

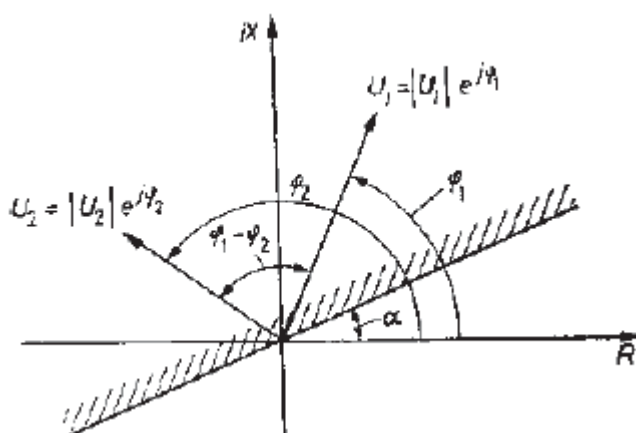
VEL III.16 Impedancia-mérés szög- és mérlegelven. A távolsági védelem elve, felépítése egymérőelemes esetben. Különböző zárlatok impedanciámérése. Távolsági védelmek fokozatszámítása.

Impedanciámérés szögelv segítségével

Fázisszögrelének nevezzük azt a kapcsolást, amely két váltakozó áramú villamos mennyiség, U_1 és U_2 egymáshoz viszonyított szöghelyzetétől teszi függővé működését. A relé megszólalási egyenlete:

$$\alpha \geq \arccos \frac{U_1}{U_2} \geq (\alpha + 180^\circ),$$

ahol α a relére jellemző belső szög. A fázisszögrelé karakterisztikája az alábbi ábrán figyelhető meg.



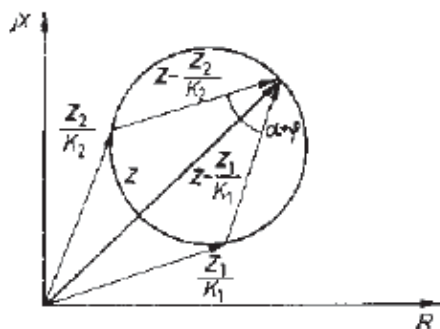
Megszólalás akkor következik be, amikor U_2 α -nál nagyobb szöggel megelőzi U_1 vektort. Ha egy ilyen szögrelé két bemenetére a védendő objektum áramának és feszültségének megfelelő kombinációját kapcsolják, akkor tetszőleges kör vagy egyenes karakterisztika érhető el. Általánosan: $U_1 = K_1 U - Z_1 I$ és $U_2 = K_2 U - Z_2 I$, ahol U és I a védendő berendezés feszültsége és árama; K_1 , K_2 , Z_1 , Z_2 pedig alkalmasan megválasztott konstans komplex számok.

A $Z = \frac{U}{I}$ helyek az impedanciasíkon, amelyekre a szögrelé működik, a következő módon határozhatók meg. A

működés határesetek, azaz a karakterisztika vonala, amikor az $\frac{U_1}{U_2}$ vektor szöge éppen megegyezik a fázisszögrelé

α szögével: $\frac{U_1}{U_2} = \frac{K_1 U - Z_1 I}{K_2 U - Z_2 I} = S e^{j\alpha}$, ahol S a hányados komplex vektor abszolút értéke, tetszőleges szám.

Rendezve és figyelembe véve, hogy $Z = U/I$, akkor $\frac{Z - \frac{Z_1}{K_1}}{Z - \frac{Z_2}{K_2}} = \frac{K_2}{K_1} S e^{j\alpha} = \left| \frac{K_2}{K_1} \right| S e^{j(\alpha + \varphi)}$, ahol $\varphi = \arccos \frac{K_2}{K_1}$.



Az ábrán látható, hogy azoknak a Z vektoroknak a végpontjai, amelyek azt az egyenletet kielégítik, egy körön helyezkednek el, amely átmegy a $\frac{Z_1}{K_1}$ és a $\frac{Z_2}{K_2}$ vektor (mérési pontok) csúcspontján és a kerületi szöge $(\alpha + \varphi)$. A relé megszólal a körön belül levő impedanciák esetén és retesz a körön kívüliekre.

Impedanciamérés mérlegelv segítségével

A mérlegrelék két villamos mennyiség abszolút értékét hasonlítják össze és a működésük feltétele az, hogy

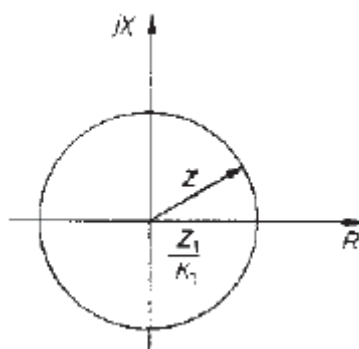
$$|U_1| \geq k|U_2|, \text{ ahol } k \text{ valós állandó. A relé egyenlete a következőképpen alakul: } \frac{|U_1|}{|U_2|} = \frac{|K_1 U - Z_1 I|}{|K_2 U - Z_2 I|} = k,$$

$$\text{Rendezve és figyelembe véve, hogy } U/I=Z; \frac{\left| Z - \frac{Z_1}{K_1} \right|}{\left| Z - \frac{Z_2}{K_2} \right|} = k \left| \frac{K_2}{K_1} \right|$$

Az alábbi ábra bemutatja, hogy a karakterisztika kör vagy egyenes, mert a kör azon pontok mértani helye, amelyek két adott ponttól való távolságának aránya állandó. A két pont a $\frac{Z_1}{K_1}$ és a $\frac{Z_2}{K_2}$ vektorok végpontjai, az

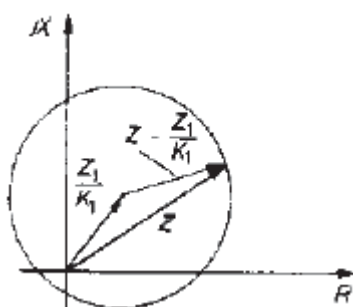
arány pedig a $k \left| \frac{K_2}{K_1} \right|$, amely egyenesnél egységnyi.

A mérlegrelével, hasonlóan a fázisszögreléhez, előállíthatók az ismert relékarakterisztikák, így az impedancirelé karakterisztikája is, amely az alábbi ábrán látható. A megvalósítása $Z_1=0$ és $K_2=0$ választásával a legegyszerűbb.



$$\frac{|K_1 U|}{|-Z_2 I|} = k, \text{ továbbá } |Z| = \left| \frac{Z_2}{K_1} \right| k.$$

Az impedanciakör középpontjának eltolása a kezdőpontból a $Z \neq 0$ választásával oldható meg, az alábbi ábrán figyelhető meg.



$$\text{Egyenlete pedig a következő. } \frac{|K_1 U_1 - Z_1 I|}{|-Z_2 I|} = k \quad \left| Z - \frac{Z_1}{K_1} \right| = \left| \frac{Z_2}{K_1} \right| k$$

A távolsági védelem felépítése

A távolsági védelmeket szabadvezetési távvezetéknel alkalmazzák. A védelem a védendő leágazásból kapja a táplálást. (vagy akkumulátorról), és a mérendő jeleket is (áram, feszültség). Az oltalmazandó vonalról mérőváltókkal (áram, feszültség) veszi le a méréshez szükséges adatokat a védelem. A galvanikus leválasztás után a védelmek megfelelő árammenetet hozunk létre, amit mára a védelem közvetlenül fel tud dolgozni.

A távolsági védelem a mért feszültségből és áramból impedanciát ($Z=U/I.=z*1$) „számol”, és ha ez a védelemben leállított értéknél kisebb, akkor a védelem megszólal, és kioldási parancsot ad a megszakítóknak.

A távolsági védelmeket egymáshoz, illetve más védelmekhez kell szinkronizálni alállomásokon belül, ha hurkolt hálózati topológiával állunk szemben.. A védelmek egymáshoz való szinkronizálása a védelem szelektivitása érdekében fontos.

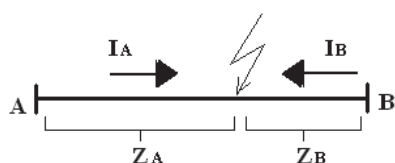
Hurkolt hálózatok alapvédelmére fejlesztették ki az impedancia-mérési elven működő, irányított, többlépcsős védelmet, a távolsági védelmet. A védelem a következő fő részekből áll: ébresztőelemek (indítóelemek); kiválasztó-rendszer (egy mérőelemes védelemnél); impedancia-mérőelem; teljesítmény-irányelem; többlépcsős időrelé; parancsadó elem. Az ébresztőelem feladata az, hogy megkülönböztesse a normális üzemállapotot a zárlatostól és ébressze, élesítse a védelem többi részét, indítsa a többlépcsős időrelét, amely átkapcsolja a mérőelem-rendszert a magasabb fokozatokra, kiválasztja a zárlatos fázist, és megszabja a védelem távoli tartalékolásának hatótávolságát.

A távolsági védelem szinkronizálása azt jelenti, hogy a késleltetést a szelektivitás megtartása mellett a vezeték két végén lévő távolsági védelem működésének információátviteli úton történő összekapcsolásával lehet kiküszöbölni, mindkét védelem saját kioldásának tényét közli a másikkal.

Impedanciamérés egyfázisú zárlati áramhurokban

A távolsági védelem mérőeleme egyfázisú impedanciacsökkenési, esetleg admittancia- vagy reaktanciarelé. Amely érintkezőjét akkor zárja, ha a feszültség és áram hányadosa kisebb, mint a relé megszólalási értéke. A lépcsős jelleggörbe valamennyi fokozatát egyazon impedanciarelé méri.

A mérőelem mindig egyfázisú zárlati áramhurok impedanciáját méri az összes zárlatfajtánál, így az impedancia-mérés elvét elégséges egyfázisú sémán tanulmányozni.



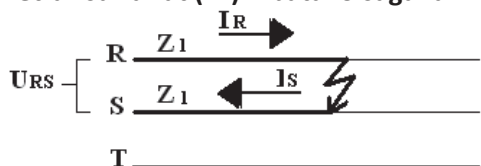
A zárlat helyén a feszültség nulla, az A és B vezetékvégeken levő távolsági védelmek feszültségváltóin

$U_A = I_A \cdot Z_A$, illetve $U_B = I_B \cdot Z_B$ a feszültség. A távolsági védelem által mért hányados mindkét védelemnél éppen a hibahelyig terjedő impedancia,

$$\text{azaz } \frac{U_A}{I_A} = Z_A \text{ és } \frac{U_B}{I_B} = Z_B$$

Az impedanciamérés független a zárlati áram nagyságától, így a meghatározott kioldási jelleggörbe bármilyen üzemállapotban érvényes.

Kétfázisú zárlat (2F) hibatávolságának mérése



A védelem és a hibahely közötti Z_1 pozitív sorrendű impedancia esetén a védelem által mért feszültség $U_{RS} = 2 \cdot I_R \cdot Z_1 = -2 \cdot I_S \cdot Z_1$; a

hányadosmérés pedig $\frac{|U_{RS}|}{|I_R|} = \frac{|U_{RS}|}{|I_S|} = 2 \cdot |Z_1|$ eredményt szolgáltat.

Az egyszeres impedancia méréséhez tehát a védelemnek az áram kétszeresét kell előállítania, mikoris

$$|Z_1| = \frac{|U_{RS}|}{2 \cdot |I_R|} = \frac{|U_{RS}|}{2 \cdot |I_S|}$$

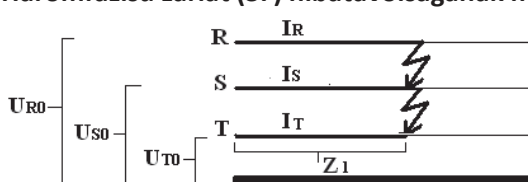
A védelem a következő egyfázisú mennyiségekkel végzi a hányadosmérést:

$$\text{RS zárlatnál: } |Z_1| = \frac{|U_{RS}|}{|I_R - I_S|}, \text{ ahol } |I_R - I_S| = 2, \text{ mivel } |I_R| = 2 \quad |I_S|;$$

$$\text{ST zárlatnál: } |Z_1| = \frac{|U_{ST}|}{|I_S - I_T|}, \text{ ahol } |I_S - I_T| = 2, \text{ mivel } |I_S| = 2 \quad |I_T|;$$

$$\text{TR zárlatnál: } |Z_1| = \frac{|U_{TR}|}{|I_T - I_R|}, \text{ ahol } |I_T - I_R| = 2, \text{ mivel } |I_T| = 2 \quad |I_R|;$$

Háromfázisú zárlat (3F) hibatávolságának mérése



A Z_1 távolságban fellépő zárlatnál védelem helyén mérhető fázisfeszültségek: $U_{R0} = I_R \cdot Z_1$ $U_{S0} = I_S \cdot Z_1$

$$U_{T0} = I_T \cdot Z_1$$

A fázisfeszültségek és fázisáramok hányadosai tehát a tényleges

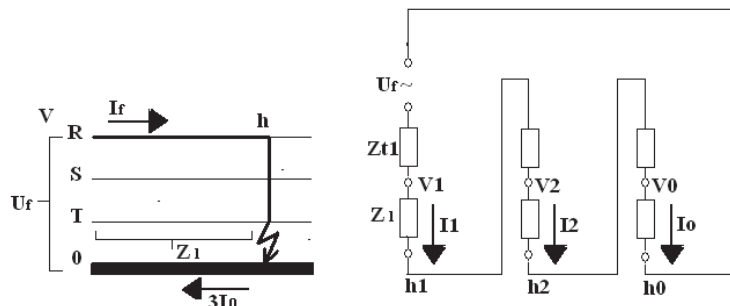
hibatávolságot adják, azaz $|Z_1| = \frac{|U_{R0}|}{|I_R|} = \frac{|U_{S0}|}{|I_S|} = \frac{|U_{T0}|}{|I_T|}$.

Ha a védelem valamennyi 3F zárlatot R és S fázis mennyiségeivel méri, akkor

$$|Z_1| = \frac{\sqrt{3} \cdot |U_{R0}|}{\sqrt{3} \cdot |I_R|} = \frac{|U_{R0} - U_{S0}|}{|I_R - I_S|} = \frac{|U_{RS}|}{|I_R - I_S|}$$

A vonali feszültségekből és a fázisáramok különbségéből képzett hányados tehát valamennyi fáziszárlat (2F és 3F) hibatávolságát szabatosan szolgáltatja.

Földrövidzárlatok (FN, 2FN és 2Ff) hibatávolságának mérése



Jelen esetben a távolsági védelem mérőelemének a fázis-föld alkotta áramhurok impedanciáját kell megmérnie. A zérus sorrendű impedancia miatt a hurok impedanciája nem lesz azonos a fáziszárlatoknál mért értékekkel.

A zárlatra jellemző U_f fázisfeszültség és I_f fázisáram hányadosa a szimmetrikus összetevőkkel kifejezve:

$$\frac{U_f}{I_f} = \frac{U_1 + U_2 + U_0}{I_1 + I_2 + I_0} = \frac{I_1 \cdot Z_1 + I_2 \cdot Z_2 + I_0 \cdot Z_0}{I_1 + I_2 + I_0} \neq Z_1$$

Mivel a hálózaton $Z_1 = Z_2$ és $Z_0 = k \cdot Z_1$ (ahol $k \sim 3$), a mérhető impedancia:

$$\frac{U_f}{I_f} = \frac{I_1 \cdot Z_1 + I_2 \cdot Z_1 + k \cdot I_0 \cdot Z_1}{I_1 + I_2 + I_0} = Z_1 \cdot \frac{I_1 + I_2 + k \cdot I_0}{I_1 + I_2 + I_0} \neq Z_1$$

Ahhoz, hogy az eredmény Z_1 legyen, azaz a szorzójaként szereplő tört értéke 1 legyen, a nevezőben lévő $I_f = I_1 + I_2 + I_0$ fázisáram helyett $I_f = I_1 + I_2 + k \cdot I_0$

Korrigált áramot kell a mérőelem áramtekercseibe vezetni. Mivel azonban az áramváltók szekunder körében csak I_f és $3I_0$ áll rendelkezésre, ezért a szükséges korrigált áramot írjuk fel ezek felhasználásával

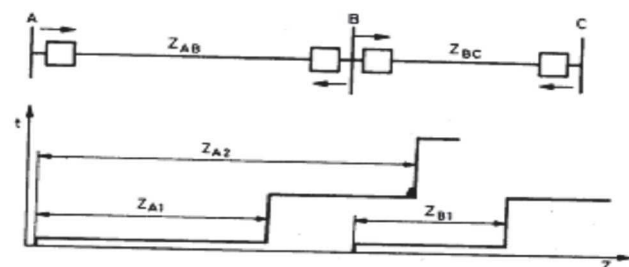
$$I_f = I_1 + I_2 + k \cdot I_0 = I_1 + I_2 + I_0 + k \cdot I_0 - I_0 = (I_1 + I_2 + I_0) + \left(\frac{k-1}{3}\right) \cdot 3 \cdot I_0$$

A kompenzálás révén a védelem mérőeleme által mért impedancia:

$$\frac{U_f}{I_f} = Z_1 \cdot \frac{I_1 + I_2 + k \cdot I_0}{(I_1 + I_2 + I_0) + \left(\frac{k-1}{3}\right) \cdot 3 \cdot I_0} = Z_1$$

Távolsági védelmek fokozatszámítása

Az első és második fokozatok számítása



Az AB szakasz egy tetszőleges hurkolt hálózat egyik vezetője, BC pedig a B végéhez csatlakozó további vezetékek közül a legrövidebb.

A vezetékek impedanciája Z_{AB} , illetve Z_{BC} . Az A jelű védelem első impedanciafokozata Z_{A1} , a második Z_{A2} , a BC vezeték B végén lévő védelem első fokozata Z_{B1} .

A lépcsőzés logikája az egyenlő százalékos szórások elvét követi. A védelmek saját mérési pontatlanságát, a

mérőváltók hibáit, az elhanyagolt terhelési áramok befolyását együttesen egy $\pm \varepsilon$ szórási tényezővel vesszük figyelembe. Ez azt jelenti, hogy a beállított Z impedanciafokozat a valóságban $(1-\varepsilon)Z < Z < (1+\varepsilon)Z$

értékek között tetszőlegesen változhat. A szórási tényező értékét a gyakorlatban ugyanis $\varepsilon=0,15$ -re, 15%-ra szokták felvenni.

A lépcsőzés alapszabálya az, hogy a szomszédos védelmek egyes fokozatai azok megengedett és kedvezőtlen irányú legnagyobb szórása esetén se fedjék vagy keresztezzék egymást. A védelem első lépcsőjére az a

követelmény írható fel, hogy a maximális fokozatnyúlás esetén se érjen bele a következő vezetékbe:

$$(1 + \varepsilon) \cdot Z_{A1} \leq Z_{AB}, \quad \text{amiből} \quad Z_{A1} \leq \frac{Z_{AB}}{(1 + \varepsilon)}$$

A *második fokozat minimumát* az a követelmény szabja meg, hogy a védelem saját közvetlenül védendő vezetékét legalább a második fokozatban még maximális fokozatszugorodás esetén is fedje, tehát:

$$(1 - \varepsilon) \cdot Z_{A1} \geq Z_{AB} \quad Z_{A1} \leq \frac{Z_{AB}}{(1 - \varepsilon)}$$

A *második fokozat maximumát* abból a feltételből lehet meghatározni, hogy az A védelem második fokozata legnagyobb nyúlás és a B védelem első fokozatának vége a legnagyobb zsugorodás esetén sem fedheti át egymást: $(1 + \varepsilon) \cdot Z_{A2} \leq Z_{AB} + (1 - \varepsilon) \cdot Z_{BA}$,

$$\text{az előbbiek szerint viszont } Z_{A1} \text{ mintájára: } Z_{B1} \leq \frac{Z_{BC}}{(1 + \varepsilon)} \quad (1 + \varepsilon) \cdot Z_{A2} \leq Z_{AB} + \frac{(1 - \varepsilon)}{(1 + \varepsilon)} \cdot Z_{BC},$$

$$\text{amiből feltétel } Z_{A2} \leq \frac{Z_{AB}}{1 + \varepsilon} + \frac{1 - \varepsilon}{(1 + \varepsilon)^2} \cdot Z_{BC}$$

Az impedancia-mérés csak akkor ad a földrajzi távolsággal arányos hibatávolságot, ha a védelemnél mérhető feszültséget a hibahely nulla feszültségével összekötő egyenes törésmentes. Ez akkor teljesül, ha a védelem áramváltóján a feszültséget létrehozó teljes áram áthalad.

Ha a védelem és a hibahely között közbenső árambetáplálás vagy elágazás van, a mérés torzul. Torzítási tényező

$$(1, \text{ ha nincs közbenső betáplálás}): \xi = \frac{I_A + I_B}{I_A} \geq 1$$