

- 1,2 - nulldetektorid
- 3 - strobimpulsside generaator
- 4 - väljavõtete (valimi) ventiil
- 5 - impulssgeneraator

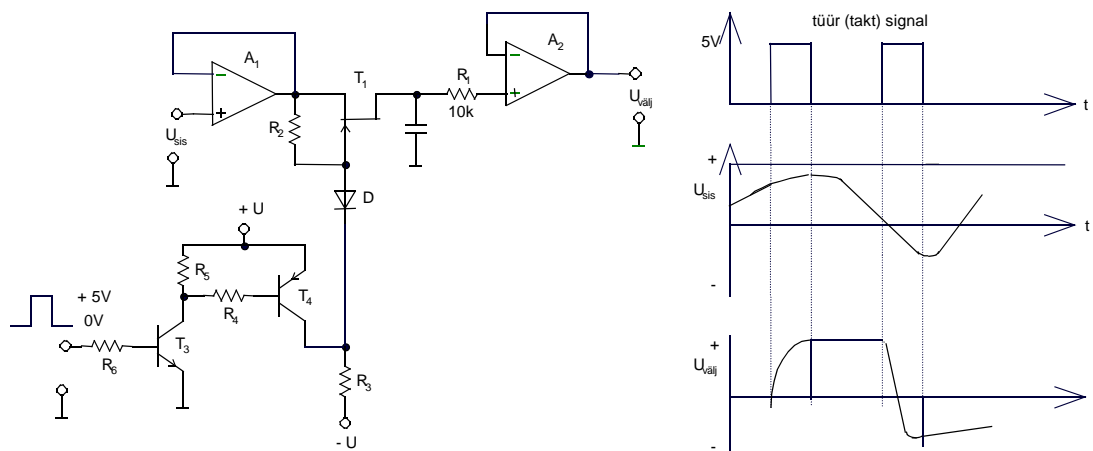
Joon. 4.3.28

suhtes soovitakse hinnata testsignaali faasi. Nulldetektorite 1 ja 2 väljundsignaalid joonisel toodud kujul saadakse eelmise joonisel toodud skeemi väljundsignaalide diferentseerimisel. Faasierinevuse mõõtmine taandub siin nullist läbimiste ajavahemiku $t_2 - t_1$ mõõtmisele. Strobimpulsside generaator realiseerub trigeri abil, mis reageerib impulsile ajamomendil t_1 ja lülitub taas ümber ajamomendil t_2 . Seega saadakse strobimpulsi kestvuseks $t_2 - t_1$ sekundit. Strobimpulss avab impulsside valimi (väljavõtte) ventiili, mille kestel lastakse läbi loendurile suubuvad püsisagedusega impulsid. Loendatud impulsside arv on seega võrdeline test- ja tugisignaali faasierinevusega. Kui on teada impulssgeneraatori poolt määratav proportsionaalsuse tegur K , saame faasierinevuseks radiaanides

$$\Delta\varphi = \omega_{mgi}(t_2 - t_1) = K * \text{impulsside arv.}$$

4.3.12 Pinge väljavõtete (valimi) realiseerimis- ja säilitusskeem

Siin on tegemist tippdetektori modifitseerimisega andmetöötluse eesmärgil, digitaalsetes juhtimis- või sidesüsteemides, Skeemi ülesandeks on tagada kondensaatori kiire laadumine sisendpinge väärtuseni ja selle pinge väärtuse säilitamine aja jooksul, millal toimub analoogsignaali muundamine arvkodeks analoog-digitaalmuunduris. Vaatleme siin ühte võimalikest lahendustest (joon. 4.3.29), mis tagab mõõduka täpsuse



Joon. 4.3.29

ja hea töökiiruse. Puhvervõimendi A_1 annab avatud väljatransistorvõtme korral laenguvoolu kondensaatorile C . Väljatransistorsisenditega võimendi A_2 on väljundpuhvriks, vähendades kondensaatori tühjenemisvoolu. Võimendi on vajalik kondensaatori laengu pikemaajaliseks säilitamiseks. Takisti R_1 eraldab kondensaatori võimendi sisendist, vältimaks kondensaatori laengu otsest sisendisse kandumist toitepinge väljalülimisel. Transistorid T_3 ja T_2 töötavad võtmerežiimis. Nende väljalülitatud asendis rakendub miinus-toitepinge p-n siirdega väljatransistori paisule (G), avatud olekus aga mõjub paisu ühendus neeluga (D) üle 1...10 megaohmilise takisti R_2 . Seda seepärast, et transistoride avatud olekus sulgeb + polaarsusega pinge (toitepinge üle T_2) diodi. T_3 ülesandeks on taktsignaali sisendi sobitamine TTL mikroskeemidega.

Niisiis, taktsignaali kõrge nivoo korral (1-le vastab TTL skeemides 2,4...4,5 V) avanevad transistorid T_3 ja T_2 , ning väljatransistori pais ühendub üle R_2 neeluga. Väljatransistor avaneb ja võimendi A_1 väljundsignaal üle T_1 laeb kondensaatori sisendpinge väärtuseni. Kondensaator laadub +sisendsignaali korral kiiremini kui miinus-sisendsignaali korral kuna väljatransistori läbiva voolu maksimaalväärtus ühendatud paisu-neeluga on siis suurem. Mõlema polaarsusega signaali korral tuleks valida transistor, mille pais on sümmeetriline neelu ja allika suhtes (sellele vastab difusioon-väljatransistor). Tüürpinge (taktsignaali) peab olema rakendatud küllalt pika aja jooksul, tagades kondensaatori laadumise sisendsignaali amplituudiväärtuseni välja. Valimi kestvus peab olema vähemalt

$$10(R_{\text{välj } A_1} + r_{\text{allikas-neel}})C.$$

Kui tüürpinge on null, sulguvad bipolaarsed transistorid, väljatransistori paisupinge läheneb miinus-toitepingele ja väljatransistor sulgub samuti. Algab väljundsignaali hoidmise periood. Väljundpinge jääb peaaegu samale nivoole, kui oli sisendpinge viimane väärtus - kuni järgmise väljavõtte perioodini. Kondensaator kotab selle aja jooksul mõnevõrra oma laengu, tühjenedes üle sulgunud väljatransistori ja enda lekkejuhtivuse, samuti teise võimendi sisendvoolu tõttu. Vastav pinge vähenemine on määratav seosega

$$\Delta U_{C \text{ hoidm}} = I_C t_{\text{hoidm}} / C,$$

kus I_C on lekkevoolude summa. Suuremahtuvuselise kondensaatori korral tuleb valida see kõrgekvaliteedilise isolatsioonimaterjaliga (teflon, polüetüleen, polükarbonaat dielektrikuga).

Ülaltoodud põhimõttega skeeme valmistatakse ka integraalskeemidena; kondensaator tuleb neile lisada mikroskeemiväliselt.

Vaatleme siin ühe arvutusnäite. Olgu vajalik lahendada ülaltoodud skeemile vastav väljavõtteid realiseeriv skeem järgmiste lähteandmetega: Toitepinge $\pm 15V$; A_1 ja A_2 OV TI TL081; transistorige andmed $U_{ke0} = 40V$, $\beta = 40$, $U_{ke küll} = 0,5V$, $U_{be küll} = 0,7V$;

väljatransistori andmed $U_{pl\ max} = 30V$, $I_{al\ küll} = 20mA$, $I_{pl\ küll} = 50pA$, $r_{al} = 100\ \Omega$ väljundvool 20 mA;

Maksimaalne hoidmisaeg 10 ms, hoidmise viga $\pm 0,1\%$.

$$C = I_C t_{hoidm} / dU_{hoidm}; \quad I_C = I_{nihke\ A_2} + I_{CT_1\ su\ lg\ e} = 200pA + 40pA;$$

$dU_{hoidm} = 0,1\% U_{sis\ max} = 0,1\% (10V) = 0,01V$; $C = (240pA * 10ms) / 0,01V = 240pF$. Arvestades veel võimalike lisalekkevooludega, kolmekordistame saadud tulemust. Kuna mahtuvus pole väga suur, valime hõbetatud plaatidega vilgukivi kondensaatori, $C = 750pF$.

$$t_{va\ lim} = 2C_{sis} / I_{välj\ A_1}, \quad t_{va\ lim} = 10C [R_{välj\ A_1} + r_{an\ T_1\ avatud}]$$

$$t_{va\ lim} = 2U_{sis} / U_{A_1}.$$

$$Kuna U_{v?} muutub + U_{sis} kuni - U_{sis}, siist t_{va\ lim} \ge 750pF(20V)/20mA = 7,5\ \mu s$$

$$t_{va\ lim} \ge 10(750pF)100\ \Omega = 0,75\ \mu s; \quad t_{va\ lim} \ge 20V / \mu s = 1,54\ \mu s.$$

Seep? eep? t_{va\ lim} peab olema suurem 7,5\ \mu s. lei? lei? arvutused puudutavad v?tmereziimis transistori:

$$v? tame R_2 = 1M\ \Omega,$$

$$I_{CT_2} = I_{CT_3} = 1mA:$$

$$R_3 = [2(+U) - U_{kek? ?T_2}] / I_{C_2} = 29,5V / 1mA = 29,5k\ \Omega$$

$$R_4 = (+U - U_{bek? ?T_2} - U_{kek? ?T_3}) (I_{CT_2} / \beta_{min\ T_2}) = 560k\ \Omega$$

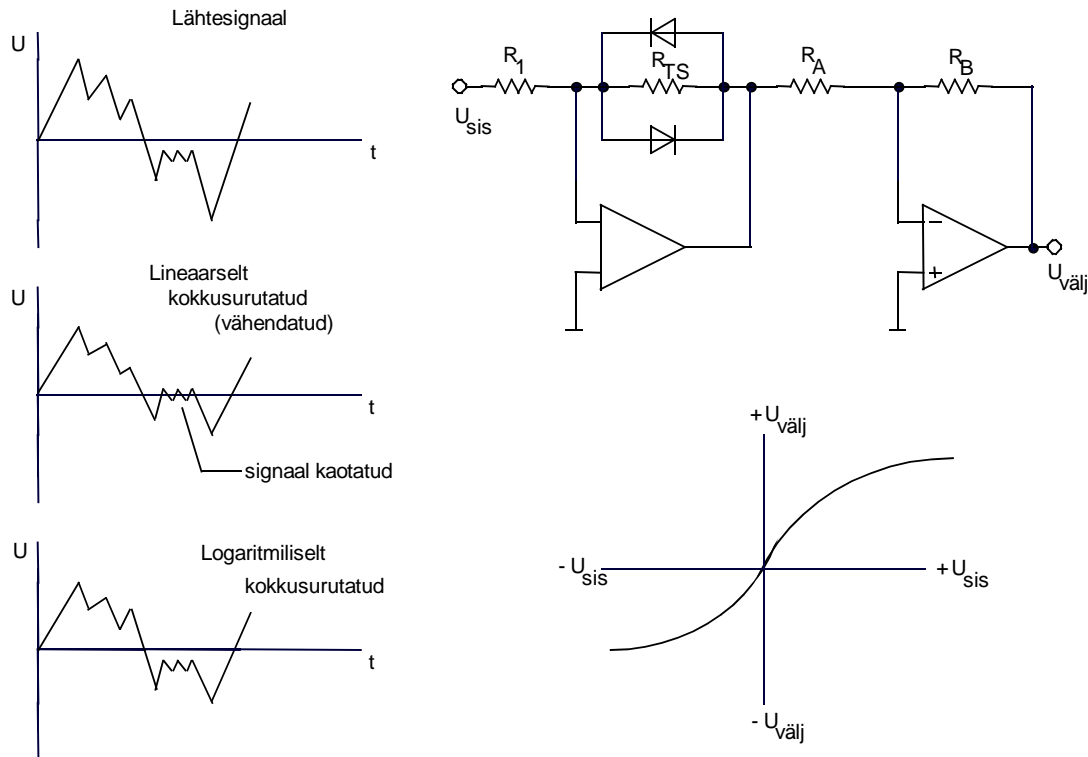
$$R_5 = (+U - U_{kek? ?T_3}) / I_{CT_3} = 14,5V / 1mA = 14,5k\ \Omega$$

$$R_6 = (U_{juht} - U_{be\ küll\ T_3}) / (I_{CT_3} / \beta_{min\ T_3}) = (5V - 0,7V) / (1mA / 40) = 172k\ \Omega.$$

4.3.13 Signaali kokkusurumine ja avardamine

Kui signaali dünaamiline diapsoon on väga suur - näiteks kõrgekvaliteedilises heliülekanne traktides - on oluliseks võtteks signaali esialgna kokkusurumine saatepoolel ja hilisem avardamine vastuvõtu poolel. Siin ei ole lahenduseks signaali amplituudi lineaarne vähendamine,

kuna madalanivoolised signaalid vähenedes kattuvad lõpuks skeemisestest müradega. Siin tuleb kasutada logaritmilise seaduspärasusega kompressorit ja eksponentsiaalse seaduspärasusega ekspanderit. Vaatleme joonisel 4.3.30 toodud

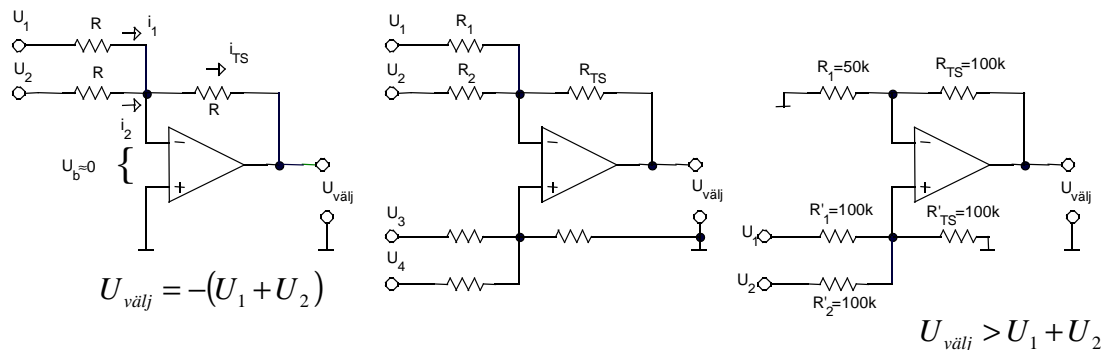


Joon. 4.3.30

skeemi. Toodud lahendus on kahepoolne - kui üks diod on avatud, on teine suletud. Tegemist on kahepoolse logaritmilise muunduriga, mille erinevuseks on see, et siin pole ülekande katkemiskohta nulli piirkonnas nagu see on omane logaritmilisele funktsioonile. Tagasiside takisti on lõpliku võimendusteguri (tagasiside) tagamiseks väga väikestel signaalidel. Saame joonisel toodud läbivarakteristiku. Kui ühendada diodid paralleelselt takistiga R_1 , saame signaali avardava skeemi. Avardajat kasutatakse, nagu varem öeldud, kompresseeritud signaali korral; lisaks kasutatakse signaali avardajat ka juhul, kui on vaja eristada amplituudilt vähe erinevaid madalanivoolisi signaale.

4.3.14 Summaator OV-1

Vaatleme invertteeriva summaatori skeemi (joon. 4.3.31).



Joon. 4.3.31 Joon. 4.3.32¹⁵ Joon. 4.3.33

Lugedes OV sisendtakistuse väga suureks ja sisendnihkevoolu väga väikeseks võrrelduna tagasisideahela vooluga, saame Kirchoffi seaduse kohaselt, et

$$I_1 + I_2 = I_{TS}.$$

Kui võimendi võimendus ilma tagasisiedeta on ka väga suur, siis sisendite potentsiaalide vahe $U_d \approx 0$, saame

$$I_1 = U_1/R_1; \quad I_2 = U_2/R_2; \quad I_{TS} = -U_{välj}/R.$$

Korrutades võrrandi mõlemad pooled R-ga, saame ümber kirjutatuna

$$U_{välj} = -(U_1 + U_2). \quad \text{Analoogselt saab koostada summaatori}$$

suvalise arvu sisenditega. Summaatorid võivad töötada nii alalispingetega kui ka vahelduvpingetega sisendeis. Viimasel juhul asendatakse U pingega $U_m \cos \omega t$; pingete sünfassuse korral võib piirduda kas pingete tippväärtuste või efektiivväärtustega.

Võib ka koostada summaatori pingete liitmiseks erinevate kaaludega. Vahekorrad leitakse seosest

$$U_1/R_1 + U_2/R_2 + U_3/R_3 + \dots = -U_{välj}/R_{TS}. \quad \text{Siit võib avaldada nii}$$

väljundpinge kui ka leida vajalikud takistused etteantud sisendpingete kaaluvahekordade järgi.

Analoogselt saab koostada summaator - lahutaja (joon. 4.3.32) ja ka mitteinvertseiva summaatori (joon. 4.3.33), mis on summaator-lahutaja erijuhuseks. Selle kohta järgmine seletus. Olgu

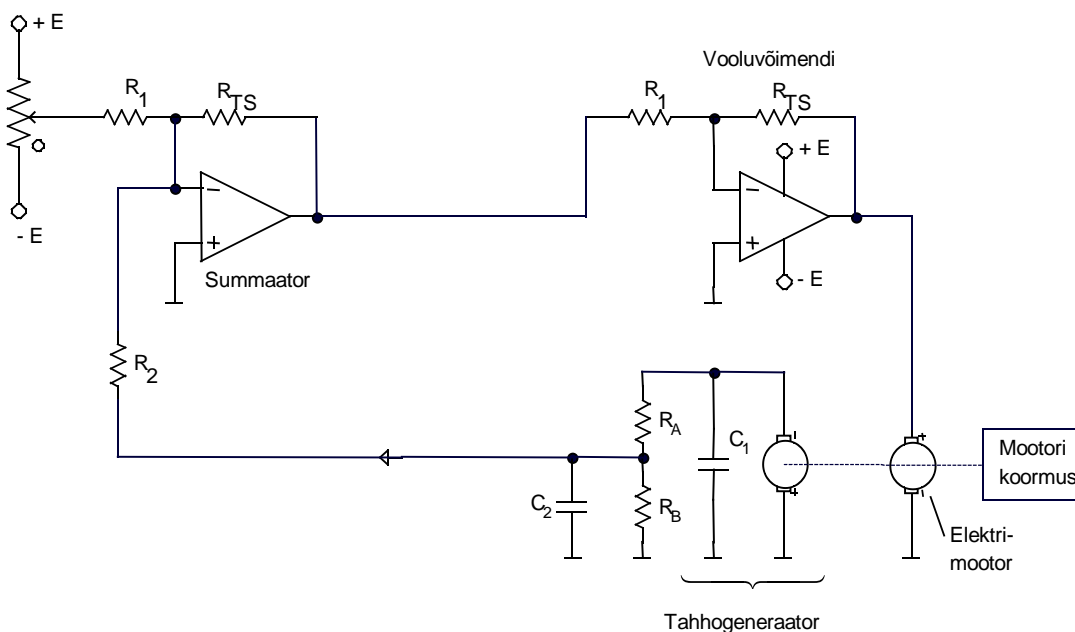
¹⁵ $U_{välj} = U_3(R'_{TS}/R'_1) + U_4(R'_{TS}/R'_2) - U_1(R_{TS}/R_1) - U_2(R_{TS}/R_2)$

kui $R_{TS}/R_1 + R_{TS}/R_2 = R'_{TS}/R'_1 + R'_{TS}/R'_2$ (nn. balansi tingimus)

vaja saada $U_{välj} = U_1 + U_2$. Anname $R'_{TS} = R'_1 + R'_2$ ja $R_1 = R_{TS}/n$. Siin on n - sisendite arv, $n = 2$. Inverteeriva sisendi signaal on antud juhul null.

4.3.15 Proportsionaalse tüürimisega juhtskeem

Summaatorid on ideaalsed kasutamiseks võrdelise tüürimise süsteemides. Neis süsteemides väljundpinge (pinge, mis antakse juhitavale elemendile või juhtobjektile) on võrdeline seadepinge (juhtobjekti olekut määrava pinge) ja objekti olekut iseloomustava pinge (objekti tegelikku tegevust peegeldava pinge) vahega. Illustreerime võrdelise reguleerimise põhimõtet alalisvoolu mootori kiiruse reguleerimise näitega (joon. 4.3.34). Toodud süsteem



Joon. 4.3.34

sisaldab järgmisi sõlmi:

1. Seadepinge näitab, millises suunas ja millise kiirusega peab mootor pöörlema. Pinge amplituud annab ette vajaliku pöörlemiskiiruse; polaarsus aga pöörlemissuuna.
2. Summeeriv skeem võrdleb seadepinget mootori olekut järgiva pingega ja formeerib seadepinge ja järgiva pinge vahega (erinevusega) võrdelise signaali. Vastavat pinget (signaali) nimetatakse veapingeks (veasignaalsiks).
3. Vooluvõimendi (booster) mida tihti nimetatakse ka servovõimendiks, tagab mootori toitmise selleks vajaliku vooluga. Meie näites peab olema tagatud võimalus mõlemasuunaliseks vooluks.
4. Mootorina kasutatakse püsिमagnetitega reverseeritavat alalisvoolumootorit; võib ka kasutada paralleelergutusega mootorit.
5. Signaal, mis on võrdeline mootori töökiirusega. Selle genererimiseks kasutatakse tihti väikest püsिमagnetiga generaatorit, nn tahhomeetrilist andurit (tahhogeneeraatorit). Selle võll on vahetult

või ülekande abil ühendatud mootori võlliga. Võib kasutada nii alalisvoolu kui ka vahelduvvoolu andurit; siin näites on variant alalisvoolu tahhogeneaatoriga (seetõttu saadakse läbi ilma alaldita). Tahhogeneaatori väljundpinge on võrdeline pöörlemiskiirusega, väljundpinge polaarsus sõltub pöörlemissuunast. Andur tuleb ühendada nii, et tahhomeetri väljundpinge oleksjuhtsignaaliga vastupidise polaarsusega. Kondensaatorid on skeemis anduri harjamürade vähendamiseks, vajaduse korral võib takistusega vähendada anduri väljundpinget.

Skeem töötab järgmiselt:

1. Seadepinge seadistatakse nii, et ta vastaks vajalikule pöörlemiskiirusele ja suunale.
2. Kui seadepinge erineb jälgivast pingest, tekib veasignaali, mis antakse summaatori sisendisse. Summaator võimendab veasignaali (võimendus määratakse suhetega R_{TS}/R_1 ja R_{TS}/R_2), mis omakorda antakse vooluvõimendisse.
3. Vooluvõimendi kindlustab mootori tööks vajaliku voolutugevuse ja polaarsuse, millised on vajalikud mootori käivitamiseks või siis vajalikule kiirusele reguleerimiseks (suuna tagamiseks).
4. Mootor veab tahhogeneaatorit, mille väljundis saadakse mootori kiirust ja suunda järgiv pinge, mis on seadepingega vastasfaasis.
5. Järgiv pinge, mis antakse takisti R_2 kaudu tagasi summaatori sisendisse, kompenseerib osa seadepingest, kuna need pinged on vastasfaasis. Kui järgiv - ja juhtpinge vahe (veasignaali) saavutab küllalt väikese väärtuse, tekiv tasakaaluolukord ning mootor hakkab pöörlema püsiva kiirusega. Ei maksa püüda realiseerida süsteemi nii, et tahhogeneaatori pinge kompenseeriks täielikult seadepinge, sellisel juhul veasignaali muutub nulliks ja mootor seiskub. Tegelikult siiski hakkab mootor siis seiskuma, kord ühtepidi, siis teispidi pöörlema. Süsteem kaotab stabiilsuse. Veasignaali vähenemine on saavutatav võimendusteguri suurendamisega (tagasiside muutmise), mis lõpuks põhjustabki süsteemi püsivustingimuse (stabiilsuse) kaotamise. Seega summaatori takistuste suhe ja tahhomeetri väljundpinge peavad olema seatud nii, et jälgitava pinge ja seadepinge summeerimisel nad kompenseeriks teineteist niivõrd, kuivõrd on vajalik süsteemi sujuvaks tööks.

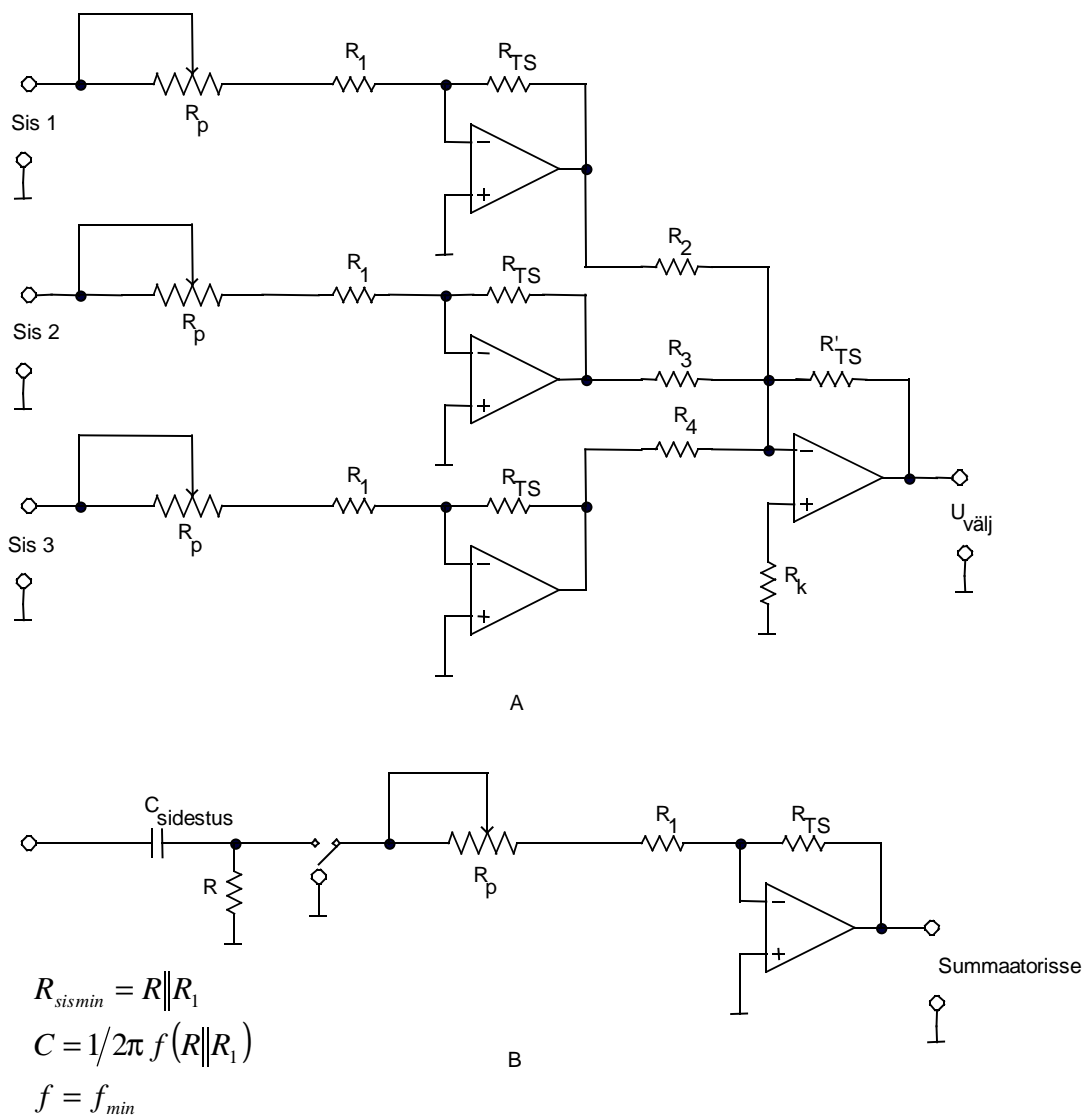
Võrdelise reguleerimise seaduspärasus võimaldab juhtida mootori kiirust selliselt, et see jääks püsivaks võlli mehhaanilise koormuse muutuste korral. Oletame näiteks, et mootor pöörleb ühtlase kiirusega ja siis koormus tema võllil järsku suureneb. See viib esialgse kiiruse languseni, mis omakorda vähendab tahhomeetri väljundpinget. See tähendab, et järgiv pinge väheneb, seadepinge aga jääb endiseks. Seega veapinge suureneb, see võimendatakse ja antakse mootorile, mille tulemusel mootori kiirus kasvab niikaua, kuni saabub uus tasakaalumoment, kus kiirus on peaaegu sama mis ennemgi. Koormuse vähenemise korral tekkiv protsess on vastupidine, takistades kiiruse kasvu.

Toodud näide on vaid üks võimalustest summeerivate skeemide kasutamiseks võrdelistes tüürsüsteemides. Sarnaseid reguleersüsteeme kasutatakse näiteks antennide, mitmesuguste ventiilide distanttsjuhtimisel. Sarnane põhimõte realiseerub ka pinge ja voolu kompensatsioonstabilisaatorites.

4.3.16 Signaalide mikser

Teiseks näiteks summaatorite kasutamise kohta on helitehnikas kasutatav signaalide segusti (joon. 4.3.35 A). Selliste skeemidega liidetakse kokku muusikainstrumentide ja solistide signaalid, saaduna erinevatest mikrofonidest, valitakse vastavalt vajadusele nende osakaalud ning saadetakse

ühisesse võimsusvõimendisse. Võib kasutada vahelduvsignaalide sidestust ja osade signaali allikate väljalülitist nagu on toodud joonisel 4.3.35 B.



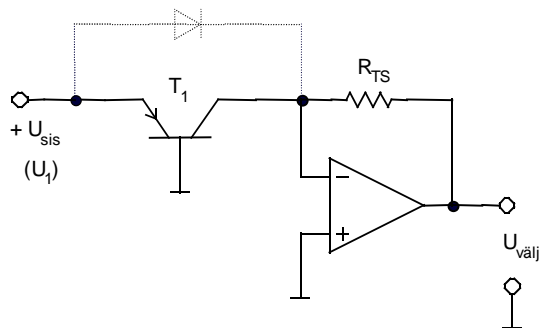
Joon. 4.3.35

4.3.17 Korrutus- ja jagamisskeemid OV-l

Siin lähtutakse sellest, et korrutise logaritm on korrutatavate logaritmide summa ja jagatise logaritm - vahe. Lisaks on tulemuse saamiseks vaja võtta veel antilogaritm - teisiti öeldes on vaja leida logaritmi eksponentsiaalne väärtus, kuna kehtib

$e^{\ln x} = x$. Antilogarimimise (eksponendi võtmise saame logaritnimise skeemi alusel, kus on vahetatud ära sisendis oleva takisti ja tagasiside transistori asukohad (joon. 4.3.36). nii saame, võttes

aluseks, et



$$I_k = I_{e0} (e^{qU_{be}/kT} - 1)$$

$$I_k \approx I_{e0} e^{qU_{be}/kT}$$

4.3.36

$U_{välj} = R_{TS} I_{TS} = -R_{TS} I_C$. Nii saame

$$U_{välj} = R_{TS} I_{e0} e^{qU_{be}/kT} = -R_{TS} I_{e0} e^{qU_1/kT}.$$

See on sama, mis

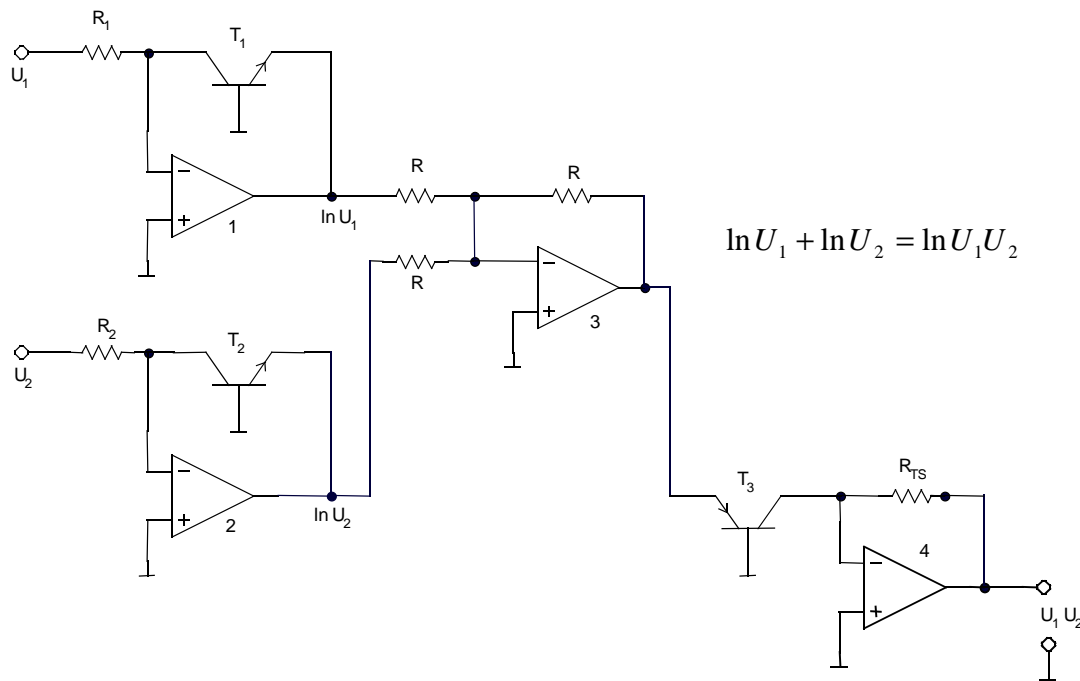
$$U_{välj} = -R_{TS} I_{e0} \text{antilg}(U_{1q}/kT).$$

Siin vool I_{e0} on baasi-emitteri vool väikese vastupingestuse ja lühistatud baasi-kollektori korral (soojuslekkevool); q -elektroni laeng; k - Boltzmanni tegur.

Nii logaritmime kui ka astmesse võtmise skeemides kasutatakse transistori asemel ka dioode (võites mõnevõrra lihtsuses, kaotades ülekande dünaamilises diapsoonis) Antilogaritmime saame

$$U_{välj} = -R_{TS} I_0 \text{antilg}(U_{1q}/kT).$$

Korrutamisel saame siis sellise tehte: $\ln(a * b) = \ln a + \ln b$. Vastav skeem on toodud joonisel 4.3.37. L.M. Faulkenberry täpsustatud



Joon. 4.3.37

käsitluse järgi saame logaritmitmise skeemides väljundpingeteks

$$U_{\text{välj1}} = (kT/q) \ln(U_1/R_1) - (kT/q) \ln I_{01};$$

$$U_{\text{välj2}} = (kT/q) \ln(U_2/R_2) - (kT/q) \ln I_{02}.$$

Muide, siin liige, seotud soojusliku lekkevooluga I_0 , iseloomustab temperatuuri mõju logaritmitmise väljundsuurusele. Varem vaadeldud logaritmitmiseskeem transistori paariga võimaldab seda mõju välistada.

Summaatori väljundpingeks tuleb

$$U_{\text{välj3}} = (kT/q) \left[\ln(U_1/R_1) + \ln(U_2/R_2) - \ln I_{01} - \ln I_{02} \right].$$

Kogu skeemi väljundpingeks on

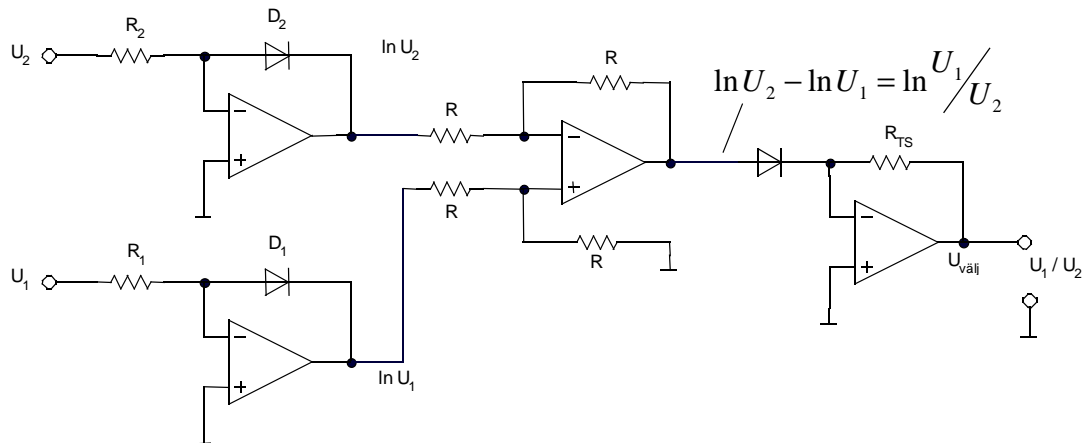
$$U_{\text{välj}} = R_{TS} I_{03} \text{ antilog} \left[\ln(U_1/R_1) + \ln(U_2/R_2) - \ln I_{01} - \ln I_{02} \right] =$$

$$= (R_{TS} I_{03} / R_1 R_2 I_{01} I_{02}) U_1 U_2. \text{ Kui tagatakse } R_{TS} I_{03} = R_1 R_2 I_{01} I_{02}, \text{ siis}$$

saame, et $U_{\text{välj}} = U_1 U_2$.

Siin I_0 - emitter-baasi vool $\approx I_{e0}$; Voolud I_0 peavad olema omavahel lähedased ja nad on väga lähedased emitteri vastuvoolule I_{e0} , saaduna emitteri nõrgal vastustingestusel.

Jagamisel on vaja võtta kahe logaritmi vahe. Vastav skeem on toodud joonisel 4.3.38.



Joon. 4.3.38

Tööstus (näit. Analog Devices, Inc.) toodab nii kõrgekvaliteedilisi korruteid kui ka jagajaid integraalsel kujul. Eristatakse seadmeid, mis töötavad kahes kvadrantis (ühepolaarsete signaalidega) või neljas kvadrantis (võimaldavad mõlemipolaarsusega signaale).

4.3.18 Sageduskorrektsioon OV-s.

Teeme siin selgeks, kuidas saadakse OV sageduskäik ja kuidas seda korrigeerida stabiilsuse tagamiseks. Olgu meil kolmeastmeline võimendi (joon. 4.3.39 A), mille kõrval on toodud erinevate astmete amplituudülekanne sageduskäigud (B). Summaarne karakteristik