

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

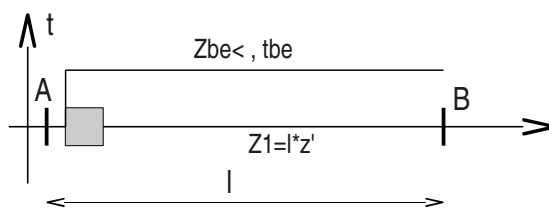
Impedancia védelmek

Távvezeték védelme impedanciacsökkenési relékkel

A relé akkor működik, ha a feszültségből és áramból számított (érezelt) impedancia kisebb a beállított impedancia értékénél. Így tehát egy vezeték zárlatának érzékeléséhez a vezeték hosszának megfelelő impedanciára (vagy attól nagyobbra) kell beállítani: $Z_{be} \geq Z_{vez}$. Minél közelebb van a zárlat a védelemhez, annál kisebb a zárlati hurok impedanciája, és annál biztosabb a zárlat érzékelése.

Az impedanciavédelmeknél is alkalmazzuk a szelektív időlépcsőt, ha szükséges a szelektív működéshez.

Az egyszerű impedanciavédelmet gyűjtősínek, generátorok, rövid vezeték leágazások védelmére használják, ha túláram védelemmel nem biztosítható a szelektivitás.



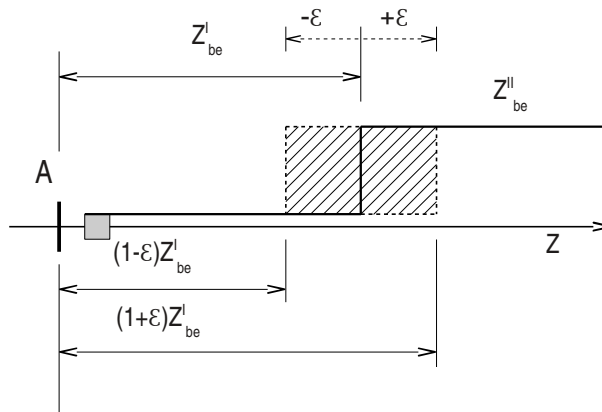
A hurkolt hálózat távvezetékén többfokozatú – többlépcsős - impedancia védelmeket alkalmazunk. Mivel a vezeték mentén mérhető impedancia (Z_1) a vezeték hosszával arányos, a beállítási érték is a távolsággal lesz arányos. Emiatt az ilyen felépítésű védelmet távolsági védelemnek nevezik.

Impedanciarelék beállítási feltételei

A védelem beállítási értékeinek kiszámításához - a túláramvédelemhez hasonlóan - minimum és maximum feltételek fogalmazhatók meg.

Míg az áramrelé az áram növekedésekor kell működjön, addig az impedanciarelé az érzékelt mennyiség (impedancia, reaktancia) csökkenésekor működik.

Az impedancia elvű védelmeknél is jelentkezik a beállítás bizonytalansága (a túláramvédelmeknél már megismert okok miatt), amit az ε -nal veszünk figyelembe.



Beállítási feltételek:

1. A vezeték végi zárlatot biztosan érzékelje. Ha az érzékelt impedancia kisebb, vagy

egyenlő a vezeték impedanciájával, akkor működjön. Azaz a beállított impedancia biztonsággal legyen nagyobb a vezetékétől. Ezt a negatív szórással vesszük figyelembe:

$$(1 - \varepsilon) Z_{be} \geq Z_{max}$$

$$Z_{be} \geq \frac{Z_{max}}{1 - \varepsilon}$$

2. Van olyan impedancia, amelytől nagyobb impedancia esetén nem működhet.

$$(1 + \varepsilon) Z_{be} \leq Z_{min}$$

$$Z_{be} \leq \frac{Z_{min}}{1 + \varepsilon}$$

Például az előforduló legkisebb fogyasztói impedanciától biztonsággal legyen kisebbre állítva.

Távolsági védelmeknél általában $\varepsilon=0,15$ egyes esetekben $\varepsilon=0,1$.

A szelektív időlépcső a nagyfeszültségű hálózaton $\Delta t=0,4s$. Lassabb megszakítók esetén, vagy ha más elvű védelmekhez is kell illeszteni a karakterisztikát, akkor $\Delta t=0,5s$ a szokásos beállítás.

Hatótávolság:

A védelem hatótávolsága: az a – vezeték hosszához viszonyított - távolság, amin belüli zárlatot érzékeli a védelem.

- A hibahelyet a Z_1 vezeték végére vesszük fel.
- A védelmet úgy állítjuk be, hogy a vezeték végi zárlatot még érzékelje: $Z_{be}=Z_1$.

Például nagy hibahelyi ellenállás miatt a vezeték végi zárlat esetén a $Z_\epsilon > Z_1$ (érezelt impedancia nagyobb Z_1 -től). Emiatt Z_1 -től távolabbinak érzékeli a hibát, tehát nem fog megszólalni a védelem a vezeték végi zárlatra. (Z_1 : a vezeték pozitív sorrendű impedanciája) Ahhoz, hogy megszólaljon, Z_1 -től közelebb kellene lennie a hibának. Tehát a hatótávolsága csökken. Mivel $Z_{be}=Z_1$ a pontos érzékelés érdekében, ekkor:

$$L = \frac{Z_{be}}{Z_\epsilon} = \frac{Z_1}{Z_\epsilon} \quad \begin{array}{l} Z_\epsilon : \text{hiba esetén érzékelt impedancia} \\ \text{Pontos érzékelés esetén } L = 1 \end{array}$$

A hatótávolság megállapításához az impedanciák abszolút értékével számolunk, mivel azt feltételezzük, hogy a védelem a vezeték fázisszögéhez van illesztve. Kör karakterisztika esetén ennek nincs jelentősége, speciális karakterisztikájú védelmek esetén azonban fontos a pontos fázisszög ismerete és beállítása.

A háromfázisú hálózaton különböző zárlatfajták léphetnek fel, ezek különböző nagyságú és fázishelyzetű zárlati feszültséget és áramot eredményeznek. A védelem ezeket érzékeli, és az érzékelési egyenlettel „számított” impedanciát hasonlítja össze a beállított értékkel.

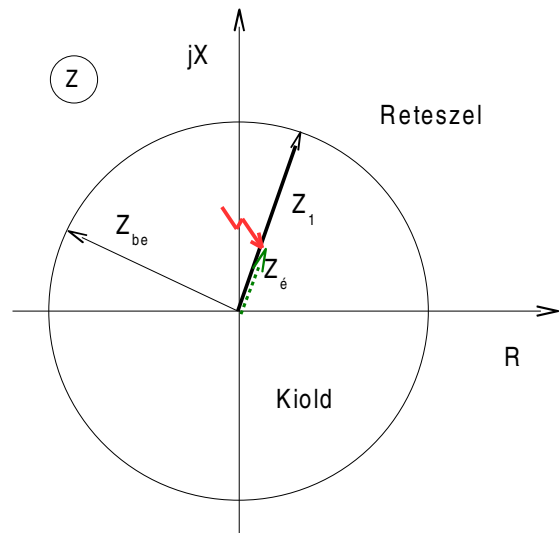
Az impedanciavédelmek helyes beállításához ismerni kell, hogy a különböző zárlatfajták és a különféle egyenletek alkalmazása esetén meddig „lát el” a védelem.

A legegyszerűbb impedanciarelé kör karakterisztikájú. Ennél a megszólalást csak a feszültség és az áram nagysága határozza meg, és nem függ a feszültség- és áramvektor közötti szögtől.

Az impedanciarelék karakterisztikáját az impedancia síkon ábrázolhatjuk. A védelem felszerelési helyére vesszük fel a kordináta rendszer origóját.

Látható, hogy a relé kioldó karakterisztikájához - jelen esetben Z_{be} sugarú körhöz - képest hol helyezkedik el a vezeték Z_1 impedanciája. A védett vezeték erősen induktív.

Ha a zárlat a vezeték harmadánál lép fel, akkor a $Z_{\acute{e}}$ érzékelt impedancia vektora a Z_1 harmadáig rajzolandó. Mivel ekkor kioldást kell adnia a védelemnek, értelemszerűen a védelem kioldási tartománya a kör belseje. A körön kívüli tartományban nem adhat kioldást, ez a reteszelő tartomány.



A védelem a zárlat alatt kialakuló feszültséget és áramot kapja, ebből „számolja ki” hogy hány ohmra van a védelem felszerelési helyétől, a vezeték elejétől a zárlat helye. Kör karakterisztika esetén az érzékelési egyenlet:

$$|Z_{\acute{e}}| = \frac{|U_z|}{|I_z|}$$

Ezt az érzékelt impedanciát hasonlítja össze a beállítási értékkel. Mivel a kör karakterisztikájú védelem az abszolút értéket érzékeli, ezért a kioldása akkor következik be, ha

$$|Z_{\acute{e}}| < |Z_{be}|$$

A továbbiakban egyszerű távvezeték modell alapján különböző érzékelési egyenletek pontosságát, hatótávolságát vizsgáljuk.

Impedanciarelé érzékelési egyenletek

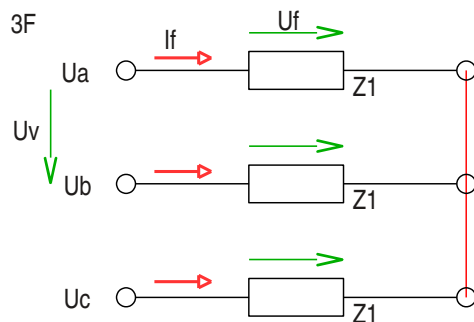
A vezeték impedanciáit azonos értékűnek feltételezzük: $Z_a=Z_b=Z_c$.

Minden vizsgálatnál $Z_{bc}=Z_1$, azaz pontosan a vezeték végén fellépő zárlatok esetén érzékelt (a feszültségből, áramból számított) impedanciára vagyunk kíváncsiak.

1. Használjuk a mérőváltókról kapott fázismennyiségeket!

A vizsgált érzékelési (mérési) egyenlet:

$$Z_{\dot{e}} = \frac{U_f}{I_f}$$

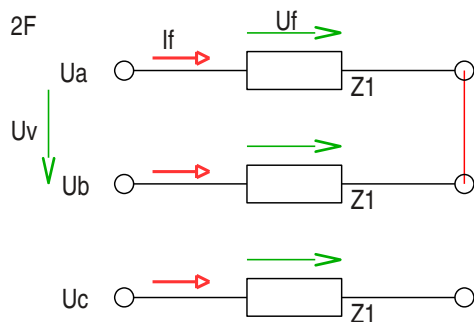


$$U_f = I_f * Z_1$$

$$Z_{\dot{e}} = \frac{U_f}{I_f} = \frac{I_f * Z_1}{I_f} = Z_1$$

$$L = \frac{Z_1}{Z_{\dot{e}}} = 1$$

Pontosan mér a védelem



$$I_f = \frac{U_v}{2 * Z_1} \quad U_f = \frac{U_v}{\sqrt{3}}$$

$$Z_{\dot{e}} = \frac{U_f}{I_f} = \frac{\frac{U_v}{\sqrt{3}}}{\frac{U_v}{2 * Z_1}} = \frac{2}{\sqrt{3}} Z_1 = 1,15 Z_1$$

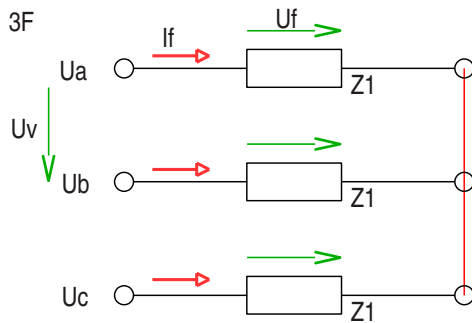
Z_1 helyett 15%-kal távolabbinak érzékeli a hibahelyet!

$$L = \frac{Z_1}{Z_{\dot{e}}} = \frac{Z_1}{\frac{2}{\sqrt{3}} Z_1} = 0,86$$

Csak $0,86 * Z_1$ -ig lát el a védelem. A hatótávolság rövidül, nem ér el a vezeték végéig, ez baj!

2. Vonali feszültség és fázisáram esetén mit érzékel a védelem?

$$Z_{\dot{e}} = \frac{U_v}{I_f}$$



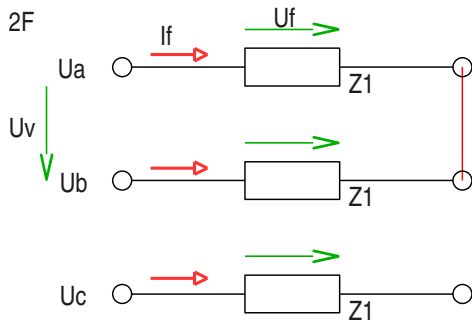
$$I_f = \frac{U_f}{Z_1}$$

$$U_v = \sqrt{3} * U_f$$

$$Z_{\dot{e}} = \frac{U_v}{I_f} = \frac{\sqrt{3} * U_f}{\frac{U_f}{Z_1}} = \sqrt{3} * Z_1$$

$$L = \frac{Z_1}{Z_{\dot{e}}} = \frac{1}{\sqrt{3}} = 0,58$$

A hatótávolság rövidül, nem ér el a vezeték végéig, ez



$$I_f = \frac{U_v}{2 * Z_1}$$

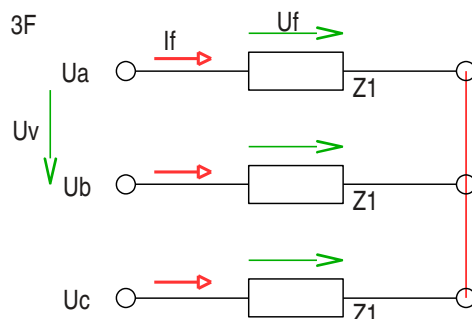
$$Z_{\dot{e}} = \frac{U_v}{I_f} = \frac{U_v}{\frac{U_v}{2 * Z_1}} = 2 * Z_1$$

$$L = \frac{Z_1}{Z_{\dot{e}}} = \frac{Z_1}{2 * Z_1} = 0,5$$

A hatótávolság rövidül, csak a vezeték feléig ér el, ez baj!

3. Az előbbi egyenletet módosítsuk, hogy 2F-nél pontosan mérjen!

$$Z_{\dot{e}} = \frac{U_v}{2 * I_f}$$



$$I_f = \frac{U_f}{Z_1}$$

$$U_v = \sqrt{3} * U_f$$

$$Z_{\dot{e}} = \frac{U_v}{2 I_f} = \frac{\sqrt{3} * U_f}{2 \frac{U_f}{Z_1}} = \frac{\sqrt{3}}{2} * Z_1 = 0,866 * Z_1$$

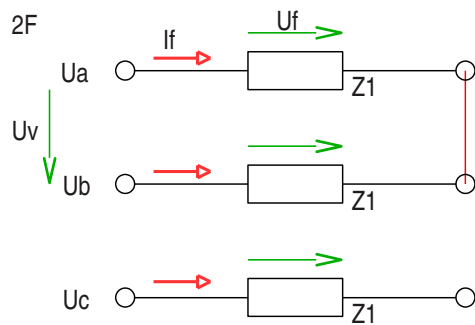
$$L = \frac{Z_1}{Z_{\dot{e}}} = \frac{2}{\sqrt{3}} = 1,15$$

A hatótávolság megnyúlik, kb. 15%-kal túlér a vezeték végén. Ez a saját vezetéki zárlat érzékelése szempontjából nem olyan nagy baj, bár nemszelektív oldást okozhat a következő

vezeték eleji zárlatoknál.

Ez elfogadható kompromisszum az alábbiak miatt:

- automatikus visszkapcsolást alkalmazunk.
- hurkolt hálózaton a betáplálási torzítás is csökkenti a járulékos kioldás lehetőségét
- a 3F zárlat ritkább, mint a 2F zárlat



$$I_f = \frac{U_v}{2 * Z_1}$$

$$Z_{\dot{e}} = \frac{U_v}{2I_f} = \frac{U_v}{2 \frac{U_v}{2 * Z_1}} = Z_1$$

$$L = \frac{Z_1}{Z_{\dot{e}}} = \frac{Z_1}{Z_1} = 1$$

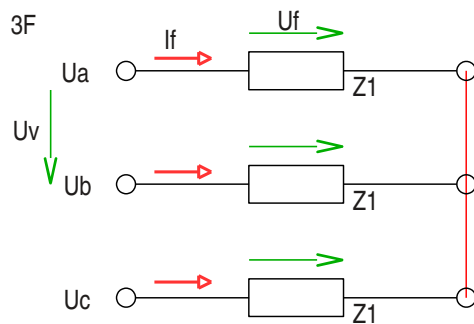
A hatótávolság megegyezik a vezeték hosszával, pontos a védelem érzékelése.

A középfeszültségű hálózaton ezt használják.

4. A fázisfeszültségek, illetve áramok vektoriális különbségét képezzük.

A védelemben a különbség képzés speciális mérőváltók segítségével történik. (A digitális védelmekben szoftver végzi el ezt a feladatot.)

$$Z_{\dot{e}} = \frac{U_c - U_b}{I_c - I_b}$$



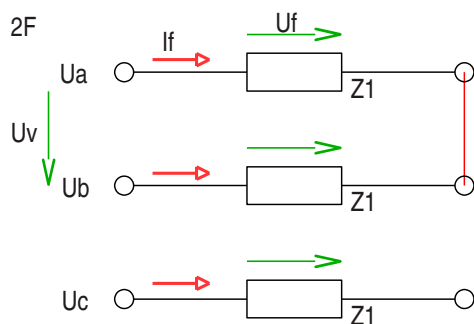
$$I_c = \frac{U_c}{Z_1} \quad I_b = \frac{U_b}{Z_1}$$

$$I_c - I_b = \frac{U_c}{Z_1} - \frac{U_b}{Z_1} = \frac{U_c - U_b}{Z_1}$$

$$Z_{\dot{e}} = \frac{U_c - U_b}{\frac{U_c - U_b}{Z_1}} = Z_1$$

$$L = \frac{Z_1}{Z_{\dot{e}}} = 1$$

3F esetén a hatótávolság megegyezik a vezeték hosszával, pontos a védelem érzékelése.



$$I_c = \frac{U_c}{Z_1} \quad I_b = \frac{U_b}{Z_1}$$

$$I_c - I_b = \frac{U_c}{Z_1} - \frac{U_b}{Z_1} = \frac{U_c - U_b}{Z_1}$$

$$Z_{\dot{e}} = \frac{U_c - U_b}{\frac{U_c - U_b}{Z_1}} = Z_1$$

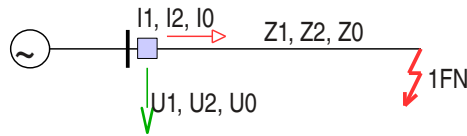
$$L = \frac{Z_1}{Z_{\dot{e}}} = \frac{Z_1}{Z_1} = 1$$

2F esetén is pontosan érzékel a védelem.

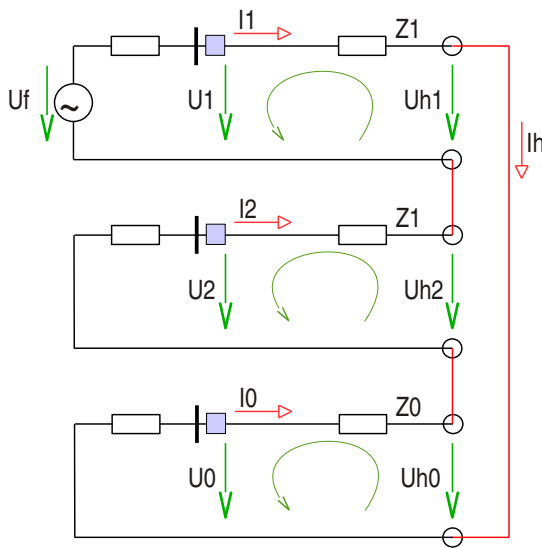
A gyakorlati megvalósítása bonyolultabb, a nagyfeszültségű hálózaton alkalmazzák.

5. Milyen egyenlet kell az 1FN pontos méréséhez földelt csillagpontú hálózaton?

Ezt az esetet a szimmetrikus összetevők



$$Z_é = ?$$



Hurokegyenlet a hibahelyre:

$$U_{h1} + U_{h2} + U_{h0} = 0$$

Hurokegyenletek a védelemnél mérhető feszültségekre, ($Z_2 = Z_1$ feltétellel):

$$U_1 - I_1 * Z_1 - U_{h1} = 0$$

$$U_2 - I_2 * Z_1 - U_{h2} = 0$$

$$U_0 - I_0 * Z_0 - U_{h0} = 0$$

Átrendezve:

$$U_1 = I_1 Z_1 + U_{h1}$$

$$U_2 = I_2 Z_1 + U_{h2}$$

$$U_0 = I_0 Z_0 + U_{h0}$$

A hibás fázis feszültsége a védelemnél (1FN):

$$U_a = U_1 + U_2 + U_0$$

$$U_a = I_1 Z_1 + U_{h1} + I_2 Z_1 + U_{h2} + I_0 Z_0 + U_{h0} = I_1 Z_1 + I_2 Z_1 + I_0 Z_0$$

mivel I_a értékét szeretnénk látni az egyenletben, ezt kiegészítjük:

$$I_0 Z_1 - I_0 Z_1 = 0$$

Ekkor:

$$U_a = I_1 Z_1 + I_2 Z_1 + I_0 Z_1 + I_0 Z_0 - I_0 Z_1$$

$$U_a = (I_1 + I_2 + I_0) Z_1 + I_0 Z_0 - I_0 Z_1$$

mivel: $I_a = I_1 + I_2 + I_0$

$$U_a = I_a Z_1 + I_0 (Z_0 - Z_1)$$

$$U_a = I_a Z_1 + \frac{I_0 (Z_0 - Z_1)}{Z_1} Z_1$$

$$U_a = (I_a + I_0 \frac{Z_0 - Z_1}{Z_1}) Z_1 = (I_a + 3I_0 \frac{Z_0 - Z_1}{3Z_1}) Z_1 = (I_a + 3I_0 \alpha) Z_1 \quad \alpha = \frac{Z_0 - Z_1}{3Z_1}$$

α -t behelyettesítve (az $U_a = \dots$ egyenletbe), majd Z_1 -et kifejezve megkapjuk a keresett összefüggést.

Az 1FN zárlat pontos érzékelését biztosító egyenlet:

$$Z_1 = \frac{U_a}{I_a + \alpha 3I_0} \quad \alpha = \frac{Z_0 - Z_1}{3Z_1}$$

Ha Z_F ismert: $\alpha = \frac{Z_F}{Z_1} \quad Z_F = \frac{Z_0 - Z_1}{3}$

ahol U_a a hibás fázis feszültsége, I_a a hibás fázisvezetőn-, és $3I_0$ a földben visszafolyó áram.

Ha a hibás fázis áramához a földben folyó áram α -szorosát hozzákeverjük, akkor a fenti képlet szerint a védelem a Z_1 távolságban fellépő 1FN zárlatot pontosan fogja mérni. A pontosság feltétele, hogy az α pontosan legyen beállítva a távvezeték paramétereire.

Fizikailag is belátható, hogy az 1FN zárlati áram a fázisvezetőn (Z_1) és a földön keresztül (Z_F) folyik. Szükségszerűen kisebb lesz a körben folyó áram, kevésbé törik le a feszültség, így az érzékelt impedancia nagyobb lesz. A Z_F miatti pontatlanság a Z_F -től függő szorzóval korrigálható.

Impedancia érzékelés egyenleteinek pontossága, alkalmazása a zárlat fajtától függően

| | Mérési egyenlet | Z érzékelt | | | | Alk. feltétel | |
|---|---|--------------------------|---------|---------|------------------------|---------------|--|
| | | 3F | 2F | 2FN | 1FN | | |
| 1 | $\frac{U_v}{I_f}$ | Z_1 | változó | változó | $\frac{2Z_1 + Z_0}{3}$ | | |
| | Ha $\frac{Z_0}{Z_1} = 3$ | Z_1 | változó | változó | $\frac{5Z_1}{3}$ | | |
| 2 | $\frac{U_v}{2I_f}$ | $\frac{\sqrt{3}}{2} Z_1$ | Z_1 | változó | változó | Szig. csill. | Középfesz. hálózaton |
| 3 | $\frac{U_c - U_b}{I_c - I_b}$ | Z_1 | Z_1 | Z_1 | változó | $I_0 = 0$ | Nagyfesz. hálózaton, földelt csillagpont |
| 4 | $\frac{U_a}{I_a + \alpha 3I_0}$ Ha $\alpha = \frac{Z_0 - Z_1}{3Z_1}$ | Z_1 | változó | Z_1 | Z_1 | $I_0 > 0$ | |

A középfeszültségű hálózaton az $\frac{U_v}{2I_f}$ egyenletet használjuk.

A földelt csillagpontú (nagyfeszültségű-) hálózaton az I_0 fellépésétől függően átkapcsoljuk a védelmet:

- Ha nem földérintéses a zárlat ($I_0 = 0$), akkor az $\frac{U_c - U_b}{I_c - I_b}$ egyenlet szerint,

- ha földérintéses a zárlat ($I_0 > 0$), akkor a $Z_1 = \frac{U_a}{I_a + \alpha 3I_0}$ egyenlet szerint működik a védelem.

Ugyanabban a távolsági védelemben többféle érzékelési egyenlet szerint működő relék lehetnek. Így általában más egyenletet használnak az ébresztőelemek, a mérőelemek. A hálózat jellegétől függően, illetve az ívellenállástól való függetlenítés érdekében például nem impedanciát, hanem tisztán reaktanciát mérő relé egyenleteket is használnak.

Bármilyen felépítésű védelmet alkalmazunk (pl. elektromechanikus, elektronikus, vagy digitális védelmet), az érzékelés egyenletei ugyanazok!

A távolsági védelem felépítése

Eddig azt vizsgáltuk, hogy egy impedancia relé a vezeték végén fellépő zárlatot érzékeli-e? Most azt vizsgáljuk, hogy több impedancia relé felhasználásával hogyan lehet szelektív védelmi rendszert létrehozni. (→ több lépcsős impedancia védelem)

A távolsági védelem az előbbieken megismert érzékelési egyenletű elemekből épül fel. Az impedancia érzékelés egyenletei a hálózat jellegétől függően a fenti táblázat szerintiek. A feszültségek, áramok feszültség- és áramváltókról érkeznek a védelembe.

Központi mérőelemes, elektromechanikus távolsági védelem

A központi mérőelemes távolsági védelem blokkvázlatán követhető a védelem belső működése.

A távolsági védelmek főbb elemei:

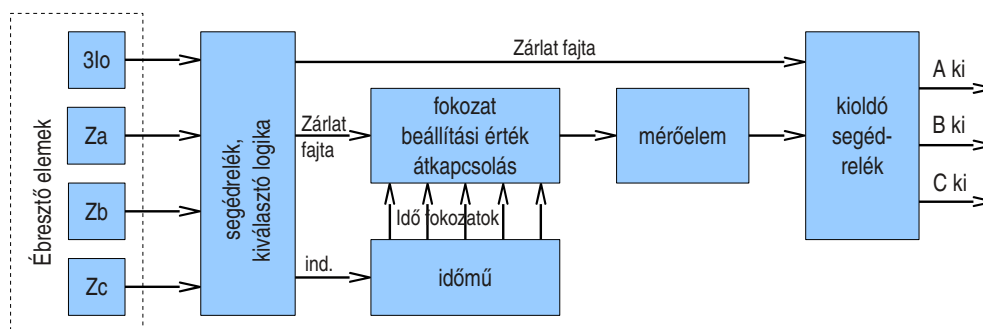
- ébresztőelemek
- kiválasztó logika
- időmű
- mérőelem
- energiairány relé
- kioldó relék

Esetenként egyéb funkciót ellátó relék, illetve egységek is belekerülnek: visszakapcsoló automatika, holsáv zárlat védelem, lengészár, hibahely távmérő, stb.

A hálózaton fellépő hibát az ébresztőelemek érzékelik. Az ébresztőelemek indítják az időművet, és (az elektromechanikus védelmekben relés-) kiválasztó logikán keresztül a zárlatfajtának megfelelő mennyiségeket rákapcsolják a mérőelem sokmegcsapolásos transzformátorára.

Az egyetlen mérőelemre sokmegcsapolásos transzformátoron keresztül csökkentett-növelt feszültségek jutnak. A megcsapolás (áttétel) határozza meg a fokozathatárnak megfelelő beállítási értéket!

A továbbiakban az időműnek kulcsszerepe van: a beállított fokozat határokhoz tartozó beállítási értékeket (megcsapolást) az időmű választja ki, és a fokozatok késleltetési idejének leteltekor kapcsolja rá a mérőelemre. Ilyen módon az időmű határozza meg a mérőelemre jutó mennyiségek nagyságát(!), esetenként irányát(!).



Központi mérőelemes, elektromechanikus távolsági védelem

A mérőelemnek az a feladata, hogy eldöntse, hogy a zárlat az impedancia fokozaton belül,

vagy azon kívül van-e. Ettől függően indítja a kioldást, vagy reteszel. Speciális karakterisztika esetén a mérőelem az energiáirány érzékelést is megvalósítja.

A kioldást a kioldó segédrelék végzik. A zárlatfajtától függően a kioldás egyfázisú, vagy háromfázisú lehet.

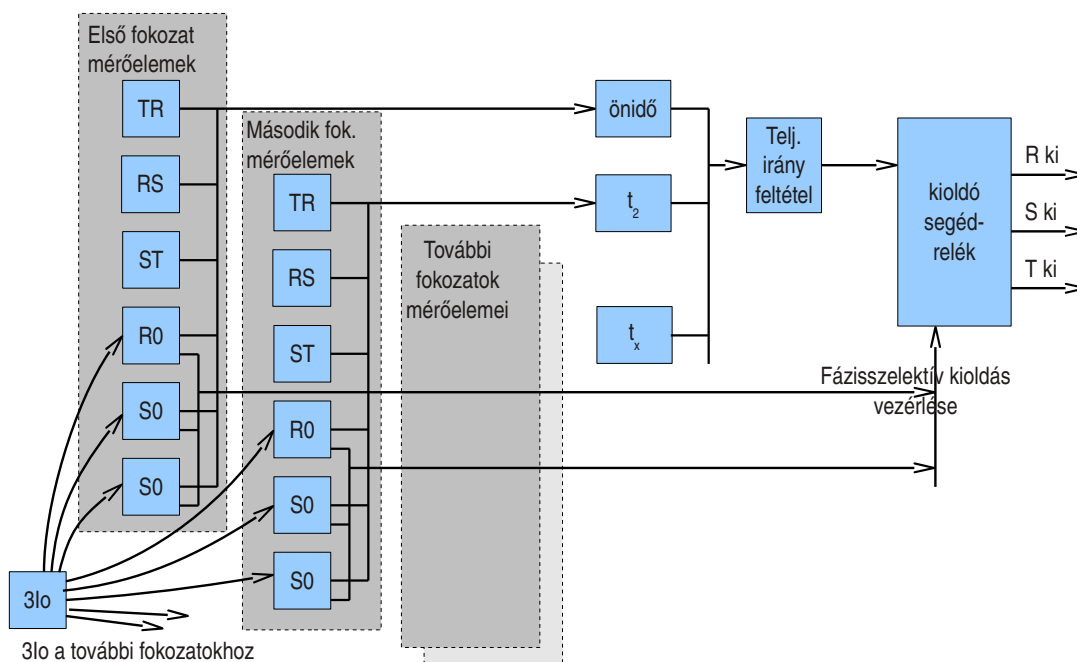
Elektronikus és digitális távolsági védelem

Az elektronikában egyszerű az azonos áramköri elemek többszörözése. Emiatt az elektronikus védelmekben mindenfajta záratra, minden fázisban önálló mérőelemek vannak, egy fokozathoz tehát - a blokkvázlat szerint - 6 db mérőelem tartozik.

A 3Io relé a földzárlati áramok esetén szólal meg, és engedélyezi az 1FN impedancia mérését az Ro, So, To mérőelemek részére.

A mérőelemek az érzékelendő impedanciának megfelelő feszültségre és áramra vannak kötve, így tehát folyamatosan mérik az impedancia értékét. Ezért külön ébresztő elemekre nincs szükség. Ezáltal a védelem gyorsabbá is válik.

A mérőelemek a fokozatok megfelelő beállítási értékre van beállítva.



Elektronikus és digitális távolsági védelem

Az előbbieket szerinti áramkörök ismétlésével lehet a fokozatok számát bővíteni. A fokozatok rendszerint más impedancia értéknél, és más késleltetéssel működnek.

A feszültségeket, áramokat tehát nem kell átkapcsolgatni. Mindegyik fokozathoz független időmű tartozik, ezért az egyik mérőrendszer meghibásodásakor a másik tőle függetlenül működik.

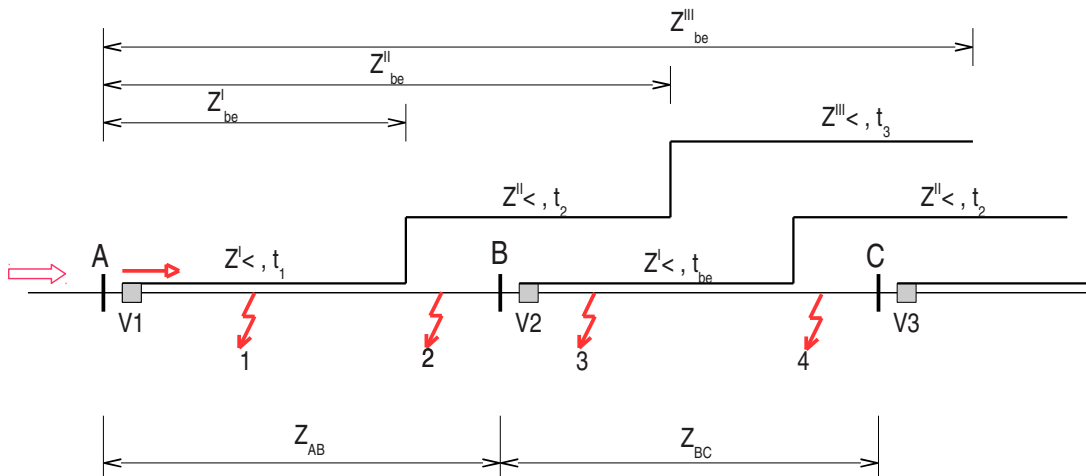
Az elektronikus védelemben a logikai feltételek kiértékelését, döntéseket logikai áramkörök végzik. A külvilág felé a kapcsolat reléken és optocsatolókon keresztül valósul meg. 1FN esetén, ha az egyfázisú kioldás lehetséges, akkor egyfázisú kioldást ad ki.

Digitális védelemben nem önálló áramköri elemek alkotják a fokozatonkénti, fázisonkénti mérőelemeket, hanem program modulok, amelyek folyamatosan mérnek, a megfelelő érzékelési egyenletet megvalósítva. Ezek a mért értékeket folyamatosan összehasonlítják a beállítási értékek tárolójában tárolt (beállítási-) értékekkel, és a megszólalt fokozat késleltetésének leteltekor kioldást adnak. A digitális védelmek algoritmusainak egyik kritikus eleme a zárlati mennyiségek kiszűrése a tranziensek, zavaró jelek közül.

Távolsági védelmek szelektív beállításának elve

A távolsági védelemnél a szelektivitást az impedancia fokozatok beállítási értékeinek helyes megválasztása és a fokozatok késleltetése biztosítja. Ennek megfelelően a védelem karakterisztikáját (több fokozat esetén) lépcsős távolság–idő karakterisztika jellemzi.

Sugaras hálózaton, távolsági védelmekkel szelektív védelmi rendszer - az egymást követő távvezetékek védelmeivel – az alábbiak szerint alakítható ki:



Mivel az impedanciavédelmek érzékelését a mögöttes hálózat nem befolyásolja, ezért a beállítási értékek kiszámításához csak a vezeték impedanciáját kell figyelembe venni.

A sugaras hálózatot az „A” gyűjtősín mögötti hálózat táplálja, így a védelmeket – értelemszerűen – a vezeték elején helyezük el.

Az ábra szerint a V1 védelem három impedancia fokozatot tartalmaz. (A gyakorlatban ettől többet tartalmaznak, és az itt vázolt karakterisztikától bonyolultabbak is megvalósíthatók.)

- Alapfokozat (első fokozat): Z_{be}^I
- Második fokozat: Z_{be}^{II}, t_{be}^{II}
- Harmadik fokozat: $Z_{be}^{III}, t_{be}^{III}$

Az alapfokozat a saját vezetéki (1) zárlatokat (kb. a vezeték 86 százalékáig) önidővel, késleltetés nélkül hárítja. A vezeték végi (2) zárlatokat a második fokozat hárítja, késleltetve. A BC vezeték zárlatait – távoli tartalékvédelemként – a második és harmadik fokozat hárítja. A B sín zárlata esetén – ha nincs önálló gyűjtősínvédelem, akkor a V1 védelem, mint természetes gyűjtősínvédelem – késleltetve kikapcsolja a távvezetékét.

V1 védelem beállítása

Itt a legfontosabb feltételeket vesszük sorra, a valóságos hálózaton további feltételeket, hibafajtákat és hibahelyeket is figyelembe kell venni.

A V1 védelem impedancia fokozatainak beállításához a V2 beállítási adatait ismertnek vesszük. (A V2 beállítási értékei a következőkben leírtakhoz hasonlóan számíthatók ki.)

1. Alapfokozat (Z^I)

Pozitív szórás esetén sem érhet el a B gyűjtősínig:

$$(1 + \varepsilon) Z_{be} \leq Z_{AB}$$

$$Z_{be} \leq \frac{Z_{AB}}{(1 + \varepsilon)}$$

Ez azt jelenti, hogy az 1. jelű (közeli-) zárlatot késleltetés nélkül (alapidő = önidő) hárítja.

2. Második fokozat (Z^{II})

a) feltétel: biztosan érjen túl a B sínen, negatív szórás esetén:

$$(1 - \varepsilon) Z_{be} \geq Z_{AB}$$

$$Z_{be} \geq \frac{Z_{AB}}{(1 - \varepsilon)}$$

b) feltétel: a V1 II. fokozata nem ütközhet a V2 I. fokozatával:

- a V2 védelem $Z_{B\,be}^I$ alapfokozatának negatív szórása, és
- a V1 második fokozatának pozitív szórása esetén sem

Megjegyzés: az ütközést tulajdonképpen a V2 védelem második(!) fokozatának késleltetése okozza.

$$(1 + \varepsilon) Z_{be}^{II} \leq Z_{AB} + (1 - \varepsilon) Z_{B\,be}^I$$

$$Z_{be}^{II} \leq \frac{Z_{AB} + (1 - \varepsilon) Z_{B\,be}^I}{(1 + \varepsilon)}$$

$$t_{be}^{II} = \Delta t$$

Ezzel a saját vezeték végi zárlatokat $t_{be}^{II} = \Delta t$ késleltetéssel hárítja. A B sín, és a BC vezeték elején bekövetkezett zárlatokat is $t_{be}^{II} = \Delta t$ késleltetéssel hárítja, tartalékvédelemként.

Ha az a) és b) feltételek ütköznek, akkor $t_{be}^{II} = 2\Delta t$ késleltetést kell beállítani. Ha ez a nagyobb késleltetés nem engedhető meg, akkor pl. szakaszvédelmet kell alkalmazni, ami az AB vezetékre késleltetés nélküli kioldást biztosít.

3. Harmadik fokozat (Z^{III})

Feltétel: lehetőség szerint érjen túl a C sínen negatív szórás esetén is, hogy V2 működésének elmaradása esetén tartalék védelemként hárítsa a BC vezeték zárlatát.

$$(1 - \varepsilon) Z_{be} \geq Z_{AB} + Z_{BC}$$

$$Z_{be} \geq \frac{Z_{AB} + Z_{BC}}{(1 - \varepsilon)}$$

A késleltetése egy időlépcsővel legyen nagyobb a V2 védelem t^{II} beállításától

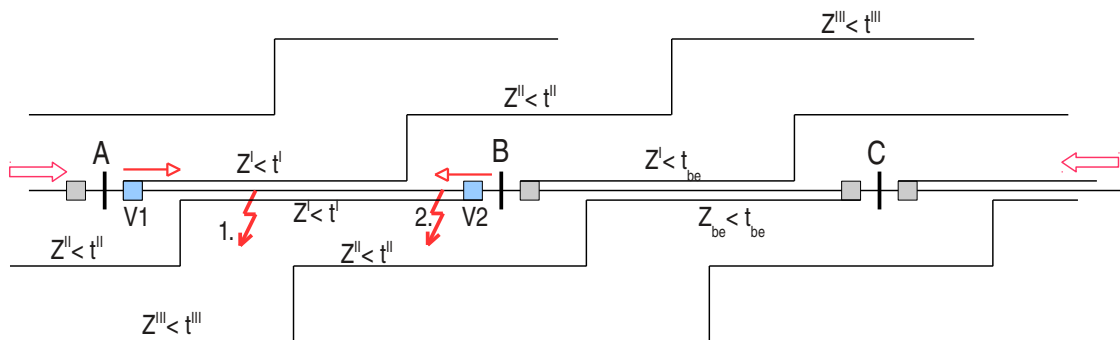
$$t_{be}'' = t_{V2}'' + \Delta t$$

Itt most nem vizsgálunk más, a hálózat sajátosságaitól függő feltételeket (pl: épfázisú indulás megakadályozása, terheléstől elhangolás, betáplálási torzítás, stb).

Távolsági védelem karakterisztikák hurkolt hálózaton

A távolsági védelmeket tipikusan hurkolt hálózaton használják. Ez esetben ellentétes irányú zárlati áramok is folynak, a C sínről az A sín felé. A helyes, szelektív működésnek az a feltétele, hogy a védelmek az energiairányra érzékenyek legyenek, azaz csak a vezeték felé folyó áramokra működjenek. Az alábbi ábra a vezetékek mindkét végén felszerelt védelmek együttes karakterisztikáját mutatja.

A jobbról - balra folyó áramokra működő védelmek időtengelyét „lefelé” szokás rajzolni, hogy az ellentétes irányú karakterisztikától (rajztechnikailag) elkülönüljön. A függőleges tengelyen felfelé és lefelé is az időt ábrázoljuk.



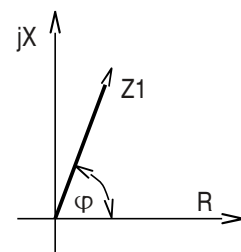
Megfigyelhető, hogy a vezeték közepén fellépő zárlatra (1.) mindkét védelem alapfokozatos kioldást ad. A vezetékhez végéhez (2.) közeli zárlatot a közeli tápont felől a védelem alapidős kioldással, a távolabbi védelem második fokozatos kioldással hátrítja. Ennek következménye, hogy az A sín felől kb. 0,1 s-ig, a B sín felől kb. 0,5s-ig folyik zárlati áram. (Ennek az eltérő kikapcsolási időpontnak az automatikus visszakapcsolás holtideje szempontjából van jelentősége.)

Impedanciarelé karakterisztikák

Az impedancia relé karakterisztikáját az impedancia síkon ábrázolhatjuk.

A távvezetékek impedanciája erősen induktív jellegű ($\varphi \approx 70-85^\circ$). Ha zárlat lép fel a vezeték végén, akkor éppen ezt az impedanciát kell érzékelnie a védelemnek.

Ha a zárlat a vezeték felénél lép fel, akkor az áram és a feszültség értékéből fele nagyságú - de a vezeték impedancia vektorának irányába mutató - impedanciát érzékel a védelem. Az ábra a Z_1 impedanciájú vezeték mutatja az impedancia síkon.

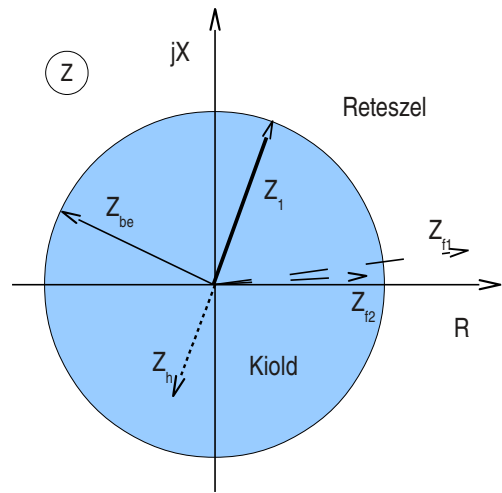


1. Kör karakterisztika

A legegyszerűbb impedanciacsökkenési védelem kör karakterisztikájú, azaz az áram irányától, fázisszögétől független a működése. (például: egyenirányítós impedancia relé)

Ha az érzékelt impedancia végpontja a Z_{be} sugarú körön belül van akkor a védelem kiold, ha a körön kívülre esik, akkor retesz (nem old ki).

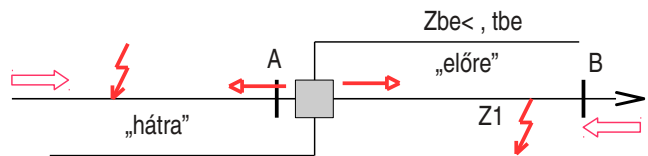
A kör karakterisztika miatt hurkolt hálózaton, körvezetéken a vezeték felől a gyűjtősín felé folyó áramirány esetén („hátrafelé”: Z_h) is tud működni. Ezt az esetet távolság-idő diagramon is ábráztuk.



A védelem háta mögötti vezetéken bekövetkezett, közeli zárlat esetén érzékelt impedanciát a Z_h vektorral ábráztuk. Ha ennek végpontja a körön belül van, a védelem kiold.

Az ábrán a fogyasztót helyettesítő impedancia vektorokat is feltüntettünk. A Z_{f1} kis teljesítmény felvételű, a Z_{f2} nagy teljesítmény felvételű fogyasztót jellemez.

A Z_{f1} végpontja a relé reteszelési tartományában van, a védelem nem old ki. A Z_{f2} a kioldási tartományba esik, ($Z_{f2} < Z_{be}$) emiatt a védelem kioldást ad.

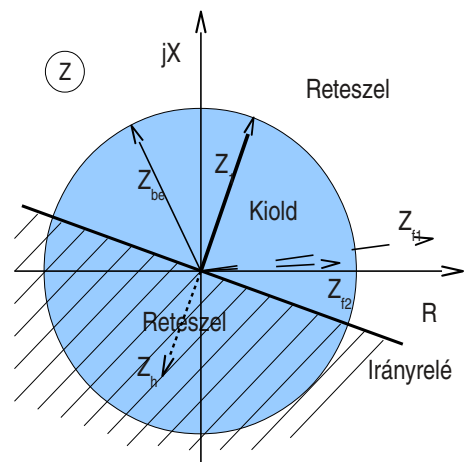


Az egyszerű kör karakterisztikájú védelem távolság-idő diagramját (Z_{be}, t_{be}) a mellékelt ábra mutatja.

2. Energiairányrelével kiegészített impedanciarelé

Ha azt akarjuk elérni, hogy az impedanciarelé csak a távvezetéki zárlatokra működjön, a háta mögötti gyűjtősín zárlatokra ne induljon, akkor energiairány relével kiegészítve (ÉS kapcsolattal) a kioldó karakterisztika az ábra szerintre módosítható.

Az irányrelé a feszültség és az áram irányát (szögét) hasonlítja össze („szögrelé”). Így fordított áramirány esetén ellentétes a nyomatéka, azaz retesz. Ezzel az eredő, kioldó karakterisztika a vonalkázás nélküli félkör lesz. (ÉS kapcsolat)



3. Kompaundált impedanciarelé

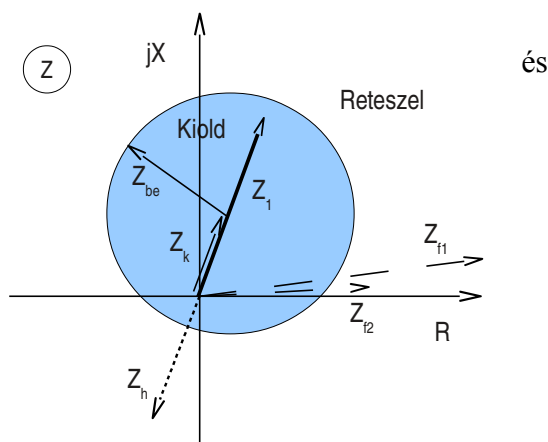
A relé kompaundálása azt jelenti, hogy a kör karakterisztika középpontját egy Z_k

impedanciával eltoljuk, célszerűen a védendő távvezeték irányába. Z_k fázisszöge egyezzen meg a távvezeték fázisszögével! Ezáltal kisebb átmérőjű kör is befogja (lefedi) a védendő távvezetékét.

A kompaundálás (Z_k) impedanciáját, és a Z_{be} értékét úgy kell megválasztani, hogy az origó is, a távvezeték Z_1 impedanciája is az így eltolt körön belülré essen. Ez biztosítja, hogy a védelem a saját felszerelési helyén fellépő zárlatot is érzékelje, ugyanakkor a vezeték végi zárlatot is.

Belátható, hogy az origó középpontú, kör karakterisztikához képest kisebb átmérőjű kör (Z_{be}) is elegendő.

A kisebb impedancia kör egyik előnye, hogy a fogyasztói impedancia lecsökkenésére ($Z_{r1} \rightarrow Z_{r2}$) kevésbé lesz érzékeny, mivel az R tengely irányában szűkebb lett a karakterisztika. Látható, hogy a Z_{r2} sem esik bele a kioldó tartományba. További előny, hogy hátrafelé rövidül a hatótávolsága, így a mögöttes hálózat (Z_h) zárlatai esetén – a mögöttes hálózat védelmeivel - az ütközés könnyebben kerülhető el.

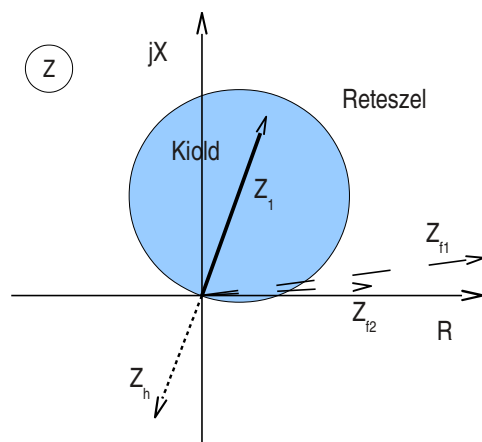


4. MHO karakterisztika

Speciális áramköri megoldású relé az impedanciarelé és az energiáirányrelé együttes karakterisztikáját úgy valósítja meg, hogy a kioldási tartományt határoló kör pontosan az origón megy át.

Az impedancia nagyságát a zárlati áram és feszültség összehasonlításával „méri meg”, az irányt pedig egy „polarizáló feszültséggel” összehasonlítva dönti el. (A nevét a speciális módon létrehozott karakterisztika miatt az ohm megfordításából kapta...)

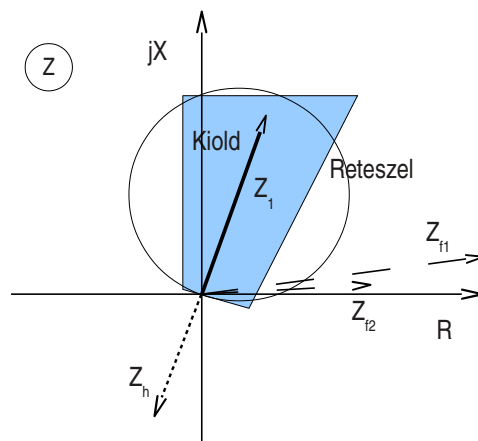
Látható, hogy a karakterisztika még szűkebb, így nagyobb biztonsággal kerülhető el a nagy fogyasztói teljesítmények miatti téves megszólalás. Az origón átmenő kör pedig azt eredményezi, hogy határozottan el tudja dönteni, hogy a zárlat az áramváló melyik oldalán lépett fel, azaz a védelem előtt a vezetéken, vagy mögötte a gyűjtősínen lépett-e fel.



5. Poligon karakterisztika

Digitális („numerikus”, „szoftveres”) védelmekkel egészen különleges, a távvezeteki zárlatokra illesztett karakterisztikák is megvalósíthatók, amik még tovább szűkítik a karakterisztikát.

Az ábrán látható karakterisztika felső, vízszintes szakasza azt jelzi, hogy a védelem a távvezeték X reaktanciáját méri, a vezeték fázisszögétől függetlenül. (Az impedanciának az x tengelyre vett vetületét méri!) Emiatt az ívellenállás nem befolyásolja a mérés pontosságát. Így valójában a fokozatok beállítási értékének (X_{be}) megadásakor a vezeték X_1 reaktanciáját kell figyelembe venni.



Távolsági védelem beállítási feltételei

A távolsági védelmek az előbbieken megismert karakterisztikájú elemekből épülnek fel. Amint a távolsági védelem blokkvázlatánál láttuk, a hálózaton fellépő hibát az ébresztőelem érzékeli, és indítja az időművet. Egyszerűbb esetekben (pl: közepesfeszültségű hálózaton) áramrelét alkalmaznak ébresztőelemként. Az időmű a fokozatok késleltetési idejének leteltekor átkapcsolja a mérőelemet a fokozat határának megfelelő értékre.

A mérőelemnek az a feladata, hogy eldöntse, hogy a zárlat az impedancia fokozaton belül, vagy azon kívül van-e. Ettől függően indítja a kioldást, vagy reteszelt.

A távolsági védelem „szokásos” beállításnak megfelelő karakterisztikája.

Az első ábra a fokozatok lépcsős időkarakterisztikáját mutatja, a másik ábra az impedancia síkon mutatja az impedancia fokozatokat.

A jelölések, a fokozatok funkciói gyártónként, védelem generációtól függően különbözők. A hálózat igényeinek megfelelően legtöbbször mód van arra is, hogy belső átkötésekkel, a védelem átprogramozásával akár az egyes fokozatok irányítását, funkcióját is megváltoztathatjuk, ezért csak egy általános modellt tudunk megadni, az általában használt fokozat beállításokkal.

Ébresztőelem ($Z^{ébr}$):

Ébresztőelemként – főként a nagyfeszültségű hálózatokon - kompaundált impedancia-csökkenési relét alkalmazunk. Emiatt a védett távvezeték irányába „előre” nagyobb távolságra lát el, mint a háta mögött fellépő zárlatok esetén. Az idődiagramon látható, hogy az ébresztőelem „előre” nagyobb távolságig lát, mint hátra, mivel a karakterisztikáját jelentő kör el van tolvá a távvezeték irányába. A vezeték impedanciája Z_1 .

Az 1FN és a 2F, 3F megkülönböztetésére zérus sorrendű (I_0) relét is alkalmazunk.

Az ébresztőelem indítja az időművet, ami - az eltelt időnek megfelelően - a mérőelem fokozatok beállítási értékeit választja ki.

Ha a mérőelem valamilyen oknál fogva egyik fokozattal sem hártja a zárlatot, és az ébresztés nem szűnik meg, akkor az ébresztőelemek a megszakítókat végidős kioldással ($t^{ébr}$) kapcsolják ki. (Ez csak igen ritkán fordul elő, de akkor komoly oka van...)

Az ébresztőelem beállítási értékeit az impedancia (távolság) – idő diagramon a szaggatott vonal mutatja.

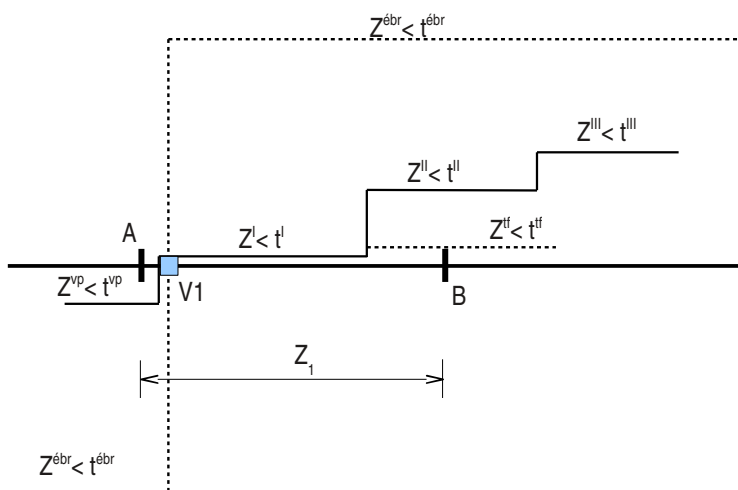
Mérőelem

A rajzon látható lépcsős karakterisztika szerint a védelem három előrenéző, és egy visszapillantó fokozatot

Az előrenéző fokozatok – értelemszerűen – a védendő távvezeték felé folyó áramok esetén működnek.

A visszapillantó fokozatnál (Z^{vp}) a védelem a mérőelem irányítását megfordítja, így a háta mögött lévő gyűjtősín záratait be tudja mérni, és a visszapillantó fokozat késleltetésének leteltekor kikapcsolja a távvezetési megszakítót. (Gyűjtősín zárlat.)

Ezt a megoldást kisebb állomásokban használják, ahol nem alkalmaznak önálló gyűjtősínvédelmet. (pl. egy gyűjtősínes, két távvezetékes állomásban)



Ez egy kissé felborítja az előrenéző fokozatok „klasszikus” időlépcsőzését, ugyanis a gyűjtősín zárlat minél gyorsabb hárítása érdekében a visszapillantó fokozat késleltetése célszerűen: $t^{vp} = 0,4s$.

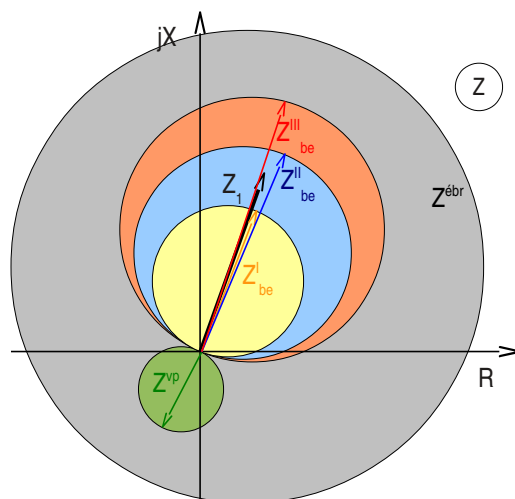
Emiatt az előrenéző, második fokozat (Z^{II}) késleltetése már csak $t^{II} = 0,8s$ lehet. Ebből következik, hogy a harmadik fokozat (Z^{III}) késleltetése így $t^{III} = 1,2s$ -ra adódik.

A távvezeték végi zárlatnak így hosszabb hárítási ideje. Mivel visszakapcsoló automatikát használunk a távvezetéseken, ezért *túlfedést* alkalmazunk, hogy maradó zárlat esetén halmozódó zárlati igénybevételt (összes zárlati időtartamot) csökkentsük.

A túlfedés azt jelenti, hogy a vezeték végi zárlat első fellépésekor a védelem nem várja ki a második fokozat késleltetését, hanem túlfedést („előgyorsítást”) alkalmazva közel önidővel adja a kioldást a saját vezeték teljes hosszára. Ezt követi az automatikus visszakapcsolás.

Ha nem múlt el a zárlat, akkor a másodsorra is jelentkező zárlatot a védelem már a szelektív, második fokozatos késleltetéssel hárítja.

A túlfedő fokozat impedanciáját (Z^{II}) a második előrenéző fokozat impedanciájával azonos,



vagy közel egyező értékre állítjuk be. Ehhez a fokozathoz is (általában) hozzárendelhető egy rövid késleltetés. A gyakorlatban $t^f = 0,1 \dots 0,15s$ -ra van beállítva, hogy a BC vezeték védelmének visszaesését megvárja, és csak utána adjon kioldást.

Az időkarakterisztikán szaggatott vonallal jelöltük a túlfedő fokozatot. Az impedancia síkon a túlfedő fokozat körét külön nem ábrázoltuk, mivel megegyezik a Z^I fokozat impedancia körével.

Ha gyűjtősínvédelem van az alállomásokban, akkor a visszapillantó fokozat (gyűjtősín zárlat esetén) tartalékvédelmi feladatot lát el. Ebben az esetben a visszapillantó fokozat késleltetését $t^{vp} = 1,2s$ -ra választva az előrenéző fokozatok késleltetése a klasszikus időlépcsőzés szerinti $0,4s$ lehet.

Az előbbiek szerinti impedancia értékeket az impedancia síkon is ábrázoltuk.

A Z_1 impedanciavektor az A-B vezeték pozitív sorrendű impedanciáját mutatja, fázisszög helyesen.

Az ébresztőelem (kompaundált impedanciacsökkenési relé) karakterisztikáját a szürke színű kör mutatja. A mérőelem (MHO karakterisztikájú) fokozatait a színes körök mutatják.

A Z_{be} beállítási értékek – ilyen eltolt karakterisztikák esetén – a távvezeték irányában mérve a kör és az origó közötti távolságot jelentik!

A villamos energia rendszerben ma – jellemzően – digitális védelmeket alkalmaznak, de még megtalálhatók korábbi védelem generációk is, úgymint az analóg elektronikus, és a „klasszikus” elektromechanikus védelmek is. Ennek következménye, hogy sokféle karakterisztikával, illetve belső felépítéssel találkozhatunk. Az előbbi ábra a - leírtak szerint - értelemszerűen ábrázolható poligon karakterisztikájú mérőelemre is.

A karakterisztikák alakulása (helyzete) az impedancia síkon a zárlat fajtától is függ. A gyártók, fejlesztők arra törekszenek, hogy a távvezetéki impedancia irányában a mérés a zárlatfajtától függetlenül a lehető legpontosabb legyen. Mint láttuk az impedancia érzékelési egyenletek vizsgálatakor, ez megvalósítható a védelemben alkalmazott átkapcsolásokkal. Ez lehet tényleges, az áramkörökben kontaktusokkal történő átkapcsolás, vagy a mérőelem egyenletei közötti - szoftveres – választás. A különböző egyenletek, zárlatfajták az impedancia síkon eltérő karakterisztikákat jelentenek.

Nem foglalkozunk az impedanciarelék áramköri megoldásaival, mérési egyenleteik mélyebb, matematikai vizsgálatával. Célunk nem a relék fejlesztése, hanem az adott karakterisztikájú védelmek szelektív beállítása, és a védelmi rendszerek megismerése.

Távolsági védelem érzékelését torzító hatások

A távolsági védelem érzékelését az alábbi hatások torzítják:

- „T” leágazás torzító hatása
- Hibahelyi (ív-) ellenállás torzítása
- Kettős vezetéki torzítás

„T” leágazás torzítása

a.) Ha a „B” sín felől nincs rátáplálás a „C” sinnél lévő zárlatra ($I_B=0$), akkor a védelem által érzékelt impedancia az A-C vezeték impedanciája, azaz $Z_\epsilon = Z_{AC}$. Tehát az érzékelés pontos.

b.) Az A és B sín felől van zárlati rátáplálás. A zárlat a „C” sinnél lép fel.

Az „A” sín felőli védelem az A pontban mérhető U_A zárlati feszültséget és az A-T vezeték szakasz I_A áramát kapja. Ebből az érzékelt impedancia:

$$Z_\epsilon = \frac{U_A}{I_A}$$

A „C” sinnél, hibahelyen $U_A = 0$.

A „T” elágazó pontnál:

$$U_T = (I_A + I_B) * Z_{TC}$$

Az A-T vezeték szakasz feszültségesése:

$$U_{AT} = I_A * Z_{AT}$$

Az „A” sinnél mérhető feszültség:

$$U_A = (U_{AT} + U_{TC})$$

Az érzékelt impedancia:

$$Z_\epsilon = \frac{U_A}{I_A} = \frac{U_{AT} + U_{TC}}{I_A} = \frac{I_A * Z_{AT} + (I_A + I_B) * Z_{TC}}{I_A} = \frac{I_A * (Z_{AT} + Z_{TC}) + I_B * Z_{TC}}{I_A}$$

$$Z_\epsilon = \frac{I_A * Z_{AC}}{I_A} + \frac{I_B * Z_{TC}}{I_A}$$

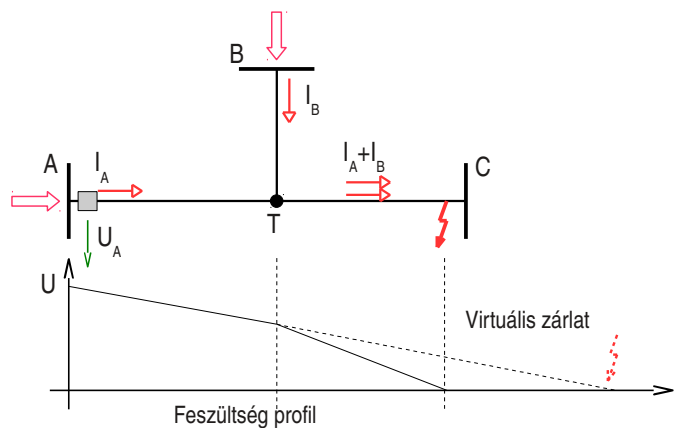
A „T” leágazás torzító hatása a betáplált (I_B) áram nagyságával arányos:

$$Z_\epsilon = Z_{AC} + \xi * Z_{TC} \quad \xi = \frac{I_B}{I_A}$$

Tehát az I_B áram miatt távolabbinak érzékeli a hibahelyet, azaz „megnyúlik a távvezeték”.

Ha a „B” sínre nincs rátáplálás, akkor $I_B = 0$, ezzel $\xi = 0$, így $Z_\epsilon = Z_{AC}$, akkor nincs torzítás.

A fentiek szerint a „T” vezeték alakzat mindhárom végénél ellenőrizni kell, hogy van-e



torzítás, és milyen mértékű. A mögöttes hálózattól és a zárlatfajától függően eltérő nagyságú torzítást kaphatunk eredményül! Megjegyzendő, hogy ez a torzítás pozitív, negatív és zérus sorrendben is jelentkeznek.

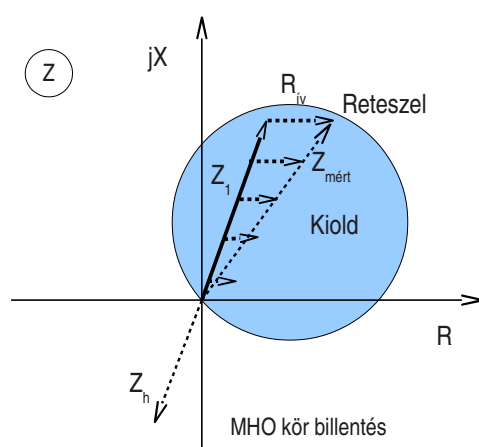
Ívellenállás torzítása

A zárlat helyének meghatározását pontatlanná teszi a hibahelyi ellenállás, mivel hozzáadódik a vezeték impedanciájához. Az ív hatásos – ohmos – ellenállásként viselkedik, az impedanciasíkon a valós tengely irányába mutat.

Nagy ív áram esetén az ív ellenállása kisebb, kis áram esetén nagyobb, ezért a gyűjtősíntól távolabbi zárlat esetén nagyobb lesz az ívellenállás. Az ívellenállást a szaggatott vonallal rajzolt vektorok jelzik.

Az ábra azt mutatja, hogy a védelem helyétől (a gyűjtősíntől) távolodva a vezeték impedanciája és az ív ellenállása is nő. (Távolabbi zárlat → kisebb áram → nagyobb ívellenállás.) Ahhoz, hogy a vezetékvégi zárlatot ívellenállás esetén is bemérje a védelem, az eredő impedanciának ($Z_{mért} = Z_1 + R_{ív}$) is a kioldó karakterisztikán belül kell lennie.

Ezt például a MHO kör billentésével lehet elérni. A billentés azt jelenti, hogy nem a tényleges fázisszöveget állítjuk be, hanem attól „ohmosabbat”. Az ábrán látható, hogy a kör középpontja nem a vezeték (Z_1) irányába van eltolva.

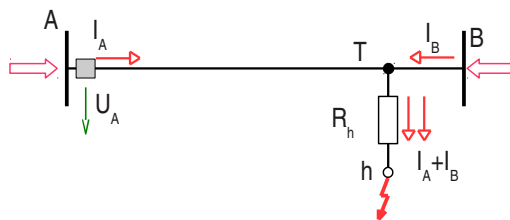


A korábban megismert poligon karakterisztika – többek között – az ívellenállással szemben is érzéketlen, az ívellenállás nem befolyásolja a mérésének a pontosságát, az X érzékelése miatt.

Kétoldalról táplált vezeték zárlata esetén a hibahelyi ellenálláson mindkét irányból folyó áram áthalad, így a védelem a valóságostól nagyobbak érzékeli a hibahelyi ellenállás értékét.

Az „A” sínnél felszerelt védelem által érzékelt impedanciát a „T” vezeték alakzathoz hasonlóan számíthatjuk ki.

Ha a hibahelyi ellenállást villamos ív okozza, akkor a nemlineáris jelleg miatt az ívellenállás nem arányosan nő a zárlati áram nagyságával, hanem kisebb mértékben, tehát az okozott hiba is kisebb lesz. Ez ellen hat az a tapasztalati tény, hogy hosszabb zárlati idő esetén az ívnek van ideje megnyúlni, emiatt az ívellenállás is növekszik...



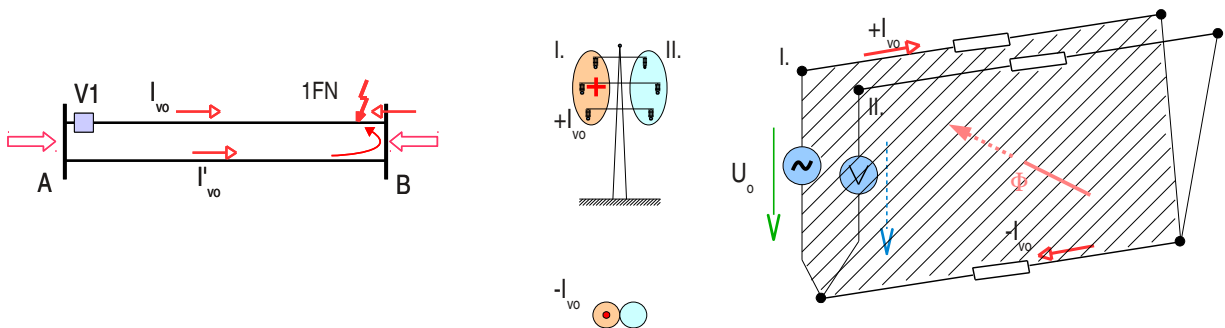
A távolsági védelemben a mérőelem karakterisztikájának helyes megválasztása esetén a védelem érzéketlen lehet az ívellenállásra. (pl: poligon karakterisztika, reaktancia érzékelés) Ez esetben nagymértékben egyszerűsödik a védelem beállítás-számítása.

Kétrendszerű vezeték torzító hatása

A kétrendszerű távvezetéken a két rendszer fázisvezetői között villamos és mágneses csatolás jön létre. Az oszlopon a két rendszer szokásos elhelyezkedését az ábra mutatja.

A földelt csillagpontú hálózatokon a zárlati áramok – és a védelmek működése - szempontjából a *zérussorrendben meglévő kölcsönös impedanciának* van jelentősége. Ennek oka a zérussorrendű áramhurok mágneses csatolása illetve a közös földvisszavezetés (Z_F).

Párhuzamosan üzemelő, kétrendszerű távvezeték vizsgálunk.



A földzárlati áramok ($3I_o$) a fázisvezető-föld hurokban folynak. Mint ismeretes, a földzárlati áram a távvezeték alatt, 1-2km mélységben folyik vissza, így az áramhurok által közrefogott terület nagy. Az előbbi méretekhez képest a két rendszer közötti távolság nagyságrendekkel kisebb, emiatt a két rendszer között szoros mágneses csatolás jön létre. Ennek következménye, hogy az egyik rendszerben folyó áramok jelentős hatást gyakorolnak a másik rendszerben folyó áramokra (feszültségekre).

A számításhoz használható modell a vezetékek önimpedanciáját és a kölcsönös impedanciáját tartalmazza.

A modell egy kétrendszerű távvezeték A és B gyűjtősín közötti, zérus sorrendű helyettesítésére szolgál. A modell a végpontokra vonatkozóan ad helyes eredményt. Tehát az A és B pont közötti eredő adja a *két sín közötti zérus sorrendű helyettesítő impedanciát*. A helyettesítő modell az üzemállapotnak megfelelően alkalmazandó.

A magyarázatokhoz 1FN zárlatot feltételezünk az egyik vezeték végén. A tényleges földzárlati viszonyok számításához a pozitív és negatív sorrendű modell is kell. A pozitív és negatív sorrendű hálózatban elhanyagolható a két rendszer közötti csatolás, emiatt ezekre a szokásos helyettesítő kapcsolás alkalmazandó, ez megegyezik az egyrendszerű vezeték pozitív és negatív sorrendű modelljével.

A továbbiakban ezért csak a zérus sorrendű hálózat helyettesítő modelljének kapcsolásával foglalkozunk.

1. Egy rendszer üzemel:



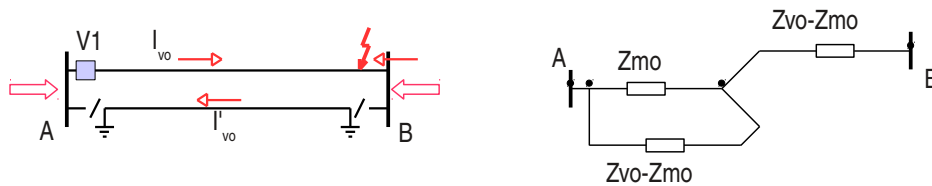
Ekkor a helyettesítő modellen láthatóan, a fizikai képnek megfelelően, az „A” és „B” között a Z_{vo} -at érzékeli a V1 védelem. (Z_{vo} a vezeték önimpedanciája, Z_{mo} a kölcsönös impedancia)

2. Két rendszer üzemel



A két vezetéken azonos irányban folynak az áramok. Az I'_{vo} olyan feszültséget indukál a V1 által védett vezetékbe, hogy a védelemnél megnő a feszültség, emiatt az távolabbinak érzékeli a hiba helyét ($Z_e=U/I$). Látszólag meggyúlik a vezeték! Tehát a védelem hibásan, nem működik a vezeték végi zárlatra.

3. Karbantartás



A mindkét végén földelt vezetékben az I_{vo} -lal ellentétes irányú I'_{vo} áram folyik. Ez csökkenti a zárlatos rendszernek a zérus sorrendű impedanciáját. Ennek következménye, hogy a védelem közelebbinek érzékeli a zárlatot, azaz biztosan beméri a vezeték végi 1FN zárlatot.

3. Kaszkád működés

Ha a zárlat a B sínhez közel lép fel, akkor a vezeték B oldali végén a védelem alapfokozattal kikapcsolja a hibás fázis megszakítóját. (Ugyanakkor a V1 védelem csak II. fokozattal, késleltetve tudná kikapcsolni az A sín felől a zárlatot.)



Ekkor áll elő a második rajzon látható üzemi állapot. Mivel az 1f ki után megfordul a másik rendszeren az I'_{vo} iránya, ezért a V1, a rövidülés miatt – jó eséllyel - alapfokozattal fogja bemérni a zárlatot, és kikapcsolja az A oldali megszakítót, még a második fokozat

késleltetésének letelte előtt. Ez itt előnyös, mivel a zárlathárítás ideje lerövidül.

Ha a védelem működése egy másiknak a működésétől függ, akkor ezt *kaszkád működésnek* nevezzük. Általában ez kerülendő, nem vesszük figyelembe a védelmek beállításszámításánál.

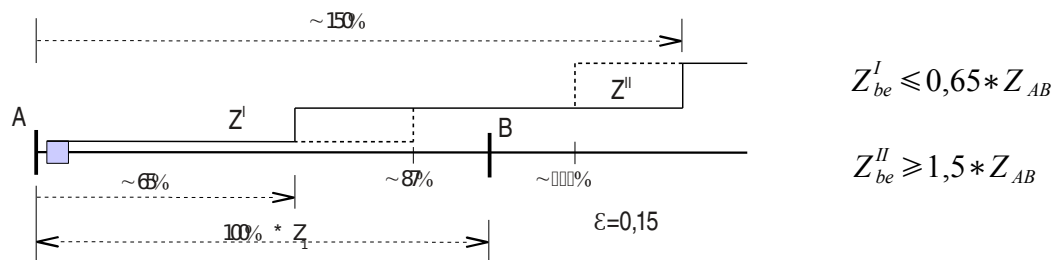
Az előbbi, kétrendszerű távvezetéken létrejött kaszkád működés feltételei szimultán hibaként számíthatók a szimmetrikus összetevők körében. (1FN + 1f szakadás)

4. Beállítási értékek kétrendszerű távvezetéken:

A szelektivitás érdekében az A-B kétrendszerű távvezetéken a vezeték látszólagos „rövidülése” miatt az alapfokozat beállítását rövidíteni kell. A második fokozat beállítását a vezeték látszólagos „megnyúlása” miatt növelni kell.

Ha a zárlatszámító program tartalmazza és kezeli a két rendszer közötti kölcsönös impedanciát, akkor a zárlatszámítási eredmények a tényleges rövidült, illetve megnyúlt érzékeléshez tartozó értékeket adják eredményül.

A gyakorlatban az alábbi beállítási értékek várhatók a párhuzamos, kétrendszerű vezetéseken:



Alapvédelmi szakaszon a II. fokozatos kioldás késleltetésének lerövidítése

A távvezeték szelektív alapvédelmét általában csak az alapfokozat, és a második előrenéző (késleltetett-) fokozat együttesen tudja ellátni. A szelektivitás mellett a gyorsaság is fontos követelmény a zárlatvédelmi rendszer kialakításakor. (Például nagy zárlati teljesítmények esetén, generátorok stabilitásának biztosítása, rendszer összeköttetések megőrzése érdekében.) A távolsági védelmeknél a kioldási idők csökkentésére a „túlfedés”-t használják széles körben.

A szelektivitást - visszakapcsoló automatika alkalmazása esetén - a végleges kioldásnál feltétlenül megköveteljük, az automatikus visszakapcsolások (GVA, LVA, EVA) előtt megengedjük a járulékos, nemszelektív kioldást.

A vezetékek végein lévő védelmek közötti jelátvitel felhasználásával, kiegészítő logikai megoldásokkal a szelektivitás akár minden kioldásra megvalósítható.

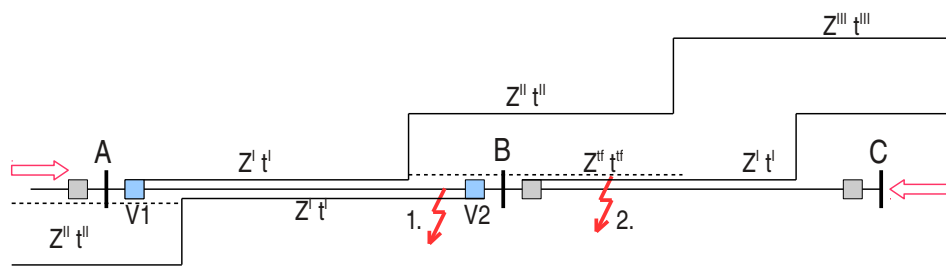
Túlfedés:

A távolsági védelem karakterisztikájának bemutatásakor láttuk, hogy egy további impedancia fokozat („túlfedő fokozat”) beállítható oly módon, hogy a távvezeték végi zárlatokat minden körülmények között érzékelje, és a szelektív karakterisztika szerint beállított késleltetésű

második fokozattól rövidebb idővel adjon kioldást. A rajzon szaggatott vonallal jelöltük.

A túlfedő fokozat működését visszkapcsoló automatika vezérli: az első kioldás esetén a védelem túlfedő fokozat be van kapcsolva, és ha bemérte a hibát, akkor kioldást ad.

Az automatikus visszkapcsolás után az automatika tiltja a túlfedő fokozatot, akkor a védelem második fokozata fogja hátrítani a zárlatot, a szelektív időlépcsőnek megfelelő késleltetéssel. Többlépcsős visszkapcsolás esetén a nem szelektív, illetve szelektív kioldások sorrendje, száma programozható. (A túláramvédelmeknél „előgyorsítás”, illetve „utógyorsítás” rövidíti a



Túlfedés fajták:

- feltételes túlfedés (csak 1FN-nél van túlfedés)
- feltétel nélküli túlfedés (1FN, 2F, 3F -nél is van túlfedés)
- permanens túlfedés (visszkapcsolástól függetlenül mindig van túlfedés)

Feltételes túlfedés:

A túlfedő fokozat csak 1FN esetén működik. Ennek akkor van létjogosultsága, ha a hálózaton lehetséges az 1f kioldás)

Feltétel nélküli túlfedés:

A túlfedő fokozat 1FN, illetve többfázisú (2F, 3F) zárlat esetén egyaránt működhet.

Permanens túlfedés:

Az automatikus visszkapcsolás(-ok) alkalmazásától függetlenül minden kioldás túlfedésés(!) Természetesen a túlfedő fokozat hatótávolságán kívüli további (harmadik-, visszapillantó-, stb) fokozatok a beállított szelektív karakterisztika szerint működnek. A permanens túlfedést általában a vezeték két végén lévő védelmek közötti összeköttetés esetén alkalmazzák.

Túlfedés késleltetése:

Védelem kialakításától függően lehet késleltetés nélküli, azaz az alapvédelemmel megegyező, önidős a kioldása. Ekkor a következő vezeték elején fellépő zárlatra a következő védelem alapfokozatával egy időben, járulékosan kikapcsol.

Amennyiben késleltethető, akkor kb. $t^{tf} = 0,15s$ a szokásos beállítása. Ennek az az előnye, hogy kivárja a másik vezeték alapfokozatának zárlathárítási idejét ($t_{ki} < 0,1s$), és ezután még kb 50ms a rendelkezésére áll, hogy a védelem alapállapotba kerüljön, azaz ne adjon kioldást. Ezzel a módszerrel az esetek többségében elkerülhetők a járulékos kioldások.

Kioldás gyorsítása összeköttetés esetén:

Ha a védett vezeték két végén lévő védelmek között logikai jel átvitele lehetséges, akkor az alábbi megoldásokat alkalmazhatjuk – a szelektivitás mellett – a védelmek kioldásának gyorsítására:

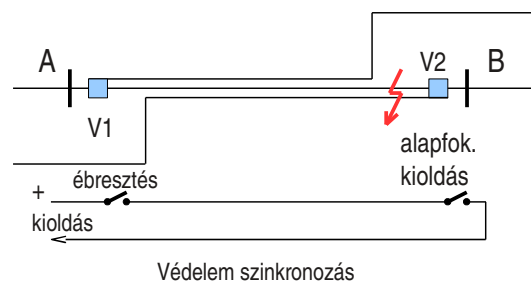
- védelem szinkronozás
- védelem reteszelés
- kioldás engedélyezés
- echo kapcsolás

Megjegyzés: a tényleges áramköri megoldások ettől bonyolultabbak, itt csak az elvet mutatjuk be.

Védelem szinkronozás:

Ha a távolsági védelem alapfokozata szólal meg, akkor saját vezetéken lépett fel a zárlat. Ebben az esetben a másik védelemnek felesleges megvárnia a második fokozat mérésének az eredményét, hamarabb is kikapcsolhat.

A védelem az alapvédelmi kioldást átküldi a másik oldalra, és ha ott ébredt a védelem, akkor a megszakítót késleltetés nélkül ki lehet kapcsolni. Az ébredés feltétel biztonsági okokból szükséges.

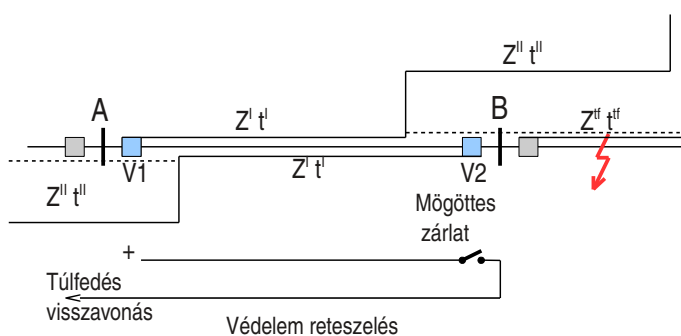
**Védelem reteszelés:**

Permanens túlfedés van beállítva mindkét végpont védelmében, így minden kioldás késleltetés nélküli a saját vezeték teljes hosszára.

A túlfedés miatt a következő vezeték elején bekövetkező zárlat esetén nemszelektív kioldást adnának a védelmek.

Ezt akadályozza meg a reteszelés: *mögöttes zárlat (fordított energiáirány) esetén a védelem reteszelő jelet küld át a másik védelemnek, hogy vonja vissza „reteszlje” a túlfedést.* Ekkor a védelem szelektív karakterisztika szerint fog működni. A túlfedés kioldását a túloldali védelem működési idejéhez képest kb. 50 ms-mal késleltetni kell, hogy a reteszelő jelet megvárja.

A gyakorlatban a reteszelést – a rajzzal ellentétben - nyugalmi áramú rendszerrel (nyitó érintkezővel) valósítják meg, hogy az összeköttetés hibája esetén vissza legyen vonva a túlfedés, ezzel szelektív karakterisztika szerint működjenek a védelmek.



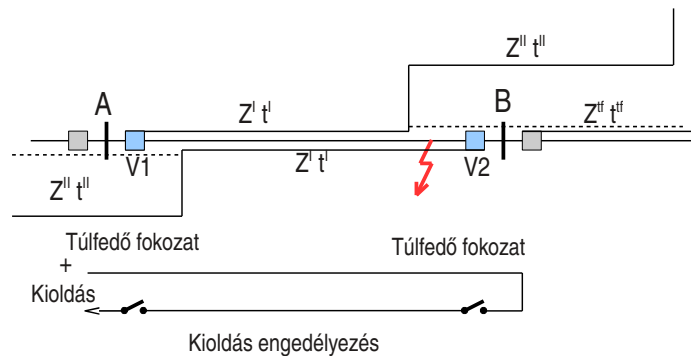
Kioldás engedélyezés:

A védelem reteszeléssel ellentétes logika szerint működik.

Mindkét oldali védelem permanens túlfedésre van programozva, azonban a túlfedő fokozattal *önállóan* egyik védelem sem tud kioldást adni, csak ha a másik oldali védelem is túlfedéssel mérte be a zárlatot. Ennek érdekében a *védelmek* az önálló

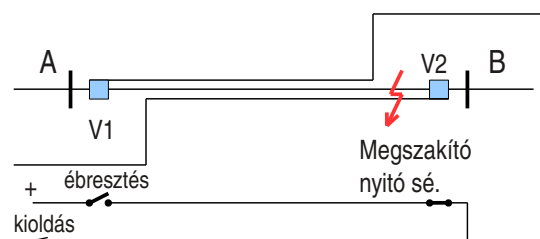
kioldás helyett *átküldik a túloldalra, hogy a túlfedő fokozatuk megszólalt* („engedélyező jel”). A túlfedéses kioldás akkor történhet meg, ha a túloldali védelemtől megérkezett az engedélyező jel. Azaz csak *mindkét oldali túlfedés egyidejű megszólalásakor adnak kioldást a védelmek* túlfedő fokozatai.

Ha nem érkezik be a túloldalról (túlfedéses mérés miatt) engedélyező jel, akkor a védelem szelektív karakterisztika szerint működik.

**Echo kapcsolás:**

Sugaras, vagy megszakító kikapcsolt állapota miatt *sugarassá vált vezetéken* a vezeték teljes hosszára késleltetés nélküli kioldás biztosítható.

Ha a tulsó vég (B oldali vég) megszakítója kikapcsolt állapotban van, akkor a vezeték (V1) védelmének nem kell kivárnia a második fokozat késleltetését, mert ha ébredt a védelem, akkor az csak saját vezetéki zárlatra történhetett. Tehát a védelem ébresztését a túloldali megszakító segédérintkezőjével visszairányítva a megszakító azonnal kikapcsolható.

**Tartalékvédelmek a távolsági védelmek mellett:**

A távvezetékek tartalékvédelmeként függő késleltetésű, Autonom Zérussorrendű Tartalékvédelmet (AZT0) használnak.

Források, ajánlott irodalom:

Póka Gyula: Villamos energia rendszer védelme és automatikája

Póka Gyula: Védelmek tervezése

Bendes-Boromissza-Kovács-Póka: Villamos energiarendszerek védelme és automatikája

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, ...)