



ÓBUDAI EGYETEM

Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar
Villamosenergetikai Intézet

SAKDOLOOZAT

ÓE-KVK

Hallgató neve: Kováts Gergely

2021.

Hallgató törzskönyvi száma: T007743/FI12904/K

Kötelezően választható tantárgycsoport: Villamos energia rendszerek



ÓBUDAI EGYETEM
OBUDA UNIVERSITY

Óbudai Egyetem
Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar
Villamosenergetikai Intézet

SZAKDOLGOZAT FELADATLAP

Hallgató neve: Kováts Gergely

Szaktervezési száma: SZD21090213456446

Törzskönyvi száma: T007743/F112904/K

Neptun kódja: XXXXXXXXXX

Szak: villamosmérnöki

Specializáció: Villamosenergetikai specializáció

A dolgozat címe: Próbaterem villamosenergia-ellátása

A dolgozat címe angolul: Power supply of testfield

A feladat részletezése: 1. A próbateremben vizsgált szerkezetek leírása, a vizsgálatok villamosenergia-igénye, a vizsgálatok menete, kialakításra vonatkozó műszaki előírások
2. A betáplálás kialakítása méretezése, a próbatermi villamos hálózat kialakítása méretezése
3. Készülékek kiválasztása
4. Konkrét próbák leírása, értékelése, dokumentálása

Intézményi konzulens neve: Dr. Novothny Ferenc Miklós

A kiadott téma elévülési határideje: -

Beadási határidő: 2021. 12. 15.

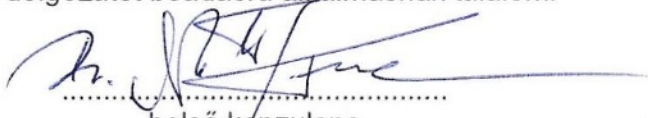
A szakdolgozat: Nem titkos.

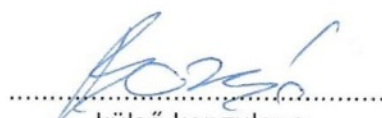
Kiadva: Budapest, 2021. 12. 07.

P.H

.....
Intézetigazgató

A dolgozatot beadásra alkalmasnak találom:


.....
belső konzulens


.....
külső konzulens
2021.12.07.



ÓBUDAI EGYETEM

Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar

HALLGATÓI NYILATKOZAT

Alulírott hallgató kijelentem, hogy a szakdolgozat saját munkám eredménye, a felhasznált szakirodalmat és eszközöket azonosíthatóan közöltem. Az elkészült szakdolgozatban található eredményeket az egyetem és a feladatot kiíró intézmény saját céljára térítés nélkül felhasználhatja, a titkosításra vonatkozó esetleges megkötések mellett.

Budapest, 2021. 12.07.

.....
hallgató aláírása

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés.....	6
2. A próbateremben vizsgált szerkezetek	7
2.1. Berendezés típusok.....	7
2.2. MPS – Moduláris tápegységek (Egyenirányító/Töltő; DC-DC konverter; Inverter)	7
2.3. BDTe sorozatú háromfázisú tirisztor vezérelt ipari egyenirányító.....	8
2.4. BDTe töltő alapvető felépítése.....	9
2.4.1. Bemeneti szűrők	9
2.4.2. Túláramvédelmi szervek és kapcsolók	9
2.4.3. Leválasztó transzformátor.....	10
2.4.4. Tirisztoros egyenirányító.....	10
2.4.5. Kimeneti szűrőkondenzátor.....	10
2.4.6. Fojtótekercs.....	11
2.4.7. Blokkoló dióda	11
2.4.8. Feszültség ejtő diódák.....	11
2.4.9. Vezérlés.....	11
2.5. A vizsgálatok teljesítmény-igénye	12
2.6. Kialakítással kapcsolatos előírások és vonatkozó szabványok	13
2.7. Próbatermi biztonsági előírások a kezelő személyzet és külső személyek részére ..	16
3. Betáplálás kialakítása, Méretezés.....	19
3.1. Méretezés névleges terhelésre	19
3.2. Feszültségesés.....	20
3.3. Teljesítményveszteség számítása	22
3.4. A kábelfektetés	22
3.5. A próbaterem belső hálózatának kialakítása	23
3.6. Hibavédelem.....	24
3.7. Hibavédelem ellenőrzése	26
4. Készülékek kiválasztása.....	31
4.1. Túláramvédelmi készülékek.....	31
4.1.1. Megszakító	31
4.1.2. Olvadóbiztosító.....	32
4.2. Kapcsolók.....	33
4.3. Akkumulátortelep.....	36

4.4.	Hálózati feszültség szabályozó	38
4.5.	Frekvencia konverter	40
4.6.	Műterhelés	41
4.6.1.	Ellenállás kiválasztása.....	41
4.6.2.	Ellenállás hőmérsékletfüggése	42
4.6.3.	A műterhelés lépcsőzetes kialakítása.....	43
4.6.4.	Hűtés méretezése	44
5.	<i>A próbatermi vizsgálatok</i>	48
5.1.	Szemrevételezés	48
5.1.1.	Esztétika	48
5.1.2.	IP védettség.....	49
5.1.3.	Normál működést befolyásoló hibák	50
5.2.	Feszültségpróba és szigetelési ellenállás vizsgálat	51
5.3.	Tesztelni kívánt berendezés bemutatása	53
5.4.	A tesztelni kívánt rendszer bekötése a próbatermi mérőszekrénybe.....	55
5.5.	A töltő berendezés indítása	57
5.6.	Mérési jegyzőkönyv	58
5.7.	Statikus mérések.....	60
	<i>Összefoglaló</i>	62
	<i>Summary.....</i>	62
	<i>Irodalomjegyzék</i>	64

1. BEVEZETÉS

A Statron Hungary Kft, a svájci telephelyű Statron cég leányvállalataként kizárólagosan az anyacég üzleti profiljába tartozó töltő és szünetmentes berendezések összeszerelésével foglalkozik. A termelés nagymértékű felfutása indokoltta tette, hogy az elsősorban közel-keleti piacra gyártott berendezések a magyarországi összeszerelést követően – a svájci telephelyre vizsgálatok céljából történő visszaszállítás kihagyásával – közvetlenül a megrendelő felé kerülhessen leszállításra. Ezen költség és időtakarékos megoldás kialakításához volt szükség a meghatározott termékkör gyártóművi ellenőrzését elvégezni képes próbaterem létrehozására.

A svájci és magyar vezetőség közös döntése alapján munkatársammal közösen megbíztak a helyi lehetőségeket és adottságokat figyelembe vevő és legalább a jellemző berendezéstípusok gyártás utáni ellenőrzésére alkalmas mérőterem kialakításával. A munkát a svájci próbaterem vezetőjének felügyelete és szakmai irányítása mellett végeztük, de szabad kezet kaptunk a műszaki megoldások kidolgozásában.

A munka során összegyűjtöttük a mérések elvégzéséhez szükséges berendezés oldali követelményeket, majd saját számítások alapján kiválasztottuk, illetve ellenőriztük a táphálózat kábeleit, kapcsoló és védelmi elemeit, a tápegységek frekvenciaváltók megfelelőségét, valamint megépítettük a műterhelés egységeket.

A kialakított saját mérőterem alkalmasságát példaként a mérési feltételek szempontjából legmagasabb igényt támasztó, de egyben legjellemzőbb töltőberendezéshez való megfeleléssel igazolom.

Emiatt kerülnek bemutatásra nemcsak a próbaterem berendezései, hanem a vizsgálandó készülék és az elvégzett ellenőrzések, mérések menete.

2. A PRÓBATEREMBEN VIZSGÁLT SZERKEZETEK

2.1. Berendezés típusok

A piaci lehetőségek és adottságok figyelembe vételével a menedzsment döntése alapján a próbateremben alapvetően kétféle töltőberendezés vizsgálatára kellett felkészülni, mint:

- MPS – Moduláris tápegységek
- BDTe sorozatú háromfázisú tirisztor vezérelt ipari egyenirányító

2.2. MPS – Moduláris tápegységek (Egyenirányító/Töltő; DC-DC konverter; Inverter)

A moduláris felépítésű kapcsolóüzemű áramforrások általános előnyei közé tartozik az alacsony anyagköltség, kis méret, egyszerű karbantartás, csendes és hatékony működés, fejlett vezérlés és széleskörű konfigurálhatóság. A kimeneti egyenfeszültség 24, 48, 110 és 220 Volt lehet, míg a maximális áramerősség az egymással párhuzamosan működtetett modulok számától függően tág határok között választható. A modulok száma akár működés közben is növelhető új modul hozzáadásával, illetve egy hibás modul cseréje is elvégezhető akár működés. A minimum $n+1$ -es tartalékképzés miatt egyetlen modul hibája nincs hatással a rendszer elvárt működésére. A modulok közti terheléselosztás külső beavatkozás nélkül egy belső adathálózaton keresztül valósul meg. Az MPS modulokból felépített rendszer vezérlését saját felügyeleti eszköze látja el a felhasználó igénye szerint konfigurált szoftver alapján. A rendszerhez tartozó érintőkijelző alkalmas a feszültség, áramerősség, hőmérséklet értékek és hibaüzenetek megjelenítésén kívül a működési paraméterek beállítására is. A rendszer gyenge pontját jelenti a modulokban található ventilátor viszonylag rövid élettartama, és a modulegységek bonyolult felépítése miatti nehézkes a javíthatóság. További hátrány, hogy e kapcsolóüzemű tápegységek szórt elektromágneses tere más rendszerekhez képest nagyobb, mely a híradástechnikai eszközök működését jobban zavarhatja.

2.3. BDTe sorozatú háromfázisú tirisztor vezérelt ipari egyenirányító

A megrendelések számottevő hányada a Közel-Keletről érkezik, ahol elvárás az egyszerű, megbízható működés, akár mostoha körülmények között is. A gyártás és tesztelés nagy részét ugyanakkor ezen berendezések teszik ki. A berendezés előnyei közé sorolhatjuk a következőket:

- masszív és strapabíró kivitel, 30 év várható élettartam
- nagy megbízhatóság
- nagyfokú testreszabhatóság
- egyszerű kezelhetőség és vezérlés
- bemeneti leválasztó transzformátor alkalmazása
- alacsony működtetési és karbantartási költségek
- rendkívül magas fokú rendelkezésre állás

BDTe rendszer főbb technikai adatai:

- bemeneti feszültség: $3 \times 400 \text{ V} \pm 10 \%$
- bemeneti frekvencia: $50 \text{ Hz} / 60 \text{ Hz} \pm 5 \%$
- névleges kimeneti feszültség: $24 / 48 / 60 / 110 / 125 / 220 \text{ VDC}$
- névleges áramerősség: $50 \text{ A} - 2000 \text{ A}$
- feszültség hullámosság: $< 2\% \text{ RMS}$
- hatásfok: $85\% - 94\%$
- működési hőmérséklettartomány: $-10 \dots +40 \text{ }^\circ\text{C}$
- környezeti behatások elleni védelem: IP20... IP54

Gyakoriak a redundáns működésű rendszerek, ahol 2 töltőberendezést egy megfelelő működési logikával vezérelt átkapcsoló automatika egészít ki. Normál üzemben a töltők teljesítmény megosztással működnek, meghibásodás esetén az ép töltő teljes mértékben átveszi a terhelést. A töltőberendezés által táplált egyenáramú sín szünetmentes működést a fogyasztói igényeknek megfelelően méretezett akkumulátortelepek biztosítják.

A töltőre, mint gyártmányra vonatkozó főbb szabványok:

IEC/EN60146

EN50091-2, IEC/EN62040-2

IEC / EN 62040-1

2.4. BDTe töltő alapvető felépítése

Mivel az előző pontban vázolt berendezéstípusok közül a vizsgálat összetettsége, energiaigénye és darabszáma miatt a BDTe egységek a meghatározóak, így a többi témakör kifejtése előtt e rendszer alapvető felépítését fontosnak tartom legalább nagy vonalakban ismertetni.

A tirisztor vezérlésű egyenirányítós töltőberendezéseinkben a következő főbb egységek találhatók.

2.4.1. Bemeneti szűrők

A hálózati zajszűrő feladata, hogy megakadályozza a készülékben keletkező nagyfrekvenciás jelek tápkábelbe való ki-, valamint az elektromos hálózaton keletkező jelek készülékbe való bejutását. A szűrők a berendezés tápkábel bekötési pontjának közvetlen közelében kerülnek elhelyezésre.

2.4.2. Túláramvédelmi szervek és kapcsolók

A töltőberendezések belső egységeit a maximális zárlati és névleges üzemi áram nagysága alapján kiválasztott megszakító védi. A tirisztoros egyenirányító kimenetét olvadó biztosító védi. A kimenet és az ide kapcsolódó akkumulátoros leágazás leválasztó kapcsolókkal van ellátva, melyek az előzőekhez hasonlóan a névleges áram alapján kerülnek kiválasztásra. Az biztosító szekrényben az akkumulátor csatlakozási pontok előtt gG karakterisztikájú névleges áramhoz igazított olvadóbiztosítók találhatók az áramkör leválasztásra alkalmas aljzatban.

2.4.3. Leválasztó transzformátor

A transzformátor kiválasztásánál az adott ország hálózati feszültsége és frekvenciája, kimeneti egyenirányított feszültség és áram nagysága a meghatározó. Látszólagos teljesítmény szerint 20 és 250 KVA közötti értékek a jellemzőek, kapcsolásuk Dyl1.

2.4.4. Tirisztoros egyenirányító

A váltakozó feszültségből egyenfeszültséget háromfázisú, kétutas, hatütemű egyenirányítók állítanak elő. Előnye, hogy bevált, robosztus konstrukció magas üzemeltetési megbízhatósággal, nagy teljesítménnyel rendelkezik és kimeneti feszültsége, árama tág határok között választható. A tirisztorok gyújtási sorrendje nem lehet tetszőleges, azt a tápláló hálózat fázissorrendje határozza meg, ezért a fázissorrend detektáló áramkör nélkülözhetetlen része a berendezésnek. Az alkalmazott tirisztorok kiválasztásánál legfontosabb szempont az $I_{T_ÁTLAG}$ áram, de számítanak a V_{DRM} , V_{RRM} feszültségek és hogy I_{GT_max} áram lehetőleg minél kevesebb legyen. A töltőbe más gyártó komplett egyenirányító berendezése kerül beépítésre önálló aktív vagy passzív hűtéssel és védelemmel ellátva.

2.4.5. Kimeneti szűrőkondenzátor

Az egyenfeszültség hullámosságát az egyenirányító kimenetére párhuzamosan kapcsolt kondenzátor segítségével csökkenthetjük. Amikor a kondenzátor feszültsége „kisebb”, mint az egyenirányító kimenetén lévő feszültség, akkor a kondenzátor töltődik. Amint a tápláló feszültség „kisebb”, mint a kondenzátor feszültsége, a fogyasztó felé az energia a kondenzátorból áramlik, azaz a kondenzátor merül. A kondenzátor kapacitása határozza meg a tárolható villamos energia nagyságát. A beszerelt kondenzátortelep célja, hogy csökkentse a kimeneti feszültség hullámosságát. Összesített kapacitása elérheti a 80000 μF -ot is.

2.4.6. Fojtótekercs

Az egyenirányított áram lüktető komponensét csökkenti, minél nagyobb a tekercs induktivitása, annál simább áramot kapunk a kimeneten. Fontos a megfelelő méretű tekercs kiválasztása, mivel ezen összetevő költsége igen jelentős.

2.4.7. Blokkoló dióda

Ha a rendszerhez csatlakoztatva van akkumulátor, az egyenirányító kimenetére kötött dióda védelmet jelent az akkumulátorból visszafele folyó áram káros hatása ellen. Normál üzemben a legnagyobb kimeneti áram is átfolyhat rajta, mely 0.7 V feszültség mellett igen nagy veszteséget jelenthet. Ez egy 1000 amperes rendszer esetén akár 0.7 kW is lehet. A keletkezett hőt a dióda méretes hűtőbordái disszipálják el a környezet felé.

2.4.8. Feszültség ejtő diódák

Gyorstöltés üzemmódban a kimeneti feszültség megemelkedik, mely az ellátott berendezésekre kedvezőtlenül hathat. A szükség szerint beiktatott feszültség ejtő diódák megfelelő mértékben csökkentik a fogyasztókra jutó feszültséget, a feszültségejtés nagysága a terhelés változtatása mellett is közel állandó. Ezeken a berendezéseken a teljes fogyasztói áram áthalad, mely szintén komoly hőveszteséget jelenthet. A sorba kapcsolt dióda csoportok rövidre zárását beállított feszültség értékek alapján PLC-vel vezérelt mágneskapcsolók végzik el.

2.4.9. Vezérlés

A töltőberendezés működtetését és teljes felügyeletét egy felhasználó által szabadon programozható vezérlőegység látja el. A hozzá tartozó kijelzőről a működési paraméterek, állapot visszajelzések és hibaüzenetek leolvashatók, a homloklapon elhelyezett nyomógombok pedig elvégezhető a teljes rendszer beállítása. Lehetőség van számítógépes távfelügyeletre és beavatkozásra RS-232 interfészen keresztül, így a

felparaméterezés ideje jelentősen lecsökkenhet, különösen, ha rendelkezésre áll előre elkészített konfigurációs fájl.

2.5. A vizsgálatok teljesítmény-igénye

Egy töltőberendezés, vagy több töltőből álló rendszer tesztjének megkezdése előtt szükséges felmérni a teljesítmény igényeket és terhelési követelményeket. Ez alapján:

- mérlegelni kell, hogy a rendelkezésre álló villamos teljesítmény elegendő-e egy adott berendezés terheléses méréséhez,
- el kell dönteni, hogy megfelelően kapcsolt ellenállások segítségével elegendő próbaterhelést tudunk biztosítani,
- alkalmas tesztkábeleket kell választanunk a méréshez,
- megfelelő olvadóbiztosító betétekkel kell biztosítanunk az áramköröket.

A hálózathoz legnagyobb áramfelvétellel akkor számolhatunk egy adott berendezés mérése során, amikor a megengedett legnagyobb kimeneti feszültségen működtetve („Manual charge” üzemmód) a megengedett maximális túlterhelési áramot adja le, mielőtt leszabályozna a vezérlése.

Ezen konkrét számértékek a dolgozatomhoz kiválasztott rendszer – 110BDTe1000 – egyetlen töltője esetén a következőképp alakulnak:

$$U_{dc_manual} = 143.6 \text{ Vdc}$$

$$I_{dc_max} = 935 \text{ A}$$

$$U_{f_ac} = 240 \text{ Vac}$$

Ahol:

U_{dc_manual} a beállítható legnagyobb kimeneti feszültség érték,

I_{dc_max} az egyenirányító szoftveresen beállított áramkorlátja,

U_{f_ac} pedig a bemenet fázisfeszültség értéke.

Ekkor a leadott teljesítmény értéke:

$$P_{dc_max} = U_{dc_manual} * I_{dc_max} = 143.6 \text{ Vdc} * 935 \text{ A} = 143.27 \text{ kW}$$

Becslésemhez igen alacsony, $\eta = 80\%$ -os hatásfokkal (berendezéseink hatásfoka jellemzően 85 és 95% közé esik) fogok számolni, teljesítménytényezőnek pedig átlagos $\cos \varphi = 0.7$ értéket választok.

$$P_{ac_max} = \frac{P_{dc_max}}{\eta} = \frac{143.27 \text{ kW}}{0.8} = 179.9 \text{ kW}$$

$$S_{ac_max} = \frac{P_{ac_max}}{\cos \varphi} = \frac{179.9}{0.8} = 224.875 \text{ kVA}$$

$$I_{f_max} = \frac{S_{ac_max}}{3 * U_{f_ac}} = \frac{224.875 \text{ kVA}}{3 * 240 \text{ Vac}} = 310.4 \text{ A}$$

Mivel a próbaterem áramszolgáltató által kialakított rendszerének terhelési határértéke 350 A, így a felső becsléssel kapott érték megmutatja, hogy ezt a töltőberendezést így módon túlterhelve a próbaterem betáplálás határértékeit átléphetjük. Fentiekből látszódik, hogy az általam bemutatott rendszer két töltőjét egyszerre terhelni csak óvatosan, az áram értékek figyelemmel kísérése mellett lehetséges.

Ha a mérésekhez a szolgáltató által biztosított $S = 242.5 \text{ kVA}$ látszólagos teljesítményt, mint határértéket vesszük figyelembe és ezt az értéket átszámoljuk a korábbi csökkentő tényezőkkel (hatásfok, teljesítménytényező), akkor

$$P = 242.5 * 0.8 * 0.7 = 135.8 \text{ kW}$$

maximális kimenő teljesítménnyel számolhatunk. Értelemszerűen a különböző töltő feszültségekhez – az adott kimeneti teljesítmény változatlansága mellett - más és más áram értékek adódnak. $I = \frac{P}{U}$ képletből számítva a tipikus feszültség szintek maximális áramértékei:

$$I_{\max 24 \text{ Vdc}} = 5658 \text{ A} \quad I_{\max 48 \text{ Vdc}} = 2830 \text{ A} \quad I_{\max 60 \text{ Vdc}} = 2260 \text{ A}$$

$$I_{\max 110 \text{ Vdc}} = 1235 \text{ A} \quad I_{\max 125 \text{ Vdc}} = 1085 \text{ A} \quad I_{\max 220 \text{ Vdc}} = 620 \text{ A}$$

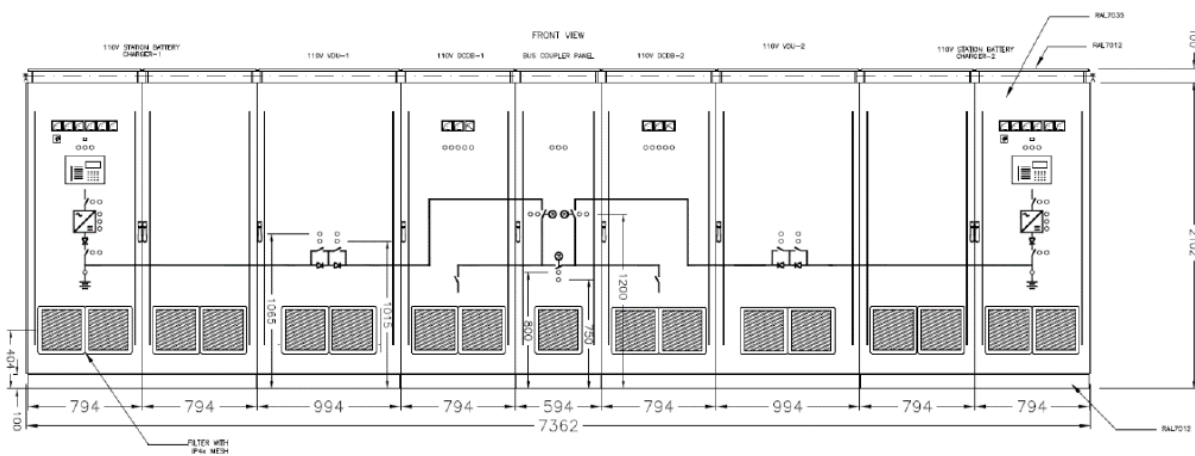
2.6. Kialakítással kapcsolatos előírások és vonatkozó szabványok

A próbaterem kialakításánál a következő műszaki és biztonsági szempontokat vettük figyelembe:

- A vizsgálandó berendezés betáplálásának feszültség szintje, feszültség stabilitása, frekvenciája és teljesítménye: a legtöbb rendszer háromfázisú, 400 V

$\pm 10\%$ vonali bemeneti feszültségen üzemel, méretezésnél feszültségesés szempontjából ezzel kell számolni. Szélsőséges körülmények szimulációja a bemeneti feszültség értékének 15 %-os növelésével és csökkentésével történik. Az esetek többségében 50 Hz bemeneti frekvenciára van szükség. Ez alól kivételt jelentenek a Szaúd-Arábiába szállított töltők, mivel az ottani hálózat frekvenciája 60 Hz. A rendelkezésre álló bemeneti teljesítményről korábban írtam.

- **Helyigény:** egy összetett rendszer méretét az alkotó részegységek alapján lehet meghatározni. A szekrények magassága egységes (2200 mm), mélysége (794 vagy 994 mm). Egy szekrény szélessége lehet 594, 794, 994, 1194 vagy 1594 mm. A helyigény felmérésénél az előforduló legnagyobb összetett rendszerből kell kiindulni, melynek elrendezése a következő ábrán látható. További lényeges szempont, hogy az adott összeállítás körül minden oldalról minimum 1 méteres szabad területet kell biztosítani a könnyebb hozzáférhetőség miatt.



1. ábra Egy nagyméretű rendszer előnézeti rajza

- megfelelő villamos terhelés rendelkezésre állása, keletkezett hő elvezetése
- megfelelő akkumulátor feszültség szint és kapacitás rendelkezésre állása
- több mérőhely működtetése egymással párhuzamosan
- terület illetéktelenektől való elzárása: a próbaterem egy kerítéssel elhatárolt terület, a belépés csak az arra jogosult személyek számára engedélyezett.
- megfelelő túláramvédelmi eszközök, vezetékek kiválasztása
- vészleállítás lehetősége üzemzavar, balesetveszély esetén

A próbaterem kialakításánál figyelembe vett szabványok:

- MSZ 2364/MSZ HD 60364 Épületek villamos berendezéseinek létesítése. Kisfeszültségű villamos berendezések
- MSZ EN 61557-1:2007 Legfeljebb 1000 V váltakozó és 1500 V egyenfeszültségű kisfeszültségű elosztórendszerek villamos biztonsága. A védelmi intézkedések vizsgálatára, mérésére vagy megfigyelésére szolgáló berendezések. 1. rész: Általános követelmények (IEC 61557-1:2007)
- MSZ 2364-560:1995 Legfeljebb 1000 V névleges feszültségű erősáramú villamos berendezések létesítése. Biztonsági berendezések táplálása
- MSZ 2364-473:1994 Legfeljebb 1000 V névleges feszültségű erősáramú villamos berendezések létesítése. Túláramvédelem alkalmazása
- MSZ EN 60909-0:2006 Zárati áramok háromfázisú váltakozó áramú rendszerekben. 0. rész: Az áramok számítása
- MSZ EN 60269-1:2008 Kisfeszültségű biztosítók. 1. rész: Általános követelmények (IEC 60269-1:2006)
- MSZ EN 60269-2:2014 Kisfeszültségű biztosítók. 2. rész: Kiegészítő követelmények feljogosított személyek által használt biztosítókra (biztosítók főleg ipari alkalmazásokra) (IEC 269-2:1986)
- MSZ 10900:1970 és MSZ 10900:1970/1M:1986 Az 1000 V-nál nem nagyobb feszültségű erősáramú villamos berendezések időszakos felülvizsgálata
- MSZ 15688:2009 A villamosenergia-fejlesztő, -átalakító és -elosztó berendezések tűzvédelme
- MSZ 1600-11:1982 Létesítési biztonsági szabályzat 1000 V-nál nem nagyobb feszültségű erősáramú villamos berendezések számára. Villamos kezelőterek és laboratóriumok
- MSZ 1600-16:1992 Létesítési biztonsági szabályzat 1000 V-nál nem nagyobb feszültségű erősáramú villamos berendezések számára. Helyhez kötött akkumulátorok telepítése, akkumulátorhelyiségek és -töltőállomások létesítése
- MSZ 2064-2:1998 Villamos berendezések irányelvei. 52. rész: A villamos szerkezetek kiválasztása és szerelése. Kábel- és vezetékrendszerek. A csatlakozási határfelületek melegedésének korlátozása

2.7. Próbatermi biztonsági előírások a kezelő személyzet és külső személyek részére

Mivel a próbaterem kialakításánál az MSZ1600-11 szabvány szerinti kevésbé szigorú követelményeket teljesítettük, így különös gondot kell fordítani ugyanezen szabvány munkavégzési feltételekre vonatkozó előírásainak betartására. Így próbatermi - szakszerű és felelős felügyelet alatt folyó - munkát csak külön kioktatásban részesített, villamosan szakképzett személyek (MSZ 1585) végezhetik. Munkát tilos egyedül végezni, villamos balesetnél a feszültségmentesítést, áramkörből való kiszabadítást meg kell tudni oldani. A munka várható hatása közvetlen életveszélyt és az állandó berendezésekben tűz- vagy robbanásveszélyt nem okozhat.

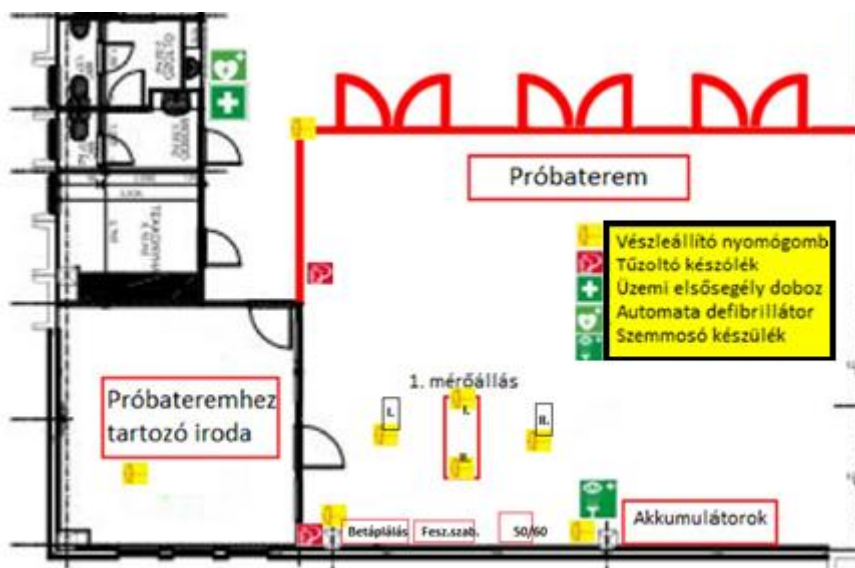
Az elhatárolt próbaterem területére külső személyek csak a biztonsági előírások ismertetése után képzett szakember társaságában léphetnek be.

A következő biztonsági eszközök telepítésére volt szükség:

- Vészleállító nyomógombok: a próbaterem különböző pontjain, könnyen elérhető részein összesen 9 darab került felszerelésre. Egy adott mérés megkezdése előtt a személyzetnek mindig tudnia kell, hogy hol található a hozzá legközelebbi vészleállító. A gomb megnyomása egyidejűleg működteti a betáplálás főkapcsolóját, így megszakítja a tápáramkört és lekapcsolja az akkumulátortelepeket az akkumulátorbiztosító szekrényben lévő vákuumkapcsoló nyitásával. A gomb megnyomását követően hangos szirénaszó jelzi a személyzet számára a vészhelyzetet. Vannak bizonyos eszközök, melyek ellátása nem szakadhat meg vészleállítás esetén sem. Ilyen például a próbateremhez tartozó 3 darab számítógép és a műterhelést hűtő ventilátorok, melyek ellátása egy meg nem szakított áramkőről történik.
- Leválasztó és földelő kapcsoló, jelzőfények: a kapcsoló "ON" állásból "Earthed" állásba forgatáskor először megszakítja az adott mérőállás összes kimenetéhez tartozó vákuumkapcsoló tápellátását (AC, DC), majd ezeket a kimeneteket egymással rövidre zárja és leföldeli. A készülék belső reteszeléséből következően a kapcsolási művelet csak feszültségmentes állapotban történhet meg. Egy mérőállás aktuális állapotát a hozzá tartozó piros ("energized" felirattal) vagy zöld ("grounded" felirattal) jelzőfény mutatja.

- Szén-dioxiddal oltó (CO₂) tűzoltó készülék: ez az egyik legtisztább oltóanyag, másodlagos kárhatása minimális, azonban zárt térben fokozott óvatossággal kell használni, mivel a szén-dioxid adott koncentráció felett fulladást okozhat. Folyadék és gáztüzek esetén alkalmazható. Villamos feszültség alatti berendezés oltásánál kimondottan előnyös a használata, akár 30 kV-os feszültségszintig is alkalmazható.
- Üzemi elsősegély doboz: MSZ 13553 I. kategória, maximum 30 fő létszámig használható munkahelyi elsősegélyként. A doboz a jogszabályban előírt tartalommal rendelkezik és falra szerelhető kialakítású.
- Automata defibrillátor készülék: az áramütést szenvedett személy újraélesztésére.
- Szem és kézmosó állomás: akkumulátor telepek közelében lett elhelyezve, célja a szembe került maró hatású vegyületek eltávolítása. A savas és lúgos akkumulátorok elektrolitja kémiaileg nem semleges, ezért vészhelyzet esetén gondoskodni kell az emberi bőr felületére került anyag bő vízzel történő eltávolításáról.

A következő ábra a fentebb felsorolt eszközök elhelyezését mutatja a próbateremben:



2. ábra Védelmi eszközök elhelyezése a próbateremben

Mivel a legnagyobb körültekintés és odafigyelés mellett is fordulhatnak elő balesetek, fontos tisztában lenni áramkörből való kiszabadítás folyamatával 1000 V-nál nem

nagyobb feszültségű berendezések esetében, valamint az elsősegélynyújtás és újraélesztés módszerének ismerete is elkerülhetetlen az itt betöltött munkakörben. Az MSZ 1585:2001 D100. mellékletében található „Elsősegély nyújtási útmutató villamos áramütéses balesetekhez” kinyomtatva elhelyezésre került a próbateremben az itt tartózkodó személyzet tájékoztatása érdekében. A melléklet pontosan leírja az egészségügyi szakképzettséggel nem rendelkezőknek, mi a teendő áramütéses balesetek bekövetkezésekor.

3. BETÁPLÁLÁS KIALAKÍTÁSA, MÉRETEZÉS

3.1. Méretezés névleges terhelésre

A próbateremhez kialakított szabadtéri csatlakozási pont teljesítménye 242.5 kVA melynek 100 %-os kihasználásával számolunk. Ez alapján a névleges áram:

$$I_n = \frac{S}{\sqrt{3} * U_n} = \frac{242.5 \text{ kVA}}{\sqrt{3} * 0.4 \text{ kV}} = 350 \text{ A}$$

A méretezésnél következőket kell figyelembe venni:

- személyi biztonsági szempont (érintésvédelmi és létesítési előírások betartása)
- jogi szempont (rendeletek és szabványok szerinti tervezés)
- műszaki szempont (villamosenergia-szolgáltatás minősége, ellátás folytonossága, melegedési, szilárdsági problémák figyelembevétele)
- gazdaságossági szempont (a lehető legalacsonyabb beruházási és üzemeltetési költségek, lehetőleg gyors kivitelezés és hosszú élettartam)

Típusok	Árnyékolás nélküli			Árnyékolt		Árnyékolás nélküli			Árnyékolt	
Elrendezés										
Terhelt vezetők száma	1	3	3	3	3	1	3	3	3	3
Keresztmetszet, mm ²	Rézvezető Alapterhelhetőség A-ben					Alumíniumvezető Alapterhelhetőség A-ben				
25	208	133	138	133	139	160	102	106	103	108
35	250	159	164	160	166	193	123	127	123	129
50	296	188	195	190	196	230	144	151	145	153
70	365	232	238	234	238	283	179	185	180	187
95	438	280	286	280	281	340	215	222	216	223
120	501	318	325	319	315	386	245	253	246	252
150	563	359	365	357	347	436	275	284	276	280
185	639	406	413	402	385	496	313	322	313	314
240	746	473	479	463	432	578	364	375	362	358
300	848	535	541	518	473	656	419	425	415	397

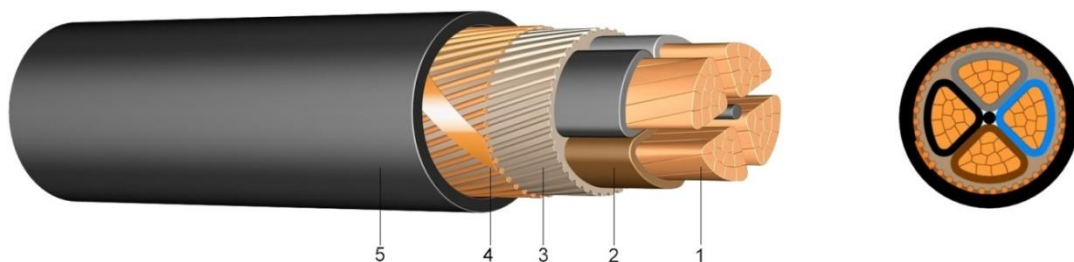
3. ábra NYCWY kábel terhelése

Az MSZ 13207:2000 szabványban található táblázat megmutatja a 0.6/1 kV névleges feszültségű, PVC szigetelésű kábelek alapterhelhetőségét talajban. A vezetők számát, elrendezését és anyagát, valamint az árnyékolást figyelembe véve a 4x240/120 mm²

NYCWY kisfeszültségű erőátviteli megfelelő. Ez köti össze a szabadtéri csatlakozási pontot az épületen belül található fogadó szekrénnel 155 méteres kábelnyomvonal hosszon.

A kábel műszaki adatai a gyártói adatlap szerint:

- Szabvány: VDE 0276
- Névleges feszültség: 0,6/1 kV
- UV álló, időjárás álló
- Hőmérséklet tartomány, ha a kábel:
 - rögzítve: -30 °C-tól +70 °C-ig
 - mozgatva: -5 °C-tól +50 °C-ig
- Hajlítási sugár: 12 x kábel Ø
- Átmérő: 63 mm



4. ábra NYCWY kábel szerkezeti felépítése

Felépítés:

- sodrott réz vezető - 4x240 mm² (1)
- PVC érszigetelés, színezett erek (2)
- extrudált övréteg (3)
- Koncentrikus réz vezető ellenirányú rézszalag lekötéssel - 120 mm² (4)
- PVC köpenyszigetelés fekete színű (5)

3.2. Feszültségesés

A feszültségesésre való méretezésénél figyelembe kell venni a fogyasztói pontokon megadott tűréshatárokat. A próbaterem létesítése esetén a mérendő berendezések bemeneti feszültség tűrése a mérvadó. A berendezések bemenetén a névleges

feszültséghez képest maximum $\varepsilon = 10$ %-os eltérés megengedett, tűréshatáron kívüli üzemeltetésük károsodást okozhat. A számítást először a 155 méteres kábelszakaszra, majd a próbaterem belső hálózatára végzem el.

Háromfázisú váltakozó áramú rendszer szimmetrikus háromfázisú terhelése esetén (ekkor a nullavezetőben nem folyik áram) feszültségesés csak a fázisvezetőkön lesz. A mértékadó feszültségesés értéke:

$$e' = \frac{\varepsilon}{100} * \frac{U_n}{\sqrt{3}} = 23.11 \text{ V}$$

ahol:

U_n : a névleges feszültség vonali értéke [V]

ε : a megengedett százalékos feszültségesés [%]

e' : a mértékadó feszültségesés [V]

A rendszer vegyes terhelése esetén (ekkor egyfázisú ellátás is történik) a nullavezetőben folyik áram. Ekkor mind a fázisvezetőkön, mind a nullavezetőn különböző a feszültségesés értéke, melynek számítása bonyolult. A mértékadó feszültségesésre közelítő összefüggés:

$$e' = 0.75 * \frac{\varepsilon}{100} * \frac{U_n}{\sqrt{3}} = 17.33 \text{ V}$$

A kábelszakaszon létrejövő feszültségesés a következő összefüggés szerint számolható:

$$\Delta U_{240\text{mm}^2 \text{ kábel}} = \rho * \frac{l}{A} * I = \frac{1}{56} * \frac{160}{240} * 350 = 4.17 \text{ V}$$

ahol:

l : kábelhossz [m]

A : keresztmetszet [mm²]

ρ : vezető fajlagos ellenállása [$\Omega * \frac{\text{mm}^2}{\text{m}}$]

I : névleges áram [A]

ΔU : feszültségesés [V]

A százalékos feszültségesés:

$$\varepsilon_{240\text{mm}^2} = \frac{\Delta U}{U_n} * \sqrt{3} * 100 \% = 1.81 \%$$

Tehát a 240 mm² -es vezető keresztmetszetű földkábel - melyet az épület fogadószelektáráig vezetünk - feszültségesés szempontjából megfelelő.

3.3. Teljesítményvesztés számítása

A fogyasztásmérési hely utáni hálózat legszámottevőbb része a 155 méteres kábelhossz, ezért a teljesítményvesztés számítását is erre a szakaszra végzem el. Mértékadó teljesítményvesztés meghatározása a következő képlet szerint történik:

$$v_{\max 1 \text{ erre}} = \frac{\delta}{A} * l * I^2 = \frac{1}{240} * 155 * 350^2 = 1413 \text{ W}$$

ahol:

δ	a vezető fajlagos ellenállása [$\Omega * \frac{mm^2}{m}$]
$v_{\max 1 \text{ erre}}$	a legnagyobb teljesítményvesztés ereként
l	a vizsgált hossz
I	a megengedett legnagyobb áramerősség

3.4. A kábelfektetés

A kábelfektetés folyamatát a következő pontokba foglalom össze:

- Kiviteli terv elkészítése, építési és bontási engedélyek meglétének ellenőrzése
- Előzetes helyszíni bejárás, nyomvonal kijelölése: a kábel nyomvonal főleg füves területen lett kijelölve, csupán egy rövid szakaszon volt szükség a telephely belső útvonalának megbontására. Megállapították, hogy közművezetékek nem keresztezik a kijelölt nyomvonalat.
- Kábel megrendelése, tárolás
- Gépi földmunka: 1 méter mély és 40 cm széles kábelárok kialakítása. A kábelgödörben nem találtak eltávolítandó akadályokkal.
- a burkolt területen további teendők: térkő bontása, beton feltörése, majd kábelfektetést követően betonozás és térkő visszaépítése
- Kábelárok tisztítása
- 5 cm vastag homok ágyazó réteg elhelyezése a kábelárok alján
- Mozgódobos kábelfektetés
- Horganyzott köracél földelő elhelyezése a kábelárokbán

- Talaj visszatöltése, fél méteres mélységben jelzőszalag elhelyezése
- Épületbe vezetés védőcsőben (a védőcső az épület belseje felé emelkedik), vízzáró tömítés
- kábel erek bekötése a tápponti mérőszekrénybe és a fogadószekrénybe

A teljes folyamat alatt különös figyelmet kellett fordítani arra, hogy a kábelvégekbe nedvesség, víz ne jusson be, valamint ügyelni kellett a kábel minimális hajlítási sugarára vonatkozó követelmény betartására. A kábelfektetés végeztével még az üzembe helyezés előtt a következő vizsgálatokat szükséges elvégezni:

- Vezetők és árnyékolás folytonossága
- Kábelburkolat épségének ellenőrzése
- Szigetelési ellenállásmérés
- Hibavédelmi (érintésvédelmi) szabványossági felülvizsgálat
- Első szabványossági felülvizsgálat

A kábel átadás utáni üzembe helyezéséhez a kábelfektetést kivitelező cég az alábbi dokumentumokat adta át:

- építési napló
- kábelfektetési rajzok és leltár
- vizsgálati jegyzőkönyv

3.5. A próbaterem belső hálózatának kialakítása

A próbateremben található egy állítható áttételű transzformátor, mely képes a feszültségesést felszabályozással kompenzálni, azonban 160 kVA-es teljesítménye korlátozhatja bizonyos rendszerek mérését, így a feszültségesés vizsgálatát a kompenzálatlan feszültség szintű belső hálózatrészre kell elvégezni.

A fogadószekrényt a mérendő berendezéssel összekötő legnagyobb kábelhossz $l = 18.5 \text{ m}$. A kiválasztott kábel típusa előnyei miatt a szereléseinknél is gyakran előforduló 4GKW-AX BLACK. A szükséges keresztmetszet $A = 120 \text{ mm}^2$. A

korábban használt képletbe helyettesítve a belső hálózat feszültségesése a következőképp alakul:

$$\Delta U_{120 \text{ mm}^2 \text{ kábel}} = \rho * \frac{l}{A} * I = \frac{1}{56} * \frac{18.5}{120} * 350 = 0.96 \text{ V}$$

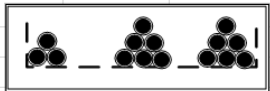
Az eredő feszültségesés pedig:

$$\Delta U = \Delta U_{240 \text{ mm}^2 \text{ kábel}} + \Delta U_{120 \text{ mm}^2 \text{ vezeték}} = 5.13 \text{ V}$$

Így a százalékos feszültségesés:

$$\varepsilon_{240 + 120 \text{ mm}^2} = 2.22 \%$$

A kábel terhelhetőségét a gyártó által közzétett táblázat tartalmazza különböző felhasználási módok esetén.

I = IN • f1 • f2 • f3		I [A] : Current rating during continuous operation under service conditions			
		IN [A] : Current rating during continuous operation under standard conditions			
select:					
45	[°C]	default 45°C	f1 : Reduction factor for increased ambient temperature	0.9	
90	[°C]	default 90°C	f2 : Conversion factor for cable temperature	0.89	
3	n	default 3	f3 : Reduction factor for cable bunching	0.81	
Gitterbahn / Perforated tray:					
		General rule:			
		Always max 3 cable bundled!			
		Input / Output and DC cable seperatly fixed!			
AWG	> 48V ** [mm2]	I [A] (derating f1, f2, f3)	≤ 48V ** [mm2]	IN [A] (without derating)	** nominal System voltage
3/0	95	351	120	541	
4/0	120	414	150	638	
NA	150	479	185	738	

5. ábra4GKW-AX BLACK gyártói adattábla

A táblázat alapján a 120 mm² keresztmetszet megfelelő $I_n = 350 \text{ A}$ névleges áramhoz.

3.6. Hibavédelem

Ahogy bárhol máshol, a próbatermen belül is kétféle módon jöhet létre villamos baleset:

- Közvetlen érintés, azaz az aktív rész érintése által: a berendezéseket feszültség alatt állónak tekintjük tesztelésük közben, maga a munkavégzés az aktív részek közelében történik, így ez alatt a tájékozottság, odafigyelés és nagyfokú koncentráció elengedhetetlen az alapvédelem körütekintő kialakításánál, mellyel e balesetek elkerülhetők.

- Közvetett érintés, azaz üzemszerűen feszültség alatt nem álló, de meghibásodás (testzárlat) miatt feszültség alá kerülő részek (test) érintése által. A hibavédelem az ilyen típusú balesetek megelőzésével foglalkozik.

Az érintési feszültség csak bizonyos érték fölött veszélyes egy áramkörbe került emberi szervezetre. A próbatermihez hasonló körülményekre a villamos létesítési szabványok állandósult állapotban legnagyobb érintési feszültség (azaz limitfeszültség) $U_L = 50 \text{ V}$ váltakozó és $U_L = 120 \text{ V}$ egyenfeszültség értéket engednek meg. Ha az érintési feszültség meghaladja a limitfeszültség értékét, a meghibásodott berendezést a hálózatról a lehető legrövidebb idő alatt le kell kapcsolni. A megengedett lekapcsolási idő 32 A-nél nagyobb áramú végáramkörök esetén maximum másodperc, míg 32 A alatt tizedmásodperces nagyságrendű.

A próbatermet jellemző áramütés elleni védelmi módok:

- a táplálás önműködő lekapcsolása, mint aktív, védővezetős védelmi mód,
- védőakadályok, és elérhető tartományon kívül helyezés, mint passzív védelmi mód, a képzettséggel nem rendelkező személyek területre jutásának megakadályozása céljából.

Három különböző típusú védővezetős hibavédelmi módszert különböztetünk meg, de mindegyikre jellemző, hogy védővezetővel össze kell kötni a villamos szerkezetek testét:

- IT-rendszer (védőföldelés közvetve földelt és földeletlen rendszerben)
- TT-rendszer (védőföldelés közvetlenül földelt rendszerben)
- TN-rendszer (nullázás)

Az elnevezések első betűje a tápponti, a második betűje pedig védett test földelési módjára utal. A próbateremben alkalmazott érintésvédelmi mód a TN-rendszer, ezért annak a működését mutatom be.

A tápláló rendszer egyik (PEN) üzemi vezetője közvetlenül földelt. A külső elosztószekrényben leágaztatott PE-vezetőt rá kell kötni azon szerkezetek testére, melyeket érintésvédelemmel kívánunk ellátni. Ebben az esetben egy testzárlat fémes

zárlatot jelent (a hibaáram nagy része nem a földön keresztül folyik), így a zárlati áram elég nagy lehet a megfelelően méretezett túláramvédelem kioldásához. A védelmi mód – a próbaterem esetén is használt - TN-C-S altípusa esetén a rendszer egy részében közös a védő és nullavezető (PEN vezető), majd ezek egy ponton (a külső elosztószekrényben) szétválnak PE és N vezetőre. A későbbiekben a két vezetőt újra egyesíteni tilos.

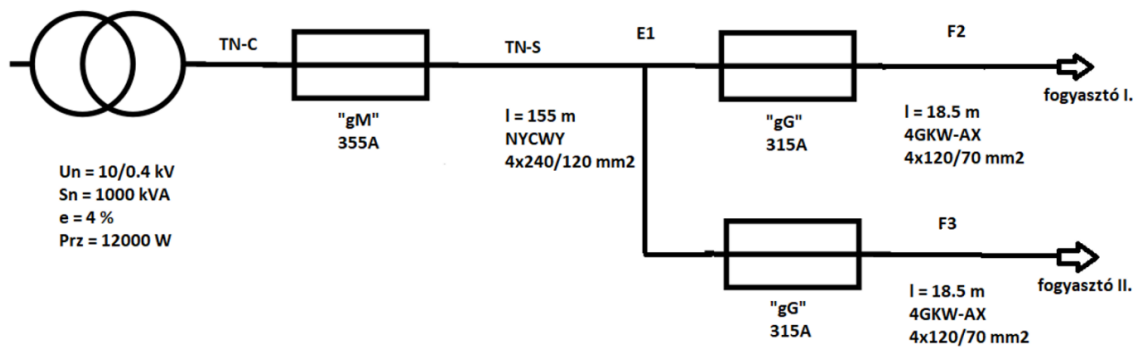
Testzárlat, vagy a fázis és védővezető közti zárlat esetén az önműködő lekapcsolásnak meghatározott időn belül – $U_0 = 230\text{V}$ fázisfeszültség mellett 0.4 s – be kell következnie. Emiatt a védelmet úgy kell kiválasztani, hogy annak 0.4 s -os kioldóárama kisebb legyen a zárlat során kialakuló kioldási áramnál. A testzárlatos áramkörben az U_0 fázisfeszültség hajtja át a zárlati áramot, melyet a Z_S hurokimpedancia (ezen áramkör impedanciáinak eredője) korlátoz. A védelem akkor működik megfelelően, ha $Z_S \leq \frac{U_0}{I_a}$ összefüggés teljesül, ahol:

I_a : a védelmi eszköz $0,4\text{ s}$ -hez tartozó kioldóárama.

TN-rendszer további feltétele a közvetlenül földelt nullavezető rendelkezésre állása fogyasztói hálózat csatlakozási pontján. A védővezető keresztmetszete legalább a fázisvezető keresztmetszetének a fele kell, hogy legyen. Itt ez teljesül, mert 120 mm^2 (aktív vezető 240 mm^2) a földkábel és 70 mm^2 (aktív vezető 120 mm^2) a belső elosztóhálózat esetén.

3.7. Hibavédelem ellenőrzése

A következő egyszerűsített séma a közép / kisfeszültségű transzformátortól a mérendő berendezésig mutatja a hálózatot. A 155 méteres földkábel teljes hosszára késleltetett kioldási idejű 355 A-es biztosító betét jelent védelmet. Az belső hálózatot a lépcsőzetesség betartása miatt általában kisebb névleges áramú biztosítóbétét védi, ez esetben viszont a névleges áramhoz illeszkedő gyors működésű 355 A-es betéthez végzem el a számításokat a fogyasztóig tartó 18.5 méter hosszúságú kábelszakasszal. A transzformátor adatait hálózati engedélyes adta meg.



6. ábra Hibavédelem

A transzformátor impedanciájának kiszámítása:

$$I_n = \frac{S_n}{\sqrt{3} * U_n} = \frac{1000 \text{ kVA}}{\sqrt{3} * 0.4 \text{ kV}} = 1443.4 \text{ A}$$

$$R_{TR} = \frac{P_{rz}}{3 * I_n^2} = \frac{12000 \text{ W}}{3 * 1443.4^2} = 1.92 \text{ m}\Omega$$

$$Z_{TR} = \frac{\varepsilon}{100} * \frac{U_n^2}{S_n} = \frac{4}{100} * \frac{0.4 \text{ kV}^2}{1000 \text{ kVA}} = 6.4 \text{ m}\Omega$$

$$X_{TR} = \sqrt{Z_{TR}^2 - R_{TR}^2} = \sqrt{6.4^2 - 1.92^2} \text{ m}\Omega = 6.11 \text{ m}\Omega$$

$$\overline{Z_{TR}} = 1.92 \text{ m}\Omega + j6.11 \text{ m}\Omega$$

l_1 4x240/120 mm2 kábelszakasz impedanciájának meghatározása:

$$r_1 = 0.077 \frac{\text{m}\Omega}{\text{m}} ; x_1 = 0.079 \frac{\text{m}\Omega}{\text{m}} \text{ és } l_1 = 155 \text{ m}$$

Mivel a védővezető keresztmetszete fele a fázisvezető keresztmetszetének (a fázis és védővezető ellenállása része a hurokimpedanciának), az ellenállást egy közelítő 3-as szorzóval lehet számolni a következők szerint:

$$R_{l1} = 3 * r_{l1} * l_1 = 3 * 0.077 \frac{\text{m}\Omega}{\text{m}} * 155 \text{ m} = 35.81 \text{ m}\Omega$$

$$X_{l1} = 2 * x_{l1} * l_1 = 2 * 0.079 \frac{\text{m}\Omega}{\text{m}} * 155 \text{ m} = 24.49 \text{ m}\Omega$$

$$\overline{Z_{l1}} = 35.81 \text{ m}\Omega + j24.49 \text{ m}\Omega$$

l_2 4x120/70 mm2 kábelszakasz impedanciájának meghatározásánál is hasonlóan járunk el, az ellenállásnál alkalmazott közelítés most is helytálló:

$$r_{l2} = 0.1570 \frac{\text{m}\Omega}{\text{m}} ; x_{l2} = 0.0800 \frac{\text{m}\Omega}{\text{m}} \text{ és } l_2 = l_3 = 18.5 \text{ m}$$

$$R_{l2} = 3 * r_{l2} * l_2 = 3 * 0.1570 \frac{m\Omega}{m} * 18.5 m = 8.71 m\Omega$$

$$X_{l2} = 2 * x_2 * l_2 = 2 * 0.0800 \frac{m\Omega}{m} * 18.5 m = 2.96 m\Omega$$

$$\overline{Z}_{l2} = 8.71 m\Omega + j2.96 m\Omega$$

Hurokimpedancia E1 elosztónál:

$$\overline{Z}_{E1} = \overline{Z}_{TR} + \overline{Z}_{l1} = 1.92 + j6.11 + 35.81 + j24.49 = 37.73 + j30.6 m\Omega$$

Az alkalmazott kioldószer típusa	Olvadó biztosító névleges vagy jellemző árama I_n/I_{ch}	„α” kioldási szorzó értékei		
		Áramszolgáltatói berendezések	Épületek általános célú rögzített elosztó berendezései	Hordozható vagy üzemközben áthelyezhető készülékek
	Lekapcsolási idő	a)	≤ 5s	230V → 0,4 s
Gyors és késleltetett működésű olvadó betétek gG/gLgM	≤ 25 A	4	4	6
	≥ 32 A	4	5	7

7. ábra Kioldási szorzó értékek

Elosztó áramkör esetén F5 táblázat alapján $\alpha = 5$ értékkel számolhatunk, mivel az olvadóbiztosító névleges árama nagyobb, mint 32 A. Ebből adódik, hogy megfelelő a hibavédelem, mert:

$$Z_{E1} = 48.58 m\Omega < \frac{U_0}{\alpha * I_n} = \frac{230 V}{5 * 355 A} = 129.58 m\Omega$$

Itt jegyzem meg, hogy a kábel mellett körülbelül 150 méter hosszan vízszintesen lefektetett horganyzott köracél földelő, mely E1 elosztóba lett bekötve, tovább javítja az előző viszonyt. A földelő szétterjedési ellenállása:

$$R_{SZ} = \frac{\delta}{2\pi l} * \ln \frac{l^2}{d * m} = \frac{100}{2 * 3.14 * 150} * \ln \frac{155^2}{0.012 * 1} = 1.54 \Omega$$

ahol:

$[\delta] = \Omega m$ a talaj fajlagos ellenállása, óbudai agyagtalaj esetén $\delta \cong 100 \Omega m$

$[l] = m$ a rúd hossza

$[m] = m$ a rúd fektetési mélysége

$[d] = m$ a rúd átmérője, mely itt $d = 12 mm$

Hurokimpedancia F2 vagy F3 fogyasztónál:

$$\begin{aligned}\overline{Z_{F1}} &= \overline{Z_{F2}} = \overline{Z_{E1}} + \overline{Z_{l2}} = 37.73 + j30.6 + 8.71 \text{ m}\Omega + j2.96 \text{ m}\Omega \\ &= 46.44 + j33.56 \text{ m}\Omega\end{aligned}$$

Végáramkör esetén F5 táblázat alapján $\alpha = 7$ értékkel számolhatunk, mivel az olvadóbiztosító névleges árama nagyobb, mint 32 A. Ebből adódik, hogy megfelelő a hibavédelem, mert:

$$Z_{F2} = 57,29 \text{ m}\Omega < \frac{U_0}{\alpha * I_n} = \frac{230 \text{ V}}{7 * 355 \text{ A}} = 92.56 \text{ m}\Omega$$

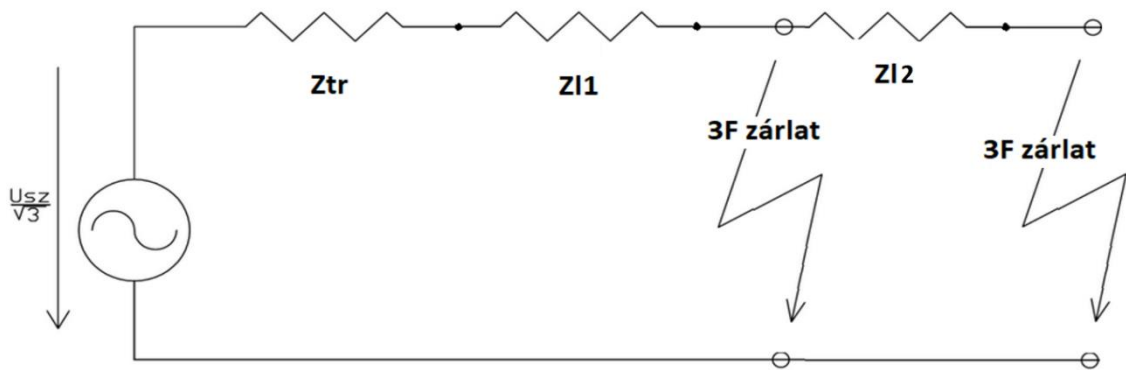
A zárlati áramok meghatározása:

A legnagyobb zárlati árammal 3F zárlat esetén találkozhatunk a transzformátor szekunder oldalán. Ennek értéke:

$$I_{ZTR}^{3F} = \frac{U_n}{\sqrt{3} * Z_{TR}} = \frac{0.4 \text{ kV}}{\sqrt{3} * 0.0064 \Omega} = 36.13 \text{ kA}$$

Tehát a szabadtéri csatlakozási pontban használt 120 kA megszakító képességű biztosító betétek meg tudják szakítani a zárlatos áramkört.

Az épületben található fogadószekrény közelében – azaz a 155 méteres földkábel vége után – bekövetkező 3F zárlat kiszámítását az alábbi egyszerű kapcsolás alapján fogom elvégezni:



8. ábra 3F zárlat bekövetkezési helyei

$$Z_{TR} = \frac{\varepsilon}{100} * \frac{U_n^2}{S_n} = \frac{4}{100} * \frac{0.4 \text{ kV}^2}{1000 \text{ kVA}} = 6.4 \text{ m}\Omega$$

$$\overline{Z_{l1}} = 35.81 \text{ m}\Omega + j24.49 \text{ m}\Omega \text{ és } Z_{l1} = 43.38 \text{ m}\Omega$$

$$Z_{e1} = Z_{TR} + Z_{l1} = 0.0498 \Omega$$

$$I_{Z1}^{3F} = \frac{U_n}{\sqrt{3} * Z_{e1}} = \frac{0.4 \text{ kV}}{\sqrt{3} * 0.0498 \Omega} = 4.64 \text{ kA}$$

Látható, hogy a 155 méter hosszú földkábel soros impedanciaként korlátozza a zárlati áramot, mely ez által jelentősen csökken. Itt is hasonló 120 kA megszakító képességű biztosító betétek kerültek elhelyezésre, melyek képesek megszakítani zárlat esetén az áramkört. A próbatermi mérőhely és a fogadó szekrény közti 18.5 méteres kábelszakasz további áramkorlátozást jelent egy a mérőhely közelében bekövetkező zárlat esetén.

$$\overline{Z_{l2}} = 8.71 \, m\Omega + j2.96 \, m\Omega \text{ és } Z_{l2} = 9.20 \, m\Omega$$

$$Z_{e2} = Z_{e1} + Z_{l2} = 0.0498 \, \Omega + 0.0092 \, \Omega = 0.059 \, \Omega$$

$$I_{Z2}^{3F} = \frac{U_n}{\sqrt{3} * Z_{e1}} = \frac{0.4 \, kV}{\sqrt{3} * 0.059 \, \Omega} = 3.92 \, kA$$

4. KÉSZÜLÉKEK KIVÁLASZTÁSA

4.1. Túláramvédelmi készülékek

A próbateremben használt megszakító és olvadó biztosítók kiválasztásánál elsődleges szempont, hogy a képesek legyenek az előírt időn belül biztonsággal megszakítani a telepítési helyükön előforduló legnagyobb zárlati áramot. Ezen eszközök a földkábel utáni részen vannak elhelyezve. Korábbi számításaim alapján közvetlenül a földkábel végén az előforduló legnagyobb zárlati áram:

$$I_{Z1}^{3F} = 4.64 \text{ kA}$$

A próbaterem egyéb helyein az áramérték az előbbinél csak kisebbre adódhat, így a túláramvédelmi készülékeket ezen érték szerint választva biztosan megfelelő készüléket kapunk.

4.1.1. Megszakító

A megfelelően kiválasztott megszakító hiba esetén képes a zárlati áramot megszakítani illetve az üzemi áram vezetésére és annak megszakítására is alkalmas eszköz. Kiválasztásnál ügyelni kell a pólusszámra, a névleges áramra és feszültségre valamint a telepítés helyén fellépő legnagyobb zárlati áram nagyságára. A próbatermi villamos hálózaton egyetlen megszakítót helyeztünk el. A fogadószekrényben kapott helyet, zárlat és túlterhelés védelmi szerepe mellett főkapcsolóként is működik és a vészleállító nyomógombok működtetése esetén is ez szakítja meg az áramkört. A választott hárompólusú megszakító típusa ABB T5N 400 TMA.



9. ábra A kiválasztott megszakító

Adatai a következők:

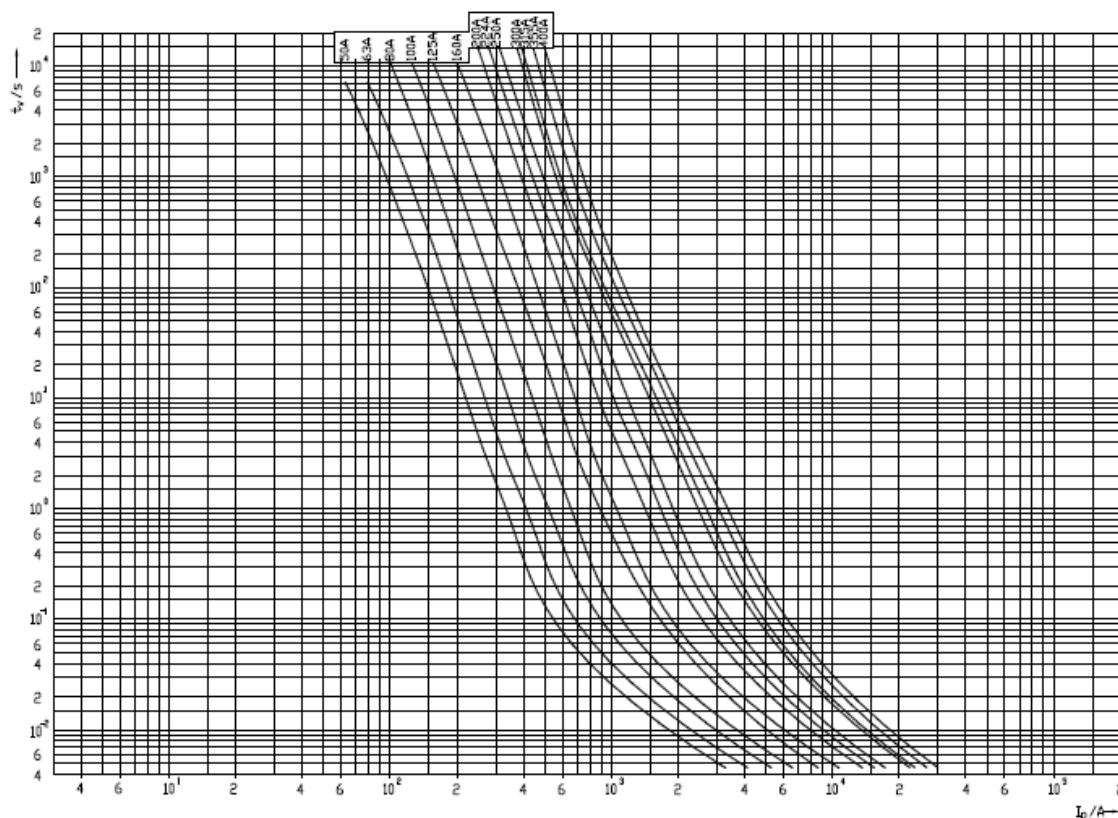
- névleges áramerősség $I_n = 400\text{ A}$, amelynek értéke nagy pontossággal beállítható mikrokapcsolók segítségével $0.4I_n$ és I_n között. Az általam beállított érték mikrokapcsolók "0011" állása mellett $0.88 I_n$
- névleges feszültség 690 V AC és 750 V DC
- rövidzárlati megszakító képesség különböző 400 V AC esetén 36 kA, mely a telepítési helyen megfelelő
- érintkező élettartam 7000 kapcsolási ciklus névleges áramnál
- mechanikai élettartam 20000 kapcsolási ciklus

4.1.2. Olvadóbiztosító

Olvadóbiztosítók esetén a legfontosabb szempont kiválasztásnál a névleges feszültség, a kioldó áram, a kiolvadási idő és a zárlati megszakítóképesség. A biztosítóbetétek jellemző alkalmazási kategóriái a következők:

- aR: részleges kioldási tartomány, félvezető védelem, nagyon gyors működés
- aM: részleges kioldási tartomány, motor áramkörök védelme
- gG, gL: teljes kioldási tartomány, kábelek és vezetékek védelme

A próbaterem áramköreinek szelektív védelmét az NKI késes szakaszolható biztosítók névleges áramerősségi értékének lépcsőzésével alakítottuk ki. Különösen nagy teljesítményű berendezések tesztje esetén szükség lehet a lépcsőzés megszüntetésére, hogy a $I_n = 350\text{ A}$ rendelkezésre álló áramot teljesen ki tudjuk használni. A felhasznált biztosítóbetétek a Jean Müller NH3 kategória különböző tagjai. Mindegyikre jellemző a 690 V névleges feszültség, 100 kA váltakozó áramú megszakító képesség. A betétekre jellemző áram/kioldási idő grafikon a következő ábrán látható. Innen leolvasható, hogy egy biztosítóbetétnél a rajta átfolyó adott áram esetén mennyi idő múlva történik meg a kioldás.

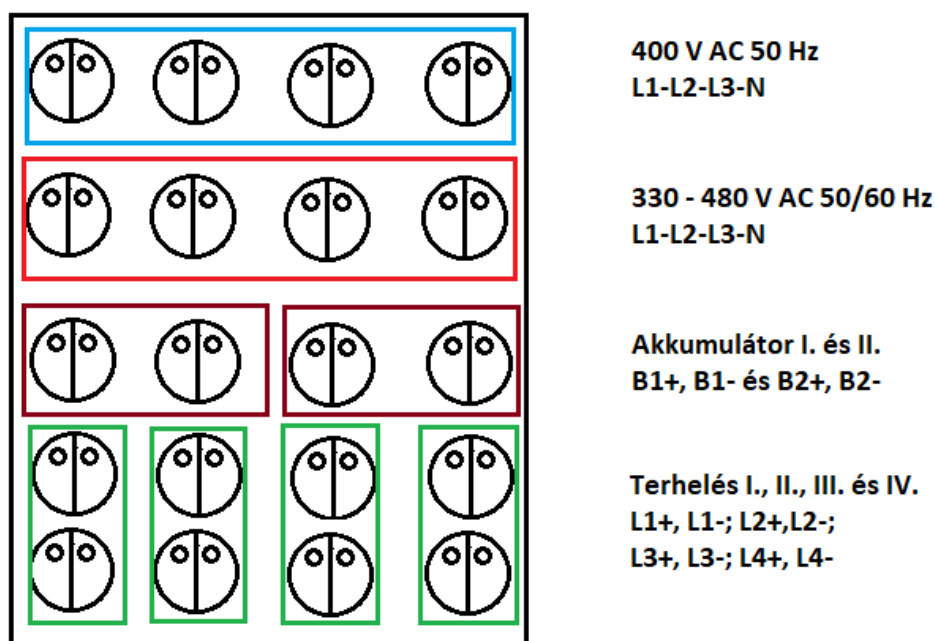


10. ábra Olvadóbiztosítók áram/kioldás idő grafikonja

4.2. Kapcsolók

A próbaterembe kerülő berendezések elindításához, funkcióinak teszteléséhez és mérésének elvégzéséhez számos kapcsolási műveletet kell végrehajtani. Mivel sok független áramkört kell ki és bekapcsolni, sok egymástól függetlenül működtethető

kapcsolókészülékre van szükség melyek képesek nagy áramot, akár 500 ampert is megszakítani. A kapcsolók beépítésénél figyelembe kellett venni egy rendelkezésre álló mérőszekrény méreteit. Az alapvető működés megvalósításához a következő ábrán látható elrendezésben 24 darab 1 pólusú kapcsolóra volt szükség.



11. ábra Vákuumkapcsolók elhelyezkedése a szerelőlapon

A felső sorban a fix, alattuk a változtatható feszültségű táplálásért felelős kapcsolók találhatók. A harmadik sorban a két akkumulátor áramkör, legalul pedig a négy különálló műterhelés kapcsolása történik.

A felmerült követelmények összefoglalva:

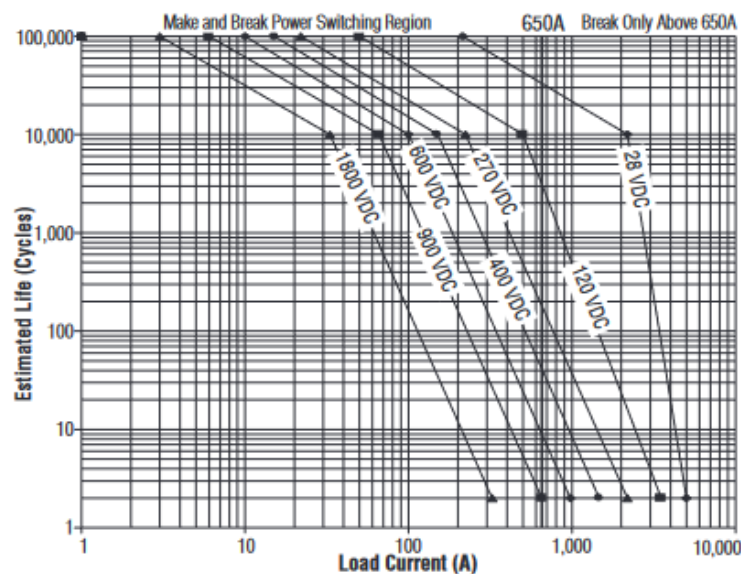
- kis méret
- nagy kapcsolási áram (500 A)
- hosszú élettartam, nagy kapcsolási szám elviselése
- egyszerű és gyors működés
- viszonylag kedvező árfekvés
-

Az előző szempontok figyelembevételével a vákuumkapcsolókra esett a választás. A beépített típus KILOVAC EV200AAANA, melynek adatai a következők:

- Névleges feszültség: 12-900 V DC/AC
- Névleges áramerősség: 500 A DC/AC

- Működtető tekercs feszültsége: 12-36 V DC
- Mechanikai élettartam: 1.000.000 kapcsolás
- Bekapcsolási idő: 120 msec
- Befoglaló méretek (sz x h x m): 65 x 80 és 72 mm

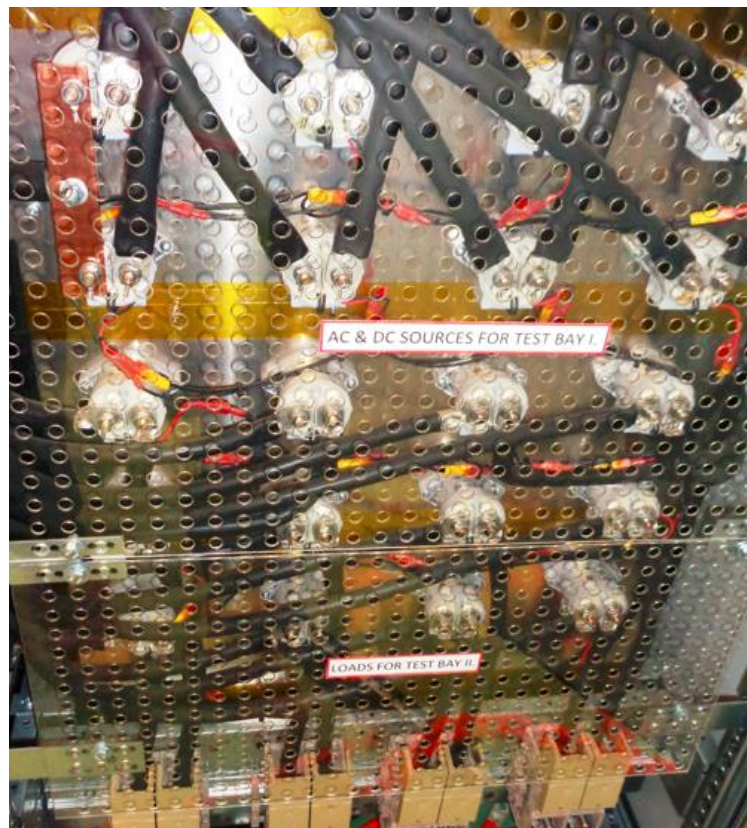
Az érintkezők elhasználódásának mértéke függ a feszültségtől és a megszakított áramerősségtől. A gyártó szerint a kapcsoló élettartamának végét jelenti, ha a nyitott érintkezők közti ellenállásérték $50\text{ M}\Omega$ alá esik. Ennek alakulását a következő grafikon szemlélteti:



12. ábra Vákuumkapcsolók megszakítási áram/élettartam grafikonja

Ehhez a típusú kapcsolóhoz tartozik egy olyan kisméretű áramkör, mely a működtető tekercs áramát lecsökkenti a bekapcsolási 1 A-es értékről 0.1 A-re. Ez a kapcsolókat egyszerre ellátó 24 V-os tápegység kiválasztásánál is figyelembe lett véve.

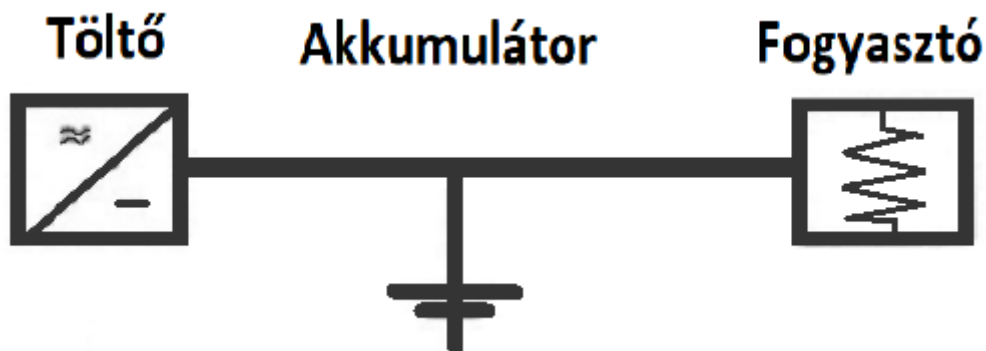
Az alábbi kép az említett vákuumkapcsolókból felépített és bekötött kapcsolótáblát mutatja.



13. ábra Fénykép a beépített vákuumkapcsolókról

4.3. Akkumulátortelep

A szünetmentes energiaellátó rendszereknek kiemelkedő fontosságú része a hozzájuk tartozó akkumulátortelep. Ahogy az ábrán is látható, a töltő, az akkumulátor és a fogyasztók egymással párhuzamosan vannak kapcsolva. Ez az egyszerű felépítés megbízható működést eredményez, ugyanis így a hálózati táplálás megszűnése esetén a fogyasztók rövid időre sem maradnak ellátatlanul és mindez bármiféle átkapcsoló mechanizmus nélkül valósul meg.



14. ábra Egy szünetmentes áramforrás működési elve

A próbateremhez két különböző akkumulátortelep tartozik, melyek összesen 150 darab 2 cellás 2.4V-os 112 Ah-ás blokkból állnak. A két akkumulátortelep a blokkok megfelelő összeköttetésével lett kialakítva. A két telep legnagyobb feszültsége

$$U_{dc1} = n_1 * (2 * 1.2 V) = 50 * (2 * 1.2 V) = 120 V$$

és

$$U_{dc2} = n_2 * (2 * 1.2 V) = 100 * (2 * 1.2 V) = 240 V$$

Mindkét telep esetén megcsapolásokkal biztosítható a kisebb kimeneti feszültség, melyet egy-egy NKI késes biztosító betét megfelelő pozícióba helyezésével lehet kiválasztani. Az egyik telepnél

24 V, 48 V, 64 V és 120 V

a másikon pedig

24 V, 48 V, 64 V, 110 V és 220 V

kimeneti feszültségek közül lehet választani. A rendelkezésre álló két akkumulátortelep segítségével a redundáns működésű összetett rendszerek két töltőberendezésének tesztje egyszerre is elvégezhető.

A márkával kapcsolatos pozitív tapasztalatok miatt a választott akkumulátor SAFT Ni-Cd SBM 112Ah. A típusra hosszú élettartam jellemző és viszonylag alacsony a karbantartásigénye. Jól viseli a rövid és hosszú ideig tartó töltéseket, kisütéseket, és ezek gyakoriságára is viszonylag érzéketlen, mely a próbatermi felhasználás mellett nagyon fontos szempont. Egyértelmű hátrányként a magas beszerzési árat lehet említeni. Adatok:

- Névleges cellafeszültség: 1.2 V
- Névleges kapacitás: 112 Ah

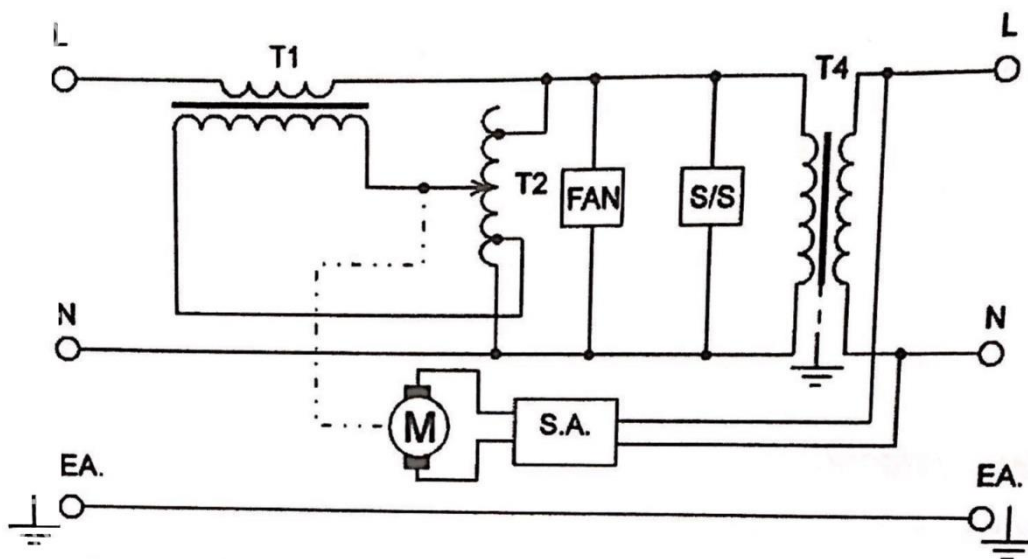
- Tömeg: 10.1 kg/blokk
- Rövidzárlati áram 4000 A

Az akkumulátortelep védelmére az akkumulátor kivezetések közvetlen közelében zárt tokozott dobozban elhelyezett telepsarok biztosítók szolgálnak. Ide is 120 kA-es zárlati megszakítóképességű olvadóbiztosítókat választottunk.

A savas és lúgos akkumulátorok töltésük során vizet bontanak, hidrogén és oxigén gáz képződik, amely a nyílásaikon keresztül (celladugó vagy szelep) a környezetbe jutnak, ahol megfelelő koncentráció és gyújtóforrás esetén robbanásszerű folyamat során újra vízzé alakul. Az akkumulátorhelység tűzveszélyességi osztályba sorolásáról az OTSZ rendelkezik. Az ide kapcsolódó BM rendelet szerint „nyitott akkumulátorok elhelyezésére szolgáló teret „A” tűzveszélyességi osztályba kell sorolni, kivéve, ha a helyiségnek hatékony szellőzése van”, ekkor a tűzveszélyességi osztályba sorolás lehet akár „D” is. Hatékony szellőzésről akkor beszélünk, amikor egy adott térben a szellőzés biztosítja, hogy az éghető gázok, gőzök, porok koncentrációja ne érje el az alsó robbanási határérték 20%-át.

4.4. Hálózati feszültség szabályozó

A töltőberendezések tesztelési folyamatának nélkülözhetetlen része szélsőséges üzemállapot (extremecondition) előidézése és közben a berendezés megfigyelése. Ekkor a névleges hálózati feszültséghez képest 15 %-kal növelt, vagy csökkentett feszültséget kell a készülék bemenetére kapcsolni a terhelés teszt megkezdése előtt. Ilyen tápfeszültséget feszültség szabályozóval tudunk előállítani, mely egy fázisának felépítését a következő ábra szemlélteti.



15. ábra A feszültszabályozó egyvonalas kapcsolási rajzának részlete

A feszültszabályozó segítségével vizsgáljuk, hogy megváltoztatott bemeneti feszültség mellett is a töltők kimeneti feszültség és áram értékei, illetve a kimeneti feszültség hullámossága az előírt tartományon belül marad-e. A szabályozó kimeneti feszültségének vonali értéke 330 és 480 V között állítható, névleges teljesítménye pedig $S_{szab.100\%} = 160 \text{ kVA}$. Ez alapján a legnagyobb kimeneti áramerősség névleges 400 V hálózati feszültségen

$$I_{szab.100\%} = \frac{S_{szab.100\%}}{\sqrt{3} * U_n} = 231.2 \text{ A}$$

Tehát amennyiben használni kívánjuk a feszültség szabályozót, a hálózati tápoldalon kialakításra került 242,49kVA teljesítmény helyett 160 kVA fog a vizsgálatokhoz rendelkezésre állni, mely fázisonként legfeljebb 231 A-es áramerősséget jelent. Segítséget jelent, hogy a feszültszabályozó gyártója megengedi berendezésének legfeljebb 50 %-os túlterhelését 15 perc időtartamra úgy, hogy az bármilyen kimutatható állapotromlást okozna. Ilyen túlterheléskor a feszültszabályozó teljesítmény és áram értékei a következőképp alakulnak:

$$S_{szab.150\%} = 160 * \frac{150}{100} \text{ kVA} = 240 \text{ kVA}$$

$$I_{szab.150\%} = \frac{S_{szab.150\%}}{\sqrt{3} * U_n} = 346.8 \text{ A}$$

Értelemszerűen a feszültszabályozóval kiadható értékek nem haladhatják meg a hálózati táplálás értékeit. Mivel a terheléses teszteket általában 5-10 perc folyamatos

terhelés mellett el lehet végezni, így a megengedett túlterhelést kihasználva nem jelent korlátozást, az áramkörünkbe iktatott feszültségszabályozó egység.

A stabilizátor kimenetét kékes olvadóbiztosító védi melynek zárlati megszakítóképessége 120 kA.

4.5. Frekvencia konverter

Magyarországon és a világ legtöbb országában a közüzemi hálózati frekvencia 50 Hz, így a vizsgálataink nagy százalékában nincs is szükség frekvencia konverter használatára. Előfordul azonban, hogy 60 Hz-es áramellátást igénylő berendezést kell tesztelni a hazai 50 Hz-es környezetben. Ilyen esetben frekvencia konverter alkalmazása válik szükségessé.

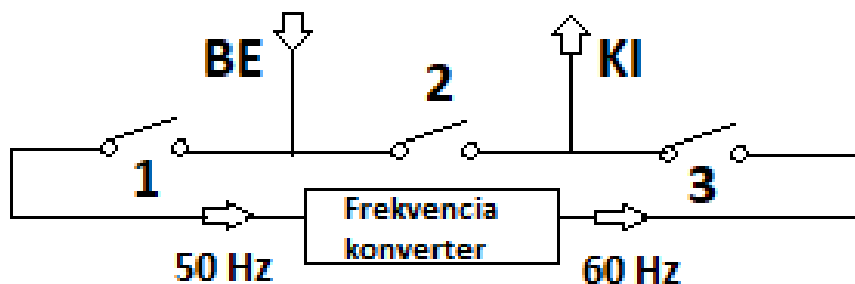
Működési elv szerint létezik statikus (elektronikus) vagy dinamikus (forgógépes) átalakító. A próbaterembe elektronikus működésű készüléket választottunk, melynek működése az UPS berendezéseknél széleskörűen alkalmazott technológián alapul. A berendezés egyenirányítóból és inverterből álló gyártmány, melynek alkalmazott beállítása szerint 60Hz-es váltakozó feszültség kerül a kimenetre három fázison. Legnagyobb kimeneti teljesítménye 160 kVA, azonban a gyártó nem tanácsolja, hogy a berendezést tartósan a névleges teljesítményének 90 %-a felett üzemeltessük. Innen adódik a rendelkezésre álló teljesítmény és áramerősség a konverter kimenetén:

$$S_{f_konv_90\%} = 160 * \frac{90}{100} \text{ kVA} = 144 \text{ kVA}$$

$$I_{f_konv_90\%} = \frac{S_{f_konv_90\%}}{\sqrt{3} * U_n} = 208.1 \text{ A}$$

melyet a terheléses mérések során figyelembe kell venni.

Mivel használatára csak időnként van szükség, terveztem hozzá egy átkapcsoló automatikát, melynek segítségével a konverter a főáramkör részévé tehető egy gombnyomásra, anélkül, hogy a nagy keresztmetszetű kábeles összeköttetést meg kellene bontani. Az átkapcsoló fázisonként 3 db vákumkapcsoló és összesen két darab időrelé megfelelő összeköttetése segítségével végzi el a szükséges kapcsolásokat. Az automatika egy kézi választókapcsoló működtetésével indítható. Működését egy fázison a következő ábra szemlélteti.



16. ábra Az átkapcsoló automatika egy fázisának működése

Ha szeretnénk használni a frekvencia konvertert, a kézi választókapcsoló „60 Hz” állásba helyezése után a „2” jelű vákuumkapcsoló kinyit, ezzel egyidejűleg az „1” jelű bezár, a konverter bemenetén megjelenik a hálózati tápfeszültség és elindul annak körülbelül 75 másodperces bekapcsolási folyamata. A 80 másodperces késleltetésű időrelé ezután a 60 Hz-es feszültséget a „3” jelű vákuumkapcsoló segítségével a kimenetre kapcsolja. Ha szeretnénk 50 Hz-re visszaállni, a kézi választókapcsoló „50 Hz” állásba helyezése után az „1” és „3” jelű kapcsolók leválasztják a frekvencia konverter be és kimenetét, majd egy pár másodperces biztonsági késleltetés után „2” kapcsoló bezár és a bemeneti 50 Hz-es feszültség jelenik meg a kimeneten is.

4.6. Műterhelés

4.6.1. Ellenállás kiválasztása

A műterhelések használata nélkülözhetetlen a berendezéseink próbatermi vizsgálata során. Számos különböző villamos paraméterű rendszer tesztjére kerül sor, kimeneti egyenfeszültség szempontjából 24, 48, 110, 220 V, áramerősség tekintetében jellemzően 50 és 1000 Amper közötti rendszerek fordulnak elő. Ezen igényeknek megfelelő műterhelés elkészítésére volt szükség. A követelmények összefoglalva:

- 24 és 220 V közötti feszültség szint,
- akár 1000 A terhelőáram,
- sok fokozatban állítható terhelés,
- csendes és biztonságos működés,
- teljesítményéhez képest kis méret.

A műterhelés összeállításához „U” alakban meghajlított bordázott csőfűtőszálakat választottunk, melynek tulajdonságai:

- Névleges feszültség $U_{\text{fűtőszál_névleges}} = 130 \text{ V}$
- Maximális teljesítmény $P = 2000 \text{ W}$ (vagy $P = 1000 \text{ W}$)
- Hőálló Nikkel – króm ellenálláshuzal
- Magnézium-oxid villamos szigetelés az ellenálláshuzalon
- Hosszúság 600 mm (vagy 350 mm $P = 1000 \text{ W}$ esetén)
- Megengedett legnagyobb üzemi hőmérséklet 800 °C

4.6.2. Ellenállás hőmérsékletfüggése

A vezetőanyagok egyik csoportjában a hőmérséklet növekedésével az ellenállásérték növekszik. Ezek az anyagok hideg állapotban jó vezetőképességgel rendelkeznek, ezért hidegvezetőknek nevezzük őket. A pozitív hőmérsékleti együtthatójú anyagok ellenállása tehát a hőmérséklet növekedésével együtt növekszik (pozitív termikus koefficiens: PTK, Positive Temperature Coefficient: PTC). Eme jelenség oka az, hogy növekvő hőmérséklet hatására megnövekszik az atomtörzsek és a töltéshordozók, molekulák hőmozgása. Habár a választott fűtőszálak ellenállásának hőmérsékletváltozása viszonylag csekély, méréseknél figyelni kell a terhelőáram változására. A gyártó által megadott hőmérsékleti tényező, mely megmutatja, hogy adott hőmérsékletváltozást milyen ellenállás változást eredményez:

$$\alpha = 0.25 * 10^{-3} \frac{1}{\text{°C}}$$

Egy 2000 W-os fűtőszál ellenállása szobahőmérsékleten a gyártó adatai alapján:

$$R_{20 \text{ °C}} = 8.45 \Omega$$

Az ellenállás értéke egy 500 °C -ra bemelegedett fűtőszál esetén így változik meg:

$$R_{500 \text{ °C}} = R_{20 \text{ °C}} * \left(1 + 0.25 * 10^{-3} \frac{1}{\text{°C}} * 480 \text{ °C} \right) = 9.46 \Omega$$

Például egy 110 V kimeneti feszültségű töltő tesztelése során az ellenálláson átfolyó áram az alábbiak szerint fog csökkenni a kezdeti értékhez képest, ha emelkedik a fűtőszál hőmérséklete 20 °C -ról 500 °C -ra.

$$I = \frac{U}{R}$$

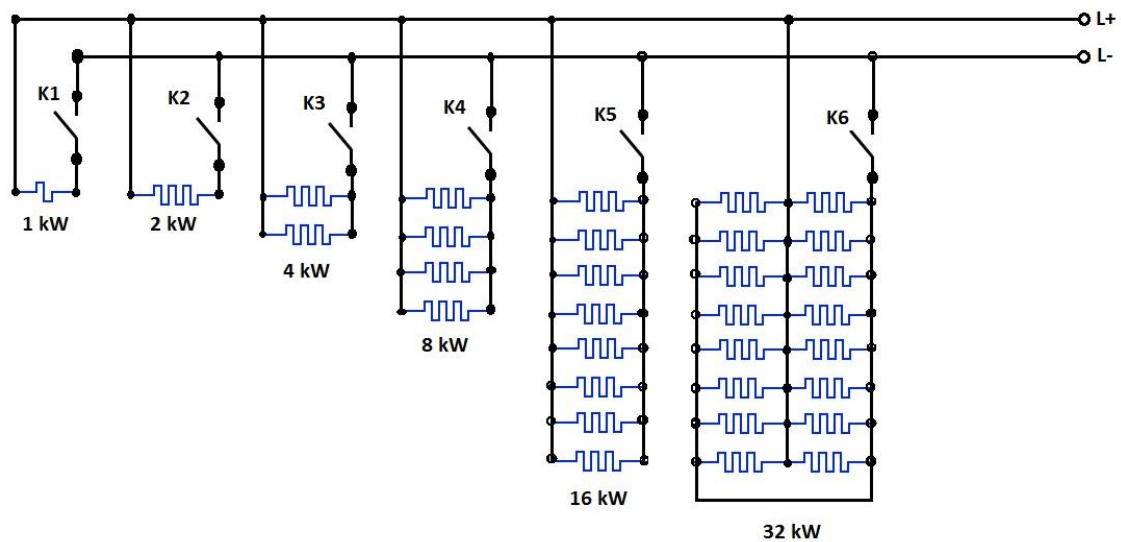
$$I_{20\text{ °C}} = \frac{U_{110\text{ V}}}{R_{20\text{ °C}}} = \frac{110\text{ V}}{8.45\Omega} = 13.02\text{ A}$$

$$I_{500\text{ °C}} = \frac{U_{110\text{ V}}}{R_{500\text{ °C}}} = \frac{110\text{ V}}{9.46\Omega} = 11.62\text{ A}$$

Látható, hogy a terhelőáram nagyságában igen jelentős, körülbelül 10 %-os változást okozott a hőmérsékletemelkedés.

4.6.3. A műterhelés lépcsőzetes kialakítása

A műterhelést úgy alakítottuk ki, hogy benne 4 darab egymással teljesen megegyező 130 V névleges feszültségű fűtőszál blokk kapjon helyet. Egy adott blokk ellenállása a másik háromtól függetlenül állítható be a hozzá kapcsolódó 6 darab vákuumkapcsoló segítségével. A következő ábra egy ilyen blokk felépítését szemlélteti:



17. ábra A műterhelés egy blokkjának lépcsőzetes kialakítása

- | | |
|-----------|---------------------------|
| 1. egység | 1 kW (1 x 1 kW fűtőszál) |
| 2. egység | 2 kW (1 x 2 kW fűtőszál) |
| 3. egység | 4 kW (2 x 2 kW fűtőszál) |
| 4. egység | 8 kW (4 x 2 kW fűtőszál) |
| 5. egység | 16 kW (8 x 2 kW fűtőszál) |

6. egység 32 kW (16 x 2 kW fűtőszál)

Ha például a töltőberendezésre ebből a blokkból 45 kW terhelést szeretnénk kapcsolni, akkor a K6, K4, K3 és K1 vákuumkapcsolókkal kell a 32 + 8 + 4 + 1 kW egységeket a terhelés kimenetre kapcsolni. Látható, hogy egy terhelőblokk esetén 1 és 63 kW között 1 kW felbontásban bármilyen teljesítmény beállítható.

Ezek a blokkok egymással tetszés szerint sorba vagy párhuzamosan kapcsolhatók attól függően, hogy a cél nagyobb feszültség, vagy nagyobb terhelőáram elérése. 220 V-os töltőberendezés terhelését kizárólag sorba kapcsolt blokkok használatával lehet elvégezni.

A blokkok által felvett legnagyobb teljesítmény a betápláló egyenfeszültség nagyságától függ. Egy blokk legkisebb eredő ellenállása $R_{blokk_e} = 0.2683 \Omega$ (20 °C hőmérsékleten), melyet akkor kapunk, amikor a blokk összes vákuumkapcsolója bekapcsolt állapotban van. A blokk, mint fogyasztó terhelőáramának alakulása különböző feszültség szintek esetén:

$$I_{24V_1blokk} = \frac{24V}{0.2683\Omega} = 89.45A$$

$$I_{48V_1blokk} = \frac{48V}{0.2683\Omega} = 178.90A$$

$$I_{110V_1blokk} = \frac{110V}{0.2683\Omega} = 409.99A$$

Négy blokkot egymással párhuzamosan kapcsolva a fenti áramértékek négyszeresét kapjuk.

Két egymással sorba kötött blokk névleges feszültsége 220 V lesz melynek terhelő árama:

$$I_{220V_2blokk} = \frac{220V}{\frac{0.2683\Omega}{2}} = 409.99A$$

4.6.4. Hűtés méretezése

A megvalósítás során két blokk került egy légtérbe, hűtésükről egy közös ventilátor gondoskodik. A hűtési rendszert az előforduló legnagyobb terheléshez kell méretezni, mely a két párhuzamosan kapcsolt blokk összes vákuumkapcsoló zárt állapota mellett

jön létre. A fűtőszál névleges feszültsége $U_{fűtőszál_névleges} = 130\text{ V}$. Ez alapján az előforduló legnagyobb terhelés mellett a villamos teljesítmény, mely hővé alakul:

$$P_{2blokk_123.5V} = 2 * \frac{130\text{ V}^2}{0.2683\ \Omega} = 125977.8\text{ W} \approx 126\text{ kW}$$

Amikor egy eszköz hűtéséről kell gondoskodni, a keletkezett hő háromféleképp távozhat:

- hővezetés útján, amikor a hőforrás érintkezik a hővezető anyaggal,
- hősugárzás útján, amikor a hőenergia elektromágneses hullám formájában távozik és
- hőáramlás (konvekció) útján, mely során a hőelvezetés a fűtőszálat körülvevő közeg felmelegedő részecskéinek tovaáramlásával biztosított.

A fűtőszálak hűtése konvekcióval történik, a körülvevő közeg a levegő. A konvekció lehet természetes, amikor a légáramlást a hőmérséklet-különbségek hozzák létre, azonban sokkal hatásosabb a kényszerített, amikor az áramlást külső erő, például egy ventilátor lapát forgása kelti. A tervezés során nagyon fontos szempont volt elegendő helyet hagyni a fűtőszálak körül a megfelelő légáramlás biztosítására.

Kényszerített légáramlásos hűtés alkalmazásakor a fűtőszálakon keletkező hő a következő úton távozik:

- a fűtőszál melegedni kezd,
- átadja a hőt környező levegőrészecskének,
- majd a hő kiáramlik a távozó levegővel együtt.

A hőátadást az átadó felület nagyobb mérete (pl. bordázottság) kedvezően befolyásolja, a kiáramlás sebességét egy adott elrendezésnél pedig nagyrészt a ventilátor paraméterei szabják meg.

A helyes ventilátorválasztás sok tényezőtől függ, de elsősorban a rendszer teljes hőtermelése és a maximálisan megengedhető hőmérséklet-emelkedés befolyásolja.

A műterhelés ΔT hőmérséklet-emelkedését a következő képlettel számíthatjuk ki:

$$\Delta T = \frac{P_{2blokk_130V}}{c_p * \rho * Q} * k$$

Ahol:

Q: az áramoltatott légmennyiség [m³/min]

c_p : a levegő hőkapacitása állandó nyomáson, értéke 1007 J/(kgK)

ρ : a levegő sűrűsége 1,2 kg/m³ @ 25 °C

k : a légáramlatnak ellenálló alkatrészek sűrűségét jellemző k konstans ($k=80-95$ ritka, $k=60$ sűrűn elhelyezéskor)

$P_{2blokk_123.5V}$: két blokk fűtőszálain hővé alakult villamos teljesítmény

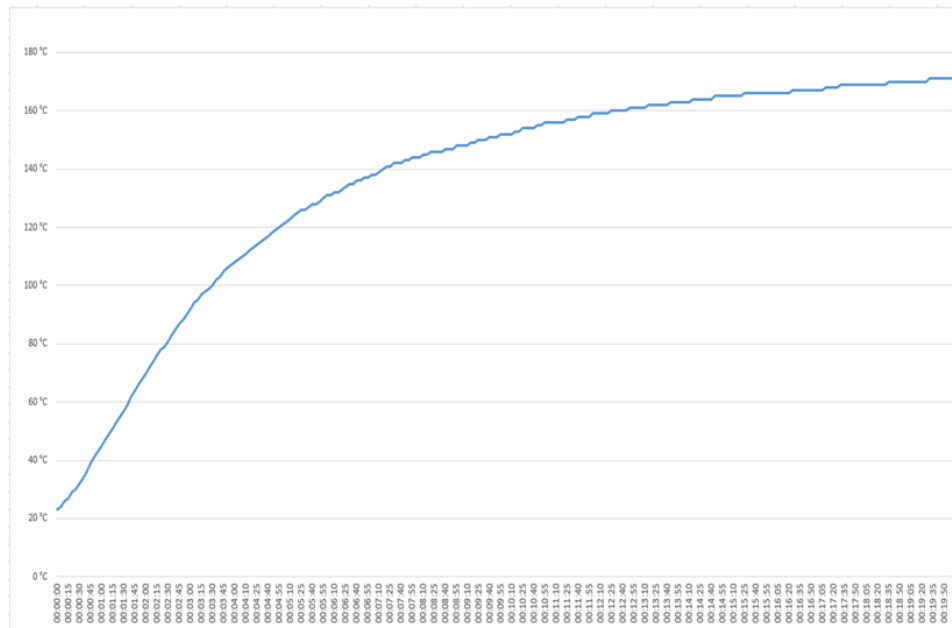
Paraméter	Érték	Mértékegység
Frekvencia	50	Hz
Feszültség szint	220-240	V
Áramerősség	1.06	A
Teljesítmény	297	W
Maximális légáramlás	3250	m ³ /h
Fordulatszám	1620	min ⁻¹
Szajszint	59	[dBA]
Működési hőmérséklet	20	°C
Védettségi szint	IP X4	class
Tömeg	18.8	kg
Csatlakozó keresztmetszet	355	mm

18. ábra A választott ventilátorok adattáblája

A választott hűtőventillátorra jellemző $Q = 3250 \frac{m^3}{óra} = 54.16 \frac{m^3}{perc}$ értékkel számolva és normál körülményeket feltételezve adódik, hogy a hőmérsékletemelkedés:

$$\Delta T = \frac{125977.8}{1007 * 1.2 * 54,16} * 80 = 153.99 \text{ °C}$$

Sajnos ez a módszer nem veszi figyelembe sem a hűteni kívánt rendszer, sem a ventilátor geometriai sajátosságait, ezért meglehetősen pontatlan. Emiatt elvégeztem egy 20 perces mérést, a belső tér hőmérsékletváltozásának megfigyelésére. A mért hőmérsékleti adatokat grafikonon ábrázoltam. A grafikonon látható, hogy változatlan terhelés mellett a hőmérséklet 180 °C alatt állandósul. A számításhoz képes tapasztalt eltérés azért adódik, mert a választott ventilátor a geometriai sajátosságok miatt jelentősen kevesebb levegőt képes mozgatni a gyárilag megadott értéknél.



19. ábra A melegedés vizsgálat mérési eredményei grafikusán ábrázolva

A műterhelés vázszerkezete acélból készült, burkolata szegecsekkel rögzített vaslemez. A szerkezet számára ilyen mértékű melegedés nem okoz problémát, azonban oda kellett figyelni rá, hogy a környezetében ne legyenek éghető anyagok. Az előző vizsgálat közben hőkamerával vizsgáltam a burkolat külső hőmérsékletét és megállapítottam, hogy az sehol nem haladja meg a 130 °C-ot. A biztonság kedvéért a beton alapzatra állított műterheléstől két méternél kisebb távolságra semmi nem lett elhelyezve. A fűtőszálak közvetlen közelében elhelyezett hőkapcsoló 200 °C hőmérséklet felett megszakítja a vákuumkapcsolók tápáramkörét és ezzel megállítja a további melegedést.

5. A PRÓBATERMI VIZSGÁLATOK

A próbatermi vizsgálat célja többféle lehet:

- a berendezés működőképességének megállapítása,
- az elvárt teljesítményadatok és üzemi tulajdonságok ellenőrzése,
- működésképtelen gépnél a hiba okának feltárása,
- a méretezésnél alkalmazott megközelítések helyességének alátámasztása,
- a pontos méretezéshez csak méréssel megállapítható bemeneti adatok felvétele,
- különleges pontosságot igénylő üzemi tulajdonságok beállítása.

A próbatermi mérés előnye a helyszíni munkavégzéshez képest, hogy itt rendelkezésre áll a leendő üzemi környezet feltételeit szimuláló áramforrás, igény szerinti áramnemekkel, változtatható feszültséggel és a kívánt frekvenciával. Továbbá adott a paramétereiben könnyen változtatható műterhelés, a különböző üzemállapotok gyors megvalósításának lehetősége és rendelkezésre állnak a mérésekhez nélkülözhetetlen kalibrált mérőműszerek is.

5.1. Szemrevételezés

A próbák megkezdése előtti nélkülözhetetlen lépés a szemrevételezés. Ehhez nem szükséges a berendezést a próbateremben elhelyezni és bekötni, hiszen akár a szerelőműhelyben is elvégezhető. A célja olyan esztétikai, vagy jelentősebb szerelési hibák, hiányosságok kiszűrése, melyeket mindenképp érdemes a próbatermi mérések megkezdése előtt elhárítani.

5.1.1. Esztétika

A gyártósoron előre meghatározott irányelvek szerint zajlik a szerelés, mely kihat a berendezés megjelenésére is. Figyelni kell például arra, hogy azonos működést megvalósító szekrények belülről is egységesen nézzenek ki. Ez különösen fontos olyan esetekben, amikor a berendezések egy üzemeltetési területen kerülnek telepítésre; az

üzemeltetőnek nagy segítséget jelent a kezelés és esetleges hibakeresés hatékonysága szempontjából a berendezések egyforma kialakítása. A infokommunikációs vezetékek és kábelek hasonlóan legyenek elvezetve, kötegelve, ne legyen bennük törés, a rendezetlenség kerülendő. A sérült vázszerkezeti részeket, illetve alkatrészeket ki kell cserélni. Minden egyes elektromos alkatrész mellett tartós matricán (vevői igény esetén gravírtáblán) fel kell tüntetni a készülék tervjelét és esetleg megnevezését. A vezetékek csupaszolt végeire érvéghüvelyt kell préselni és vezetékjelölőt kell elhelyezni, mely mutatja a bekötési hely azonosítóját. Ahol vezetékcsatornán kívül halad több vezeték, azokat meghatározott szakaszonként rendezetten egymáshoz kell kötegelni. A sorozatkapocs sor elején annak elnevezése, az egyes sorozatkapcsokon pedig számozás szükséges. Ügyelni kell az aktív vezetők és a védőföldelés megfelelő színjelölésének betartására. Ellenőrizni kell, hogy a szerelés során nem maradt-e szerszám, csavar, hulladék, vagy más nem odaillő a szekrényben, valamint ki lett-e takarítva. Az elkészült szekrény ránézésre igényes munkát kell, hogy mutasson.

5.1.2. IP védettség

Az IP (International Protection) jelentése Nemzetközi Védettségjelölés és a berendezés környezeti behatások elleni védettségét jelöli. Az IP besorolást Magyarországon a MSZ EN 60529:2015 (nemzetközileg az IEC 60529:1989 szabvány írja le. Az első szám határozza meg a szilárd halmazállapotú idegen tárgyak behatolása elleni védelem mértékét. Ez 0-tól 6-ig terjedhet, és ha nincs meghatározva, „X” helyettesíti. A második szám határozza meg a víz bejutása elleni védelem mértékét. Ez 0-tól 9-ig terjedhet. Ha nincs meghatározva, akkor itt is „X” betűvel kell helyettesíteni. A próbaterembe kerülő berendezések például leggyakrabban IP42 védettségű szinttel rendelkeznek zárt ajtó mellett. Ez azt jelenti, hogy apró méretű szilárd tárgyak ellen védett (>1 mm) – azaz 1mm vagy annál nagyobb átmérőjű idegen szilárd tárgyak ellen véd, az 1mm átmérőjű szilárd anyagú és rúd alakú tesztszonda nem hatolhat be - és fröccsenő víz ellen védett minden irányból (). A következő képen a próbateremben használt IP 4X vizsgáló eszköz látható.



20. ábra IP4X vizsgáló eszköz

5.1.3. Normál működést befolyásoló hibák

Ebbe a hibacsoportba tartoznak azon hibák, melyek, ha nincsenek orvosolva, a berendezés egyáltalán nem, vagy nem megfelelően fog működni a későbbiekben. A leggyakoribb ezek közül a vezetékelkötés. Ilyenkor a vezeték nem a kapcsolási rajzban szereplő helyre van bekötve, amiből kisebb-nagyobb működési hibák, akár rövidzárlatok is adódhatnak. A hiba felderítése jó esetben néhány perc alatt megtörténhet, kedvezőtlenebb esetben több órás folyamat is lehet. A megfelelően elvégzett szemrevételezés segítségével az ilyen hibák 90 %-a már a feszültség alá helyezés előtt kiszűrhető, mely nagy segítséget jelent a későbbi tesztelés szempontjából. Mindig kiemelt fontosságú az erőátviteli kábelek bekötéseinek ellenőrzése, mivel egy ezeknél előforduló hiba súlyos anyagi károkat okozhat egy működésbe hozott berendezésnél.

Szerelési előírás a csavaros villamos kötések megfelelő nyomatékkal való meghúzása és ezután annak lejelölése. Szemrevételezésnél ellenőrizzük a jelölések meglétét, majd néhány véletlenszerűen kiválasztott kötésnél kézi erővel megmozgatva a vezetékeket győződünk meg annak megfelelő rögzítettségéről.

Előfordulhat, hogy egy megrendelés csúszása miatt valamilyen alkatrész nem kerül beépítésre. Ilyenkor mérlegelni kell, hogy a teszt ebben az állapotban elvégezhető-e. Ha igen, a szabadon hagyott vezetékvégeket le kell szigetelni a teszt megkezdése előtt.

Ellenőrizni kell, hogy a megfelelő villamos paraméterű alkatrészeket építettek-e be a szekrények adott helyeire. Gyakori hiba az ajtóban elhelyezett táblaműszerek közül a feszültség és árammérő felcserélése. Ha ezt a hibát későn vesszük észre, a bemeneteire néhány mV-os feszültséget váró árammérő műszer biztosan meghibásodik a kapcsain megjelenő túlfeszültség miatt. Figyelnünk kell a villamos vezetők keresztmetszeteire is. Ebben segítséget jelenthet a kapcsolási rajz, de érdemes terhelhetőségi táblázatokból is tájékozódni. Könnyű összetéveszteni a különböző feszültségű vagy áramnemű reléket is. Ez a későbbiek során szintén az alkatrész meghibásodásához vezethet. Egy

rosszul bekötött polarizált kondenzátor nem túl feltűnő jelenség a többi kondenzátor között, de feszültség alá helyezve egy időzített bombává válik, ezért ezeknek az ellenőrzésére is kellő figyelmet kell fordítani.



21. ábra Az ellenőrzés során talált elkötési hiba

Csak néhány gyakoribb példát említettem, de már ebből is látható, hogy nagyon sok rejtett problémára lehet fényt deríteni egy kellő körültekintéssel elvégzett szemrevételezés segítségével. Természetesen előfordulhat számos olyan rejtett hiba, melyek csak működés közben derülnek ki.

5.2. Feszültségpróba és szigetelési ellenállás vizsgálat

A főbb szigetelésvizsgálati módszerek közé sorolhatók a:

- hőállósági és öregedési vizsgálatok,
- környezetállósági vizsgálatok,
- mechanikai módszerek,
- kémiai módszerek,
- részkiülések vizsgálata,
- dielektromos jellemzők vizsgálata,
- átütő feszültség mérése,
- és a feszültség próba.

A próbatermi mérések megkezdése előtt a töltőberendezés erőátviteli vezetőit feszültség próbának tesszük ki és szigetelési ellenállás vizsgálatot végzünk rajtuk.

A feszültségpróba nem összetévesztendő az átütési feszültség vizsgálatával. Itt nem az átütőfeszültség mérése, hanem annak megállapítása a cél, hogy a szigetelés villamos szilárdsága az előírt legkisebb értéknél nagyobb-e.

A próba megkezdése előtt a berendezés összes erőátvitelben érintett egyenfeszültségű és váltakozó áramú be és kimeneti pontját egymással rövidre zárjuk, az összes kapcsolót és megszakítót bekapcsolt állapotba helyezzük. Az kapcsolóüzemű berendezéseket és minden olyan villamos berendezést (berendezésrészt) és készüléket, amelyet rongálna vagy működésbe hozna a vizsgáló feszültség, a mérés elvégezhetősége érdekében leválasztjuk. Ha van beépített blokkoló vagy feszültségejtő dióda, azt is rövidre kell zárni.

A vizsgálat nem egyetlen szigetelésre, hanem a berendezés egészére – értelemszerűen a leválasztott készülékeke kivételével - vonatkozik, tehát bármelyik szigetelés rendellenessége látszódik a mérési eredményeken. A vizsgálati egyenfeszültséget a berendezés test és a rövidre zárt aktív vezetők közé kapcsoljuk.

A méréshez egy Kikusui TOS9201 sorozatú Hipot műszert használunk, mely átütési feszültség, feszültség próba vizsgálatra és szigetelés ellenállás mérésére alkalmas 5 kV/100 mA (AC) és 6 kV/10 mA (DC) tartományban. Előnye, hogy kifinomult fel és lefutási idő kontrollal rendelkeznek, ami számos szabvány esetén nélkülözhetetlen, illetve megvédi tesztelendő eszközünket a túlzott stressztől. Mivel a működése kapcsoló-erősítő technológián alapul, így, ha a bemeneten hálózati rendellenességek lépnek fel, akkor is nagyon stabilan tartja a kimenő tesztfeszültség-szintet.



22. ábra Kikusui TOS9201

Minden berendezésünknek 1 percig tartó 2.8 kV DC próbát kell kibírnia átütés nélkül. Ezen kívül szigetelési ellenállásmérést végzünk 500 V vizsgálati egyenfeszültséggel. A berendezés szigetelése megfelel, ha $R_{szig} \geq 0,5 \text{ M}\Omega$ teljesül.

5.3. Tesztelni kívánt berendezés bemutatása

Dolgozatomban a jobb szemléltetés érdekében egy konkrét rendszer elvégzett tesztjéről írok. Ez a rendszer két darab egymással megegyező töltőből és egy őket összekötő motoros kapcsolókkal és feszültségejtő diódákkal ellátott harmadik szekrényből áll. A töltők 110 V-os kimenettel rendelkeznek és maximális kimeneti áramuk 850 A. Ez utóbbi értéket a szoftveres beállításban lecsökkentettük 1000 A-ról a telepítés helyszínét jellemző magas hőmérséklet miatt.



23. ábra Fénykép a tesztelt rendszerről

Mindhárom szekrény egyenként két darab hűtőventilátorral van ellátva, melyek folyamatos működését ventilátor diagnosztikai egység ellenőrzi. A középső DVR szekrényben található feszültségejtő dióda külön hűtéssel is rendelkezik a rajta keletkező nagy hőveszteség miatt. Ezen ventilátorok működését is monitorozza a

felügyeleti rendszer. Ha bármelyik beépített ventilátor meghibásodik, a rendszer hibaüzenetet jelenít meg.

Egy töltőberendezés főbb összetevői a következők:

- ABB SACE MAX 630A bemeneti megszakító
- 415/120 V Dy11 169.7 kVA leválasztó transzformátor műgyanta szigeteléssel
- 1000 A-es háromfázisú tirisztoros egyenirányító egység megfelelő félvezető-s olvadábiztosító védelemmel ellátva
- 1200 A-es blokkoló dióda
- 4 db 250 V DC 10000 μF kimeneti szűrőkondenzátor
- 110 V 1000 A 0.18 mH fojtótekerccs
- 1000 A és 800 A 60 mV sönt ellenállás
- ABB OT1000E02 1000 A-es kimeneti főkapcsoló
- ABB OT630E02K 630 A-es akkumulátor leágazási főkapcsoló
- Be és kimeneti csatlakozó sínek (L1, L2, L3, N, PE, B+, B-, L+, L-)
- BDTe vezérlő egység, mely a működtetésért és teljes felügyeletért felelős
- Analóg táblaműszerek (töltő kimeneti feszültség és áram, akkumulátor kimeneti feszültség és áram, földelési hibaáram)

A két töltő közé kerülő átkapcsoló/DVR szekrény főbb összetevői:

- 3 db ABB T5D630 630 A-es motoros terheléskapcsoló
- Siemens LOGO plc
- 500 A 60 mV sönt ellenállás
- 2 db feszültségejtő dióda 8.8 V 550 A
- 2 db ABB AF190-30 3P 250 A mágneskapcsoló
- 2 db Jean Müller 630 A kimeneti olvadó biztosító
- Be és kimeneti csatlakozó sínek (L_IN1+, L_IN 1-, L_IN 2+, L_IN 2-, L_OUT1+, L_OUT1-, L_OUT2+, L_OUT2-)
- Analóg táblaműszerek (egyes számú terhelés feszültség és áram, kettesszámú terhelés feszültség és áram)

5.4. A tesztelni kívánt rendszer bekötése a próbatermi mérőszekrénybe

Miután a szemrevételezés, a talált hibák kijavítása, a hiányosságok pótlása, valamint a szigetelési ellenállás vizsgálat és feszültségpróba megtörtént, a rendszert el lehet helyezni a mérőhelyen. Itt érdemes odafigyelni rá, hogy a szekrények minden oldalról hozzáférhetőek legyenek a szükséges beavatkozások miatt. Ezután a rendszer adattábláit és egyvonalas kapcsolási rajzát áttekintve kell a szekrényeket egymással és a mérőállás csatlakozó kapcsaival összekötni.

RECTIFIER 110BDTe1000			
A-No.:	330968	S-No.:	330968-01-CHG-01
Year of Manufacture:		2021	
Project: QAABB-PGGI-021		400/220kV AL BARAHA SUPER-1 SUBSTATION	
Input Characteristics			
Rated Input Voltage		~	415 VAC
3-ph/ 3 wire			373.5 - 456.5 VAC
Rated Input Current		~	235.9 AAC
Frequency			50 Hz
Max. Input Short Circuit Current Icu			50 kA
Output Characteristics			
Rated Output Voltage		=	110 VDC
Rated Output Current		=	850 ADC
Battery Charging Current		=	560 ADC
Float Charge Voltage		=	123.5 VDC
Equalize Charge Voltage		=	127.9 VDC
Boost Charge Voltage		=	143.6 VDC
Manual Charge Voltage Range		=	99.2-149.6 VDC
Charging Characteristics DIN 41773			U,I
Duty Class IEC60149			I
Ambient Temperature			-10 to 50 °C
IEC Standard			60146
Protection Degree IEC60529			IP42

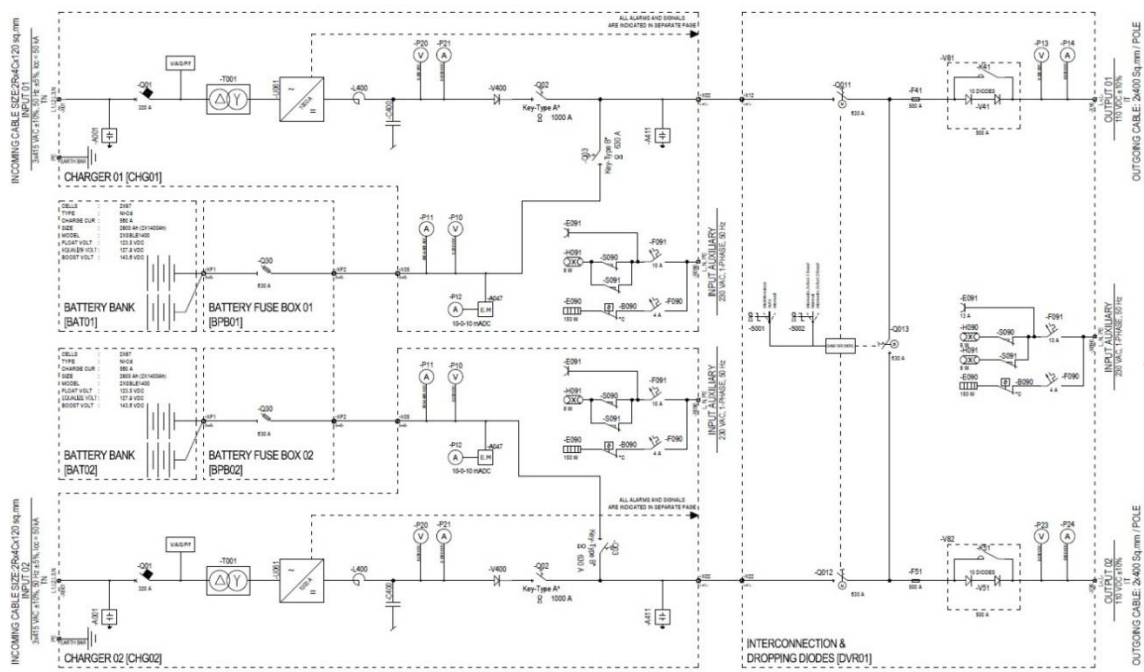
Battery Protection Box			
A-No.:	330968	S-No.:	330968-01-BPB-01
Year of Manufacture:		2021	
Project:QAABB-PGGI-021		400/220kV AL BARAHA SUPER-1 SUBSTATION	
Characteristics			
Rated Operational Voltage		=	110 VDC
Rated Operational Current		=	630 ADC
Fuse / Switch Type			Fused Loadswitch
Fuse / Switch Rating		=	630 ADC
Protection Degree IEC60529			IP54
Interconnection & DVR			
A-No.:	330968	S-No.:	330968-01-DVR-01
Year of Manufacture:		2021	
Project: QAABB-PGGI-021		400/220kV AL BARAHA SUPER-1 SUBSTATION	
Output Characteristics			
Input Voltage Range		=	99.2-127.9 VDC
Ouput Voltage Range		=	99-121 VDC
Max. Output Current		=	500 ADC
No. of DVR stages			1
Max. Drop across first Stage		=	9 VDC
Max. Drop accross total Stages		=	9 VDC
Ambient Temperature			-10 to 50 °C
Protection Degree IEC60529			IP42

24. ábra Adattáblák

Az adattábláról leolvasható, hogy a töltő névleges bemeneti feszültségének vonali értéke 415 V, 50 Hz-es hálózatban üzemel és legnagyobb bemeneti árama 235.9 A. A kimeneti feszültsége 110 és 143.6 V között alakulhat attól függően, milyen töltési módban használjuk. Ezen kívül látható, hogy a legnagyobb kimeneti áram 850 A és a legnagyobb akkumulátor töltőáram 560 A. Az összekapcsoló DVR szekrény fogyasztói kimenetén a legnagyobb áram 500 A, a feszültségejtő dióda egy lépcsős és 9 V feszültség esik rajta.

Az egyvonalas kapcsolási rajz a szekrények próbateremi bekötésében és berendezések egymással való összekötésében nyújt segítséget. Ez alapján látható, hogy a váltakozó áramú betáplálást a töltő X01 jelölésű sorozatkapcsaira kell kötni. A próbatermi akkumulátor telepet a töltők X05 jelölésű sorozatkapcsaira kell csatlakoztatni (1x120 mm² mérőkábel pólusonként) és ugyan ide csatlakoztatunk egy műterhelés blokkot is (2x120 mm² mérőkábel pólusonként), hogy nagy áramú (560 A) akkumulátortöltés szimulálható legyen. A töltők X02 kimenetét összekötjük az átkapcsoló DVR szekrény X12 (egyes számú töltő) és X22 (kettősszámú töltő) bemeneteivel. Ezek a belső összekötő kábeleket a berendezések részeként gyártották le pólusonként 2x120 mm² keresztmetszettel. A DVR szekrény fogyasztói kimeneteinek X16 és X26 sorozatkapcsaira műterhelés blokkot kell csatlakoztatni. Ide pólusonként 2x120 mm²-es mérőkábelt használtunk.

A szekrények közti kommunikációs és segédüzemi ellátást biztosító összeköttetéseket a megfelelő stekekerek egymáshoz csatlakoztatásával kellett megvalósítani.



25. ábra A rendszer egyvonalas kapcsolási rajza

5.5. A töltő berendezés indítása

A töltő berendezés beüzemelése azzal kezdődik, hogy az egyenáramú oldalra (általában a szűrőkondenzátor kapcsaira) egyenfeszültséget helyezünk külső labortápegység segítségével. Ez a feszültség a névleges 110 V-nál jóval alacsonyabb, 50 V körüli érték és a biztonság kedvéért a tápegységen áram korlátozást is be kell állítani. A feszültség meglétét és polaritását a három szekrényből álló teljes rendszer érintett pontjain ellenőrizni kell, majd a szükséges kismegszakítók egyesével történő felkapcsolása után a hozzá tartozó készülék bemenetén is ellenőrizzük a feszültséget. Ha ekkor a terhelés nélküli rendszer áramfelvétele jelentősen meghaladja a tipikus 1-1.5 A körüli értéket, hibára gyanakodhatunk. Ilyen hatást vált ki például egy kondenzátor fordított polaritással való bekötése.

A BDTe vezérlőegység táppontján megjelenő 50 V körüli feszültség elegendő a vezérlőegység bekapcsolásához, ezért megkezdhetjük a szükséges fájlok számítógépről történő feltöltését. A folyamatot a bootloader feltöltésével kell kezdeni. A bootloader az operációs rendszer elsőként induló programja. Feladata a bootolás, vagyis a kernel háttértárolóról történő betöltése és elindítása. A következő lépés a megfelelő firmware feltöltése egyesével a vezérlő, a kijelző és az I/O kártyákra. Ez közvetlenül a hardvereszközzel egybeépített ROM memóriamodulban tárolt szoftver, amelynek feladata az eszköz működtetése, illetve az ahhoz szükséges alapvető be-/kimeneti rutinok biztosítása. Ezután szükség van még nyelvfájlok telepítésére is, mely alapján a kezelőfelület lehet angol, német vagy francia nyelvű. Az előző feltöltések az összes BDTe vezérlőegység esetében teljesen azonosak. A rendszer be és kimeneti adatait, hibajelzés beállításait és minden egyéb specifikus paraméterét egy felhasználói beállító fájl tartalmazza, melyet ezután kell feltölteni. Ha az itt felsorolt lépések mindegyikét elvégeztük, a labor tápegység lecsatlakoztatható a rendszerről.

Következő lépésként a próbatermi vákuumkapcsolók megfelelő vezérlésével háromfázisú váltakozó feszültséget kell adni a töltők bemeneteire. A feszültség meglétét és a fázissorrendet ellenőrizni kell a bemeneti kapcsokon, majd a bemeneti megszakító felkapcsolása után a transzformátor be és kimenetén, és végül az egyenirányító bemeneti kapcsain is. A három fázis feszültségérték mérésének szoftveres kalibrálása után a töltő készen áll az elindításra, melyet a saját kezelőfelületén tehetünk meg. Ekkor

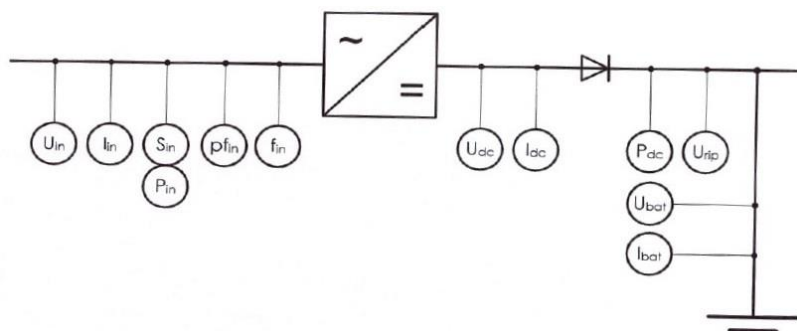
a kimenet feszültsége 0 V-ról fokozatosan el kezd emelkedni, míg el nem éri a névleges feszültség körüli értéket. Ezt követően el kell végezni a szoftveres kalibrációt a kimeneti feszültségekre és áramokra vonatkozóan.

Miután a töltő elindult, a cél a fennálló hibák kijavítása és minden funkció működésének ellenőrzése egy erre alkalmas protokoll alapján.

5.6. Mérési jegyzőkönyv

A rendszerhez tartozó jegyzőkönyv egy 15-50 oldal terjedelmű dokumentum, mely részletesen tárgyalja a rendszer tulajdonságait, a megrendelő által támasztott igényeket és mérési eredményeket. Ennek kitöltése általában digitálisan, számítógépen történik, ritkábban kézzel írott formában, mint ahogyan az itt bemutatott rendszer esetében is. A következő pontokban röviden bemutatom a jegyzőkönyv részeit:

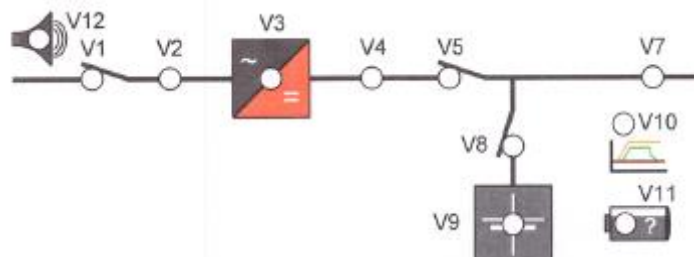
- A vizsgált rendszer felépítése, részegységeinek felsorolása (2 darab töltő, 2 darab akkumulátorbiztosító szekrény, 1 darab átkapcsoló/DVR szekrény)
- A rendszer üzemi paramétereinek leírása
- Vizuális ellenőrzési lista (szekrény dimenziói, fő alkatrészek beazonosítása, szekrény színe, anyagvastagság, figyelmeztető feliratok megléte, minimális vezető keresztmetszetek, vezető színjelölések, vezető jelölések, kötések csavaros meghúzásának ellenőrzése, olvadó biztosítók fizikai paraméterei, stb.)
- A rendszer blokkdiagramja a mérni kívánt villamos paraméterek jelöléseivel



- Feszültségpróba és szigetelési ellenállás vizsgálat
- Mindkét töltő szoftveres beállításainak részletes ellenőrzése (bemeneti feszültség és frekvenciatűrési tartomány, különböző töltési módok esetén a

kimeneti feszültség, maximális töltőáram, legnagyobb kimeneti áram, hibajelzések paraméterei, firmware verziók)

- Kimeneti (U_{dc}) és akkumulátor (U_{bat}) feszültségek ellenőrzése kalibrált multiméterrel
- A töltő kimeneti (I_{dc}) és az akkumulátor leágazási (I_{bat}) áram korlátozásának ellenőrzése kalibrált lakatfogóval
- Akkumulátorbiztosító szekrény ellenőrzése (biztosító betét villamos paramétere, szekrény dimenzió)
- Speciális eszközök (belső világítás, szekrényfűtés, páratartalom érzékelő, dugaszoló aljzat, föld hibaáram ellenőrző)
- Táblaműszerek
- Maximális zajterhelés vizsgálata
- Aktív hűtési rendszer
- A kijelző állapot-visszajelzésének ellenőrzése



- Hibajelző diódák működésének és a relékártyák kimeneteinek ellenőrzése az adott állapotok előidézésével
- Átkapcsoló automatika működésének vizsgálata (bármely töltő meghibásodásakor a motoros kapcsolóknak olyan állásba kell kerülniük, hogy az összes fogyasztót az ép töltő lássa el)
- Feszültség ejtő diódák villamos paramétereinek vizsgálata terheléses méréssel
- A töltők villamos paramétereinek mérése

5.7. Statikus mérések

A rendszer ellenőrzésének utolsó lépése a statikus mérések elvégzése. A mérést csepptöltés üzemmódban ($U_{DC_float} = 123.5 V$) először üresjárás, majd 50 %-os terhelés, végül pedig a maximális terhelés mellett kell elvégezni.

Valamennyi mérésnél lejegyezzük a bemeneten mérhető fázisfeszültség, fázisáram és $\cos \varphi$ értékeket, melyekből kiszámítható látszólagos, a hatásos és a meddő teljesítmény. Megmérjük az akkumulátor csatlakozó sorozatkapcsokon lévő kimeneti feszültség értékét, annak hullámosságát valamint terhelő áram nagyságát.

Maximális terhelés mellett a következő értékek adódtak:

$$U_{L1_fázis} = 235.86 V \quad I_{L1_fázis} = 208.6 A \quad \cos \varphi_{L1_fázis} = 0.75$$

$$U_{L2_fázis} = 236.53 V \quad I_{L2_fázis} = 209.8 A \quad \cos \varphi_{L2_fázis} = 0.77$$

$$U_{L3_fázis} = 237.77 V \quad I_{L3_fázis} = 209.0 A \quad \cos \varphi_{L3_fázis} = 0.78$$

$$U_{DC_float_full_load} = 122.57 V \quad I_{DC_max} = 860 A \quad U_{DC_ripple} = 0.85 V$$

A fentiekből kiszámolható a felvett teljesítmény:

$$P_{IN_max} = U_{L1_fázis} * I_{L1_fázis} * \cos \varphi_{L1_fázis} + U_{L2_fázis} * I_{L2_fázis} * \cos \varphi_{L2_fázis} \\ + U_{L3_fázis} * I_{L3_fázis} * \cos \varphi_{L3_fázis}$$

$$P_{IN_max} = 235.86 * 208.6 * 0.75 + 236.53 * 209.8 * 0.77 + 237.77 * 209.0 * 0.78 \\ = 113,871 kW$$

A leadott teljesítmény:

$$P_{OUT_max} = U_{DC_float_full_load} * I_{DC_max} = 122.57 * 860 = 105.410 kW$$

A két teljesítményérték hányadosa megadja a töltő hatásfokát:

$$\eta_{full_load} = \frac{P_{OUT_max}}{P_{IN_max}} * 100 \% = \frac{105.410}{113.871} * 100 \% = 92.59 \%$$

A két teljesítmény különbségéből adódik a veszteség:

$$P_{IN_max} - P_{OUT_max} = 113.871 - 105.41 = 8.461 kW$$

A százalékos feszültség hullámosság:

$$U_{DC_ripple} [\%] = \frac{U_{DC_ripple}}{U_{DC_float}} * 100 \% = \frac{0.85}{122.57} * 100 \% = 0.69 \%$$

A névleges kimeneti feszültségtől való százalékos eltérés:

$$U_{DC_float}[\%] = \frac{U_{DC_float_full_load}}{U_{DD_float}} * 100\% = \frac{122.57}{123.5} * 100\% = 0.99\%$$

A meddő teljesítmény:

$$Q_{IN_max} = U_{L1_fázis} * I_{L1_fázis} * \sin + U_{L2_fázis} * I_{L2_fázis} * \sin_{L2_fázis} + U_{L3_fázis} * I_{L3_fázis} * \sin \varphi_{L3_fázis}$$

$$Q_{IN_max} = 235.86 * 208.6 * 0.66 + 236.53 * 209.8 * 0.64 + 237.77 * 209.0 * 0.63$$

$$= 95.54 \text{ kVAR}$$

A látszólagos teljesítmény:

$$S_{IN_max} = \sqrt{P_{OUT_max}^2 + Q_{OUT_max}^2} = \sqrt{105.41^2 + 95.54^2} = 142.26 \text{ kVA}$$

A rendszerre vonatkozó tűréshatárok teljesülnek:

$$U_{DC_ripple}[\%] = 0.69\% \leq 2\% \quad \checkmark$$

$$U_{DC_float}[\%] = 0.99\% \leq \pm 1\% \quad \checkmark$$

$$\eta_{full_load} = 92.59\% \geq 90\% \quad \checkmark$$

A szélsőséges körülményeket előidéző tesztrészben azt kell kideríteni, hogy a kimeneti feszültség hullámosságának százalékos értéke továbbra is a 2%-os tűréshatáron belül marad-e. Ezt a tesztet végig maximális terheléssel végeztük. Az első két mérést csepptöltés üzemmódban végeztük 10%-kal csökkentett, majd növelt bemeneti fázisfeszültség mellett. A harmadik mérést gyorstöltés üzemmódban kellett elvégezni normál bemeneti fázisfeszültség mellett. A mérések elvégzése után megállapítottam, hogy a kimeneti feszültség hullámosságának százalékos értéke mindhárom esetben a tűréshatáron belül maradt.

A teszt végén a kitöltött jegyzőkönyv tanúsítja, hogy az ellenőrzött rendszer a támasztott követelményeknek maradéktalan megfelelt és mérés bizonyítja, hogy kimeneti villamos paraméterei a tűréshatárokon belül maradtak az előírt körülmények betartása mellett.

ÖSSZEFOGLALÓ

Szakdolgozatomban a Statron cég magyarországi leányvállalatánál tervezett próbaterem villamosenergia-ellátás kiépítéséhez elvégzett műszaki feladataival foglalkozom.

Első lépésként megvizsgáltam az előforduló berendezéseket működés és villamos paraméterek szempontjából, majd erre alapozva számítással határoztam meg a közcélú hálózati teljesítmény és csatlakozási igényeket. A hálózati és berendezés adatok figyelembe vételével alakítottuk ki a próbatermet tápláló kábelszakaszt az áramszolgáltatói elosztó és a próbaterem fogadószekrénye között. A kiválasztásnál számoltam a feszültségeséssel és teljesítményvesztéssel. A hibavédelem készülékeit méretezéssel a vonatkozó szabványok és előírások betartása mellett határoztuk meg.

Ezt követően megvizsgáltam, hogy a próbatermi mérések elvégzéséhez milyen táp és kiegészítő berendezésekre van szükség. Ezek megfelelését szintén számításokra alapozva ellenőriztem, illetve ahol szükségesnek tartottam, mérésekkel bizonyosodtam meg az eredmények helyességéről. Dolgozatom végén bemutattam egy összetett szünetmentes rendszer próbatermi vizsgálatának folyamatát az elkészült próbateremben.

A jelen dolgozatban bemutatott próbaterem teljesítve a vezetőség által elvárt követelményeket, létrehozása óta folyamatosan rendelkezésre állva látja el a gyártás végellenőrzési feladatát. Segítségével hatékonyan kiszűrhetők a gyártás közben vétett hibák. A betáplálás és műterhelés villamos teljesítménye elegendőnek bizonyult az előforduló legnagyobb teljesítményű rendszerek teszteléséhez is.

SUMMARY

In my dissertation I write about planning and building testfield and electric power supply of testfield at company Statron Hungary.

At first I examined electrical parameters and operation of possible chargers that we plan to test here. After that based on results I calculated required power of incoming power network. We laid suitable electrical power cable underground between supplier's distribution cabinet and testfield. I calculated voltage dropping and power loss on full 155 meter cable section. We applied TN-C earthing system where part of the system uses a combined PEN conductor, which is at some point split up into separate PE and N lines. I chose all testfield protecting devices based on my calculations. Next step was choosing inside testfield equipment (like battery bank, load bank, frequency converter, voltage stabiliser) which are suitable for performing full load test on the biggest possible charger system. Where it was needed I did measurements to prove my calculations (for example load bank warming test).

At the end of my thesis I demonstrated a routine test process from the beginning to the end including static measurements and measuring in extreme conditions.

I can state that finished testfield is capable for testing and checking all required systems.

IRODALOMJEGYZÉK

Dr. Novothny Ferenc – Villamosenergia-ellátás II, 1. kötet Villamos biztonságtechnika, ÓE KVK 2079/I. Budapest, 2011.

Dr. Novothny Ferenc – Villamosenergia-ellátás II Példatár, 1. kötet Villamos biztonságtechnika, ÓE KVK 2080/I. Budapest, 2011.

Dr. Novothny Ferenc – Villamos energetika I, ÓE KVK 2050 Budapest, 2010.

Dr. Novothny Ferenc – Villamosenergia-ellátás I, ÓE KVK 2052 Budapest, 2010.

<http://www.vlg.hu/arukinalatunk/kabelek-es-vezetetek/eroatviteli-kabelek-1-30-kv-rez-sodratok/nycwy>

https://www.jeanmueller.de/produkte/jean/en_GB/1322637050548/NH%20fuse-link%20gG%20690V%20355A%20M2gG355-69/PR/N2086000/additionalInfos/index.xhtml#

<https://new.abb.com/low-voltage/products/circuit-breakers/tmax>

<https://www.farnell.com/datasheets/712041.pdf>

<https://futoszalak.hu/termek/bordazott-csofutotestek/>

Arató Csaba - Érintésvédelmi felülvizsgálók kézikönyve (2019-es kiadás)