VÉDELMI ÉS IRÁNYÍTÁSTECHNIKAI FÓRUM 2017

Kompenzált hálózatok korszerű földzárlatvédelme

Bánfalvy Zoltán, termékmenedzser, ABB Kft. Energetikai Rendszerek Divízió

Kompenzált hálózatok korszerű földzárlatvédelme

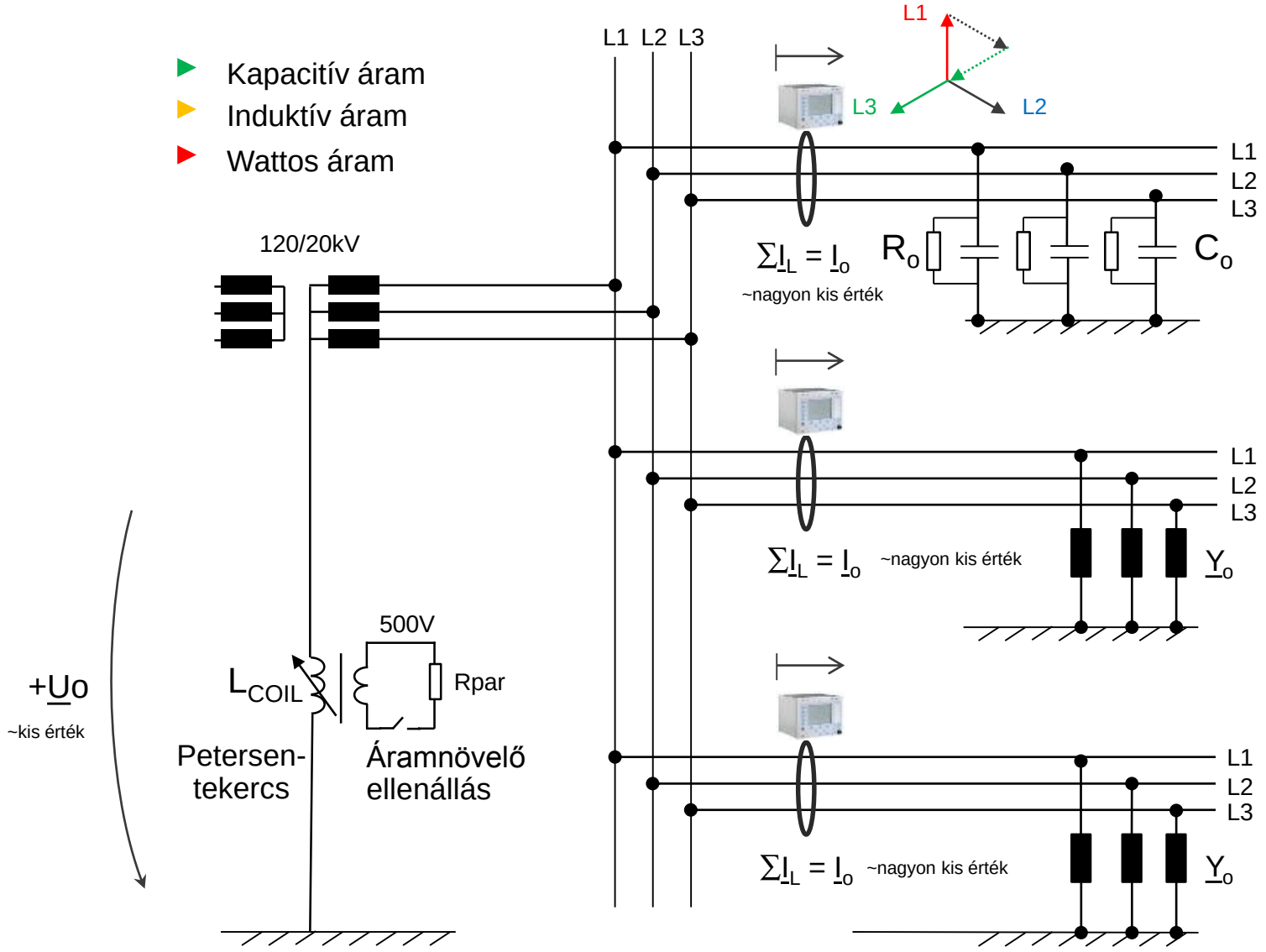
Tartalom

- Mi történik földzárlatkor?
- Földzárlati áramnövelés
- A szabályozási környezet változásának hatása
- Alkalmazható áramváltók
- Admittanciavédelmek alkalmazása
- Felharmonikus admittancianövekedési földzárlatvédelmi funkció
- Kisáramú áramnövelésen alapuló földzárlatvédelmi rendszer ismertetése

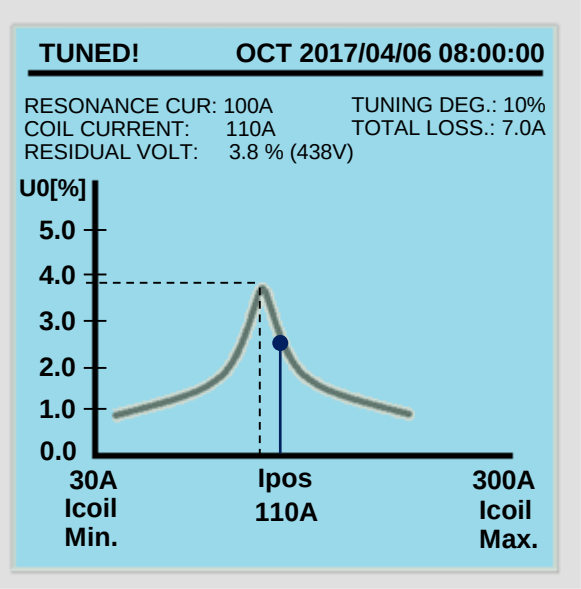
© ABB Group

Kompenzált hálózatok korszerű földzárlatvédelme

Földzárlat a kompenzált hálózaton – Hibamentes állapot



- **<u>Hibamentes állapotban</u>** az Io és Uo értéke jellemzően nagyon alacsony.
- Értékük a hálózat természetes aszimmetriájától függ.



© ABB Group

Kompenzált hálózatok korszerű földzárlatvédelme

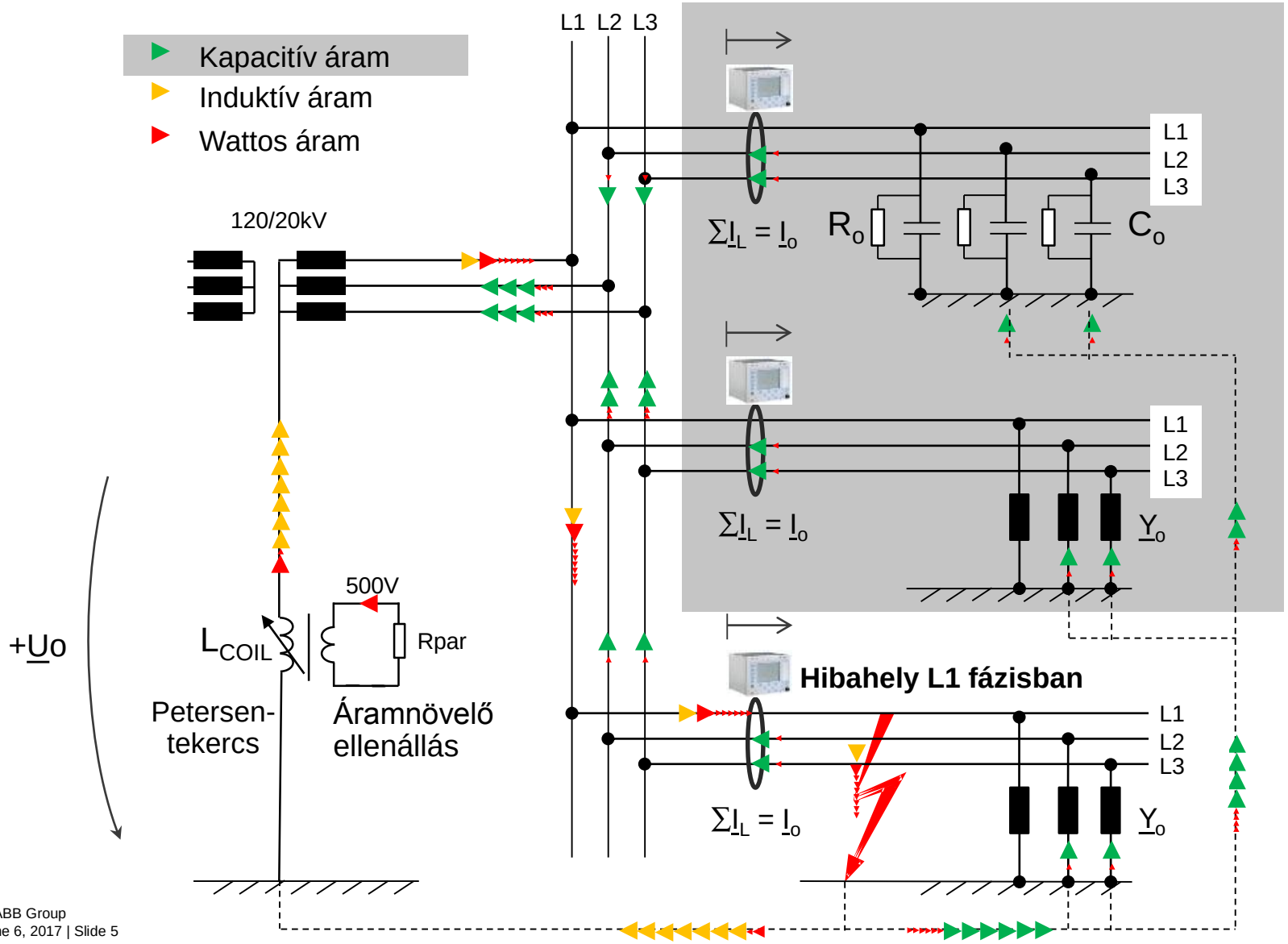
Földzárlat a kompenzált hálózaton

- Mit lát a védelem földzárlat során?

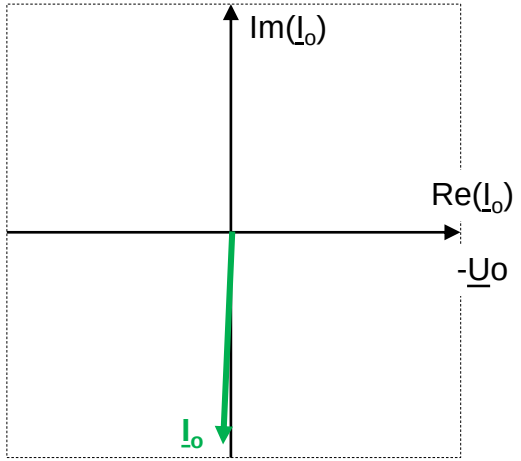
© ABB Group

Kompenzált hálózatok korszerű földzárlatvédelme

Földzárlat a kompenzált hálózaton – ép leágazások



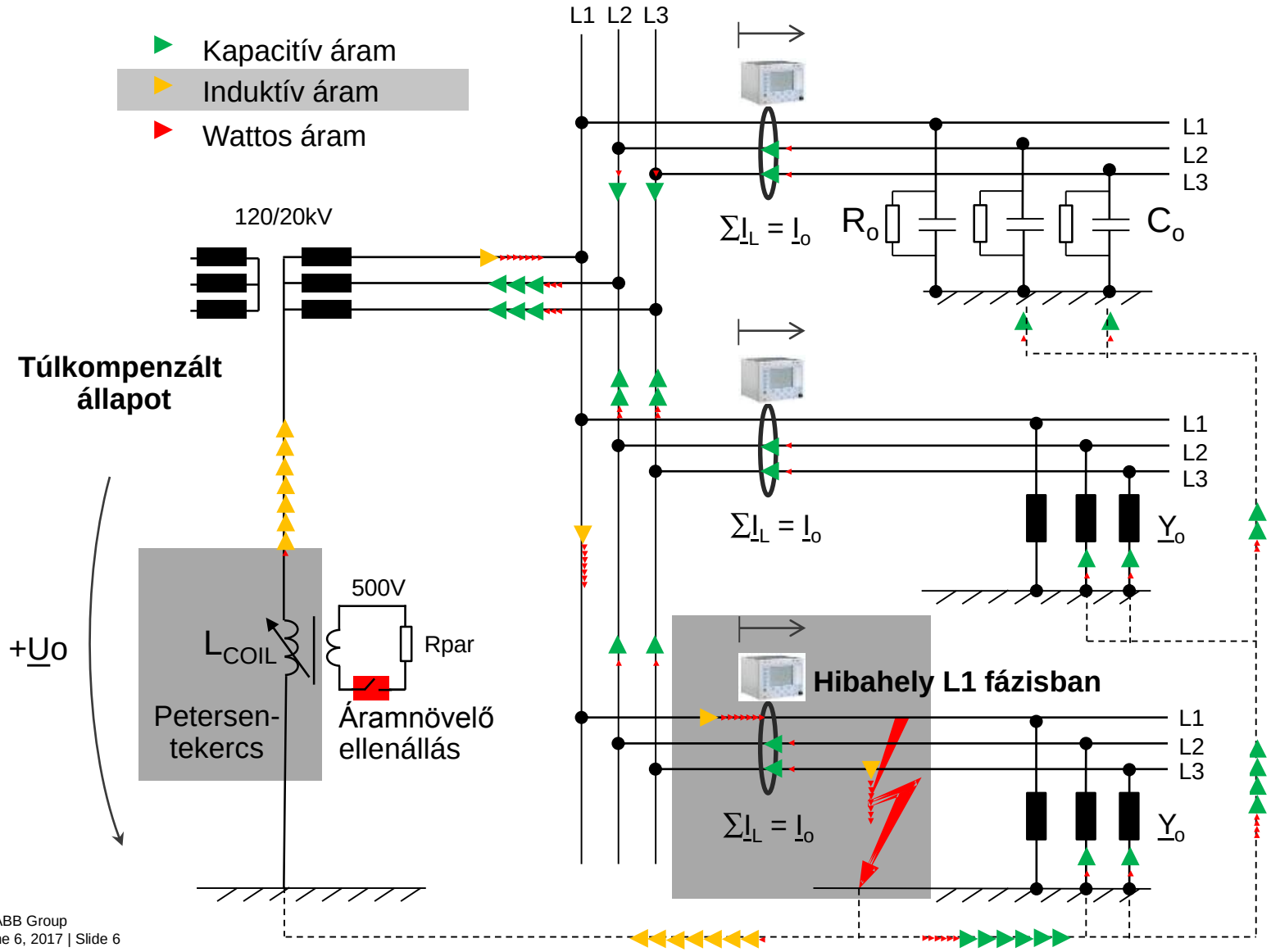
- Az ép leágazások elején mért maradékáram egyenlő leágazás fázis-föld admittanciáin létrejövő földzárlati áramával.
- Erősen kapacitív!
- A vonal felől a gyűjtősín felé folyik.



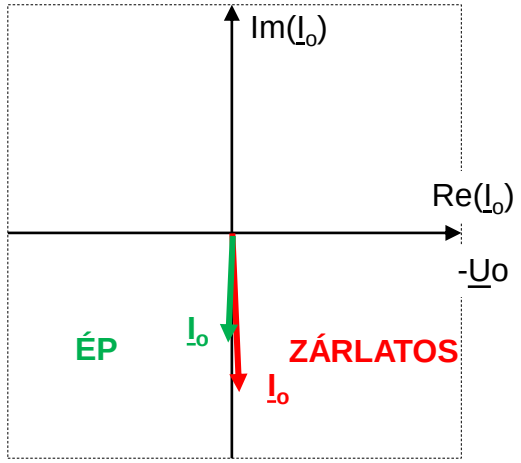
© ABB Group

Kompenzált hálózatok korszerű földzárlatvédelme

Földzárlat a kompenzált hálózaton – Zárlatos leágazás



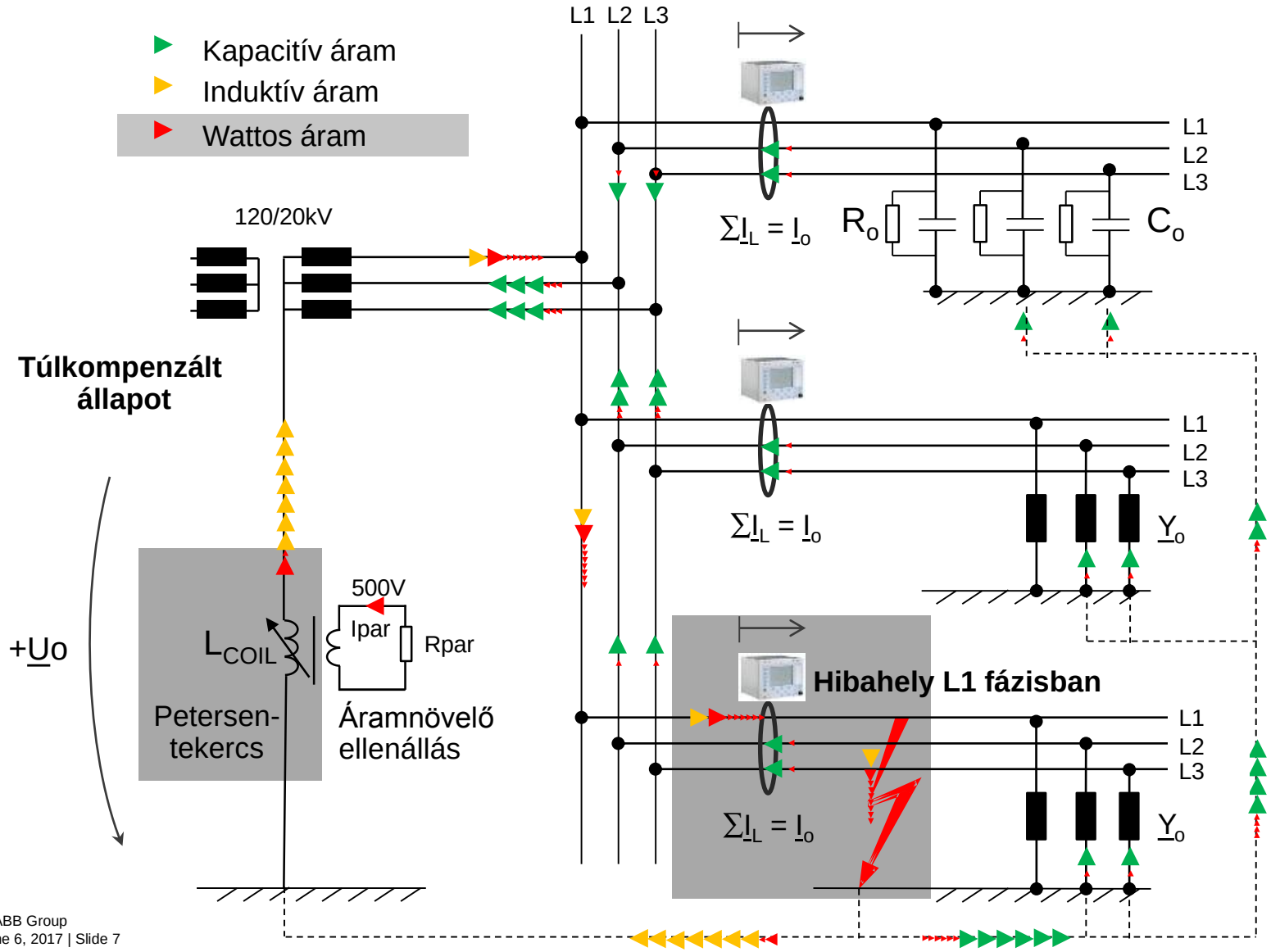
- Az ép- és a zárlatos leágazások elején mérhető földzárlati áramok hasonló jellegűek a védelem szemszögéből
- A megkülönböztetésük a wattos összetevő segítségével történhet.



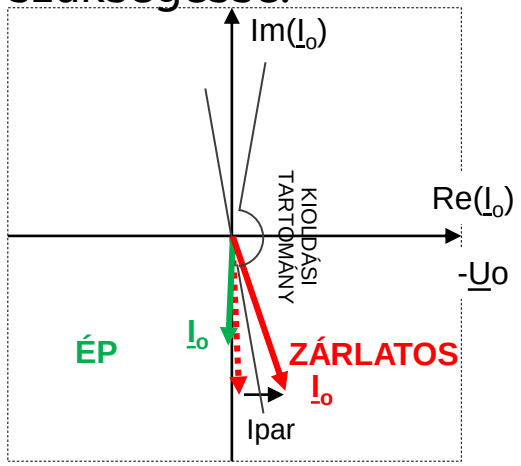
© ABB Group

Kompenzált hálózatok korszerű földzárlatvédelme

Földzárlat a kompenzált hálózaton – Zárlatos leágazás



- Az ép- és a zárlatos leágazások elején mérhető földzárlati áramok hasonló jellegűek a védelem szemszögéből
- A megkülönböztetésük a wattos összetevő segítségével történhet.
- A megbízható detektálás áramnövelő ellenállás alkalmazását teszi szükségessé:



© ABB Group

Kompenzált hálózatok korszerű földzárlatvédelme

A szabályozási környezet változásának hatása

- A szabályozási környezet változásával (MSZ EN 50522:2011) jóval szigorúbb határértékek vonatkoznak az érintési feszültség és a kisfeszültségű és nagyfeszültségű földelő rendszerek földpotenciál-emelkedés (EPR) megengedhető mértékére.
- A Magyarországon elterjedt nagyáramú áramnövelés változtatás nélkül már nem alkalmazható
- Kisebb áramnövelés esetén a földzárlatos leágazás kiválasztása *irányított* védelmi funkciót igényel
- *Érdekesség*: Bár Nyugat-Európában, ahol kisebb áramnövelést használnak, nem okoz problémát az EN 50522:2011, azonban a kompenzált hálózatokon a kábelek terjedése miatt kifinomultabb irányított védelmek használatára kényszerülnek.

© ABB Group

Kompenzált hálózatok korszerű földzárlatvédelme

Földzárlati áramnövelés

- Magyarországon 50Ω, vagy 100Ω-os FANOE
  - Akár -> 120-250A áramnövelés
- Nem alakult még ki, hogy mit is nevezünk „kisáramú áramnövelésnek”:
  - Azt a legnagyobb áramnövelést, ami még éppen elfogadható mértékű földpotenciál-emelkedést okoz? (Oszlopföldelési ellenállás értéke?)
  - Bármit, ami kisebb, mint az eddig alkalmazott áramnövelés?
  - Amikor a növelt földzárlati áram egy nagyságrendbe esik a leágazások természetes kapacitív áramával? (*Ebben az előadásban ezt a definíciót használjuk)
- Külföldi példák:
  - Skandinávia: 4-20A nagyságrendű növelés, a Petersen szekunder tekercsére kapcsolt ellenállással
  - Németország: 0,5s-ig 300A megengedhető. Földzárlatos üzem tartásakor 75V érintési feszültséghez 30 – 60A maradékáram.
    - Jóval optimistább oszlopföldelési ellenállással számolnak…

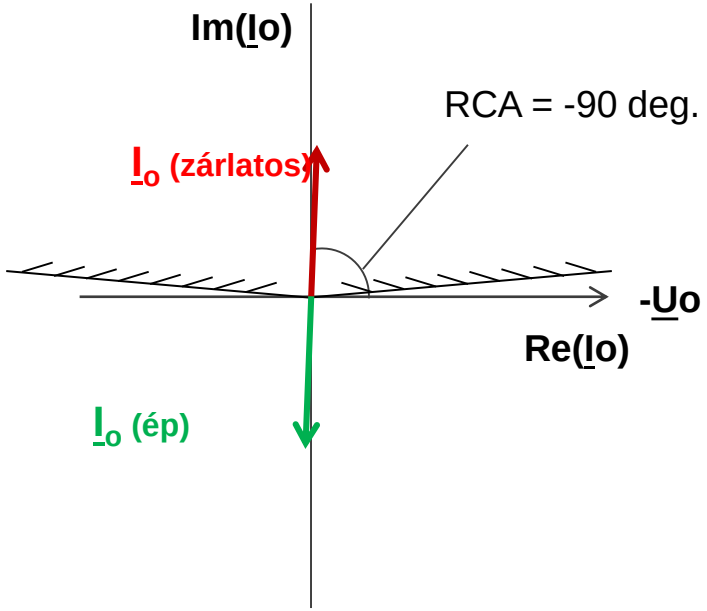
© ABB Group

Kompenzált hálózatok korszerű földzárlatvédelme

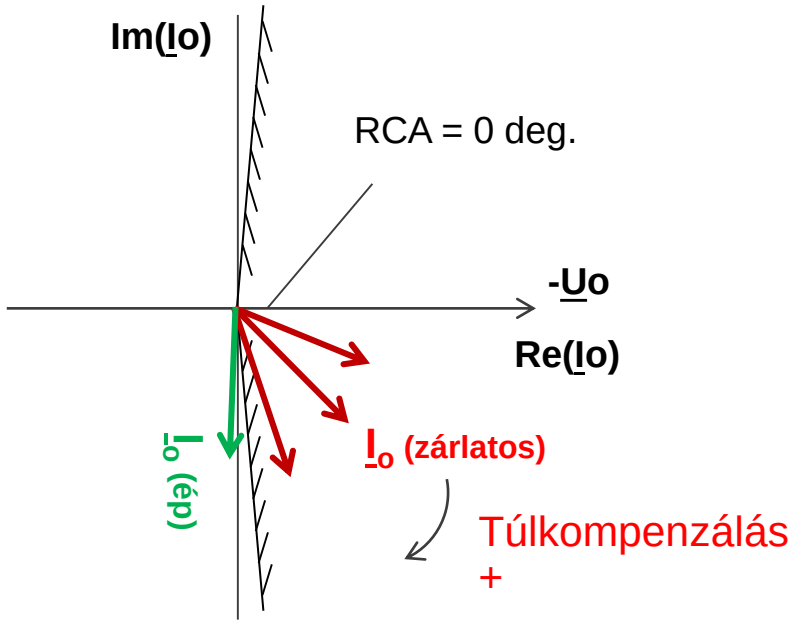
Alkalmazható áramváltók

Miért fontos a pontos mérés és a kis szöghiba?

Szigetelt hálózat



Kompenzált hálózat



⇒ **Fazorok iránya <-> működési karakterisztika**

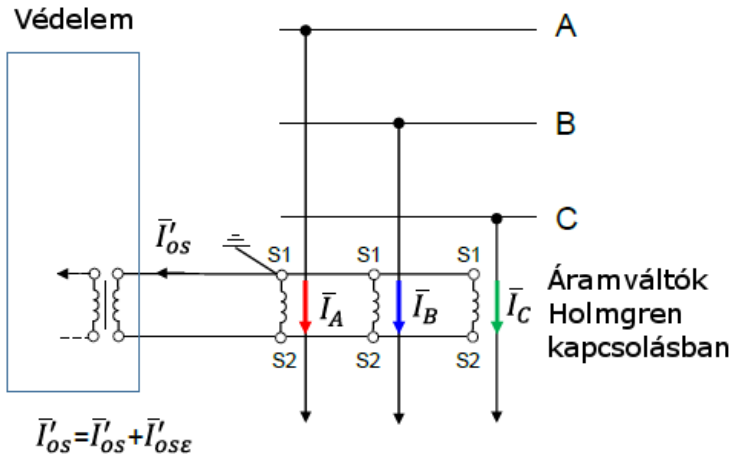
⇒ **Látható, hogy kompenzált hálózatokon a mérést terhelő szöghibát nem lehet elhanyagolni!**

© ABB Group

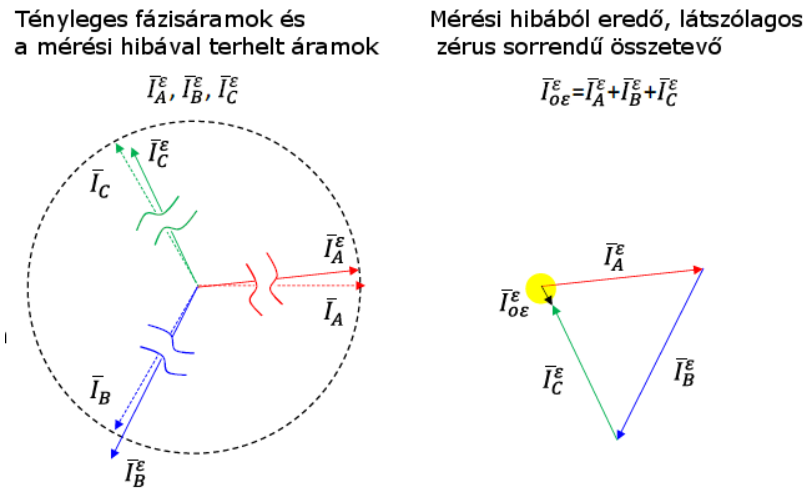
Kompenzált hálózatok korszerű földzárlatvédelme

Alkalmazható áramváltók

Mi a baj a Holmgren-kapcsolással?



- Az áramváltók által mért áram hibája az adott egyedi áramváltó jellemzőitől függ, pl. a vasmag nemlinearitása, gyártási szórás, stb.
- Ez azt jelenti, hogy földzárlat esetén a védelem által érzékelt áramok összege nem $\bar{I}_o = \bar{I}_A + \bar{I}_B + \bar{I}_C$, hanem $\bar{I}_0^{holmgren} = \bar{I}_0 + (\bar{I}_A^{\varepsilon} + \bar{I}_B^{\varepsilon} + \bar{I}_C^{\varepsilon}) = \bar{I}_0 + \bar{I}_0^{\varepsilon}$, ahol $\bar{I}_0$ a valóságos zérus sorrendű áram, $\bar{I}_0^{\varepsilon}$ pedig a Holmgren-kapcsolásból eredő látszólagos zérus sorrendű összetevő.
- Holmgren-kapcsolásban az látszólagos zérus-sorrendű összetevő nem a valóságos zérus sorrendű árammal van kapcsolatban, hanem az áramváltókon éppen átfolyó terhelőáram nagyságától függ!
- Földzárlat esetén a terhelőáram nagyságrendekkel nagyobb lehet a tényleges zérus sorrendű áramnál. Különösen szélsőséges eset, ha nagy a terhelőáram és nagyimpedanciás zárlat lép fel. Ekkor a látszólagos zérus sorrendű áram könnyedén nagyobb lehet a földzárlati áramnál.
- Az áramváltó névleges áramát –értelemszerűen- a leágazások üzemi áramához méretezik, nem az érzékelni kívánt földzárlati áramokhoz.

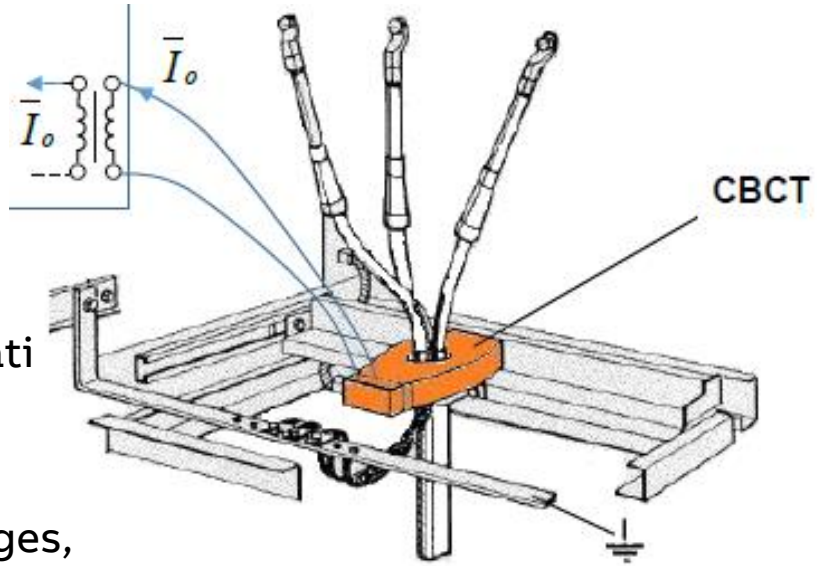


© ABB Group

Kompenzált hálózatok korszerű földzárlatvédelme

Alkalmazható áramváltók

Földzárlati gyűrűs áramváltó



- A Holmgren-kapcsolás hátrányai miatt 10% In alatti földzárlati áramok mérésére földzárlati gyűrűs áramváltók alkalmazása javasolt.
- A megoldás előnye, hogy az áramváltó névleges primer áramát nem a leágazás áramához, hanem az előforduló földzárlati áramokhoz lehet kiválasztani, illetve használható a mérésre mérőmag is, hiszen a földzárlati áram az áramváltó névleges áramánál kisebb érték lesz.
- Földzárlati-gyűrűs áramváltók kiválasztási szempontjai:
  - A mérési hibák csökkentésére a mágnesező áram csökkentése szükséges, ami a mágnesező impedancia növelésével lehetséges:
    - Vasmag keresztmetszetének növelése >> Fizikailag nagyobb áramváltó használata
    - Vasmag hosszának csökkentése >> Kör keresztmetszetű jobb, mint a négyzet.
    - Menetszám növelése (Ns)
    - Jobb mágneses tulajdonságokkal rendelkező alapanyagok használata

© ABB Group

Kompenzált hálózatok korszerű földzárlatvédelme

Élesíthető irányított földzárlatvédelmi funkciók*

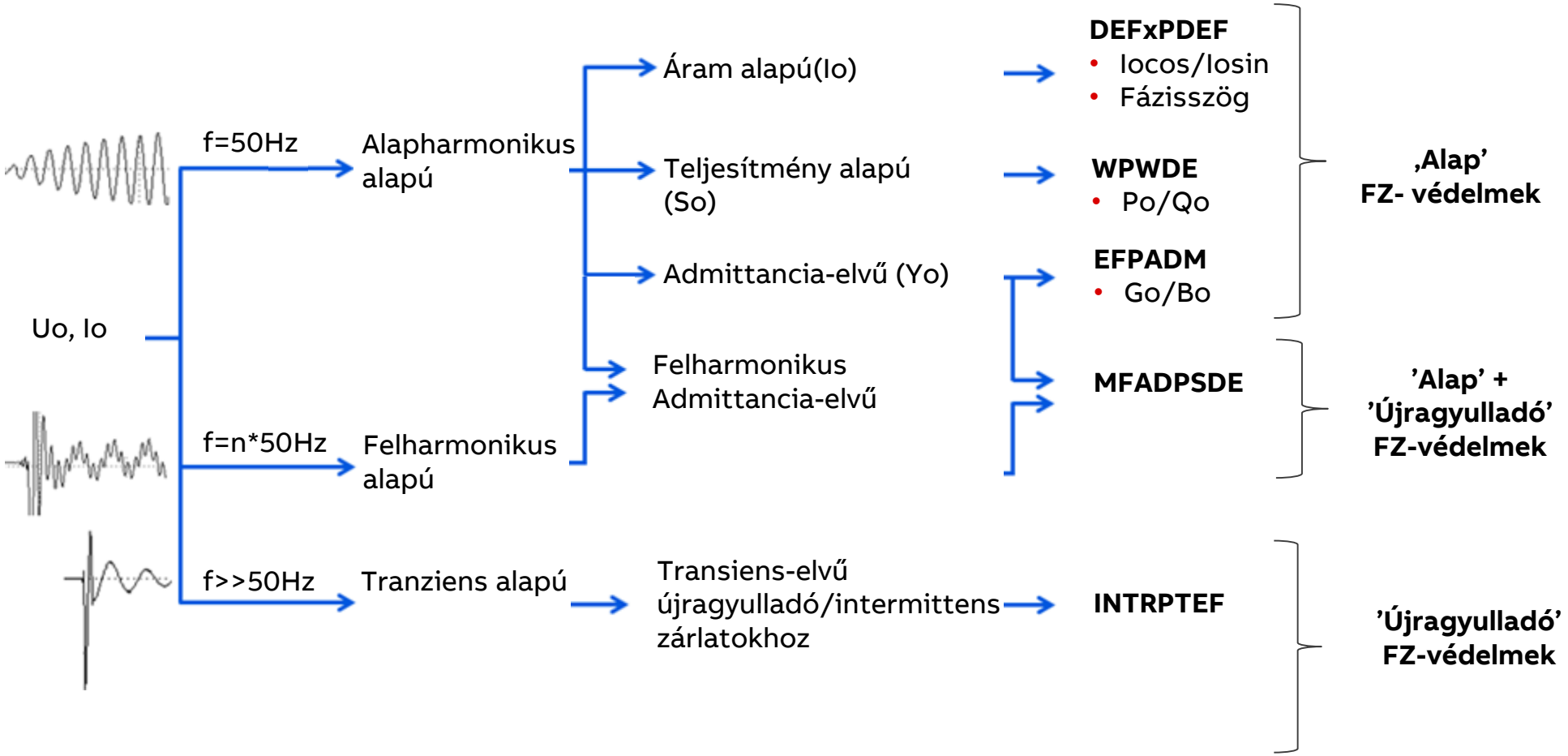


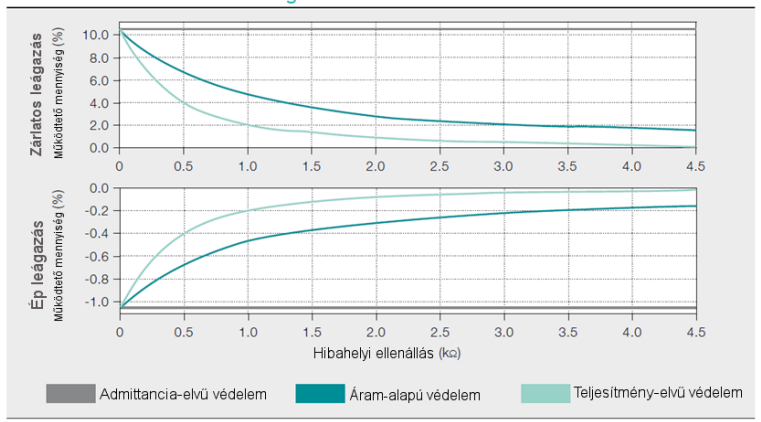
*ABB Relion 615/620/630 sorozat, 2016/Q1

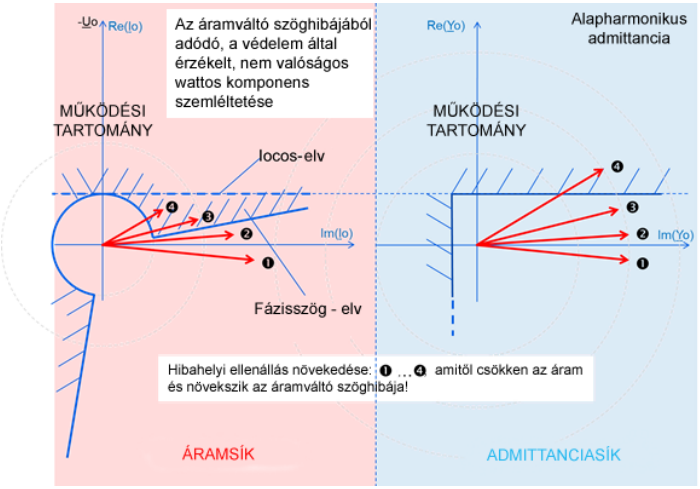
© ABB Group

Kompenzált hálózatok korszerű földzárlatvédelme

Admittancia-védelmek alkalmazása

1 Működtető mennyiségek (Yo, Io, So) a hibahelyi ellenállás függvényében különféle földzárlatvédelmi megoldások esetében





- Kisáramú áramnövelés esetében a zárlatos leágazásban folyó földzárlati áram és az ép leágazásokban visszafolyó kapacitív áram hasonló nagyságrendű, ezért irányított földzárlatvédelemet kell alkalmazni.
- A hagyományos, áram (Io*cos), vagy teljesítmény (Po) mérésen alapuló földzárlatvédelmek működése nagyban függ a hibahelyi ellenállástól, míg az admittancia-elvű védelmekre nincs hatással (Yo=Io/Uo), mert a zérussorendű áram és feszültség aránya a hibahelyi ellenállás nagyságától függetlenül közel azonos.
- Azonban: Matematikailag levezethető, hogy a beállítási érték csökkenésével az admittancia-elvű funkciók szigorúbb követelményeket támasztanak az áramváltók szöghibájával szemben, mint az Io*cos-elvű funkciók.
- **Alapharmonikus admittancianövekedési földzárlatvédelem (EFPADM)**: Alapharmonikus Yo-t mér. Különféle irányított, irányítatlan működési karakterisztikák (Bo – szuszceptancia, Go – konduktancia, és ezek kombinációi) választhatóak , illetve folyamatos és delta mérési mód választható. Pontos beállításához ismerni kell a leágazás és a hálózat természetes kapacitív áramait. **Az intermittens zárlatok érzékeléséhez dedikált funkció szükséges.**

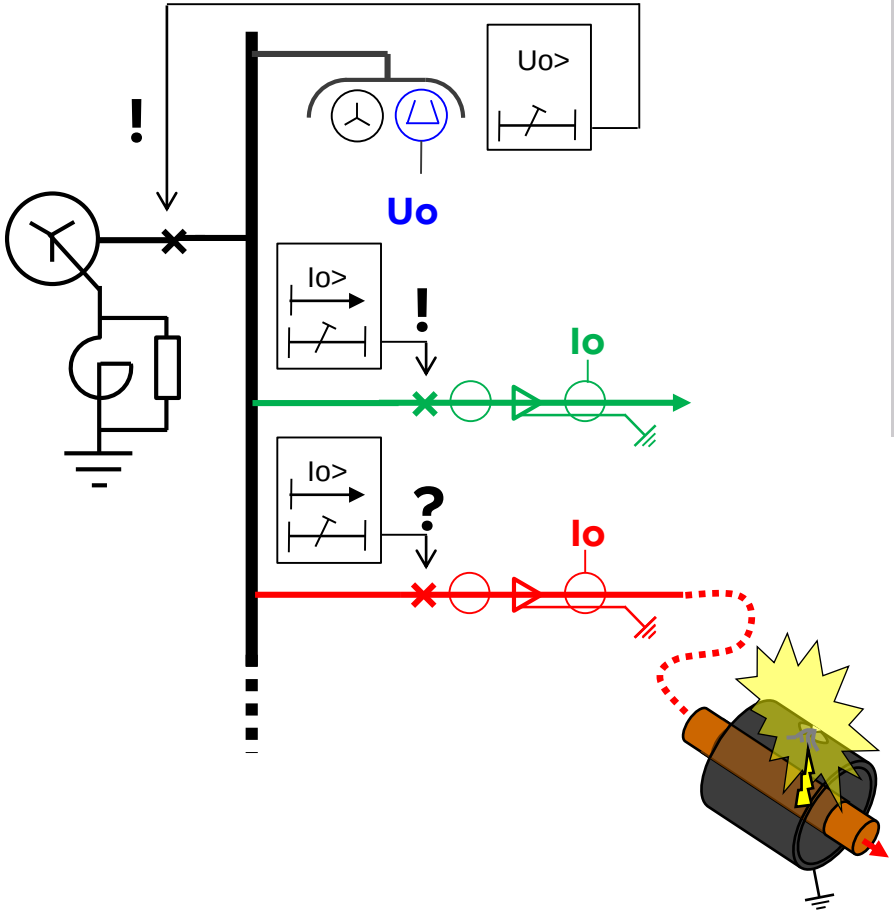
© ABB Group

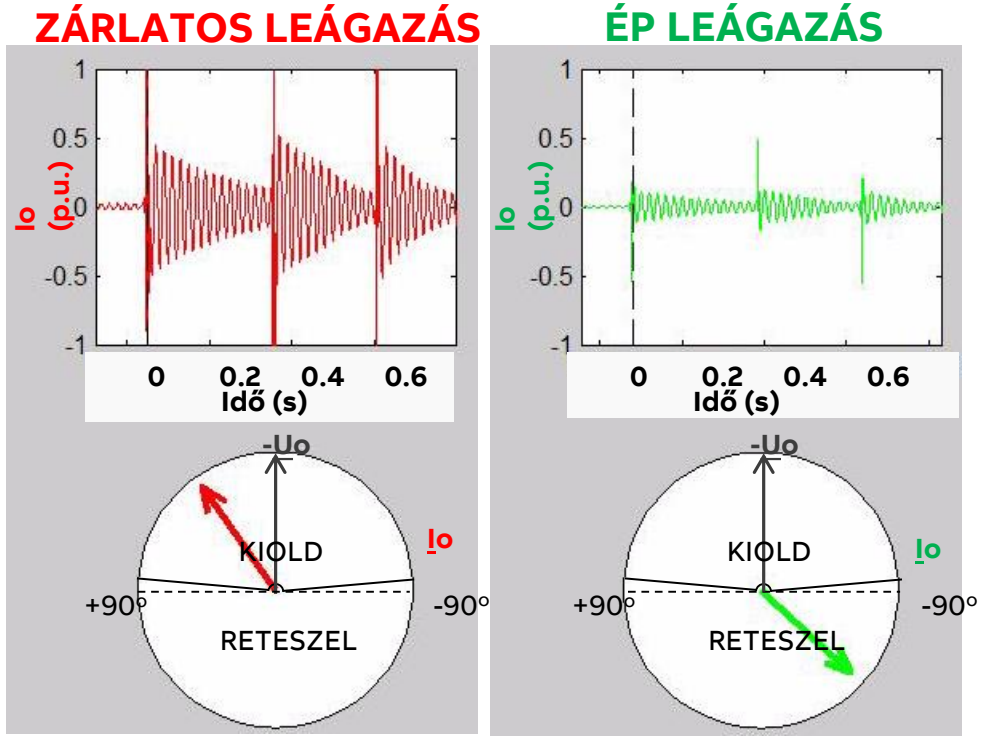
Kompenzált hálózatok korszerű földzárlatvédelme

Újragyulladó / Intermittens földzárlatok

- Az „alap” földzárlatvédelmek 50Hz-es, szinuszos mennyiségekhez vannak tervezve

  ⇒ **Bizonytalan működés újragyulladó zárlatok esetében!**





HIBÁS MŰKÖDÉS VESZÉLYE

- Ép leágazások: nem szelektív működés
- Zárlatos leágazás: működéselmaradás, késedelmes kioldás
- Gyűjtősínvédelmi kioldást is okozhat

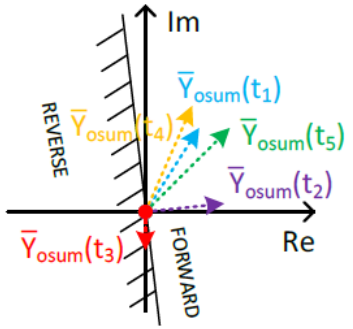
► **Javasolt dedikált funkciót alkalmazni ezekre a zárlatokra**

© ABB Group

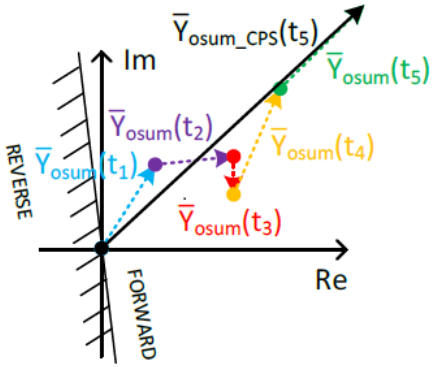
Kompenzált hálózatok korszerű földzárlatvédelme

Felharmonikus admittancianövekedési földzárlatvédelmi funkció

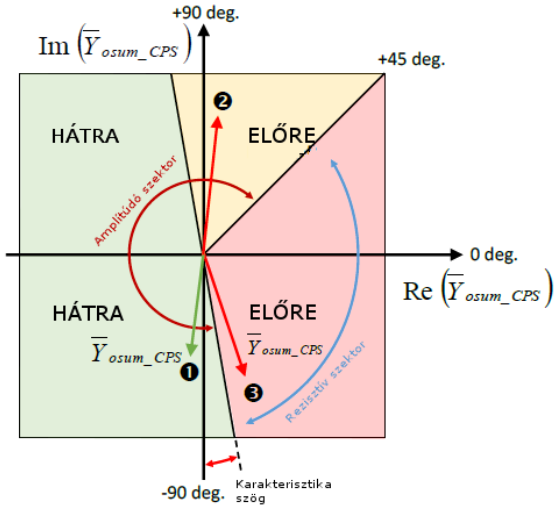
$$\overline{Y}_{osum_CPS} = \sum_{i=t_{start}}^{t_{end}} \mathrm{Re}\left[\overline{Y}_{osum}(i)\right] + j \cdot \sum_{i=t_{start}}^{t_{end}} \mathrm{Im}\left[\overline{Y}_{osum}(i)\right]$$



Váltakozó, különálló DFT-fazorok



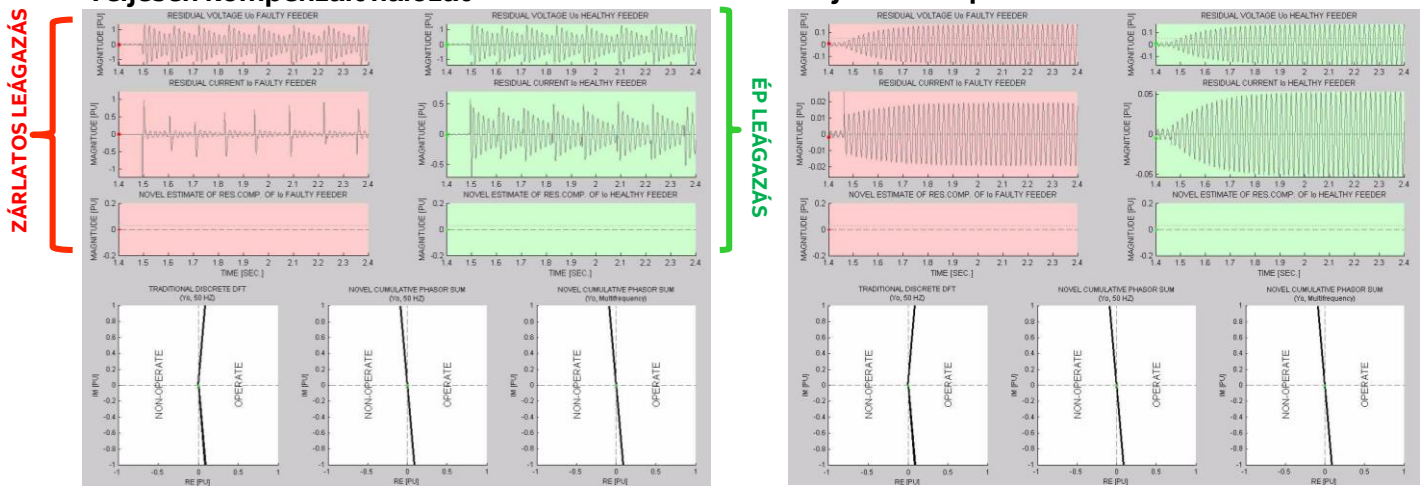
Stabil, kumulált DFT-fazorok, kumulált fazorösszegzéssel (CPS) számítva



- Admittancia-elvű új funkció.
- Működési elve azon alapszik, hogy az ívoltó tekercs az alapharmonikus frekvenciát kompenzálja. Az mérésnél a felharmonikusokat nem kiszűri, mint zajt, hanem a 9. felharmonikuig összegzi az Yo fazorban.
- Irányeleme az egyes időpillanatokban mért Yo fazorokat a kumulált fazorösszegzés technikájával („CPS”) sorbarendezi és ennek eredőjét veszi figyelembe. Ezzel a diszkrét fazorok oszcillációja kiátlagolódik.
- Ellenőrző-eleme képzi az alapharmonikus Yo kumulált fazorösszegét is, amely zárlatfajtától függetlenül megadja az állandósult Io-t, ami a zárlatos leágazásban + lesz és wattos összetevője a bekapcsolt ellenállást tükrözi.

Újragyulladó zárlat, @ *d*=30 km, R_F = 0 ohm, Teljesen kompenzált hálózat

Fennmaradó zárlat @ d=30 km, RF=4000 ohm, Teljesen kompenzált hálózat

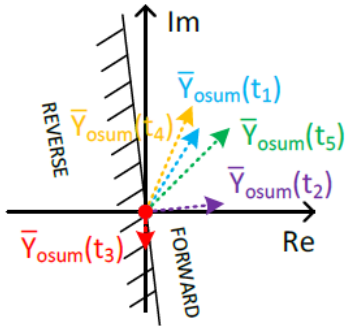


© ABB Group

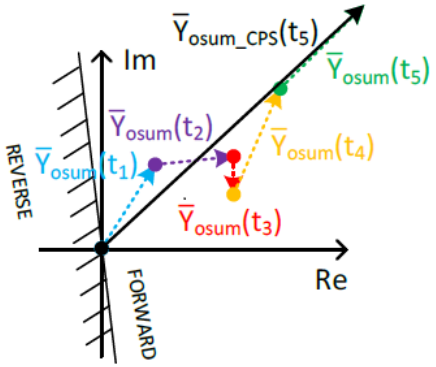
Kompenzált hálózatok korszerű földzárlatvédelme

Felharmonikus admittancianövekedési földzárlatvédelmi funkció

$$\overline{Y}_{osum_CPS} = \sum_{i=t_{start}}^{t_{end}} \mathrm{Re}\left[\overline{Y}_{osum}(i)\right] + j \cdot \sum_{i=t_{start}}^{t_{end}} \mathrm{Im}\left[\overline{Y}_{osum}(i)\right]$$

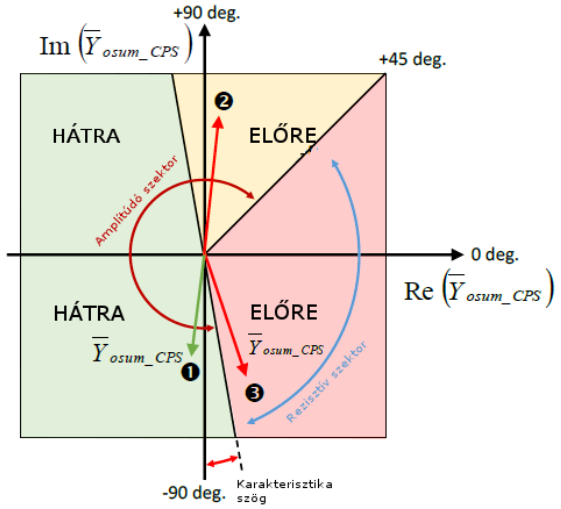


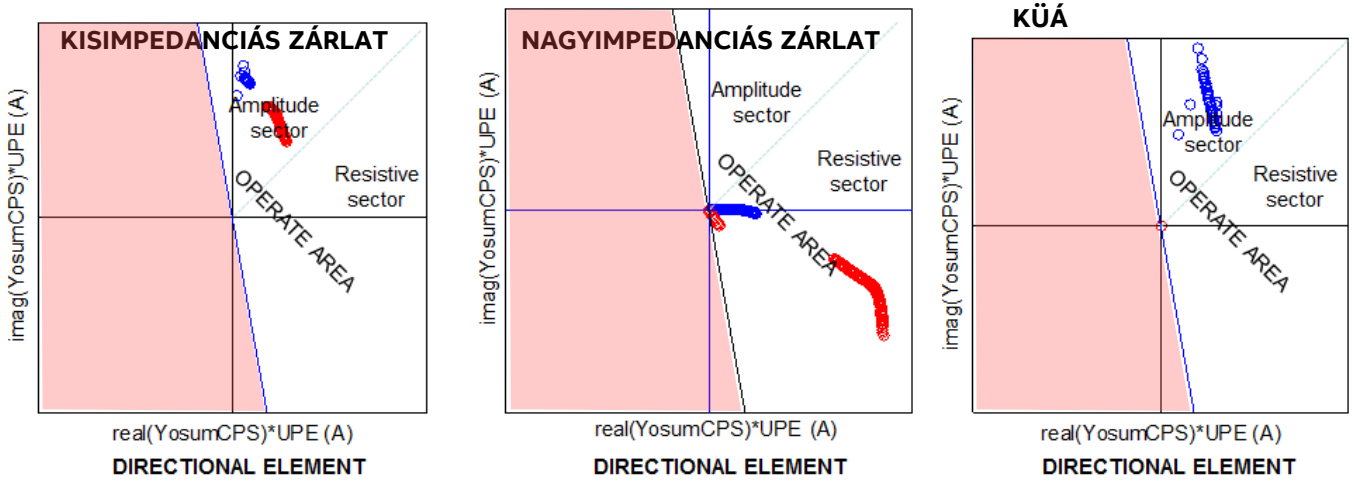
Váltakozó, különálló DFT-fazorok



Stabil, kumulált DFT-fazorok, kumulált fazorösszegzéssel (CPS) számítva

- Ezzel a módszerrel a földzárlatok mindegyik fajtája megbízhatóan detektálható (kisimpedanciás, nagyimpedanciás, intermittens), az érzékenységet a beállítható Uo feltétel határozza meg.
- Beállítása a hálózat alapadataiból egyszerűen meghatározható.
- ELMŰ Zárlati próbán KÜÁ* esetében ~43ms önidővel a leggyorsabb volt.
  - *A próbán KÜÁ esetében a FÁNOE nem volt beiktatva!
  - A mért értékek mindig nagy biztonsággal a kioldási tartományba estek.
- De lesz-e elég felharmonikus? Zárlati próba eredményei:
  - Ha a mérési értékek az amplitúdó szektorba esnek, akkor a felharmonikusok dominálnak, ha a rezisztív szektorba, akkor az alapharmonikus.





Kompenzált hálózatok korszerű földzárlatvédelme

Kisáramú áramnövelésen alapuló földzárlatvédelmi rendszer ismertetése

Áramnövelő ellenállás kapcsolása (Az Io wattos komponensének változtatása)

+ Jól ismert és elterjedt megoldás. Minden gyártónak van rá megoldása.
+ A KÜÁ nem igényel speciális előkészítést, marad a jelenlegi nagyáramú áramnövelés esetében is alkalmazott megoldás: áramnövelő ellenállás bekapcsolása KÜÁ-kor és késleltetés nélküli kioldás.
+ A párhuzamos ellenállás csillapítja a földzárlatok során fellépő tranziens jelenségeket, ami előnyös a földzárlatvédelmek szempontjából. A földzárlati áram wattos összetevője kis értékűre választható (5-20A@20kV), ami nem okoz veszélyes érintési feszültségeket.
+ A wattos összetevő változását csak az áramnövelő ellenállás okozhatja -> nem fenyeget téves kioldás az ép leágazásokban
+ Beállítási értéktől függ, hogy működik-e nagyimpedanciás zárlatra. Több fokozat elérhető.
+ Újragyulladó zárlatok esetén ismert teljesítmény, dedikált, ilyen zárlatokra kifejlesztett funkció alkalmazható.
+ Az áramnövelés mértékének helyes megválasztásával kielégíthetőek az érintésvédelmi szabvány követelményei és a zárlatjelzők is működőképesek maradnak. *(Az alkalmazott áramváltókon sok múlik!)*

– Pontos mérést igényel, Io mérésre gyűrűs áramváltót kell alkalmazni.

© ABB Group

Kompenzált hálózatok korszerű földzárlatvédelme

Kisáramú áramnövelésen alapuló földzárlatvédelmi rendszer ismertetése

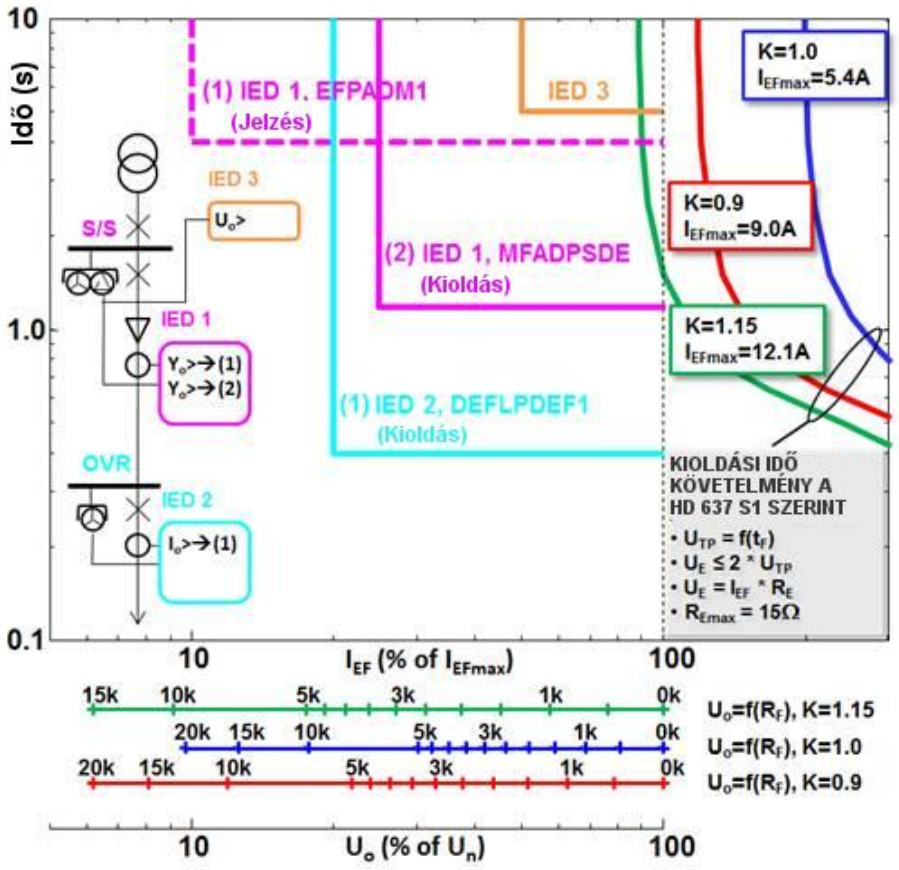
Véleményünk szerint a szabályozói környezet változásából fakadó kihívásokra való legidőállóbb választ az áramnövelő ellenállással történő kisáramú áramnövelés jelenti, földzárlati gyűrűs áramváltókkal az elosztóhálózat táppontjain.

Alapelv: Áramnövelő ellenállás használata: (a földzárlati áram wattos összetevőjének növelésére)

- Petersen szekunder tekercsén elhelyezett szárazellenállás
- 2,5ohm-os ellenállással ~8,7A áramnövelés érhető el, ami érintési/lépésfeszültség szempontjából nem problémás
- A megszokott, bevált módszer modernebb változata.
- Kipróbált, Európa-szerte alkalmazott megoldás.
- Gyártófüggetlen.

Védelmek:

- MFA-fokozat kisimpedanciás és intermittens zárlatokhoz.
- EFPADM-fokozat nagyimpedanciás zárlatok jelzésére (Ha a kisimpedanciástól eltérő kezelést igényel)
- Tartalékvédelmek MFA, vagy EFPADM+INTRPTEF funkcióval.
- Fedővédelem: a szokásos áramnövelő ellenállás I> védelem



© ABB Group

Kompenzált hálózatok korszerű földzárlatvédelme

Kisáramú áramnövelésen alapuló földzárlatvédelmi rendszer ismertetése

Mérés: Gyűrűs áramváltó használata Io méréhez:

- Kisebb hiba, pontosabb mérés alacsony áramoknál is.
- Lehetséges áramváltó: ABB KOKM 1HL12, ABB KOKM 1RL14, stb.

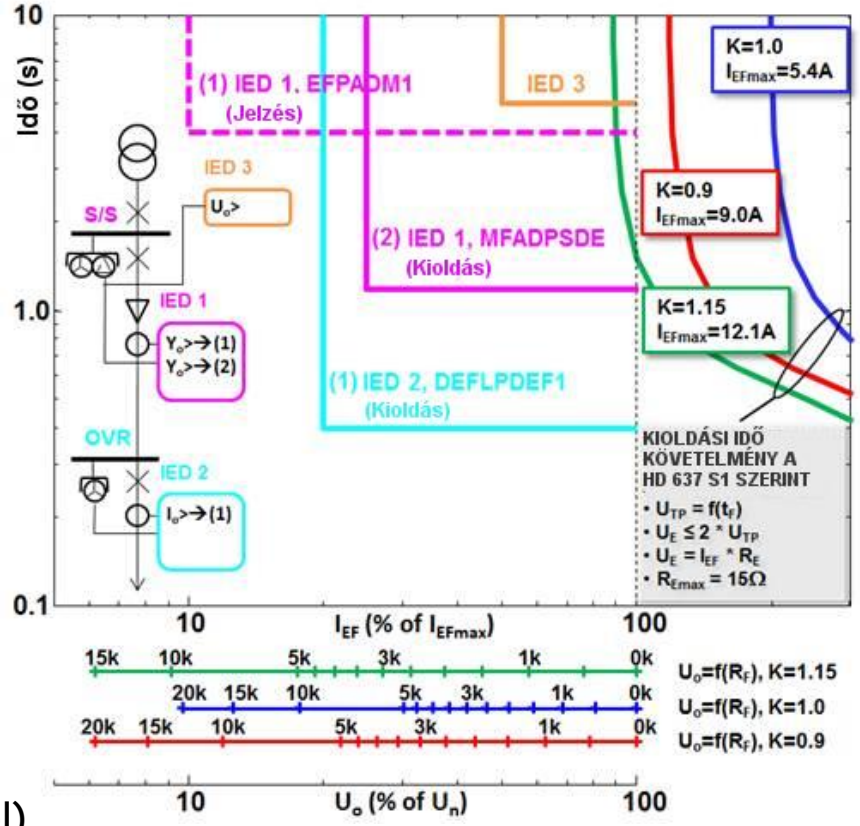
KÜÁ: Ugyanúgy történik, mint eddig:

- Áramnövelő ellenállás bent
- Védelmek önidővel
- Nincs szükség bonyolult, több készülék összehangolását igénylő kalibrációra

Retrofit: Felújítások során a régi és az új megoldás képes egymás mellett üzemelni, a kisebb áramnövelés időben elhangolva, korábban történik. (hasonlóan az additív tekercses megoldás esetében javasolthoz.)

Aláosztott védelmek, zárlatjelzők:

- Zárlatjelzők irányított földzárlatvédelemmel. (Admittancia-elv nem feltétel)
- Mérések: Szenzorok mérőtranszformátorok helyett -> A szenzoros technológia lineáris karakterisztikájának és biztonságosságának köszönhetően különösen alkalmas elosztóhálózaton szekunder alállomásokban, vagy oszlopkapcsolókon való alkalmazásra.



ABB