

Elektrivõrgu releekaitse põhimõisteid.

Koostas :
Vello Zupsmann

Märksõnad: elektrisüsteem, ülekandevõrk, jaotusvõrk, relee, kaitsetsoon, lühised, asümmeetrilised talitlused, sätestus, reserveerimine, kooskõlastus, selektiivsus, tundlikkus, sümmeetrilised komponendid.

Elektrisüsteemi kõik elemendid töötavad väga rasketes tingimustes, seetõttu on paratamatud mitmesugused talitlushäired ja elementide **rikked**. Enamus riketel (lühised) tekivad elementides suured voolud, mis põhjustavad seadme osades suuri temperatuuri tõuse ja suuri mehhaanilisi jõude, mis lõpuks tähendab seda, et ilma rikkis seadme kiire kõrvaldamiseta vooluringist, muutuksid need kasutamiskõlbmatuteks või häviksid, või veelgi enam ühest rikkis seadmest algaks terve rikete laviin. Et midagi taolist ei toimuks on ajalooliselt välja kujunenud primaarelementide „kohale” seadmete kompleks (nn sekundaarseadmed) ja terve valdkond mis tegeleb primaarelementide kaitsmisega rikete esinemisel, seda valdkonda nimetatakse releekaitseks (RK). RK ei kaitse rikete vastu, vaid rikete esinemisel hoiab ära oluliste kahjude tekkimise.

Kõik elektrisüsteemi, elektrivõrgu elemendid (seadmed) peavad olema kaitstud, kusjuures elementide all on mõeldud võrgu osasid mis on eraldatavad võimsuslülititega (VL). Elementide kaitsmise all mõeldakse nende ebanormaalsete ja lühisolekute avastamist ning eristamist lubatud talitlustest ja järgnevat vigastatud elementide väljalülitamist.

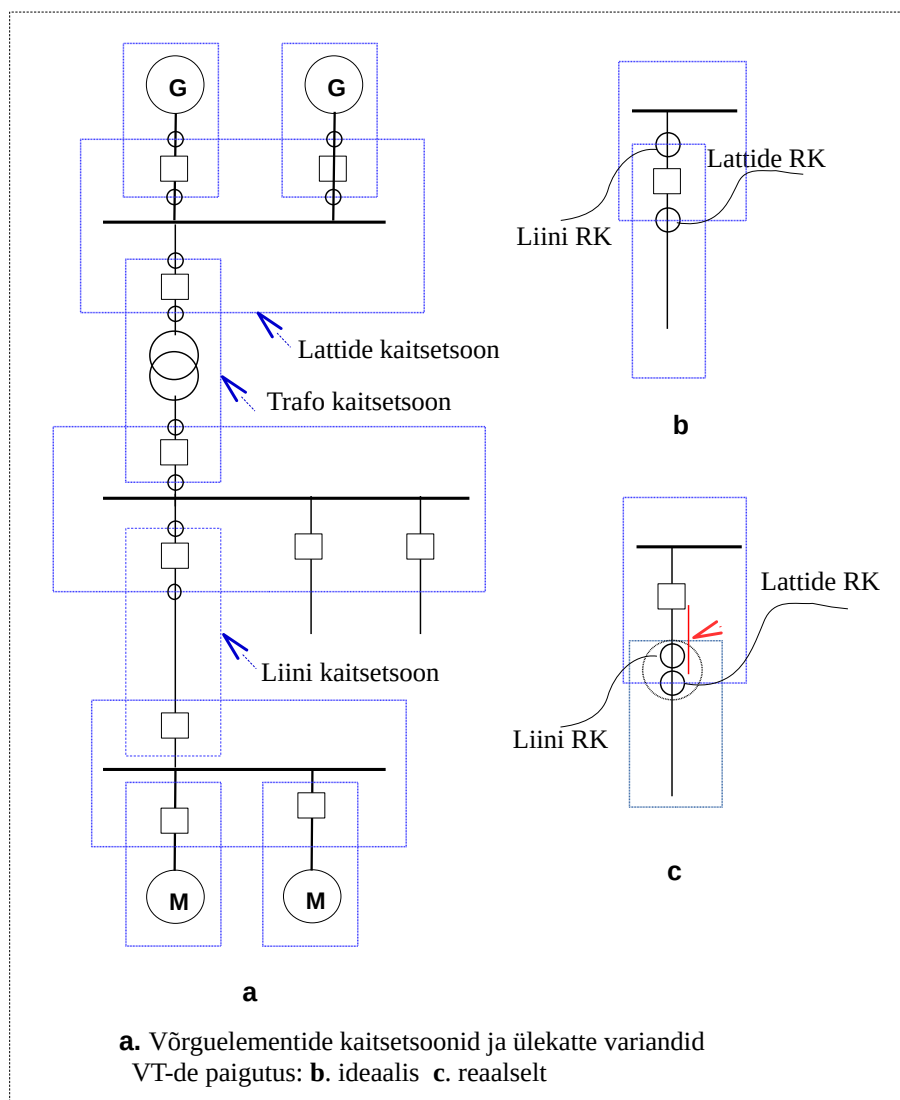
Elektrisüsteemi releekaitse (RK) on terve elektroenergeetika valdkond mis haarab:

1. elektriseadmete rikete kindlakstegemise teoreetilisi aluseid ning meetodeid.

RK teooria on tihedalt seotud elektrisüsteemi modelleerimise ning talitluste arvutamise ja simuleerimise meetoditega, seejuures kogu RK filosoofia üheks oluliseks põhialuseks on sümmeetriliste komponentide meetod (SKM) ja sellest tulenev järgnevussuuste kasutamine (isegi terminoloogias).

2. rikete avastamise **meetodite** realiseerimiseks vajalike **seadmete** kompleksi (kitsamas mõistes RK), kasutamine (valik, häälestamine) elektriseadmete kaitsmiseks.

RK on ajalooliselt vana elektroenergeetika valdkond, mis areneb koos elektrisüsteemi arenguga, eriti kiire areng toimub seoses uute tehniliste võimaluste tekkimisega.



Nagu mainitud võrgus ei tohi olla elemente või nende osi mis ei ole rikke puhul kaitstud, ning kogu võrgu **RK peab toimima kooskõlalise tervikuna**, mille osadeks on primaarelementide **kaitsetsoonid**.

Kaitsetsooni mõiste,

on RK projekteerimise, sätestamise ja funktsioneerimise analüüsi oluline põhimõiste.

Kaitsetsoone piiritletakse põhiliste primaarelementide kaupa, seejuures piiriks on

kaitse voolutrafod, VT -d (rikke fikseerimise võimalus) +VL-d (eraldamise võimalus) vt skeem a.

Parimaks lahenduseks peetakse seda kui kaitsetsoonid osaliselt lõikuksid, ideaaljuht (skeem b), kuna selline realiseering on kallis (nõuab 2x VT-sid) ja mõnedel juhtudel konstruktiivselt teostamatu (GIS), siis tegelikkuses kasutatakse lihtsamaid variante näit skeem c kus kasutatakse ühte ühist VT-t kuid ülekattuvate kaitsetsoonide jaoks kasutatakse VT erinevad südamikke. Seejuures, juhul c, VL ise ja lõik mis jääb VT ning VL vahele ei ole liini RK kaitsetsoonis, kuid on lattide RK kaitsetsoonis, st lühisel selles piirkonnas ei toimi liini vastava otsa kaitse, vaid esimesena toimib lattide kaitse ja seejärel liini vastasotsa RK.

Kokkuvõttes **kaitsetsoonide põkkumiskohad** nõuavad spetsiaalset tähelepanu eriti keerukamate ühendusviiside puhul.

Kuna kaitstavad põhielemendid on erinevate omadustega siis ka vastavad kaitsetsoonid ja kasutatavad RK-d (kaitseraleed) on erinevad. Põhilised kaitsetsoonide alaliigid on: generaatorid, trafod, latid, liinid, mootorid, kondensaatorpatareid. Lisada tuleks, et järgnev on klassikaline nn ühetasemeline lähenemine, käesoleval ajal seoses uute võimaluste tekkimisega (optilised infokanalid, GPS) tekivad ka kõrgemad tasemed, võiks mainida alajaama, el. jaama tase (objekti grupide kaitsetase) ja veelgi kõrgem võrguosa kaitsetase, laivõrgu kaitse (wide area protection).

RK toimimise alustest

Objekti RK hindab vastavas primaarseadmes toimuvat ja protsesside lubatavust oma sisendparameetrite alusel, milledeks on **voolud** voolutrafodest (VT) ja **pinged** pingetrafodest (PT) asukohaga objekti sisendites (väljundites). Seega RK adekvaatseks käitumiseks peavad mõõtetrafod (VT, PT) toimima piisavalt täpselt, kõikides võimalikes talitusolukordades . **Mõõtetrafode valik ja sobivuse kontroll** on RK valiku ja sätestamise üks põhiülesandeid. [Vaata ka link.](#)

RK elementideks mis teostavad objektide normaal (lubatud) talitluse eristamist rikketalitlustest (objektile mittelubatud , kahjustav) ja väljalülitusimpulsi andmist on **kaitseralee** või üldjuhul **releede kompleks**.

Kaasajal kasutatavad kaitseraleed (kaitsed) on digireleed mis on programmeeritud täitma paljusid erinevaid elementaarkaitsefunktsioone, mida eelneval el .mag. releede ajastul teostasid eraldioleavad releed, siit ka mõningane terminite laialivalgusus. Järgnevalt on nimetatud neid elementaarfunktsioone ka kaitseteks või funktsioonideks .

Nagu eelnevalt mainitud, RK (kaitseraleed) saavad kogu info kaitstavas seadmes toimuva kohta sisendites mõõdetud voolude ja pingete kaudu. Seejuures kaitse kasutab ja teeb **otsustusi** kas otseselt mõõdetud suuruste (selle parameetrite) alusel või teisendab neid ning teeb otsused mingite mõõdetud parameetrite alusel arvutatud funktsiooniväärtuste (komposiitsuuruse) alusel. Digikaitsetel on viimane võimalus eriti lai ja arenev.

Infokasutuselt võib kaitseid jagada

- a. kaitstava objekti ühe otsa (ühe ühenduse) infot kasutavad kaitsed
- b. kaitstava objekti kõikide ühenduste infot kasutavad kaitsed (langeb kokku mõistega „unit protection”)

Viimasel juhul tekivad lisavajadused (andmete edastuskanalid), ning andmeedastuse , andmete sünkroniseerimise jne probleemid. Positiivne pool on see et tulemusena saadakse nn absoluutse selektiivsusega kaitse, st kiire ja kooskõlastamist mittenõudev kaitse (tavaliselt põhikaitse), tuntuim esindaja on differentsiaalkaitse (palju erinevaid alaliike).

Liinide puhul näiteks võib teine ots olla väga kaugel ning vajaliku läbilaskega kanalite loomine kulukas, seetõttu liinide jaoks on välja töötatud palju erilahendusi, kuid käesoleval ajal seoses kiudoptika rakendamisega on realiseeritavad paljud uued võimalused.

K1. Cigre

Ajalooliselt on põhiline kaitse teostamise viis olnud releerakendamine mõõdetud või arvutatud **suuruste väärtuste** järgi, mille järgi jagatakse:

1. voolukaitsed - kaitse reageerib voolu suurusele ja rakendub lüheni (sätte) ületamisel. Jagunevad faasivoolu , järgnevusvoolu (nulljärgnevusvoolu, vastujärgnevusvoolu) kaitsed, suunatud ja suunamata kaitse. Põhiline kasutusvaldkond lihtsamate objektide põhi- või reservkaitse.
2. distantkaitsed – kaitse mõõtab (arvutatakse) mingit impedantsi ($Z = U/I$) ja rakendub kui mõõdetud suurus kaitstavas tsoonis st $Z_m < Z_{sätte}$, st mõõdetakse lühise kaugust RK komplekti asukohast, mis on oluline liinide kaitse põhimõte, kuid ka generaatorite ebanormaalsete talitluste kaitsete aluspõhimõte.

3. diferentsiaalkaitse (võrdluskaitse) – mõõdetakse voolu objekti kõikides sisendites, nii et objekt kujutab endast nn üldistatud sõlme, ja rakendusloogika aluseks Kirchhofi I seadus, st lühis on objektis kui sisenevate voolude summa ei ole null (ebabalansse arvestades kui $\sum I \geq \text{Irak}$), st rakendub ainult siis kui lühis kaitsetsoonis ning tagatakse nn absoluutne selektiivsus.

Diffkaitse on trafode ja generaatorite põhikaitse, ning lattide kaitse, seoses kiudoptiliste kanalite võimalustega ka oluliste liinide põhikaitse. Praeguseks on välja kujunenud palju diff kaitse alaliike, (eriti lattide ja liinide kaitsetena), kus kontrollitakse (võrreldakse) vastavalt vajadusele mitte alati voolu vektoreid vaid näieks mooduleid, nurki, suundi jne, kergendades nõudeid infokanalitele.

4. pingele ja sageduse suurusle reageerivad kaitse, seadmete temperatuuri kontrollivad kaitse (kas otseselt või mingi mudeli alusel), parameetrite keerukamaid funktsioone kontrollivad kaitse jne.

Releedes kaitsete =kaitsefunktsioonide „juhtimine” toimub **sätete** vahendusel. Säte (sätet: näit Irak, trak) tähendab talitusparameetrite läviväärtusi mille alusel ($I > \text{Irak}, t > \text{trak}$) eristatakse lubatud ja mittelubatud olekuid. Funktsiooni kasutuselevõtul tuleb funktsioon tööle viia ja **sätetada** analüüsil arvutatud ja valitud sätetega. **Sätete valik** on suhteliselt keerukas protsess paljude nõuete arvessevõtmisega.

Releed jagunevad vastavalt eelpoolmainitud kaitsetsoonide tüüpidele, sisaldades just primaarseadme iseloomuga määratud funktsioonide kompleksi. Kuna selliseid, erinevates olukordades vajalikke funktsioone on palju ja erinevate tootjate releedes on oma terminoloogilised ja muud eripärad, siis mingi ühtsuse saamiseks kasutatakse ühtseid funktsioonide tähistusi, milledest kõige universaalsem on nn **ANSI numbrid**. Siemensi funktsioonide tähistused põhinevad ka ANSI numbritel, ABB kasutab nn IEC tähistusi.

Näiteks mõned kaitserellede rühmad:

1. Liinide, fiidrite kaitserelleed

Siemens: 7SA522, 7SA6xx, 7SA82/.../87 (distantkaitse)

7SD5/6 – (liinide pikidifkaitse), 7SD52/53 – pikidif +distant

7SJ 61/62/63/64, 7SJ80 – fiidrite voolulised kaitse

ABB: REL-52/62- liinide dist kaitse, fiidrikaitsete seeriad REF 615/620/630 /650

2. Trafode kaitse

Siemens: 7UT6xx - trafode difkaitse + trafode kaitseks ja juhtimiseks vajalikud funktsioonid

7UT82/.../87 – väga palju funktsioone

ABB: RET542+, RET615/630/650 - trafode difkaitse ja muud funktsioonid

3. Generaatorite või gen.-trafo plokkide kaitsefunktsioonid

Siemens: 7UM6, 7UM85

ABB: REG670, REG 630

4. Lattie kaitse

Siemens: 7SS5xx/6xx

ABB: REB5xx/6xx

Digitaalsete kaitserellede areng on kiire, pidevalt lisandub uusi funktsioone ja võimalusi seepärast on oluline enne rele kasutuselevõttu või sätetamist tutvuda versiooni juhendiga.

----- RK üldnõuded ja iseloomustajad.

RK funktsioneerimisele esitatakse palju, nii üldisemaid kui detailsemaid **nõudeid**.

* **RK töökindlus (reliability) R** - RK võime rakenduda nii nagu eeldatud ja kavandatud

R=õiged rakendumised / soovitud (vajalikud) rakendumised+ valed rakendumised

R koosneb kahest allkomponendist dependability D ja security S:

usaldatavus (dependability) D: Seade peab rakenduma siis kui nõutud

D=õiged rakendumised / soovitud (vajalikud) rakendumised

turvalisus (security) S: Releede valerakendumiste mõõt

S=õiged rakendumised / kõik rakendumised

Üldiselt D ja S on vastandid, selles mõttes et D suurendamine vähendab S-i ja vastupidi S suurendamine vähendab D-d.

---Näide: mingi rele Rel mingi perioodi T rakendumiste statistika

kogurakendumisi 18, neist õigeid 15, mitterakendumisi 4;

>> soovitud rakendumisi 15+4=19, valerakendumisi 18-15=3

D= 15/19

S=15/18

--- R=15/(19+3)

Töökindluse tagamine:

Kaitse peab olema teostatud vastavaks otstarbeks sobivate kaitseskeemide ja RK seadmetega, lisaks reserveerimine (kaug ja lähireserveerimine) + sätetuse tundlikkus ja selektiivsus.

* **RK kiirus** - RK väljalülimise **kiirus peaks olema** maksimaalne, et minimeerida seadmete kahjustusi, kuid kindlasti selline et ei ületataks kaitstavate objektide nn taluvuse piire, näit kaabli, jõutrafo jne lühisetaluvust (voolusuurus + voolu kestus).

Kõrgematel pingetel on olulised **võrgu sünkroonse töö** nõuded, lühise kestus ei või muutuda häirivaks sünkroontööle, viimase saavutamiseks kasutatakse peale kaitse kiiruse ka faasikaupa juhtimist (+1f TLA), kiiretoimelist TLA-d jne.

* **RK selektiivsus** -RK võime välja lülitada kõige väiksem rikkeümbrus st põhimõtteliselt ainult rikkega element. Selektiivsust on lubatud rikkuda ainult harvaesinevates olekutes, näiteks kui on võimalik kasutada TLA-d ebaselektiivsuse korrigeerimiseks.

* **RK tundlikkus** -RK võime identifitseerida rikkeolek antud rakendussuuruse alusel

Põhimõttest et elementide RK peavad toimima võrgu vaatevinklist **kooskõlalise tervikuna** tulenevad edasised nõuded elementide RK-dele ja nende koostoimele.

1. Rikke korral elemendi kaitsetsoonis tuleb rikkega element ja ainult rikkega element (**selektiivsus**) eraldada võrgust võimalikult kiiresti (**kiirus**), ning **mitte** aeglasemalt kui elemendi poolt esitatud nõuded näit lühisvoolude taluvuspiirid.
2. Kuna nii võrgu kui RK elemendid võivad vigastuda või tõrkuda, siis RK funktsioneerimise organiseerimisel ja häälestamisel peab olema tagatud teatud kaitsevõimekuse **liiasus** (erineva olulisusega objektidel erinev), ning objekti RK (põhikaitse) tõrkumisel peavad reageerima erinevat liiki reservkaitsed st peab toimima **reserveerimine**.

Üldjuhul igale objekti kaitsetsoonile peab olema **põhikaitse ja reserveerivad kaitsed sageli ka varukaitsed**, ning vastavalt jagatakse ka kaitsetsoone. Varukaitse on normaalselt tööst välja viidud, ja viiakse automaatselt töösse põhikaitse toimimise häiringu avastamisel (näit dist kaitse pingeahelate rikked).

Reservkaitsed (funktsioonid) ja reserveerimist jagatakse: **kohalikuks reserveerimiseks** ja **kaugreserveerimiseks**.

Põhikaitse on kõige kiirem antud objekti väljalülitav kaitse.

Reservkaitsed on pidevalt töös olevad kuid põhikaitsest aeglasemad kaitsed mis toimivad põhikaitse tõrkel. Olulise tähtsusega elementidel võib olla kaks põhikaitset st reservkaitse asemel nn Main2, kusjuures võidakse nõuda ka et need on teostatud erinevate releedega.

Kohalik reserveerimine teostatakse teiste antud asukohas olevate aeglasemate ja samale VL-e toimivate kaitsetega, st reservkaitsetega.

VL- i tõrkumisel (VL tavaliselt ei ole dubleeritud, kuid võib omada kahte väljalülimispooli) olenevalt seadme konfiguratsioonist rakendub võimsuslüliti tõrke kaitse (**VLTK**).

Kui kohalik reserveerimine ei toimi, siis peab toimima nn **kaugreserveerimine**, mis teostatakse vigastatud võrguelemendi toite suundades (kahepoolset toitel), järgmiste katkestusvõimaluste (VL) RK-dega ja loomulikult ajaliselt pikemate viidetega kui kohaliku reserveerimise toimed.

Erinevate kaitsekomplektide toimimine peab olema **koordineeritud**, st toimed peavad olema omavahel **selektiivsed**.

Funktsionaalselt tähendab **selektiivsus** seda et kaitsed rakenduvad järgmises järjekorras:

1. põhikaitse,
2. eelmise tõrkumisel, kohalik reservkaitse,
3. VL tõrkumisel VLTK,
4. eelnevate mittetoimimisel kaugreserveeriv kaitse.

Soovitav **rakendusjärgnevus** saavutatakse erinevaid võtteid (selektiivsuse liike) kasutades.

Eristatakse järgmisi **selektiivsuse liike** (oleneb kaitse põhitüübist)

1. **absoluutne selektiivsus** - rakendus tsoon on fikseeritud kõikidest suundadest (võrdluskaitseid) kaitse rakendub ainult rikele kaitsetsoonis (objekti piires), selline omadus on kaitsetel mis põhinevad objekti kõikide sisendite kontrollil, nagu erinevat liiki diff kaitsed, KLL -ga dist kaitse jne. Kaitsetsoon on sisendite VT-dest seespool. Põhikaitse rakendumine on võimalik viitega 0.0s
2. **suhteline selektiivsus**, rakendustsoon on fikseeritud ühest küljest (RK, VT, PT asukoht) teised küljed on määratud sätete tundlikkusega ja kooskõlastustega järgnevate kaitsete suhtes. Kaitse rakendub sõltuvalt lühise asukohast, liigist ning valitud sättest võrgu erinevates osades, võib olla nii vaadeldava objekti põhikaitseks kui järgneva objekti reservkaitseks. Et saavutada soovitud rakendusjärgnevus tuleb kasutada erinevaid võtteid ja arvestada kõiki esineda võivaid talitusolekuid (lühisvoole). Valiku protsessi nim **sätete kooskõlastamiseks, koordineerimiseks**.

Koordineerimisel kasutatakse järgmisi selektiivsuse võtteid

- 2a. **vooluline selektiivsus** - vooluliste kaitsete puhul – kaitsetsooni üks ots fikseeritud VT-dega, teine ots kaitse rakendussuuruse= sätte väärtusega, sobiv säte tuleb valida arvutuste alusel.

Tüüpnäiteks nn voolulõige (voolulise kaitse I aste) mida saab rakendada ainult teatud objektide

(trafod ja pikad liinid) puhul, kui toime saab valida nii et kaitse ei rakendu objekti piirest väljapoole (viide 0.0s)

2b.viiteline selektiivsus - üldine võte, kus reserveeriva kaitse viide on Δt võrra pikem kui reserveeritava kaitse viide. Kasutatakse vooluliste ja distantkaitsete puhul astmete selektiivse rakendumise saavutamiseks. Viitelise selektiivsusega peab kaasnema ka võte „selektiivsus tundlikkuse järgi”, mis nõuab et reserveeriv kaitse ei tohi rakenduda kaugemal kui reserveeritav kaitse ning veelgi enam peaks olema tagavara (rakendusvoolude järgi $I_r > 1.1 \cdot I_{rv}$). Δt väärtused kohalikul reserveerimisel võivad olla minimaalsed (0,05s), kaugreserveerimisel Δt sõltub mitmesugustest asjaoludest nagu releede tüüp ja VL kiirus (oriendatav Δt sõltumatu kar. releed 0.2-0.3s, IDMT ka r 0.3-0.4 s)

2c.loogiline selektiivsus - blokeerivate signaalide kasutamine, digi releede puhul laialt kasutatud võte, eriti ühe seadme piires (tagasi blokeerimine), kasutatakse kiire lantide kaitse teostamiseks jaotusvõrgus.

Suletud võrgu ja kahepoolse toite puhul on selektiivsuse saavutamine suhteliselt selektiivsete kaitsetega võimalik ainult **suunaorganeid kasutades**, st kasutades distantkaitseid, või **suunatud voolulisi** astmeid.

Kaitse rakendus suuruse (sätte) tundlikkus on oluline põhimõiste.

Seda võib võtta kui töökindluse alammõuet ja tähendab seda, et tundlik kaitse rakendub oma nõutud rakenduse piiril ka kõige ebasoodsamas olukorras (minimaalne mõõdetud vool või max mõõdetud impedants) Voolulistel kaitsetel on tundlikkus kaitsetsooni lõpu minimaalse lühisvoolu ($I_{k_{bmin}}$) ja rele rakendusvoolu = voolulise sätte(I_s) suhe K_t

$$K_t = I_{k_{bmin}} / I_s$$

Üldnõue, põhikaitse (voolulisel) $K_t > 1.5$ ja reservkaitsetel $K_t > 1.2$

Distantkaitsetel on K_t vastupidiselt, rele sätte impedantsi Z_s , ja kaitstava tsooni lõpus asuva lühise puhul rele poolt mõõdetava max impedantsi $Z_{m_{max}}$ suhe

$$K_t = Z_s / Z_{m_{max}}$$

Distantkaitse I aste valitakse tavaliselt kiire st viitega 0.0s st et ta ei tohi rakenduda liini lõpuni (nagu voolulõige) ärahälestusteguriga $K_h = 0.8 \dots = 0.85$.

Distantkaitse II aste peab kindlalt rakenduma kaitstava liinilõpu lühistel tundlikkusega $K_t = Z_{s2} / Z_L > 1.2$

Üldiselt nõutavaid tundlikkuse väärtusi tuleb täpsustada ka releede juhenditest.

Sätete koordineerimine on keerukas protsess kus on seotud selektiivsus ja tundlikkus, kui tundlikkus ei ole rahuldav siis tuleb teha järgmine iteratsioon ja kooskõlastada teisiti, mingi järgmise astmega millega üldiselt viide pikeneb.

Koordineerimine tuleb teostada **kõigi võimalike olekute (lühisvoolude) hulgal**, st arvestades kõiki esineda võivaid võrgu konfiguratsioone ja lühisolekuid.

Koordineerimisprotseduuri keerukus ja töömahukus sõltub oluliselt võrguosa konfiguratsiooni keerukusest.

Näiteks keeruka silmusvõrgu puhul on pea-aegu mõõdapääsmatu erinevate talitluste simuleerimise vajadus arvutusprogramme kasutades.

Radiaalvõrgu puhul on käsitlarvutus teostatav, üldiselt ka lihtsa kahepoolse toite puhul. Täpsemalt käsitletakse **koordineerimivõtteid** erinevate kaitsetüüpde juures.

Mingi objekti või võrguosa RK valik, projekteerimine, valmishitus ja töösseviimine on mitmeastmeline protsess mis peaks algama objekti **kaitsekontseptsiooni koostamise** ja vajalike sobivate **RK seadmete valikuga**.

Valitud RK seadmete täpne (eelpooltoodud nõuetele ja objekti käitamishõuetele vastav) häälestamine ja kooskõlastamine olemasolevate RK seadmetega toimub **RK sätete valiku** etapil

Mingi objekti **sätete valiku** teostamiseks vajalik lähteinformatsioon on lai.

a. objekti enda (näit trafo) elektrilised parameetrid, taluvuskõverad, kaitsetsooni ulatus, valitud voolutrafo, pingetrafo,

b. projekteerimisel valitud kaitsekontseptsioon ja RK seadmed

c. ümbritseva võrgu (üks või kaks objekti igas suunas) skeemid, võimalikud konfiguratsioonid, ülekoormused

d. toitepoole ekvivalentsed parameetrid min ja max talitluses (min ja max lühisvoolud)

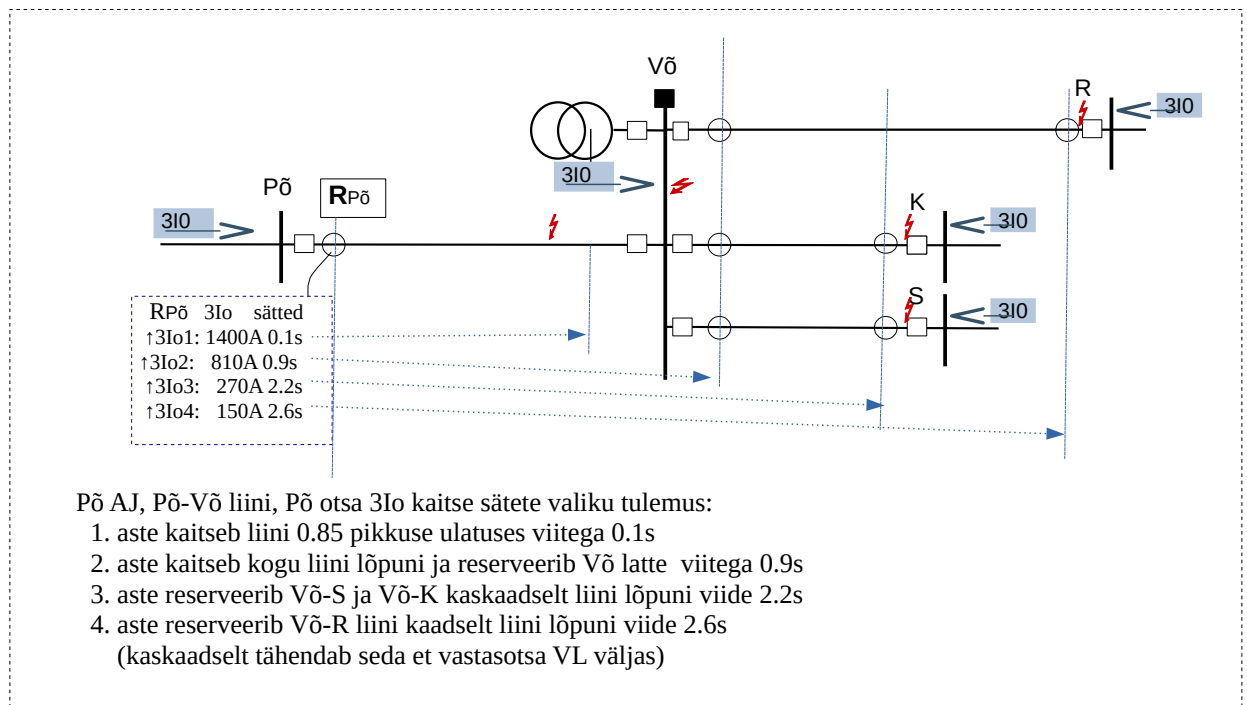
e. eelneva alusel koostatakse piisava detailsusega aseseem (enamuses sümmeetrilistes komponentides) ja arvutatakse min ja max võimalikud lühisvoolud RK häälestusks vajalikes punktides.

f. järgneb ettenähtud kaitsete sätete valik ja omavaheline kooskõlastamine mis on mitmeastmeline iteratiivne protsess. Seejuures võib ilmned et kõikidele nõuetele vastavaid sätteid ei õnnestugi leida ja tuleb kasutada kogemuslike kompromisse, puuduste märkimisega tulemustes.

Digikaitsete puhul on oluline see, et kasutada on **mitu sättegrupp** (tavaliselt 4) mis on ühel või teisel viisil ümber lülitatavad, sättegruppide kasutamisel on võimalik leida sobiv sätestus ka raskelt ühitatavate võrgu konfiguratsioonide puhul

Üldjuhul uue objekti või objektide lisandumisel **tuleb osaliselt muuta** ka piirnevate töösolevate objektide RK sätteid.

Näide: Põ AJ, Põ-Võ liini Põ otsa 3Io kaitsete sätete valik. 110kV võrgu suhteliselt lihtsa kofiguratsiooniga osa, kahepoolne toide, alajaamades trafode neutraalid maandatud, seega tuleb arvestada 3Io voolude jagunemisega, vt järgnev skeem.



kuna Võ-st väljuvatest liinidest üks on lühike (võrreldes Põ-Võ ga) siis teist astet ei õnnestu kk väljuvate liinide 1 -ste astmetega (vaid 2.astmetega) tulemusena viide 0.9s , st Põ-Võ liini lõpuosa F-m lühised lülit välja viitega 0.9s ga .

M: Näite mõte: Liini ühe otsa sätete valik ,lihtne konfiguratsioon, kuid kasutada peab olema suhteliselt lai info, töö läbiviimiseks tuleb teha suur hulk ebsümmeetriliste F-m ja FF-m lühiste nulljärgnevusvoolude arvutusi. Tulemus : viited kujunevad ikkagi pikaks.

Kaitstavate objektide erinevustest .

Kaitstavate objektide lõikes on kõige keerulisema RK-ga objektiks generaatorid.

Kui vaadata võrgu funktsiooni järgi (ülekandevõrk, jaotusvõrk), siis **ülekandevõrgu** ja **jaotusvõrgu** RK kaitsekontseptsioonides on suured erinevused mis tulenevad nende erinevast asendist ning funktsioonist süsteemis konfiguratsioonist ja ka käidu iseärasustest.

Ülekandevõrk on kõrgete pingetega (>115kV) , pikkade liinide ja võimsate trafodega, eff. maandatud neutraaliga võrk , mis töötab suletud võrguna, st enamus konfiguratsioone on mitmepoolse toitega. Funktsionaalselt ühendab võimsaid elektri jaamu, süsteemide vahelisi sidemeid (**vv** või **av** lingid) ning võrgu tarbimistsentreid.

Funktsioonist tulenevalt on ülekandevõrguga seoses vähemalt **kaks olemuselt erinevat häiringute** liiki
a. klassikaline **elementide rike** (tagajärjeks katkestused, lühised), millega tegeleb releekaitse (RK) eespooltoodud mahus

b. elektrienergia **genereerimise ja ülekandeprotsesside häiringud**, millede algpõhjuseks võivad olla elementide rikked kuid ka paljud muud häired, genereerimise defitsiidid , ülekoormused, valeoperatsioonid , valed juhtimisotsused jne, mille tulemusena tekivad erinevat liiki stabiilsuste häiringud või kaod , ning mis arenedes võivad viia väga raskete kaskaadsete avariideni või süsteemi funktsioneerimisvõime osalise või täieliku kaoni, kuni süsteemi kustumiseni .

Mainitud häiringute ennetamiseks, lokaliseerimiseks, tagajärgede leevendamiseks jne on kasutusel , suur hulk meetodeid ja vahendeid millega tegeleb valdkond mida nimetatakse (on erinevaid nimetusi) **süsteemiautomaatika** (SA) (SPS- system protection scheme). Klassikaliselt SA otstarbelised seadmed olid sageli käsitletud koos RK seadmetega.

RK automaatikad mis täidavad ka SA funktsioone :

- a. asünkroonkäigu automaatika, lahutuskaitsed
- b. koormuse vähendamise automaadid sageduse ja pinge järgi,
- c. TLA – taaslülituse automaadid mitmesuguste kontrollidega ,
- d. VLTK – võimsuslüliti tõrke kaitse,
- e. RLA -reservi lülituse automaatika

Eelnevast on ka näha miks on ülekandevõrgu RK teostuse kvaliteet ülioluline, kusjuures elemendi rike võib olla alguseks süsteemi funktsioneerimishäiretele, ning RK tööle peab järgnema SA töö.

Jaotusvõrk, töötab pingetel $<115\text{ kV}$, kõik objektid on tunduvalt väiksemate võimsustega, liinid lühemad (võib olla kaabelvõrk) ehitatud maandamata või kompenseeritud neutraalga võrguna ja käitatakse avatud = radiaalvõrguna st konfiguratsioonid enamuses ühepoolse toitega. Geograafiliselt asub jaotusvõrk ülekandevõrgu „all”.

Viimasel ajal esineb ka kahepoolse toitega võrguosi, tingituna põhiliselt kohalikest koostootmisjaamadest (CHP), kuid radiaalkonfiguratsiooni tõttu on JV objektide RK suhteliselt lihtne ja ka kooskõlastused lihtsad, oluliselt ei tekita probleeme ka mõningane hulk CHP-sid kuna tegemist sünkroongeneraatoritega.

Probleemseks ja tunduvalt kallimaks näivad jaotusvõrgu RK seadmed kujunevat nn jaotatud genereerimise puhul just tingituna suurest hulgast muundurtoiteallikatest (päike, tuul) millele elektrilised karakteristikad on oluliselt erinevad klassikalisest sünkroongeneraatorist. Taoline „tark” jaotusvõrk töötab kujuneda tunduvalt kallimaks praegusest juba ainuüksi keerukama RK komponendi tõttu.

Täienduseks eespooltoodule ,

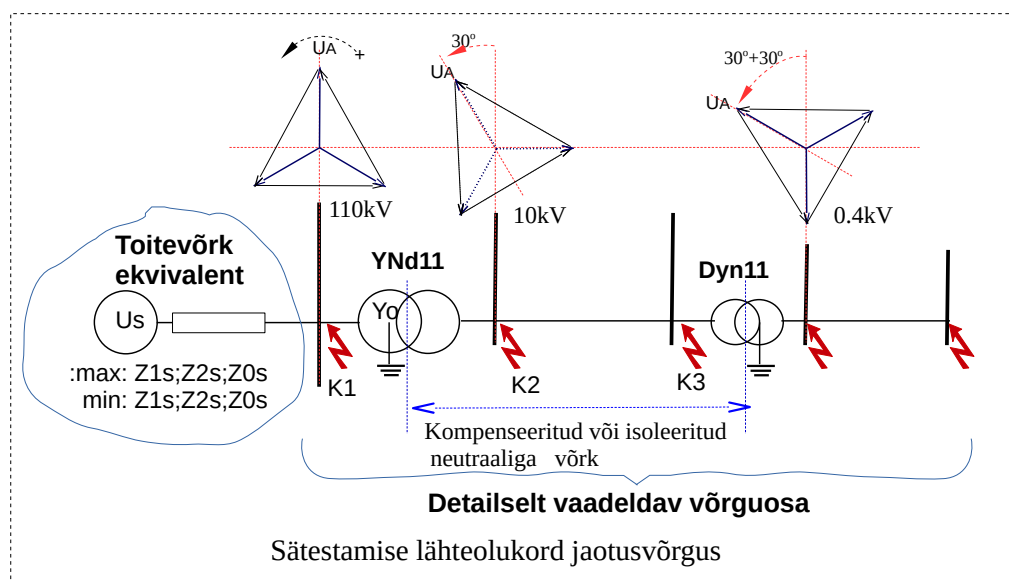
RK sobiva funktsioneerimise saavutamiseks on vajalik adekvaatne **elektriliste protsesside** käsitus võrgu primaarelementides, põhiliselt on see vaadeldava võrguosa äärmuslike püsitalitluste hindamine ja **võimalike lühisvoolude hindamine ja arvutus**, mille alusel on võimalik arvutada ja valida eespooltoodud nõudeid rahuldav **RK sätestus** (juhtimisparameetrite kompleks).

Normaalsed ja **äärmuslikud püsitalitlused** on üldiselt käidu tegevusvaldkond ja RK valikul, häälestamisel võetakse need arvesse **etteantutena, mitterakendumise** nõudena RK-le.

Mitmesugused **siirdetailitlused** on RK valiku ja sätestuse käigus aga **eraldi analüüsiobjektiks**, osa neist on käidus toimuvad **normaalprotsessid** nagu trafode magneetimisvoolu tõuked, mootorite käivitusvoolud, elektromehaanilised võnkumised (osaliselt) jne , mis RK valikul esinevad samuti mitterakendumise nõudena kuid millele näitajad tuleb RK valiku käigus hinnata.

Teiseks pooleks on **ohtlikud siirdetailitlused** mille puhul **RK peab rakenduma** , kokkuvõtlikult **rikked ja valeoperatsioonid** , põhiliseks mitmesugused **lühised**.

Kuna **RK põhifunktsiooniks on võrgu lühiste eristamine lubatud talitlustest** siis võrguosa analüüsi põhiline osa on võimalike lühiste parameetrite: voolud ja pinged määramine , **niisama lühise asukohtades kui kaitserелеde asukohtades**.



Lühisvoolude määramise esimeseks sammuks on määratleda vajalike (oluliste) lühiste asukohad ja seejärel määrata võrguosa mida tuleks arvutuste tegemiseks **detailset modelleerida**.

Koguvõrgu põhiosa (tavaliselt koos genereerivate elementidega) mõju vaadeldavale osale käsitletakse **ekvivalenteeritult**, põhiline on, et vaadeldava osa mudel koos ekvivalenteeritud osadega peab kirjeldama vaadeldavas osas toimuvaid protsesse piisavalt täpselt, näiteks arvutatud lühisvoolud peavad olema vea

piires võrdsed, realses võrgus esinevate lühisvooludega, siit tulenevad ka mudeli ja arvutuste nn lubatud lihtsustused. Seejuures võrgu ekvivalente ja mudeleid tekib mitu, sest sätestamiseks on vajalikud just lühisparameetrite äärmuslikud variandid (näit suurimate lühisvooludega ja väikseimate lühisvooludega variandid).

Kõrgematel pingetel ja suletud võrgu puhul võib vajalik piirkond kujuneda suhteliselt suureks ning lühisvoolude määramine ilma arvutil modelleerimata ja arvutusprogramme kasutamata on raskendatud. Suletud ja avatud võrgu piiril või avatud võrgus (ka kahepoolisel toitel) on arvutuste teostamine „käsitsi” täiesti läbiviidav, eriti kui kasutada toiteallikana **võrgu põhiosa ekvivalente**, mis põhimõtteliselt on ekvivalentne toiteallikas, detailselt vaadeldavale võrguosale.

Võrgu põhiosa ekvivalendid saadakse modelleeritud koguvõrgu lühisvoolude arvutuse lisaproduktina. Arvutuse olulisteks lähteandmeteks ongi **toiteallikate andmed** st kas vaadeldava osa sisendini ekvivalentreeritud toitevõrk või kohaliku genereeriva elemendi elektrilised parameetrid.

Täpsem modelleerimine ja arvutuste teostamine sõltub sellest kas vaadeldakse **sümmeetrilisi** või **asümmeetrilisi** talitlusi (lühiseid). Asümmeetrilisi talitlusi (lühiseid) on võimalik analüüsida ainult nn sümmeetriliste komponentide meetodiga (SKM), ning kuna SKM võimaldab analüüsida ka sümmeetrilisi talitlusi (=võrgus esineb ainult pärijärgnevus) siis üldjuhul on otstarbekas kasutada ja kasutataksegi just sümmeetriliste komponentide meetodi mudeleid ja terminoloogiat.

Väga üldiselt, **süm komponentide meetod** on 3f elektrihaelate arvutus mingis teises koordinaatide süsteemis kus faasisuuruste V_a, V_b, V_c asemel on nn järgnevussuurused V_1, V_2, V_0 - vastavalt päri -vastu ja nulljärgnevussuurused. **Fortescue teisendus** teisendab faasikoordinaatides võrguvõrrandid nn järgnevuskoordinaatidesse (kolm), mis ei ole omavahel seotud vastastikuste induktiivsustega nagu faasikoordinaatides, ning mille tulemusena need kolm järgnevusaseskeemi on seotud ainult asümmeetria asukohtades. [Vaata ka](#)

Seega

- a. Sümmeetrilistes talitlustes nii normaal kui rikke situatsioonides on piisavaks võrgu käsitus faasikoordinaatides. Võrgu ekvivalentiks on võrgu ekvivalentne impedants $Z_{S\Sigma}$ mingi etteantud sõlme s suhtes ja pinge süsteemi sõlmes $U_{S\Sigma}$ ehk nn Theveneni ekvivalent. Reaalselt piirduakse sageli (eriti esialgsetes arvutustes) lühisvõimsustega S_{ks} sõlmes s , sel juhul loetakse vooluallika pingeks võrgu nimipinge U_{sn} ja ekvivalentne impedants $Z_{S\Sigma}$

$$Z_{S\Sigma} = U_{sn}^2 / S_k$$

See meetod sobib hästi kui sõlme s võib lugeda generaatorikaugeks, st lühisvoolu perioodiline komponent on ajas muutumatu (enamus jaotusvõrgu arvutusi).

Lühistel genereerivate allikate läheduses generaatorite reaktantsid ei ole ajas konstantsed (ergutuse forseeringu arvestamisel ka emj-d), tulemusena **lühise algmõõdul** tekib nn ülimööduv lühisvool I''_k mis hakkab kiiresti sumbuma, ning seega RK arvutusteks lühisvool lähedasest generaatorist on ajas muutuv, st generaatorit tuleb modelleerida täpsemalt, ning lähteandmeteks on kogu generaatori põhiparameetrite hulk. Probleemid tekivad vahepealsete olukordadega (osa voolu süsteemist osa voolu lähedasest generaatorist).

Nagu eespool mainitud süsteemi toiteosa konfiguratsioonid muutuvad, sellega muutuvad ka ekvivalendi arväärtused, seega RK arvutusteks on vajalik vähemalt kaks komplekti: võrgu max talitlusele (max lühisvõimsus S_{kmax} sõlmes s) ja võrgu min talitlusele (min lühisvõimsus S_{kmin} sõlmes s) vastav.

- b. Asümmeetriliste talitluste käsitlemisel kasutatakse, nagu mainitud, sümmeetriliste komponentide meetodit (SKM) ja võrku käsitletakse järgnevus aseskeemide tasemel. Asümmeetrilisteks talitlusteks on asümmeetrilised lühised (põiki ebasümmeetria) ja faasikatkestused (pikiebasümmeetria). Põhiliseks rikkeliigiks on asümmeetrilised lühised, nendeks on

eff. maandatud neutraaliga võrgus - FF, Fm, FFm lühised, isol. neut võrgus - FF lühised.

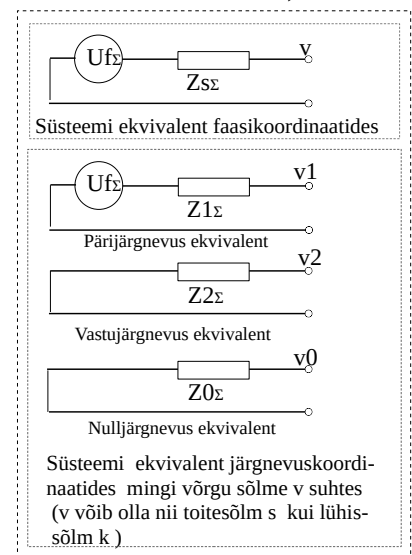
Antud juhul on võrgu aseskeem asendatud kolme aseskeemiga (päri -vastu ja nulljärgnevusaseskeemiga),

*pärijärgnevusaseskeem ja parameetrid langevad kokku võrgu faasikoordinaatides aseskeemiga ja sisaldab ka emj ($U_{f\Sigma}$),

*vastujärgnevusaseskeem samuti, välja arvatud see, et ei sisalda emj- e ja generaatorite vastujärgnevusparameetrid erinevad pärijärgnevusparameetritest,

* nulljärgnevusaseskeemi konfiguratsioon ja elementide parameetrid erinevad oluliselt faasikoordinaatides parameetritest.

Saadud järgnevusaseskeemid ekvivalenteeritakse vajalike lühispunktide suhtes, tulemusena saadakse



järgnevusekvivalent vajaliku lühispunkti k suhtes nagu skeemil ($k \equiv v$), ning ekvivalentsete järgnevusparameetrite komplekt mingi sõlme v suhtes : $U_{f_{\Sigma}}; Z1_{\Sigma}; Z2_{\Sigma}; Z0_{\Sigma};$

kus $U_{f_{\Sigma}}$ - võrgu ekvivalentne toitepinge , faasisuurus;

$Z1_{\Sigma}, Z2_{\Sigma}, Z0_{\Sigma}$, - ekvivalentsete järgnevusimpedantsid, seejuures $Z1_{\Sigma} = Zs_{\Sigma}; Z2_{\Sigma} \approx Z1_{\Sigma};$

gen.lähedastel lühistel $Z2_{\Sigma} \neq Z1_{\Sigma}; Z0_{\Sigma}$ - suurus on eelnevatest oluliselt erinev.

Järgnevusparameetrite alusel arvutatakse (erinevatel lühiseliikidel erinevad valemid) asümmeetriliste lühiste järgnevusvoolud ja pinged lühispunktis . Edasi on võimalik arvutada järgnevus suurused teistes harudes -sõlmedes ning vajadusel üle minna faasisuurustele.

[Asümmeetriliste lühisvoolude arvutus detailsemalt](#)

=====

Koostas :
Vello Zupsmann
zups.ve@gmail.com