistor lülitina

- Valdavalt kasutusel digitaal- ja jõuelektroonikas.
- Kaks põhilist olekut – avatud ning suletud.
- Transistoril hajuv võimsus on mõlemal juhul väike.
- Valida saab lubatud transistori maksimaalse lättevoolu ja avatud kanali takistuse järgi (reeglina alla  $0.5\Omega$ )

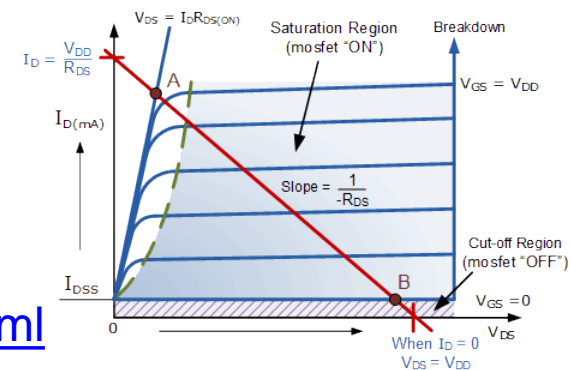


# Väljatransistor lülitina

- Oluline on **võimalikult kiire** üleminek avatud režiimist küllastusrežiimi !
- Oluline on et paisupinge oleks piisav
- Valitakse andmelehest (**transistor ei tohi jääda aktiivrežiimi!**)
- Probleeme põhjustab transistori väljalülitamine - laeng on vaja paisult eemaldada.
- Võib vajada väljalülitusahelat (**pais ei tohi jääda avatuks !**)

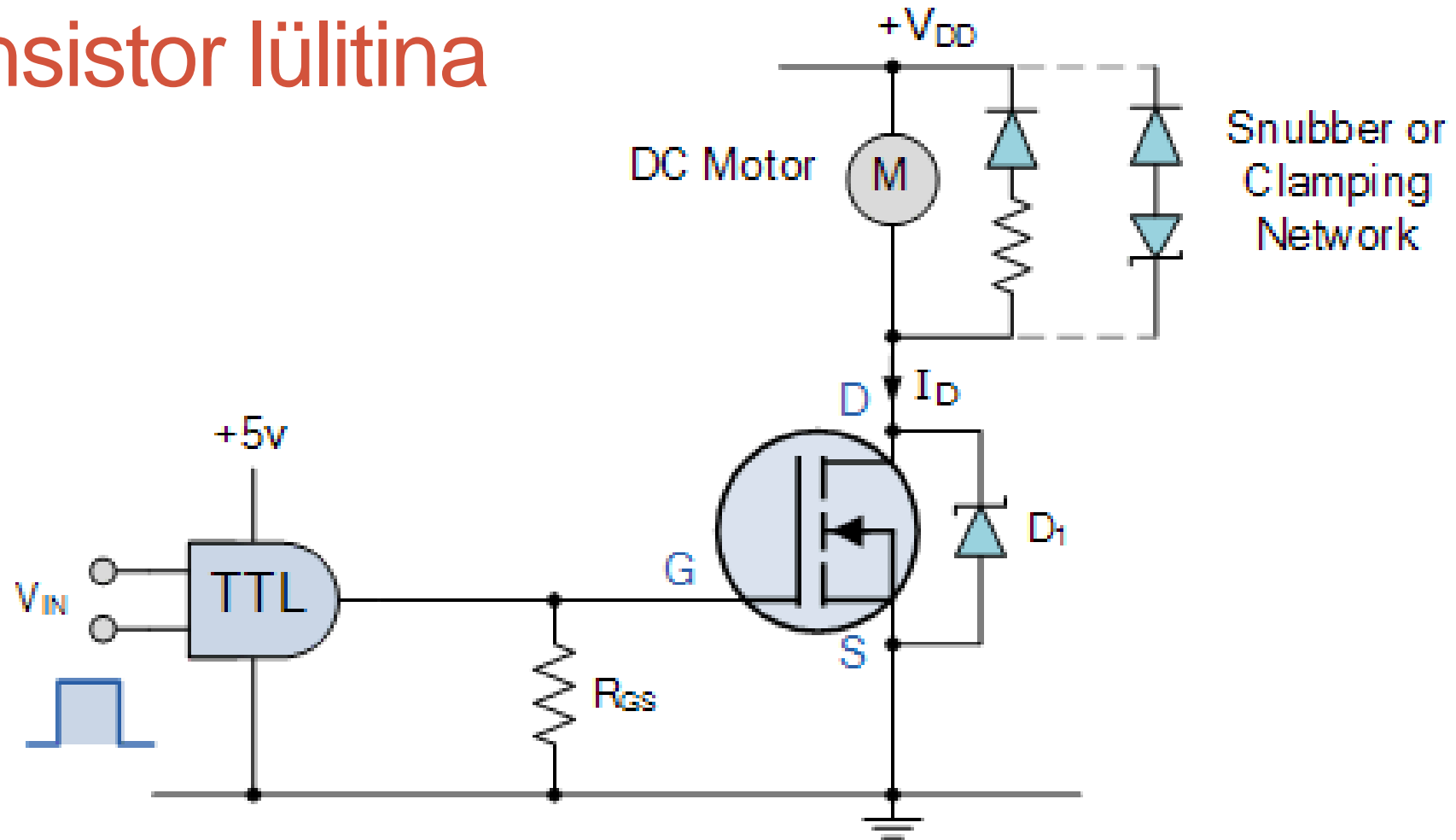


[https://www.electronics-tutorials.ws/transistor/tran\\_4.html](https://www.electronics-tutorials.ws/transistor/tran_4.html)



# Väljatransistor lülitina

- Näide



# Väljatransistor analooglülitina

- Väljatransistori kasutatakse ka vahelduvsignaalide (näiteks heli) kommuteerimiseks
- Toodetakse spetsiaalseid „signaalilüliteid“ (näit CD4016)

