

## TARTALOMJEGYZÉK

### II. KÖTET VILLAMOS VÉDELEM ÉS AUTOMATIKA

11	Villamosenergia-rendszer hibáinak áttekintése.....	7
11.1	Túlterhelés .....	8
11.2	Aszimmetria .....	8
11.3	Frekvencia-rendellenességek és harmonikusok.....	9
11.4	Feszültség-rendellenességek.....	10
11.5	Zárlatok.....	10
11.6	Szakadások.....	12
11.7	Stabilitási rendellenességek.....	12
12	A védelmi rendszerrel szembeni követelmények .....	14
12.1	A VER megbízhatósága és a védelem-technika.....	14
12.2	A védelmek képessége.....	15
12.3	A villamosenergia-átvitel alapkövetelményei a védelmi funkciókkal szemben.....	15
12.3.1	Szelektivitás.....	15
12.3.2	A védelmek gyorsasága.....	17
12.3.3	Védelmek érzékenysége.....	18
12.3.4	A védelmek egyszerűsége .....	19
12.3.5	A védelmek gazdaságossága .....	19
12.4	A modern védelmekkel szembeni rendszer-követelmények.....	19
13	Védelmi algoritmusok.....	21
14	Védelmek érzékelőelemei .....	22
14.1	A védelmi rendszerek érzékelési alapelvei .....	22
14.1.1	Pillanatérték érzékelés.....	22
14.1.2	Effektívértékmérés (TRUE-RMS).....	23
14.1.3	Egyenirányított középértékmérés .....	24
14.1.4	Két villamos mennyiséget feldolgozó mérési elvek .....	25
14.1.5	Hányados érzékelők, mérlegelv és szögmérési elv.....	25
14.1.6	Fázisszögrelék.....	26
14.1.7	Mérleg-elvű impedancia mérés.....	29

14.1.8	Impedancia mérési algoritmusok digitális védelmekhez .....	31
14.2	A relék fogalma, feladata és alapvető jellemzői .....	32
14.2.1	A relék osztályozása .....	33
14.3	Elektromechanikus védelmek .....	35
14.3.1	Elektromágneses relék váltakozó áramú alkalmazásokban .....	38
14.3.2	Az indukciós relék működési elve .....	40
14.3.3	Speciális érzékelésű védelmek .....	43
14.4	Elektronikus védelmek .....	45
14.4.1	Elektronikus relék alapkapcsolásai .....	46
14.4.2	Tápegységek .....	50
14.4.3	Kimeneti egységek-parancsadó szervek .....	51
14.4.4	Elektronikus védelmek konkrét megvalósításai .....	52
14.5	Digitális védelmek .....	64
14.5.1	Az A/D átalakítók főbb jellemzői .....	66
14.5.2	A multiplexer (MUX) és a mintavevő-tartó (S/H) .....	66
14.5.3	Numerikus védelmi algoritmusok .....	67
14.5.4	R-L modell .....	68
14.5.5	Fourier módszer .....	69
14.5.6	Numerikus védelmek hálózatba szervezése állomásokban .....	70
14.5.7	Digitális védelmek ETHERNETES hálózati felépítése .....	72
14.5.8	Az IEC61850-es szabvány felépítése, tartalma .....	73
14.5.9	Funkciók és logikai csomópontok .....	74
14.6	Késleltetett túláramvédelmi rendszerek .....	74
14.6.1	A túláram-idő védelmek (TIV) .....	75
14.6.2	Áramlépcsőzés kialakítása .....	75
14.6.3	Független késleltetésű karakterisztika .....	77
14.6.4	Áramtól függő késleltetésű karakterisztika .....	78
14.7	Különbözetiélvű védelmek .....	80
14.7.1	A DiV működési karakterisztikái .....	82
14.7.2	A transzformátor-differenciálvédelem karakterisztikája .....	86
14.7.3	Többágú különbözeti kapcsolások .....	88
14.7.4	Segédkábeles szakaszvédelem .....	89
14.7.5	A nagyfrekvenciás szakaszvédelem elve .....	91
14.7.6	Keresztkülönbözeti védelmek .....	92

.....31		
.....32		
.....33		
.....35		
.....38		
.....40		
.....43		
.....45		
.....46		
.....50		
.....51		
.....52		
.....64		
.....66		
.....66		
.....67		
.....68		
.....69		
.....70		
.....72		
.....73		
.....74		
.....74		
.....75		
.....75		
.....77		
.....78		
.....80		
.....82		
.....86		
.....88		
.....89		
.....91		
.....92		
14.8	Impedancia mérési elvű védelmek.....	93
14.8.1	A távolsági védelem elve és felépítése.....	93
14.8.2	Impedanciamérés egyfázisú zárlati áramhurokban.....	96
14.8.3	Kétfázisú zárlat hibatávolságának mérése.....	97
14.8.4	Az impedanciamérés torzulásai.....	98
14.8.5	A távolsági védelmek indítása.....	100
14.9	Egyéb elven működő védelmek.....	101
14.10	A védelmek összefüggő rendszerének kialakítása.....	101
14.10.1	A védelmek szükséges érzékenysége.....	101
14.10.2	A védelmek elhangolása a terhelési áramoktól.....	101
15	Hálózati automatikák.....	104
15.1	Visszakapcsoló automatikák.....	104
15.1.1	Egyfázisú visszakapcsoló automatika (EVA).....	106
15.2	Átkapcsoló automatikák.....	107
16	Alállomási védelmek.....	111
16.1	Transzformátorok védelmi rendszere.....	111
16.1.1	Túláramvédelem.....	113
16.1.2	Túlterhelés-védelem.....	114
16.1.3	Gázvédelem.....	114
16.1.4	Differenciálvédelem.....	116
16.1.5	Zérussorrendű hibaáram kiszűrése.....	119
16.1.6	Túláramvédelem.....	120
16.2	Gyűjtősínvédelmek.....	120
16.2.1	Természetes gyűjtősínvédelem.....	120
16.2.2	Önálló, váltakozóáram-összegező különbozeti sínvédelmek.....	121
16.2.3	Egyenáramú, logikai különbozeti védelmek.....	123
16.3	Megszakító beragadási védelem.....	124
16.4	A frekvencia csökkenésére működő fogyasztói korlátozás.....	125
16.5	Autonóm zárlati túláramvédelem (AZT).....	128
17	Erőművi védelmek.....	129
17.1	Generátor védelmek.....	129
17.2	Generátor-funkciók részletes leírása.....	130
17.2.1	Differenciálvédelmek.....	130
17.2.2	Túláramvédelmek a KDV-ben.....	131

17.2.3	Feszültségcsökkenési emlékeztető túláramvédelem.....	131
17.2.4	Feszültség-emelkedési és -csökkenési védelem .....	131
17.2.5	Impedanciavédelem.....	132
17.2.6	Túlterhelés-jelzés.....	132
17.3	Generátor gerjesztés-kimaradási védelme (GGV).....	134
17.4	Generátor visszteljesítmény- (visszwatt-) védelme.....	135
17.5	Frekvencia-növekedési és -csökkenési védelem .....	135
17.6	Menetzárlatvédelem .....	137
17.7	Negatív sorrendű védelem.....	138
17.8	Generátor állórész-testzárlatvédelem (GTV) .....	138
17.8.1	50 Hz-es állórész-testzárlatvédelem .....	138
17.8.2	Harmadik harmonikus állórész-testzárlatvédelem .....	140
17.8.3	Kis generátor zérus sorrendű állórész-testzárlatvédelem.....	140
17.9	Generátor forgórész-testzárlatvédelem (FFZ).....	140
17.9.1	Nem földelt forgórész testzárlatvédelme .....	140
17.9.2	Középen földelt forgórész testzárlatvédelme (FFZK) .....	141
17.10	Kioldó áramkör ellenőrzése.....	142
17.11	Generátor-gyorsrágerjesztő automatika (GRA).....	142
17.12	Generátor-szinkronozó automatika.....	142
18	Mérőváltók üzemi kérdései .....	143
18.1	A feszültségváltók hibái .....	144
18.2	Zérusorrendű feszültségváltók .....	146
18.3	Nagyfeszültségű -kaskád- feszültségváltók.....	147
18.3.1	Kapacitív FV .....	148
18.4	Áramváltók.....	149
18.5	Új típusú áramváltók-Novell Instrument Transformers .....	156

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Ezennel köszönetet szeretnék mondani Sándorfalvi György kollégámnak és Nádházi Judit valamint Kis Kéri Tünde hallgatóimnak a jegyzet elektronikus összeállításában nyújtott segítségükért. Külön köszönet illeti Nagy Attila villamosmérnököt (volt hallgatómat), aki az ábrák számítógépes elkészítésében és szerkesztésében segítségemre volt. Hálás vagyok Barlangi Attila kollégámnak a jegyzet lektorálásában nyújtott gondos és aprólékos szakmai munkájáért.

## 11 VILLAMOSENERGIA-RENDSZER HIBÁINAK ÁTTEKINTÉSE

A villamosenergia-rendszer feszültsége háromfázisú, ezért lényeges követelmény a három fázis mennyiségeinek szimmetrikus volta. Ez a rendszert fizikailag felépítő elemekre (generátorok, transzformátorok, távvezetékek, fogyasztói rendszerek), valamint a jellemző villamos mennyiségekre (feszültség, áram) áll fenn. A villamosenergia-rendszer alapvető célja a villamosenergia-felhasználók - fogyasztók - folyamatos ellátása minőségi villamos energiával. A folyamatosság azt jelenti, hogy a villamos energia a fogyasztó vételezési helyén időben állandóan rendelkezésre áll. Ez azonban csak bizonyos kompromisszumok árán lehetséges. A villamosenergia-szolgáltatás két fontos minőségi paramétere a frekvencia és a feszültség. A frekvencia névleges értéke a magyar villamosenergia-rendszerben 50 Hz. A megengedett eltérésekre közvetlen szabvány előírás nincs, bizonyos útmutatásokat az MSZ 23000/1 tartalmaz. A feszültség névleges értékét az MSZ 1 írja elő. A névleges feszültségtől való megengedett eltérések az alábbi táblázatban láthatók. Így például 0.4 kV-on 7.5 %-os eltérés a megengedett, 120 kV-on +15 és -10%, 400 kV-on ahol a szigetelési követelmények szigorúak +5% és -10%. A villamosenergia-rendszert üzeme során különböző külső és belső hatások, igénybevételek érik. Ezek különböző módon kihatnak a villamosenergia-ellátás folyamatára, zavarva, ill. veszélyeztetve a folyamatban részt vevő elemek működését.

A villamos energia rendszer (VER) védelem-technikai feladata a villamosenergia-rendszer rendellenes üzemállapotának megszüntetése. A rendellenességek között legsúlyosabb veszélyt a rövidzárlatok jelentik, ezért a védelmi berendezések döntő többsége a rövidzárlatok megszakítására szolgál. A védelmek feladata továbbá a nem földelt csillagpontú hálózatok földzárlatainak jelzése, esetleg lekapcsolása, az egyes hálózati elemek túlterhelésének, felmelegedésének korlátozása jelzéssel vagy közvetlen beavatkozással, a háromfázisú rendszer aszimmetrikus állapotának érzékelése, a feszültség vagy a frekvencia rendellenes értékének észlelése stb. A helyesen megoldott védelem működése figyelembe veszi a rendellenesség által keltett veszélyt, és a beavatkozás módja ahhoz illeszkedik. Így a rövidzárlatok elleni védelemnek gyors működéssel kell megakadályoznia a hibahely súlyos sérülését, a zárlati áram által igénybevett elemek (generátorok, transzformátorok, vezetékek) túlzott felmelegedését, s ugyanakkor működésének kiválasztó képesnek (szelektívnek) kell lennie, hogy az energiaszolgáltatásból kényszerűen kikapcsolt berendezések terjedelme az elkerülhetetlen minimumra korlátozódjék. A gyors és szelektív rövidzárlat-védelem nemcsak a berendezéseket, hanem az emberi életet is védi. Olyan rendellenességeknél viszont, ahol a veszély csak huzamosabb fennállás után következik be, a védelem kellő időben történő jelzéssel módot kell, hogy adjon az irányító személyzet beavatkozására. A rendellenességek e nagy csoportjába tartoznak a viszonylag lassú túlmelegedést előidéző állapotok (túlterhelés, aszimmetrikus terhelés). Ezeknél is sor kerül azonban önműködő beavatkozásra, ha a rendellenességet - annak kezdeti szakaszában - a személyzet nem szüntette meg.

Tehát a zavaró hatások a következők lehetnek: *túlterhelések, aszimmetriák, frekvencia-rendellenességek, feszültség-rendellenességek, harmonikusok, zárlatok és szakadások, bekapcsolási jelenségek és lengések.*

Feltételezve, hogy normál üzemi állapotban a villamosenergia-rendszer kielégíti a folyamatos, szimmetrikus, minőségi villamosenergia-szolgáltatás követelményeit, a zavaró hatások a rendszerben bekövetkező hibák, ill. a helytelen üzemeltetés következményei. Tekintsük át egyenként a hibaállapotokat:

## 11.1 Túlterhelés

Jelentkezhet motorikus fogyasztónál, transzformátoroknál és átviteli vezetéken és kábelben egyaránt. A túlterhelés jelensége egy motorikus fogyasztói berendezésnél azt jelenti, hogy a mechanikai oldalon túlterhelt villamos motor a hálózathoz fűzve, névlegesnél nagyobb teljesítmény, azaz a nagyobb áramerősség miatt megnövekedett Joule-veszteség következtében túlmelegszik, majd egy idő után leég. Általánosítva azt mondhatjuk, hogy ha egy fogyasztói körzet terhelési viszonyai meghaladják a körzetet ellátó transzformátor, távvezeték névleges átvivő képességét, akkor az túlterhelődik. Keletkezhet úgy is túlterhelés a nagyfeszültségű hurok hálózati elemekben, ha a villamos energiát szállító, egymással párhuzamosan kapcsolt elemek közül bizonyos számú kikapcsolódik. Ilyenkor az üzemben maradó elemek terhelése megnövekszik, ami az egyes elemek túlterhelésére vezethet. A generátorok túlterhelésére vezethet a termelés és fogyasztás egyensúlyának megbomlása. A túlterhelés ellen védekezni kell, mert a tartósan túlterhelt berendezés károsodik, meghibásodik. Ennek elkerülésére az elemeket túlterhelés elleni védelemmel kell ellátni. A túlterhelés, ill. közvetve túlterhelésre visszavezethető zavarok (aszimmetriák, harmonikusok hatásai) mint termikus hatás veszélyeztetik az egyes elemek üzemét.

A Joule-törvény értelmében:

$$Q = \int_0^t I^2 R dt$$

ahol  $Q$  a keletkezett hőmennyisége,  $I$  áramerősség,  $R$  a vizsgált elem ellenállása (Ohmban kifejezve),  $t$  a hatás ideje. Mivel az áramerősség túlterhelés esetén a névleges áramot csak kevéssé haladja meg - 10-30%-al-, sőt a korlátozott idejű, kisebb túlterhelés megengedett is, felléptekor általában nem szükséges azonnali beavatkozás. Túlterhelést szükség esetén a rendszer üzemének fenntartása vagy a fogyasztók folyamatos energiaellátása céljából a megengedett mértéken felül is fenntartanak, ez azonban már bizonyos mértékű élettartamcsökkenést okozhat az érintett elem életében. A transzformátorokban és villamos forgógépekben az időszakos túlterhelések a szigetelőanyagok öregedését gyorsítja fel. Távvezetéseknél a túlterhelések ronthatják a vezetőanyag szilárdsági jellemzőit. Nagymértékű túlterhelés, azaz nagyobb termikus igénybevétel esetén külön intézkedés szükséges. Ezt hajtják végre a különböző túlterhelés védelmi eszközök (biztosító, kismegszakító, hőkioldó, megkülönböztetés a védelemtechnika egyik igen nehezen megoldható feladata. A túlterhelési viszonyok sokszor olyan feszültség-áram szinteken vannak, mint pl. egy távoli zárlat. Ilyenkor rutinemegoldással a helyzet általában nem tisztázható.

## 11.2 Aszimmetria

Aszimmetria jelentkezhet áramerősségben, feszültségben vagy mindkettőben. Előidézhethető fogyasztó aszimmetrikus terhelése (egyfázisú fogyasztók), ill. a villamosenergia-rendszer normál üzemében fellépő olyan zavar vagy kikapcsolás, amely nem azonos módon érinti mindhárom fázis mennyiségeit. Az aszimmetrikus üzem jellemzője a negatív és zérus sorrendű mennyiségek megjelenése, amely járulékos veszteségeket, azaz melegedést, vagyis túlterhelést okozhat a rendszer elemein. Szükség esetén védekezni kell ellene (pl. generátoroknál a negatív sorrendű áramerősség a forgórészt veszélyesen felhevíti). A villamos motoros hajtások egy fázis feszültségének kimaradásakor vagy hiányakor (pl. egyik fázis biztosítója kiolvad) a motor a két ép fázison keresztül kívánja teljesítményét a hálózathoz

felvenni, ami e fázisok túlterhelését, a hálózat szempontjából annak aszimmetrikus terhelését jelenti. A káros következmények megelőzhetők az említett túlterhelés-védelem alkalmazásával. Korszerű szinkron generátorok esetén - azok érzékenysége miatt - a negatív sorrendű áramerősség jelenlétét külön érzékelni kell, és adott szint elérése esetén a generátort ki kell kapcsolni. Az aszimmetria problémája kisfeszültségű hálózatokban is jelentkezik, mivel ott jellemzően egyfázisú fogyasztók vannak jelen és nem garantálható azok együttesen vett szimmetrikus viselkedése a fázisok vonatkozásában. Ez egyrészt jelentős többletvesztéssel jár ( $I^2R$ ) másrészt az ott lévő védelmek is hibásan adhatnak kioldást.

### 11.3 Frekvencia-rendellenességek és harmonikusok

Frekvencia eltérés részben, mint a névleges frekvenciától való állandó eltérés, részben, mint a stabilitás megbomlásából adódó lengés fordulhat elő. Ha a villamosenergia-termelés és -fogyasztás tartósan, de kismértékben tér el egymástól, akkor az üzem a névlegestől eltérő frekvencián állandósul. Teljesítménytöbblet esetén a frekvencia nő, teljesítményhiány esetén csökken. Adott tűréshatáron belül ez nem okoz gondot. Rendszerszinten, kellő forgótartalék esetén nagyobb mértékű frekvencianövekedés helyes beállítású erőművi turbinaszabályzók és megfelelő szabályozás esetén nem állhat elő. Ha a termelés és fogyasztás egyensúlya megbomlik, és a rendszer teljesítményhiányos lesz, akkor a frekvencia olyan kis értéken állandósulhat, hogy az a további stabil üzemet veszélyeztetheti. Ha az egyensúly úgy bomlik meg, hogy egy gépegység vagy erőmű elveszti kooperációs kapcsolatát, akkor a terhelés nélkül termeléstöbblettel együtt maradt gépek megszaladhatnak, azaz megnő a gépcsoport fordulatszámja és a villamos oldal frekvenciája. Indokolt lehet a teljesítményhiányos oldalon, a frekvenciacsökkenésre leszakadt erőműrésznél frekvencianövekedésre induló védelmi rendszert telepíteni. Azt lehet mondani, hogy a frekvencia pillanatértéke a legfontosabb paraméter, ami az energiarendszereket jellemzi. A terhelési állapot hirtelen létrejövő változása vagy egy elem váratlan kiesése a stacioner üzemet megváltoztatja. Az új egyensúlyi állapot átmeneti jelenségek, lengések után áll be. E lengések az új egyensúlyi állapotnak megfelelő frekvencia körül alakulnak ki, és az átmenet időszakában a rendszer egyes részeinél tranziens frekvencianövekedést, ill. -csökkenést okozhatnak, és veszélyeztetik a rendszer stabilitását. Frekvencia-rendellenesség, mint az együttműködő rendszer hibája fordulhat elő. Kismértékű frekvenciaeltérés a szinkron gépek, szinkron órák fordulatszámának megváltozását okozza. Nagyobb mértékű eltérés - gyakorlatban csökkenés - a motoros fogyasztók szállítási teljesítményét jelentősen csökkenti, súlyos esetben pl. az erőművi segédüzemek túlterhelésére, azaz kiesésére vezethet. Ez lavinajelenséget idézhet elő, hiszen tovább romlik a termelés és fogyasztás egyensúlya. A frekvencia helyreállítása céljából súlyosabb esetben kézi vagy automatikus kikapcsolásokat kell megvalósítani a stabil üzem helyreállítása érdekében.

A fogyasztói összetétel megváltozásával jelentősen megnövekedett a nem-lineáris volt-áramerősség karakterisztikájú fogyasztás arány és ezzel az áramok harmonikus tartalma (0.4 kV-os hálózaton akár 40-80%-os harmonikus tartalommal is lehet számolni). A harmonikus áramok a hálózati impedanciákon többlet harmonikus feszültségeséseket idéznek elő, amely bizonyos feltételek között a hálózati feszültség jelentős (3-8%-os) torzulásához vezethetnek. A harmonikusok jelenléte a rövidzárlatok érzékelését nem tudják befolyásolni, mivel a zárlati áramok nagyságrendekkel nagyobbak, mint a harmonikus összetevők. Ugyanakkor például a földzárlatos állapotban KÖF hálózaton, már összemérhetők a harmonikus áramok és az Ff-áram maradék részei. A korszerű digitális védelmek magasabb matematikát alkalmaznak és általában valamilyen frekvenciaspektrumot mérnek. Bizonyos üzemi állapotokban figyelembe kell venni ezek szintjét.

Egyes berendezések, mint a villamos motorok és a fázisjavító kondenzátorok érzékenyek a harmonikusáramokra, mivel azok extra magas melegedéseket okozhatnak. Külön kell gondoskodni ezek érzékeléséről és adott esetben a berendezést le kell kapcsolni, mivel a harmonikusok azt tönkre tehetik. Például egy 8%-os feszültségbeli 5-dik (250 Hz) harmonikus 1.3  $I_n$ -nél nagyobb áramot kelt a kondenzátorban, ami annak tönkremenetelét okozza már!

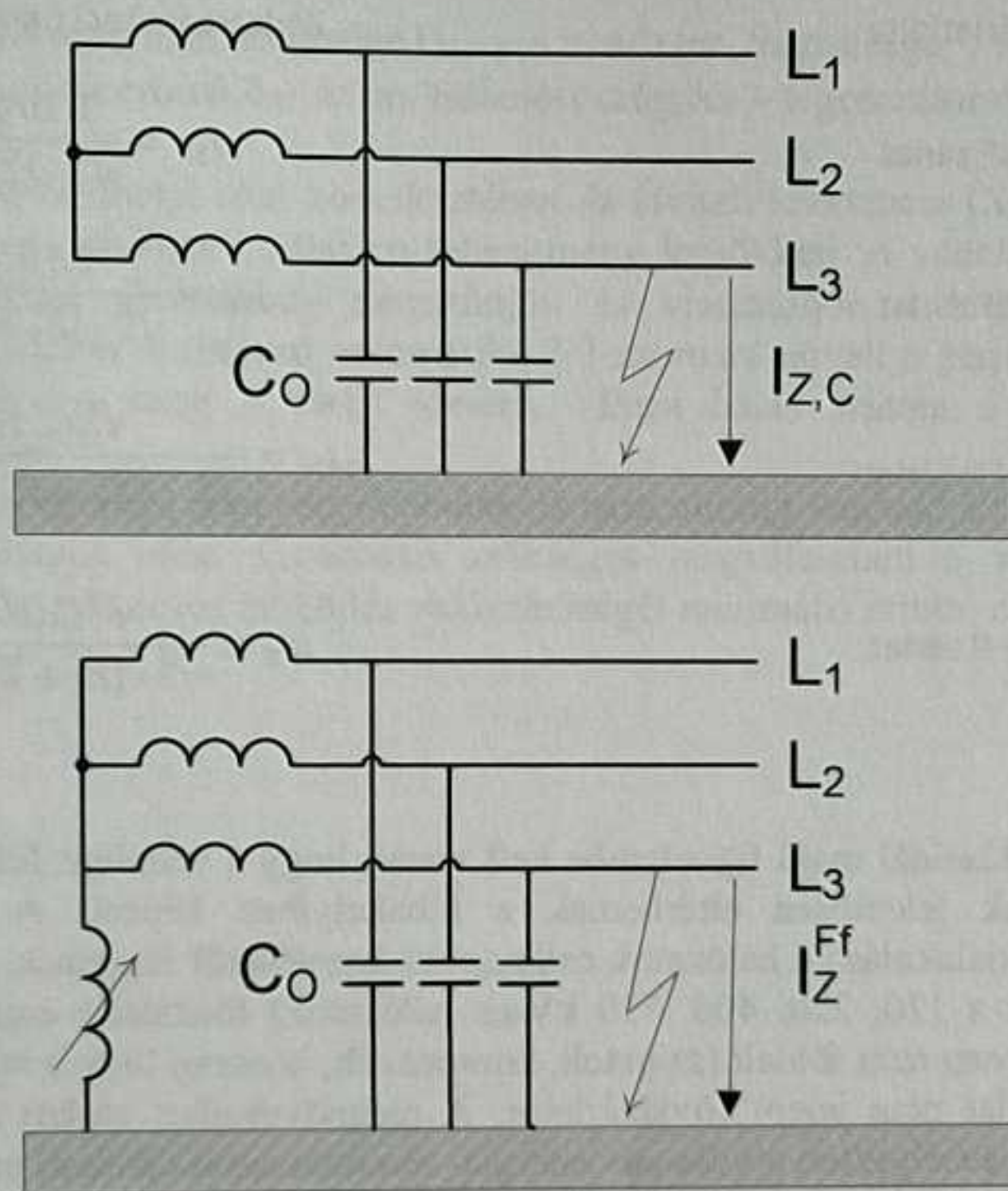
#### 11.4 Feszültség-rendellenességek

A villamosenergia-rendszer üzeme, ill. üzemzavara során a szabványos megengedett tűréseket meghaladó feszültségértékek alakulhatnak ki. Ezek lehetnek légköri eredetű túlfeszültségek, kapcsolási túlfeszültségek, rezonáns túlfeszültségek, a meddő-egyensúly megbomlása és helytelen üzemi szabályozás következménye. A túlfeszültségek a névleges feszültséget többszörösen meghaladó igénybevételt jelenthetnek a villamosenergia-rendszer elemeire. A meddő-egyensúly megbomlása vagy a helytelen üzemi szabályozás miatt keletkező feszültséghatár-túllépés, mint a névleges feszültség környezetében előforduló eltérés jelentkezik. Mivel ez tartósan meghaladhatja a névleges értéket, így az egyes elemek károsodását okozhatja; másrészt a kialakuló tartós alacsony feszültség szint azonos átvitt teljesítmény esetén az egyes elemek túlterhelésére vezethet, és ez a fogyasztók üzemét megzavarhatja. Feszültséghatár-túllépés két egymástól jól elkülöníthető feszültségtartományba eső feszültségek előfordulását jelenti. Egyik tartomány a névleges feszültséget többszörösen meghaladó túlfeszültségek tartománya - amelyeket korlátozni kell, vagy le kell vezetni rendszerelemek szigeteléskárosodásának elkerülése céljából. Erre szolgál a túlfeszültség-védelem. Jelen jegyzet keretei között a túlfeszültség korlátozással nem foglalkozunk. A másik tartomány az üzemvitel során a névleges feszültség megengedett tűrési sávjait túllépő feszültségértékek tartománya. Ez általában nem jelent közvetlen, azonnali veszélyeztetést a rendszer elemeire, de gyors intézkedéseket követel a normál tartományba tartozó feszültség helyreállítása. Erre szolgál az üzem alatti feszültség szabályozás és a meddőgazdálkodás, beleértve nagyfeszültségen a generátoros és söntfójtós meddőnyeletést is. A védelmek egy részénél a feszültség szint változása meghibásodásra utal. Annak jelentős csökkenése rövidzárlatra, míg emelkedése a nem földelt csillagpontú hálózatokban lehet számottevő. Mindkettő jelenség felhasználható a védelem technikában - általában nem önálló védelemként, hanem kiegészítő egységként (lásd később feszültséggel retesztelt védelmek, Ff - védelmi rendszer)

#### 11.5 Zárlatok

Zárlatnak nevezik azt a jelenséget, amikor a hálózatnak vagy két üzemszerűen eltérő feszültségű pontja egymással, vagy egy pontja a földdel közvetlen kapcsolatba kerül. Ily módon lehetnek fázis-földzárlatok, fázis-fázis zárlatok és villamos gépekben előfordulhatnak egyszerűen zárlatokra osztani. A zárlatokat még szokás rövid zárlatokra (short circuit) és meg. Akár néhány 10 kA is. A legismertebb rövidzárlatok a 3F, 2F, 2FN és az FN típusok. De generátorok tekercseiben. Jelentős mennyiségű hálózat működik szigetelt, kompenzált vagy hosszúföldelt üzemben a csillagpont kezelés szempontjából. Ezekre jellemző, hogy az egyfázisú földérintéses zárlatok a névleges áramoknál kisebb áramok alakulnak ki. A

védelemtechnika egyik legproblematisabb területe szigetelt vagy kompenzált hálózatok egyfázisú zárlatai (11.1 ábra).



11-1. ábra Zárlat szigetelt és kompenzált hálózatokban

Ahol a kialakuló kapacitív jellegű áram:  $I_{CE} = \sqrt{3}j\omega C_E U_n$ . Az  $L_d$ -jelű kompenzáló tekercs által a zárlati helyen csak egy maradék áram folyik. A tekercs árama

$$I_d = \frac{U_f}{\omega} \cdot L_D. \text{ Az automatikus szabályozás által } I_d \sim I_{CE}.$$

Jelenleg külön problémát okoz a kompenzált hálózatok maradék áramában megjelenő harmonikusáramösszetevő, amely következtében a maradék áram 12-16A is lehet. Ez érintésvédelmi problémákat vet fel a KÖF szabadvezeték hálózat üzemeltetésénél. Ha a hálózatrész a földdel szorosan csatolt (legalább egy pontján közvetlenül földelt), akkor földzárlat esetén is igen nagy zárlati áram folyik, nagysága  $I_{FN} = (1 \dots 10) \cdot 10^3$  A. Akár földelt, akár szigetelt a rendszer a földhöz képest, a különböző feszültségű vezetékek között keletkező zárlatok mindig nagy áramerősség kialakulását okozzák. E zárlatokat rövidzárlatnak is nevezzük.

Alább láthatjuk összefoglalóan a 3F, 2F, 2FN és FN zárlatjellemző zárlat-számítást a hibahelyen:

Zárlatfajta	Zárlatszámítási összefüggés
3F zárlat	$I_{3F} = \frac{1.1U_N}{\sqrt{3} \cdot  Z_1 }$
2F zárlat	$I_{2F} = \frac{1.1U_N}{\sqrt{3} \cdot  Z_1 + Z_2 }$
2FN zárlat	$I_{2FN} = \frac{\sqrt{3}(1.1U_N)}{\sqrt{3} \cdot \left  Z_1 + Z_0 + Z_0 \left( \frac{Z_1}{Z_2} \right) \right }$
FN zárlat	$I_{FN} = \frac{\sqrt{3}(1.1U_N)}{\sqrt{3} \cdot  Z_1 + Z_2 + Z_0 }$

A védelmek beállításainál majd figyelembe kell venni, hogy a védelem felszerelési helyén a zárlati vektorképek jelentősen eltérhetnek a hibahelyihez képest. A földzárlatok, ill. földrövidzárlatok kialakulása a hálózatok csillagpont kezelésétől függenek. Hatásosan földelt hálózaton (ilyenek a 120, 220, 400, 750 kV-os hálózatok) földzárlat esetén is rövidzárlati áram folyik, hatásosan nem földelt (szigetelt, kompenzált, hosszan földelt stb.) hálózaton (1...35 kV) a földzárlat nem jelent rövidzárlatot. A megnövekedett zárlati áram termikus és dinamikus hatása veszélyezteti a villamos energia-rendszer azon elemeit, amelyeken a zárlati áram teljes mértékben vagy részben átfolyik. A zárlatok - fajtájuktól függően különböző módon - csökkentik az együttműködő villamosenergia-rendszerben átvihető teljesítményeket, azaz befolyásolják és veszélyeztetik a rendszer stabilitását.

## 11.6 Szakadások

A villamosenergia-rendszer kapcsolódó elemeinél előfordulhatnak folytonossági, soros kapcsolódási hiányosságok, szakadások. Ilyen hiba lehet pl. vezetékszakadás, áramkötés leégése, megszakító vagy szakaszoló működésének elmaradása. Ezek a hiányosságok egy-, ill. kétfázisú szakadásként kezelhetők. A szakadás elrontja a hálózat szimmetriáját, teljesítmény, azaz nő a transzfer reaktancia, romlik a rendszer stabilitása. A szakadások részben túlterhelésként, részben a negatív sorrendű áramösszetevő jelenléte alapján érzékelhetők, ill. a rendellenes üzemállapot tényének felismerésével kiküszöbölhetők.

## 11.7 Stabilitási rendellenességek

A minőségi energiaszolgáltatás stabil üzemet feltételez, amely alkalmas a fogyasztói igények változásának követésére. Egy generátor stabil üzemének feltételei: a turbina által kifejtett teljesítmény ( $P_T$ ) és a generátor által a VER felé kibocsájtott teljesítmény ( $P_V$ ) mindenkori egyensúlya:

$$P_t = P_v, \text{ ahol } P_v = U_p U_h \frac{\sin \delta}{X_T}$$

ahol  $U_p$  – a generátor pólusfeszültsége,  $U_h$  – a rendszer feszültsége, ahová távvezetéken keresztül csatlakozik az erőmű,  $\delta$  – az ún. terhelési szög,  $X_T$  – a generátor és a rendszer közötti átviteli reaktancia.

A zárlatok során a hibahelyi sönt következtében az átviteli reaktancia ( $X_T$ ) megnövekszik, azaz a generátorból „kivihető” villamos teljesítmény lecsökken. A védelmek feladata, hogy ezen állapotot minél gyorsabban megszüntse és visszaálljon a teljesítményegyensúly. Egyidejűleg a gerjesztés szabályzó automatika 2-3-szorosra növeli a gerjesztési áramot, ami az  $U_p$  növekedéséhez vezet a zárlat idejére. Ezen hatás szintén a gép stabilitásának megőrzését szolgálja.

Összefoglalva a VER hibái igen nagyszámúak és nem mindig vonható éles határ a normál és az üzemzavari állapot közé. Gondosan szükséges megválasztani a védelem típusát és beállítását ahhoz, hogy a téves működés valószínűségét minimális szintre csökkentsük.

## 12 A VÉDELMI RENDSZERREL SZEMBENI KÖVETELMÉNYEK

### 12.1 A VER megbízhatósága és a védelem-technika

A VER megbízhatóságára annak összes eleme hatással bír. Különösen nagy jelentősége van az adott hálózati egységre vonatkozó védelmi stratégiának, az ott alkalmazott védelmi készülékek megbízhatóságának és az optimális védelmi beállításnak. Az alkalmazott védelmi-automatikai rendszerekkel szemben elvárás, hogy hibák esetében megbízhatóan működjenek, de ugyancsak elvárás, hogy amikor a védett szakaszon nincs, hiba a védelem megbízhatóan ne működjön, azaz ne jöjjön létre fölösleges kioldás. Azonban kijelenthető, hogy a védelmi működés elmaradásának általában súlyosabb következményei lehetnek. Az elegendő szintű megbízhatóság különböző feszültségszinten más és más. A legmagasabb szintű elvárás a nagyerművek (> 200 MW-os blokkok) esetében és a nagyfeszültségű (220-750 kV) alaphálózaton jelentkezik. Alacsonyabb megbízhatósággal számolnak a 120 kV-os főelosztóhálózaton, de itt is elég szigorú követelményekkel találkozhatunk. A középfeszültségű (KÖF) hálózatokon egy csökkentett elvárás jellemző, és kisfeszültségen (KIF) a legmérsékeltebbek a megbízhatósági elvárások.

Annak ellenére, hogy a védelmi készülékek megbízhatósága folyamatosan növekszik korszerű mikroelektronikai vívmányoknak és a beépített öndiagnosztikai funkcióknak köszönhetően, abszolút - 100%-os rendelkezésre állású megbízható védelmi készülékről nem beszélhetünk. Az elegendő szintű megbízhatóság csak egy vagy többszörös tartalékolással érhető el védelmi oldalon. Továbbá számolni kell a zárlathárítás eszközei közül az olyan elemek meghibásodásával, amelyek szintén a zárlathárítás meghiúsulásához vezethetnek: pl. mérőváltókori szakadás, megszakító KI-tekerics probléma vagy az akkumulátor telep hibája (+ 220 V működtető).

A védelem helyes működése elsősorban a rövidzárlatoknál döntő jelentőségű, ezért a védelmek működési elvét, tulajdonságait úgy kell megállapítani, hogy egy védelem vagy egy megszakító rendeltetésszerű működésének bármi okból történő elmaradása esetén is még létrejöjjön a rövidzárlat biztos megszüntetése. Adott rövidzárlatnál elsősorban működni köteles védelmeket alapvédelemnek, ugyanazon megszakítókra ható, az alapvédelmet szükség esetén pótló védelmet tartalék védelemnek nevezzük. Ha az alapvédelem meghibásodása, vagy az általa működtetett megszakító hibája miatt a szomszédos berendezések védelme szünteti meg a zárlatot, akkor fedővédelmi működésről beszélünk.

Helytelen védelmi működés a következő hibákra vezethető vissza:

- hibás tervezés/beállítás
- hibás üzembe helyezés/üzemeltetés
- a védelmi eszköz elhasználódása

A védelmi tervezés a legfontosabb tényező a megbízhatóság szempontjából. Az optimális védelmi stratégia és a megfelelő kapcsolás döntő jelentőségű a megfelelő működéshez. Ehhez megfelelő hálózati számítások végzése szükséges. Ismernünk kell olyan jelenségeket, mint a tranziens jelenségek és a mérőváltók viselkedése a tranziensek alatt. A megfelelő beállítás azt jelenti, hogy figyelembe vettük a VER primer elemeit, beleértve a

hibás és terhelési állapotokat valamint tranzienseket is –azaz a dinamikus jelenségeket. A VER-ben minden folyamatosan változik így a hálózatkép,terhelés stb. A védelmi beállításoknál ezek figyelembe veendőek.

Az üzembe helyezés mindenre kiterjedően kell, hogy történjen. A védelmek számos elemhez csatlakoznak: megszakítók, mérőváltók és irányítástechnikai berendezések. Olyan módszerek szükségesek, amely teljes körű vizsgálatot nyújt. A későbbiekben ezzel külön foglalkozunk. Ma már, mivel a védelmek gyakorlatilag számítógépes hálózatszerűen működnek, jelentős részt képvisel a különböző szoftveres üzeme behelyezés és ellenőrzés. A tesztelések végzésénél maximálisan törekedni szükséges arra, hogy a tényleges üzemi helyzetekre vizsgáljuk az üzembe helyezendő vagy üzemelő védelmet. Ez természetesen csak részlegesen oldható meg, ezért fontos a módszer és eszköz megválasztása. A védelmek elhasználódása folyamatos jelenség. A helyes üzembe helyezés mellett is megfigyelhető az elhasználódás. Így például a kontaktus kopások-beégések, túlfeszültségek miatt bekövetkező sérülések és az alkatrészek öregedése. Egy-egy védelmi működés között akár néhány év is eltelhet. Eközben bekövetkezhet meghibásodás. Ennek megelőzése periodikus felülvizsgálatokkal és ma már az igen kiterjedt öndiagnosztikai funkciókkal biztosítható. A modern mikroprocesszoros védelmekben ez teljes körűen megvalósítható.

## 12.2 A védelmek képessége

A védelmek működése statisztikai mutatókkal jellemezhetők. A megfelelő megszakító működtetése vagy annak elmaradása jellemzi a védelem teljesítményét. A védelmi működések megítélését megkönnyítik a hálózati hibák zavarirási lehetősége. Jellemzően minden hibánál több objektumon „indul” számos védelem. Viszont a helyes működést a ténylegesen megszakítókra kiadott „KI” jelenti.

Jellemzően a megfelelő megbízhatóság egy-egy eszközzel nem érhető el. Ehhez megfelelő tartalékolás- redundancia szükséges. Például ha egy védelemnek a meghibásodási valószínűsége  $0.001 = x$ , akkor a védelem kettőzésével már  $x^2 = 0.000001$  meghibásodási valószínűség adódik. Ezért terjedt el, hogy alaphálózaton a védelmeket egyenértékű alapvédelmekkel kettőzik.

## 12.3 A villamosenergia-átvitel alapkövetelményei a védelmi funkciókkal szemben

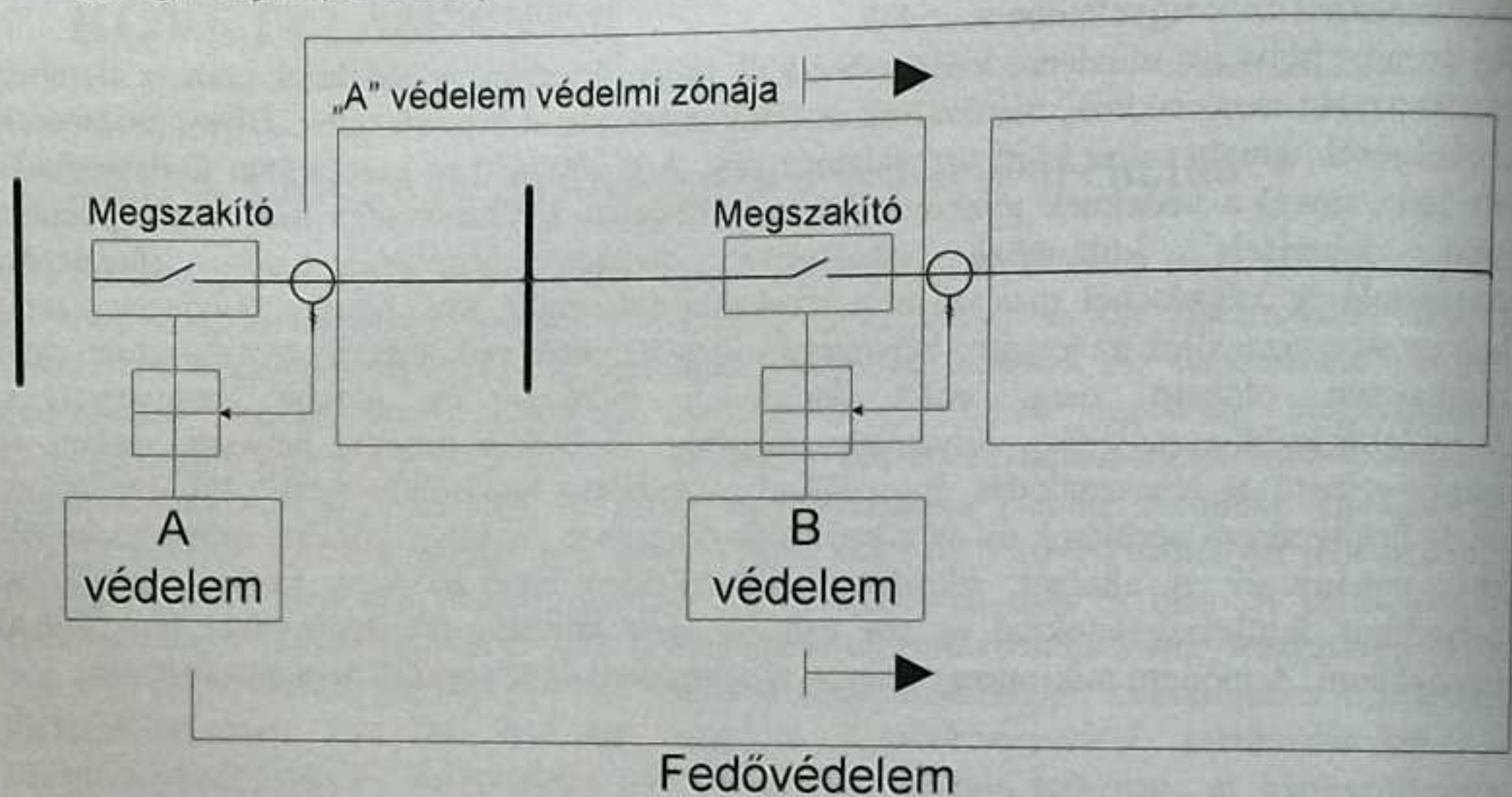
A védelmekkel szembeni követelmények határozzák meg a védelmi stratégiákat és az optimális elvek meghatározását.

### 12.3.1 Szelektivitás

Valamely zárlat esetén létrejövő védelmi működések összessége, azaz a zárlat megszüntetése akkor szelektív, ha annak eredményeként a lehető legkisebb terjedelmű hálózatrész válik feszültségmentessé. Sugaras hálózatokon szelektív védelmi működés esetén a fogyasztói kieséssel jár az elérhető minimum, míg hurkolt hálózat szelektíven lekapcsolt zárlata a fogyasztóknál nem okoz kiesést. A szelektivitás biztosítása a védelmi zónák megfelelő kialakításával történik.

Létezik az abszolút és a relatív szelektivitás fogalma. Az olyan védelem, amelyik csak a saját védelmi zónát védi, abszolút szelektív védelemnek nevezzük (pl. a differenciál, iv, gáz stb.).

A védelmi zóna alatt a legkisebb, megszakítókkal behatárolható berendezés, vagy hálózati részegységet értjük (12-1 ábra).

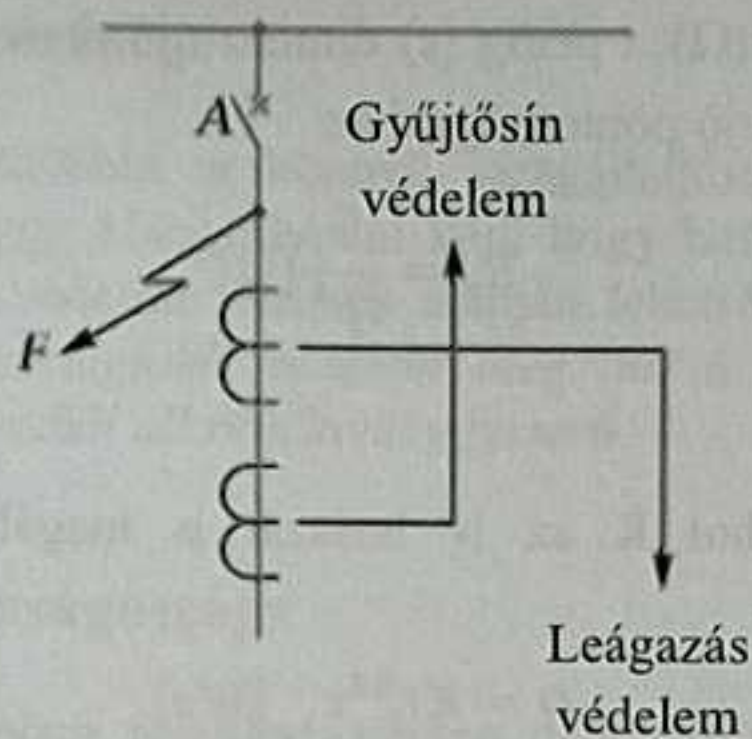


12-1. ábra Védelmi zóna fogalma

Védelmi zónának számíthat pl. egy távvezeték, vagy egy erőművi blokk a megszakítóig bezárólag. A legelterjedtebb túláram és impedancia érzékelésű védelmek általában érzékelik a szomszédos zónák eseményeit is, „indulnak rá”. Ezeknél a szelektivitás csak egyéb kiegészítő intézkedésekkel biztosítható (pl. időlépcsőzéses kiegészítés).

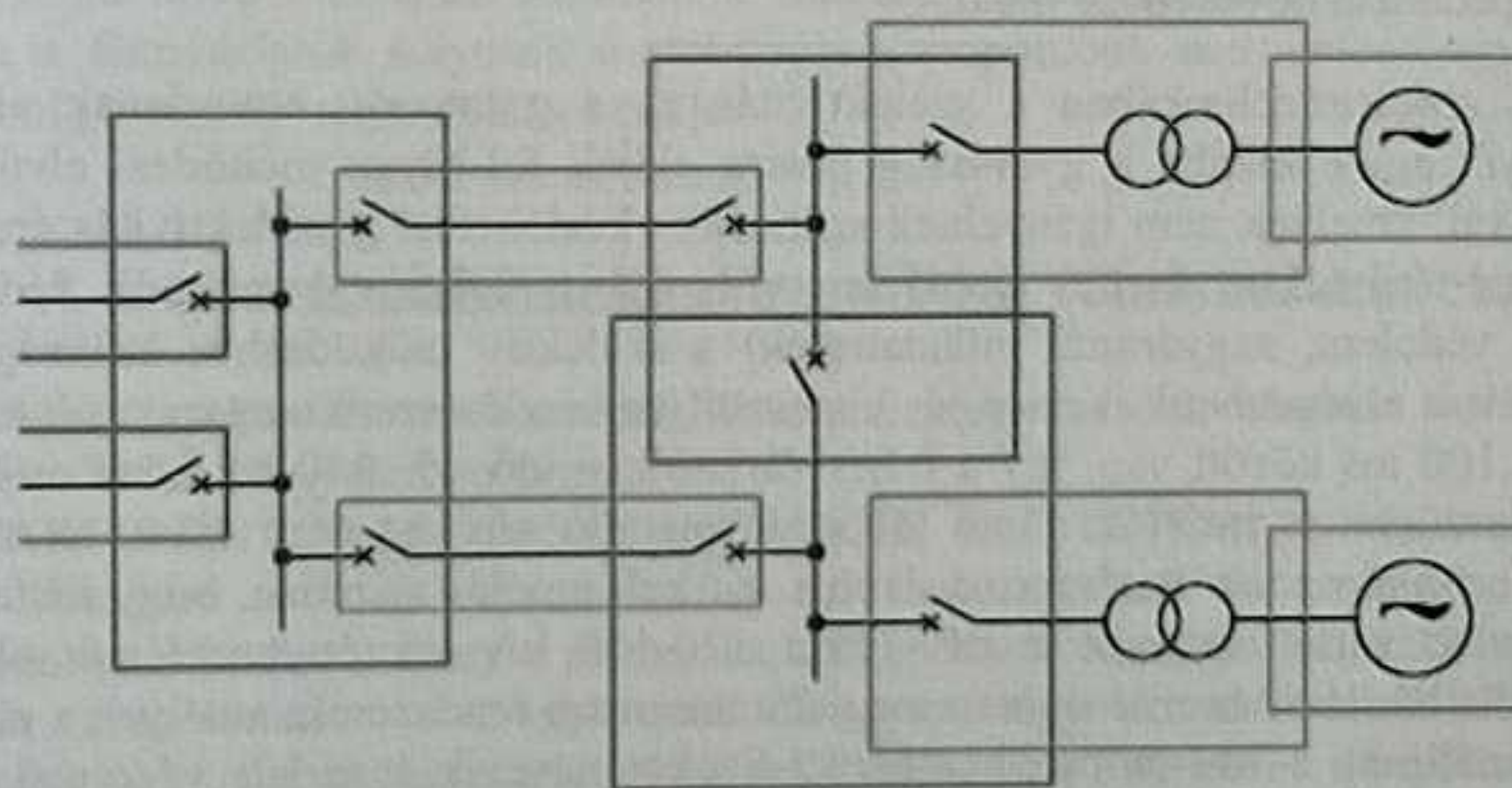
Ideális esetben a védelmi zónák egymást átfedik. Ilyenkor nem fordulhat elő, hogy védelem nélkül maradjon valamely pontja a VER-nek. Az alábbi ábrán azt láthatjuk, hogy a megszakítók egyidejűleg két zónához is tartoznak.

Az „ideális” állapot gyakran műszakilag és gazdaságilag nehezen érhető el. Így például ehhez szükséges lenne, hogy a megszakítók mindkét oldalára áramváltót építsünk be (12-2 ábra). Ilyen elrendezésnél nincs olyan pont, ahol zárlat esetében elmaradna a védelmi működés. A gyakorlatban az áramváltók elrendezése a(12-2.ábra szerint lehetséges. Azonban, ha például az F-pontban következik be a zárlat, akkor működik a gyűjtősínvédelem, de megmarad az F hibahely zárlati táplálása a leágazás másik vége felől. Ezen probléma például úgy oldható fel, ha védelmi szinkronozás van kiépítve a leágazás két végpontja között.



12-2 ábra Védelmi zónák fogalma

A védelmi zónákat jellemzően az áramváltók határozzák meg. Ma már jellemzően ún. mezővédelmek vannak, amelyek egy-egy védelmi zónát képeznek (12-3. ábra).



12-3. ábra Alállomási védelmi zónák

Így vannak komplex- generátor, távvezeték, gyűjtősín és távvezeték. Kialakításban a komplex védelmek egy-egyszekrénybe kerülnek elhelyezésre.

### 12.3.2 A védelmek gyorsasága

A zárlat megszakításának gyorsasága a korszerű energetika alapvető követelménye. A zárlat fennállása alatt a hibahely roncsolódik, a hozzávezető hálózati elemek hőmérsékletét pedig a zárlati áram négyzetével arányos Joule-hő az időtartammal egyenes arányban, gyorsan növeli.

A hibahelyi rongálódás erősebben függ a megszakítás gyorsaságától, mint a zárlati áram nagyságától. A zárlatok döntő többsége villamos íven át jön létre. Az  $R_{iv}$  ívellenálláson átfolyó  $I_z$  zárlati áram  $t$  idő alatt:

$$Q = I_z^2 R_{iv} \cdot t \quad [Ws]$$

hőt termel, ahol  $I_z$  (A),  $R_{iv}$  ( $\Omega$ ),  $t$  pedig (s) dimenziójú mennyiség. Mivel az ív ellenállása maga is az áram függvénye és jó pontossággal az

$$R_v = \frac{K}{I_z^{1.4}} [\Omega]$$

törvényszerűséget követi, ahol  $K$  az ív hosszát is magában foglaló állandó, ezért a behelyettesítés után

$$Q = KI_z^{0.6} t \quad [Ws]$$

összefüggés adódik, ami világosan rámutat a zárlati idő döntő szerepére.

A zárlati időknél különösen az alaphálózaton és az erőművekből kifutó átviteleknél igen nagy jelentőséggel bírnak, mivel a zárlat idején az erőműből „kihozható” teljesítmény lecsökken a transzfer impedancia növekedése miatt.

A korszerű védelemtechnikában a szelektivitás és a gyorsaság egymásnak ellentmondó követelményét egyre inkább a gyorsaság javára oldják fel olyan működési elvű védelmek alkalmazásával, amelyek nem igényelnek szándékos késleltetést a szelektivitás érdekében. A későbbiekben tárgyalásra kerülő ilyen, ún. villamos szelekcióval működő védelmek (pl. különbözeti védelem, nagyáramú pillanatrelék) a szelektív működéshez szükséges döntést 5...40 ms alatt is elvégezhetik. Közép- és kiefeszültségen a korszerű megszakítók kikapcsolási önideje 40...100 ms között van, így a teljes zárlatoltási idő 45...140 ms közé esik. Az ilyen gyorsan megszüntetett zárlatok döntő többsége maradó sérülést nem okoz, az automatikus vagy kézi visszkapcsolás rendszerint sikeres. Ki kell emelni azonban, hogy kiefeszültségen amegnövekedett zárlati áramok miatt – akár 120-150 kA szintén problémát okozhat az elhúzódo zárlathárítás. Ma már szintén megjelentek olyan rendszerek, amelyek a pusztító íves zárlatok fennállását 2-3ms-ra csökkenthetik. Ezeket nevezik ívzárlati védelmeknek. (Arc-Protection).

### 12.3.3 Védelmek érzékenysége

E fogalom azt jelenti, hogy adott védelem a feladataul kitűzött funkciót biztosan végre tudja hajtani akkor is, ha a zárlat fajtája, helye és az üzemállapot az érzékelés szempontjából a legkedvezőtlenebb. Számszerűen az érzékenységi tényezővel szokták kifejezni, amely az előbbi feltételek esetén érzékelt és a védelemreagáló elemén beállított működési küszöbérték hányadosa. Minimálisan megkívánt értéke 1,15...1,2. Azaz pl. a növekedést érzékelő védelmeket legalább 20%-al kisebbre kell, hogy tudjuk választani a legkisebb előforduló értéknél.

#### 12.3.4 A védelmek egyszerűsége

A megbízhatóságot növeli, továbbá a könnyű vizsgálhatóság és a részműködésekre is kiterjedő, maradó jelzésrendszer. Hangsúlyozni kell, hogy bonyolult üzemzavarok utólagos rekonstrukciója elsősorban a védelmi jelzések alapján lehetséges. Van egy régi védelmes mondás: *az olvadóbiztosító a legjobb védelem még ma is. Bonyolult egyetlen alapján működik, de mivel egyetlen elemből áll rendkívül egyszerű.*

#### 12.3.5 A védelmek gazdaságossága

A védelmek létesítése különböző feszültségszinten más-más költséggel bír. Egy háztartás védelmét biztosító túláramvédelmi primer relé 400-600 Ft-ot képvisel, míg mondjuk egy nagyfeszültségű transzformátor komplexvédelme 2-4 millió forintos beruházást jelent. Mindig az elegendően megbízható, egyszerű és gazdaságos megoldásra kell törekedni a védelmi eszköz kiválasztása során.

A védelmek gyorsasága nem csak a termikus igénybevétel miatt fontos, de különösen a nagyfeszültségű kooperációshálózatokban a tranziens stabilitás megtartása szempontjából. Különösen a fáziszárlatok súlyosak a stabilitási szempontból, mert jelentősen csökken az erőművekből „kivihető” teljesítmény szintje.

### 12.4 A modern védelmekkel szembeni rendszer-követelmények

Az alállomások szekunder rendszerének létesítése, felújítása és bővítése során az alábbi követelményeket kell figyelembe venni.

**A MŰSZAKI SZÍNVONAL ÖSSZHANGJÁNAK BIZTOSÍTÁSA** a szekunder rendszer tervezése, létesítése során a műszaki színvonal csak a primer és szekunder technológia együttesében értelmezhető, ezért a primer és szekunder technológia műszaki színvonalának összhangját az alállomás – mint együttműködő egész – figyelembevételével kell biztosítani. Az alállomási szekunder rendszernek együtt kell működnie a fölérendelt irányítási, ellenőrzési célú ipari, regionális (pl. KDSZ) és országos egységes üzemirányítás rendszerével (MAVIR).

**MŰSZAKI SZÍNVONAL KÖVETELMÉNYE** a relévédelem-automatika és az irányítástechnika rendszer elemei ma már digitális működési elvűek és kialakításuk legyenek. A szekunder rendszer elemei feleljenek meg a megvalósítás időpontjában a technikai fejlődés által létrehozott legmagasabb műszaki színvonalnak, amely a gyakorlatban már bizonyította alkalmasságát. Ugyanakkor egy bizonyos óvatos konzervatizmust fenn kell tartani – pl. nem telepíteni olyan megoldásokat, amelyek nem rendelkeznek megfelelő referenciákkal. Az alkalmazott elemek feleljenek meg a vonatkozó MSZ, IEC ill. EN szabványok és európai irányelvek legutolsó kiadásainak.

**A TELJES RENDSZER MEGBÍZHATÓSÁGA** a teljes rendszer megbízhatósága, rendelkezésre állása legyen legalább a hagyományos (az adott időpillanatban üzemelő) szekunder technikának megfelelő szintű. Egy elem kiesése megengedett, de ez nem eredményezheti a rendszer egészének működésképtelenségét. A korszerű elemek alkalmazása mellett rendszerszinten a megbízhatóság és a biztonságos működés szempontjából optimalizált megoldásra kell törekedni.

**A FOLYAMATOSAN FEJLŐDŐ SZEKUNDER TECHNIKÁBÓL ADÓDÓ FUNKCIONÁLIS LEHETŐSÉGEK KIHASZNÁLÁSA** a korszerű szekunder rendszerek egyik előnye, hogy további (az alapkövetelményeken túlmenő) funkciókra a hagyományos

technikánál sokkal gazdaságosabban alkalmassá tehetők, ezért törekedni kell ezen lehetőségek kihasználására. Ez különösen nehéz, amikor „örségváltás” történik valamilyen technikai megoldásban. Ilyen jelenleg pl. az IEC61 870-es szabványról az IEC61 850-es való áttérés. A két rendszer még jó ideig együtt fog létezni, amely számos nehézséget fog jelenteni.

**RELÉVÉDELEM-AUTOMATIKA ÉS IRÁNYÍTÁSTECHNIKA** a relévédelem-automatika és irányítástechnika rendszerben ön- és lehetőleg kölcsönös teszt funkcióval rendelkező és digitális készülékeket kell alkalmazni. A készülékek tegyék lehetővé a távfelügyeletet és a távkezelést is. Eddig az IT és a RVA külön rendszereket képeztek és az üzemeltetésben is a két terület a védelmes és az IT szét volt választva. Ma már készülék szinten és az új szabványnak (61850) köszönhetően okafogyottá vált ezen bontás.

**A SZEKUNDER TECHNIKA ELHELYEZÉSE** az egyes szintekre elosztott funkciókat ellátó elemeket mezőorientáltan, szükség esetén célszerűen decentralizáltan, a technológiához minél közelebb célszerű telepíteni. Nagyfeszültségű állomásokban megjelentek a szabadterén elhelyezkedő mezőkbe telepíthető „reléházak”. A KÖF védelmek pedig a beltéri KÖF-cellák szekunder terében kerülnek elhelyezésre.

**A RELÉVÉDELMI RENDSZER FÜGGETLENSÉGE** a relé védelmi rendszer – működésének fontosságát és megkövetelt gyorsaságát is alapul véve – funkcionálisan nem integrálható az irányítástechnikába 120 kV és e fölötti feszültség szinteken. A relé védelem függetlenségét a relé védelmi be- és kimeneti jelekre vonatkozóan (egyen- és váltakozó áramú) biztosítani kell.

**A KORSZERŰ SZEKUNDER TECHNIKA KÖRNYEZETI IGÉNYE** az állomási környezetet úgy kell kialakítani, hogy az feleljen meg a digitális relévédelem-automatika és irányítástechnika rendszerben alkalmazott berendezések üzembiztos működéséhez szükséges feltételeknek (hőmérséklet, por, páratartalom, stb.).

A korszerű (digitális) elemek megbízható működése érdekében valamennyi zavaró környezeti hatás feltárása és figyelembevétele szükséges.

A főbb környezeti feltételek, hatások:

- EMC (földelő háló, árnyékolt kábelezés)
- klimatikus viszonyok (hőmérséklet, páratartalom, légszennyezés, por stb.)
- mechanikai behatások

**ÉLETTARTAM** a relévédelem-automatika és az irányítástechnika rendszer méretezett élettartama 15 év legyen (az üzembe helyezéstől számítva). Az ember-gép kapcsolatot biztosító számítástechnikai eszközök élettartama - a technikai fejlődést is figyelembe véve - jelentősen kevesebb (7 év) is lehet. Itt meg kell említeni, hogy a 15 éves időszak alatt különböző felújítás a védelem beruházási költségének akár kétszeresét is kiteheti.

**MŰKÖDTETÉS** a megszakító-pólusokat két (villamosan) független kioldó tekercse legyen. Az egyik „KI” tekercset az egyik alapvédelem és a kézi/táv-működtetés, a másik tekercset a másik alapvédelem és a tartalékvédelmek működtessék. Az autonóm zárlati túláramvédelem kioldó impulzusa a második kioldó tekercsre közvetlenül (megszakító segédérintkezőn keresztül), az egyéb védelmek kioldó impulzusa ugyanerre a tekercsre diódán keresztül hasson. Az alap- és tartalékvédelem működéséhez szükséges egyenáramú köröket független alelosztókról kell táplálni. Az állomási megszakítók „KI” működtetése a pozitív ág kapcsolásával történjen (egysarkú működtetés) az egyenáramú segédüzem kialakításától függetlenül. Az állomási megszakítók „BE” működtetése a pozitív és a negatív ág kapcsolásával (kétsarkú működtetés) történjen az áramkörönként külön-külön negatív vezetőkezeléssel szerelt egyenáramú segédüzem esetén. Meglévő közös földelt negatív sarkú egyenáramú segédüzem bővítése esetén csak a pozitív ág kapcsolásával (egysarkú működtetés) történjen a be-, ill. a visszkapcsolás feltételét a következők szerint kell kialakítani:

- „nemzetközi távvezetéknel” és néhány kiemelt fontosságú hazai távvezetéknel automatikus visszkapcsolás feszültséghiány vagy szinkronizmus ellenőrzéssel

– „hazai távvezetéknel” automatikus visszakapcsolás feszültséghiány vagy szinkronizmus ellenőrzés nélkül

– kézi/táv-bekapcsolásnál feszültséghiány vagy szinkronizmus ellenőrzéssel (azellenőrző funkciót az irányítástechnika tartalmazhatja)

– a megszakítók helyi villamos/mechanikus „BE” működtetése feszültséghiány vagy szinkronizmus ellenőrzés nélkül

Az állomási szakaszolók „BE, KI” működtetése a pozitív és a negatív ág kapcsolásával (kétsarkú működtetés) alakítandó ki.

VIZSGÁLATI KÖVETELMÉNYEK, ALKALMASSÁGI TANÚSÍTVÁNY a relévédelem-automatika, valamint az irányítástechnika rendszerekben alkalmazott készülékeknek alkalmassági tanúsítvánnyal kell rendelkezniük. Ma hazánkban az OVRAM Labor végzi a védelmek vizsgálatát és adja ki az un. rendszer-engedélyt az új berendezésekre.

## 13 VÉDELMI ALGORITMUSOK

A védelmi algoritmus eljárásra utal, amelyek segítségével a mérendő jeleket ( $i$ ,  $u$ ,  $z$ , ... $f$ ) feldolgozzuk. Ezen mennyiségekre az jellemző, hogy tartalmazhatnak 50 Hz-es összetevőt, egyenáramú komponenset és különböző harmonikusokat. Felmerül a kérdés, hogy melyik összetevő mérése adja a legmegbízhatóbb eredményt a védelmi működéshez.

A védelem-technikai mérések módszere (algoritmus) abban különbözik az egyetemleges mérés technikában megszokottaktól, hogy:

- *nem állandósult, hanem jellemzően átmeneti (tranzien) folyamatok áramát, feszültségét és ezek derivált mennyiségeit mérjük,*

- *a mérés ideje néhány milliszekundum és néhány tíz milliszekundumra korlátozódik,*

- *a mért mennyiségek tartalmazhatnak egyenáramú komponenset és harmonikusokat,*

- *a zárlati áramok és feszültségek mérőváltókon keresztül jutnak a védelem mérőművébe, ezért ezek működési jellemzőit sem szabad elhanyagolni!*

Összességében kijelenthető, hogy az alkalmazandó mérési algoritmusok egyediek és azokhoz kellő alaposággal kell viszonyulni.

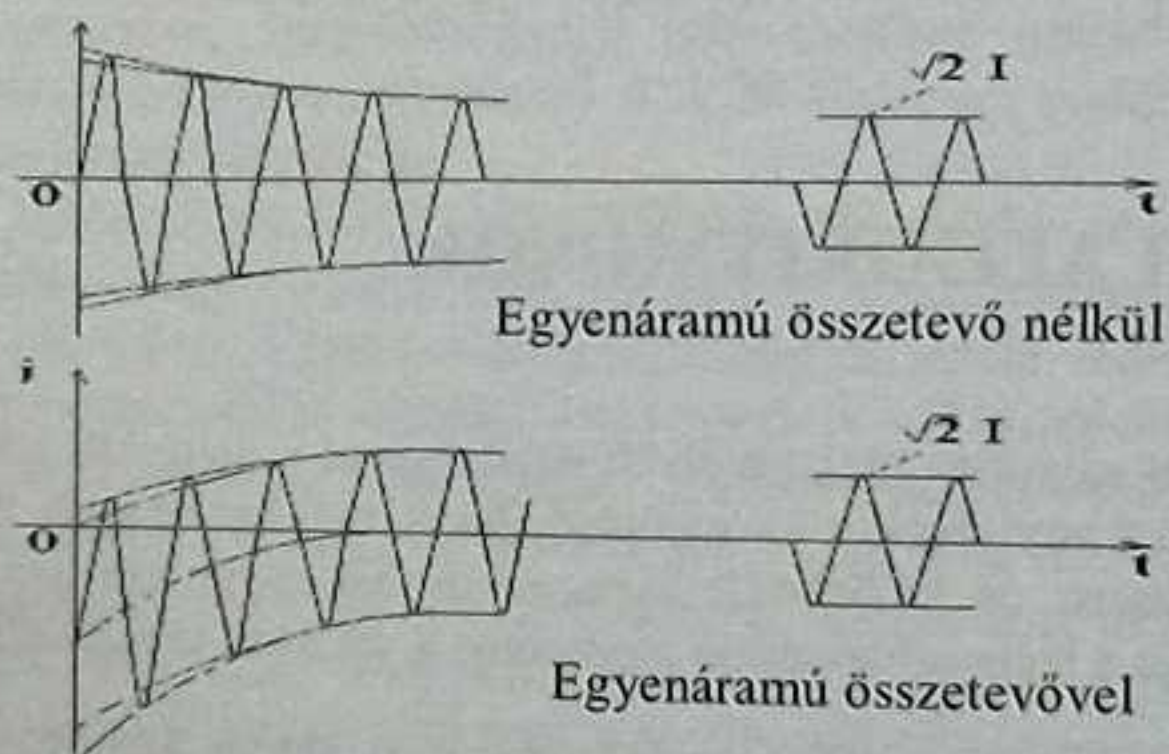
Vegyük a védelem-technikában leggyakoribb érzékelt mennyiséget, az áramot. Amikor valamilyen rövidzárlat történik, az áram megnövekszik és a védett berendezés irányába megindul a névleges értéket meghaladó szintű áram.

## 14 VÉDELMEK ÉRZÉKELŐELEMEI

### 14.1 A védelmi rendszerek érzékelési alapelvei

#### 14.1.1 Pillanatérték érzékelés

Azonban ugyanazon hálózati feltételek mellett és hibánál az áram felvehet különböző értékeket a zárlat kezdeti időpontjától függően. Ahogy az alábbi ábra alapján belátható a megszólas bekövetkezhet, de el is maradhat.



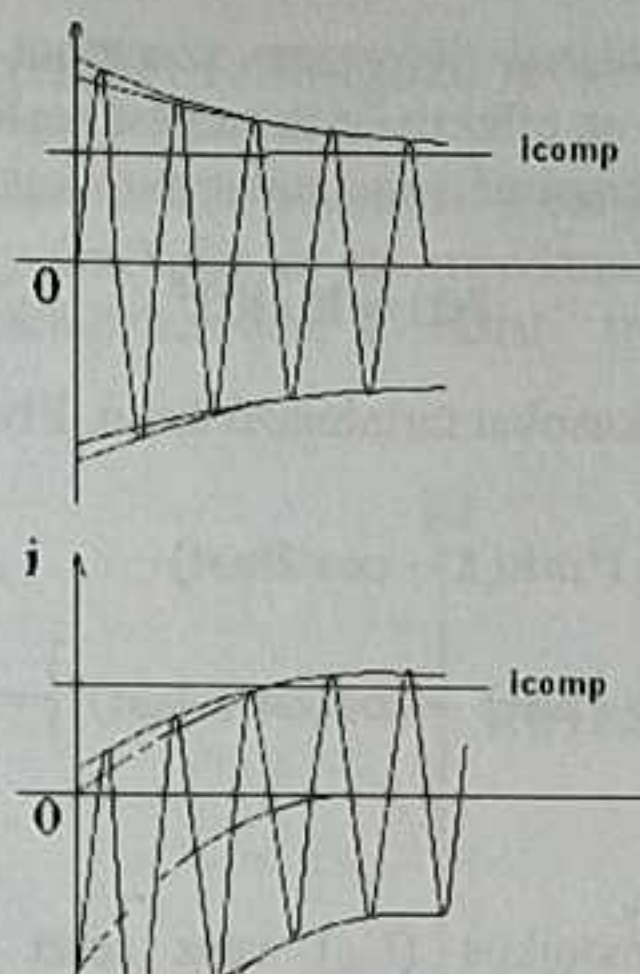
14-1 ábra Zárlati áramok lefolyása

Több lehetőség kínálkozik az áram érzékelésére. Az egyik legkézenfekvőbbnek az látszik, hogy vizsgáljuk az áram pillanatértékeket:

$i(t) > I_{comp}$ , azaz ha az áram pillanatértéke meghalad egyelőre beállított szintet (komparálási szint) akkor működjen a védelem.

A pillanatérték figyelés és működtetés egyszerűen realizálható, mint később látni fogjuk (elektromágneses elven ún. Reed relével, elektronikus komparátor kapcsolással, vagy olvadóbiztosító is adhat gyors kioldást -  $< 5\text{msec}$ , azaz kevesebb, mint negyed periódus). Ennek ellenére ritkán alkalmazzuk a pillanatértékelést, mivel nagy a tévesztés esélye. Bármilyen zavarjel is okozhat téves védelmi működést. Csak olyan alkalmazásokban nyúlunk ezen eszközökhöz, ha a gyorsasághoz jelentős érdek fűződik és a beállítási értéket a névleges áram-szint többszörösére állíthatjuk és a zárlati szintek jelentősen nem változhatnak.

Az alábbi ábra alapján belátható, hogy egy adott áram komparálási szint eseténa működés a tranziens összetevő meglététől is jelentős mértékben függ. Ennek megfelelően pillanat-érzékelésű túláram védelem kialakítása nagy körültekintést igényel. A gyakorlatban nem is



14-2 ábra Pillanatérték alapú érzékelés

A zárlati áram rendelkezhet tranziens összetevőkkel, amelyben lehetnek csillapodó zárlati komponensek: szubtranzienst, tranziens és egyenáramú összetevő. A zárlati áram szubtranzienst összetevői csak a generátor közeli zárlatoknál lehet fontos. Hálózati zárlatoknál elegendő a generátorok tranziens összetevőjével számolni.

A tranziens zárlati komponensek nem alkalmasak arra, hogy nagyságuk alapján értékeljük a zárlati jelenséget, mivel a tranziens összetevők leginkább a zárlat bekövetkezésének pillanatától függenek, és kevésbé jellemzik a hibahely helyét, távolságát a védelem felszerelési helyéhez képest. A védelmekben jellemzően a zárlati áram állandósult 50 Hz-es összetevője használható kiértékelésre. Ezért a tranziens komponensek kiszűrése szükséges a megfelelő védelmi kiértékeléshez. Elvben a tranziens összetevők néhány periódus alatt csillapodnak és csak a zárlati áram mértékadó, állandósult összetevője marad. Ekkor már az árammérés megbízhatósága megnövekszik.

Kétféle árammérés terjedt el a védelmi eljárásokban: az áram effektív-true-RMS vagy egyenirányított középértékének-rectified average level mérése.

### 14.1.2 Effektívértékmérés (TRUE-RMS)

Ez a módszer a mérendő mennyiség négyzetre emelése majd átlagolása (TRUE-RMS). Egy integrálási műveletet is tartalmaz, amelynek köszönhetően a mérés zavarérzékenysége alacsonyabb, mint például a pillanatérték érzékelés. Az átlagolás, azaz integrálás – a mérés technikából ismert módon – jelentősen csökkenti a zavarjelekből származó mérési bizonytalanságot.

$$I_{eff} = \sqrt{\frac{1}{T} \int i^2(t) dt}$$

A védelmi algoritmus vizsgálatánál lényeges szempont szokott lenni a harmonikus érzékenység. Ha például vesszük az effektívérték-mérést realizáló elektromágneses relét, az a „k”-adikharmonikust ugyanúgy hozzámeri az alapharmonikushoz:

$$F(t) = k \cdot i(t)^2$$

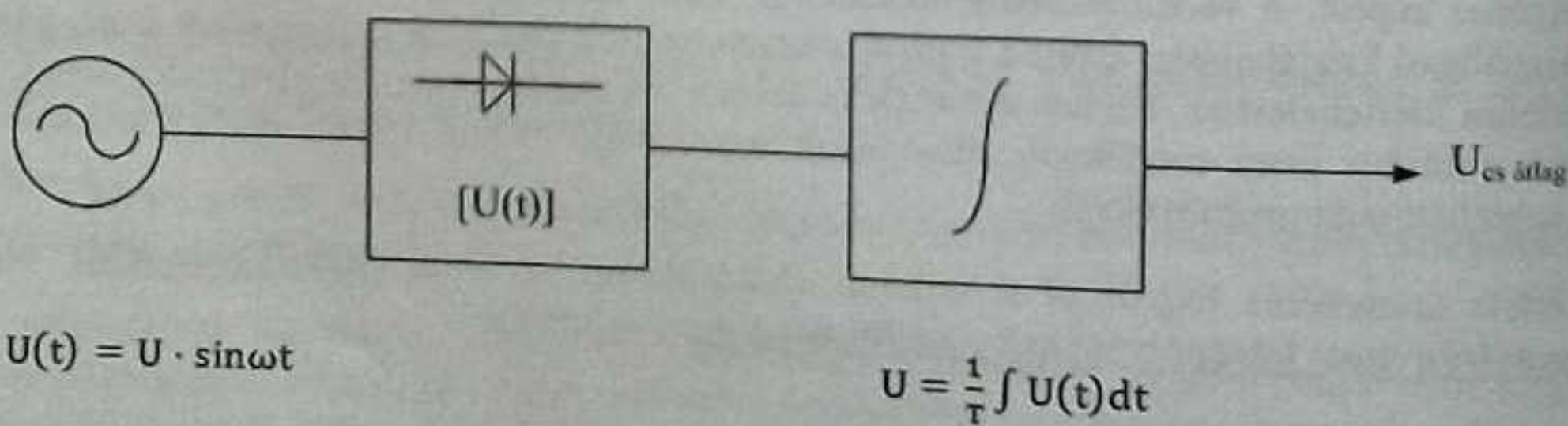
ahol  $i(t)$  egy alap- és harmonikusokat tartalmazó áram. Elvégezve a négyzetre emelést:

$$F = k \left\{ \frac{1}{2} I_m^2 (1 - \cos 2\omega t) + \frac{1}{2} I_{mk}^2 (1 - \cos 2k\omega t) + I_{m1} I_{mk} [\cos(\omega t - k\omega t) - \cos(\omega t + k\omega t)] \right\} = F_1 + F_k$$

Tehát belátható, hogy a harmonikus ( $I_{mk}$ ) vesz részt az erőösszetevőben, mint az alapharmonikus ( $I_{m1}$ ). Ez bizonyos esetekben akár hibás működést is okozhat. A jelenlevő harmonikus áram esetleg téves működést is előidézhet. Jellemzően a védelmek az alapharmonikus érzékelését végzik.

### 14.1.3 Egyenirányított középértékmérés

A másik elterjedt mérési elv a **középértékmérés**. Ekkor a mérendő jel abszolút értékét képezzük, majd annak integrált középértékét vesszük. Az abszolútérték képzés gyakorlatilag a mérendő jel ún. kétutas egyenirányítását jelenti az elektronikus gyakorlatban.



14-3 ábra Egyenirányított középérték képzés

Ahol  $T$  a periódusidő. Amennyiben egy szinuszos feszültség abszolút értékét képezzük és -átlagolás nélkül Fourier-transzformációval sorba fejtjük:

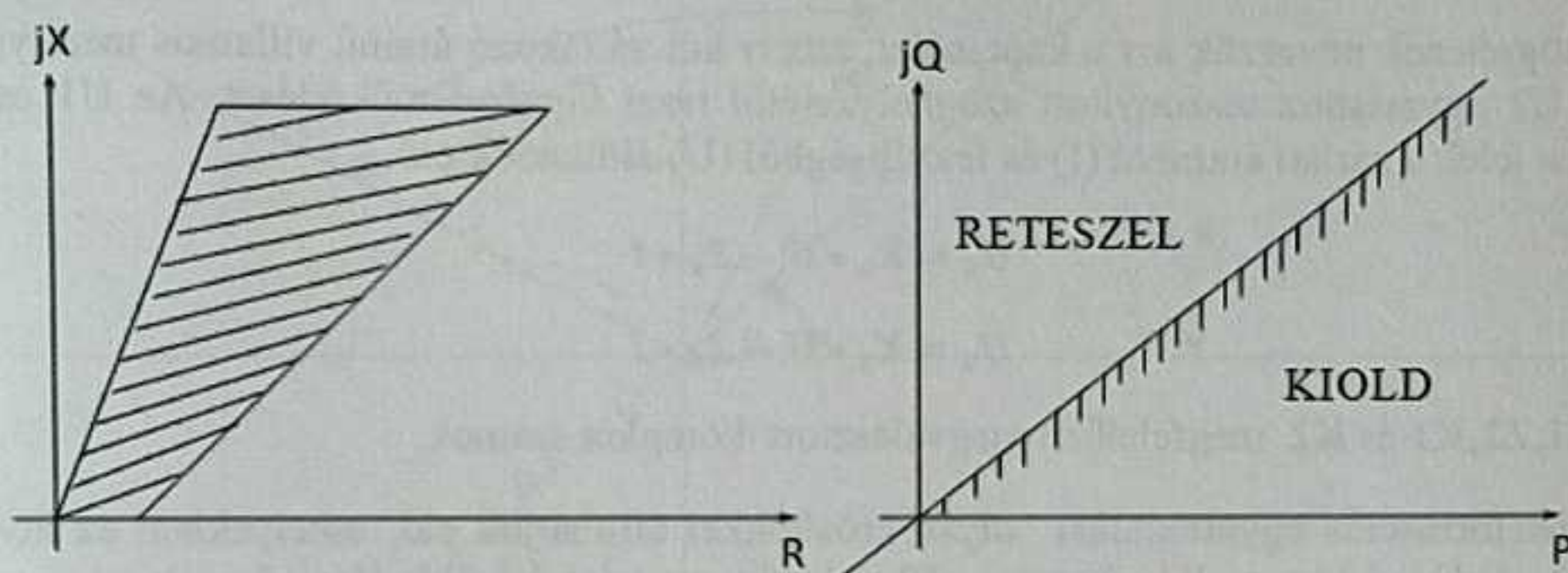
$$u_{egy} = \frac{4kU_m}{\pi} \left( \frac{1}{2} + \frac{1}{1 \cdot 3} \cos 2\omega t - \frac{1}{3 \cdot 5} \cos 4\omega t + \frac{1}{5 \cdot 7} \cos 6\omega t - \dots \right)$$

kifejezést kapjuk. Azt láthatjuk, hogy a Fouriersorba fejtés után a második harmonikus már csak az egyenirányított közép-érték 2/3-részevel van jelen, azaz jelentős rész az elvből kifolyólag elnyomódik.

Ez utóbbi ténynek köszönhető, hogy sokszor elektronikus védelmek esetében előnyben részesítik az egyenirányítás elvet. Az elektromechanikus védelmi rendszerekben az egyenirányítás deprez relék jelentették a legmagasabb fejlettségi formát. A hazai gyakorlatban ez a BBC Lz 32 jelű készülékében nyilvánult meg.

#### 14.1.4 Két villamos mennyiséget feldolgozó mérési elvek

A védelemtechnikában elterjedtek a két villamos mennyiséget alkalmazó elvek. A két leggyakoribb a teljesítményirány érzékelés és az impedancia mérés. Hurkolt hálózatoknál a szelektivitás biztosításához nélkülözhetetlen a zárlati teljesítmény és/vagy impedancia érzékelése.

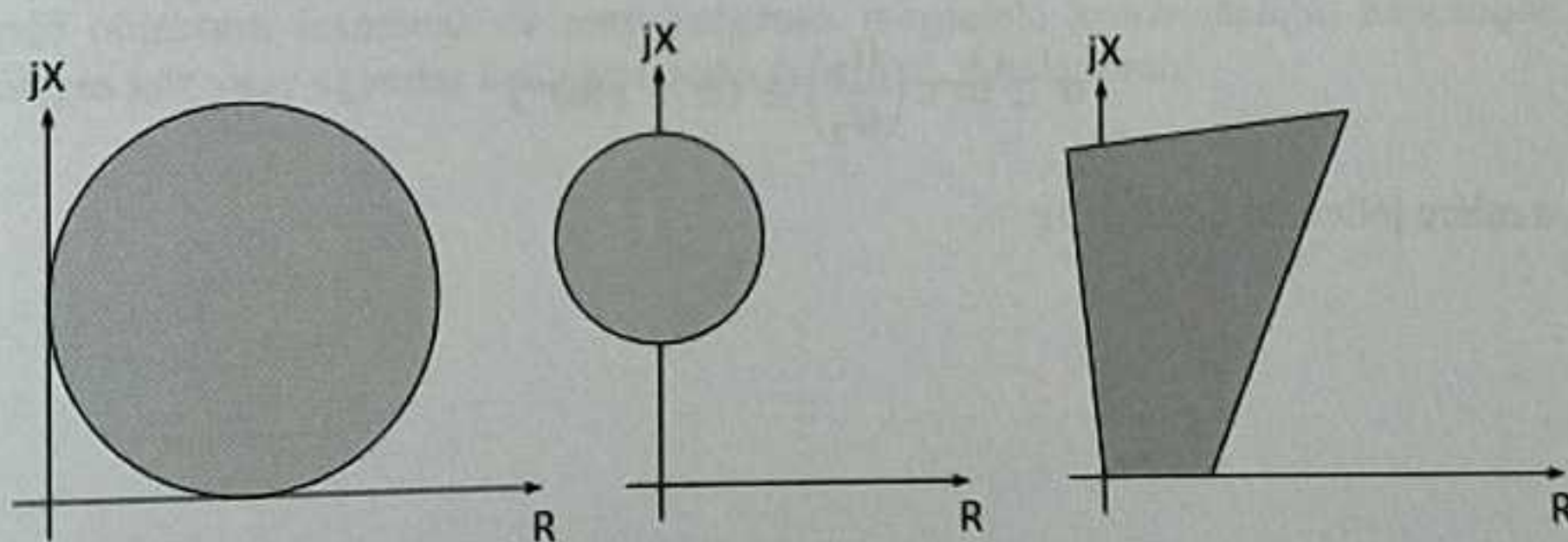


14-4 ábra Hurkolt hálózatok zárlati viszonyai

Két villamos mennyiségre vonatkozó impedancia illetve teljesítménymérés visszavezethető szög- vagy egyenirányított középértékmérésre.

#### 14.1.5 Hányados érzékelők, mérlegelv és szögmérési elv

Igen gyakran valamilyen az impedancia-síkon tetszőleges elhelyezkedésű karakterisztikájú mérőegységre van szükség.



14-5 ábra Különleges impedancia karakterisztikák

Az ilyen feladatok egyszerű impedancia, vagy teljesítménymérésekkel ( $Z=U/I$ ,  $S=UI$ ) nem oldhatók meg. Az eltolt karakterisztikák vagy egyenesekkel határolt ún. Poligon karakterisztikák realizálásához speciális lineáris transzformációk és mértani tételek felhasználásával lehet eljutni.

A relék egy nagy csoportja két villamos mennyiséget hasonlít össze, és ennek eredményétől teszi függővé a beavatkozást. E csoportba tartoznak a különféle impedanciarelék és teljesítményirány-relék. Az ilyen jellegű relék megvalósítására két elterjedt módszer alkalmaznak, az egyik az abszolút értékek, a másik a fázisszögek összehasonlítása alapján működik. Így két relé típus alakult ki, a mérlegrelé és a fázisszögrelé. Mindkét relé típusal

kialakíthatók a védelmi technikában alkalmazott és ismert karakterisztikák. Hogy mikor melyik megoldást részesítik előnyben, azt mindig a konkrét feladat ismeretében lehet eldönteni.

### 14.1.6 Fázisszögrelék

Fázisszögrelének nevezzük azt a kapcsolást, amely két váltakozó áramú villamos mennyiség,  $U_1$  és  $U_2$  egymáshoz viszonyított szöghelyzetétől teszi függővé működését. Az  $U_1$  és  $U_2$  villamos jelek a zárlati áramból ( $I$ ) és feszültségből ( $U$ ) állítandók elő.

$$U_1 = K_1 \cdot U - Z_1 \cdot I$$

$$U_2 = K_2 \cdot U - Z_2 \cdot I$$

ahol  $Z_1, Z_2, K_1$  és  $K_2$  megfelelően megválasztott komplex számok.

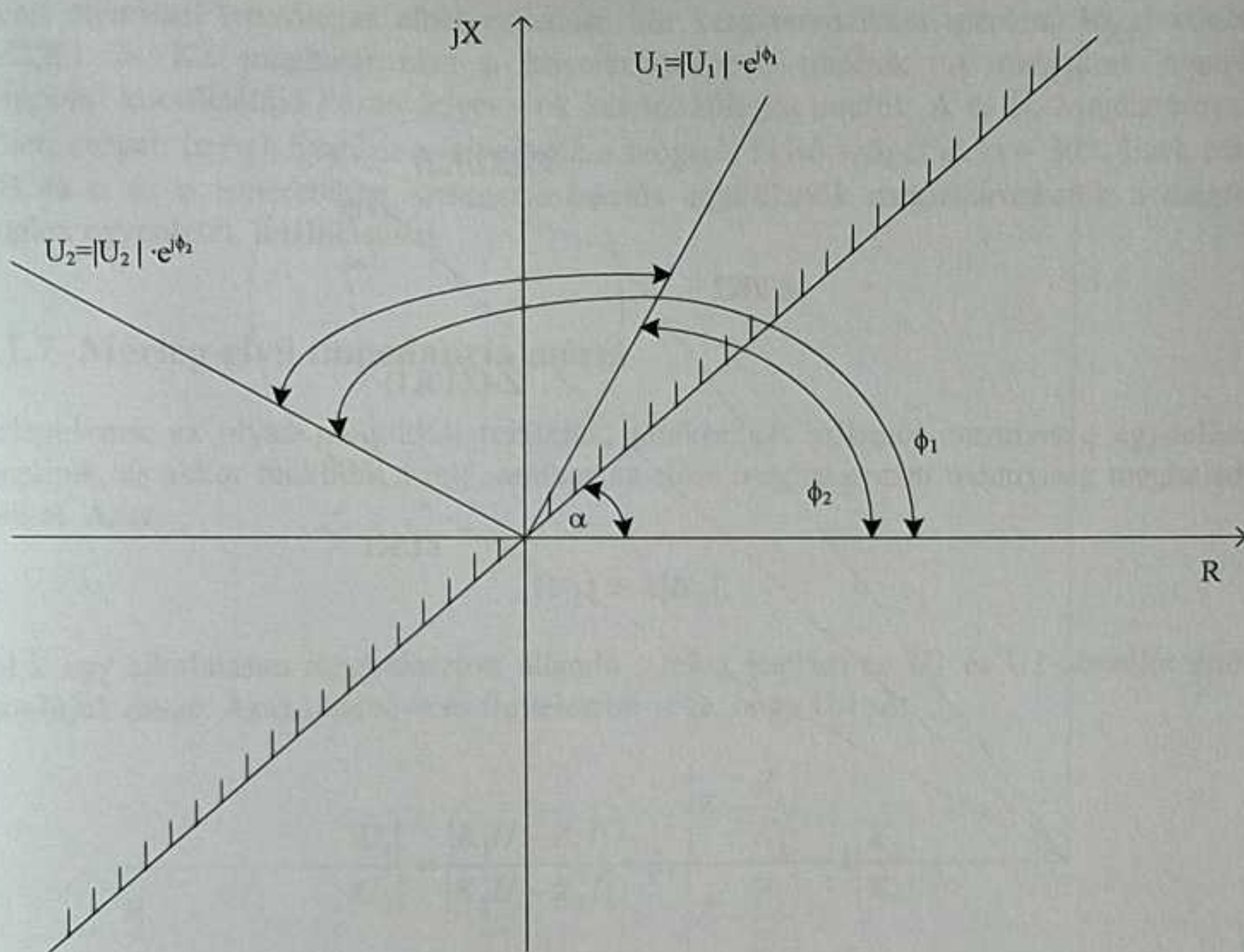
A transzformációs együtthatókat olyan erősítővel állíthatjuk elő, amelyekben az átviteli tényező  $A = U_{KI} / U_{BE} = K_1$ -el vagy  $Z_2$ -vel stb. ez mint később látni fogjuk viszonylag egyszerű elektronikai feladat.

A fázisszög mérésen alapuló impedancia mérés azon mértani tételen alapszik, hogy a kör mindazon pontok mértani helye, amelyben a kör tetszőleges két pontjából ( $A$  illetve  $B$ ) húzott húrok kerület szöge állandó. A kör pontjai, amelyek lényegében a működési karakterisztika határgörbéje (azon belül kiold a relé, kívül pedig retesz) meghatározhatók szögméréssel, azaz a kör pontjaira az alábbi összefüggésben az egyenlőség teljesül, a körön belüli pontokra pedig az egyenlőtlenség:

$$\alpha \leq \arcsin\left(\frac{U_1}{U_2}\right) \leq (\alpha + 180^\circ)$$

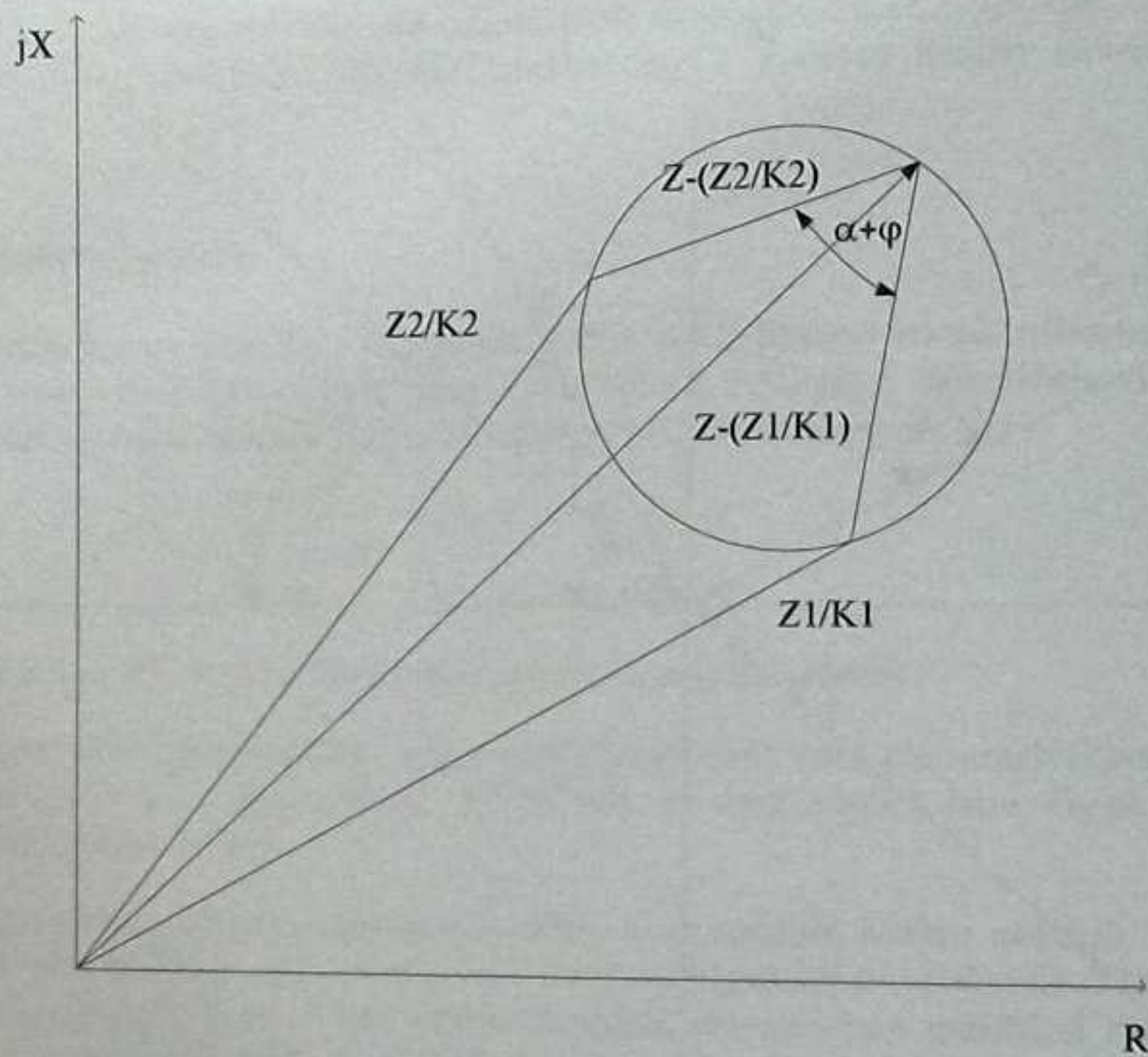
$$\alpha \geq \arcsin\left(\frac{U_1}{U_2}\right) \geq (\alpha + 180^\circ)$$

ahol  $\alpha$  a relére jellemző belső szög.



14-6ábra A fáziszögrelékhez tartozó szögviszonyok

A fenti ábra szemlélteti a relé karakterisztikáját. A megszólalás akkor következik be, amikor  $U_2$  ( $\alpha$ )-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:



14-7 ábra Fáziszögrelé működési statisztikája

$$\text{arc} \left( \frac{U_1}{U_2} \right) = \frac{K_1 U - Z_1 I}{K_2 U - Z_2 I} = S e^{j\alpha}$$

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{K_1 U - Z_1 I}{K_2 U - Z_2 I} = S e^{j\alpha}$$

S a hányados komplex vektor abszolút értéke, tetszőleges szám.

Rendezve, és figyelembe véve, hogy  $Z = U/I$ , akkor

$$\frac{Z - \frac{Z_1}{K_1}}{Z - \frac{Z_2}{K_2}} = \frac{K_2}{K_1} S e^{j\alpha} = \left| \frac{K_2}{K_1} \right| S e^{j(\alpha + \varphi)}$$

$$\varphi = \text{arc} \left( \frac{K_2}{K_1} \right)$$

ahol  $U$  és  $I$  a védendő berendezés feszültsége és árama,  $K_1$ ,  $K_2$ ,  $Z_1$  és  $Z_2$  pedig alkalmasan megválasztott konstans komplex számok.  $U_1$  és  $U_2$  lehet feszültség vagy áram dimenziójú mennyiség attól függően, hogy az állandókat miként választottuk meg. A mértani tételben megfogalmazott  $A = Z_1/K_1$  illetve  $B = Z_2/K_2$ .

A fenti eljárással tetszőleges elhelyezkedésű kör karakterisztikájú mérőmű létrehozható. A  $Z_1, Z_2, K_1$  és  $K_2$  meghatározása a következőképpen történik. A megadott sugarú és középponti koordinátájú körön felvesszünk két tetszőleges pontot: A és B. Meghatározzuk a kerületi szöget:  $(\alpha + \varphi)$ . Szabadon felvesszük a szögrelé belső szögét pl.  $\alpha = 30^\circ$ . Ezek után az A, B és  $\alpha$  és  $\varphi$  ismeretében a transzformációs együtthatók meghatározhatók a megfelelő komplex egyenletek felállításával.

#### 14.1.7 Mérleg-elvű impedancia mérés

Mérlegelvnek az olyan megoldást tekintjük, amikor két villamos mennyiség egyenlőségét vizsgáljuk, és akkor működik a relé, amikor az előre meghatározott mennyiség meghaladja a másikat. Azaz:

$$|U_1| > k|U_2|,$$

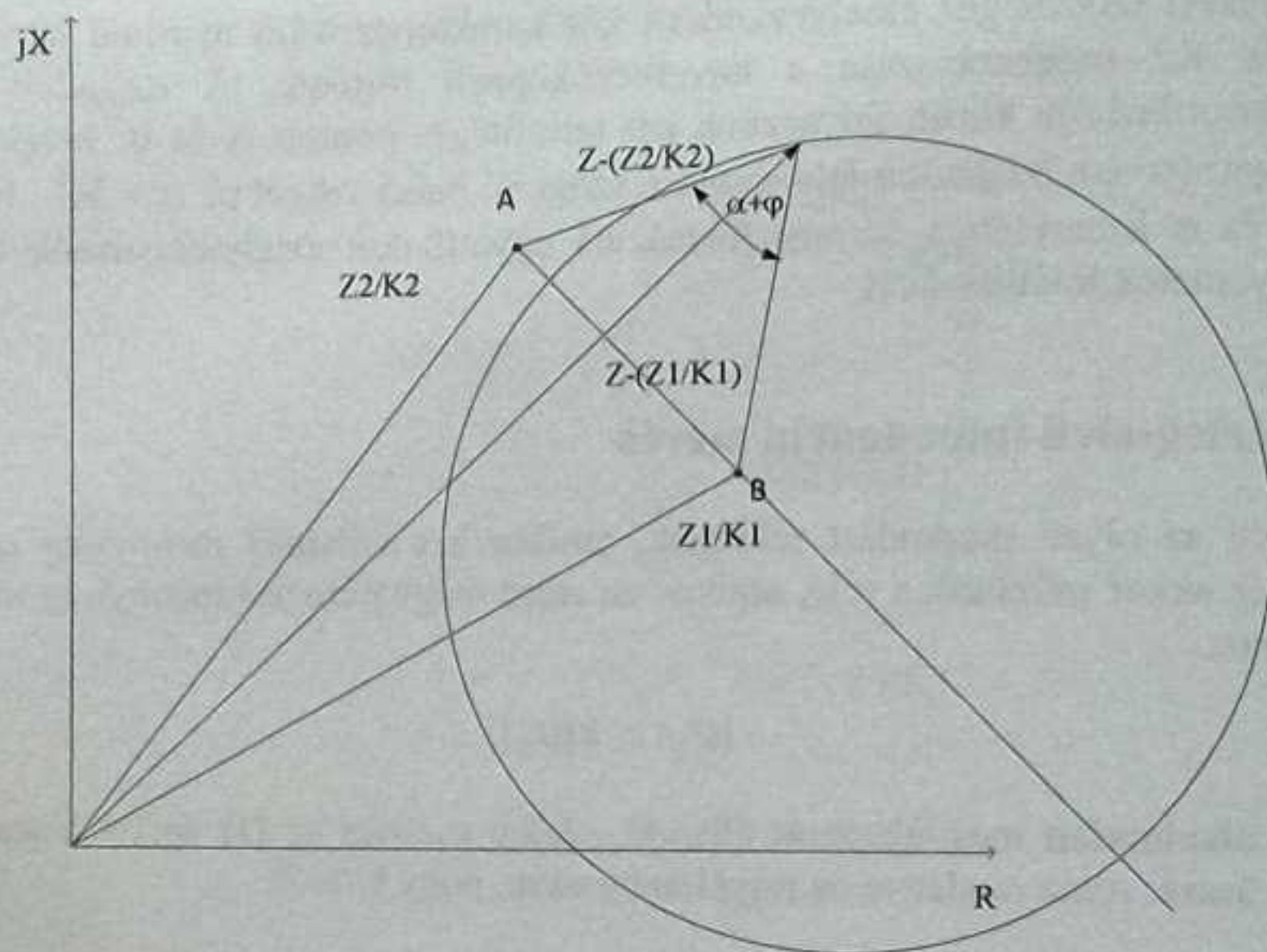
ahol  $k$  egy alkalmasan megválasztott állandó. Jelen esetben az  $U_1$  és  $U_2$  abszolút értékeit hasonlítjuk össze. Azaz rendezve és figyelembe véve, hogy  $U/I=Z$ :

$$\frac{|U_1|}{|U_2|} = \frac{|K_1 U - Z_1 I|}{|K_2 U - Z_2 I|} = k \cdot \frac{\left| Z - \frac{Z_1}{K_1} \right|}{\left| Z - \frac{Z_2}{K_2} \right|} = k \frac{|K_2|}{|K_1|}$$

A mérlegelv is azonosítható egy mértani tétellel: *a kör mindazon pontok mértani helye, amelyek két ponttól A és B-től mért távolságainak aránya egyenlő-k-val. Az A és B olyan egyenesen vannak, amely áthalad a kör középpontján, A a körön kívül van, míg B a kör középpontja és a kerületet metsző pont között található!*

Ugyanez ábrázolva:

Az A ponttól mért távolság nagyobb, mint a B ponttól.

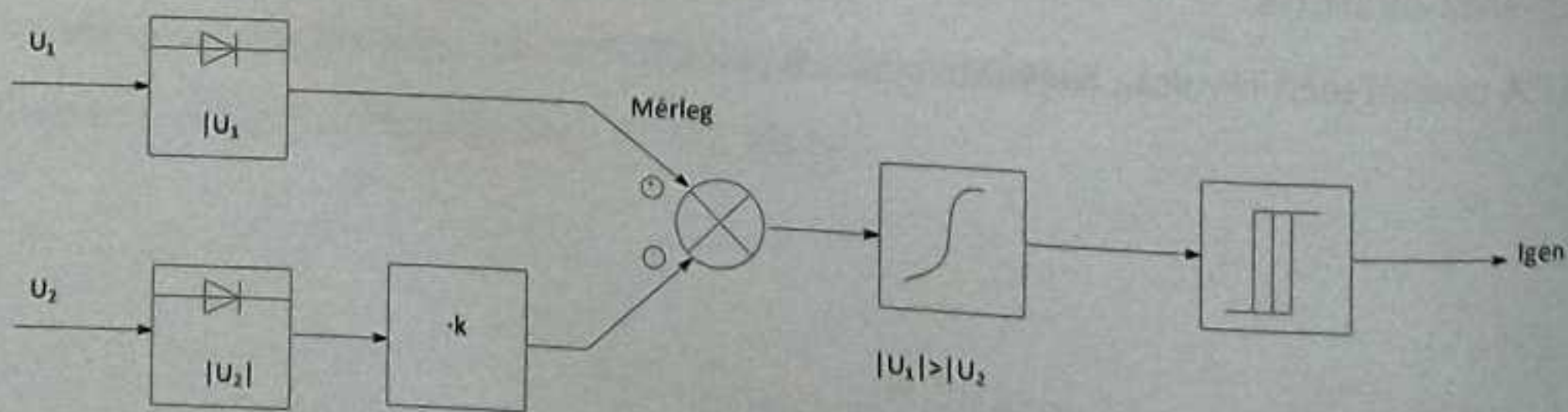


14-8 ábra Mérlegrelé működési karakterisztikája

ahol  $A=Z1/K1$  vektor végpontja, míg B a  $Z2/K2$  vektor végpontja. Lényegében akkor fog működni a relé, amikor az A ponttól mért távolság nagyobb, mint a B ponttól mért hossz. Ekkor a Z impedancia a körön belül van.

A méréshez, ami a távolságok összehasonlítását jelenti ún. mérlegrelé szükséges. Ez lehet egy középállású deprezrelé, amelyre kioldó irányban rávezetjük az  $U1$ -abszolút értékét (kétutas egyenirányítás révén), míg a reteszelő irányban a  $k \cdot 2$  abszolút értéket.

A deprezrelé vagy reteszelő, vagy kioldó irányba mozdul el:



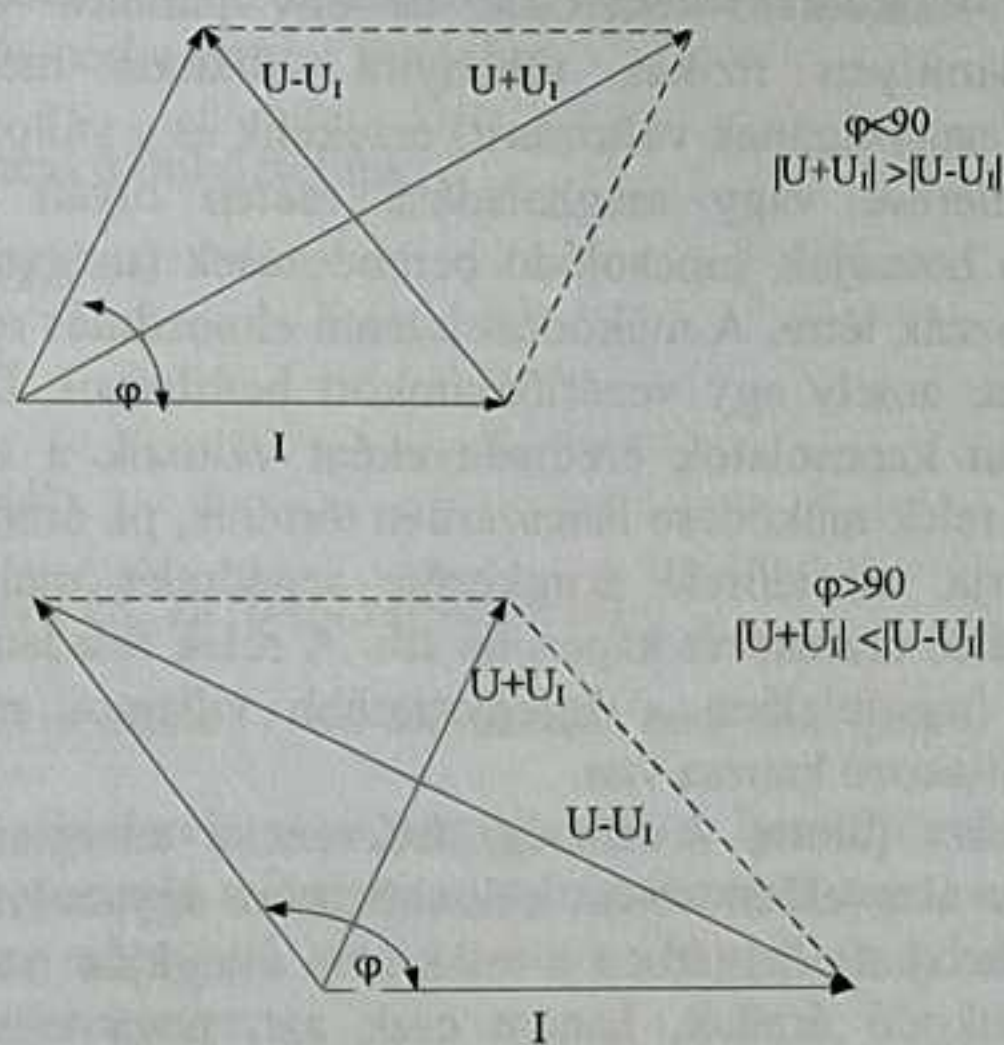
14-9 ábra Mérlegrelé realizálása

A mérlegrelé egyszerűen megvalósítható elektronikus mérleg-kapcsolással, ami lényegében egy két bemenetű szummátor kapcsolás.

Egyszerű energiáirány kapcsolást kaphatunk, amennyiben  $U1=U+I$  míg  $U2=U-I$  azaz

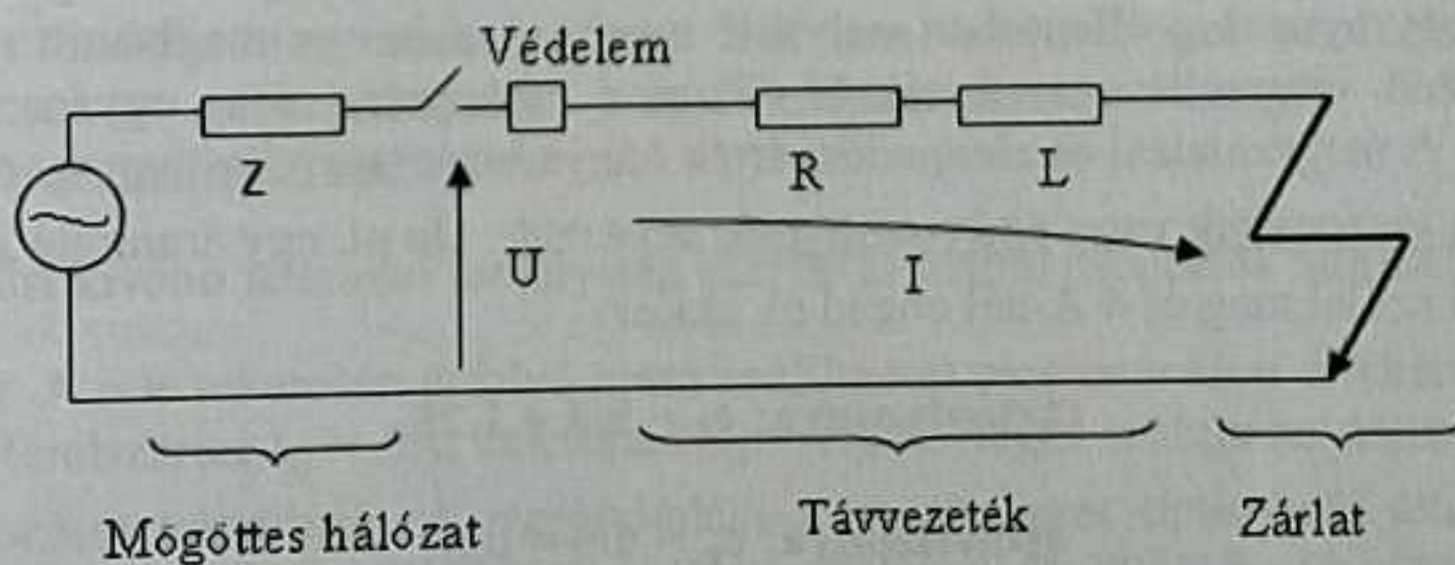
$K1=K2=1$  és  $Z1=-1$  míg  $Z2=1$ -el. Ekkor nem nehéz belátni, hogy  $U1>U2$  ha az  $U-I$  között hegyes szög van és  $U1<U2$  ha  $U-I$  között tompaszög található.

A mérlegrelé egyszerűsített kivitele energia-irányrelé. Ebben az esetben képezzük az áram és feszültség vektoros összegét, majd a mérlegelv alapján összehasonlítjuk az  $U_1$  és  $U_2$  abszolút értékét.



14-10 ábra Mérlegelvű energiairány mérés

### 14.1.8 Impedancia mérési algoritmusok digitális védelmekhez



14-11 ábra Az R-L modell hálózati képe

Az R-L modellből indulnak ki a távolsági védelem algoritmusainak kidolgozásakor.

Az R-L modell nem veszi figyelembe a távvezeték kapacitását (C).

A védelem a mért feszültségből és áramból határozza meg a zárlat helyét. A zárlati áramkörben azt az R és L értéket keressük, amely a védelem felszerelési helye és a zárlati pont között fennáll.

A fenti eljárások az analóg elvű elektromechanikus és elektronikus védelmeknél kerültek alkalmazásra. A numerikus védelmek igen nagy választékot nyújtanak és folyamatos fejlődésben találhatók.

## 14.2 A relék fogalma, feladata és alapvető jellemzői

A védelmeket gyakran csak relének nevezik, mivel korábban jellemzően „relé” kivitelük volt, azaz volt egy érzékelő-működtető tekercsük és egy parancs végrehajtó kontaktusuk. A **védelmi relék** valamilyen fizikai, többnyire villamos mennyiség megváltozását (megjelenését, eltűnését, nagyságának változását) érzékelik és e változás előre meghatározott, beállított mértékének elérése vagy meghaladása esetén olyan elmozdulást végeznek, amelynek segítségével a hozzájuk kapcsolódó berendezések (megszakító, szabályozó, jelző stb.) állapotváltozását hozzák létre. A működést jelentő elmozdulás rendszerint egy érintkező zárását (nyitását) okozza, amely egy vezérlőáramkört befolyásol. Digitális védelmekben a logikai szintek, és logikai kapcsolatok eredményeként változik a relé állapota. Illetve az összetett védelmekben a relék működése láncszerűen történik, pl. áramrelé érintkezője időrelé gerjesztő áramkörét zárja, az időrelé érintkezője segédrelét működtet, utóbbi pedig a megszakító kioldást vezérlő áramkörét kapcsolja stb. A relék feladata tehát kettős: érzékelés és parancsadás. Ennek megfelelően a legegyszerűbb villamos relének is legalább két áramköre, s így négy csatlakozó kapcsa van.

A villamos mennyiségeket (áram, feszültség, frekvencia, energiainyomás, impedancia stb.) érzékelő relék működése alapvetően abban különbözik az ugyanolyan mennyiségeket mérő műszerektől, hogy utóbbiakkal ellentétben a relék nem állapítják meg a vizsgált mennyiség nagyságának éppen uralkodó értékét, hanem csak azt, hogy ezen érték egy beállított, meghatározott nagyságnál kisebb vagy nagyobb-e. Működésük tehát nem folytonos, hanem billenő jellegű.

Az elektronikai terminológiában a relé egy komparátor. Mint látni fogjuk az elektronikus relék lényegében komparátorok.

Minthogy a relék működését kiváltó nyomtaték többnyire a működést jelentő elmozdulás során maga is megváltozik, továbbá az elkerülhetetlen súrlódás mindig a mozgással ellentétes irányban hat, egy nyugalmi állapotban volt relé meghúzása és egy meghúzott relé nyugalmi helyzetbe történő visszaállása az érzékelt villamos mennyiség nem ugyanazon értékénél következik be. A megszólalási és elengedési érték hányadosát tartóviszonynak ( $c_t$ ), reciprokát ( $c_e$ ) elengedési viszony vagy ejtőviszony nevezzük. Ha pl. egy áramrelé adott beállítás mellett 5 A-nél szólal meg és 4 A-nél enged el, akkor

$$\text{tartóviszonya: } c_t = 5/4 = 1,25$$

$$\text{ejtőviszonya: } c_e = 4/5 = 0,8$$

A példabeli értékek egyúttal a gyakorlatban megengedett szélső értékek.

A relék nagy részénél a megszólalási érték az e célra szolgáló skálán adott határok között beállítható. A tényleges megszólalási érték és a skálán beállított érték különbsége a skálahiba, amit a skálaértékhez viszonyítva százalékosan szokás kifejezni. Jó minőségű relénél a skálahiba az 5%-ot nem haladja meg. Adott beállítású relé többszöri megszólalása a mért mennyiség nem pontosan azonos értékénél következik be. E tulajdonság a relé szórása. Mennyiségileg úgy fejezik ki, hogy több, rendszerint tíz működésből megállapítják a megszólalást kiváltó legnagyobb és legkisebb érték különbségét és ezt viszonyítják az átlagos értékhez. A védelmi célokat szolgáló relék szórása 5%-nál mindig kisebb.

### 14.2.1 A relék osztályozása

A sokféle célú, elvű, szerkezetű és tulajdonságú relék célszerű osztályozása a működési elv, a megszólalást kiváltó mennyiség, az érzékelőszerv kialakítása, a parancsadó-szerv kialakítása és az érintkezők működésmódja szerint történhet.

**Működési elv szerint** megkülönböztetünk:

- *elektromechanikus relék,*
- *olvadóbiztosítók,*
- *egyéb elven működő relék*
- *elektronikus (analóg elvű kb. 1970-től terjedtek el),*
- *digitális (mikroprocesszor alapú, 1990-től jelentek meg tömegesen)*

Az elektromechanikus védelmek elve megegyezik a hasonló rendeltetésű mérőműszerek elvével: az elektromágneses relé a lágyvasas mérőműszerrel azonosan működik; a deprezrelé az egyenirányítós deprez műszerrel, míg az indukciós relé az indukciós fogyasztásmérőhöz hasonlít, a működési elvét tekintve.

Az elektronikus relé többnyire nem elemi relé, hanem kapcsolási kombináció. Jellemzően műveleti erősítők, tranzistorok és diódák valamilyen analóg áramkörüi kapcsolása.

A digitális védelmek mikroprocesszor alapúak és valamilyen szoftver alapján látják el a védelmi funkciót.

Az utolsó csoportba tartoznak a nem villamos mennyiséget érzékelő relék pl. a transzformátorok gázképződésére és olajáramlására reagáló Buchholz-relék, nyomásváltozásra működő relék stb.

A megszólalást kiváltó jellemző mennyiség szerint az alábbi csoportok állíthatók fel:

- **Áramrelék.** A relé tekercsén átfolyó áram beállítással meghatározott értékének túllépésekor működnek. Rendszerint  $I_n = 5A$ , ritkábban  $I_n = 1A$  névleges szekunder áramú áramváltóhoz való csatlakozásra készülnek. A megszólalási áram az egyes típusoknál általában  $(1...2)I_n$ , esetleg  $(0,5...1,0)I_n$  között állítható be. Egyes célokra  $(4...8)I_n$  és  $(8...16)I_n$  sávon belül megszólaló relék is készülnek.
- **Feszültségrelék.** Az érintkező kialakítási módjától függően feszültségemelkedési és feszültségcsökkenési változata van. Többnyire: 100V vagy ritkábban 200 V névleges szekunder feszültségű feszültségváltókról való táplálásra készítik. A beállítási skálatartomány többféle, de a skála-határok aránya rendszerint 1:2, pl. 60...120 V, vagy 30...60 V.
- **Teljesítményirány-relék** vagy más néven energiairány-relék a wattos vagy meddő teljesítményáramlásra vagy egy adott feszültség és áram közötti fázisszögre adják a maximális nyomatékot. Két bemenetük van: áram és feszültség. Nyomatékuk nagysága és előjele az áram, a feszültség és a köztük lévő szög valamelyik szögfüggvényének szorzatától függ, ezért szorzatreléknek is nevezzük. Elmozdulásuk mindkét irányban lehetséges, így két érintkezőjük van, amelyek az egyik és másik energiairánynak felelnek meg. Beállítási lehetőségük nincs. Rendszerint  $I_n=1A$  és  $5 A$  és  $U_n=100$  és  $200 V$  névleges csatlakozási értékre készülnek.

- **Impedancia relék.** Szintén két bemenetük van, egy áram- és egy feszültség. Anyomatékukat a feszültség és áram hányadosa szabja meg. Megszólalnak, ha a hányados a beállítással meghatározott érték alá süllyed. Többnyire  $I_n = 1A$  és  $5 A$ , és  $U = 100$  és  $200V$  névleges értékre készülnek.

- **Frekvenciarelék.** A váltakozó áram frekvenciáját érzékelik.  $U_n = 100 V$  névleges feszültségű feszültségváltóhoz csatlakoznak. Megszólalnak, ha a frekvencia a beállított érték alá csökken, vagy föléje emelkedik. Európában a névleges frekvencia  $50 Hz$ , a relék beállítási tartománya rendszerint  $45...55 Hz$ .

- **Impulzusra vagy egyenfeszültségre működő relék.** E kategóriába sorolhatók a segédrelék és az időrelék, amelyek tekerese a tápfeszültség forrásból csak nulla, vagy gyakorlatilag névleges működtető-feszültséget kaphat, és ennek megfelelően húz meg vagy enged el. Feladatuk tehát az előző csoportoktól eltérően nem a kapcsaikon megjelenő villamos mennyiség nagyságának megítélése, hanem csupán annak jelenléte és hiánya közötti megkülönböztetés. Az időreléknek igen sok fajtájuk van: meghúzás vagy elengedés késleltetés; emlékező relé; jelszint változásra induló relé stb.

A felsorolás csak a legjellemzőbb rendeltetéseket tartalmazza. Egyes összetett relék (pl. stabilizált különbozati relék, áramtól függő késleltetésű túláramrelék, stb.) a fenti kategóriákba egyértelműen nem sorolhatók be.

A szorzat-, ill. hányadosrelék két villamos mennyiség együttes hatására működnek, a többiek egy villamos mennyiség változására szólalnak meg. Az előbbieket az impedancia és teljesítmény-irány relék.

**Az érzékelőszerv kialakítása szerint** a primer és szekunder relékről beszélhetünk. Primer jellegű az érzékelés, ha mérőváltók közbeiktatása nélkül a relén az ellenőrzött áram közvetlenül áthalad, ill. a relé közvetlenül a mérendő feszültségre csatlakozik. Szekunder érzékelésűek az áramváltók, ill. feszültségváltók szekunder tekereséről táplált relék.

**A parancsadó szerv kialakítása szerint** a működtetés közvetlen vagy közvetett hatású lehet. Az előbbi csoportba tartoznak a kioldók, amelyeknél a mechanikai elmozdulás közvetlenül működteti a megszakító kilincs-művét. A közvetett hatású relék érintkezője működtető segédáramforrás közvetítésével hat a megszakítóra. Ezek a szorosabb értelemben vett relék. Mivel mind az érzékelésnek, mind a parancsadásnak kétféle módja van, elvben négyféle kombináció alakítható ki:

- primer kioldó,
- primer relé,
- szekunder kioldó,
- szekunder relé.

A védelemtechnikában döntő súllyal a **szekunder reléket**, korlátozott mértékben a **primer kioldókat** alkalmazzák. A másik két kombináció csak elvétve fordul elő.

Kisfeszültségen igen elterjedtek a primer kioldók. Ide sorolhatók az ún. kismegszakítók, amelyek ma a KIF hálózatok és fogyasztók szinte kizárólagos védelmi eszközei.

Az érintkezők működés módja szerint a relék vagy **munkaáramú**, vagy **nyugalmi áramú** érintkező révén fejtik ki hatásukat. A gyakorlatban elsősorban munkaáramú vezérlést használnak.

### 14.3 Elektromechanikus védelmek

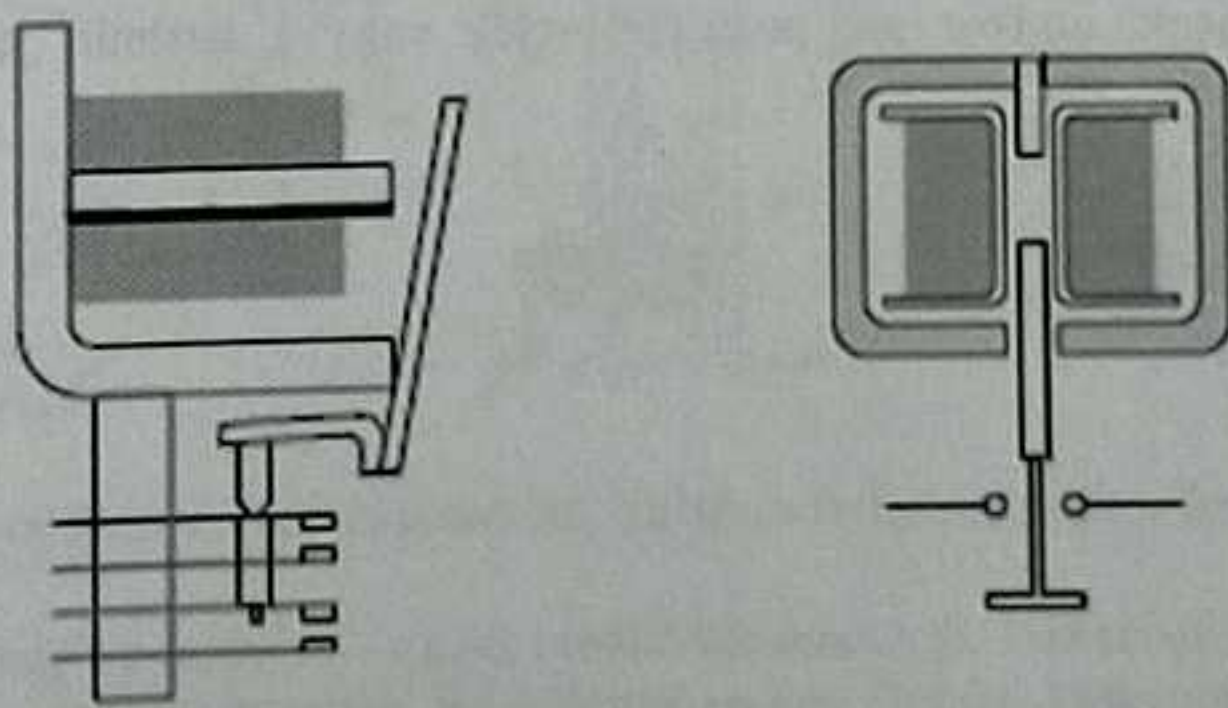
Az EMR alkalmazása kb. 100 évre tekint vissza. Működésük lényege, hogy villamos mennyiség hatására mozgató erő jön létre, amely a parancsadó kontaktust működésbe hozza. A mozgató elektromágneses vagy indukciós kölcsönhatás hozza létre. lényeges előnyként jelentkezik ilyen reléknél, hogy a működtető áram vagy feszültség és a parancsadó kontaktusok nincsenek egymással galvanikus kapcsolatban.

Az elektromechanikus relék az alábbiak szerint csoportosíthatók:

- behúzó armatúrás (elektromágneses)
- mozgó tekercses
- indukciós
- termikus
- motoros jellegű
- mechanikus típusú
- speciális elvű védelmek

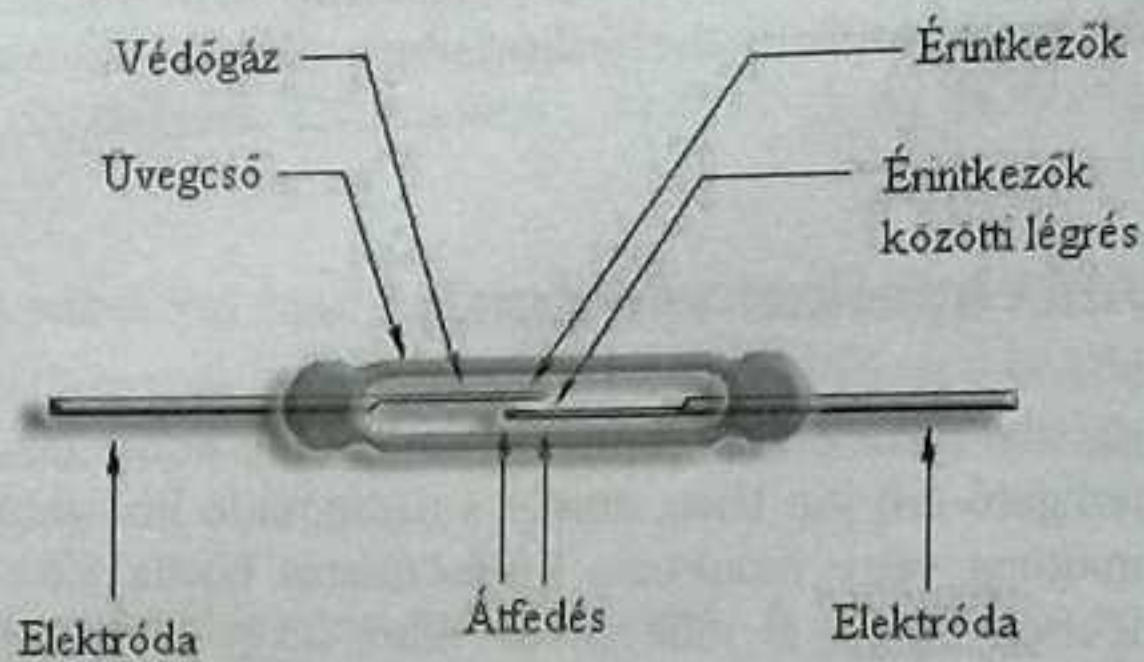
A legelterjedtebbek az elektromágneses elvű relék. Ennek esetében a feladattól függően több típus alakult ki.

A billenő fegyverzetű elektromágneses relét rendszerint egyenáramról működtetik. Ezeknél egy rugó ellenében történik a behúzás. A tekercs lágyvasra van tekerve. A mozgó rész szintén lágyvas. Az elmozdulás a mechanikailag összekapcsolt kontaktusok záródását is elvégzi. Hasonló működésű a szolenoid jellegű kialakítás.



Billenő fegyverzetű Szolenoid

14-12 ábra Billenőmágnes és Szolenoid jellegű relékialakítás



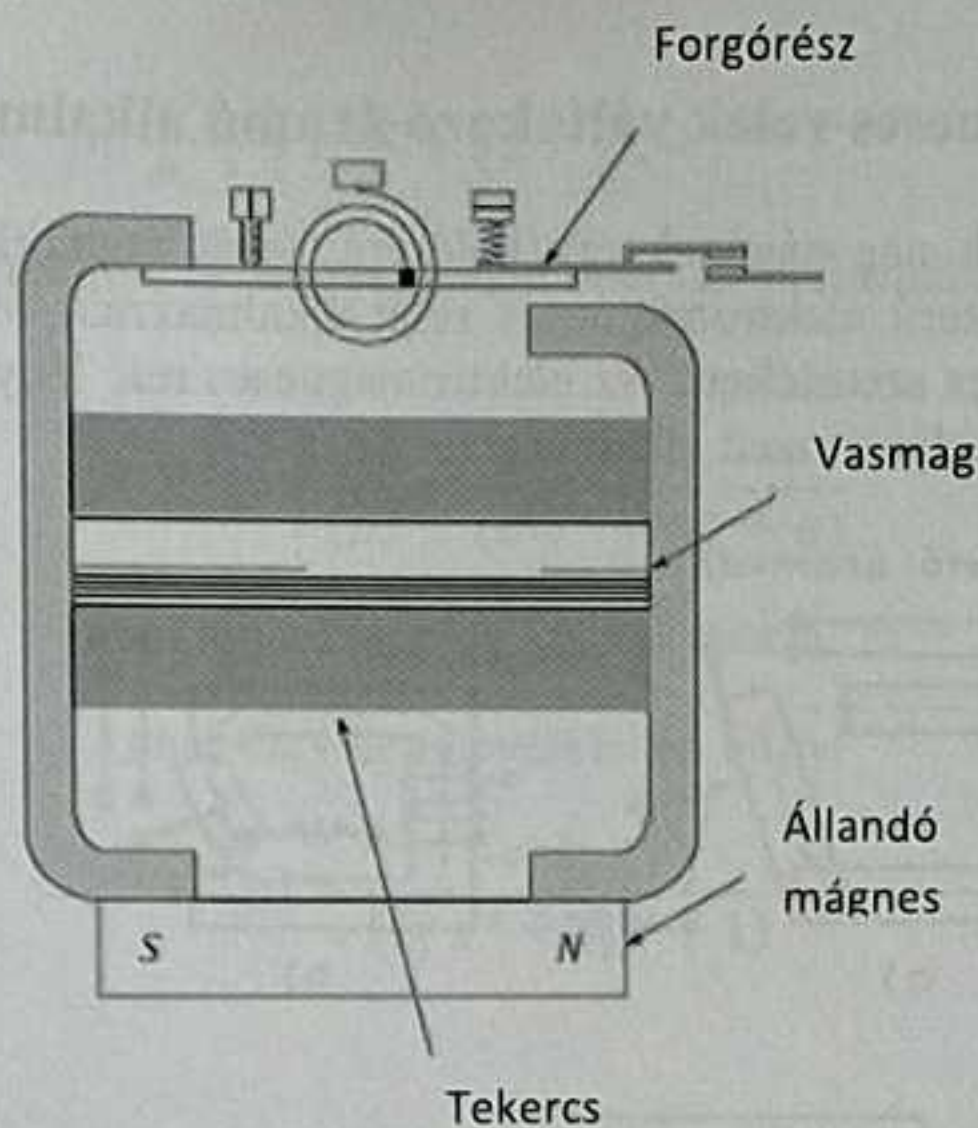
14-13 ábra Egyenfeszültségű (Reed) relék

Mindkét relé meghúzási és elengedési értéke között jelentős különbség tapasztalható. A DC relék egy különleges fajtája a REED relé, amikor is a lágyvasas fegyverzetek és az érintkező kontaktus ugyanazon szerkezeti rész.

A kontaktusok jellemzően robosztusak, így nagyobb parancsadó áramokat is tudnak kapcsolni. Megszakítók vezérlése esetében ez akár 30 Ampert is jelenthet. A megfelelő működést megzavarhatja a remanens mágneses jelenség, ezért a vasmag alacsony remanenciájú anyagból készül. Ezen relék működési ideje jellemzően kb. 100-400msec, de a reed-relék ennél lényegesen nagyobb sebességre képesek. A fogyasztásuk a tekercsműködtetési körben (DC) alacsony szintű, jellemzően 0.05-0.2W.

Az áram és feszültség érzékelésére alkalmas EMR abban különbözik a DC típusoktól, hogy a megszólalási és elengedési áramértéket közelítik egymáshoz ~ 10%-on belüli értékre. Így tartóviszonyuk közel 1, azaz elengedett és meghúzott állapotban közel azonos fluxus halad át a mágnesesen vezető anyagból elkészített lágyvasas fegyverzetek között.

Vannak alkalmazások, amikor un. polarizált relék vagy a hasonló jellegű deprez relék szükségesek.

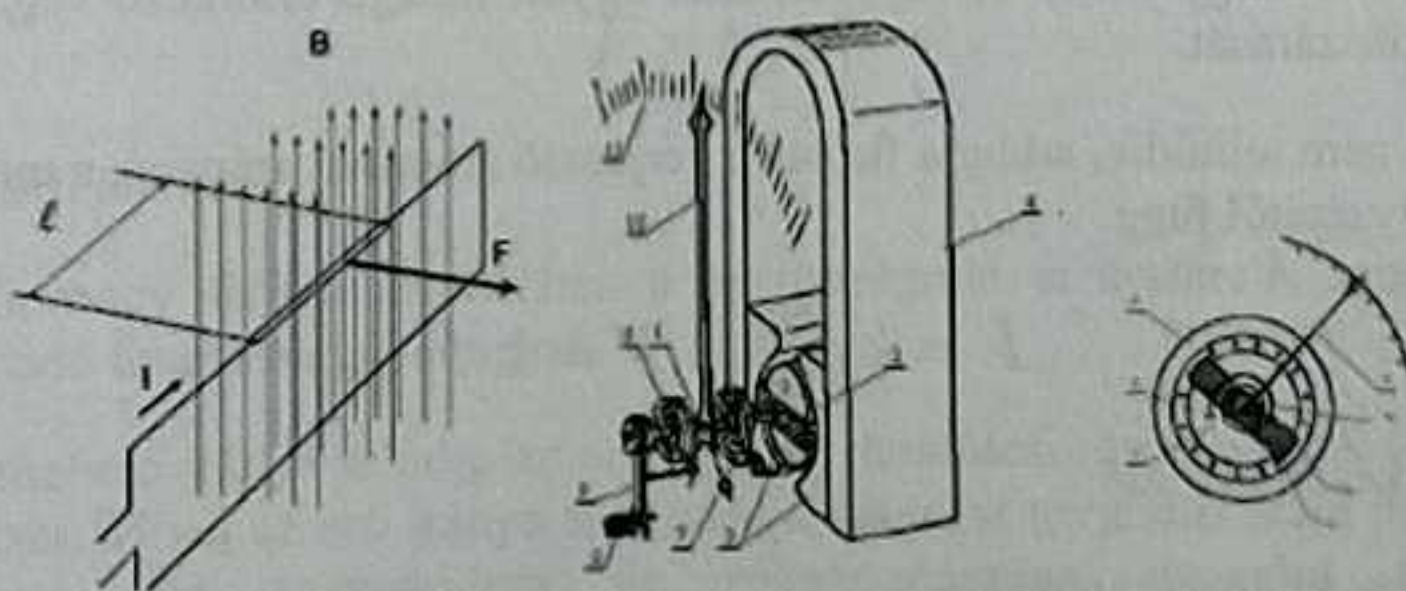


14-14. ábra Polarizált relé

A fenti ábrán látható polarizált relé alkalmas úgy kétállapotú (bistabil) relés alkalmazásra, mint monostabil típusú kialakításra. A működtető áram be- vagy kikapcsolja. A kialakítás függvénye, hogyan válik bistabil jellegűvé. Ezen védelmek csak DC meghajtásra alkalmasak.

A DEPRÉZ elv jól ismert a mérés technikából. Állandó mágnes által létrehozott B indukciójú térben egy elfordulni képes tekercs helyezkedik el, amelyen DC áram esetén elfordító erő jön létre.

$$F = B \cdot l \cdot I$$



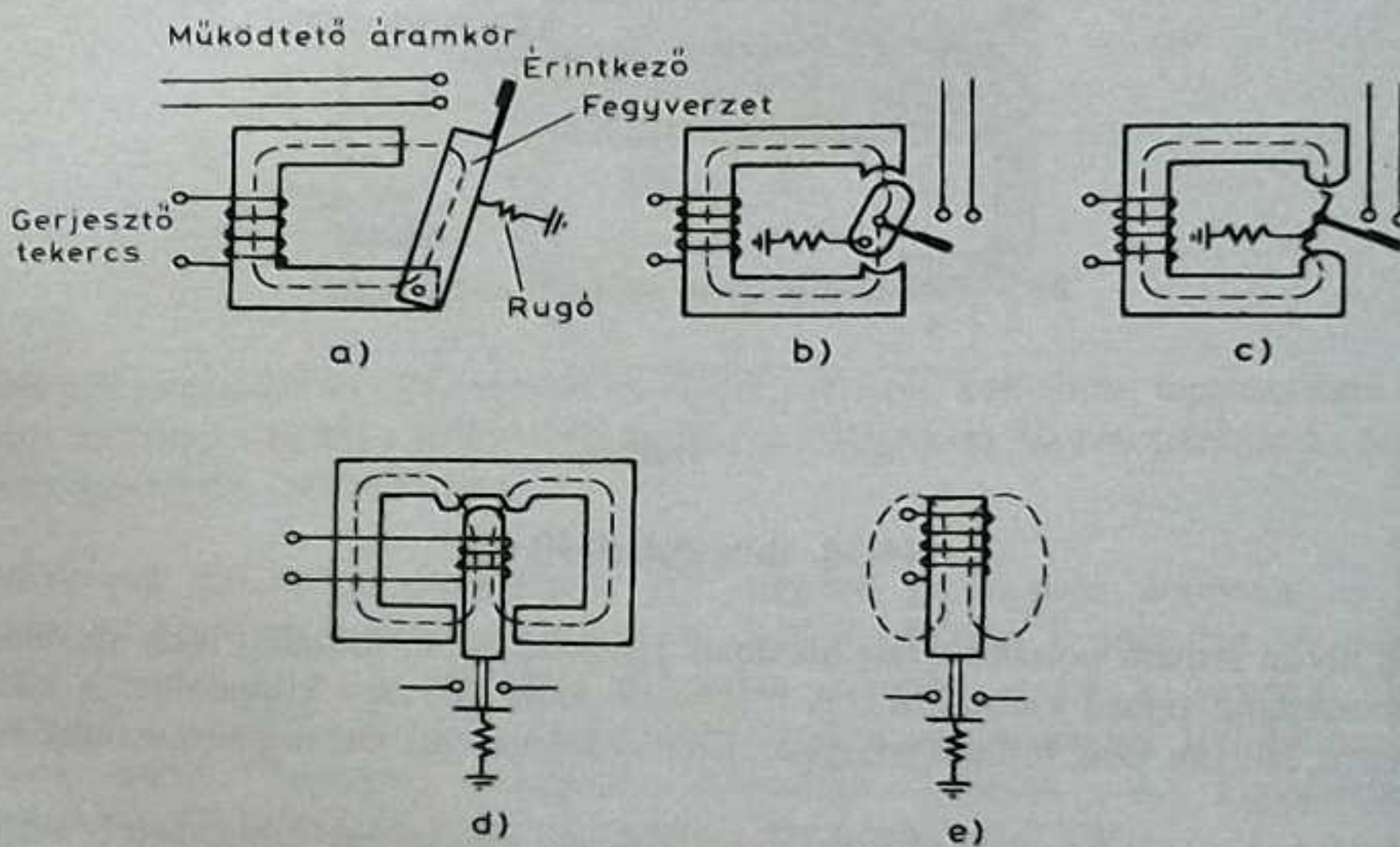
14-15. ábra Deprez relé működése, külső és belső mágneses konstrukció

A deprez relékkal nagy pontosság és gyors működés érhető el. Váltakozó áramú működéshez ún. egyenirányítós relét alkalmaznak. Ez jellemzően egy Graetz-hídkapcsolás, amely kétutas működésű és lényegében a mérendő áram vagy feszültség abszolút értékét méri. A helyes működés biztosításához a relét áramgenerátorosan kell meghajtani, hogy a diódák küszöbfeszültsége ne befolyásolja a mérés pontosságát.

Az egyenirányítós deprez relé volt az első relés korszak (1970-ig) csúcseleme. Ezekkel készültek a legutolsó elektromechanikus távolsági és differenciál védelmek mérőelemei (BBC L3,Lz 32 stb.).

### 14.3.1 Elektromágneses relék váltakozó áramú alkalmazásokban

Áramok és feszültségek nagyságának érzékelésére, tehát áramrelének és feszültségrelének leggyakrabban az egyszerű elektromágneses relét alkalmazzák. Működését az alábbi ábrán vázolt ún. billenőmágnes szemlélteti. Az elektromágneses relé lényegében, mint látni fogjuk, az effektív érték mérési algoritmust alkalmazza.



14-16. ábra Lehetséges EMR konstrukciók

A vasmagot rugóerő tartja nyitva. A vasmagot körülvevő tekercs elegendő árama esetén a mágneses fluxus négyzetével arányos húzóerő kerül túlsúlyba, s a vasmag mozgó részét zárja. A mozgó rész neve: fegyverzet. A fegyverzettel együtt mozgó érintkező végzi a működtető (vezérlő) áramkör zárását.

Amíg a vasmag nem telítődik, addig a fluxus a gerjesztő árammal arányos, s mivel az  $F$  húzóerő a fluxus négyzetétől függ:

$$F = k|\phi|^2, \text{ ill. } F = k_i|I|^2$$

ahol  $k$  és  $k_i$  szerkezeti állandó.

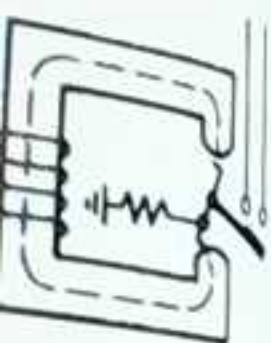
Feltételezve, hogy az áram szinuszos:

$$i(t) = I_{\max} \cdot \sin \omega t \quad \text{akkor az erő} \quad F(t) = k_i I_{\max}^2 (1 - \cos 2\omega t) / 2$$

azaz, ahogy a képletből látható, az erő rendelkezik egy állandó összetevővel és egy 100Hz-es váltakozó irányú összetevővel. Mivel a relében be van építve egy rugó is, amely  $F_r$  nagyságú ellentétes erőt hoz létre, az elektromechanikus relé rezegni fog vagy, ahogy gyakran mondják, prellezhet. A lágyvasas mozgórész mozgási egyenlete felírható a fizikából ismert összefüggés szerint:

zásokban

ek és feszültség  
ködését az alábbi  
ében, mint látni



$$m \frac{d^2x}{dt^2} + n \frac{dx}{dt} + qx = F = f - F$$

Az egyenlet megoldása a frekvencia függvényében operátoros formában egy másodfokú szűrő egyenletét adja:

$$W(p) = \frac{x(s)}{F(p)} = \frac{1}{(mp^2 + np + q)}$$

ahol  $s=j\omega$  komplex körfrekvencia.

Annak figyelembevételével, hogy:

$$W(p) = \frac{k}{(T_1^2 p^2 + T_2 p + 1)}$$

Azaz amennyiben a szűrő együtthatóit ( $m, k$ .) megfelelően választjuk ki, akkor a relé mint egy 5-10 Hz-es alul átteresztő szűrőként működik és a 100 Hz-es prellezés elnyomható. Érdekességként említhető az ún. Reed relé, amely igen kis tömegű mozgórészsel bír, ezért akár 100-2000 Hz-el is képesek rezegni.

Azt is kijelentjük az elektromágneses relé működése alapján, hogy lényegében az átfolyó áram effektív értékére reagál, mivel működési egyenletében megtaláljuk a négyzetre emelést és a szűrés révén az átlagolás műveletét. Emiatt ezen relé méri a mért mennyiség alapharmonikus mellett a harmonikus összetevőket is.

A feszültségrelé az áramrelétől csak a tekercs kivitelében különbözik (vékony huzalból készült, sokmenetű tekercs) szemben a kevés menetű, vastag huzalból készült áramtekercssel. A húzóerő feszültségrelé esetén:

$$F = k_u |U|^2$$

ahol  $k_u$  szerkezeti állandó.

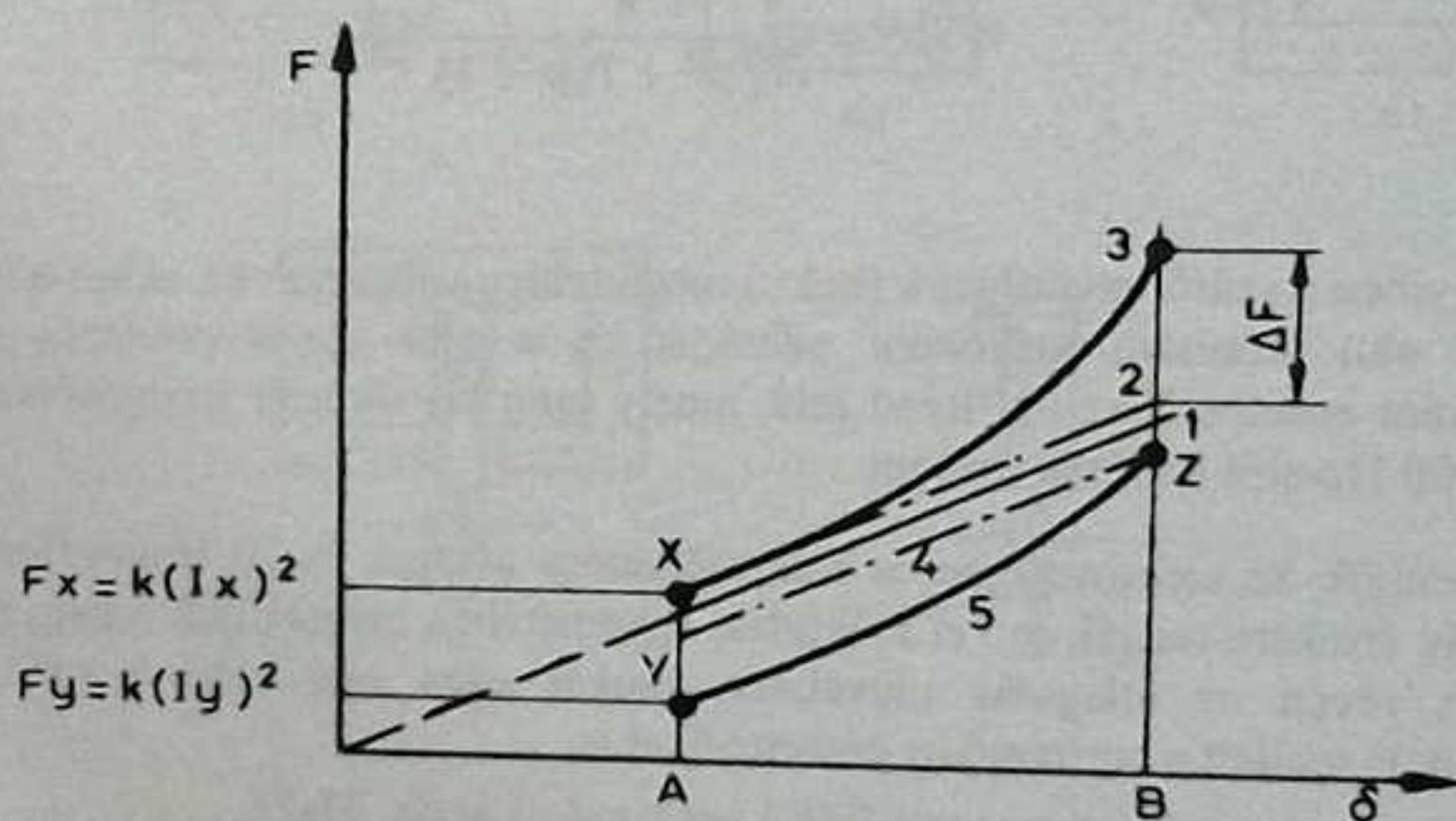
Megjegyzendő, hogy fizikai értelemben a feszültségrelé is áramrelé, amelynek árama a kapacitív uralkodó feszültséggel arányos.

A mágneses húzóerő iránya mindig az erővonalak rövidülési törekvésének felel meg, azaz a légrést csökkenti. Mivel az erő iránya független a mágnesset gerjesztő áram irányától, ezért az elektromágneses relé egyenáramra és váltakozóáramra egyaránt használható. A váltakozóáramú felhasználásra gyártott reléket az örvényáramok és a hiszterézis miatt lemezzel vasból készítik. Az elektromágneses relék univerzális használhatósága miatt ilyen elven működnek a segédrelék is, amelyeknek célja egyidejűleg több és rendszerint nagyobb vezérlőáramok kapcsolását megengedő érintkező alkalmazása.

A fenti ábrán látható billenőmágneses relé működésekor a légrés gyakorlatilag megszűnik, a mágneses kör ellenállása csökken, így a fluxus változatlan gerjesztőáram mellett is jelentősen megnő. Ennek megfelelően négyzetesen nagyobb lesz az  $F$  húzóerő is. Ugyanakkor a rugó visszahúzó ereje a rugó nyúlásával csak lineárisan növekszik. Így az elmozdulás során megtett út függvényében az eredő erőhatás fokozódik, ami ütőszzerűen gyors működést, valamint biztos és nagy érintkezőnyomást eredményez. A zárt állapotban nagyon megnőtt húzóerő

miatt a relé nyugalmi állapotba való visszatérése csak a megszóalási határáramnál sokkal kisebb áram alatt jöhet létre, tehát a tartóviszony igen nagy. E hátrányos tulajdonság miatt a billenőmágneses megoldást áramrelénél és feszültségrelénél kerüljük, viszont elterjedten használják segédrelének, ahol a tartóviszonynak nincs jelentősége.

Jobb tartóviszonya –közelebb az 1-hez- van az 14-16b ábrán látható forgómágneses relének, amelynek elmozdulásakor a mágneses kör ellenállása - s ez által a fluxus is - csak kisebb mértékben változik. Áram- és feszültségrelé szerepére leginkább a forgómágneses relé 14.16. c ábrán vázolt, ún. Z-ankerés kivitelét használják. A fluxus növekedésekor a vékony anker gyorsan telítődik, ezáltal az elmozdulás kevésbé befolyásolja a fluxust, s igen jó tartóviszony érhető el.



14-17. ábra Elektromágneses relé erő-út diagramja

Az elektromágneses relék működésére jellemző erőviszonyok jól megítélhetők a fenti ábrán lévő erő-út diagramon. A vízszintes tengely a fegyverzet útját jelenti az elmozdulás során. Az A pont a nyugalmi, a B pont a meghúzott állapotnak felel meg. A lineárisan növekvő rugóerőt az 1 jelű egyenes mutatja. A rugó a nyugalmi helyzetben is elő van feszítve, ennek mértéke és a súrlódás (2. vonal) határozza meg a megszóaláshoz szükséges  $F_x = k(I_x)^2$  erőt, s ez által az áramot is. Az elmozdulás során a mágneses erőhatás a 3. görbe mentén jobban növekszik, mint a lineáris rugóerő (1) és a súrlódás (2) összege, így a relé meghúzott állapotában  $\Delta F$  erőfelesleg szorítja össze az érintkezőket. A diagramból leolvasható, hogy a már meghúzott relé csak akkor eshet vissza, ha tekercsét  $I_y$ -nál kisebb áram gerjeszti. Az ehhez tartozó  $F_y$  húzóerő ugyanis az 5. görbe mentén olyan értékre nő, ami a visszahúzást végző rugóerő és az ellene ható súrlódás különbsége. (Az ábrán a Z pont.) Az ábra jelöléseivel a relé tartóviszonya:  $I_x / I_y$ .

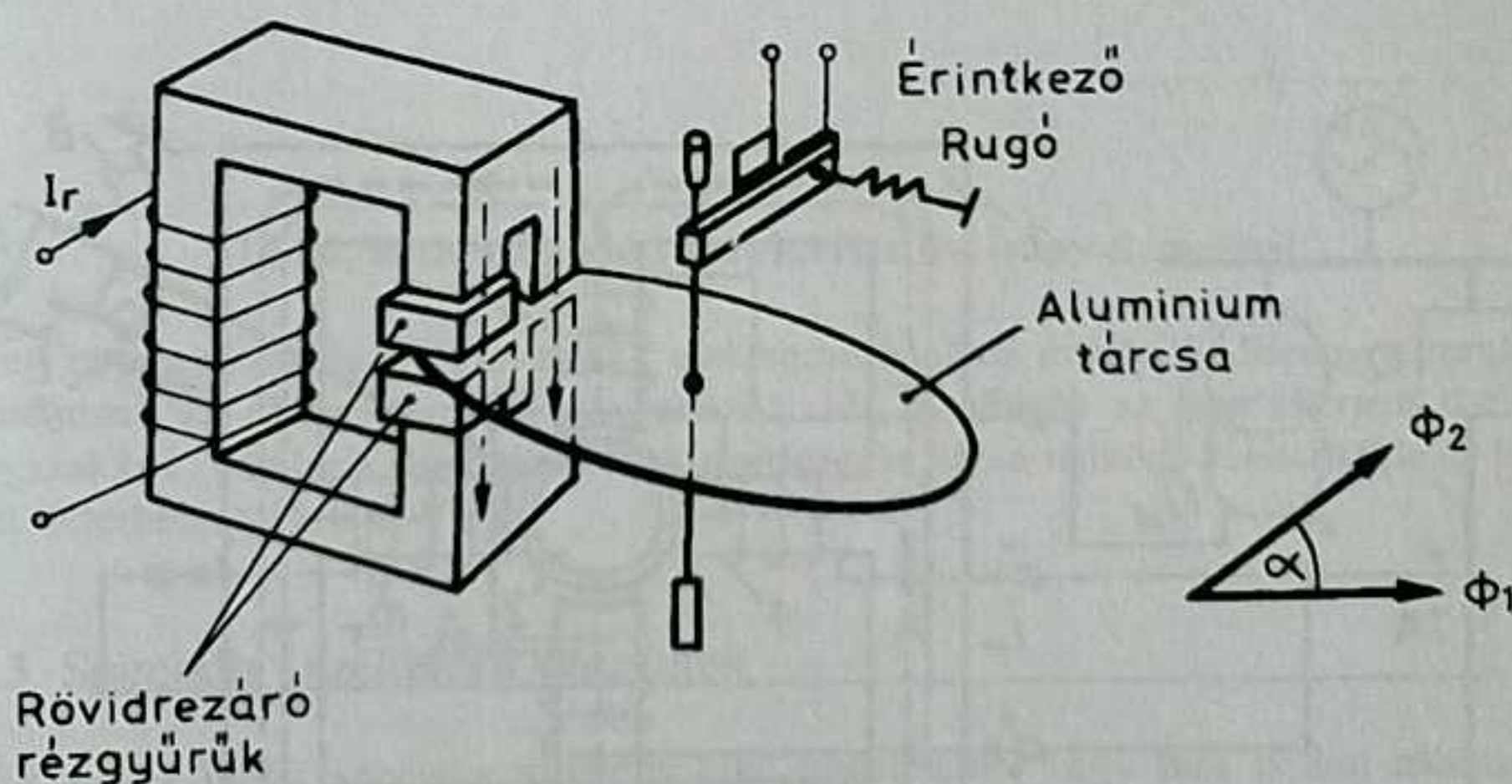
### 14.3.2 Az indukciós relék működési elve

Az indukciós relék működése időben változó mágneses fluxusok és áramok kölcsönhatásán alapszik. A relé mozgó részében létrejövő áramokat is az állórész körülvevő tekercs vagy tekercsek által gerjesztett fluxusok indukálják. Az indukciós relék csak váltakozóáramra használhatók.

Az indukciós relék kiviteli módja kétféle: a mozgó rész tárcsa vagy dob. Forgatónyomaték keletkezéséhez legalább két, térben és fázisban eltolt fluxusra van szükség. E két fluxus egyetlen gerjesztő tekercssel is létrehozható, ha a mágneses kört kettéválasztják és az egyik ágat rövidrezárt menettel veszik körül. E gyűrű alakú menetben indukált áram a gerjesztett fluxus irányát és nagyságát megváltoztatja, s így előállítja a második, térben és fázisban eltolt fluxust.

Ezt a megoldást áramreléknél és feszültségreléknél alkalmazzák. Energia-irányreléknél erre nincs szükség, a feszültség és az áram hozza létre a két eltérő fluxust.

Az 14.18 ábra a rövidrezárt-menetes, tárcsás kivitelű indukciós relé szerkezeti vázlatát mutatja. Az osztatlan vasmagot körülvevő tekercsben folyik a relét gerjesztő  $I_r$  áram, amely a vasban a vele egyező fázisú  $\phi_2$  fluxust létesíti.



14-18. ábra Indukciós túláram relé

A tárcsánál mindkét végén felhasított vasmag egyik ágát egy-egy rézgyűrű veszi körül. A vasmag e részén a fluxus:  $\phi_1$ , amely a rövidrezárt gyűrűben indukált áram hatására a  $\phi_2$  fluxushoz képest  $\alpha$  szöggel késik. Az alumínium tárcsa tengelyéhez erősített érintkező zárja elmozduláskor a működtető áramkört. Az elmozdulás beállítható rugóerővel szemben történik, ami megszabja a működést kiváltó forgatónyomaték és ezen keresztül a megszólaláshoz szükséges áram nagyságát. A két fluxus az alumínium tárcsában köráramokat indukál. A nyomatékot mindegyik fluxusnak a másik által indukált körárammal való kapcsolata hozza létre. Kimutatható, hogy a nyomaték:

$$M = k|\phi_1||\phi_2|\sin \alpha$$

amely bármilyen kivitelű indukciós relére érvényes. Adott nagyságú fluxusok tehát akkor adják a legnagyobb nyomatékot, ha egymással  $90^\circ$ -ot zárnak be. Ha a szög nulla, nyomaték sincs.

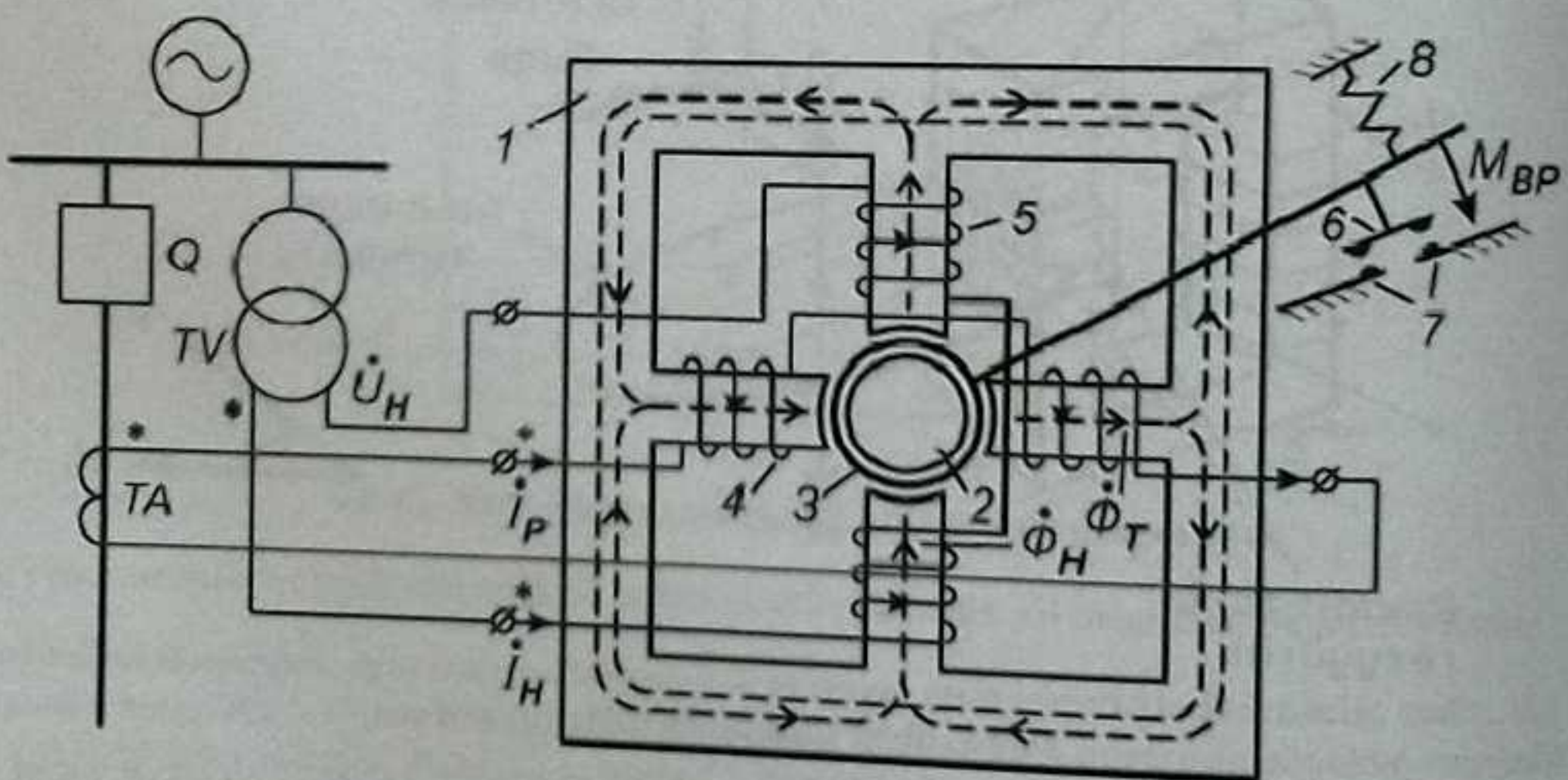
Áramreléknél és feszültségreléknél  $\phi_1$  és  $\phi_2$  egyaránt a relé I tekercsáramával arányos (amíg nincs telítés), a fluxusok közötti  $\alpha$  szög pedig szerkezeti állandó, így a meghúzást kiváltó erőhatás (nyomaték):

$$\text{áramreléknél: } F = k|I|^2$$

$$\text{feszültségreléknél } F = k|U|^2$$

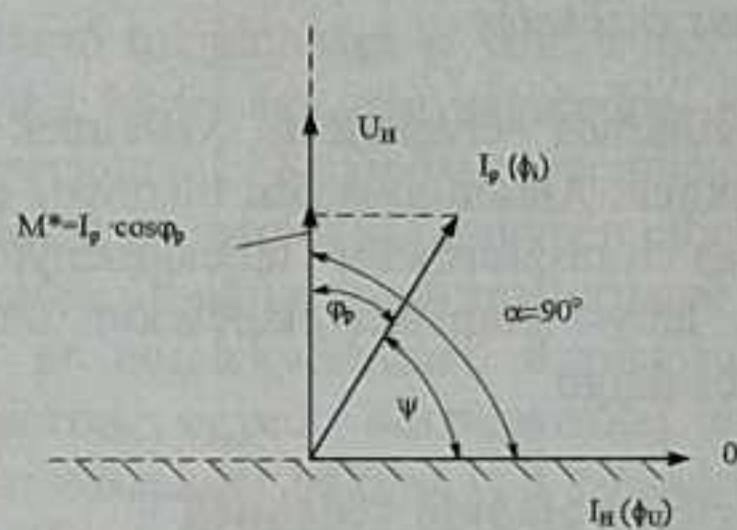
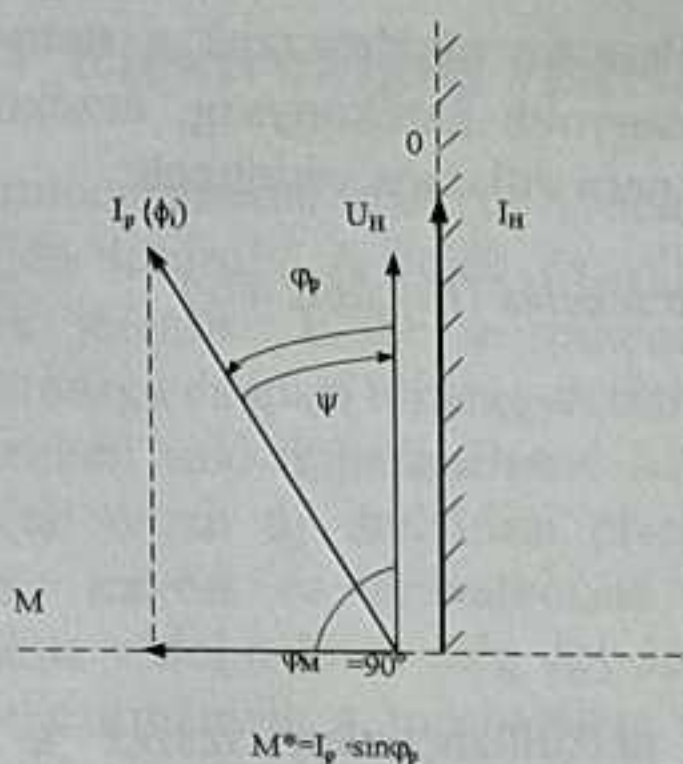
Minthogy a tárcsa (dob) elfordulásával - az elektromágneses relékel ellentétben - a légrés, így a fluxus és az erőhatás nem változik, viszont a rugóerő lineárisan nő, az indukciós áram- vagy feszültségreléknél előfordulhat, hogy a relé a nyugalmi és meghúzott állapot között, közbenső helyzetben áll meg, ami bizonytalan érintkezést eredményezhet.

Ezért az indukciós reléket önállóan áramreléknek vagy feszültségreléknek ritkán használják. Fontos szerephez jutnak azonban egyes összetett reléknél és kitűnően alkalmazhatók energiáirány-relének.



14-19. ábra Energiairány relé

A fenti ábrán látható, hogy az áram (4) és feszültségtekercs (5) egy alumínium anyagú hengerre hat (2). Attól függően, hogy az indukciós relé hol adja le a maximális nyomatékot beszélhetünk  $\sin \phi$  vagy  $\cos \phi$  reléről. Alább láthatók a két kialakításhoz tartozó vektorábrák.



14-20. ábra Működési karakterisztika irány elemeknél

Jelenleg is nagy számban előfordulnak elektromechanikus eszközök. Bizonyos területeken megmaradnak az elektromechanikus eszközök. Ide sorolhatók az igen elterjedt 0.4 kV-os kismegszakítók, amelyek lényegében elektromágneses elven működő túláram relé és bimetal jellegű túlterhelés védelem.

### 14.3.3 Speciális érzékelésű védelmek

A VER egyes hibáit speciális villamos elvű védelemmel vagy más fizikai módon lehet kielégítő biztonsággal kezelni.

Nem minden esetben elegendő az alulfrekvenciás pozitív sorrendű túláram, teljesítményirány és az impedancia érzékelés. A villamos érzékelésben még felhasználható módok:

- Feszültség csökkenés- és emelkedésérzékelés
- Zérus sorrendű feszültség és áramérzékelés (  $3I_0$  és  $3U_0$  ) KÖF hálózatok Ff-védelménél
- Negatív sorrendű áramérzékelés (  $I_2$  ) forgógépek aszimmetria védelmei
- Harmonikus érzékelés (  $I_3$  és  $I_5$  a leggyakoribb ) kondenzátor-telepek és motorok
- Frekvenciacsökkenés-emelkedés – rendszerszintű üzemzavar ellenes védelmek

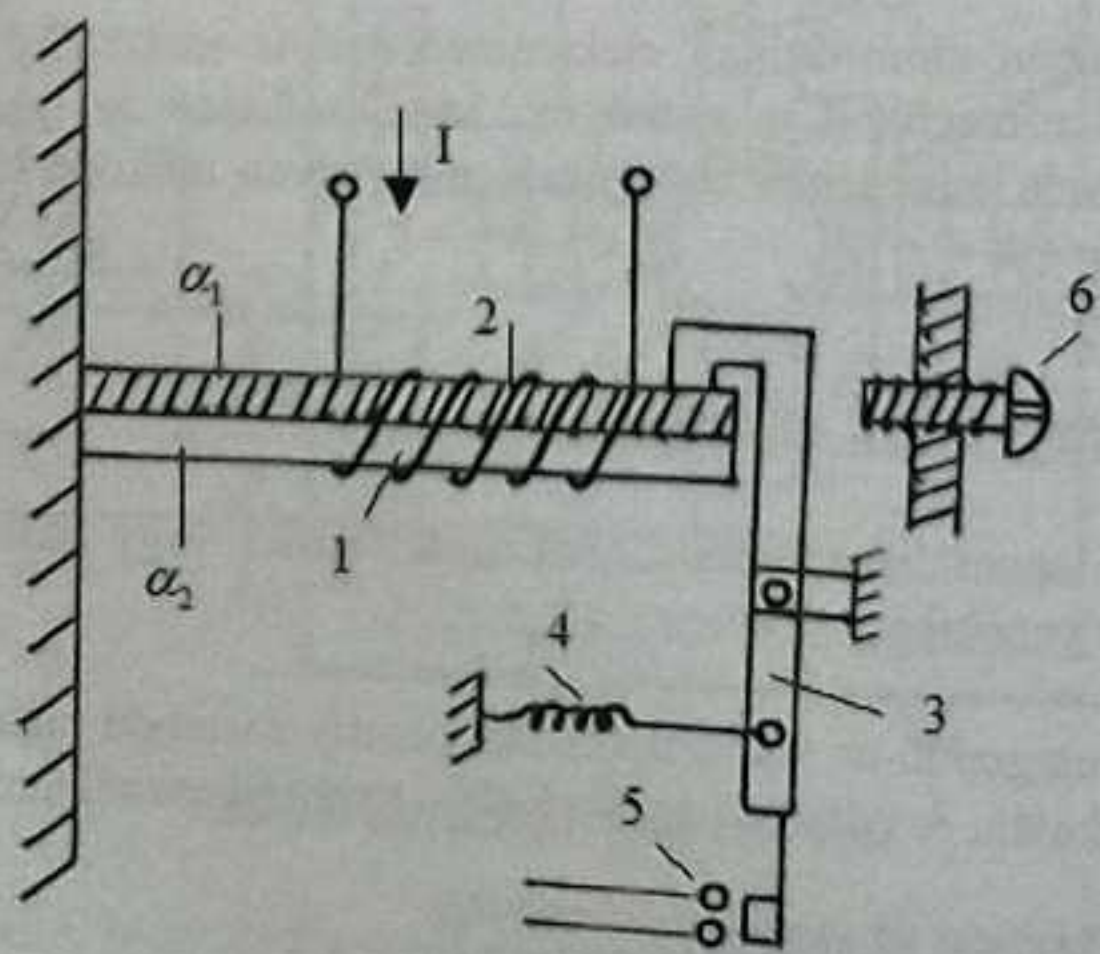
Ezen módoknak akkor van jelentőségük, amikor a hálózati viszonyok nem teszik lehetővé a normál védelmi kialakítást. A kiegészítő érzékelések védelmi rendszerek részelemei szoktak lenni.

A fentebb leírt villamos elvű védelmek mellett hatékonyan alkalmazzuk a **nem-villamos érzékelésű védelmeket**. Bizonyos berendezéseknél nagyobb hatékonyság, érzékenység és megbízhatóság érhető el. A leggyakrabban alkalmazott nem villamos védelmek:

- nagy olajterű berendezésekben gázosodás és áramlásérzékelés (Bucholz-elv)
- ivérzékelés kapcsolóberendezésekben
- hőmérséklet érzékelés
- akusztikus érzékelés

A nem-villamos érzékelésű védelmek ma már nélkülözhetetlen részei a védelmi rendszereknek. Alkalmazásukat bizonyos esetekben szabvány írja elő (pl. a Bucholz védelem 10MVA-es transzformátor teljesítménytől kötelező). A leggyakoribb érzékelések: hő-, nyomás-, fény- áramlásérzékeléseken alapulnak. Ennek megválasztása feszültség szint és berendezés függő.

#### Hőérzékelésen alapuló védelmek



14-21. ábra Ikerfémes hőrelé – ahol 1-2 a két különböző fém, 3-mozgó rész, 4- rugó, 5 - kontaktus, 6-beállítószerv

## 14.4 Elektronikus védelmek

Az elektromechanikus relék és védelmek fejlesztési korszaka a 60-as évek végén, a 70-es évek elején lezárult. A relék és védelmek újabb generációját a félvezető elektronikus változatok jelentik. Előbb a tranzistorok, később pedig az integrált áramkörök nagy megbízhatósága és ipari tömeggyártásban való megjelenése alkalmassá tette ezeket a védelmi készülékekben való felhasználásra. Az elektronika által nyújtott nagyobb kapcsolástechnikai lehetőségek olyan új működési elvek alkalmazását segítették elő, amelyekkel gyorsabb érzékelést, mérést és beavatkozást lehetett elérni. Ezen alapvető előnyök mellett az elektronikus védelmeknek még egy sor egyéb kedvező tulajdonsága is volt: a mérőváltókról felvett teljesítményük a mechanikus relékhez képest közel egy nagyságrenddel kisebb, és helyigényük is messze elmarad az előző generációkétól. Különösen szembevetve ez a különbség komplex berendezéseket tekintve, ahol közepes méretű szekrényben elhelyezhetők egy generátor-transzformátor mező, egy nagy/középfeszültségű transzformátormező vagy egy nagyfeszültségű távvezetési mező összes alap- és tartalékvédelsei, üzemzavar-elhárító automatikái. Ezeket klasszikus szerelési technikával, egyedi készülékekkel csak több relétáblán lehetett elhelyezni, és kiterjedt szekunder összekötő hálózat volt szükséges hozzá. Itt jelentkezik a komplex berendezések további előnye, nevezetesen az, hogy a komplett védelem - automatika rendszert tartalmazó szekrény már a gyárban nagy biztonsággal teljes egészében ellenőrizhető, éleszthető és hitelesíthető. A berendezés belső huzalozási rendszere az üzemi körülmények között védettebb, sokkal kevésbé van kitéve a sérüléseknek (véletlenszerű külső beavatkozás, sorozatkapocs-lazulások stb.).

A korszerű üzemvitel egyre inkább megköveteli a karbantartói és kezelői létszám csökkentését, sőt ez utóbbinak egyes esetekben a teljes elhagyását is (állandó kezelőszemélyzet nélküli állomások). Ebből a szempontból vitathatatlan előnyei vannak az elektronikus védelmeknek, hiszen rendszeres karbantartást nem igényelnek, sőt a legtöbb esetben mód van a belső áramkörök egyszerű nyomógombos ellenőrzésére vagy egyes esetekben az önellenőrzésre. Ezen kívül a hozzájuk kapcsolódó külső szekunder hálózat legfontosabb elemeinek folyamatos figyelésére is lehetőség nyílik.

Tagadhatatlan azonban, hogy félvezető elemek alkalmazásával olyan problémák is felvetődnek, amelyek a korábbi készülékgenerációknál nem jelentkeztek. Ezek elsősorban az erősáramú szekunder túlfeszültséggel és kellemetlen zavarjelekkel erősen "szennyezett" környezet és a viszonylag sérülékeny és zavar érzékeny elektronika együttéléséből adódnak. Gondos tervezéssel és az elektronikus berendezésekre külön kidolgozott szigorított vizsgálati előírások következetes betartásával a problémák megoldhatók. Ezek az állomásokra telepített más elektronikus (pl. telemechanikai) berendezésekre is érvényesek.

Mint minden új technika bevezetésével kapcsolatban, itt is felvetődik a gazdaságosság kérdése. Az egyedi védelmi feladatokat ellátó elektronikus készülékek ára még világszerte magasabb a mechanikus készülékek áránál, gyakran 1,5...4-szerese. Különösen az egyszerűbb védelmek (pl. egyedi túláramrelé, feszültségrelé) drágák, hiszen ezekhez is éppúgy külön tápegységek, bemeneti és kimeneti leválasztó áramkörök szükségesek, mint a bonyolultabbakhoz.

## 14.4.1 Elektronikus relék alapkapcsolásai

Az elektronikus védelmek belső félvezető áramkörét el kell választani a hozzá csatlakozó külső, zavarjeleket is kibocsátó erősáramú szekunder hálózatoktól, amelyeket a mérőváltók táplálnak, de számos egyéb kommutációs eszköz is található az ilyen körökben. Ez olyan galvanikus elszigetelést, árnyékolást és speciális kisfeszültségű túlfeszültség-korlátozó beépítését jelenti, amely hatásosan megakadályozza az erősáramú oldalról (áramváltóktól, feszültségváltóktól, segédüzemi táphálózatból) eredő nagyfeszültségű és nagyfrekvenciás zavarok behatolását. A védelmek bemeneti és kimeneti egységei látják el ezeket a feladatokat.

### 14.4.1.1 Bemeneti egységek

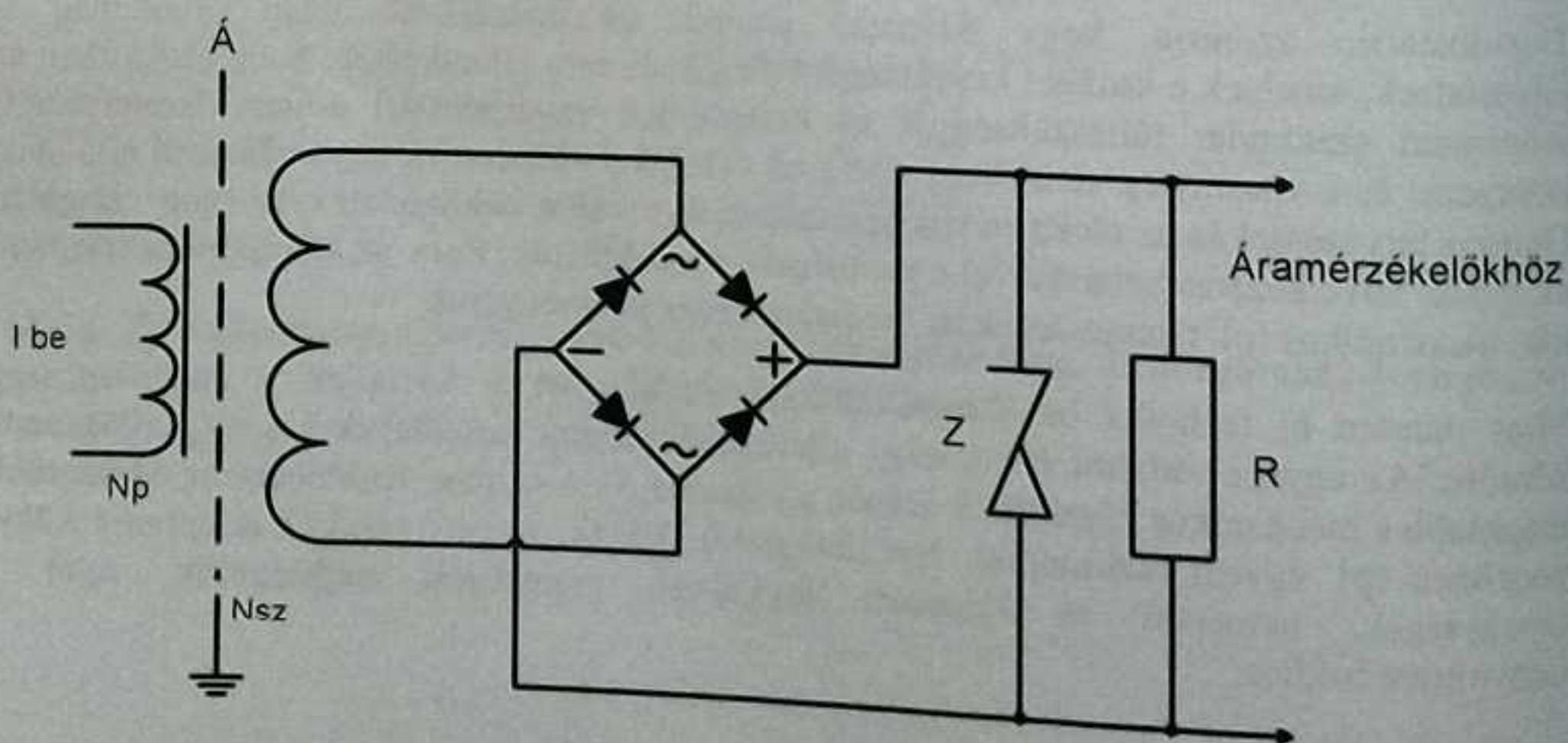
A bemeneti áramkörök tartalmazó egységeken belül három fő csoportot kell megkülönböztetni. Az elsőbe az analóg mennyiségeket fogadó egységek tartoznak, amelyek az áramváltók és feszültségváltók szekunder oldalától kapott jeleket illesztik az elektronikus áramkörök szintjére.

A második csoport a digitális, kétállapotú logikai jelek, pl. külső vezérlő-, reteszelő-, engedélyezőparancsok, primer készülékek állásjelzéseinek bevitelét teszi lehetővé. A jelek galvanikus leválasztás és jelformálás után kerülnek az elektronikus áramkörökbe.

A harmadik csoportba a védelmek tápegységei sorolhatók.

### 14.4.1.2 Analóg mennyiségek bevitele

A védett objektum áramával arányos jeleket mindig közbenső áramváltókon, a feszültségével arányos jeleket pedig közbenső feszültségváltókon keresztül - a megfelelő szintre csökkentve vezetnek az elektronikus áramkörökhöz.



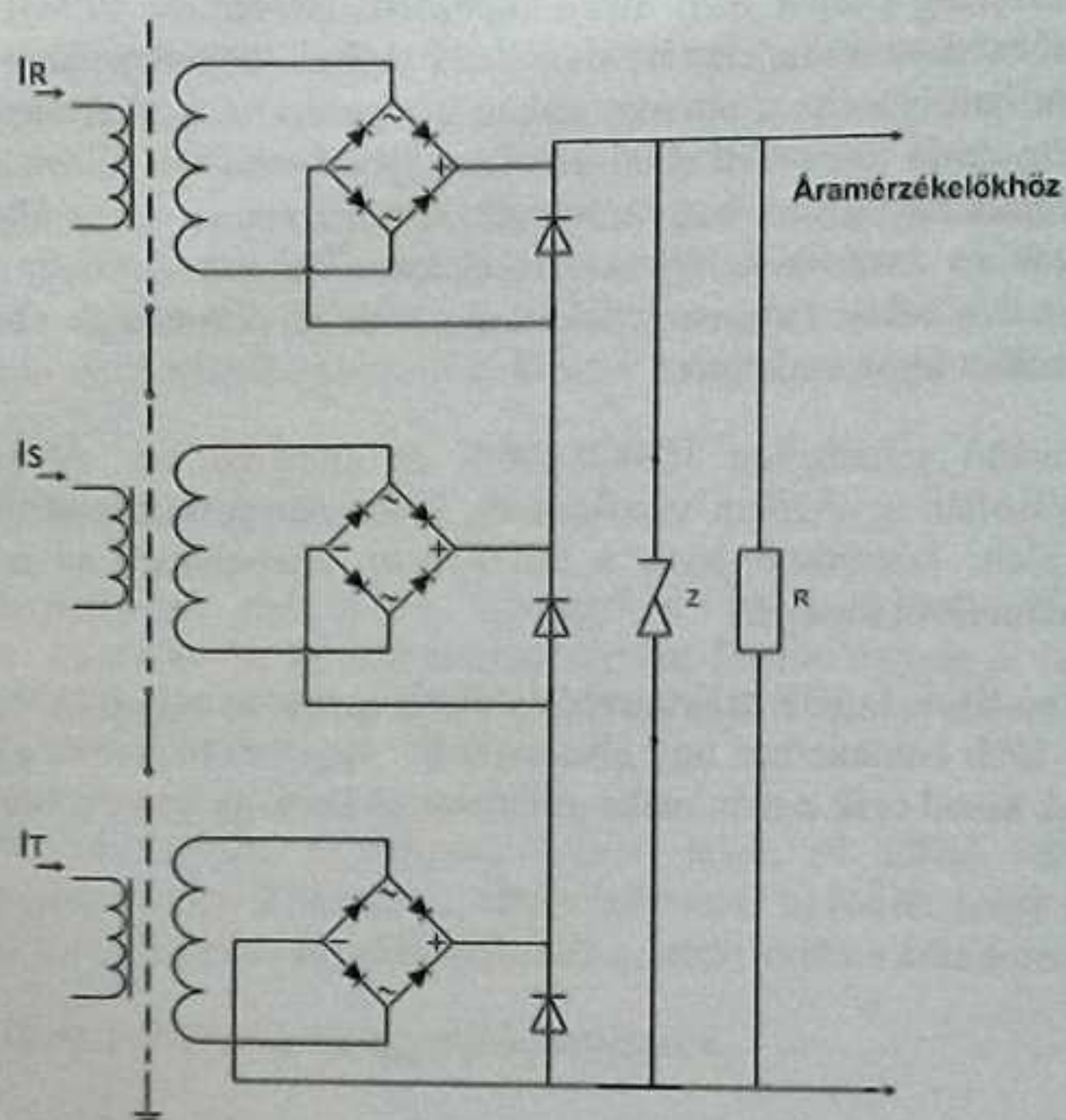
14-22. ábra Áram-feszültség átalakító

A 14-22. ábrán példaként egy túláramvédelemnél alkalmazott megoldás látható. Az  $N_p$  primer tekercs a védelem külső sorozatkapcsaira csatlakozik, az  $N_s$  szekundertekercs pedig

hídkapcsolású egyenirányítón keresztül táplálja az R ellenállást, amelyen az árammal arányos egyenirányított feszültség jelenik meg. Ilyen kapcsolási elrendezés mellett az egyenirányító diódákon eső feszültség az áramgenerátoros jellegű táplálás következtében még egészen kis áramok esetén sem befolyásolja a pontos, alakhú leképezést. A primer és szekunder tekercs közé felhasított árnyékoló fóliát kell elhelyezni, amelyet a védelem földelt fémházával össze kell kötni. Így megakadályozható, hogy a nagyfeszültségű primer áramváltók felől kapacitív úton túlfeszültségek és zavarok kerüljenek az elektronikus áramkörökbe. A Z-jelű Zener-dióda a maximális érzékelési tartomány feletti nagy zárati áramoknak megfelelő, túlzottan nagy feszültségek ellen nyújt védelmet.

A bemenő áramváltó jellemzően 1/2000-4000- es áttétellel bír. Átviteli tulajdonságai alapvetően befolyásolják a védelem viselkedését, különösen a tranziens állapotban, azaz az első 20-40msec alatt. Jelentősen javul a viselkedése, amennyiben az áramváltó lezárása zérusértékű impedanciával történik.

Az igen nagyszámú KÖF és KIF túláramvédelmeknél gyakran nem szükséges a fázisonkénti érzékelés, ezért több bemenethez úgy alkalmaznak egyetlen túláramérzékelőt, hogy pl. az  $I_R$ ,  $I_S$  és  $I_T$  áramok közül csak a maximális pillanatérték kerül az áramérzékelőhöz.



14-23. ábra Háromfázisú áramérzékelő bemeneti egység

A fenti ábrán pl. egy háromfázisú áramérzékelőt tápláló bemeneti egység látható, amely maximumkiválasztó egyenirányító kapcsolást tartalmaz. Így egyetlen elektronikus túláramérzékelővel bármely fáziszárlati esemény érzékelhető. A működés lényege abban áll, hogy a legnagyobb áram kinyitja a másik kettő egyenirányító hidait lezáró ellen-polaritású diódákat. Ennek eredményeként az R jelű munkaellenálláson csak a pillanatnyi legnagyobb áram folyik át,

#### 14.4.1.3 Feszültségjel bevétel

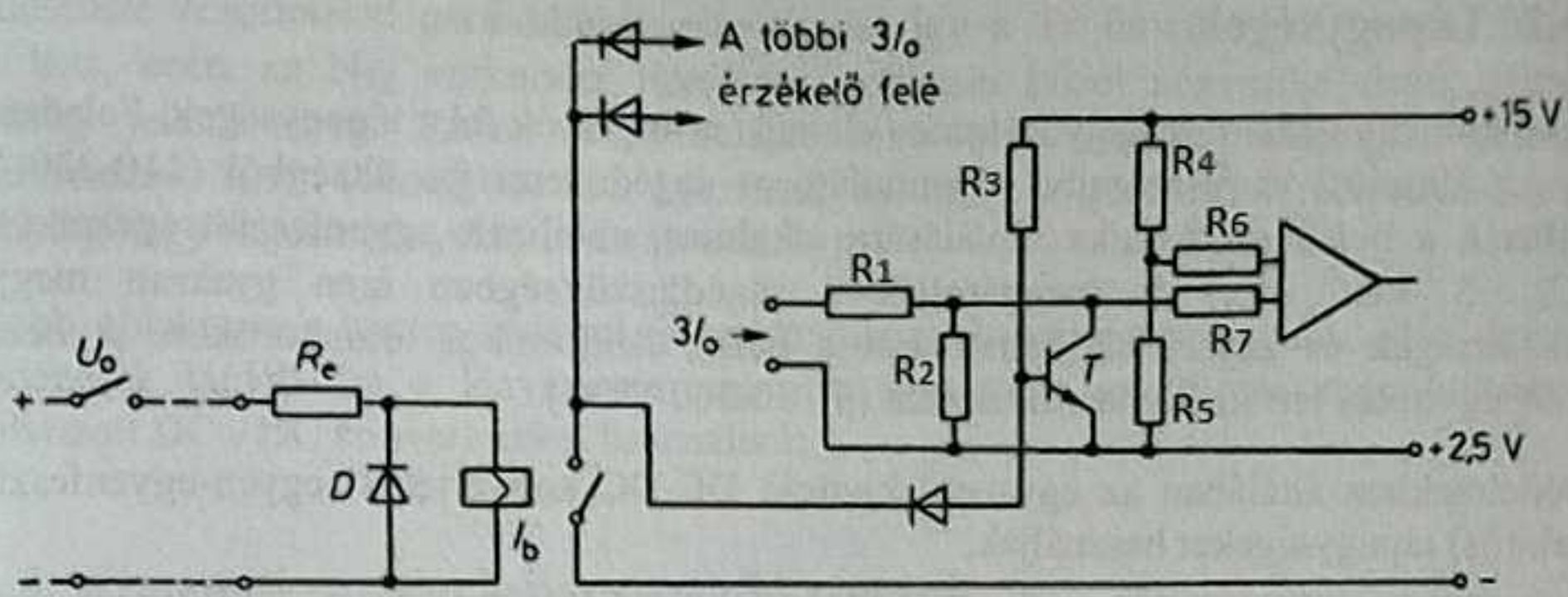
A védelmek  $U_n$  200V vagy 100 V-os szekunderszintű feszültségváltókracsatlakoznak.

( A feszültségváltók 20/0.1; 120/0.1 stb. áttételűek). A 100 és 200 V vonali feszültség értékek! A védelmek számára 3-5 V szint szükséges. A megfelelő csökkentés lehetséges közbenső transzformátorral pl.  $A_T = 100/\sqrt{3} / 3$  azaz kb. 20-as áttétel. A kapcsolat hátránya, hogy a transzformátor vasmag viselkedéséből következően lineáris átvitel nem mindig elég pontosan valósítható meg.

Ez utóbbi esetben megoldás lehet, hogy kb. 30kohmos előtét ellenállás áramgenerátorosan hajt meg egy áramváltót, amelynek ezáltal lineáris a viselkedése és az átvitele.

#### Kétállapotú logikai jelek bevitel

A kétállapotú jelek belső elektronikába való bevitelére az egyik kézenfekvő megoldás a miniatűr, általában nyomtatott áramkörbe ültethető, „kisrelé” alkalmazása. A galvanikus leválasztást lényegében a kisrelé végzi.



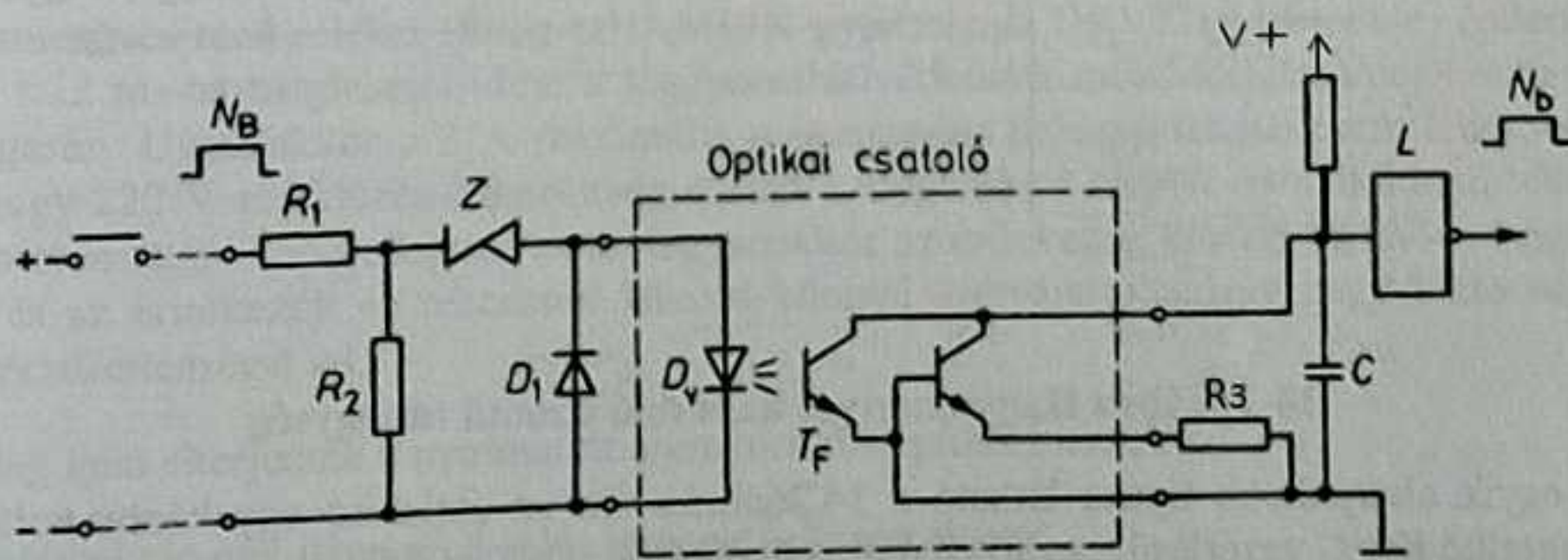
14-24. ábra Relés jelbevitel

A megjelenő  $U_o$  jel feszültségét az  $R_e$  csökkenti le a kisrelé alacsonyabb szintjére (12 vagy 24 VDC). Az ellenpolaritású  $D$  jelű dióda a relé tekercsein megjelenő kapcsolási túlfeszültségek elleni védelemre szolgál.

Az  $U_o$  kontaktust egy külső, központilag elhelyezett, zérus sorrendű feszültségérzékelő vezérli. Ez ad engedélyező parancsot a  $J_b$  reed-relé közbeiktatásával a tranzisztoron keresztül az elektronikus érzékelő áramkör  $3I_o$  jelet fogadó IC bemenetére.

A másik lehetőség az optikai csatoló felhasználása, ahol a külső parancs világítódiodás(LED) optocsatolót hajt meg.

Ma már inkább elterjedt az optocsatolóval történő leválasztás. Ezen a módon is elérhető 5-8 kV-os szigetelési szilárdsággal bíró elválasztás.



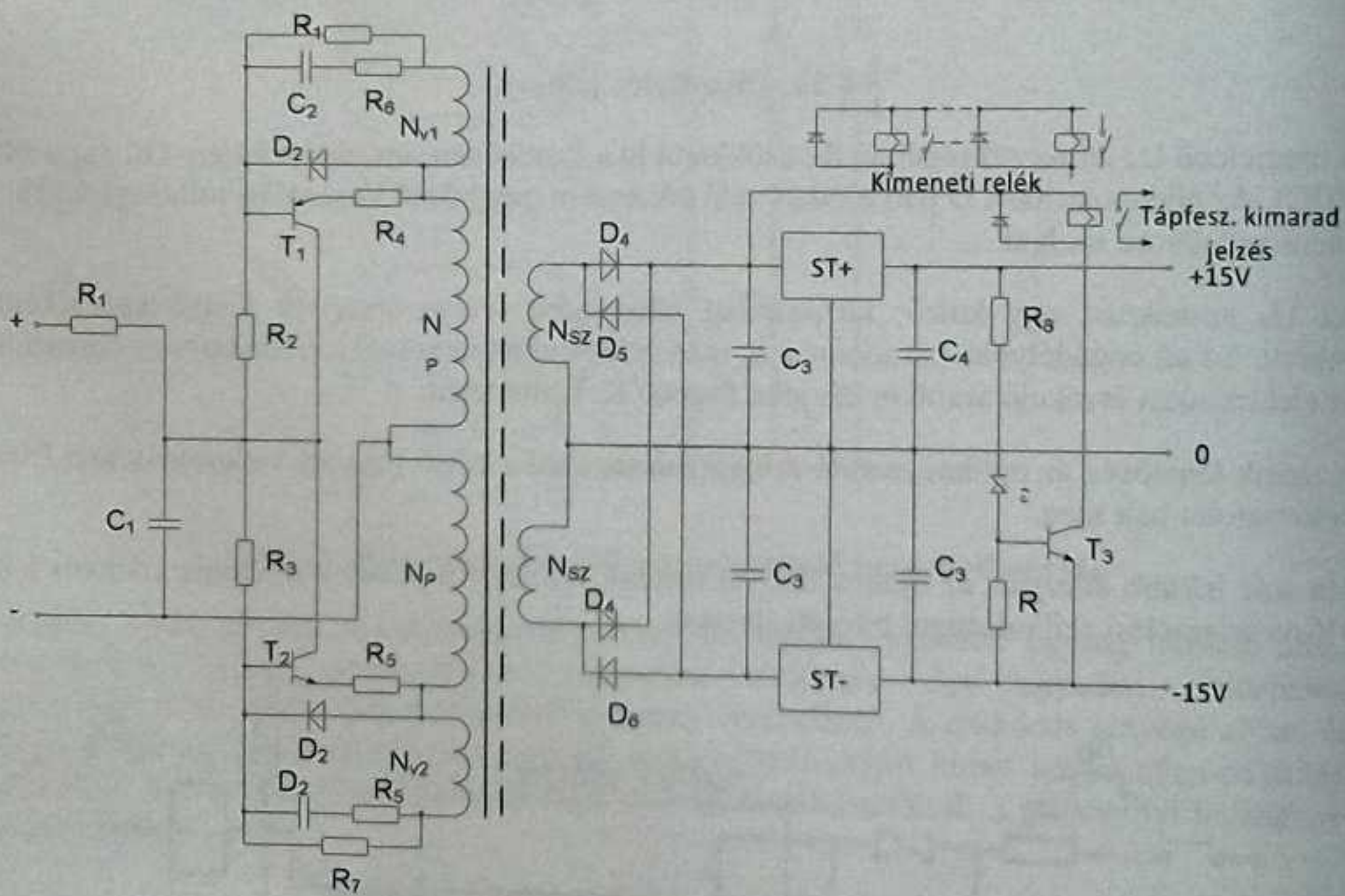
14-25. ábra Optós kétállapotú jelek bevitele

Az  $R_1$ - $R_2$  feszültségosztó és áramkorlátozó. A  $Z$  jelű zenerdióda szintén korlátozó szerepet tölt be. A  $D_1$ -es dióda a fordított polaritás esetében megvédi az optocsatoló LED diódáját átütés ellen. Az  $L$  jelű trigger áramkör jelformálást végez.

## 14.4.2 Tápegységek

Az elektronikus védelmek nagyon fontos elemeként foghatók fel a tápegységek. Feladatuk az, hogy az állomási vagy erőművi akkumulátoros segédüzemi feszültségből (110-220 VDC) előállítsák a belső elektronika táplálására alkalmas stabilizált egyenfeszültségeket (+/- 15 VDC, +5 VDC stb.) és meggátolják a segédüzemi feszültségben igen gyakran megjelenő túlfeszültségek és zavarjelek behatolását a belső elektronikus áramkörökbe. A bemeneti feszültség széles tartományban mozoghat (pl. 80-260 VDC).

A védelmekhez általában az egyszerű kivitelű DC-DC konverteres (egyen-egyenfeszültség átalakító) tápegységeket használják.



14-26. ábra Hagyományos kapcsoló üzemi tápegység

Ezek egyik elterjedtebb típusa látható a 14.26. ábrán. Ez az átalakító egy közös kollektorú vasmagteltődéses vezérlésű, nyitóüzemi, ellenütemű DC - AC konverterből (egyen - váltakozó feszültség átalakítóból) és az ezt követő egyenirányítóból és stabilizátorból áll. A  $T_1$  és  $T_2$  nagyfeszültségű tranzisztorok felváltva kapcsolják rá a 220 V egyenfeszültséget a  $T_1$  és  $T_2$  transzformátor  $N_{P1}$  és  $N_{P2}$  primer tekercseire. Az ábrán feltüntetett polaritás viszonyok esetén, amikor pl.  $T_1$  tranzisztor nyitni, tehát vezetni kezd, és kollektor árama növekszik, akkor báziskörében az  $N_{V1}$  vezérlőtekercsben indukálódó feszültség hatására nyitóirányú áram folyik. Az ily módon előálló pozitív visszacsatolás a tranzisztor nyitott állapotát fenntartja mindaddig, amíg a vasmag a növekvő kollektor áram hatására telítésbe nem kerül. Eddig a pillanatig az  $N_{V2}$  tekercsben és így a  $T_2$  tranzisztor báziskörében záróirányú feszültség indukálódik. Telített állapotban az  $N_{V1}$  tekercsben megszűnik a fluxusváltozás, nem vasmag kikerül a telítésből, a csökkenő áram ellentétes irányú feszültséget indukál a vezérlő tekercsekben, minek hatására  $T_1$  teljesen lezár,  $T_2$  pedig kinyit. Ez a folyamat a vasmag

telítődésének vezérlésével periodikusan ismétlődik, így a  $T_r$  fluxusa időben kb. fűrészfog alakú lesz, ezért az  $N_{sz}$  szekunder tekercsek kapcsain közel négyszög alakú váltakozó feszültség jelenik meg. Ennek frekvenciáját több kHz értékre választják, ehhez  $T_r$  transzformátort ferrit vasmagból kell készíteni, és így kis geometriai méretekkel is már viszonylag nagy teljesítményeket lehet átvinni.

Nagyobb objektumok összes védelmi és automatikai feladatait összevontan ellátó komplex berendezések táplálására a lényegesen nagyobb fogyasztás miatt már bonyolultabb, ún. szabályozott DC - DC konvertereket használnak.

### 14.4.3 Kimeneti egységek-parancsadó szervek

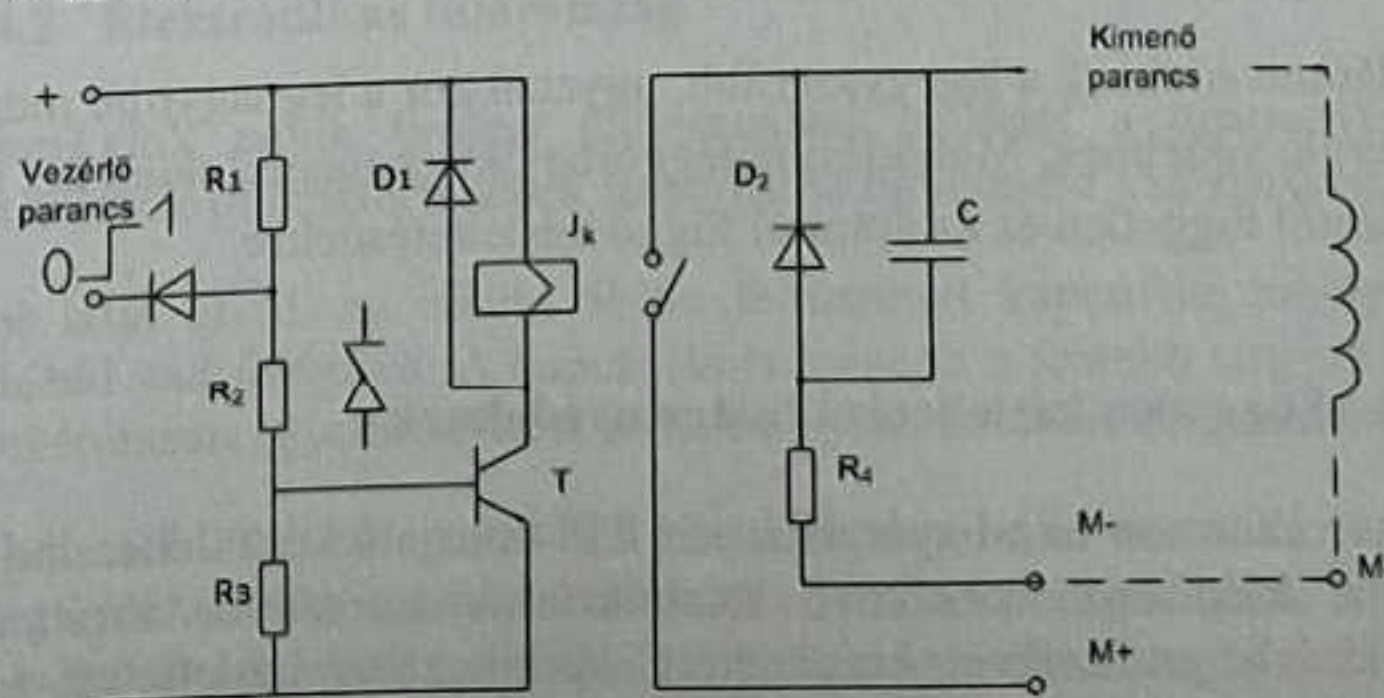
Az elektronikus védelmek és automatikák kimenő parancsait a legtöbb esetben kisméretű, gyors elektromechanikus segédrelék vagy pedig a korábban tárgyalt reed relék közvetítik a működtetendő készülékek (megszakítók, hibajelzők, zavarirók stb.) felé.

A belső elektronikához technológiailag jobban illenének félvezető kimenő szervek (tirisztorok), amelyek ráadásul gyorsabb működésűek is. Hogy alkalmazásukat általában mégis kerüljük, annak két oka van. Az első az, hogy a félvezető kapcsolóelemek nem nyújtják a megkívánt tökéletes szakadást működésmentes állapotban a vezérelendő készülék és a működtető feszültség között, és így a hibás kioldás veszélye reálisan fennáll. A másik problémát az jelenti, hogy a belső elektronikától való galvanikus leválasztást, az előírt vizsgálati feszültségek túrésát, valamint a megfelelő zavarvédelmet nagyon nehéz elérni. Végeredményben tirisztoros kioldó berendezésekkel sokkal költségesebb és ennek ellenére kevésbé megbízható megoldások születtek.

A magyar gyártmányú elektronikus védelmekbe az említett okok miatt általában vákuumcsöves reed relét (főleg a HAMLIN gyártmányú DRVT-10 típusokat) építenek be. Ezek 1...2 ms-os meghúzási ideje a leggyorsabb védelmek működési összidejét sem növeli lényegesen. Ugyanakkor a 3 A maximális megengedett bekapcsolási áramuk lehetővé teszi azt, hogy 220 V segédüzemi feszültség esetén a megszakító 600 W-os működtető tekercseit még biztonsággal kapcsolhassák vele. Ugyanakkor az érintkezők közötti 10 kV-os szigetelési szint és az érintkezők és tekercsek közötti könnyű szétválaszthatóság nagy biztonságot és zavarérzékletlenséget ad.

Jelenleg igen elterjedtek a nyomtatott áramkörökbe építhető kisrelék.

Az alábbi ábrán egy ilyen reed-relés kimeneti egység látható.



14-27. ábra Parancsadó áramkör

Az elektronikától jövő vezérlőparancs, amelyet a negatív tápfeszültségről a pozitív tápfeszültségre (vagy a logikai áramkörök nyelvén logikai 0-ból logikai 1-be) való feszültségugrás valósít meg, az  $R_1$ - $R_2$  ellenállások közös pontjára kerül. Ennek hatására a nyugalmi állapotban lezárt tranzisztor kinyit, és a kollektor körében levő  $J_k$  reed relét működteti. Az  $R_2$  ellenállás helyett sokszor alkalmaznak Zener-diódát. Így elérhető, hogy erősen lecsökkent tápfeszültség esetén, amikor már az elektronikus áramkörök helyes működése nem biztosítható, a kimeneti reed relét vezérlő T tranzisztor sem tud kinyitni.

#### 14.4.4 Elektronikus védelmek konkrét megvalósításai

A védelmekben és automatikákban a konkrét védelmi feladatok megoldására alkalmas elektronikus készülékek száma olyan nagy, hogy mindegyikük részletes ismertetése meghaladja e jegyzet kereteit. Ezért csak az alapvető és legelterjedtebben felhasznált hazai és külföldi készüléktípusok bemutatására kerül sor.

Előjáróban célszerű megemlíteni néhány - a korszerű elektronikus védelmekre általánosan jellemző - szerkezeti megoldást. Ezek közül külön kiemeljük azokat, amelyek az összes hazai fejlesztésű és gyártású készülékre érvényesek.

Az elektronikus védelmek beállító szervei általában kétállapotú, aranyozott nyomókapcsolók, így lehetséges időtálló és után hitelesítés nélkül is bármikor reprodukálható beállítást biztosítani. Potenciométerek felhasználását mind hazai, mind külföldi védelmeknél kerülik, és csak ott alkalmazzák, ahol valamilyen okból folyamatos szabályozásra vagy nullázásra van szükség. A bekövetkezett működések kiértékelését biztosító látjelzéseket többnyire világítódiodák, LED-ek adják, de néha alkalmaznak kisméretű, elfordulótárcsás mechanikus látjelzést is (pl. ASEA).

A látjelzés színe olyan, hogy a működéskészség meglétét zöld (pl. tápfeszültségek, működtetőfeszültségek stb.), az üzemzavari működéseket (kioldásokat) piros, az egyéb jelzéseket (pl. energiairány, késleltetési lépcső) pedig sárga LED-ek, ill. tárcsák mutatják. Maguk az elektronikus kapcsolások hazai fejlesztésű védelmeknél általában kétoldalas és szabványos ESZR méretű nyomtatott áramköri lapokra, míg külföldi védelmeknél az ugyancsak szabványos EUROCARD-okra vagy különféle egyedi méretű NYÁK-lapokra vannak felépítve. Az áramköri lapok előlapján vannak elhelyezve a kezelő és látjelző szervek, és így képeznek egy-egy bedugaszolható fiókot. A dugaszolást hazai készülékeknel indirekt csatlakozók teszik lehetővé.

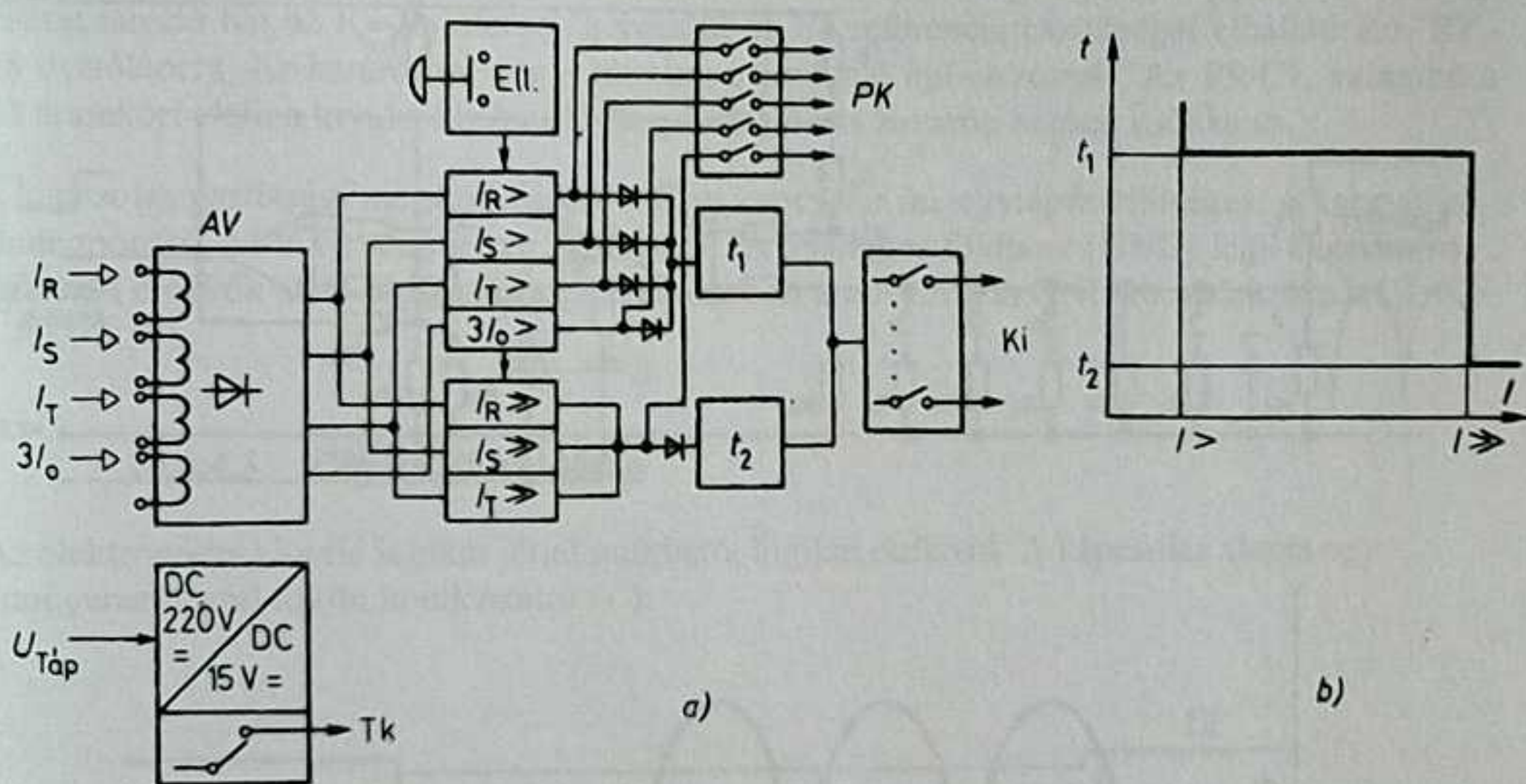
#### Elektronikus túláramvédelmek

A késleltetett túláramvédelmek a legegyszerűbb, ugyanakkor a legnagyobb mennyiségben felhasználásra kerülő védelmek. Működési jelleggörbéjüknek megfelelően két alcsoportra oszthatók, az áramtól független és az áramtól függő késleltetésűekre.

##### 14.4.4.1 Független késleltetésű túláramvédelmek

Ezek elektronikus változatait hazai gyártásban az ETI típusjelű készülékesalád tagjai alkotják. A legáltalánosabb kiépítésre vonatkozó tömbvázlatuk az alábbi ábrán látható, amely háromfázisú, földzárlat-érzékelővel kiegészített, kétfokozatú, késleltetett túláramvédelmet mutat be.

Az AV bemeneti egység fogadja a védett objektum áramváltóitól érkező szekunder áramokat, és előállítja az ezekkel arányos egyenirányított feszültségeket a korábbi szakaszban ismertetett módon. Ezek nagyságát figyelik fázisonként a maximumérzékelők kisebb árambeállítású egységei ( $I>$ ) és a közeli zárlatokra működő nagyobb árambeállítású egységei ( $I>>$ ). A hazai ETI védelmekben az  $I>$  érzékelők mindegyike külön-külön, az  $I>>$  érzékelők pedig közösen egy pillanatműködésű PK kontaktust vezérelnek. A védelem két fokozatának megfelelő  $t_1$  és  $t_2$  késleltető elemek működtetik a kioldó Ki kontaktusokat.



14-28. ábra Elektronikus túláramvédelmi blokkvázlat

A belső elektronikus áramkörök táplálását szokásosan DC/DC tápegység biztosítja, galvanikus elválasztást, túlfeszültség-védelmet és zavarmentességet is biztosít a külső segédüzemi egyenfeszültségtől. A tápfeszültség eltűnésekor külső Tk hibajelzés jelentkezik. A védelemműködő készségének egyszerű vizsgálatát teszi lehetővé az alkalmazott Ell ellenőrző egység. A nyomógomb benyomásakor a kimeneti relék bénulnak, a maximumérzékelők bemenetére megszólalást előidéző jel kerül, és a helyes működés a látjelzések alapján kiértékelhető. A „b” jelű ábrán látható a független késleltetésű, kétlépcsős túláramvédelem kioldási jelleggörbéje.

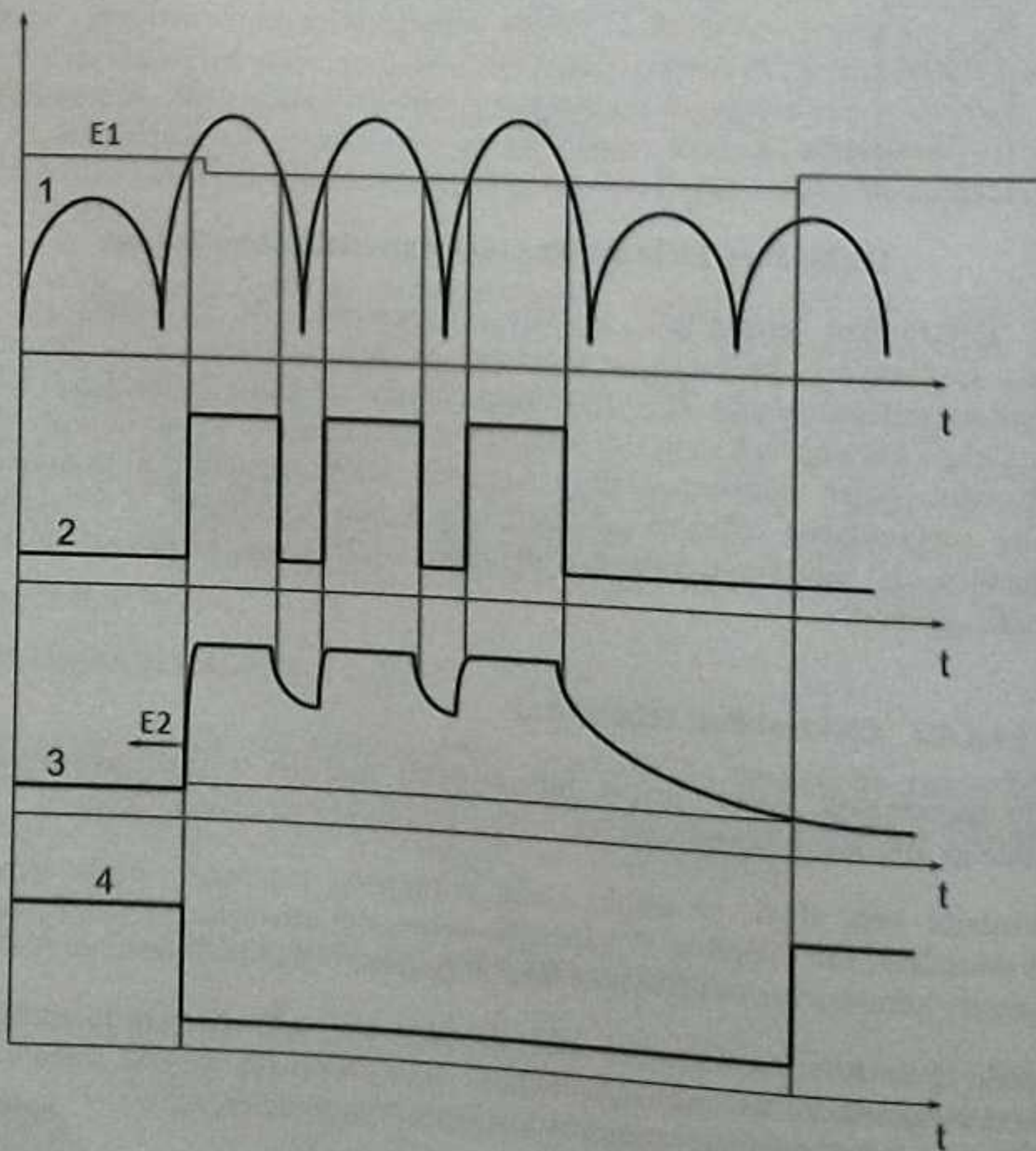
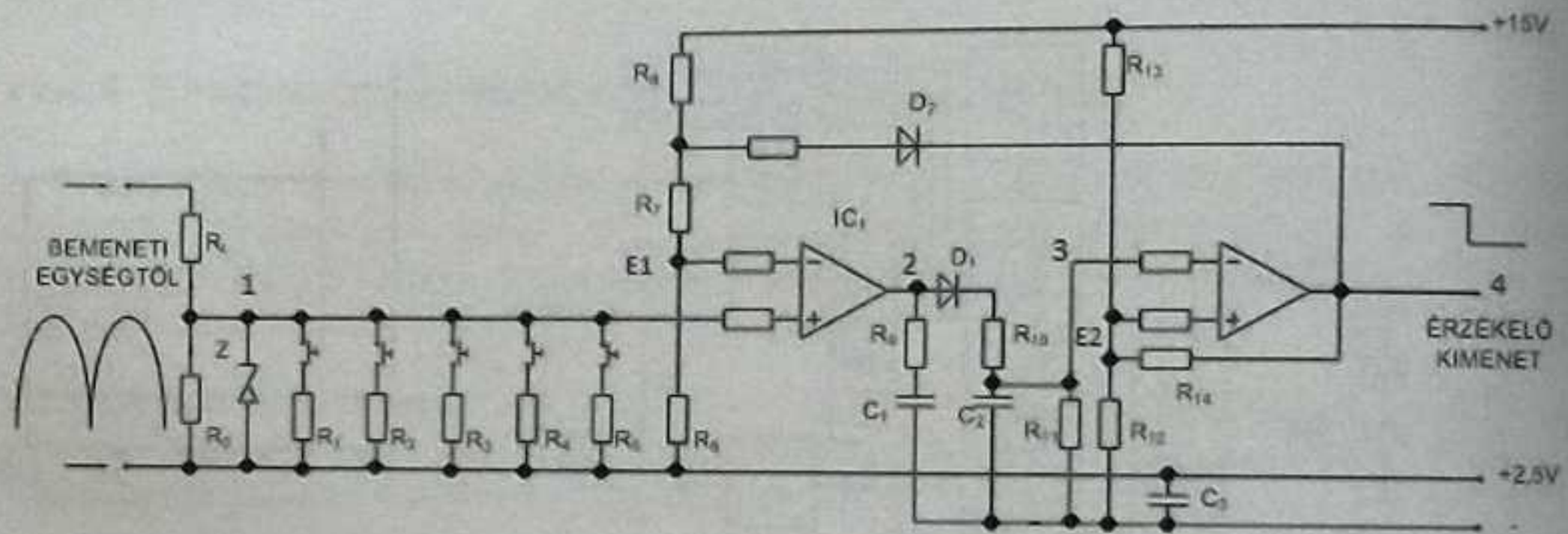
#### 14.4.4.2 Elektronikus túláramtag

A maximumérzékelők egyik tipikus felhasználási területét a túláramvédelmek jelentik, amelyekben az áramok pillanatértékének folyamatos figyelésére van szükség.

Ezt a feladatot látja el pl. az alábbi ábrán feltüntetett kapcsolás, amely lényegében két műveleti erősítőtől van felépítve. A kapcsolás bemenetét a fentebb tárgyalt bemenő áramkör táplálja, amely kétutasan egyenirányított feszültség jelet továbbít a bemenetre ( $R_f$ -re).

Ez a feszültség az  $R_f - R_a$ , és az  $R_1 - R_5$  ellenállásokból álló osztóláncrea kerül. Az első két ellenállás a megszólalási tartományt, a többi öt ellenállás pedig a velük sorba kötött nyomó kapcsolók segítségével a konkrét megszólalási értéket határozza meg.

A Z-jelű zener-dióda vágási feszültségét úgy határozzák meg, hogy a legnagyobb beállítható megszólalási érték feletti - árammal arányos- feszültségektől megvédje az IC1-jelű műveleti erősítő bemenetét. Ez utóbbi komparátorként (összehasonlító elemként) működik, és a negatív jelű (invertáló) bemenetére kapcsolt E1, referenciafeszültséggel hasonlítja össze a pozitív bemenetére jutó egyenirányított szinuszos hullám pillanatértékét. Az ábrán – amelyen a kapcsolás négy jellegzetes pontjának feszültségállapota látható az idő függvényében – jólkövethető a maximumérzékelő működése.



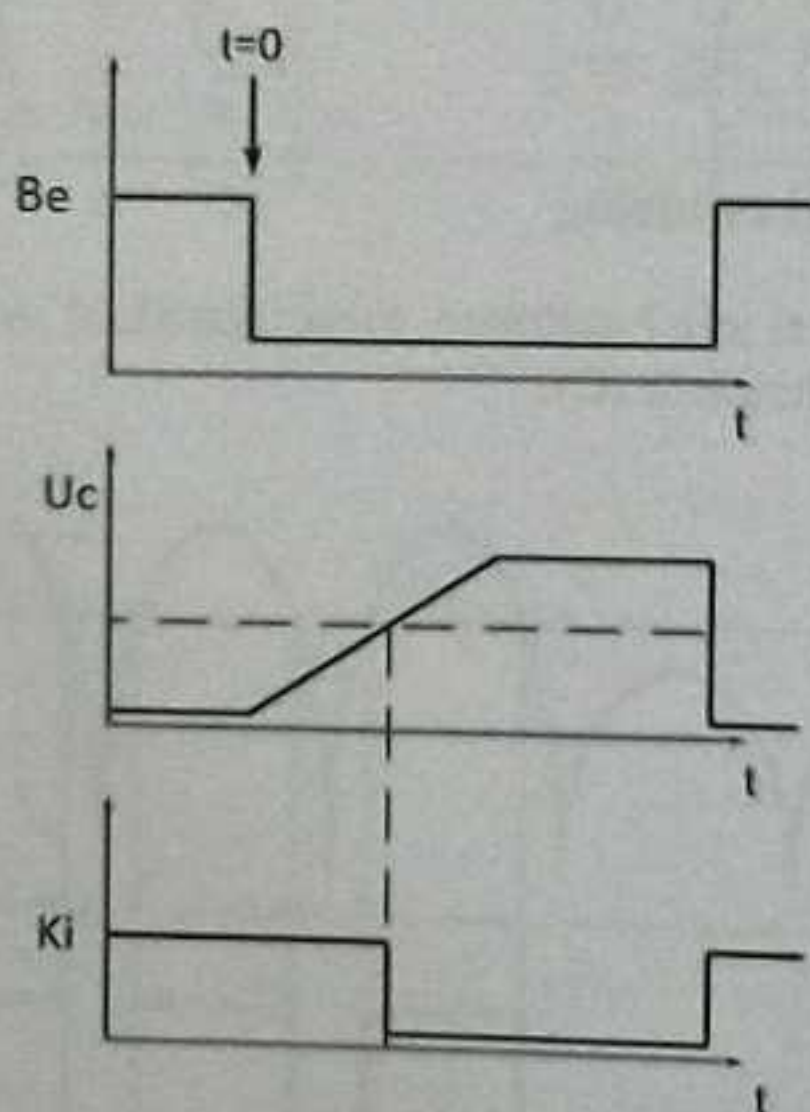
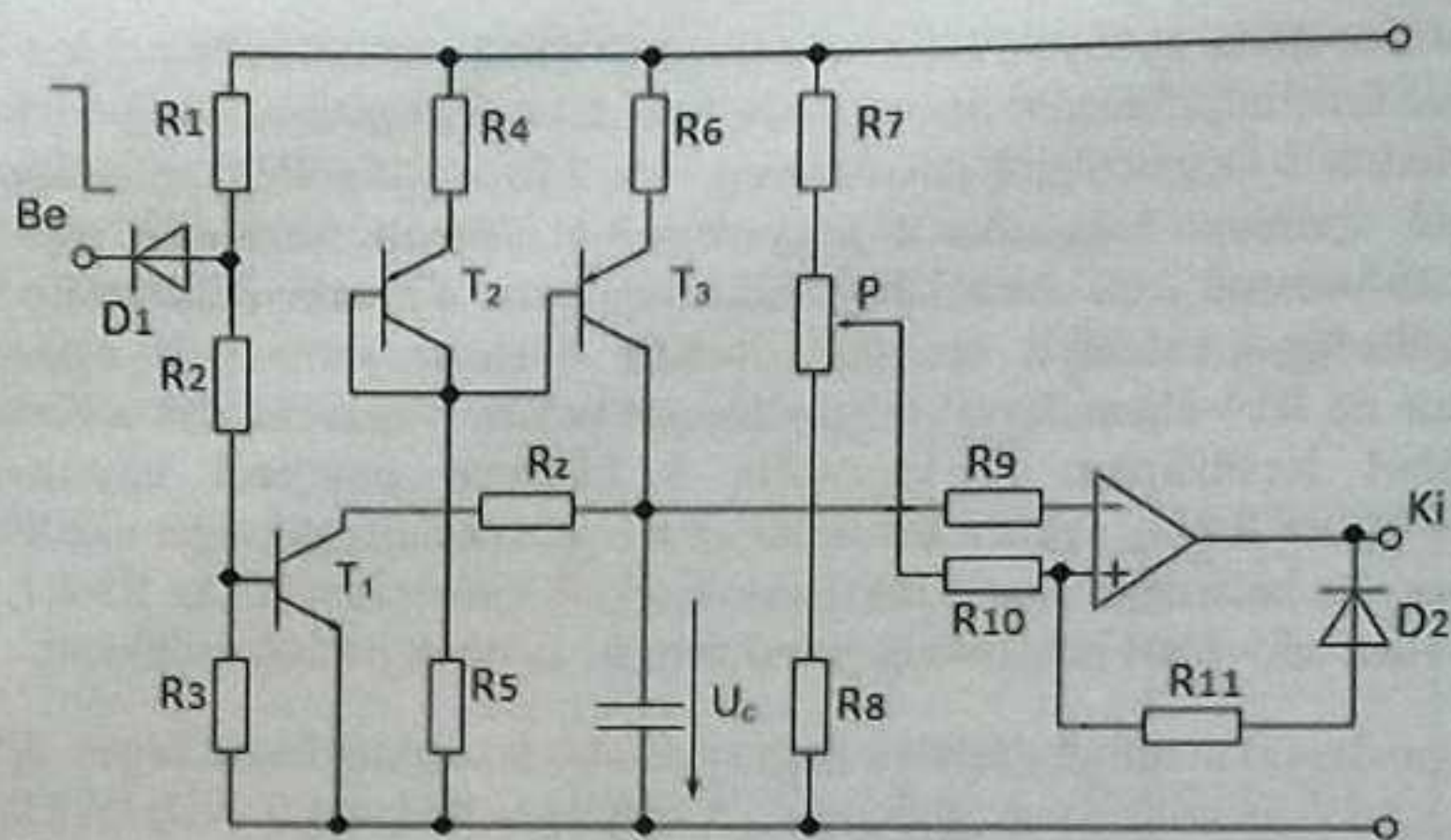
14-29. ábra Túláramérzékelő kapcsolás

Az 1 pontra az árammal arányos feszültség megfelelően leosztott hullámalakja kerül. Ha a bemenő szinuszos hullám pillanatértéke meghaladja az E1 referenciafeszültség értékét, akkor az IC 1 kimenetén a 2 négyszögjel jelenik meg. Az R10 - C2 - R11 jelű elemekből álló, impulzusnyújtó áramkör 3 pontján a négyszögjelből formált feszültség adja a második műveleti erősítő bemenő jelét. Az IC 2 ezt hasonlítja össze a pozitív bemenetére kapcsolt E2 referenciafeszültséggel, amelyet az R12 - R13 ellenállásosztó állít elő. E2 értékét megszólaláskor az R14 ellenállással meghatározott pozitív visszacsatolás a biztos működés elérése céljából lecsökkenti. A kapcsolás 4 kimeneti pontjáról ugyancsak pozitív visszacsatolás hat az Rv-D<sub>2</sub> elemen keresztül az E1 referenciafeszültséget előállító R6- R7 - R8 osztóláncre. Ez határozza meg a maximumérzékelő ejtőviszonyát. Az R9-C1, valamint a C3 áramköri elem a kívülről behatoló nagyfrekvenciás zavarok hatását csökkenti.

A kapcsolás gazdasági megfontolásból a fenti kapcsolás ún. egytápfeszültségű. A kapcsolás „hidegpontja” 2.5V-os szintre van „felhúva”. A tényleges földpont (GND) felől kapják a műveleti erősítők a -V-tápfeszültséget és kimeneti áramkörök is GND-re csatlakoznak (C1-C2-...-R11-R12).

#### 14.4.4.3 Elektronikus időtag

Az elektronikus időrelé logikai jellel indítható, logikai nullával. A kapcsolás alapja egy áramgenerátorral töltött kondenzátor (C).

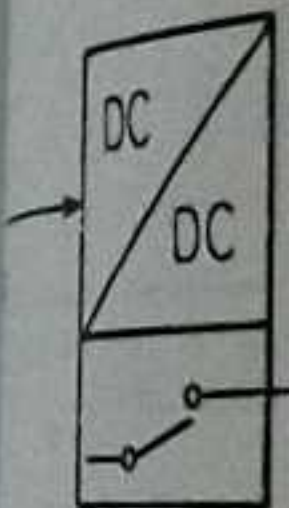
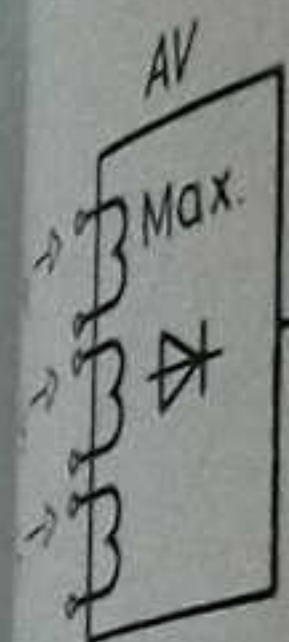


14-30. ábra Elektronikus időrelé kapcsolás

A késleltetést tulajdonképpen a C kondenzátor biztosítja, amelyet nyugalmi állapotban a T1 tranzisztor és a kis értékű  $R_2$  ellenállás tart rövidzárva. A bemenetre adott logikai 0 jel hatására indul a töltési folyamat, amelyet a T3 tranzisztor áramgenerátorosan, időben lineárisan végez a T<sub>2</sub>-vel hőkompenzálva. Így  $U_c$  is az idő függvényében lineárisan növekszik, az M műveleti erősítőről álló komparátor billenési feszültségét és ezzel a kívánt késleltetési idő beállítását az F feszültségosztóval lineáris skála szerint lehet elvégezni. A beállított késleltetési idő leteltkor a kapcsolás kimenete logikai 1-ből 0-ba ugrik.

#### 14.4.4.4 Függő késleltetésű túláramvédelmek

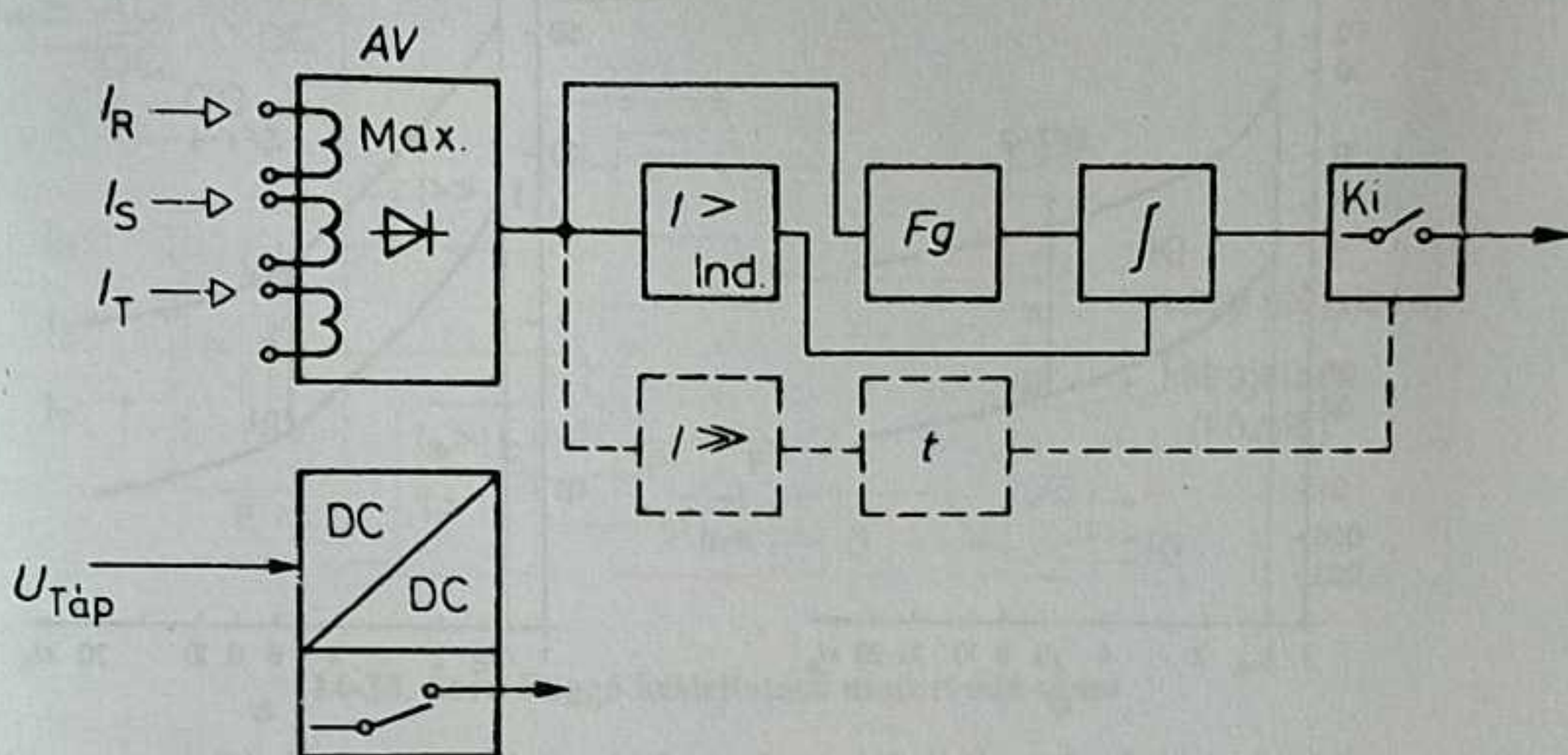
A magyar védelmes gyakorlat elsősorban a független késleltetésű túláramvédelmeket alkalmazza a könnyebben áttekinthető és számítható időlépcsőzés miatt. Külföldön túláramvédelmeket. Erre a feladatra készültek hazai gyártásban az EFT típuscsalád tagjai. Általános tömbvázlatuk az alábbi 14.31 ábrán látható.



14-31. ábra

... az AV bemenet  
... arányos egy  
... függvénygenerátor,  
...), amely csak eg  
... a működést. Ébres  
... és ez a két eg  
... Az integráló egysé  
... szerkezetet.

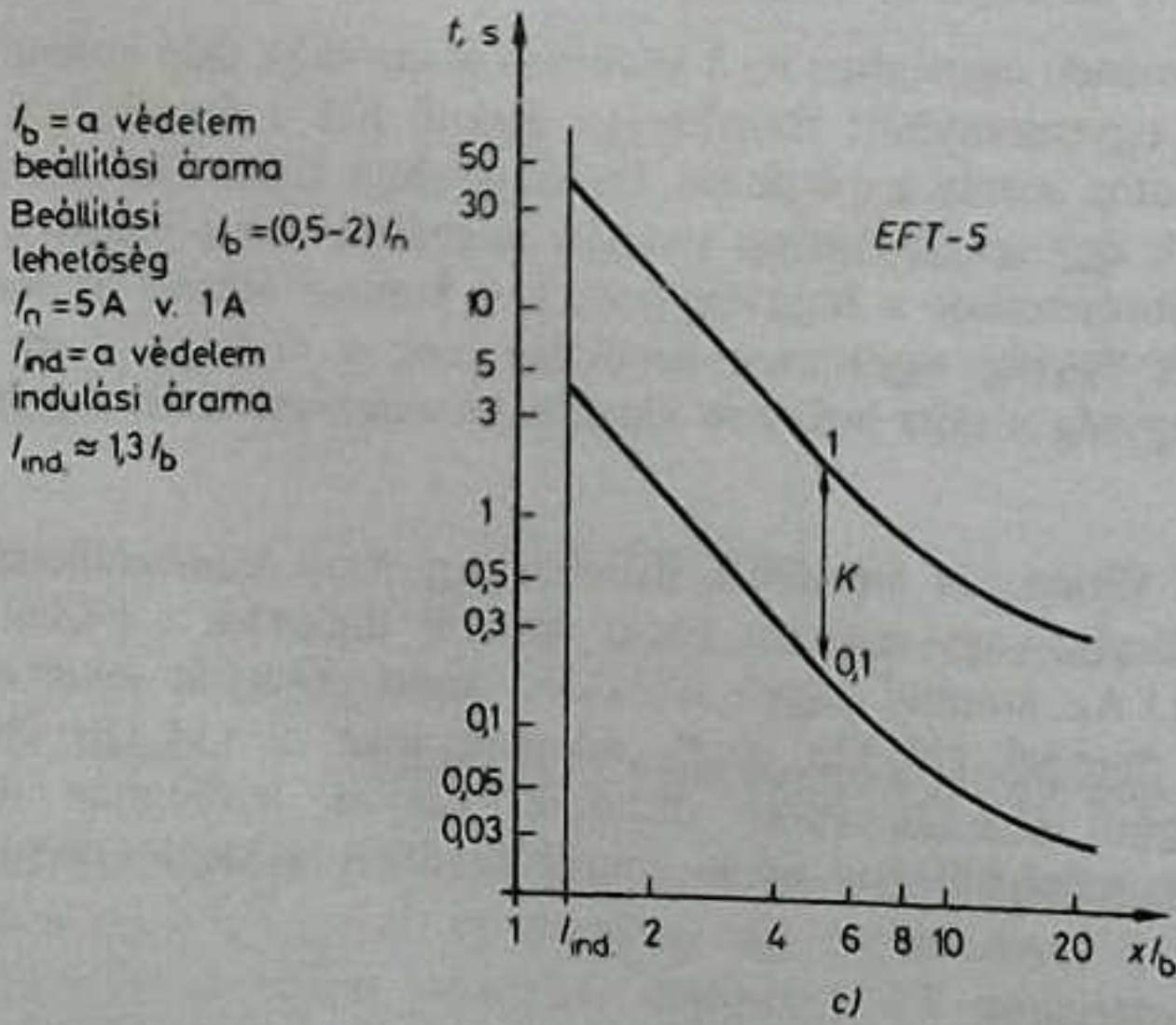
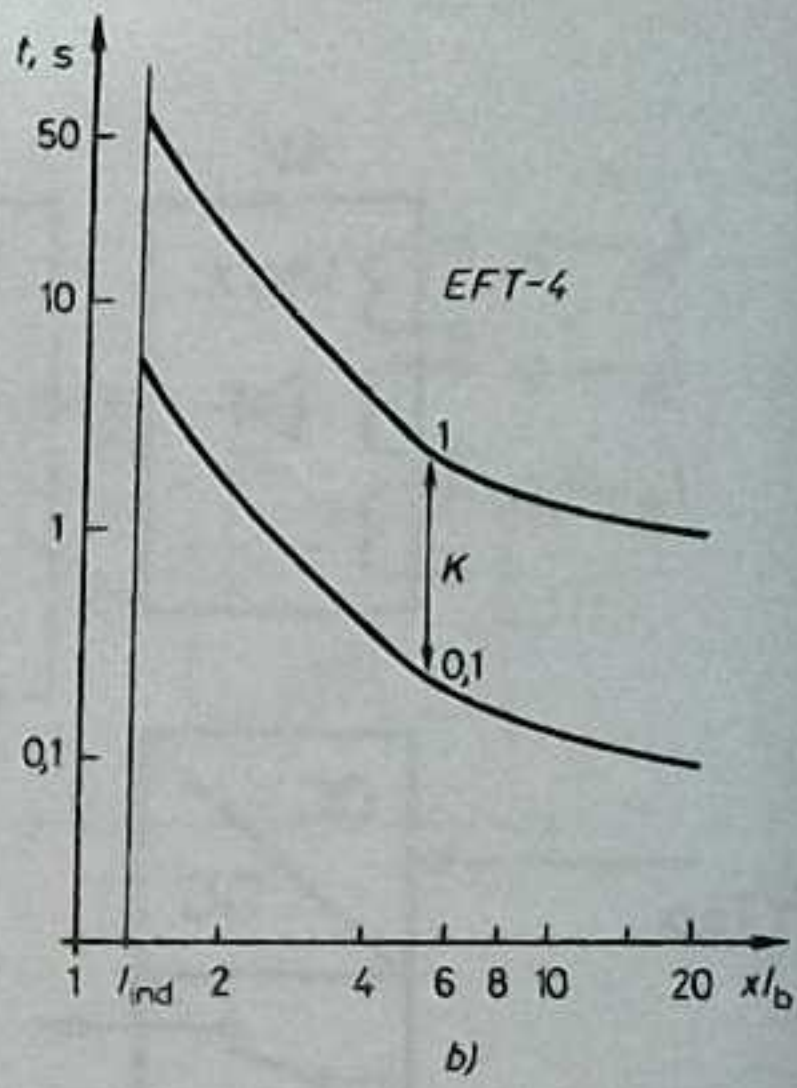
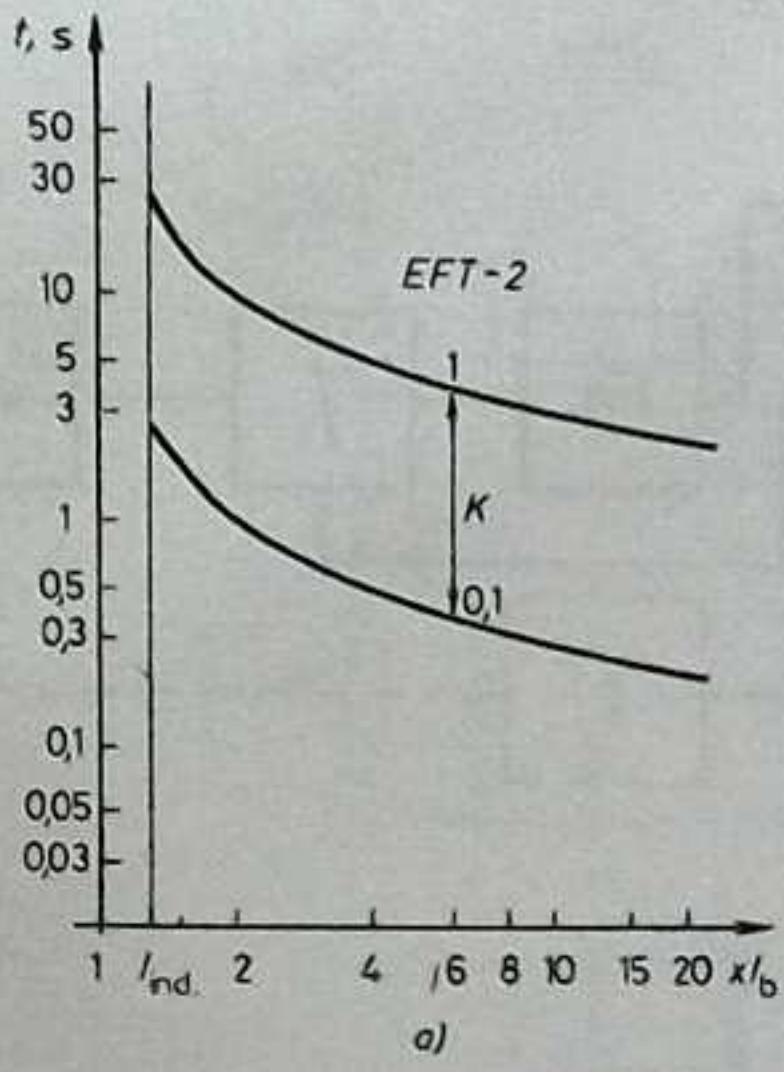
... is kiépíthető kétl  
... pillanatműködéssel  
... időszerveket. Az  
... pl. normál függ  
... fokozott függésű  
... elektronika is, ar  
... lehetett lesz.



14-31. ábra Függőkésleltetésű túláramvédelem

A három fázisáram az AV bemeneti egységben levő közbenső áramváltók után a mindenkori maximális árammal arányos egyenirányított feszültséggé alakul. Ezt a feszültséget kapja egyrészt az  $F_g$  függvénygenerátor, amely a megfelelő áramfüggvényt állítja elő, másrészt az indítóegység ( $I >$ ), amely csak egy meghatározott indulási áramérték felett engedélyezi az integrálást és a működést. Ébresztéskor a függvénygenerátor kimenő áramát az integráló egység fogadja, és ez a két egység együttesen határozza meg a védelem áram - idő jelleggörbéjét. Az integráló egység a rajta beállított aktuális karakterisztikának megfelelően vezérli a kioldószerveket.

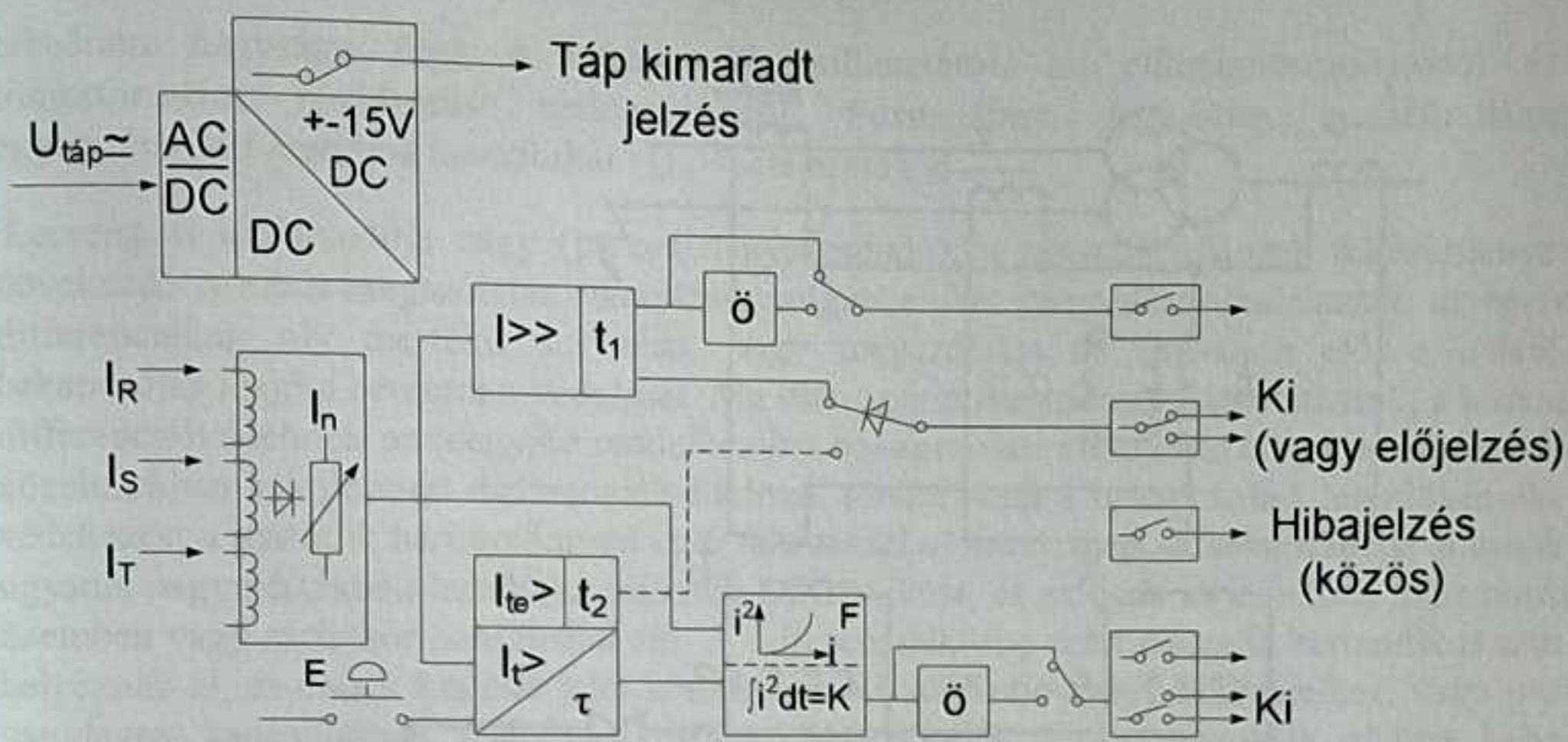
E védelem típus is kiépíthető kétlépcsős formában, ilyenkor egy nagy árambeállítású  $I \gg$  fokozat vagy pillanatműködéssel, vagy egészen rövid áramtól független  $t$  késleltetéssel működteti a kioldószerveket. Az áramtól függő működési karakterisztikát tekintve több altípus létezik, pl. normál függésű (14-32a ábra), fokozott függésű (14-32b ábra) és szélsőségesen fokozott függésű (14-32c ábra) altípusok. Létezik korlátoltan függően késleltetett karakterisztika is, amelynél egy adott áramérték felett a karakterisztika már függetlenül késleltetett lesz.



$I_b$  = a védelem beállítási árama  
 Beállítási lehetőség  $I_b = (0,5-2) I_n$   
 $I_n = 5 A$  v.  $1 A$   
 $I_{ind}$  = a védelem indulási árama  
 $I_{ind} \approx 1,3 I_b$

14-32. ábra Függőkésleltetésű karakterisztikák

Az elektronikus függőkarakterisztikájú védelmek közé tartoznak még az igen elterjedt elektronikus motorvédelmek.



14-33. ábra Fügő késleltetésű motorvédő séma

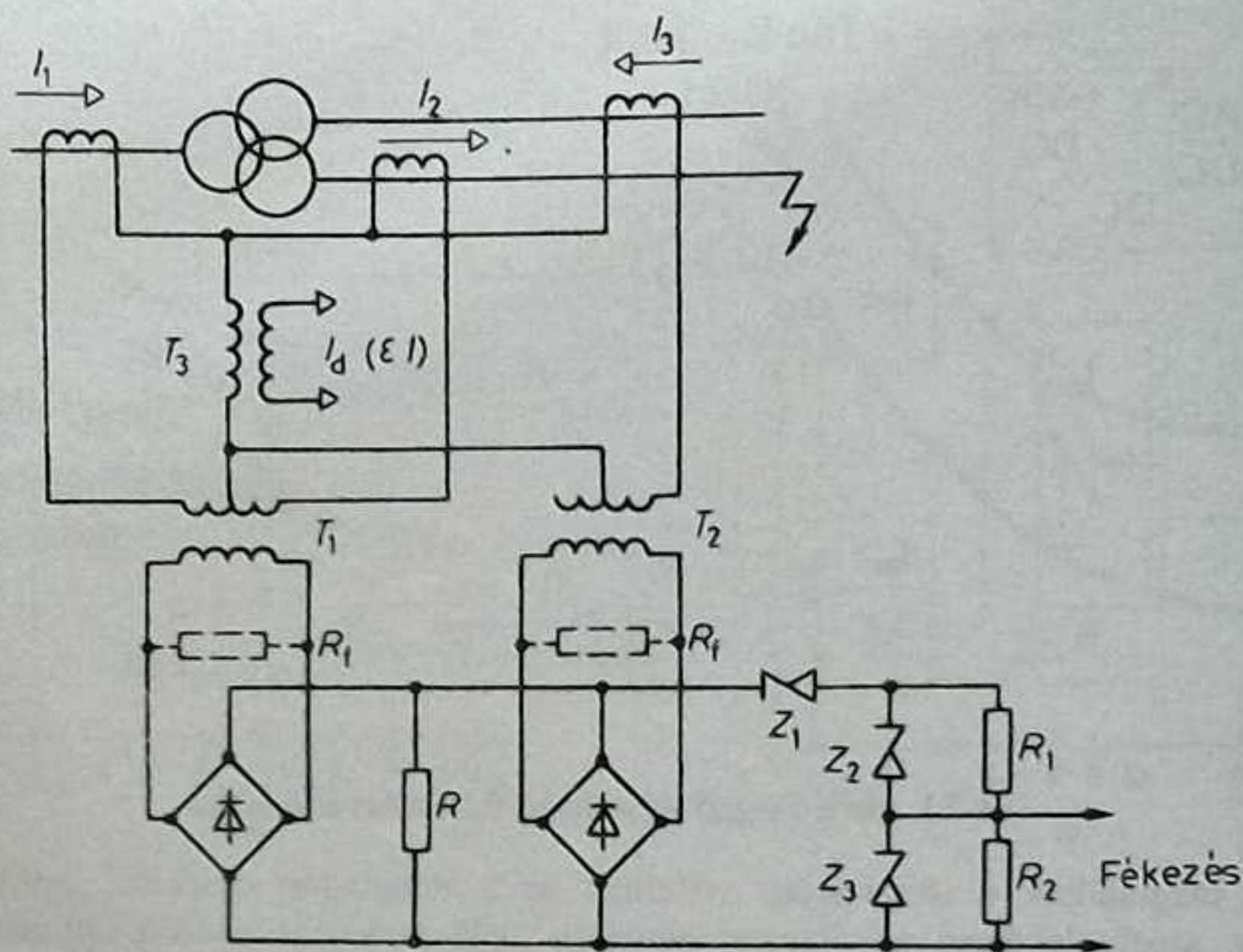
Ezekben megtaláljuk a rövidzárlati védelmet és a túlterhelést érzékelő „hőmás” típusú fokozatot, amely leképezi a villamos motorban zajló melegedési-hűlési folyamatokat. Az ezekhez tartozó időállandók állíthatók a védelmen.

#### 14.4.4.5 Elektronikus differenciálvédelmek

A differenciálvédelmi elv a védelmi technikában már régóta alkalmazott és jól bevált. Az elektronikus védelmek megjelenése éppen ezért működési elvben újat nem igen hozott, inkább a félvezetős technika adta jobb megoldási lehetőségek és alkalmazási előnyök irányába fejlődtek. Ilyen alkalmazási előnynek számít pl. a gyorsabb működés, a különleges fékezési karakterisztika előállításának lehetősége, a bekapcsolási áramlökéssel szembeni érzéketlenség nagymértékű növelhetősége, és nem utolsósorban az áramváltókör fogyasztásának csökkenése.

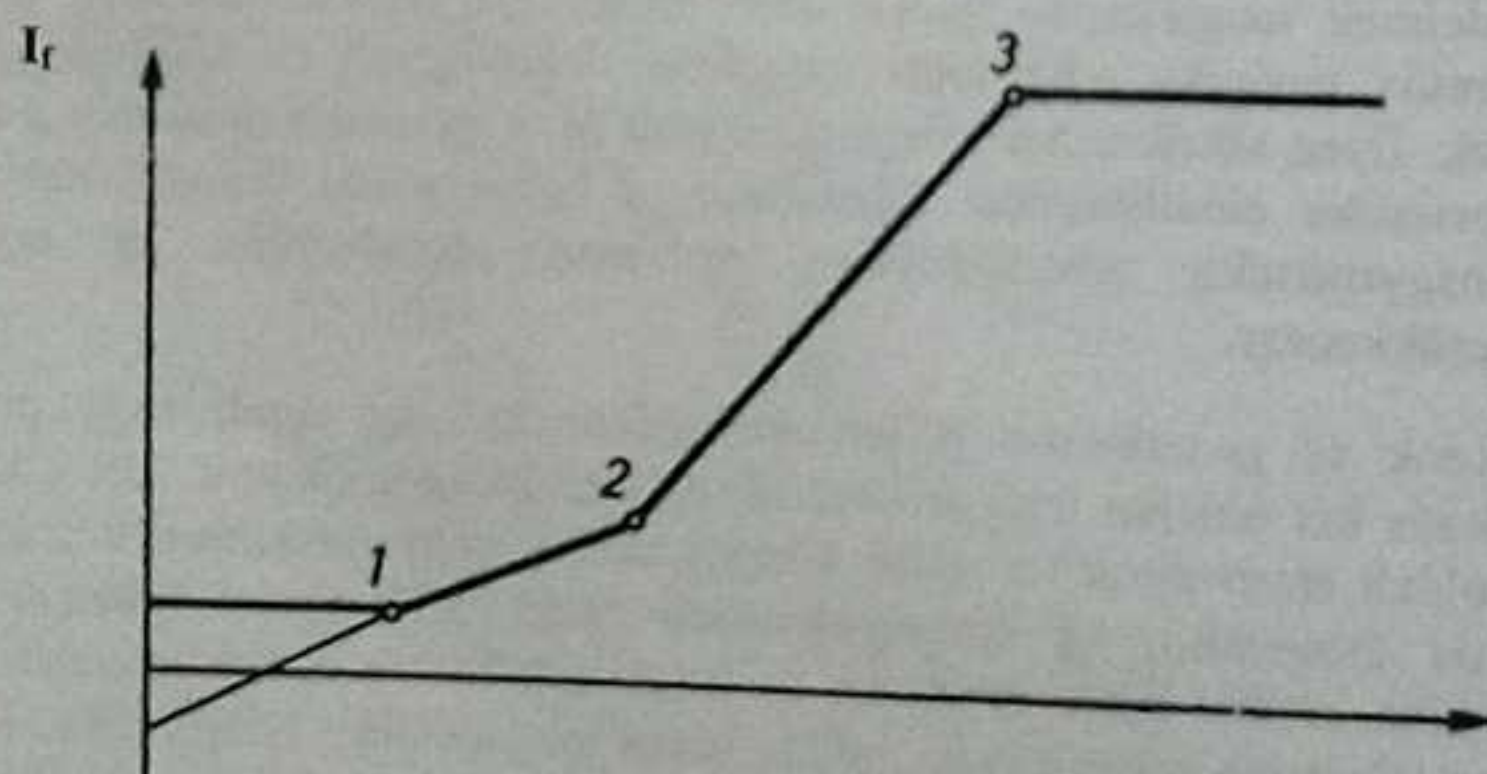
A transzformátorok és generátorok differenciálvédelmeinél az egyik nagy problémát a védendő berendezés két oldalán levő áramváltók különbözősége okozza. Ezt a különbséget okozhatja a kétoldali áramváltók terhelése közötti eltérés vagy transzformátoroknál esetleg típusában is más áramváltó, az áttételkülönbség miatt szükséges közbenső áramváltó alkalmazása. A hiba kétféle lehet: stacioner és tranzien. Külső zárlatkor ennek hatására a differenciakörben hibaáram jelenik meg, amely téves megszólalást hozna létre. Hogy ez ne történhessék meg, a differenciálérzékelők érzékenységét a külső zárlati áram függvényében változtatják, azaz fékezik, stabilizálják.

A fékezési áram vagy feszültség előállítására az alábbi ábrán látható kapcsolás terjedt el, ahol a fékezés két gombolyítású transzformátornál az  $I_1 + I_2$  áramok vektoriális összegének abszolút értékével, a háromgombolyítású transzformátornál az  $|I_1 + I_2| + |I_3|$  összeggel arányos. Néhány védelemnél a szaggatott vonallal jelölt  $R_f$  ellenállásokkal az egyenirányítás előtt feszültségesítenek, ebben az esetben a fékezési jel nem az áramösszeg abszolút értéke, hanem



14-34. ábra Elektronikus differenciál védelem bemenő egysége

$|I_1 + I_2|$  és  $|I_3|$  közül csak a nagyobb jelenik meg. A  $Z_1, Z_2, Z_3$  Zener-dióda és az  $R_1$  és  $R_2$  ellenállás a fékezési karakterisztika az alábbi ábrán látható nemlineáris megoldását állítja elő.



14-35. ábra Elektronikus differenciálvédelem fékező karakterisztikája

Az 1 pontig a fékezés független az áramoktól (max.  $I_n$ -ig). Az 1 és a 2 pont között a fékezés enyhe emelkedése (20...50%) az áramváltók áttételkülönbségét, ill. transzformátor eltérő szabályozóállását kompenzálja. A 2 pont az áramváltók várható statikus vagy tranzienstelítődése ( $3...10I_n$ ), ettől kezdve meredek a fékezési karakterisztika egészen a 3 pontig, amely a várható legnagyobb külső zárlati áram helye (kb.  $20I_n$ ), ez a korlátozás a félvezetők védelmét szolgálja.

Transzformátorok bekapcsolásakor a bekapcsolási áramlökések hibás különbségi áramot hoz létre a differenciálvédelmekben. Ez alól kivétel a tekercsenként alkalmazott védelem. A

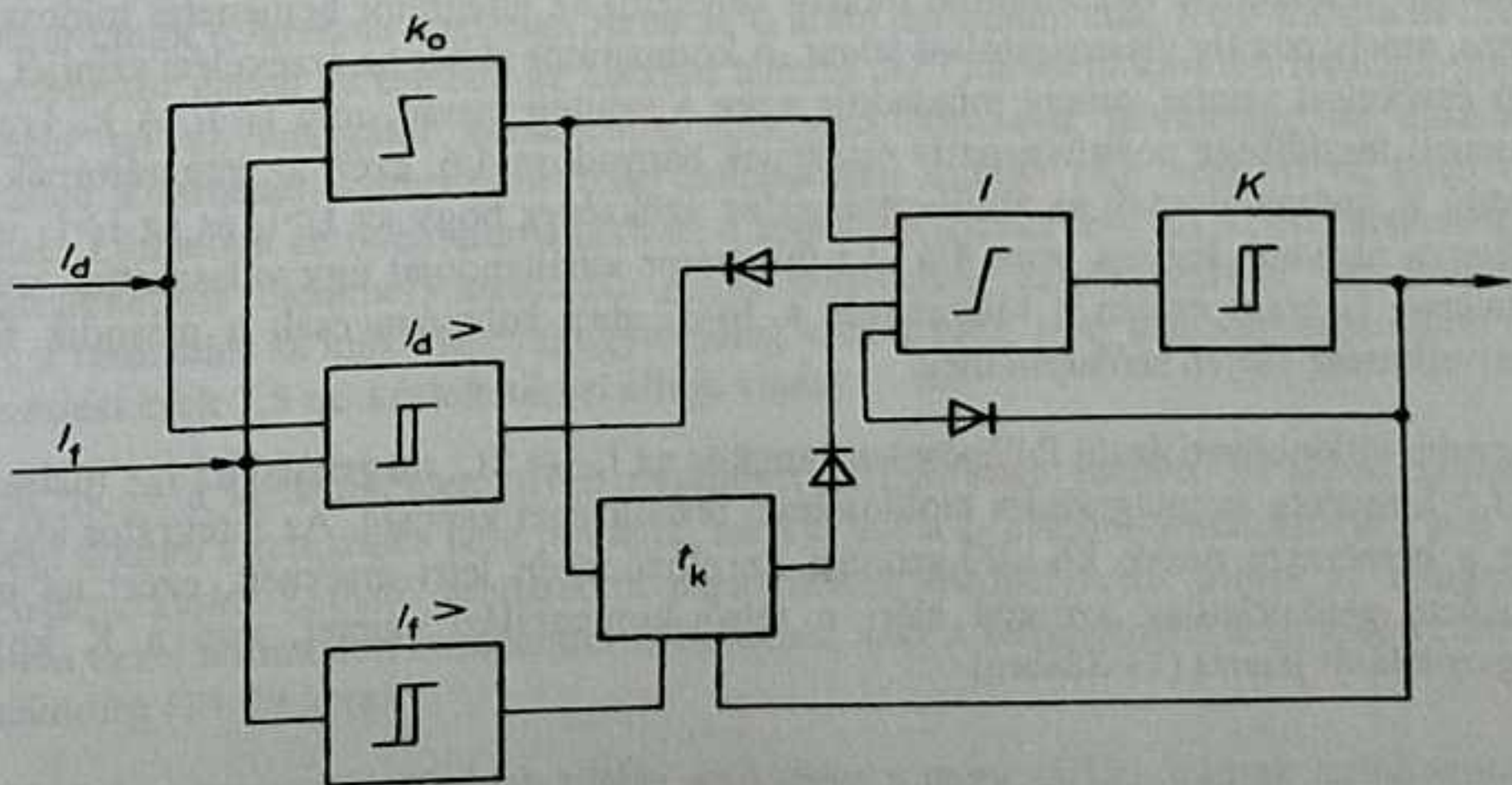
hibaáram nagysága függ a bekapcsolás pillanatától, az előmágnesezettségtől és a transzformátor rövidzárási reaktanciájától. Formájában, legjobban a félhullámúan egyenirányított áramhoz hasonlítható ( $I_d$  – jelű áram).

Lecsengési időállandója nagy (perces nagyságrendű), a transzformátorok teljesítményével növekszik. A hibás megszólalás elkerülésére régebben két megoldást alkalmaztak: az egyik a differenciáltag oly mértékű durvítása, hogy megszólalás ne forduljon elő, a másik a bekapcsolás idejére bénítani a védelmet. Ma már ezek a megoldások járhatatlanok, a korszerű differenciálvédelmek mindegyike rendelkezik a bekapcsolási áramlökés elleni védelemmel. A közelmúltban kifejlesztett differenciálvédelmek többségénél a bekapcsolási áramlökés elleni védekezést a második harmonikusval való fékezéssel oldották meg. A bekapcsolási áramlökés ugyanis nagymértékben tartalmaz második harmonikus, és ez csak rá jellemző, mert normál üzemben vagy zárlatkor nem fordul elő. A differenciálkörbe ezért második harmonikus szűrőt helyeznek el, és ennek kimenő jelét hozzáadják a stabilizáló- vagy fékezőjelhez, vagy pedig vagylagos kapcsolatban fékezik a differenciálérzékelőt. Ez a megoldás elvben helyes, azonban nagyon nehéz megfelelő szűrőt kivitelezni, ugyanis a szűrő időállandója és lengése tranziens viszonyok között problémát okozhat. Ezt a szűrő és a védelem összehangolásával lehet megoldani.

A VEIKI TD típusú differenciálvédelmében újszerű eljárást alkalmaznak: nem az áram második harmonikus összetevőjével, hanem a differenciálágban folyó áram maximumának 70 %-ával való fékezéssel oldja meg a bekapcsolásbiztonságot, így a tranziens problémák elmaradnak.

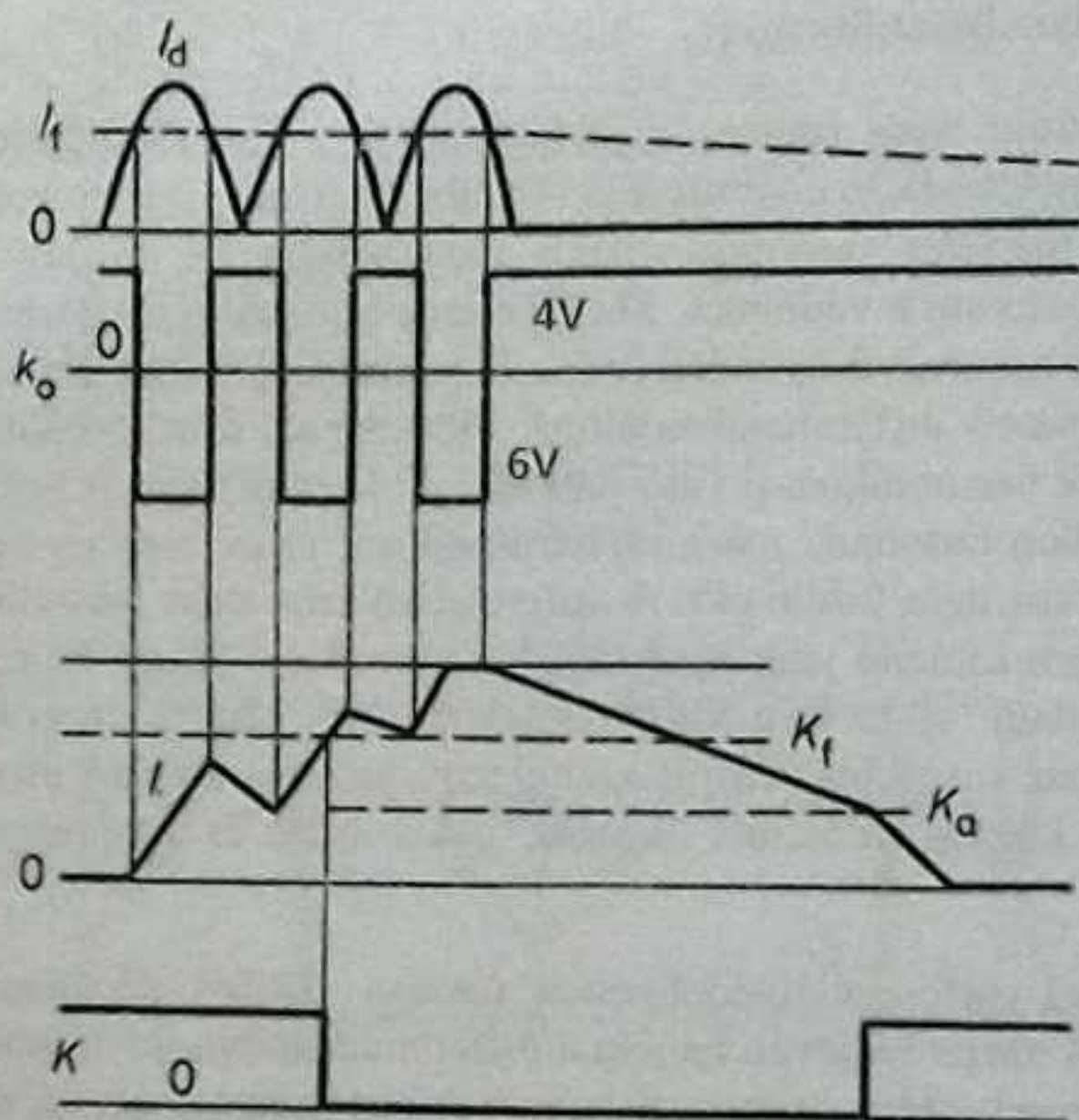
A differenciaérzékelő tömbvázlata a 14-36. ábrán látható. Működése a következő:

Folyjon a differenciálágban az  $5I_n$ -nél kisebb, szinuszos, tehát belső zárlati áram. Ez esetben az ábrán látható négybemenetű I integrátor csak a  $k_0$  kimenetét integrálja, mert a többi bemenetre olyan irányú diódákon keresztül csatlakoznak az  $I_d$ ,  $t_k$  és a K kimenetei, amelyek ezekre záróirányt jelent. A  $k_0$  komparátor aszimmetrikus kimenete +4 ill. -6V-os jelszintű négyesjel sorozat.



14-36. ábra Az elektronikus differenciaérzékelő tömbvázlata

Az alábbi ábra szemlélteti, hogy az  $I_d$  és az  $I_f$  bemeneti jelek miként hatnak a  $k_0$  kimenetére.



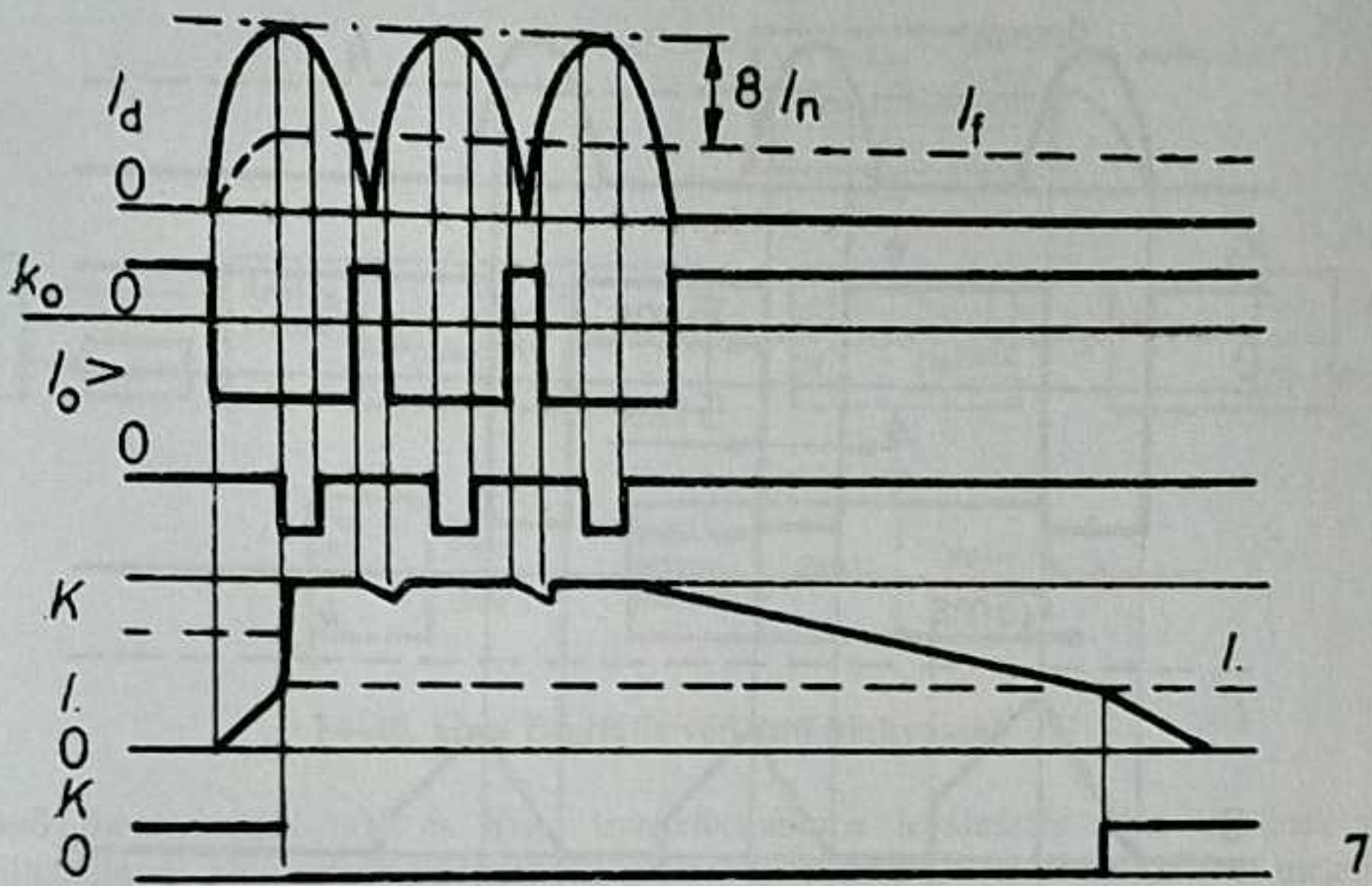
14-37. ábra Belső zárlat érzékelése

Ha  $I_f$  fékezőáram nagyobb, mint  $I_d$  differenciáláram (nyugalmi állapot), akkor  $k_0$  kimenete pozitív, az integrátor kimenete nulla és alatta van az utána következő K komparátor  $K_f$  felső megszólalási szintjének. Ez esetben a K komparátor kimenete pozitív feszültségű, az integrátor bemenetére való visszacsatolás a dióda záróiránya miatt hatástalan. Ellenkező esetben, amikor az  $I_d > I_f$  akkor az integrátor kimenete pozitív irányban kezd el változni, és ha nagyobb lesz, mint a komparátor felső érzékelési szintje, a komparátor kimenete az ábra szerintire változik. A visszacsatoló diódán keresztül az integrátor bemenetét mínusz irányba húzza, amely pozitív visszacsatolást jelent. A komparátor ekkor az érzékelési szintjét állítja az alsó érzékelési szintre, amely mindaddig ezen a szinten marad, míg  $I_d > I_f$ . A  $k_0$  komparátor kimeneti feszültsége pozitív/negatív értékének hányadosa  $4/6$ , ezért az integrátornak és az öt követő K komparátornak az átbillenéséhez az szükséges hogy az  $I_d > I_f$  és az  $I_f > I_d$  időtartam viszonya nagyobb legyen, mint  $4/6$ . Az integrátor időállandóját úgy választottuk meg, hogy szinuszos  $I_d$  áram esetén a túláramrelé a 14-37. ábra láthatóan csak a második félhullám bekövetkezése esetén szóljon meg.

Nagyobb különözeti áram fellépésekor, amikor az  $I_d - I_f > 8I_n$ , megszólal az  $I_d >$  túláramrelé is. Az  $I_d >$  kimenete az integrátorra kioldóirányú feszültséget kapcsol. Az integrátor időállandója erre a bemenetre nézve kb.  $1/20$ -szorosa az előzőekben leírt értéknek, ezért az integrátor kimenete gyakorlatilag azonnal eléri a felső komparálási szintet, ami a K komparátor megszólalását jelenti (14-38. ábra).

14-38.

...elem az előbb  
...feszültséget  
...integrátor  
...kapcsolási áram  
...kb. az ábrán lát  
...de kisebb  
...referencia na  
...ebben az eset  
...integrátor  
...kimeneti kom  
...Láthatóan az ilyen  
...elemmel  
...szólalás  $k_0$  műkö  
...csak 7,5 ms kés  
...a késleltetőe  
...a reteszelé  
...kiold. Látható  
...kimeneti  
... (14-39 ábra).  
...reteszelőha  
...telitődé  
...eltérsmük  
...a késleltető

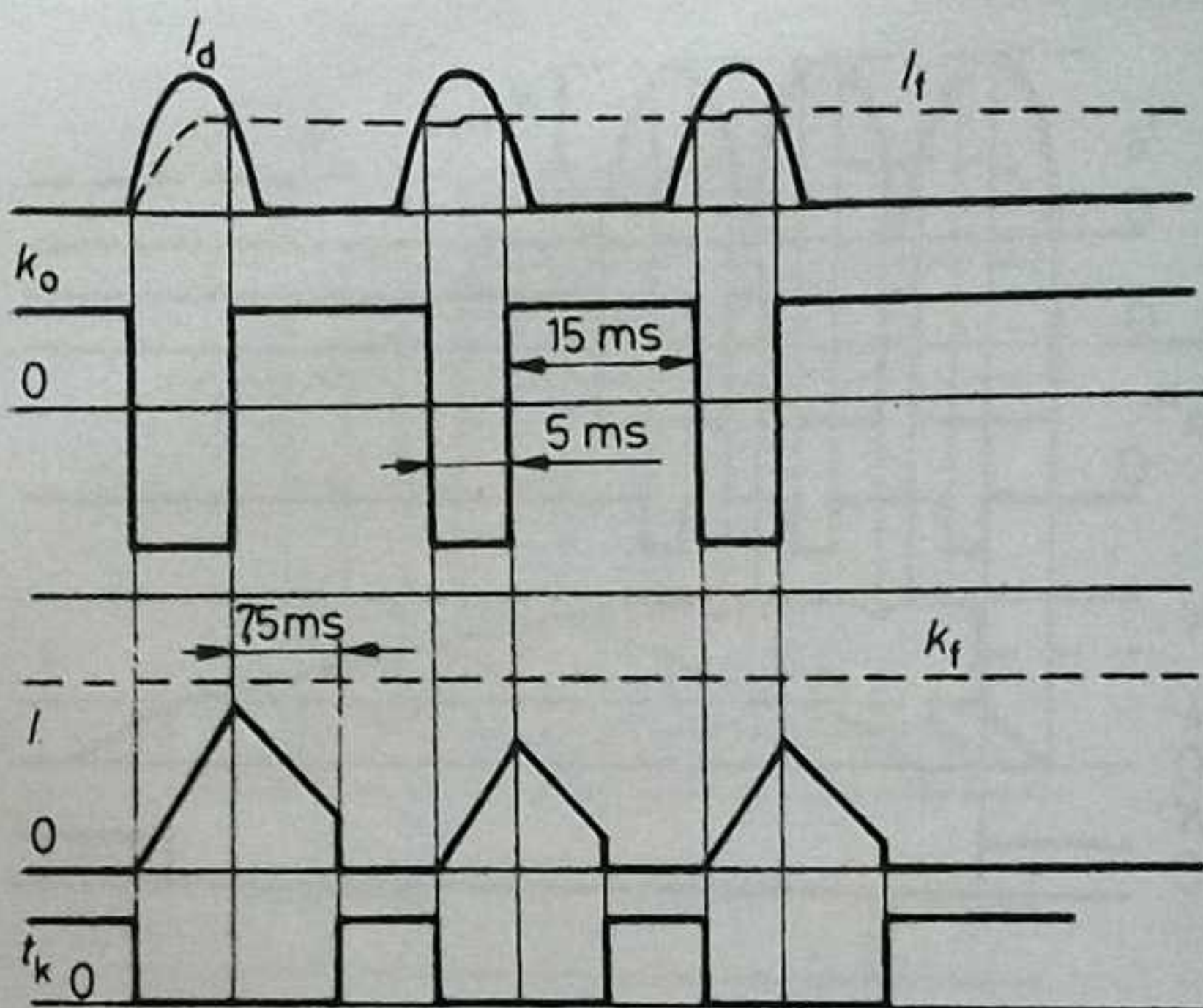


14-38. ábra Nagybelső zárlat érzékelése

A  $t_k$  jelű késleltetőelem az előbbiekkal pontosan ellenkező hatású, nem kioldóirányú, hanem reteszelő-irányú feszültséget kapcsol az integrátor bemenetére. Feladata az, hogy működésekor az integrátort igen gyorsan alaphelyzetbe állítsa. Működését transzformátorbekapcsolási áramlökés esetén, a 14-39. ábrán követhetjük. A különbségi ágban ilyenkor kb. az ábrán látható alakú  $I_d$  áram folyik, amelynek nagysága meghaladja az alapérekenséget, de kisebb, mint a névleges áram ötszöröse. Mint ismert, az  $I_f$  fékezőáram, mint referencia nagysága fixen az  $I_d$  áram maximumának 70%-ára van beállítva. A  $k_0$  komparátor ebben az esetben az ábrából látható 5/15 ms idejű kioldási/reteszelő irányú feszültséget ad az integrátor bemenetére, amelynek kimeneti feszültsége az előzőkből következően a kimeneti komparátor felső komparálási szintjét ( $K_f$ ) nem éri el, tehát nem szólal meg. Láthatóan az ilyen áramalakra ez a kapcsolás érzéketlen, ezt az érzéketlenséget a  $t_k$  ejtéskésleltetésű elemmel fokozzák. A késleltetőelem alaphelyzetben az integrátort reteszeli, a reteszelés  $k_0$  működésével egyidejűleg szűnik meg. A  $k_0$  alaphelyzetbe állása után  $t_k$  a reteszelést csak 7,5 ms késleltetéssel állítja vissza.

Belátható, hogy a késleltetőelem ilyen működési tulajdonsága mellett 50 Hz-es szinuszos különbségi áramra a reteszelés nem jön létre, mert akkor a  $k_0$  alaphelyzeténekideje 5 ms, azaz külső zárlatra kiold. Látható áramalakra periodikusan alaphelyzetbe állítja az integrátort, meggátolva ezzel a kimeneti komparátor működését, azaz a bekapcsolási áramlökésre történő hibás működést (14-39 ábra).

A késleltetőelem reteszelőhatásának tiltása szükséges a nagy zárlati áramok tartományában, ahol az áramváltók telítődése a szinuszos áramalaktól való eltéréshez vezet. A szinuszos áramalaktól való eltérésműködés elmaradást (látszólagos bekapcsolási áramlökés-érzékelést) okozna, ezért a késleltetőelemet reteszelik az  $I_f$  nagyáramú relével és  $K$  komparátor kimenetével.



14-39. ábra Bekapcsolási áramlökés reteszélése

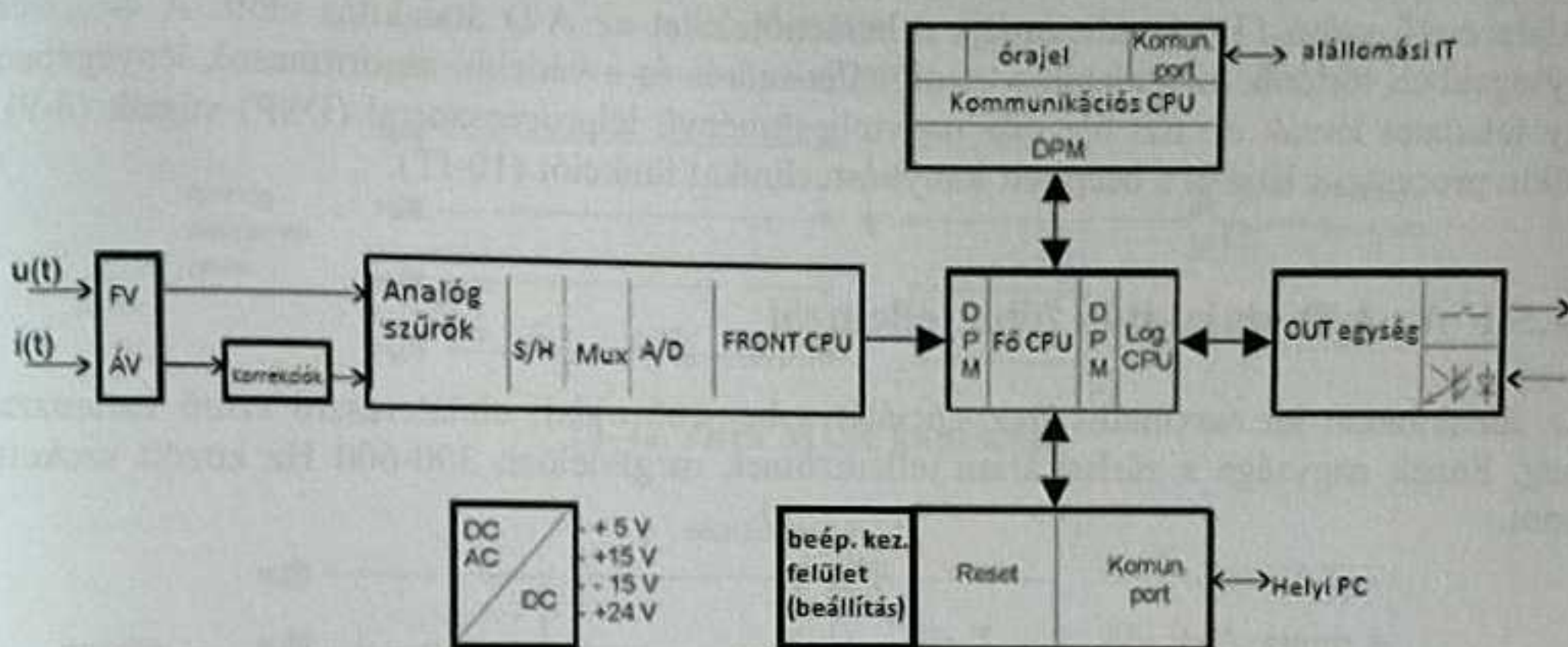
## 14.5 Digitális védelmek

1980-tól kezdve egyre inkább elterjedtek a mikroprocesszorok ( Intel 8080 , ZILOG Z80) az ipari alkalmazásokban. Az elektronikus védelmekhez képest az alapvető különbség, hogy a bejövő jeleket digitalizáljuk, majd azokat már numerikusan dolgozzuk fel. A feldolgozáshoz numerikus algoritmusokat alkalmazunk, például a különböző Fourier transzformációkat.

A digitális-numerikus védelmekben (DNV) számos új - korábban nem lehetséges- funkció valósítható meg. Így például a programozható öndiagnosztikai funkció, amely jelentősen növeli a védelem megbízhatóságát. A digitális védelmekbe továbbá már beépülhettek a zavariró funkciók is.

A legjelentősebb különbség azonban, hogy a digitális eszközrendszer elemei felhasználhatók. Itt elsősorban a különböző kommunikációs lehetőségeket kell megemlíteni. De a megjelenítésben és a beállításokban is gyökeresen új lehetőségek jelentek meg az előző analóg elvű védelmekhez képest. Pl. az ember gép kapcsolatban (HMI = human machine interface) az érintőképernyős kezelés, a paraméterezés Windows alapú szoftverekből grafikus eszközökkel történik.

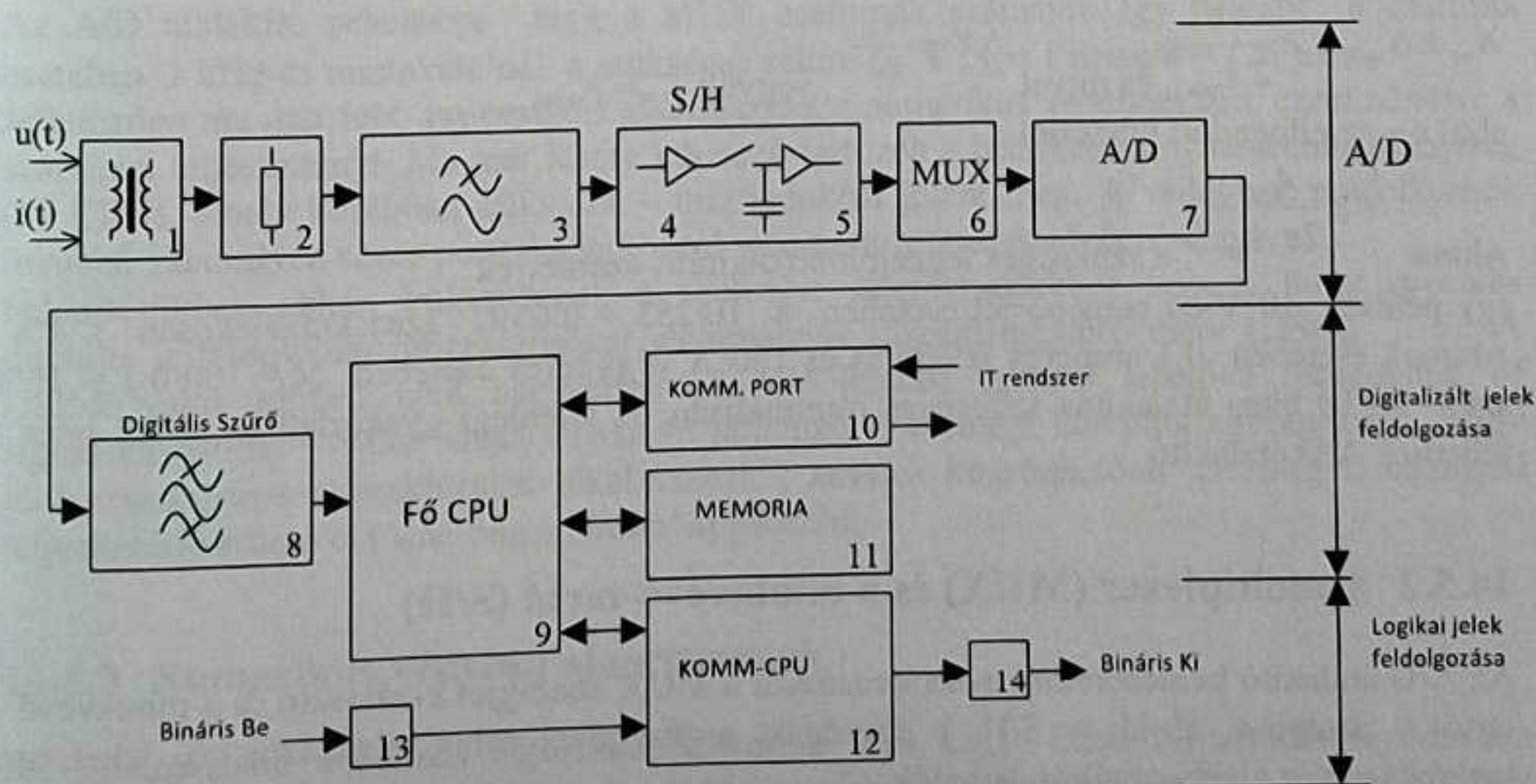
A digitális védelmek számos változatban készülnek, az egyik lehetséges felépítés az alábbi blokkvázlat alapján követhető:



14-40. ábra Digitális védelmi blokvázlat

A bejövő mennyiségek  $u(t)$  és  $i(t)$  transzformátoros leválasztás után kerülnek egy munkaellenállásra, ahol arányos feszültség jelszint keletkezik. A jel digitalizálását megelőzi egy analóg rendszerű aluláteresztő szűrő, amely az anti-aliasingjelenség megszüntetését végzi. A digitalizálás frekvenciája  $f_s$  a mintavételi frekvenciának felel meg ( a hazai védelmekben  $f_s = 2 \text{ kHz}$  ). Az általában nagy bemenő csatornaszám és az A/D átalakítók költséges volta miatt alkalmazzák a mintavevő-tartó és multiplexer elemeket. A bemeneti egységek vezérlését gyakran külön CPU végzi. A bemeneti egységből a digitalizált jelek egy kettős elérésű memóriába kerülnek (DPM dual port memory) és a DSP jelegű fő processzor realizálja a szükséges védelmi algoritmust.

A jelfolyamat és főbb műveleti szakaszok az alábbi ábrán követhetők:



14-41. ábra A numerikus védelmek jelfolyamata

A bejövő jelek galvanikus leválasztása (1) után a jel a munkaellenállásra (2) kerül. Az aluláteresztő szűrő (3) kondicionálja a bemenőjeleket az A/D átalakítás előtt. A 4...7-es egységekben történik az átalakítás. A digitális szűrés és a védelmi algoritmusok lényegében egy feladatot látnak el. Ezt ma már nagyteljesítményű jelprocesszorral (DSP) végzik (8-9). Külön processzor látja el a beépített irányítástechnikai funkciót (10-IT).

### 14.5.1 Az A/D átalakítók főbb jellemzői

Az átalakítandó jel maximális frekvenciáját a bemenő oldali aluláteresztő szűrő határozza meg. Ennek nagysága a zárlati áram jellemzőinek megfelelően 300-600 Hz között szokott lenni.

A mintavételi idő 
$$T_s = \frac{1}{f_s}$$

$$f_s = 2 \cdot f_z$$

A Shannon mintavételi tételnek megfelelően a mintavételezési frekvencia  $f_s$ , ahol  $f_z$  a zárlati áram maximális frekvenciájú összetevője, amit végülis a bemenő oldali aluláteresztő szűrő biztosít.

„m” bites hosszúságú a legnagyobb ábrázolható száma digitális szavak esetében  $N = 2^m - 1$ . Így például  $m=8$  bites átalakításnál  $N=255$  lesz.

Két digitális érték közötti különbség, azaz a felbontás  $\Delta X = \frac{X_m}{N}$  ahol  $X_m$  – a jel maximális értéke.

Az átalakítandó jel maximális - minimális értékei  $A_{\max} - A_{\min}$  valamint az elvárt pontosság között az alábbi egyenletek írhatók fel:

$$X_m \geq A_{\max} \quad \varepsilon \geq \frac{\Delta X}{2A_{\min}}, \quad \text{és mivel} \quad \Delta X = \frac{X_m}{N}, \quad \text{vegyük } X_m = A_{\max},$$

ahol  $\varepsilon$  – az elfogadott hibaszint.

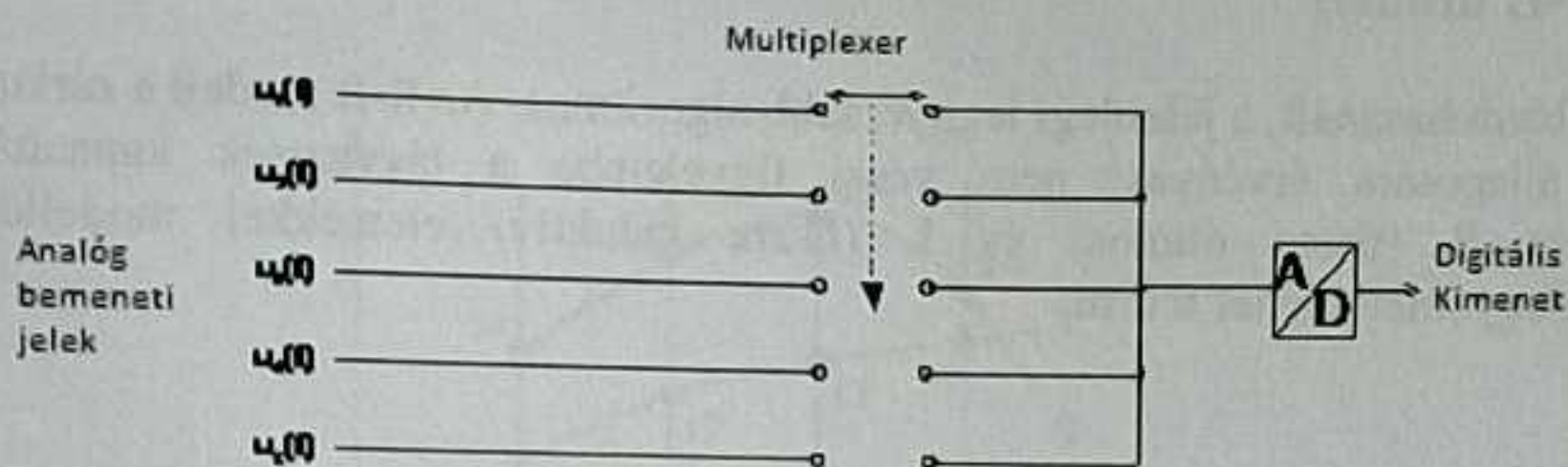
$$N \geq \frac{A_{\max}}{2\varepsilon A_{\min}}$$

Akkor a szükséges legnagyobb digitális számérték.

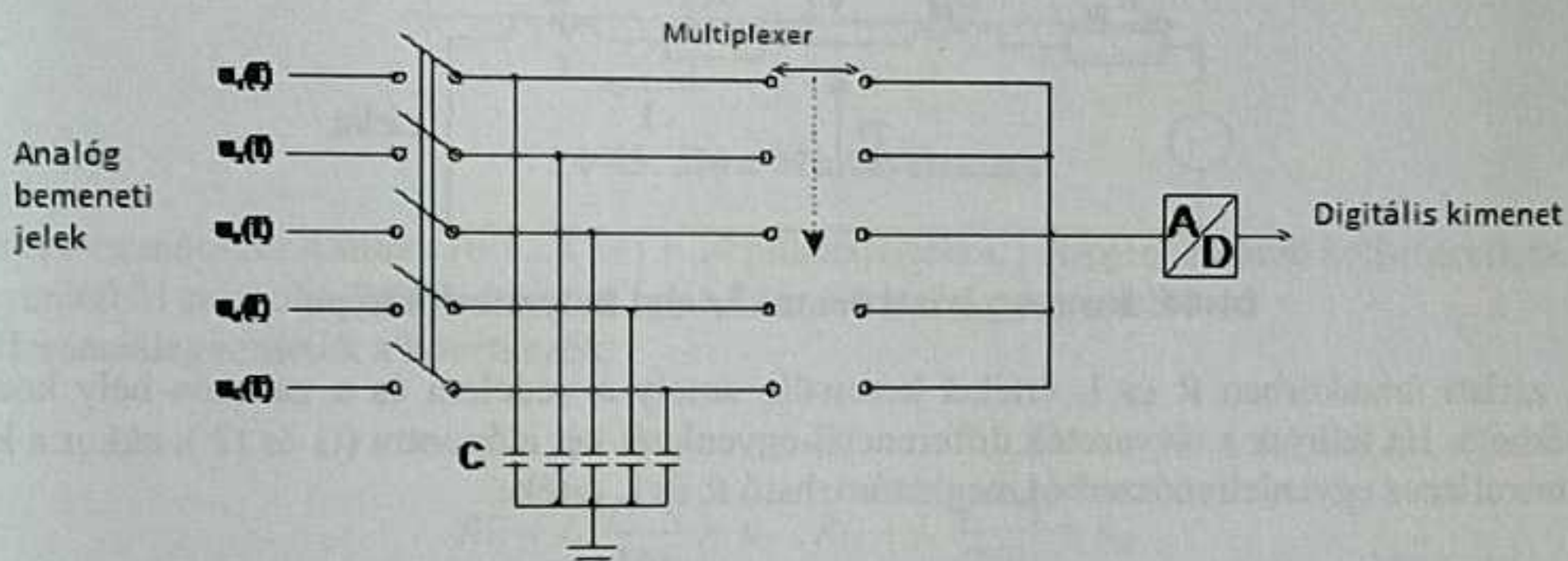
Így például 10 V-os bemenő jel esetében a  $10/255 = 0.0392$  azaz százalékosan  $< 4\%$  ! Áramok esetében 0.1 amperes felbontás és 100 A végkitérés esetében  $N = 100/0.1 = 1000$  azaz  $m=10$  bites átalakítás szükséges minimálisan. A jelenlegi gyakorlatban  $m=12$  bites a jellemző A/D átalakító.

### 14.5.2 A multiplexer (MUX) és a mintavevő-tartó (S/H)

Az A/D átalakító bemeneteinek sokszorosítását a MUX analógjel kiválasztó és a mintavevő-tartó (Sample & Hold = S/H) egységek segítségével lehet elvégezni. A lehetséges kialakítások az alábbi ábrákon láthatók:



14-42. ábra MUX kapcsolás



14-43. ábra MUX és S/H kapcsolás

A S/H kétféle üzemben működhet. Lehetséges, hogy a mintákat egymás után vesszük. Ekkor a minták a bemeneti jelekről időben nem esnek egybe. A másik módszer szerint azonos időpillanatban történik a mintavétel.

Az A/D átalakító sebessége függ a MUX csatornák számától. Így például 8 csatorna esetében 1 kHz-es mintavételnél a szükséges sebesség  $T_{A/D} = 1 \text{ msec}/8 = 125 \mu\text{sec}$ .

Jellemzően ma már több processzort alkalmaznak a numerikus védelmekben, ezzel növelve a számítási teljesítményt. Ma már szinte kötelező tartozék a beépített irányítástechnikai egység (IT CPU), amely korábban külön IT – mezőgépként jelent meg. A védelmek rendelkeznek továbbá valamilyen soros porttal a laptopról való paraméterezés elvégzéséhez.

Felépítésükben abban különböznek a személyi számítógépekhez képest, hogy speciális digitális jelfeldolgozó processzorokat alkalmaznak (digitalsignalprocessor (DSP)). A DSP-k valós időben igen nagysebességű feldolgozást tesznek lehetővé (processing of signals in real time – valós idejű). További jellemző a jelenlegi komplex egységeknél, hogy többprocesszoros architektúrákat alkalmaznak, aminek köszönhetően tetszőleges számítási teljesítmény érhető el ('one-box solution' approach).

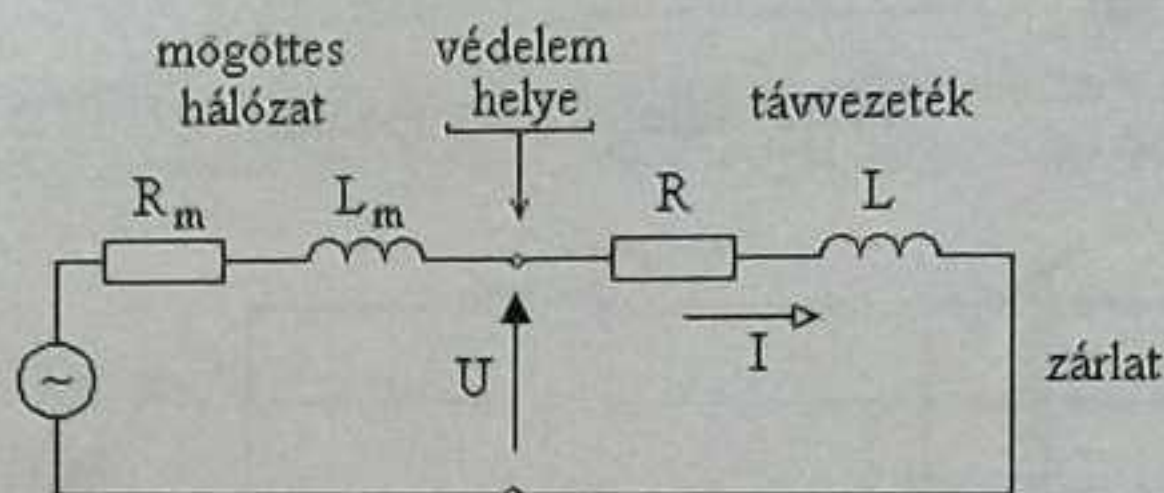
### 14.5.3 Numerikus védelmi algoritmusok

Az alkalmazható védelmes algoritmusok száma igen nagy. Ezek folyamatos fejlődésben vannak. Ezekből néhány algoritmus kerül bemutatásra. Valamennyire jellemző, hogy diszkrét mintákból kell képezni a megoldást.

A mérőváltókról beérkező áram- és feszültségadatokat többféle módon fel lehet dolgozni, és így az impedanciát meghatározni. Ezekre számos algoritmus született.

### 14.5.4 R-L modell

Leggyakrabban használt, a jelenlegi leggyorsabb algoritmus. Az R-L modell a zárlatos hálózat tranziens állapotára érvényes; nem veszi figyelembe a távvezeték kapacitását. A távvezetékét R (tiszta ohmos) és L (tiszta induktív) elemekkel modellezi, amire differenciálegyenletet lehet felírni.



14-44. ábra A zárlati áramkör elvi helyettesítő képe

A zárlati áramkörben R és L értékét keressük, amely a védelem és a zárlatos hely között mérhető. Ha felírjuk a távvezeték differenciál-egyenletét két időpontra ( $t_1$  és  $t_2$ ), akkor a két-ismeretlenes egyenletrendszerből meghatározható R és L értéke.

$$Ri_1 + L \frac{di_1}{dt} = u_1 ; Ri_2 + L \frac{di_2}{dt} = u_2$$

Az 1 és 2 alsó indexek a két időpontra vonatkoznak.

Helyettesítéssel egyszerűbbé tett egyenletrendszer:

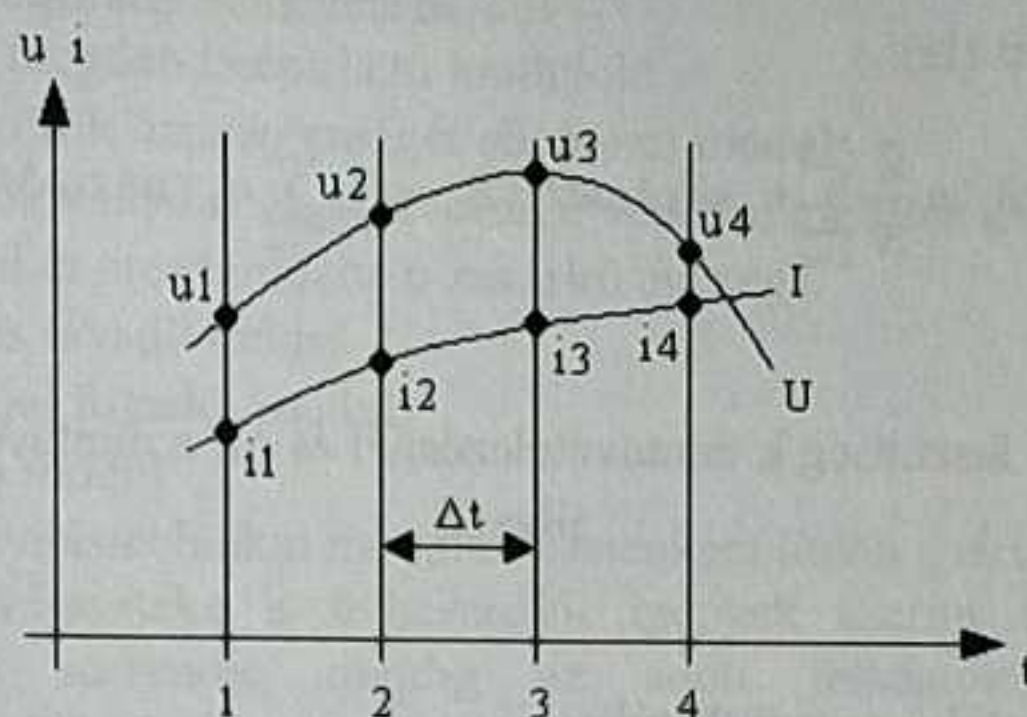
$$aR + bL = c$$

$$dR + eL = f$$

$$R = \frac{bf - ce}{bd - ae} ; L = \frac{cd - af}{bd - ae}$$

A számításhoz szükségesek a pillanatértékek és a deriváltak, amiket numerikus módszerrel, differencia-képzéssel állítanak elő.

#### 14.5.4.1 Az A4-es módszer



14-45. ábra Mintavételezés

Az A4-es módszer 4 minta ( $u_{1...4}$  és  $i_{1...4}$  pillanatértékek) alapján, 2 darab kétismeretlenes egyenletből számolja  $R$  és  $L$  értékeit. Így a 2. és 3. mérési pontra felírható differenciálegyenletek a következők:

$$Ri_2 + L \frac{i_3 - i_1}{2\Delta t} = u_2 ; Ri_3 + L \frac{i_4 - i_2}{2\Delta t} = u_3$$

#### 14.5.4.2 Az A3-as módszer

A módszer hasonló az A4-eshez, azonban itt csak 3 mintát veszünk és a két-két szomszédos minta középpontjaira írjuk fel a differenciál-egyenleteket:

$$R \frac{i_1 + i_2}{2} + L \frac{i_2 - i_1}{\Delta t} = \frac{u_1 + u_2}{2}$$

$$R \frac{i_2 + i_3}{2} + L \frac{i_3 - i_2}{\Delta t} = \frac{u_2 + u_3}{2}$$

Léteznek még integráló és 6 mintán alapuló módszerek is, amelyekkel csökkenthetők a zajterhelés okozta hibák.

### 14.5.5 Fourier módszer

A másik leggyakrabban alkalmazott módszer. Viszonylag lassú algoritmus, 1 periódus a futási ideje. Emellett a periódus minden mintája szerepel a számításban. Ugyanakkor legfőbb hibaforrása az, hogy periodikus (szinuszos) időfüggvényt feltételez.

Az alapharmonikus mennyiségek komplex alakban

$$U = A_u + jB_u$$

$$I = A_i + jB_i$$

Az alapharmonikusra (50 Hz):

$$A_u = \frac{2}{N} \sum_{k=0}^{N-1} u_k \sin k\omega\Delta t ; B_u = \frac{2}{N} \sum_{k=0}^{N-1} u_k \cos k\omega\Delta t$$

$u_k$ : a mintavételezett feszültség  $k$  mintavételezésnél és  $\Delta t$ : a mintavételezési időköz, ami állandó

Áramra ugyanígy felírhatók az együtthatók.

A mért komplex impedancia 50 Hz-en:

$$Z = \frac{U}{I} = R + jX = \frac{A_u A_i + B_u B_i}{A_i A_i + B_i B_i} + j \frac{A_i B_u - A_u B_i}{A_i A_i + B_i B_i}$$

#### 14.5.6 Numerikus védelmek hálózatba szervezése alállomásokban

A komplex digitális védelem hardverében és szoftverében alapvetően moduláris felépítésű készülék. A hardver modulokat mindig az elvégzendő feladatnak megfelelően, korszerűszámítógéppel támogatott tervezési módszerrel kell összeállítani és a szoftvert konfigurálni. A készülék funkcióit ezek után a betöltött szoftver konfigurálása és a paraméterek beállításahatározza meg.

A szokásos védelmi feladatokra gyári konfigurációkat állít össze a védelem gyártója, amelyek egy-egy hálózati elem számára tartalmazzák a szóba jöhető védelmi és automatikafunkciókat. Ezeknél a készülékeknél a felhasználó aktivizálhatja a betöltött szoftvermodulokat, majd be kell állítani a funkciók paramétereit és a készülék egyéb szolgáltatásait.

A leggyakoribb gyári konfigurációk a következők:

- TV távolsági védelem és visszakapcsoló automatika nagyfeszültségű hálózatokra
- TVA távolsági védelem és visszakapcsoló automatika a középfeszültségű hálózatokra
- TD transzformátor különbozeti védelem
- SZV szakaszvédelem
- GSZV galvanikus szakaszvédelem
- TI - VA túláramvédelem és visszakapcsoló automatika
- TI túláramvédelem
- MV komplex motorvédelem
- OGYD optikai összeköttetéses gyűjtősin különbozeti védelem

Továbbá még tartalmazhatnak:

- külön kommunikációs és telemechanikai processzoros modul,
- integrált zavaríró és eseményrögzítőt.

A készülékekben szokásos hardver modulok:

- AV áramváltós analóg bementi modul
- FV feszültségváltós analóg bementi modul

- R relés kimeneti modul
- optikai csatolás digitális bemeneti modul

Opcionális, a feladattól függően beépíthető modulok:

- U a működtető körök üzemképességét ellenőrző modul
- OX optikai csatolás modul nagy távolságú védelmi mérések és jelek átvitelére
- ZI önálló, szabadon programozható zavaríró egység
- TA 4...20 mA-es távadó modul
- 4 ... 20) mA-es jel fogadó modul
- Pt100 jel fogadó modul
- xx speciális irányítástechnikai modulok esetenként külön gyártótól

A hardver modulok választéka a felhasználói igények szerint folyamatosan bővíthet, amodulok száma és sorrendje mindig az adott feladatoktól függ. A változó mennyiségűigényeket különböző méretű készülékekkel lehet kielégíteni, esetenként több készülék szoros együttműködése is megszervezhető egy-egy komplex feladat (például generátor- transzformátor blokkvédelem) megoldására.

#### A leggyakoribb szoftver modulok

A szoftver modulok lehetnek részfeladatot ellátó egységek (például Fourier felbontás, effektívérték számítás, időzítés, ...) és lehetnek teljes védelmi funkciót ellátó modulok (amelyek esetenként több együttműködő részegységekből állhatnak).

A következő táblázat a leggyakoribb ilyen szoftver modulokból sorol fel néhányat. Az ANSI amerikai szabvány által meghatározott védelmi funkciókat alkalmazzák a gyártók.

- ANSI 51 Független késleltetésű túláramvédelem alapfunkció
- ANSI 51 Háromfázisú, független késleltetésű túláramvédelem
- ANSI 67 Irányított túláramvédelem funkció
- ANSI 59/27 Feszültség növekedési és csökkenési funkció
- ANSI 21 Távolsági védelem funkció mereven földelt csillagpontú hálózatokra
- ANSI 21 Távolsági védelem funkció nem mereven földelt csillagpontú hálózatokra
- ANSI 87 Differenciál védelem funkció
- ANSI 87 Szakaszvédelmi funkció fénykábeles összeköttetéssel
- ANSI 87 Szakaszvédelmi funkció galvanikus összeköttetéssel
- ANSI 46/47 Aszimmetria védelem funkció
- ANSI 26/49 Termikus túlterhelési védelem („hőmás védelem“) funkció
- ANSI 37/48 Speciális motorvédelmi funkciók (forgórész terhelés, megszorulás csökkenés)
- ANSI 79 Többlépcsős automatikus visszkapcsolás
- ANSI 81 Frekvencianövekedési/csökkenési védelem

A modulokat könyvtárakba csoportosítják, amelyekben egy-egy hálózati elemre szokásos funkciókat gyűjtenek össze. A könyvtárak dinamikusan változhatnak az igényeknek megfelelően (természetesen betartva a hardver és szoftver korlátokat). A felhasználókezekből aktivizálhatják a szükséges funkciókat.

#### A digitális védelmek kezelése és kommunikációs kapcsolatai

A digitális védelmek jellemzően több kommunikációs elérhetőséggel bírnak. Így megtaláljuk:

- közvetlen kezelő szerveket, kijelző eszközöket, mint LCD- kijelző vagy LED-es visszajelzések – látjelzések. A készülék beépített kezelő szervei (nyomógombok, alfanumerikus kijelző, LED jelzések) biztosítják az alapvető helyszíni kezelés lehetőségét. Ezek közül a paraméterek beállítása és ellenőrzése, események lekérdezése, kijelzett események nyugtázása, a folyamatos mérések követése a legfontosabb.

- Az opcionális – és nagyobb költségű –, nagy felbontású grafikus kijelző a védett berendezés aktív sémaképeinek megjelenítését teszi lehetővé a mért értékek, állásjelzések kijelzésével és alapvető kézi kapcsolási funkciók végrehajtásának megjelenítésével. Jellemző az előlapi RS232 soros vonal, amelyen keresztül a csatlakoztatott számítógép alapvető kezelési funkciók áttekinthető elvégzését teszi lehetővé.
- Általában hátoldali fénykábeles csatlakozó az alapvető kezelési funkciókon kívül az integrált zavarirólekérdezését és programok letöltését, a letöltött programok visszakerdezését és dokumentálását is támogathatja. A csatlakozó fénykábeles hurok kiépítését is lehetővé teszi, amelyen keresztül az alállomás összes védelmét egy központi helyről el lehet érni. A biztonságnövelése érdekében kettős hurkot is ki lehet alakítani.
- A védelmi készülék egy további fénykábeles csatlakozón keresztül az alállomásüzemirányítási rendszerbe is bevonható, a készülék ellátja a mezőgéphez kötött feladatait is. A biztonság növelése érdekében itt is lehetőség van kettős hurok kialakítására. Amegvalósítható protokollok: IEC 60870-5-101, IEC 60870-5-103, MODBUS, ABB SPA stb.

Az digitális védelmek elvárható szolgáltatásai:

- önellenőrzés, amelybe a készülékhez csatlakozó mérőváltó köröket és a megszakító működtető köröket is be lehet vonni;
- eseményrögzítés 1 ms-os vagy annál jobb felbontású időbélyegzéssel;
- zavariró funkció a készülék rendelkezésére álló valamennyi analóg jel, valamint a külső és belső kétállapotú jelek időfüggvényének rögzítésével;
- kényelmes kezelés csatlakoztatott külső számítógép segítségével;
- csatlakozás az alállomási üzemirányítási rendszerhez.

#### 14.5.7 Digitális védelmek ETHERNETES hálózati felépítése

Több nemzetközi szervezet együttes fellépésének köszönhetően a megjelent egy új alállomási szabvány, amely az IEC 61850 elnevezést kapta. Ezzel egyidejűleg új készülék elnevezés is született, az Intelligent Elektronikus Eszköz / IED = Intelligent Electronic Device. Úgy kellett megválasztani az új szabványt, hogy elégítse ki a funkcionális igényeket és jellemzőket, de legyen perspektivikus is. Elvárás volt, hogy az IED-k teljes mértékben tudjanak kommunikálni az új szabvány által leírt buszon. Ez feltételezi, hogy az IED-k olyan egységes funkcionális modulokból állnak, amelyek egységes elvek alapján épülnek fel, azaz a gyártótól függetlenül különböző IED-k kommunikálni tudjanak.

A következő fejlődési stádium az IED-k közötti információ csere fejlődése. Először soros jellegű kapcsolaton keresztül (ma hazánkban ez van elterjedve) kerültek felfűzésre az IED-k.

Ráadásul a soros kommunikációk gyakran gyártó szerint egyediek, és ezért protokoll konverterek beépítése válnak szükségessé minden objektumon. Pl. a PROLAN fejtápe ebből a megfontolásból számos csatornát fogadó protokoll konverterrel bírt.

1994-ben kezdte meg a munkát az IEC 57-es munkacsoportja „Alállomási védelem és IT interface-ei” címmel. A nemzeti bizottságok áttekintették és elfogadták az alábbi javaslatokat:

- Általános érvényű kommunikáció és funkcionális architektúra kidolgozása a szabvány kereteinek megfelelően;
- Készülék szintű és irányítási szintek közötti egységes kommunikáció kidolgozása;

- Kommunikáció kidolgozása a technológiai szint és az elemek között;
- Speciális kiegészítések kidolgozása a védelmek részére

Kiegészítésként lett kidolgozva a védelmek információs kapcsolataihoz az IEC 60870-5-103-as protokoll.

Az IEC 61850 szabvány több szabvány elveiből és tapasztalataiból alakult ki, mivel több ország szakembereis rájött, hogy az ethernet hálózatok ma már legalább annyira megbízhatóak, mint a soros kommunikációs összeköttetések. Az IEC 61850 elődjei az IEC60870-5-101, -103, -104 európai fejlesztések voltak, míg a másik az EPRI project UCA2.0 (UCA =UtilityCommunicationArchitecture) volt. Végül célul tűzték ki a meglévő standardok összefésülését, hogy egy nemzetközi standardot hozzanak létre **IEC 61850** néven. Úgy kellett megválasztani az új szabványt, hogy kielégítse a funkcionális igényeket és jellemzőket, de legyen perspektivikus is. Elvárás volt, hogy az IED-k teljes mértékben tudjanak kommunikálni az új szabvány által leírt buszon. Az új szabványnak elsősorban az összes alállomási követelményt ki kellett elégítenie, de elvárás volt, hogy a funkcionalításban ne tegyen korlátozásokat, amelyek az alállomási üzemeltetési igények korlátjait képeznék. Törekvés volt továbbá a meglévő és haladó szabványok részleges átvétele is. Alkalmazott függvények határozzák meg az adatforgalmat és annak sebességi kritériumait.

Egyebek mellett az IEC61850-nek ki kell elégítenie az alábbiakat:

- Az IEC/IEEE/OSI jól ismert profiljára alapul;
- Nyílt profil, és legyen lehetőség új függvények felvételére;
- Az IEC61850 az adat-objektumokra épül, amelyek a villamos energetika elvárásaiból fakadnak;
- A szintaxis és szemantika igazodik az általános adat-objektumokhoz, amelyek megfelelnek a VER (Villamos Energia Rendszer) igényeinek;
- Standard TCP/IP ethernet kommunikációs alapokon folyik az adatsere;
- BaytoBay kommunikáció;
- A hiba rekordok Comtrade formátumban tárolódnak;
- Idő szinkronizáció SNTP (Simple Network Time Protocol) segítségével;
- Könnyebb rendszer és IED felprogramozás / karbantartás;
- Definiált védelmi és kontroll funkciók;

A modern rendszerekben a távvezetékek villámvédőiben elhelyezett üvegszálak segítségével a legtöbb alállomás hálózatba köthető, aminek segítségével akár több alállomás védelmei is tudnak egymással kommunikálni.

#### 14.5.8 Az IEC61850-es szabvány felépítése, tartalma

A szabvány főbb részei:

##### 1. A konfigurálást leíró nyelv az IED-k vonatkozásában:

- o Az adott folyamat rendszer tervezésének áttekintése;
- o Az adatsere fájl formátumának meghatározása rendszerparaméterek alapján. Paraméterkonfigurálás XML-nyelven, konfigurálni az egyvonalas séma leírási szemantikáját, a kommunikációk leírását (mely pontok között és hogyan), az adott IED lehetőségeit;
- o Az IED logikai csomópontjának hozzárendelése az alaprendszerhez;

##### 2. A kommunikáció absztrakt interface-e (ACSI):

- o Az ACSI leírása;
- o Az absztrakt szolgáltatások leírása;

- Az eszközök adatbázis modellje;

Általános elvárások az IEC61850 kapcsán

Három metódust vettek figyelembe: funkcionális tagolást; az adat-áramlást és az információs modellezést. A funkcionális tagolást felhasználták az elosztott rendszer elemeinek logikai megfelfeltetésére. Ennek legkisebb része a logikai csomópont (LogicalNode (LN)). A Logikai csomópontok leírják a kölcsönhatások függvényeit. Az adatáramlás szükséges a kapcsolat interface-ek megértéséhez, amelyek az elosztott rendszer elemei között biztosítják az információ cserét. Az informatikai modellezés felhasználásra kerül az absztrakt szintaxis és szemantika meghatározásához az információ csere során. A logikai csomópontokat különböző osztályokba sorolják.

#### 14.5.9 Funkciók és logikai csomópontok

Topológia és kommunikációs funkciók az alállomási automatizálásban. Az IEC61850 támogatja az alállomási vezérléstechnika funkcióinak kommunikációját a következőképpen:

- Mért értékek adatainak feldolgozása áram és feszültségváltók esetében (1);
- Gyors adatcsere a védelem és az automatikák között (2);
- Vezérlő és kioldó jelek (3);
- Installáció és konfiguráció (4);
- Monitoring és felügyelet (5);
- Control-center kommunikáció (6);
- Idő szinkronizáció;

Más alkalmazások támogatása, mint mérőeszközök, állapot figyelők, költség elemzők. Számos funkció eleve bele van implementálva egy intelligens elektronikus eszközbe (IED). Néhány funkció csak egy IED-ben van megvalósítva. A funkciók lehetnek „elosztott” jellegűek, amennyiben különböző készülékekben realizálódnak.

### 14.6 Késleltetett túláramvédelmi rendszerek

A túláramvédelmek tekinthetők az első védelmeknek a villamos átvitelekben. A túláramvédelem keverendő össze a túlterhelés védelemmel, amelyek általában berendezések terhelés miatti túlmelegedés ellen védenek. A túláramvédelmek elsősorban zárlatieseményekre működnek.

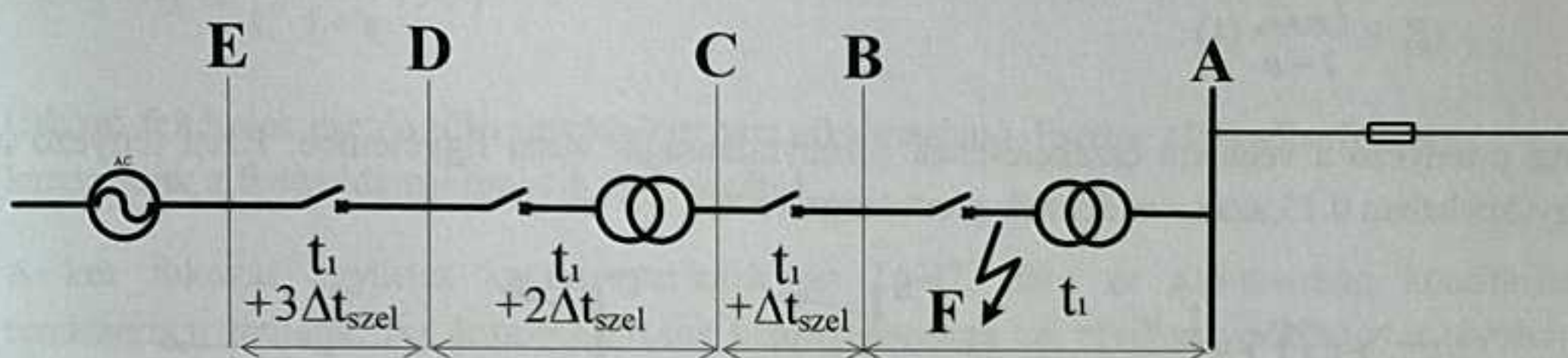
A túláramvédelmek beállításához a következőkre van szükség:

- a zárlati viszonyokat meghatározó hálózatkép és az elemek értékei
- a maximális és minimális üzemállapot zárlati áramai
- a maximális terhelő áram
- motorok esetében a bekapcsolási áramlökés
- transzformátoroknál a bekapcsolási jelenség viszonyai
- közeli generátoroknál a zárlati áram tranziens időállandói
- az áramváltó értékek és jellemzők.

### 14.6.1 A túláram-idő védelmek (TIV)

Amikor több TIV- et kell tervezni és beállítani egy összefüggő villamos hálózatban úgy, hogy megfeleljünk a védelmekkel szemben támasztott követelményeknek, akkor a túláram elemeket időtagokkal szükséges kiegészíteni. A cél a megfelelő hiba meghatározás biztosítása és a minimális hálózatrész lekapcsolása.

#### Időlépcsőzéses túláram-idő védelmek



14-46. ábra Időlépcsőzéses túláramvédelmi rendszerek

Úgy szükséges kiválasztani a TIV késleltetését, hogy a hibához legközelebb eső működjön először. A sugarasan működő hálózatokban afenti ábra szerint történik a beállítás. A B-C-D és E pontokban vannak a TIV-ek. A hibához – zárlat az F-pontban- a B jelű védelem van a legközelebb, így ennek késleltetése lesz a legkisebb. Igaz ezt nem szabad kisebbre választani, mint az A jelű oldalon lévő olvadóbiztosítók működési idejét. A B-C-D és E védelmek között van egy  $t_1$  késleltetés, amit szelektív időlépcsőnek nevezünk.

Ennek a módszernek egyszerűsége mellett jelentős hátránya, hogy a tápponthoz közeli védelmek késleltetése magasra adódik. Így pl., mint a mi esetünkben 3 lépcsőnél  $t_1 + 3 \cdot \Delta t_{szel}$ .

### 14.6.2 Áramlépcsőzés kialakítása

Áramlépcsőzés akkor alakítható ki, ha a zárlati áram a védett hálózatban függvénye a távolságnak. Ilyen eset áll elő a kisfeszültségű (KIF) és közepfeszültségű (KÖF) hálózatokban.

A közepfeszültségű hálózat alapvédelme a fáziszárlatok és túlterhelések háritására áramtól független késleltetésű túláramvédelem. Az alábbi ábra a sugaras hálózat V1 helyén felszerelt túláramvédelem beállítását mutatja.

Az ábrán megfigyelhető, hogy a zárlati áram ( $I_z$ ) a mögöttes hálózati impedanciától és a zárlat fajtájától (3F vagy 2F) függően egy maximális ( $I_{z \max}$ ) és egy minimális ( $I_{z \min}$ ) érték között változhat, és a hibahely távolságával ( $l$ ) csökken.

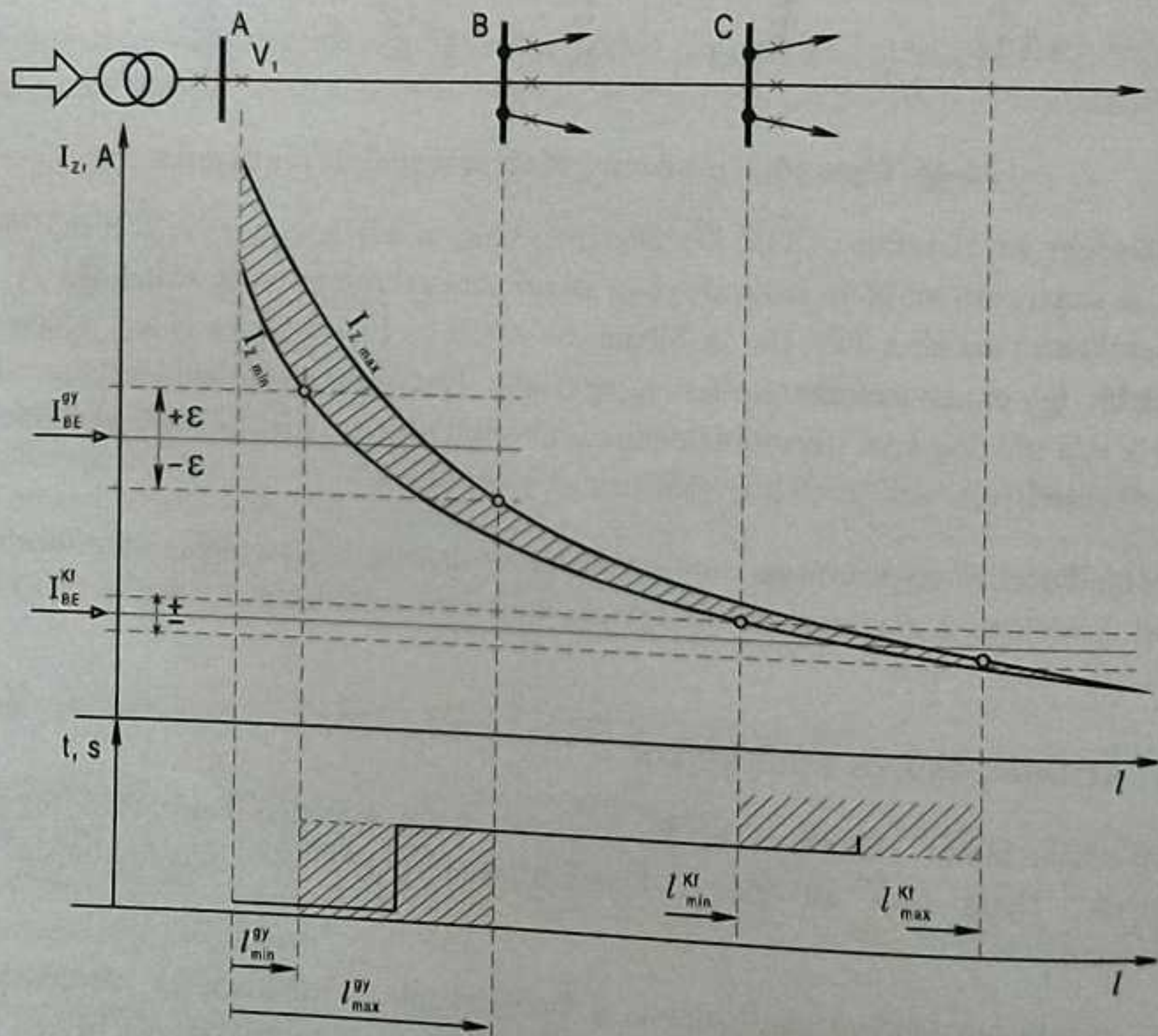
Az A-B-C jelű védelmek a fentiekben leírt időlépcsőzéses TIV-ek. Azaz pl. a C – 0.2 sec, a B-0.6 sec és az A-1 sec késleltetésű. Viszont nem nehéz belátni, hogy az A jelű védelem közelében vannak a legnagyobb zárlat szintek (8-12 kA pl. KÖF táppont esetében). Ezen

megoldás elfogadhatatlan a zárlati áram termikus hatása miatt, ezért a közeli zárlatokra gyorsított kioldás szükséges. Ezért a V1 jelű védelem kiegészül egy gyorsfokozattal.

A V1 védelem gyorsfokozatának feladata az AB vezetékszakasz gyors és szelektív védelme. Úgy kell beállítani, hogy az ne szólalhasson meg a B gyűjtősínről leágazó védelmek gyorsfokozatai helyett, tehát biztonsággal ne érzékelje a B gyűjtősínnél fellépő maximális zárlatot sem:

$$I_{BE}^{gy} \geq \frac{I_{Bz \max}}{1 - \varepsilon} \quad (1)$$

Az  $\varepsilon$  tényező a védelem érzékelésének bizonytalanságát veszi figyelembe. Ezen tényező a gyakorlatban 0.15, azaz a védelmek pontossága 15%.



144-47. ábra Kétlépcsős túláramvédelem beállítása és hatótávolsága

A késleltetett fokozat szerepe az AB alapvédelme és a BC vezetékszakasz fedővédelmének biztosítása. Ennek működnie kell a "legtávolabbi" C gyűjtősín zárlatára akkor is, ha ott a minimális zárlati áram folyik, és a védelem pozitív hibával érzékel:

$$I_{BE}^{kf} \leq \frac{I_{Cz \min}}{1 + \varepsilon} \quad (2)$$

Ugyanakkor a védelem nem működhet a legnagyobb üzemi áramra akkor sem, ha negatív hibával érkezik. A következő összefüggés számlálójában a "felfutási tényező" ( $k_f$ ) azt veszi figyelembe, hogy idegen zárlatkor a lecsökkent feszültség miatt a motorok lelassulnak, majd a zárlatos hálózatrész lekapcsolódása után a sebességük visszanyeréséhez megnövekedett áramot vesznek fel. A nevezőben az "ejtőviszony" ( $k_v$ ) a relé ejtési és a megszólalási áramértékének hányadosa.

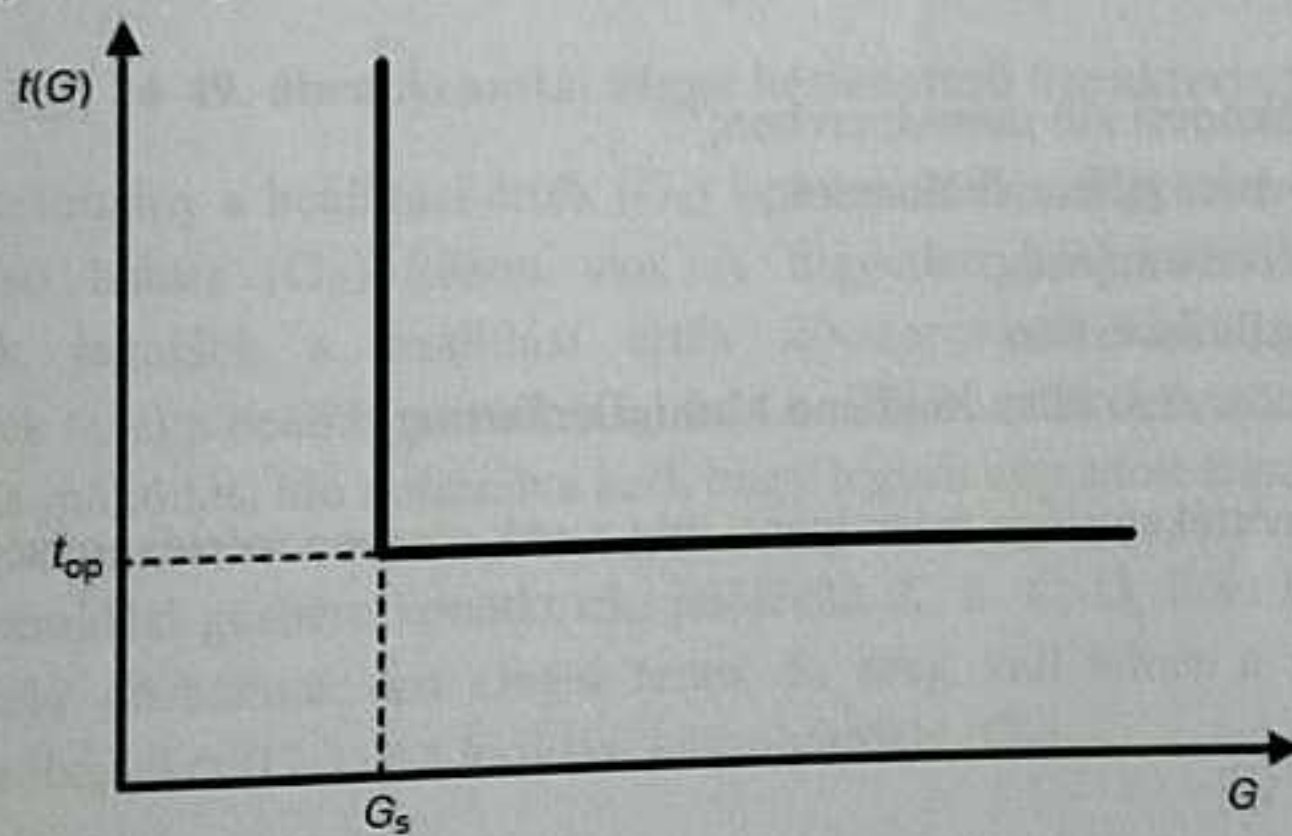
$$I_{BE}^{kf} \geq \frac{k_f}{k_v} \frac{I_{\bar{u}max}}{1 - \varepsilon} \quad (3-3)$$

Ütköző feltételek esetén túláramvédelem nem alkalmazható. Esetleg elfogadható, hogy lemondunk a fedővédelmi funkció egy részéről.

A két fokozat együttes karakterisztikáját az 14-47. ábra az idő-távolság koordináta rendszerben mutatja. Az árambeállítások bizonytalansága azt eredményezi, hogy a távolság függvényében van olyan vezetékszakasz, ahol a védelem működési ideje illetve a megszólalása bizonytalan.

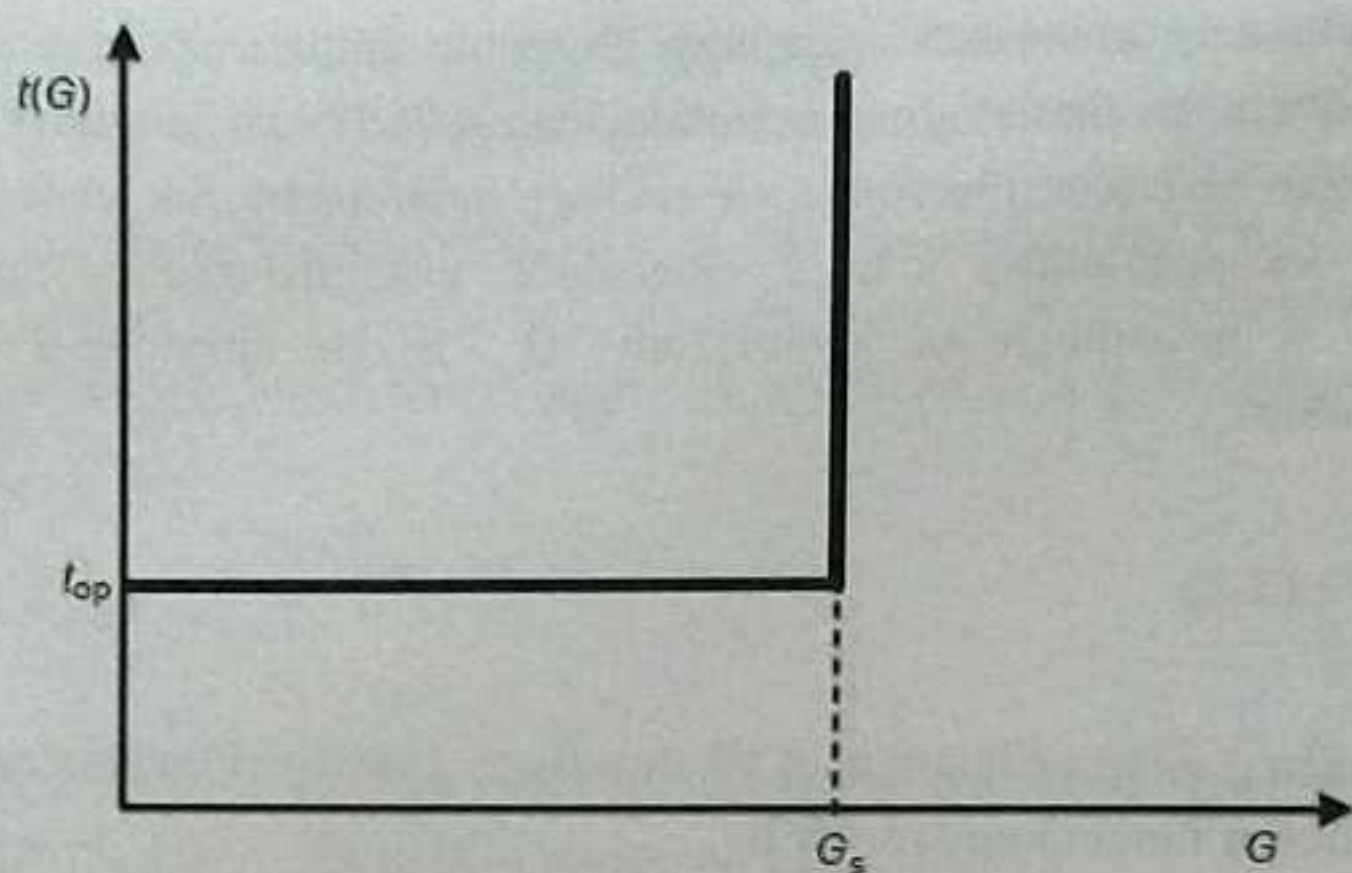
### 14.6.3 Független késleltetésű karakterisztika

A kioldási idő ( $T_{op}$ ) megegyezik a működési idővel, amikor a mért érték magasabb (túláram védelem) vagy alacsonyabb (áramcsökkenési védelem) a beállítási értéknél ( $G_s$ ).



IEC 1706/09

14-48. ábra Túláram védelem független késleltetésű kioldási karakterisztika



IEC 1707/09

14-49. ábra Áramcsökkenési védelem független késleltetésű kioldási karakterisztika

#### 14.6.4 Áramtól függő késleltetésű karakterisztika

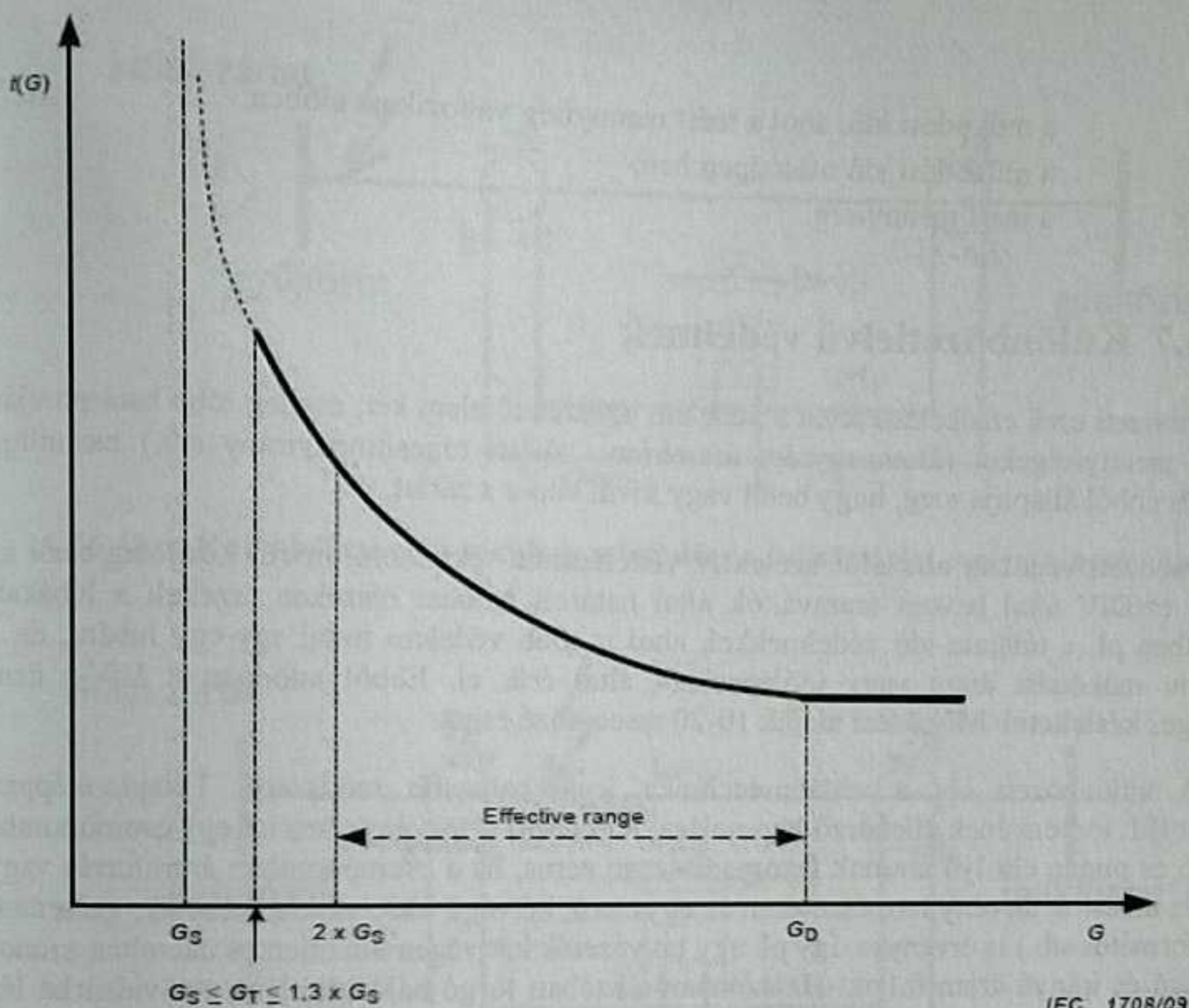
Az áramtól függő késleltetésű karakterisztika a túláram védelmeket jellemzi. A görbe a következő formulát kell, hogy kövesse,

$$t(G) = \text{TMS} \left( \frac{k}{\left(\frac{G}{G_s}\right)^\alpha - 1} + c \right) \quad (1)$$

Ahol:

- $t(G)$  a működési idő másodpercben;
- $k, c, \alpha$  a görbére jellemző állandók;
- $G$  a mért mennyiség;
- $G_s$  a beállítási érték;
- $\text{TMS}$  az időszorzó állandó (Time Multiplier Setting).

A  $k$  és  $c$  konstansok mértékegysége másodperc, míg  $\alpha$ -nak nincsen mértékegysége.



14-49. ábra Áramtól függő késleltetésű karakterisztika

Az effektív tartomány a beállítási érték ( $G_S$ ) kétszerese és a független késleltetésű működési tartomány alsó határa ( $G_D$ ) között van. A független késleltetésű működési tartomány felsőhatárának legalább a beállítási érték 20-szorosával kell egyenlőnek lennie. A küszöbértéknek ( $G_T$ ) a beállítási érték ( $G_S$ ) és a beállítási érték 1,3-szorosa között kell lennie. Egy minimális működési idő definiálva kell, hogy legyen egy adott áram fölött.

A képlet hat kioldási görbére vonatkozik, jelölésük A, B, C, D, E és F. A gyártónak ki kell jelentenie, mely görbéknek tud eleget tenni, és meg kell adnia a független késleltetésű működés küszöbértéket ( $G_D$ ) és a kioldási küszöbértéket ( $G_T$ ).

Mért érték hibájának szorzó tényezői az egyes tartományokra

A mért érték és a beállítási érték hányadosa ( $G/G_S$ )	2 – 5	5 – 10	10 – $G_D$
Működési idő megengedhető hibájának szorzótényezője az adott tartományra	2,5	1,5	1

Mivel az energia rendszer hibái időben változó értékű áramokat tudnak létrehozni, ezért a relének a következő integrál képlet szerint kell viselkednie:

$$\int_0^{T_0} \frac{1}{t(G)} dt = 1 \quad (3)$$

Ahol:

$T_0$  a működési idő, ahol a mért mennyiség változik az időben;  
 $t(G)$  a működési idő másodpercben;  
 $G$  a mért mennyiség.

## 14.7 Különbözeti elvű védelmek

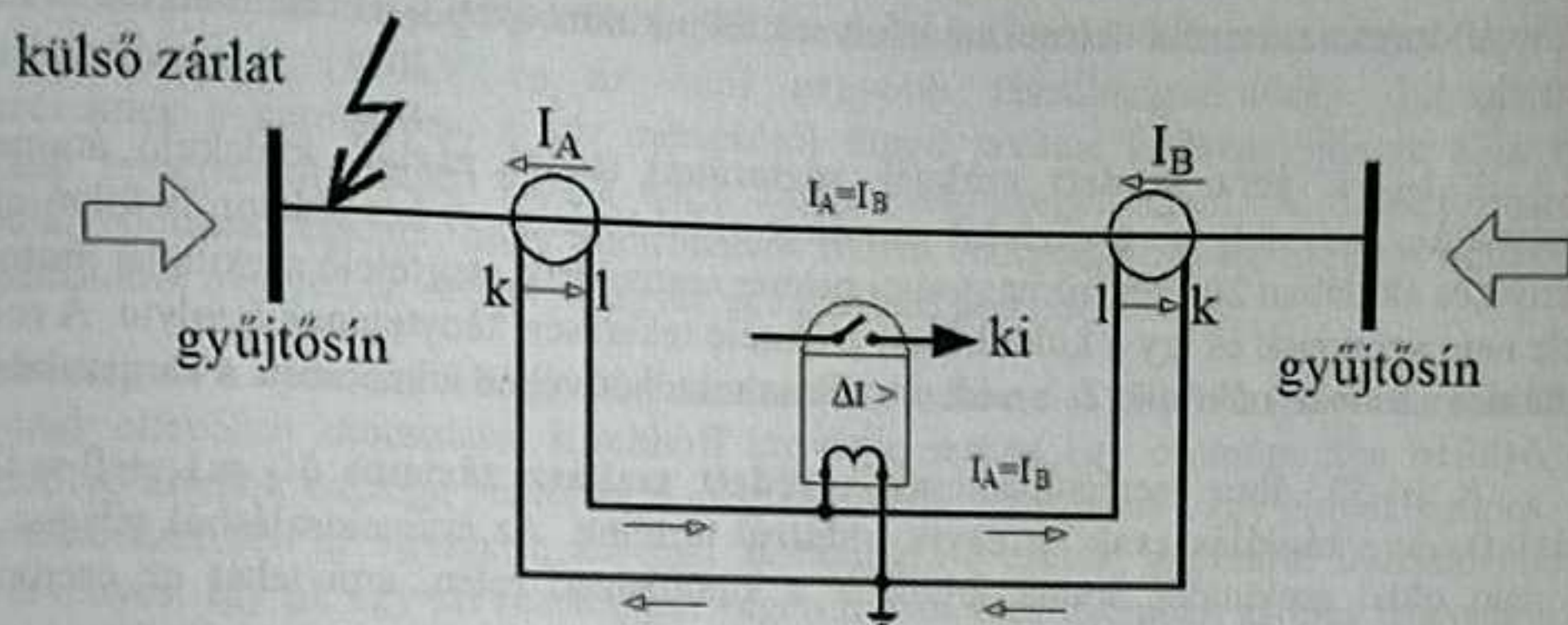
A különbözeti elvű érzékelés esetén a védelem a védendő elem két, esetleg több határpontján fellépő mennyiségeket (áramnagyság, áramirány, zárlati teljesítményirány stb.) hasonlítja össze, és ebből állapítja meg, hogy belül vagy kívül van-e a zárlat.

A különbözeti védelem **abszolút szelektív védelemnek** tekinthető, mivel kizárólag csak az később ezt DiV által bevont áramváltók által határolt hálózat részekén érzékeli a hibákat, ellentétben pl. a túláram-idő védelmekkel, ahol is több védelem indul egy-egy hibára, de a szelektív működést áram vagy időlépcsőzés által érik el. Ebből adódóan a DiV-t nem szükséges késleltetni. Működési idejük 10-20 msec közé eshet.

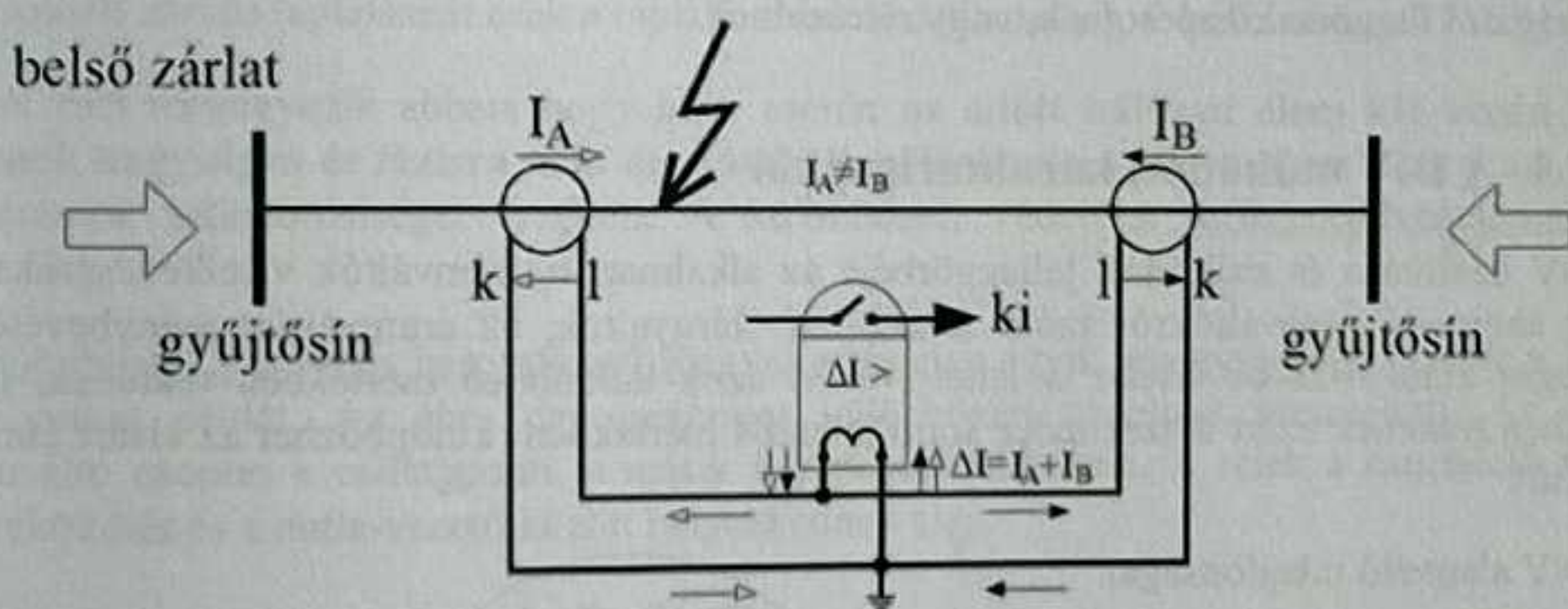
A különbözeti elv a védelemtechnika legszabatosabb módszere. Tulajdonképpen Kirchhoff I. törvényének ellenőrző kapcsolása. Kirchhoff I. törvénye szerint egy csomópontba befolyó és onnan elfolyó áramok fázoros összege zérus, ha a csomópontban áramforrás vagy elnyelés nincs. A törvény természetesen az egyszerű, kétvégű alkatokra (vezeték, generátor, transzformátor stb.) is érvényes. Így pl. egy távvezeték két végén hibamentes üzemből azonos nagyságú és irányú áram folyik. Ha azonban a szóban forgó hálózati elem rövidzárlat lép fel, akkor

- a kétoldali zárlati táplálásnál az áramok iránya ellentétesé válik (pl. a távvezeték mindkét végén a hibahely felé folyik);
- egyoldali zárlati táplálásnál csak a tápláló oldalról a hibahelyig folyik áram.

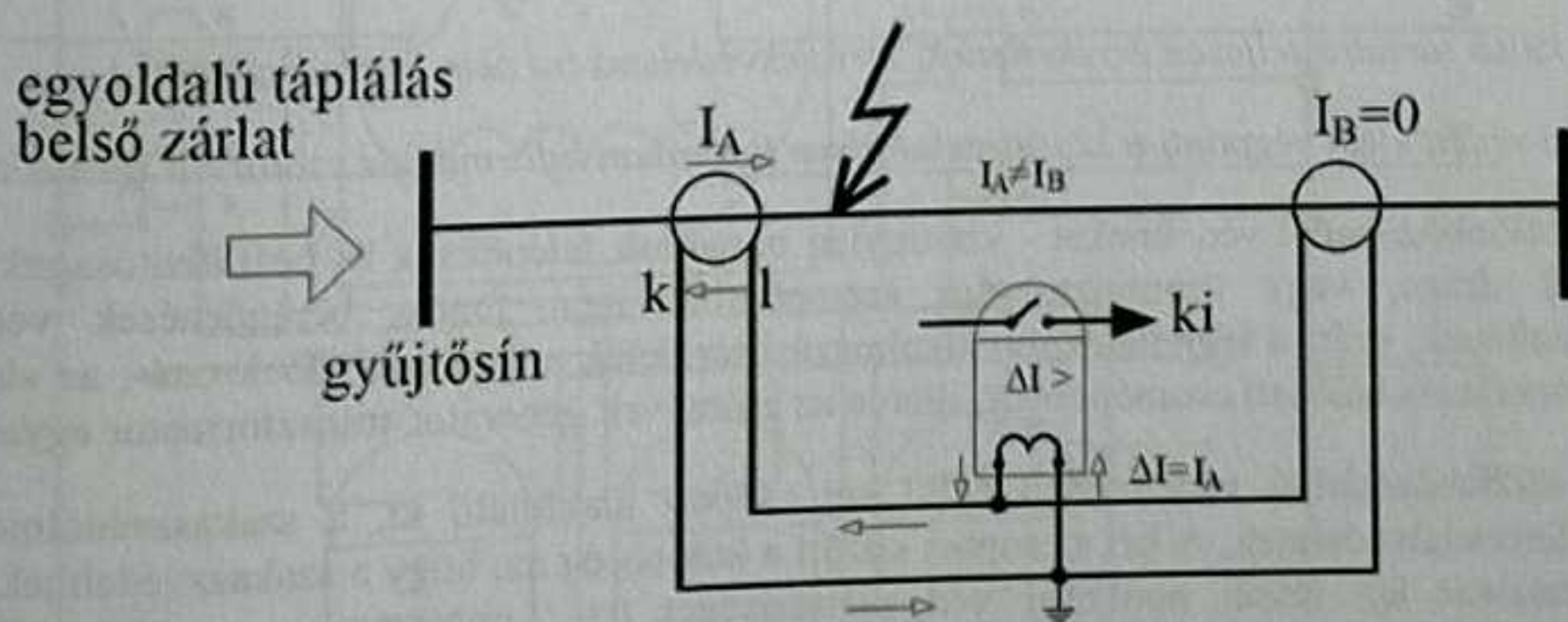
A két eset megegyezik abban, hogy **hiba esetén az adott hálózati elem két végén folyó áramok nagyságra és fázisra nem azonosak**. A különbözeti védelem neve is arra utal, hogy az áramok különbözőségét érzékeli. Az elvet először a 14-44. ábrán egy távvezeték egyik fázisára mutatjuk be. A védendő hálózati elem két (vagy több) végén a hálózati elemre vonatkozóan azonosan beiktatott (K a gyűjtősín, L a vonal felé esik), azonos áttételű áramváltók szekunder tekercsének azonos polaritású kapcsait összekötjük, és a két összekötő vezeték közé áramrelé ( $\Delta I$ ) tekercsét kapcsoljuk. A két (vagy több) áramváltó közötti terület védett szakasznak nevezzük. A 14-44. – 14-46. ábrákon a három jellegzetes meghibásodási esetre rajzoltuk meg a primer és szekunder áramok pillanatértékeinek irányát, mindig úgy, hogy a primer áram iránya a hibahely felé mutat. A szekunder áramok iránymeghatározásánál az áramváltó 180°-os forgatását is figyelembe vettük.



14-50. ábra Különbözeti elvű védelem működése – külső zárlat esetén nincsen kioldás



14-51. ábra Különbözeti elvű védelem működése – belső zárlat esetén van kioldás



14-44. ábra Különbözeti elvű védelem működése – Egyoldali megtáplálás, belső zárlat esetén van kioldás

A 14-50. ábra szerint a védett szakasz hibátlan. ekkor  $\Delta i_d = i_1 - i_2 \approx 0$ . Az átfolyó áram a rajz szerint *külső* (a védett szakaszon kívüli) zárlat eredménye. Egyébként ugyanez a helyzet zárlatmentes, normál üzemben is, amikor a védett szakaszon a terhelési áram halad át. Mivel a két áramváltó azonos nagyságú és irányú szekunder áramot hoz létre, azok a két

áramváltón és az összeköttetéseken átfolynak és a különbözeti ( $\Delta I$ ) relé tekerese árammentes marad.

A 14-51. ábra avédett szakasz zárlatánál (belső zárlat) kialakuló árameloszlást mutatja  $\Delta i_{\alpha} = i_1 + i_2$ , ha a zárlatot mindkét oldal táplálja. A két oldalon befolyó ellentétes irányú és általában különböző nagyságú primer áramoknak megfelelő szekunder áramok most már nem azonosak és így a különbözeti áramrelé tekercsén kénytelenek átfolyni. A relé ennek hatására azonnal működik, és a védett szakasz mindkét végén kikapcsolja a megszakítót.

A 14-52. ábra esetén ugyancsak a védett szakasz zárlatos  $\Delta i_{\delta} = i_1 + 0 = i_1$  (belső zárlat), de a táplálás csak az egyik oldalról történik. Az árameloszlásból világos, hogy a tápláló oldal szekunder árama folyik át a különbözeti relén, ami tehát ez esetben is — helyesen — működni fog.

A különbözeti elvű védelmek működési elve az, hogy két, esetleg három azonos típusú (áram, áram- vagy teljesítményirány) mennyiséget hasonlítanak össze, a mennyiségek közötti eltérés nagyságától függően kikapcsolnak, vagy reteszelenek.

#### 14.7.1 A DiV működési karakterisztikái

A DiV beállítása és működési jelleggörbéje az alkalmazott áramváltók viselkedésétől függ. Mint ahogy a mérőváltókról szóló fejezetben tárgyaltuk, az áramváltók igénybevétele a névleges áram 5-20-os értéke is lehet, ezért azok különböző mértékben telítenek, így a értékben telítenek ezért a szekunder áram jelentős mértékben különbözhet az elvart elméleti értéktől.

A DiV alapvető tulajdonságai:

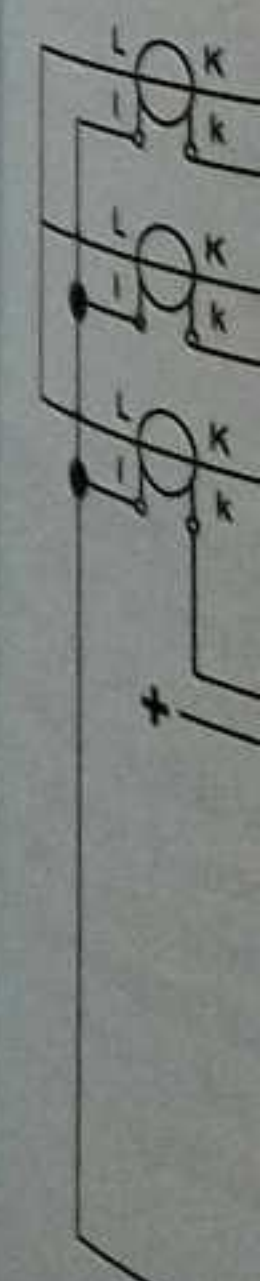
- minden belső zárlatra pillanatműködésűek, mivel a védelem működési határai pontosan meghatározottak, azaz abszolút szelektív a működésük,
- külső zárlatra teljesen érzéketlenek, tartalékvédelemként nem használatosak.
- a védett elem végpontjai között valamilyen formában információs csatornát igényelnek.

A különbözeti elvű védelmeket - viszonylag bonyolult felépítésük és beállíthatóságuk miatt - csak drága, vagy üzembiztonsági szempontból igen fontos berendezések védelmére telepítenek, ezért a legjellemzőbb alkalmazási területük a fontosabb főelosztó-, az alap- és a kooperációs hálózati csomópontok, illetve az erőművek generátor-transzformátor egységei.

A különbözeti elvű védelmeken belül két csoport alakítható ki, a szakaszvédelmek és a differenciálvédelmek. A két alcsoport között a különbség az, hogy a szakaszvédelmek mindig a hálózat két távoli pontjáról vett mennyiséget (pl.: távvezeték egy szakaszának két végpontja), míg a differenciálvédelmek azonos állomásban mért két mennyiséget (pl.: gyűjtősín-differenciálvédelem) hasonlítanak össze. Szintén fontos jellemző, hogy a szakaszvédelmek minden esetben kiegészítő információs csatornát igényelnek, ami segédvezeték, fénykábel, mikrohullámú- vagy vivőfrekvenciás átvitel lehet.

A differenciálvédelmeken belül külön csoportot alkotnak a transzformátor differenciálvédelmek, mivel alkalmazkodniuk kell a transzformátorok egyedi működési viszonyaihoz, ami számos sajátos védelmi funkciót feltételez.

energia-  
szformátor  
eseknek a  
energia  
védelme  
hatásoktól me  
különbözeti elv a  
ellenör  
előző áram  
természetes  
érvényes. Így  
áram folyik. E  
belső zárlati tá  
zárlati tá  
eset megegye  
nagyságra  
különbö  
különbözeti kapcs  
mutat példát.  
csoport a  
összeköttetés és a nu  
14-45.



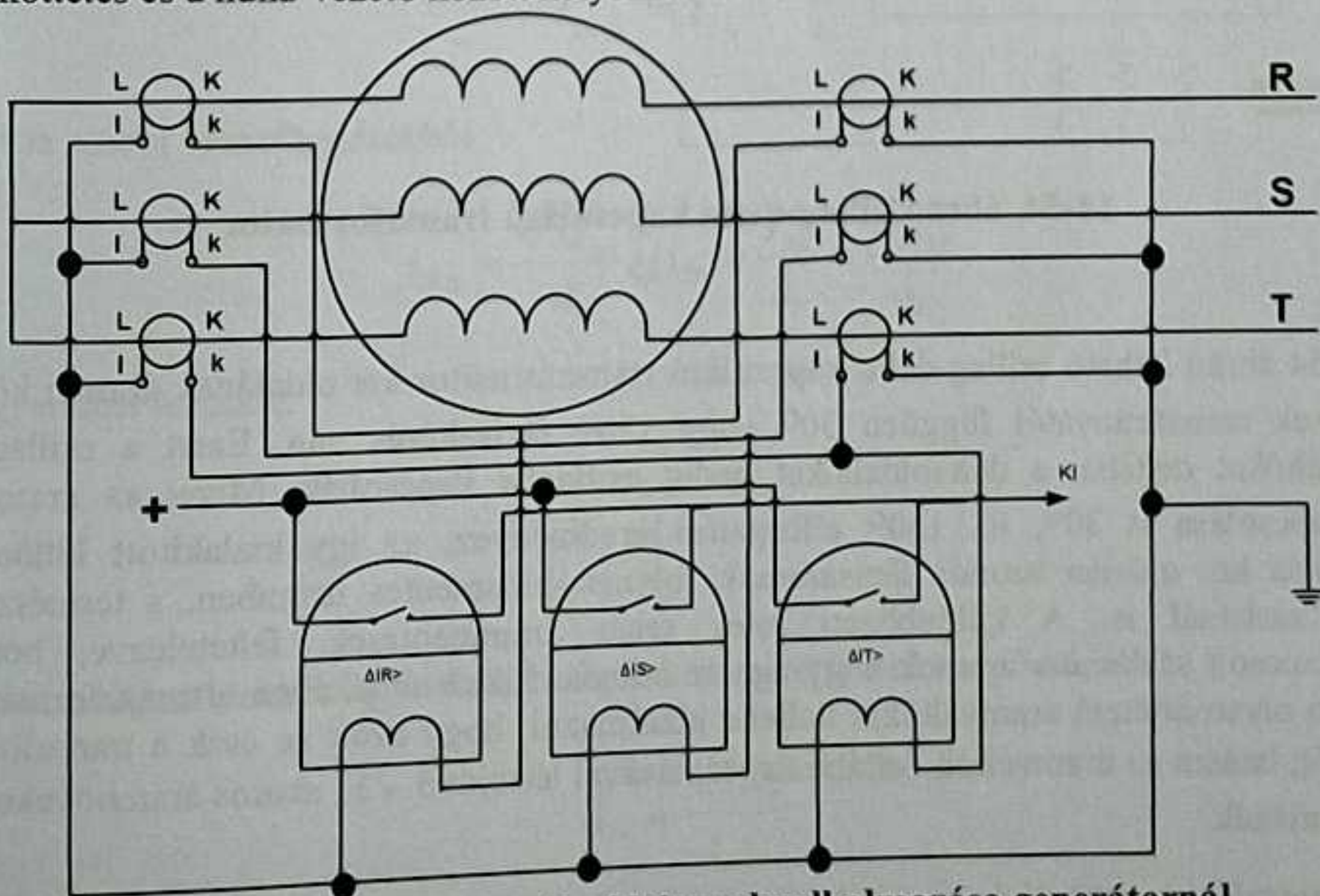
A villamosenergia-rendszer legnagyobb értékű berendezései közé tartoznak az ún. nagy- és óriástranzformátorok (120kV és az ettől nagyobb feszültségűek). Ezeknek a berendezéseknek a károsodása, a kár mértékétől függő javítási költsége, illetve a javítás idejére eső energiaszolgáltatási kiesés nagy anyagi veszteséget jelent. A transzformátor-differenciálvédelmek feladata, hogy a károsodást okozó energetikai és az ezekből kialakuló fizikai hatásoktól megvédjék ezeket a nagyértékű hálózati berendezéseket.

A különbözeti elv a védelemtechnika legrövidebb módszere. Tulajdonképpen Kirchhoff I. törvényének ellenőrző kapcsolása. Kirchhoff törvénye szerint egy csomópontba befolyó és onnan elfolyó áramok összege zérus, ha a csomópontban áramforrás vagy elnyelés nincs. A törvény természetesen az egyszerű, kétféle alakzatokra (vezeték, generátor transzformátor stb.) is érvényes. Így pl. egy távvezeték két végén hibamentes üzemben azonos nagyságú és irányú áram folyik. Ha azonban a szóban forgó hálózati elem rövidzárlat lép fel, akkor

- a kétoldali zárlati táplálásnál az áramok iránya ellentétesé válik (pl. a hibahely felé);
- egyoldali zárlati táplálásnál csak a tápláló oldalról a hibahelyig folyik áram.

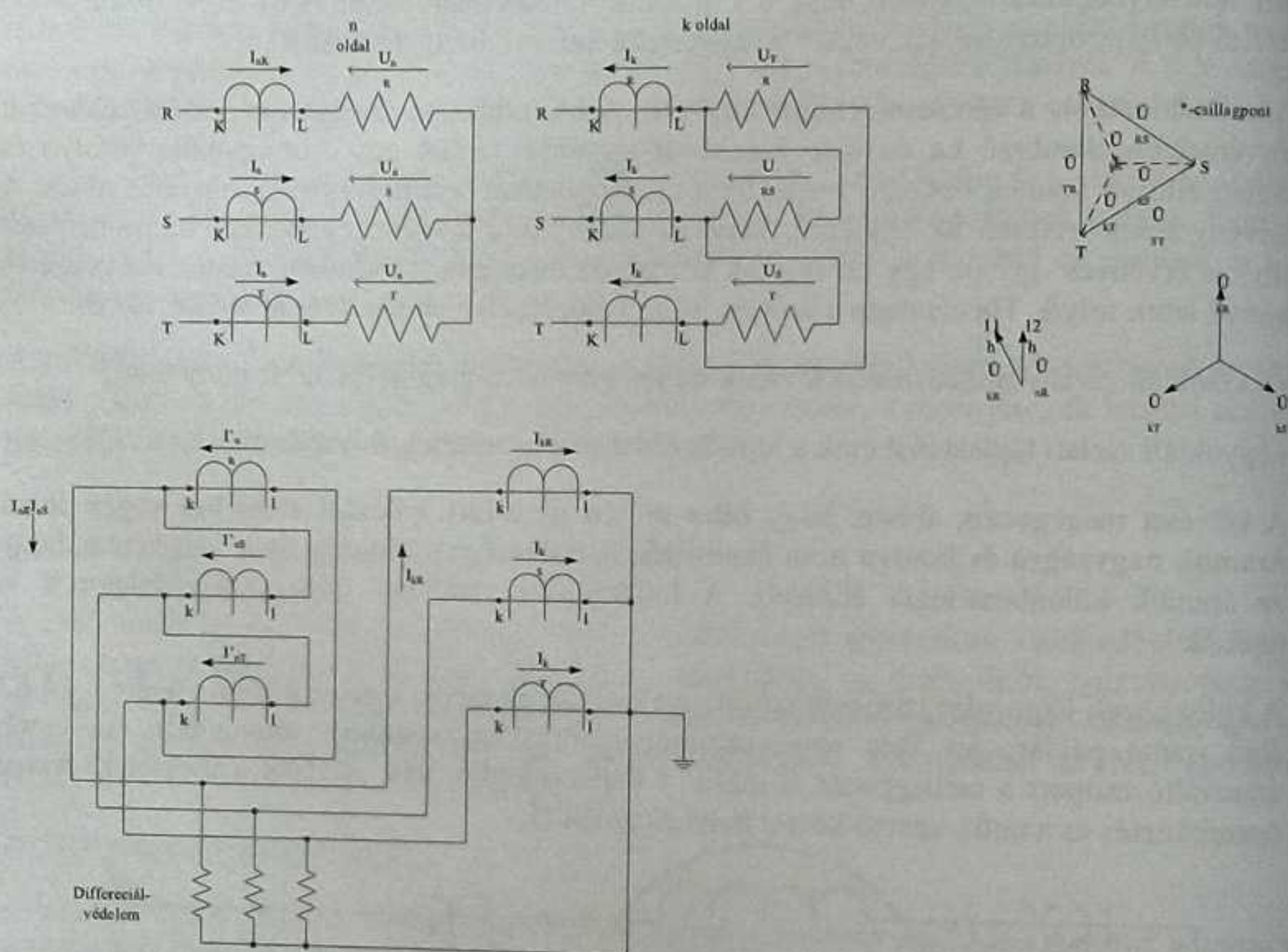
A két eset megegyezik abban, hogy **hiba esetén az adott hálózati elem két végén folyó áramok nagyságra és fázisra nem azonosak**. A különbözeti védelem neve is arra utal, hogy az áramok különbözőségét érzékeli. A különbözeti védelmet differenciálvédelemnek is nevezik.

A különbözeti kapcsolás háromfázisú megvalósításának egyik legegyszerűbb esetére a 14-53 ábra mutat példát. Az ábra egy generátor különbözeti védelmét szemlélteti. Az egyik áramváltó csoport a csillagponti, a másik a kapocsoldalon van. A relék a megfelelő fázisú összeköttetés és a nulla-vezető között helyezkednek el.



14-45. ábra A különbözeti védelem elv alkalmazása generátornál

Különbözeti –elv alkalmazása transzformátoroknál:



14-54. ábra Csillag-delta kapcsolású transzformátor

A 14-54 ábrán látható csillag-delta kapcsolású transzformátor két oldalának áramai között a tekercsek menetirányától függően  $30^\circ$  vagy  $150^\circ$  fáziseltérés van. Ezért a csillagoldali áramváltókat deltába, a deltaoldalaikat pedig csillagba kapcsolják. Mivel az áramváltók deltakapcsolása is  $30^\circ$ , ill.  $150^\circ$  elforgatást eredményez, az így kialakított különbözeti kapcsolás két oldalán azonos fázisáramok folynak hibamentes üzemben, s természetesen külső zárlatnál is. A különbözeti relék tehát árammentesek, feltételezve, hogy az összekapcsolt szekunder áramok nagysága is azonos. Ennek érdekében a transzformátor két áttételét, hanem az áramváltók deltába kapcsolásával létrejövő  $\sqrt{3}$  - szoros áramnövekedést is kiegyenlítsék.

Mivel tetszőleges áttételű áramváltók nem kaphatók, az eredő illesztetlenség megszüntetésére egyedileg gyártott, különleges áttételű közbelső áramváltó alkalmazása sokszor nem kerülhető el.

A közbenső áramváltó áttétele és névleges áramai legegyszerűbben a transzformátor és az áramváltók névleges adataiból határozhatók meg. Az  $S_n$  MVA teljesítményű,  $U_{1n}$ ,  $U_{2n}$ ,  $I_{1n}$ ,  $I_{2n}$  adatú transzformátor áttétele:

$$A_r = \frac{U_{1n}}{U_{2n}} \cong \frac{I_{2n}}{I_{1n}}$$

Ha a transzformátor éppen a névleges teljesítménnyel üzemel, akkor a két oldalon az áramváltók szekunder tekercsében:

$$i_{1n} = \frac{I_{1n}}{a_1} \text{ ill. } i_{2n} = \frac{I_{2n}}{a_2}$$

áram folyik, ahol  $a_1$  és  $a_2$  az áramváltók áttétele. A transzformátor csillagkapcsolású oldalán elhelyezett áramváltók szekunder tekercseinek háromszögkapcsolása miatt azokból a különböző kapcsolás összekötő vezetékébe  $\sqrt{3}$ -szoros nagyságú áramfolyik be.

$$i_{1n\Delta} = \sqrt{3}i_{1n}$$

A különböző védelem akkor van kiegyenlítve, ha

$$i_{1n\Delta} = i_{2n}$$

Mivel az előbbi összefüggésekből

$$i_{1n\Delta} = \frac{\sqrt{3}I_{1n}}{a_1} \text{ és } i_{2n} = \frac{I_{2n}}{a_2} = \frac{A_r I_{1n}}{a_2}$$

a kiegyenlítés feltétele:

$$\frac{\sqrt{3}}{a_1} = \frac{A_r}{a_2}$$

Ha ez nem teljesül, akkor  $a_k$  áttételű közbenső áramváltót kell beépíteni, ahol:

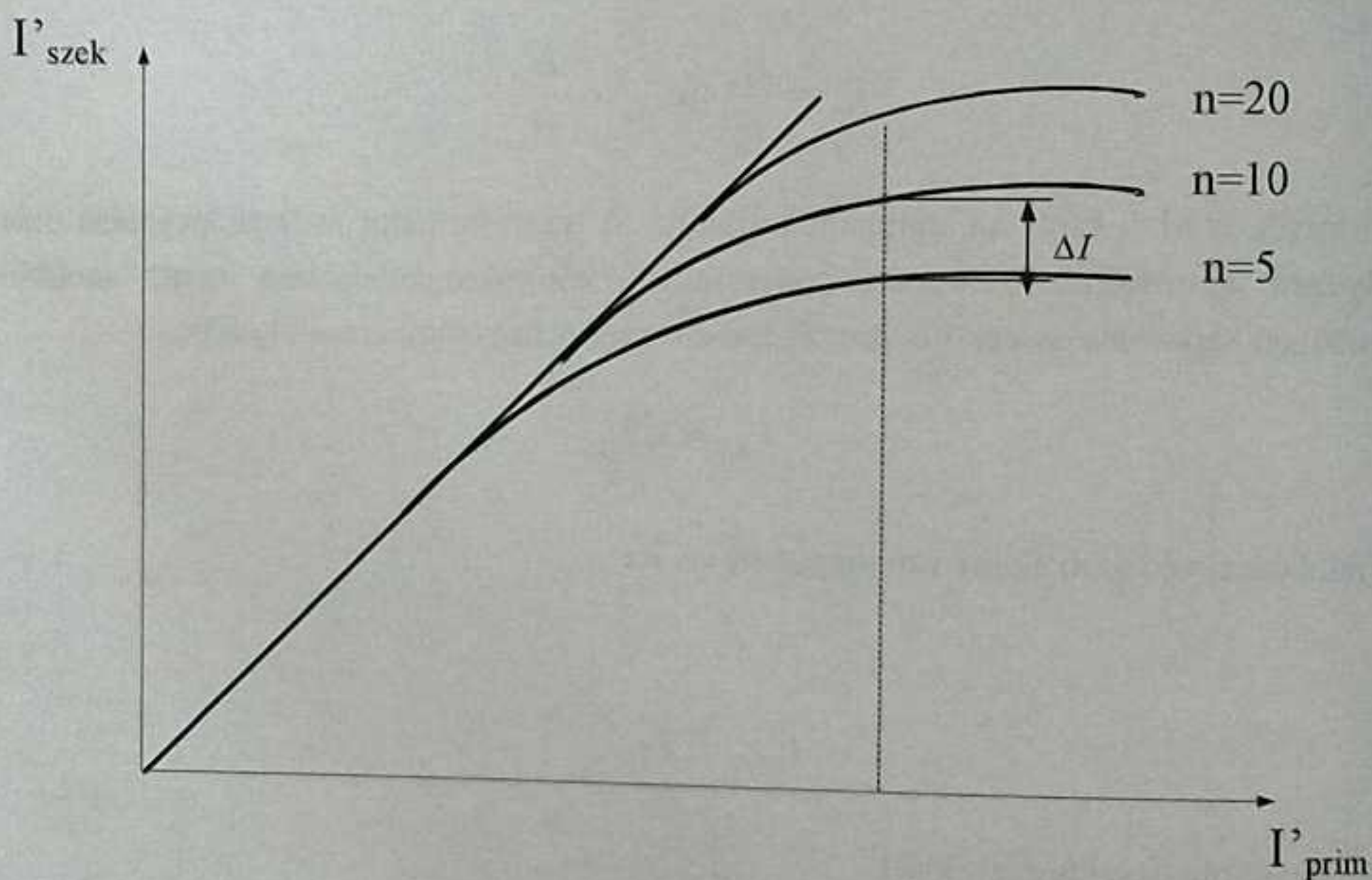
$$a_k = \frac{\sqrt{3}i_{1n}}{i_{2n}}$$

A tört számlálója és nevezője a közbenső áramváltó két tekercsének szükséges névleges árama.

### 14.7.2 A transzformátor-differenciálvédelem karakterisztikája

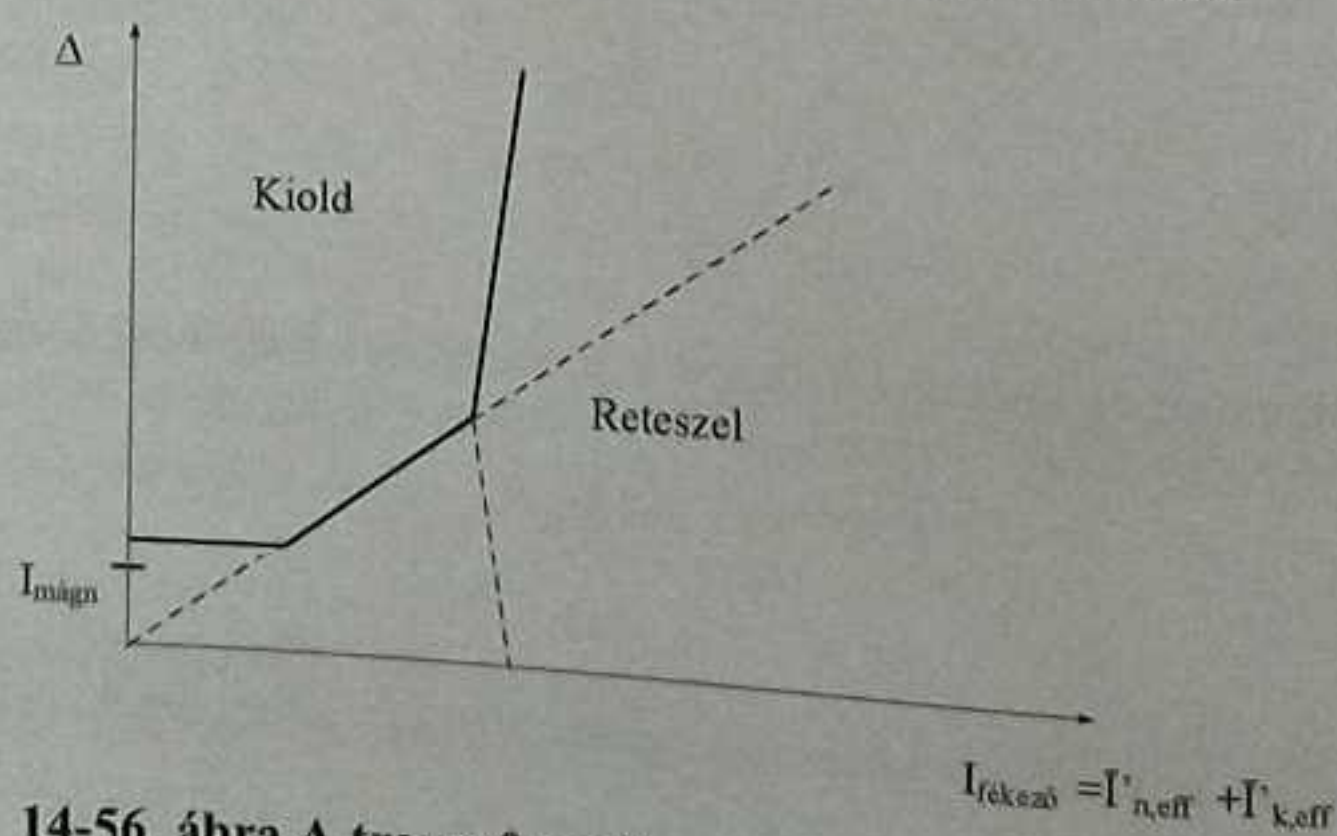
A transzformátor-differenciálvédelem, és a hozzá tartozó védelmi karakterisztika működése a transzformátor oldalain folyó áramokon alapszik.

A védelem fázisonként veszi figyelembe az áramokat, azaz minden fázisra külön-külön vonatkozik egy-egy karakterisztika. Mint ahogy az áramváltóknál beszéltünk róla az áramváltók bizonyos túláramoknál elkezdnek telíteni, ekkora kimenetükön az szekunderáram jelentős hibával jelenik meg:



14-55. ábra Az áramváltók telítődése

Az „n” a stacionárius pontossági túlárámtenyező, amely megadja, hogy az áramváltó a névleges áram hányszorosáig képezi le pontosan az áramjelet szinuszos állandósult állapotban. A differenciálvédelmi karakterisztika a 14-55. ábrán látható.

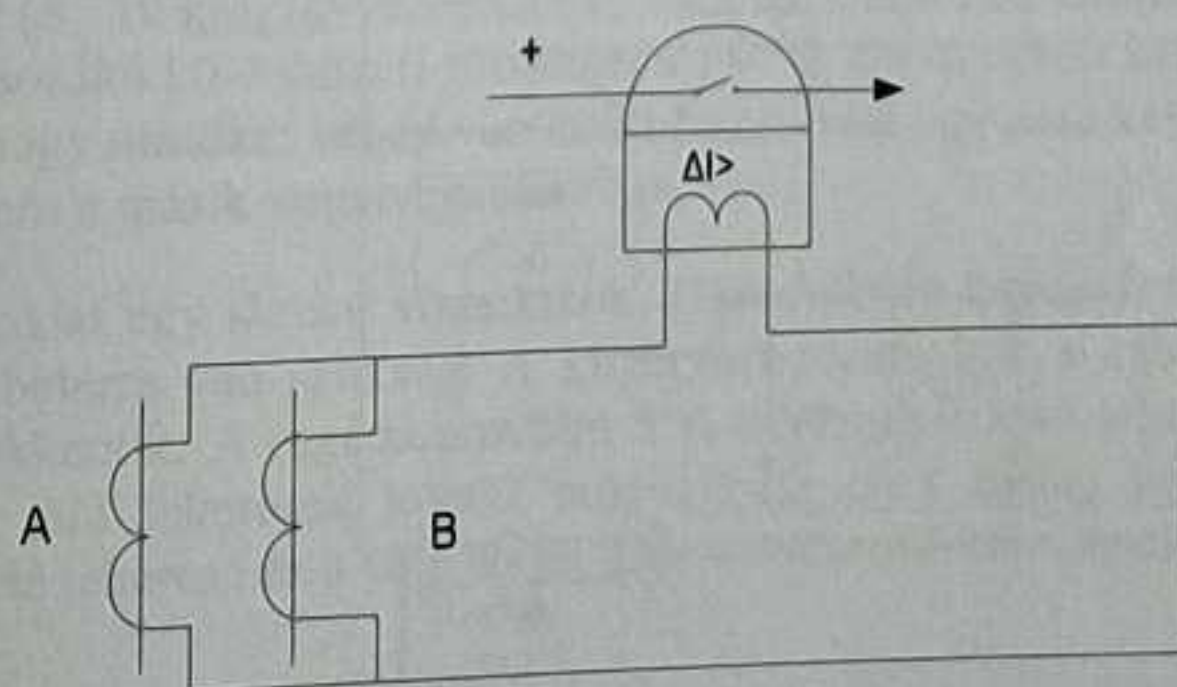
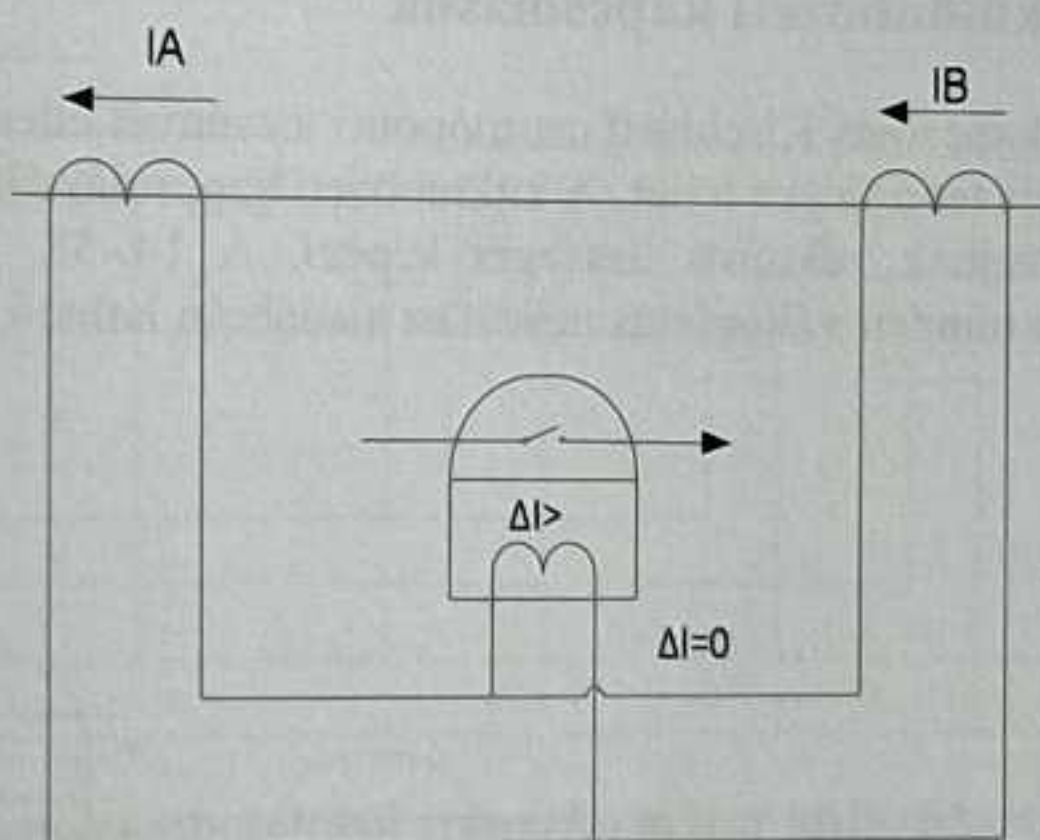


14-56. ábra A transzformátor fékezési karakterisztikája

Az ábrán  $\Delta I$ -vel jelölt áram az 14-56. ábrán látható differenciálági túláramrelé áramával egyezik meg. Ez az áramérték abban az esetben nagy, ha belső zárlat van. Ekkor a két mért áram közül a betáplálás oldali nagy, a másik megközelítőleg nulla, vagy kétoldali betáplálásnál mindkét áram értéke nagy és irányuk megegyezik a túláramrelén, ezért összeadódnak, így a védelem munkapontja a kioldási tartományba kerül.

Külső zárlat esetén, vagy normál üzemállapotban mind a két oldali áram értéke közel egyenlően nagy (az  $I_{n,eff}$  és az  $I_{k,eff}$  is), de az irányuk ellentétes a differenciálági túláramrelén, így a  $\Delta I$  értéke kicsi, a munkapont a reteszelési tartományba kerül.

Az ábrán  $I_{f\acute{e}kező}$ -vel jelölt áram a transzformátor két oldalán, azonos fázisban mért áramok vektoriális összegét jelenti.



14-57. ábra Differenciál kapcsolás

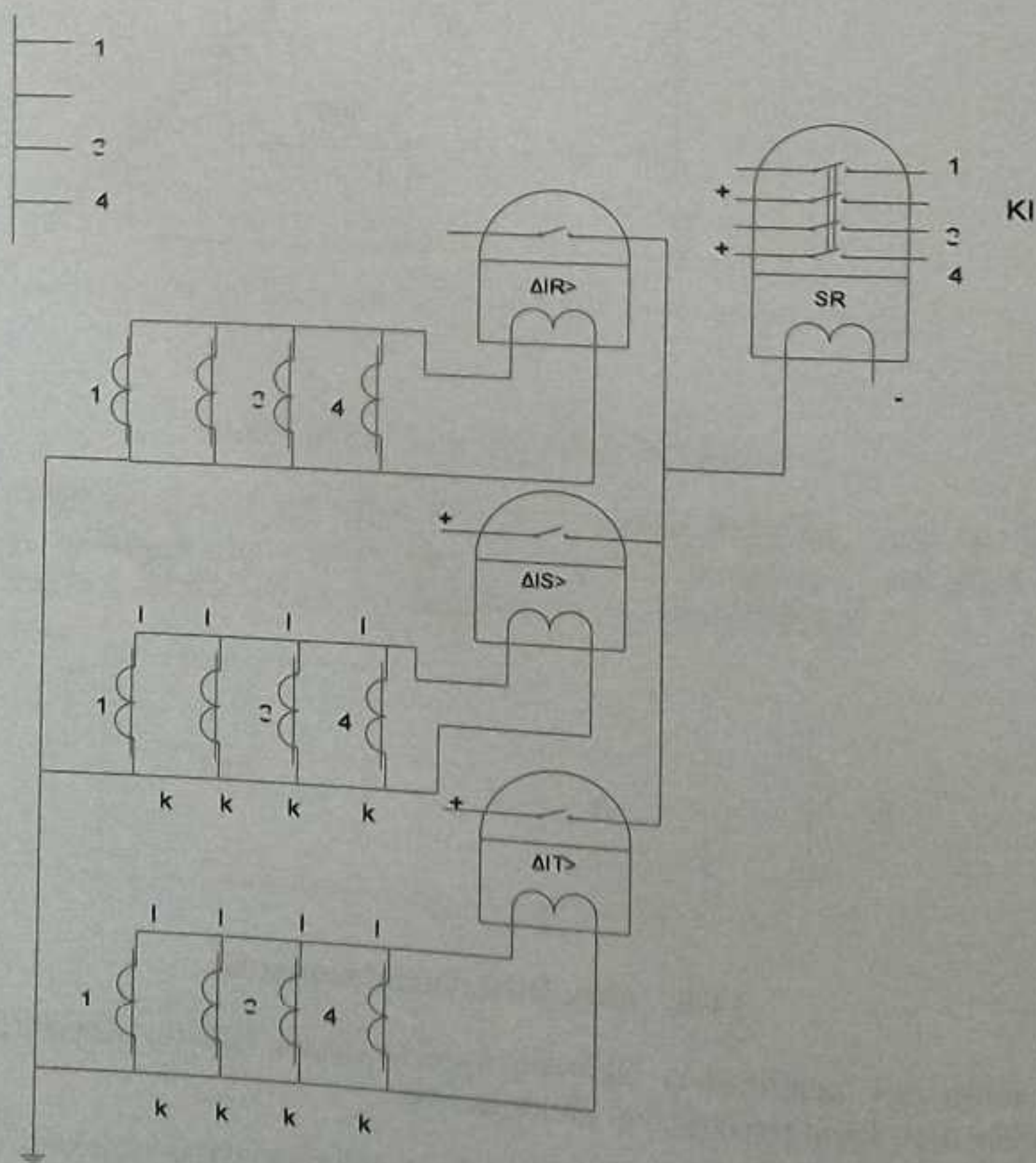
A 14-57. ábrán egy nemlineáris fékezésű karakterisztika látható. Korszerű védelmekben kizárólag ilyen elvű karakterisztikákat alkalmaznak.

Az  $I_{m\acute{a}gn.}$  a transzformátor üresjárása miatt létrejövő differenciáláramot jelenti, az  $I_{hat\acute{a}r}$  pedig az áramváltók telítési határáramát jelképezi.

Bár a különbözőzeti kapcsolás a védelemtechnika legszabatosabb és alapjában igen egyszerű módszere, alkalmazását a védendő berendezés két (esetleg több) végén lévő áramváltók összekötésének igénye korlátozza. Ezért elsősorban a hálózat koncentrált elemeinek (generátor, transzformátor, gyűjtősín) védelmére használják. A hálózat kiterjedt elemein (szabadvezetékek, kábelek) néhány (8...10) km hosszú, a segédkábel által az áramváltóra kényszerített terhelés még reális határok közé szorítható azáltal, hogy a névleges szekunder áramot közbelső áramváltók alkalmazásával kis értékre (0,2 vagy 0,4A) csökkentik. Nagyobb távolságok esetén azonban az egymástól távoli áramváltók különbözőzeti kapcsolása sem az áramváltók terhelése, sem a segéd-összeköttetés aránytalan költsége miatt nem valósítható meg.

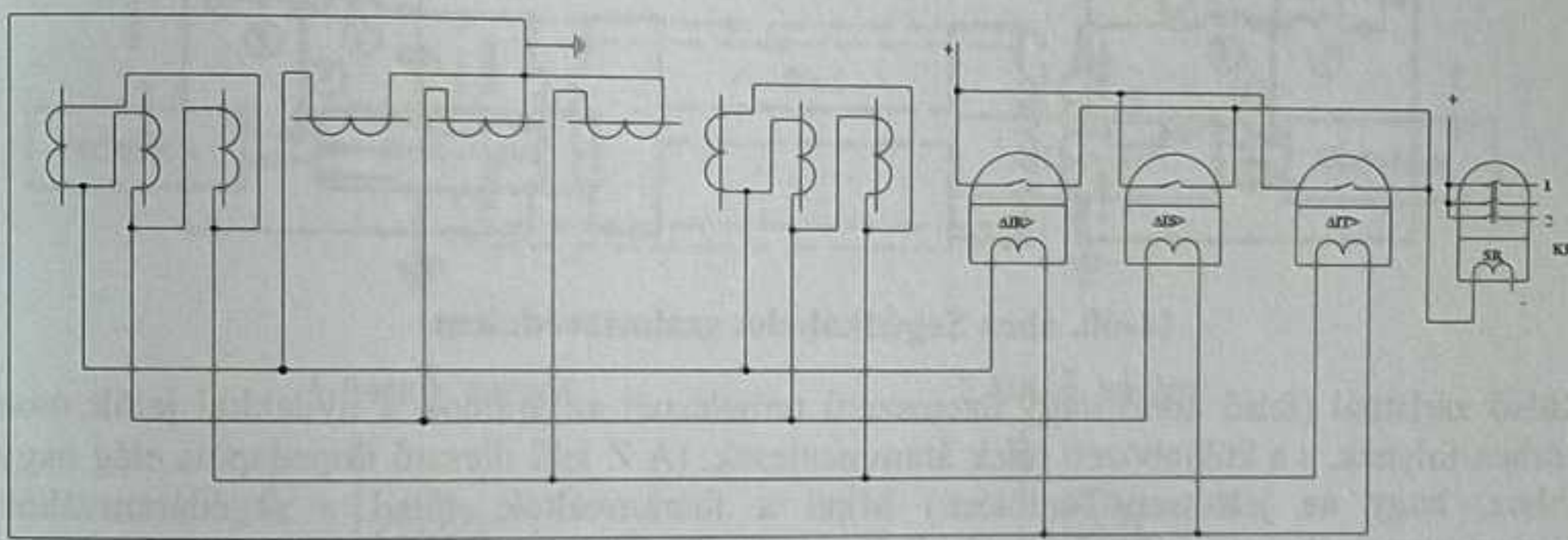
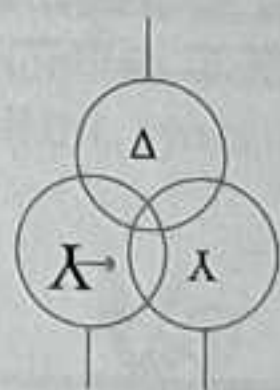
### 14.7.3 Többágú különbözőzeti kapcsolások

Mivel a különbözőzeti kapcsolás Kirchhoff csomóponti törvényét ellenőrzi, így a csomóponthoz csatlakozó ágak száma tetszőleges lehet. A különbözőzeti kapcsolás általánosabb fogalmazásban a csomópont ágáramainak vektoros összegét képezi. A 14.-58. ábrán szereplő egyfázisú differenciálkapcsolás minden változtatás nélkül az alsóábrán látható módon is felrajzolható.



14-58. ábra Gyűjtősín különbözőzeti védelmi kapcsolása

Akárhány végű háromfázisú alakzat egy-egy fázisának különbözőzeti védelmét úgy nyerjük, hogy az azonos polaritással elhelyezett áramváltók (a primer tekercs K vége a gyűjtősín felé néz) szekunder tekercseinek azonos jelű végeit összekötjük és az áramkör áthidaló ágába áramrelét kapcsolunk. A 14-58. ábra egy gyűjtősín, a 14-58. ábra egy háromtekercsű transzformátor különbözőzeti kapcsolását mutatja.

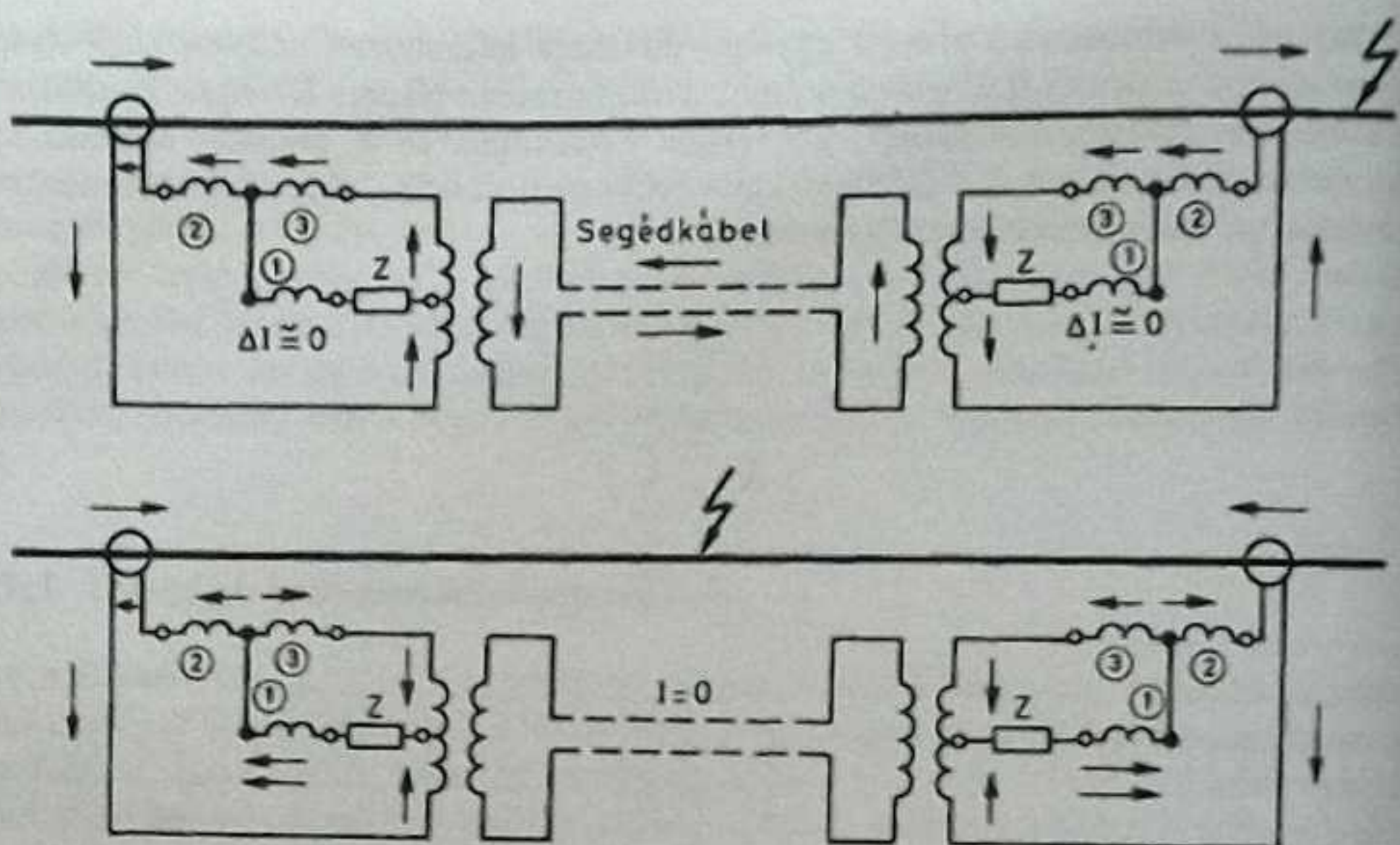


14-59. ábra Három-gombolyítású transzformátor különbözőzeti kapcsolása

#### 14.7.4 Segédkábeles szakaszvédelem

A viszonylag rövid (8...10 km) távvezetékek és kábelek stabilizált különbözőzeti védelmére az áramirány-összehasonlító különbözőzeti védelmet a 14-59. ábrán vázolt kapcsolásban alkalmazzák úgy, hogy mindkét végén van különbözőzeti relé, így nem kell a kioldóparancsot külön segédkábelén a másik vonalvégre átvinni.

Az ábrán látható vázlat egy fázisra vonatkozik. Háromfázisú kapcsolásban a visszavezetések közösítésével 4 kábelre van szükség. A közbenső áramváltók a kábel áramát rendszerint 5/0,2 arányban csökkentik. A segédáramváltó 5 A névleges áramú tekercsének közepe és az irányrelé 2. és 3. jelű tekercsek között helyezkedik el a hídág, nevezetesen az 1. jelű különbözőzeti áramrelé tekercse és a vele sorba kapcsolt illesztőimpedancia.



14-60. ábra Segédkábeles szakaszvédelem

Külső zárlatnál (felső ábra) vagy üzemszerű terhelésnél az áramok a nyilakkal jelölt úton körben folynak, s a különbözőzeti relék árammentesek. (A Z jelű illesztő impedancia elég nagy ahhoz, hogy ne jelentsen söntölést.) Mind a főáramváltók, mind a segédáramváltók ampermeneteinek egyensúlya az ábrából is leolvasható. Az áramirányrelék 2. és 3. tekercsében azonos irányú áramok folynak, tehát határozott reteszelő nyomatékot fejtenek ki, amely túlsúlyban van az 1. jelű különbözőzeti tekercsen a pontatlanságok miatt folyó jelentéktelen áram nyomatékával szemben.

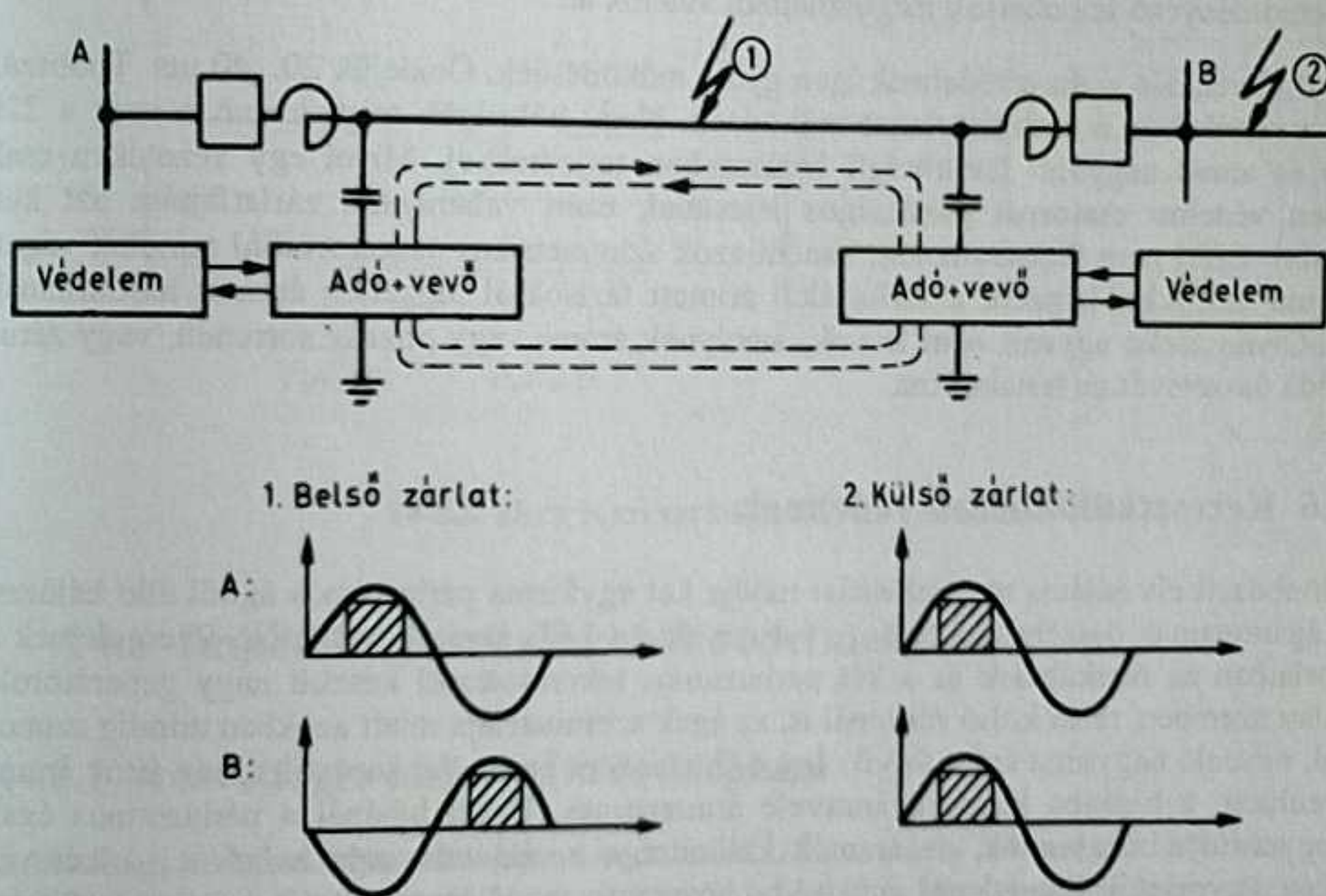
Belső zárlatnál (alsó ábra) a két vég áramváltóinak szekunder áramai a segédkábelben át nem tudnak ampermenet-egyensúlyt létrehozó körben folyni, hiszen egymással szemben kellene folyniuk. Ha a két oldalról folyó zárlati áram egyforma, akkor a segédkábel árammentes lesz, s az áramok a két oldalon a hídágon, tehát a különbözőzeti tekercsen és a Z impedancián át záródnak. Nem egyforma zárlati áramok esetén a segédkábelben a két áram különbsége folyik. A segédáramváltók ampermenet-egyensúlya úgy jön létre, hogy az alsó tekercsfél árama indukálja a felső tekercsfél áramát. A kettő összege jelenik meg a különbözőzeti relé tekercsén, amely ezért nagy nyomatékkal működik. E nyomatékot növeli az áramiránytag is, amelynek 2. és 3. jelű tekercsén ellentétes irányú áram halad át, tehát reteszelés helyett az is működtető nyomatékot szolgáltat.

Figyelemreméltó, hogy az áramirány-összehasonlító szakaszvédelem segédkábelén egy oldalról táplált belső zárlatnál sem folyik gyakorlatilag áram, mivel az árammentes vég a segédkábelben keresztül a tápláló oldali áramváltó számára olyan nagy impedanciát jelent, hogy az áram az ennél sokkal kisebb impedanciájú különbözőzeti ágba kényszerül.

A működési elvből az is következik, hogy a segédkábel szakadása esetén a védelem a terhelési áram hatására is -tehát feleslegesen- működhet.

### 14.7.5 A nagyfrekvenciás szakaszvédelem elve

Bár a különbözeti kapcsolás segédkábeles formája hosszú vezetékknél nem valósítható meg, a nagyfeszültségű alaphálózati és nemzetközi vezetékeken alkalmazott nagyfrekvenciás jelátviteli csatornák lehetőséget teremtenek arra, hogy zárlati állapotban a vezetékvégi védelmek információt kapjanak a túlsó végen érzékelt villamos jellemzőkről, és azt a saját végükön érzékelt jellemzőkkel összehasonlítva, a zárlat belső vagy külső voltát egyértelműen meg tudják állapítani. Így késleltetés nélküli, gyors, szelektív védelem érhető el.



14-61. ábra Nagyfrekvenciás szakaszvédelem elve

A többféle megvalósított módszer közül a 14.61 ábra az áramirány-összehasonlító nagyfrekvenciás szakaszvédelem elvi sémáját szemlélteti. Az A és B állomások közötti távvezeték egyik fázisára vivőfrekvenciás csatornát telepítenek, amelyet a hálózat többi részétől hullámzár (fojtótekercs) szigetel el, és az adó és vevő berendezéseikhez nagyfeszültségű kondenzátor csatlakozik. Az alkalmazott nagy frekvencia (35...300 kHz) a hullámzáron nem hatol át, viszont a kondenzátoron igen. Az 50 Hz-es áram útjában - éppen fordítva - a hullámzár reaktanciája jelentéktelen ( $X_L=L\omega$ ), a kondenzátor igen nagy kapacitív ellenállása ( $X_C=\frac{1}{\omega C}$ ) pedig gyakorlatilag szigetelést jelent. A csatornán két, egymáshoz közeleső (kb.20kHz különbségű) vivőfrekvenciás áramkör működik, a kétirányú jelátvitelnek megfelelően. A vivőfrekvenciára modulációval felültetett jelet a vevőoldal demoduláció után hasznosítja.

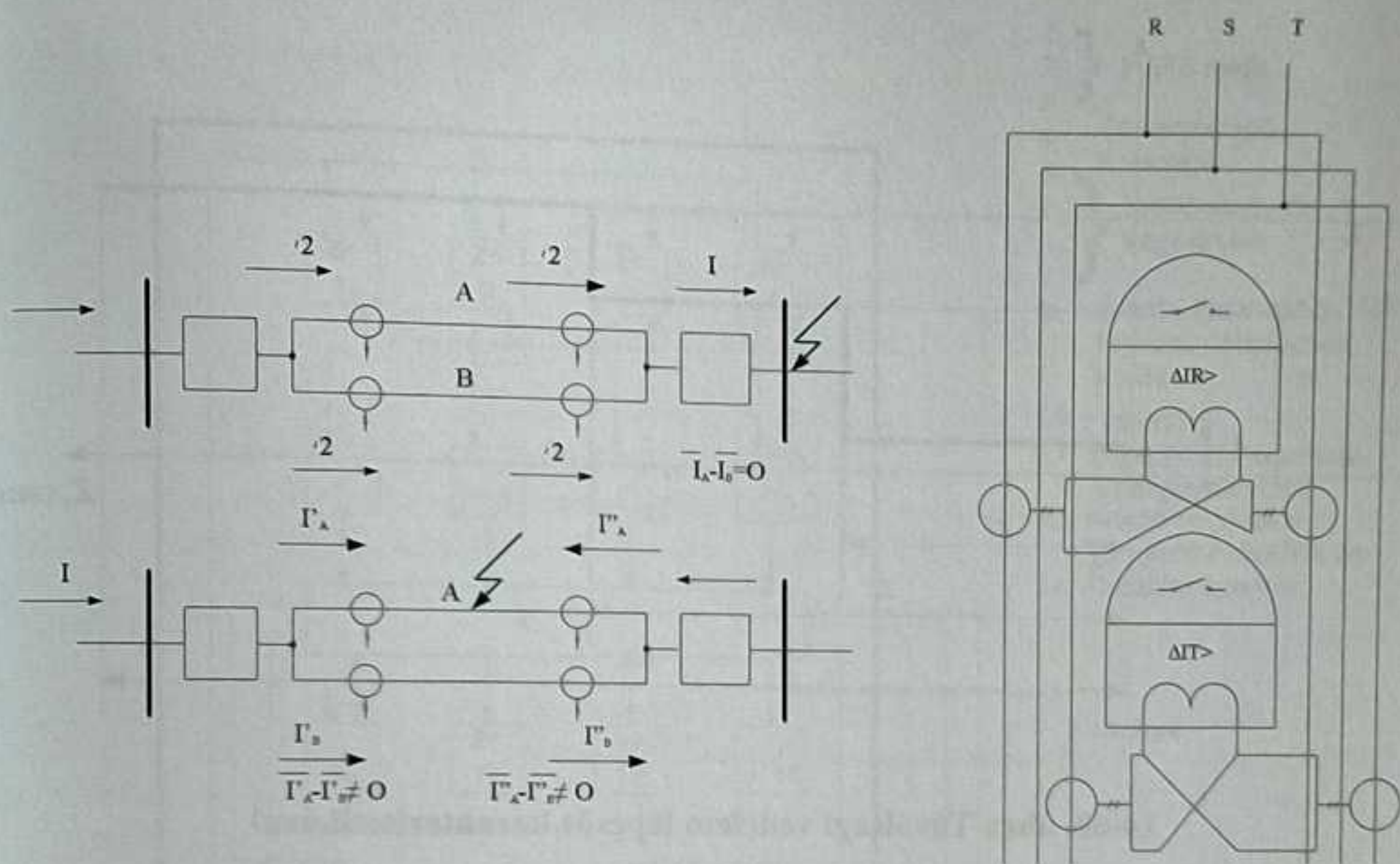
A védelem azt vizsgálja, hogy zárlat esetén a vezeték két végén az áram pl. pozitív szinuszfélhullámai egyidőben vagy váltakozva jelentkeznek-e. E félhullámokból négyszögimpulzust formál a berendezés és azt továbbítja a túlsó vezetékvégre. Az ábrából közvetlenül leolvasható: hibátlan vezetéken a saját és a túlsó oldaltól kapott impulzusok egymást fedik. Belső zárlatnál az impulzusok időben nem esnek egybe.

A védelmet úgy alakítják ki, hogy normális, zárlatmentes üzemben nem történik jelátvitel és összehasonlítás, csupán, ha zárlatra utaló jelenség (áramnövekedés, impedancia-csökkenés) észlelhető. A működés logikája olyan, hogy mindkét vezeték vég védelme akkor old ki, ha nem kap a túlsó végről tiltó jelet, azaz sajátjával azonos időben jelentkező impulzust. Erre egyrészt azért van szükség, mert előfordulhat egyoldali zárlati táplálás is, amikor a másik végen nincs zárlati áram, működni viszont akkor is kell. Másrészt azért, mert belső zárlat esetén lehet, hogy a zárlat a jelátvitelre felhasznált fázist zárja rövidre a hibahelyen, ami a nagyfrekvenciás átvitelnek olyan csillapítást jelent, hogy az impulzus torzan, nem értékelhető formában jut el a vezeték másik végére. Külső zárlatnál viszont a csatorna hibamentes, így a tiltást eredményező impulzusok megbízhatóan vihetők át.

A nagyfrekvenciás szakaszvédelmek igen gyors működésűek. Önidejük 20...40 ms. Több száz km-es vezetéseken is kifogástalanul működnek. Nagy költségük miatt azonban csak a 220 kV-os és annál nagyobb feszültségű hálózatokon terjedtek el. Mivel egy vezetéken csak egyetlen védelmi csatornát gazdaságos létesíteni, ezért valamennyi zárlatfajtára azt kell használni. Ezért nem fázisáramokat, hanem azok szimmetrikus összetevőiből mindkét végen egyforma szűrőkkel képzett, a zárlat által érintett fázisoktól független áramot hasonlítanak össze. Olyan zárlat ugyanis nem létezik, amelynek árama vagy pozitív sorrendű, vagy zérus sorrendű összetevőt ne tartalmazna.

#### 14.7.6 Keresztkülönbözeti védelmek

A különözeti elv sajátos megvalósítási módja két egyforma párhuzamos ágból álló hálózati elem ágáramainak összehasonlítása. A viszonyok a 14-61. ábrán követhetők. Ilyen elemek a gyakorlatban az ikerkábelek és a két párhuzamos tekercseléssel készült nagy generátorok. Hibátlan üzemben, tehát külső zárlatnál is, az ágak szimmetriája miatt azokban mindig azonos irányú, egyenlő nagyságú áram folyik. Így a fázisonként keresztbe kapcsolt áramváltók árama kiegyenlített, a hídágra kapcsolt áramrelé árammentes. Belső hibánál a párhuzamos ágak áramegyensúlya megbomlik, az áramok különbsége a relé tekercsén halad át. A két vég védelme egymástól függetlenül működik, hosszanti segéd-összeköttetésre nincs szükség. Mivel belső hibánál a párhuzamos zárlati utak árama az impedanciák arányától függ, ezért az alakzat végpontjához közeli zárlatoknál a túlsó végen folyó áramok nagysága csaknem azonos lesz, így érzékelési holtív alakul ki. Párhuzamosan tekercselt generátoroknál a védelem bármelyik tekercs menetzárlatának észlelésére a legjobb eszköz, mivel a menetzárlatos tekercs indukált feszültségének egy részét a zárlat kiiktatja, így abban kisebb áram folyik, mint az ép ágba.

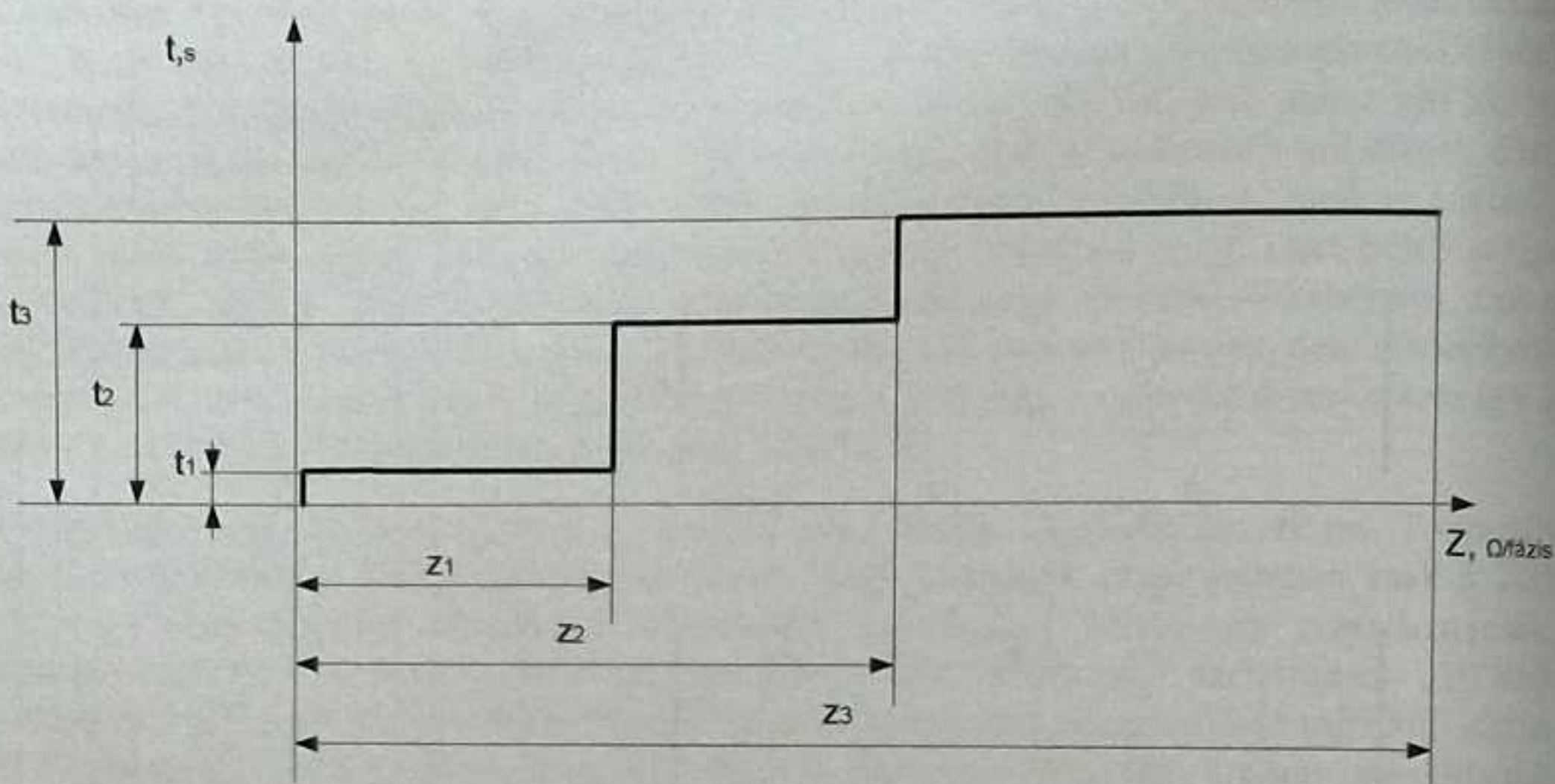


14-62. ábra Keresztkülönbözeti védelmek

## 14.8 Impedancia mérési elvű védelmek

### 14.8.1 A távolsági védelem elve és felépítése

A távolsági védelem olyan rövidzárlat-védelmi készülék, amely felszerelési helyétől a zárlatig terjedő hálózatrész impedanciáját, s ezzel tulajdonképpen a hiba távolságát méri. Késleltetése a mért hibatávolság függvénye. A kioldási idő függését a hibahely villamos távolságától (impedanciájától) a működési jelleggörbe adja meg. A korszerű távolsági védelmek ma már kizárólag a 14-62. ábrán feltüntetett lépcsős karakterisztikával készülnek. A védelmek rendszerint három lépcsőt (fokozatot) tartalmaznak. A jelleggörbe szakaszai irányítottak, tehát a fokozaton belül mért hibaimpedancia csak akkor váltja ki a védelem tényleges kioldását, ha a zárlati energiáirány a védelem felszerelési helyén a gyűjtősíntől a védett vezeték felé mutat. A jelleggörbén látható fokozatok hossza (impedanciája) és késleltetése a védelmeken belül tág határok között szabályozható, s így a jelleggörbe a védett hálózathoz rugalmasan illeszthető.

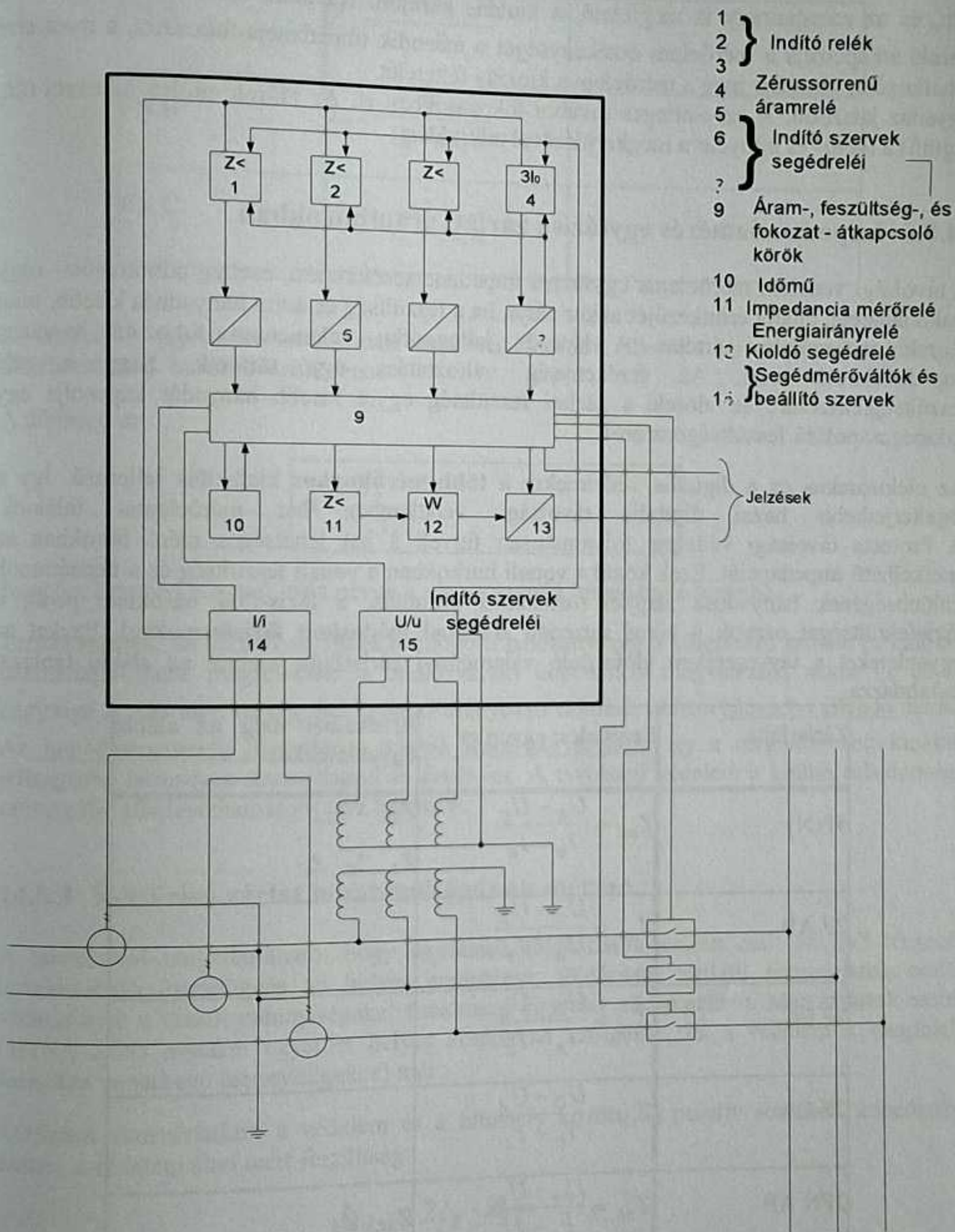


14-63. ábra Távolsági védelem lépcsős karakterisztikával

A vázolt alapfogalmakból is kitűnik, hogy a védelem működésében három döntő relé van: a mérő impedanciarelé, az energiáirányrelé és a többlépcsős időrelé. Ezekből a fő elemekből a legtöbb távolsági védelemnél csupán egy van. A védelem segédberendezései szolgálnak arra, hogy a zárlat tényét érzékeljék, az adott zárlat fajtáját megállapítsák, a hibatávolság mérését végző impedanciarelé és az irányrelé kapcsaira a zárlat méréséhez szükséges feszültséget és áramot közvetítsék, a központi időművet indítsák és a beállított jelleggörbének megfelelő időpontokban a mérőelem megszólalási érzékenységét átkapcsolják. A segédberendezések: a fázisonkénti indítórelé (impedanciacsökkenési vagy túláramrelé), ezek sokérintkezős segédreléi, a földrövidzárlatokat (nem földelt csillagpontú rendszerben kettős földzárlatokat) érzékelő zérus sorrendű túláramrelé, s annak segédreléje, az említett segédrelék érintkező kombinációból kialakított áram- és feszültségkiválasztó áramkörök, az időrelével vezérelt fokozat-átkapcsoló körök, az áramok vektoros összegezését végző segédáramváltók, az érzékenységet változtató feszültségosztók, a kioldó segédrelé és a beállítószervek. A korszerű távolsági védelmekben megtalálhatók ezen kívül az egyes belső relék működését regisztráló látjelzők és kivezetett hibajelző áramkörök, amelyek az ébresztést és kioldást jelzik.

A távolsági védelmek viszonylag bonyolult felépítésük ellenére igen elterjedtek. Bármilyen hálózati alakzat szelektív védelmére alkalmasak, de egyszerűsített formában generátorok, transzformátorok egyes védelmi feladataira is használják. Fő alkalmazási területük a nagyfeszültségű hurkolt hálózatok védelme, ahol a már megismert, de nagyon költséges különbözeti védelmeken kívül a szelektív védelem megvalósításának egyetlen lehetőségét szomszédos elemek (vezetékek, transzformátorok) részbeni fedővédelmére is alkalmas.

A hagyományos egy-mérőelemes távolsági védelmek elemeit többnyire egy közös házba építik. A 14-63. ábra a belső felépítés elvi vázlatát és a mérőváltóhoz, megszakítóhoz és nagyfeszültségű hálózatok egyfázisú megszakítására és visszakapcsolására való tekintettel - a kioldóvezetékeket is fázisonként rajzoltuk.



14-64. ábra Egymérőelemes hagyományos távolsági védelem

A jelleggörbe és a vázlatos felépítés alapján a védelem működése lényegében a következő. Zárlat esetén - annak fajtájától függően - egy vagy több indítórelé meghúz. Az indítóelemek segédreléinek kontaktuskombinációiból kialakított áramkörök a zárlat fajtájának és az érintett fázisoknak megfelelően kiválasztják a zárlati távolság méréséhez szükséges feszültséget és áramot, és azokat a mérőelem és az irányrelé tekercseire kapcsolják. A mérőelem alaphelyzete mindig az első fokozat, így megvizsgálja, hogy az érzékelt impedancia azon belül van-e. Ha

igen, és az energiáirány is megfelelő, a kioldás létrejön. Ha nem, akkor  $t_2$  idő múlva az időrelé átkapcsolja a mérőelem érzékenységét a második impedancia-fokozatra, s most erre vonatkozóan vizsgálja meg a mérőelem a kioldás feltételét.

Ugyanaz játszódik le az esetleges további fokozatokban is. Az időrelé utolsó fokozata (ún. végidő) a mérő- és irányelem megkerülésével adkioldást.

### 14.8.2 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. Az érzékenység változtatása úgy történik, hogy a relé feszültségtekercsére az időrelé a zárlati feszültség egyre kisebb hányadát kapcsolja egy sokmegcsapolású feszültségosztóról.

Az elektronikus és a digitális védelmekre a **több-mérőhurkos** kialakítás jellemző. Így a legelterjedtebb hazai digitális távolsági védelemben hat mérőelemet találunk. A Protecta távolsági védelme folyamatosan figyeli a hat lehetséges mérő hurokban az érzékelhető impedanciát. Ezek közül a vonali hurkokban a vonali feszültség és a fázisáramok különbségének hányadosa alapján történik a számítás, a fázis-föld hurokban pedig a fázisfeszültséget osztjuk a zérus sorrendű árammal módosított fázisáramokkal. Ezeket az egyenleteket a távvezetéken előforduló valamennyi zárlatfajta esetére az alábbi táblázat tartalmazza.

Zárlatfajta	Érzékelési egyenlet	Érzékelhet még az alábbi egyenletekkel
3F(N)	$Z_{BC} = \frac{U_B - U_C}{I_B - I_C}$	$Z_{AB}, Z_{CA}$ $Z_A, Z_B, Z_C$
2F AB	$Z_{AB} = \frac{U_A - U_B}{I_A - I_B}$	
2F BC	$Z_{BC} = \frac{U_B - U_C}{I_B - I_C}$	
2F CA	$Z_{CA} = \frac{U_C - U_A}{I_C - I_A}$	
2FN AB	$Z_{AB} = \frac{U_A - U_B}{I_A - I_B}$	$Z_A, Z_B$
2FN BC	$Z_{BC} = \frac{U_B - U_C}{I_B - I_C}$	$Z_B, Z_C$
2FN CA	$Z_{CA} = \frac{U_C - U_A}{I_C - I_A}$	$Z_C, Z_A$

FN A	$Z_A = \frac{U_A}{I_A + 3I_o\alpha}$	
FN B	$Z_B = \frac{U_B}{I_B + 3I_o\alpha}$	
FN C	$Z_C = \frac{U_C}{I_C + 3I_o\alpha}$	

Az érzékelési egyenletek tehát vonali feszültség- hurokra, illetve a zérus sorrenddel korrigált fázisfeszültség- hurokravonatkoznak.

A táblázatban

$$\alpha = \frac{Z_o - Z_1}{3Z_1}$$

komplex keverési tényező, más néven a zérussorrendű impedancia-tényező.

Természetesen, ha bármelyik védelem mögötti hálózatrészen a különböző erőműi és hálózati üzemi állapotoknak megfelelően az eredő zárlati impedancia megváltozik, akkor  $I_A$  és  $I_B$  nagysága is más lesz, de  $U_A$  és  $U_B$  ezzel arányosan változik, ezért a hányados állandó marad.

Az impedanciamérés független a zárlati áram nagyságától, így a meghatározott kioldási jelleggörbe bármilyen üzemi állapotban érvényes. A távolsági védelem e kitűnő tulajdonsága univerzális alkalmazhatóságot tesz lehetővé.

### 14.8.3 Kétfázisú zárlat hibatávolságának mérése

A táblázatból megállapítható, hogy egyfázisú földzárlatok esetén csak az „ $\alpha$ ” tényezőt tartalmazható összefüggés ad helyes eredményt, földérintés nélküli fáziszárlatok esetén viszont csak a vonali mennyiségeket tartalmazó egyenlet alkalmazható. Más zárlatok esetén (3F(N), 2FN) mindkét egyenlet helyes eredményt szolgáltat, ha a védelem a megfelelő fázisokra vonatkozó mennyiségekkel mér.

Kétfázisú fáziszárlatkor, a védelem és a hibahely közötti  $Z_1$  pozitív sorrendű impedancia esetén, a védelem által mért feszültség:

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

a hányados mérés pedig:

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

eredményt szolgáltat.

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

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

Mint látható, teljesen mindegy, hogy az azonos nagyságú, csupán ellentett irányú  $I_R$  és  $I_S$  áram közül melyiket használjuk fel. A gyakorlati megoldásban a kétszeres áramot az  $I_R$  és az  $I_S$  áram vektoros különbségének képzéséből nyerik. A kétfázisú zárlat lehetséges háromféle variációjában a védelem a következő egyfázisú mennyiségekkel végzi a hányados mérést:

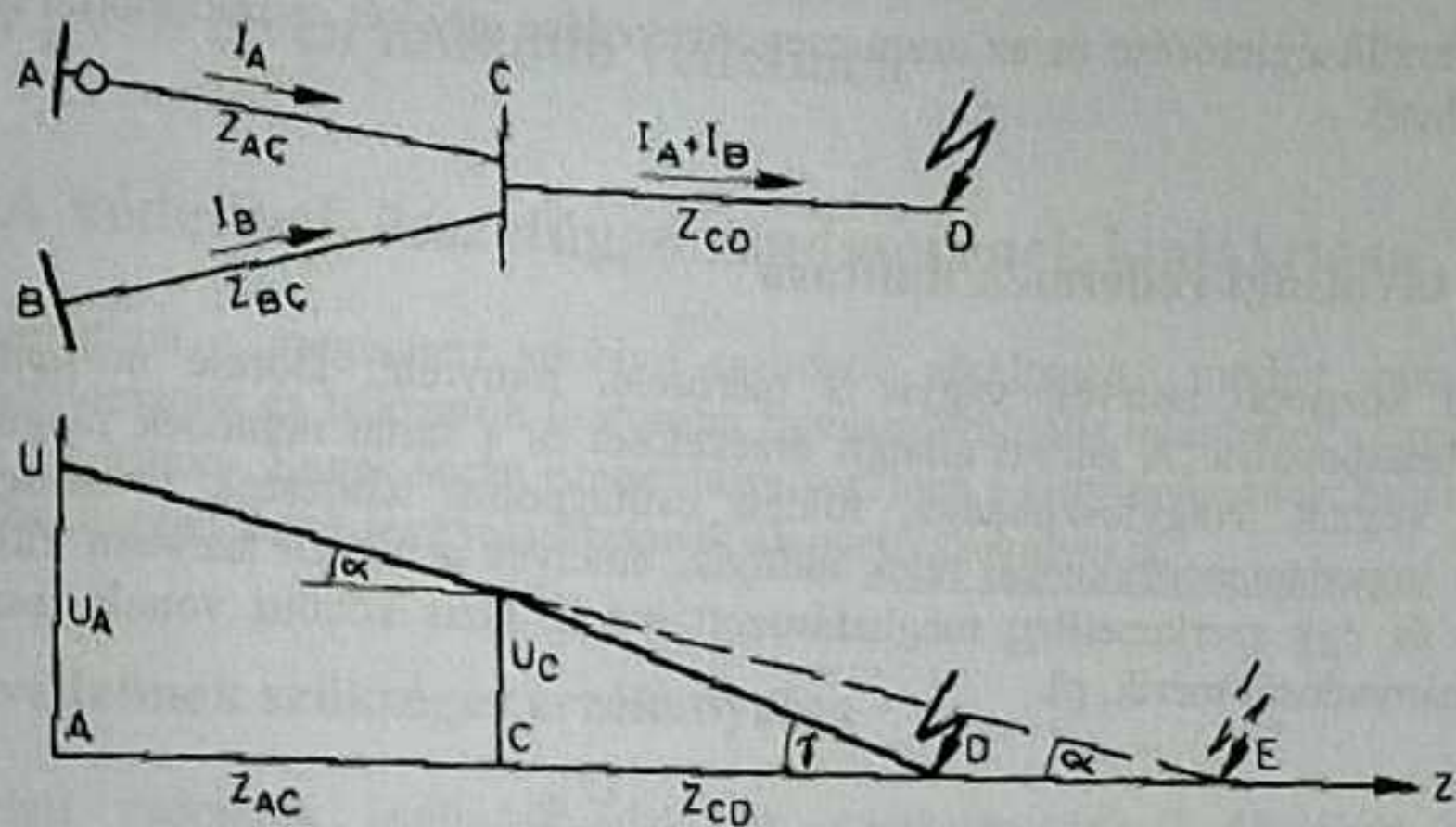
$$\text{RS zárlatnál } |Z_1| = \frac{|U_{RS}|}{|I_R - I_S|}, \text{ ahol } |I_R - I_S| = 2|I_R| = 2|I_S|;$$

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

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

#### 14.8.4 Az impedanciamérés torzulásai

Az impedanciamérés bemutatott elve csak akkor ad arányos hibatávolságot, ha a védelemnél mérhető feszültséget a hibahely nulla feszültségével összekötő egyenes törésmentes. Ez a feltétel 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. Vizsgáljuk meg a 14-65 ábrán vázolt hálózatrészen az A pontban lévő védelem mérési viszonyait.



14-65. ábra Betáplálási torzítás

Az ábra jelöléseivel az „A” ponton uralkodó zárlati feszültség és védelmet tápláló áram hányadosa:

$$\frac{U_A}{I_A} = \frac{I_A Z_{AC} + (I_A + I_B) Z_{CD}}{I_A} = Z_{AC} + \frac{I_A + I_B}{I_A} Z_{CD}$$

A védelem tehát a C betáplálási pontig terjedő  $Z_{AC}$  impedanciát pontosan, míg a közös szakasz  $Z_{CD}$  impedanciáját növelt értékkel érzékeli.

$$\xi = \frac{I_A + I_B}{I_A} \geq 1$$

az ún. torzítási tényező. Határértéke: 1, ha  $I_B = 0$ , azaz nincs közbenső betáplálás. Ha a csomópontból kiinduló zárlatos vezeték a csomópont mögött  $n$  befutó ág táplálja, akkor a torzítási tényező a  $k$ -adik ágra nézve:

$$\xi_k = \frac{\sum^n I}{I_k} \gg 1$$

A betáplálás impedancia növelő hatását jól érzékelteti a 14-59 ábra alján látható feszültségdiagram is. Ebben:

$$\operatorname{tg} \alpha = I_A \text{ és } \operatorname{tg} \gamma = I_A + I_B.$$

A védelem saját feszültség egyenesének tengelypontjában (E) "látja" a zárlat helyét.

Az erősen hurkolt hálózatok csomópontjain keresztül érzékelt hibatávolság sokszorosán növelt értékű, ezért a korlátozott érzékenységű védelmek gyakran már a közvetlenül szomszédos szakaszok zárlatait sem tudják észlelni. E jelenség nem a védelem, hanem a hálózat fizikai sajátossága. Rávilágít a hurkolt, sokbetáplálású hálózatok egyik nagy előnyére:

a zárlatok feszültségletörése és az áram megnövekedése egy-két csomóponttal távolabb már alig érzékelhető.

#### 14.8.5 A távolsági védelmek indítása

A védelem központi szervei, vagyis a mérőrelé, irányrelé, időrelé normális üzemben nincsenek bekapcsolva. A zárlati állapot érzékelését és a zárlat nemének megállapítását az indítórelék végzik. Nagyfeszültségű, földelt csillagpontú hálózatok távolsági védelmeit rendszerint impedanciacsökkenési relék indítják, amelyek a három fázisban külön-külön az adott fázis és egy szerkezetiileg meghatározott másik fázis közötti vonali feszültség és a fázisáram hányadosát mérik, pl.

$$\text{az R fázisban: } \frac{U_{RS}}{I_R}$$

$$\text{az S fázisban: } \frac{U_{ST}}{I_S}$$

$$\text{az T fázisban: } \frac{U_{TR}}{I_T} \text{ hányadost.}$$

Háromfázisú zárlatoknál a Z távolságban fellépő hibára a megszólalás feltétele pl. az R fázisú indítórelénél:

$$\frac{U_{RS}}{I_R} = \sqrt{3} \cdot Z < Z_{\text{ind}}$$

minthogy a relé a zárlatra jellemző fázisfeszültség  $\sqrt{3}$  - szorosát kapja.  $Z_{\text{ind}}$  a beállított indulási érzékenység, ami feszültségköri potenciométerrel szabályozható.

Kétfázisú (pl. RS) zárlatnál a megszólalási feltétel:

$$\frac{U_{RS}}{I_R} = 2 \cdot Z < Z_{\text{ind}}$$

Középfeszültségű, kompenzált hálózatokon a távolsági védelem indítószervei többnyire túláramrelék, amelyeket az R és T fázisba, valamint a nulla vezetőbe (3I<sub>0</sub>) építenek be. Mivel Magyarországon a középfeszültségű hálózatok általában sugarasak, így ezeken távolsági védelmet csak kivételesen alkalmaznak.

## 14.9 Egyéb elven működő védelmek

### 14.10A védelmek összefüggő rendszerének kialakítása

Ebben a fejezetben a megismert védelmi eszközök alkalmazási módját mutatjuk be az erőművek, alállomások és hálózatok fontosabb típusain, különös tekintettel a szелеktivitás és érzékenység kérdéseire. Ennek során ismertetésre kerülnek a koordinációnak, tehát a beállítási értékek helyes, összehangolt megválasztásának alapvető szabályai is.

#### 14.10.1A védelmek szükséges érzékenysége

A rövidzárlati védelmek beállítási adatainak meghatározásánál általában a védendő berendezés, hálózatrész pontos zárlati viszonyainak ismerete szükséges. Az elvégzett zárlati számítás alapján meg kell állapítani a védelem előírt alap- és fedővédelmi hatóterületén a feltételezhető legkedvezőtlenebb üzemállapotban a működést kiváltó villamos mennyiség szélsőséges értékeit.

Túláramra induló védelmeknél (túláram-idő védelmek, túláram indítású távolsági védelmek), az áramrelék megszólalási értékének a még érzékelendő legkisebb zárlati áramnál biztonsággal kisebbnek kell lennie. A gyakorlatban legalább 20% biztonságra törekednek.

$$I_{be}^k \leq \frac{I_{Zmin}}{1 + \varepsilon}$$

Impedanciacsökkenésre induló védelmeknél a kívánt érzékelési határon feltételezett különféle zárlatfajták esetére a közbenső zárlati betáplálás legnagyobb torzító hatása mellett meg kell vizsgálni a ténylegesen érzékelt impedanciát és annál legalább 20%-kal nagyobbra kell megválasztani a relében beállítandó megszólalási impedanciát.

$$Z_{min} \geq \frac{Z_{AB}}{1 - \varepsilon}$$

Különbözeti védelmeknél egy- és kétoldali zárlati betáplálás esetére meg kell határozni a legkisebb eredő különbözeti áramot, és annál kisebb értékre kell beállítani a különbözeti relé megszólalási szintjét. Stabilizált, százalékos fékezésű reléknél a megszólalást a fékezési jelleggörbén is ellenőrizni kell, ebből adódik ki a választható fékezési karakterisztika, tehát annak meredeksége. Áramirányrelével stabilizált különbözeti védelemnél az érzékenységet az egyoldali, legkisebb zárlati táplálásra kell ellenőrizni, fékezés nélkül. Egyoldali táplálásnál ugyanis az irányrelének nincs nyomatéka, kétoldalról táplált belső zárlatnál pedig az iránytag is működtető nyomatékot ad elektromechanikus védelmek esetében.

#### 14.10.2A védelmek elhangolása a terhelési áramoktól

A túláramra vagy impedanciacsökkenésre induló védelmeknél nem szabad a megszólalási érzékenységet annyira fokozni, hogy zárlatmentes, de erős terhelésű üzemben tévesen megszólalhassanak. A rövidzárlat-védelemnek nem feladata a védett berendezés, hálózat átmenetileg elviselhető mértékű túlterheléseit megakadályozni. Ha ilyen igény felmerül, akkor

a túlterhelés természetéhez, nagy melegedési időállandójához jobban illeszkedő, lehetőleg előjelzést is adó túlterhelési (termikus, hőmás) védelmekre kell a feladatot bízni.

Rövidzárlati túláramvédelmek és áramindítású távolsági védelmek megszólalási áramát tehát olyan nagyra kell megválasztani, hogy az előfordulható legnagyobb terhelési áramra ne induljanak, sőt annál - a körzetben fellépett és ott szelektíven lekapcsolt zárlat megszüntetése után - még vissza tudjanak térni nyugalmi állapotba. Számítani kell továbbá arra, hogy üzemzavar utáni állapotban a feszültség a normálnál kb. 10%-kal kisebb is lehet, így a MW-ban ismert maximális terhelés áramát csökkentett feszültség mellett célszerű meghatározni. Ha tehát a legnagyobb, még eltűrt terhelést  $P_{\max}$ , MW és  $\cos \varphi$  jellemzi az  $U_n$ , kV névleges feszültségű hálózaton, és a relé tartóviszonya  $c_t$ , akkor a relé választható indulási árama:

$$I_{\text{relé}} = c_t \cdot I_{\max} = c_t \cdot \frac{P_{\max} \cdot 10^3}{0,9 \cdot \sqrt{3} \cdot U_n \cos \varphi}$$

Konkrét adatok hiányában is  $S_n = \frac{P_n}{\cos \varphi}$  névleges teljesítményű berendezésen (generátor, transzformátor, vezeték) legalább 20%-os átmeneti túlterhelést még nem szabad a rövidzárlatvédelemnek lekapcsolnia, tehát

$$P_{\max} \geq 1,2 P_n$$

esetén és  $c_t = 1,2$  szokásos tartóviszonnyal:

$$I_{\text{relé}} \geq 1,2 \cdot \frac{1,2 \cdot P_n \cdot 10^3}{0,9 \cdot \sqrt{3} \cdot U_n \cos \varphi} = 1,6 \cdot \frac{P_n \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot U_n \cos \varphi} = 1,6 \cdot I_n$$

ahol  $I$  a védett berendezés névleges árama.

Impedanciacsökkenésre megszólaló védelmeknél az indulást a terhelés impedanciájától kell elhangolni. Mivel az impedanciarelék skáláját a kétfázisú zárlati áramhurokra szokták készíteni, mikor is a megszólalás feltétele:

$$\frac{U}{I} < 2 \cdot Z_{\text{ind}}$$

a védelem névleges feszültség esetén akkor nem indul, ha a terhelési áram

$$I_{\text{terh}} < \frac{U_n}{2 \cdot Z_{\text{ind}}}$$

Ha a védett berendezésen  $0,9 U_n$ , kV feszültség mellett is  $S_{\max}$ , MVA teljesítmény átvitelét kívánjuk biztosítani, akkor annak árama:

$$I_{\text{terh}} = \frac{S_{\max} \cdot 10^3}{0,9 \cdot \sqrt{3} U_n}$$

Ezt az áramot a  $c_t$  tartóviszonnyal megszorozva és előbbi összefüggésünkbe helyettesítve:

$$\frac{c_t \cdot S_{\max} \cdot 10^3}{0,9 \cdot \sqrt{3} U_n} < \frac{U_n}{2Z_{\text{ind}}}$$

feltétel kielégítéséről kell gondoskodni. A beállítható legnagyobb indítási impedancia korlátja tehát:

$$Z_{\text{ind}} \leq \frac{0,9 \cdot \sqrt{3}}{2 \cdot c_t} \cdot \frac{U_n^2}{S_{\max}},$$

amely  $c_t = 1,2$  esetén:

$$Z_{\text{ind}} \leq 0,65 \cdot \frac{U_n^2}{S_{\max}} = 0,65 \cdot Z_{\text{terh}},$$

ahol  $Z_{\text{terh}}$  az  $S_{\max}$  terhelés impedanciája.

## 15 HÁLÓZATI AUTOMATIKÁK

Az üzemzavari automatikákat azért létesítik, hogy a védelmek által megvalósított zárlathárítás (a rendellenes üzemállapot megszüntetése) után az automatikák az üzemet megkíséreljék helyreállítani. Fő feladatuk tehát a rendszerben bekövetkezett hibák, zárlatok miatti elkerülhetetlen kikapcsolások után olyan automatikus kapcsolások elvégzettetése, amelynek célja a villamosenergia-szolgáltatás folyamatosságának biztosítása. Lényegében a kezelőszemélyzet helyett végzik az üzemzavar utáni visszatérítést, az üzem folytonosságának mentését, de az embernél sokkal gyorsabban, biztosabban és határozottabban.

Az üzemzavari automatikák a következő fő csoportokra oszthatók:

- visszakapcsoló automatikák, amelyek a hibás és a védelmek által kikapcsolt berendezést kísérlik meg újra üzembe venni;
- átkapcsoló automatikák, azaz tartalék táplálást bekapcsoló automatikák, amelyek a védelmek által kikapcsolt berendezés helyett, annak pótlására egy másik berendezést kapcsolnak be;
- fogyasztói automatikák, amelyek az előbbi két automatikacsoportnak megfelelő működtetés során a különböző időtartamú feszültségletörés-, illetve feszültségszünet okozta zavart szüntetik meg vagy korlátozzák, lehetővé téve ezáltal az automatikus visszakapcsolás, illetve átkapcsolás előnyeinek minél nagyobb mértékű kihasználását;
- az együttműködő villamosenergia-rendszer speciális automatikái.

### 15.1 Visszakapcsoló automatikák

Ha egy zárlat átívelés jellegű, azaz levegőben keletkezett, a zárlat gyors megszüntetése (kikapcsolása) után igen nagy valószínűséggel remélhető, hogy a berendezést újból feszültség alá lehet helyezni anélkül, hogy az ív újragyulladna.

#### **Az önműködő visszakapcsolás módszere és a próbakapcsoláshoz viszonyított előnyei**

A villamosenergia-rendszerek üzemviteli tapasztalatai alapján már régen felismerték, hogy a hálózati rövidzárlatok nagy többségében a szelektív védelem által kikapcsolt hálózati elem visszakapcsolás után elviseli az üzemi feszültséget, és az energia a hibahely felkeresése és javítása nélkül is tovább szolgáltatható. A nagy- és középfeszültségű szabadvezeték-hálózatok üzemében ennek alapján általánossá vált az egyszeri próbakapcsolás, amit az erőmű vagy állomás kezelője — kb. 3 percnyi várakozás után — hajtott végre.

Az üzemi megfigyelések arra is rámutattak, hogy a kézi próbakapcsolás sikeressége és a zárlatos vezeték kikapcsoló védelem működési ideje között szoros összefüggés van. A rövidzárlat gyors megszüntetése a hibahelyen a zárlati ív romboló hatását korlátozza és ezáltal az eredményes visszakapcsolás valószínűségét növeli. A természetüknél fogva eleve tartós rövidzárlatok (vezetékszakadás, oszlopkidőlés, szigetelő-átütés stb.) részaránya az összes rövidzárlathoz viszonyítva 10, 20, 35 kV-os hálózatokon nem haladja meg a 10%-ot, 120, 220, 400 kV-on pedig a statisztikai elemzések szerint 5...6% alatt van. A fennmaradó esetek túlnyomó többségében a visszakapcsolás eredményességét a hibahelyi rongálódás mértéke dönti el, ezt pedig elsősorban a zárlat időtartama befolyásolja.

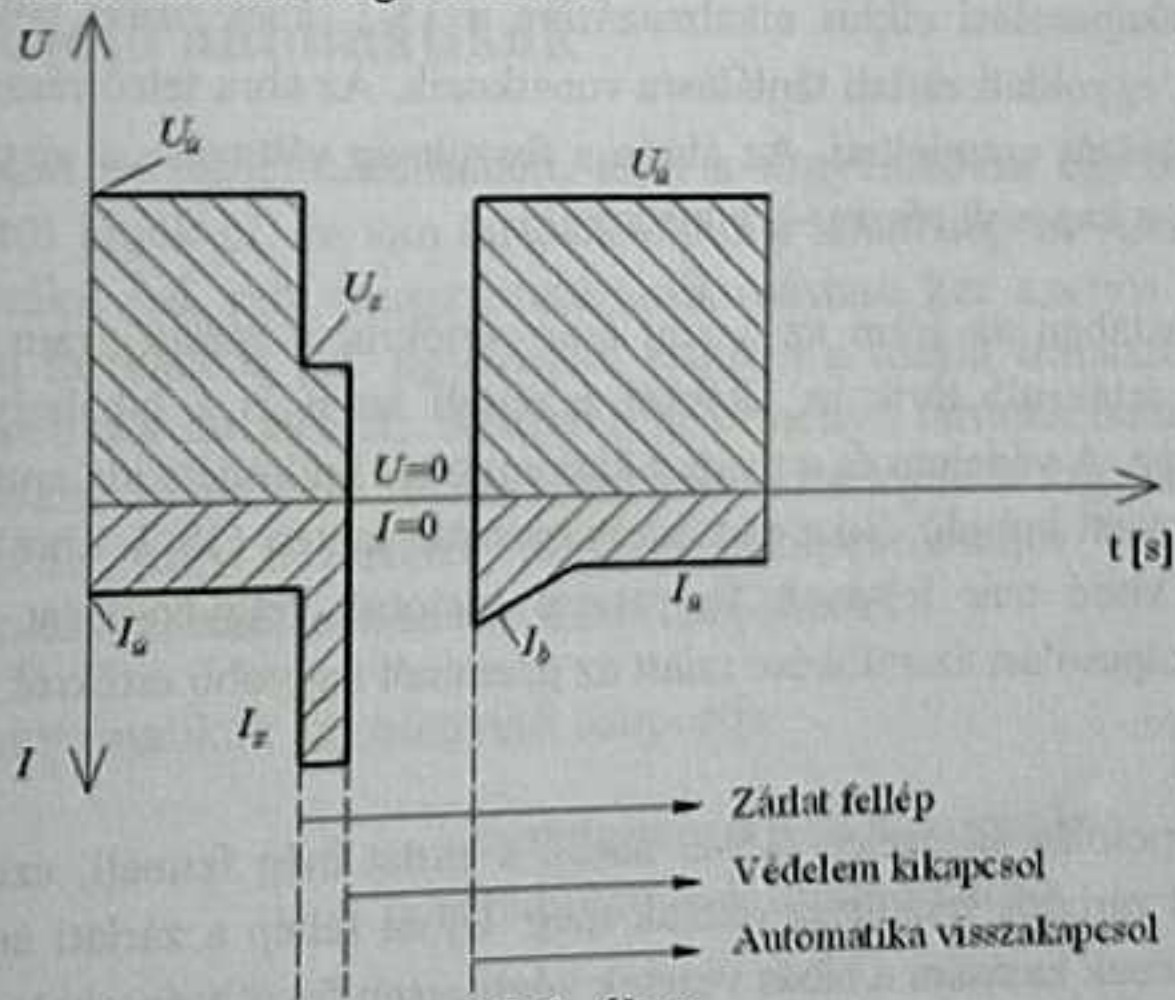
A visszakapcsolás sikerének feltételeit a következőkben foglalhatjuk össze:

- a zárlat ne legyen tartós jellegű;
- a lekapcsolás olyan gyors legyen, hogy képes legyen megakadályozni a zárlat helyének rombolódását.

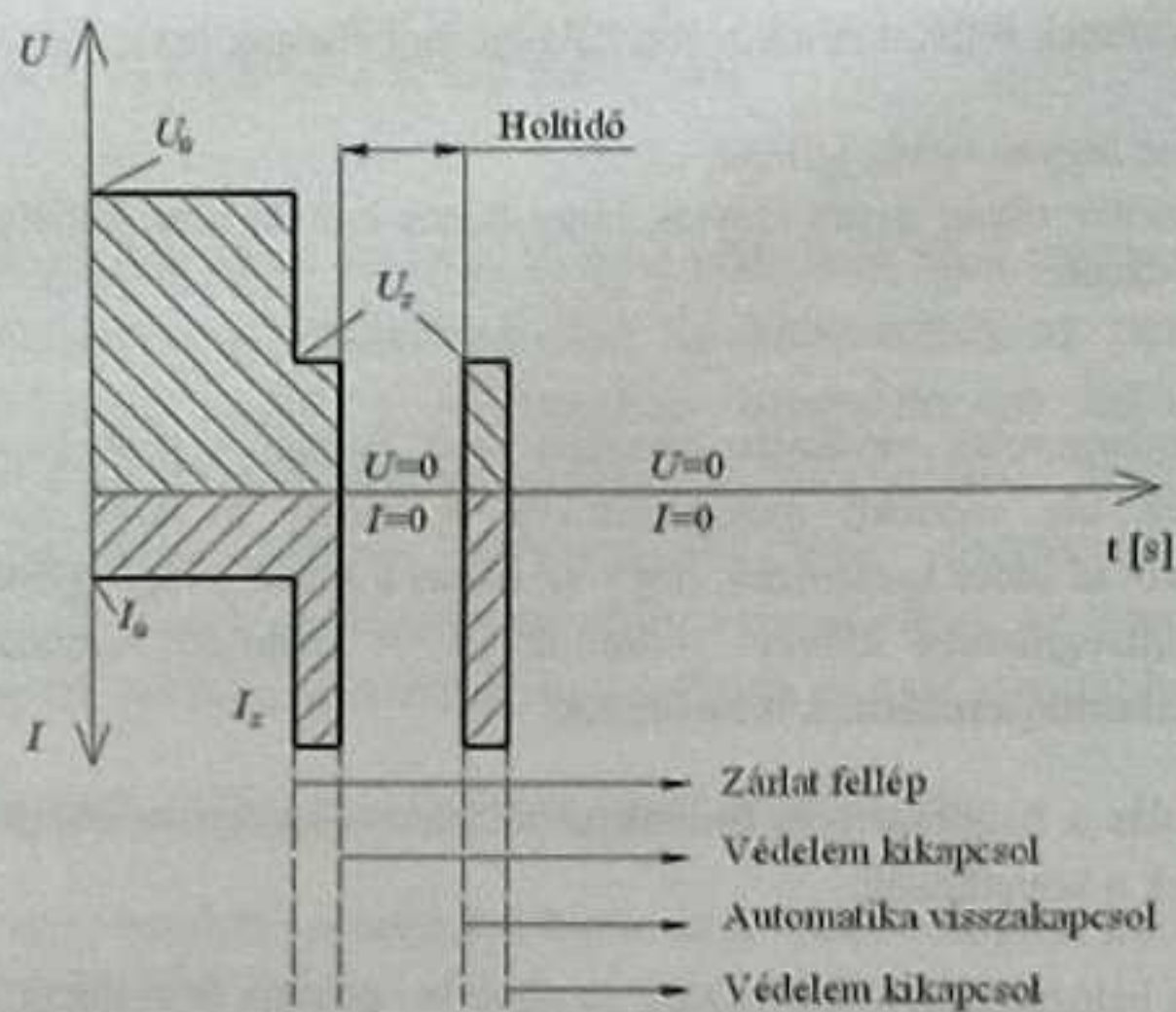
Az önműködő visszakapcsolás módszere azonban nem csupán a próbakapcsolás automatizálását jelenti, hanem annak oly mértékű meggyorsítását is, amely a zárlat által érintett fogyasztók üzemszünetét olyan rövid időre korlátozza, hogy az **üzem folytonossága gyakorlatilag nem szakad meg**. A rövid feszültségmentes idővel — holtidővel — működő visszakapcsolási módszereket gyűjtőnéven **gyorsvisszakapcsolásnak** is nevezzük.

A gyorsvisszakapcsolás a hagyományos próbakapcsoláshoz viszonyítva döntő előnyöket nyújt. Ezek közül is kiemelkednek a következők:

- Sugaras hálózatokon a fogyasztók az egyetlen ellátási út zárlatainak többsége során nem kapcsolódnak ki; csupán néhány tized másodperc szünetet észlelnek.
- Hurkolt hálózatok zárlatos elemeinek gyorsvisszakapcsolásával elkerülhető a hálózat tartós gyengülése, ami újabb hibák esetén könnyen összeomlásra vezethetne.
- Kooperációs hálózatokon a gyorsvisszakapcsolás elősegíti a párhuzamosan járó erőművek stabilitásának megőrzését is.



15-1. ábra



15-2. ábra A gyorsvisszakapcsolási ciklus folyamata

a) sikeres visszakapcsolás; b) sikertelen visszakapcsolás

A gyors visszakapcsolási ciklus alkalmazására a 15-1. ábra mutat példát. A folyamatára a legegyszerűbb esetre, egyoldali zárlati táplálásra vonatkozik. Az ábra felső része a sikeres, alsó része a sikertelen ciklus lefolyását szemlélteti. Az ábrán a feszültség változása a visszakapcsoló automatika felszerelési helyére — a kapcsolt részre — vonatkozik.

A zárlat pillanatában az áram az üzemi áram értékről a zárlati áram nagyságára nő, míg a feszültség az üzemi érték alá tör le. Utóbbi a zárlati áram és a hibahelyig terjedő impedancia szorzata határozza meg. A védelem és a megszakító együttes működési ideje után beáll az  $I=0$  és  $U=0$  paraméterekkel jellemzett holtidő. Sikeres visszakapcsolás esetén (15-2. ábra) a feszültség visszatér, az áram viszont a kissé már lelassult fogyasztói motorok felgyorsítása, valamint a fogyasztói transzformátorok bekapcsolási áramlökése miatt az üzeminél nagyobb értékről indulva csillapodik le a normális üzemi szintre.

Ha a visszakapcsolás sikertelen (15-2. ábra), a zárlat még fennáll, ezért az üzemi feszültség helyett ismét a letört zárlatos feszültség jelenik meg. Újból fellép a zárlati áram is, majd a védelem másodszori működésének hatására a hibás vezeték véglegesen feszültségmentessé válik.

### 15.1.1 Egyfázisú visszakapcsoló automatika (EVA)

Hatásosan földelt csillagpontú hálózaton az FN zárlatok előfordulási valószínűsége távvezetéken kb. 90. . 95 %. Ezt a szinte kizárólagos zárlatfajtát éppen ezen a hálózaton lehetséges kizárólag a zárlatos megszakítófázisok minden oldali kikapcsolásával és visszakapcsolásával háritani, mivel a holtidő alatti "sántaüzem"-ben a két ép fázison és a földön keresztül az energiaátvitel csekély aszimmetriával és az egyfázisú szakadásnak megfelelő csekély transzferimpedancia-növekedéssel biztonságosan fenntartható. Ez a kapcsolat mind a sugarasan ellátott fogyasztók, mind a csak ezen vezetéken keresztül kooperáló erőművek számára az esetek döntő többségében kielégítő.

Az FN zárlat esetére alkalmazott EVA előnyei a háromfázisú visszkapcsoló automatikával (HVA) szemben a következők:

- Holtidő alatt terhelhető összeköttetést ad a két végpont között mind erőmű mind fogyasztó számára, mivel az egyfázisú szakadás hálózatmetszeténél a transzformátorok kis értékű, zérus sorrendű impedanciája miatt csak kismértékben emelkedik az összeköttetés transzfer impedanciája.
- Az előbb mondottakra alapozva jelentősen emelhető a holtidő, mert a gyakorlatban sem a fogyasztó szempontjai, sem a stabilitási követelmények nem szabnak határt.
- Az előnyöket a távvezetékre T-leágazásban csatlakozó transzformátorokon keresztül is ki lehet használni.
- A nagyobb holtidő miatt a két végpont egyikének késleltetett kikapcsolása sem idézi elő a visszkapcsolás elmaradását.

Az EVA hátrányai a csak háromfázisú visszkapcsoló automatikával szemben:

- Megbízható fáziskiválasztó elemeket igényel.
- A védelmi és a vezénylő kioldó áramkörök bonyolultabbak.
- A megszakító drágább és bonyolultabb, mert pólusonkénti hajtás szükséges.
- A hosszabb holtidejű sántaüzem az érzékeny, zérus sorrendű tartalékvédelmeket megzavarja.

## 15.2 Átkapcsoló automatikák

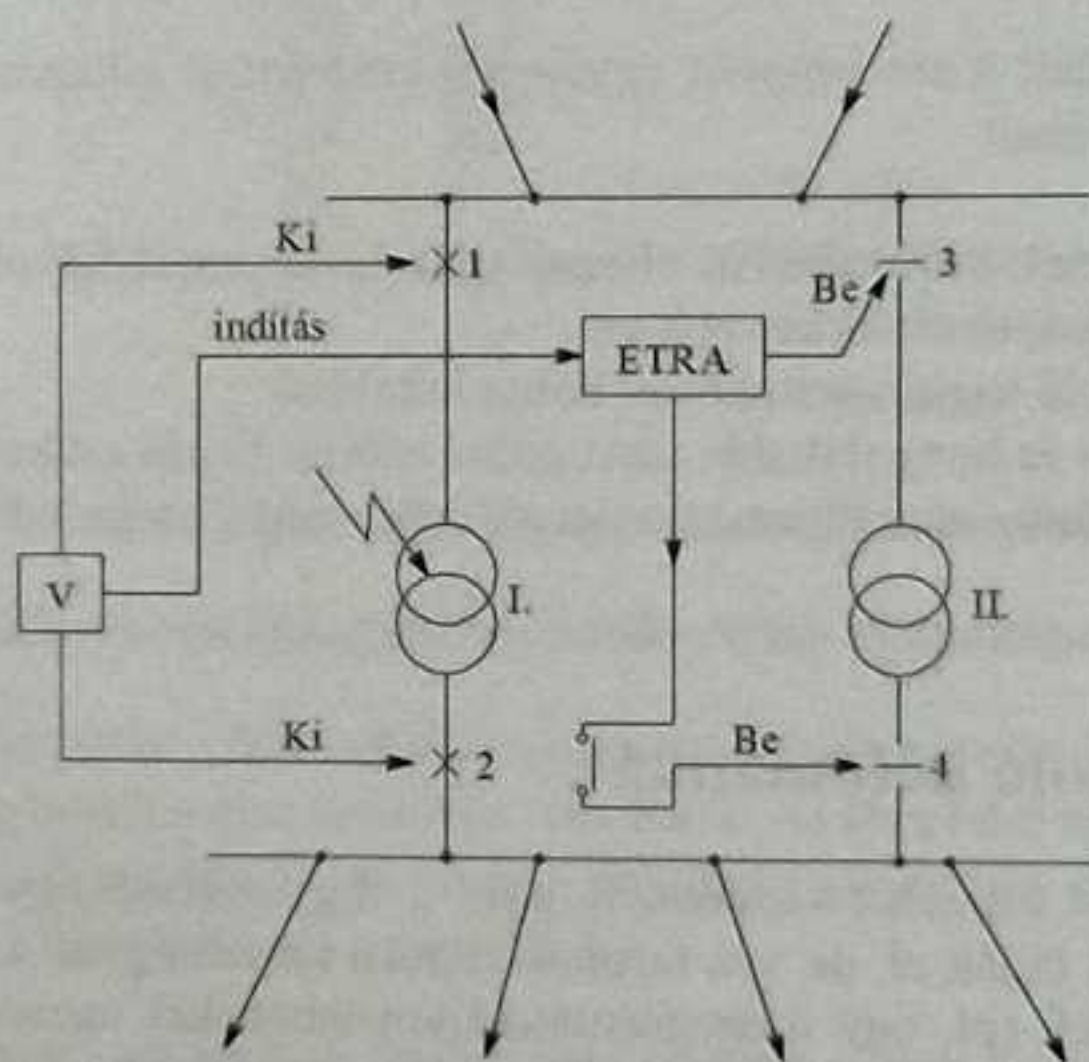
Átkapcsoló automatikát ott lehet alkalmazni, ahol a fogyasztókat egy kijelölt, fő betápláló berendezésen keresztül látják el, de van tartalék ellátási lehetőség is. A tartalék ellátás egyes esetekben azonos értékű (pl. egy transzformátorállomásban két azonos transzformátor), de lehet csökkent értékű tartalék is (pl. ugyanezen esetben a másik transzformátor már terhelt, vagy távvezeték biztosítja a tartalékot). Kisebb teljesítményű tartalék betáplálás esetén el kell kerülni az átkapcsoláskor létrejövő túlterhelést. Ezt előre kijelölt fogyasztók átkapcsoláskor történő kikapcsolásával, vagy a tartalék táplálás bekapcsolásakor — annak túlterhelését érzékelve — automatikus terhelésledobással lehet megoldani.

Az átkapcsoló automatikák két alapvető csoportja:

- eseményvezérlésű automatika;
- állapotvezérlésű automatika.

Ha a védelem és az általa működtetett automatika egymással áramköri kapcsolatban van, akkor **eseményvezérlésről** beszélünk, minthogy az automatikát a védelem működésének ténye, azaz pontosan meghatározott esemény indítja. Ebbe a kategóriába tartozik az önműködő visszkapcsolás valamennyi válfaja, továbbá azok az átkapcsoló automatikák (pl. transzformátorok között, erőművek háziüzemi tartalék ellátása stb.), amelyeknek a hibára reagáló és intézkedő védelmi tagja és az üzem folytonosságát helyreállító automatikus része egymás közelében (azonos létesítményben) van, tehát közöttük közvetlen kapcsolat teremthető. Mivel az eseményvezérlés következtében biztosan (szelektíven), már a kioldóimpulzusok pillanatában megállapítható, hogy az eredeti táplálás ki fog esni, ezért az automatikának nem kell késleltetést adni. Ez ennek az automatikatípusnak igen nagy előnye. Elérhető vele, hogy a tartalék betáplálás olyan gyorsan bekapcsolódjék, hogy a fogyasztók többsége nem is érzi meg, nem esik ki, és csak kisebb részénél kell intézkedéseket tenni.

Tipikus példát láthatunk az 15-3. ábrán. Az ábrán az alállomás egyik (I. jelű), 120/20 kV-os transzformátora látja el a fogyasztói területet, a másik transzformátor (II. jelű) hideg (kikapcsolt állapotú) tartalék. Ha az I. transzformátor meghibásodik, védelme kikapcsolja 1 és 2 megszakítót, és indítja az eseményvezérlésű transzformátorátkapcsoló automatikát (ETRA). Ez bekapcsolja a tartalék transzformátor 3 és 4 megszakítóját. A 4 megszakító bekapcsolása a 2 megszakító nyugalmi áramú — kikapcsolt helyzetben zárt — segédérintkezőjén keresztül történik, meggátolva ezzel a II. transzformátor esetleges zárlatra táplálását. Az automatikus átkapcsolás feszültségmentes ideje a zárlati letörési időn túl a jelenlegi védelmekkel és megszakítókkal mindössze 0,15...0,2 s.



15-3. ábra Eseményvezérlésű transzformátor átkapcsoló automatika (ETRA)

Az automatikák vezérlésének másik alapvető módszere az **állapotvezérlés**. Ez esetben az automatikákat nem a védelmek, tehát nem az esemény indítja, hanem az esemény következtében előálló, érzékelhető állapot váltja ki. Az automatikáknak ebbe a csoportjába tartozik:

- a hálózati tartalékátkapcsolás,
- a gyorsrágerjesztés,
- az önműködő zárlatkorlátozás,
- az integrált nagy rendszerek stabilitásvédő különleges automatikái,
- a frekvenciacsökkenésre reagáló fogyasztói korlátozás stb.

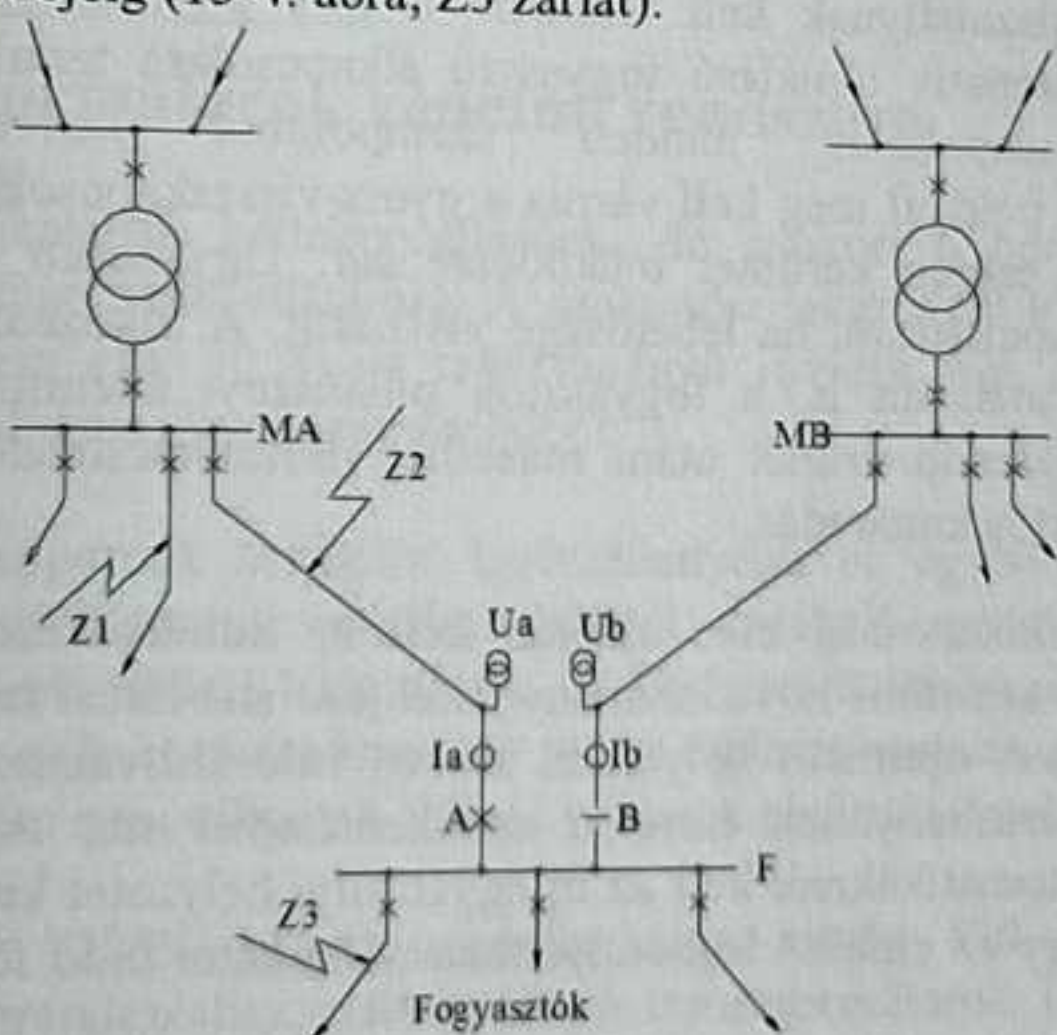
Mivel egy bizonyos üzemzavari állapot (pl. feszültség eltűnése, áramnövekedés, lengés stb.), többféle, és több helyen fellépő ok miatt keletkezhet, az állapotvezérlésű automatikák működési feltételei általában nem lehetnek olyan szabatosak és szelektívek, mint az eseményvezérlésűeké. Ahol az esemény és az automatika beavatkozási helye azonos, tehát lehetőség van eseményvezérlésre, ott azt kell előnyben részesíteni.

Az esemény helyétől távol működő, szükségszerűen állapotvezérlésű automatikák működési feltételeit az észlelhető jelenségek **önműködő kritikai elemzésével** (pl. a feszültségletöréssel együtt van-e zárlati áram, szimmetrikus vagy aszimmetrikus-e a letörés stb.), továbbá a tartós és az átmeneti jelenségek szétválasztása céljából késleltetéssel lehet szabatosabbá tenni.

Szolgáljon erre például a 15-4. ábrán látható állapotvezérlésű hálózati átkapcsoló automatika. Tehát ha az átkapcsolás helyén, a megszakítóknál nincs megbízható információ a táplálás kiesésére, azt csak a feszültség eltűnése alapján lehet érzékelni. Ezen alapul az állapotvezérlésű átkapcsoló automatika.

Azonban a feszültség rövid időre akkor is eltűnik, ha:

- idegen, a vizsgált táplálási útban részt nem vevő hálózati elemen keletkezik a zárlat, és hatására a zárlati kikapcsolás idejéig letörik a feszültség (15-4. ábra; Z1 zárlat);
- a táplálási útvonalon következik be zárlat. A feszültségszünet a zárlati kikapcsolás, majd az azt követő gyors háromfázisú visszakapcsolás idejéig tart (15-4. ábra; Z2 zárlat);
- saját, táplált fogyasztóknál lép fel zárlat. Ekkor nincs feszültség a zárlati kikapcsolás idejéig (15-4. ábra; Z3 zárlat).



15-4. ábra Állapotvezérlésű hálózati átkapcsoló automatika

Az első két esetben a felesleges átkapcsolást csak annak késleltetésével lehet kivédeni, ezért az állapotvezérlésű átkapcsoló automatikajellegzetessége a jelentős késleltetési idő. A harmadik eset ellen késleltetés helyett áramreteszelt is lehet alkalmazni.

Könnyen belátható, hogy a 15-4. ábrán az A-ról B-re való áttéréskor az  $U_A$  feszültségre kapcsolt automatika indító-feszültségrelék és az  $I_A$  áramra kötött reteszelő-áramrelék között a beállítási feltétel:

$$U_{Abe} < U_n - (1 - \varepsilon) \cdot I_{Abe} \cdot Z_{mmin} \quad (9.12)$$

ahol:  $Z_{mmin}$  a táplálás, mögöttes hálózat impedanciája a hálózat minimális állapotában. Ekkor ugyanis fogyasztói zárlatra vagy az áramrelé retesz, vagy az indító feszültségrelé nem ejt el. Meg kell azonban jegyezni, hogy a harmadik eset is gyakran kivédhető az első két eset miatt szükséges késleltetéssel.

A villamosenergia-rendszer automatizálását megvalósító, nagyszámú és különféle decentralizáltan elhelyezett automatikának olyan **ellentmondásmentes logikai egységet** kell képeznie, amelynek minden egyedi automatika működésmódja és programja alá van vetve. A technikai részletkérdések tárgyalása előtt hangsúlyozzuk, hogy az automatizálás komplex,

koordinált feladat, tehát többnyire nem lehet beszélni egy-egy létesítmény (erőmű, állomás, távvezeték) automatizálásáról, hanem csak összefüggő hálózatokról és rendszerrészekéről.

A komplex, üzemzavar-elhárító automatika-rendszer logikájának alapkövetelménye a hiba jellege által megszabott lehetőségeken belül a legkisebb fogyasztói kiesésre való törekvés. Helyesen kialakított rendszerben e törekvés a fokozatosság elvén keresztül érvényesül. Az automatikák programja feltételezi, hogy a zavart megelőző üzemállapot, kapcsolási helyzet optimális, ezért működési előjogot kell biztosítani azoknak az automatikáknak, amelyek az eredeti vagy ezzel azonos értékű üzemállapot visszaállítását kísérik meg a kooperációs és fogyasztói üzem folyamatosságának lényeges zavarása nélkül. Ide tartoznak a korábbanismertett gyors-visszakapcsoló automatikák, a kétlépcsős visszakapcsoló automatikák gyorsfokozatai, az egymást helyettesítő transzformátorok belső hiba esetén való gyorsátkapcsolásai stb.

Másodlagos rendszabálynak kell tekinteni a más úton történő ellátás automatikus igénybevételét (pl. alternatív táplálású fogyasztó átkapcsolása tartalékellátásra) mivel feltételezhetően az alapellátás minden szempontból kedvezőbb. A hálózati tartalékátkapcsolásnak például meg kell várnia a gyors-visszakapcsolási kísérlet kimenetelét, és csak sikertelenség esetén kerülhet működésre sor. Ugyanezen ok miatt önműködően vissza kell térni az alapellátásra, ha lehetősége visszaállt. A fokozatosság elve érvényesül a kétlépcsős visszakapcsolásban is, a fogyasztók pillanatnyi üzemfolytonosságát már nem biztosító perc nagyságrendű szünet utáni második visszakapcsolási kísérletben, ami még mindig jobb, mint a tartós kimaradás.

Ugyancsak a fokozatosság elve alapján kell az automatikáknak a nagy egyesített energiarendszerek katasztrofális következményekkel járó stabilitási zavarait megakadályozni. Ez megtehető a rendszer optimális helyen és időben való szétválasztásával, átrendezésével, egyes erőművek teljesítményének hirtelen csökkentésével stb. A teljesítményegyensúly megbomlásakor az automatikáknak kell az új egyensúlyi helyzetet kialakítani — a legkisebb kár elvén — úgy, hogy az ellátást legkönnyebben nélkülözni tudó fogyasztókat átmenetileg kizárják.

Az automatizálás előbbiekben vázolt koncepciójából az is következik, hogy a kiesés minimalizálására alkalmas, összehangolt automatikarendszer egyben az emberi beavatkozást is a legkisebb mértékűre csökkenti, így az üzembiztonsági és gazdasági törekvések azonos irányúak.

## 16 ALÁLLOMÁSI VÉDELMEK

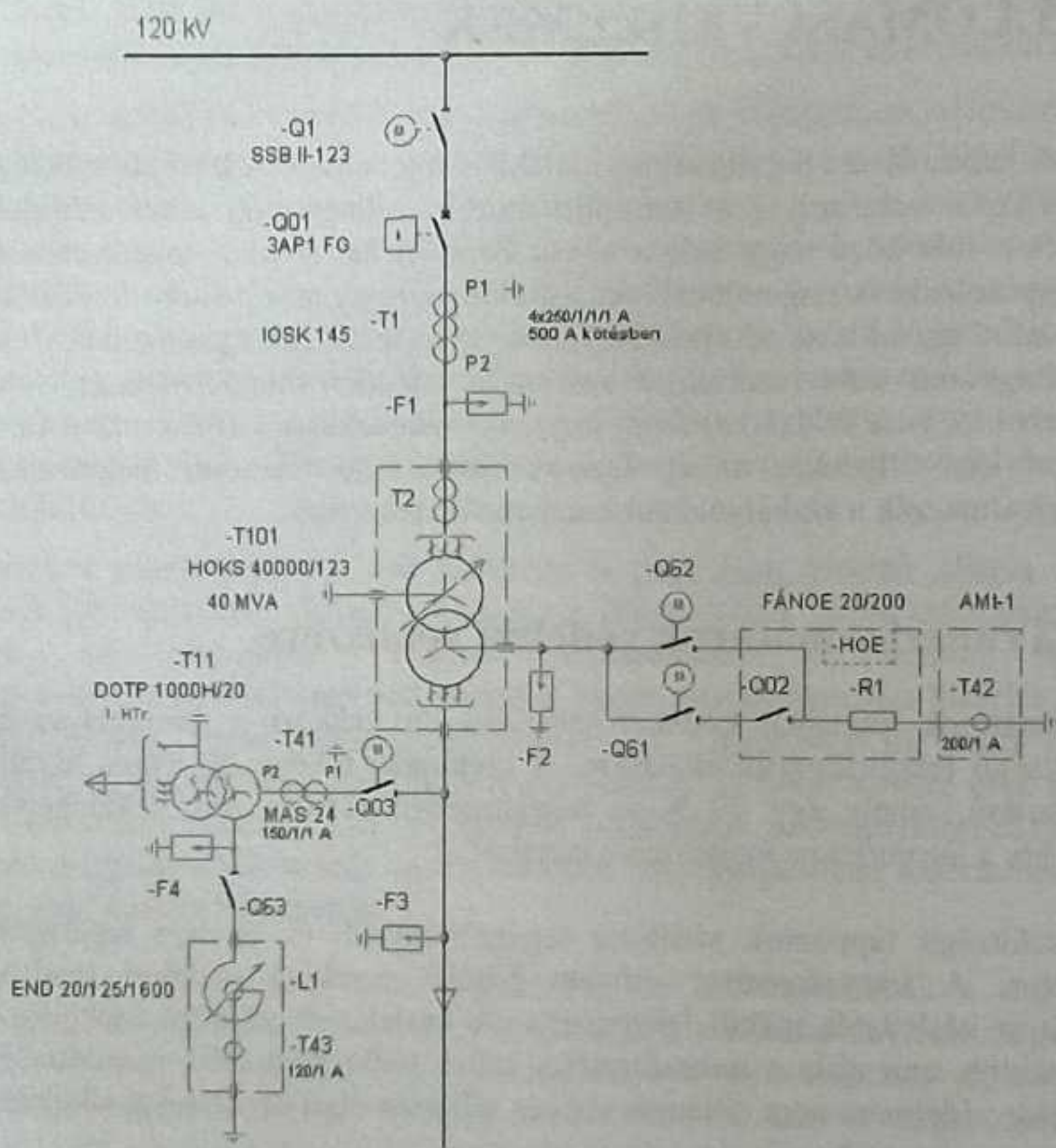
Az állomások kapcsolására a gyűjtősínes kialakítás a jellemző. A középfeszültségű hálózatok szigetelt csillagpontúak, mivel a transzformátorok csillagpontja nincs leföldelve, vagy a csillagpont és a föld közé nagy induktivitású kompenzáló (ívoltó) tekercset, esetleg ohmos ellenállást kapcsolnak. A szigetelt csillagpont előnye, hogy az egyszarkú földzárlat nem jelent földrövidzárlatot, így a kialakuló áram kicsi lesz, ezért nem szükséges azonnali lekapcsolás. A szigetelt csillagpontú szabadvezeteki hálózatok kellemetlen tulajdonsága az ívelő földzárlat. Ez akkor alakul ki, ha a földzárlati áram nagysága meghaladja a 10A értéket, és a zárlat íven keresztül jön létre. Ilyenkor az ép fázisok feszültsége túlzottan megnövekszik. Ennek kivédésére alkalmazzák a szabályozható kompenzáló tekercset.

### 16.1 Transzformátorok védelmi rendszere

A transzformátorok általában kéttekercselésűek, de gyakori a háromtekercselésű is két középfeszültségű feszültség szint ellátására. A szekunder tekercs 20 kV-os feszültség szintnél csillagkapcsolású, amely egy 50 %-os teljesítményű rövidre zárt deltatekercseléssel van kiegészítve így a járomfluxus megelőzése céljából.

A középfeszültségű táppontok sérülésre legérzékenyebb és egyben legdrágább eleme a transzformátor. A transzformátor minden hibáját érzékelő védelmi rendszer a hibás transzformátort késleltetés nélkül lekapcsolja. A késleltetett védelmi működés olyan hibát eredményezhetne, ami akár a transzformátor teljes tönkremenetelét is eredményezhetné. A transzformátor védelmére nem villamos elvű és villamos elvű védelmeket alkalmaznak.

Példának nézünk egy 120/20 kV-os transzformátor, amely 120 kV-on egygyűjtősínes kialakítású kapcsoló berendezéshez csatlakozik. A transzformátorok 120 kV-os csillagpontja mereven földelt, továbbá a 120/20 kV-os transzformátor 20 kV-on egygyűjtősínes kialakítású kapcsoló berendezéshez csatlakozik.



16-1. ábra Transzformátor leágazás

A 16.1. ábrán figyelemmel kísérhetőek a fent taglalt kritériumok. A könnyebb érthetőség kedvéért, a készülékeket tervjelük alapján felsorolás szerűen alább ismertetjük:

- Q1: 120kV-os gyűjtősín szakaszoló
- Q01: 120kV-os gyűjtősín megszakító (transzformátor megszakító)
- T1: 120kV-os primer áramváltó
- F1: 120kV-os primer túlfeszültség korlátozó
- T101: 120/20kV-os transzformátor
- F2: 20kV-os csillagpont túlfeszültség korlátozó
- Q61: FÁNOE szakaszoló
- Q62: FAM szakaszoló
- T42: FÁNOE áramváltó
- Q03: CSPK szakaszoló
- T41: CSPK primer áramváltó
- T11: 20/0,4 kV CSPK (Csillagpontképző) Transzformátor
- F4: CSPK primer oldali túlfeszültség korlátozó
- Q63: Ívöltő mező szakaszolója
- L1: Ívöltő (Petersen) tekercs
- T43: Ívöltő (Petersen) tekercs áramváltója

A 20 kV-os csillagpontképző és ívöltő mező hálózatjába (vagy részlegesen a főtranszformátor csillagpontjába) van telepítve. A csillagpont tisztán kompenzált vagy automatikus váltással hosszúföldelt vagy kompenzált üzemmódban fog üzemelni. Kompenzált üzemmódban szekunderoldalon biztosított lesz a földzárlattartás lehetősége. Továbbiakban a fontosabb védelmi eszközöket lesz szó.

### 16.1.1 Túláramvédelem

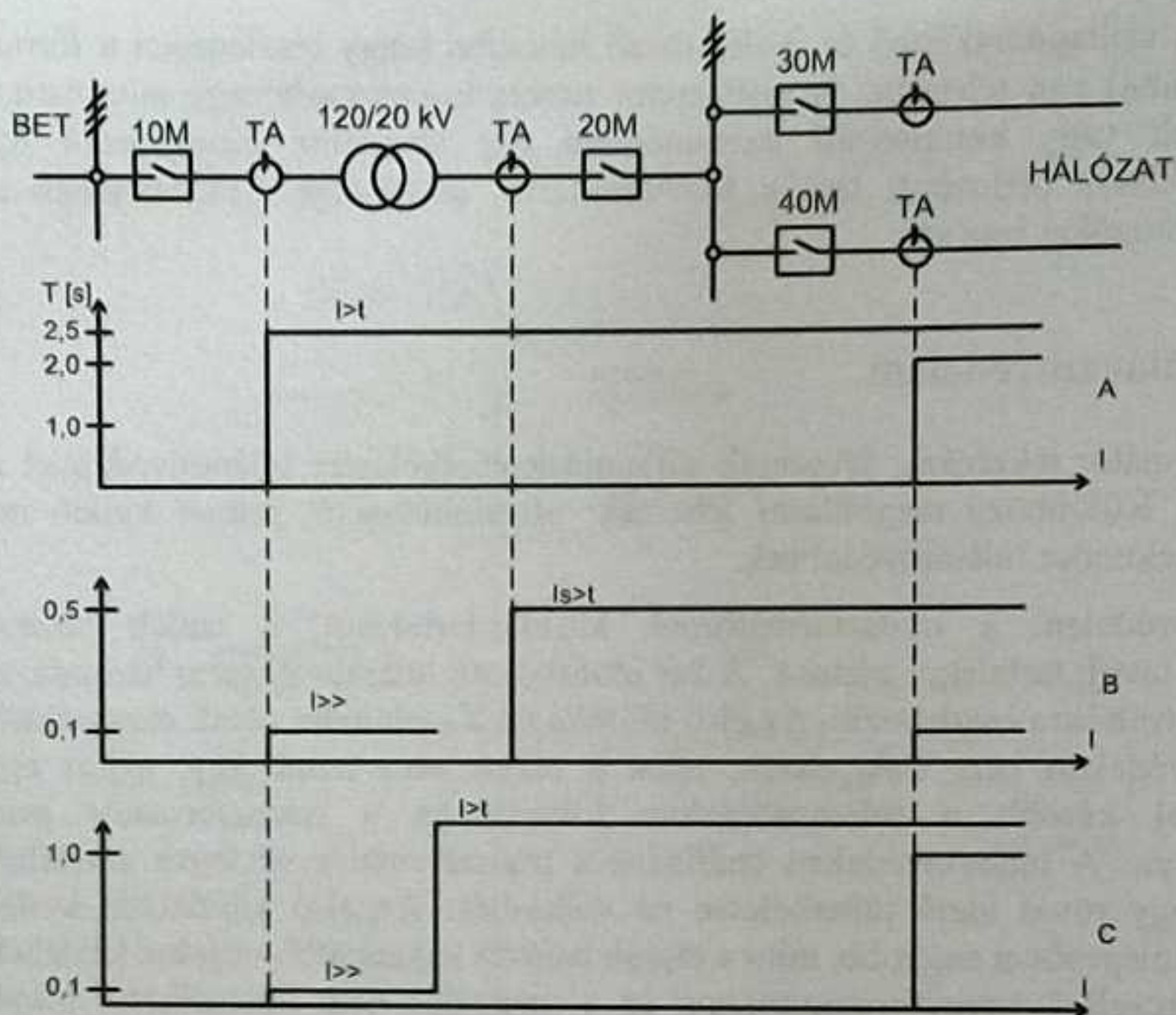
A transzformátor tekercsek, átvezetők zárlatainak érzékelésére túláramvédelmet mindig kell alkalmazni. Különböző megoldásai lehetnek: olvadóbiztosító, primer kioldó megszakítóra szerelve, szekunder túláramvédelmek.

A túláramvédelem a transzformátornak közeli tartalékot, a táplált középvezetési hálózatnak távoli tartalékot biztosít. A két időfokozatú túláramvédelem háromfázisú és a 120 kV-os áramváltókra csatlakozik. Az első időfokozat a szekunder oldali megszakítót kapcsolja ki. Ha a védelem nem esik vissza, tehát a zárlat nem szűnt meg, akkor egy szelektív időlépcsővel később a túláramvédelem kikapcsolja a transzformátor primer oldali megszakítóját. A túláramvédelem beállítása a transzformátor névleges áramának 1,6...2,0-szerese, hogy rövid idejű túlterhelésre ne működjenek. Az első időfokozat késleltetése egy szelektív időlépcsővel nagyobb, mint a táplált hálózat legnagyobb védelmi késleltetése.

Háromtekercselésű transzformátorokhoz ez a megoldás nem használható. Mind a primer, mind a szekunder oldalakon külön-külön kell egy időfokozatú túláramvédelmet alkalmazni.

A kétlépcsős túláramvédelem sugaras hálózat transzformátorainak alapvédelmére szolgál, ahol különbözeti védelmet nem alkalmaznak. Nagyáramú tagja késleltetés nélkül működik a transzformátor zárlataira. Kisáramú, késleltetett működésű tagja a transzformátor minimális szekunder oldali kapocszárlatára is működik.

A transzformátor túláramvédelmek védelmi rendszere – három lehetséges megoldással - az alábbi ábrán látható, ahol a védelmek kioldási idejét a villamos távolság függvényében ábrázoljuk:



16-2. ábra Transzformátor túláramvédelmi rendszere

### 16.1.2 Túlterhelés-védelem

A névleges áramnál nagyobb árammal üzemelő transzformátor tekercseinek szigetelése meghibásodhat, és ennek következtében súlyos zárlatok alakulhatnak ki. Ezért a transzformátor hőmérsékletét ellenőrizni kell. Ez történhet a transzformátor tartályba benyúló hőmérőzsebbe helyezhető higanyos hőmérővel, számlapos érintkezős hőmérővel, vagy ellenállásos távhőmérővel. A veszélyes olajhőmérsékletet önálló érintkezős hőmérő érzékeli, amely segédrelén keresztül kikapcsolja a transzformátor megszakítóit.

Nagyfeszültségű, nagy teljesítményű transzformátoroknál a hőmérsékletérzékelésnek nagy jelentősége van, mert a hűtőmotorok bekapcsolása a hűtés automatikákon keresztül az olaj hőmérsékletétől függ.

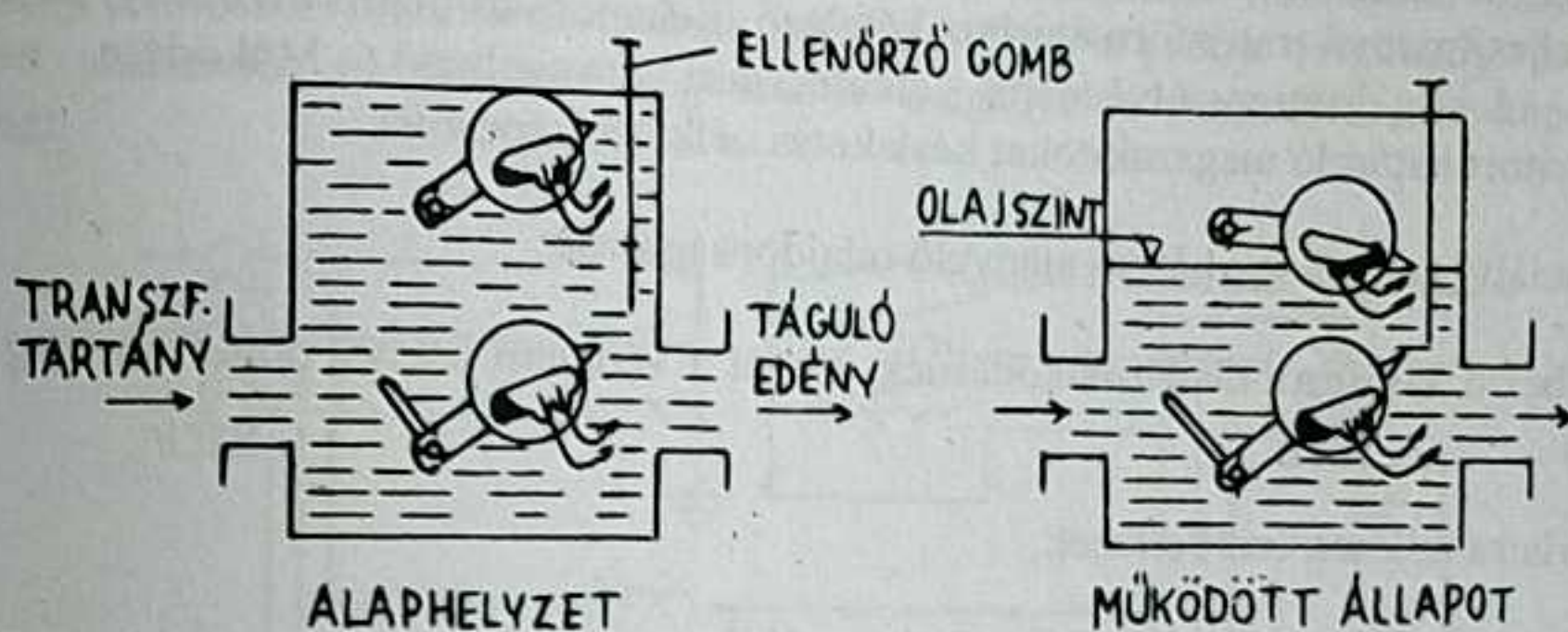
A névlegesnél nagyobb terhelés esetén, vagy a transzformátor hűtésének hibája miatt az olaj hőmérséklete megnő, és ez veszélyezteti a tekercselés szigetelését, csökkenti élettartamát. A transzformátor túlterhelhetősége függ a túlterhelést megelőző hőmérséklettől is. A transzformátor túlterhelésének érzékelésére alkalmazzák a hőmérséklet-védelmet, ami kétfokozatú. Az első fokozat 85 °C-nál jelzést ad, a második fokozat 90 °C-nál kikapcsolja a transzformátort.

### 16.1.3 Gázvédelem

A gázvédelem olajszigetelésű transzformátor tekercsszigetelés sérülése következtében kialakuló zárlatokra működik (fáziszárlat, testzárlat, menetzárlat). A hazai előírások szerint 1 MVA-nál nagyobb teljesítményű olajszigetelésű transzformátoroknál kötelező alkalmazni

Buchholz-relét. Egyszerű szerkezete, olcsósága és hatásossága miatt a 630 kVA-t meghaladó teljesítményű transzformátoroknál minden esetben alkalmazzák. A hálózati transzformátorok mindhárom megszakítót kioldja.

Működését nem villamos jellemzők megváltozása váltja ki, hanem gázképződés és folyadékáramlás. A relé elvi vázlatát a 16.3. ábra mutatja be.



16-3. ábra Buchholz relé

A gázvédelem egy vasedényben helyezkedik el, a transzformátor kazánját a konzervátorral összekötő csővezetékbe iktatnak be. Ennek megfelelően két csőcsatlakozás van. Mivel az olaj szintje a magasabban fekvő konzervátorban van, így a gázrelé edényét normálisan teljesen kitölti az olaj. A relé házán belül két úszó található. A felső úszó a konzervátorhoz menő csőcsatlakozás fölötti harangszerű térben van felerősítve.

A transzformátorban létrejövő villamos hibák íve és melege az olajat vegyileg megbontja, és a fejlődő gázbuborékok felfelé tartó útjuk során a gázrelé felső terében összegyűlnek. A növekvő gáztér fogat a relében lenyomja az olaj szintjét, mígnem az úszó - kikerülve az olajból - megbillen és érintkezőjével segédáramkört zár. Mivel a viszonylag lassú gázképződés csak kisebb hibára (nem rövidzárlatra) utal, ezt az áramkört kezelőszemélyzettel ellátott berendezésekben csak riasztójelzésre használják. Kezeletlen állomásokban azonban a transzformátor megszakítóit kapcsolja ki. A felső úszó akkor is lebillen és zárja érintkezőjét, ha olajszivárgás vagy hideg miatti térfogatcsökkenés hatására az olajsztint leszáll, a konzervátor, s majd a gázrelé tartálya is kiürül.

Ha a transzformátoron belül rövidzárlat lép fel, akkor az olajban hirtelen nagy nyomás keletkezik, amelynek következtében olaj áramlik a kazánból a konzervátor felé. Ennek a heves folyadékáramlásnak az útjában helyezkedik el a gázrelé alsó úszója, ami több konstrukciónál nem is úszónak, hanem billenő lemeznek van kiképezve. A gyors áramlás az úszót (lemezt) azonnal átbillenteti, a záródó érintkező a transzformátor megszakítóit kikapcsolja.

A gázvédelem elvénél fogva teljesíti a szelektivitás követelményeit: csakis a transzformátor belső hibájára működhet. Nem szabad azonban érzékenységét annyira fokozni, hogy külső rövidzárlatok áramának dinamikus hatására a transzformátor tekercseinek rázkódása miatt létrejövő kisebb olajáramlás felesleges működést okozzon.

Az olajáramlás-relét szabályozóval egybeépített transzformátornál alkalmazzák a fokozatkapcsoló védelmére. Működése megegyezik a gázrelé kioldó részével. A relét a

fokozatkapcsoló olajedénye és a tágulási edény közé építik be. Működésekor a Buchholz-relével megegyező funkciókat végez.

#### 16.1.4 Differenciálvédelem

Alkalmazása a hazai előírások szerint (2/2002. (1.23.) BM 3/11 rendelet) 10 MVA-nál nagyobb teljesítményű transzformátorhoz kötelező. Bekapcsolás biztos érzékeny, max. 40 ms működési idejű differenciálvédelem alkalmazása javasolható. Működése esetén a transzformátort határoló megszakítókat késleltetés nélkül kikapcsolja.

A differenciálvédelmeknek három alapvető tulajdonsága van:

- minden belső zárlatra pillanatműködésűek, mivel a védelem határai pontosan meg vannak határozva,
- külső zárlatra teljesen érzéketlenek,

A differenciálvédelem működését zavaró tényezők:

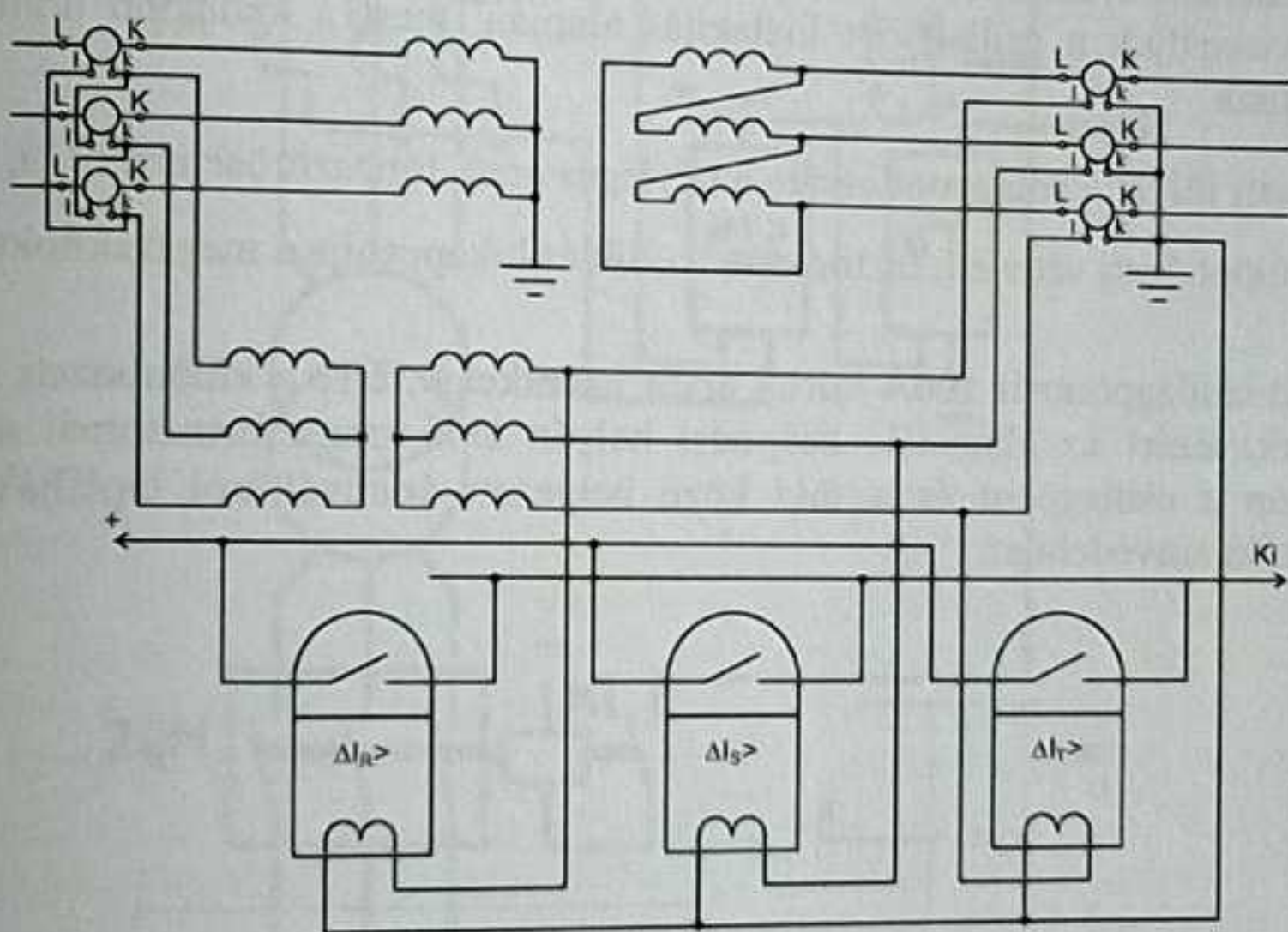
- A lezáró áramváltók nem azonos áttétele,
- A lezáró áramváltók különböző hibája és különböző időállandója,
- A védett elemnél előálló sönt áram, amely üzemszerű állapotban nagy értéket vehet fel. Ilyen a transzformátor bekapcsolási áramlökése,
- Külső hálózati FN zárlatra csak egyik oldal által betáplált zérus sorrendű áram,
- A transzformátor szögforgatása miatt a primer és szekunder áramok közötti szögeltérés,
- A szabályzóval egybeépített transzformátornál a változó áttétel.

A transzformátor bekapcsolási áramlökése hibaáramként jelentkezik minden olyan transzformátor-differenciálvédelemnél, amely a transzformátor minden tekercsét és kivezetését együtt védi. A bekapcsolási áramlökés ilyenkor csak az egyik áramváltón folyik keresztül, azon, amelyik oldalról a bekapcsolás történt. Így a különbözeti áram hibás működést eredményez. Ez ellen több módszerrel is lehet védekezni:

- Galvanikusan összetartozó részekre bontani, és azokra külön differenciál alkalmazni.
- A bekapcsolási áramlökésben levő második harmonikus meghatározott szintjével reteszelné a kioldást.
- A bekapcsolási áramlökés második szubharmonikusával reteszelné a kioldást.
- Az egyenirányított áramjelben bekapcsolási áramlökés esetén minden második félperiódusban kiugró jel jelenik meg, ezzel reteszelné a védelmet.
- A digitális védelmekben Fourier-transzformáció eredményeként ismerik fel a különbséget a bekapcsolási és a zárlati áram között.

A modern transzformátorvédelmeknél a legutóbbi megoldást alkalmazzák. A bekapcsolási áramlökés ugyanis nagymértékben tartalmaz második harmonikust, amely csak ilyenkor fordulhat elő. Ezért a differenciál körben második harmonikus szűrőt helyeznek el.

Transzformátorvédelmek másik problémája a szögforgatás, mivel csak fázisban lévő áramok hasonlíthatók össze. A transzformátorok szögforgatása a csillag-, delta- és zegzugkapcsolások szabványos jelölésben óraértékeket adnak meg úgy, hogy a primer feszültségvektor 12 órát mutat, a szekunder oldali feszültség iránya megadja a transzformátor kapcsolásának óraszámát.



16-4. ábra Transzformátor differenciálvédelem

A szögforgatás kiküszöbölésére két megoldás lehetséges. Az egyik megoldás, hogy a transzformátor differenciálvédelmét szétválasztjuk primer és szekunder oldalra. A másik a transzformátor áramainak visszaforgatása. Lényeges dolog, hogy a transzformátor kapcsolásával ellentétesen kötjük az áramváltókat. A fenti ábrán látható csillag-delta kapcsolású transzformátor két oldalának áramai között a tekercsek menetirányától függően 30 vagy 150 fokos fáziseltérés van. Ezért a csillagoldali áramváltókat deltába, a deltaoldalaikat pedig csillagba kapcsolják. Mivel az áramváltók deltakapcsolása is 30 fok, ill. 150 fok elforgatást eredményez, az így kialakított különbozeti kapcsolás két oldalán azonos fázisáramok folynak hibamentes üzemben, és külső zárlatnál is. A különbozeti relék árammentesek, ha a szekunder áramok nagysága azonos. Ezért a transzformátor két oldalán olyan áttételű áramváltókat kellene alkalmazni, hogy azok ne csak a transzformátor áttételét, hanem az áramváltók deltába kapcsolásával létrejövő  $\sqrt{3}$ -szoros áramnövekedést is kiegyenlítsék. Mivel tetszőleges áttételű áramváltók nem kaphatók, az illesztés különleges áttételű közbenső áramváltó alkalmazását teszi szükségessé.

A közbenső áramváltó áttétele és névleges áramai legegyszerűbben a transzformátor és az áramváltók névleges adataiból határozhatók meg

### 16.1.5 Testzárlatvédelem

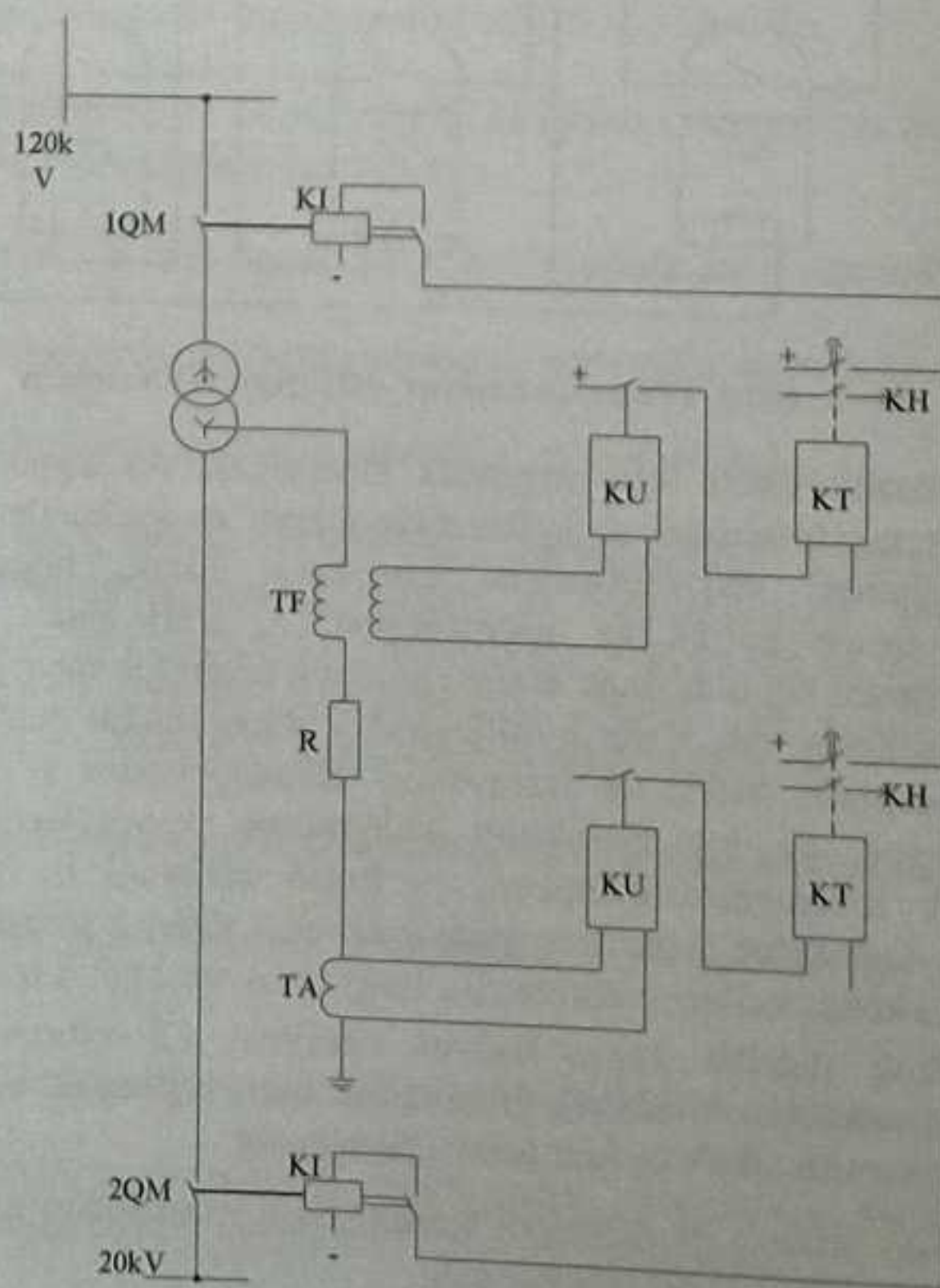
A transzformátor tekercseknek a vastesthez vagy az olajtartályhoz, vagy a fázisvezetők átvezetőinek az olajtartályhoz bekövetkező zárlatát testzárlatnak nevezzük. A kialakuló testzárlati áram nagysága attól függ, hogy a zárlat a tekercselés melyik pontján következett be, és milyen a transzformátor csillagpontjának földelési módja.

A gázvédelem a transzformátor olajban lévő tekercseinek a vastest vagy a tartály felé bekövetkező testzárlataira működik, függetlenül a csillagpont kialakítási módjától.

A továbbiakban az átvezető és a tartály közötti testzárlatot érzékelő és arra működést adó védelmeket vizsgáljuk a csillagpont kialakítás alapján, mert a kialakuló áramok lényeges eltérést mutatnak.

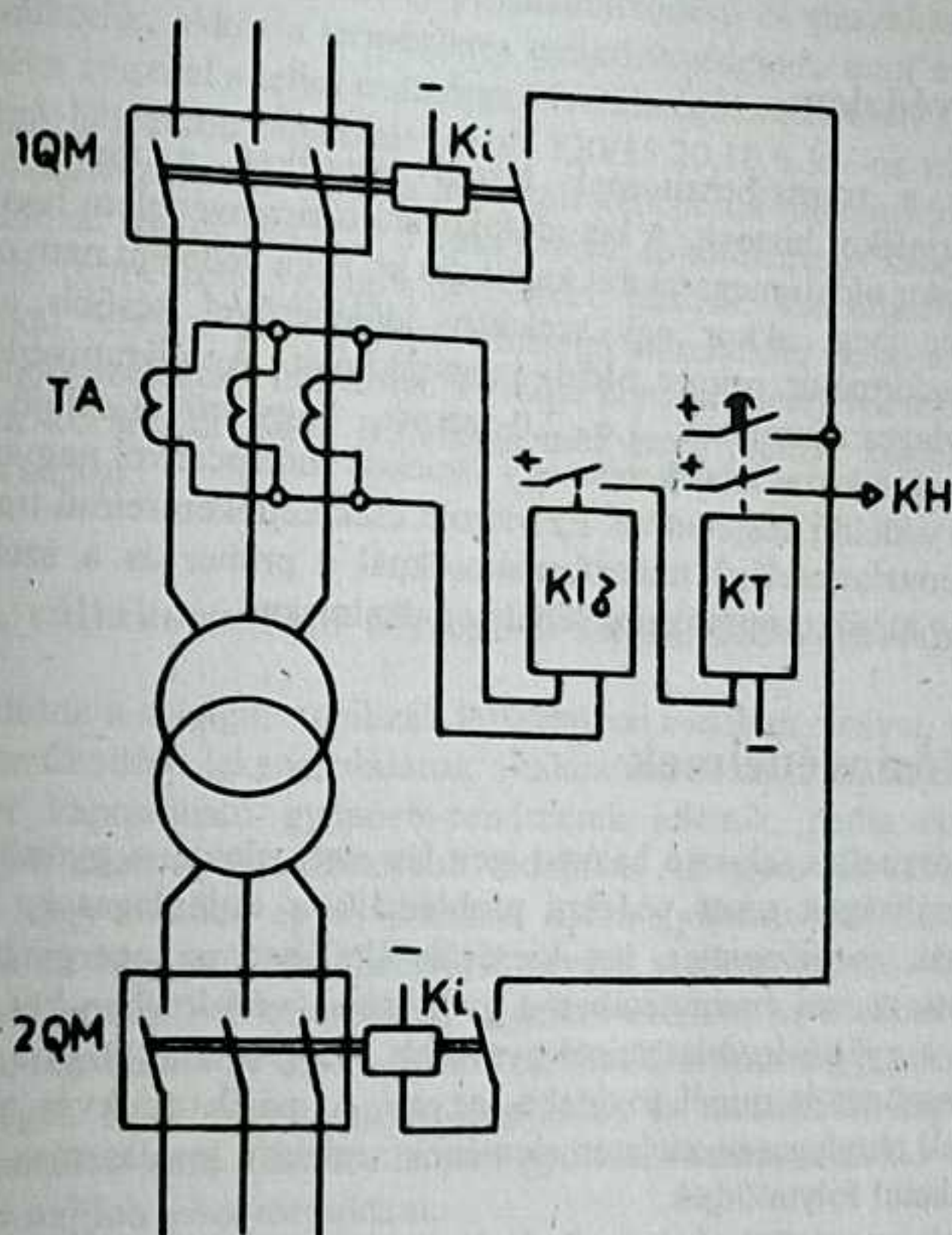
Hatásosan földelt csillagpont esetén a névleges áram többszöröse alakul ki, amire a különböző védelem biztosan működik és kikapcsolja a megszakítókat.

Hosszúföldelt csillagpontnál 100A körüli áram jelentkezik, erre a különböző védelem még nem működik. Ezért az ellenállás beépítési helyén lévő transzformátornál a 16-5. ábrán látható módon a csillagpont és a föld közé helyezett áramváltóról táplálják a független késleltetésű túláramvédelmet.



16-5. ábra Transzformátor földzárlatvédelme

A hálózat többi transzformátoránál a táplálási oldalon kialakított összegző kapcsolásról működik a túláramvédelem a 16-6. ábra szerint. Mindkét esetben kikapcsolja a védelem a megszakítót.



16-6. Transzformátor földzárlatvédelme különbozeti védelemmel

Szigetelt illetve kompenzált csillagpont esetén a kialakuló testzárlati áram a transzformátor névleges áramának törtrésze. Erre a túláramvédelmek sem működnek, ezért a testzárlatkor kialakuló hibafeszültség érzékelésével oldható meg a védelem. A feszültségváltó szekunder oldalán, nyitott háromszögekapsolásba bekötött feszültségnövekedési relé érzékeli az aszimmetrikus feszültségrendszer csillagpont-eltolódását. A kis áramok következtében elég a hibajelzés, amely után a szükséges intézkedések megtehetőek.

### 16.1.5 Zérussorrendű hibaáram kiszűrése

A deltakapsolású tekercsből a zérussorrendű áram nem tud kifolyni. Ezért, ha a transzformátor egyik tekercsoldala Y vagy zeg-zug, a másik pedig deltakapsolású, és a két oldalon elhelyezett áramváltók szekunder köre csillagba van kötve, akkor a védelem különbozetiáramot fog érzéklni, ha a transzformátor Y oldalán zérussorrendű áram is folyik. Ezért az egyik oldali áramváltó szekunder körét a transzformátor másik tekercsoldalának primer kapcsolási csoportja szerint kell bekötni, és ugyanez vonatkozik a másik tekercsoldalra is.

A korszerű transzformátor-differenciálvédelmekben a szög-visszaforgatást a védelmen belül oldják meg. Emiatt a védendő transzformátor két oldalán elhelyezett lezáró áramváltók

szekunder körét csillagba kell kötni, a védelmen pedig be kell állítani a transzformátor kapcsolási elrendezését és szögforgatását.

### 16.1.6 Túláramvédelem

A túláramvédelem a transzformátornak közeli tartalékot, a táplált középfeszültségű hálózatnak távoli tartalékot biztosít. A két időfokozatú túláramvédelem háromfázisú. Az első időfokozat a szekunder oldali megszakítót kapcsolja ki. Ha a védelem nem esik vissza, vagyis a zárlat nem szűnt meg, akkor egy szelektív időlépcsővel később a túláramvédelem kikapcsolja a transzformátor primer oldali megszakítóját. A túláramvédelem beállítása a transzformátor névleges áramának 1,6...2,0-szerese, hogy rövid idejű túlterhelésre ne működjön. Az első időfokozat késleltetése egy szelektív időlépcsővel nagyobb, mint a táplált hálózat legnagyobb védelmi késleltetése. Ez viszont csak kétkerceselésű transzformátoroknál alkalmazható. Háromkerceselésű transzformátoroknál a primer és a szekunder oldalakon külön-külön kell egy időfokozatú túláramvédelmet alkalmazni.

## 16.2 Gyűjtősínvédelmek

A villamosenergia-átviteli és -elosztó hálózat igen lényeges elemei a gyűjtősínek. Különleges helyzetük, koncentráltáguk miatt védelmi problémáik is különlegesek. A gyűjtősínek az energiaszállítási utak csomópontjai, így kiesésük általában az energiaszolgáltatás súlyos megzavarását jelenti. A mai energetikában a gyűjtősínek védelmében két alapvető törekvés dominál. Az egyik a gyűjtősínzárlat minél gyorsabb lekapcsolása, hogy a sérülés és ezzel a javítás miatti üzemszünet is minél rövidebb legyen. A másik törekvés az összetett, tagolt gyűjtősín-rendszerek ténylegesen zárlatos elemének szelektív leválasztása úgy, hogy a többi rész üzeme zavartalanul folytatódjék.

A gyűjtősínzárlatok megszüntetésére alkalmas védelmi módszerek két nagy csoportba oszthatók:

- természetes gyűjtősínvédelem és
- önálló gyűjtősínvédelmek, ezeken belül:
  - váltakozóáram-összegező (különbözeti) és
  - egyenáramú, logikai különbözeti védelmek.

### 16.2.1 Természetes gyűjtősínvédelem

A természetes gyűjtősínvédelem azt jelenti, hogy a gyűjtősínt zárlati árammal tápláló leágazások (vezetékek, generátorok, transzformátorok) saját védelmei a leágazásokat egymástól függetlenül, egyenként kikapcsolják és ezzel a gyűjtősínt, mint csomópontot feszültségmentesítik. Az eddig megismert védelmi alapkapcsolások és alkalmazási módszerek a természetes gyűjtősínvédelem lehetőségeit és tulajdonságait is tartalmazzák. Sugaras szabadvezetési vagy kábelhálózatok időlépcsős túláramvédelme pl. a védett szakasz végéhez csatlakozó gyűjtősínt úgy tekinti, mint saját vezetéke végső pontját és ugyanúgy kapcsolja le, mintha a zárlat magán a vezetéken lenne. Bár a gyorsaság korlátozott, rendszerint 0,5...2,0s ezért egyszerűbb középfeszültségű alállomásokon ezzel sok esetben meg is elégednek, különösen akkor, ha a gyűjtősín egyszeres és nem osztható.

Nagyfeszültségű hurkolt hálózatok erőmű és alállomás csomópontjaiban fellépő rövidzárlatokat a vezetékek túldoldali távolsági védelmének második fokozata, erőmű és kooperációs transzformátorok felől pedig azok egyfokozatú impedanciavédelme kapcsolja le,

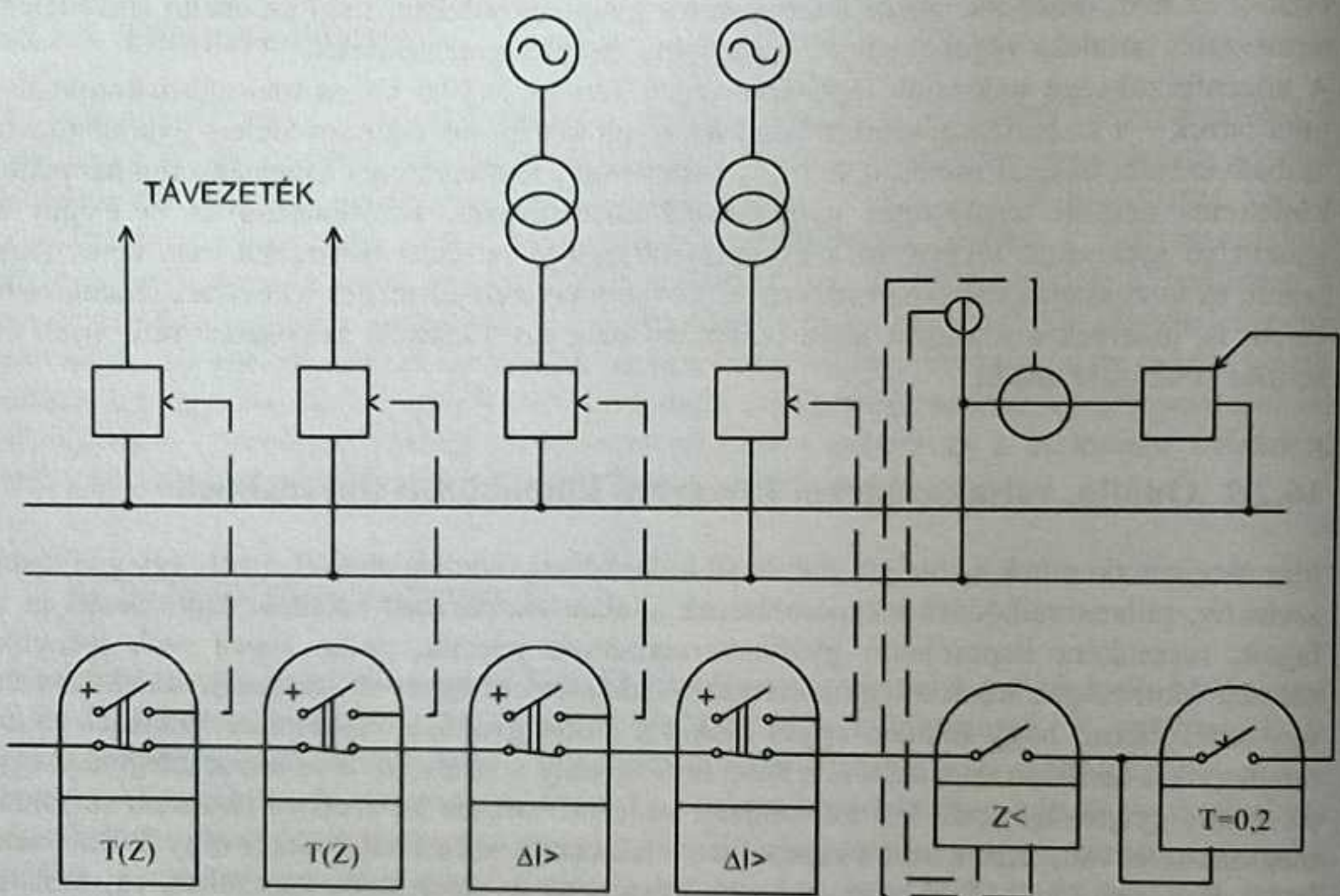
rendszerint 0,5...1,0 s késleltetéssel. Mivel a sínrendszerek többnyire tagoltak, a szelektív sínbontás hiánya is növeli a lassú zárlatoltás hátrányait. Ezért itt a nagyobb költség ellenére önálló gyűjtősínvédelem szokásos, amely pillanatműködésű és sínszakaszra is szelektív. Ha viszont ez nem működik, akkor a természetes gyűjtősínvédelem, mint az önálló sínvédelem természetes tartaléka végzi el a teljes csomópont feszültségmentesítését. A középfeszültségű hálózatok táplálását végző 120/35,20,10,6 kV-os transzformátoroknál - mint láttuk - a középfeszültségű oldalon felszerelt kétlépcsős túláramvédelem gyorsfokozata szabadvezeteki hálózat esetén 0,4...0,5 s késleltetésű, fojtótekerceses kábelhálózatoknál pedig késleltetés nélküli természetes gyűjtősínvédelmet biztosít. Ez általában ki is elégíti a gyakorlati igényeket, kivéve, ha a középfeszültségű sínrendszer hosszában vagy keresztben tagolt, és fontosságaa szelekciót indokolja. További kivételt jelentenek a korszerű fémtokozott cellák is, amelyek korlátozott idejű ívállósága még ezt a csekély késleltetést sem viseli el sérülés kockázata nélkül.

### 16.2.2 Önálló, váltakozóáram-összegező különbözőzeti sínvédelmek

Már megismerkedtünk a sokágú, stabilizált különbözőzeti védelem elvével, amely egy gyűjtősín szelektív, pillanatműködésű lekapcsolásának általánosan használt eszköze. A problémát itt a tagolt, részenként kapcsolható gyűjtősín-rendszerek jelentik, pedig éppen ezek igénylik kiemelt fontosságuk miatt a legtökéletesebb védelmet. Az egyes sínszakaszok szelektivitását úgy lehet elérni, hogy minden egyes szakaszt külön gyűjtősínvédelemmel látunk el, tehát mindegyikre önállóan végezzük el a Kirchhoff törvény szerinti vektoros áramösszegezést. Így pl. kettős gyűjtősín esetén két különbözőzeti védelem van, de ha ezekben hosszanti sínbontó megszakító is van, tehát a külön kapcsolható sínszekciók száma négy, akkor négy különbözőzeti védelem is szükséges. Csakhogy az egyes leágazások és sínszekciók kapcsolata, egymáshoz rendeltsége az üzemben nem állandó, hanem gyűjtősín-szakaszolókkal változtatható. Ezt a nehézséget kétféle módon lehet megoldani.

Az általános, de bonyolultabb rendszer az üzemállapot automatikus leképezése a szakaszoló segédérintkezői segítségével. Ez azt jelenti, hogy valamely sínszakasz különbözőzeti védelméhez összegezés és fékezés céljából azoknak a leágazásoknak az áramait vezetjük, amelyek a primer kapcsolásban is éppen oda csatlakoznak és a különbözőzeti védelem amelyek a primer kapcsolásban is éppen oda csatlakoznak és a különbözőzeti védelem kioldóvezetékét is ezekhez a leágazásokhoz csatlakoztatják a segédérintkezők. Az áramváltók szekunder köreinek terhelés alatti átkapcsolása sok hibaforrást rejt magában, ami e módszer nem kis hátránya. A korszerű, több sínszekcióra alkalmas, automatikus üzemállapot- nem kis hátránya. A korszerű, több sínszekcióra alkalmas, automatikus üzemállapot- leképzéssel működő gyűjtősín különbözőzeti védelmek ezt a nehézséget úgy hidalják át, hogy a védelem nem az áramváltók szekunder áramát kapja, hanem közbenső áramváltókkal egy harmadlagos, tercier rendszert képeznek. Ezeknek a közbenső áramváltóknak többféle, hasznos szerepük van. Az egyik az, hogy a három fázisáramból egyetlen, egyfázisú áramot állítanak elő, tehát ún. 3/1 fázisú áramváltók. A három fázisnak azonban nem lehet azonos az áttétele, hiszen pl. két- és háromfázisú zárlat vektoros összege nulla lenne. Gyakori az IR + 2Is + 3IT aszimmetrikus leképezés, amely bármilyen zár-latfajtánál használható, egyfázisú tercier áramot ad. Az egyfázisú tercier áram nagysága kicsiny, így annak a szakaszoló segédérintkezőiről vezérelt finom másoló segédreléssel történő átkapcsolásai megbízhatóan végezhető. A különbözőzeti védelem egyfázisú kialakítása egyszerűbb és üzembiztosabb. További szerepe a közbenső áramváltónak, hogy áttétele megfelelő megválasztásával eltérő névleges primer áramú áramváltóval rendelkező leágazások is összegezhettek.

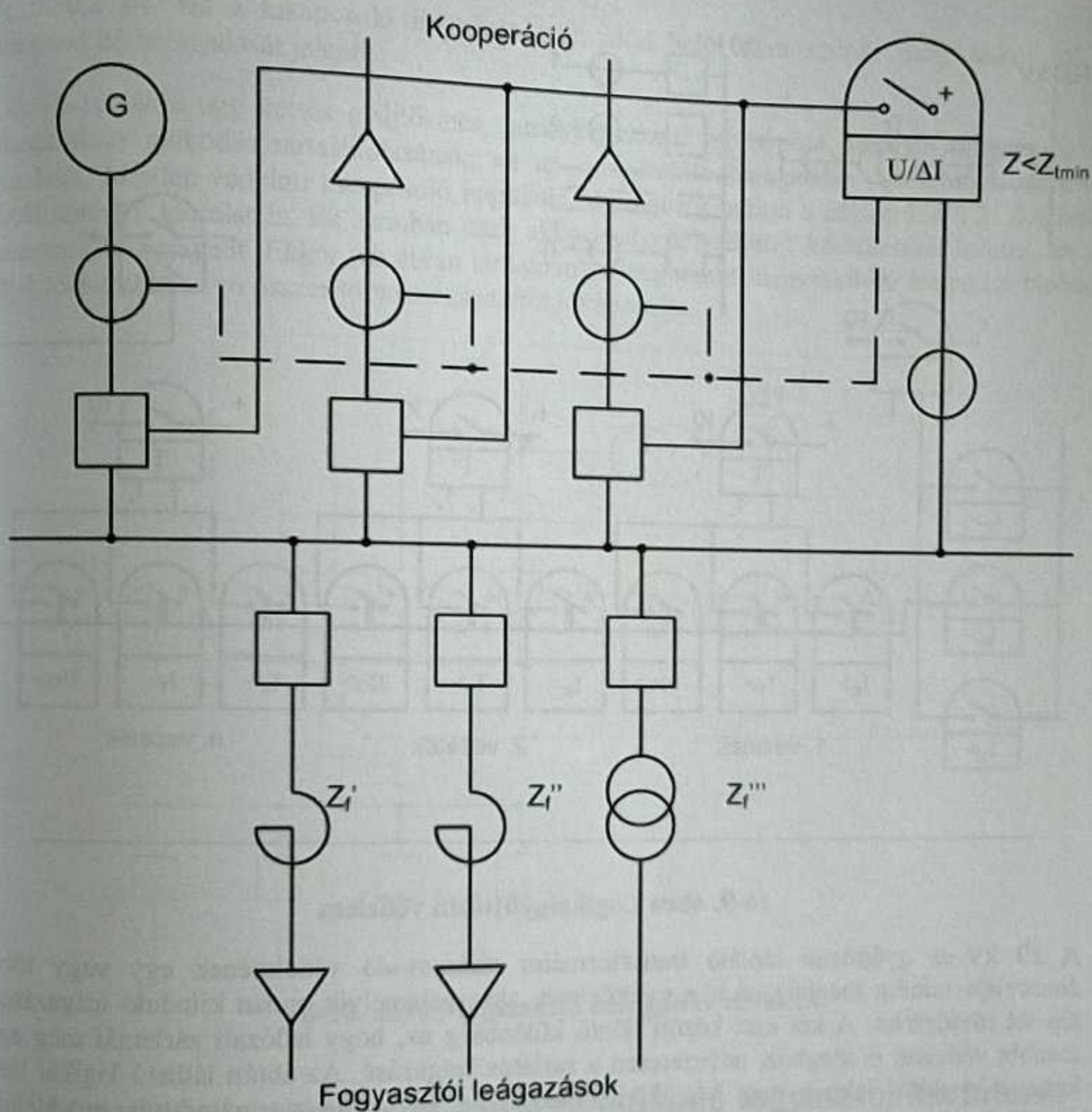
Kettős gyűjtősínek sáncenként szelektív védelmére sokkal olcsóbb, egyszerűbb, de korlátozottan alkalmazható megoldás az ún. kötött diszpozíciójú különbözeti védelem. Egyfázisú vázlatát a 16-7. ábra tünteti fel.



16-7. ábra Kötött diszpozíciójú különbözeti védelem

Az egyes leágazások és a két gyűjtősín legcélszerűbb kapcsolatát már az állomás tervezésekor meghatározzák és a két gyűjtősín különbözeti védelmét ennek megfelelően, átkapcsolási lehetőség nélkül építik be. Nem lehet azonban teljesen kizárni, hogy néha, rövid időre, valamilyen okból egy leágazást a másik síncs szakaszoljanak át. Mivel ezt nem követi a különbözeti kapcsolás módosítása, mindkét sín összegezése hamis lesz, és pl. közeli hálózati zárlatra is mindkét sín lekapcsolódna. Ezért az ábrán látható módon a két sín különbözeti védelmét a középső áramrelén keresztül összekötik, amely az áramösszegezést a két síncs együtt, tehát a teljes csomópontra végzi. Így számára a leágazások cseréje közömbös, ezért külső hálózati zárlatokra nem működhet. A központi összegező relé adja ki a sáncenkénti védelmeknek a működtető egyenáramot. Végeredményben szabályos üzemmód esetén gyűjtősínzárlatnál a központi és a zárlatos síncs tartozó különbözeti relé húz meg és csak a zárlatos síncs kapcsolja ki. Szabálytalan üzemmódban fellépő sínzárlatnál a szelektációs képesség elvész, mindkét sín kikapcsolódik.

Ipari erőműveknél és nagy ipartelepek központi alállomásainál, ahol a koncentrált impedanciájú (fojtótekerceses, transzformátoros) fogyasztói leágazások száma viszonylag nagy, az áramváltók áttétele pedig különböző, a hiányos különbözeti kapcsolás alkalmazható. Elvét az 16-8. ábra tünteti fel.

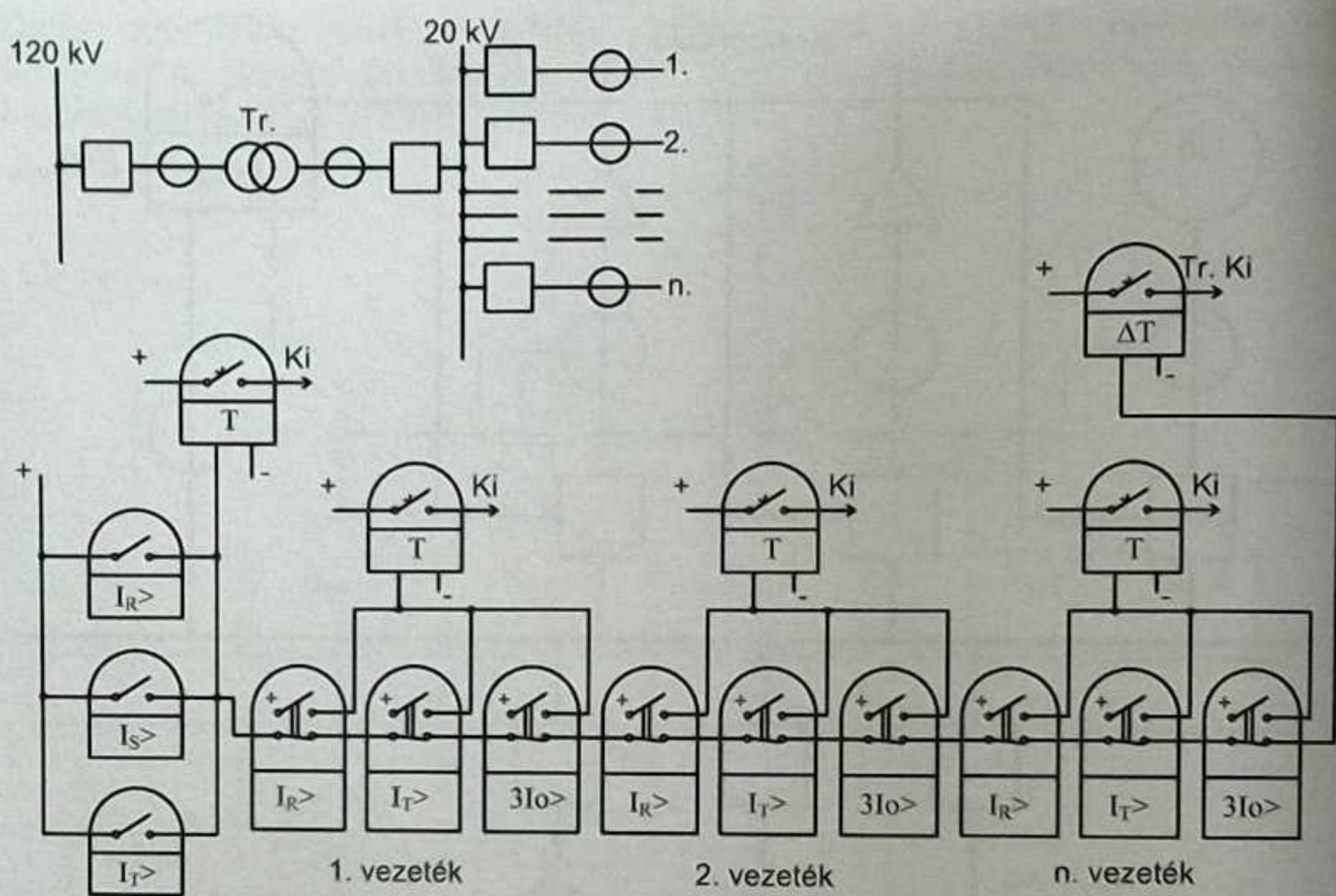


16-8. ábra Hiányos különbözeti kapcsolás

Az áramösszegezésbe csak a zárlati áramot szolgáltató leágazásokat (generátort, kooperációs vezetéket, vagy kábelt) vonják be, és a különbözeti áramot impedanciarelébe vezetik, amely feszültségét a gyűjtősínről kapja. Az összegezésből kihagyott leágazások zárlati árama mint hibaáram jelentkezik. A különbözeti impedanciarelé beállítása azonban a gyűjtősínt körülvevő koncentrált impedanciák legkisebbikénél is kisebb, ezért azokon túl fellépő zárlatra működni nem tud.

### 16.2.3 Egyenáramú, logikai különbözeti védelmek

Sugaras hálózatokon a hagyományos, váltakozó áramú összegezésen alapuló különbözeti védelem helyett sok esetben célszerűbb a túláramrelék érintkezőinek helyzetéből következtetni a gyűjtősín zárlatra. Az 16.9. ábrán jellegzetes példa mutatja be az elvet.



16-9. ábra Logikaigyűjtősín védelem

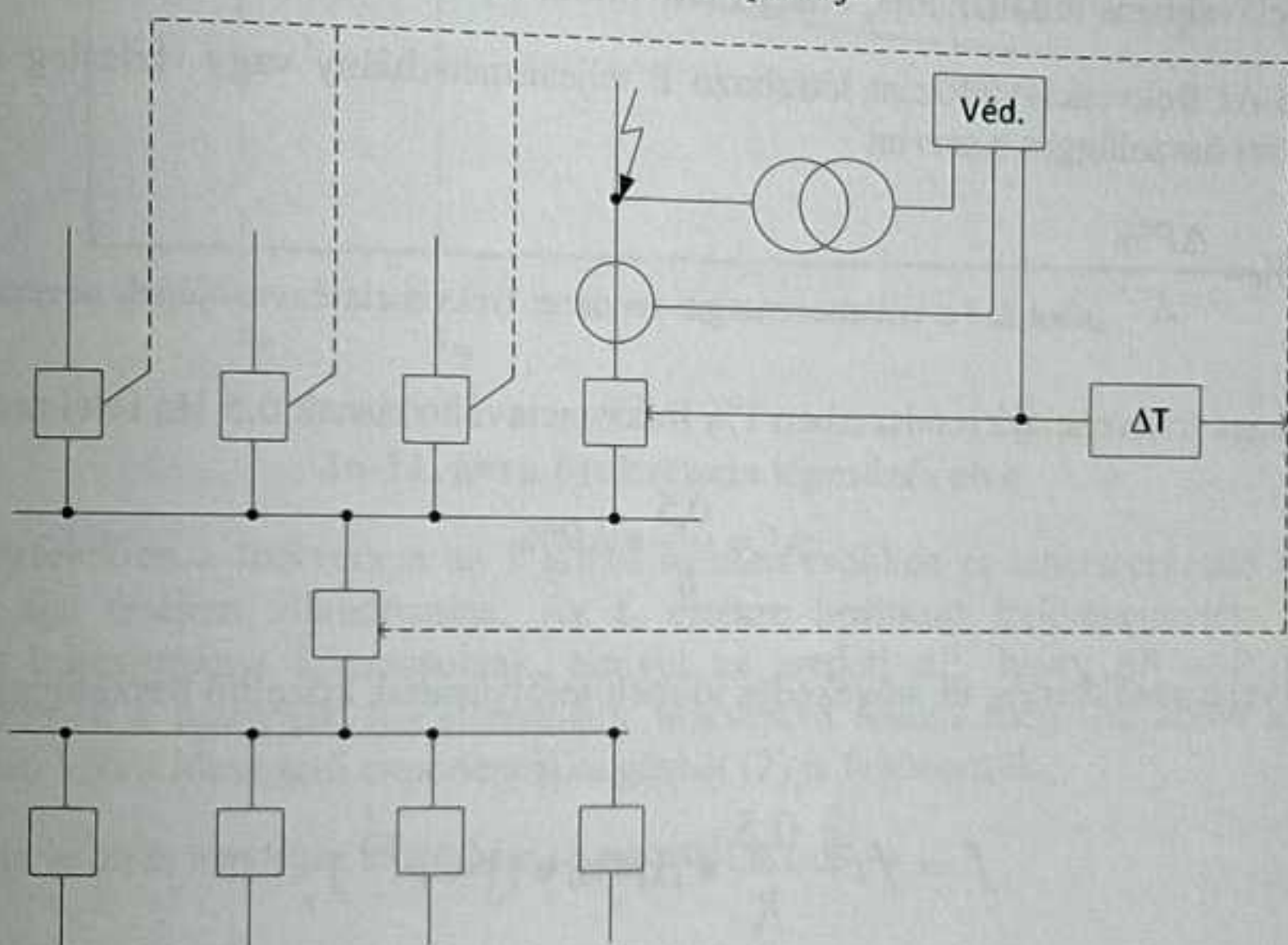
A 20 kV-os gyűjtősín tápláló transzformátor túláram-idő védelmének egy vagy több áramreléje mindig meghúz, akár a gyűjtősínen, akár valamelyik onnan kiinduló leágazáson lép fel rövidzárlat. A két eset között döntő különbség az, hogy hálózati zárlatnál még egy további védelem is meghúz, nevezetesen a zárlatos leágazásé. Az ábrán látható logikai lánc kimenetén akkor jelenik meg a működtetőfeszültség, ha a transzformátor túláramvédelme ébredt és ugyanakkor egyetlen elmenő leágazásban sincs zárlati áram. Ez a gyűjtősínzárlat elegendő kritériuma. A lánc végén lévő, kb. 50...100 ms késleltetés arra szolgál, hogy külső zárlat lekapcsolása után, ha a vonal és a transzformátor túláramreléje nem pontosan egyidejűleg esik vissza, és van olyan időpillanat, amikor a lánc hamisan zár, ez ne okozzon hibás működést. A magyar energiarendszerben a középfeszültségű tokozott cellák fokozott védelmére ezt a kapcsolást egységesen alkalmazzák. Célszerűen felhasználható azonban ipartelepi hálózatok belső állomásain is, továbbá transzformátorok különbözőzeti védelmére, valamint rövid vezeték vagy kábel két végén lévő túláram relék segédkábeles összekötésével váltakozóáramú szakaszvédelem helyettesítésére. Hurkolt hálózaton azonban nem használható.

### 16.3 Megszakító beragadási védelem

A megszakító beragadásának tényét egyszerűen lehet érzékelni. Szabályos védelmi működésnél ugyanis a megszakító kikapcsolásával a zárlat megszűnik, a védelem nyugalmi helyzetbe tér vissza, és így a megszakító kikapcsoló-tekerésére ható kioldóimpulzus is eltűnik. A megszakító kikapcsolási önideje és a védelem visszaesése együttesen nem haladja meg a

0,15...0,2 s-t. Ha a kikapcsoló impulzus ezen időn belül nem szűnik meg, akkor ez a megszakító beragadását jelenti.

Az 16-10. ábra egy kettős gyűjtősínes, hurkolt hálózati csomópont példáján mutatja be a megszakító működés tartalékolásának, az ún. megszakító beragadási védelemnek az elvi vázlatát. Minden védelmi kikapsoló impulzus egyidejűleg indítja a célszerűen 0,3...0,4 s-ra beállított  $\Delta T$  időrelét is. Ez azonban csak akkor tudja a beállított késleltetését lefutni, ha a megszakító beragadt. Ekkor (az ábrán láthatóan) a megbénult megszakítójú leágazást tápláló gyűjtősínt körülvevő összes többi megszakítót kikapcsolja.



16-10. ábra Megszakító beragadás védelem

## 16.4 A frekvencia csökkenésére működő fogyasztói korlátozás

A teljesítményegyensúly e módszer szerinti helyreállításának eszközei az egyes fogyasztói leágazásokban felszerelt frekvenciacsökkenési relék. Decentralizáltan és az energiarendszerek területén lehetőleg arányosan helyezik el őket, számítva a rendszer egyes részeinek különválására is. A relék megszólalási értékének, valamint a működési késleltetésének megválasztása olyan tehercsökkentési fokozatok kialakítását teszi lehetővé, amelyek a gyors frekvenciacsökkenés lelassítását, a korlátozás ténylegesen szükséges mértékét és a frekvenciának névleges vagy azt megközelítő értékre való visszaállítását biztosítják. A frekvencia csökkenésével a viszonylagos teljesítményhiány is csökken, a frekvencia új, állandósult értékét közelítőleg exponenciális időfüggvény szerint éri el. Ha a rendszer  $f_1$  frekvenciája a teljesítményegyensúly megbomlása miatt  $f_2$  állandósult értékre változik, a frekvencia átmeneti értékei frekvenciacsökkenés esetén:

$$f = f_1 - \Delta f (1 - e^{-\frac{t}{T}})$$

míg frekvencianövekedés esetén

$$f = f_1 + \Delta f (1 - e^{-\frac{t}{T}})$$

összefüggésből állapíthatók meg, ahol

$$\Delta f = f_2 - f_1 \text{ illetve } \Delta f = f_1 - f_2$$

T a frekvenciaváltozás időállandója, rendszerint 10...20 s közötti érték.

Mint ahogy a  $\Delta f$  frekvenciaváltozást létrehozó P teljesítményhiány vagy -felesleg százalékos értékei közötti összefüggés a szerint

$$\Delta f \% = \frac{\Delta P \%}{K}, \text{ ahol K-t a villamosenergia-rendszer frekvenciatényezőjének nevezzük}$$

50 Hz névleges frekvenciájú rendszerben 1% frekvenciaváltozásnak 0,5 Hz felel meg, tehát

$$\Delta f = \frac{0,5}{K} \cdot \Delta P \%$$

ezért a frekvenciacsökkenés, ill. növekedés időbeli lefolyásának közelítő összefüggése:

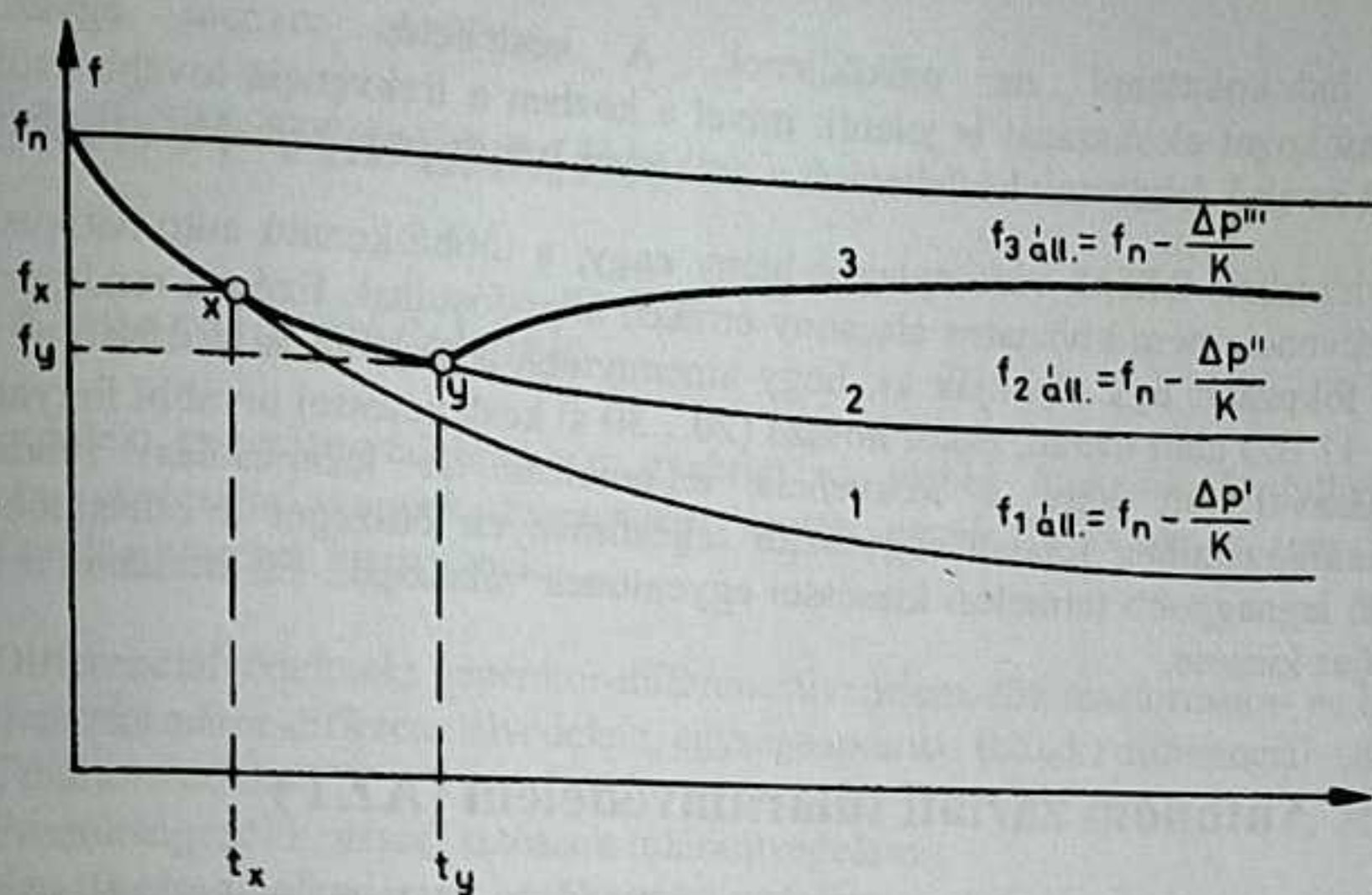
$$f = f_1 - \frac{0,5}{K} \cdot \Delta P \% \cdot (1 - e^{-\frac{t}{T}}),$$

ill.

$$f = f_1 + \frac{0,5}{K} \cdot \Delta P \% \cdot (1 - e^{-\frac{t}{T}})$$

Többfokozatú tehermentesítő rendszer kialakítására két módszer van: a frekvencialépcsős és az időlépcsős rendszer.

A frekvencialépcsőzés elvét és működését a 16-11. ábra szemlélteti. Az  $f_n$  névleges frekvenciával üzemelő rendszerben  $\Delta P'$  nagyságú teljesítményhiány lép fel.



16-11. ábra Frekvencia lépcsőzés elve

Ennek megfelelően a frekvencia az 1 görbe mentén csökken és tehermentesítő beavatkozás nélkül az  $f_{\text{áll}}$  értéken állandósulna. Az  $f_x$  értékre beállított frekvenciarelék azonban  $P_x$  fogyasztói teljesítményt kikapcsolnak, amivel az eredeti  $\Delta P'$  hiány  $\Delta P'' = \Delta P' - P_x$  értékűre csökken. Ennek a hiánynak  $f_{2\text{áll}}$  állandósult frekvencia felel meg. Az ábrán a frekvencia névleges értékéből idevezető exponenciális görbét (2) is feltüntettük.

A frekvencia lefolyás tényleges időgörbéje az x ponttól kezdve az

$$f = f_x - (f_x - f_{2\text{áll}}) \cdot \left(1 - e^{-\frac{t-t_x}{T}}\right)$$

összefüggés szerint közeledik  $f_{2\text{áll}}$  felé. Ha azonban közben az  $f_y$  frekvenciára megszólaló relék további  $P_y$  teljesítményt kikapcsolnak, akkor a frekvencia végül is  $f_{3\text{áll}}$  értéken állandósul, ami a végső  $\Delta P''' = \Delta P' - (P_x + P_y)$  hiánynak felel meg. Az ábra olyan helyzetet mutat, amikor  $P_y$  teljesítmény lekapcsolása után a frekvencia már nem csökken tovább, hanem az

$$f = f_y + (f_{3\text{áll}} - f_y) \left(1 - e^{-\frac{t-t_y}{T}}\right)$$

függvény szerint emelkedik. Végeredményben a frekvenciától függő automatikus tehermentesítés révén a frekvencia a nem kívánatos  $f_{\text{áll}}$  helyett a tartósan elviselhető  $f_{3\text{áll}}$  értéken stabilizálódik, de  $P_x$  és  $P_y$  fogyasztás ellátatlan.

A 16-11. ábrából könnyen belátható, hogy a frekvenciagörbe legmélyebb pontja ( $f_y$ ) és az állandósult frekvencia ( $f_{3\text{áll}}$ ) közötti különbség annál kisebb, minél több és egyúttal  $f_{\text{ino-mabb}}$  fokozatból van kialakítva a tehermentesítő rendszer. Önállóan üzemelő energiarendszerekben többnyire 4...7 fokozatot alakítanak ki 0,5 Hz lépcsőzéssel. Az első fokozat megszólalását rendszerint 48,5...49,0 Hz-re választják. Valamennyi fokozatot legalább 0,3...0,5 s-mal késleltetik, hogy a frekvenciarelék a tápláló feszültség hirtelen (pl. zárlati) változásainak

hatására indokolatlanul ne működjenek. A késleltetés viszont egyszersmind a frekvenciafokozat elcsúszását is jelenti, mivel e közben a frekvencia tovább csökken. Ezért különösen az első fokozatok késleltetését a szükséges minimumra célszerű választani.

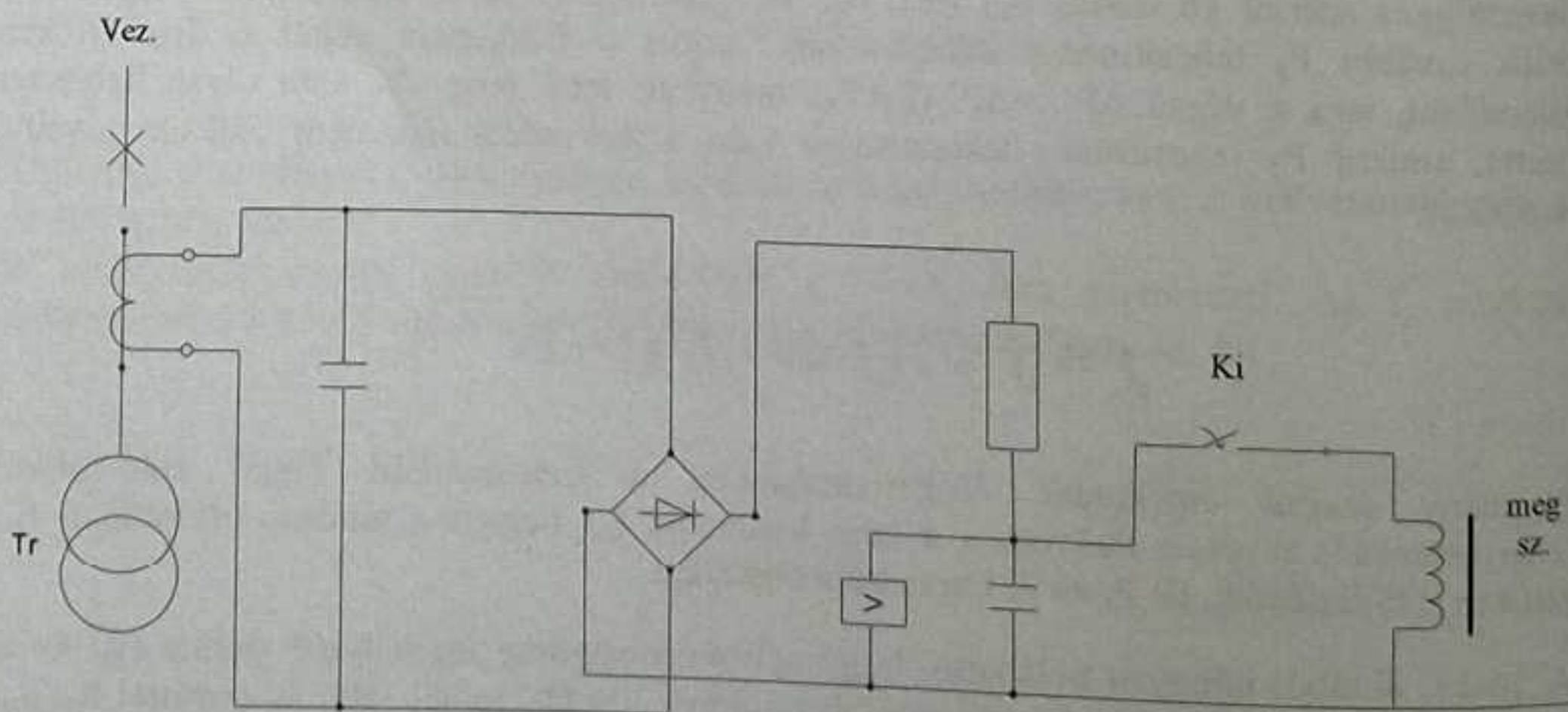
Ha a rendszerben fellépő viszonylagos hiány nagy, a többfokozatú automatikus korlátozás után a frekvencia nem kívánatos alacsony értéken állandósulhat. Ezért a rendszer utolsó egy vagy két fokozatát úgy alakítják ki, hogy amennyiben a frekvencia tartósan az elviselhető határ (pl. 47 Hz) alatt marad, akkor hosszú (20...30 s) késleltetéssel további fogyasztói terület lekapcsolásával jön létre a frekvencia fel-emelése. A lekapcsolási rendszer egyes frekvenciafokozataihoz rendelt fogyasztói teljesítmények összegét a csúcsidőben reálisan előforduló legnagyobb termelési kieséssel egyenlőnek választják. Ez általában a legnagyobb erőmű teljes kiesése.

### 16.5 Autonóm zárlati túláramvédelem (AZT)

Az egyenáramú segédüzem hibája esetén a szekunder védelmek működésképtelenek. Ilyen esetben az autonóm zárlati túláramvédelem feladata a katasztrofális zárlati pusztítás elkerülése. Árambeállítása olyan, hogy érzékeli a transzformátor legkisebb szekunder oldali zárlati áramát. A késleltetés áramfüggő. Beállítását úgy kell megválasztani, hogy ne ütközzön a túláramvédelem késleltetésével.

A védelem külön segédenergia nélkül képes megszólalás esetén a zárlati áram energiáját felhasználva a kioldást kiváltani. A relé bemeneti egységét egy áram-feszültség átalakító transzformátor képezi, amely a szekunder tekercsére kapcsolt kondenzátorral ferreorezonáns feszültségstabilizáló kört alkot. A párhuzamos ferreorezonáns kör karakterisztikája ugrásszerű változást mutat a rezonanciahelyeknél. Ezzel egy határozott megszólalási szintet lehet beállítani.

A ferreorezonáns körök feszültsége egyenirányításra kerül, amely egy kondenzátort tölt fel. A megfelelő Reed-relé megszólalása esetén az adott érintkező a feltöltött kondenzátor energiáját a megszakító kioldótekercseire sűti, és a megszakító kiold.



16-12. ábra AZT védelem felépítése

## 17 ERŐMŰVI VÉDELMEK

### 17.1 Generátor védelmek

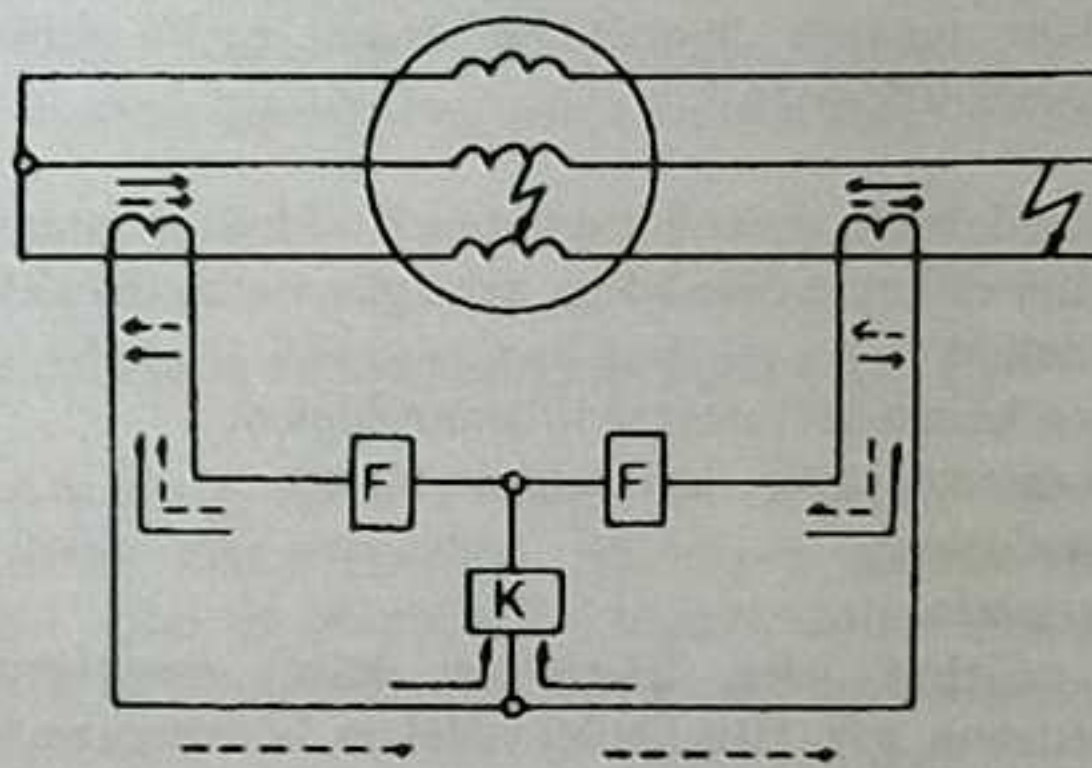
A komplex generátorvédelmekben gyakran az alábbi funkciók fordulhatnak elő. Természetesen speciális igények felmerülése esetén egyéb funkciók is megvalósításra kerülnek, illetőleg egyesek hiányoznak.

- Differenciálvédelmek: generátor-differenciálvédelem, főtranszformátor- és háziüzemi transzformátor-differenciálvédelem, egységkapcsolás (blokk) differenciálvédelme.
- Túláramvédelem.
- Feszültségcsökkenéssel reteszelt túláramvédelem.
- Feszültség-emelkedési és –csökkenési védelem.
- Impedanciavédelem.
- Túlterhelés-jelzés.
- Beérkező védelmi jelek lekezelése (külső megszakító-beragadási védelem, gyűjtősínvédelem, gáz- [Buchholz] védelem, hőmérséklet-érzékelők, stb.).
- Generátor gerjesztés-kimaradási védelme.
- Generátor visszteljesítmény-védelem (visszwatt-védelem).
- Frekvencia-növekedési és –csökkenési védelem.
- Menetzárlatvédelem.
- Negatív sorrendű védelem.
- Generátor állórész-testzárlatvédelem.
  - 50 Hz-es
  - harmadik harmonikus érzékelésű
- Generátor forgórész-testzárlatvédelem.
  - nem földelt forgórészhez
  - középen földelt forgórészhez
- Kioldóáramkör-ellenőrzés.
- Generátor gyorsrágerjesztő automatika.
- Generátor-szinkronozó automatika.

## 17.2 Generátor-funkciók részletes leírása.

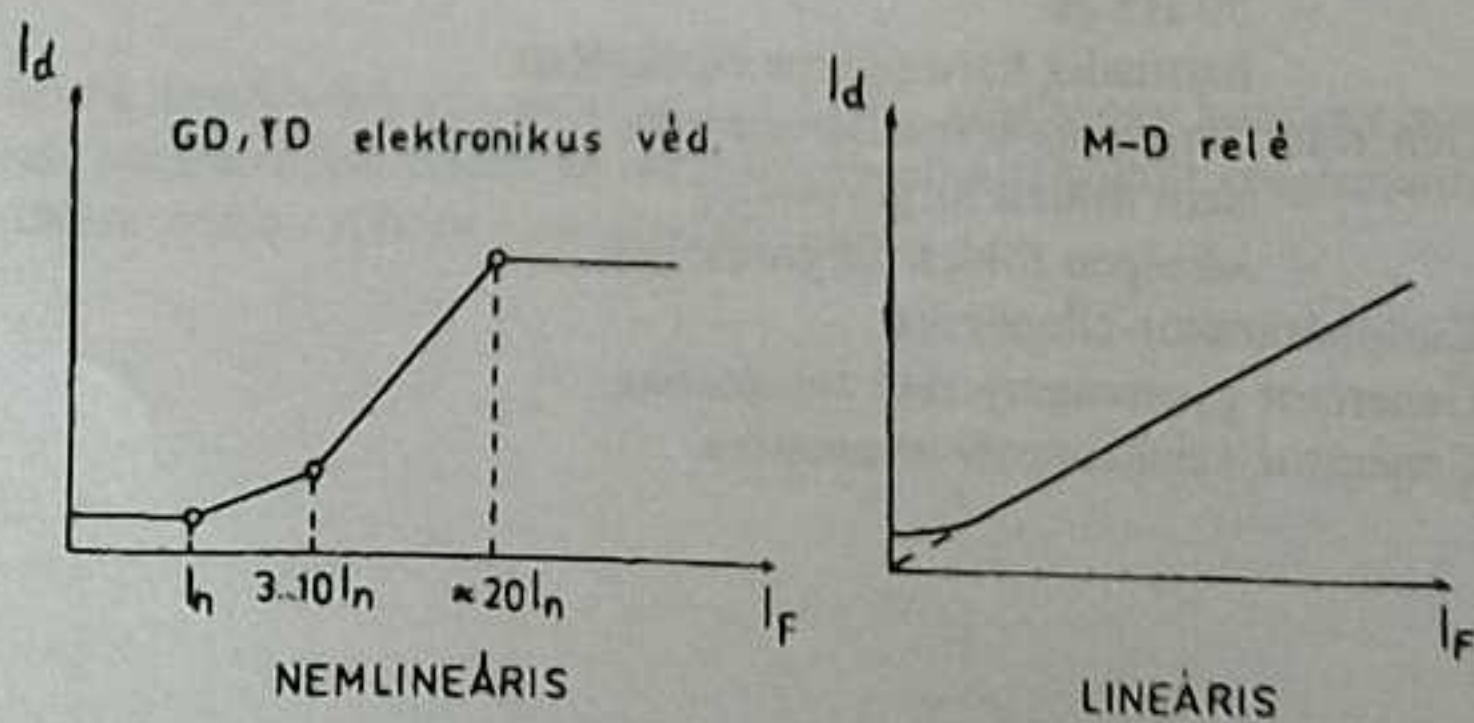
### 17.2.1 Differenciálvédelmek

A védelemnek nemlineáris fékezésű, jellemzően több-töréspontú karakterisztikája van, amely tetszőlegesen állítható. Működési időkből elvárás a kb. 20...25 ms, a nagyáramú differenciáláram-fokozat működésekor kb. 10...15 ms.



17-1. ábra Generátor differenciálvédelme

A transzformátor-differenciálvédelem (illetve a blokk-differenciálvédelem) ma már nem igényel külső illesztő/forgató közbenső áramváltókat, a szükséges fázisforgatásokat és áttételkiegyenlítéseket a védelem megfelelő programozással szoftver úton oldja meg. A védelem a transzformátor bekapcsolási áramlökésével szemben érzéketlen.



17-2. ábra Differenciálvédelmi karakterisztika

A differenciálvédelmen be kell állítani a generátor (transzformátor) névleges áramát. A továbbiakban minden megszólalási és beállítási érték erre vonatkozik.

A komplex differenciálvédelmek (KDV) általában külső érintkezős védelmek (külső megszakító-beragadási védelem, gyújtósínvédelem, gáz- [Buchholz] védelem, hőmérséklet-érzékelők, stb.) előjelző és kioldó fokozatait is fogadják.

A KDV-k egy...három túláramvédelmet is tartalmaznak, amelyek igény szerint többlépcsősök is lehetnek.

### 17.2.2 Túláramvédelmek a KDV-ben.

Túláramvédelmeket a generátorvédelmi rendszerben általában a differenciálvédelmek tartalmazzák, gyakran többet is, és ezek igény szerint többlépcsősök is lehetnek. Csatlakoztatásuk sokféleképpen lehetséges, igény szerint a generátor csillagponti áramváltójára, a kapocsoldali áramváltókra, a főtranszformátor áramváltójára vagy a háziüzemi transzformátor áramváltójára csatlakoznak.

### 17.2.3 Feszültségcsökkenési emlékezésű túláramvédelem

Generátorhoz közeli 3F zárlatra a túláramvédelem késleltetése alatt a generátor legerjedhet, és a védelem visszaeshet. Sőt ha a generátor nincs túlgerjesztve (üresjárás szinkronozás után, kis meddőterhelés vagy meddő-nyelés), az állandósult zárlati áram még a generátor névleges árama alá is csökkenhet (akár 50 %-ra is), és a tranziens lecsengése után a túláramrelé futás közben visszaeshet. A problémát feszültségcsökkenési emlékezésű túláramvédelemmel lehet megoldani. A feszültségcsökkenési emlékezésű túláramvédelem a túláramrelé megszólalása után, ha a késleltetés futása közben a túláramrelé visszaesik, a késleltetést ( $t$ ) tisztán a feszültségcsökkenés ( $U <$ ) tényével is továbbfuttatja a kioldásig. A védelem visszaesik, ha a feszültségcsökkenés megszűnik, illetve ha a legerjesztő automata kikapcsol (akkor is, ha van még  $U <$ ).

Így tehát a védelem logikája úgy alakítható ki, hogy a védelem késleltetése akkor indul, ha túláram fellépett, és futva marad, ha közben a túláramrelé visszaesik, de a feszültségcsökkenés fennmarad. Ez az állapot a legerjesztő kikapcsolásával szűnik meg, amikor az állásjelzés a védelem kapcsain megjelent. A feszültségcsökkenési emlékezésű túláramvédelem feszültségreléjének működését a feszültségváltó-kisautomata kikapcsolódása bénítja, de a túláramrelé változatlanul futtatja a késleltetést ( $I > t$ -ként, de nincs feszültség-emlékezés).

### 17.2.4 Feszültség-emelkedési és –csökkenési védelem

A feszültség reléket feszültségcsökkenési emlékezésű túláramvédelemhez, frekvenciarelé feltételeként, testzárlatvédelemhez, továbbá különleges feladatként a hálózatról való leszakadás érzékelésére alkalmazzák.

Az  $U > t$  és  $U >> t$  feszültségnövekedési és csökkenési relék beállítása a névleges feszültség (100 V) százalékában történik. Az  $U < t$  és  $U << t$  feszültségcsökkenési relék működésének feltétele, hogy a megszakító bent legyen.

### 17.2.5 Impedanciavédelem

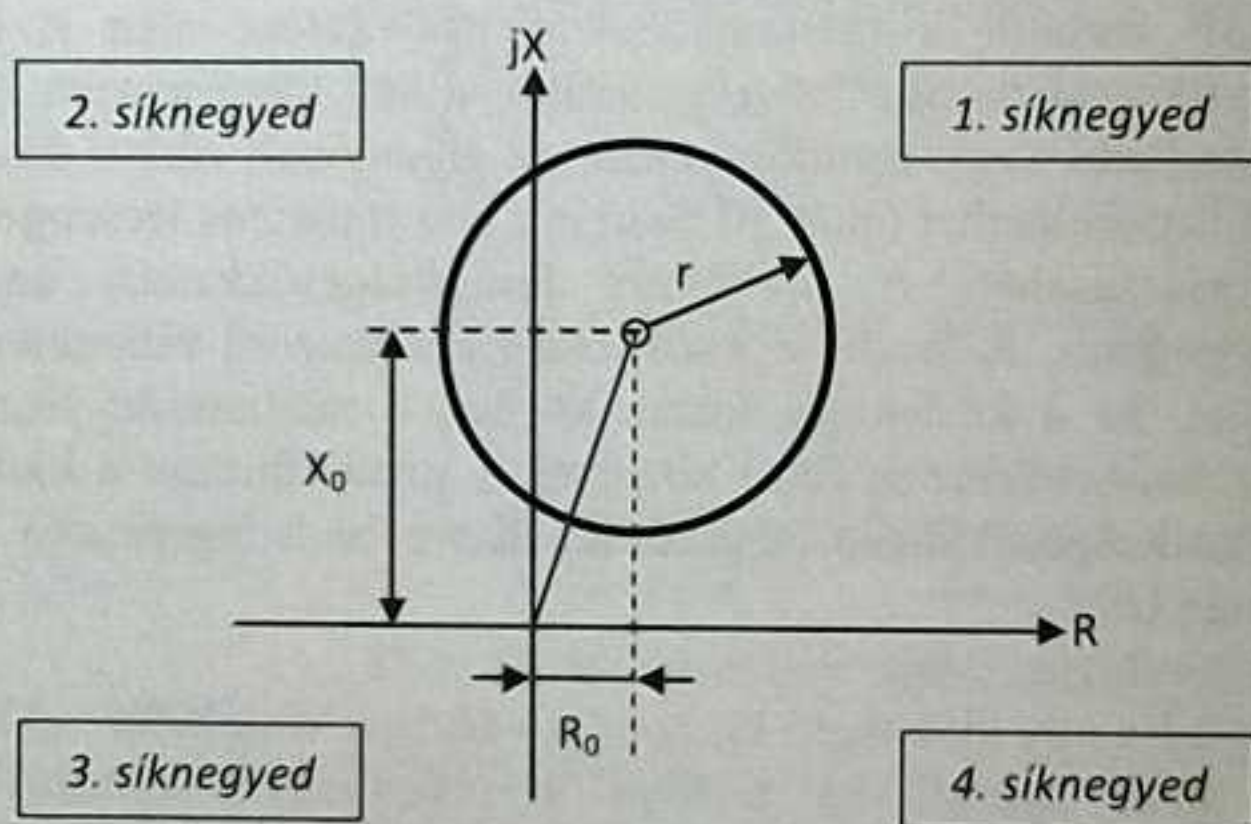
Impedanciavédelmet gyűjtősínre csatlakozó generátornál mindig alkalmaznak. Alkalmazható továbbá 120 kV-os szintre önálló (természetes) gyűjtősínvédelemként.

Az impedanciavédelem mindegyik fokozata önállóan élesíthető vagy bénítható. Megszólalása és késleltetése önállóan beállítható.

A választható típusok közül a kétlépcsős, eltolható körkarakterisztikájú impedanciavédelmet célszerű beiktatni, így ennek ismertetése következik.

Az alkalmazandó impedanciavédelemnek zérus sorrendű áramátkapcsolása van, így vagy vonali mennyiségekkel  $\left( \frac{U_R - U_S}{I_R - I_S}, \frac{U_S - U_T}{I_S - I_T}, \frac{U_T - U_R}{I_T - I_R} \right)$  vagy fázismennyiségekkel  $\left( \frac{U_R}{I_R + \alpha \cdot 3I_0}, \frac{U_S}{I_S + \alpha \cdot 3I_0}, \frac{U_T}{I_T + \alpha \cdot 3I_0} \right)$  mér. Az impedanciarelék fázis- (nem hurok-) impedanciában skálázottak, és eltolt-kör kioldási karakterisztikájuk van (lásd a 17-3. ábrát).

Az impedanciavédelemnek két fokozata van ( $Z < t$ ,  $Z \ll t$ ).



17-3. ábra Impedanciavédelem egyik fokozatának karakterisztikája

Az  $R_0$  és  $X_0$  paraméterekkel jellemzett középpont-eltolás síknegyede az „ $R_0 X_0$  pozíció” paraméter segítségével szabadon választható. A középpont-eltolás jól alkalmazható akkor is, ha a védeni kívánt gyűjtősin feszültség szintjén nincs feszültségváltó, mivel így kompaundálással az impedanciakör áthelyezhető a megfelelő transzformátoroldalra.

### 17.2.6 Túlterhelés-jelzés

A túlterhelésvédelem megszólalása és késleltetése önállóan állítható be. Késleltetése a zárlathárítási időknél legyen nagyobb. Működésekor csak jelzést ad a személyzetnek, hogy a generátor leterheléséről intézkedjen.

## 17.3 Generátor gerjesztés-kimaradási védelme (GGV)

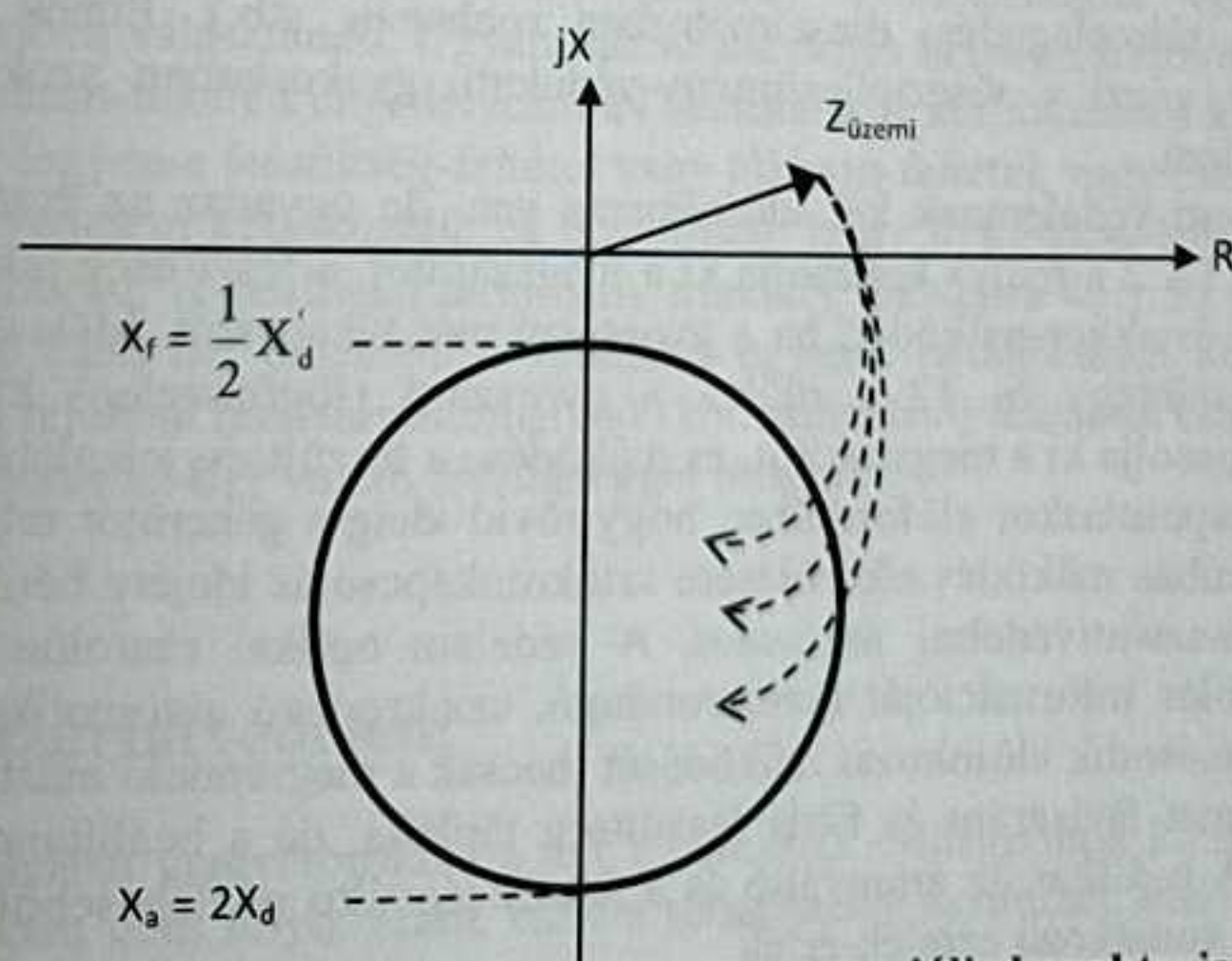
Ha hálózatra kapcsolt generátor gerjesztési rendszerének hibája, feszültszabályozójának hibája, vagy automatikusról kézi gerjesztésre való áttérésnél nem megfelelő fokozatra állítása miatt elveszti gerjesztését, vagy a gerjesztés indokolatlan mértékben csökken, a generátor a hiányzó mágnesező teljesítményt a többi géptől és a hálózatról veszi fel. Ennek hatására:

- a generátor állórész árama veszélyes mértékben megnő,

- a felvett meddő teljesítményt részben a mellette üzemelő generátorok adják, amelyek a megnövekedett áram hatására feleslegesen kikapcsolódhatnak,
- a generátor kieshet a szinkronizmusból, és
  - o vagy aszinkron generátorként üzemel tovább, amely teljesítménylengést és többletmelegedést okoz,
  - o vagy a generátor megfut.

A fentiek veszélyek miatt a gerjesztését elvesztett generátort célszerű kikapcsolni. A gerjesztés-kimaradási védelem ezt a célt szolgálja.

A gerjesztés-kimaradási védelem speciális impedancia-csökkenési érzékelőjének karakterisztikáját mutatja a 17-4. ábra. A karakterisztika egy negatív reaktanciákat érzékelő relé, a  $-X$  tengelyen elhelyezkedő kör, amelynél az origóhoz közelebbi  $X$  felső paraméterértékét az  $X_q = \frac{1}{2} X'_d$ -re, az origótól távolabb lévő  $X$  alsó paraméterét pedig az  $X_d$  kétszeresére,  $2X_d$ -re, illetve ahol a generátorral meddőt kell nyeletni, ott  $X_d$ -re szokás beállítani.



17-5. ábra. Gerjesztéskimaradás elleni védelem speciális karakterisztikája

A bemutatott karakterisztika nem érinti az origót, hogy szinkronozáskor a csekély értékű kapacitív teljesítménykiadás, továbbá generátorközeli zárlat ne működtesse hibásan a védelmet.

Gerjesztés kimaradásakor, amíg a generátor szinkron fut tovább, a generátor a hálózat felől nézve induktív reaktancia, a kiadott teljesítményirányt véve pozitívnak kapacitív reaktancia ( $-X$ ). A kiadott hatásos és meddő teljesítménytől függően az érzékelt impedancia a szaggatott görbék mentén (17-4. ábra) biztosan a védelem körkarakterisztikájába fut. A karakterisztika tehát alkalmas a gerjesztés-kimaradás érzékelésére.

A védelemnek két időlépcsője van. Az első  $t$  (GKV ki1) fokozat a turbina-gyorszárót működtesse, amely után majd a visszaváltó védelem kapcsolja ki a generátort. Így mód van arra, hogy ez alatt a háziüzem világosan térhessen át. A második  $t$  (GKV ki2) fokozat, ha bármely ok miatt nem kapcsolódott ki a megszakító, teljes gépkikapcsolást végezzen. Az első fokozat késleltetésére 1 s, a másodikra 4...5 s beállítása célszerű, de a második legyen kisebb az azonos gyűjtősínre csatlakozó többi generátor túlterhelési túláramvédelmének késleltetésénél.

Ha a generátor kiesik a szinkronizmusból, és aszinkron üzemben jár tovább, előfordulhat, hogy az érzékelt impedancia többször kilép, majd visszalép a védelem karakterisztika-körébe, emiatt lehetséges, hogy a védelem első fokozata sem tud lefutni, a védelem nem működik. Az aszinkron járás miatti periodikus megszólalás-elejtés áthidalására a gerjesztés-kimaradási védelem indulásakor az ejtés-késleltetéses  $t(GKVnyújt)$  időrelé is indul, amely áthidalja a kilépések idejét (nem futtatja tovább a késleltetést, csak tartja az ejtése idejéig), és így összegezve lefut az első fokozat késleltetése. Célszerű beállítása 1s.

A védelem  $I_R$  fázisárammal és  $U_{ST}$  vonali feszültséggel működik. A reaktanciabeállítási értéki az áramváltó és a feszültségváltó névleges értékeiből számított impedancia %-ában

vannak megadva  $\left(\frac{U_n}{I_n}\right)\%$ .

#### 17.4 Generátor visszteljesítmény- (visszwatt-) védelme

Ha a generátor hajtása valamely ok miatt megszűnik, és a gép a hálózattal párhuzamosan marad, szinkronmotoros üzem áll elő. Ilyenkor a hajtógép károsodhat (gőzturbinában túlmelegedés, dieselmotorban robbanás, stb.). Ennek az üzemállapotnak megszüntetését végzi a visszteljesítmény-védelem, gyakorlatban szokásos elnevezésén a visszwatt-védelem.

A visszwatt-védelemnek két időfokozata van, de ugyanaz az érzékelő működteti. Az első ajánlottan 1...2 s múlva kapcsolja ki a megszakítót, a feszültség jelenlétéhez kötött ( $U >$  engedélyezés), és akkor működik, ha a gyorszáró már kikapcsolt. Második fokozata tartalék, és ajánlottan mintegy 6...12 s múlva a gyorszáró (főgőzszelep) kikapcsolt állapotától függetlenül kapcsolja ki a megszakítót, és működése a feszültség jelenlététől független.

Parallelkapcsoláskor előfordulhat, hogy rövid ideig a generátor teljesítményt vesz fel a hálózattól. A hibás működés elkerülésére szinkronkapcsolás idejére bénítani lehet a nagyobb késleltetésű visszwattvédelmi fokozatot. A védelem optikai csatolón keresztül fogadja a szinkronkapcsolás információját (szinkron dugó, szinkronozó automatika jele). A bejövő jel engedélyezi a második időfokozat működését (hacsak a megrendelő mást nem kíván).

A védelmet fázisáram és fázis feszültség táplálja, de a beállítandó érték háromfázisú teljesítmény. A beállítás az áramváltó és a feszültségváltó névlegeséből számítható névleges teljesítményre vonatkozó ezrelék-érték.

Az *algoritmus* mintavételenként az áram és feszültség pillanatértékeinek összeszorozásával képzett teljesítmény összegzésével működik. Mivel egyfázisú összegezés esetében az ingadozás a legkisebb megszólalási érték 500-szorosa is lehetne, ezért az algoritmus háromfázisú összegzést valósít meg. Ez szimmetrikus teljesítménynél állandó értéket ad.

Az összegezés átlaga aszimmetrikus terhelés esetén jelentősen ingadozna. Ennek ellensúlyozására többfokozatú aluláteresztő szűrő alkalmazására került sor. A szűrő miatt az algoritmus megszólalási ideje 120 ms.

Az algoritmus elvéből következően frekvencia-független, és nem érzékeny az áram harmonikus tartalmára.

Az áram- és feszültségváltók szöghibája paraméterrel kikompenzálható. A védelem egyes elemeinek belső szögforgatása miatt a védelemben gyárilag fix kompenzációt állítanak be. Ez szolgáltatja a  $0^0$ -ot, és a beállítandó „Szögkompenzálás” már a külső mérőváltók szöghibája miatt szükséges érték.

Ennek érdekében az algoritmus méri a vonali feszültség és a szemben lévő fázisáram pillanatértékeinek összeszorozásával képzett meddő teljesítmény három fázisban vett összegét, és ezzel kompenzál, azaz megfelelően beállított tört-értékét hozzáadja a fázisáram és a

fázisfeszültség pillanatértékeinek összeszorzásával képzett hatásos teljesítmény összegéhez. A beállítható érték  $-500 \dots +500$ , és századokban értendő.

A kompenzálást célszerű névleges feszültségen és a szokásos gerjesztésnek megfelelő meddő áram értékénél elvégezni, kisebb áramértékeknél ugyanis egy adott szöghiba kisebb teljesítményt produkál.

Mivel a hibák függenek a pillanatnyi áram és feszültségértéktől, a kompenzáció nem tökéletes a teljes tartományban.

## 17.5 Frekvencia-növekedési és -csökkenési védelem

A generátort hajtó gép fel van szerelve mechanikus túlfordulatvédelemmel. Ennek adhat tartalékvédelmet a frekvencia-emelkedési védelem.

A frekvencia-emelkedési védelem megszólalási szintjének, hiszterézisének (ejtőviszonyának) és késleltetésének, valamint az engedélyező feszültségrele megszólalási értékének beállítása a helyi szokásoknak, valamint a mechanikus védelemhez való illesztésnek megfelelően választandó. Ugyancsak az esetleges helyi szokásoknak megfelelően kell az esetleges túláram-feltételt engedélyezni és beállítani. A két fokozatra külön paramétert kell beállítani, hogy legyen-e feszültség-feltétel vagy túláram-feltétel, vagy esetleg mindkettő.

A frekvencia-védelem kétfokozatú, és beállítható, hogy frekvencia-emelkedéskor vagy -csökkenéskor működjön. A beállítási tartomány mindkét fokozatra  $45 \dots 55$  Hz. Lehet tehát kétlépcsős beállítást adni, két emelkedési védelmet egymás tartalékeként alkalmazni, vagy egyikkel csökkenési reléként rendszerautomatikai (körzetmentési) feladatot ellátni.

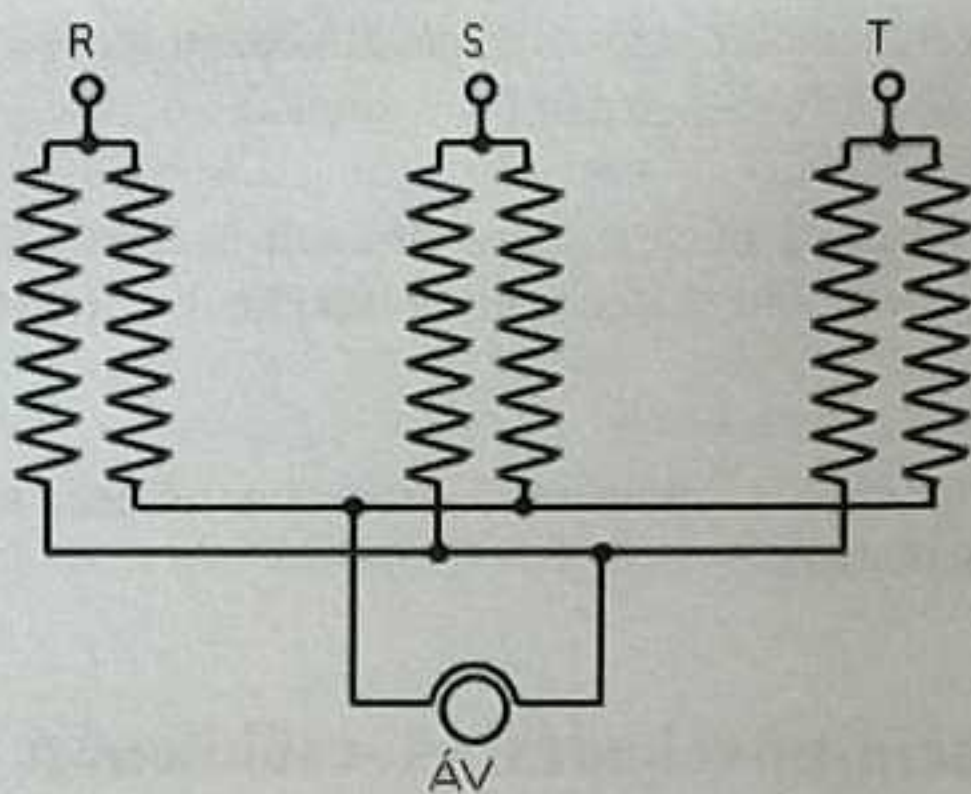
A frekvenciamérés az  $U_{ST}$  vonali feszültséggel történik.

## 17.6 Menetzárlatvédelem

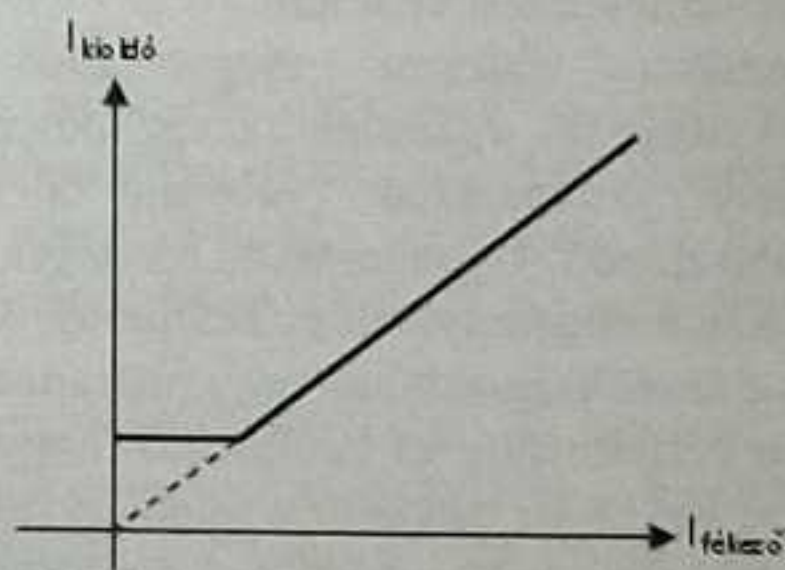
Osztott tekercselésű generátoroknál a két tekercselés csillagpontja közé iktatott áramváltón normál üzemben nem folyik áram, csak a természetes aszimmetriából adódó csekély érték.

Az egyik tekercsen vagy azonos fázis két tekercse között fellépő menetzárlat alap- harmonikus kiegyenlítő áramot hoz létre, amely jól érzékelhető. Az alkalmazott algoritmus digitális harmonikus-szűrője lehetővé teszi az érzékelő túláramrelé érzékeny beállítását. Zárlatkor is jelentős kiegyenlítő áram folyhat a csillagpontok közötti áramváltón, ezért fázis-áramok összegével fékezett érzékelő relét kell alkalmazni. Mivel a csillagpontok közötti áramváltó áttétele többszörösen kisebb (tizede-huszada) a főáramváltókének, a beállítási %-ok pedig erre vonatkoznak, a megszólalási áram és a fékezés ennek arányában magasabbra állítandó.

A védelem jellemző paramétereit a 17-5. ábra mutatja.

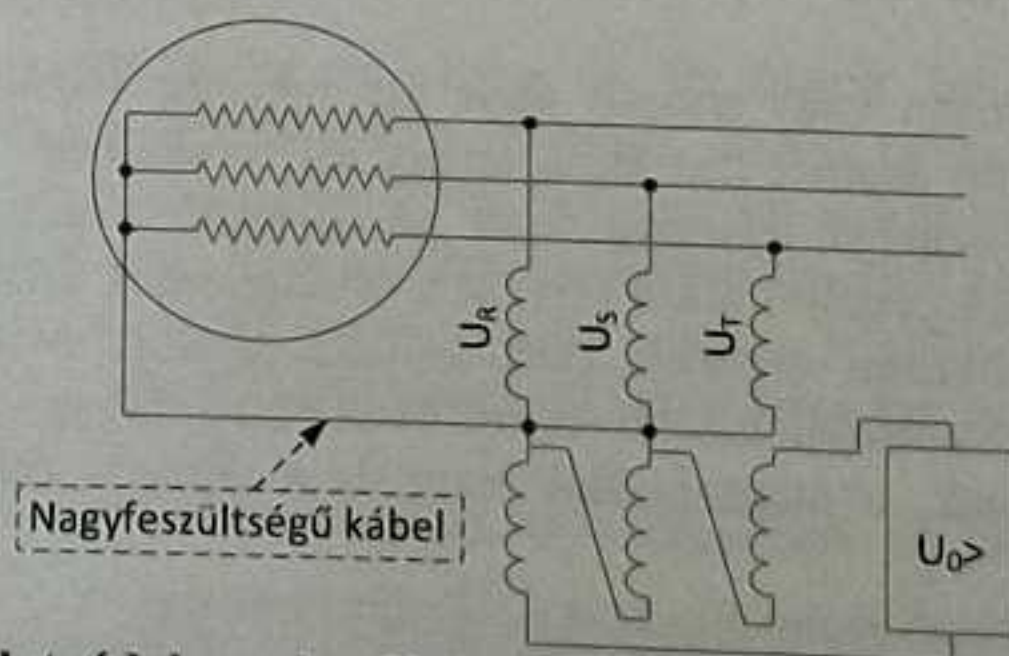


17-6. ábra Menetzárlatvédelem elve fázisonként két tekercselésű generátornál



17-7. ábra Menetzárlatvédelem fázisárammal fékezett túl áram-érzékelője

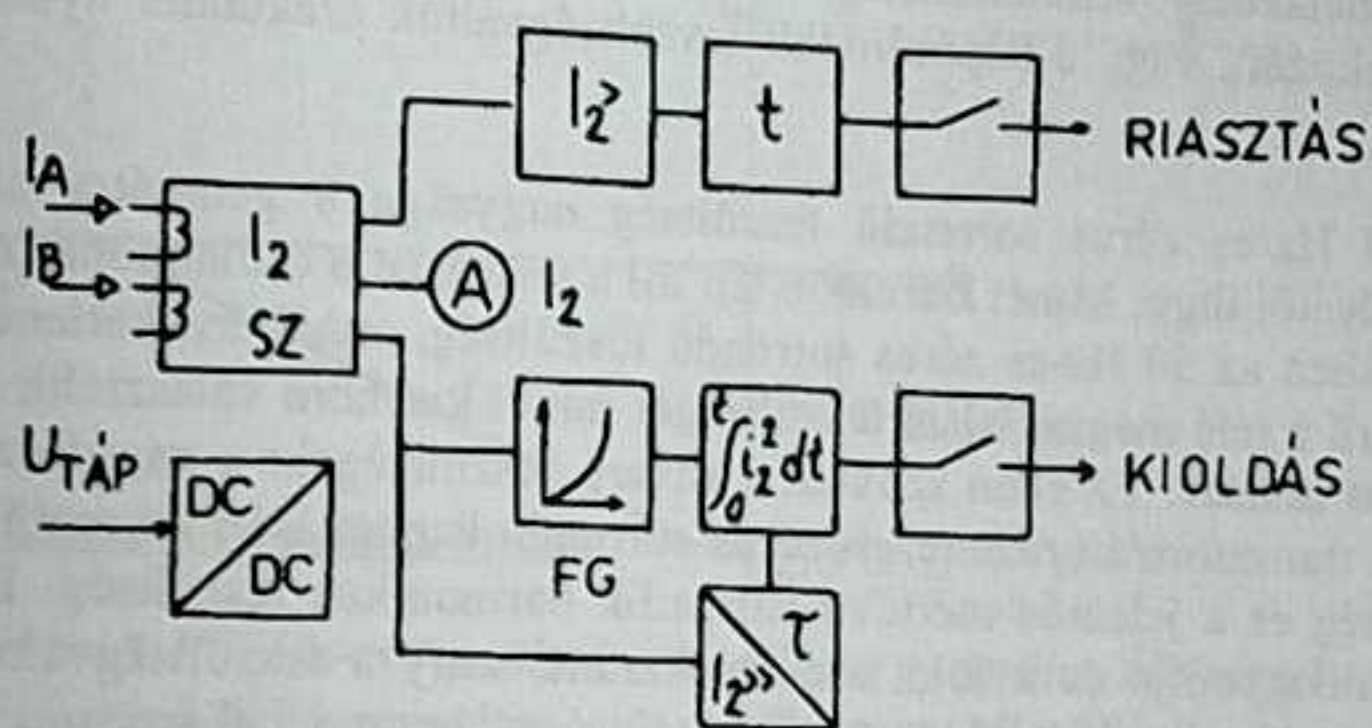
Olyan generátoroknál, ahol fázisonként egy tekercs van (osztatlan tekercselés), a 17-7. ábra szerinti kapcsolást kell alkalmazni. Menetzárlat hatására az egyik generátorfázis indukált feszültsége csökken. A generátorfeszültségre kapcsolt feszültségváltó érzékeli a nullponteltolódást, így a szekunder oldali nyitott deltatekercselésen megjelenő zérus sorrendű feszültség érzékelhetővé teszi a menetzárlatot. Ebben az esetben is jelentős, főleg harmadik harmonikus feszültség lép fel, amelyeket digitális szűrő zár ki.



17-8. ábra Menetzárlatvédelem elve fázisonként egy tekercselésű generátornál.

## 17.7 Negatív sorrendű védelem

A csatlakozó hálózaton fellépő aszimmetrikus zárlatok esetén, sántaüzemnél vagy aszimmetrikus terhelésekor (pl. a csatlakozó hálózat távvezetékeinek nem kellő mértékű fáziscseréjénél) a generátorokban negatív sorrendű állórészáram lép fel, amely által létrehozott, a forgórészsel ellentétesen forgó mágneses fluxus a hengeres forgórész felületén örvényáramokat hoz létre, ezek károsodást okozhatnak.



17-9. ábra Negatív sorrendű védelem felépítése

Zárlatok gyors háritása a zárlatvédelem feladata. Tartós sántaüzem vagy aszimmetrikus terhelés esetén a generátort a károsodástól a negatív sorrendű túláramvédelem védi meg.

A negatív sorrendű túláramvédelem (aszimetriavédelem) az algoritmus által kiszámított negatív sorrendű árammal táplált korlátoltan függő késleltetésű túláramvédelem, amely az  $I_2$ -t integrálja, tehát emlékezik az előzetes állapot okozta melegedésre. A négyzetesen függő (very inverse time) karakterisztika indulási áramértéke az „Indulási áram” paraméterrel állítható be. Igen nagy negatív sorrendű áramnál a karakterisztika vízszintes lesz (korlátoltan függő, IDMT = inverse definite minimum time), ez a késleltetési idő is állítható a „Min. kiold. idő” paraméterrel. A karakterisztika futásának, azaz az integrálás sebességének meredeksége a karakterisztika egy pontjával adható meg, nevezetesen azzal a kioldási idővel, amikor a negatív sorrendű áram megegyezik a generátor névleges áramával.

A negatív sorrendű áram integrálása, azaz a függő karakterisztika futása akkor indul, amikor az áram eléri a megszólalási értéket. Ha alája csökken, akkor az ugyancsak beállítható hűlési időállandóval (paraméter: „Hűlési időáll.”) csökken az integrál értéke. A hűlési időállandó 5...2000 s között állítható.

A védelem vizsgálatához tudni kell, hogy a negatív sorrendű védelem algoritmus az R-S és a T-S vonali áramokból határozza meg a negatív sorrendű áram értékét. Így a külső On-line képernyőn mutatott negatív sorrendű áram nagysága („ $I_2 = \dots \%$ ”) egyfázisú nyomtatás esetén 33 %-ot mutat, két fázist hurokban nyomva 57% értéket vesz fel. A kiírt negatív sorrendű áram az áramváltó névleges áramára vonatkozik.

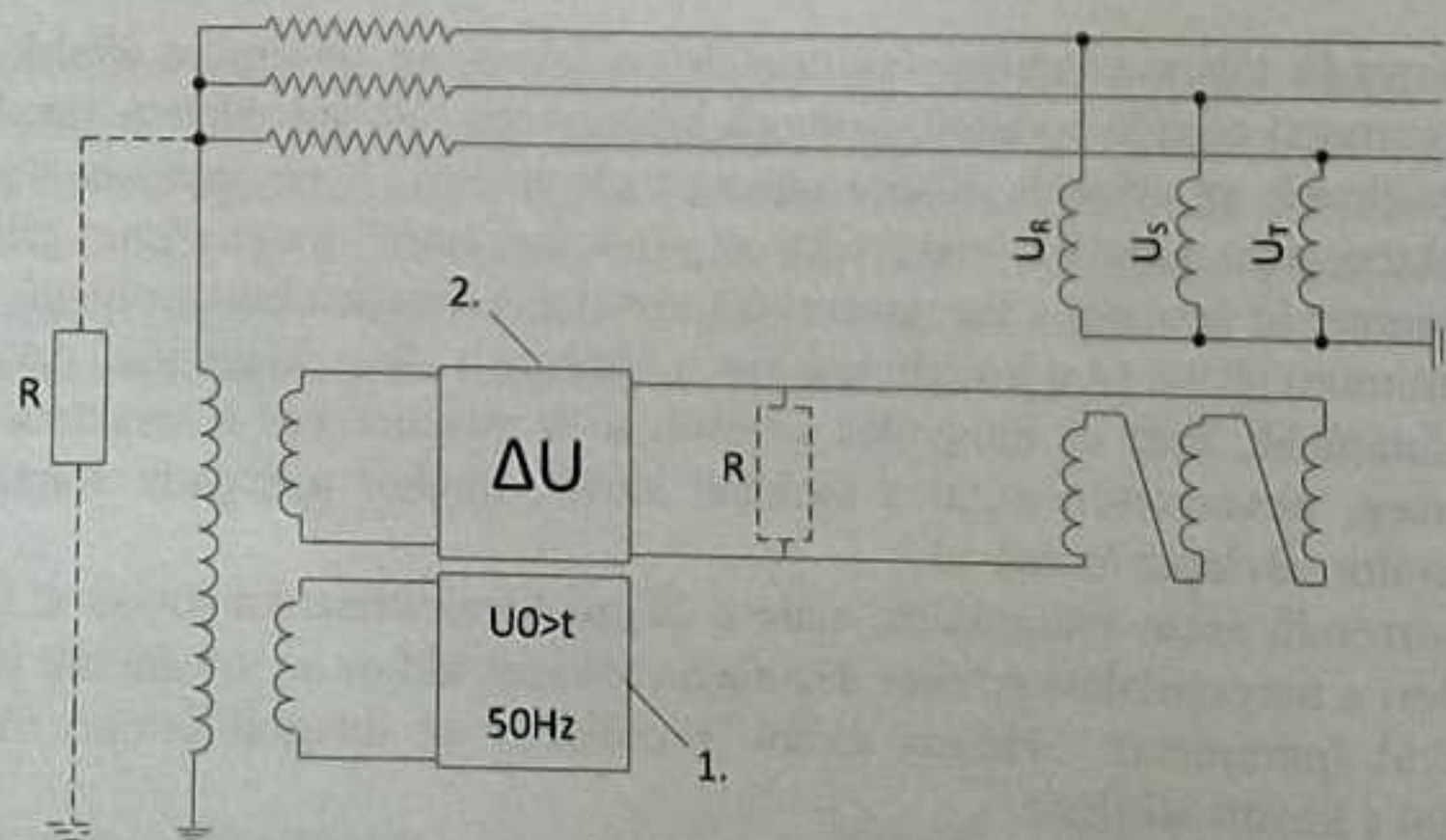
## 17.8 Generátor állórész-testzárlatvédelem (GTV)

### 17.8.1 50 Hz-es állórész-testzárlatvédelem

Egységkapcsolású generátor földzárlatvédelme megoldható 50 Hz-es zérus sorrendű feszültség-emelkedési védelemmel. A védelem, ha van, a csillagponti feszültségváltóról (ábra, 1. fokozat), vagy a kapcsololdali feszültségváltók szekunder nyitott delta tekercséről táplálható.

Az 50 Hz-es zérus sorrendű feszültség nagysága a generátor állórészében fellépő testzárlat helyétől függ. Minél közelebb lép föl a testzárlat a csillagponthoz, annál kisebb lesz a tekercselésben az 50 Hz-es zérus sorrendű feszültség, annál érzéketlenebb lesz a védelem. Ezért célszerű a relé megszólalási feszültségét minél kisebbre választani, hogy kisebb legyen a nem védett holtáv. Ez ellen szólnak a zavaró feszültségek: a nagyfeszültségű hálózat FN zárlatakor a transzformátortekercsek zérus sorrendű kapacitásán keresztül a generátoroldalra jutó feszültség és a jelentős mértékű harmadik harmonikus feszültség. Első csökkenthető a generátor csillagpontja és a föld közé beiktatott, vagy a feszültségváltó szekunder nyitott deltájára kapcsolt ellenállással, második pedig úgy, hogy az algoritmus Fourier módszerrel meghatározza a feszültség alapharmonikus összetevőjét. Ezekkel elérhető, hogy 85...90 % tekercset véd a védelem.

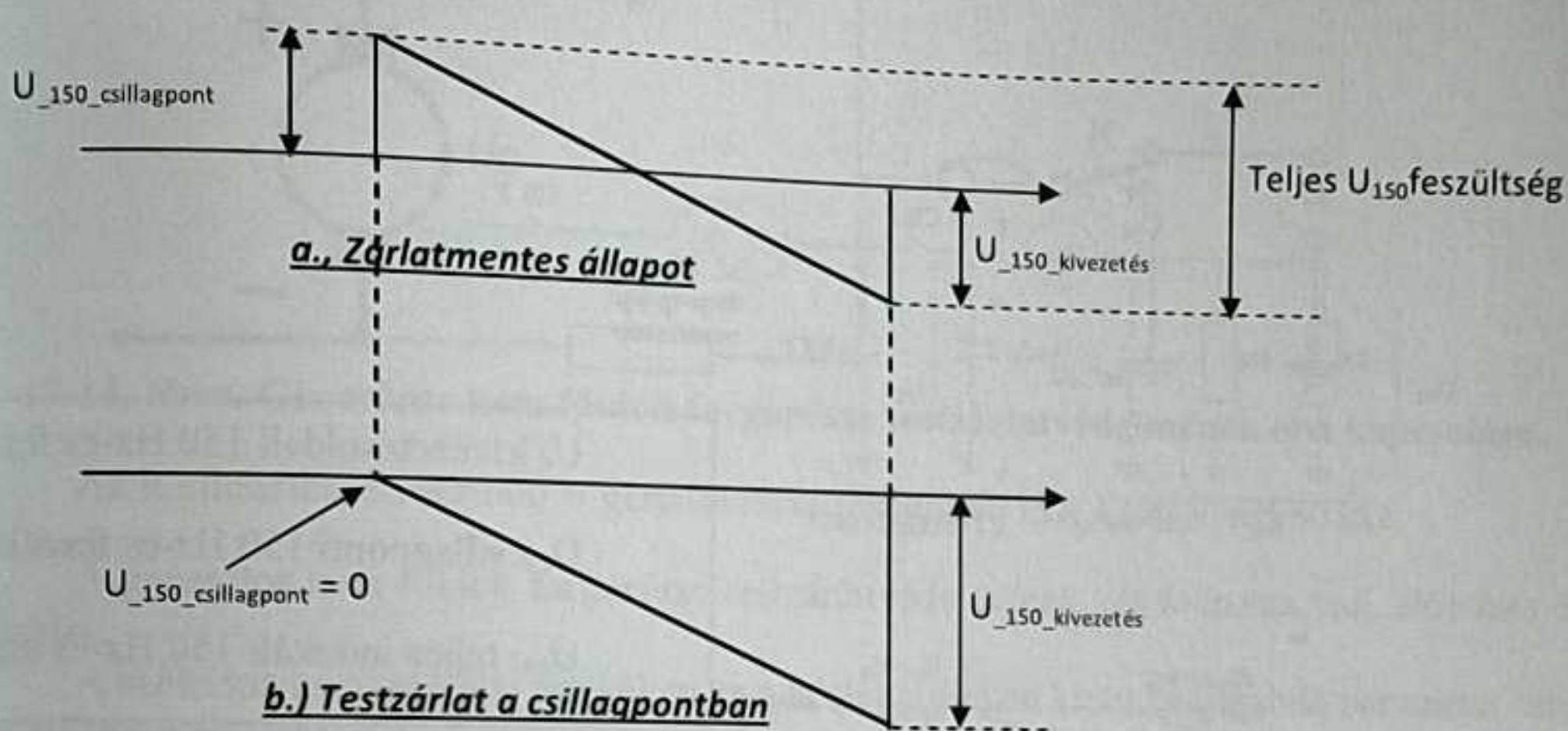
Mivel a védelem a szűrő miatt csak az 50 Hz-es összetevőt érzékeli, ezért akár a csillagponton voltmérővel mérhető feszültség alá is beállítható, mert annak nagyobbik része 150 Hz-es feszültség-összetevő.



17-10. ábra 100 %-os állórész-testzárlatvédelem egységkapcsolású generátorhoz

### 17.8.2 Harmadik harmonikus állórész-testzárlatvédelem

A 100 %-os testzárlatvédelem 150 Hz-es differenciálrelé ( $\Delta U_0$ ) segítségével valósítható meg. A generátorban keletkező 150 Hz-es feszültség fázisonként azonos irányú (zérus sorrendű), és a kapacitások miatt a testhez (földhöz) képest a tekercselésben szimmetrikusan oszlik el (lásd a 17-10.a.) ábrát). Üzemelő generátor esetén a sín- és transzformátorkapacitások miatt az  $U_{150 \text{ kivezetés}}$  kicsit kisebb lesz. Csillagponti földzárlat alkalmával a csillagpont-oldali kapacitás rövidre záródik, így csillagponti 150 Hz-es feszültség zérus lesz, a kivezetésoldali pedig megnő (lásd a 17-10.b ábrát).



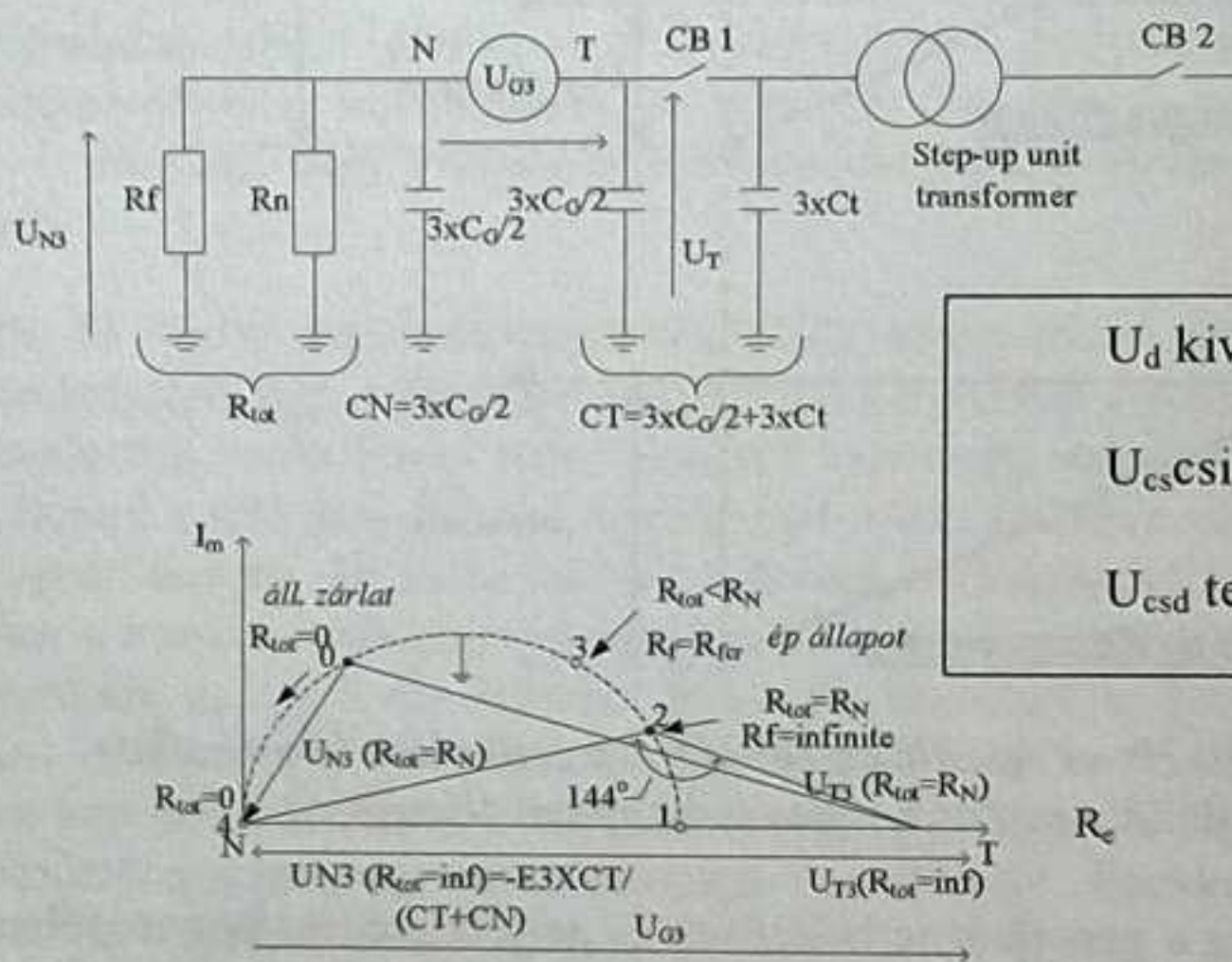
17-11. ábra. A 150 Hz-es feszültség eloszlása a generátor állórészében (egyedülálló generátor, nincs csillagponti ellenállás)

A teljes  $U_{150}$  feszültség a generátor terhelésének és gerjesztésének függvényében nagymértékben változik. Így a kivezetésoldali feszültség megnövekedése önmagában nem alkalmas a csillagponti földzárlat érzékelésére. Ha a védelem összehasonlítja a kellő irányba forgatott és megnövelt csillagponti 150 Hz-es feszültséget valamint a kivezetésoldali 150 Hz-es feszültséget, azaz differenciálkapcsolást alkalmaz, ez a megoldás alkalmas a csillagpontközeli testzárlatok szelektív megfogására.

Azon a ponton föllépő testzárlatnál, amelynél normál, hibamentes állapotban a 150 Hz-es feszültség zérus, a harmadik harmonikus feszültség eloszlása testzárlatkor sem változik. Ez a pont kb. a tekercselés közepe, erre viszont jól alkalmazható az előző fejezetben leírt 50 Hz-es testzárlatvédelem. Így tehát a két megoldás együttes alkalmazása 100 %-os testzárlatvédelmet eredményez.

A 150 Hz-es védelem akkor tudja összehasonlítani a csillagponti 150 Hz-es feszültséget valamint a kivezetésoldali 150 Hz-es feszültséget, ha a két feszültség iránya azonos, és a testzárlatmentes állapotban jelentkező nagyságtérés ki van egyenlítve.

Irányeltérést okoz az, hogy általában csillagponti ellenállást is alkalmaznak, és így a tiszta kapacitív feszültségosztás megváltozik. A feszültség-vektorábra a 17-11. ábrán látható.



$U_d$  kivezetésoldali 150 Hz-es feszültség  
 $U_{cs}$  csillagponti 150 Hz-es feszültség  
 $U_{csd}$  teljes indukált 150 Hz-es feszültség

17-12. ábra. Irány- és nagyság-eltérés kiegyenlítése

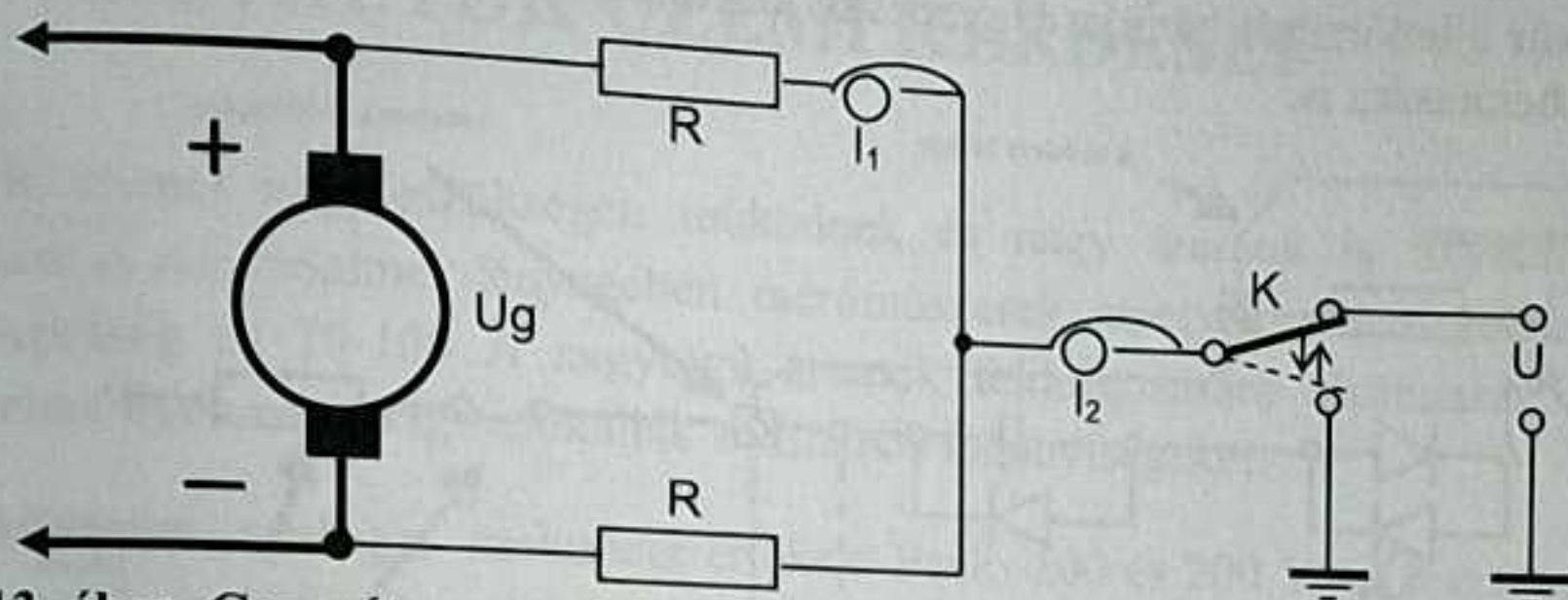
### 17.8.3 Kis generátor zérus sorrendű állórész-testzárlatvédelem.

Kisebb, gyűjtősínre kapcsolt generátornál állórész-testzárlatvédelemnek gyakran csak zérusorrendű túláramvédelmet alkalmaznak (szükség esetén irányítással). Mivel a generátor hálózatrakapcsolása előtt az  $I_{0>}$  védelem nem működik, zérus sorrendű feszültségrele alkalmazása is indokolt. A védelem tehát  $U_{0>}$ t érzékelést alkalmaz a megszakító kikapcsolt, és  $I_{0>}$ t érzékelést a megszakító bekapcsolt állapotában. Ez utóbbit célszerű speciális áramváltó szekunder nyitott delta  $I_0$  körére csatlakoztatni (másik szekunder kör csillagban rövidrezárt), hogy érzékenyre lehessen állítani. Így az áramváltó áttétele kicsi, paraméterként külön beállítandó.

## 17.9 Generátor forgórész-testzárlatvédelem (FFZ)

### 17.9.1 Nem földelt forgórész testzárlatvédelme

A generátor nem földelt forgórészének testzárlatvédelme kb. 110 V egyenfeszültség periodikus rákapcsolásával áramot injektál a forgórész gerjesztőkörébe. A két félperiódusban generált áramokból ( $I_1$  és  $I_2$ ) és a rákapcsolt feszültségből ( $U$ ) a védelem meghatározza a testzárlat hibahelyi ellenállását, a gerjesztő feszültséget, valamint a hiba helyét a gerjesztő feszültség pozitív pólusához képest. A védelem elvi kapcsolása a 17-12. ábrán látható.



17-13. ábra. Generátor nem földelt forgórésze testzárlatvédelmének elvi kapcsolása.

Az  $R$  ellenállás értéke 600 V gerjesztőfeszültségig 40 k $\Omega$ , 1200 V-nál 80 k $\Omega$ .

A generátor nem földelt forgórésze testzárlatvédelmének két fokozata van, előjelzés és kioldás.

A szokásos megszólalási értékeken és a késleltetéseken kívül beállítandó paraméter még az átkapcsolás félperiódus-ideje. Ennek helyes megválasztásától függ a mérés pontossága. A hibahelyen folyó áram egy félperióduson belüli lefutása ugyanis a hibahely ellenállásán kívül függ a forgórész kör földkapacitásától is. A védelem akkor mér pontosan, ha az átkapcsolás után közelítőleg be tud állni az állandósult állapot. Rövidebb félperiódus-ideő beállítása esetén a védelem a tényleges ellenállásnál kisebbet érzékel. Az időt úgy célszerű beállítani, hogy a nagyobb ohm értékre beállított előjelző fokozat értékénél a kapacitások hatása még ne okozzon számottevő hibát. A fokozatok késleltetését legalább a beállított félperiódus-ideő ötszörösére kell állítani. A helyes beállítást, beleértve az offset beállításokat is, üzembe helyezéskor célszerű nagyellenállású mesterséges földzárlatokkal ellenőrizni.

A forgórész feszültségét is ez a fokozat érzékeli, ezért a feszültségnövekedési védelem késleltetése beállításánál is figyelembe kell venni az előzőekben említetteket

## 17.9.2 Középen földelt forgórész testzárlatvédelme (FFZK)

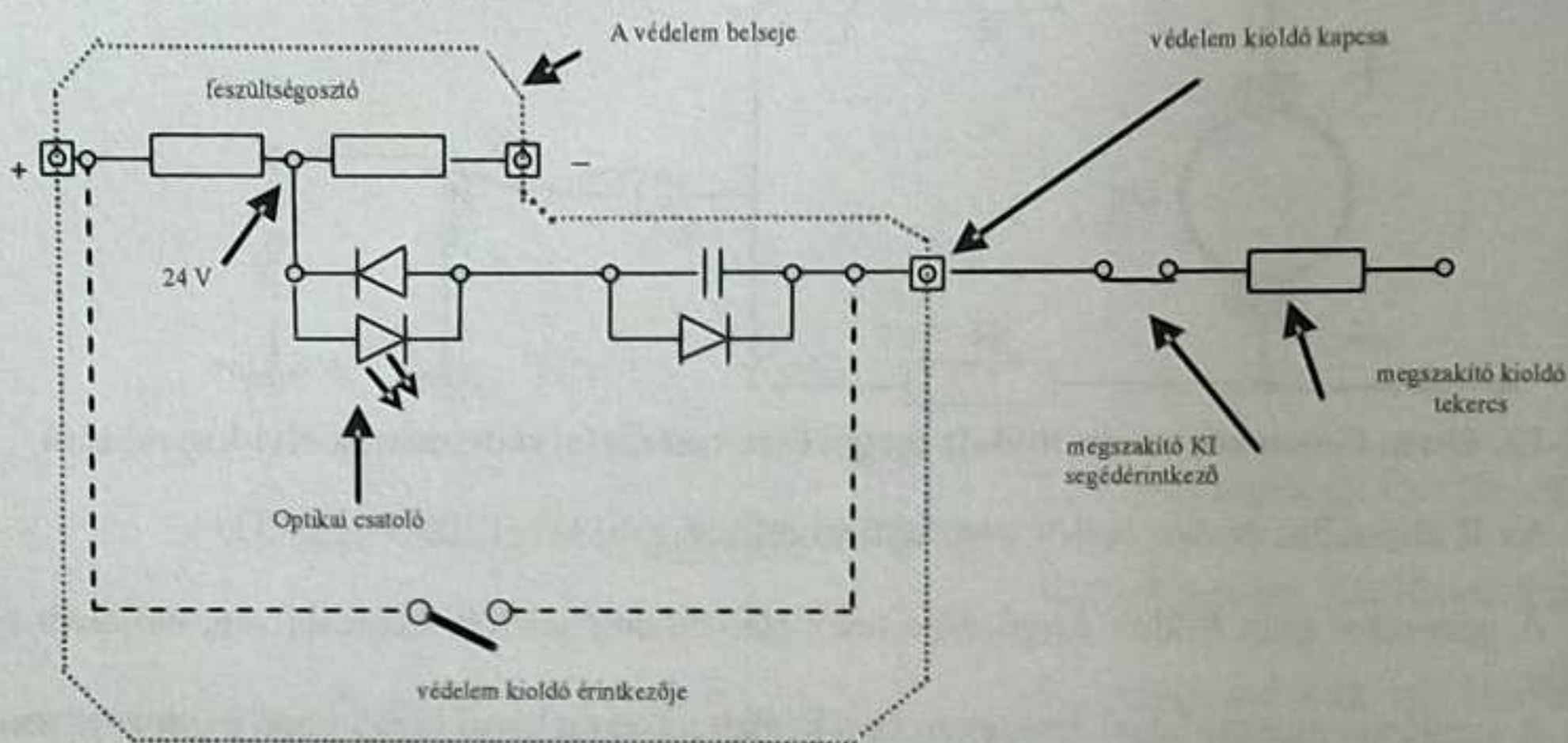
Középen földelt forgórészű generátorok esetében a forgórészen fellépő földzárlat egyben rögtön kettős földzárlat is, ami a mágneses tér torzulását és jelentős rezgést is okoz. Testzárlat esetén bizonyos mértékben megváltozik a két féltekercs feszültségeloszlása. Az alkalmazott védelem ennek a feszültség-aszimmetriának az érzékelésén alapul

## 17.10 Kioldó áramkör ellenőrzése

Az első három (pl.: 120 kV-os megszakító, a legerjesztő automata és a gyorszáró) kioldó relére a KI körök épségét ellenőrző áramkör van telepítve (17-13. ábra, lásd részletesen: EPU). Ez a relére kapcsolt egyenfeszültségnek kb. a tizedrészét az adott KI körre kapcsolja, és figyel, hogy a kioldó tekercsen folyik-e áram (kb. 2 mA). Akár szakadt a KI kör, akár a kioldó egyenfeszültség tűnik el, megszakad ez az áram és 0,5 s idő múlva hibajelzést ad a védelem. A fokozat érzékenysége függ az egyenfeszültség értékétől, 220 V-nál kb. 8-12 k $\Omega$  az a határ, ami alatt érnek érzékeli a védelem a kioldó köröket.

Mivel a megszakító kikapcsolt állapotban elbontja saját kioldó körét, ezért az üzemkésztség ellenőrző feleslegesen jelezne. Ezt úgy lehet megakadályozni, hogy a megszakító kikapcsolt állapotáról érintkezőn keresztül információt kap a védelem, és a hozzá

tartozó kioldó kör ellenőrzését bénítja. Ugyancsak lehetőség van paraméterrel az egyes körök ellenőrzésének bénítására is.



17-14. ábra Működtető körök ellenőrzése

### 17.11 Generátor-gyorsrágerjesztő automatika (GRA)

A tranziens stabilitás fokozására gyorsrágerjesztő automatikát alkalmaznak. Ha a generátor korszerű és gyors gerjesztés-szabályozója ellátja ezt a feladatot, akkor önálló alkalmazása nem indokolt.

Az automatika a pozitív és negatív sorrendű feszültség különbségét érzékeli. Ez működteti a feszültségcsökkenési relét, ami az indítást adja.

### 17.12 Generátor-szinkronozó automatika

Nem védelmi funkció, de minden generátorvédelem kiegészítő berendezése a generátor-szinkronozó automatika, amely kézi indításra élesedik, a feszültség és a fordulatszám közvetlen szabályozásával szinkron helyzetbe hozza a gépet, végül automatikusan elvégzi a hálózatra kapcsolást.

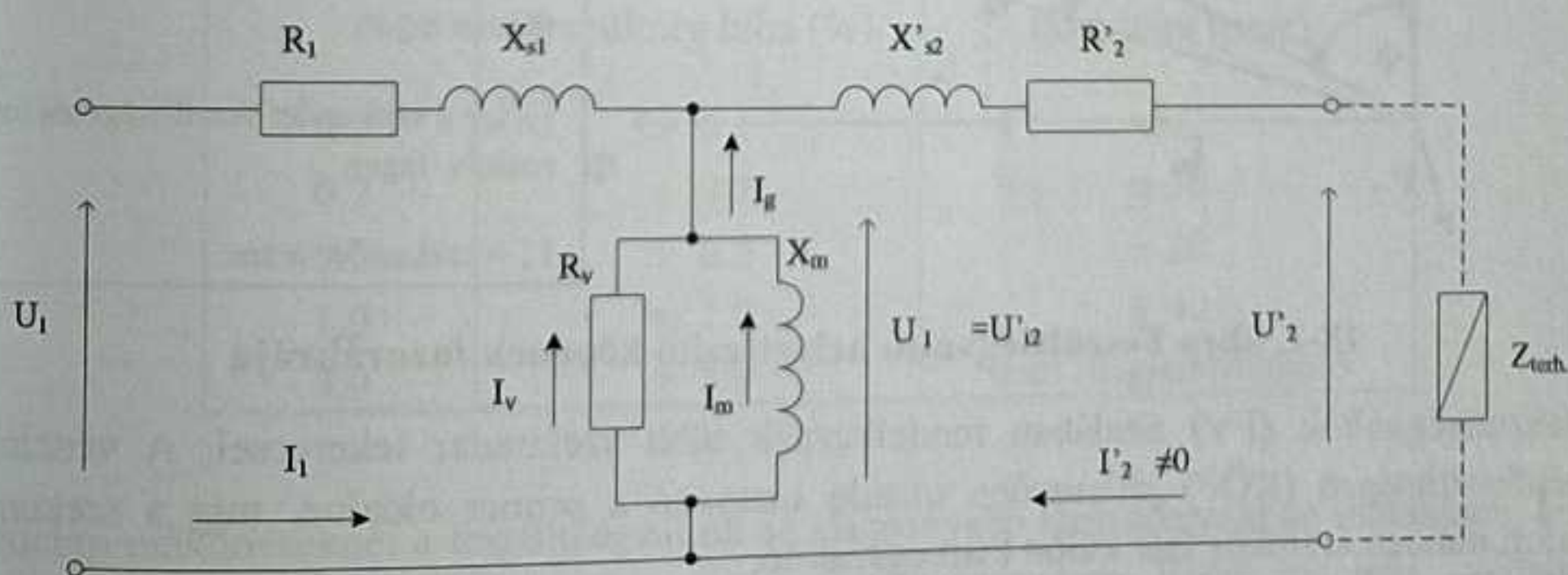
## 18 MÉRŐVÁLTÓK ÜZEMI KÉRDÉSEI

A VER elemei nagyfeszültségen működnek és nagy áramok is folyhatnak a hálózati elemeken. A relévédelmek lényegében mérőműszerek, amelyek a bemeneteiken 100-200 V-os feszültség és 10-100 A nagyságú áramok feldolgozására alkalmasak. A mérőváltók lényegében ilyen szintekig redukálják a villamos mennyiségeket.

Kialakultak ún. névleges szekunder értékek. Ezek 100 és 200 V a feszültség méréskor és 1 illetve 5 A az áramok esetében. A hazai gyakorlatban ma már előnyben részesül a 100 V (vonali érték) és 1 A-es névleges áramszint.

A primer mennyiségeket (1-750 kV és 10-10000 A) többféle módon redukálhatjuk a kívánt szintekre. Így a leggyakoribbak a transzformátorelvű „mérőváltók”, de lehetséges kapacitív osztók alkalmazása, illetve egyéb elven működő pl. Hall – effektus átalakítók, különböző villamos-optóátalakítók.

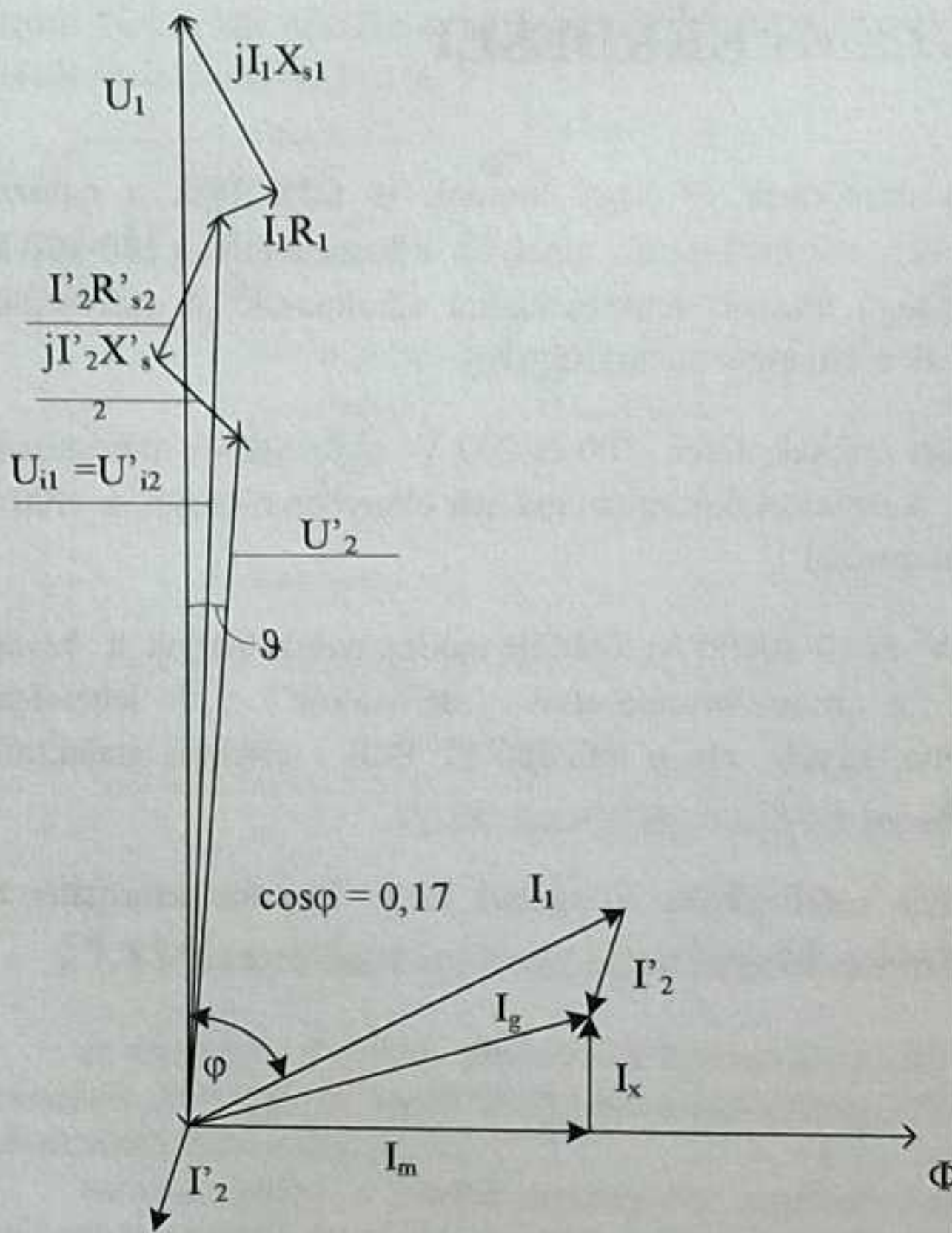
A legelterjedtebb transzformátorelvű mérőváltókat vizsgáljuk meg. Egy transzformátor az alábbi helyettesítő képpel jellemezhető:



18-1. ábra Transzformátor helyettesítő képe

A transzformátort felbontottuk egy „ideális” transzformátorra és egy T-kapcsolású helyettesítő áramkörre, amelynek felső ágaiban a primer ( $R_p, L_p$ ) és szekunder ( $R_s, L_s$ ) impedanciák találhatók, míg a függőleges ágban a gerjesztési impedancia ( $Z_c$ ).

A fenti helyettesítő kapcsoláshoz tartozó vektorábra az alábbiakban látható:



- $V_p$  = a primer feszültség
- $E_d$  = a primer feszültség által indukált elektromotoros erő
- $V_s$  = szekunder feszültség
- $\phi$  = fluxus
- $I_e$  = gerjesztési áram
- $\theta$  = terhelési szög
- $\varphi_2$  = a szekunder terhelés fázisszöge
- $I_p R_p$  = a primer feszültségesés az ohmos tagon
- $I_p X_p$  = a primer feszültségesés az reaktív tagon
- $I_s R_s$  = a szekunder feszültségesés az ohmos tagon
- $I_s X_s$  = a szekunder feszültségesés az reaktív tagon
- $I_s$  = szekunder áram

18-2. ábra Feszültségváltó helyettesítő képének fázorábrája

A feszültségváltók (FV) általában rendelkeznek több szekunder tekercessel. A védelmük középfeszültségen (KÖF) jellemzően olvadó biztosító a primer oldalon, míg a szekunder oldalon minden áramkör felé külön kismegszakító.

### 18.1 A feszültségváltók hibái

A fenti vektorábrából következik a FV hibája:

$$H_{\%,FV} = \frac{K_n V_s}{V_p} \times 100\% - 100\%$$

ahol  $K_n$  a névleges áttétel, míg a  $V_s$  és  $V_p$  a tényleges szekunder / primer feszültségek. A FV felvehet pozitív és negatív előjelet is. A hiba nagysága függ a szekunder terhelés mértékétől.

Például:  $K_n = \frac{10000}{100} = 100$  és  $V_p = 10000\text{V}$ -ot kapcsolunk rá, ekkor ha a termelt szekunderen mérünk  $V_s = 98\text{V}$ -ot, akkor a hiba %  $H_{\%,FV} = \frac{100 \cdot 98}{10000} \cdot 100 - 100 = -2\%$

$$K_n = \frac{10000}{100} = 100$$

A szöghiba is felvehet +/- előjelet. Pozitív hibának tekintjük, ha a szekunder feszültségfázisban siet a primerfeszültséghez képest. A FV hibáiról az IEC 60044-2 rendelkezik.

Jellemzően a mérőáramkört és a védelmes oldalt szétválasztják. A mérőoldal pontossági osztálya az alábbi táblázat szerinti:

pontossági osztály	0.8 - 1.2 x névleges feszültség 0.25 - 1.0 x névleges terhelés (max 0.8° terhelési szög)	
	feszültség hiba (%)	fázis hiba (perc)
0.1	± 0.1	± 5
0.2	± 0.2	± 10
0.5	± 0.5	± 20
1.0	± 1.0	± 40
3.0	± 3.0	nem meghatározható

Védelmi működéseknél a feszültségváltók az alacsonyabb tartományokban működnek, hiszen zárlatkor jellemzően lecsökkennek a mért feszültségértékek. Ezért speciális „védelmes” követelmények állnak elő:

pontossági osztály	0.25 - 1.0 x névleges terhelés (max.0.8° terhelési szög) 0.05 - $V_f$ x névleges primer feszültség	
	feszültség hiba (%)	fázis hiba (perc)
3P	± 3.0	± 120
6P	± 6.0	± 240

Nem mereven földelt hálózatokban KÖF szinten a fázisfeszültség a földhöz vagy a csillagponthoz képest nem csak tranziens módon, hanem kvázi-stacioner állapotokban is elérheti az 1.8  $U_f$  szintet. Ezt figyelembe kell venni a FV kiválasztásánál.

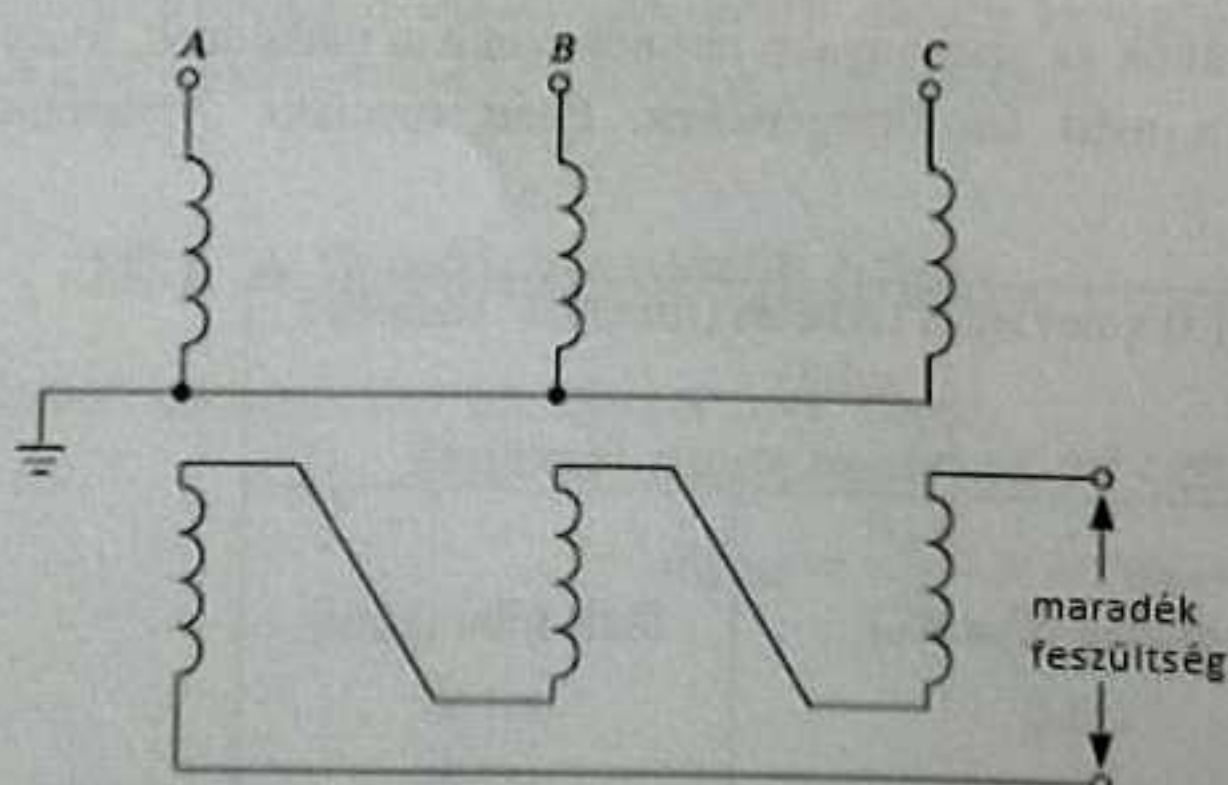
Lényeges feladat a FV védelme. A gyakorlatban 60 kV-ig olvadóbiztosítóval védik. A szekunder áramkörök védelme lehet kismegszakító vagy szintén olvadó biztosító.

Feszültség tényező $V_f$	Idő osztály	Primer tekercselés és csillagpont kezelése
1.2	állandó	a vezetékek között, a transzformátor csillagpontja és a hálózat földpontja között
1.2	állandó	a vezeték és a föld között egy hatásosan földelt hálózatban
1.5	30s	
1.2	állandó	a vezeték és a föld között
1.9	30s	egy nem hatásosan földelt hálózatban mely automatikus földzárlat védelemmel ellátott
1.2	állandó	vezeték és föld között
1.9	8 óra	egy elszigetelt hálózatban, automatikus földzárlat védelem nélkül vagy egy zavarra érzékeny/nem elszigetelt hálózatban, automatikus földzárlat védelem nélkül

A feszültségtényező  $V_f$  jellemzi a FV „tűrését”. A hazai gyakorlatban az 1.9-es tényezőjű FV-t alkalmazzuk a 20 kV-os hálózatokban.

## 18.2 Zérussorrendű feszültségváltók

A 20 kV-os hálózatok jellemző része a  $3U_0$  védelem, ami feltételezi, hogy a FV-k rendelkeznek olyan tekercseléssel, amelyek sorba kapcsolásával mérni tudjuk a zérussorrendű feszültséget:



A maradék feszültség a  $3U_0 = U_a + U_b + U_c$  ennek megjelenése indítja el a földérintéses zárlatok (Ff) hárítását

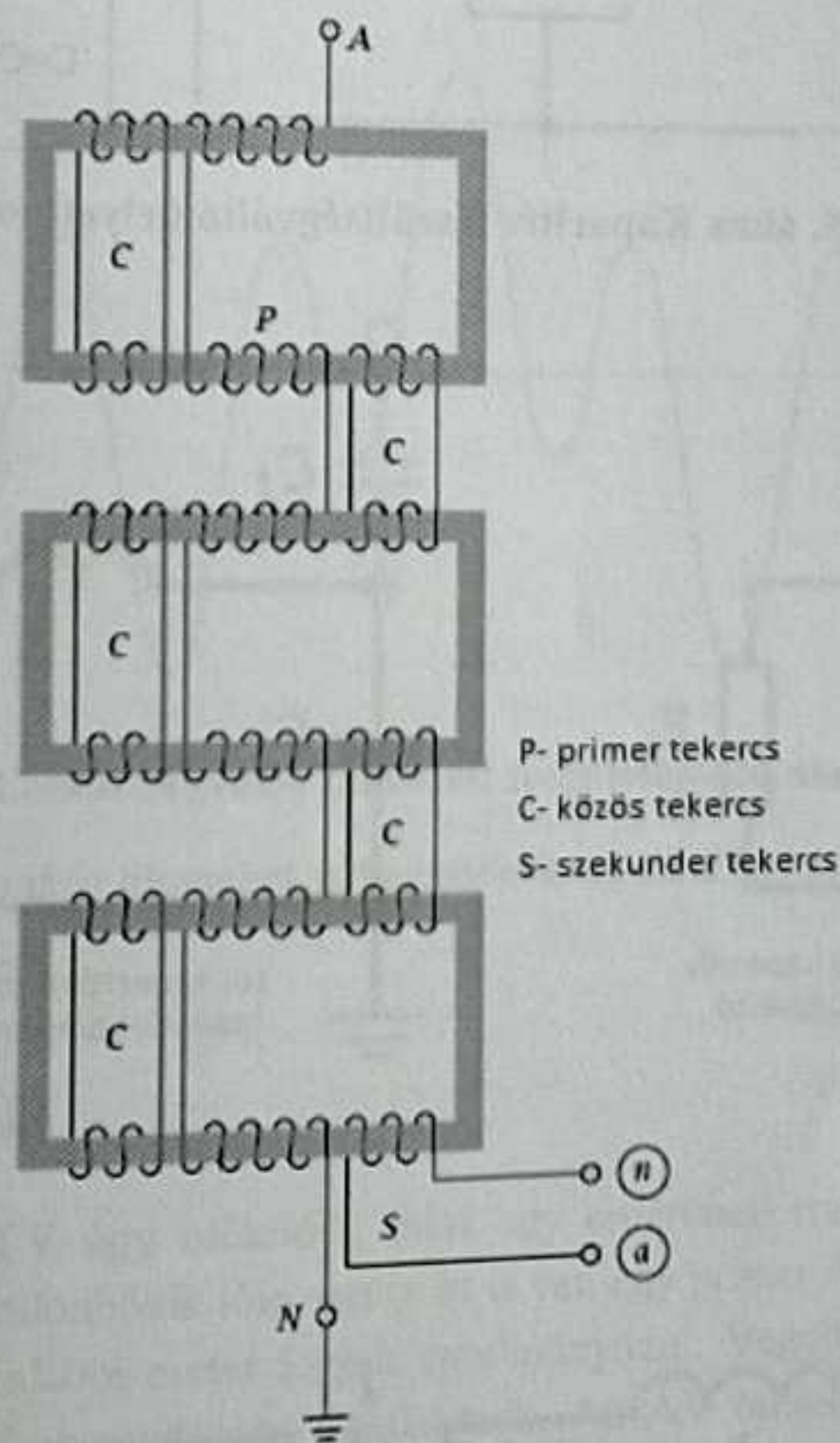
18-3. ábra Zérussorrendű feszültségváltó kapcsolása

A FV-k sem mentesek a tranziens jelenségekből adódó problémáktól. A hirtelen megjelenő feszültség előidézhethet bekapcsolási áramlökést a FV-ban illetve előfordulhat ferromrezonancia jelenség is. A bekapcsolási jelenség nem jelentős, mivel a FV-t úgy méretezhetjük, hogy a

gerjesztése a névleges szinten alatta maradjon a telítési szintnek (1.6 T). A ferrezonancia jelenségét itt nem tárgyaljuk, de ma már lehet úgy rendelni FV-t, hogy az ne kerülhessen a ferrezonancia állapotába.

### 18.3 Nagyfeszültségű - kaszkád- feszültségváltók

120 kV felett (220-750 kV) már nehezen oldható meg a FV konstrukciója egyszeres transzformációval. Ilyenkor vagy ún. kaszkád megoldás jöhet szóba, vagy ún. kapacitív feszültségváltók.

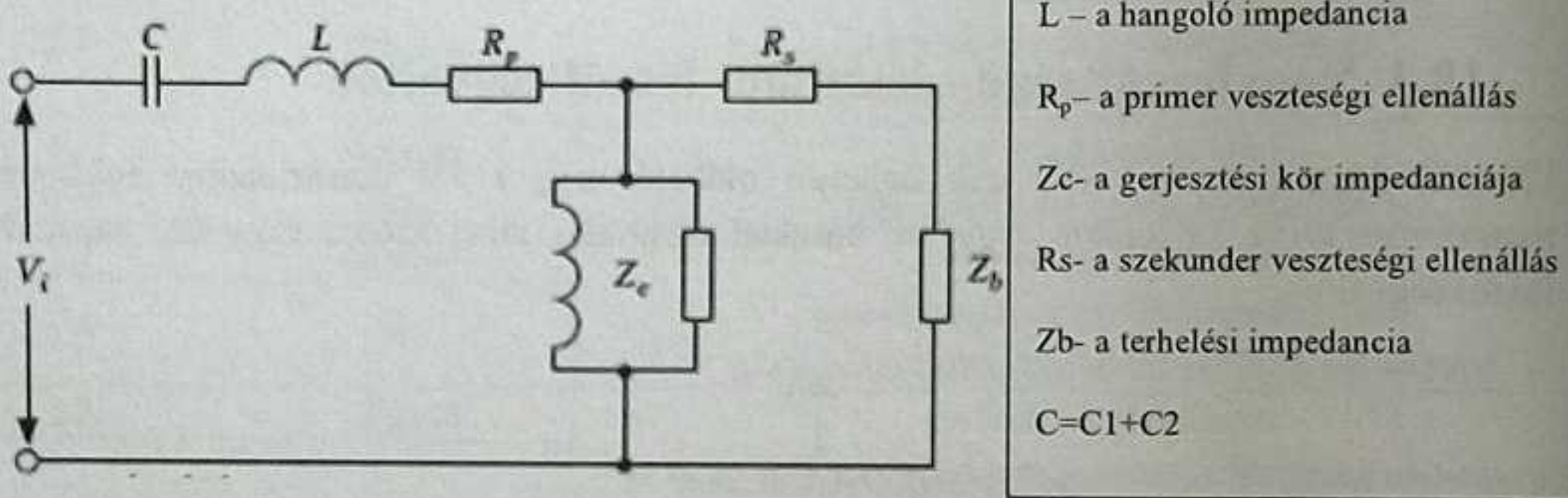


18-4. ábra Kaszkád transzformátor

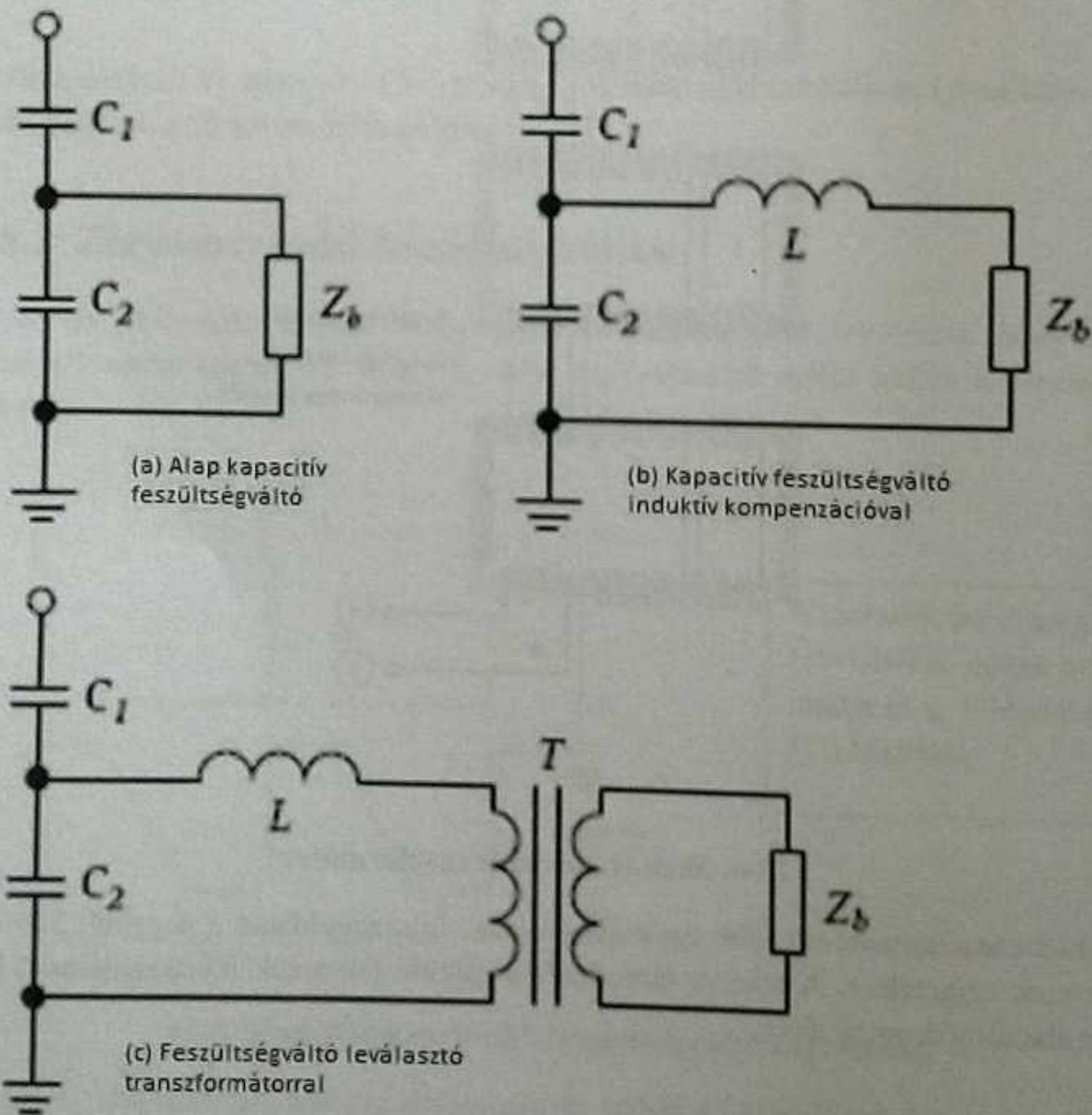
A kaszkád transzformátorok több egységből állnak. Így megoldható a nagyobb 220-750 kV-os tekercsek szigetelése. A tekercs elrendezés a csatoló tekercsek felhasználásával lehetővé teszi az alacsony drop elérését.

### 18.3.1 Kapacitív FV

A kapacitív FV-k, mint a nagy belső ellenállású feszültségosztók érzékenyek a terhelésre. Az érzékenység csökkenthető induktív kompenzáció segítségével, amelynek helyettesítő képét láthatjuk az alábbi ábrán:



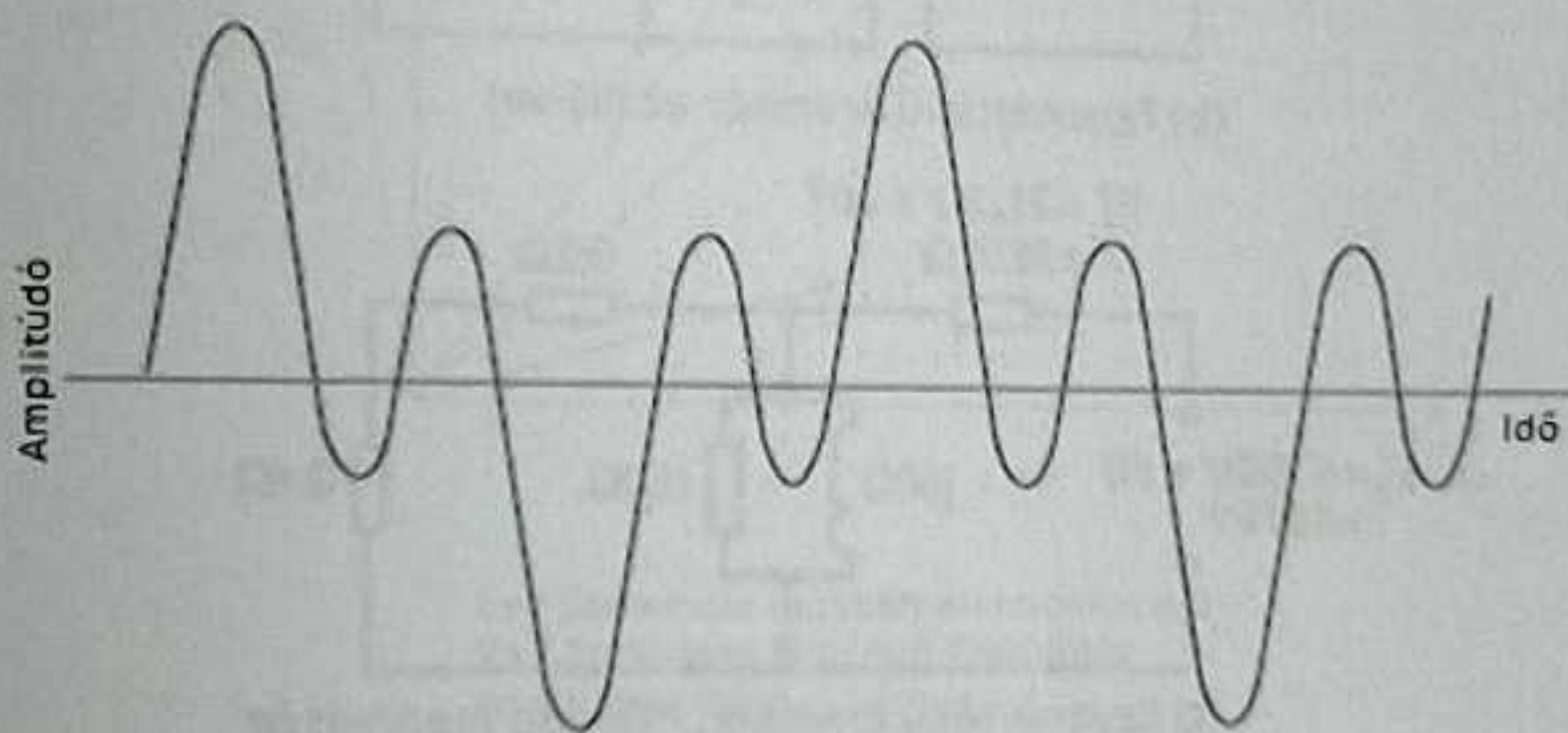
18-5. ábra Kapacitív feszültségváltó helyettesítő képe



18-6. ábra Kapacitív jellegű feszültségváltók

A CFV hátránya még a frekvenciafüggőség. A pontosság csak bizonyos frekvencia határok között garantálható. A CFV esetében, ha rövidzárba kerül a szekunder kimenet, akkor feszültség emelkedés is felléphet a kapacitív osztó elemein. Ezek védelméről gondoskodni kell. Ilyenkor a hangoló induktivitás (L) is betelíthet.

A CFV tranziens viselkedése is sajátos, megfelel a soros rezonanciájú L-C köröknek. A feszültség hirtelen megjelenése illetve eltűnése lengéseket idézhet elő. A mai korszerű CFV-nél már ezen jelenségeket sikerült minimalizálni, de a jelenség a nagyfeszültségű védelmek esetében okozhat nehézségeket. A gyakorlatban előfordult már a ferrezonancia jelensége is, amikor is valamilyen szubharmonikus frekvencián rezgés következik be. Ekkor a kimeneten a névleges feszültségnél nagyobb szintek is megjelenhetnek, kb. 1,2-1,5  $U_n$  szint is lehet. Ekkor a kimeneten az alábbi feszültség- hullám jelenség figyelhető meg:

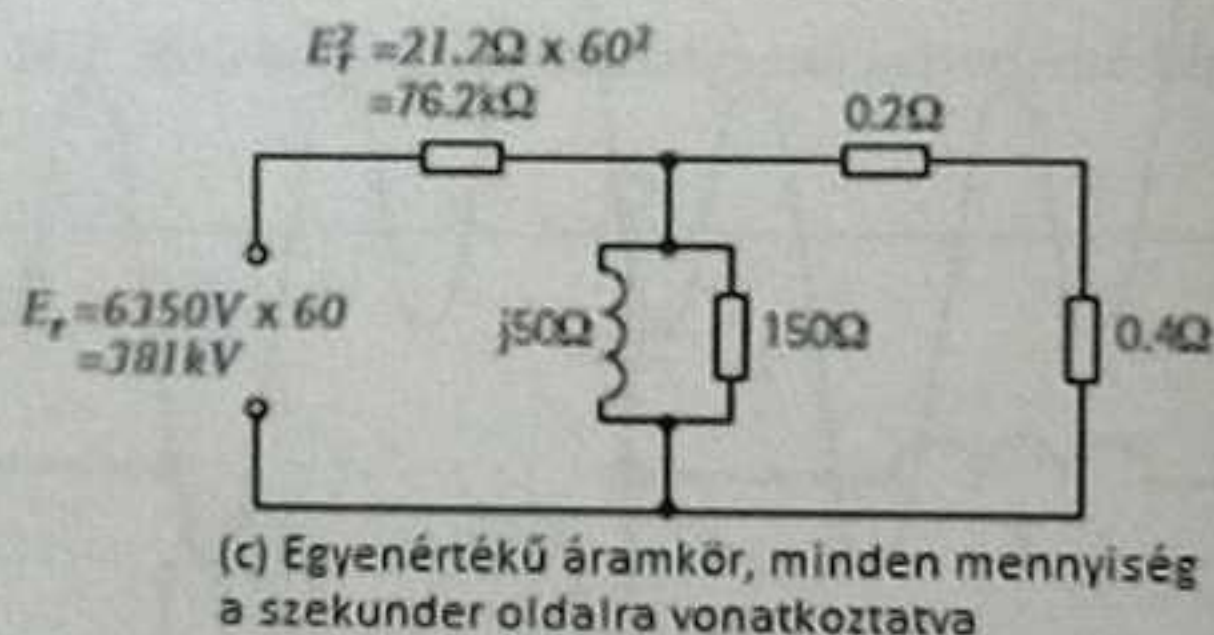
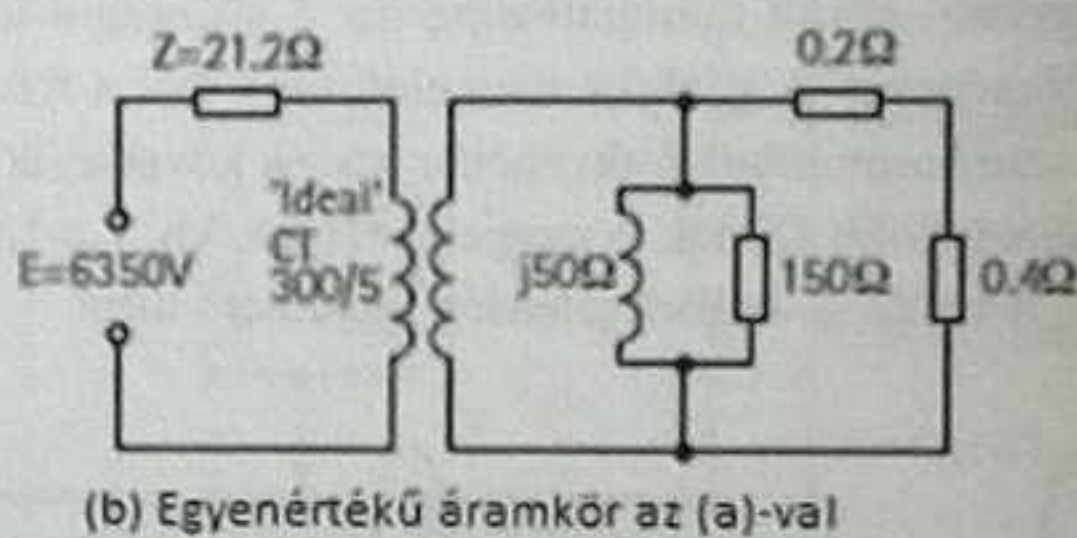
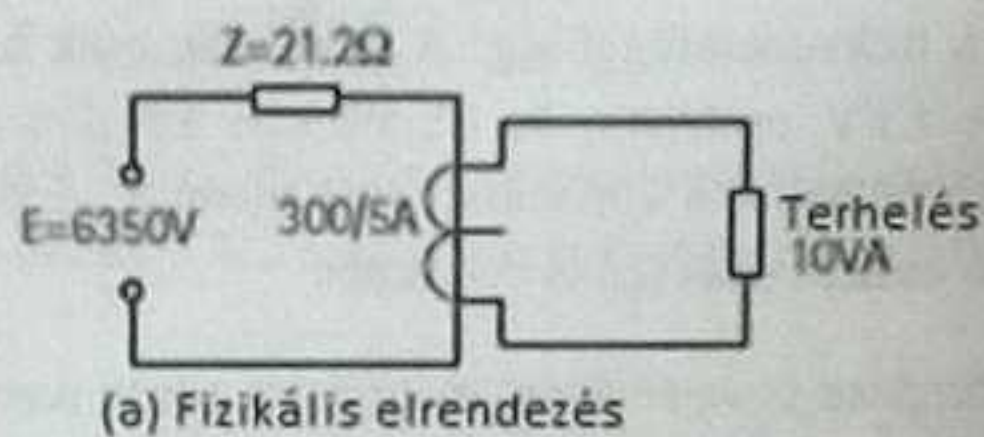


18-7. ábra Feszültségváltó kimeneti feszültség-idő diagramja

Van amikor külön antirezonáns elemeket is beépítenek. A külföldi gyakorlatban a kapacitív FV-k elterjedtsége jelentős.

## 18.4 Áramváltók

Míg a korábban tárgyalt FV úgy működik, mint egy erőátviteli transzformátor, addig az áramváltó üzeme teljesen különbözik tőle, pedig itt is van egy primer és szekunder tekercs. A működés megértéséhez az alábbi esetet fogjuk tanulmányozni. Vegyünk például egy 300/5 A-es ÁV-t, amely 10 kV-os rendszerre csatlakozik. Az ÁV terhelés legyen 10 VA. Az egyenértékű helyettesítő kép a 18-8. ábrán látható.



18-8. ábra Áramváltó helyettesítőképei

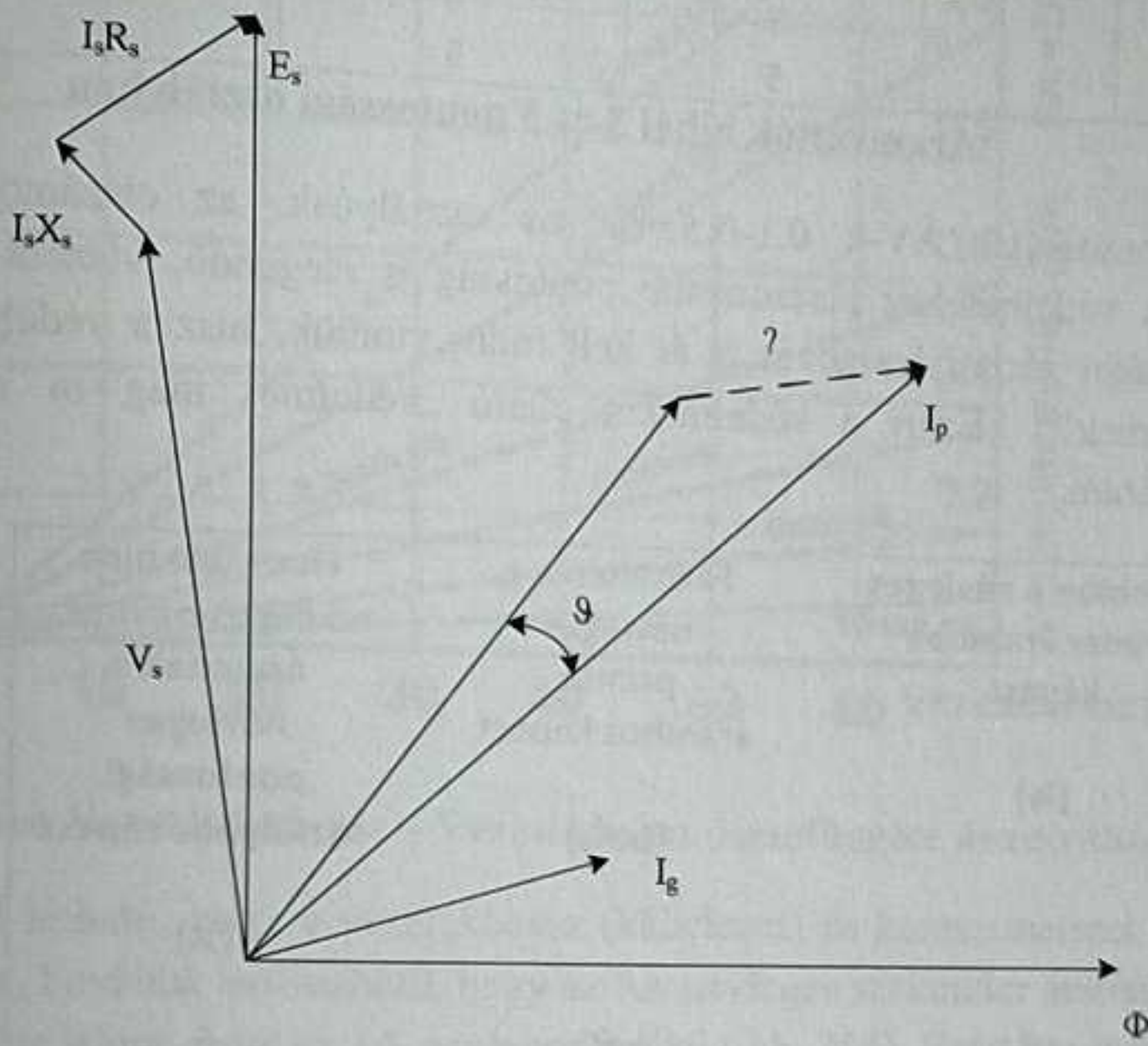
Az alábbi következtetések vonhatók le:

- a szekunder áram nem fog függni a terheléstől, mivel az lényegesen kevesebb a söntág impedanciájától (150 és j50 ohm).
- a szekunder kör megszakítása jelentős túlfeszültséget okozhat az ÁV kimenetén és annak szigetelését átütheti.
- az áramváltó áramhibáját a mágnesező söntág elemei okozzák (párhuzamos 150 és j50 ohm). Különösen akkor növekszik meg a hiba, ha telít az ÁV. Akkor a j50 érték lecsökkenhet egy-két nagyságrenddel.

#### Az ÁV hibái

Az ÁV hibái a fenti söntág ( j50-150) által kiváltott hibára vezethetők vissza. Ezek jól követhetők az ÁV működést leíró vektorábrán is. Azaz  $aI_s = (I_p - I_g)$  szekunder áram a primer és a gerjesztő áram különbsége. A gerjesztést okozó elektromotoros erő  $E_s = I_s (Z_s + Z_b)$  ahol a  $Z_s$  a szekunder szórási impedancia, míg a  $Z_b$  a terhelés impedanciája. Az  $E_s$  jelenléte okozza lényegében az ÁV hibáját. Ebből is adódik, hogy a  $Z_b$  csökkentésével

a hiba is csökkenthető. Ideális esetben ha  $|Z_b| = |Z_s|$  és a  $Z_b$  kapacitív jellegű akkor  $E_s=0$  és az ÁV hibamentesen üzemel! Alább látható az áramváltó vektorábrája:



- $E_s$  = Szekunder indukált elektromos erő
- $V_s$  = Szekunder kimeneti feszültség
- $I_p$  = Primer áram
- $I_s$  = Szekunder áram
- $\theta$  = Fázisszög hiba
- $\Phi$  = Fluxus
- $I_s \cdot R_s$  = Szekunder ellenálláson eső feszültség
- $I_s \cdot X_s$  = Szekunder reaktancián eső feszültség
- $I_c$  = Gerjesztő áram
- $I_r$  = Gerjesztő áram határos összetevője
- $I_q$  = Gerjesztő áram meddő összetevője

18-9. ábra Áramváltó vektorábrája

tehát a  $\theta$  a szöghiba és az  $I_p / I_s$  hányadosból számítható az áttételre vonatkozó hiba.

Az IEC 60044-1 szabványban vannak meghatározva az ÁV hibái. Mérőváltók esetében az alábbi táblázat foglalja össze.

pontossági osztály	Áram (%)	± százalékos áram hiba (ratio)				± fáziseltérés (perc)			
		5	20	100	120	5	20	100	120
0.1		0.4	0.2	0.1	0.1	15	8	5	5
0.2		0.75	0.35	0.2	0.2	30	15	10	10
0.5		1.5	0.75	0.5	0.5	90	45	30	30
1.0		3.0	1.5	1.0	1.0	180	90	60	60

Áramváltók hibái 0.1 – 1.0 pontossági osztályban

pontossági osztály	Áram (%)	± százalékos áram hiba (ratio)	
		50	120
3		3	3
5		5	5

#### Áramváltók hibái 3 és 5 pontossági osztályban

A nagyobb pontosságú ÁV-k 0.1-0.5 % -os osztályúak, az elszámolási mérőkhöz használatosak. A védelmekhez alacsonyabb pontosság is elegendő, viszont akár 15-20-szoros  $I_n$  nagyságú zárlati áramokat is át kell tudni vinniük, hisz a védelmek a zárlatok felléptekor „mérnek”. Ezért a védelmeket ellátó „védelmes mag”-ra vonatkozik egy pontossági határáram.

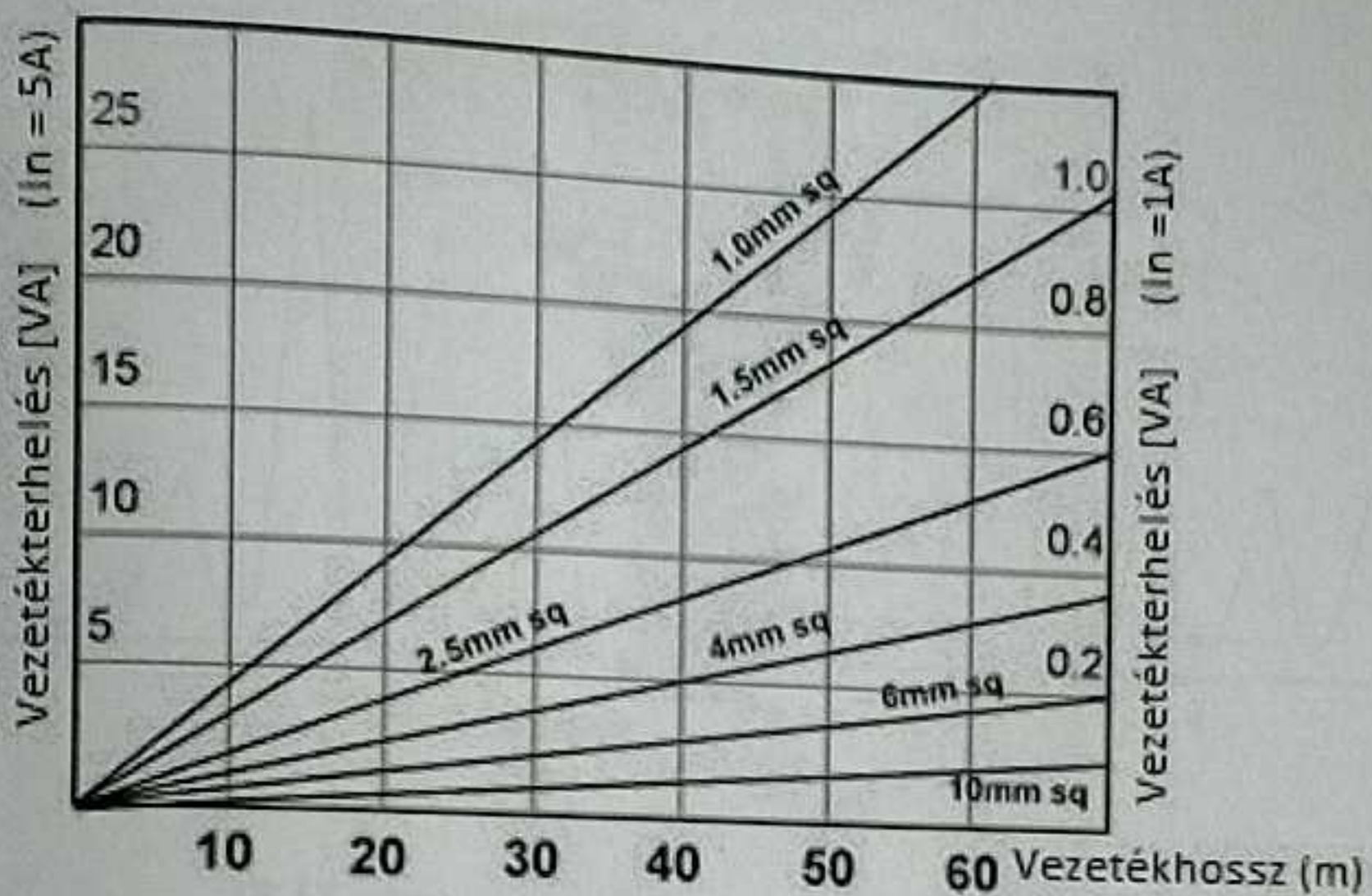
Osztály	Áramhiba a névleges primer áramhoz képest (%)	Fáziseltérés a névleges primer áramhoz képest (perc)	Összetett hiba névleges a primer áramnak a névleges pontossági osztályhoz képest (%)
5P	± 1	± 60	5
10P	± 3		10

A szabványos pontossági osztályok az 5, 10, 20, és 30

A túláramvédelmekhez általában elegendő az 5P és 10P osztályú áramváltó. Ezen védelmek a késleltetésük miatt 0.1-0.5 sec működési idővel bírnak, ezért a gyorsan csillapodó tranziensek már nem befolyásolják működésüket.

A bonyolult és gyors differenciálvédelmek esetében egyedileg kell eljárni az ÁV kiválasztásánál.

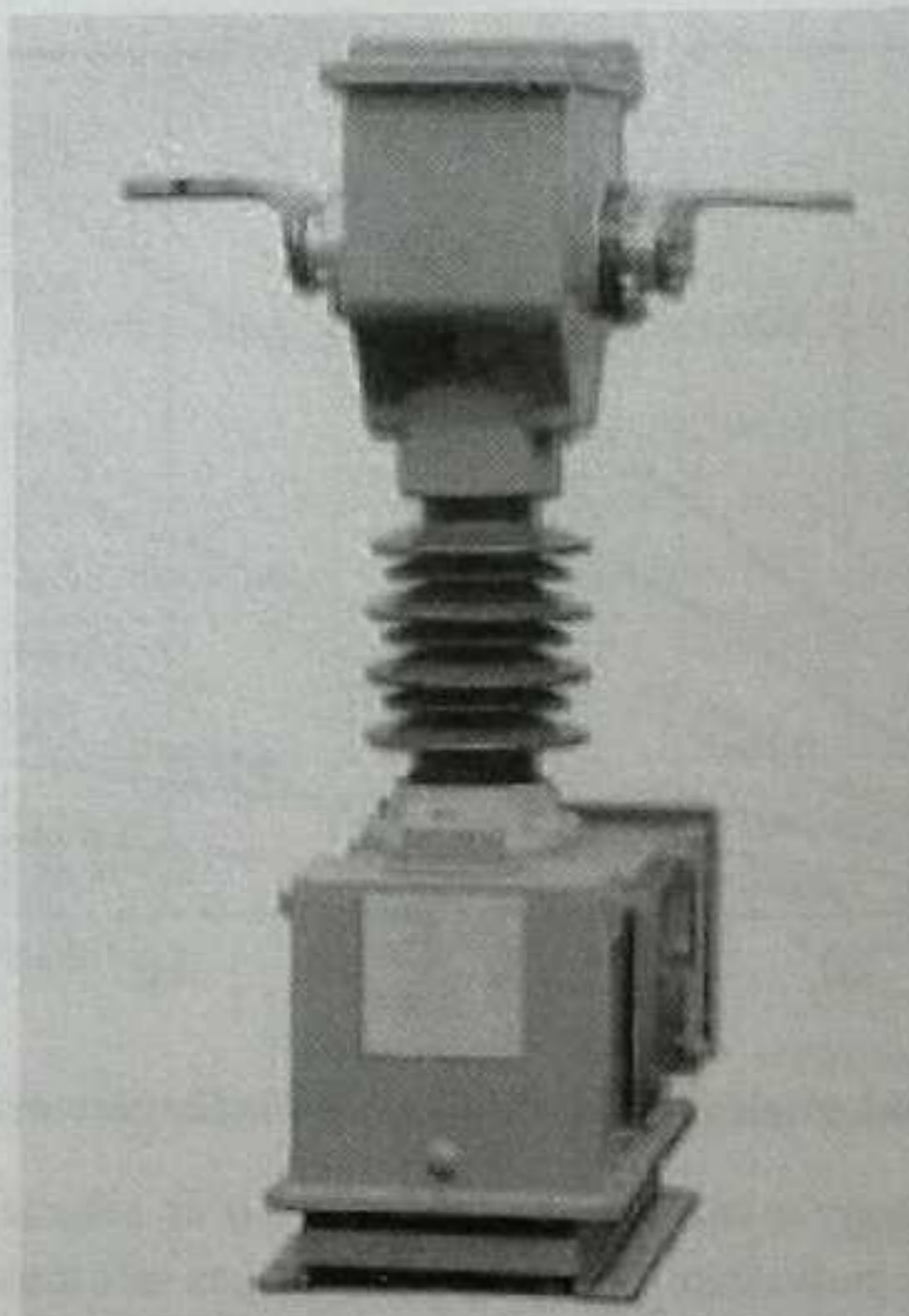
Az áramváltó működését jelentős mértékben befolyásolja annak terhelése (burden). A mai elektronikus-digitális védelmek bemeneti impedanciája igen alacsony (néhány 10 mohm), ezért a hozzávezetések határozzák meg döntően az ÁV terhelését.



18-10. ábra Vezetékterhelés – Vezeték hossz összefüggése áramváltók esetében

A fenti ábrából látható, hogy a vezeték hossz (kábelezés) és keresztmetszet határozza meg a terhelés szintjét. Továbbá leolvasható, hogy az 5A névleges szekunder áramú ÁV lényegesen nagyobb terhelést jelent, mint az 1A névleges értékű ( kb. 25\*). Ezért ma már törekvés van az 1 Amperes ÁV kizárólagos alkalmazására.

Kivitelüket tekintve számos típus terjedt el. Vannak ún. átvezetős, gyűrűs és beépített áramváltók. Lehetnek szabadtéri és zárt térben alkalmazandó típusok. Gyakran egy készülékben több áramváltó helyezkedik el. Ekkor többmagos áramváltóról beszélünk. Egy vonali típusú ÁV látható az alábbi ábrán.



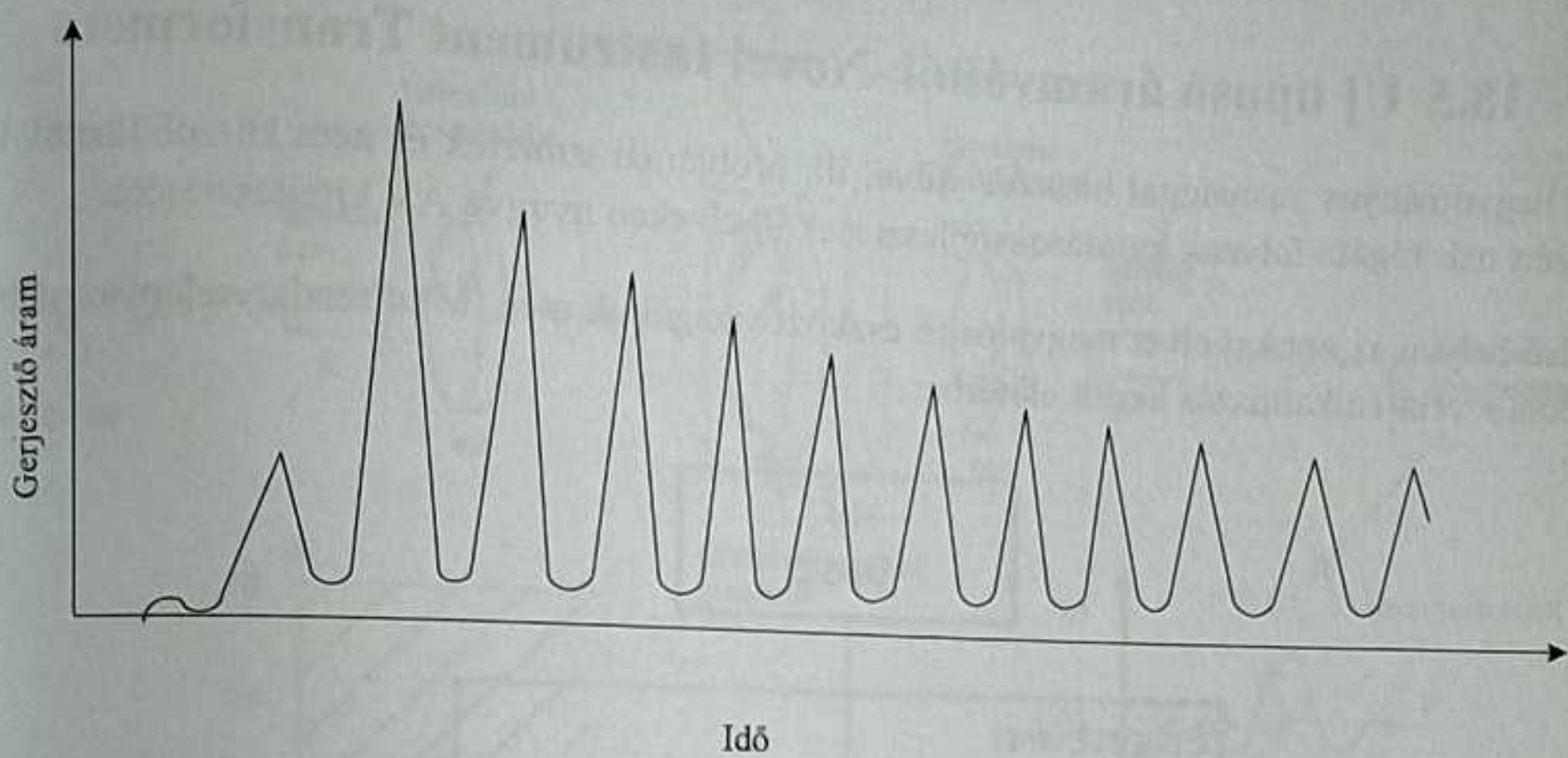
18-11. ábra nagyfeszültségű áramváltó

Az áramváltók tranziens viselkedése jelentős kihatással van a jelátviteli tulajdonságra és egyben a védelem működésére egyaránt.

A primer áram általában tartalmaz egyenáramú összetevőt is, amelynek csillapodása a hálózat időállandójától függ.

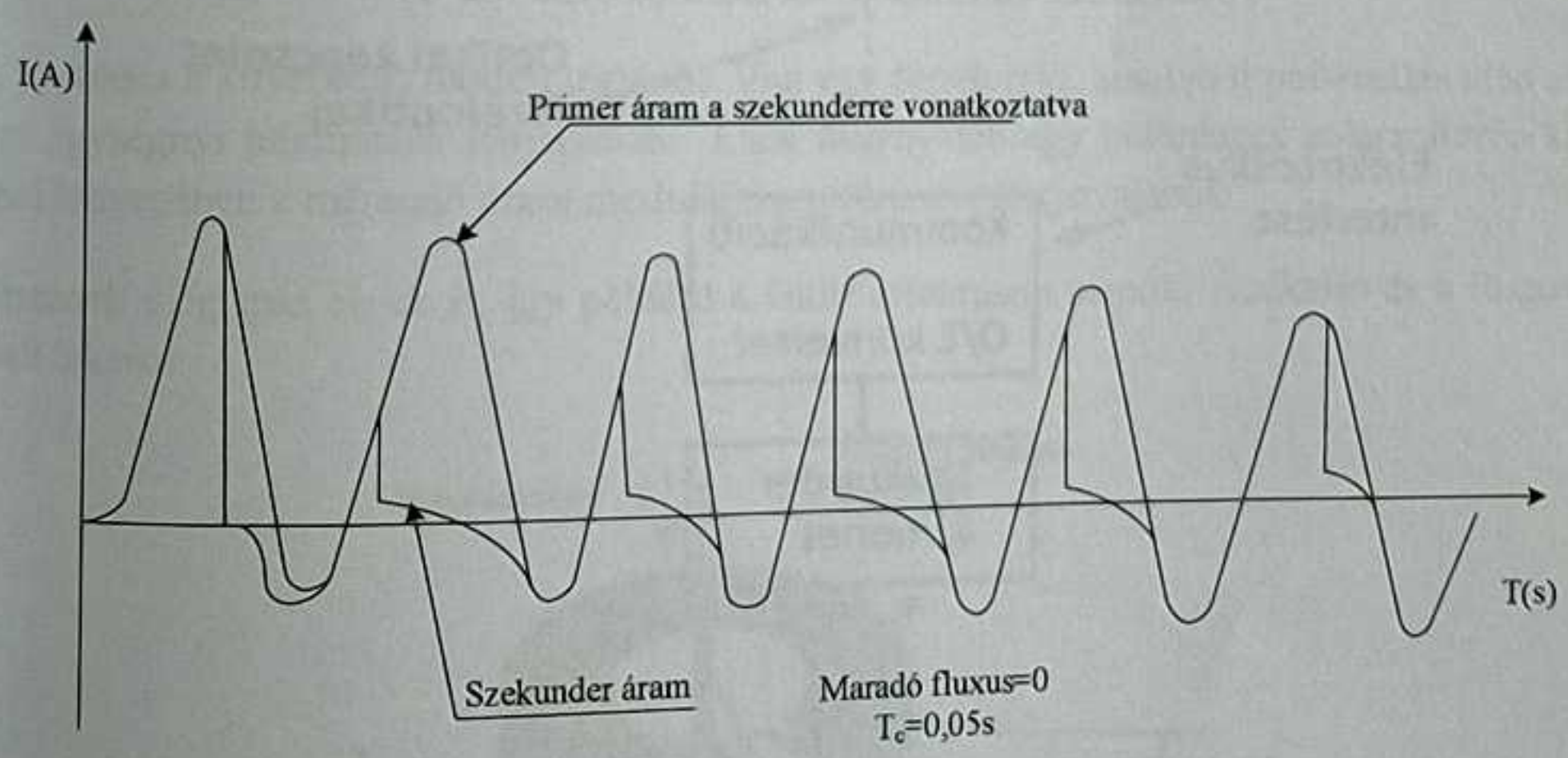
$$i_p = I_p \left[ \sin \left( \omega t - \frac{\pi}{2} \right) + e^{-(R/L)t} \right]$$

Az áramváltó, mint transzformátor elvű készülék, az egyenáramú összetevőt alig tudja kezelni. Ebből adódik, hogy a gerjesztési árama megnövekszik és az alábbi jellegzetes formát veszi fel:



18-12. ábra Áramváltó gerjesztőáram-idő diagram

Ennek hatására a szekunder áram:



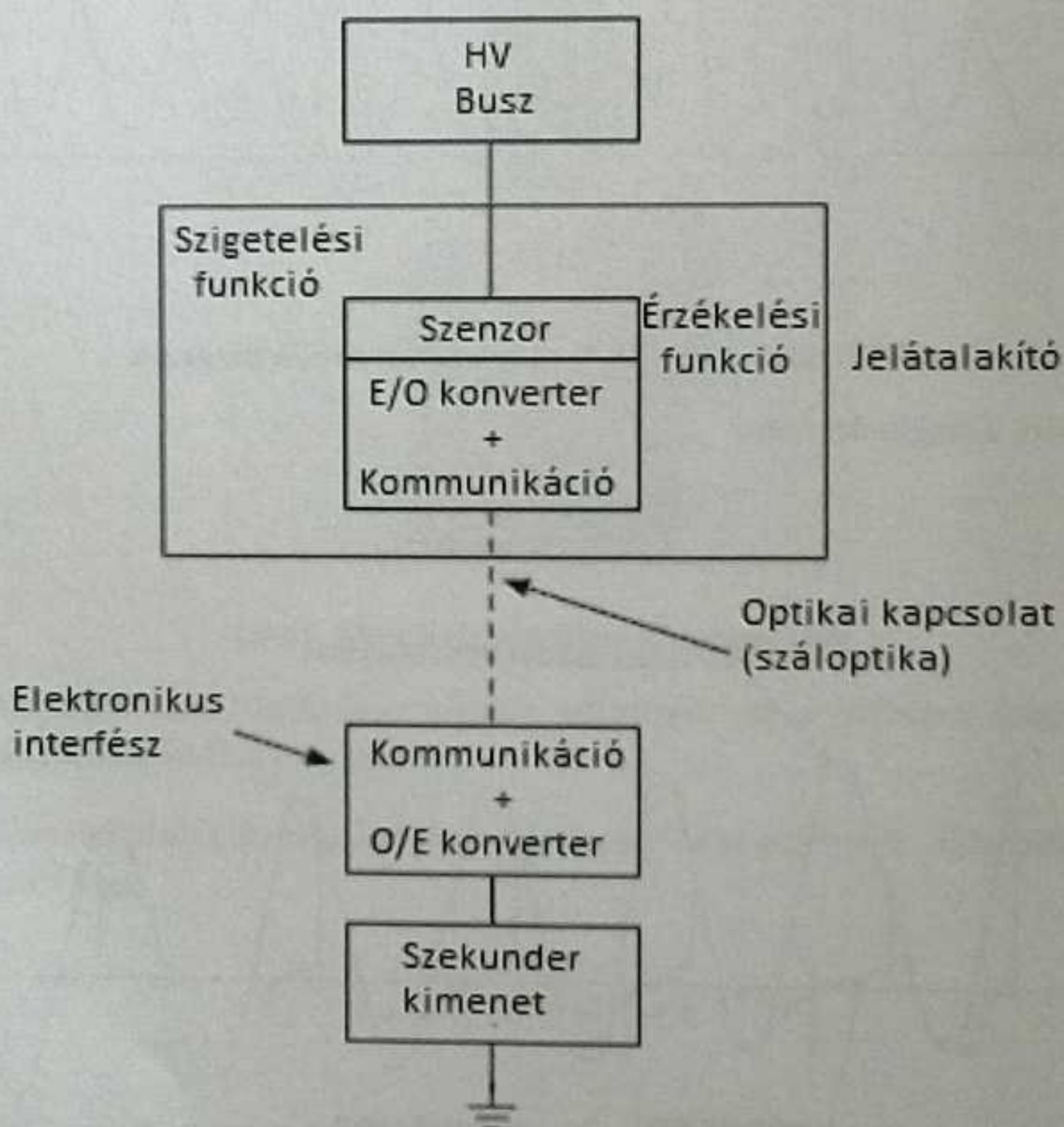
18-13. ábra Áramváltó primer áram-idő és szekunder áram-idő összefüggése

A szekunder áram erősen torzított formában jelenik meg. A torzítás még erősebben jelentkezik, amikor az ÁV vasmagja egy korábbi tranziens áram miatt fel van mágnesezve, ezt nevezzük remanens mágnesességnek. Ezen jelenségek a bonyolultabb differenciál- és impedancia elvű védelmeknél jelentős problémákat okoznak. Így például, ahogy láttuk korábban a transzformátor bekapcsolási áramoktól való elhangolásánál különleges reteszelési módok válnak szükségessé.

## 18.5 Új típusú áramváltók-Novél Instrument Transformers

A hagyományos vasmaggal bíró ÁV hibái, ill. problémái ismertek és nem küszöbölhetők ki. Ezért már régóta folynak kutatások-fejlesztések új elveken nyugvó ÁV kifejlesztésére.

Első helyen az optikai elvet megvalósító eszközt vizsgáljuk meg. Mint rendszerem az alábbi séma szerinti alkalmazás került előtérbe:

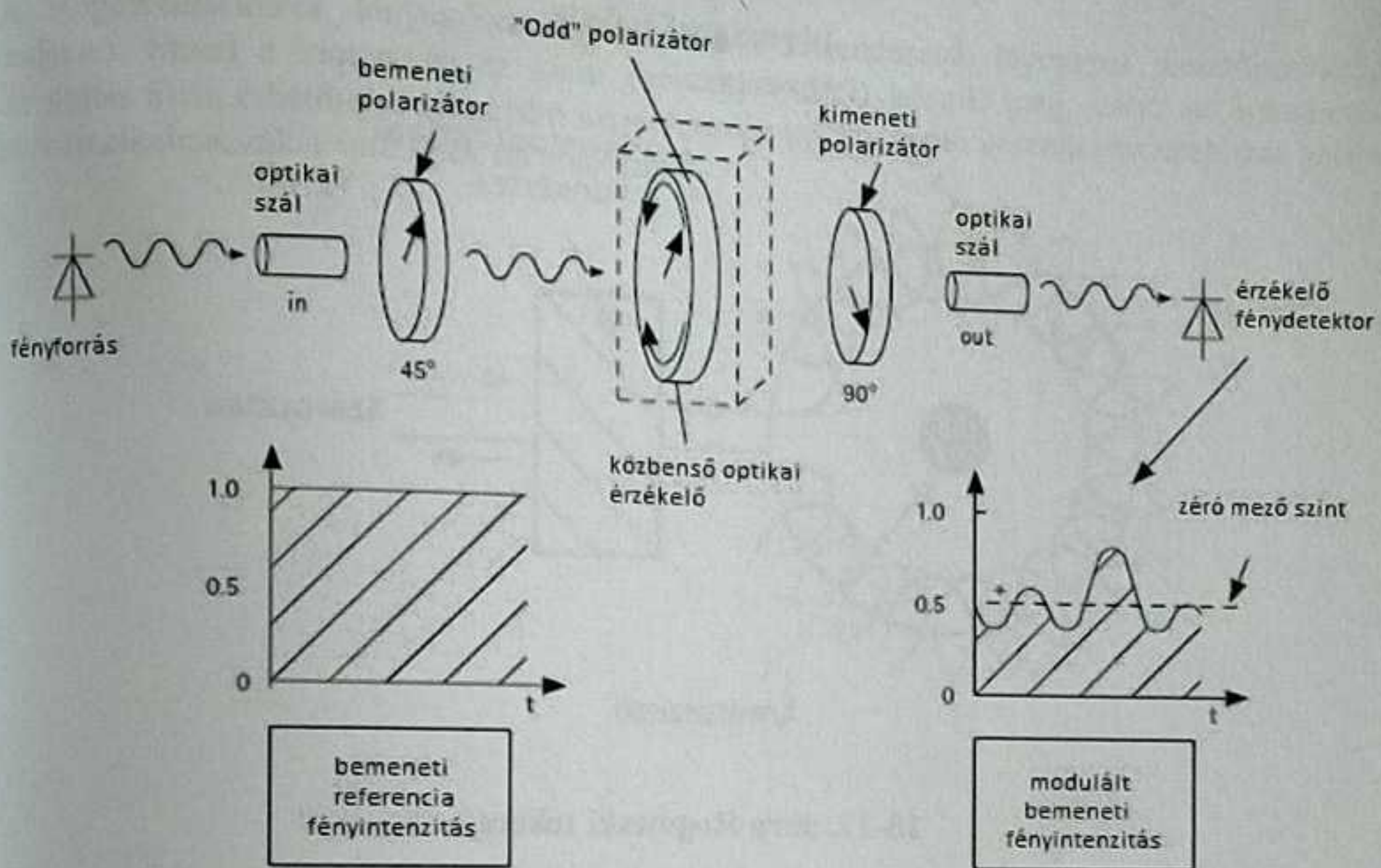


18-14. ábra Novel ÁV transzformátor blokksémája

ahol egy érzékelő árammal arányos jelet állít elő és az egy optikai kapcsolaton kerül egy kommunikációs és optikai/elektromos átalakítóra. Ezen megoldás több előnyt hord magában:

- az optikai kapcsolat egyben szigetel is,
- a szekunderezés nincs kitéve zavartatásnak,
- nem lépnek fel telítési jelenségek.

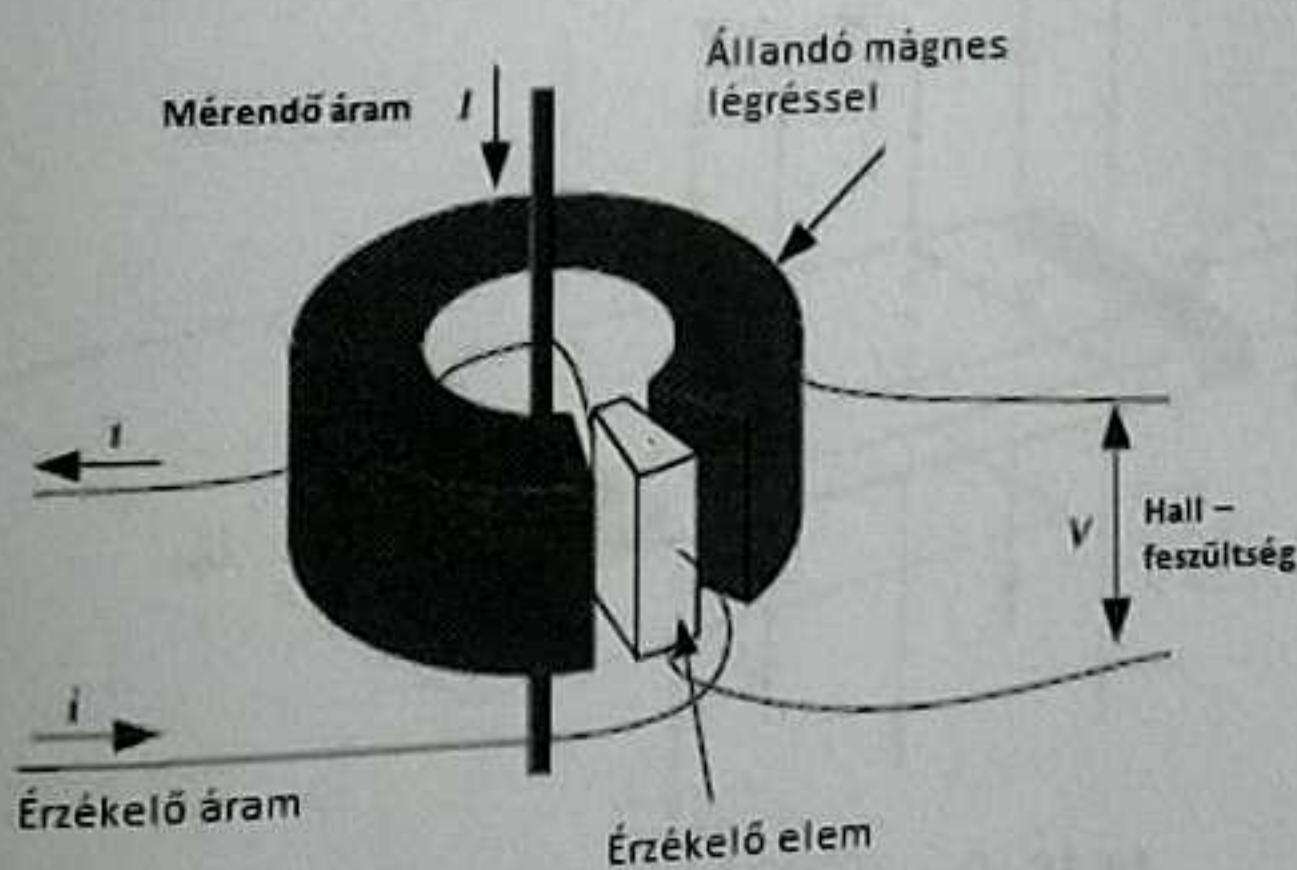
Az áramérzékelők terén sok irányzat létezik, mi az optikai elvű érzékelőt láthatjuk:



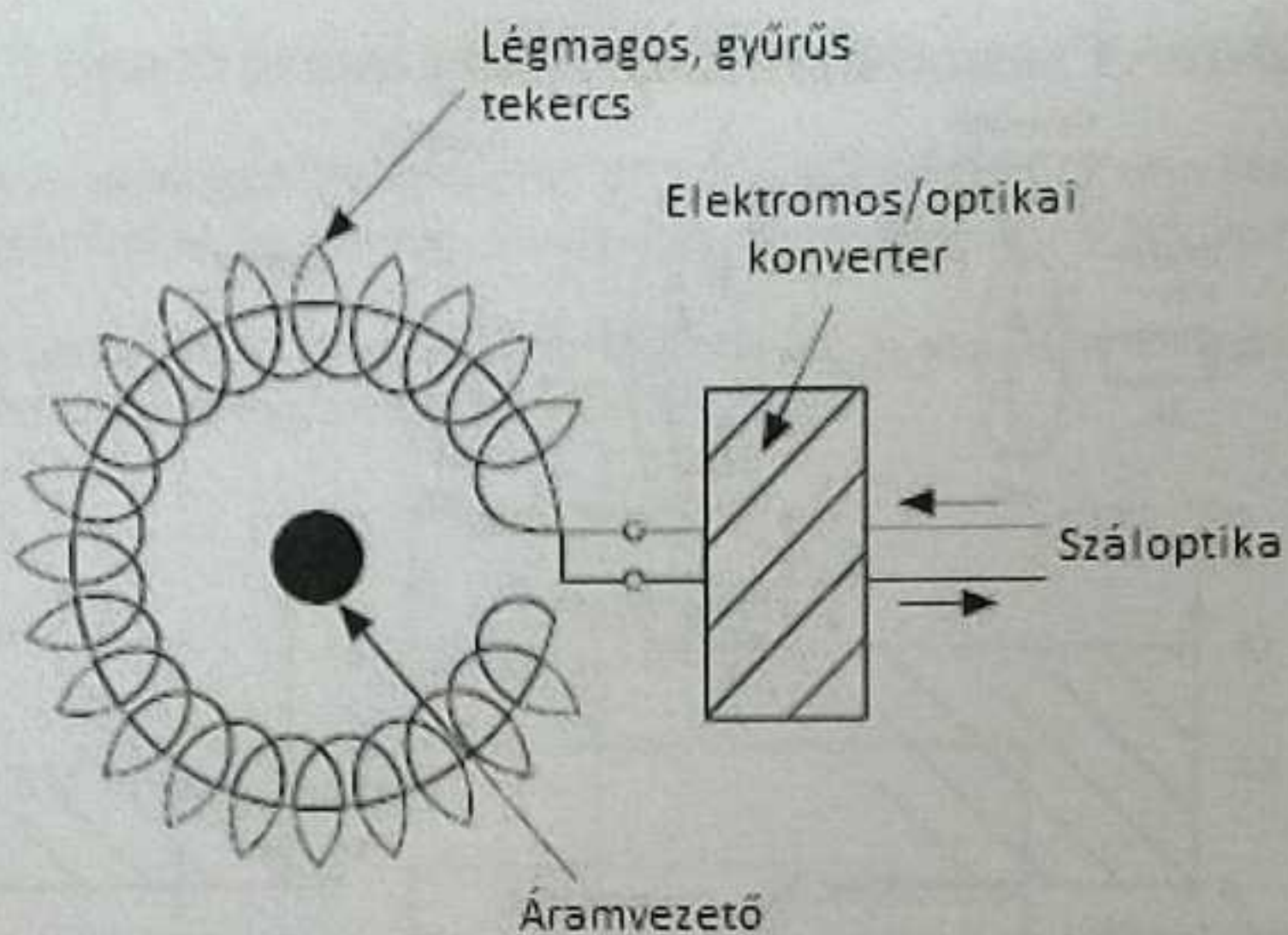
18-15. ábra optikai elven működő áramváltó

A működés a következő módon történik. Van egy fényforrás, amelyből polarizálás után előáll egy egységnyi intenzitású fénynyaláb. Ezen fénynyaláb egy különleges polarizátorba kerül, ahol lényegében a mérendő áram modulálja a referencia fénynyalábot.

Léteznek még más elvek is, így például a Hall- effektuson alapuló érzékelés és a Rogowski elvű tekercs.

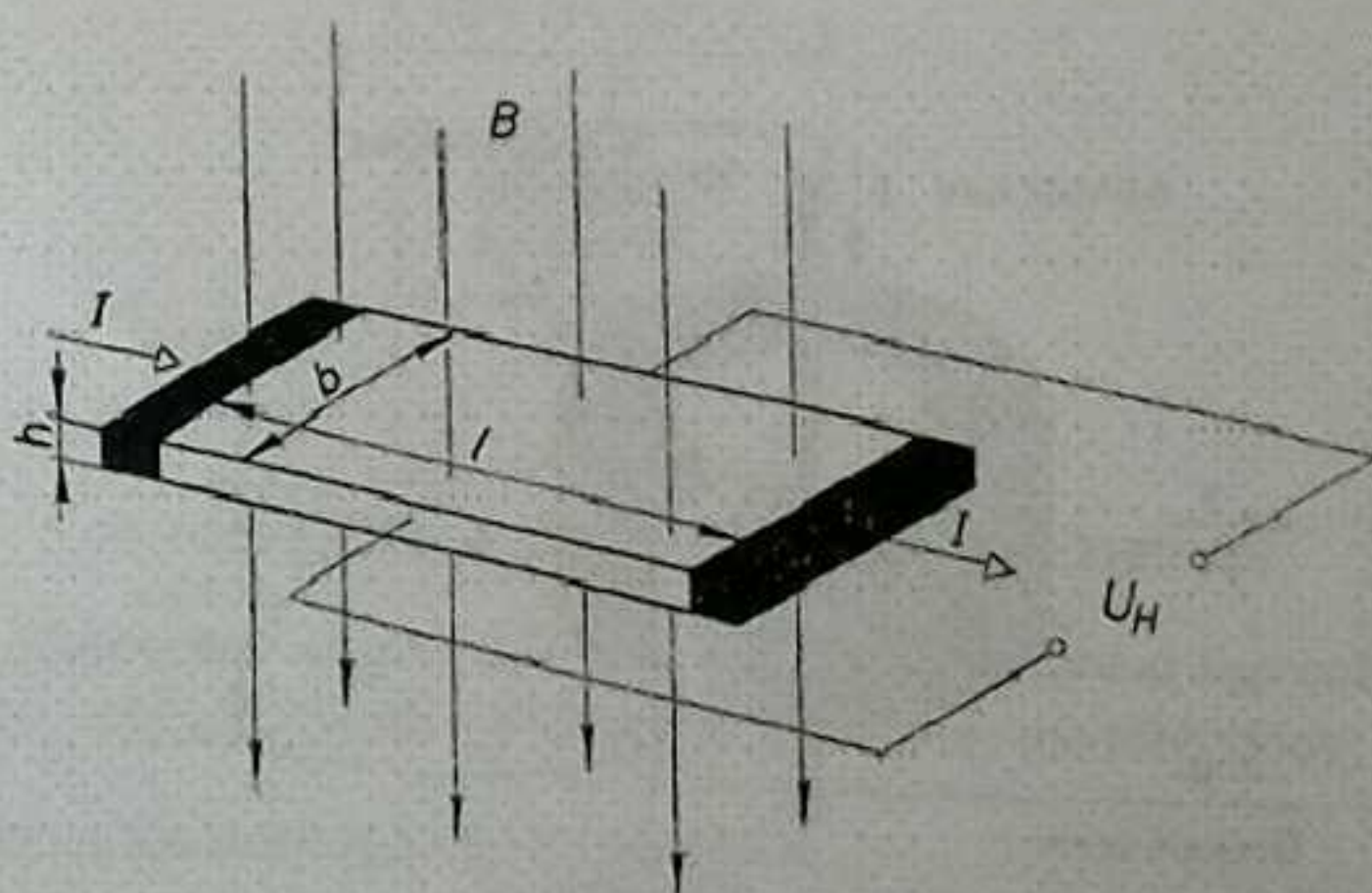


18-16. ábra Hall- effektuson alapuló érzékelés



18-17. ábra Rogowski tekercs

A mágneses jelátalakítók egyre gyakrabban alkalmazott fajtája, amely a **Hall-effektust** használja ki. A Hall-effektus azon alapul, hogy egy hasáb, vagy ahhoz hasonló alakú vezetõn, vagy ma már jobbra félvezetõn folyó  $I$  áramra merõleges,  $B$  indukcióval jelölt mágnes tér jelenlétére a hasáb oldalélei között az  $U_H$ , Hall-feszültség jön létre. A fizikai elvet az 18-18. ábra szemlélteti.



18-18. ábra A Hall-effektus szemléltetése.

A feszültség kialakulása azzal magyarázható, hogy az  $I$  áramot keltõ hosszirányú elektronmozgást ( $n$ -típusú vezetés) illetve a lyukak hosszirányú mozgását ( $p$ -típusú vezetés) a  $B$  keresztirányú mágneses tér befolyásolja. A mágneses tér hat a  $v$  sebességgel mozgó elektronokra, illetve lyukakra, az ún. Lorentz-féle erõt fejt ki.

A **Rogowskitekeres** lényegében egy speciális elrendezésű légmagos áram/feszültség átalakító. Mivel a kimenetén az áram deriváltja ( $di/dt$ ) jelenik meg, ezért az árammérés körben alkalmazzák a védelmek meghajtására.