

5 VÕIMSUSE MÕÕTMINE

5.1 ÜLDIST

Võimsuse hetkväärtus (hetkvõimsus) on

$$p = p(t) = u(t) \cdot i(t).$$

Võimsuse mõõtühik – vatt (W), ka mW W kW MW

Keskmine võimsus (aktiivvõimsus, ka lihtsalt võimsus) on

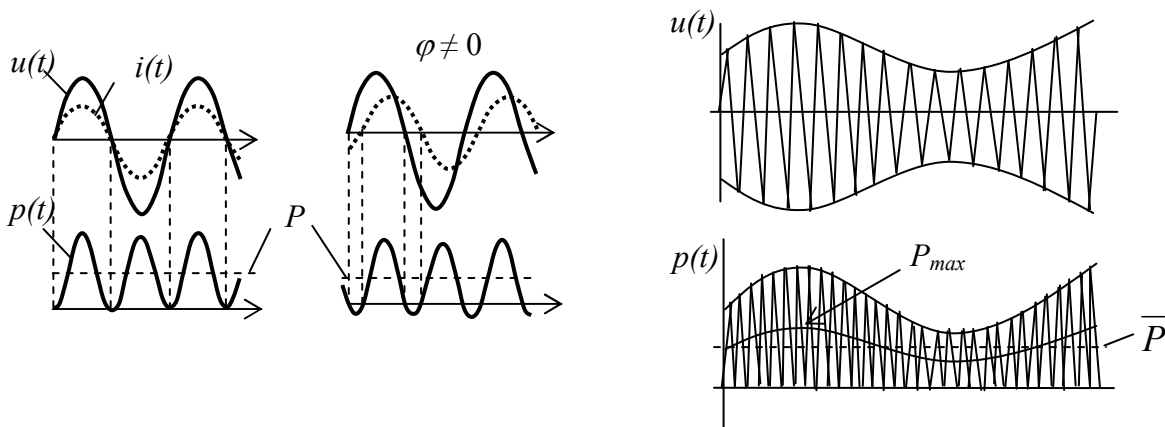
$$P = \overline{p(t)} = \overline{u(t) \cdot i(t)}.$$

Siinussignaali hetkvõimsus

$$p = U_m \sin \omega t \cdot I_m \sin(\omega t + \varphi) = U_m I_m / 2 \cdot \cos \varphi - U_m I_m / 2 \cdot \cos(2\omega t + \varphi).$$

ja keskmine võimsus

$$P = U_m I_m / 2 \cdot \cos \varphi = UI \cdot \cos \varphi.$$

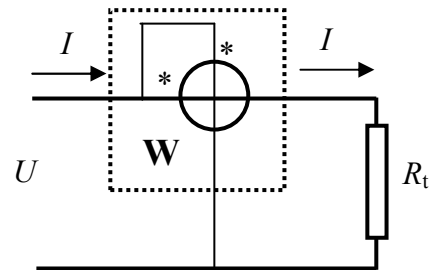


Amplituudmoduleeritud signaali maksimaalne võimsus P_{max} leitakse kui suurim võimsuse keskvärtus kandesignaali ühe perioodi jooksul.

Raadiosagedustel alla 100 MHz on võimsuse mõõtmine harva kasutusel. Üle 1 GHz muutub aga pingemõõtmine võimatuks, seetõttu on seal enam kasutusel võimsuse mõõtmine. Selle valdkonna eripäraks on signaali üliväike võimsus (mW, μ W, nW, pW).

5.2 MÕÖTEMEETODID, SOBITUS

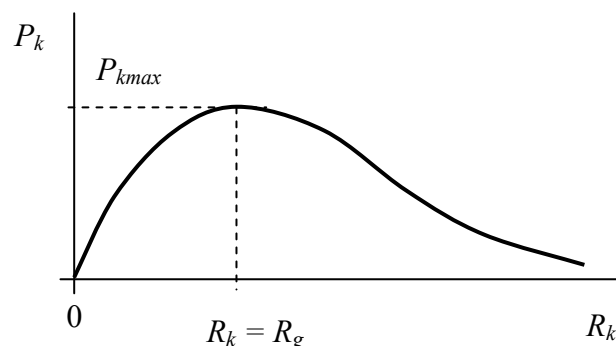
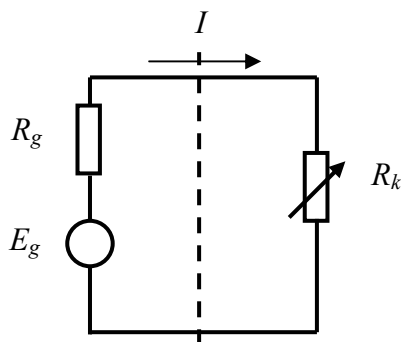
Alalisvoolul ja madalsagedus-vahelduvvoolul (< 1 kHz) on kasutusel elektrodünaamilise mõõtemuunduriga osutvattmeeter. See sisaldab kaks sõltumatut vooluahelat (nn pinge- ja voolumähis). Pingemähis lülitatakse paralleelselt tarbija pingele, voolumähis aga järjestikku tarbija vooluahelasse. Vattmeetri näit oleneb mähiste voolude korrutisest $i_1 * i_2$. Selle keskväärts aga vastab võimsusele. Sellel põhineb kasutamine võimsust mõõtvates mõõteseadmetes – vattmeetrites. Vattmeetri mõõtepiirkond on alates $75V * 0,5A$ ja enam, sagedusala $0 \dots 50$ Hz ... 400 Hz, täpsus kuni $\pm 0,5 \%$.



Takistuste sobitamine

Olgu allika (generaatori) pingetühijooksul E_g ja tema takistus R_g teada. Muudame tarbija (koormuse) takistust R_k ning vaatleme temas saadavat võimsust P_k .

Maksimaalne võimsus $P_{kmax} = E_g^2 / (4R_g)$ saadakse sobitatud koormusel $R_k = R_g$. See on takistuste sobitus alalisvoolul.



Vahelduvvoolul vastab sellele komplekssobitus $Z_k = Z_g^*$. Sel juhul on takistuste imaginaariosad vastasmärgilised ning edastatav võimsus suurem kui sobitusel takistuste moodulite järgi $Z_k = Z_g$.

Kõrgsagedusseadmeis realiseeritakse kogu levikanal nii, et kõigi tema elementide sisend- ja väljundtakistused on võimalikult (ligikaudu) võrdsed süsteemi tunnus- takistusega (lainetakistusega, karaktertakistusega) ρ (50Ω , 75Ω ...).

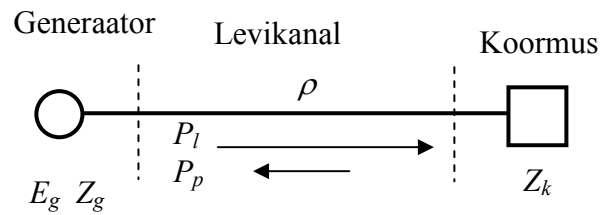
Kõrgetel sagedustel on signaali lainepikkus λ võrreldav süsteemi mõõtmetega. Sel juhul toimub võimsuse ülekande nn hajuparameetritega süsteemis. Seda kirjeldatakse langeva ja peegeldunud laine abil. Langev laine liigub generaatorilt koormuse poole, peegeldunud laine aga vastassuunas.

Koormuses saadav võimsus on langeva laine ja peegeldunud laine võimsuste vahe:

$$P_k = P_l - P_p = P_l(1 - |\Gamma_U|^2).$$

Siin $\Gamma_U = |\Gamma_U|e^{j\varphi}$ on pingete peegeldustegur. Selle moodul on

$$r = |\Gamma_U|.$$



Võrdsete takistuste Z_k ja Z_g korral (takistuste sobitus) on $\Gamma_U = 0$ ja peegeldus kaob. Sel juhul on koormusel saadav võimsus maksimaalne.

Peegeldusteguri kõrval kasutatakse ka peegelduskadu (*return loss*)

$$A_r = 10 \log(P_l/P_p) \text{ dB}.$$

Kui on teada allika (generaatori) takistus Z_g ja koormuse takistus Z_k , siis peegeldustegur on

$$\Gamma_U = (Z_k - Z_g)/(Z_k + Z_g).$$

Võimsuse mõõtmisel on eesmärgiks saada sobitusvõimsus $P_{kmax} = P_0$ (generaatori ja levikanaliga sobitatud koormusel).

Ebatäpse sobituse korral erineb nii generaatori kui koormuse peegeldustegur nullist ($r_g > 0$, $r_k > 0$), ning koormusel saadav võimsus väheneb: $P_k < P_0$.

Generaatori maksimaalne võimalik võimsus oleneb generaatori peegeldustegurist r_g ja on võrdne $P_{gmax} = P_0/(1 - r_g^2)$.

Langeva laine võimsus on $P_l = P_0/|1 - \Gamma_g \Gamma_k|^2$.

Kui peegeldustegurid on teada vaid absoluutsuuruse järgi, siis sobitusest tingitud mõõtetulemuse hajumine on piires

$$\frac{P_0}{(1 + r_g r_k)^2} \leq P_0 \leq \frac{P_0}{(1 - r_g r_k)^2}$$

Maksimaalne viga (P_l ja P_0 erinevusest) on $\varepsilon \approx 2r_g r_k$.

Meenutuseks seos võimsuse P ja tema logaritmilise suuruse L vahel:

$$L = 10 \log(P/1 \text{ mW}) \text{ dBm}, \quad P = 10^{0,1L} \text{ dBm}.$$

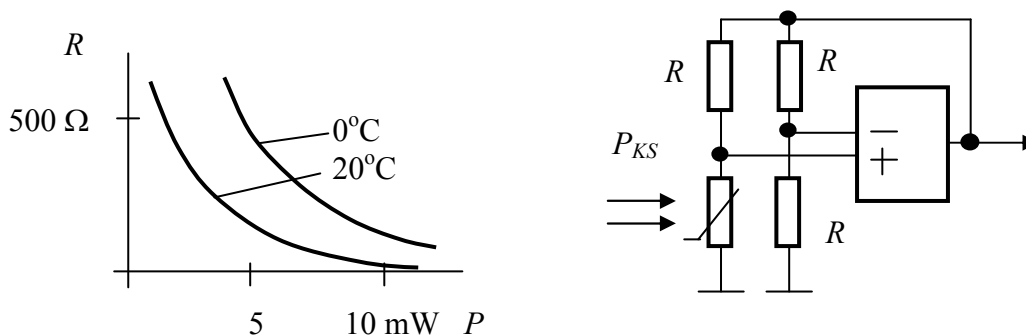
Kõrgsagedusvattmeetrites kasutatakse signaali elektromagnetvälja energia muundamist soojusenergiaks. On võimalik kaks mõõtelülitust:

- lähiva võimsuse mõõtmine – teatud osa võimsusest eraldatakse suundhargmiku abil mõõteseadmesse; sobib suurema võimsuse korral mõõtmisel
- neelduva võimsuse mõõtmine – kogu mõõdetav võimsus läheb mõõteriista, mis töötab tarbijana või asendab seda mõõtmise ajaks. Väikse võimsuse korral on see ainuvõimalik variant.

5.3 KÕRGSAGEDUSTEL KASUTATAVAD VÕIMSUSE MÕÕTEMUUNDURID

5.3.1 Termistormuundur

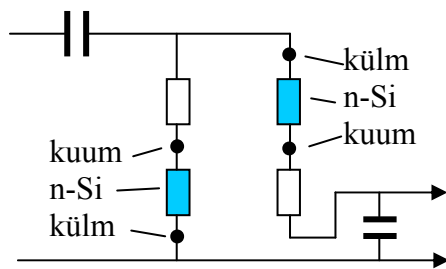
Bolomeeter on termotakisti, mille takistus oleneb temas eralduvast võimsusest. Termistor on bolomeetri eriliik, valmistatud suure temperatuurisõltuvusega pooljuhtmaterjalist.



Sildskeemi 3 õlga on võrdse takistusega $R = \rho$, neljandaks õlaks on termistor, milles mõõdetav võimsus tekitab soojenemist ning takistuse muutust. Tagasisidestatud võimendi muudab silla toitepinget seni, kuni termistori takistus saab võrdseks suurusega ρ . Kui mõõdetav võimsus P_{KS} suureneb, väheneb vastavalt silla toitepinge.

Meetodi eeliseks on, et $R_T \cong R = \text{const}$ sõltumata mõõdetavast võimsusest. Mõõtevahemik võimsuse järgi on -20 dBm kuni $+10$ dBm.

5.3.2 Termopaarmuundur

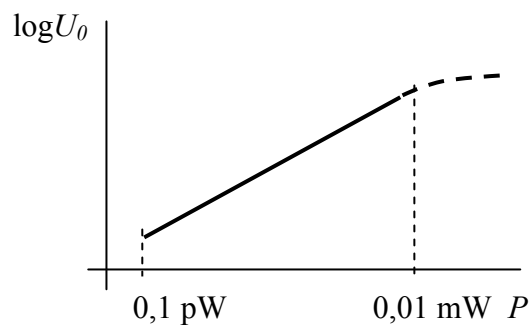
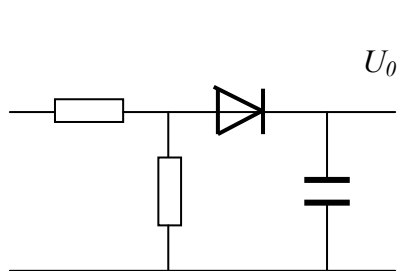


Termopaarid n-Si – kiletakisti
 – sisendi poolt 2 tk paralleelselt (50Ω)
 – alalispinge väljund 2 tk järjestikku

Mõõtevahemik – 30dBm ... + 20 dBm

Termopinge on võrdeline mõõdetava võimsusega ($200 \mu\text{V}/\text{mW}$). Tagab väga hea täpsuse alla 1 %.

5.3.3 Diodmuundur



ÜKS-diodid: Schottky diood, PDB-diood (*planar-doped-barrier*)

Mõõtevahemik – 70 dBm (100 pW) kuni – 20 dBm, sagedus kuni 100 GHz.

Väljund: 100 pW annab väljundpinge vaid ca 50 nV! Väikesel signaalil töötab diood vähesel määral mittelineaarse takistina.

Mõõteskeemis on tavaliselt kasutusel MDM-võimendi. Selles muundatakse alalispinge nelinurk-impulsspingeks ja võimendatakse vajaliku suuruseni.

Keskkonnatemperatuuri mõju vähendamiseks on sisendis 2 ühesugust muundurit ning diferentsiaallülitus. See võimaldab eraldada kõrgsagedusvõimsusele vastava signaali.