

2. Mittelineaarsed alalisvooluahelad

2.1 Mittelineaarne takisti

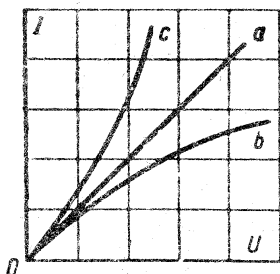
Eespool, jaotises 1.4 ja 1.5 takistust ja takisteid vaadeldes eeldati, et takistit läbiv vool on võrdeline pingega ehk takistus on püsiv suurus, mille väärtus lineaarselt muutub vaid sõltuvalt temperatuurist. Niisuguste omadustega takistit nimetatakse **lineaartakistik**s.

Elektrotehnikas ja elektroonikas on kasutusel ka mitmesugused **mittelineaartakistid**. Mittelineaartakisti takistus sõltub välismõjuritest

- temperatuurist (termotakisti: termistor ja posistor)
- pingest (varistor)
- valguskiirgusest (fototakisti)
- magnetväljatugevusest (Halli andur)
- mehaanilisest deformatsioonist (tensotakisti)

Mittelineaartakistit iseloomustab tema pinge-voolu tunnusjoon.

Pinge-voolu tunnusjooneks nimetatakse graafikut, mis iseloomustab voolu sõltuvust pingest $I = f(U)$



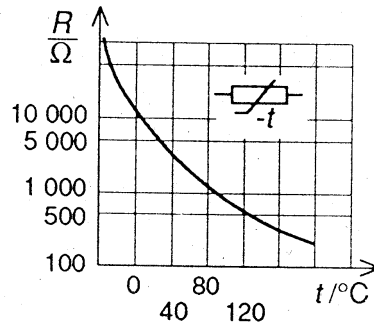
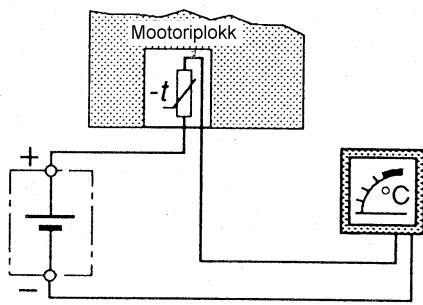
Lineaartakisti pingevoolu tunnusjoon on sirge (a), mis läbib koordinaatide algpunkti (origo). Võrdluseks on joonisel metallniidiga hõõglambi tunnusjoon (b), mis kaldub alla, ja süsiniidiga hõõglambi tunnusjoon (c), mis kaldub üles.

Termotakisti

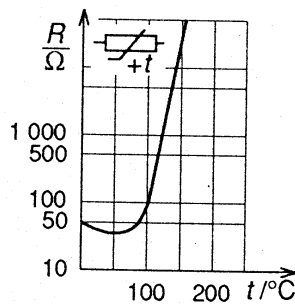
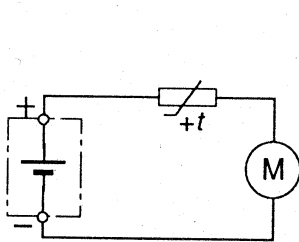
Termotakisti takistus sõltub oluliselt ning mittelineaarselt temperatuurist. Seejuures võib temperatuuritegur olla negatiivne või positiivne.

Termistor on **negatiivse temperatuuriteguriga** ehk NTC (*Negative Temperature Coefficient*) pooljuhttermotakisti. Temperatuuri tõustes termistori takistus väheneb 2...8 % kraadi kohta.

Näitena võib tuua automootori õlitemperatuuri anduri. Õli temperatuuri tõustes anduri takistus väheneb, voolutugevus ahelas kasvab ja mõõteriista osuti hälve suureneb.



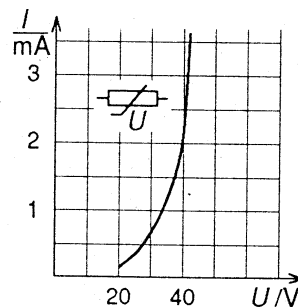
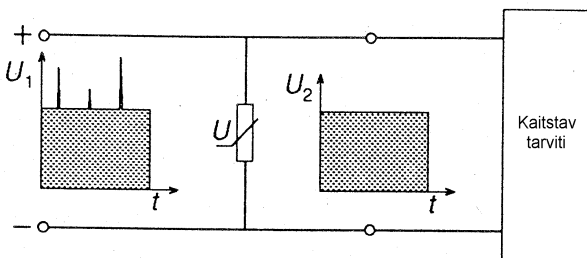
Posistor on **positiivse temperatuuriteguriga** ehk PTC (*Positive Temperature Coefficient*) pooljuht-termotakisti. Tööpiirkonnas, näiteks 50...200 °C, temperatuuri tõustes posistori takistus kasvab 10...20 % kraadi kohta.



Posistori kasutusnäiteks on autolaternate klaasipuhasti ajamimootori ahel. Kui kõik on korras, siis voolutugevus on arvestatud piires. Kui aga klaasipuhasti hari on kinni jäätanud, siis mootor ei hakka pöörlema. Suure käivitusvoolu tõttu mootori mähis ja sinna paigaldatud posistor kuumeneb kiiresti. Posistori takistus tõuseb järsult ning piirab voolu. Temperatuuri tõusul 100 kraadilt 150 kraadini kasvab posistori takistus rohkem kui sajakordseks.

Varistor

Varistor ehk VDC (*Voltage Dependent Resistor*) takisti on mittelineaarse pingevoolu tunnusjoonega pooljuhttakisti. Pinge suurenedes varistori takistus väheneb. Seda omadust kasutatakse tänapäeval eriti elektriseadmete kaitsmiseks liigpinge eest. Varistori tööpinge võib olla vahemikus 1...1000 V, töövool 1 μA ... 100 A.

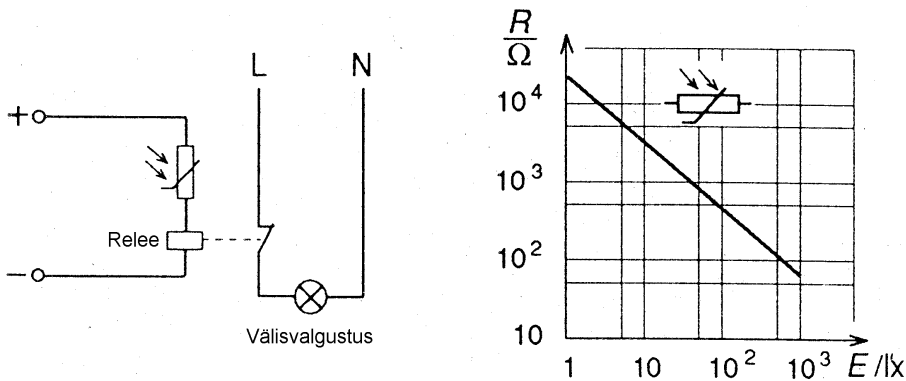


Kui tekib mingi pingepulss, siis varistori takistus väheneb ning ta juhib liigpinge tarbijast mööda.

Fototakisti

Fototakisti ehk LDR (*Light Dependent Resistor*) takisti takistus kahaneb valguse toimel. Fototakistit kasutatakse näiteks valguse juhtimise seadmetes, näiteks hämaralüliti juhtimisskeemis.

Hämaruse saabumisel releega jadamisi ühendatud fototakisti takistus suureneb, vool väheneb, lülitusrele ennistub ning lülitab valguse sisse.

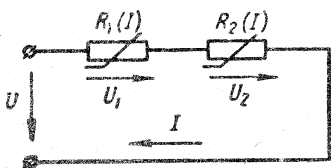


2.2 Mittelineaarne vooluahel

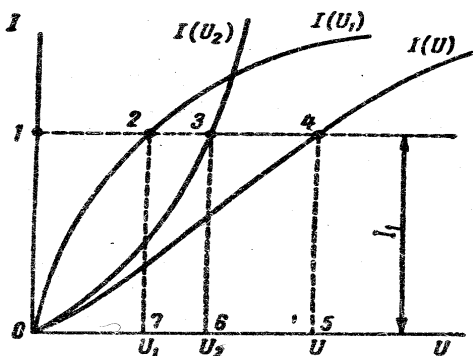
Elektriahelat, milles on kas või üks mittelineaarne osa (takisti, element), nimetatakse mittelineaarseks. Kuna mittelineaarelemendi takistus pole konstantne, siis ei saa niisugust elementi sisaldavat ahelat arvutada Ohmi seaduse järgi. Kui elemendi (või elementide) pinge-voolu tunnusjoon(ed) on teada, võib kasutada näiteks graafilist meetodit.

2.2.1 Mittelineaarelementide jadaühendus

Vaatleme kahe jadamisi ühendatud mittelineaarse elemendiga elektriahelat, mille pingevoolu tunnusjooned on teada.



Ahela arvutamiseks vaadeldakse nende tunnusjooni ühises koordinaatteljestikus. Jadaühenduses läbib mõlemat elementi sama vool I , pinge moodustub aga osapingete summast $U = U_1 + U_2$, siis on vaja liita pinged, mis vastavad samale voolule.



Valime voolu I_1 ja tõmbame rõhtteljega paralleelse sirge, mis joonise mõõtkavas vastab sellele voolule. Lõigud 1-2 ja 1-3 väljendavad nüüd osapingeid U_1 ja U_2 . Nende liitmisel saabki punkti 4, mis on ühise pinge-voolu tunnusjoone punkt. Kogupinge väärtust iseloomustab nüüd lõik 1-4. Kui samamoodi toimida teistel vooluväärtustel ning saadud punktid ühendada, saabki ühise pinge-voolu tunnusjoone $I = f(U)$.

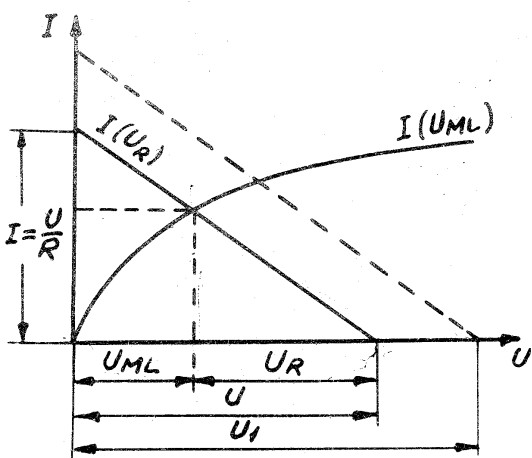
Saadud tunnusjoon võimaldab lahendada antud ahelat mitmel viisil. Kui näiteks on antud ahela kogupinge U , saab määrata voolu ja osapinged. Selleks tuleb rõhtteljel võtta kogupingele vastav lõik. Olgu see 0-5. Tõmmates nüüd punktist 5 ristsirge, saab lõikumisel pinge-voolu tunnusjoonega punkti 4. Selle punkti ordinaat väljendabki antud kogupingele vastavat voolutugevust. Kui läbi punkti 4 tõmmata rõhtjoon, siis saadud lõigud 1-2 (0-7) ja 1-3 (0-6) vastavad osapingetele U_1 ja U_2 .

Kui on teada näiteks osapinge U_2 , võib samamoodi leida voolu I ning pinged U_1 ja U .

Kui teadaoleva voolu I korral on vaja leida pingeid, tuleb võtta püstteljel voolutugevusele vastav lõik 0-1. Kui nüüd läbi punkti 1 tõmmata rõhtjoon, väljendavad lõigud 1-2, 1-3 ja 1-4 vastavalt pingeid U_1 , U_2 ja U .

Nii saab arvutada ka ahelaid, kui jadamisi ühendatud elementide arv on suurem kui kaks.

Kui on tegemist jadamisi ühendatud mittelineaarse elemendi ja lineaartakistiga R , võib ülesannet lahendada ka teisiti, mõnevõrra lihtsamalt. Selleks kantakse tunnusjooned koordinaatteljestikku nii, et ühe elemendi tunnusjoone alg- ja lõpp-punkt on omavahel vahetatud.



Kõigepealt joonestatakse mittelineaarse elemendi pingevoolu tunnusjoon $I(U_{ML})$. Lineaartakisti osapinge on

$$U_R = U - U_{ML}$$

millele vastavalt

$$I = \frac{U}{R} - \frac{U_{ML}}{R}.$$

Sellest avaldisest nähtub, et lineaartakisti pingevoolu tunnusjoon kujutab sirget, mis lõikab rõhttelge punktis, kus $U_{ML} = U$, see tähendab kogupingele

vastavas punktis, ja püsttelge punktis $I = \frac{U}{R}$.

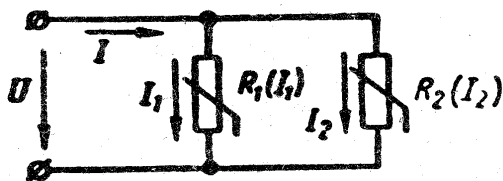
Kandes selle sirge koordinaatteljestikku, saab tunnusjoonte lõikepunktiks tööpunkti antud pingel U . Tõepoolest on see ju ainus punkt, kus mõlemas elemendis on ühesuurune vool I ja osapingete summa võrdub kogupingega $U_{ML} + U_R = U$.

Kui kogupinge väärtus muutub näiteks U_1 ni, siis paigutub lineaartakisti tunnusjoon endaga rööbiti ümber nii, et ta läbib rõhtteljel punkti U_1 . Joonisel tähistab seda punktiirjoon.

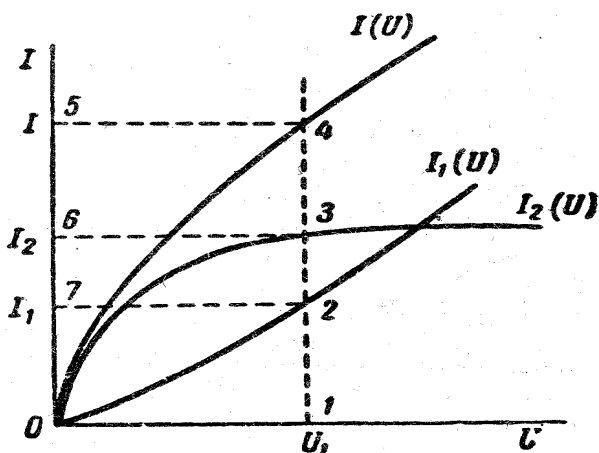
2.2.2 Mittelineaarelementide rööpühendus

Kahe mittelineaarse elemendi rööpühenduse korral on elementide pinged võrdsed ja üldvool võrdub haruvoolude summaga

$$I = I_1 + I_2.$$



Ühise pingevoolu tunnusjoone leidmiseks tuleb konkreetse pingeväärtuse korral liita elementide pingevoolu tunnusjoonte vooluväärtused, nagu joonisel näha. Pingel U_1 (lõik 0-1) on voolude I_1 (1-2) ja I_2 (1-3) summaks I lõik 1-4.



Olgu antud pingel U_1 juures vaja leida haruvoolud ja üldvool. Selleks tuleb kanda rõhtteljele pingel U_1 väljenduseks.

Kui nüüd punktist 1 tõmmata rõhtjoon, väljendavad punktid 2, 3, ja 4 vastavalt voolusid I_1 , I_2 ja I .

Kui on teada näiteks ühe haru vool, näiteks I_2 , saab leida pinge U ning voolud I_1 ja I . Selleks tuleb esmalt määrata püstteljel punkt 6, mille kaugus koordinaatide algpunktist väljendab mõõtkavas voolutugevust I_2 . Siis tuleb läbi selle punkti tõmmata rõhtjoon kuni lõikumiseni kõveraga $I_2 = f(U)$ punktis 3. Tõmmates sealt vertikaali punktini 1 saab lõigu 0-1, mis pinge mõõtkavas väljendab ahelale rakendatud pinget U . Lõik 1-2 väljendab voolu I_1 ja lõik 1-4 üldvoolu I .

Just samamoodi tuleb toimida, kui mittelineaarse elemendiga rööbiti on ühendatud lineaarne element.