

45. sz. laboratóriumi gyakorlat

Elektronikus motorvédelem vizsgálata

1. Elméleti alapok

Az erőművekben üzemelő nagyfeszültségű, nagyteljesítményű háromfázisú motorok, valamint a különböző ipari és egyéb létesítményekben üzemelő, sokféle hajtási feladatot ellátó és változó teljesítményű motorok megfelelő védelméről gondoskodni kell. Minden motorvédelem legalapvetőbb feladata a termikus védelem, ami túlterhelés- és zárlatvédelemből áll. Ha a motor melegezése egy meghatározott értéket eléri, akkor haladéktalanul le kell kapcsolni a hálózatról. A motorok ki-be kapcsolását motorvédő kapcsolóval végezhetjük.

A motorvédő kapcsoló olyan kapcsolókészülék, amely alkalmas:

- a motor indítási áramának bekapcsolására;
- a névleges áramának üzembiztos vezetésére;
- a motor káros túlmelegedése (pl. túlterhelés) esetén a beépített hőérzékelő segítségével az önműködő kikapcsolásra;
- érintésvédelmi-, reteszelési feladatok megoldására, különféle jelzések adására;
- zárt állapotban véges ideig el tudja viselni a rajta átfolyó zárlati áram hatásait.

Ilyen feladat ellátására a mágneskapcsolót vagy a kapcsolót hőkioldóval együtt gyártják. Az ilyen kapcsolókészülék névleges megszakítóképesége az üzemi (túlterhelési) áramok tartományában van, ezért a zárlati áramok megszakítására nem alkalmasak. Ha tehát működtetésre és motorvédelemre hőkioldóval ellátott kapcsolókészüléket kívánunk alkalmazni, akkor a kapcsoló elé zárlatvédő eszközt kell beiktatni. A zárlatvédő eszköz megszakító vagy olvadóbiztosító lehet.

A korszerű motorvédő olyan megszakító, amely el van látva túlterhelés és zárlatérzékeléssel is, így valamennyi túláram lekapcsolására alkalmas. Az érzékelést a hagyományos mechanikai relétechnikából jól ismert készülékek biztosítják: a túlterhelésvédelmi fokozat ikerfém (bimetallos) érzékelőt, míg a zárlatvédelmi fokozat elektromágneses túláramrelét (kioldót) tartalmaz.

Az ilyen védelmek közös fogyatékosága, hogy a beépített relék – érzékeny finommechanikai szerkezetek – kényesek számos környezeti behatásra (por, vegyi anyagok, rázkódás, beépítési helyzet, hőmérséklet), míg az ikerfém érzékelő alkalmazásakor egyéb problémákkal is szembekerülünk. Az ikerfém – méreteinél, tömegénél fogva – nem tudja betölteni a hőmás szerepét, nem tudja megfelelő pontossággal modellezni a motor melegezési folyamatait. Ez befolyásolható az ikerfém fűtési módjával (közvetett, illetve vegyes fűtés), de pontos hőmás így sem készíthető. Ezért a motorok – melegezés szempontjából – kritikus helyeire ellenállás érzékelőket (termisztorok) célszerű beépíteni. További problémát jelent, hogy az ikerfém villamosan öregszik, ezért változik a beállítási áramának értéke. Ezért a hagyományos mechanikus védelmek rendszeres karbantartást, hitelesítést igényelnek, és sok esetben az érzékelőelemek fogyasztása is számottevő.

Ezért az elektronika, illetve a számítástechnika fejlődésével előtérbe kerültek a fenti problémák többségének kiküszöbölésére alkalmas – elektronikus érzékelésen, illetve leképezésen alapuló – ún. elektronikus védelmek, amelyekben integrált áramkörökkel oldhatók meg a védelemmel összefüggő feladatok. Mivel a motorvédelem egyik alapvető feladata a túláramvédelem, ezért előtérbe került az elektronikus túláramrelék alkalmazása.

Az elektronikus készülékek az árammal arányos jelet használják fel a motor termikus állapotának leképezéséhez. A motorleágazásokba beépített primer áramváltók szekunder oldalát lezáró ellenállásokon fellépő – az árammal arányos – feszültség-jelek egyenirányítás után jutnak a védelem érzékelő áramköreire, amelyek a zárlatvédelmi és a túlterhelésvédelmi funkciót is ellátják.

A zárlatvédelmi gyorsfokozatnak kell működnie, ha a tényleges zárlati áram nagyobb a beállított értéknél. A védett motor megszakítóját működtető kioldó impulzust késleltetni kell, ugyanis a motor indítási áramának csúcsértéke és a várható zárlati áram sok esetben közel azonos, viszont a gyorsfokozat megszólalása nem jöhet létre a motor indítási áramlökésének hatására. A tapasztalatok szerint a motor bekapcsolási tranziens jelensége néhány periódus alatt lezajlik, utána már – ebből a szempontból gyakorlatilag állandónak tekinthető – indulási árammal számolhatunk. Ettől az értéktől kell – megfelelő biztonsággal – nagyobb értékre állítani a gyorsfokozat megszólalási áramát. Tehát a bekapcsolási tranziensről történő szelektív elhangolás olyan rövididejű késleltetéssel biztosítható, amely rövidzárlat esetén még kellően gyors működést eredményez. Ez általában néhány tized (max. 0,5) másodperc.

A túlterhelésvédelmi funkciót – a védendő motor tartós túlterhelésének megakadályozását – a védelem késleltetett fokozatának alkalmasan kialakított kioldási karakterisztikája biztosítja. Mivel a melegedés az áram négyzetével arányos, ezért a mindenkori motoráram négyzetével arányos jelet állítunk elő. Ebből egy integrátor az áramnégyzet idő szerinti integrálját képezi:

$$f(t) = C \cdot \int_0^t i(t)^2 dt$$

amely alapján a kioldási idő: $t_K = \frac{K}{\left(\frac{I}{I_n}\right)^2}$, ahol

a K nagyságának változtatásával a kioldási karakterisztika az ordináta tengellyel párhuzamosan eltolható. Ezzel a működési időt, a melegedés sebességét – lényegében a melegedési idő-állandót – változtatjuk a motor melegedésének megfelelően.

A motor pillanatnyi termikus állapotát az integráló kondenzátor tárolja, amelyet a fenti függvénnyel megegyező módon töltünk a melegedés során. A motor hűlése a kisütési folyamattal szimulálható, melynek időállandóját a motor hűlési időállandójának megfelelően kell megválasztani. Így a kondenzátor feszültsége a motor pillanatnyi termikus állapotát képezi le, tehát múltó jellegű túlterhelések után a védelem figyelembe veszi ennek hatását egy újabb túlterhelés fellépése esetén. A késleltetett fokozatban akkor jön létre kioldás, ha a kondenzátor feszültsége egy meghatározott értéket túllép. Ekkor a kioldóparancs a gyorsfokozattal közös kimenőrelét működteti, amely a megszakító kikapcsolását okozza.

Természetesen a motorok többsége bonyolultabb annál, mintsem melegedése a fenti egyidő-állandós modellel pontosan leképezhető legyen. Sok esetben szükség van egyedi hőmérséklet-érzékelésre a motor meghatározott (termikus szempontból kritikus) pontjain. Ehhez többnyire PTC (PTK) típusú ellenállásérzékelőket (termisztorok) alkalmaznak, melyek használata szempontból is előnyös. Egyrészt az ellenállás jelentős és ugrásszerű növekedése határozott érzékelést biztosít, másrészt az érzékelők sorba kapcsolásával több pont ellenőrzéséhez egyetlen ellenőrző áramkör is elegendő. Utóbbi megengedhető, hiszen bármely érzékelő ellenállása nő meg hirtelen (bármely ponton lép fel a megengedettnél nagyobb hőmérséklet), a motort haladéktalanul le kell kapcsolni a hálózatról.

A védelem mindig egyértelmű visszajelzést ad (pl. LED kigyullad) a lekapcsolást kiváltó okról (zárlat, tartós túlterhelés vagy helyi túlmelegedés). Zárlat és helyi túlmelegedés esetén a motor nyugtázás nélkül nem kapcsolható vissza a hálózatra, míg túlterhelés esetén az automa-

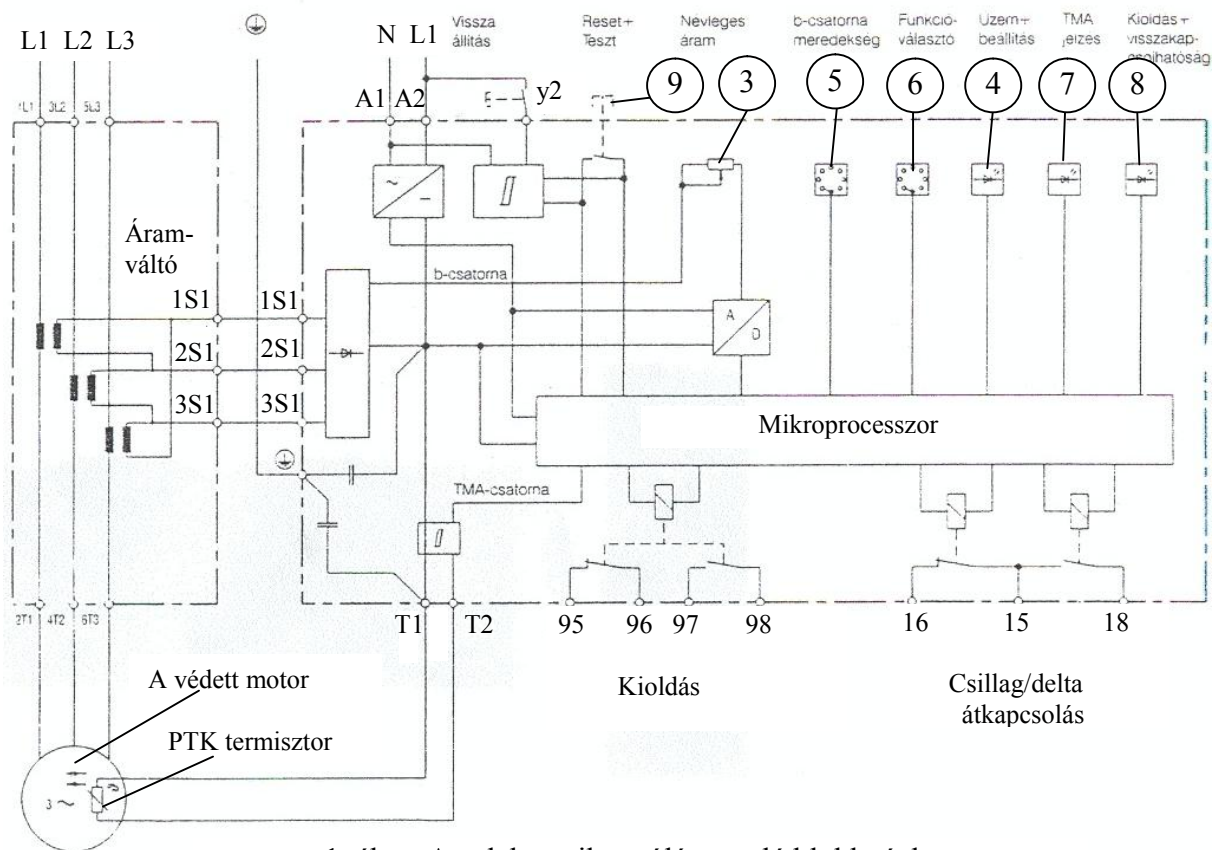
tikus visszkapcsolás engedélyezhető (utóbbi opcionális, az elektronikus védelem beállításkor választható).

Az elektronikus védelmeknél is megtalálható a tesztelési funkció, amellyel a védelem helyes működése bármikor manuális beavatkozással ellenőrizhető.

2. A *be 627* típusú elektronikus túláramrelé

A *be 627* típusú elektronikus túláramrelék alkalmasak váltakozó áramú motorok, transzformátorok túlmelegedés elleni védelmére, amely túlmelegedés megnövekedett áramfelvétel, fáziskimaradás vagy a hűtés csökkenésének következménye lehet. Előnyösen alkalmazhatók áramvezérelt motorindítóként is, ugyanakkor nem alkalmasak zárlati lekapcsolásra.

A túláramrelé felépítése, illetve működése az 1. ábra alapján a következő:



1. ábra Az elektronikus túláramrelé blokkvázlata

A túláramrelé hárompólusú, mikroprocesszor-vezérlésű készülék, amely az elektronikus és az áramváltó egységből áll. Az egységek együtt, de külön is telepíthetők. Az áramváltó 1S1, 2S1 és 3S1 kapcsait közvetlenül össze kell kötni az elektronikus egység megfelelő kapcsaival. Az áramváltó 6 különböző névléges áramértékre készül: 2,5 A; 10 A; 25 A ; 80 A; 200 A és 630 A. Külön-külön történő telepítés esetén az összekötő vezeték megengedett maximális hossza 6 méter, minimális keresztmetszete 1,5 mm². A mérőváltó és az elektronikus egység szerelési helyzete is tetszőleges.

Az elektronikus egység alap kivitelben csak az áram érzékelésére alkalmas csatornával rendelkezik, míg a bővített kivitelben van a termisztorok ellenőrzését végző (TMA) csatorna, és csillag-delta átkapcsoló is. Az elektronikus egység táplálása a hálózatról történik (A1 és A2 jelű kapcsok), és a védővezető csatlakozáshoz – zavarvédelmi okokból – feltétlenül

csatlakoztatni kell a védővezetőt. A T1 és T2 kapcsokhoz 1...6 sorba kapcsolt hidegenvezető hőmérsékletérzékelő (PTK termisztor) csatlakoztatható.

A készülék az aktuális motoráramot mindhárom fázisban figyeli, és arányos feszültséggé alakítja át. Ez egyenirányítva és digitalizálva jut a mikroprocesszorba, amely egy adott matematikai modell alapján kiértékeli a védendő berendezés pillanatnyi termikus állapotát. Tehát a túláramrelé figyeli a terhelőáram mértékét és időtartamát, és túlterhelés esetén – az előterhelés mértékétől függően - korlátozza a kioldási időt a hidegindításhoz képest. Szükség esetén létrehozza a védelmi kioldást. Egy bekövetkezett kioldás a piros LED (8) folyamatos világításáról ismerhető fel.

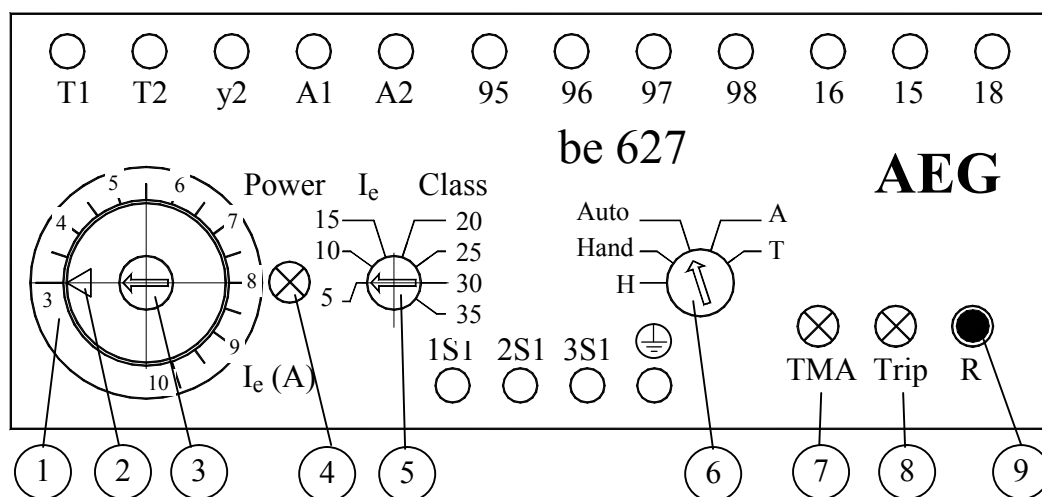
Ezzel párhuzamosan a mikroprocesszor folyamatosan figyeli a csatlakoztatott termisztor(ok) hőmérsékletnek megfelelő ellenállását, és az eredményt kiegészítő kioldási kritériumként kezeli. Ha a csatlakoztatott termisztor(ok) ellenállása meghaladja az előírt határértéket, az azonnali kioldást eredményez. A termisztor(ok) túlmelegedett állapotát a sárga LED (7) jelzi.

A kioldás vezérléséhez egy – galvanikusan független – záró-bontó érintkezőpár áll rendelkezésre, amelyek névleges jellemzői váltakozó áram esetén 400 V/6 A, de vezérlőkörök esetén AC-11 üzemmódban ($U < 400\text{ V}$), illetve DC-11 üzemmódban ($U < 48\text{ V}$) a névleges üzemi áramuk csak 1 amper.

Kioldás után a berendezés hűlni kezd, hőmérséklete csökken. Ezt a mikroprocesszor belső számlálómodulja is követi, és a visszakapcsolás bekövetkezhet, ha a számláló a lekapcsolást kiváltó érték 80 %-án áll. A visszakapcsolás feltétele, hogy ezt a termisztorok állapota lehetővé tegye (a sárga LED nem világít). A visszakapcsolás történhet kézzel, illetve automatikusan bekövetkezik – a választott üzemmódtól függően (ld. később). A piros LED villogással jelzi, ha a túláramrelé visszakapcsolható. A visszakapcsolás távműködtetéssel is elvégezhető, ha az „y2” bemenetet a tápfeszültség fázispontjára kapcsoljuk egy nyomógomb segítségével. A távvisszakapcsoló legnagyobb vezetékhoosszúsága 350 méter lehet, de a kiválasztott érpár kapacitása nem lehet 50 nF-nál nagyobb.

A motorindításhoz egy áramvezérelt csillag-delta átkapcsoló áll rendelkezésre. A készülék delta üzemre kapcsol át, ha csillag kapcsolásban a motoráram a beállított áram 120 %-ára csökken. Az átkapcsolást végző kontaktorok vezérléséhez egy galvanikusan leválasztott záró-bontó érintkezőpár áll rendelkezésre a 16, 15 és 18 jelű csatlakozási pontokon.

A készülék kezelése - a 2.ábra alapján - a következők szerint történik:



2. ábra Az elektronikus túláramrelé előlapja és kezelőszervei

A tápfeszültség bekapcsolása után a túláramrelé azonnal üzemkész, amit a zöld LED kigyulladása jelez. Ha a zöld LED folyamatosan világít, akkor a terhelőáram a beállított áram 110 %-ánál nem nagyobb, védelmi kioldás nem várható. Ha a zöld LED villog, akkor ez arra utal, hogy kioldás várható – amennyiben ez az áram továbbra is fennmarad -, mert a terhelőáram a beállított áram 110 %-ánál nagyobb. Ha a tápfeszültség bekapcsolása után a zöld és a piros LED is világít, akkor a tápfeszültség lekapcsolása előtt védelmi kioldás történt. (Tehát a kioldás jelzése hálózatkiesés esetén – a hálózati feszültség visszatérése után – is működik.) A túláramrelé ilyenkor csak a készülék által meghatározott visszakapcsolási idő letelte után kapcsolható vissza a Reset-gomb (9) vagy a távvisszakapcsoló működtetésével. A visszakapcsolhatóságot a piros LED villogása jelzi. Visszakapcsolás után a piros LED kialszik.

A visszakapcsolás nem jöhet létre, ha a TMA feliratú sárga LED világít, hiszen ez a termisztor túlmelegedett állapotát jelzi. Ha termisztoros érzékelés nincs, akkor a T1 és T2 pontokat rövidegre kell zárni!

A motor névleges áramának beállítása potencióméterrel, az előlapon látható tárcsa (3) csavarhúzóval történő elforgatásával végezhető el. A beállított áram a skálaosztás (1) azon értéke, ahova a tárcsán lévő nyíl (2) mutat. A beállítási tartomány $(0,25...1) \times I_n$, így a 6 különböző áramváltóhoz tartozó beállítási tartományok:

| | | |
|-------------------|-----------------|------------------|
| 0,63 2,5 A; | 2,5 10 A; | 6,3 25 A; |
| 20 80 A; | 50 200 A; | 160 630 A. |

A zöld LED-nek a túláramra figyelmeztető funkciója (villogása) az áram beállításához segítségként felhasználható. Üzemelő motor esetén a beállító potenciómétert (3) – a zöld LED villogás esetén – forgassuk balra mindaddig, amíg a zöld LED villogása tartós világításra nem vált. Ezáltal biztosított a védelmi eszköznek az aktuális motoráramra történő beállítása.

A kioldási osztály beállítása egy választókapcsolóval (5) történik. Ezzel a kapcsolóval az ún. felfutási idő kiválasztását végezhetjük el, amivel a túláramrelét a védendő eszközhez illeszthetjük (3.ábra). Lényegében a melegedési (hűlési) időállandót tudjuk vele szabályozni diszkrét lépésekben, és ennek megfelelően a kioldási jelleggörbe eltolódik a függőleges (idő)tengely mentén. Az egyes osztályok jelzőszáma egyébként a kioldási idő maximális értékét adja meg háromfázisú szimmetrikus terhelést feltételezve, hatszoros beállított terhelőáram mellett, hideg állapotból (környezeti hőmérsékletről) induló melegedés esetére. Pl. 10-es osztály választása esetén – hatszoros névleges áram mellett – a relé kioldása 10 másodpercen belül bekövetkezik. Az egyes osztályokhoz tartozó kioldás utáni visszahűlési időket az alábbi táblázat tartalmazza:

| | | | | | | | |
|---------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| osztály | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 |
| visszahűlési idő, s | 105 | 200 | 295 | 395 | 490 | 585 | 680 |

A jelleggörbékéből megállapítható, hogy a relé a beállított áram 10-szereséig képes a helyes érzékelésre, tehát ennél nagyobb áramok (pl. zárlatok) érzékelésére nem alkalmas.

Öt lehetséges üzemmód közül választhatunk a funkcióválasztó kapcsoló (6) segítségével:

H: Kioldás után a visszakapcsolás történhet kézzel a Reset-gomb (9) vagy a távvisszakapcsoló segítségével.

Hand: Kioldás után a visszakapcsolás kézzel történhet.

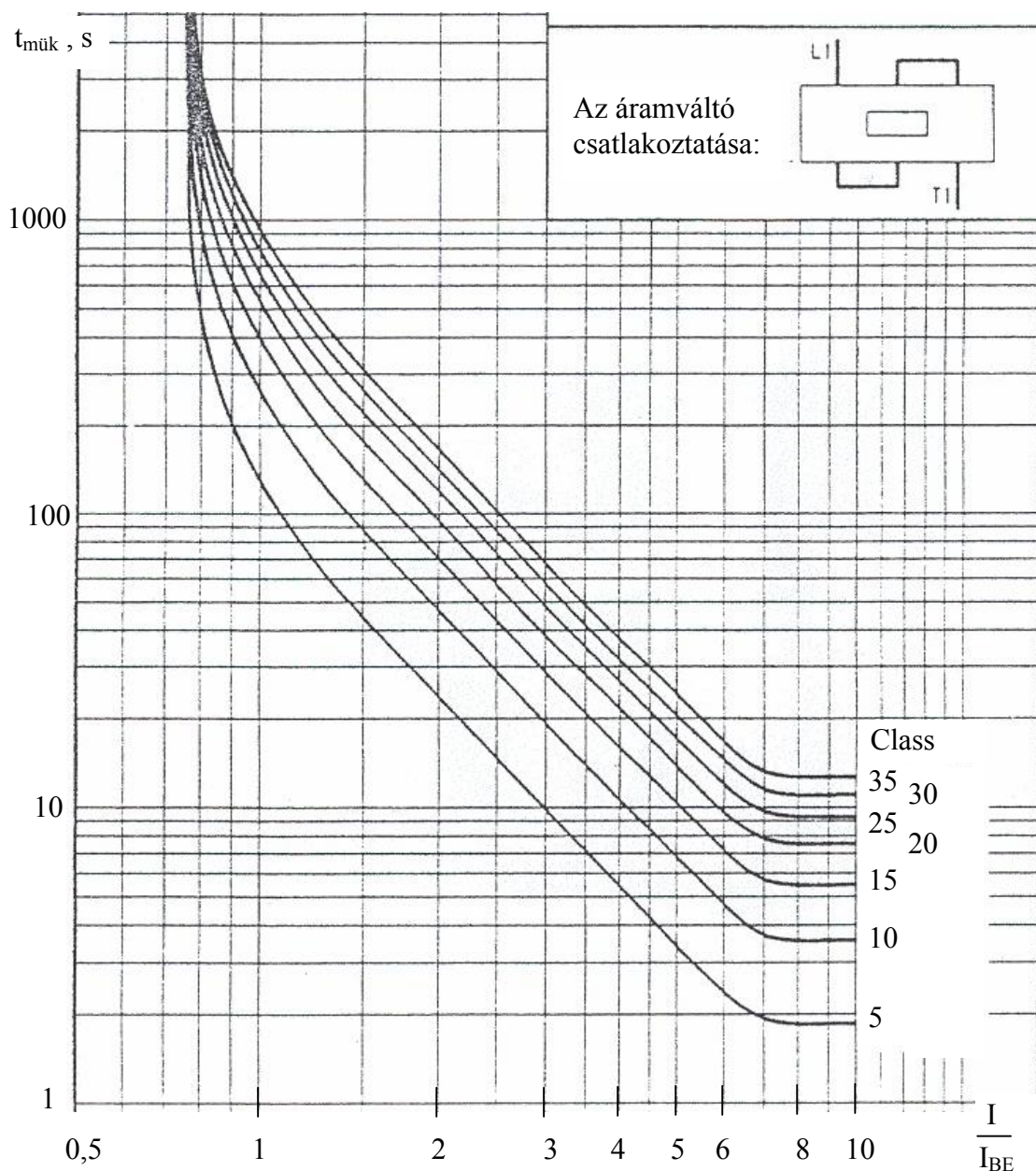
Normál üzemállapotban a Reset-gomb működtetése a kioldás tesztelésére szolgál.

Auto: Kioldás után a visszakapcsolás automatikusan megy végbe, feltéve, hogy a védett berendezés hőmérséklete a kioldási érték 80 %-ára hűlt vissza.
 Normál üzemállapotban a Reset-gomb működtetése a kioldás tesztelésére szolgál.

A: Kioldás után a visszakapcsolás automatikusan megy végbe, feltéve, hogy a védett berendezés hőmérséklete a kioldási érték 80 %-ára hűlt vissza.
 Tesztkioldás nem lehetséges.

T: Tartós tesztelés.
 Üzembe helyezési célokra a kioldást vezérlő relé állandó jelleggel „kioldott” állapotban áll.

A kiválasztott (aktuális) üzemmódot az elforgatható tárcsában lévő nyíl mutatja.



3.ábra Az elektronikus túláramrelé kioldási jelleggörbéje háromfázisú terhelés mellett, hidegstart esetén

Nagyobb áramoknál olyan kis működési idők adódnak, hogy a védelem lekapcsol, mielőtt a következő mérési pont terhelőáramának beállítását elvégeznénk. További probléma, hogy a védelem lekapcsolása után a visszahúlési időt ki kell várni, ami jelentősen lassítja a mérés elvégzését. Ezért olyan mérési elrendezést kell kialakítani, amely a visszahúlési ideje alatt lehetővé teszi a következő mérési pont áramának beállítását. Az NG nyomógomb megnyomásakor – a túláramrelé kikapcsolt állapotában, a visszahúlési ideje alatt – lehetőség van a következő mérési pont áramának előzetes beállítására az R_1 ellenállás és a tápegység feszültségének változtatásával, ha az R_2 ellenállás értéke az áramváltó körének ellenállásával megegyezik.

Az R_2 ellenállás értékének beállítását az első melegedési mérést követően végezhetjük el az alábbiak szerint: Az MK mágnescapcsoló elengedése után nyomjuk meg az NG nyomógombot, és tartjuk lenyomva. Ekkor az R_2 ellenállás értékének változtatásával állítsuk be az előző mérőáramot, és a mérés során a továbbiakban már ne változtassuk az R_2 ellenállás értékét. Minden mérés során olvassuk le az A-mérőről a tényleges mérőáramot, amely az előzetesen beállított áramtól kis mértékben eltérhet (kicsi a terhelőkör ellenállása, a tápegység sem stabilizált).

A mérés **Auto** üzemmódban végezzük. Ennek egyik oka, hogy a hideg állapotból indított mérésekhez a teljes visszahúlésiig lényegesen hosszabb időre lenne szükség, másrészt a „teljes visszahúlési” állapota nehezen ellenőrizhető. Ezért a meleg (előmelegített) állapotból induló mérés elvégzése célszerű, amit az is indokol, hogy a gyakorlatban általában a névleges terhelés közben lép fel a túlterhelés. A választott üzemmódban mindig egy meghatározott állapotnál (80 %) jön létre a visszakapcsolás.

4. Mérési feladatok:

A.) A működési jelleggörbe meghatározása a megadott áramtartományban egy megadott beállított áram és egy megadott osztály (5) esetén.

Minden mérési pontban határozzuk meg a működési és a visszahúlési idő értékét is. Az időérték leolvasása után a megfelelő stoppert azonnal nullázzuk. A mérést a megadott áramtartományban, a mérőáramot amperenként változtatva végezzük. Az első mérési pontban három mérést végezzünk. Ha a mérési eredmények szóródása kicsi, akkor a továbbiakban elegendő minden pontban egyetlen mérést végezni. A kapott eredményeket ábrázoljuk log-log léptékű koordinátarendszerben, és az ábrába rajzoljuk bele az adott osztályhoz tartozó jelleggörbét (ld. a 3. ábrán!).

B.) A működési és a visszahúlési idő meghatározása a beállított áram kétszeres értékénél több különböző osztály választása esetén.

Állítsuk be mérőáramként a műszer előlapján beállított áram kétszeresét, és legalább 3-4 különböző osztályhoz tartozó működési, illetve visszahúlési időket határozzuk meg. A kapott eredményeket értékeljük, illetve hasonlítsuk össze a megadott értékekkel.

C.) A beállított áramhoz tartozó névleges áram meghatározása.

A mérőáram értékét a beállított áram értékéről lassan csökkentve határozzuk meg azt az értéket, amelynél az előlapon látható zöld LED kijelzése a villogásból folyamatos világításra nem vált át. Az így meghatározott tartomány 2-3 pontjában határozzuk meg a működési időt. A kapott eredményeket hasonlítsuk össze a jelleggörbével! (3. ábra)

Ellenőrző kérdések:

- 1.) Mi a motorvédelem feladata?
- 2.) Milyen feladatok ellátására alkalmas a motorvédő kapcsoló?
- 3.) Milyen elemekből áll a hagyományos elektromechanikus motorvédő kapcsoló?
- 4.) Milyen problémákkal jár az elektromechanikus motorvédő alkalmazása?
- 5.) Az elektronikus készülékek hogyan állítják elő az árammal arányos jelet?
- 6.) Hogyan kell beállítani a zárlatvédelmi gyorsfokozatot?
- 7.) Hogyan függ a kioldási idő a túláram nagyságától?
- 8.) Hogyan képezzük le a motor pillanatnyi termikus állapotát?
- 9.) Miért célszerű a PTK típusú ellenállásérzékelők alkalmazása?
- 10.) Mire alkalmas a be627 típusú elektronikus túláramrelé, és milyen részekből áll?
- 11.) Milyen jellemzőkkel rendelkezik az áramváltó egység?
- 12.) Hogyan történik a védendő berendezés termikus állapotának leképezése?
- 13.) Mikor jöhet létre védelmi kioldás?
- 14.) Mikor és hogyan jöhet létre a visszakapcsolás?
- 15.) Hogyan működik az áramvezérelt csillag-delta átkapcsoló?
- 16.) Hogyan történik a névleges áram beállítása?
- 17.) Mi a kioldási osztály szerepe, és mit jelent a számjelzése?
- 18.) Milyen üzemmódokkal rendelkezik a be627 típusú relé?
- 19.) Mit jeleznek a zöld LED állapotai (világít, villog)?
- 20.) Mit jeleznek a piros LED állapotai (nem világít, világít, villog)?
- 21.) Hogyan jellemezhető a relé kioldási jelleggörbéje?
- 22.) Milyen mérőelrendezés alkalmas a kioldási jelleggörbe meghatározásához?
- 23.) Hogyan történik a mérőáramok beállítása?
- 24.) Hogyan függ a működési idő a kioldási osztálytól?
- 25.) Mivel magyarázható a mért és a megadott jelleggörbék közötti eltérés?