

## Jõutrafod.

**Märksõnad:** trafo ülekandetegur, trafo lülitusgrupp, järgnevaseskeemid, impedantside arvutus, Ynd11 trafod, asümmeetrilised lühised, releekaitse, põhikaitse

Vaadeldud on jõutrafode mõningaid releekaitsega (RK) seotud aspekte.

Jõutrafo on 3.fasiline kahe või rohkema mähisekomplektiga seade mis ühendab erineva pingega ja neutraaliolukuga võrke ning teostab energiaülekannet nende vahel.

Jõurafosid jagatakse kasutusvaldkondade ja erinevate tunnuste järgi mitmesugustesse gruppidesse.

- Suuruse, võimsuse järgi : IEC järgi 3 kategooriat (ANSI/IEEE järgi 4kat.)

I kat. 25- 2500 kVA

II kat. 2500-100000 kVA

III kat. > 100000 kVA

Trafod valmistatakse üldjuhul teatud võimuste rea järgi,

(näit IEC : ... 80,100,160, 200,250,315,400,500 ,630, 800,1000, 1250,1600,2000 jne)

- Südamiku konfiguratsiooni järgi: 3 sambalised

5 sambalised

Ühefaasiliste trafode 3. faasilise grupi südamiku konfiguratsioon vastab ~ 5 sambalisele konf.-ile.

- Faaside arvu järgi : ühe- ja kolmefaasilised

- Jahutussüsteemide järgi: määrab trafo koormatavuse (IEC tähistus)

ONAN – õli loomulik, õhk loomulik

ONAF – õli loomulik, õhk ventilaator

OFAF – õli pump, õhk ventilaator

ODAF – (oil directed air forced)-õli voog suunatud läbi mähiste, õhk ventilaator

- Mähiste paigutus ja isolatsioon (meid huvitavad): üldiselt, madalama pingega mähised paigutatakse südamikule lähemale, mähiste vastastikkusest paigutusest tulenevad kolmemähiseliste trafode mähisepaaride puisteinduktiivsused  $X_{ij}$  ja erinevad Y mudelid.

Isolatsioonilt eristatakse täisisolatsiooniga (ühtlase : uniform ) mähised ja osalise(mitteühtlase: nonuniform) isolatsiooniga mähised.

Mitteühtlane isolatsioon tähendab et isolatsiooni nivoo mähise alguses ja lõpus (neutr otsas) on erinev ning mähis Y ühenduses ja neutraal maandatud . Konstruktsiooni kasutatakse kõrgete pingete, puhul maksumuse alandamiseks.

- Mähiste arvu järgi: kahemähiselised trafod

mitmemähiselised (kolmemähiselised ja nn lõhestatud mähisega) trafod

autotrafod (alati järgalt maandatud neutraal)

- Mähiste pingete ja väljavõtete (astmete) järgi: astmete diapason ja reguleeritavus ( koormuse all ja koormusevabalt ) .

Mähise nimipinge  $U_n$  vastab põhiastmele , mähisepaaride vaheline nimiülekandetegur  $t_r = U_{ün}/U_{an}$  , on antud nimiväljavõtete jaoks.

Mitmemähiselistel trafodel on sekundaarmähiste võimsus  $S_{ns}$  reeglina väiksem kui primaarmähise ja trafo võimsus  $S_{ns} < S_{np} = S_{nt}$  ; vastavalt nimivool  $I_{ns} = S_{ns}/(\sqrt{3} * U_{ns})$ .

Seda on tarvis silmas pidada alates trafo koormamisest , lühiskatse tegemisest kuni vastavate reaktantside arvutamiseni.

### ■ Trafo mähiste konfiguratsiooni järgi:

Mähiste faaside põhiühendusviisid on: täht( Y), kolmnurk (D), siksak( Z), seejuures neid ühendusi on võimalik teha erineval viisil, mille tulemusena trafo ülempinge ja alampinge poole pingete (voolude) vektordiagrammid võivad olla omavahel pööratud mingi nurga võrra.

Y lülituses mähise neutraal (N või n) võib olla välja toodud ja maandatud kas otse või üle mingi impedantsi. Rahvusvaheliselt kokkulepitud viis 3.f trafo mähiste konfiguratsiooni kirjeldamiseks on trafo **lülitusgrupp** (Lgr). Trafo lülitusgrupp on oluline elektriliste omaduste iseloomustaja.

Lülitusgrupi tähistus: IEC standardis on **määratluse aluseks** trafo mähiste pinged (mitte energia suund st primaar ja sekundaarpool) . Alampinge ja keskpinge mähiste pingvektorite nihkenurgad antakse **ülempinge**  $\vec{U}_u$  suhtes. Seega mähiste põhiühendusviisi tähised järgnevad pinge alanemise suunas, trafo ülempinge on tähistatud suurte tähtedega. Iga komplekti lõpus olev number tähistab vastava pingepoole pingvektori asendit ülempinge suhtes, number tähistab nurka kella numbrilaua mudelina, näiteks kell 11 tähendab et  $\vec{U}_a$  vektor on asendis 11 ( $\vec{U}_u$  alati asendis 12) ning vastav nurk  $+30^\circ$ . **Näide** : olgu kolmemähiseline trafo, mille kõrgeima pingega mähis on ühendatud tähte väljatoodud neutraaliga (YN), keskpingemähis on ühendatud tähte kell 0 ( $y_0$ ) ja alampingemähis ühendatud kolmnurka (d), ning mille pingvektori asend ülempinge suhtes kell 11 (d11), sellise trafo lülitusgrupp tähistatakse :YNy0d11.

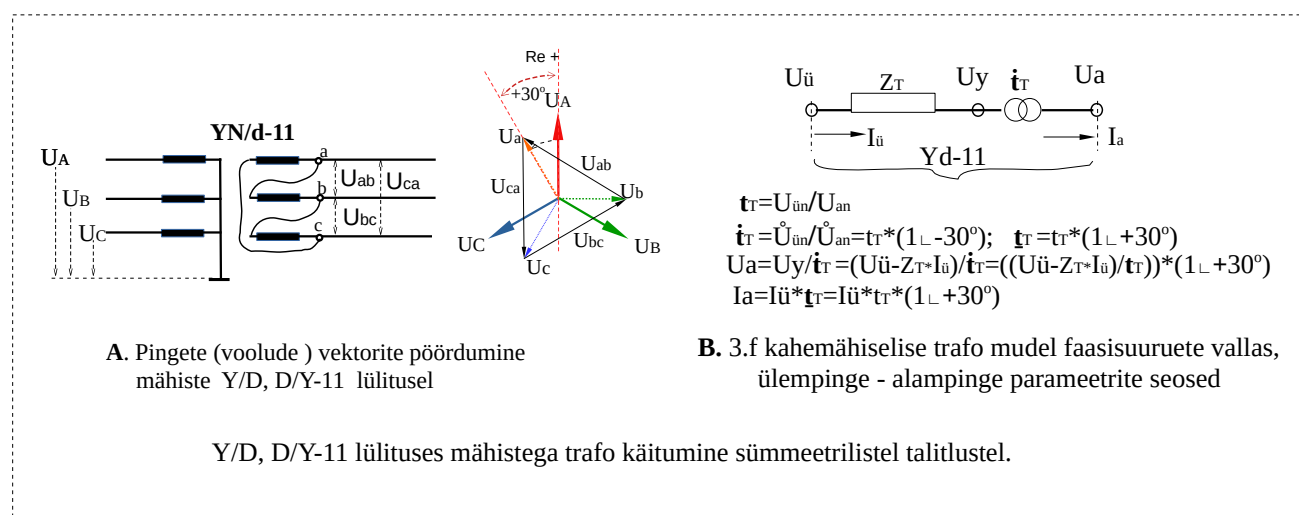
Mähisepaaride Y/D ja Y/Z ühendusviiside puhul toimub pingvektorite pöördumine, meie piirkonnas kasutatakse nende ühendusviiside puhul kellaaega 11, mille puhul alampingvektor (ka voolu) on ülempingvektorist ees  $30^\circ$ , seejuures pööramise saab ühendada ülekangeteguriga, sel juhul saadakse trafo **kompleksne ülekanne tegur**  $\dot{t}_T$ .

$$\dot{t}_T = \vec{U}_{\dot{u}n} / \vec{U}_{\dot{a}n} = t_T * (1 \angle -30^\circ) \quad (\text{Lgr kell 11}) \quad (1)$$

Alam- ülempinge voolude arvutamisel tuleb  $\dot{t}_T$  asendada vastava kaaskompleksiga  $\dot{t}_T^*$

$$\dot{t}_T^* = t_T^* (1 \angle +30^\circ) \quad (2)$$

Näitena on toodud (joonisel allpool) kahemähiseline trafo YNd11, ning selle pinge vektordiagrammid ja kompleksne ülekanne tegur .



--- Jõutrafo on elektrisüsteemi **põhiline sõlmelement**, ning oluline on selle adekvaatne kirjeldus nii normaal kui anormaaltalitlustes. Elektriliseks kirjelduseks on trafo nimisuuruste komplekt koos mudeli (aseskeem) ja selle parameetritega.

Trafode põhiiseloostajaks on nn **nimisuurused**, ning põhilisteks elektrilisteks nimisuurusteks on trafo (primaarmähise) nimivõimsus  $S_n$  ja nimipinge  $U_n$  mis määravad ka trafo nimivoolu  $I_n = S_n / (\sqrt{3} \cdot U_n)$ , seejuures mitmemähiselisel trafodel, nagu mainitud, on mõnede sek.mähiste nimivõimsused  $S_{ns}$  (ja voolud) väiksemad kui trafo  $S_n$ .

Järgmised olulised trafo iseloomustajad on **lühispinge  $u_k\%$  ja lühiskaod  $\Delta P_k$** . Mõlemad saadakse lühiskatsest ja antakse mähisepaaride (ij) kohta.  $u_{kij}\%$  määrab mähispaari impedantsi, ning  $\Delta P_{kij}$  määrab selle resistantsi  $R_{ij}$ , ehk kokku impedantsi  $Z_{Tij} = R_{ij} + j X_{Tij}$  (puisteimpedants).

$X_{Tij}$  on trafo puisteinduktiivsus ja ainuke täpsem viis selle määramiseks on mõõtmine, st määramine lühiskatse alusel.

Kolmemähiselisel (mitmemähiselisel) trafodel on kolm erinevat mähisepaari (ük,üa,ka) seega ka kolm katset ja kolm erinevat  $u_k\%$  -d ja  $\Delta P_k$  -d, ning esialgselt (otseselt katsest) need vastavad mähisepaari vähima võimsusega mähise võimsusele ja on mähisepaaride lõikes erinevad, trafo sildilt aga peab selguma kas need on trafo nimivõimsusel või mähispaari nõrgima mähise nimivõimsusel.

Põhimõtteliselt võib käituda kahel viisil

a. Arvutada mähisepaaride kohta impedantsid (oomides) vahetult katseandmete alusel, andes need sildil füüsikalistes ühikutes nn suurustena oomi/faasikohta [ $\Omega/ph$ ].

b. Taandada katseandmete  $u_k\%$  -d ja  $\Delta P_k$  -d, ühisele baasvõimsusele, milleks on tavaliselt trafo nimivõimsus ja anda sildil need.

Ühisele baasile  $S_n$  taandamine tähendab  $u_k\%$  korrutamist teguriga  $(S_n / S_{nij})$  ja

$$\Delta P_k \text{ korrutamist teguriga } (S_n / S_{nij})^2 \quad (3)$$

----- **Näide:** olgu mähiste võimsused:  $u_p - S_n$ ;  $k_p - S_n$ ;  $a_p - 0.6S_n$ ;

mõõdetud lühispinged:  $u_{k' \% \text{ük}} - S_n$ ;  $u_{k' \% \text{üa}} - 0.6S_n$ ;  $u_{k' \% \text{ka}} - 0.6S_n$ ;

mõõdetud lühiskaod :  $\Delta P'_{k \text{ük}} - S_n$ ;  $\Delta P'_{k \text{üa}} - 0.6S_n$ ;  $\Delta P'_{k \text{ka}} - 0.6S_n$ ;

taandatud ( $S_n$ ) lühissuurused:  $u_{k \% \text{ük}} = u_{k' \% \text{ük}}$

$$\Delta P_{k \text{ük}} = \Delta P'_{k \text{ük}}$$

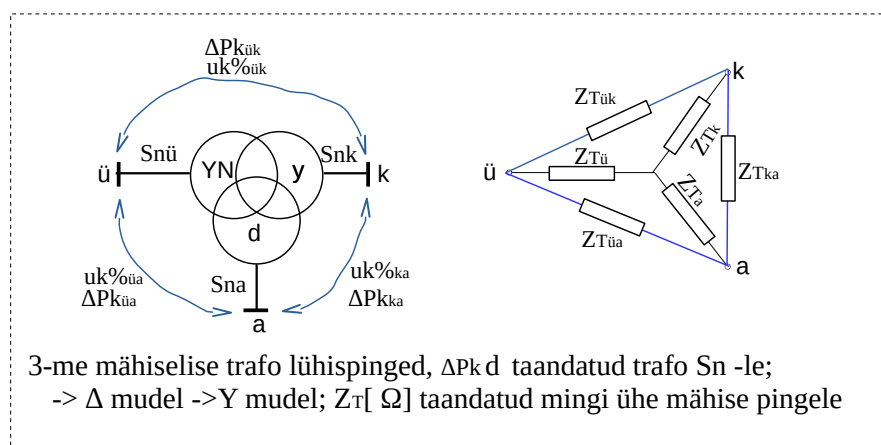
$$u_{k \% \text{üa}} = u_{k' \% \text{üa}} \cdot (S_n / 0.6S_n)$$

$$\Delta P_{k \text{üa}} = \Delta P'_{k \text{üa}} \cdot (S_n / 0.6S_n)^2$$

$$u_{k \% \text{ka}} = u_{k' \% \text{ka}} \cdot (S_n / 0.6S_n)$$

$$\Delta P_{k \text{ka}} = \Delta P'_{k \text{ka}} \cdot (S_n / 0.6S_n)^2$$

Taandatud lühissuuruste alusel arvutatakse mähisepaaride ij impedantsid  $Z_{Tij} = R_{ij} + j X_{Tij}$  (valemitega 4). Edasi on võimalik koostada 3.mähiselise trafo  $\Delta$  mudel, mis vastab trafo füüsikalistele protsessidele ning teisendada see Y mudeliks mis on arvutusteks sobivam (joonisel allpool).



Mähisepaari ij impedantsi  $Z_{Tij}$  arvutus

$$\begin{aligned} Z_{Tij} &= u_{k\%ij} \cdot U_n^2 / 100 \cdot S_n \quad [\Omega] \\ R_{Tij} &= \Delta P_{kij} \cdot U_n^2 / S_n^2 \quad [\Omega] \\ X_{Tij} &= \sqrt{Z_{Tij}^2 - R_{Tij}^2} \quad [\Omega] \end{aligned} \quad (4)$$

kus  $U_n$  – mähise nimipinge [kV] millele taandatakse takistused

$S_n$  – trafo nimivõimsus [MVA]

$\Delta P_{kij}$  – mähisepaari lühiskaod [MW]

IEC järgi astmeregulaatori olemasolul kasutatakse (trafo ei tööta nimiastemel) kasutatakse impedantsi korrektsiooni - korrektsiooni tegur  $K_T$  nii et

$$Z^*_{Tij} = K_T \cdot Z_{Tij} = K_T \cdot (R_{Tij} + jX_{Tij})$$

$$K_T = 0.95 \cdot c_{max} / (1 + 0.6 \cdot X_{Tij})$$

kus  $Z^*_{Tij}$  - mähispaari korrigeeritud impedants

$c_{max}$  - pinge korrektsiooni tegur

$X_{Tij}$  - mähispaari reaktants suhtelistes ühikutes

Kolmemähiselistel trafodel  $Z^*_{rij}$  kasutamisel saadakse korrigeeritud Y mudel.

**M: Lähenemisel a.** kasutatakse mähisepaaride impedantside määramiseks samuti valemeid (4) ainukese erinevusega et  $S_n$  asemel  $S_{nij}$ , seejuures füüsikalised oomid saadakse mõlemal juhul võrdsed

-----  $\Delta$  mudeli teisendamine Y mudeliks vt joonid

$$\begin{aligned} Z_{\bar{u}} &= 0.5(Z_{\bar{u}k} + Z_{\bar{u}a} - Z_{ka}) \\ Z_k &= 0.5(Z_{\bar{u}k} + Z_{ka} - Z_{\bar{u}a}) \\ Z_a &= 0.5(Z_{\bar{u}a} + Z_{ka} - Z_{\bar{u}k}) \end{aligned} \quad (5)$$

----- Y mudelis võib mõne haru impedants olla negatiivne (olenevalt trafo mähiste paigutusest), kuid tuleb arvestada et Y mudel on arvutuslik (ekvivalent) ,  $\Delta$  mudel on füüsikalise sisuga näit X id puistereaktantsid.

--- **Trafo käidus** võimalike erinevate talitluste hulgal on kaks oluliselt erinevat tüüpi: **sümmeetrilised talitlused** ja **asümmeetrilised talitlused**.

Normaaltöös ja teatud rikeitel (3f lühis võrgus) on trafo talitus sümmeetriline, võrgu ja trafo asümmeetriline talitus tekib asümmeetrilistel rikeitel (asümmeetrilised lühised )võrgus.

Nende kahe erineva talitusolukorra analüüsil ja arvutamisel kasutatakse erinevaid meetodeid.

Kui esimesel juhul on selleks tavaline püsitalitluste arvutus ja võrgu ning trafo modelleerimine faasikoordinaatides , siis teisel juhul kasutatakse nn **sümmeetriliste komponentide meetodit** ja võrgu ning trafo mudel esitatakse järgnevuskoordinaatides .

--- **Antud** juhul peetaksegi silmas põhiliselt trafo käsitlust (modelleerimist) rikketalitlustes, millede põhisisuks on erinevat liiki lühised ja lühisvoolud. Kogu RK temaatika on seotud trafo enda ja külgnava võrgu rikete ja ebanormaalsete talitlustega ja lühisvoolude arvutamisega nendes talitlustes, kus trafo mudeliks järgnevusaseskeemide kolmik. Eespool arvatud trafo pikiimpedantsid  $Z_T$  aga on põhiparameetriks ka järgnevusmudelites (päri ja vastujärgnevus).

--- **Faasisuuruste vallas** kasutatav mudel on toodud eepool oleval joonisel kusjuures sageli seda lihtsustatakse veelgi jättes ära nn ideaalse trafo.

--- **Järgnevussuuruste vallas** koosneb trafo mudel iga järgnevuse jaoks erinevast asekeemist, Trafo aseskeemid erinevatele järgnevustele on erinevad, nagu näha järgnevalt joonistelt. See tähendab ka et asümmeetrilise lühise (võrgus) järgnevusaseskeemidesse läheb trafo vastavalt oma järgnevusaseseemi ja parameetritega.

Olulised aspektid:

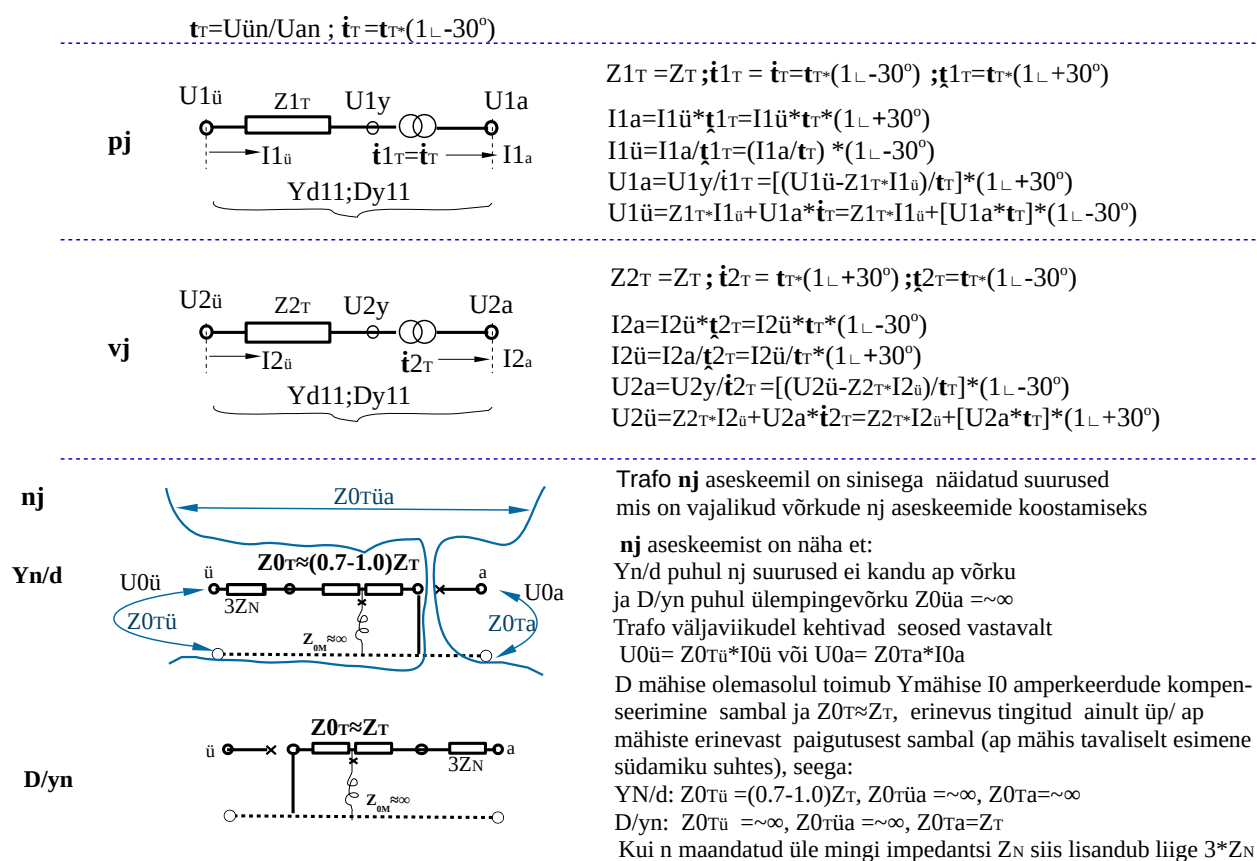
- a. päri ja vastujärgnevusaseskeemid konfiguratsioonilt sarnased ka  $Z_T1=Z_T2=Z_T$  kuid ülekandetegurid erinevad

$$\text{pärijärgnevusele: } \dot{i}_T1 = \dot{i}_T = \dot{U}_{1\bar{u}}/\dot{U}_{1a} = t_T * (1_L - 30^\circ)$$

$$\text{vastujärgnevusele: } \dot{i}_T2 = t_T * (1_L + 30^\circ)$$

Neid ülekandeteguri erinevusi võib käsitleda ka nii, et trafo läbimisel päri ja vastujärgnevus suurused pöörduvad eri suundades  $30^\circ$  (Lgr 11), seejuures toodud ülekandetegurid kehtivad **pingete** teisendamisel (nagu definitsioonis), **voolude** teisendamisel kasutatakse vastavate komplekstegurite **kaaskomplekse**.

- b. Trafode nulljärgnevusaseskeemid on pärijärgnevus aseskeemidest täiesti erinevad ja sõltuvad trafode lülitusgrupist, tulemusena võib trafos tekkida võrgu **nj** aseskeemi katkestus (mähisepaari Y/d konfiguratsioon. Nulljärgnevus kandub läbi trafo ühest võrgust teise **ainult** mähisepaaride YN/yn konfiguratsiooni puhul, seejuures nulljärgnevussuurus (näit vool) ei pöördu ehk **nj** ülekandegur  $t_{T0} = t_T$



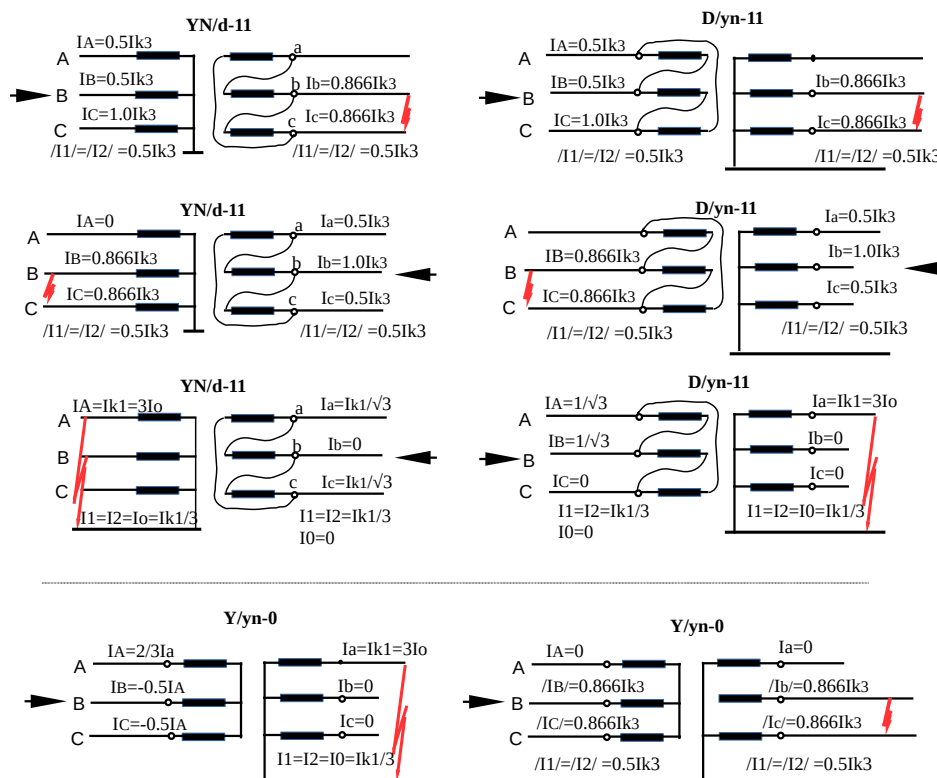
YNd11 ja Dyn11 trafode järgnevusmodel  
(järgnevus aseskeemid)

c. Faasisuurustele reageerivate kaitsete (näit faasivoolukaitset) sätestamisel tuleb silmas pidada trafos tekkivat järgnevuste pöördumisest tingitud efekti faasisuurustele, mille tulemusena faasisuuruste vahekorrad lühise asukoha poolele ja trafo teisel poolel on erinevad.

Näiteks jaotusvõrgu D/yn trafode D poole faasivoolu kaitsete tundlikkuse määramine yn poole lühistel.

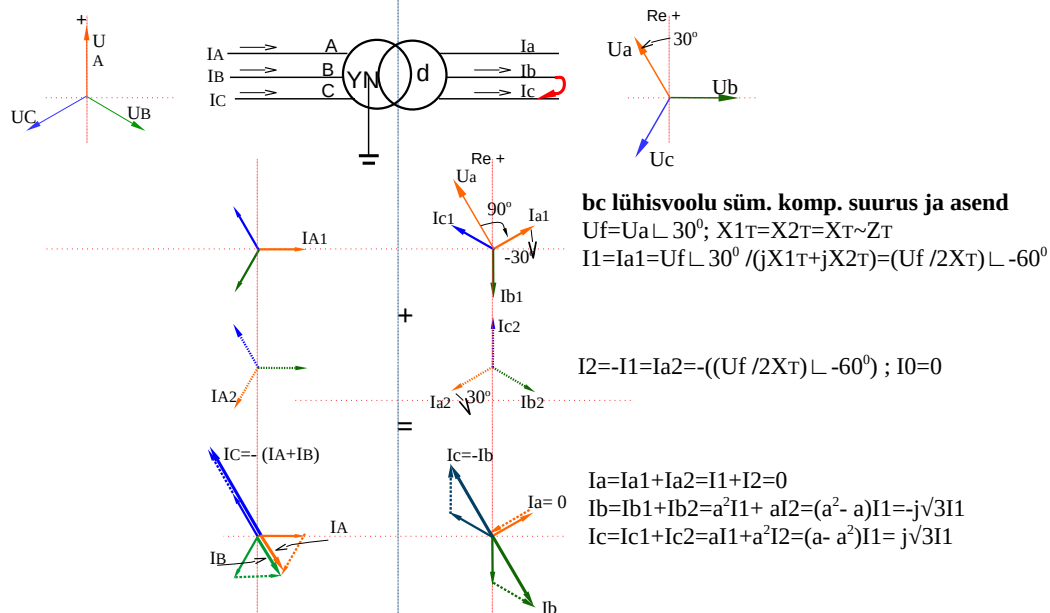
Veelgi keerukamaks kujuneb distantskaitse töö (rakendusulatus määramine) läbi trafo Y/D, D/Y mähisepaaride, dist kaitse kasutamisel reserveerimiseks tuleb kaitse käitumist uurida detailselt.

Järgnevas tabelis on näidatud asüm. lühisvoolude transformeerumine läbi Y/d, D/y ja Y/y mähisepaaride, faasivoolude tasemel (faasivoolukaitsete tundlikkuse kontrolliks). Teisendusi võib läbi viia graafilist meetodit kasutades vt ülejäämine joonis.

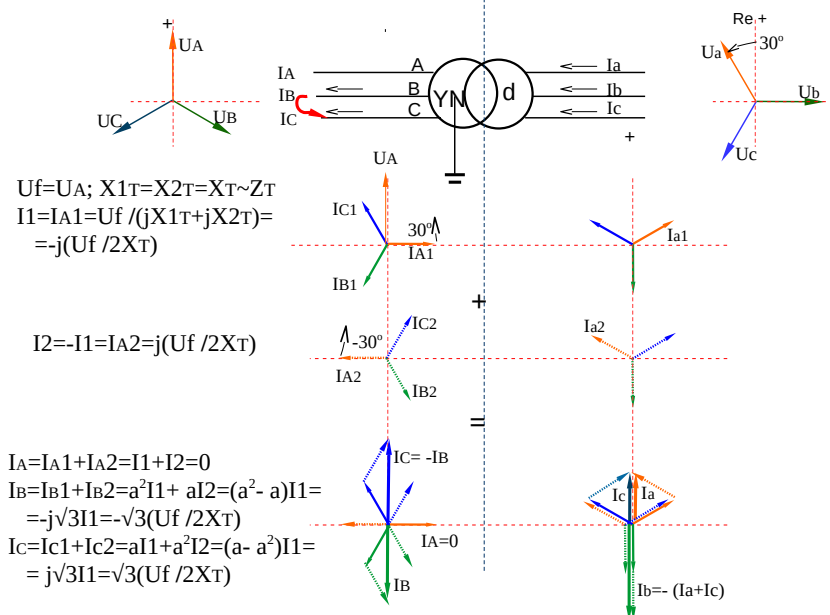


Ebasümmeetriliste lühiste lühisvoolude transformeerumine  
läbi Y/d, D/y trafode (toimub I1 ja I2 pöördumine)  
ja läbi Y/yn-0 trafode (I1 ja I2 pöördumist ei toimu)  
I0 transformeerumist ei toimu kummagil juhul.  
 $t_r = U_{\bar{u}}/U_a = 1$

### YNd11 trafo toide üp poolelt bc lühis ap poolel



### YNd11 trafo toide ap poolelt bc lühis üp poolel



Voolude transformeerumine läbi YNd11 trafo F-F lühisel ap ja üp poolel (graafiliselt)

## Trafode kaitsmisest ja **releekaitsest (RK)**

### Üldist

Trafo kaitsmisega on tihedalt seotud selle võrku ühendamise viis, mis omakorda sõltub trafo suurusest ja asukohast võrgus. Trafoga ühise komplekti moodustavad seadmed ja ühendused trafost kuni selle kommutatsiooniparaatideni. Väiksemate trafode (JV) kaitseks kasutatakse **üp** poolelt sulareid, **ap** poolelt sulareid või automaate, mis on nii kaitse kui kommutatsiooniseade üheaegselt. Suuremate trafode puhul tekib sularite kasutamisel mitmesuguseid raskusi, seega suuremad JV trafod ühendatakse üp poolt üle VL + RK, ap poolelt üle mp automaatide.

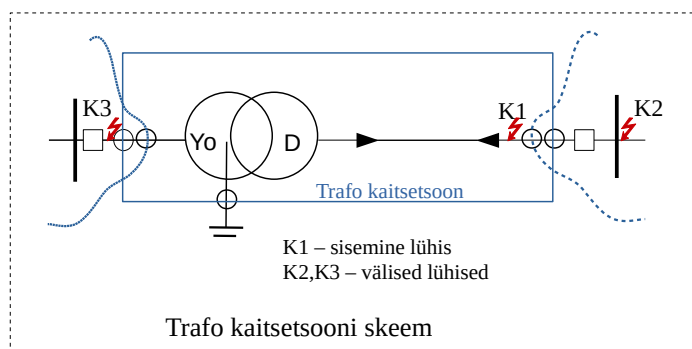
VL + RK-ga on alati seotud operatiivvoolu küsimus st relee toide ja VL välja ja sisselülimis impulss. Kui trafo asub suuremas alajaamas siis on üldiselt tegemist alalis operatiivvooluga (võib olla erineval pingel), kui aga tegemist väikeste alajaamadega, siis kasutatakse lihtsustatud variante näit vahelduv op. vooluallikaid milleks on voolutrafod või kondensaatorpatareid. Releede valikul tuleb sellega arvestada, sätestust üldjuhul see ei puuduta.

Nagu mainitud, laias käsitluses trafode võimsused ja tähtsus elektrivarustuses omavad väga laia diapasoni, seetõttu ka trafo kaitse kontseptsioonid ja kasutatud funktsioonide hulk on väga erinev, kusjuures konkreetsed nõuded ja piirid (näit võimsuse järgi) on erinevad ka energiasüsteemide lõikes. Lisaks trafo RK kaitsekontseptsioon ja funktsioonide valik sõltub oluliselt trafo asendist võrgus ja võrguosa konfiguratsioonist, erinevad on:

- trafo töö silmusvõrgus, võimalikud kahe-suunalised voolud jne. (alates trafode paralleeltööst)
- trafo töö avatud (radiaal) võrgus, võimalikud ainult ühe-suunalised voolud, näitena JV toitetrafod ja jaotusvõru jaotustrafod.

RK mõistes on oluline kaitstava objekti kaitsetsoon, antud juhul **trafo kaitsetsoon**.

Üldiselt kaitsetsoon ulatub läbi objekti voolutafodest (VT) voolutrafodeni, nagu järgneval skeemil. Trafode puhul kaitsetsoon haarab ka ühendusi trafo sisseviikudeni (näit. kaableid). Külgnervate objektide kaitsetsoonid peaks ideaalis ülekattuma, mis aga nõuaks täiendavaid VT komplekte, tavaseadmetes teostatakse ülekattumine siiski „vormiliselt”, valides kõrvalobjekti kaitseks kaugema südamiku (vt joonis), antud juhul lõikku VT...VL kaitstakse lattide kaitsega.



--- Kaitsetsooni mõistest tuleneb jaotus: sisemised rikked ja välised rikked ja häired

**Sisemised rikked** on väga erinevad lühised ja rikked trafo sees kui ka rikked trafo kaitsetsoonis olevatel seadmetel või ühendustel,

**välised rikked** on põhiliselt lühised piirnevas võrgus, aga ka talitlushäired mis kanduvad trafosse nagu ülepinged, sageduse kõrvalekalle jne.

Vastavalt jagatakse ka kaitseid :

- a. kaitseid sisemiste rikete kaitseks
- b. kaitseid väliste rikete kaitseks , siin on põhiliseks kaitseid väliste=läbivate lühiste vastu.

Olenevalt kaitsete toimimisviisist rakenduvad mõned neist nii sisemiste kui väliste rikete juhul.

---Elektrivõrgu objektide kaitse üldnõudest (töökindlus) tulenevalt peavad olulised kaitseid olema reserveeritud, sellest tuleneb eristus: **põhikaitseid ja reservkaitseid.**

--- Kaitseid **sisemiste rikete** vastu

Suuremate trafode **sisemiste rikete** kaitseid on ka **põhikaitseteks** ja nendeks on:

- a. faasvoolu dif kaitse DT (87T) , digireleedes DT on üldiselt nn pidurdusega kaitse mis koos magneetimisvoolu tõugete blokeerimisega on väga tundlik ja kiire (viide 0.0s), lisaks omab astet mis rakendub raskete lühiste puhul blokeerimisele vaatamata (reserv aste)  
DT ei kaitse keerdudevaheliste lühiste ja YN mähise N otsa keerdude maalühiste korral.
- b. Keerdudevahelise lühiste ja muude paagisisest rikete vastu kasutatakse gaasikaitset (Buchholzi relee).
- c. Suurte trafode YN mähise N otsa keerdude maalühiste kaitseks kasutatakse spetsiaalset dif kaitset, mis haarab YN mähise sisseviike ja neutraali N, tähis REF (restricted earth fault)  
Need on nn absoluutselektiivsusega kaitseid mis ei kaitse väliste rikete korral, sisemistel rikel tel töötavad aga viiteta.

Väiksematel trafodel (alla 6MVA) DT puudumisel on põhikaitse funktsioonis voolulised kaitseid .  
Põhikaitseid peavad omama reservkaitseid, milleks on tavaliselt voolulised funktsioonid

--- Kaitseid **väliste rikete vastu** .

Üldiselt väliste rikete kaitseid peavad olema sätestatud nii, et nad rakenduksid trafode ohtlike parameetri kombinatsioonide puhul ja ei rakenduks mitteohtlike puhul st et ei vähendaks võrgu varustuskindlust. Siin on mõõdikuteks (piiriks) nn trafode **taluvuskõverad**, teisisi, vastavate kaitsete sätted tuleb kooskõlastada trafo taluvuskõveratega, mis tähendab seda et nad on kiiremad kui kaitsekõverate poolt lubatu ( asuvad taluvuskõverate suhtes all- vasakul) .

Trafode **termilise ja mehhaanilise vastupidavuse (lühisvooludele) taluvuskõverad** on hästi defineeritud ANSI standardi järgi toodetud trafodele ja lihtsalt kasutatavad, (IEC puhul on olukord ebamäärasem).

Trafo **üleergutuse taluvuskõver**. Trafo üleergutus tähendab südamik magnetilise induktsiooni tõusu üle lubatud piiri, ning mis tekib pingest tõusul ja/või sageduse langusel vastavalt üldseosele  $K_{ie} = k \cdot (U/f)$  , üleergutuse taluvusnäitajaks on  $K_{ie}$  sõltuvus selle kestusest  $K_{ie} = f(t)$ . Üleergutuse vastu on oluline kaitsta jaamade plokkiskeemis ühendatud trafosid, mis peavad taluma suuri U ja f muutusi. Trafo taluvuskõvera  $K_{ie} = f(t)$  peab andma trafo valmistaja.

Põhiliseks on **kaitseid väliste=läbivate lühiste vastu**, mis peavad olema kooskõlas mainitud termilise ja meh. vastupidavuse taluvuskõveratga.

Kuna eespoolmainitud sisemiste rikete kaitseid (diffkaitseid) ei kaitse trafot läbivate lühiste puhul (kaitsetsoon ainult VT -deni) siis on vajalikud ka eraldi voolulised kaitseid (tasemelt põhikaitse) väliste lühiste vastu (erinevad mitmepoolse või radiaaltoite juhuks)

Kui põhikaitse ei rakendu siis peab rakenduma reservkaitse, või vähemtähtsatel objektidel kaugreserveerimine. Väga oluliste objektide kaitseks kasutatakse kahte põhikaitset.

Üldiselt, suletud võrguosas olulisel kohal olevate, võimsate trafode kaitsekontseptsioonid võivad olla üsna keerukad , eriti reservkaitsete osas.

### --- Veel **kaitsekontseptsiooni aluspõhimõtetest**

Trafo käidus esineb väga erinevaid talitlusolukordi, mida tuleb vaadelda erinevatest aspektidest RK seisukohast tuleb neid vaadelda ka lõikes:

- a. trafole lubatud (kuigi ebanormaalne võrgu talitus) - RK ei tohi rakenduda
- b. trafole mittelubatud = rikkeolek RK peab rakenduma.

#### **a. RK ei tohi rakenduda**

aa. töö **normaaltalitluste** piirkonnas trafo nimiparameetritega kus trafo võib töötada piiramatult pikka aega .

ab. Mitmesugused „ajutised” ja talutavad häired , mõned olulisemad

aba. mitmesugused trafo käidus lubatud ülekoormused

RK ei tohi rakenduda lubatud ülekoormustest, kuid peaks vältima (st andma signaali või rakenduma) trafo mähiste ja raua temperatuuri tõusu üle lubatud piiri.

abb. trafo magneetimisvooluga seotud nähtused

**Magneetimisvoolu tõuked  $I_m(t)$** , mis tekivad trafo sisselülilisel, paralleeltrafo

töösse viimisel, võrgupinge järskuldel muutustel, nagu lühise kadumisel, TLA töötamisel jne.

Need magneetimisvoolu tõuked on suure amplituudiga , mittesiinuselise kõvera kujuga sumbuvad impulsid, mis ei kujuta ohtu trafole kuid mis erinevatel põhjustel , olenevalt kaitsest, võivad tekitada valerakendumisi, mida on vaja vältida.

$I_m(t)$  näitajad sõltuvad ühelt poolt trafo tüübist, eriti võimsusest ja X/R suhtest (väikestel trafode sumbub kiiremini , kuid samal ajal kordsus nimivoolu suhtes tunduvalt suurem), teiselt poolt trafo asukohast võrgus st mida nõrgem toitevõrk ( $Z_s$  suurem) seda väiksem  $I_m(t)$  algväärtus, lisaks veel südamikujääkmagnetismist, sisselülilise momendist jne.

Magneetimisvoolu tõukele  $I_m(t)$  le on iseloomulikuks kaks tunnust

a) suur 2. hr sisaldus,  $2\text{ hr}/1\text{ hr} = 15\text{--}20\%$  - vähemalt ühes faasidest, seda kasutatakse dif kaitse ja tundlike vooluliste kaitsete blokeeringuks, nn blokeering 2.hr järgi.

b) voolu kõvera kuju on ebasümmeetriline, nii et üks poolperiood  $\sim$  vooluta, ka selle tunnuse järgi on välja töötatud blokeerimise viisid nn kõvera kuju järgi.

Neid tunnuseid kasutataksegi  $I_m(t)$  esinemise äratundmiseks ja vastavate kaitsete lühiaegseks blokeerimiseks. Digireleedes on nende kasutamiseks laiad võimalused , ning sätestamisel tuleb aluseks võtta releetootjate soovitusel.

Trafo **magneetimisvool suureneb** ohtlikult ka trafo üleergutusel, Üleergutus (tööpunkti nihkumine magnetahela küllastuse piirkonda) toimub nii võrgupinge  $U$  tõusul kui sageduse  $f$  langusel , ning ühisnäitajaks on suhe  $K \cdot U/f$  millele reageerivad nn  $V/Hz$  ehk üleergutuse kaitse. Üleergutusel magneetimisvoolu suurenemine võib-olla pikaaegsem ja kõvera kuju erineb  $I_m(t)$  kujust ning sisaldab olulisel määral 5. harmoonilist (paarituid).

Mag.vool lisandub pr.poole voolule, mistõttu üleergutusel võib tekkida dif kaitsete dif voolu suur ebabalans ning DT vale rakendumine.

Kuna kaitse peaks rakenduma vastavalt funktsioonile, siis üleergutuse tekkimisel peaks rakenduma vastav  $V/Hz$  kaitse (või ülepinge kaitse ) ning ei tohiks rakenduda trafo dif kaitse , et viimast ei juhtuks kasutatakse dif kaitse blokeeringut 5.hr järgi.

#### **b. RK peab rakenduma ja trafot kaitsma**

ba. Juba mainitud sisemistel riketel ja lühistel kaitsetsoonis – eespoolmainitud põhikaitse

bb. RK peab kaitsma mitmesuguste häiringute ja ebanormaalsuste tingimustes, mis on

põhjustatud trafo kaitsetsooni väliselt, kuid võivad ületada trafole lubatud **taluvusnäitajaid**.

bb1. trafode kaitsmine **läbivate lühiste** puhul, aluseks on siin trafo läbivate lühiste taluvus .

Termiline taluvus on määratletud põhiliselt mähise temp tõusuga lühisel (adiabaatilises protsessis), ning mis ei tohi ületada mähise isolatsiooni seisukohast talutavat piiri.

Dünaamiline taluvus on määratud max tõukelühisvooluga.

- ANSI/IEEE standardi trafo del iseloomustatakse termilise ja dünaamilise taluvuse piirkondade taluvuskõveratega  $f(I,t)$  millised on suhteliselt konkreetseid ja lihtsalt kasutatavad, kirjanduses suurel hulgal näiteid

- IEC standardi trafode puhul on taluvuse määrang vähem konkreetne :

**termilise vastupidavuse** seisukohast eeldatakse et max läbiva lühisvoolu  $I_{max}$

(3f lühis ap lattidel) on trafo võimeline taluma 2s, (kui ei ole passis teisiti)

st RK seisukohast läbiva lühise väljalülitamise viide

$$t < 2s. \quad (6)$$

**dün vastupidavus** on määratud trafode lubatud max läbiva lühise tõukelühisvoolu  $i_r$ -ga ning tingimus :

$$i_r > i_{vrk} \quad (7)$$

kus  $i_{vrk}$  - tõukelühisvool trafo ap lattide lühisel

$$i_{vrk} = I_{max} \cdot \sqrt{2} \cdot k \quad (8)$$

kus k -tõuketegur, mis võetakse tabelist vastavalt R/X le või arvutatakse

$$k = 1 + e^{(-0.01 \omega \cdot R/X)} \quad (9)$$

kus R,X - toitesüsteemi R ja X mõõdetuna trafo ap lattidel

Seega kui trafo on tellitud antud võrgu punkti jaoks siis **dün. taluvuse** kontrolli ei ole vaja, **termilise taluvuse** loogikaga (IEC) tekib küsimusi, ja just juhul kui kaitsete viited ületavad 2s kuid ka lühisvoolud väiksemad kui ap lattide lühisel, ANSI/IEEE sellist määramatust ei esine ??

bb2. trafo kaitsmine üleergutuse vastu - V/HZ kaitse (24).

Kaitse lülitatakse õlga kus ei ole koormuse all reguleerimist, täpsemalt kaitse peaks saama pinge mis on askeemi magneetimisharu otsal

bb3. trafo kaitsmine ülepinge vastu (59), sätestus valitakse trafo isolatsioonile lubatud pingetõusude (50Hz) järgi (tekkiva üleergutuse peaks likvideerima V/Hz kaitse.

bb4. Trafo kaitsmine alapinge vastu () kasutatakse juhul kui koormuseks mootorid mis on tundlikud pinge alanemiste vastu

bb5. Ülekoormuskaitse=soojuslikud ülekoormuskaitse (49).

Oma olemuselt peaksid kontrollima ja jälgima mähise max temperatuuri  $T_h$  (hot spot) ja selle kulgu ajas, kuna see määrab isolatsiooni vananemise kiiruse, st et ka mähise isolatsiooni eluea =trafo eluea.

Tüüpiliseks isolatsioonimaterjaliks on kas tava isolatsiooni paber või spets töödeldud isolatsioonipaber, nende hot spot temperatuurid, millele vastaks eluiga ~30a, on vastavalt  $T_{hip}=98^\circ\text{C}$  ja  $T_{htip}=110^\circ\text{C}$ , mida loetaksegi mähisele püsivalt lubatud max temperatuurideks. Koormusvool mille puhul (nominatsioonil keskonnamperatuuril) mähise  $T_h$  on võrdne vastavalt  $98^\circ\text{C}$  või  $110^\circ\text{C}$  on trafo nimikoormus antud jahutustingimuste jaoks. Koormusvool mis kutsus esile mähise temp mis ületab vastavat  $T_h$ -d on ülekoormus (ja

vastupidisel juhul alakoormus). Isolatsiooni vananemisprotsessi kiirus on selline et  $\Theta$  suurenemisel  $6(7)^{\circ}\text{C}$  võrra eluiga väheneb 2korda ( $\Theta$  vähenemisel vastavalt pikeneb). Seega kui tavaisolatsiooniga trafot koormata püsivalt nii, et tema  $\Theta=98+6=104^{\circ}\text{C}$  siis eluiga kahaneb 15 -le aastale ja vastupidi, kui samavõrd alakoormata siis tõuseb eluiga 60aastale. Reaalselt trafo ei oma püsivat koormust ja on periooditi alakoormatud (eluiga pikeneb), periooditi aga soovitakse üle koormata, kuid nii et ei toimuks olulist eluea muutust. Kõik see eeldab et tuleks jälgida mähise max temperatuuri, parim lahendus olekski mähise hotspot'i temp. otsene mõõtmine kuid see on tehniliselt keerukas (kiudoptiline andur) jne ja teostatakse suhteliselt harva (uued suured trafod).

Uutes releedes on kasutusel mitmesugused erinevad meetodid  $\Theta$  kaudseks arvutuslikuks hindamiseks, trafo soojuslikke parameetreid (ajakonstante) kasutades või ka lisades lihtsamini mõõdetavaid suurusi nagu keskkonna temp ja õli max temperatuur.

Paljudel juhtudel, eriti väikeste trafode puhul, on aga piisavaks ülekoormuskaitseks signaalile või signaalile ja väljalülamisele töötav max voolu kaitse (signaal antakse mingil väikesel nimikoormuse ületamisel, ning kus ülejäänu eest hoolitseb operatiivpersonal.

K1: [Trafo karakteristikate mõjust RK-le](#) ;

korrig 12.21

Koostas: Vello Zupsmann

[zups.ve@gmail.com](mailto:zups.ve@gmail.com)