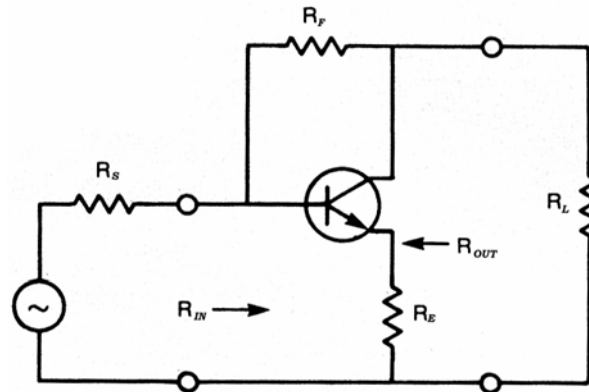


RF võimendite parameetrid

Raadiosageduslike võimendite võimendavaks elemendiks kasutatakse põhiliselt bipolaar- või väljatransistori. Paraku on transistori võimendus sagedusest sõltuv, transistor on mittelineaarne ning ka sisendtakistus ei ole konstantne. Nende probleemide vältimiseks kasutatakse transistorskeemides tavaliselt tagasisidestust (*feed-back*).

Järgmisel joonisel on toodud tüüpiline tagasisidega võimendi skeem.



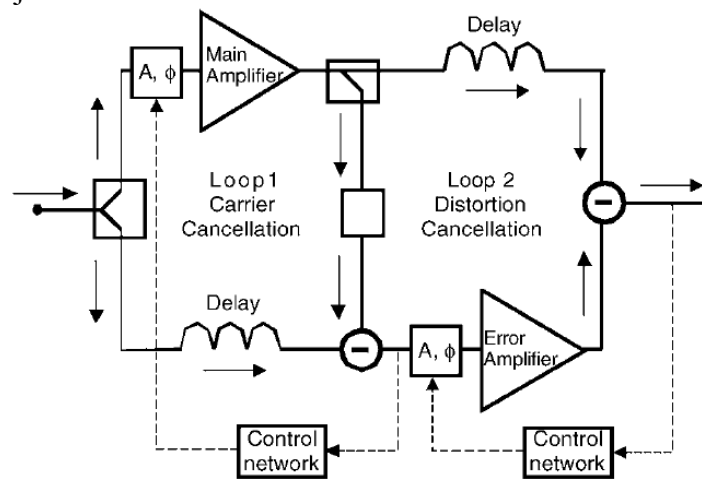
$$G \approx - \frac{R_L}{R_E} \cdot \frac{R_F - R_E}{R_F + R_L}$$

$$R_{IN} \approx R_E \frac{R_F - R_L}{R_E - R_L} \quad R_{OUT} \approx R_E \frac{R_F + R_S}{R_E + R_S}$$

Joonis 1 – Tagasisidega võimendi

Üks tagasiside takisti on ühendatud kollektori ja baasi vahele (R_F), teine emitteri ja maa vahele (R_E). Nende kahe takisti väärtuste valik määrab võimenduse ning sisend- ja väljundtakistuse väärtused nagu näidatud joonisel 1.

Vahel kasutatakse ka edasisidestusega (*feed-forward*) võimendit, mille üldstruktuur on toodud järgmisel joonisel.



Joonis 2 – Edasisidestusega võimendi

Raadiosageduslikke võimendeid iseloomustavad erinevad parameetrid, millest järgnevalt on toodud väike ülevaade.

Sagedusriba laius

Sagedusriba laius (sagedusala) näitab, millises sagedusvahemikus signaalidega seade töötab.

Signaal-müra suhe (C/N)

Signaal-müra suhe C/N (*carrier-to-noise ratio*) näitab, mitu korda on signaali võimsus P_{signaal} suurem müra võimsusest $P_{\text{müra}}$. Tavaliselt väljendatakse seda detsibellides:

$$C / N = 10 \cdot \log \left(\frac{P_{\text{signaal}}}{P_{\text{müra}}} \right) \text{ [dB]}.$$

Näiteks kaabeltelevisiooni koaksiaalkaablis vähemalt on nõutav signaal-müra suhe tavaliselt 42 dB .

Võimendus

Võimendus näitab, mitu korda signaali võimsust võimendis tõstetakse. Mida suurem on võimendus, seda rohkem signaali võimendatakse. Tavaliselt väljendatakse võimendust detsibellides (dB):

$$G = 10 \cdot \log \left(\frac{P_{\text{välj}}}{P_{\text{sis}}} \right),$$

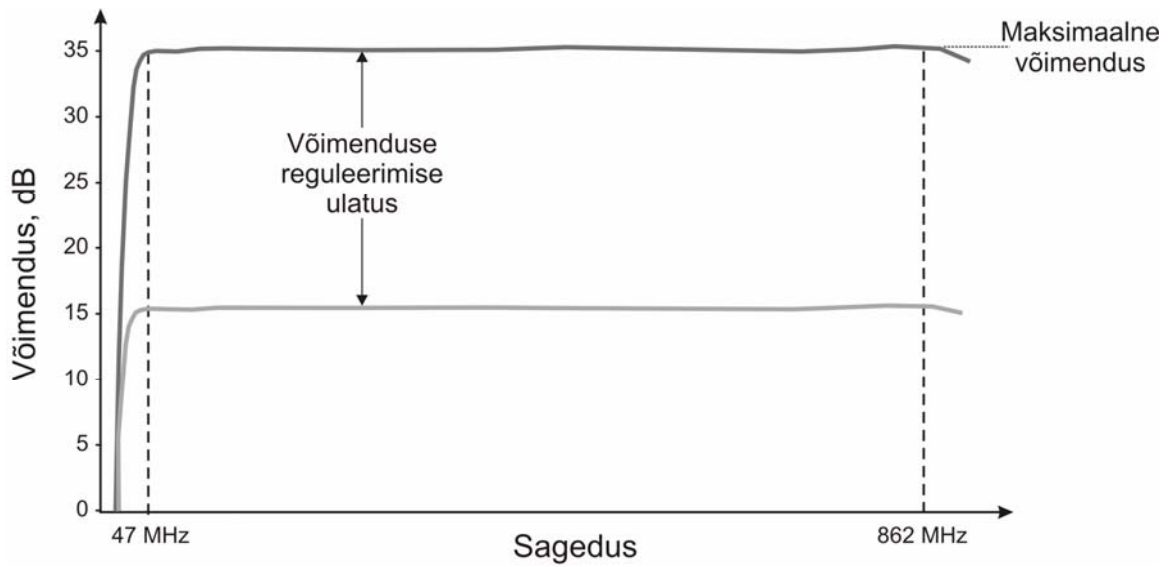
kus G on võimendus [dB],
 $P_{\text{välj}}$ on väljundvõimsus [W],
 P_{sis} on sisendvõimsus [W].

Kaabeltelevisiooni võimendite võimendus on tavaliselt vahemikus $25\text{-}40 \text{ dB}$.
Antennivõimendite võimendus on tavaliselt vahemikus $10\text{-}30 \text{ dB}$.

Võimenduse reguleerimise ulatus

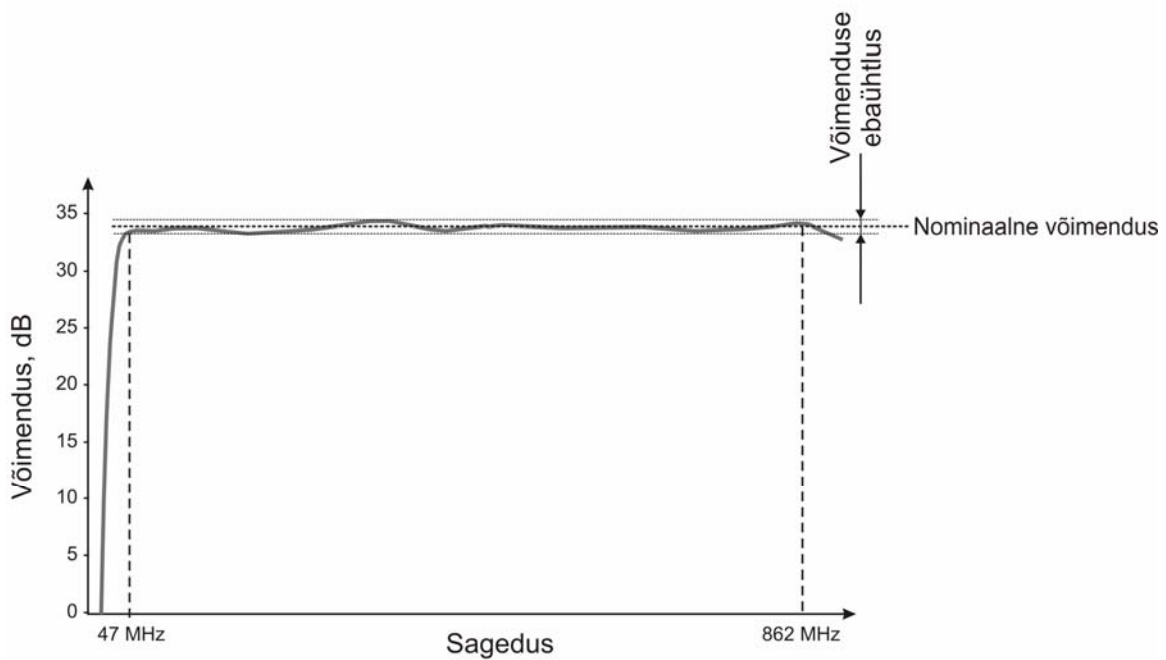
Võimenduse reguleerimise ulatus näitab, kui suurtes piirides on kasutajal võimalik võimendi võimendust reguleerida.

Näide: kui võimendi maksimaalne võimendus on 35 dB ja tema võimenduse reguleerimise ulatus on 20 dB , siis on saab selle võimendi võimenduseks sättida $15\text{-}35 \text{ dB}$.



Võimenduse ebäühtlus

Ideaalne võimendi oleks niisugune, mis võimendaks kõiki sagedusi ühtlaselt. Reaalsuses esineb võimenduses aga alati teatud ebäühtlus, mida nimetatakse võimenduse ebäühtluseks ja seda väljendatakse detsibellides.



Kaabeltelevisiooni võimendite võimenduse ebäühtlus on tavapäraselt $\pm 1 \dots 2$ dB, paremates võimendites $\pm 0.5 \dots 0.6$ dB.

Soojusmüra

Toatemperatuuril on kõik osakesed pidevas soojusliikumises ning seetõttu tekitavad soojusmüra. Kaabeltelevisiooni 75-oomistes süsteemides on selle müra tasemeks ligikaudu $1\mu\text{V}$. Kõik signaalid, mis on väiksema pingega kui $1\mu\text{V}$, ei ole soojusmüradest enam eristatavad. Tavaliselt käsitletakse signaalitasemeid ühikutes dBmV (detsibell millivoldi kohta) – siis on soojusmüra tasemeks, mis vastab 1 mikrovoldile (minimaalseks müra tasemeks), -59 dBmV (nn *noise floor*). Lisaks kasulikule signaalile võimendatakse võimendis ka soojusmüra, mistõttu võimendi väljundis on müranivoo võimendi võimenduse võrra suurem.

Mürategur

Iga võimendi võimendab tema sisendisse tuleva signaali ja müra segu. Lisaks tekivad täiendavad mürad ka võimendis endas, mis lisanduvad sisendis olevale mürale. Seega [signaali ja müra suhe](#) võimendis igal juhul langeb. Seda langust iseloomustatakse mürateguri (*noise figure*, tähistatakse NF) abil mis näitab, kui palju signaal-müra suhe võimendis halveneb. Mida väiksem on mürategur, seda parem on võimendi, sest seda vähem mürasid võimendi signaalile lisab.

$$NF = 10 \cdot \log \left(\frac{(C/N)_{\text{sisendis}}}{(C/N)_{\text{väljundis}}} \right) \text{ [dB]}.$$

Mürategur on erinevatel sagedustel erinev, seepärast on laiaribalistel seadmetel (näiteks kaabeltelevisiooni võimenditel) tihti välja toodud mitu erinevat mürategurit – igauks neist näitab mürategurit konkreetsel sagedusel. Tüüpiliselt on mürategur vahemikus $4 \dots 9\text{ dB}$, madala müraga võimendites (*LNA – low noise amplifier*) aga $0,5 \dots 2\text{ dB}$.

Mürategur võimendite järjestikusel ühendamisel

Võimendite järjestikusel ühendamisel avaldub summaarne mürategur:

$$F = F_1 + \frac{F_2 - 1}{G_1} + \frac{F_3 - 1}{G_1 G_2} + \frac{F_4 - 1}{G_1 G_2 G_3} + \dots$$

kus F_n on võimendi mürategur ja G_n on selle võimendi võimendus. Valemist on näha, et kõige suuremat mõju summaarsele mürategurile omab kõige esimene võimendi (F_1). Seega on oluline, et ahela esimene võimendi oleks võimalikult madala mürateguriga. Samuti lisandub esimese võimendi mürategurile ka signaali allika (näiteks antenni) ja võimendi vahelise koaksiaalkaabli sumbuvus. Seetõttu kaabel antennist võimendini peaks olema võimalikult lühike ja omama väiksemaid kadusid.

Maksimaalne väljundnivoo

Igal võimendil on olemas mingisugune piirang, mis määrab ära väljundsignaali maksimaalse väärtuse. Suurendades võimendi sisendsignaali suureneb ka signaal väljundis, kuid alates mingisugusest hetkest, kui võimendi jõuab küllastusse,

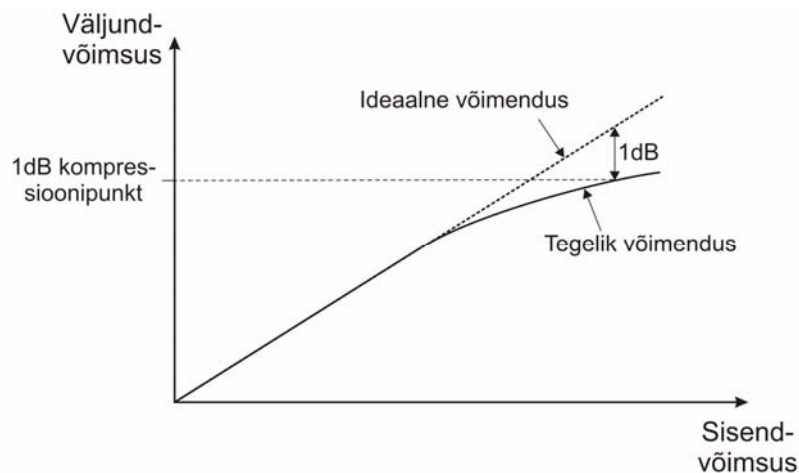
väljundsignaal enam ei suurene. Seda nimetatakse võimendi maksimaalseks väljundnivooks.

Kui võimendi läheb küllastusse, hakatakse väljundsignaali moonutama, mis kahandab videopildi kvaliteeti.

Selleks, et küllastuse olukorda vältida, tuleb tagada, et sisendsignaali väärtus oleks lubatud piirides. See on lihtne, kui sisendis on vaid üks signaal. Televisioonis edastatakse aga üheaegselt heli, pilti, värve – ja seda korraga mitmekümnel kanalil. Seega tuleb tagada, et summaarne signaal, mis võimendisse läheb, ei põhjustaks signaali moonutamist võimendi väljundis. Mida rohkem on sisendis erinevaid signaale, seda nõrgem peab nende tase olema.

1dB-kompressioonipunkt

Ideaalne võimendi võimendab igat sisendsignaali võrdselt. Kui sisendsignaali võimsusega, siis on ka reaalses võimendites võimendus konstantne. Kui sisendsignaali võimsus aga kasvab, siis varsti hakkab võimenduse tase langema ning see pole enam konstantne (vt joonis). Väljundvõimsust, kus võimendus on langenud 1 dB võrra, nimetatakse 1dB-kompressioonipunktiks (*1dB compression point*).

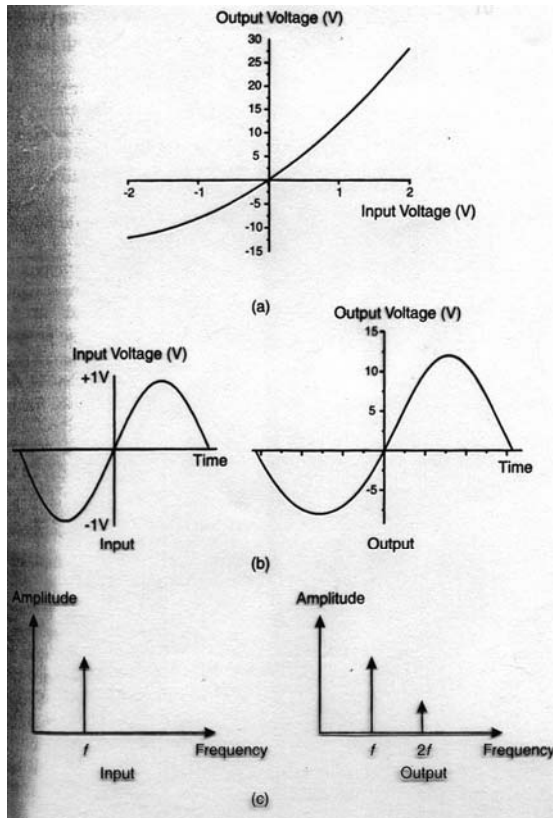


Ebalinearseid moonutusi iseloomustavad suurused kehtivad ainult allpool 1dB-kompressioonipunkti ehk nn *väikese signaali* režiimis. Kaabeltelevisiooniseadmed töötavad samuti kõik allpool 1dB-kompressioonipunkti.

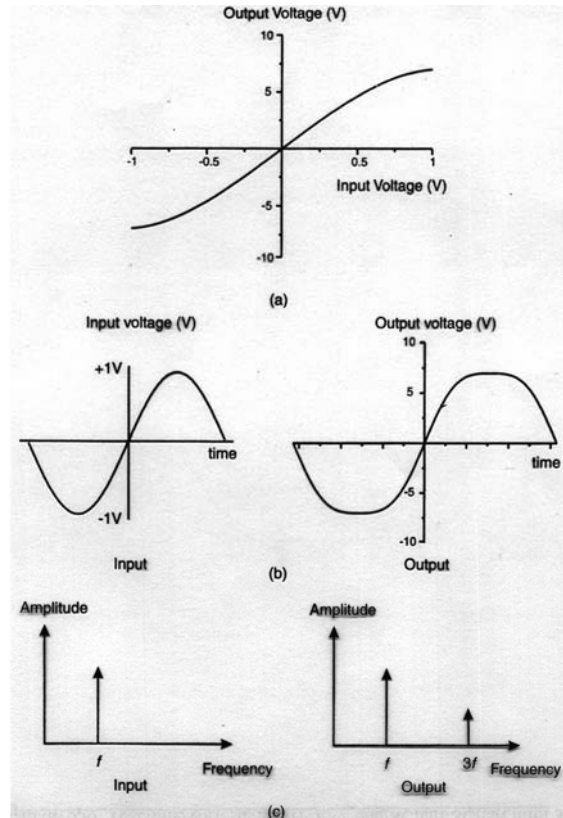
Moonutused ja võimendite tüübid

Iga seade, mida signaal läbib, võib signaali moonutada. Signaali moonutusi (*distortion*) on kahte tüüpi – lineaarsed ja ebalinearsed – ja võimendites eksisteerivad neist mõlemad. Lineaarsed moonutused tekivad lineaarsetes ahelates (koosnevad takistitest, kondensaatoritest, poolidest) ning nende tõttu võimendatakse mõningaid sagedusi rohkem kui teisi (võimenduse ebaühtlus). Ebalinearsed moonutused tekivad ebalinearsetes ahelates (transistorid, diodid, varaktorid vms) ning nende tulemusena

tekivad võimendis harmoonikud ja kombinatsioonsgedused, mis häirivad kõrvalkanaleid ning seega ka näiteks edastatava televisioonipildi kvaliteeti.



Joonis 3 – Ülekannekarakteristik teist järku moonutuste korral (a), sisend- ja väljundsignaal (b) ning sisend- ja väljundsignaali spekter (c)



Joonis 4 – Ülekannekarakteristik kolmandat järku moonutuste korral (a), sisend- ja väljundsignaal (b) ning sisend- ja väljundsignaali spekter (c)

Seepärast valitakse võimendi tüüp selline, kus teist ja kolmandat järku ebalinearsed moonutused oleks minimaalsed. Kõrgemat järku moonutusi üldjuhul ei vaadelda, kuna need avaldavad vähem mõju.

Üheks võimaluseks on nn *push-pull* võimendite kasutamine, kus võimendatakse eraldi sisendis oleva siinussignaali positiivset ja negatiivset poolperioodi ning selle tulemusena väljundist teist järku moonutused vähenevad oluliselt.

Teine võimalus on kasutada nn *feed-forward* võimendeid, kus võimendatud signaal lahutatakse algsest signaalist ning selle tulemusena saadakse jääksignaali, mis iseloomustab ainult võimendis tekkivaid moonutusi (vt joonis 2). Seda jääksignaali võimendatakse nüüd omakorda ning lahutatakse summaarsest võimendi väljundsignaalist. Tulemuseks on väljundsignaal, millest võimendi moonutused on praktiliselt eemaldatud.

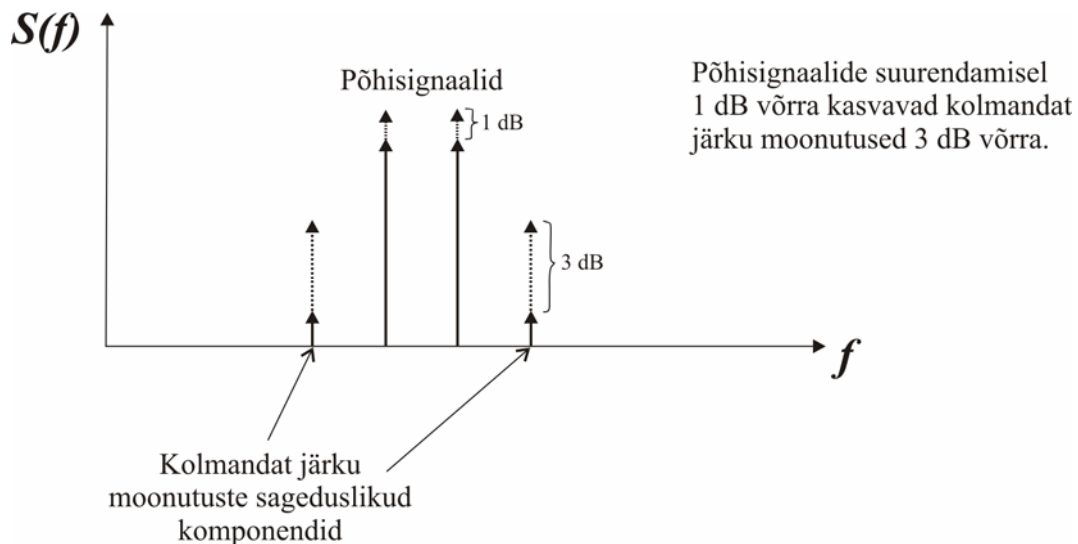
Moonutuste vähendamiseks on võimalik kasutada ka eelmoonutusega võimendeid, kuid nende ehitamine on suhteliselt kallis ja seetõttu kasutatakse neid vaid põhiliselt saatjates.

Moanutuste mõõtmine

Moanutuste taset määratakse tavaliselt parameetri *Intermodulation Point (IP)*, täpsemalt IP_2 ja IP_3 kaudu. Neist IP_2 iseloomustab teist järku moonutuste- ning IP_3 iseloomustab kolmandat järku moonutuste taset.

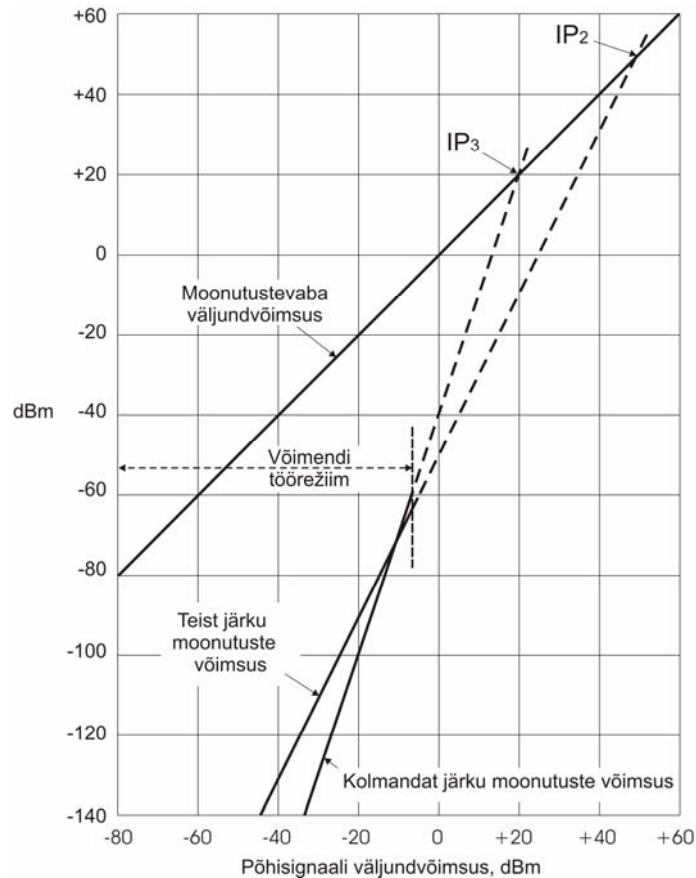
Mõlemat parameetrit mõõdetakse kahe testtooniga, mis asuvad lähedastel sagedustel F_1 ja F_2 . Ebalineaarses ahelas tekivad lisaks nendele kahele toonile spektrikomponendid ka sagedustel $\pm m \cdot F_1 \pm n \cdot F_2$, kus m ja n on positiivsed täisarvud. Moonutuste järk on defineeritud kui summa $m+n$. Järelikult sageduslikud komponendid $2 \cdot F_1 - F_2$, $2 \cdot F_2 - F_1$, $3 \cdot F_1$ ja $3 \cdot F_2$ on kõik kolmandat järku moonutuste tulemus. Neist kahte esimest nimetatakse kahe tooni kolmandat järku produktideks, kuna nad sõltuvad kahest toonist (F_1 ja F_2). Kahte viimast nimetatakse ühe tooni kolmandat järku produktideks, sest need sõltuvad vaid ühest algtoonist. Näiteks kui algtoonid on 100 MHz ja 101 MHz, siis kahe tooni kolmandat järku produktid on 99 ja 102 MHz ning 300 ja 303 MHz on ühe tooni kolmandat järku produktid. Siit on näha, et kahe tooni produktid on algtoonidele väga lähedal ning neid on väga raske välja filtreerida (tihti võimatu). Seepärast tuleb nende mõju seadmes kindlasti arvestada.

Teist järku moonutused kasvavad võimenduse kasvades võrreldes algsignaali kaks korda kiiremini ja kolmandat järku moonutused kasvavad kolm korda kiiremini.



Joonis 5 – Kolmandat järku moonutuste tase kasvab 3 korda kiiremini kui põhisignaal

Kui väikeste signaalivõimsuste juures on nende moonutuste võimsus võrreldes kasuliku signaaliga väga väike, siis teatud tasemest hakkab moonutuste võimsus oluliselt segama kasulikku signaali. Teoreetilist punkti, kus signaali tase ja moonutuste tase saavad võrdseks, nimetatakse vastavalt kas IP_2 või IP_3 punktiks.



Võimendi töörežiim on alati palju madalamal kui IP_2 või IP_3 . Seega on tegemist teatud mõtteliste graafiliste pikendustega (vt joonis). Ometigi võimaldavad need parameetrid hinnata moonutuste taset ka võimendi töörežiimis. Mida suuremad on IP_2 ja IP_3 , seda väiksem on moonutuste tase töörežiimis ja seda kõrgem on videopildi kvaliteet.

Kaabeltelevisioonis kasutatakse võimendite paremaks iseloomustamiseks spetsiaalselt kaabeltelevisioonile mõeldud moonutuste parameetreid – üheks selliseks on nn *intermodulation distortion* (standard DIN 45004B), mille mõõtmiseks kasutatakse kolme sisendsignaali ning mõõdetakse tekkiva kombinatsioonisageduse taset (pinget) kõrvalkanalis. Mida väiksem on pinget väärtus, seda väiksemad on moonutused.

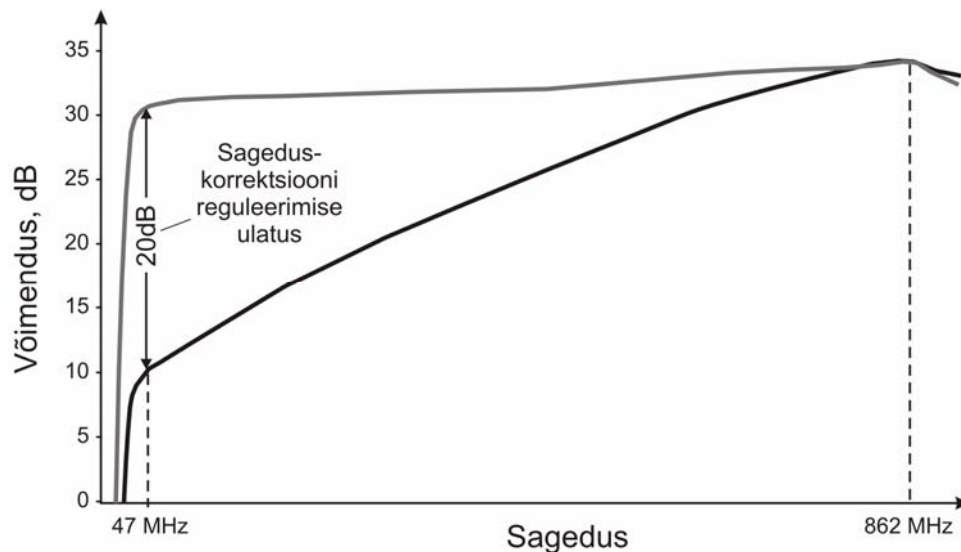
Viimasel ajal on kaabeltelevisioonis hakatud põhiliselt kasutama parameetreid *CTB* (*ratio of carrier to composite third order beat*) ja *CSO* (*composite second order distortion*), kus sisendis on korraga kõikide kanalite signaalid ning mõõtmiste teostamiseks lülitatakse üks kanal välja. Ideaalsel juhul peaks nüüd selle kanali spektriosas signaal puuduma, ent kombinatsioonisageduste tekkimise tõttu on signaal seal siiski olemas ja selle suurus annab informatsiooni moonutuste üldise taseme kohta.

Ebalineaarseid moonutusi iseloomustavad suurused kehtivad ainult allpool 1dB-kompressioonipunkti ehk nn väikese signaali režiimis.

Sageduskorrektsooni reguleerimine

Kaabeltelevisioonisignaali edastamiseks kasutatakse tavaliselt koaksiaalkaablit. Koaksiaalkaablile on omane, et signaal sumbub temas kõrgematel sagedustel rohkem kui madalatel sagedustel. Selleks, et saada tagasi ühtlast signaali, tuleks madalamaid sagedusi võimendada vähem ja kõrgemaid rohkem. Seda nimetatakse sageduse korrektsiooniks.

See, kui palju madalate sageduste võimendus peab väiksem olema, sõltub kaabli ehitusest ja kaablite pikkusest. Järelikult oleks hea, kui võimendi ülekandekarakteristikut on võimalik vastavalt konkreetsele olukorrale reguleerida. Osadel võimenditel on see võimalus ka olemas (vt joonis).



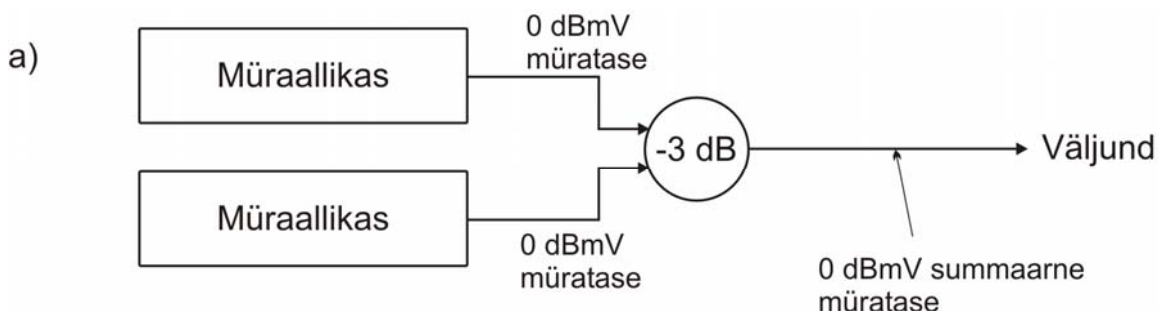
Testpunkt

Testpunkt on seadme lisaväljund, mida kasutatakse seadme testimiseks. See on eriti kasulik siis, kui seade on paigaldatud ja töötab ning kaablite lahtiühendamine oleks tülikas.

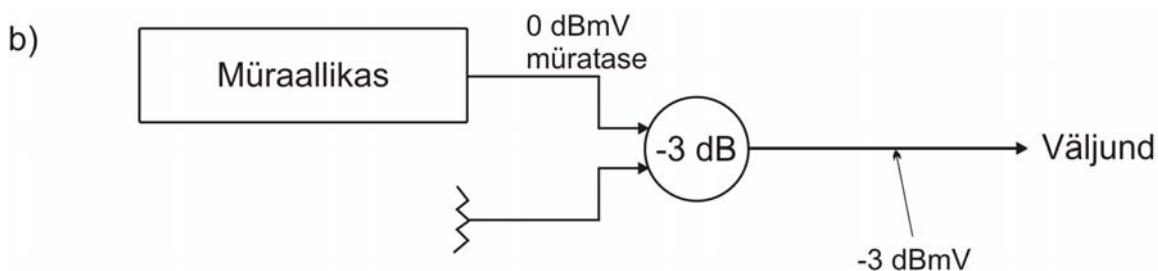
Võimendite väljundsignaal on tavaliselt väga võimas ning seetõttu on testpunktis signaali taset mõõteaparatuuride kaitseks alandatud. Seda, kui palju testpunkti signaal võimendi tavasignaalist nõrgem on, väljendatakse detsibellides.

Splitteri ühendamine

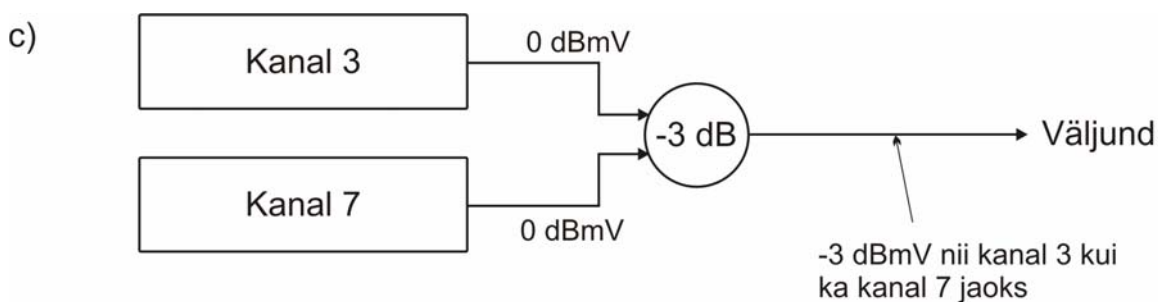
Selgitame splitteri ühendamist järgmiste jooniste näitel.



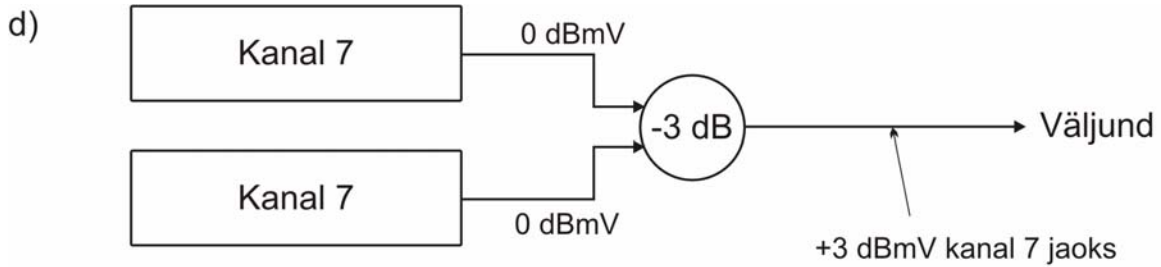
Joonisel **a** on splitteri sisendisse ühendatud kaks müraallikat. Kumbagi mürasignaali võimsusest pool eraldub splitteri sees oleval takistusel ja teine pool jõuab splitteri väljundisse. Kokku jõuab splitteri väljundisse pool kumbagi allika võimsusest ja seal moodustub summaarne mürasignaali, mille võimsus on võrdne kumbagi müraallika signaali võimsusega (erinevus 0 dB).



Joonisel **b** on üks splitteri sisend lahti ühendatud ja sisendis on vaid üks müraallikas. Pool mürasignaali võimsusest eraldub splitteri sees oleval takistil ja väljundisse jõuab vaid teine pool võimsusest. Järelikult on väljundmüra algmürast poole nõrgem (3 dB nõrgem).



Joonisel **c** on splitteri sisendisse ühendatud kaks signaallikat, mis on häälestatud erinevatele kanalitele. Kumbagi kanali signaali võimsusest eraldub splitteri takistusel pool. Seega splitteri väljundis on mõlema kanali võimsus poole väiksem (kumbki -3 dB).



Joonisel **d** on splitteri sisendisse ühendatud kaks signaaliallikat, mis on häälestatud samale sagedusele ja töötavad faasis. Kuna mõlemad allikad tekitavad täpselt sama signaali, siis splitteri sees asuval takistusel on pingeline võrdne nulliga ning võimsust sellel ei eraldu. Mõlema allika võimsused liituvad splitteri väljundis, seega on seal signaali võimsus poole suurem mõlemal allikal eraldi (signaal on 3 dB suurem). Seega, kui liidetakse kahest samal sagedusel töötavast antennist tulevat signaali ja faasitingimuse tagamiseks on kaablipikkused mõõdetud ühepikkusteks, siis tulemusena saadakse 3dB suurem signaal, kui mõlemast antennist eraldi.