

Tisztelt olvasó!

Ez munkaközi anyag, nem lektorált. Amennyiben hibát, elírást talál benne, vagy szerkesztési javaslata van, akkor kérem jelezze a részemre! (elkborzo@uni-miskolc.hu)

Egyenlőre minimális magyarázattal, vázlatos formában adom közre, segítségként a felkészüléshez.

A további részek folyamatosan készülnek, a meglévők módosulnak....

Borsody Zoltán adjunktus

Védelmek, automatikák feladata, követelmények

Alapok

Védelem feladata:

- hiba, rendellenesség érzékelése
- hibás berendezés kikapcsolása (hiba elhárítása)
- jelzés (információ szolgáltatása)
-

Automatika feladata:

Üzemzavari automatika:

- rendellenes üzemállapot megszüntetése
 - normál üzemállapot visszaállítása (ha lehetséges)
 - fogyasztók ellátásának biztosítása (tartalékok bekapcsolása)
- Például: visszakapcsoló-, tartalékatkapcsoló automatikák

Üzemviteli automatika:

- ellátás minőségi paramétereinek figyelése
 - minőségi paraméterek szabályozása
- Például: feszültség-, frekvencia-, meddő energia, Petersen szabályozása

Rendszer automatikák:

- terhelés korlátozó (FTK)
- erőművi szabályozás (pl. primer, szekunder szabályozás)
- rendszer kapcsolati automatikák (pl. Pszeudo-szinkron)

Védelmek fajtái

Érzékelés módja:

- primer védelem: az áram közvetlenül átfolyik rajta
- szekunder védelem: áramváltón keresztül érzékel

Kioldás módja:

- kioldó: a megszakító mechanikát közvetlenül működteti
- relé: segéd feszültséget kapcsol a megszakító működtető tekercsére

Alapvetően szekunder reléekkel, védelmekkel foglalkozunk.

A (*mérő-*) *relé* valamilyen analóg fizikai (villamos-) mennyiséget érzékel, és kétállapotú kimenőjelet ad a bemenőjel értékétől függően. Általában egy fizikai egységben megvalósított készülék formájában találkozunk vele.

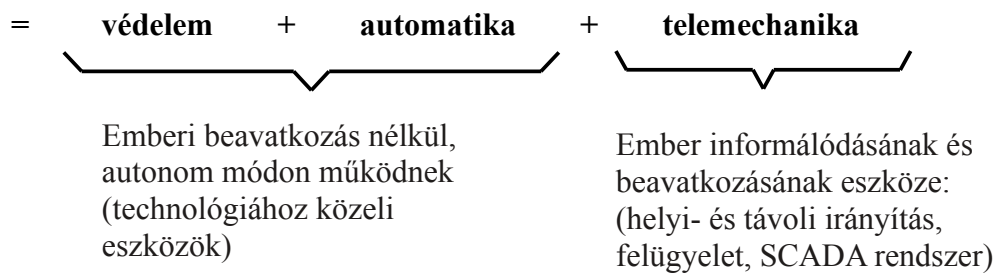
A *segédrelék* feladata az érintkező sokszorozás, logikai kapcsolatok megvalósítása, teljesítmények kapcsolása, galvanikus leválasztás.

Az *időrelék* késleltetést végeznek (pl. a szelektivitás érdekében), vagy ejtés késleltetésű reléként emlékeznek korábbi eseményekre, információt őriznek meg a beállított ideig, pl. megszakító bekapcsolt állapotára, GVA indításra, stb.

Egy *relé* funkció többnyire elektromechanikus, elektronikus, vagy szoftveres úton is megvalósítható.

A *védelem* alatt általában összetett, több funkciót megvalósító - több relét is magába foglaló - készüléket értünk.

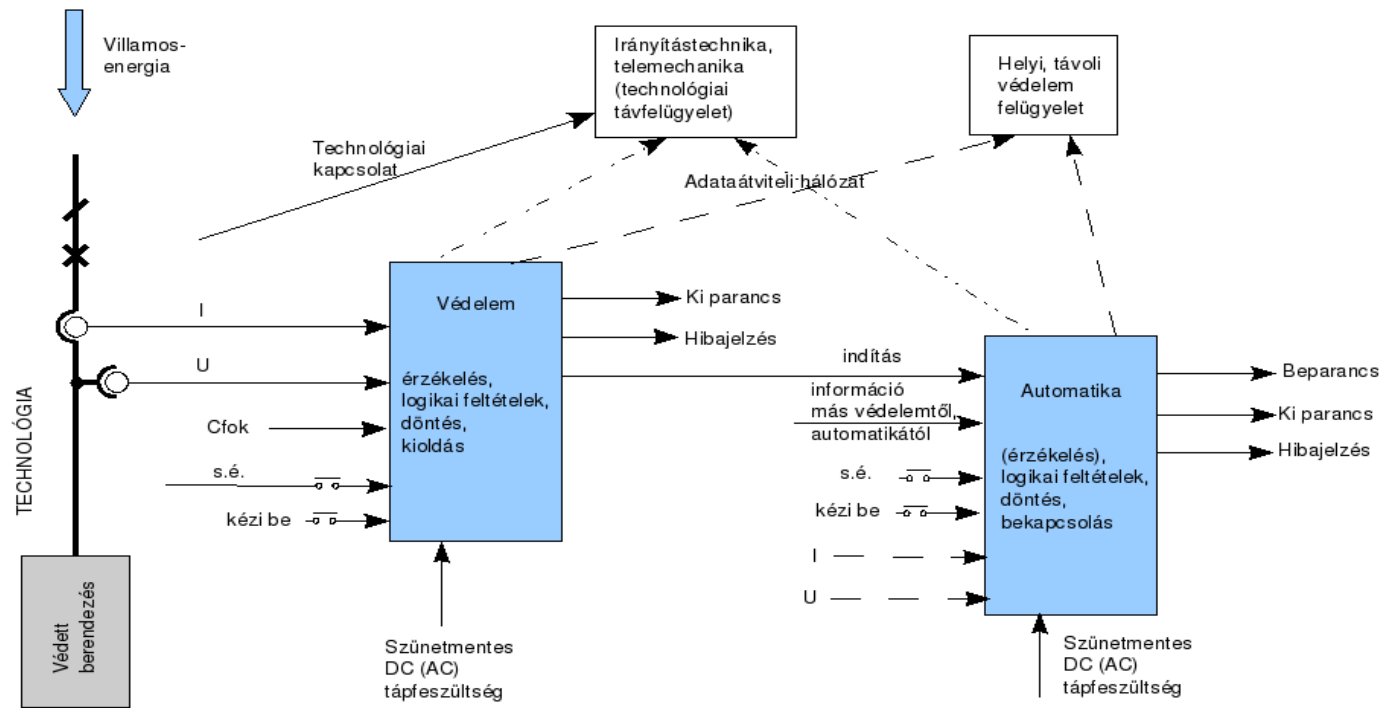
Villamosenergia-rendszer irányítástechnikája =



Korábban független készülékek voltak, ma már integrált rendszert alkotnak.

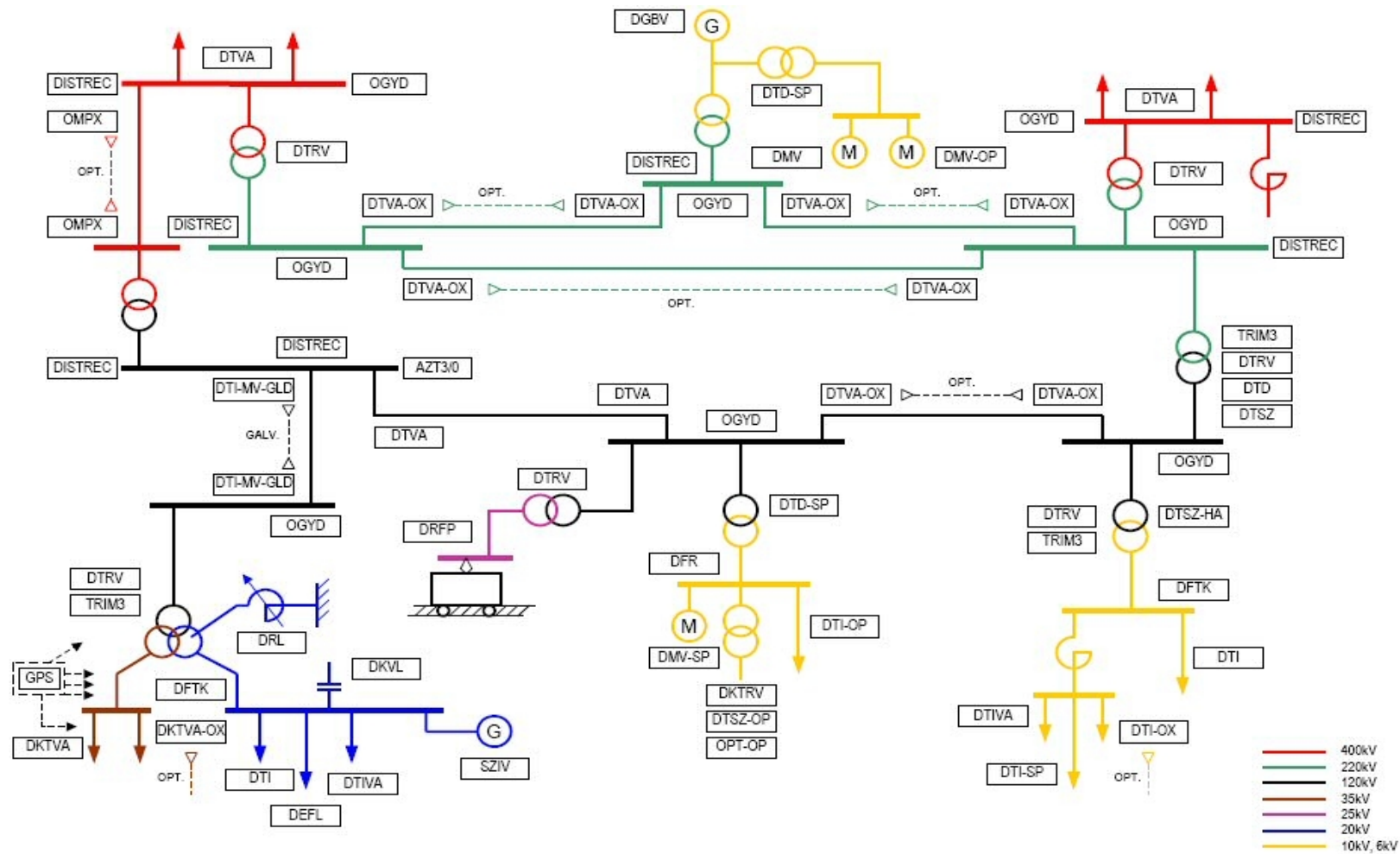
A készülékek adatátviteli (kommunikációs-) hálózathoz kapcsolódnak.

SCADA : Supervisory Control And Data Acquisition



Védelem és automatika csatlakozása a technológiához, a környezethez

VA-1



A villamosenergia-rendszer elemeinek egy lehetséges védelem-automatika rendszere (Protecta)

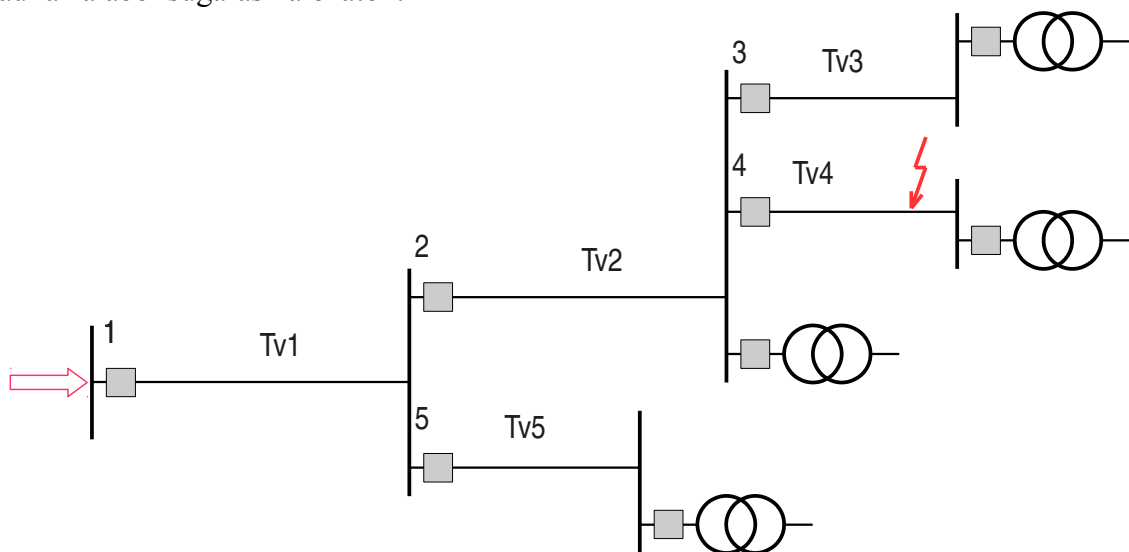
Védelmekkel szemben támasztott követelmények:

- szelektív
- gyors
- pontos, érzékeny
- üzembiztos
- egyszerű
- gazdaságos

Szelektivitás

Csak a meghibásodott berendezést kapcsolja ki a védelem.

Például az alábbi sugaras hálózaton:



TV4 vezeték zárlatát a 4. jelű védelemnek kell hártania (szelektíven és gyorsan).

TV4 hibája esetén, tartalékvédelemként a 2. védelem szünteti meg a zárlatot (nemszelektíven, de lehetőleg gyorsan...).

Védelmek csoportosítása a szelektivitás szempontjából:

- *Abszolút szelektív védelem:* elvől adódóan szelektív (különbözeti védelem, gázvédelem, hőfokvédelem,...)
- *Relatív szelektív védelem:* beállítási érték megválasztásától függ a szelektivitás (pl: idő, I, Z, P, f,...)

Gyors működés

A berendezés sérülésének csökkentése érdekében minél rövidebb ideig tartson a zárlat.

Cél:

- sérülés csökkentése
- fogyasztók kisebb zavarása
- generátorok stabilitása
- balesetveszély csökkentése

Berendezés sérülésének csökkentése:

Az ívellenállás (Warrington):

$$R_{iv} = \frac{28700 * l}{I^{1,4}} \quad \begin{matrix} l = [m] \\ I = [A] \end{matrix} \quad R = [ohm]$$

A keletkező hőenergia (adott ívhossznál):

$$Q = I^2 * R_{iv} * t = k * I^{0,6} * t$$

Például: ha $I' = 2 * I \rightarrow Q' = 2^{0,6} * Q = 1,52 * Q$
 ha $t' = 2 * t \rightarrow Q' = 2 * Q$

Azaz az idő csökkentésével eredményesebben csökkenthető a kár, mint az áram csökkentésével, tehát a védelem legyen gyors!

Például :

$$\begin{aligned} l &= 1m \\ I &= 2000A \end{aligned}$$

$$R_{iv} = \frac{28700 * l}{I^{1,4}} = \frac{28700 * 1}{2000^{1,4}} = 0,69 \text{ Ohm}$$

Viszonyításképpen, a 120kV-os távvezetékek fajlagos impedanciája közelítőleg:

$$z' = 0,4 \text{ Ohm/km}$$

tehát rövid vezetéken jelentős hibát okozhat a zárlat helyének megállapításakor.

Az áramból és az ívellenállásból számítható teljesítmény:

$$P = I^2 * R_{iv} \approx 2,7 = \text{MW}$$

$$\text{ha } t = 1s$$

$$Q \approx 2,7 \text{ MJ}$$

Üzembiztonság:

Cél:

- biztos működés saját zárlatra (szelektíven, gyorsan)
- idegen zárlatra nem történhet felesleges működés (felesleges kiesés, fogyasztói kár, fogyasztás csökkenés...)

Lehetőségek az üzembiztonság fokozására:

- védelmi tartalékolás (alap-, tartalék védelem)
- speciális védelmi megoldások (holtsáv zárlat védelem, gyújtósín ív-védelem, stb)
- csatlakozó áramkörök megbízhatóságának növelése (kettős Ki tekercs, induktív kör megszakítása, eá. sü. rendszer kialakítása, áv köri hiba ellenőrzése...)
- szabványok alkalmazása (szabványos jellemzők, egységesített véd. logika, stratégia)
- készülékek tesztelése (pl hőmérséklet, elektrosztatikus kisülés vizsgálat, EMC megfelelés, sw hibás működés kiszűrése...)
- rendszerengedélyek megkövetelése (magyar VER specialitások figyelembevétele)

Pontosság és érzékenység:

Biztosan és szelektíven érzékeljen

- mindenfajta hibát (1FN, 3F, 2F, 2FN, 1FN+1f Ki, 2ff...)
- minden üzemállapotban (párhuzamos üzem, sántaüzem, ...)

- minden zavaró tényező mellett (bekapcsolási áramlökés, áramváltó telítődés, betáplálási torzítások, telj. lengés,...)
- ne változzon a beállított érték

Egyszerűség:

Általában kompromisszumot kell kötni az üzembiztonság, a gyors működés, a gazdaságosság és az egyszerű üzemeltethetőség érdekében.

Lehetőségek az egyszerűsítés érdekében:

- kis valószínűségű hibára nem működik (pl. kettős földzárlat 120kV-on)
- kis valószínűségű üzemállapotban nem működik (pl. tr. áttérés alatt alállomásban)

Gazdaságosság:

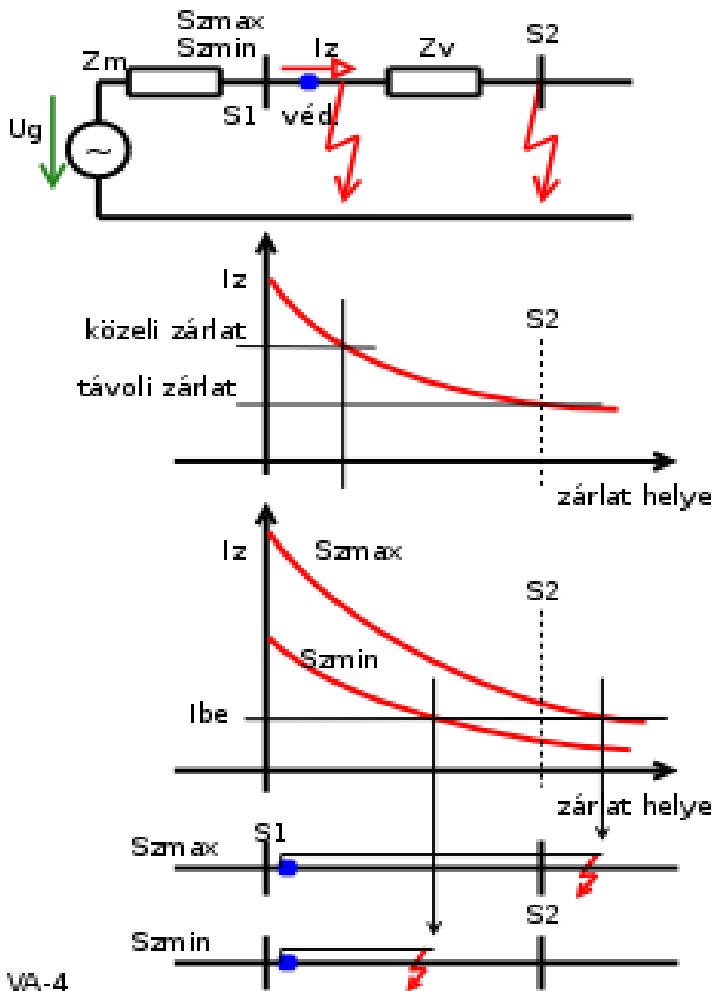
Mérlegelési szempontok a megfelelő védelem kiválasztásához:

- nagyobb értéket véd, mint a saját értéke:
 - indokolt működésnél a megelőzött kár értéke
 - felesleges kioldással okozott kár nagysága
- az egyes hibafajták gyakorisága
- melyik hibafajtát méri pontosan a védelem (köf. Z< véd.: 2F, 3F hatótávolsága)
- a járulékos kioldás okoz-e többlet kiesést, vagy kárt?
- karbantartás igény, élettartam
- üzemeltetés bonyolultsága, üzemeltetési költségek

Zárlat érzékelési elvek

1 Túláram érzékelése

Számítási modell:



$$I_z = \frac{U_g}{Z_m + Z_v}$$

$$z'_v = \text{Ohm/km}$$

$$Z_v = l * z'_v$$

Z_v a nevezőben van, emiatt hiperbola írja le az áram változását.

A zárlati áram a vezeték impedanciájával fordítottan arányos, közeli zárlat esetén nagy a zárlati áram, távoli zárlat esetén a zárlati áram csökken.

Ha a mögöttes hálózat impedanciája kisebb (nagyobb a mögöttes hálózat zárlati teljesítménye), akkor a zárlati áramok nagyobbak lesznek a vezeték mentén.

A védelem akkor működjön, ha a zárlati áram nagyobb a beállított áramtól.

$$I_z > I_{be}$$

A védelem üzemi áramok esetén nem szólalhat meg, tehát a megszólalási értéke legyen nagyobb, mint az üzemi áram.

Védelmi karakterisztika: a védelem működési ideje a zárlat helyének függvényében

A mögöttes hálózat változásakor (S_{zmax} , S_{zmin}) a zárlati áram változása miatt a túláramvédelem hatótávolsága is változik.

A zárlatvédelem a zárlati áram bekövetkezésekor megszólal és – általában egy beállított késleltetés elteltével – kioldást ad a megszakítóra.

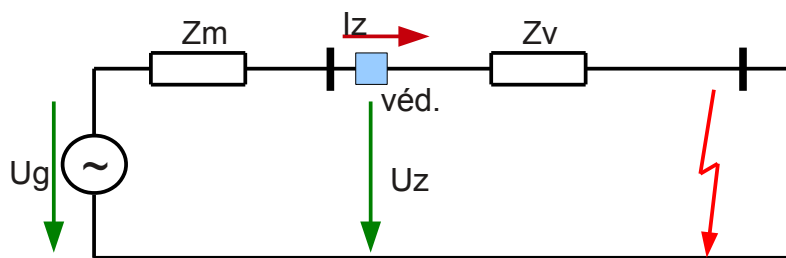
A zárlati áram nagysága függ:

- a vezeték impedanciájától (hosszától)

- a mögöttes hálózattól (S_{zm})
- a hálózat zárlat előtti üzemi feszültség nagyságától
- a zárlat fajtájától (3F, 1FN, 2F...)
- hibahelyi ellenállástól, átmeneti ellenállásoktól

2 Feszültség érzékelése

Zárlat fellépésekor a feszültség – az üzemi feszültséghez képest – lecsökken, letörik. A feszültség csökkenés mértéke erősen függ a mögöttes hálózattól (is).



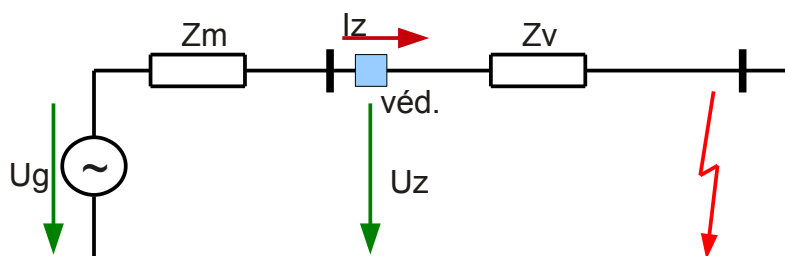
$$U_z = \frac{Z_v}{Z_m + Z_v} * U_g$$

A zárlatos távvezeték védelménél mérhető U_z feszültség a gyűjtősínről leágazó összes vezeték védelménél megjelenik. Emiatt a feszültség csökkenésből nem dönthető el, hogy melyik leágazáson következett be a zárlat. Vagyis szelektív zárlat érzékelésre nem alkalmas. Védelem, automatika indítására, működési feltételként alkalmazzák, például:

- földzárlati indításra: $U_0 >$ relével
- fázis kiválasztásra 1FN esetén: $U_f <$ relével

3 Impedancia érzékelése

Az impedanciarelé a felszerelési helyén érzékeli a feszültséget, és a zárlati áramot. A két mennyiség hányadosát hasonlítja össze a beállított impedancia értékkel. Ha az így érzékelt impedancia kisebb, mint a vezeték végi zárlat esetén számítható érték, akkor a zárlat a vezeték vége, és a védelem felszerelési helye között lépett fel. A védelem ekkor megszólal, és a beállított késleltetés elteltével kikapcsolja a megszakítót.



$$U_z = \frac{Z_v}{Z_m + Z_v} * U_g$$

$$I_z = \frac{U_g}{Z_m + Z_v}$$

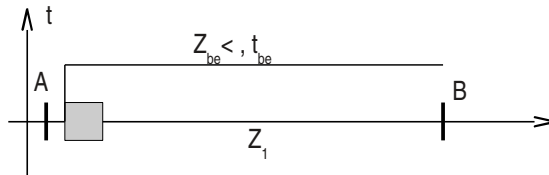
$$Zé = \frac{U_z}{I_z} = \frac{U_g * \frac{Z_v}{Z_v + Z_m}}{\frac{U_g}{Z_v + Z_m}} = Z_v$$

$$Zé = Z_v$$

A mért impedanciából megmondható (kiszámítható), hogy a védelemtől milyen távol lépett fel a zárlat.

A mögöttes hálózattól független a védelem és a hibahely közötti impedancia érzékelése, de például a hibahelyi ellenállás hibát okozhat.

Az impedanciacsökkenési védelem beállítási értékét az alábbi karakterisztikával ábrázolhatjuk:



- a védelem beállított (megszólalási-) értéke egyezzen meg a védendő vezeték impedanciájával
- ha $Z_e < Z_{vez}$, akkor kioldás, mert saját vezetéki zárlat

A védelem karakterisztikáját jelentő vonal lefedi a vezetéket, elér a „B” gyűjtősínig, tehát a vezeték végén fellépő zárlatot is érzékeli. (A függőleges tengelyen a kioldás késleltetését ábrázoljuk, a védelem a t_{be} késleltetés leteltekor ad kioldást a vezeték megszakítójára.)

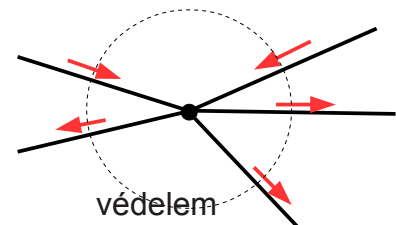
4 Különbözeti elv

Kirchoff I. egyenlete (csomóponti törvény) alapján:

$$\Sigma I = 0$$

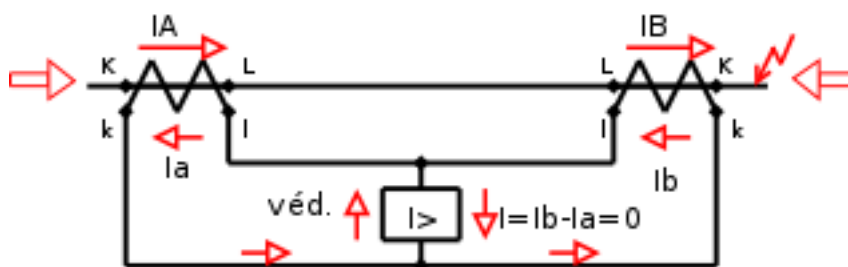
A csomópontban bekövetkezett zárlat (pl. gyűjtősín földzárlat) esetén a hibaáramot nem méri bele az összegbe a védelem, emiatt

$$\Sigma I \neq 0$$



Külső zárlat:

(két oldalról táplált zárlat esetén)

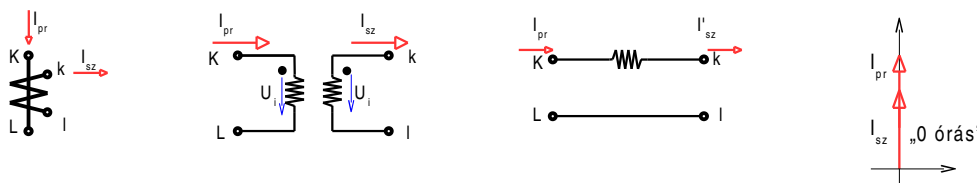


VA-6

Az áramösszegzés az áramváltók szekunder kapcsainak – megfelelő irányú – összekötésével érhető el.

Az áramváltó kapcsainak jelölése, és a primer-szekunder áramok valóságos irányának helyes értelmezése alapvető fontosságú! A legszembetűnőbb az a=1 áttételű áramváltó

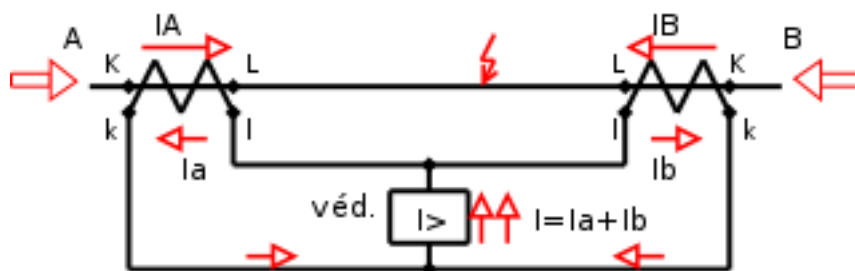
egyszerűsített helyettesítő kapcsoláson követhető: *a primer oldali „K” kapcsan befolyó áram a szekunder oldali „k” kapcsan kifolyik.* Ha az áramváltót egy „fekete dobozba” tesszük, és csak a kapcsait látjuk, akkor $a=1$ esetén akár vezeték is helyettesítheti. Az áram a szekunder oldalon az áramváltó terhelésén átfolyik, majd visszafolyik a primer oldali L kapcsan keresztül a hálózatba. Értelemszerűen a csomóponti törvény is teljesül. ($\Sigma I = 0$)



Az A oldali áramváltón az áram iránya a védett szakasz (vezeték-) felé folyik, a B oldali áramváltón a védett vezetékről kifelé folyik a zárlati áram.

Az áramrelén keresztül az A oldali és B oldali áramváltótól folyó szekunder áramok ellentétes irányúak. (Külső zárlat esetén.) Ha az áramváltók áttétele megegyezik, akkor a relén átfolyó áramok eredője 0 lesz, így a védelem nem old ki. („különbözeti védelem”)

Belső zárlat:



VA-7

Az előbbi, külső zárlathoz képest a B oldali áramváltón megfordul az áram primer, és ezzel a szekunder áram iránya. Emiatt az áramrelén a két áram összege folyik. Ha az áramrelé ettől kisebb értékre van beállítva, akkor – belső zárlat miatt – kioldást ad.

Ugyanezt az elvet alkalmazzák kábelek, rövid vezetékek, gyűjtősínek, transzformátorok, generátorok különbözeti védelmére is.

Megjegyzés: az áramváltó kapcsainak jelölésére a P1-P2, S1-S2 jelölés is elterjedt.

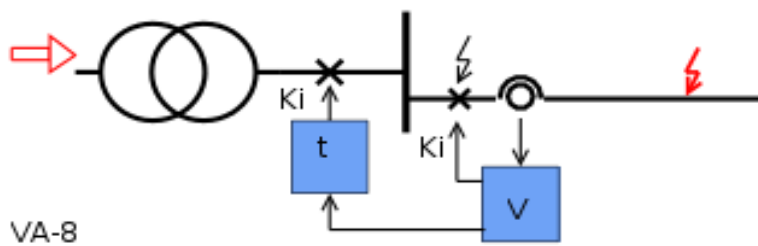
5 Logikai védelmek

Számtalan esetben alkalmazunk különböző logikai feltételeket, reteszeléseket, engedélyező logikát a védelmek belső működésében, és a védelmek közötti kapcsolatokban.

Példaként néhány, általánosan alkalmazott megoldás a védelmek közötti logikai kapcsolatokra.

Megszakító beragadásvédelem

Kötelező alkalmazni, ha a fedővédelem (távoli tartalékvédelem) nem nyújt teljes védelmet. (lásd: Védelmi stratégia)

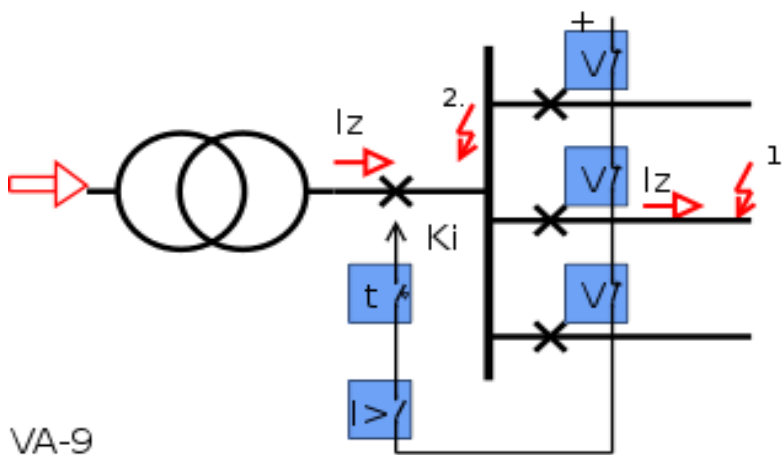


Ha a leágazás „V” védelme a kioldó parancsot hosszú ideig adja ki (pl. $t=0,5s$), akkor azt a megszakító nem hajtotta végre, azaz beragadt (meghibásodott)

Ekkor az összes, zárlati betáplálás útjában lévő megszakítót ki kell kapcsolni.

Itt a transzformátornak a gyűjtősínt tápláló megszakítóját kell kikapcsolni. (A megszakítók működési ideje általában 40-80ms közé esik)

Egyenáramú gyűjtősínvédelem

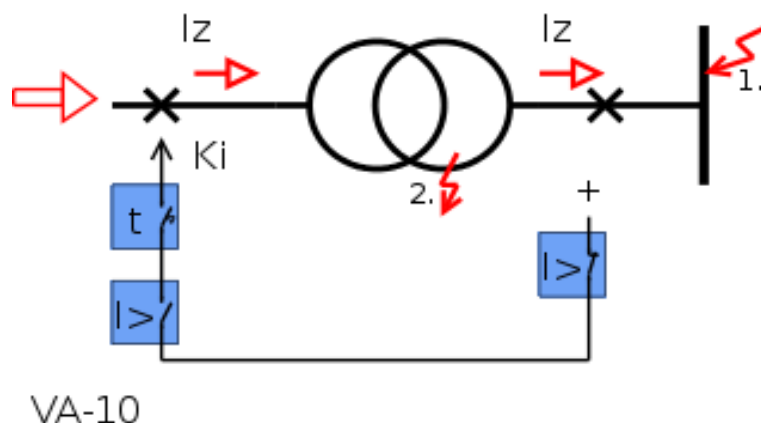


A gyűjtősín betáplálásában lévő túláram-ideő védelem – szelektivitási okok miatt – $\Delta t=0,5s$ késleltetéssel hártja a gyűjtősín zárlatát.

Ez a kioldási idő logikai úton rövidíthető. (a leágazási védelmek sorosan kapcsolt nyitó érintkezőit felhasználva)

Ha egyik leágazási védelem sem ébred, de ébred a betápláló túláramvédelme, akkor gyűjtősín zárlat (2.) lépett fel. Ekkor szűkített időlépcsővel kell kioldani!

Transzformátor logikai különbözeti védelme:



A transzformátorok primer oldali túláramvédelme – szelektivitási okok miatt – késleltetett.

A védelem gyorsítható: ha a transzformátor szekunder oldali védelme nem ébred, de a primer oldali megszóla, akkor a primer és szekunder oldali áramváltók közötti szakaszon van a zárlat. Ekkor hamarabb kikapcsolható a primer oldali

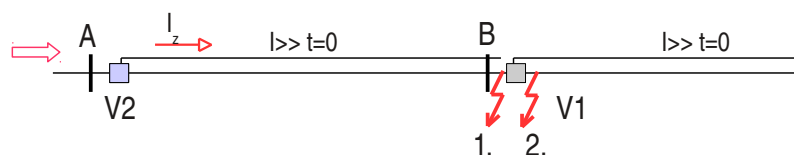
megszakító, hiszen a hiba a transzformátorban van.

6 További, berendezések meghibásodásának érzékelésére alkalmas mennyiségek:

A berendezések fajtájától függően, illetve az elérendő cél érdekében a villamos mennyiségek (áram, feszültség, impedancia, frekvencia, energiairány, teljesítmény lengés, stb.) mellett más fizikai jellemzők megváltozása (hőfok, fény, nyomás, mechanikai rezgés, olaj áramlás) is felhasználható a berendezések állapotának megfigyeléséhez, és az automatikus beavatkozáshoz.

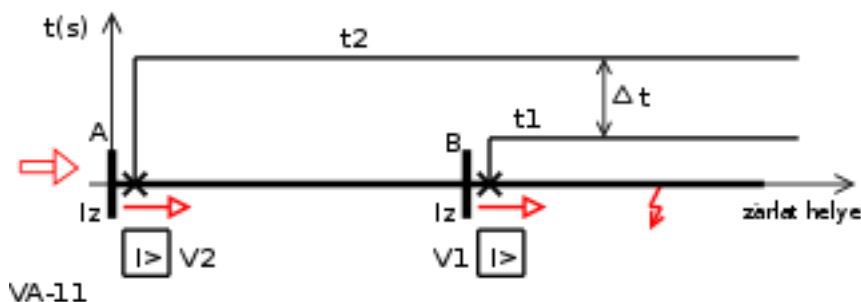
Túláramvédelmek szelektivitásának biztosítása sugaras hálózaton

A zárlatérzékelési elvek vizsgálatánál láttuk, hogy a zárlati áram nagysága és ezzel a védelem indulása – egyebek mellett - a mögöttes hálózattól is függ. Emiatt késleltetés nélküli (pillanat működésű védelmekkel) nem valósítható meg, hogy a V2 védelem a V1 felszerelési helyéig érzékelje a zárlati áramot, ugyanakkor a V1 védelem hatáskörébe tartozó vezeték legelején fellépő zárlati áramra pedig ne működjön.



Ilyen esetekben a szelektív működés a kioldások késleltetésével biztosítható.

Szelektivitás megvalósítása késleltetéssel:



A zárlati áram mindkét védelmen átfolyik, emiatt mindkét áramrelé megszólal. Annak érdekében, hogy csak a zárlatos vezeték kapcsolódjon ki, a betápláláshoz közelebbi V2 védelem ($I>$) kioldását a V1 védelem t_1 idejétől hosszabb (t_2) időre késleltetni kell.

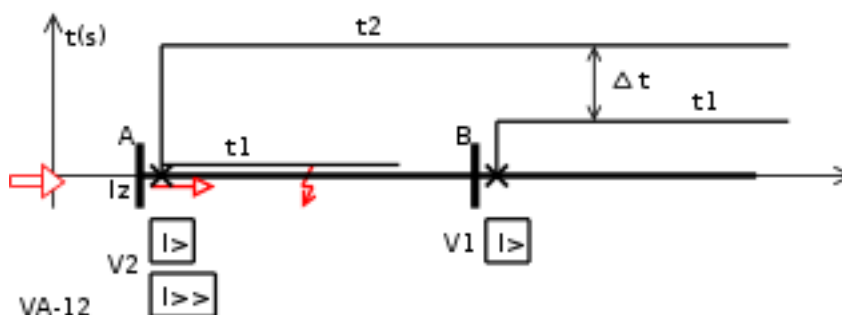
Ha a V1 védelem t_1 késleltetéssel – a megszakító kikapcsolásával – hátrította a zárlatot, akkor a zárlati áram megszűnik, és a védelmek alapállapotba visszaesnek. A V2 védelem időreléje elfut t_1 ideig, azonban a zárlati áram megszűnése után visszaáll alapállapotba(!).

Így tehát csak a zárlatos leágazás kapcsolódik ki. A (B) gyűjtősín, és a gyűjtősínről üzemelő többi leágazás ellátott marad.

Az áram megnövekedése miatt működő ($I>$), és késleltetett (t) kioldást adó védelmet – formálisan $I>t$ -vel jelöljük.

Mivel a védelem késleltetése nem függ a zárlati áram nagyságától, ezért ezt a védelem típust független késleltetésű túláram védelemnek nevezzük.

Zárlathárítási idő csökkentése közeli zárlat esetén



A kioldás késleltetésével szelektív zárlathárítás érhető el. A betápláláshoz közeli zárlatok árama jóval nagyobb lehet, mint a vezeték végi „távoli” zárlaté. Ugyanakkor a kioldási idők (V2) is nagyobbak a szelektivitás miatt. A hosszú ideig folyó, nagy áram termikusan is igénybe veszi a vezetéket, a közeli zárlat nagyobb feszültség letörést, ezzel fogyasztói zavarást okoz az (A) sínen. Tehát fontos lenne a közeli zárlat gyors megszüntetése.

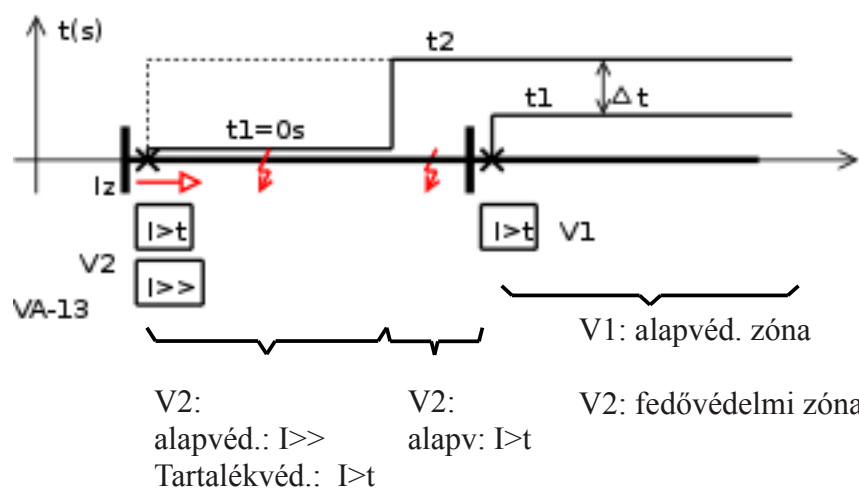
Mindezek a hatások csökkenthetők, ha a közeli zárlatot egy második, késleltetés nélküli ($I >>$, gyors-) áramrelével kapcsoljuk le.

Az áramrelé megszólalási áramának megválasztásával a V1-hez képesti szelektivitás a következőkben leírt feltételek szerint biztosítható.

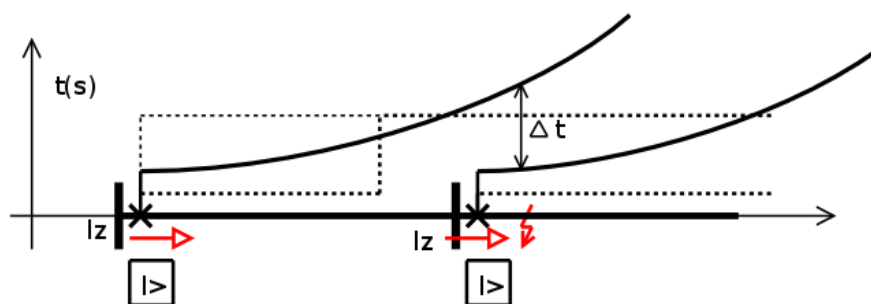
Kétlépcsős (független késleltetésű-) túláram-idő védelem karakterisztikája:

Egy késleltetett, és egy késleltetés nélküli (gyors) áramrelét tartalmazó V2 védelem eredő kioldási karakterisztikája az alábbi:

A szaggatott vonal a késleltetett fokozat tartalékvédelmi funkcióját jelzi. (Csak az alapvédelem, azaz a gyors fokozat működésének elmaradása esetén „jut szóhoz”.)



A V2-nél az előbbieket szerint kialakított $I >>$ és $I >t$ védelmet kétlépcsős túláramvédelemnek nevezük. Két időlépcsőt ($t_1=0s$!) alkalmazunk, és két áram beállítási fokozatot.

Függő késleltetésű túláram-idő védelmek karakterisztikája:

VA-14

Műszakilag megvalósítható olyan védelem is, amelyiknél a késleltetés a zárlati áram nagyságától függ. Kis áram esetén hosszú a késleltetés, nagy áram esetén rövid a késleltetése. Ez kedvező, mivel a közeli, nagy zárlati áramok esetén rövid a zárlathárítási idő. A védelem indulási árama, és a késleltetés karakterisztikája beállítható (pl: AZT). Motorvédelmek esetén rendszerint az áramfüggés mértéke (hiperbola) is paraméterezhető.

Szelektív időlépcső (Δt) nagyságát meghatározó működési idők:

Láttuk, hogy bizonyos esetekben az áram beállítási értékének a semmilyen megválasztásával sem biztosítható a szelektivitás. Ekkor késleltetni kell egymáshoz képest a védelmek kioldását.

A védelmek kioldásai közötti késleltetés minimális értékét több tényező befolyásolja.

A legegyszerűbb áramrelének is időre van szüksége, hogy eldöntse, hogy a rajta átfolyó áram elérte a beállított értéket, és zárja az érintkezőjét. (meghúzási~, megszólalási~, önidő: 2...100ms)

Ha a zárlati áram a relé elejtési értéke alá csökken, akkor is időbe telik, amíg a védelem állapotba áll vissza („visszaesik”), és nyitja az érintkezőjét. (ejtési~, visszaesési idő)

Hasonlóképpen a megszakítónak is viszonylag pontosan meghatározható (mégmérhető) a működési ideje. A kioldó tekercsre adott ki parancsot követően, az áram megszakítási folyamat lejátszódása után, bizonyos idő elteltével szűnik meg a zárlati áram. ($t_{\text{megsz}} = 40\text{--}100\text{ms}$)

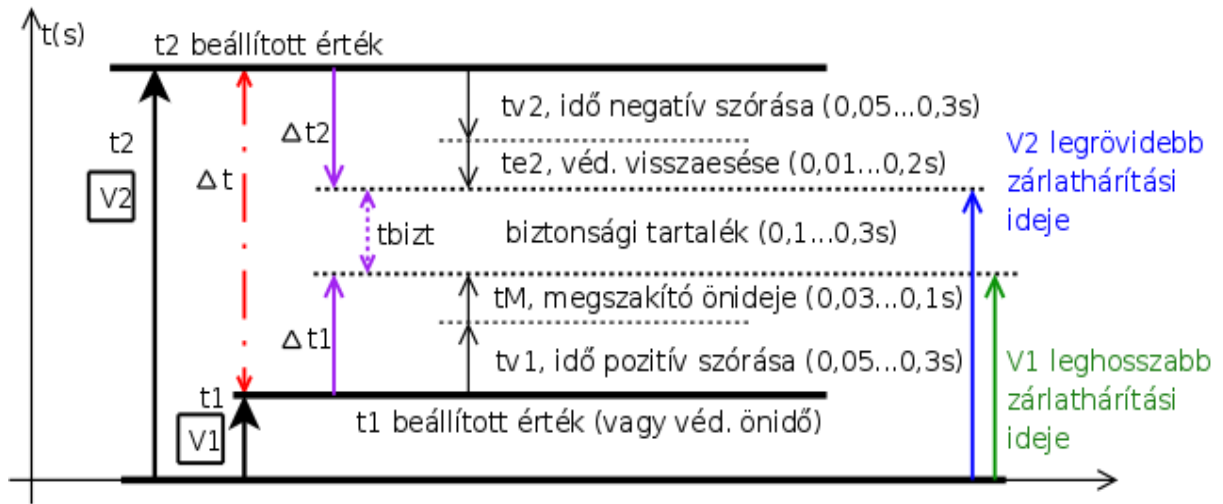
Az előbbieken, a túláramvédelmeknél már láttuk, hogy bizonyos időkülönbségre van szükség ahhoz, hogy a védelmek szelektíven (egymás működését kivárva) működjenek. A működési idők változhatnak („szórás”)

Kérdés, hogy mekkora legyen az időlépcső (a t_1 , és t_2 beállítási értékek között), hogy a szelektivitás mindenképpen biztosított legyen?

Az ábra szerint a két védelem (beállított-) késleltetése között legalább Δt nagyságú időnek kell lennie. Ez biztosítja, hogy védelem, és a megszakító működési idők szórása esetén is szelektív legyen a kioldás, azaz csak az illetékes védelem adjon kioldást. Az ábrán feltüntetett

szükséges értékeket is figyelembe véve a Δt az alábbi tartományba essen:

$$0,24 \text{ s} < \Delta t < 1,2 \text{ s}$$



VA-15

Szokásos időlépcsők:

- középvezetési hálózaton: $\Delta t = 0,5 \text{ s}$
- nagyvezetési hálózaton: $\Delta t = 0,4 \text{ s}$
- speciális esetekben (például egyenáramú gys. Véd.): $\Delta t = 0,25 \text{ s}$
- üzemi, ipari hálózatokon: $\Delta t = 0,2 \dots 0,5 \text{ s}$

Relék meghúzási és elejtési értéke:

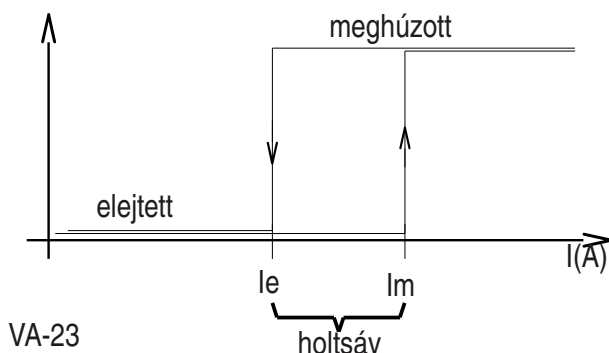
Az alábbiakban leírt elvek függetlenek attól, hogy elektromechanikus, elektronikus, vagy digitális relét vizsgálunk.

A túláramrelé az áram megnövekedésekor, a beállított ($I_{be} = I_m$) értéknél szólal meg, és attól kisebb (I_e) értéknél ejt el.

meghúzási érték: I_m (megszólalási, indulási érték)

elejtési érték: I_e

A reléket holtáv (hiszterézis)



VA-23

ejtőviszony: $k_e = \frac{I_e}{I_m} < 1$

tartóviszony: $k_t = \frac{I_m}{I_e} > 1$

A relék ejtőviszonya: $k_e = 0,8...0,95$

A relé beállítási értéke azt mutatja, hogy milyen nagyságú villamos-, vagy fizikai mennyiség esetén kell megszólalnia, „indulnia”.

A relé megszólalása: a védelem elvárt működése szempontjából fontos állapot bekövetkezése.

Ezt a relé nyitó, és záró kontaktussal is jelezheti. A védelem belső logikájától függ, hogy melyik információra van szükségünk.

Mit tekintünk megszólalásnak?

- a rákapcsolt mennyiség (pl. áram) növekedésekor (I_m) szólal meg: $I >$
- a rákapcsolt mennyiség (pl. áram) csökkenésekor (I_e) szólal meg: $I <$

Két példa az előbbieket szerinti ellentétes működésre:

• Szigetelt hálózaton a földzárlat az U_o megjelenését, növekedését eredményezi. Ennek érzékelésére feszültség növekedési $U_o >$ relét alkalmazunk. Ez akkor húz meg, ha a feszültség a beállított értéket eléri, azaz $U_{be} = U_m$. Tehát a meghúzási értéket kell megadni, beállítani, és ezt kell hitelesíteni, és a skáláról is ezt „szeretjük” leolvasni, mivel a védelem pontos működéséhez ez az érték tartozik.

• A 120kV-os földelt csillagpontú hálózaton - 1FN esetén – a földzárlatos fázis kiválasztását feszültség csökkenési $U <$ relé végzi. („B-védelmi pótindítás”). Ez üzemi feszültség esetén folyamatosan meghúzott állapotban van. 1FN fellépésekor a zárlatos fázis feszültsége lecsökken. A relének egy meghatározott (beállítási-) értéknél el kell ejtenie. Ebben az esetben az $U_{be} = U_e$, tehát az elejtési értéket kell megadni és beállítani, ezt kell hitelesíteni. Ez esetben az a „fontosabb”, hogy a zárlat miatti elejtési érték legyen pontos, és a relé skálájáról az elejtési érték legyen olvasható.

Tehát az előbbi két példából látható, hogy a feszültség növekedési relé esetén a meghúzási, míg feszültség csökkenési védelemnél az elejtési értéket kell kiszámítani, beállítani, és hitelesíteni a relén. (Ugyanaz a feszültségre erre is, arra is felhasználható, azonban a skálája az egyik esetben nem fogja pontosan mutatni a beállítási értéket!)

A relék alapállapotának a feszültségmentes állapotot tekintjük, az érintkezőjüket is az elejtett állapotnak megfelelő helyzetben ábrázoljuk a rajzokon. A relé működése az alapállapothoz képest ellentétes állapotot és érintkező helyzetet jelent.

A relék beállítási értékének bizonytalansága:

A kiszámított, és a relén beállított érték hibával terhelt. A mérendő mennyiség (I, U, P, f, stb) miatti megszólalás pontos értékét több tényező befolyásolja:

- relé szórása (hőfok, feszültség, öregedés, beállítási bizonytalanság, csapágy, zaj...)
- mérőváltó hibák (átvételi, szöghiba, telítődés,...)
- átmeneti ellenállások, ívellenállás
- adatok bizonytalansága (pl: vezeték impedancia), számítási hibák

A relé megszólalási értékének hibája:

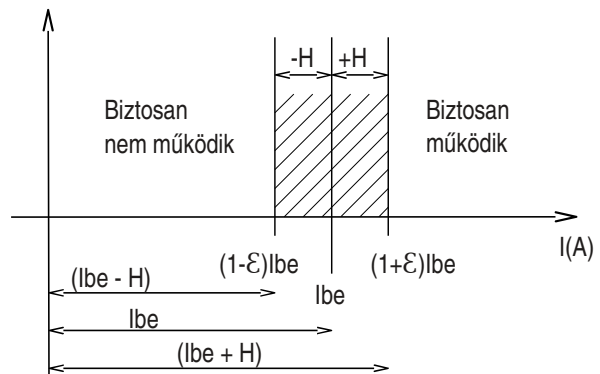
$$\pm H = \pm \varepsilon * I_{be}$$

A beállítási érték hibáját az (ε) bizonytalansági tényezővel (leegyszerűsítve: „relé szórással”) vesszük figyelembe.

$$\varepsilon = 0,1 \dots 0,2 \quad (10 \dots 20\%)$$

A beállítás hibájával a tényleges megszólalási érték:

$$I_m = I_{be} \pm H = I_{be} \pm \varepsilon * I_{be} = (1 \pm \varepsilon) * I_{be}$$



A beállítási érték meghatározása:

A védelmek beállítási értékének kiszámításánál legkevesebb két feltételt veszünk figyelembe. (minimum- és maximum- feltételek)

1. A védelem egy I_{zmin} áramnál biztosan működjön (áram növekedésre) a legnagyobb szórás esetén is:

$$(1 + \varepsilon) * I_{be} \leq I_{zmin}$$

azaz a beállított érték pozitív hibája ($+\varepsilon$) esetén is szólaljon meg.

$$I_{be} \leq \frac{I_{zmin}}{(1 + \varepsilon)}$$

2. A védelem egy I áramnál biztosan ne működjön:

$$(1 - \varepsilon) * I_{be} \geq I_{zmax}$$

azaz a beállított érték negatív hibája ($-\varepsilon$) esetén is szólaljon meg.

$$I_{be} \geq \frac{I_{zmax}}{(1 - \varepsilon)}$$

Esetenként további feltételeket is figyelembe kell venni, például a legnagyobb üzemi áramot, sántaüzemi áramot, stb.

Bármilyen más érzékelt (mért) mennyiségre megadhatók a fentiekhez hasonló feltételek. (Z, P, f, U, stb.)

Ha bármelyik feltételnél (például a biztos nem működésre) több követelményt is teljesíteni kell, akkor mindig a szigorúbbat vesszük figyelembe. Túláramvédelmek esetén például az üzemi áramokra nem szólalhat meg. De a névleges teljesítményből kiszámítható áramhoz képest például motorok indulási árama, vagy automatikus visszkapcsolás áramlökése – az

üzemi áramoktól történő elhangolás szempontjából – szigorúbb feltételt ad, mint általában az üzemi áram.

Relé megszólalási érték kiszámítása feszültség növekedési és feszültségcsökkenési relével.

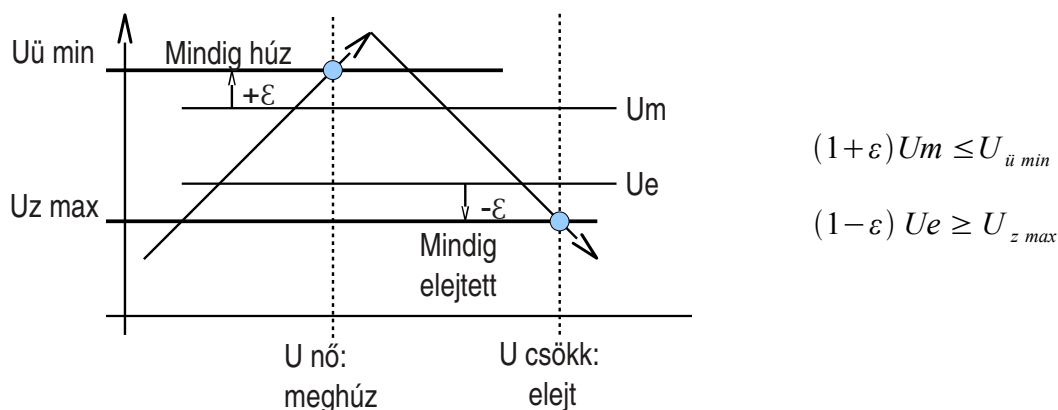
Alkalmazzuk az előbbieken megismert elveket!

Az 1fázisú kikapcsolás érdekében a 1FN esetén a földzárlatos fázist feszültségrelével választjuk ki. Földzárlat esetén a hibás fázis feszültsége letörik. Ezt akarjuk érzékelni.

A védelem, relé megszólalása azt jelenti, hogy a védelem működését kiváltó ok következett be, például feszültség csökkenés. Ha a védelmi funkció értelmezése szerint a feszültség csökkenés indítja a védelmet, ezt nemcsak feszültség csökkenési relével érzékelhetjük, hanem feszültség növekedési relével is. Nézzük meg a beállítás módját feszültség csökkenési, és feszültség növekedési relé esetére!

Feszültségrelé beállítása végponti fáziskiválasztó védelemnél:

Üzemi feszültség esetén a relé legyen meghúzva, ha pedig a feszültség a zárlat miatt letörik, akkor ejtsen el a zárlatos fázis feszültségreléje.



Feszültség növekedési relével:

Feszültség növekedési relé alkalmazásakor a relé skáláján az $U_{be} = U_m$ meghúzási értékek vannak feltüntetve, és így azt tekintjük a megszólalási értéknek.

1.A relé húzson meg a legkisebb üzemi feszültség esetén:

$$(1 + \varepsilon) U_m \leq U_{\ddot{u} \min}$$

$$U_{f \text{ be}} \leq \frac{U_{\ddot{u} \min}}{(1 + \varepsilon)}$$

2.A relé ejtsen el a zárlatos fázis legnagyobb zárlati fázisfeszültségénél is:

Az elejtési érték a meghúzási értékből (skála értékből) az ejtőviszonnyal (k_e) számítható. Az elejtési érték legyen nagyobb, mint a legnagyobb zárlati feszültség.

$$(1 - \varepsilon) U_e \geq U_{z \max} \quad U_e = k_e * U_m$$

$$U_{fbe} \geq \frac{U_{zmax}}{k_e(1-\varepsilon)}$$

A védelem funkciója szempontjából a feszültség csökkenésekor bekövetkező megszóalás (elejtés (!)) a fontos, a skálán mégsem ezt az értéket fogjuk látni...

Feszültség csökkenési relével:

Feszültség csökkenési relé alkalmazásakor a relé skáláján az $U_{be} = U_e$ elejtési értékek vannak feltüntetve, és így azt tekintjük a megszóalási értékeknek.

1.A relé húzzon meg a legkisebb üzemi feszültség esetén:

A meghúzási érték a elejtési értékből (skála értékből) a k_t tartóviszonnyal számítható.

$$(1+\varepsilon)U_m \leq U_{ümin} \quad U_m = k_t * U_e$$

$$U_{fbe} \leq \frac{U_{f ü min}}{k_t(1+\varepsilon)}$$

2.A relé ejtsen el a zárlatos fázis legnagyobb zárlati fázisfeszültségénél is:

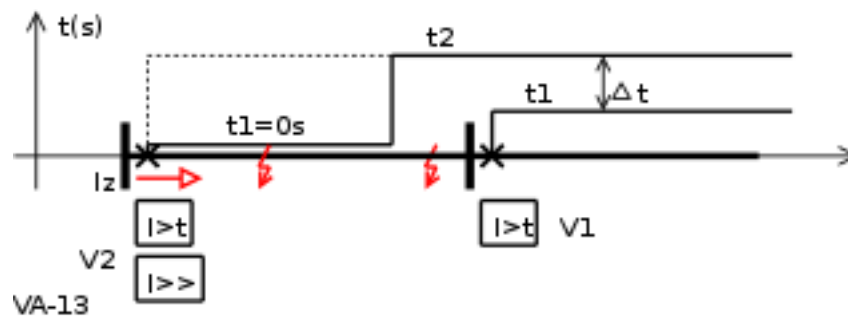
Az elejtési érték (U_{be}) legyen nagyobb, mint a legnagyobb zárlati feszültség. ($U_{be} = U_e$)

$$(1-\varepsilon)U_e \geq U_{zmax}$$

$$U_{fbe} \geq \frac{U_{zmin}}{(1-\varepsilon)}$$

Úgy, mint az előbb, a védelem funkciója szempontjából a feszültség csökkenésekor bekövetkező megszóalás (elejtés (!)) a fontos, ez esetben a feszültségcsökkenési relé skálán ezt az értéket fogjuk látni.

Kétlépcsős túláramvédelem beállítási feltételei sugaras hálózaton

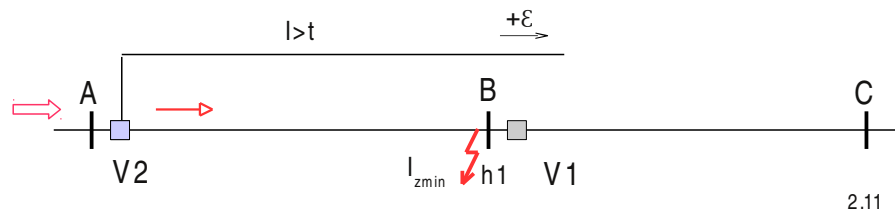


V2 : $I > t$ késleltetett fokozat beállítási feltételei:

1. Alapvédelemként:

Működjön a saját vezeték végén (a B sínen) fellépő zárlat esetén akkor is, ha:

- a hálózat minimális állapotban van (S_{zmin})
- a tápláló feszültség minimális
- a minimális zárlati áramot adó zárlatfajta fordul elő (pl. 2F)
- a védelem pozitív hibával működik



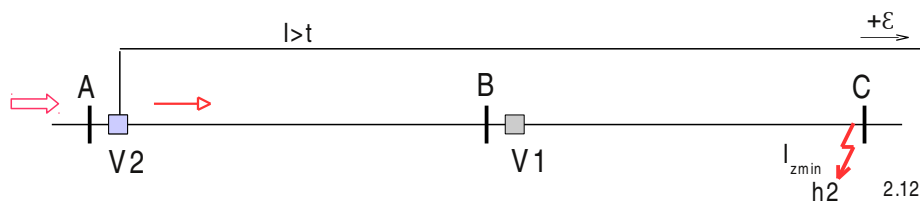
$$I_{be} \leq \frac{I_{zmin}}{(1 + \varepsilon)} \quad t_{be} = t_x + \Delta t$$

A késleltetése az utána következő (V1) védelem késleltetésétől Δt szelektív időlépcsővel legyen több.

2. Tartalékvédelemként:

Működjön a V1 működés elmaradása esetén, C sín zárlatakor:

- a hálózat minimális állapotban van (S_{zmin})
- a tápláló feszültség minimális
- a minimális zárlati áramot adó zárlatfajta fordul elő
- a védelem pozitív hibával működik



$$I_{be} \leq \frac{I_{zmin}}{(1 + \varepsilon)}$$

I_{zmin} a lehetséges zárlatfajták közül a legkisebb áramot adó zárlati áram: pl $I_z^{2F} < I_z^{3F}$!!!

3. A legnagyobb, előforduló üzemi áramnál sem adhat tévesen kioldást:

Ebből a szempontból az a kritikus eset, amikor egy védelem egy távolabbi zárlat árama miatt járulékosan indul, majd vissza kell esnie.

A zárlati áram miatt meghúz az áramrelé, elindul az időműve. Az időmű még nem futott le, amikor a zárlatos berendezést az illetékes védelme kikapcsolja. Ekkor a védelmünk áramreléjének vissza kell esnie alapállapotba. Tehát a relé elejtési értékének nagyobbak kell lennie, mint a zárlat lekapcsolása után visszatérő legnagyobb üzemi áram értéke:

$$I_{be} = I_m$$

$$I_e = k_e * I_m = k_e * I_{be}$$

$$(1 - \varepsilon) * I_{be} * k_e \geq I_{ümax} \quad ; \quad k_e = 0,8 \dots 0,95; \quad \text{ejtőviszony}$$

A legnagyobb üzemi áramot a felfutási tényezővel számoljuk ki:

$$I_{ümax} = k_f * I_{ü} \quad k_f = 1 \dots 8$$

A felfutási tényezőt az alábbiak befolyásolják:

- gyorsítási áramlökés (lelassult motorok miatt)
- visszakapcsolási áramlökés (pl. transzformátorok bekapcsolási áramlökése)
- feszültségcsökkenési kioldók (ha egy üzem technológiája megköveteli, akkor rövid idejű feszültség letörés esetén a „nullfesz. kioldó” kikapcsolja a berendezést, ezzel csökken a visszakapcsolás utáni üzemi áram)

$$\text{kommunális hálózaton:} \quad k_f = 1,3 \dots 1,5$$

$$\text{ipari fogyasztóknál:} \quad k_f = 5 \dots 8$$

A beállítandó áram értéke:

$$(1 - \varepsilon) * I_{be} \geq \frac{k_f}{k_e} * I_{ü}$$

$$I_{be} \geq \frac{k_f}{k_e} * \frac{I_{ü}}{(1 - \varepsilon)}$$

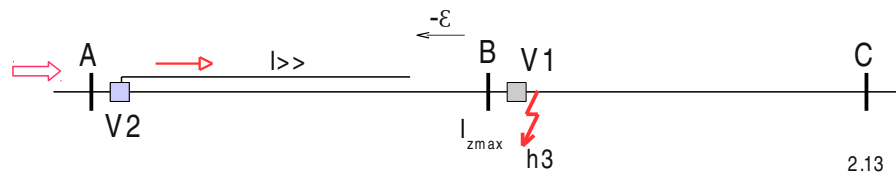
4. V2 gyorsfokozat beállítási feltételei:

A gyors fokozatot azért alkalmazzuk, hogy a vezeték elején fellépő nagy zárlati áramok esetén rövidebb legyen a zárlathárítási idő.

Nem szólalhat meg a V1-nél fellépő zárlatra akkor sem, ha:

- a hálózat maximális állapotban van
- a tápláló feszültség maximális

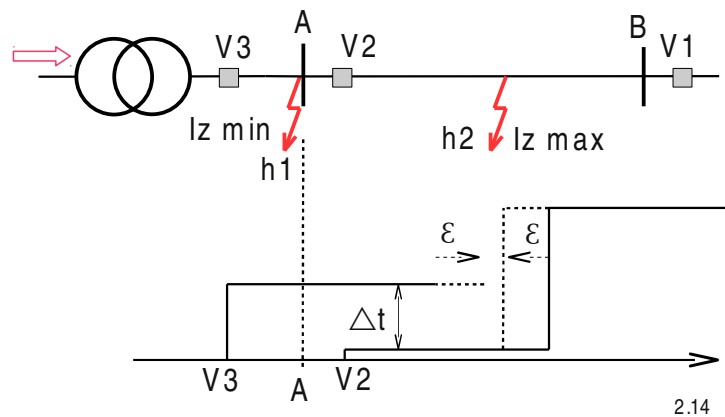
- maximális zárlatfajta adó zárlat lép fel
- a védelem negatív hibával működik



$$I_{be} \geq \frac{I_{zmax}}{(1 - \varepsilon)}$$

Természetes gyűjtősín védelem (V3) beállításának feltételei:

A gyűjtősín zárlata az azt ellátó transzformátor szekunder oldalán elhelyezett V3 túláramrelével érzékelhető.



V3 beállítása

1. A gyűjtősín minimális zárlatára (h1 hibahely) működjön akkor is, ha:

- a hálózat minimális állapotban van (S_{zmin})
- a tápláló feszültség minimális
- a minimális zárlati áramot adó zárlatfajta fordul elő (pl: 2F)
- a védelem pozitív hibával működik

$$I_{be}^{gy} \leq \frac{I_{zmin}}{(1 + \varepsilon)}$$

1. Nem ütközhet a leágazási védelmekkel (h2 hibahely):

a legnagyobb áram beállítású leágazási védelemmel sem ütközhet

- a leágazási védelem pozitív szórása esetén
- a gyűjtősín védelem negatív szórása esetén
- a hálózat maximális állapotában (S_{zmax})
- ha a tápláló feszültség maximális

$$(1 - \varepsilon) * I_{be}^{gy} \geq (1 + \varepsilon) * I_{be\ max}^{leág}$$

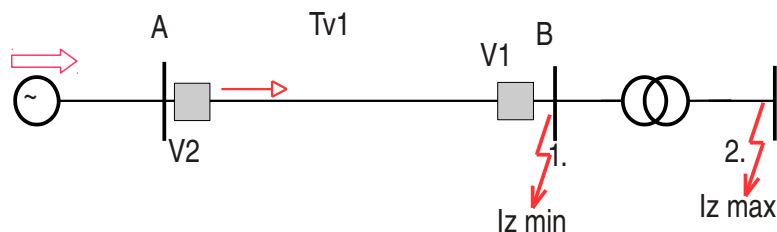
$$I_{be}^{gy} \geq \frac{(1 + \varepsilon)}{(1 - \varepsilon)} * I_{be\ max}^{leág}$$

A közeli leágazási zárlat esetén meg kell várnia a leágazás gyors fokozatának zárlathárítását a szelektivitás érdekében, emiatt késleltetni kell Δt szelektív időlépcsővel. A leágazási gyorsfokozat általában pillanat kioldású ($t_{be} = 0s$), így a gyűjtősín védelem gyors fokozatának szükséges késleltetése ($t_{be} = 0,5s$).

Sugaras 120 kV-os (földelt csillagpontú-) hálózat védelme

A főelosztóhálózaton a távvezetékéről sugarasan üzemel egy végponti transzformátor.

A zárlatszámítást 2F, 3F, 1FN zárlatokra is el kell végezni, és a (min, max) feltételeknek megfelelő fázisáramot, valamint az I_o áramot ezek közül kell kiválasztani.



V2 védelem beállítási feltételei:

A V2 védelem:

- fáziszárlatokra zárlati, kétlépcsős túláram-idő védelem,
- a földzárlatokra zérus sorrendű, kétlépcsős túláram-idő védelem.

Bár a földelt csillagpontú hálózaton a fáziszárlati- és földzárlati (1FN) áramok közel azonosak lehetnek, azonban a kritikus min-max feltételek eltérőek (lásd: Bauch paradoxon!), emiatt külön védelmet alkalmazunk.

Távvezeték zárlatvédelme

A 2F és 3F zárlati áramok min és max értékeit kell figyelembe venni.

Késleltetett fokozat, $I > t$

1. Biztosan működjön B sín zárlatára:

$$I_{be} \leq \frac{I_{z\ min}}{(1 + \varepsilon)} \quad t_{be} = t_x + \Delta t$$

2. Biztosan ne működjön C sín (2.) zárlatára:

$$I_{be} \geq \frac{I_{z\ max}}{(1 - \varepsilon)}$$

3. Biztosan ne működjön a legnagyobb terhelő áramra

$$I_{be} \leq \frac{I_{\ddot{u} \max}}{(1-\varepsilon) * k_e}$$

A legnagyobb terhelő áram távvezetékénél a termikus határáram: I_{th} .

Transzformátornál: $1,5 * I_{tr n}$

4. Biztosan ne működjön – IFN esetén fellépő - épfázisú hibaáramokra:

$$I_{be} \geq \frac{I_{\acute{e}pf \max}}{(1-\varepsilon)}$$

1FN esetén az épfázisú hibaáram, ha $I_1=I_2$:

$$I_{\acute{e}pf} = |I_b| = |I_c|$$

$$I_b = a^2 I_1 + a I_2 + I_0 = (a^2 + a) I_1 + I_0 = I_0 - I_1$$

$$I_{\acute{e}pf} = I_0 - I_1$$

4. A fokozat késleltetése legyen Δt szelektív időlépcsővel nagyobb a

- B gyűjtősín védelmének késleltetésétől (ha van, akkor rendszerint $t_{be} = 0s$) (sugarasan ellátott transzformátornál nincs gyűjtősín)
- transzformátor primer oldali védelmének késleltetésétől.

5. Gyorsfokozat, $I >> I_0$:

1. Ne induljon a B sínzárlatára:

A B sínről induló többi leágazás védelmeit ne előzze meg:

$$I_{be} \geq \frac{I_{z \max}}{(1-\varepsilon)}$$

2. Biztosan ne működjön a B sín IFN zárlatára az ép fázisokban:

$$I_{be} \geq \frac{I_{\acute{e}pf \max}}{(1-\varepsilon)}$$

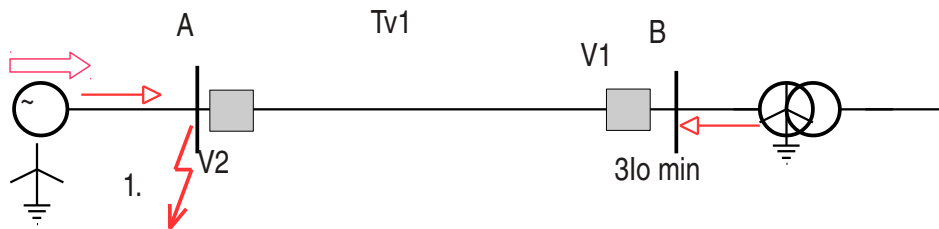
3. Késleltetése értelemszerűen $t_{be} = 0s$.**A távvezeték földzárlatvédelmének beállítási feltételei:**

A feltételek logikailag azonosak a zárlatvédelemnél leírtakkal, de az I_0 áramok minimum és maximum értékeit kell figyelembe venni.

V1 végponti fáziskiválasztó védelem („C” védelem) beállítási feltételei:

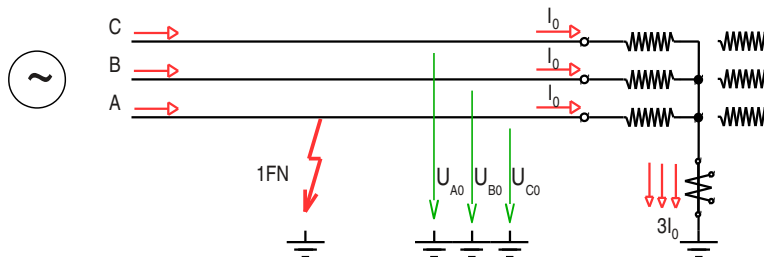
A vezeték B sín felőli védelmére – a végponti transzformátornál - C védelmet alkalmaznak. Mivel a végponti transzformátor mögött nincs generátor, a 3F zárlatra nem tud visszatáplálni. A földelt csillagpontú, végponti transzformátor 1FN zárlat esetén I_0 áramot táplál a hibahely felé.

1. A földzárlatvédelem késleltetett fokozata biztosan működjön az A sín zárlatára, minimális I_0 áram esetén is.



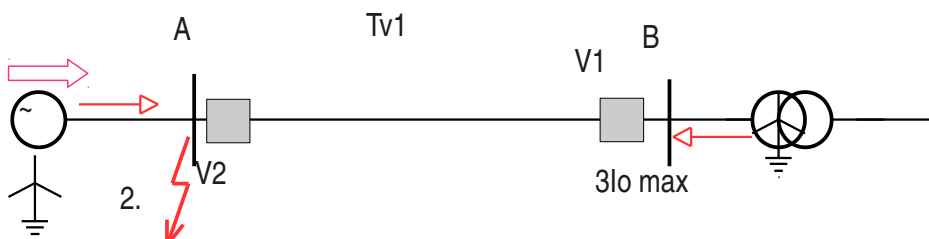
$$I_{0be} \leq \frac{3I_{0min}}{(1+\varepsilon)} \quad t_{be} = t_x + \Delta t$$

A zérus sorrendű túláramrelét a transzformátor csillagpontjában helyezik el (természetesen áramváltóra csatlakozik), vagy a távvezetéki áramváltók összegzésével (Holmgreen kapcsolásban) előálló $3I_0$ áramot kapja. (Emiatt kell a 3-as szorzó.)



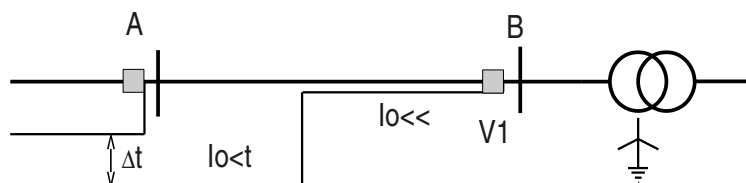
Késleltetése Δt szelektív időlépcsővel legyen hosszabb az A sínre csatlakozó, (a mögöttes hálózat felől jövő) összes vezeték I_0 védelmeinek késleltetésétől.

2. A földzárlatvédelem gyors fokozata biztosan ne működjön az A sín zárlatára, maximális I_0 áram esetén sem.



$$I_{0be} \geq \frac{3I_{0max}}{(1-\varepsilon)}$$

A VI védelem karakterisztikája:



Hibás fázis kiválasztás feszültség csökkenési relével:

Az 1 fázisú kikapcsolás érdekében a földzárlatos fázist feszültségrelével választjuk ki. Üzemi feszültség esetén a relé legyen meghúzva, ha a feszültség a zárlat miatt letörik, akkor ejtsen el a zárlatos fázis feszültségreléje. Tehát feszültség csökkenési ($U <$) relét alkalmazunk.

Beállítási feltételek:

1. A relé ejtsen el a zárlat miatti

$$U_e > U_{zmax}$$

$$U_{be} = U_e$$

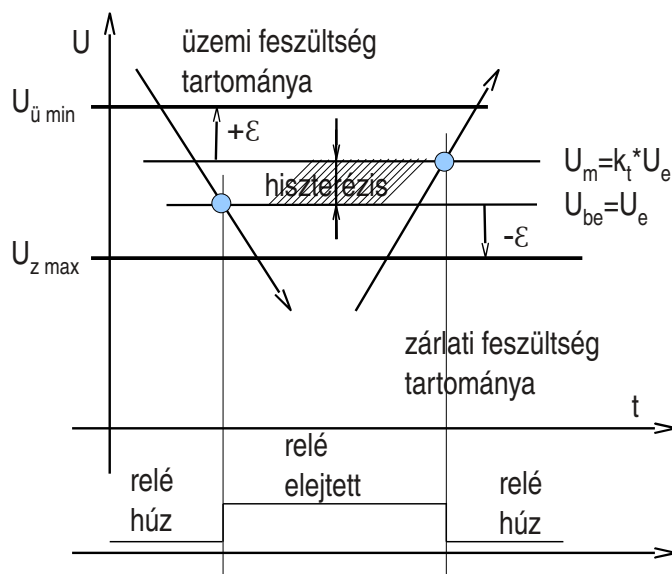
U_e : relé elejtési feszültsége

U_{zmax} : 1FN esetén előforduló legnagyobb zárlati feszültség

Feszültség csökkenési relé skáláján az $U_{be} = U_e$ elejtési értékek vannak feltüntetve, így az elejtési értéket állítjuk be a relén.

$$(1 - \varepsilon) U_{be} \geq U_{zmax}$$

$$U_{fbe} \geq \frac{U_{zmax}}{(1 - \varepsilon)}$$



2. A relé húzzon meg a legalacsonyabb üzemi feszültség esetén:

Az előbb felhasznált U_e elejtési értékhez a meghúzási érték számítható

k_t : a relé tartóviszonya

$$U_m = k_t * U_e$$

$$(1 + \varepsilon) U_m \leq U_{ü min}$$

$$U_{fbe} \leq \frac{U_{f ü min}}{k_t (1 + \varepsilon)}$$

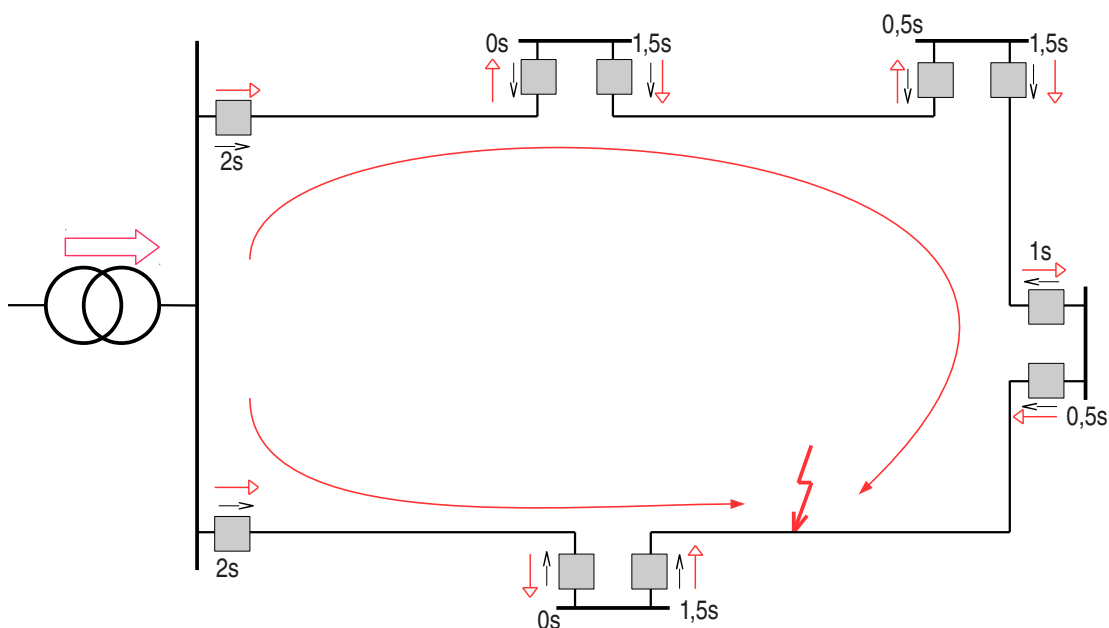
Az egyidejűleg történő feszültségrelé elejtés és az I_0 relé meghúzása indítja a késleltetést, aminek letelte után kioldás következik. A késleltetés - a szelektivitási szempontok figyelembevételével - lehet $t_{be} = 0s$, vagy szelektív időlépcsővel beállított érték is.

Irányított túláramvédelem körvezetéken

Körvezetéken a hibahely felé két irányból folyik zárlati áram.

Mivel a túláramrelék az áram nagyságát érzékelik, az irányát nem, ezért mögöttes (nem saját vezetéki-) zárlatra tévesen kioldhatnak.

A szelektivitás értelmében csak a zárlatos vezeték két végén lévő védelmeknek kell kioldaniuk. A kétlépcsős túláram-idő védelmeket a szelektivitás érdekében energia irány érzékeléssel egészítjük ki. Az energiairány reléket a gyűjtősíntől kifelé, a távvezeték felé kell irányítani.



- Csak a vezeték felé irányított védelmek működhetnek (pozitív energiairány)
- A gyűjtősín felé folyó áramokat érzékelő védelmek nem működhetnek (negatív, fordított energiairány)
- A védelmek késleltetését a tápponti gyűjtősín védelmétől kiindulva, a körbejárás irányával ellentétes irányítású védelmeknél egy-egy időlépcsővel növeljük.
- A tápponti gyűjtősínről leágazó vezeték (első védelem) irányítatlan lehet, mert a táppontból csak kifelé folyhat az áram
- A két ág között a zárlati áram eloszlása (aránya) erősen függ a hiba helyétől
- Ha a tápponti sínről induló vezeték elején lép fel zárlat, akkor a másik (hosszú áramutat jelentő-) ágon olyan kis áram folyik, hogy abból az irányból a védelmek nem szólalnak meg, csak akkor, ha rövid ág védelme kioldott („kaskád működés”)!)

Körvezeték esetén nemcsak a zárlat-, hanem a földzárlatvédelmét is irányítani kell. Az energiairány relék működéséhez a feszültséget is meg kell kapniuk.

Fáziszárlatok esetére a fázisáramok mellett fázis-, vagy vonali feszültséget, földzárlatok energiairányának érzékeléséhez az I_0 mellett U_0 feszültséget is kell kapniuk. Az irányrelé

szögének megválasztásakor a zárlati (földzárlati) U és I közötti fázisszöget figyelembe kell venni!

Irányított túláramvédelem hurkolt hálózaton

Hurkolt hálózaton is alkalmazhatók ez energiairány érzékeléssel ellátott túláramvédelmek, azonban a mögöttes hálózat zárlati teljesítményének a változása miatt bonyolult a beállítási értékek kiszámítása.

Ettől korrektebb, jobban kézben tartható, egyszerűbben számítható védelmi rendszer valósítható meg impedancia érzékeléssel (távolsági védelemmel), vagy szakaszvédelemmel.

Függő késleltetésű túláramvédelmek alkalmazása

Távvezetékek esetén függő késleltetésű túláramvédelmeket csak tartalékvédelemként alkalmaznak. Motorok esetén – elsősorban a melegedés követése miatt – nagyon gyakran alkalmaznak áramfüggő túláramvédelmeket.

Távvezetékek függő késleltetésű túláramvédelme

Motorvédelem

Hosszúföldelt hálózat földzárlati áramának számítása

Kapacitív földzárlati áram kompenzálása

Az automatikákról szóló fejezetben!

Szigetelt csillagpontú hálózat kettős földzárlata

Források, ajánlott irodalom:

Póka Gyula: Villamos energia rendszer védelme és automatikája

Póka Gyula: Védelmek tervezése

Petri Kornél: Numerikus védelmek (BME)

Morva György: Villamosenergia-rendszer védelme, automatikája (KKMF)

Benkó-Hatvani-Póka-Uri-Varga: Villamosmű kezelő

Digitális védelmek leírásai: a gyártók honlapjáról (Protecta, ABB, Siemens, Infoware)