

2011

Elektromehaanilised mõõteriistad

Mõõteriistade mõõtemehhanismid ja
nende mõõtepiirkonna laiendamine

Materjalis käsitletakse levinud elektromehaaniliste mõõteriistade ehitust ning
mõõtepiirkonna laiendamist.



Sisukord

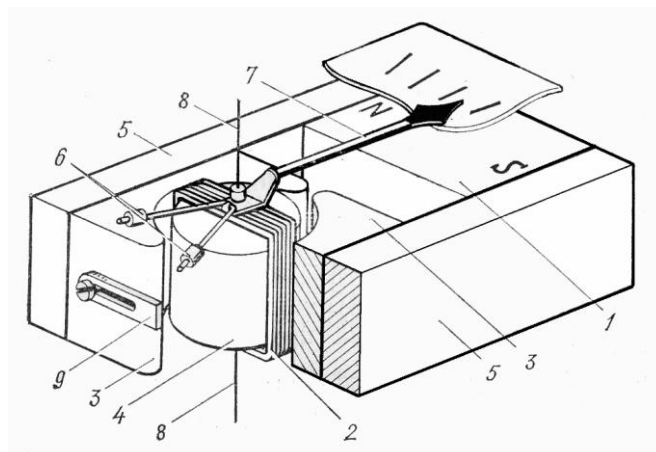
| | |
|---|----|
| Magnetelektriline süsteem | 4 |
| Magnetelektriline mõõtemehhanismi kasutamine vahelduvvooluga | 6 |
| Magnetelektrilise ampermeetri mõõtepiirkonna laiendamine | 7 |
| Magnetelektrilise voltmeetri mõõtepiirkonna laiendamine..... | 8 |
| Elektromagnetiline süsteem | 10 |
| Elektromagnetiline ampermeetri ja tema mõõtepiirkonna laiendamine vahelduvvoolu ahelas | 12 |
| Elektromagnetilise voltmeetri mõõtepiirkonna laiendamine vahelduvvoolu ahelas..... | 14 |
| Elektrodünaamiline süsteem..... | 15 |
| Ferrodünaamiline süsteem | 16 |
| Induktsioonsüsteem..... | 17 |
| Elektrostaatiline süsteem..... | 18 |

Magnetelektriline süsteem

Kõikide magnetelektriliste seadmete töö põhineb püsिमagnetilise magnetvälja ja mähist läbiva voolu vastastikusel toimel.

Paigutades vooluga juhtme püsिमagnetilise magnetvälja, hakkab mõjuma sellele jõud, mille suund on määratud vasaku käe reegli järgi:

Kui magnetjõujooned on suunatud vasaku käe peopessa ja voolu suund juhtmes ühtib väljasirutatud sõrmede suunaga, siis näitab kõrvalesirutatud põial mõjuva jõu suunda.



Magnetelektriline mõõtemehhanism koosneb tugevast püsिमagnetist 1, pooluskingadest 3, silindrilisest südamikust 4 ja magnetahelast 5. Poolusekingad ja ferromagnetiline südamik on vajalikud selleks, et õhupilus oleks radiaalne ühtlaselt jaotatud magnetväli. Mehhanismi liikuvaks osaks on alumiinium karkassile mähitud vask või alumiinium traadist mähis - raam 2. Õhupilus olevaid raamikülgi nimetatakse aktiivkülgedeks. Raami külge on kinnitatud poolteljed 8 tasakaalustus raskuste 6, vastumomendi vedru ja osutiga 7. Vool juhitakse mähisesse läbi spiraalvedrude.

Ühele aktiivküljele mõjuva jõu väärtuse leidmiseks kasutatakse järgmist valemit:

$$F = B \times l \times \omega \times I$$

Kus:

F - ühele aktiivküljele mõjuv jõud

B - magnetiline induktsioon õhupilus [T]

l - aktiivkülje pikkus [m]

ω - mähise keerdude arv

I - mähist läbiv vool

Voolu läbimisel läbi mõõteriista mähise tekkiv jõud tekitab pöördemomenti, mis on leitav järgmise valemi järgi:

$$T = 2F \times \frac{b}{2} = F \times b = Bl\omega l b = BS\omega l$$

Kus:

T - Raamile mõjuv pöördemoment [N·m]

S - raami pindala $S = l \times b$

b/2 - õlg

Liikuva osa pöörlemisel vedrud deformeeruvad ning avaldavad vastumomenti.

$$T_V = D \times \alpha$$

Kus:

T_V - vastumoment [N·m]

D - vedrude vastumoment [N·m], selle väärtus on määratud vedru konstruktsiooniga

α - raami pöördenurk (hälve)

Osuti peatub asendis, kus on saavutatud tasakaalu tingimus, mil pöördemoment on võrdne vastumomendiga.

$$T = T_V$$

$$BS\omega l = D \times \alpha$$

$$\alpha = \frac{BS\omega}{D} \times l$$

Kus:

α = S_i · I - Raamile mõjuv pöördemoment [N·m]

S_i - mehhanismi tundlikus voolu järgi. Mehhanismi tundlikus ja mõõteriista tundlikus on erinevad.

Valemist järeldub, et magnetelektrilise mõõtemehhanismiga mõõteriista skaala on lineaarne.

Magnetelektrilise mõõtemehhanismi eelised:

- Endamagnetväi on tugev, seepärast ei mõjuta välised magnetväljad mehhanismi tööd
- Skaala on lineaarne
- Hälve on võrdeline vooluga
- Väike omatarve
- Väga täpne

Magnetelektrilise mõõtemehhanismi puudused:

- Keeruline ehitus
- Vool juhitakse mähisesse läbi spiraalvedrude
- Ei talu ülekoormusi
- On mõeldud voolule kuni 50mA
- Töötab alalisvoolul, vahelduvvoolul töötamiseks läheb vaja muundurit

Magnetelektriline mõõtemehhanismi kasutamine vahelduvvooluga

Magnetelektrilise mehhanismi kasutamisel vahelduvvooluga ei ole võimalik ilma muutuste sisseviimiseta mehhanismi konstruktsiooni.

Vahelduvvoolu mõõtemehhanismi läbimisel muutub pöördemoment võrdeliselt vooluga.

$$T = BiS\omega = BI_m S\omega \sin \omega t = T_m \sin \omega t$$

Kus:

$$i = I_m \sin \omega t$$

Juhul, kus liikuva osa inertsimoment ja omavõnkeperiood on piisavalt suured, siis liikuva osa hälve normaalsagedusel (50 Hz) on määratud keskmise pöördemomendi väärtusega.

$$T_k = \frac{1}{T} \int_0^T M dt = \frac{1}{T} \int_0^T T_m \sin \omega t dt = 0$$

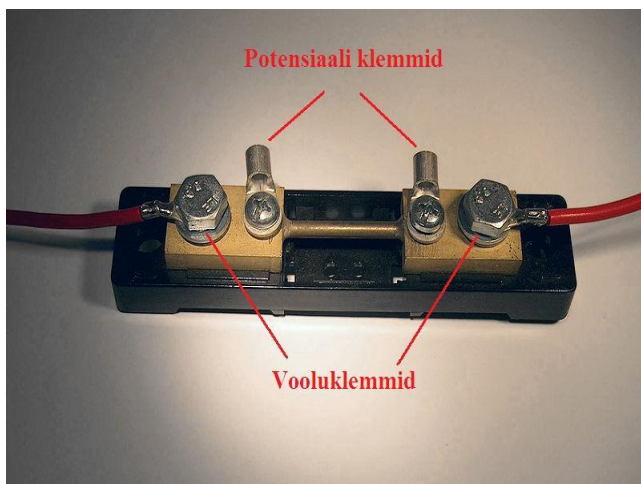
Järelikult siinuselise voolu juures pöördemomendi keskmine väärtus ja ka liikuva osa hälve on võrdne nulliga.

Magnetelektrilise mõõtemehhanismi on võimalik kasutada vahelduvvoolu ahelates järgmistel juhtudel:

- **kui liikuv osa omab mõõdetava voolu perioodist väiksemat inertsimomenti ja omavõnke perioodi (vibratsioonigalvanomeetrid);**
- **kui magnetelektrilist mehhanismi kasutada alaldiga või termomuunduriga (termoelektrilised mõõteriistad).**

Magnetelektrilise ampermeetri mõõtepiirkonna laiendamine

Magnetelektriline ampermeeter on väga täpne kuid on mõeldud väikse voolu mõõtmiseks (kuni 50mA). Sellise ampermeetri mõõtepiirkonna laiendamiseks kasutatakse šunti.



Šunt on takisti, mis on valmistatud manganiintraadist, -lindist või -latist, mis on kinnitatud kahe paari klemmidega varustatud latile. Manganiini temperatuuri tegur on ligilähedane nullile, seega temperatuuri muutudes jääb tema takistus praktiliselt konstantseks. Suuremad klemmid, mida nimetatakse vooluklemmideks on ettenähtud šundi vooluringi ühendamiseks, teine potentsiaali klemmid, ampermeetri

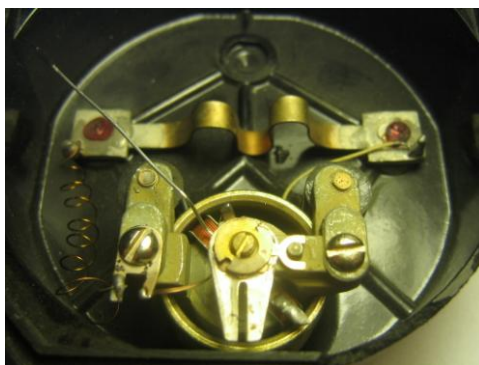
ühendamiseks. Kahe paari kontaktide kasutamine võimaldab vältida kontakti üleminekutakistuse mõju mõõteriista näidule. Šundil peab olema piisavalt suur ristlõige, mis väldib ta ülekuumenemise.

Šundid jagatakse sisesteks ja välisteks ning individuaalseteks ja kalibreerituiks.

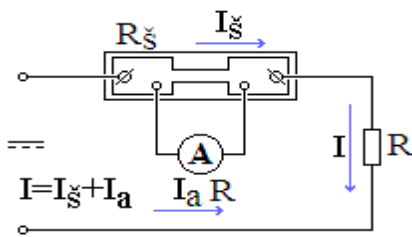
- Sisesed šundid paiknevad mõõteriista korpuses.
- Välsed šundid on mõõteriistast eraldiseisvaid detaile, mis ühendatakse mõõteriistaga spetsiaalsete juhtmete abil.
- Individuaalseid šunte tohib kasutada vaid mõõteriistaga, mille jaoks ta on kalibreeritud.
- Kalibreeritud šunti võib kasutada iga ampermeetriga.

Šunte valmistatakse voolule kuni 6000A.

Šunt ühendatakse vooluringi jadamisi mõõdetavale voolule.



Sisemise šundiga ampermeeter



Ühendades ampermeetri antud skeemi järgi, läbib šunti vool $I_{\text{š}}=U/R_{\text{š}}$, kus $R_{\text{š}}$ on šundi sisetakistus, mis on leitav:

$$R_{\text{š}} = \frac{R_A}{p - 1}$$

Kus:

p - šunteerimistegur, mis näitab mitu korda on vaja mõõtepiirkonda laiendada.

$$p = \frac{R_A}{R_{\text{š}}} + 1 = \frac{I}{I_n}$$

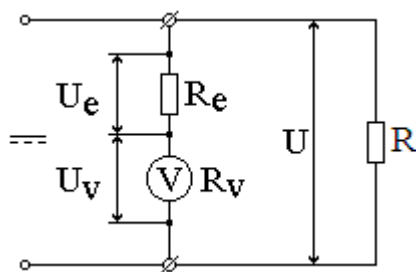
Kus:

I - mõõdetav vool I_n - ampermeetri niminäit (ampermeetri mõõteulatus)

Magnetelektrilise voltmeetri mõõtepiirkonna laiendamine

Magnetelektrilise voltmeetri ehitus on samasugune nagu magnetelektrilisel ampermeetril. Ainsaks erinevuseks on mõõtemähise lubatav nimivool, mis on vahemikus 1-7.5mA.

Voltmeetri mõõtepiirkonna laiendamiseks lülitatakse mõõtemehhanismiga jadamisi eeltakisti. Sarnaselt šundiga on ka eeltakisti valmistatud manganiinist, sest temperatuuri muutudes jääb selle takistus praktiliselt konstantseks.



- R_e - eeltakisti
- R_v - voltmeetri sisetakistus
- U_e - eeltakistil tekkiv pingelang
- U_v - voltmeetril tekkiv pingelang

Toitepinge U on kõrgem voltmeetri mõõtepiirkonnast U_n . Ühendades voltmeetriga jadamisi eeltakisti, tekib viimasel pingelang $U_e=I_v \cdot R_e$, mille tagajärjel voltmeetrile mõjuv osapinge jääb lubatavatesse piiridesse.

Sobiva takistusega eeltakisti leidmiseks kasutatakse järgmist valemit:

$$R_e = R_V \times (p' - 1)$$

Kus:

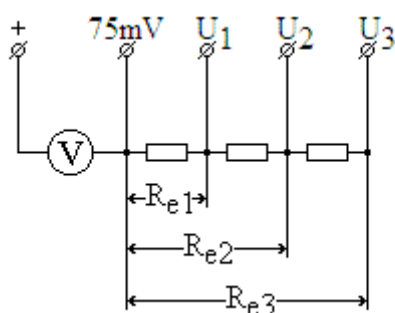
- **p'** - tegur, mis näitab, mitu korda on mõõdetav pinge suurem voltmeetril olevast pingest. Samuti nagu šunteerimistegur näitab ka see, mitu korda on vaja suurendada voltmeetri mõõtepiirkonda.

Eeltakistid jagunevad:

- **Sisesteks**, mis on paigutatud voltmeetri korpusesse.
- **Välisesteks**, mis on valmistatud eraldi detailina ning paigutatud korpusesse.

Välised jagunevad omakorda:

- **Individaalseteks**, mida tohib kasutada vaid sellele eeltakistile gradueeritud mõõteriistaga;
- **Kalibreerituks**, mida tohib kasutada iga mõõteriistaga, mille nimivool ei ületa eeltakisti nimivoolu.



Mitme piirkonnaga eeltakisti ühendusskeem.

Elektromagnetiline süsteem

Elektromagnetilise mõõtemehhanismi tekitab liikuva osa pöörlemine mõõdetava voolu ja ühe või mitme ferromagnetilisest materjalist südamik magnetväljade vastastikusel toimel.

Neid mehhanisme tehakse lameda ja ümarpooliga.



Lameda pooliga mõõtemehhanismides on kohtkindla pooli mähis mähitud alusele. Liikuvale völli on kinnitatud terasmähis koos osuti, tasakaalustusraskused, spiraalvedrud ja magnetinduktsioonsummuti alumiiniumsektor.

Mähist läbiv alalisvool tekitab magnetvälja, mille tulemusel magnetiseerub südamik. Sellejuures tekitab jõud, mis tõmbab südamiku pooli ja üritab paigutada seda selliselt, kus magnetväljas salvestunud $W_m = L \cdot (I^2/2)$ energia omandab

suurima väärtuse.

Mõningaste avaldamistega võime leida liikuvale osale mõjuvat pöördemomendi:

$$M = \frac{dW_m}{d\alpha} = \frac{I^2}{2} \times \frac{dL}{d\alpha}$$

Kus:

$dL/d\alpha$ - suurus, mis väljendab pooli induktiivsuse muutumise kiirust südamiku pöördumisel.

Kuna südamiku kuju ja asend pooli suhtes muutub, võib saada mitmesuguseid sõltuvusi:

$$\frac{dL}{d\alpha} = f(\alpha)$$

Lugedes aga $dL/d\alpha$ konstantseks, saame

$$M = M_v = D\alpha$$

kust, liikuva osa [hälve](#):

$$\alpha = \frac{k_1}{D} \times I^2 = k_2 I^2$$

Millest järeldub, et liikuva osa hälve on võrdeline voolu ruuduga. Seega on mõõteriista skaala kvadratuurne, algosas kokku surutud ja lõpposas välja venitatud.





Ümarpooliga mõõtemehhanism koosneb liikumatust ümarpoolist ja liikuvast poolist. Liikumatu pooli sees on samuti liikumatu magnetpehme teras südamik. Völlile on kinnitatud teine (liikuv) südamik, osuti, tasakaalustus-raskused, spiraalvedru, magnetinduktsioonsummuti ja alumiiniumsektor.

Välise magnetväljade mõju mõõtemehhanismile vähendamiseks on pool ümbritsetud varjega.

Kui mähist läbib vool, siis südamikud magnetiseeruvad ühenimeliselt ning tõukuvad, mille tulemusel mõjub liikuvale poolile pöördemoment.

Vahelduvvoolu toime põhjustab südamikus ja muudes metallosades pöörisvoolu, mis mõjuvad südamikule lahtimagneetivalt. Seepärast on vahelduvvoolupuhul mõõteriista näit natukene väiksem kui alalisvoolu puhul. Tavapärasel sagedusel (50Hz) on aga pöörisvoolude mõju mehhanismi näidule tähtsusetu. Mõõteriista skaala gradueeritakse suurenevate ja vähenevate suuruste keskmiste väärtustena. Mõõteriista ülesseadistamisel tuleb arvestada, et mõõteriista enda magnetväli on väike ja välised magnetväljad tekitavad lisaviga.

Elektromagnetiliste mõõteriistade eelised:

- on kasutatavad nii alalis- kui vahelduvvoolu mõõtmiseks;
- taluvad ülekoormust;
- lihtne konstruktsioon.

Puudused:

- mittelineaarne skaala;
- tunduv omatarbevõimsus;
- näidu sõltuvus välistest magnetväljadest.

Elektromagnetiline ampermeetri ja tema mõõtepiirkonna laiendamine vahelduvvoolu ahelas

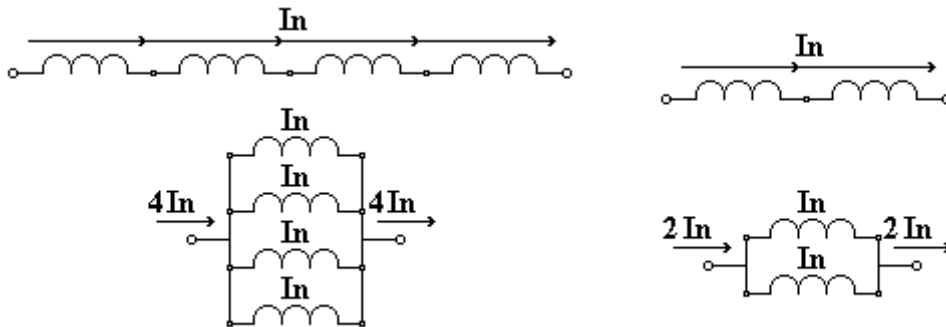
Ampermeetrites läbib kogu vool mõõtemehhanismi liikumatut pooli mähist ja skaalal on sellele vastavalt kantud jaotised. Selle mähis valmistatakse juhtmest, mille ristlõige on määratud nimivooluga, lähtudes lubatud soojenemisest.

Ampermeetri mähis omab nii aktiiv- kui reaktiivtakistust ning sellest tekkiv pingelang on küllaltki suur - 400mV piires. Sellel põhjusel ei ole šundi kasutamine otstarbekas.

Elektromagnetilise ampermeetri mõõtepiirkonna laiendamiseks on kaks võimalust:

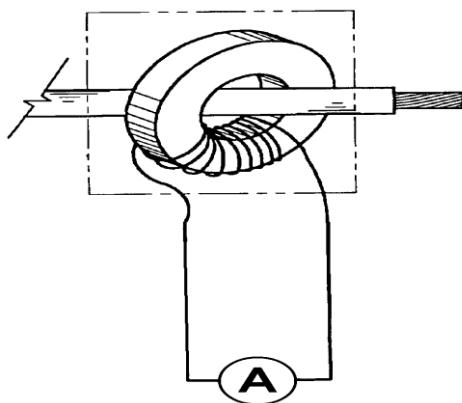
- mähiste seksioneerimise teel,
- voolutrafo abil.

Mitmepiirkonnaliste ampermeetrite poolid koosnevad kahest või neljast osast ehk seksioonist. Mõõtepiirkonna muutmiseks on võimalik neid mähiseid erinevalt lülitada (seksioneerida).



Lülitades mähised jadamisi läbib neid nimivool I_n , rööbiti kahe või neljakordne nimivool.

Selle meetodi puuduseks on mähiste suured gabariitmõõtmed, mis piiravad kasutust.



Voolutrafo koosneb südamiktüüpi magnetahelast ja kahest mähisest. Primaarmähis valmistatakse suureristlõikega traadist. Mähisel on väike keerdude arv, ta on mõeldud suurele voolule. Primaarmähist ühendatakse ahelasse mõõdetavale voolule ehk jadamisi. Sekundaarmähis on suure keerdude arvuga. Valmistatakse väikses ristlõikega traadist ja on mõeldud voolule 5A (harvem 1A). Sekundaarmähisega ühendatakse ampermeetrite ja vattmeetrite voolumähised, mille takistus on väike. Järelikult voolu trafo töötab talitluses, mis on ligilähedane lühisele.

Trafo ülekandeteooria leidmiseks, kasutame järgmist valemit:

$$K_I = \frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{I_{1n}}{I_{2n}} = \frac{I_1}{I_2}$$

Kus:

ω_1 - primaarmähise keerdude arv

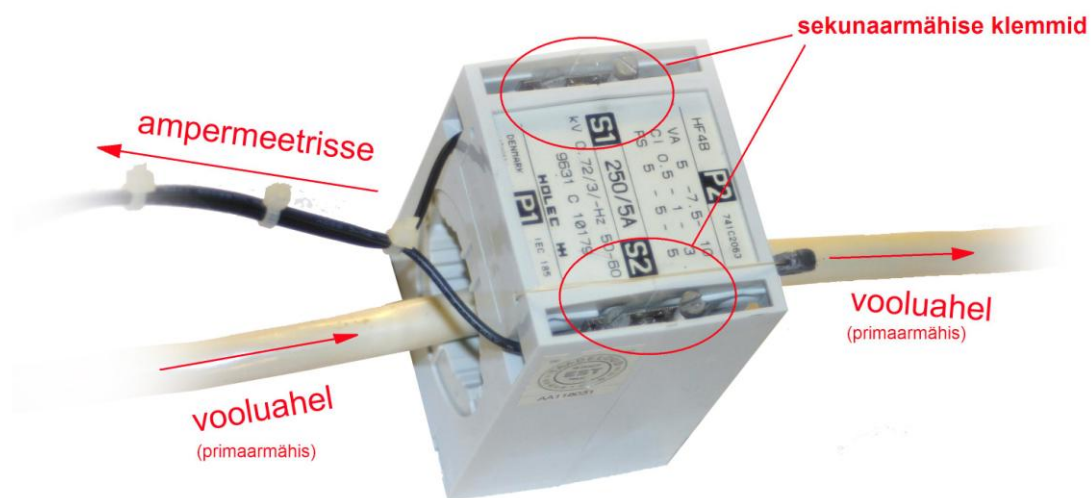
ω_2 - sekundaarmähise keerdude arv

I_{1n} - primaarmähise nimivool

I_{2n} - sekundaarmähise nimivool

I_1 - primaarmähist läbiv vool

I_2 - sekundaarmähist läbiv vool



Elektromagnetilise voltmeetri mõõtepiirkonna laiendamine vahelduvvoolu ahelas

Elektromagnetiline voltmeeter on samasuguse ehitusega nagu elektromagnetiline ampermeeter. Ainsaks erinevuseks on voltmeetri mähise parameetrites. Nende mähised valmistatakse nimivoolule 25-50mA ning väiksema mõõteulatusega (1,5; 7,5; 15A) voltmeetrites kuni 200mA.



Voltmeetri mõõtepiirkonna laiendamiseks vahelduvvoolu ahelas kasutatakse **pingetrafo**. Pingetrafo sarnaneb oma ehituselt tavalisele võimsustrafole kui omab väiksemaid gabariite. See koosneb kahest mähises (primaarmähises ja sekundaarmähisest) ja südamiktüüpi magnetahelast.

Joonisel on kujutatud kahte pingetrafo. Esimene neist (tähistatud numbriga 1) on mõeldud kasutamiseks välistingimustes ning teine (tähistatud numbriga 2) on mõeldud kasutamiseks vaid sisetingimustes.

Pingetrafo primaarmähis on tehtud suure keerdude arvuga ning väikese ristlõikega traadist. Primaarmähis lülitatakse ahelasse, kus tahetakse pinget mõõta. Järelikult on see mõeldud suurele pingele.

Pingetrafo sekundaarmähis on valmistatud väikese keerdude arvuga ning suure ristlõikega traadist. Sekundaarmähis on mõeldud pingele 100V, $100 \cdot \sqrt{3}$ V ja $100/\sqrt{3}$ V.

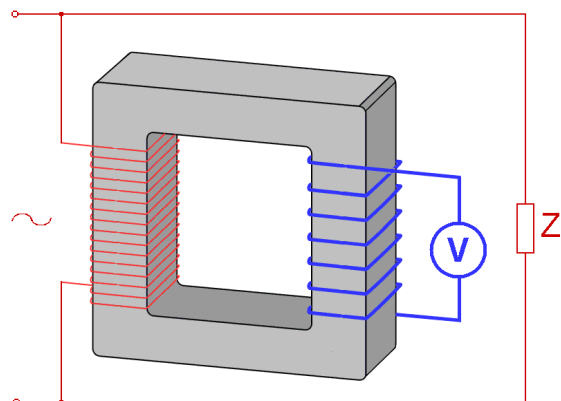
Pingetrafo töötab talitluses, mis on ligilähedane **tühijooksule**. Seletatav on see voltmeetrite ja vattmeetrite pingemähiste suure takistusega.

Ülekandeteguri arvutamiseks kasutame järgmist valemit:

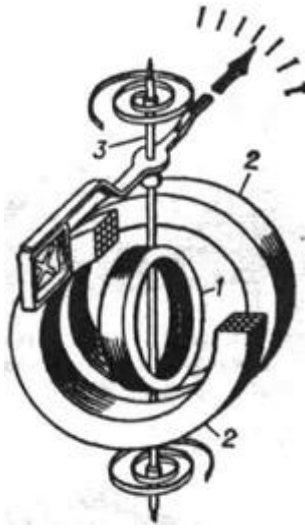
$$K_U = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{U_{n1}}{U_{n2}} = \frac{U_1}{U_2}$$

Kus:

- ω_1 - primaarmähise keerdudearv
- ω_2 - sekundaarmähise keerdudearv
- U_{n1} - primaarmähise nimipinge
- U_{n2} - sekundaarmähise nimipinge
- U_1 - pinge primaarmähisel
- U_2 - pinge sekundaarmähisel



Elektrodünaamiline süsteem



Elektrodünaamilise mehhanismi töö põhineb kohtkindlat ja liikuvat mähist läbivate voolude vastastikusel toimel.

Mehhanism koosneb kahest poolist: liikuvast 1 ja kohtkindlast 2. Kohtkindel pool jaotatakse tihti kaheks osaks ning selle sisse paigutatakse osutiga ühisele teljele liikuv pool. Spiraalvedru on ettenähtud voolu juhtimiseks liikuvasse pooli ning samaaegselt vastumomendi tekitamiseks. Samal teljel paikneb ka õhksummuti, mille ülesandeks on vähendada liikuva süsteemi võnkumist püsiva hälbe asendi ümber.

Kui mõõteriista poole läbivad alalisvoolud I_1 ja I_2 , siis tekib magnetväli, milles salvestub energia. Nende voolude vastastikune toime tekitab pöördemomenti, mis mõjub liikuvale poolile ja püüab seda pöörata asendisse, kus poolide magnetvälja energia on suurim. Pöördemoment ei olene ainult vooludest mähises, vaid ka poolide vastastikusest asendist. Pöördemoment põhjustab liikuva pooli pöördumise seni, kuni ta tasakaalustatakse vastumomendiga $T=T_v$.

Elektrodünaamilise mõõtemehhanismi pöördemoment ja liikuva osa hälve on võrdelised mähise voolude korrutisega. Vahelduvvoolu korral on pöördemoment ja liikuva osa hälve olenevad poole läbivate voolude efektiivväärtuste ja nende vahelise faasinihke nurga koosinuse korrutisest.

Pöördemoment on leitav järgmise valemiga:

$$T=K \cdot I_1 \cdot I_2$$

Kus:

- K - võrdetegur, mille väärtus sõltub poolide kujust ja nende mõõtmetest.
- I_1 - vool paigalseisvas poolis
- I_2 - vool liikuvast poolis

Vahelduvvoolu puhul:

$$T=K \cdot I_1 \cdot I_2 \cdot \cos\varphi$$

Kus:

- I_1 - voolu efektiivväärtus paigalseisvas poolis
- I_2 - voolu efektiivväärtus liikuvast poolis
- φ - faasinihe voolude I_1 ja I_2 vahel

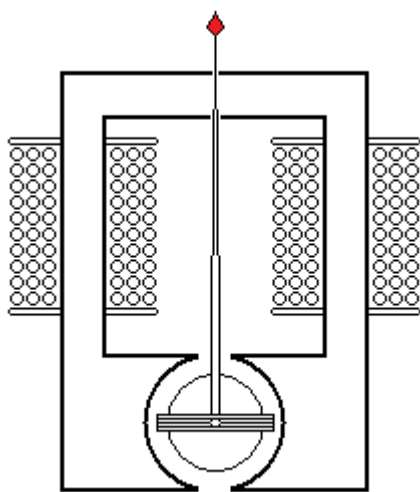
Mehhanismi nõrga magnetvälja tõttu on ta tugevasti mõjutatud välistest magnetväljadest. Lisavea vähendamiseks valmistatakse astaatilisi mõõtemehhanisme, kus on kaks liikuvat pooli ning kaks liikumatut pooli. Kohtkindlate ja liikuvate poolide magnetväljad on vastassuunalised. Seetõttu on poolides voolavate voolude tekitatud pöördemomendid samasuunalised. Selle tulemusena välise magnetvälja mõjul tekitatud pöördemomendi kasv ühes liikuvast poolis, kompenseeritakse sama suure pöördemomendi vähenemisega teises liikuvast poolis.

Teiseks väliste magnetväljade põhjustatud lisavea vähendamise võtteks on mõõtemehhanismi varjestamine. Varjestamise materjaliks sobib kõige paremini

permalloid, millel on väikse väljatugevuse juures suur magnetiline läbitavus.

Seoses nõrga magnetväljaga on elektrodünaamilistel mõõtemehhanismidel suhteliselt väike pöördemoment. See asjaolu raskendab kõrge täpsusklassiga mõõteriistade tootmist. Täpsusklassi suurendamiseks tuleb vähendada hõõrdeviga, mis on saavutatav liikuva osa kaalu vähendamisega, hoolika telgede ja laagrite materjali valikuga ning selle laitmatu töötlemisega. See aga tingib mõõteriistade maksumuse suurenemist ning mõõteriista tundlikust ülekoormustele ja mehaanilistele mõjutustele. Sestap nõuavad nad hoolikat ja tähelepanelikumat suhtumist ning teenindamist.

Ferrodünaamiline süsteem



Ferrodünaamiline mõõtemehhanism kujutab endast elektrodünaamilise mõõtemehhanismi eriliiki. Nende erinevuseks on magnetiliselt pehmest materjalist valmistatud magnetiring.

Mehhanism koosneb kaheks jagatud kohtkindlast mähisest, mis on paigutatud lehtterasest valmistatud südamikule. Õhupilu ümbritseb silindrilist südamikku, millega ühisele teljele on paigutatud liikuv mähis. Vältimaks induktsoonvoolude tekkimist karkassis on see valmistatud mittemetallilisest materjalist.

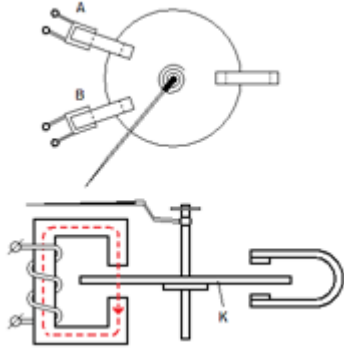
Õhupilus tekkiva tugeva homogeense magnetvälja tihedus on võrdeline kohtkindla pooli vooluga. Nende vastastikusel toimel tekkiv pöördemoment on samuti nagu elektrodünaamilisel süsteemil võrdeline poolivoolude efektiivväärtuste ja faasinihkenurga koosinuse korrutisega.

Magnetringi vähese tõkestuse tõttu saadakse õhupilus küllaltki suur magnetvoo tihedus ja seega ka suur pöördemoment. Suur pöördemoment võimaldab suurendada liikuva osa kaalu ilma, hõõrdeviga suurenemiseta. Selle tõttu on selle süsteemi liikuv osa küllaltki tugev.

Suur magnetvoo tihedus õhupilus teeb mõõteriista näidu praktiliselt sõltumatuks välistest magnetväljadest, kuid sealjuures terase kasutamine põhjustab hüstereesi ja pöörisvoolude komponentide tekkimise.

Induktsioonsüsteem

Induktsioonsüsteemis toimub liikuva osa pöörlamine vahelduvate magnetvoogude vastastikusel toimel vooludega, mis indutseeritakse mehhanismi pöörlevas osas.



Elektromagnetite "A" ja "B" magnetvälja on paigutatud osutiga ühisele teljele alumiiniumkettas. Elektromagnetites voolavad siinuselised voolud I_1 ja I_2 põhjustavad mähistes magnetvood ϕ_1 ja ϕ_2 . Kuna voolud on I_1 ja I_2 on nurga ψ võrra üksteisest nihutatud, on ka magnetvood sama nurga võrra nihkes. Need magnetvood indutseerivad kettas elektromotoorjõud E_1 ja E_2 , mis on magnetvoodest 90° maas. Indutseeritud elektromotoorjõudude tulemusel tekkivad pöörisvoolud i'_1 ja i'_2 .

Magnetvoode ja pöörisvoolude vastastikusel toimel tekkib kaks pöördemomenti T_1 ja T_2 .

Kettale mõjuv resulteeriv pöördemoment:

$$\mathbf{T} = \mathbf{T}_1 - \mathbf{T}_2 = k_3 f \phi_{m1} \phi_{m2} \sin \psi$$

Induktsioonsüsteemi pöördemoment oleneb vahelduvvoolu sagedusest, ketast läbivatest magnetvoogudest, nende vahelistest nihkenurgast ja ketta elektritakistusest.

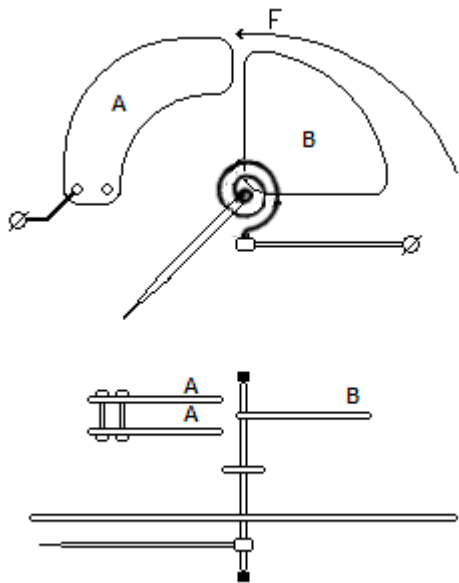
Kui mehhanismi kasutatakse vattmeetrina, siis vastumoment tekitatakse spiraalvedruga. Seejuures nii pöördemoment kui ka liikuva osa hälve on *proportsionaalne vahelduvvoolu sageduse, ketast läbivate magnetvoogude ja nende vahelise nihkenurga siinuse korrutisega või sageduse, magnetvooge tekitavate voolude efektiivväärtuste ja efektiivväärtuste ja nihkenurga siinuse korrutisega.*

Välised magnetväljad mehhanismi tööd praktiliselt ei mõjuta, kuna enda magnetväli on küllaltki suur. Ka suure pöördemomendi tõttu on võimalus mehhanism konstrueerida tugeva liikuva osaga, mis teeb selle vastupidavaks ülekoormustele. Temperatuuri muutus mõjutab mähise aktiivtakistust ja ketta takistust ning seega ka mehhanismi näitu.

Joonisel on näidatud püsimagnt, mis vattmeetrises täidab summuti osa, kuid elektrienergia arvestites avaldab see pidurdusmomenti.

Elektrostaatiline süsteem

Elektrostaatilistes mõõtemehhanismides kasutatakse kahe või enama laetud juhtme vastastikust toimet liikuva osa hälbe tekitamiseks.



Mehhanism koosneb kahest, üks teise alla paigutatud, liikumatust metallplaadist "AA" ja ühest osutiga ühisele teljele paigutatud alumiiniumplaadist "B".

Alalisvoolu toimel laaduvad metallplaadid AA ühenimelise, alumiiniumplaat B aga teisenimeliselt elektrilaenguga. Plaatide vahel tekib elektriväli, mille jõudude mõjul tõmbub liikuv plaat liikumatute vahele. Seejuures püüab liikuv plaat võtta sellise asendi, mille juures elektriväljas salvestatud energial on maksimaalne väärtus.

Mõõteriista hälbe on võrdeline alalispinge ruudu ja vahelduvpinge efektiivväärtuse ruuduga, millest järeldame, et skaala on

kvadratuurne

Elektrostaatilisi mõõtemehhanisme valmistatakse nimipingele 1...15 kV. Nendest valmistatakse kõrgepinge voltmeetreid.

Erinevalt teistest vaadeldud mehhanismidest, ei olene elektrostaatilise mehhanismi näit välistest magnetväljadest. Küll aga välistest elektriväljadest, sest süsteemi enda elektriväli ei ole suur. Väliste elektriväljade mõju vähendamiseks kasutatakse metallvarjet, mis on ühendatud voltmeetri ühe klemmiga. Mehhanismi omatarve alalisvoolu puhul on null, vahelduvvoolu puhul on see määratud mahtuvusega, mis ei ole eriti suur (4...50pF).