

Voolutrafod.

Koostas: Vello Zupsmann

Elektroenergeetikas on voolutrafodel (VT) põhiliselt kaks ülesannet,

- a. Vooluandur mõõteriistadele
- b. Vooluandur releekaitseseadmetele (RK)

Üldiseks põhinõudeks peale termilise ja dünaamilise sobivuse vastavasse võrguossa, on nn **täpsusnõuded**, kuna need on kahe eelneva grupi jaoks väga erinevad, siis ühes VT-s on erinevate omadustega südamikud, nn mõõtesüdamikud ja RK südamikud, ehk teisiti elementaarvoolutrafod.

* Mõõte VT -de üldnõuded:

- a. VT peab käituma nii et võrgu lühistel ei rikutaks mõõteriistu, selleks valmistatakse südamikud nii et suurte voolude (lühiste) puhul südamik küllastuks ja sek. vool ei ületaks mõõteriista max taluvusvoolu.
- b. VT peab rahuldama toidetavate mõõteriistade poolt esitatavad täpsusnõuded

* RK VT-de (südamike) põhinõue on see, et nad käituksid piisavalt täpselt just lühisolukorras, seega

- a. VT ei tohiks küllastuda toidetava RK sätestuse väärtustel, et tagada vajalik täpsus.
- b. Üldiseks rahuldavaks täpsuseks RK tootmisel peetakse viga 10%, mõned RK seadmed võivad lisaks siiski nõuda ka veel muid spetsiifilisemaid omadusi.

Voolu mõõtmise seisukohalt on releekaitses voolutrafodes kahte liiki olukordi,

- a. Primaarahela vool on perioodiline, sümmeetriline st. voolu aperioodiline komponent on kas sumbunud või pole tekkinud (lühiste käsitlemisel enamuses teoreetiline)
- b. Primaarahela voolus on nii perioodiline (pr) komponent kui ka aperioodiline (apr) komponent, st kogu vool on asümmeetriline, kusjuures lühisolukorras töötavad VT-d just sellises suurema või väiksema primaarvoolu asümmeetria tingimustes.

VT-de käitumine eelnevatel juhtudel on oluliselt erinev ja põhierinevuseks on VT küllastuse erinevus,

- a. VT küllastumine perioodilisest primaarvoolust (pr küllastus) - tulemuseks sekundaarvool millel võivad olla tipud ja osa perioodist ära lõigatud, kõver sümmeetriline.
- b. VT küllastumine aperioodilisest primaarvoolust (apr küllastus) - sek vool on eba-sümmeetriline, ebamäärane ja muutuva poolperioodide kujuga, kasutamine toidetavas relees raskendatud (voolu ülekandetegur moonutatud).

RK voolutrafode täpsusomadusi reguleeritakse nn **täpsusklasside** alusel,

IEC järgi eristatakse kahte täpsusklasside gruppi

- a. klassid: P, PR, PX, PRX - täpsusnõuded on spetsifitseeritud perioodilise talitluse kaudu
- b. klassid: TPX, TPY, TPZ, - täpsusnõuded on spetsifitseeritud asümmeetrilise talitluse kaudu, kasutatakse apr küllastuse seisukohast raskemates olukordades

a grupi klassid:

P - VT suure jääkmagnetismi ja suure puistega (X_{VT}) VT-d

PX, PRX - tähistes X, väikese puistega (X_{VT}) VT-d, seetõttu stabiilse ergutuskarakteristikaga st väikese ergutus karakteristika hajumisega VT -de lõikes.

PR, PRX - tähistes R, vähendatud jääkmagnetismiga VT-d, saavutatakse südamiku õhupiluga.

Vaatomata sellele et reaalses võrgus, reaalsel lühistel esineb apr komponent

ja esineb ka apr küllastus, kasutatakse tavajuhtudel siiski a grupi voolutrafosid ja põhiliselt klassi P. Üleüldiselt võttes on see võimalik seetõttu et kaasaegsed digikaitsed on kiired, on võimelised toitevoolu kõvera kuju analüüsima jne, ning seetõttu on võimalik probleem lahendada VT mõningase **üledimensioneerimisega**, vastav tegur ja üldse VT-de valiku nõuded antakse tavaliselt RK vastava funktsiooni juhendis.

VT-de funktsionaalsed põhiparameetrid (täpsemalt P,PR klass)

I_{pn} - VT primaar nimivool

I_{sn} - VT sek nimivool (1A, 5A)

N - VT nimiülekangetegur (ideaalse trafo ülekangetegur)

$$N = I_{pn} / I_{sn}$$

(1a)

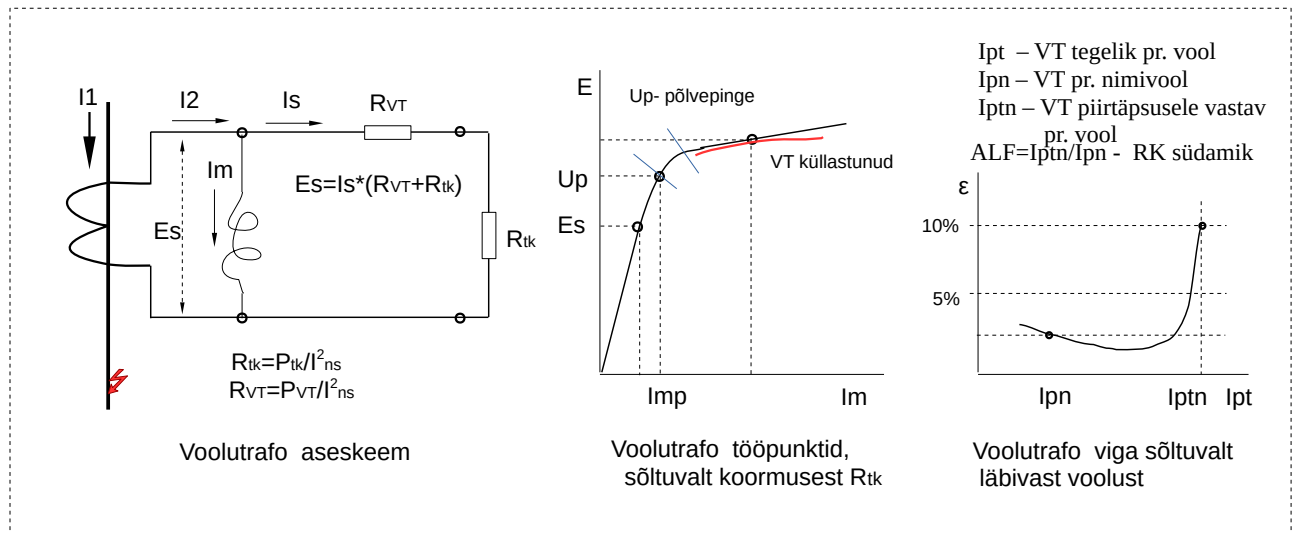
N_n - VT ülekangetegur keerdude arvu järgi (kasutatakse PX,PRX klassi spetsifitseerimisel)

$$N_n = n_s / n_p$$

(1b)

kus n_p, n_s - VT primaar ja sekundaar keerdude arvud

VT -de käitumise iseloomustamiseks kasutatakse: aseskeemi (a), sekundaarset ergutuskarakteristikat (b) ja komposiitvea sõltuvust läbivast voolust (c)



a. Voolutrafo aseskeem näitab põhilisi VT-t iseloomustavaid suursusi.

Toodud tüüpilises aseskeemis ei ole näidatud VT sek mähise reaktantsi X_{VT} ja koormuse reaktantsi kuna tavakäsitluses (lihtsuse mõttes) nendest loobutakse. Küll aga tuleb silmas pidada et X_{VT} suuruse seisukohast on tegemist kahte liiki VT-dega, nagu eespool mainitud,

a. suure puistega (suure X_{VT}) voolutrafodega nagu klassid P,PR millede ergutuskarakteristikad samade spetsifikatiooni andmete juures võivad üksteisest oluliselt erineda.

b. väikese puistega st väikes X_{VT} -ga VT-d, klass PX (PRX), nende VT-de ergutus karakteristikad on stabiilsed st erinevad VT-de lõikes üksteisest vähe.

Nende sildiandmed ja valikumetoodika erineb grupist **a.**, ning need sobivad hästi voolude differentsi kasutavate kaitsete toitmiseks.

Oluline VT käitumist iseloomustav suurus on nn sisemine emj E_s mis on pingelang mis tekib VT sisetakistuse ja koormustakistuse summal, läbivast sekundaar voolust I_s .

$$E_s = I_s(R_{VT} + R_{tk})$$

(2)

kus I_s - mõõdetav sek. vool (tegelik)

R_{VT} - VT sisetakistus

R_{tk} - VT tegelik koormus (juhtmed+ releed, mõõteriistad)

R_{VT} , R_{tk} võivad olla antud ka võimsuste kujul, sel juhul kehtivad seosed

$$P_{VT} = R_{VT} I_{sn}^2$$

$$P_{tk} = R_{tk} I_{sn}^2$$

I_{sn} - VT sek. nimivool

E_s seob VT koormusolekud VT ergutuskarakteristikaga ja selle magnetilise käitumisega.

b. Sekundaarne ergutuskarakteristika $E_s = f(I_m)$ (sek. ergutuskõver) on VT käitumise (täpsuse) põhiiseloomustaja. $E_s = f(I_m)$ on kujult sarnane magneetimiskõveraga $B = f(H)$, kuid erinevates koordinaatides (E_s, I_m) ja sekundaarsuurustes. Kuju sõltub südamiku materjalist ja ka VT konstruktsioonist.

Eespool toodud E_s (2), määrab ergutuskarakteristikaval voolutrafo tööpunkti (antud koormustingimustel), mis omakorda määrab VT magneetimisvoolu I_m (ergutusvoolu), kusjuures I_m määrab voolutrafo vea (antud pr voolu ja koormuse juures)

VT vea olemus on näha ka aseskeemist:

$$I_1/N = I_2 = I_m + I_s \quad (3)$$

kus I_2 - ideaalne (täpne) sek voolu suurus
 I_s - mõõteriista läbiv vool (RK seadmd näevad seda voolu)
 I_m - sek. poolele taandatud VT magneetimisvool (=ergutusvool I_e)

Mõõteviga tekib magneetimisvoolu lisandumisest, ning kuna suurused vektoriaalsed siis tekib nii amplituudi(voolu) viga f_i , kui nurgaviga f_ϕ .

Amplituudi viga

$$f_i\% = ((I_s \cdot N - I_p) \cdot 100) / I_p \quad (4)$$

Amplituudiviga on alati negatiivne ja seda võib käsitleda ka VT ülekandeteguri veana.

Üheks vea vähendamise viisiks on ülekandeteguri korrigeerimine sek keerdu arvu muutmisega, nn keerdu korrektsioon (sek keerde vähendatakse).

Keerdu korrektsiooni kasutamisel

$$N = I_{pn} / I_{sn} \neq N_n \quad (5)$$

kus N_n – ülekandegur keerdu arvu järgi

Keerdu korrektsioon muudab vooluviga f_i .

P,PR klasside **täpsuse määratlemisel** on aluseks nn komposiitviga ϵ ,

mis haarab nii eelnevaid vigasid kui ka viga kõrgematest harmoonilistestest.

Vead f_i , f_ϕ on väljendatud efektiivväärtuste kaudu, ϵ on väljendatud hetkväärtuste kaudu st ϵ on voolu hetkväärtuste vigade efektiivväärtus.

$$\epsilon\% = 100 / I_p \sqrt{[1/T \cdot \int_0^T (N \cdot i_s - i_p)^2 dt]} \quad (6)$$

kus i_p, i_s - primaar ja sekundaarvoolu hetkväärtused

T - voolu periood

I_p - primaarvoolu efektiivväärtus

N - VT ülekandegur

P,PR südameke täpsusklassi tähistes 5P(R), 10P(R) number näitab maksimaalset komposiitviga ϵ (piirjuht).

Mida suurem on VT koormus R_{tk} või mõõdetav vool I_s (lühisvool) seda suurem on E_s , ning seda suurem magneetimisvool I_m ja viga.

Ergutuskarakteristika $E_s = f(I_m)$ kuju on tüüpiline magneetimiskõver, ning omab nn lineaarset osa, mittelineaarset osa, kus tekib mõningane küllastus ja tugeva küllastuse osa mis omakorda on peaaegu lineaarne.

Lineaarse osa lõpp on määratud VT **põlvepingega** U_p . Põlvepinge punkt on eri standardites defineeritud erinevalt. IEC järgi on U_p pinge mille suurendamisel 10% võrra suureneb magneetimisvool 50% võrra.

U_p määrab punkti millest ülespoole algab VT eba-lineaarne tööpiirkond, küllastumise alguseks loetakse siiski punkte kõrgemal kui ~10% lise vea lõpp.

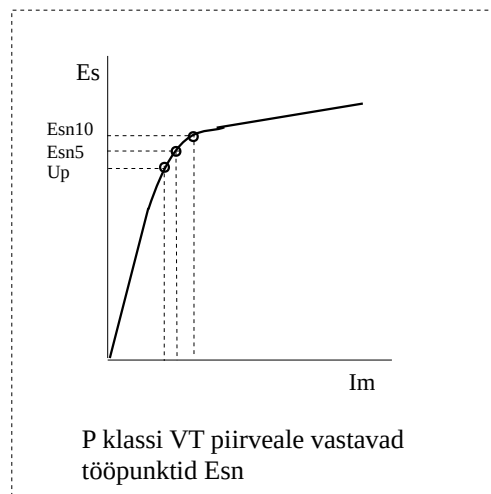
IEEE standardi määratluse järgi asub põlvepinge punkt madalamal st lineaarosa lõpeb varem.

Et siduda P (PR) täpsusklassi omavahel või teiste täpsusklassidega (PX) kasutatakse nn

piirtäpsuse (ergutus)pinget E_{sn} ,

$$E_{sn} = K_n \cdot I_{sn} \cdot (R_{VT} + R_n) \quad (7)$$

Piirtäpsuse ergutuspinged vastavad $\epsilon=5$ või $\epsilon=10$ -le, ning on kõrgemad kui vastava VT põlvepinge U_p , (kui näiteks P(PR) erg. karakteristika katseliselt üles võtta) st ka et VT täpsuse piir tööpunktid asuvad



mittelineaarses alas. Ümberarvutusteks kasutatakse U_p , E_{sn5} , E_{sn10} -le vastavaid induktioone B_p , B_5 , B_{10} , millised võivad küll mõnevõrra erineda sõltuvalt kasutatud terasest kuid ligikaudselt kasutatakse suurus $B_p=1.4T$, $B_5=1.6T$, $B_{10}=1.8-1.9T$, ning E_{sn} -d arvutatakse ümber kasutades vastavate B -de suhet (näit $K_{B10/5}=1.9/1.6=1.19$), analoogiliselt saab arvutada ümber K_n või K_t (tähistades K_n ja K_t täpsuse alusel K_{np} , K_{n5} , K_{n10} ; K_{tp} , K_{t5} , K_{t10})

$$K_{n10} = K_{n5} * K_{B10/5} \quad (8)$$

$$K_{t10} = K_{t5} * K_{B10/5}$$

- c. Kõver skeemil c, näitab **vea ϵ sõltuvust VT -t läbivast voolust** $I_1=I_p$ ja nn **täpsuse piirvoolu I_{ptn} olemust**.

I_{ptn} on VT-t läbiv suurim vool mille puhul mõõtmise toimub piirtäpsusega ($\epsilon = 5\%$ või 10%), juhul kui samal ajal VT koormus on võrdne **nimikoormusega R_n (P_n)**.

P,PR klassi südame täpsusnõuded on kujundatud **I_{ptn}** kaudu, käsitlustes kasutatakse suhtarvu **K_n** , kus

$$K_n = I_{ptn} / I_p, \quad (9)$$

mida nimetatakse VT **nimi täpsuskordajaks**, $K_n = ALF$ (accuracy limit faktor).

Mõõtesüdamikes, nimetatakse analoogilist suhet I_{po}/I_p , ohutusteguriks **F_s** . ALF -iga ühisosa selles, et vool I_{po} vastab üldiselt südamiku (st mõõtesüdamiku) küllastuse tekkimise voolule.

Mõõtesüdamikus peab tekkima küllastus enne mõõteriistale max lubatud voolu saavutamist, $5 < F_s < 10$, et kaitsta mõõteriista riknemise eest.

Mõõtesüdamikel soovitatav $F_s=5$, ning koormus nimikoormuse P_n lähedal, vastasel juhul st väikese koormuse puhul tegelik F_s (käitub nii nagu RK voolutrafo K_t) hakkab suurenema ning küllastus ei teki õigel ajal ja mõõtesüsteem võib rikneda.

Eelneva alusel antakse **VT -de täpsuskirjeldus**,

P, PR klassi südame täpsusparameetriteks on (spetsifikatsioon): **ϵ , K_n , P_n** , kus

**** ϵ** – VT täpsusklass, komposiitvea (%) kaudu; $\epsilon == 5P(R)$ või $10P(R)$

**** K_n** – VT nimi täpsuskordaja (ALF) ; $K_n \Rightarrow 5, 10, 15, 20$,

**** P_n (VA)** või R_n (Ω) – VT nimikoormus; $P_n \Rightarrow 2.5, 5, 10, 15, 30$ VA

$$P_n = R_n * I_{sn}^2; R_n = P_n / I_{sn}^2$$

Seega VT töötab täpsusega ϵ lühisvoolude piirkonnas $I_k \leq I_{ptn} * K_n$, kui samal ajal VT tegelik koormus **$P_{tk} = P_n$** .

Näide: olgu VT 300/1, 5P10, 15VA; st $\epsilon=5\%$, $K_n=10$, $P_n=15$ VA

VT töötab täpsusega $\epsilon=5\%$ lühisvooludel $I_k < I_{ptn} = I_p * K_n = 300 * 10 = 3000A$, kui VT koormus $R_n = 15 / 1^2 = 15\Omega$.

Ühtlasi on näha (avaldisest 7) et P(PR) klassi VT oleku täpsemaks hindamiseks peab olema teada ka VT **sisetakistus R_{VT} (P_{VT} (VA))**.

**** P_{VT} (VA)** või R_{VT} (Ω) – VT sisetakistus;

$$P_{VT} = R_{VT} * I_{sn}^2; R_{VT} = P_{VT} / I_{sn}^2$$

P_{VT} võib spetsifikatsioonis puududa, mis tuleneb ajalooliselt eelnevate el.magn. releede kasutamisest, kus reaalsed koormused olid $\sim P_n$ ja VT parameetrite valiku meetodika oli erinev.

Käesoleva (VT valiku) meetodika kasutamisel on R_{VT} suuruse teadmine (või hindamine) vajalik, ning seda tuleks lugeda neljandaks täpsusparameetriks. Ligikaudseks hindamise üks võimalus vt K5

VT käitumine tegeliku sekundaarkoormusega R_{tk} .

Peetakse silmas P,PR klassi VT-sid sümmeetrilises talitus, kui $R_{tk} \neq R_n$.

Digireleede puhul VT koormus on el.mag. releede koormusest erinev, on oluliselt väiksem ja aktiivse iseloomuga (eelnevalt induktiivne).

Seega, kuna **tegelik** voolutrafo koormus R_{tk} (juhtmed+releed) **erineb** nimikoormusest R_n , (P_n), siis tekib võimalus läbivat lühisvoolu I_k ($I_k = I_{ptn}$) suurendada, täpsuse piiri rikkumata, aluseks võrdsus **$E_s = E_{sn}$** (tööpunkt ei nihku).

Tegelikule releelise koormusega R_{tk} koormatud VT voolulist piirkoormatavust iseloomustatakse nn **tegelik täpsuskordajaga K_t** , (K_n oli nimi täpsuskordaja)

$$K_t = K_n \cdot (R_{VT} + R_n) / (R_{VT} + R_{tk}) \quad (10)$$

kus R_{tk} – VT tegelik koormus ,

$$R_{tk} = R_{juht} + R_{rel};$$

$$P_{tk} = R_{tk} \cdot I_{sn}^2$$

Seega tegelikkuses olukord kus, $R_{tk} < R_n \Rightarrow K_t > K_n$ ning

$$I_{kmax\grave{a}p} = K_t \cdot I_{pn} > I_{ptn} = K_n \cdot I_{pn}$$

Võib ütelda et K_t iseloomustab süsteemi VT + RK sümmeetrilises talitluses lühisvooludeni $I_{kmax\grave{a}p}$ st piirtäpsuseni, vastavalt $\epsilon = 5\%$ või $\epsilon = 10\%$, kui võrguosa tegelik $I_{kmax} > K_t \cdot I_{pn}$ siis VT läheb järgmisse täpsusklassi või jõuab ka $\epsilon = 10\%$ -st välja nn sümmeetrilisse küllastusse.

Loetakse et **VT sümmeetriline küllastus** algab peale 10% vea piirkonda ehk pingetel üle E_{sn10} .

N1: olgu VT 300/1, 5P10, 15VA, $R_{VT} = 2\Omega$; $I_{kmax} = 21kA$, $R_t = 0.8\Omega$ (juhtmed + relee);

$$R_n = 15/1^2 = 15\Omega$$

$$K_t = K_{t5} = 10 \cdot (2 + 15) / (2 + 0.8) = 60.7$$

$$I_{t\grave{a}p5} = 60.7 \cdot 300 = 18210A - \text{see on piirtäpsuse vool } \epsilon = 5\% \text{ puhul,}$$

$$\text{antud juhul } I_{kmax} = 21.0 > I_{t\grave{a}p5} = 18.2kA$$

Tekib küsimus kas I_{kmax} puhul VT läheb $\epsilon = 10\%$ piirkonda või küllastub, leiame $I_{t\grave{a}p10}$.

Seda on võimalik teha nimitäpsuse ergutuspingesid E_{sn5} , E_{sn10} kasutades .

Põhimõtteliselt E_{sn5} alusel saab leida E_{sn10} voolutrafo vastavate tööpunktide magnetilisi induktsoone kasutades (täpsemalt tuleks teada vastava VT tüübi suurus, kuid kirjandusest on teada ka mingid keskmised väärtused): võtame $K_{B10/5} = B_{10}/B_5 = 1.19$ (vt eespool)

$$E_{sn10\%} = E_{sn5} \cdot K_{B10/5}$$

$$E_{sn5} = K_n \cdot I_{sn} \cdot (R_{VT} + R_n) = K_t \cdot I_{sn} \cdot (R_{VT} + R_{tk}) = 10 \cdot 1 \cdot (2 + 15) = 170V$$

$$E_{sn10} = E_{sn5} \cdot K_{B10/5} = 170 \cdot 1.16 = 197V$$

või vastavate K_t -de kaudu

$$K_{t10} = K_{t5} \cdot K_{B10/5} = 60.7 \cdot 1.19 = 72.2 \Rightarrow$$

$$I_{t\grave{a}p10} = 72.2 \cdot 300 = 21660A$$

Seega VT ei küllastu (sümmeetriliselt), ning max lühisvool kantakse üle täpsusega $\epsilon = 10\%$.

VT käitumine kaitstava võrguosa tegeliku lühisvooluga.

Käsitluses on kaks taset : VT sümmeetriline talitus, kui primaarvool siinuseline, mis on erijuht, ning reaolukord kui primaarvoolus esineb ka lühisvoolu aperioidiline komponent. Viimasel juhul muutub sageli oluliseks VT enda omadus jääkmagnetism, remanents.

- sümmeetrilises talitluses, kui $I_{kmax} \leq I_{kmax\grave{a}p} = K_t \cdot I_{pn}$ transformeeritakse VT primaarvool moonutusteta sek.vooluks, kui $I_{kmax} > I_{kmax\grave{a}p} = K_t \cdot I_{pn}$ siis esineb VT sümmeetriline küllastus, kus sek voolu kõvera tipud lõigatakse maha kõrgemalt kui $I_{kmax\grave{a}p}$.

Sümmeetrilise talitluse käsitlus toimub eelnevate seoste alusel.

- Reaalselt esineb võrgus peale lühise tekkimist lisaks perioodilisele voolule ka apr komponent (primaarvool on asümmeetriline), seetõttu apr komponent viib VT küllastusse erineval määral ja erineva kiirusega, ning vaatamata sümmeetrilise talitluse järgi defineeritud VT kasutamisele (klassid P, PX, PR) tuleb neid kontrollida ka apr küllastuse suhtes.

VT **primaarvoolu apr komponendi** suurus ($t=0_+$) sõltub lühise tekkimise momendist, käsitlustes kasutatakse halvimat juhtu ehk nn täielikult asümmeetrilist primaarvoolu, apr komponendi sumbumine sõltub lühisekohast X/R suhtest st primaarsest ajakonstandist T_p ,

$$T_p = X / \omega R \quad (11)$$

VT **apr küllastuse kulgu** iseloomustatakse induktsoonide suhtega

$$B_{dc+ac}(t) / B_{ac} = K_{if}(t) \quad (12)$$

kus $B_{dc+ac}(t)$ – summaarne induktsoon VT -s, ajas muutuv

B_{ac} – pr voolu süm. komponendist põhjustatud VT induktsoon

Suurust $K_{tf}(t)$ nimetatakse **apr siirdeteguriks** (transient factor).

$K_{tf}(t)$ konkreetse avaldised on toodud kirjanduses, antud juhul mainime ainult määravaid faktoreid milledeks on: lühise tekkimise moment ja primaarne ajakonstant T_p , ning VT sekundaarne ajakonstant T_s ,

$$T_s = L_m / R_s \quad (13)$$

kus L_m – VT magneetimisharu induktiivsus

R_s – VT sekundaarkontuuri takistus ($R_{VT} + R_n$)

T_s väärtus kõigub piirides 1-10s, sõltub VT tüübist ja on tunduvalt suurem kui T_p ,

K_{tf} maksimaalväärtus on määratud ajakonstgandiga T_p (või suhtega X/R), ning

$$K_{tfmax} = (1 + X/R), \quad (14)$$

selleks et VT ei läheks apr küllastusse kogu apr komponendi eksisteerimise vältel tuleks VT üle dimensioneerida K_{tfmax} korda, mis tähendab arvuliselt väga suurt tagavara. Sellise VT valmistamine ei pruugi olla võimalik või on äärmiselt kallis, st VT üledimensioneerimine apr küllastuse vältimiseks kogu voolu apr komponendi eksisteerimise jooksul ei ole üldjuhul võimalik, osutub et digikaitsed seda ka ei nõua.

Jääkmagnetismi seisukohast eristatakse kahte aspekti:

a. võrgu olukordi kus VT jääkmagnetismi tase muutub oluliseks (küllastumise seisukohast) näiteks juht kus vooluahela väljalülitamine toimub enne apr küllastus kadumist (VT -oluline jääkinduktsiooni tase) ning toimub kiire TLA, kus sisselülitamine toimub enne VT jääkmagnetismi kadumist.

b. kasutatavate VT -de omadusi st voolutrafosid mis omavad (jääkvoog küllastusvoo suhtes)

suurt jääkvoogu $\Psi_j \sim 80\%$, ($P, P_X, T_P X$)

väikest jääkvoogu $\Psi_j \sim 10\%$ ($P_R, P_R X$)

jääkvoovabad $\Psi_j \sim 0\%$, ($T_P Z$)

Releekaitse nõuded VT siirdeprotsessile

Kaasaegsed digikaitsed on väga kiired ja küllastuse tekke analüüsi võimekusega, seetõttu olenevalt kaitse rakendumispõhimõttest toimub rakendumine mitteküllastunud või küllastumise algfaasis ja reaalsetel vajalikel tegurid kujunevad tunduvalt väiksemateks.

Põhimõtteliselt RK väljatöötajad analüüsides relee võimekusi määravad rakendumiseks vajaliku mitteküllastumise aja t_M mille alusel määratakse vajalik **üledimensioneerimise tegur** K_{td} (transient dimensioning factor),

$$K_{td} = K_{tf}(t=t_M) \quad (15)$$

Seega VT ja toidetava RK omavahelise sobivuse hindamisel tuleb alati lähtuda konkreetse kaitse juhendites toodud nõuetest, millede alusel leitakse **RK poolt nõutav täpsuskordaja** K_{RK} , kusjuures üldine K_{RK} hinnang

$$K_{RK} = K_{td} * I_{kmax} / I_{pn} \quad (16)$$

kus K_{RK} – RK poolt nõutav täpsuskordaja

K_{td} – apr üledimensioneerimise tegur

I_{kmax} – max lühisvool võrguosas,

I_{pn} – VT primaarne nimivool

Seega K_{td} kordse üledimensioneerimisega välistatakse apr komponendi mõju relee

rakendumisele, juhtudel kui on tõenäoline ka VT jääkmagnetismi mõju, tuleks avaldisse 16

lisada ka üledimensioneerimise tegur jääkmagnetismi järgi (või valida väiksema j.magn. VT)

Täpsusnõuded voolutrafole on rahuldatud, kui tegelik täpsuskordaja K_t on suurem kui RK poolt nõutav täpsuskordaja K_{RK} .

$$K_t > K_{RK} \quad (17)$$

Või teisiti, samast võrdlusest tuleneb nõue K_n -le (K_n on VT spetsifikatsiooni parameeter).

$$K_n > K_{RK} * (R_{VT} + R_{tk}) / (R_{VT} + R_n) \quad (18)$$

Seosed 17,18 on VT täpsusparameetrite valiku põhialus

VT spetsifikatsioon (näide)

ABB VT sildit

200 – 400/1/1A

/ 2 sek väljavõtet , kaks südamikku/

1S1-1S2 5VA cl.0.5 Fs5

/ mõõtesüdamik ,nü 200; Pn=5VA /

1S1-1S3 10VA cl.0.5 Fs5

/ mõõtesüdamik ,nü 400; Pn=10VA /

2S1-2S2 10VA 5P10

/ RK südamik ,nü 200; Pn=10VA /

2S1-2S3 20VA 5P10

/ RK südamik ,nü 400; Pn=20VA /

12/28/75kV 50Hz 40(1s)/100kA /

/ 12kV kõrgeim tööpinge RMS; 28 kV võrgusagdusega ülepinge katse RMS ; 75 kV impulss ülepinge vastupidavus (tipp), I_{th}=40kA 1s.; I_{dyn}= 100kA /

Mõõtesüdamik: täpsusklass -0.5 ; ohutuse tegur (security factor) Fs=5

RK südamik: täpsus 5P ; täpsuse piirtegur (ALF) K_n=10

Veel spetsifikatsioonist

2S1-2S2 / 2. südamiku väljavõtte S1-S2

2S1-2S3 / 2. südamiku väljavõtte S1-S3

P_n ja P_{VT} - peaks olema teada iga väljavõtte kohta, kui on teada suurused kogu mähise jaoks, siis väljavõtte jaoks saab vastavaid suurusi arvutada ülekandetegurite suhte alusel.

Voolutrafo valiku protseduur.

Voolutrafodega on seotud **kaks põhilist ülesannet:**

VT valik ja olemasoleva VT sobivuse kontroll.

Mõlemal juhul on teada:

a. RK poolt kaitstav võrguelement või võrguosa, ning lühisvoolud erinevates lühiskohtades .

Põhiiseloostajad: max lühisvool I_{kmax}

ja kaitse funktsioneerimispiirkonna max X/R.

b. RK tüüp ja asukoht

c. VT asukoht või asukohad

Eesmärk (üldnõue):

1. Valida VT nii et ta sobiks võrguosa, koormuse ja lühisvoolude seisukohast (I_{pn}, I_{th}, I_{dyn}), või kontrollida olemasoleva VT sobivust

2. Valida eelnevatele nõuetele vastav VT selliste täpsusparameetritega et need rahuldaks RK nõudeid või kontrollida olemasoleva VT sobivust

**** Voolutrafo tüübi valik, kas grupp a või grupp b,**

üldjuhtudel valitakse grupp **a** st klassid P, PR, PX või PXR ning neist

5P - madalaoomiliste diff ja distantkaitsega

10P - vooluliste kaitsetega

PX - kõrgeoomiliste dif kaitsetega, kui on oluline ergutuskarakteristikate identsus, mis on PX omaduseks

5PR,10PR - kasutatakse kui on vaja jääkmagnetismi nähtusi vältida, kiire TLA kasutamisel näiteks

b grupi klassidele minnaks näiteks juhul, kui ei õnnestu valida vastuvõetavate parameetritega **a** grupi voolutrafot.

**** Põhiparameetrite valik**

Põhiparameetrid: U_n, I_{pn}, I_{sn}, I_{th}, t_{th}, I_{dyn}

U_n valik: Vastavalt seadmete pingele, välja arvatud nn kaablitrafod

I_{pn} valik: Üldjuhul **I_{pn} > I_{koor max}**

Kas VT on ülekoormatav peab selguma tema andmetest, kui ülekoormuse kordsust pole antud siis tuleb lugeda et max koormus ei tohi ületada I_{pn} -i (mõnedel juhtudel on lubatud 1,1 või 1.2 kordne ülekoormus).

Kondensaatorpatareide puhul I_{pn}-l tagavara 1.3 Inc suhtes , tingitud võimalikest kõrgematest harmoonilistest.

I_{pn} ei tohiks ületada $1.5 \cdot I_{k\text{oor max}}$.

Kui keskkonna temp üle 40°C siis tuleks kasutada, koormuse vähendamise tegureid.

I_{pn} -ga manipuleerimiseks võib tekkida vajadus väikeste ülekandeteguritega VT kasutamisele suure $I_{k\text{max}}$ -ga sedmetes.

Isn valik: 5A, 1A. Digireleede puhul 1A,

Ith valik: VT sildi I_{th} taluvus on tavaliselt kestusega $1s$ $t_{th}=1s$,

Konkreetses asukohas peab VT taluma selle asukoha või läbivat max lühisvoolu **$I_{k\text{max}}$** vähemalt RK reservastme viite t_{RK} pikkuselt, seega

$$I_{th} > I_{k\text{max}} \cdot \sqrt{t_{RK}}$$

Üldiselt (IEC) VT-d konstrueeritakse $I_{th}=80I_{pn}$, ning $I_{dyn}=2.5 I_{th}$ jaoks,

loetakse et normaalkonstruksiooniga VT -del on suhe $K_i=I_{th}/I_{pn} < 100$

Kontrollida tulekski suhet K_i , nii et **$K_i < 100$**

Projekteerimise etapis võetakse $I_{k\text{max}} \sim S_k/\sqrt{3} \cdot U_n$, kus S_k – lühisekoha lühisvõimsus.

**** Täpsusparameetrite valik (P,PR klassile)**

Mõõtesüdamikud: $cl=0.5$, kilbimõõteriistad $cl=1.0$

Fs -ohutuse tegur mõõtesüdamikele, näitab mitmekordse I_{ns} juures VT küllastub

$$5 < F_s < 10$$

Valitud F_s sõltub mõõteriista lühisvoolu taluvusest, soovitatakse $SF=5$,

RK südamikud:

a. valida ϵ 5P,10P –kaitsete üldisi täpsusnõudeid arvestades

b. valida **P_n** - valitakse reast 2.5,5.0,10,15,30 VA, nii et **$P_n > P_{tk}$**

Eelnevalt tuleb välja selgitada voolutrafode tegelik koormus P_{tk} või R_{tk}

R_{tk} on releede mõõteseadmete omatarve + ühendusjuhtmete takistus

c. määrata R_{VT} - VT kataloogiandmetest (I_{pn} , I_{sn} silmas pidades), mõõta, või hinnata ligikaudsete arvutuste alusel vt K5.

d. valida **K_n** – (ALF), valik taandub VT sobivuse kontrollile toidetavate RK seadmete jaoks, eelnevalt peab olema valitud P_n ja teada R_{VT}

Arvestades eespooltoodud seoseid,

da. **K_{RK}** valitakse RK juhendis toodud VT nõuete alusel,

$$\text{üldavaldis } K_{RK} = K_{td} \cdot I_{k\text{max}} / I_{pn}$$

db. **K_n** valitakse vastavalt seosele (17)

$$K_n > K_{RK} \cdot (R_{VT} + R_{tk}) / (R_{VT} + R_n)$$

Valitud $K_n \rightarrow K_{t\text{valitud}}$ valikul on oluline jälgida piirangut releede maksimaalsesekundaarvoolule. Üldjuhul releed ei luba voolu üle $100 \cdot I_{ns}$, mis tähendab et $K_{t\text{valitud}} < 100$.

Kuna K_n ja P_n moodustavad mingis mõttes täpsusparameetrite seotud grupi, siis soovitatakse valida $K_n \cdot P_n < 150$, (suurematel väärtustel võib VT südamiku ristlõige S minna liiga suureks) vt **M1**.

Üldiselt täpsusparameetrid on omavahel seotud, seetõttu uute VT-de valikul tekib rida määramatusi, näiteks muutes VT P_n -i muutub ka R_{VT} mis ei ole lihtsalt hinnatav (järe hinnang näit. K5), ning võib tekkida vajadus jätta lõplik valik VT valmistajatele.

e. Kui esimene iteratsioon ei anna rahuldavat lahendust siis tuleb kontrolli korrata teistes vastuvõetavates kombinatsioonides

M1: VT valmistamise seisukohast on oluline näitaja südamiku ristlõige S, järgnevalt toodud S seos täpsusparameetritega

$$S=K*(K_n*Is_n*R_n)/n_s$$

K – tegur mis iseloomustab südamiku materjali

n_s – sekundaarkeerdude arv

Näeme et K_n ja R_n (P_n) mõlemad suurendavad proportsionaalselt vajalikku südamiku ristlõiget S, kõige sellest tulenevaga .

Kirjandust:

[K1 \(VT-de käsitlese analüüs\)](#)

[K2 Siemens VT valik](#)

[K3 ABB VT nõuded](#)

[K4 Siemens lühikäsitlus](#)

[K5 VT valik](#)

Koostas: Vello Zupsmann
zups.ve@gmail.com