



ÓBUDAI EGYETEM

Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar
Villamosenergetikai intézet

SZAKDOLGOZAT

ÓE-KVK

2021.

Hallgató neve:

Hallgató törzskönyvi száma:

Kötelezően választható tantárgycsoport:

Vida Tomáš

T007485/FI12904/K

Energetika informatika



ÓBUDAI EGYETEM

**Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar
Villamosenergetikai intézet**

Védelmi koordináció PV erőművek csatlakozásánál 132 kV-os feszültség szinten

Coordination of protection for grid-connected
Photovoltaic power plants on 132 kV voltage level

Belső konzulens

Morva György Ádám

Külső konzulens

Tardi Péter

Készítette

Vida Tomáš

BUDAPEST

2021



ÓBUDAI EGYETEM

**Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar
Villamosenergetikai intézet**

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, 2021.12.06.

.....
hallgató aláírása



Óbudai Egyetem
Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar
Villamosenergetikai Intézet

SZAKDOLGOZAT FELADATLAP

Hallgató neve: Vida Tomás

Szakdolgozat száma: SZD21090213454572

Törzskönyvi száma: T007485/FI12904/K

Neptun kódja: XXXXXXXXXX

Szak: villamosmérnöki (magyar nyelven)

Specializáció: Villamosenergetikai specializáció

A dolgozat címe: Védelmi koordináció PV erőművek csatlakozásánál 132 kV-os feszültség szinten

A dolgozat címe angolul: Coordination of protection for grid-connected Photovoltaic power plants on 132 kV voltage level

A feladat részletezése:

1. Mutassa be a csatlakozási terv legfontosabb részleteit elosztói, illetve átviteli hálózatra történő csatlakozás esetén.
2. Tekintse át a PV- erőművek hazai csatlakozási gyakorlatát - primer diszpozíciók.
3. Egy 30 MW-os PV nagyerőmű védelmi rendszerét alakítsa ki, ha az egy MAVIR állomásba csatlakozik 120 kV-os gyűjtősínre.
4. Tervezze meg az mérési-elszámolási és telemechanikai rendszert, amelyet a MAVIR igényel.

Intézményi konzulens neve: Morva György Ádám

A kiadott téma elévülési határideje: -

Beadási határidő: 2021. 12. 15.

A szakdolgozat: Nem titkos.

Kiadva: Budapest, 2021. 12. 06.

P.H

.....
Intézetigazgató

A dolgozatot beadásra alkalmasnak találom:

.....
belső konzulens

.....
külső konzulens

Tartalomjegyzék

Bevezetés	1
Abstract.....	2
1. Napenergia szerepe az energiatermelésben	3
1.1 Teljesítmény határértékek	6
1.2 Helyszínválasztás	6
2. Hálózati csatlakozások.....	7
2.1 Csatlakozási terv fő fejezetei	9
2.1.1 Előzmények	9
2.1.2 Alapadatok	9
2.1.3 Hálózatszámítás	9
2.1.4 Primer berendezések	12
2.1.5 Szekunder rendszer kialakítás.....	12
2.1.6 Költségbecslés	24
2.1.7 Mellékletek, rajzok	24
2.2 Összetett hálózatszámítási módszerek	25
2.2.1 Feszültségváltozás	29
2.2.2 Flicker jelenség	31
2.2.3 Felharmonikusok	32
2.2.4 Aszimmetria.....	33
2.2.5 Túlterhelt hálózatelemek.....	34
2.2.6 Zárleti igénybevétel	34
2.2.7 Kapacitív földzárleti áram	36

2.2.8	HKV visszahatás	37
2.2.9	Meddő kompenzálás	37
3.	Egyéb követelmények időjárásfüggő erőműveknél	38
3.1	Bekapcsolási áramfelvétel.....	39
3.2	Teljesítmény gradiens	39
3.3	Teljesítményre, frekvenciára vonatkozó előírások	39
3.4	Hatásos teljesítmény felvétele.....	40
3.5	Lekapcsolási kötelezettség	40
3.6	Meddőtelsítmény-betáplálás megnövelt frekvencia tartományban.....	41
3.7	Zárlati áthidalóképesség.....	41
3.8	Üzemzavar utáni újraindítás.....	42
3.9	Valós idejű adatszolgáltatás	42
4.	Primer diszpozíciók	43
4.1	Naperőmű transzformátorállomással	43
4.2	Naperőmű transzformátorállomás nélkül	43
4.3	Vezeték felhasználás.....	44
4.4	Közvetlen csatlakozás középfeszültségű hálózatra	44
5.	Védelmi koordináció.....	45
5.1	Előzetes hálózatvizsgálat	45
5.2	Primer felépítés	47
5.2.1	Két megszakító elrendezés	47
5.2.2	Egy megszakító elrendezés	51
5.3	Győri alállomás felépítése.....	53
5.4	Védelmi rendszer felépítése	55
5.4.1	Általános elvárások.....	55

5.5	Szakaszvédelem kiegészített távolságvédelemmel	55
5.5.1	Védelmi rendszer működése	60
5.6	Túláram idő védelem.....	66
5.7	Naperőmű transzformátor védelme.....	69
5.8	Szigetüzem elleni védelem.....	73
5.8.1	Független késleltetésű feszültségemelkedési védelem ($U > 59$)	74
5.8.2	Független késleltetésű feszültségcsökkenési védelem ($U < 27$).....	74
5.8.3	Frekvencia növekedési védelem ($f > 810$)	74
5.8.4	Frekvencia csökkenési védelem ($f < 810$)	74
5.8.5	Frekvenciaváltozás sebesség védelem (df/dt).....	74
6.	Elszámolási mérés.....	75
7.	Tartalék telemechanikai rendszer	80
	Összefoglalás	82
	Summary.....	83
	Táblázatjegyzék	84
	Ábrajegyzék	85
	Irodalomjegyzék	88
	Mellékletek	91

Bevezetés

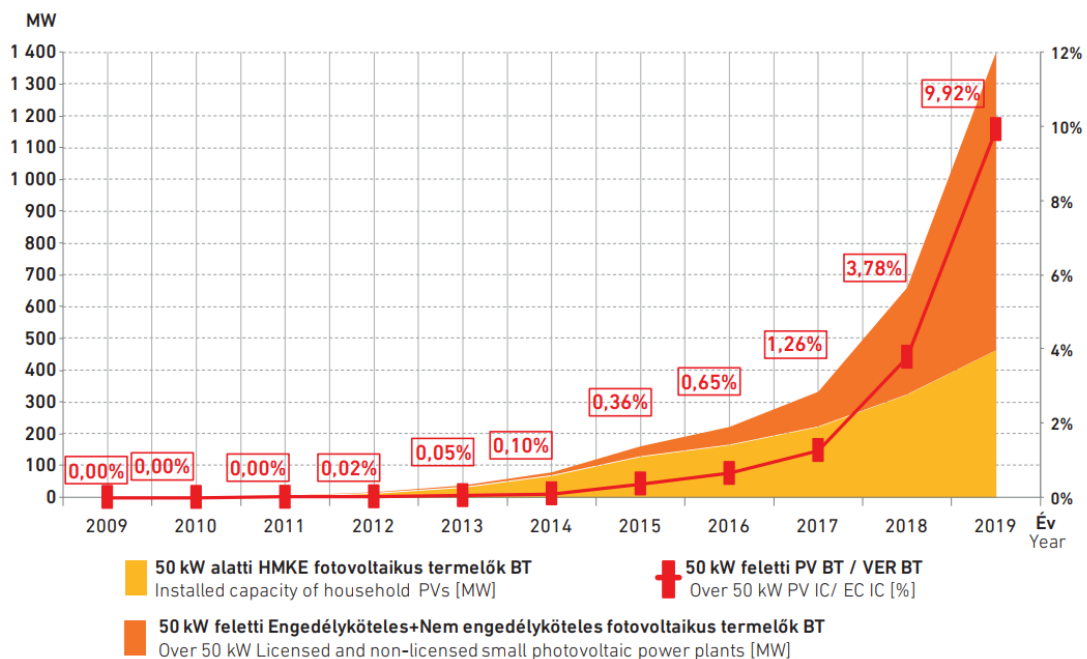
Szakdolgozatom témája az egyre inkább terjedő naperőművek villamos hálózathoz történő csatlakozás módjának bemutatása. Tanulmányaim mellett a MAVIR szekunder szolgálati osztályán dolgozom a nyugati régió védelmes alosztályán. Ebből adódóan részletesebben a nagyfeszültségű csatlakozásokra kívánok kitérni. Mivel munkámból kifolyólag védelem és visszakapcsoló automatika rendszerekkel foglalkozom, dolgozatomban is aprólékosabban ezt az ágazatot mutatom be, dolgozom ki egy csatlakozás védelmi rendszerét. A dolgozat első felében szeretnék bepillantást nyújtani a csatlakozási tervek és az előzetes hálózatszimuláció fontosságára, majd a védelmi rendszer kidolgozása mellett az elszámolási mérési rendszer, illetve távközlési rendszer kialakítását is ismertetem.

Abstract

The topic of my thesis is to present the integration of the increasingly widespread solar power plants into the electricity grid. In addition to my studies, I work for the Relay Protection Subdivision of the Secondary Service Department of MAVIR Ltd in the Western Region. Therefore, I would like to focus on high-voltage connections. Due to my work, I deal with protection and autorecloser systems, consequently, in my thesis, I will present this sector in more details and develop the protection system of a connection. In the first half of the thesis I would like to emphasize the importance of connection plans and preliminary network simulation, then, in addition to the development of the protection system, I also describe the development of the billing metering system and the telecommunication system.

1. Naperőművek szerepe az energiatermelésben

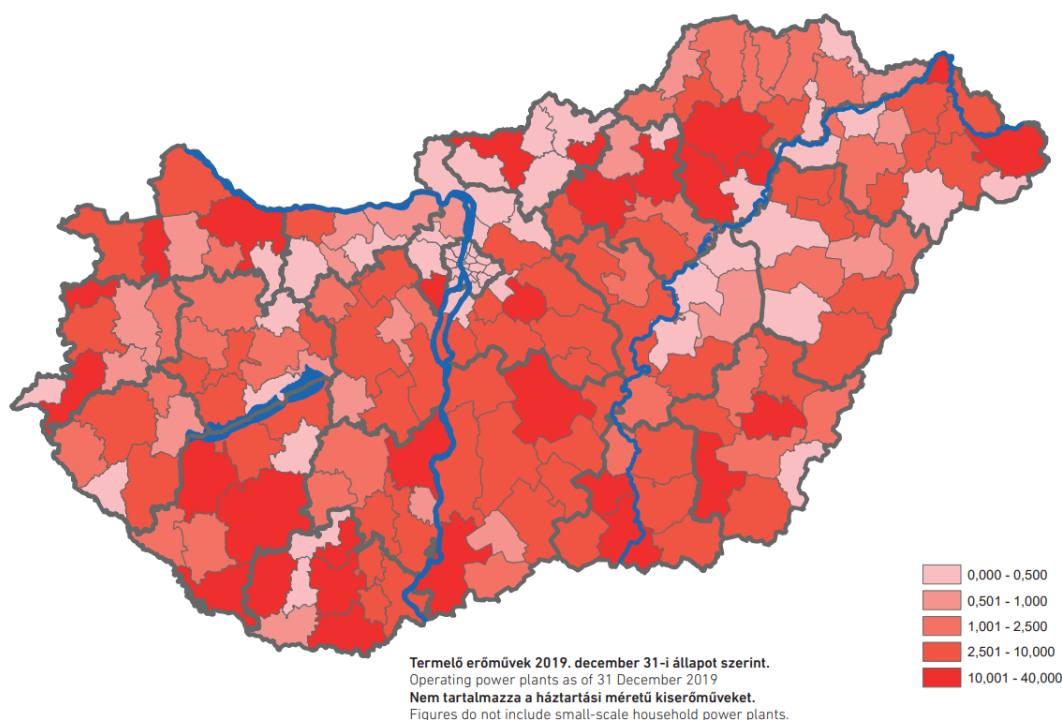
A technikai fejlődés és a globális klímaválság hatására az utóbbi években kimeríthetetlenül nő a megújuló energiaforrásokból előállított energia iránti igény szerte a világon. Hazánkban számottevő mértékben a fotovoltaikus erőművek elterjedése figyelhető meg exponenciális módon, legyen szó háztartási méretű kiserőművekről (**HMKE**) vagy nagyobb teljesítményű, ipari nagyságú naperőművekről. A Magyar Villamosenergia-ipari Átviteli Rendszerirányító (továbbiakban: **MAVIR**) adatai alapján a magyar napelemekkapacitás túllépte a 2000 megawatt teljesítőképességet, ami a Paksi atomerőmű beépített kapacitásával összehasonlítható és ez a szám a jövőben egyre csak növekedni fog [1]. Ezek a megújuló erőforrások felhasznosító erőművek viszont, legyen szó szél, víz vagy napelem parkról, függetlenül a méretüktől, időjárásfüggőek, ami szakaszos energiatermelést eredményez és ez a jelentős hátrány megkívánja a fosszilis erőművek jelenlétét az energetikai rendszerben. A naperőművek jelentős terjedésének velejárója a növekvő csatlakozási igény a villamos hálózatra, ami hatalmas és új kihívások elé állítja a tervezőket, szakembereket, iparági szereplőket és összetett műszaki megoldásokat követel a hálózatüzemeltetőtől is [2].



1. ábra PV erőművek terjedése Magyarországon

Forrás: A VER 2019. évi adatai (mavir.hu)

A naperőművek hirtelen és nagymértékű fellendülése a villamosenergia-rendszer számára is nagy kihívást jelent a rendszeregyensúly fenntartása szempontjából, azonban a MAVIR kiemelten fontosnak tartja a termelők egységes csatlakozási lehetőségét a hálózathoz, viszont az ellátásbiztonság szempontjából a napelemek időjárásfüggősége mellett a hagyományos turbina-generátor gépegységekkel működő erőművekhez képest naperőművek nem rendelkeznek mozgási energiát hordozó forgó tömeggel [3][1].



2. ábra Naperőművek országos eloszlása

Forrás: A VER 2019. évi adatai (mavir.hu)

Mivel a meglévő villamosenergia - átviteli és elosztó - rendszerben üzemelő turbina-generátor egységek a hálózat dinamikus stabilitásának fenntartásában fontos szerepet játszanak hálózati üzemzavarok esetén, az új és tömeges fotovoltaikus erőművek (továbbiakban: PV erőművek vagy naperőművek) csak meghatározott műszaki korszerűsítés után léphetnek a hagyományos erőművek helyére [4].

Ezek alapján kijelenthető, hogy egy létesülő naperőmű villamos hálózatra történő csatlakoztatása nem mindig gördülékeny folyamat, minden egyes beruházás egyedi megoldásokat követel, mivel jelen pillanatban nincs egységes megállapodás a csatlakozás módjáról a villamosenergia rendszerhez, viszont a megoldások lehetőségét egyes

tényezők szűkítik. Elsősorban a területi elhelyezkedése az erőműnek ad egy kiinduló pontot a tervezéshez, amely részben a teljesítmény nagyságát is behatárolja és minél nagyobb teljesítmény érhető el, annál nagyobb feszültség szintre érdemes csatlakozni. Az Elosztói Engedélyesek honlapján megtalálható az elérhető szabad kapacitások tájékoztató térképe, viszont az itt szereplő adatok, információk nem teljeskörűek, ezért nem használhatók fel ajánlattételhez, különösen közcélú hálózathoz történő csatlakozás esetén. A villamos teljesítőképesség függvényében meghatározott küszöbértékek egészen a magyar villamos energiáról szóló törvényig (röviden: VET) vezethetők vissza.

A PV erőművek kategorizálását elsősorban az Európai Bizottság által kiadott ún. **RfG rendelet** (EU 2016/631) tartalmazza, melyet pontosítva az adott tagállam Nemzeti Üzemi és Kereskedelmi Szabályzata (továbbiakban: NÜKSZ) tartalmaz. A hazai NÜKSZ szerint az egyes kategóriák [5][6]:

Típus	Csatlakozási pont feszültsége	Teljesítmény határérték	
		$P_{\min}$	$P_{\max}$
A	< 110 kV	0,8 kW	200 kW
B	< 110 kV	200 kW	5 MW
C	< 110 kV	5 MW	25 MW
D	> 110 kV vagy $P_{\max} > P_{\min,D}$	25 MW	-

1. táblázat Erőmű típusok

Forrás: NÜKSZ

A meghatározott a teljesítmény és feszültség határok gyakorlatban nem teljesen kötöttek, csatlakozási szempontból „átjárhatók”, viszont az egyes típusokkal szemben támasztott követelményeket, amelyeket szintén az RfG rendelet és NÜKSZ tartalmaz, minden esetben meg kell felelnie az erőmű technikai felépítésének és későbbi üzemeltetésének. Ezek nagy részben típusokként megegyeznek némi eltéréssel, módosítással.

1.1 Teljesítmény határértékek

A magyar villamos energiáról szóló 2007. évi LXXXVI. törvény (VET) 3. § 32. pontja alapján az 50 MW-nál kisebb névleges teljesítőképességű erőműveket kiserőműnek nevezzük, melynek az engedélyeztetése egyszerűbb folyamat, mint az 50 MW és azon felüli naperőművéké, amelyekre már erőművi szabályok vonatkoznak és az üzemelésükhöz termelői működési engedély szükséges.

Háztartási méretű kiserőműnek (röviden: HMKE) nevezzük azokat a rendszereket, amelyek beépített névleges teljesítménye nem haladja meg az 50 kW-ot. Ezek általában a lakossági ingatlanok tetőszerkezetére szerelt erőművek.

Az e feletti határérték, amit szintén a **VET** határozott meg az 500 kW névleges teljesítmény, mely méret alatt csak a Kormányhivatal Mérésügyi és Biztonsági Hatóság építési engedélye, illetve a közhálózatra való csatlakozás joga szükséges.

Még mindig kiserőműnek nevezzük, de 500 kW és a felett már a Magyar Energetikai és Közmű-szabályozási Hivatal (röviden **MEKH**) jóváhagyása is elengedhetetlen az erőmű létesítéséhez. Villamos energiát termelni kiserőművi összevont engedély birtokában lehet [7].

1.2 Helyszínválasztás

A projekt kezdetén, ha van rá lehetőség, célszerű már az előkészületeknél számításba venni a csatlakozási módot, hiszen hiába van egy óriási szabad terület, amelyen rengeteg energiát lehetne termelni, előfordulhat, hogy a hálózati csatlakozáshoz több befektetésre lenne szükség, mint magához a napelemekhez, inverterekhez. A létesítendő erőmű területi elhelyezkedése a csatlakozási módot alkalomadtán igencsak leegyszerűsíti, hiszen, ha az erőmű közelében található egy közép feszültségű hálózati csatlakozási pont, esetleg transzformátor állomás és a csatlakozásra engedélyt is kap az erőmű, a tervezésnél nem kell több különböző csatlakozási lehetőséget kidolgozni, tanulmányozni. Az elhelyezkedés szempontjából a legideálisabb, ha az erőműnek szánt építkezési terület belátható távolságra van egy közép feszültségű közcélú hálózati csatlakozási ponthoz képest, amihez pár MW-ig lehetséges csatlakozni a gyakorlatban. Általánosságban 1,5-2 hektár egyenletes földterülettel szokás számolni megawattként.

Nagyobb beépített teljesítményű rendszereknél, körülbelül 5 MW és 15 MW között már inkább a közép feszültségű transzformátor állomások területi elhelyezkedése jelentheti a tervezés és villamos csatlakozás egyszerűsítését. Az 5 MW-nál nagyobb erőművekre MAVIR által üzemeltetett üzemirányítási és elszámolási mérési berendezések alkalmazása kötelező.

15 MW felett már célszerűbb 132 kV-os feszültség szintre, gyűjtősinre csatlakozni, de a gyakorlatban ez eltolódhat 25-30 MW fölé is és az ennél is nagyobb teljesítménynél már nagyfeszültségű alállomáshoz célszerű csatlakozni.

2. Hálózati csatlakozások

Az erőmű csatlakozási előkészítéséhez és annak szándékáról a villamosenergia rendszerhez (továbbiakban: **VER**) a tulajdonos köteles szándéknyilatkozatot benyújtani az Átviteli Rendszerirányítónak és a teljesítmény fogadása szempontjából illetékes hálózat üzemeltetőjének már a csatlakozás igényének felmerülésekor 50 MW feletti teljesítményű rendszereknél, de legkésőbb a tervezett üzembe helyezés előtt minimum egy évvel és az 50 MW alatti teljesítményű kiserőművek esetében legalább fél évvel a tervezett üzembehelyezés előtt. A hálózati csatlakozás folyamat első lépése tehát az igénybejelentés az elosztói engedélyes és rendszerirányító számára, ami minden esetben az ügyfél első kötelessége. A szándéknyilatkozat lehet átviteli hálózatot érintő, ha a csatlakozás módja MAVIR alállomáshoz, szabadvezetékhez köthető, vagy az átviteli hálózatot nem érintő [8].

Az igénybejelentés műszaki tartalmát a MAVIR-nál az Átviteli beruházási és csatlakozási osztály (**ÁBO**) vizsgálja felül, fogadja el vagy tagadja meg és meghatározza, hogy milyen későbbi dokumentumok szükségesek a szerződéskötéshez.

A csatlakozni szándékozóknak ezt követően csatlakozási tervet (továbbiakban: **CST**) kell készítenie vagy megbízás alapján külső partnerrel készítteti, melyet be kell nyújtania a MAVIR-nak véleményezésre és ha a csatlakozás elosztói hálózaton történik, az adott területi illetékes áramszolgáltatónak. Az elkészült tervet a szükséges szakosztályok elbírálják, véleményezik és ha indokolt, javaslatot tesznek a módosításokra, amit a csatlakozni kívánó fél köteles elvégezni. Az érintett szakosztályok az Elszámolási Mérés

Üzemeltetési osztály (**EMŰO**), Szekunder szakszolgálat (**SZO**) osztályon belül a Védelem és Automatika szakterület csoport (**SZO VCS**), irányítástechnika (**SZO ICS**) és a Tartalék telemechanikai szakterület (**TTMR**). Átviteli hálózatot érintő és szabályozásban résztvevő erőmű csatlakozásnál az említett szakosztályok mellett többek között az **OVRAM** relévédelmi csoportja és az Országos Diszpécser Szolgálat (**ODSZ**) is véleményezi a terveket.

A csatlakozási tervnek és a későbbi részletesebb primer - illetve szekunder kialakításoknak, berendezéseknek mindenféleképpen meg kell felelnie a hatályos nemzetközi jogszabályoknak, érintett ágazati szabályzatoknak, szabványoknak, VET-nek, az Ellátási Szabályzatnak (továbbiakban: **ESz**), a MEKH által jóváhagyott Üzemi Szabályzatnak (továbbiakban: **ÜSz**) és Kereskedelmi Szabályzatnak. Az ÜSz illetve ESz többek között összefoglalja a csatlakozási terv minimális tartalmi követelményeit, de egyes fejezetek részletesebb kidolgozását a MAVIR vagy az illetékes áramszolgáltató előírhatja [8][9].

Előfordulhat azonban olyan eset is, hogy az elosztói engedélyes több csatlakozási pontot és különböző műszaki feltételeket kínál fel az erőmű hálózatra történő kapcsolásához. Ezeket a lehetőségeket még a csatlakozási terv elkészítése előtt megvalósítási tanulmány formájában kell összehasonlítani és az elkészülte után az illetékes engedélyesnek, illetve Rendszerirányítónak elküldeni véleményezés céljából. A tanulmányban kidolgozott változatok közül, ha mindkét félnek van megfelelő verzió, csak akkor folytatódhat tovább a folyamat a hálózati csatlakozási terv elkészítésével, ellenben további tárgyalások szükségesek a felek között [10].

2.1 Csatlakozási terv fő fejezetei

Mivel a dolgozat fő témája a MAVIR állomásra csatlakozó erőművekkel szemben támasztott követelmények, a következő felsorolás az ÜSz és azok irányelvei mellett több csatlakozási terv tanulmányozása alapján a 132 kV vagy átviteli hálózatra csatlakozó, illetve az 5 MW-ot meghaladó naperőművek tekintetében foglaltam össze. Ezek csak javaslatok, az egyes fejezetek „felesleges” részletességgel történő kidolgozása kisebb probléma, mintha nem is lenne.

2.1.1 Előzmények

Általános információk az erőművet létesítő, illetve a csatlakozási tervet készítő külső tervezőiroda cégről, annak felkéréséről, a létesítés célja, az erőmű általános adatai, nagysága, a csatlakozás műszaki megoldása röviden összefoglalva, ismertető a megelőző egyezményekről, kapott adatszolgáltatásról, esetleges helyszíni bejárásokról, megállapodásokról a felek között, továbbá tartalmazza az alkalmazott szabványok, és előírások megnevezését, nyomvonal terveket, környezeti hatástanulmányokat illetve tervezői nyilatkozatot a betartandó jogszabályok teljeskörű figyelembevételéről valamint, ha rendelkezésre állnak előzetes hálózati számítások, és minden egyéb más tervezési foglalatosságot.

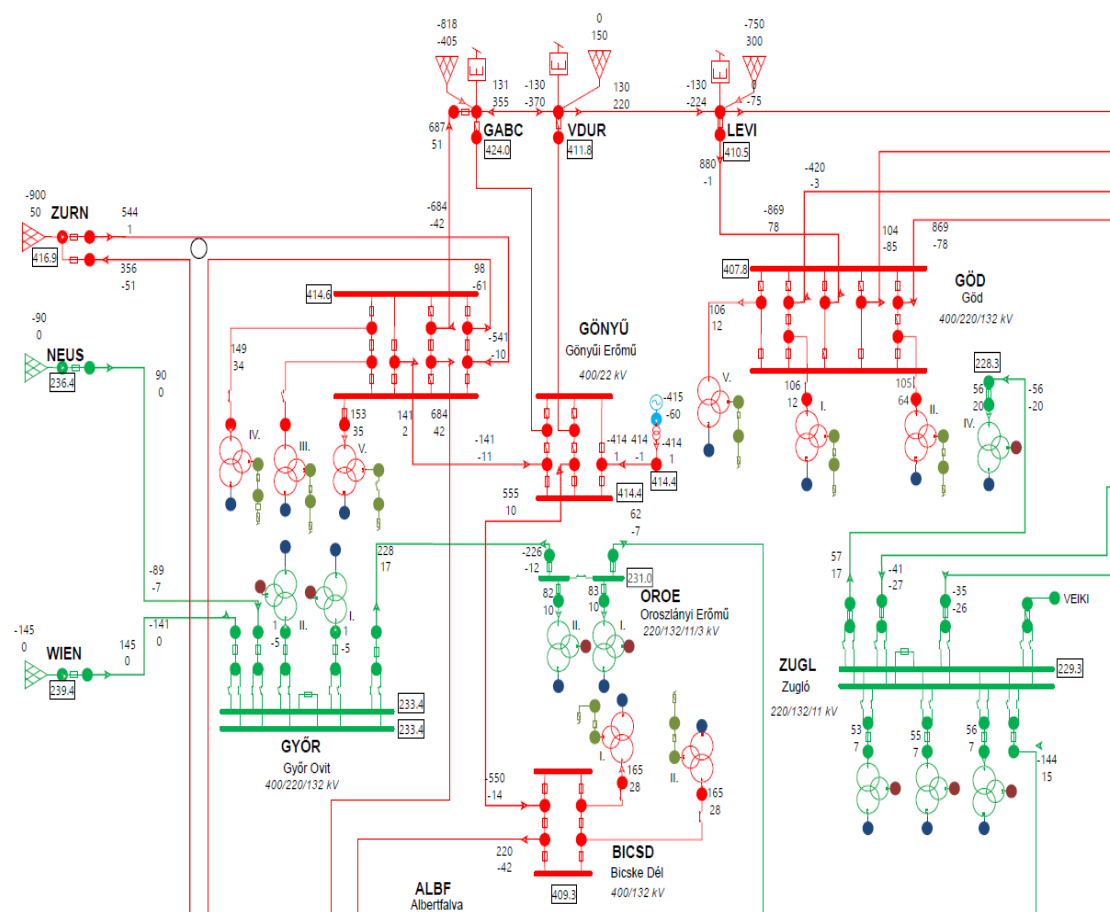
2.1.2 Alapadatok

Az érintett felek legfontosabb adatai, neve, székhelye, cégjegyzékszáma, az erőmű pontos elnevezése, várható üzembehelyezési időpontja, hálózati berendezések jellemzői, darabszáma, csatlakozás módja és annak környezete, segédüzemi csatlakozás, tulajdoni határok csatlakozási pontonként, szükséges beruházások leírása.

2.1.3 Hálózatszámítás

Az üzembehelyezési időpont előrelátható hálózati állapotát modellezve kell elvégezni előzetes hálózatzvizsgálatot az erőmű által okozott hálózati visszahatások meghatározása érdekében. Ezt számítógépes szimulációkkal Magyarországon legtöbb esetben NEPLAN hálózatszimulációs szoftverrel, az áramszolgáltató és Rendszerirányító által szolgáltatott

hálózati modellek, statikus és dinamikus adatok segítségével a legegyszerűbb elvégezni, de gyakori, hogy manuálisan kell felépíteni egy-egy hálózati elemet vagy a kézhez kapott modellt meg kell változtatni, pontos adatok hiányában egyszerűsítéssel kell leképezni konkrétan nem ismert egységeket, valamint a külföldi erőműveket is.

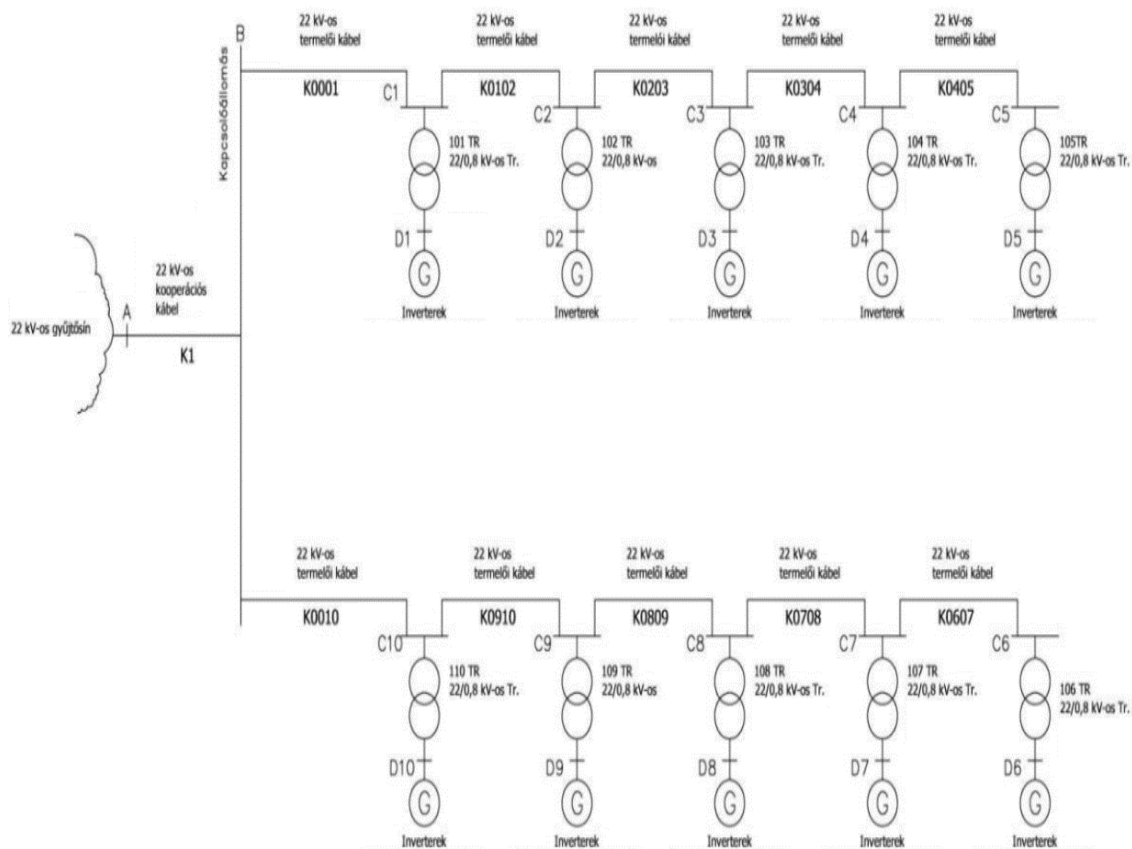


3. ábra Átviteli hálózat modell

Forrás: OVRAM belső dokumentum

A MAVIR által szolgáltatott hálózati modellnek az országos 132, 220, 400 és 750 kV-os hálózatot tartalmaznia kell az állomások középfeszültségű gyűjtősínjeiig. A számításokat megbízásból végezheti külsős, hálózatszámítással foglalkozó mérnökiroda, egyéni vállalkozó vagy az áramszolgáltató is felajánlhatja a számítások elvégzését. Naperőműveknél ezentúl fontos, hogy a számítások során a kiterheltségeket a hálózatelemek nyári terhelhetőségéből legyenek meghatározva.

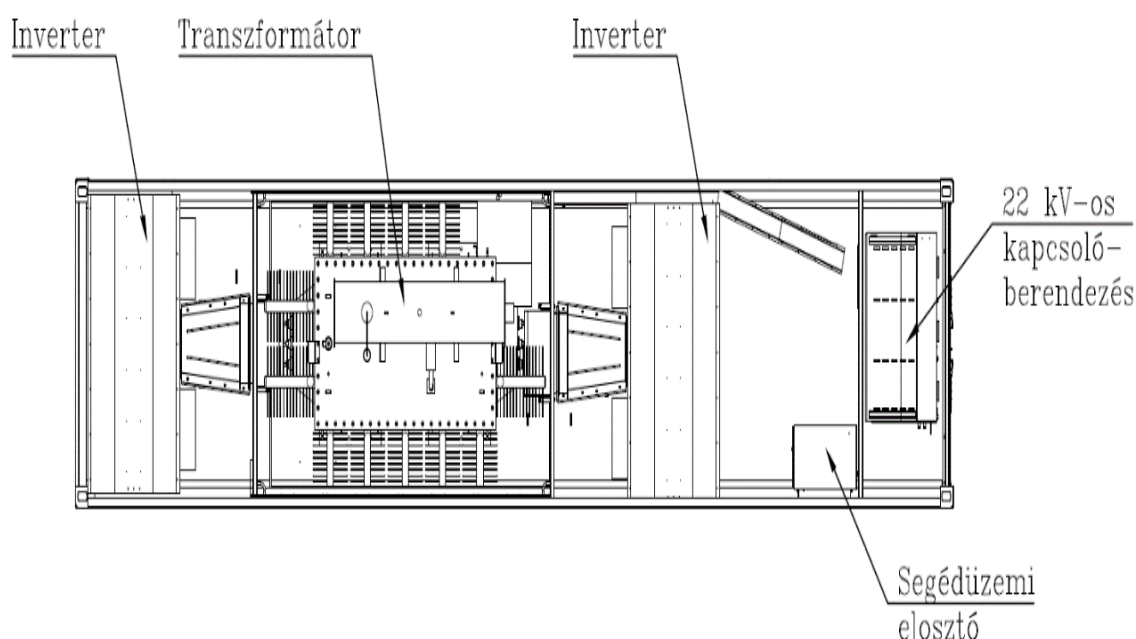
A számításoknak tartalmaznia kell az erőmű telepítése által befolyásolt hálózatrészek esetleges beavatkozásait, a feszültség és teljesítményeloszlás kialakulását, hálózati rajzokat, különböző zárlat számításokat, szükséges hálózatfejlesztéseket és stabilitásvizsgálatokat, ha a MAVIR vagy az elosztói engedélyes megköveteli. A gyakorlatban alkalmazott speciális hálózatszámítási módszereket a 2.2 *Összetett hálózatszámítási módszerek* című fejezetben próbálom részletesebben bemutatni.



4. ábra Zárlatszámítási séma

2.1.4 Primer berendezések

A terv tartalmazza az erőmű villamos berendezéseinek kapcsolási rajzait, elrendezését, adatait, tulajdoni határait, az erőmű helyszínrajzát, elhelyezkedését, készülékek engedélyeit, betonházas illetve, ha létesül transzformátor állomás annak műszaki adatait, meglévő állomás esetleges bővítéséről szóló terveket. A berendezésekkel szemben támasztott minimális követelményeknek minden esetben meg kell felelnie a naperőmű berendezéseinek és az esetleges transzformátorállomásnak is.



5. ábra Inverter transzformátor konténer felülnézeti rajza

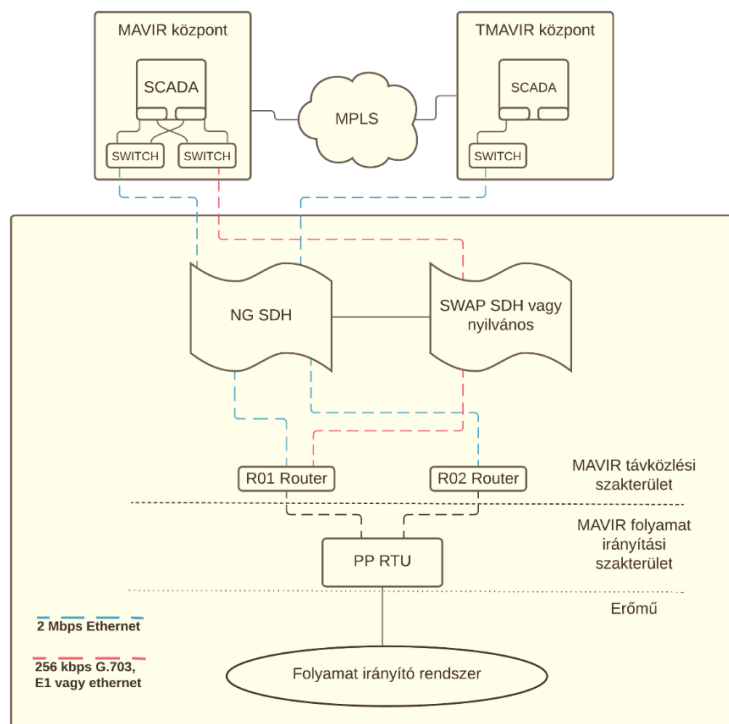
Forrás: MAVIR belső dokumentum

2.1.5 Szekunder rendszer kialakítás

A CST elengedhetetlen része a hálózathoz csatlakozó erőmű, az erőműhöz létesülő transzformátorállomás szekunder rendszerének leírása. Az egyes fejezetek a hozzájuk tartozó szakosztályok véleményezik vagy kérhetik részletesebb kidolgozásukat. Az aktuális ÜSz és azok Mellékletei, Irányelvei szerint a főbb fejezetek amiket kikell dolgozni:

- **Telemechanika - folyamatirányító és irányítástechnikai rendszer**

Időjárásfüggő 500 kW feletti névleges teljesítményű erőműnek a MAVIR vagy elosztó hálózati üzemirányítófelügyelet felé az erőműben elhelyezett üzemirányítási pontot kell biztosítania. Ez lehet a betáplálás nagyfeszültségű gyűjtősínje vagy gépkapocs. Szabályozási célra alkalmazott adatforgalma az erőművi telemechanikai fejtéren (**RTU**) vagy közvetlen kapcsolaton (IEC-60870-5-104, TCP/IP MODBUS, illetve IEC 61850 protokollon) keresztül valósul meg. Az mai fejlett RTU **mezőgépek** vezérlések kiadására és jelzések, illetve mérések fogadására alkalmasak. Az áram és feszültségváltókörökről érkező jelekből a háromfázisú mérés összes meghatározó villamos mennyiségét méri. A **fejtér** a mezőgépek és egyéb intelligens berendezések adatait gyűjti össze és továbbítja a MAVIR és TMAVIR (tartalék) diszpécseri központnak SCADA (spectrum) rendszeren keresztül három védett vonalon keresztül. Automatika és irányítástechnikai feladatokra alkalmazott intelligens elektronikus eszközök (IED) kommunikációs szabványa az **IEC 61850**. Az erőmű illesztését MAVIR távközlési rendszerhez a következő ábra mutatja be 20-50 MW közötti teljesítményű szekunder szabályozásban résztvevő erőmű esetén [11] [12] [14].



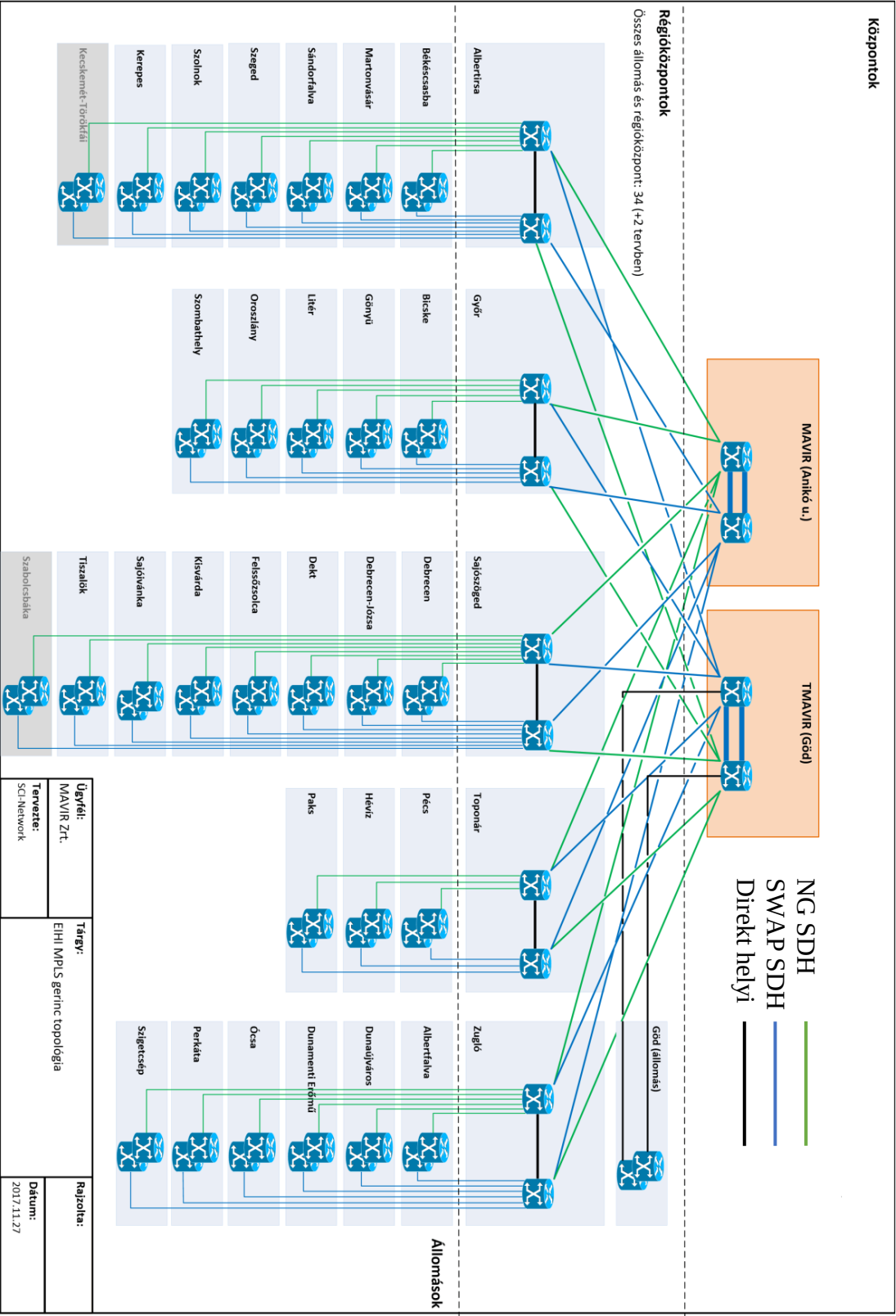
6. Ábra Átviteli hálózathoz csatlakozó erőmű



7. ábra Prolan IED eszközök

Forrás: [11]

A magyar VER távközlési rendszere elsősorban az átviteli és elosztói hálózat távvezetékek védővezetőjébe integrált optikai szálak (**OPGW**) által biztosított, ami egyéb fénykábeles összeköttetéssel is kiegészül. Az **SDH** zárt, szabványos és magas átviteli sebességet biztosít a rendszerirányításhoz. A Szinkron Digitális Hierarchia a hagyományos **PDH** topológiához viszonyított legfontosabb előnye a szinkronizációs mechanizmus. A MAVIR által alkalmazott két dedikált hálózat az **NG SDH** és **SWAP SDH**. A nagyteljesítményű gerinchálózat protokollfüggetlen adatátviteli technológiája **MPLS** (Multiprotocol Label Switching), amin az ország hálózati topológiáját fenntartva különböztet meg régióközpontokat és állomásokat. Az egyes alállomások két áramkörön keresztül csatlakoznak a saját központjukhoz, amelyek szintén két vonalon vannak összeköttetésben az Anikó utcai és Gödi központtal [12] [13].

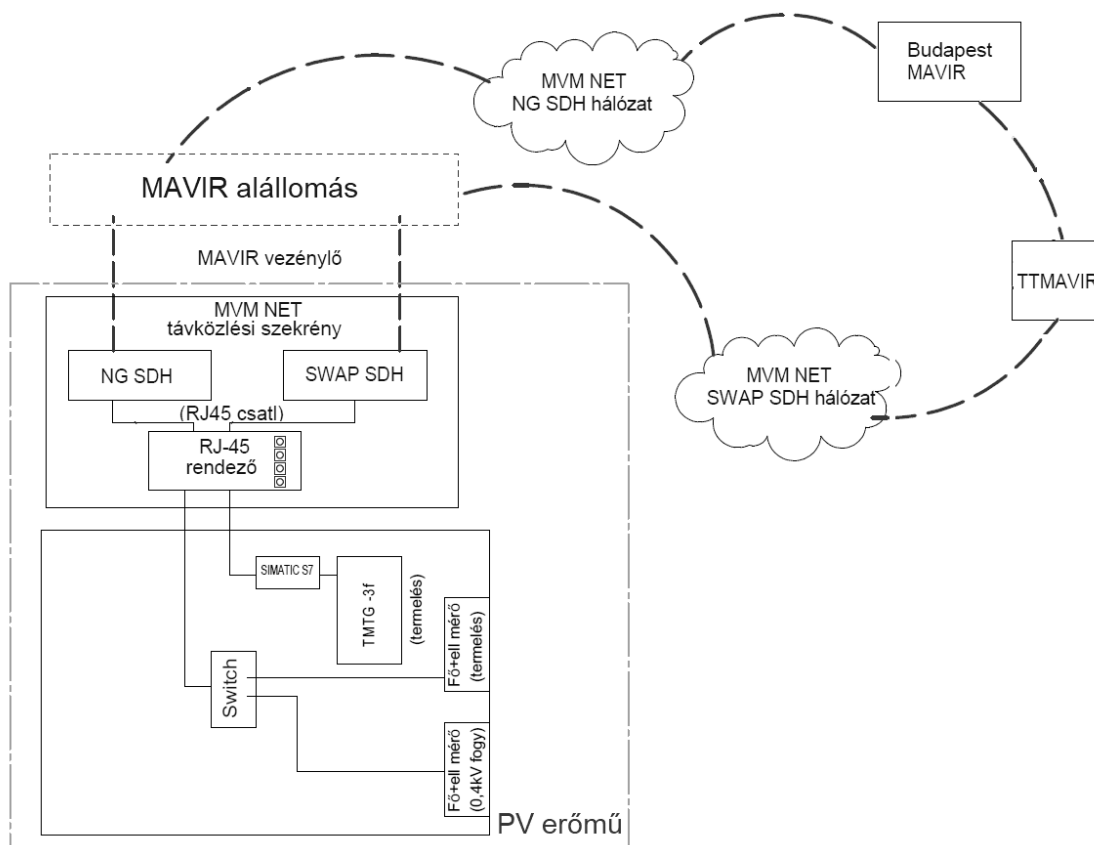


8. Ábra Országos topológia

Forrás: [12]

- Hírközlési rendszer

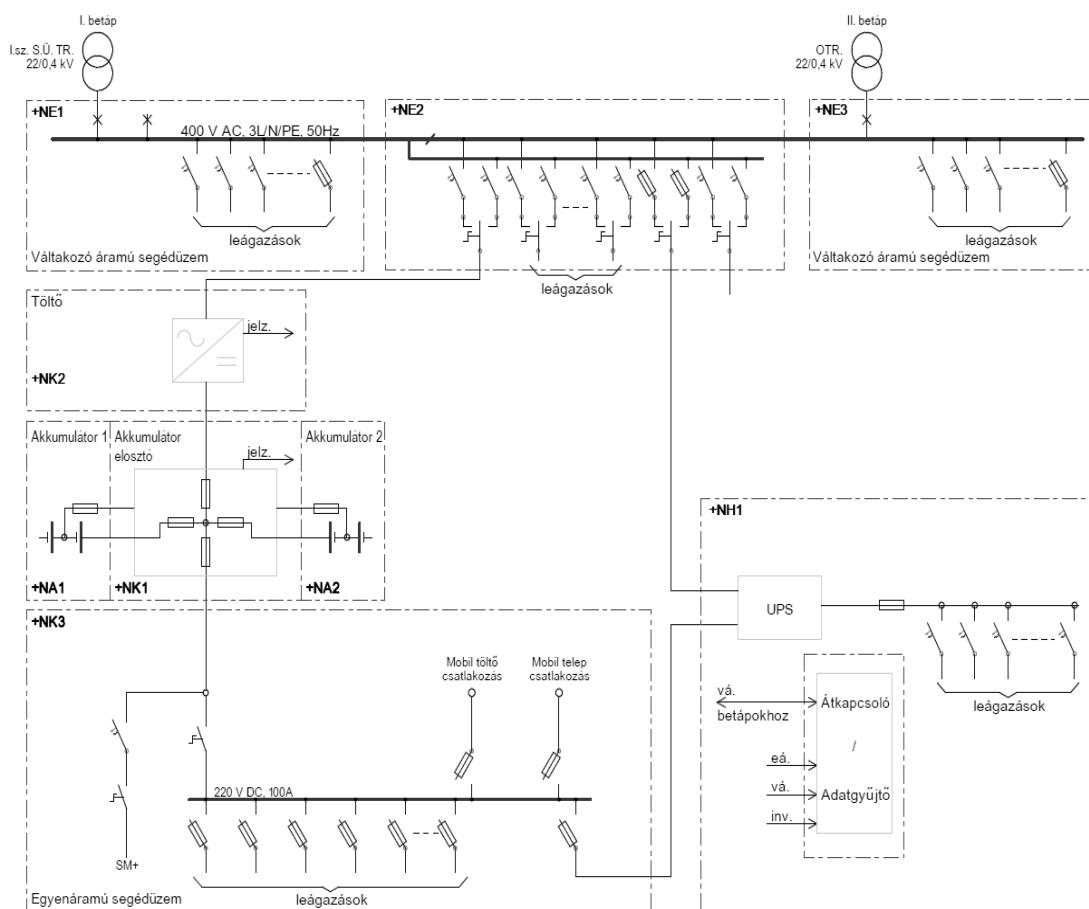
Legfontosabb cél az erőmű beillesztése a meglévő rendszer kommunikációs hálózatába. Az állomás hírközlési rendszerét úgy kell kialakítani, hogy a külső kapcsolatok gerincét az állomásba bevezetett IP hálózati csatlakozási pontok biztosítsák. Az ország széles lefedettségű közcélú távközlési hálózatának köszönhetően a naperőmű állomás oldali telekommunikációs kapcsolatai közcélú bérleményekkel egyszerűen megvalósíthatók, ennek kiépítési költségét a naperőmű park beruházóját terheli. A hírközlési kapcsolatok megvalósításához optikai kapcsolatokat kell létesíteni az MAVIR vezénylő épület és a naperőmű vezénylő épülete, illetve Szabályozási Központ között is. A két RTU közötti kapcsolat létrehozása egy-egy monomódusú konverter beiktatásával történik [12].



9. ábra Hírközlési rendszer lehetséges kialakítása

- *Segédüzemi ellátás*

A fő egyen és váltakozó áramú segédüzemi berendezések várható kialakítása általában a vezénylő és kapcsolóépületben található és az elosztók jelzéseit közös irányítástechnikai mezőgép gyűjti. A segédüzemi transzformátor meg kell, hogy feleljen az **MSZ EN 60076 Teljesítménytranszformátorok szabványsorozat**, az **MSZ EN 50464-1:2007 Háromfázisú elosztóhálózati olajtranszformátorok 50 Hz-re, 50-től 2500 kVA-ig, legfeljebb 36 kV legnagyobb szerkezeti feszültségig**. Az egyenáramú segédüzem névleges feszültsége 220V DC, melynek negatív pólusa üzemszerűen földelt. A háromfázisú váltakozóáramú segédüzem pedig 400/230 V feszültségű (TN-C-S) érintésvédelmi rendszerű PE sínnel. A betáplálási megszakítók működtetése helyi/táv választó kapcsolón keresztül a helyszínről és az irányítástechnikával is kapcsolhatónak kell lennie.



10. ábra Segédüzemi blokkvázlat

Forrás: MAVIR belső dokumentum

- ***Védelem-automatika rendszer***

A relévédelmi és visszakapcsoló automatika berendezések feladata a távvezetékek, kábelek, gyűjtősínek, transzformátorok és generátorok zárlatvédelme. Működésük célja minden zárlat és egyéb más szabálytalanság felismerése majd a szükséges hálózati részek leválasztására parancsadás a megszakítók felé. A készülékeknek a jelenleg hatályos magyar és nemzetközi szabványoknak kell megfelelniük és a tervezett primer diszpozíciójú csatlakozásnak megfelelően a szekunder rendszer esetében is törekedni kell, hogy az átviteli vagy elosztói tulajdonú és a naperőmű alállomás védelmi rendszere megfeleljen az összes, védelmekkel szemben támasztott követelményeknek [15]:

- *szelektivitás*
- *üzembiztonság*
- *pontosság és érzékenység*
- *gyorsaság*
- *gazdaságosság*
- *egyszerűség*

Minden alkalmazott berendezés és felépített rendszer diagnosztikai szoftverkönyezete feleljen meg a már említett IEC 61850 kommunikációs szabvány előírásainak. Az alkalmazni kívánt védelem és automatika (kivéve az autonóm védelmeket) készülékek:

- digitális alapúak
- eseményrögzítő és zavarító funkcióval ellátottak
- kellő számú erősáramú kimenettel rendelkeznek
- optikai csatlakozási porttal rendelkeznek az adatgyűjtő rendszer csatlakozására

A digitális védelmi készülékek tervezésénél a későbbi bővíthetőséget figyelembe kell venni és a vonatkozó EMC követelmények teljesülése mellett a berendezéseknek OVRAM alkalmassági tanúsítványával kell rendelkezniük.



11. ábra 120 kV-os leágazás védelmi szekrénye

Forrás: Saját fotó

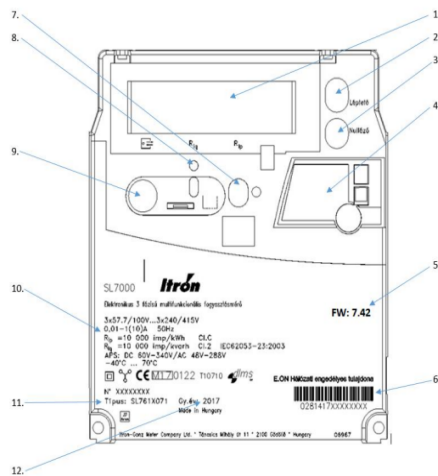
- *Elszámolási mérési rendszer*

Az 5 MW és annál nagyobb beépített teljesítményű erőművek esetén, függetlenül a csatlakozás módjától (elosztói vagy átviteli), MAVIR elszámolási mérőberendezést is bekell illeszteni a szekunder rendszerbe. Ezeket az fogyasztásmérőket a MAVIR EMŰO véleményezi, helyezi üzembe, tartja karban, és hiba esetén az elhárítást is ők végzik. Az erőmű és csatlakozási pont közötti villamosenergia-forgalom elszámolási (AVE) célú mérőberendezéseinek kialakítására vonatkozó ÜSz. 6.6 sz. fejezet és az ÜSz. 6.6 sz. Melléklet (**IRÁNYELV az AVE, NVE rendszer elszámolási célú mérőberendezéseire és a Mérési Központok kialakítására**) előírásait, valamint a Hálózati engedélyes vonatkozó előírásait, illetve az Elosztói Szabályzatban rögzítetteket maradéktalanul be kell tartani. Az elszámolás alapja az Engedélyesek (az átviteli- illetve elosztóhálózati) és a Kiserőmű között forgalmazott (kiadott, ill. vételezett) a fogyasztásmérő által mért, meghatározott időalapú (jelenleg 15 perces) hatásos villamosenergia [16].



12. ábra SL761x071 többfázisú elektronikus fogyasztásmérő adattáblája

Forrás: Saját fotó



Adattábla jelmagyarázat

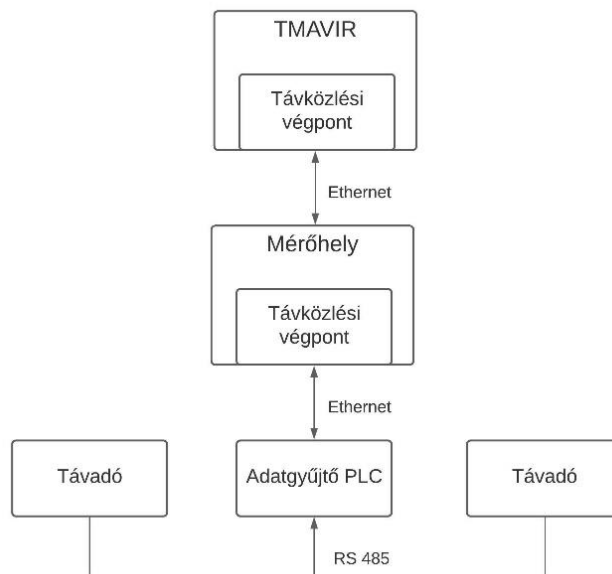
Szám	Leírás
1	Folyadékkristályos kijelző (LCD)
2	Léptető nyomógomb
3	Nullázó nyomógomb (plombálható)
4	Elemtartó
5	Firmware verzió
6	Vonalkód / Sorozatszám
7	Wattos energia mérő LED (kWh)
8	Meddő energia mérő LED (kvarh)
9	Infravörös kommunikációs port
10	Műszaki adatok
11	Típus
12	Gyártási év

13. Ábra SL761x071 többfázisú elektronikus fogyasztásmérő adattáblája

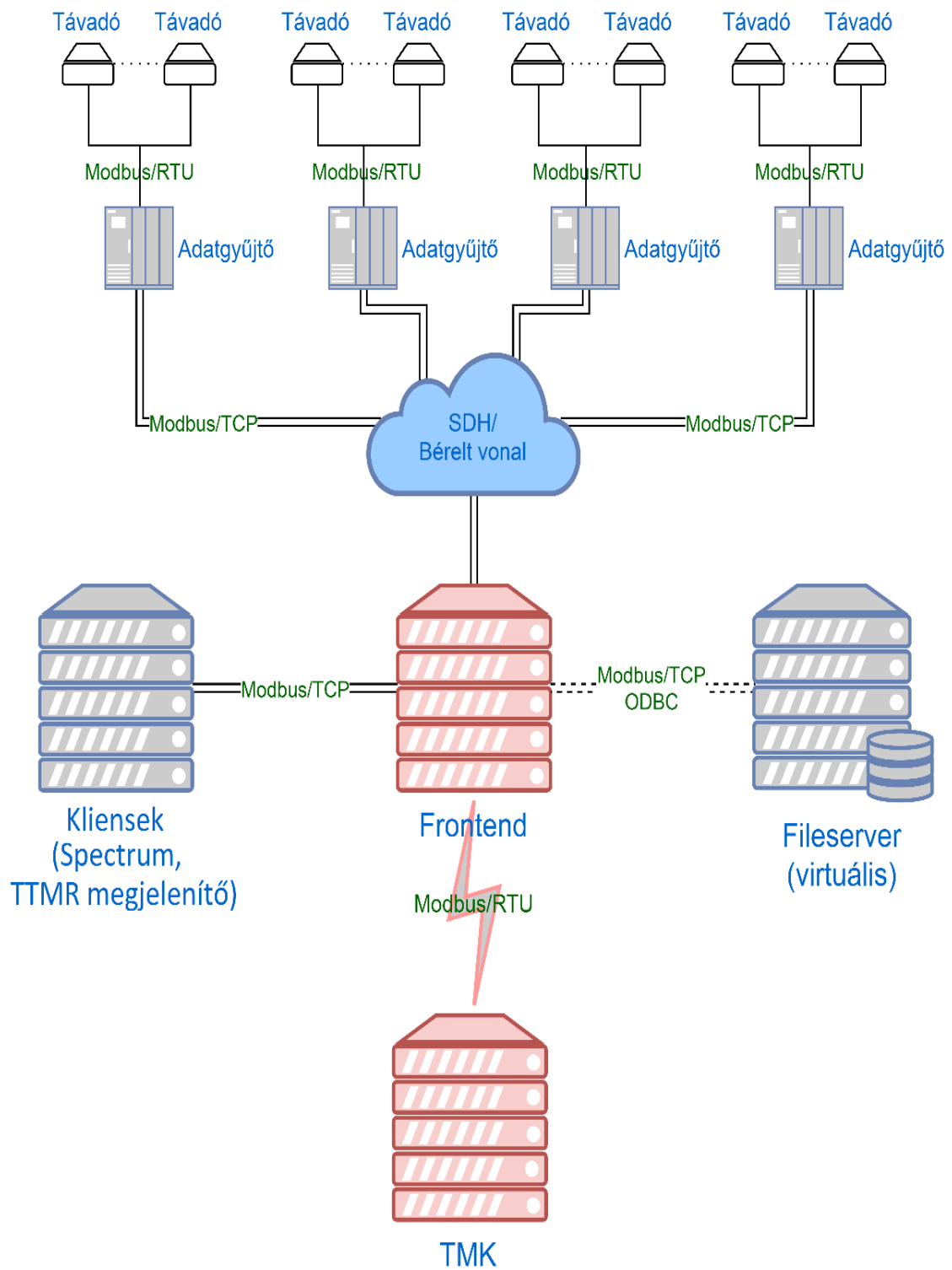
Forrás: [eon.hu]

- Tartalék telemechanikai rendszer

A tartalék telemechanikai mérőrendszer (TTMR) az alapvető kommunikációs hálózat (RTU mérések) meghibásodása esetén szolgáltató a diszpécserközpontnak mérési adatokat független átviteli hálózaton keresztül. A TTMR rendszer feladata nem a részletes mérések közlése, hanem csak a legfontosabbak (feszültség, hatásos és meddő teljesítmény, frekvencia). A pontos mennyiségeket az ODSZ az ÜSz. alapján határozza meg [14].

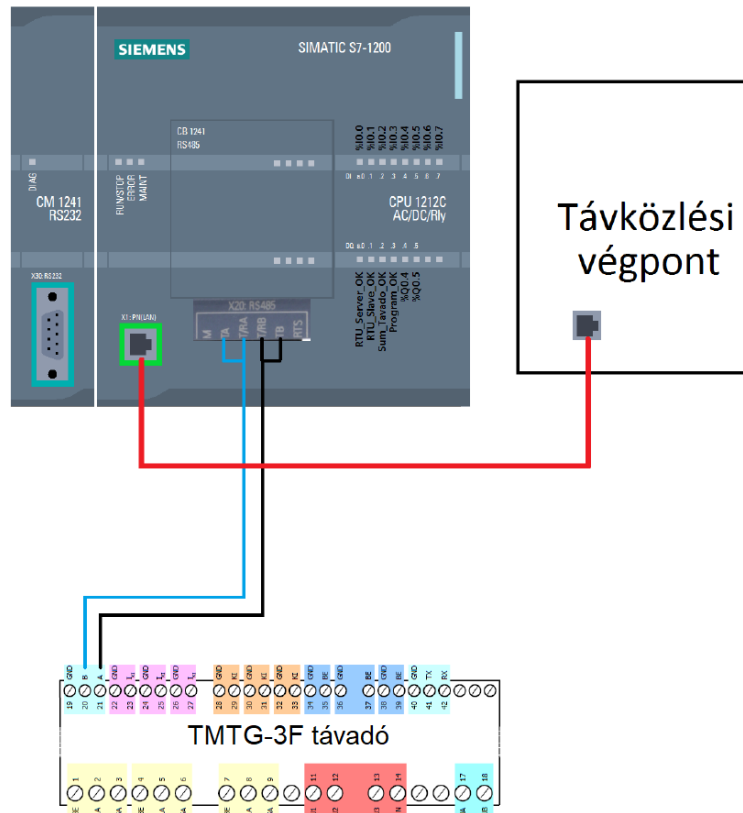


14. ábra Tartalék telemechanikai rendszer felépítése



15. ábra TTMR rendszer topológiája

Forrás: MAVIR belső dokumentum



16. ábra TTMR rendszer elvi rajza

Forrás: [14]



17. ábra TMTG 3F távadó

Forrás: [vertesz.hu]

2.1.6 Költségbecslés

A csatlakozáshoz szükséges, a VER bármely részén felmerülő anyagi beruházás berendezésre, új létesítményre vagy bármilyen bővítésre és minden egyéb, a csatlakozással járó kiadás megnevezése és becsült ára.

2.1.7 Mellékletek, rajzok

- *Nyilatkozatok, Szerződések, Megbízó levelek, Tulajdoni lap*
- *Inverter, transzformátor, napelem adatlapok*
- *Mérőváltó méretezések*
- *Helyszínrajz, Elvi nyomvonal rajz, Alaprajzok, Átnézeti rajz*
- *Hálózati csatlakozás rajz, Egyvonalas kapcsolási séma*
- *Telepítés elrendezése*
- *Védelmi blokkvázlat*
- *Elszámolási mérési terv egyvonalas és áramutas*
- *Tartalékmérés*
- *Irányítástechnika rendszer áttekintő, séma*
- *Távközlési séma*

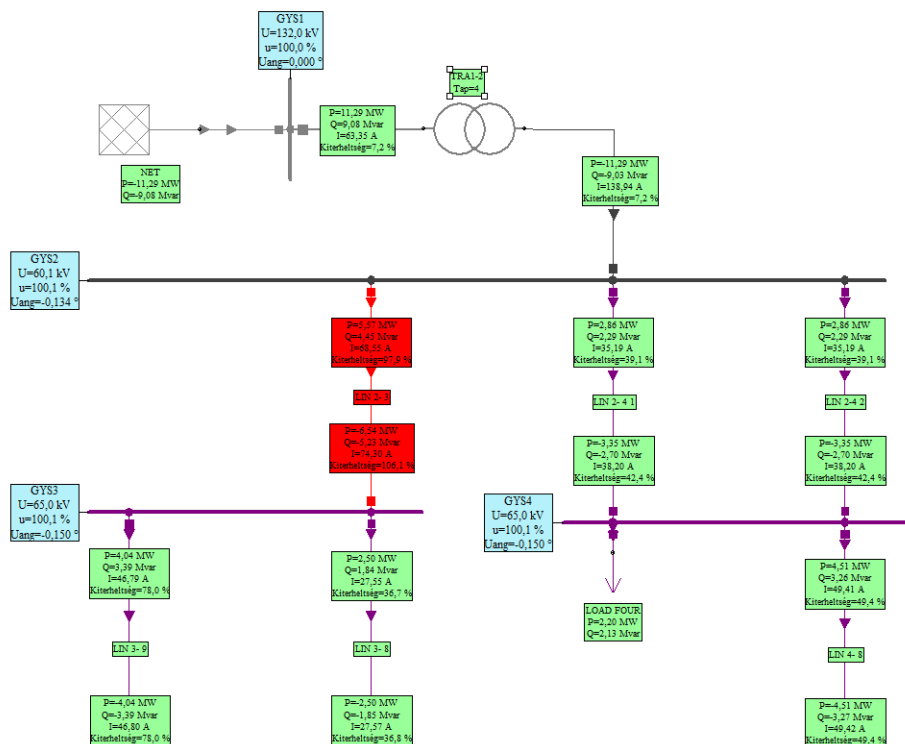
2.2 Összetett hálózatszámítási módszerek

A korszerű hálózatszámítások elemi egysége a **Load-flow** számítás, vagyis a teljesítményáramlás vizsgálat. Legelterjedtebb és legfontosabb változata az **AC load-flow** analízis, amely során a hálózati modell a lehető legnagyobb részletességgel tartalmazza a rendszer elemeinek paramétereit. Az egyszerűsített **DC load-flow** módszer szintén a váltakozó áramú rendszer vizsgálatára alkalmas, viszont itt a hálózati elemek lényeges egyszerűsítését alkalmazzák.

A számítások pontosságát legfőképp a leképzett modell és a valóságnak megfelelő villamosenergia hálózat tényleges felépítésének azonossága szabja meg. Minél összetettebb és részletesebb adatokat tartalmaz a hálózati modell, annál precízebb eredmények várhatóak a számítógépes szimulációk végén. Hazánkban erre a célra a **NEPLAN** hálózatszámító szoftverét szokás leginkább alkalmazni.

A hálózati modell egy grafikai, egyvonalas reprezentáció, ún. **Bus-branch** modell, aminek a legfontosabb bemenő adatai AC load-flow analízisnél:

- *A hálózat struktúrája*



18. ábra Neplan hálózati struktúra

- *Csomóponti gyűjtősinék*
 - feszültségszintje
 - hatásos és meddő fogyasztása
 - hatásos és meddő betáplálása

19. ábra Gyűjtősin paraméterezése

- *Távvezetékek paramétere (R, X, C, terhelhetőség)*

20. ábra Vezeték paraméterezése

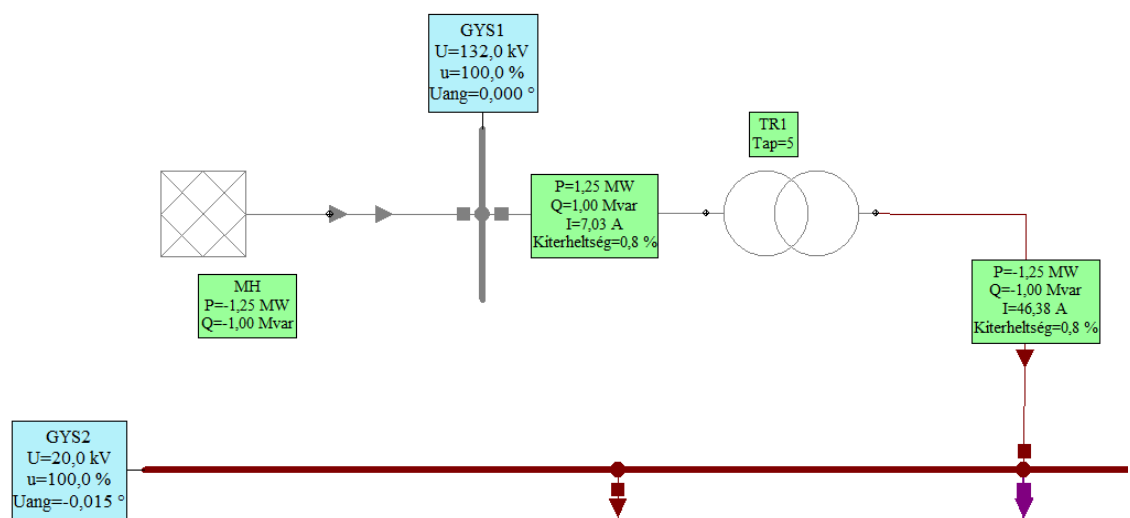
- *Transzformátorok paramétere*

21. ábra Transzformátor paraméterezése

A számítások eredményei:

- Hatásos és meddő teljesítmények áramlások, kiterheltség
- Csomóponti feszültségek és szögei (komplex mennyiségek)
- Fellépő veszteségek

A szimulációkat téli és nyári csúcsterhelési állapotot feltételezve kell elvégezni.



22. ábra Load-flow eredmények

Az AC load-flow egyszerűsített változata a DC load-flow, ahol gyűjtősinék feszültség szintjeit állandónak, a meddő teljesítményeket és a soros ellenállásokat figyelmen kívül hagyva végezzük el a számításokat. Az egyszerűsítések által az eredmények részletessége is eltér az AC load-flowétól, ahol a csomópontok egymáshoz képesti feszültség szögének eltérését lehet meghatározni, illetve a hálózati ágakon áramló pontos hatásos és meddő teljesítményeket és veszteségeket, ellenben a DC load-flownál csak a fázisszög különbségek és a hatásos teljesítményáramlás lesz alapos eredmény. A hálózati veszteségeket csak utólagos közelítéssel a soros ellenállás értékét ismerve lehet elvégezni. A két módszer összehasonlítása:

AC load-flow	DC load-flow
Pontos	Közelítés
Lassú	Gyors
P, Q, U, δ , veszteség	P, δ , veszteségek (közelítve)
Iteratív algoritmussal számítható, konvergencia problémák	Lineáris egyenletrendszerre egyszerűsödik a megoldás, rossz minőségű modellen is megoldható

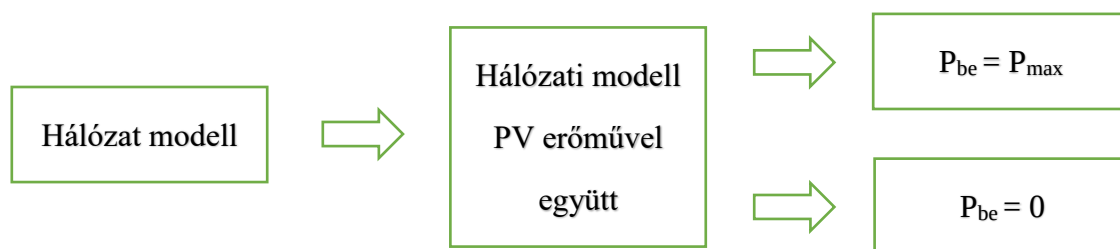
2. táblázat AC-DC load-flow összehasonlítása

A szimulációs vizsgálatok folyamán a legfontosabb meghatározandó tényezők és az erőmű egyéb visszahatásai a hálózatra:

- Feszültségváltozás
- Gyors feszültségváltozás (*flicker jelenség*)
- Felharmonikusok
- Aszimmetria
- Túlterhelt hálózatelemek
- Kapacitív földzárlat áram
- Zárlati igénybevétel
- HKV visszahatás
- Meddő kompenzáció

A számításokat két külön esetre kell elvégezni. Az első eset amikor az erőmű maximális betáplálással üzemel. Ez csak nagyon kedvező időjárás esetén fordul elő naperőműveknél. A második eset amikor a naperőmű minimális betáplálást biztosít, vagyis éjszaka vagy kedvezőtlen időjárásnál. Ezt egyszerűen úgy lehet megoldani, hogy a beépített napelem modell teljesítményét első esetben maximálisra ($P_{\max}$) állítjuk majd lefuttatjuk a szükséges szimulációkat. Második esetben a betáplált teljesítmény értékét pedig a paraméterező fülön nullára állítjuk.

Az alapmodell az Országos Terhelésmérés (**OTM**) és a magyar VER Hálózatfejlesztési terv (HFT), illetve az áramszolgáltatók adatszolgáltatásai (terhelések, HMKE, csatlakozó naperőművek) alapján pontosítható.



23. ábra Hálózatszámítás elvi blokk diagramm

2.2.1 Feszültségváltozás

A hálózat normál és gyengített (**n-1**) üzemállapotaiban az erőmű indulása és leállása a csatlakozó állomás gyűjtősinjein illetve a környező közcélú hálózaton és ipari jellegű alállomásokon nem okozhat a megengedhetőnél nagyobb feszültségváltozást. A feszültségváltozás mértéke megfelelő, ha az kisebb a MEKH által előírt 2%-nál. A feszültségváltozás meghatározásának szélső esete amikor azt feltételezzük, hogy az erőmű betáplált teljesítménye a maximális teljesítményéről 0 MW-ra csökken. A 2%-os feszültségváltozás határértéket első közelítésben egy hálózaton levezetve szeretnénk bemutatni amire egy vagy több erőmű csatlakozik:

$$k = \frac{S_{z,csp}}{\sum S_{Gmax}} \quad (1)$$

$$\Delta U_{\%} = \frac{S_G}{S_{z,csp}} * 100 \quad (2)$$

A k viszonzyszám a csatlakozási pont zárlati teljesítményének ($S_{z,csp}$) és a már csatlakozó erőművek névleges teljesítményének (S_{Gmax}) hányadosa. Ez a szám nem lehet 50-nél kisebb, amely reciprokok értéke 0,02, vagyis százzal szorozva megkapjuk a 2%-os értéket.

A közelítést a hálózat fázistolását (ψ) és az erőmű termelésének fázisszögét (φ) is figyelembe véve pontosabb eredményt kapunk [17]:

$$\Delta U_{\%} = \frac{S_{Gmax} * \cos(\psi + \varphi)}{S_{z-csp}} * 100 \quad (3)$$

Ez az összefüggés viszont $\cos 90$ esetén értelmezhetetlen, ezért egy még pontosabb módszer a számítások elvégzéséhez, ha figyelembe vesszük a vezeték, vagy kábel soros ellenállását és reaktanciáját [17].

$$\Delta U_{\%} = \frac{S_{Gmax} * (R * \cos \varphi + X_L * \sin \varphi)}{U_n^2} * 100 \quad (4)$$

Az erőművek névleges teljesítményéből kiindulva egy másik megközelítés a feszültségesés számítására a gyűjtősin zárlati teljesítményét ($S_{z,gys}$) és a tápponti KÖF gyűjtősin zárlati teljesítményét ($S_{z,tp}$) ismerve [17]:

$$\Delta U_{\%} = S_{Gmax} \frac{S_{z,gys} - S_{z,tp}}{S_{z,gys} * S_{z,tp}} * 100 \quad (5)$$

A legpontosabb eredményeket viszont komplex load-flow szimulációs számításokkal érdemes elvégezni.

Az **n-1 üzemállapot** az egyszeres kiesés (pl. távvezeték vagy transzformátor) elve, miszerint a hálózatoknak alapvetően egy hálózati elem hiányállapotában is képesnek kell lennie üzembiztosan működni. Ha van túlterhelődés, beruházási javaslatot kell megfogalmazni.

Az **n-1-1 üzemállapot** a kétszeres kiesés elve, ami már két hálózati elem kiesését feltételezi, de a hálózatnak ekkor is képesnek kell lennie üzembiztosan működni. Az egyik elem átviteli hálózati elem a másik pedig elosztói hálózat hiányelem.

2.2.2 Flicker jelenség

Az inverterek által okozott **villogás** (flicker) a hálózatról ellátott fogyasztókat zavarhatja, ezért a hálózati engedélyesek a hálózatra kapcsolódó termelő egységek által okozott villogást korlátozzák. Az IEC szabványoknak megfelelően a hazai ÜSz a rövid idejű és a hosszú idejű villogás mértékére ad előírást, melyet azonban csak méréssel lehet meghatározni. A rövid (P_{st}) és hosszú (P_{lt}) idejű villogás mérték képlete:

$$P_{st} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{P_i^2}{n}} \quad (6)$$

$$P_{lt} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{P_{sti}^3}{n}} \quad (7)$$

Ahol P_i a 10 perces mintavétel értéke, P_{sti} pedig a rövid idejű villogás (P_{st}) mintavételekből képzett 2 órás mintavételi értékek. Az egyhetes megfigyelési időtartam 95%-ában a villogás gyakoriságának mértéke nem haladhatja meg az ÜSz 3.5 sz. Melléklet 2.táblázatjában foglalt határértékeket:

Feszültségszint	P_{st}	P_{lt}
KIF	1	1
KÖF	1	1
NAF	1	0,8

3. táblázat Villogás gyakorisága

Forrás: Üzemi Szabályzat

Az inverter gyártói műbizonylatában található a berendezés rövid idejű villogás mértékére vonatkozó adatai, melynek értéke a hálózat mögöttes impedanciájától (R/X aránytól) függ, amit a zárlatszámítás során egyébként is meg kell határozni. A hálózat impedanciájának szöge (Ψ_k) a legkedvezőtlenebb esetét feltételezve, vagyis mikor az ellenállása $R = 0,24 \, \Omega$, reaktanciája pedig $X = j0,15 \, \Omega$ az **IEC 61400-21** szerint:

$$\Psi_k = \tan^{-1} \frac{X}{R} = 32^\circ \quad (8)$$

és az egy inverterre vonatkozó P_{st} értéke

$$P_{st} = \frac{c(\Psi_k) \cdot S_n}{S_z} \quad (9)$$

ahol $\mathbf{c}(\Psi_k)$ a rendszer villogásának együtthatója, $\mathbf{S}_n$ az inverter névleges látszólagos teljesítménye, $\mathbf{S}_z$ pedig a hálózati csomópont látszólagos zárlati teljesítménye.

Huawei SUN2000-60KTL-M0 illetve **Huawei SUN2000-50KTL** adatlapok alapján a villogási állandó 5,32 és 4,10. A számításokat elvégezve 5000 MVA-es fiktív zárlati teljesítményt feltételezve

$$P_{st\ 60KTL} = \frac{5,32 \cdot 66788}{5000 \cdot 10^6} = 7,11 \times 10^{-5} \quad (10)$$

és

$$P_{st\ 50KTL} = \frac{4,10 \cdot 55925}{5000 \cdot 10^6} = 4,56 \times 10^{-5} \quad (11)$$

Több inverterre az alkalmazott összefüggés:

$$P_{st,tot} = (n * P_{st}^2)^{0,5} \quad (12)$$

1500 darab invertert feltételezve a rövid idejű villogás mértéke a két feltételezett inverter esetén:

$$P_{st,tot\ 60KTL} = (1500 * 5,055 \times 10^{-9})^{0,5} = 0,00275 \quad (13)$$

$$P_{st,tot\ 50KTL} = (1500 * 2,08 \times 10^{-9})^{0,5} = 0,00176 \quad (14)$$

Az elvi számítások alapján kijelenthető, hogy a vizsgált korszerű inverterek villogás szempontjából megfelelnek az előírt követelményeknek. A hálózaton fellépő feszültség ingadozásának határértéken belüli szinten tarthatósága érdekében a kiserőműre vonatkoztatva az **MSZ EN 50160** szabvány előírása szerint a $P_t \leq 0,1$ érték betartása szükséges.

2.2.3 Felharmonikusok

Az alapharmonikus hálózati feszültség frekvenciájának egész számú többszöröse a felharmonikus feszültség. A 10 perces átlag effektív értékek határát az egyes felharmonikusoknak az **MSZ-EN 50160** és az ÜSz tartalmazza, mely értékeket az üzembehelyezést követő próbaüzem időtartamában történő hét napos mérés alatt az idő 95%-ában nem lépheti túl. Ezt csak méréssel lehet meghatározni, hálózatszámítással nem.

Páratlan felharmonikus								Páros felharmonikus			
Nem 3 többszöröse				3 többszöröse							
n	Amplitúdó (%)			n	Amplitúdó (%)			n	Amplitúdó (%)		
	KIF	KÖF	NAF		KIF	KÖF	NAF		KIF	KÖF	NAF
5	6	6	2	3	5	5,0	2,0	2	2,0	2,0	1,5
7	5	5	2	9	1,5	1,5	1,0	4	1,0	1,0	1,0
11	3,5	3,5	1,5	15	0,5	0,5	0,3	6-24	0,5	0,5	0,3
13	3	3	1,5	21	0,5	0,5	0,2				
17	2	2	1								

4. táblázat Felharmonikusok koordinációja

Forrás: Üzemi Szabályzat

A feszültség teljes harmonikus torzítási tényezője (**THD**), vagyis az eredő felharmonikus tartalom az alapharmonikus effektív értékéhez viszonyítva, csak az említett szabványban megengedett mértékben növelheti a hálózat felharmonikus tartalmát. Az inverterek kiválasztásánál figyelembe kell venni, hogy azok milyen beépített harmonikus szűrővel rendelkeznek és megfelelnek-e a küszöbértékeknek. Nagyfeszültségen ez az érték **3%**, közepfeszültségen **5%** [8] [10].

Az inverter kisfeszültségű kimenetére vonatkozó THD maximális értékét a gyártói adatlap tartalmazza, ami általában 3% alatti érték, ezáltal a nagyfeszültségre csatlakozó erőműveknél az átvitt felharmonikus tartalom nagyságrendekkel kisebb a csatlakozási ponton.

2.2.4 Aszimmetria

Aszimmetrikus terhelés miatt a háromfázisú rendszer fázisfeszültségeinek effektív értéke, vagy a fázisok közötti fáziseltolódások nem egyenlőek. 132 kV-os hálózaton a vontatási állomások teljesen aszimmetrikus terhelést jelentenek, mert az egyfázisú transzformátorok két fázis közé vannak kapcsolva. Az erőmű tervezett csatlakozási pontjához legközelebb MÁV állomás transzformátor aszimmetriai hatását a feszültség pozitív és a negatív sorrendű hányadosa (U_1/U_0) határozza meg, amely jó közelítéssel az S_a/S_z hányadosnak felel meg, ahol S_a az aszimmetrikus terhelés nagysága és S_z a vizsgált hálózati csomópont zárlati teljesítménye. A két teljesítmény hányadosának az ÜSz-ban meghatározott érték alattinak kell lennie. Ez nagyfeszültségen **1%** egyéb esetben **2%**. Villamosan nagy távolságra csatlakozó naperőműveknél a vontatási állomásokat viszont

nem szükséges figyelembe venni. az erőműbe épített feszültségcsökkenési védelem aszimmetrikus terhelés miatti torzulás hatására valószínűleg nem fog megszólalni.

Az aszimmetrikus feszültség megjelenésének másik oka az aszimmetrikus hálózati hiba, például az egyfázisú kikapcsolás utáni gyors visszakapcsoló automatika (GVA) működése, vagy sikertelen zárlevezetés után. Viszont naperőművek esetében nincs automatikus visszakapcsoló automatika, kivéve B típusú erőműnél. Egyéb esetben sánta üzem nagyfeszültségen nem léphet fel, de a GVA működés a hálózat üzemével jár. Az, hogy GVA működés esetén az erőmű feszültségcsökkenési védelme megszólal-e, elsősorban attól függ, hogy a hibás fázis feszültségcsökkenése eljut-e a védelemhez. Ez a transzformátor csillagpontkezelésétől is függ. Ha az erőmű csatlakozása érdekében létesül 132 kV/KÖF termelői transzformátor állomás, annak primer oldali csillagpontja naperőművek esetén a legtöbb esetben közvetlenül mereven földelt mivel az erőmű oldaláról az invertetekbe integrált érzékeny védelmi funkciók meggátolják a nagy zárlati áram hatását. Ekkor a hibás fázisok értéke kb. a névleges feszültség (U_n) 80-90%-a, az ép fázisok feszültsége pedig kb. 0,95% U_n . A feszültségcsökkenési védelem működése a készülék beállításától függ.

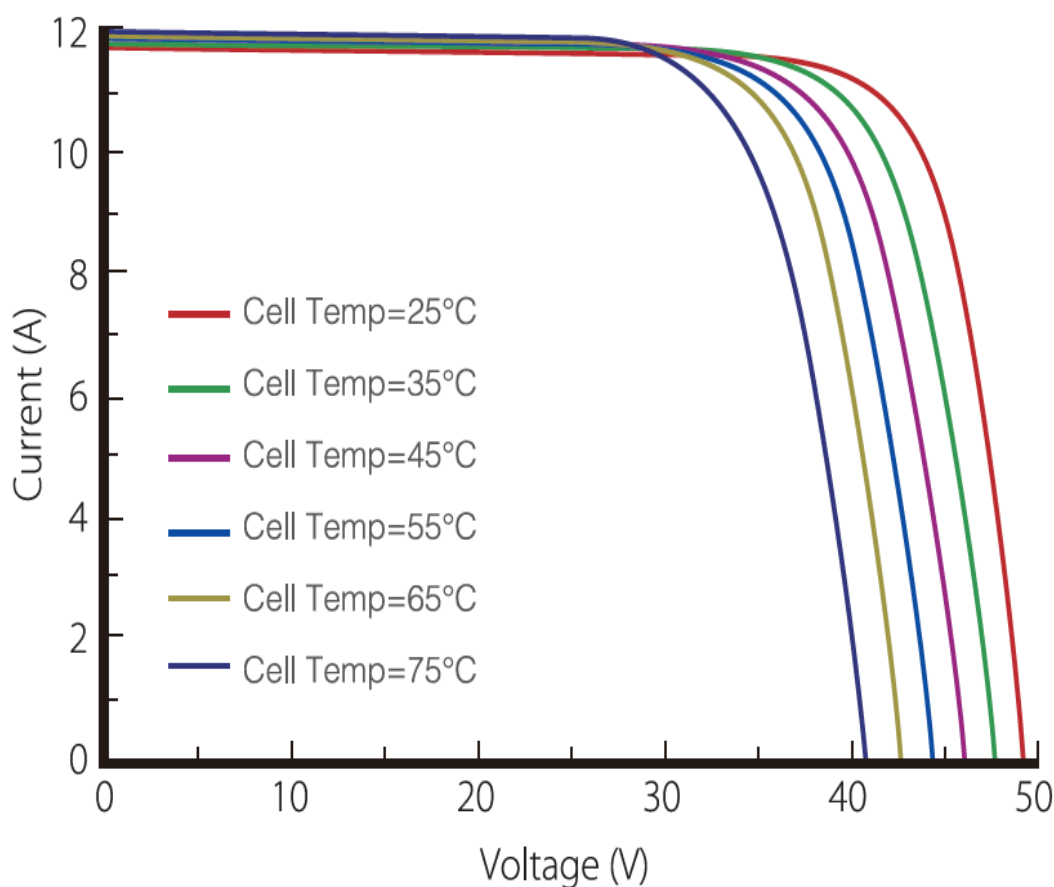
2.2.5 Túlterhelt hálózatelemek

Egyetlen betáplálási üzemállapotában sem fordulhat elő túlterhelt hálózatelem, ezért a maximális és minimális terhelést feltételezve meg kell keresni a csatlakozási hálózat környezetében a túlterhelt elemeket. A vizsgálatokat nem csak normál kapcsolási állapotból kiindulva kell elvégezni, hanem egyszeres (n-1) és többszörös (n-1-1) hiányállapotok esetén is. A feszültségváltozást a csatlakozó állomásban és a hozzá legközelebbi gyűjtősíneken érdemes vizsgálni szintén normál és hiányállapotokban. A legnagyobb feszültségváltozás értéke nem haladhatja meg a 2%-ot.

2.2.6 Zárlati igénybevétel

Zárlat esetén minden hálózatelem el kell, hogy viselje a rajta kialakuló **3F** és **FN** zárlati áramot. Ezért a szóba jöhető legnagyobb zárlati áramokat kell a számításokkal meghatározni, vagyis a hálózat teljesen hurkolt, kikapcsolt vezeték és sínáthidaló nincs, az új és minden egyéb figyelembe vett erőmű maximális teljesítménnyel üzemel.

A napelem park zárlati rátáplálása megnövelné a közcélú hálózat zárlati igénybevételét, viszont az erőmű zárlati áramát csökkenti a 132 kV-os gyűjtősinig sorba kapcsolódó hálózati elemek (inverter, kismegfeszítésű gyűjtőkábel, betonházas transzformátorok, közepesfeszítésű kábelhálózat, erőmű 132/KÖF transzformátora, nagyfeszítésű termelői kábel) zárlati impedanciája így a PV erőmű névleges teljesítményénél alig nagyobb mértékben növeli meg a csatlakozást biztosító alállomás gyűjtősinjének zárlati teljesítményét. Mivel a napelemek felépítésükből adódóan nem képesek a forgó gépekhez hasonló zárlati teljesítmény előállítására, áramgenerátorként működnek, tehát DC oldalon nagy zárlati áram nem keletkezhet. Egy átlagos napelem üzemi árama 10-11 A körüli érték, rövidzárási árama csupán pár százalékkal nagyobb, tehát a zárlati teljesítménye is csak pár százalékkal nőne meg, de az inverterek védelmei ezt az üzemmódot nem teszik lehetővé. Ezentúl az inverterek integrált szinkron megszakító túláram védelemmel vannak ellátva, mely az esetleges kismegfeszítésű zárlatkor kikapcsolja az invertert.



24. ábra Napelem karakterisztika

2.2.7 Kapacitív földzárlati áram

A PV erőműpark kiépítésekor létesülő közép feszültségű kábelhálózat miatt növekedni fog az összefüggő hálózatrész kapacitív földzárlati árama. A rendszer földzárlatra történő szelektív védelmi lekapcsolás biztosítására a meglévő hálózati részen és az új kiépítésű hálózati részen földzárlatvédelem alkalmazása esetén a kábelcsatlakozásoknál felszerelt áramváltóval érzékelt zérussorrendű I_0 áram mérése a beállított határérték elérésekor a késleltetési idő letelte után a kábelcsatlakozáshoz tartozó megszakítót kikapcsolja. A késleltetési idő lépcsőzésével kell a szelektivitást biztosítani. A késleltetési idő beállításánál a bekapcsolási tranziensként a hálózaton megjelenő I_0 áram lefutását is figyelembe kell venni. Amennyiben a kiserőmű tulajdonában lévő kábelek kapacitív töltőárama nem kompenzálható a végponti transzformátorállomáson lévő fázisjavító berendezéssel, kihelyezett kompenzáló berendezést kell alkalmazni, amely egy csillagpontképző transzformátor és legalább hőfokvédelemmel ellátott ívöltő tekercs. Számításhoz a kábelek kábelkatalógusból meghatározott egységnyi hosszra jutó kapacitása (C_k). Gyakorlatban alkalmazott térhálós polietilén (THPE) szigetelésű kábeleket feltételezve melyek paraméterei:

Feladat	Kábel megnevezése	C_k ($\mu\text{F/km}$)	l (km)
Transzformátor betáplálása	NA2XS(F)2Y 12/20 kV 1x95 RM16	0,2 $\mu\text{F/km}$	1
Kooperációs kábel	NA2XS(F)2Y 12/20 kV 1x150 RM25	0,25 $\mu\text{F/km}$	2
Kooperációs kábel	NA2XS(F)2Y 12/20 kV 1x240 RM25	0,3 $\mu\text{F/km}$	20

5. táblázat Kábel paraméterek

A telepített kábelek kapacitív és zérussorrendű töltőáramának értéke fázisonként:

$$I_c = \frac{U}{\sqrt{3} \cdot \frac{1}{j\omega C_1 \cdot l_1}} + \frac{U}{\sqrt{3} \cdot \frac{1}{j\omega C_2 \cdot l_2}} + \frac{U}{\sqrt{3} \cdot \frac{1}{j\omega C_3 \cdot l_3}} \quad (15)$$

$$I_c = \frac{22000 \cdot 2\pi \cdot 50}{\sqrt{3}} \cdot \left(\frac{0,2 \cdot 10^{-6} \cdot 1}{3} + \frac{0,25 \cdot 10^{-6} \cdot 2}{3} + \frac{0,3 \cdot 10^{-6} \cdot 20}{3} \right) = 8,92 \text{ A} \quad (16)$$

$$I_0 = 3 \cdot I_c = 3 \cdot 8,92 = 26,76 \text{ A} \quad (17)$$

Számítások alapján a Petersen tekercsnek 26,76 A áramerősséggel kell kompenzálnia a KÖF kábelek kapacitív töltőáramát. Nagyságát a számolt áramérték 1,1 – 1,2 szeresére kell választani, vagyis 32,11 A áramerősségű kompenzáló tekercs elégséges. A terhelés mértéke 70% alatt megfelelő. Kiserőművek feszültségemelése szempontjából csak a sorosellenállás és az induktivitás fog szerepet játszani, ezért a vizsgálatok során elhanyagolható a kapacitás.

2.2.8 HKV visszahatás

A hangfrekvenciás körvezérlés (HKV) átviteli útja az elosztói hálózat, ezért a napelemes erőmű hatásáról az áramszolgáltató szakemberei a próbaüzem során ellenőrző méréseket folytatnak az esetleges jelszint csökkenés feltárására. A HKV berendezések 183,33 és 216,67 Hz frekvenciával üzemelnek a megszokott 50 Hz-től eltérve és az impulzusok nagysága a névleges feszültség 1% - 4% közöttiek. A mérések és számítások eredményei alapján előírja a zárókör beépítését, vagy annak elhanyagolhatóságát. A mérések megismétlését bármikor elvégezheti az elosztói engedélyes és az eredmények tükrében kötelezheti a zárókör későbbi beépítését is. A hangfrekvenciás (HF) jelszint csökkenésének mértéke nem haladhatja meg az előírt 0,1%-os értéket, továbbá a HF jelszintnek névleges feszültség 1%-ánál nagyobbannak kell lennie a vezérelt berendezések megbízható működéséhez [10].

2.2.9 Meddő kompenzálás

A PV erőművet a hatásfok legkedvezőbb értékével ($\cos\varphi \approx 1$) célszerű üzemeltetni, ami az inverterekben szoftveres úton beállítható. A kiépülő kábelhálózat kapacitív jellege miatt az erőmű meddő teljesítményt állít majd elő, amit viszont a transzformátorok működése igényel. Ha a transzformátorok és kábelhálózat adottságait (hosszúsága, típusa), illetve azok veszteségeit is figyelembe vesszük a 132 kV-os csatlakozási ponton az elvárt $\cos\varphi \approx 1$ érték biztosítása az inverterek hatásfokának $\pm 0,9$ közötti érték szabályozásával lehetséges, az előírt teljesítménytényező tartására fázisjavító kondenzátortelep létesítésére nincs szükség.

3. Egyéb követelmények időjárásfüggő erőműveknél

Kiserőmű a hálózattal nem tarthat fent szigetüzemet, ezért szigetüzemi védelemmel kell ellátni, hogy az zavaró visszahatások nélkül működhessen és ne befolyásolja az aktív rendszerhasználók ellátását, ezért az erőművet leválasztó kapcsolóval kell ellátni, amin minden fázisban galvanikus szétválasztást kell biztosítani és az elosztói engedélyes számára bármikor elérhetőnek kell lennie. Az invertereknél a kapcsolóberendezést a váltakozó áramú oldalán is el kell helyezni és az a belső zárlat következtében nem válhat működésképtelenné. Az erőmű csatlakozása a hálózatra csak háromfázisú lehet [10]. Az önálló szigetüzem elleni védelemi egység funkció:

- *Feszültség csökkenési védelem*
- *Feszültség növekedési védelem*
- *Frekvencia csökkenési védelem*
- *Frekvencia növekedési védelem*
- *Frekvencia változás védelem*
- *Vektorugrás elleni védelem*

A tervezett névleges teljesítményt (S_{nA}) csökkentheti a hálózatra való visszahatás mértéke. Ezt a csatlakozási pont minimális rövidzárlati teljesítménye (S_{zH}) az erőmű nélküli és az erőmű fajtája, teljesítménye és üzem módja befolyásolja [10] [18].

Közelítő összefüggés középfeszültségre és kiefeszültségre:

$$S_{nA-KÖF} \leq \frac{0,02 \cdot S_{zH}}{k} = \frac{S_{zH}}{50 \cdot k} \quad (18)$$

$$S_{nA-KIF} \leq \frac{0,03 \cdot S_{zH}}{k} = \frac{S_{zH}}{33 \cdot k} \quad (19)$$

Ahol k a maximális felvett áram és névleges áram közötti arány. Irányértéke invertereknél és szinkrongenerátoroknál 1, ismeretlen maximális áram esetében 8. Feltéve, hogy az egyenlőtlenség nem teljesül, részletesebb számításokkal kell igazolni a csatlakozás lehetőségét vagy a Hálózati engedélyes felajánlhatja a rugalmas csatlakozás lehetőségét is [8]. A rugalmas csatlakozási lehetőség a Vet. 35. § (7) bekezdése szerint az új erőmű csatlakozási szerződésben előre egyeztetett feltételek mellett beleegyezik annak termelésének korlátozásába. Ez felgyorsíthatja az üzembe helyezés folyamatát, de a

beépített teljesítmény kihasználtsága nagy mértékben csökkenhet, amit megfontoltan kell mérlegelni a befektetőnek [7]. A naperőműnek rendelkeznie kell teljesen leállító és a termelt hatásos teljesítményt szabályozó rendszerrel és csökkentett termelésre, valamint hatásos teljesítmény szabályozási képességet is köteles biztosítani a MAVIR-nak önállóan vagy Szabályozási Központon keresztül, ahol több kisebb termelői egységet összevonva egyetlen nagyobb erőműként jelenik meg a rendszerszintű villamosenergia piacon [8] [19].

3.1 Bekapcsolási áramfelvétel

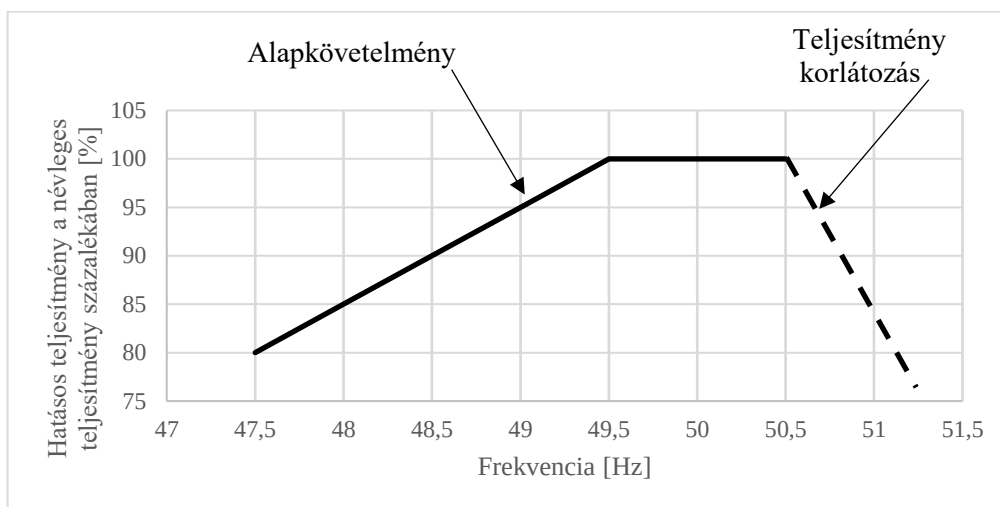
Csatlakozási pontban az áramlökés értéke nem lépheti túl az erőmű névleges teljesítményéből és a csatlakozási pont névleges feszültségével számított áramfelvétel értékének 1,2-szeresét [9].

3.2 Teljesítmény gradiens

A hatásos teljesítmény változása nem haladhatja meg a beépített névleges teljesítmény 10 %-át percenként, ha ez a változás nem az időjárás változásával függ össze. Lépcsőzetes növelés is lehetséges, ha a lépcsők nagysága nem nagyobb szintén a névleges teljesítmény 10%-ánál [9].

3.3 Teljesítményre, frekvenciára vonatkozó előírások

Névleges teljesítményen üzemelő erőmű által leadott teljesítményének tilos csökkennie 49,9 Hz frekvenciáig, azonban, ha a frekvenciacsökkenés tovább tart vagy még jobban csökken, új munkapontot kell beállítani 60 másodperc elteltével, és még 49,5 Hz-nél is folyamatosan, névleges teljesítmény mellett működnie kell. További csökkenés vagy növekedés esetén az 1. ábra görbéje az iránymutató [9].



25. ábra A hatásos teljesítmény üzemi tartománya

Forrás: [9]

A hálózatra csatlakozó villamosenergia-termelő berendezéseknek a megadott működési frekvencia tartományban és a megadott időtartamon belül képesnek kell lenni leválás nélkül párhuzamosan üzemelni 47,5 és 48,5 illetve 51 és 51,5 Hz között 30 percig, 48,5 és 49 Hz között 60 percig, 49 és 51 Hz közt korlátlan ideig. Ha a hálózati frekvencia a 47,5 vagy 51,5 Hz-es tartományon kívülre kerül, az erőműnek azonnal le kell válnia a hálózatról, illetve szinkronizmusból történő kiesés vagy stabilitás elvesztésének esetében is automatikus, azonnali leválás szükséges [9] [20].

3.4 Hatásos teljesítmény felvétele

Hatásos teljesítmény a hálózatról csak 0,95 és 1,0 közötti a teljesítménytényező értékkel vételezhető [9].

3.5 Lekapcsolási kötelezettség

Az erőműnek a hálózatról le kell kapcsolódnia:

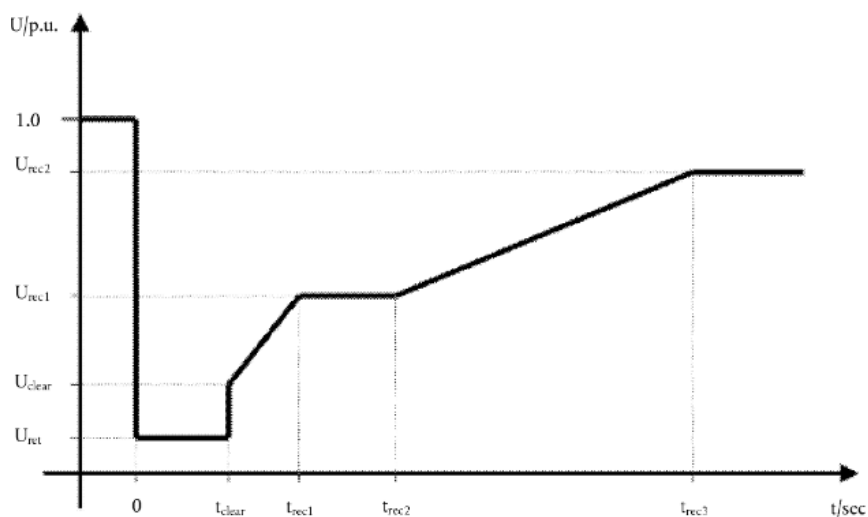
- a VER feltételezhető veszélyeztetésekor
- az átviteli hálózat túlterhelés fellépésének veszélye esetén
- szigetüzem bekövetkezése vagy kialakulásának lehetőségekor
- statikus vagy dinamikus stabilitás veszélyeztetésekor
- karbantartás, helyreállítás vagy építési munkák miatt indokolt esetekben

3.6 Meddőteljesítmény-betáplálás megnövelt frekvencia tartományban

A naperómű inverterei által betáplált meddőteljesítményt a szerződésben megfogalmazott értékeken belül kell tartani, amelyet az előre meghatározott tartományban, üzemközben az engedélyes állíthat be távkezelés vagy diszpécseri beavatkozással [9].

3.7 Zárlati áthidalóképesség

Naperóműveknek zárlati viszonyok között is üzemelniük kell a hálózat üzemeltetőjével előre egyeztetett időtartamig és határok között, hogy segítsék a letört feszültség emelését vagy annak tartását, majd, hogy a zárlat háritása után támogassák a teljesítmény egyensúly fenntartását [9].



26. Ábra Feszültség-idő profil

Forrás: [Rfg rendelet]

A 2. Ábra feszültség idő profil függőleges tengelye a csatlakozási pontban mért feszültség értéke a referenciaérték arányában zárlat előtt, alatt és után. Az egyes értékeket az adott ország átviteli rendszerirányítója (TSO) határozza meg, melyhez iránymutatást a már említett RfG rendelet nyújt. A zárlat pillanatában az U_{ret} feszültséghez a t_{clear} , a zárlat elhárításának pillanata tartozik. A további értékek a zárlat utáni normalizálódó feszültség határértékeit határozza meg. A Nemzetközi Üzemeltetési és Kereskedelmi szabályzat 6.2 pontja alapján az aszimmetrikus és szimmetrikus zárlathárítás feszültség-idő profil értékei B, C és D típusú erőművek esetén:

Típus	Aszimmetrikus zárlat (U)	Aszimmetrikus zárlat (t)	Szimmetrikus zárlat (U)	Szimmetrikus zárlat (t)
B,C	U _{ret} : 0.3 pu	t _{clear} : 250 msec	-	-
	U _{clear} : 0.7 pu	t _{rec1} : 250 msec		
	U _{rec1} : 0.7 pu	t _{rec2} : 700 msec		
	U _{rec2} : 0.85 pu	t _{rec3} : 1500 msec		
D	U _{ret} : 0 pu	t _{clear} : 160 msec	U _{ret} : 0 pu	t _{clear} : 160 msec
	U _{clear} : 0 pu	t _{rec1} : 160 msec	U _{clear} : 0 pu	t _{rec1} : 160 msec
	U _{rec1} : 0 pu	t _{rec2} : 160 msec	U _{rec1} : 0 pu	t _{rec2} : 160 msec
	U _{rec2} : 0.85 pu	t _{rec3} : 3000 msec	U _{rec2} : 0.85 pu	t _{rec3} : 3000 msec

6. táblázat Zárlati áthidalóképesség

Forrás: NÜKSZ

3.8 Üzemzavar utáni újraindítás

Az automatikus újra kapcsolódás csak "B" típusú villamosenergia-termelő berendezés esetén engedélyezett, egyéb kategóriájú erőmű zárlati üzemzavar következtében történő leválás esetén az automatikus visszakapcsolás csak szinkronhelyzet ellenőrzés után történhet a Hálózati engedélyes vagy Rendszerirányító beleegyezésével telemechanikai úton, ami illeszkedik az áramszolgáltató, illetve a MAVIR informatikai rendszeréhez. Az erőmű indulása és hálózatra csatlakozása nem okozhat a csatlakozó hálózatokon relévédelmi kioldást.

3.9 Valós idejű adatszolgáltatás

A 0,5 MW feletti időjárásfüggő erőmű üzemirányítási pontjáról valós idejű üzemirányítási méréseket kell biztosítani a MAVIR felé. A megszokott értékeken kívül (teljesítmények, feszültségek, áramok, stb...) az 5 MW beépített teljesítményt meghaladó naperőművek a napsugárzás [W/m²] értéke mellett a gépegységek státuszáról is kötelesek valós idejű adatot szolgáltatni. A három üzemállapot egyike az **üzemelő**, aminek a bekapcsolt egységek számát kell tartalmaznia. A második az **üzemkész** állapot, ami a kikapcsolt, de bekapcsolható gépegységek számával arányos ellenben az utolsó **TMK** státusszal, ami szintén a nem termelő blokkok számával arányos, viszont ezek műszaki okok miatt nem bekapcsolhatók [14].

4. Primer diszpozíciók

4.1 Naperőmű transzformátorállomással

Az általános primer felépítés a napelemekkel kezdődik minden esetben. A napelemtáblák meghatározott számú összekapcsolása (**string**) által termelt DC feszültséget **string invertereken** keresztül állítják elő az AC feszültséget, ami kisfeszültségű kábelhálózaton csatlakozik a KIF/KÖF transzformátorállomás kapcsolóberendezéséhez. Ez lehet betonházas vagy oszloptranzsformátor. A transzformátorállomások a mezőben megtermelt villamos energiát a KÖF feszültségszintre transzformálják, és a kapcsolóállomások egyikéhez csatlakoznak. A kapcsolóállomásokban általánosságban kapcsolóberendezések, az erőmű ellátásához és működtetéséhez szükséges főbb segédüzemi elosztó, hírközlési és szünetmentes ellátás berendezései helyezkednek el. A kapcsolóállomástól termelői kábelén keresztül jut el a megtermelt energia a létesülő KÖF/NAF kV-os transzformátorig majd innen erőátviteli kábelén vagy vezetéken keresztül csatlakozik elosztói vagy átviteli alállomás gyűjtősínjéhez a gyűjtősín meghosszabbításával (mező kialakítással). Az erőművek korszerű digitális relévédelmi- és automatikai berendezésekkel, szabvány szerinti villám- és túlfeszültség-védelemmel épülnek ki. Üzemeltetésük távkezeléssel történik, a szükséges jelzések és vezérlések a kezelőhelyre kerülnek továbbításra. Nagyobb teljesítményű erőművek esetén (50 MVA és nagyobb) ez az elrendezés gyakori. A későbbiekben ezen elrendezést követve mutatom be a védelmi rendszer kialakítását.

4.2 Naperőmű transzformátorállomás nélkül

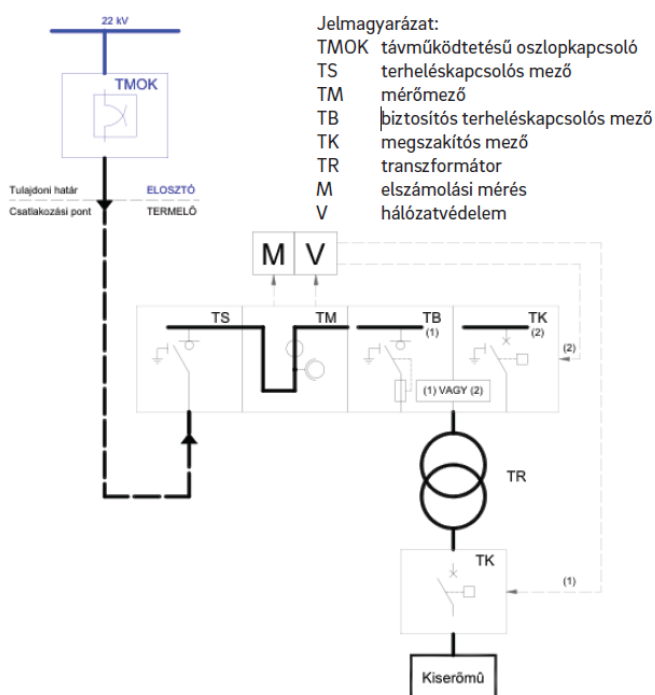
50 MVA és kisebb teljesítményű erőműveknél hasonlóan az előző elrendezéshez viszont a köztes termelői KÖF/NAF transzformátor alállomás létesítése nem szükséges kb. 20 MVA-ig, az erőmű közpfeszültségű termelői kábele csatlakozhat meglévő alállomás (pl. 132/22 kV áramszolgáltatói állomás) közpfeszültségű gyűjtősínjére. Az ennél nagyobb erőművek esetén viszont már csak a nagyfeszültségű csatlakozást hagyják jóvá, vagyis szükségessé válik a KÖF/NAF transzformáció a csatlakozás előtt.

4.3 Vezeték felhasítás

Amikor a területi elhelyezkedés nem teszi lehetővé meglévő transzformátorállomásra történő csatlakozást, az erőmű miatt létesítendő KIF/KÖF kapcsolóállomásra egy a közelben futó távvezeték vagy földkábel termelői alállomásba történő beforgatásával az erőmű csatlakozni tud villamos hálózathoz. Légvezeték esetén egyszerűen két oszlopközben lévő sodronyozást kell bontani és beforgatni a létesülő alállomásba.

4.4 Közvetlen csatlakozás közép feszültségű hálózatra

Az 5 MVA alatti erőművek közvetlenül oszlopkapcsolókon (TMOK) keresztül csatlakozhatnak KÖF szabadvezetékre.



27. ábra Közvetlen csatlakozás kiserőművek esetén

Forrás: [33]

5. Védelmi koordináció

Védelmi koordinációt, illetve egyéb általam kivitelezhető tervezési folyamatot és az előző fejezetekben említett lényeges hálózati visszahatásokat egy elméleti erőművön keresztül szeretném bemutatni. A lehetséges primer elrendezést és a védelmi rendszer kialakítását két különböző változatban mutatom be. Az erőmű egy 30 MW-os PV erőmű, ami a Győri 400/220/132 kV-os átviteli alállomáshoz csatlakozik.

Az erőmű hálózatra gyakorolt hatását először hagyományos módszerekkel tanulmányoztam. Számításaimat a 120 kV-os gyűjtősin zárlati teljesítményéből (S_z) kiindulva kezdtem el, ami egy fiktív fogalom, hiszen a zárlat pillanatában a feszültség értéke nulla, tehát az $U \cdot I$ szorzat értelmét veszti, a gyűjtősinen nincs teljesítmény áramlás, Emellett nagysága függ az aktuális üzemállapottól ezért választottam egy reális értéket.

5.1 Előzetes hálózatvizsgálat

Mögöttes hálózat impedanciája $S_z=5600 \text{ MVA}$ esetén:

$$X_m = \frac{U_n^2}{S_n} = \frac{132000^2}{5600 \cdot 10^6} = 3,11 \, \Omega \quad (20)$$

Az erőmű lekapcsolódása a hálózatról az áram értékét ugrászszerűen növeli. Az értéke:

$$I_d = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{30 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 132000} = 0,132 \text{ kA} \quad (21)$$

Ezt az áramértéket ismerve és hálózat mögöttes impedanciájával megszorozva megkapjuk a feszültségesés fázisértékét, és vonali értékét, amelyet a következő képletek alapján számoltam:

$$U_{df} = I_d \cdot X_m = 132 \cdot 3,11 = 404,3 \text{ V} \quad (22)$$

$$U_{dv} = \sqrt{3} \cdot U_{df} = \sqrt{3} \cdot 404,3 = 700,27 \text{ V} \quad (23)$$

A százalékos feszültségesés mértéke:

$$d_U = \frac{U_{dv}}{U_n} \cdot 100 = \frac{700,27}{132000} \cdot 100 = 0,53 \% \quad (24)$$

Ez az érték az előírt 2%-os határ alatt van, tehát az erőmű hirtelen leválása a hálózatról nem okoz lényeges változást a gyűjtősinen.

A számításokat a 2.2.1. pontban bemutatott összefüggésekkel is elvégezve hasonló eredményt várható. Az (2) képlet alapján:

$$\Delta U_{\%} = \frac{S_G}{S_{z,csp}} * 100 = \frac{30*10^6}{5600*10^6} * 100 = 0,53 \% \quad (25)$$

A (2) összefüggéssel számolva a feszültségesést A2XS(FL)2Y 240 mm² keresztmetszetű kábelt és ohmos terhelést feltételezve ($\varphi=0^\circ$):

Keresztmetszet	Fajlagos ellenállás (Ω/km)	Fajlagos reaktancia (Ω/km)
240 mm²	0,125	0,115

7. táblázat A2XS(F)2Y kábel fajlagos villamos paraméterei

Forrás: [32]

$$R = r * l = 0,125 * 8 = 1 \Omega \quad (26)$$

$$X_L = x_L * l = 0,115 * 8 = 0,92 \Omega \quad (27)$$

$$\tan^{-1} \frac{R}{X_L} = \frac{1}{0,92} = 47,4^\circ \quad (28)$$

$$\Delta U_{\%} = \frac{S_{Gmax} * \cos(\psi + \varphi)}{S_{z-csp}} * 100 = \frac{30*10^6 * \cos 47,4^\circ}{5600*10^6} * 100 = 0,36 \% \quad (29)$$

A harmadik bemutatott összefüggéssel (4) a feszültségváltozás értéke:

$$\Delta U_{\%} = \frac{S_{Gmax} * (R * \cos \varphi + X_L * \sin \varphi)}{U_n^2} * 100 = \frac{30*10^6 * (\cos 0^\circ + 0,92 * \sin 0^\circ)}{132000^2} * 100 = 0,17\% \quad (30)$$

Az utolsó, zárlati teljesítményértékeket felhasználó képlet (5) alapján a feszültségváltozás:

$$S_{z,kábel} = \frac{U_v^2}{x_k * l} = \frac{132000^2}{0,115 * 8} = 18940 \text{ MVA} \quad (31)$$

$$S_{z,tp} = \frac{S_{z,gys} * S_{z,vez}}{S_{z,gys} + S_{z,vez}} = \frac{5600 * 18940}{5600 + 18940} = 4322 \text{ MVA} \quad (32)$$

$$\Delta U_{\%} = S_{Gmax} \frac{S_{z,gys} - S_{z,tp}}{S_{z,gys} * S_{z,tp}} * 100 = 30 * \frac{5600 - 4322}{5600 * 4322} * 100 = 0,16\% \quad (33)$$

Az eredmények alapján az erőmű csatlakozása nem okoz lényeges változást a hálózat feszültségén.

Szoftveres számítás eredménye hasonló körülményeket feltételezve:

Teljesítmény	P = 0 MW	P = 30 MW
Feszültség	$U_n = 132,90 \text{ kV}$	$U_n = 133,01 \text{ kV}$
Feszültségesés	$dU = 0,08 \%$	
n-1 (Tét távvezeték ki)	$U_n = 132,2$	$U_n = 132,8$
	$dU = 0,45 \%$	

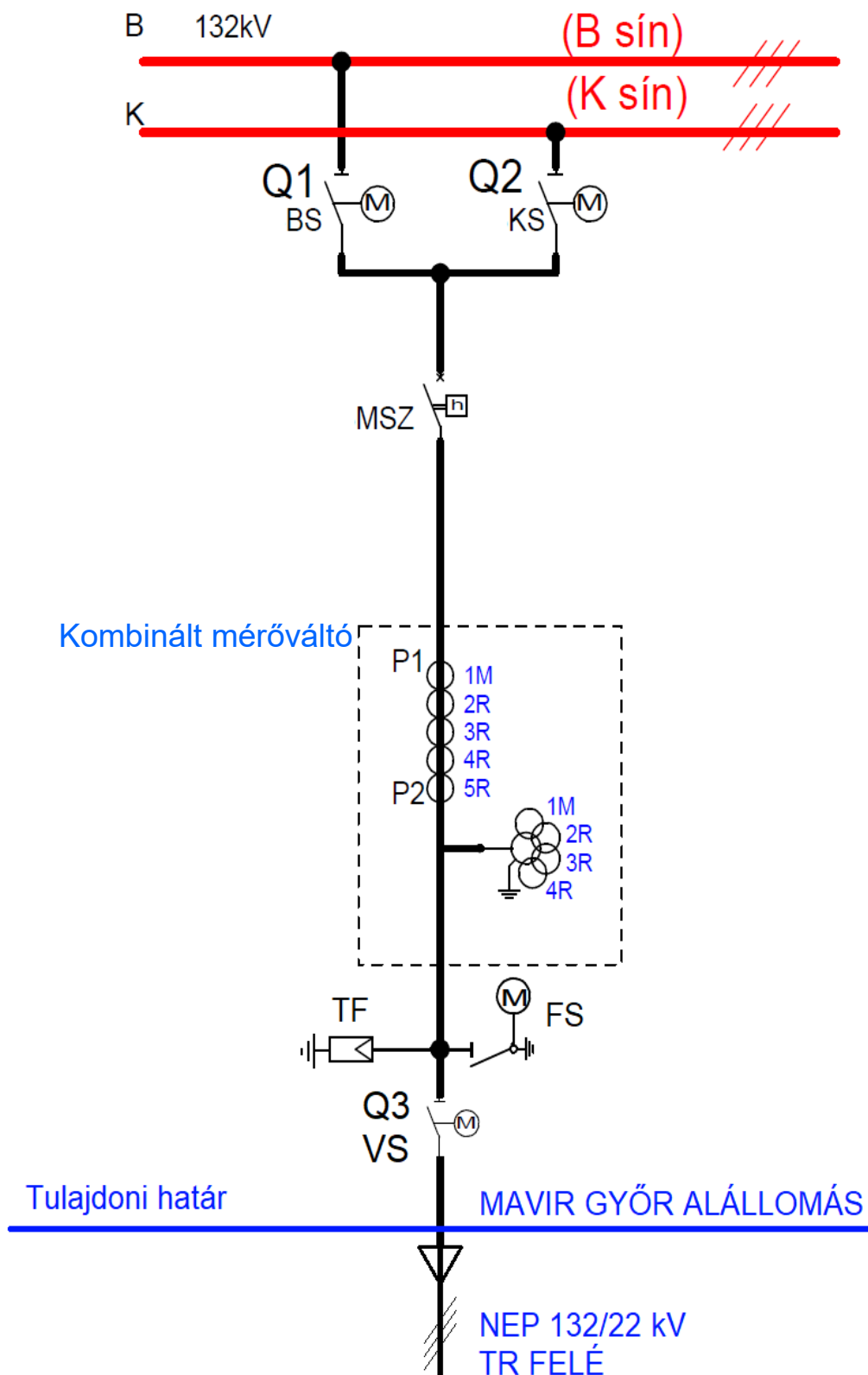
8. táblázat Neplan eredmények

A NEPLAN szimulációs végeredményei még kisebb százalékos feszültségesést mutatnak az egyszeres hibaállapotot is figyelembe véve vagyis az erőmű ebből a szempontból biztosan beépíthető.

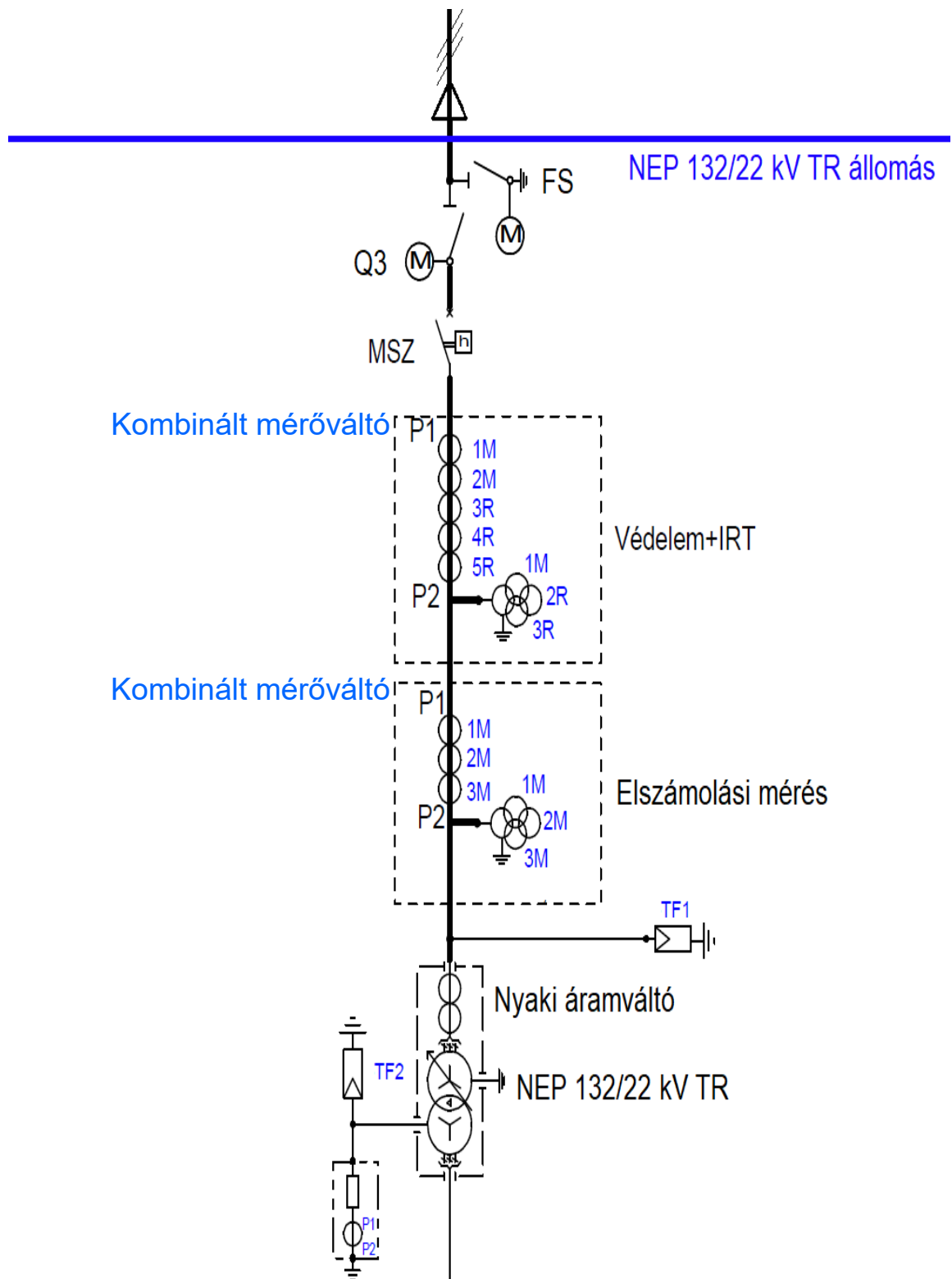
5.2 Primer felépítés

5.2.1 Két megszakító elrendezés

Az erőmű a MAVIR tulajdonú alállomás 132 kV- gyűjtősinjére csatlakozik. Fogadására egy új 132 kV-os mezőt kell kialakítani. A PV erőmű 132/22 kV-os transzformátor 132 kV-os oldalán mérőváltók, megszakító és leválasztó szakaszoló kerül beépítésre a kábelcsatlakozás előtt majd mintegy 8 km hosszú szakaszon 132 kV-os termelői kábel köti össze az erőművet a nagyfeszültségű kábelindító mezővel.



28. Ábra Egyvonalas rajz – MAVIR alállomás



29. Ábra Egyvonalas rajz – Naperőmű 132/22 kV transzformátora megszakítóval

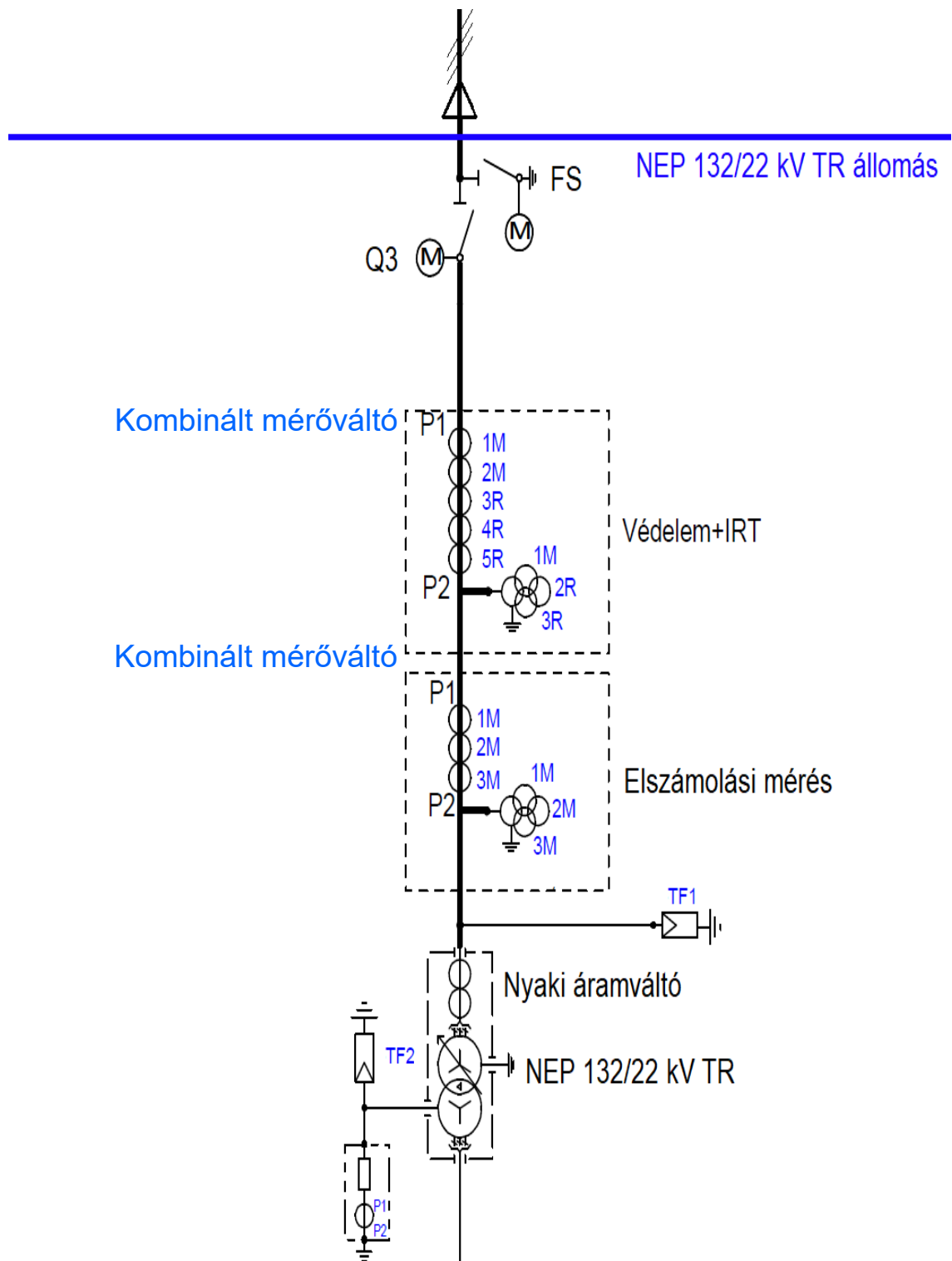
Az első elrendezés felépítésénél a kábel mindkét oldalára kerül megszakító. Mivel a transzformátor és a termelő kábel egy blokktranszformátornak felel meg, ez nem feltétlenül szükséges, elegendő csak a kábel MAVIR oldali mezőszeletében egy darab megszakító. A meglévő 132 kV-os gyűjtősín kétgyűjtősínes kivitelű, tehát a motoros hajtású **szakaszolók** gyűjtősínenként mindkét esetben szükségesek (Q1, Q2). A **kombinált mérőváltó** áramváltó és feszültségváltó relémagok szekunderköri kivezetéseit az irányítástechnikai illetve védelmi készülékek fogadják, illetve a mérési mag ellenőrző mérésként is használható, mivel az nem igényel nagy pontosságú méréseket ellenben az elszámolási mérést, ami nagyobb pontossági osztályú mérőváltókat igényel. A közös hajtású háromfázisú **megszakító** (MSZ), a mérőváltó és szakaszolók között található. A kombinált mérőváltó után található a különálló, szintén motoros hajtású **földelőszakaszoló** (FS), ami üzemzavari elhárításkor vagy karbantartáskor leválasztásra, földelésre használható [21]. A **túlfeszültség levezető** (TF) cink-oxid anyagú robbanásbiztos berendezés, ami az esetleges légköri eredetű, vagy kapcsolások során fellépő túlfeszültségek levezetésére szolgál a földelési ponthoz. Az inverterekbe beépített kombinált villámáram és túlfeszültségvédő készülékek az egyenáramú és váltakozóáramú oldalt is védik. Az elhelyezett túlfeszültség levezető bekötése 50 cm hosszabb vezetővel nem történhet. Az adott hossz a túláramvédelmi eszköztől a túlfeszültséglevezető előtét biztosítójáig, az előtét biztosítótól a túlfeszültség-levezető eszközig és a túlfeszültség-levezető eszköztől a földelési pontig, azaz föld potenciálra értendő. Ezen távolságok összege, semmi esetben sem érheti el az 50 cm hosszúságot ($l_1 + l_2 + l_3 < 50$ cm). Abban az esetben, ha ez nem biztosítható köztes földelési pontot kell létesíteni [22]. Ezt követi a **vonali szakaszoló** (VS), majd szigetelőn és kábelvégelzáron keresztül indul a 132 kV-os háromfázisú kábel, ami összeköti az alállomást a naperőmű park 132/22 kV-os transzformátorával. A 22 kV-os transzformációt nem részletezem, de feltételezzük, hogy 22/0,4 kV-os betonházas transzformátorok által történik és 22 kV-os gyűjtősínen keresztül csatlakozik a termelői transzformátorállomás középfeszültségű oldalához.

A NEP transzformátor felépítése hasonló az átviteli alállomáséhoz. A 132 kV-os kábel fogadó mező után szintén motoros hajtású földelő és vonali szakaszolóval ellátott a szintén közös hajtású megszakító előtt. Ezt követi a kombinált mérőváltó, hasonlóan a

végponti elrendezéshez viszont az elszámolási mérés igényel egy pontosabb hibaosztályú mérőváltót. Ezt követi a 132/22 kV -os csillag/delta kialakítású transzformátor szintén túlfeszültséglevezetővel. A delta tekercs csillagpontképző transzformátoron keresztül hosszú földelt kialakítású, ami kábelhálózatoknál általános, az egyfázisú földzárlati áramok csökkentése, és potenciál rögzítése miatt. A 22 kV-os oldalhoz csatlakozik a segédüzemi transzformátor (pl. 50 kVA) és a 20 kV-os kábelfogadó mező. Ezeket nem tüntettem fel minden rajzon.

5.2.2 Egy megszakító elrendezés

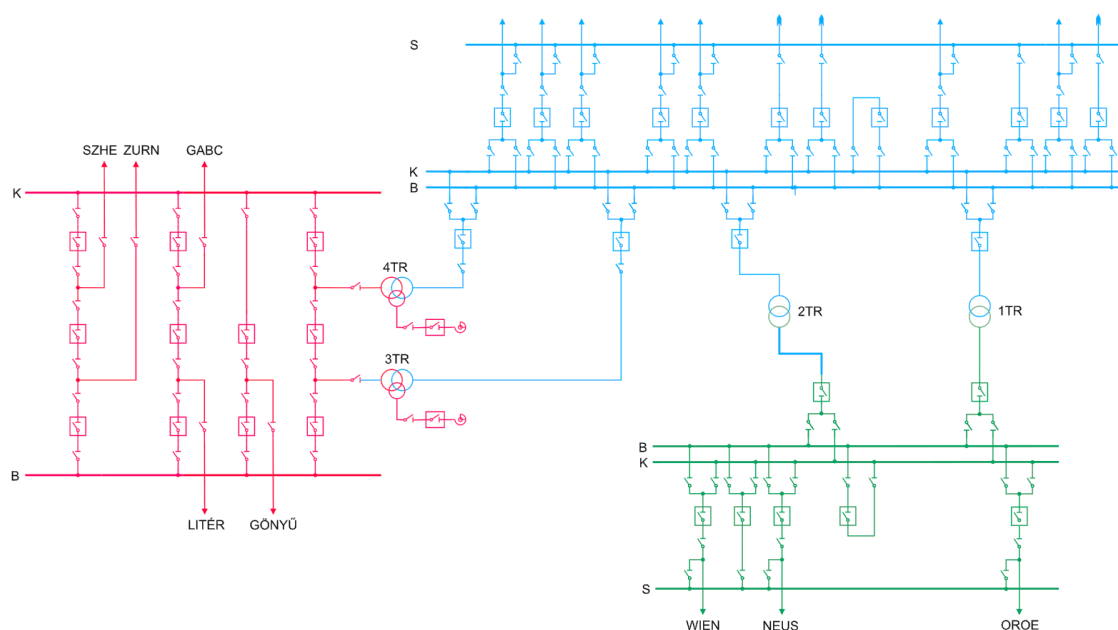
A nagyfeszültségű alállomás oldali primer elrendezés ebben az esetben nem változik, megegyezik az előző fejezetben bemutatott felépítéssel (25.ábra). A lényeges változás az erőműhöz tartozó transzformátor mezőből kimaradó nagyfeszültségű megszakító. Ez azért lehetséges, mivel a transzformátor és termelői kábel felfogható egy blokktranszformátornak és a naperőmű oldalról az inverterekbe integrált komplex védelmi egységek miatt és a napelemek fizikai felépítését figyelembe véve nagy zárlati áram nem veszélyezteti a hálózatot. A transzformátorban keletkező zárlatot digitális differenciálvédelmi funkcióval ellátott készülék, ami külső zárlatra érzéketlen. Működése a KÖF megszakítót kikapcsolja és távkioldó parancsot küld optikai jelátvitelen keresztül a tápponti jelátviteli készüléknek, ami a túloldali védelmeket működteti és pillanatműködéssel háromsarkú kioldással kikapcsolja a megszakítót. A termelői kábel zárlatakor a MAVIR alállomási védelem működik és külső feszültség hiányában az inverterek is leállnak.



30. Ábra Egyvonalas rajz – Naperrőmű 132/22 kV transzformátora megszakító nélkül

5.3 Győri alállomás felépítése

A győri 400/220/132 kV-os alállomás az átviteli hálózat fontos csomópontja egyaránt a régió ellátása és import-export forgalom szempontjából. A 400 kV-os primer csatlakozások a transzformátorokkal együtt másfél megszakító elrendezésűek. A 220 illetve 132 kV-os primer kialakítás mindkét esetben két gyűjtősínes megoldás segítségével kiegészítve. A reléházakból a segédüzemi jelzések, primer készülékek állásjelzései és mérései a kezelői munkahely felé (HÜSZ, HÜK, ODSZ) valamint fordított irányban is a működtetési parancsok a reléházak között fénykábeles kapcsolatban vannak. A védelmi készülékek jelzései és az állomási fejtűpár és adatgyűjtő számítógép (VMH) között szintén optikai jelátvitel biztosítja a kommunikációt. A VMH-ra küldött zavaró felvételek a hibás működések felderítésében nagy szerepet játszanak. A 132 kV-os leágazások védelmi, irányítástechnikai készülékei és segédüzemi szekrényei két reléházban találhatóak a központi gyűjtősínvédelmi készülékkel együtt.



31. Ábra Győri MAVIR alállomás¹

¹ A 28. Ábra nem tartalmazza az újonnan beépített 5.számú transzformátort



32. Ábra Győri MAVIR alállomás 132 kV-os egyvonalas kapcsolási rajza.

5.4 Védelmi rendszer felépítése

Az erőmű termelői kábelének védelmi rendszerét szintén két különböző változatban szeretném bemutatni. Az első változatban az elsőrendű védelem szakaszvédelem távolságvédelemmel kiegészítve. A második elrendezésben pedig csak túláram védelmi készülék használatát mutatom be. A védelmek egyik esetben sem indítanak visszakapcsoló automatikát. Ennek három oka is van. Mivel naperőművek esetén a korábbiak szerint (Rfg rendelet) csak engedéllyel történhet visszakapcsolás. Másodsorban transzformátor védelmi kioldás után pedig egyébként sem kapcsolunk vissza automatikusan, ahogy kábel csatlakozásoknál sem.

5.4.1 Általános elvárások

A védelmi készülékeknek elsősorban OVRAM alkalmassági tanúsítvánnyal kell rendelkezniük és digitális kivitelűeknek kell lenniük kivéve az autonóm zárlatvédelmi (AZT) készüléket, ami lehet analóg elektronikus. Az alapvédelmeknek eseményrögzítő illetve zavaríró funkcióval kell rendelkezniük. Ezen felül az aktuális irányelveknek is meg kell felelni, miszerint kettős alapvédelmet kell alkalmazni kábel, illetve vezeték leágazásoknál ami célszerűen két különböző gyártótól származik vagy legalább különbözik az elvi működésük. Az alapvető eszköze a távolságvédelem illetve rövid szakaszokon szakaszvédelem.

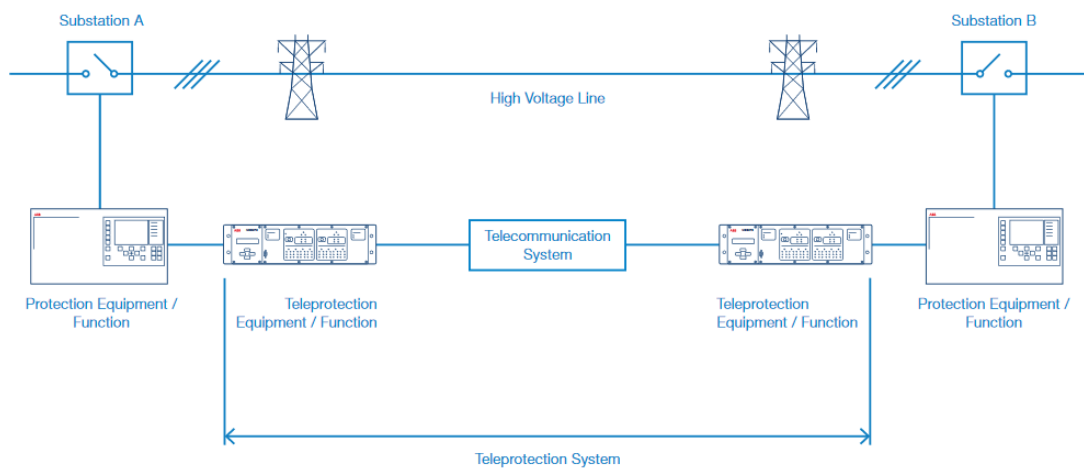
5.5 Szakaszvédelem kiegészített távolságvédelemmel

Rövid vezeték és kábelszakaszok általános védelmi megoldására szakaszvédelmet használunk távolságvédelmi kiegészítéssel. A termelői kábel mindkét oldalán elhelyezett differenciál elvű digitális szakaszvédelem pillanatműködésű minden esetben. Ehhez fénykábeles optikai jelátvitel szükséges, amit a duplázott jelátviteli készülék biztosít. Kettős jelátviteli út hiba esetén a szakaszvédelmi funkciót felváltja az impedanciacsökkenési funkció. Rövid szakaszokra a beépített 5 védelmi fokozat használta felesleges, elég az első, illetve üzembiztonság szempontjából a második fokozatot alkalmazni. A szakaszvédelem a kábel két végéről mintavételezett áram értékét hasonlítja össze Kirchhoff 1. csomóponti törvénye alapján.



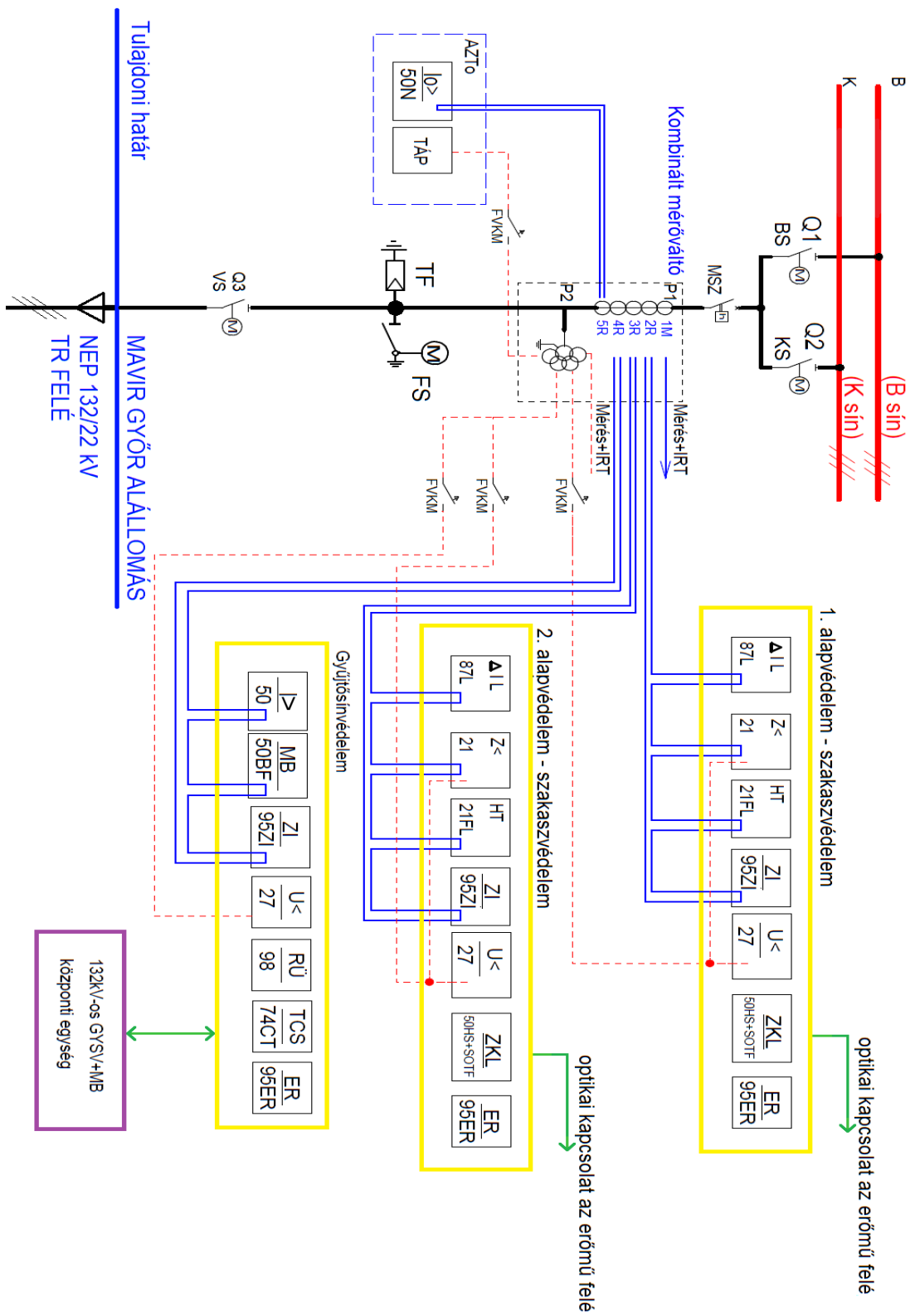
33. Ábra NSD570 jelátviteli készülék

Forrás: [abb.com]

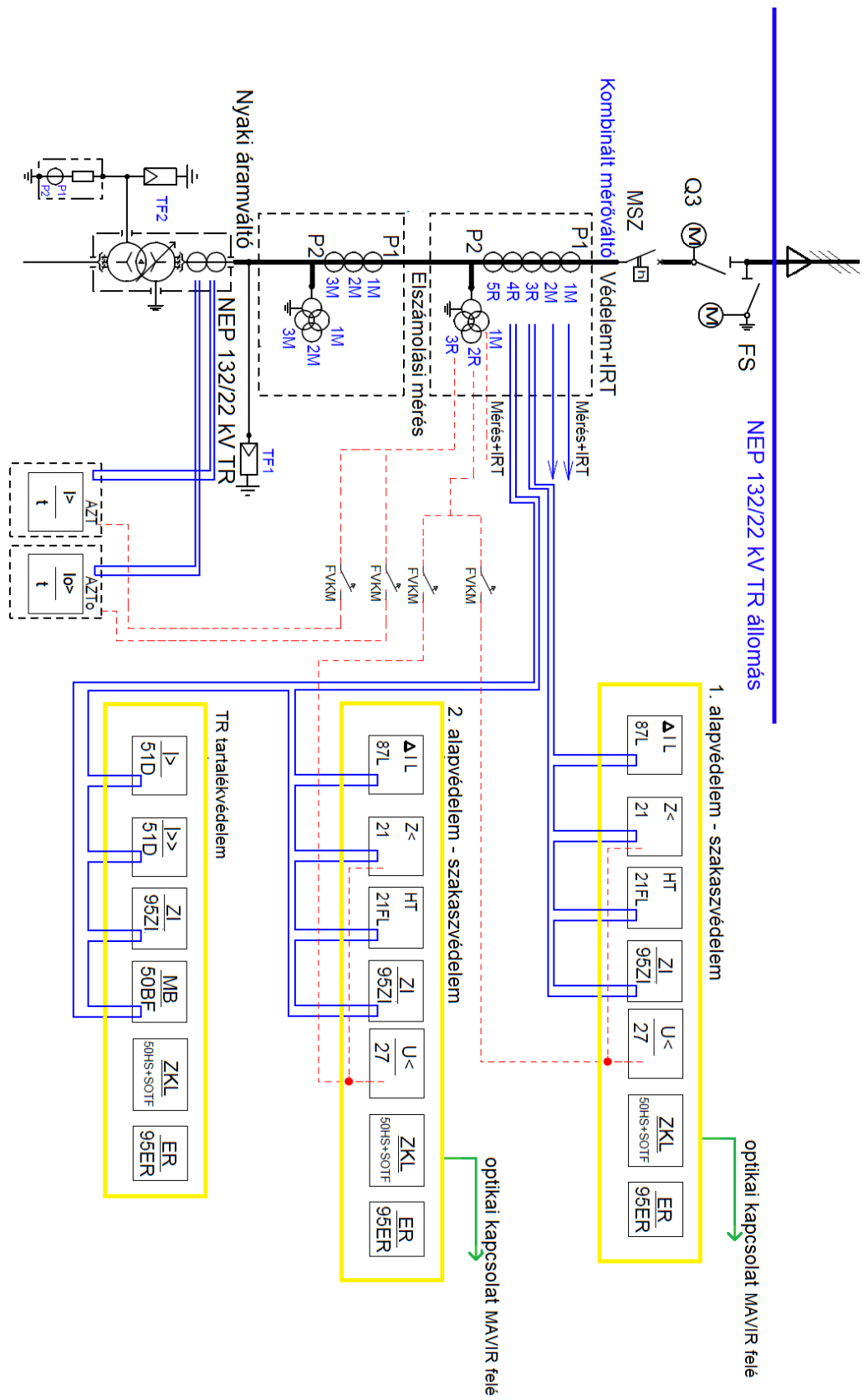


34. Ábra Védelmi rendszer általános felépítése

Forrás: [abb.com]



35. Ábra Szakaszvédelmi blokséma távolságvédelmi funkcióval MAVIR állomáson



36. Ábra Szakaszvédelmi blokkéma távolságvédelmi funkcióval NEP TR állomáson

A szakaszvédelmi készülékekbe integrált funkcióblokkok értelmezése:

- $\Delta IL/87L$ – szakaszvédelem
- $Z<21$ – távolsági (impedanciacsökkenés) védelem
- $HT/21FL$ – hibahely távmérő
- $ZI/95ZI$ – zavarító funkció
- $U<27$ – feszültség csökkenési védelem (feszültségretesz)
- $ZKL/50HS+SOTF$ – zárlatra kapcsolási logika
- $ER/95ER$ – Eseményrögzítő

Gyűjtősinvédelmi készülékbe integrált funkcióblokkok értelmezése:

- $I>/50$ – pillanatműködésű túláram érzékelés
- $MB/50BF$ – megszakító beragadás elleni védelem
- $ZI/95ZI$ – zavarító funkció
- $U</27$ – feszültség csökkenési védelem (feszültségretesz)
- $RÜ/98$ – rendellenes üzemi elleni védelem
- $TCS/74CT$ – megszakító KI kör figyelés
- $ER/95ER$ – Eseményrögzítő

Naperőmű transzformátor oldali szakaszvédelmek felépítése megegyezik a MAVIR állomáson található védelmek működésével. Ezt csak kiegészítettem egy transzformátor tartalékvédelemmel. A teljeskörű transzformátorvédelmet a későbbiekben mutatom be. A tartalékvédelemben alkalmazott funkcióblokkok értelmezése:

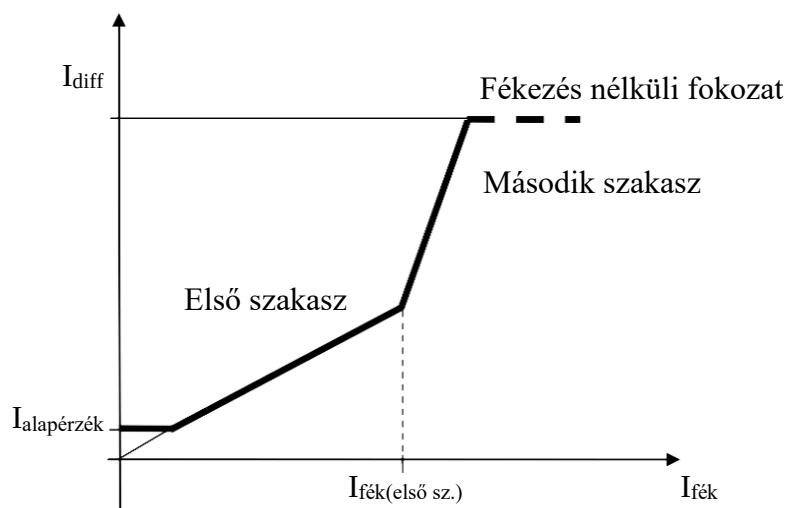
- $I>/51D$ – független késleltetésű túláramvédelem (kisáramú)
- $I>>/51D$ – független késleltetésű túláramvédelem (nagyáramú)
- $ZI/95ZI$ – zavarító funkció
- $MB/50BF$ – megszakító beragadás elleni védelem
- $ZKL/50HS+SOTF$ – zárlatra kapcsolási logika
- $ER/95ER$ – eseményrögzítő

Az AZT készülékek funkciói:

- $I_0>/50N$ – zérussorrendű független késleltetésű túláramvédelem
- $I>t$ és $I_0>t$ – független késleltetésű túláram és zérussorrendű túláram idő védelem

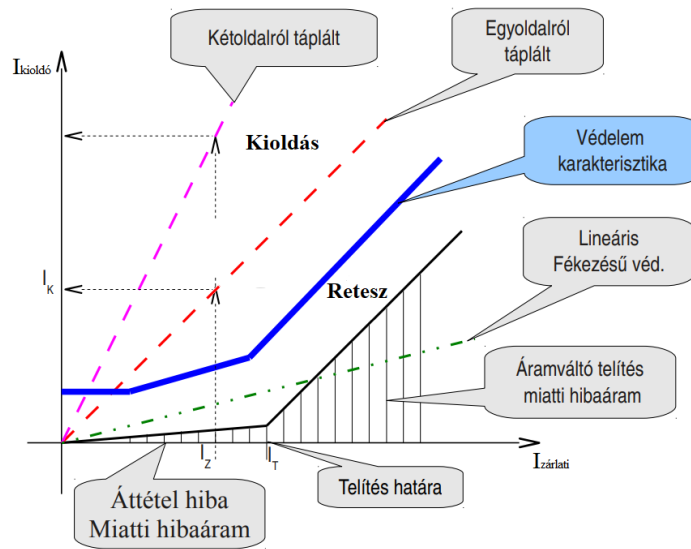
5.5.1 Védelmi rendszer működése

A két alapvédelem feladata a kábelszakasz teljes hosszán fellépő fázis és földzárlatok hárítása. Ennek céljára rövid szakaszokon szakaszvédelmi készülék alkalmazása célszerű. A védelem a kioldással egyidejűleg indítja a megszakító beragadás elleni védelmét, amit a leágazási gyűjtőszínvédelmi készülék fogad. Kettős jelátviteli út hiba esetén a szakaszvédelem nem tud működni, ezért távolsági védelmi funkcióval is rendelkeznie kell a készüléknek. A két alapfunkció mellett a védelmi készülékek, az elvárásoknak megfelelően rendelkeznek hibahely távmérő, zavaríró és eseményrögzítő funkciókkal. Ez segíti az indokolt, illetve indokoltalan működések vizsgálatát. A védelem áram és feszültségbemeneteire a kombinált mérőváltó relémagjainak szekunder kivezetései vannak kapcsolva. A **feszültségváltó kisautomata (FVKM)** lekapcsolt állapotban vagy meghibásodása esetén a távolságvédelmi funkciót bénítja. A fékezett karakterisztikájú szakaszvédelmi funkció fázisonként mérőelemmel folyamatosan méri a bemeneteire kapcsolt mennyiségeket valamennyi zárlati hurokban, illetve összehasonlítást végez a túloldali szakaszvédelmi készülékkel és zárlat esetén késleltetés nélküli 3 fázisú önálló kioldást ad a 132 kV-os megszakító 1. és 2. KI tekercseire. A működés lényege mindkét oldalon mintavételezett fázisáramokból számolt Fourier alapharmonikusok összehasonlítása [23] [24].



37. ábra Szakaszvédelem fékezett karakterisztikája

Forrás: [protecta.hu]



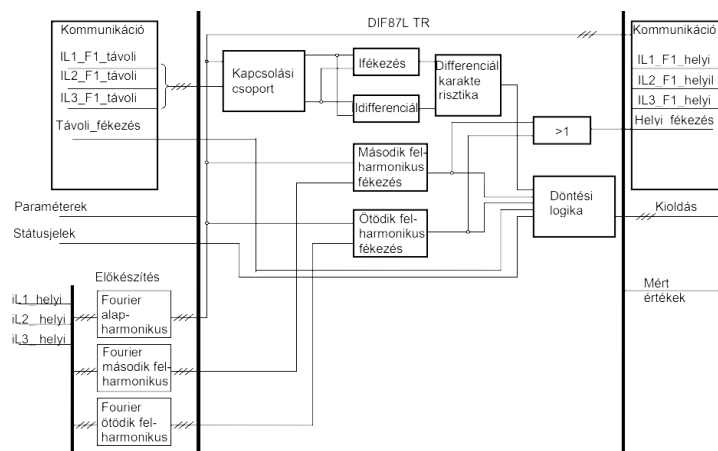
38. ábra Szakaszvédelem működési karakterisztika

Forrás: [25]



39. ábra E2-DTVA OX készülék

Forrás: [protecta.hu]



40. ábra Szakaszvédelem algoritmus

Forrás: [protecta.hu]

A **szakaszvédelem jelleggörbéje** a pontatlan áramváltók telítődése miatt nem lehet lineáris. Mivel a védelem érzékenysége a zárlati áramoknál, ami nagyságrendekkel nagyobb az üzemi áramnál, változik ezért a relé meghúzási értékét nem lehet egyszerűen beállítani. A fékezés meredeksége a megszólalási érzékenységet tompítja. Pontos mérése lehetetlen ezért a gyakorlatban a védelem karakterisztikáját lehet túl érzékenyre is állítani, ami indokolatlan működést eredményez és lehet érzéketlen, ami szintén nem kívánatos. A fékezés meredeksége minél kisebb (30-40%) annál érzékenyebb. Az áramváltók telítődését zavarító felvételek alapján lehetne tanulmányozni és ezáltal a meredekség pontosabb beállítására lenne lehetőség, de ezzel nem szoktak foglalkozni, hanem egyaránt az áramszolgáltató és az OVRAM a saját bevált értékeiket használja.

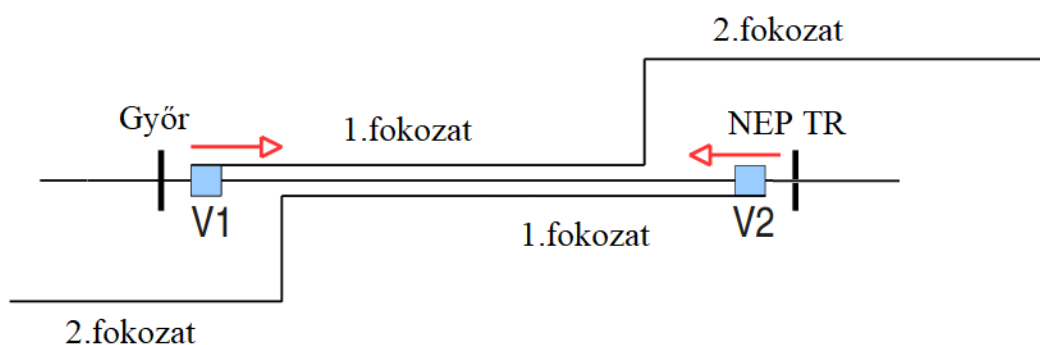
A **távolságvédelmi funkció** lépcsős karakterisztikájú **impedanciacsökkenési** védelem. A fokozatok beállítását úgy kell beállítani, hogy a szelektív működés fennmaradjon, felesleges működés ne történjen. Mivel zárlatkor az áram megnövekszik a feszültség pedig hirtelen letörik, ezáltal az impedancia is csökkenni fog, így az impedanciacsökkenési relé beállított értéke alatt a védelem működni fog. Szakaszvédelem esetén ez a funkció csak tartalékként szerepel, mivel a kettős optikai jelátvitel hibája valószínűtlen és a kis távolságot is figyelembe véve a távolsági védelembe integrált három előre néző és két tetszőlegesen választható fokozat használata értelmetlen. Az első fokozatot úgy kell beállítani, hogy semmiképp se lásson túl a naperőmű transzformátoránál. A második fokozatnál minimum és maximum feltételt kell meghatározni a szelektivitás érdekében. Ezt késleltetéssel kell beállítani. A második fokozat maximum értékét nem szükséges ellenőrizni, mivel a transzformátor reaktanciája sokkal nagyobb lesz, mint a minimum fokozat számolt értéke. A védelem ötödik hátra néző fokozata tartalék gyűjtősin védelmet biztosít. A feltételes túlfedés mindkét szakaszvédelem bénított állapotában és jelátvitel hiányában automatikusan élesedik.

$$X_{v1}^{\text{első fokozat}} \leq \frac{X_{k\acute{a}bel}}{1+\varepsilon} = \frac{x_k * l}{1+\varepsilon} = \frac{0,2*8}{1+0,15} = 1,37 \, \Omega \quad (34)$$

$$X_{v1}^{\frac{\text{második fokozat}}{\text{minimum feltétel}}} \geq \frac{X_{k\acute{a}bel}}{1-\varepsilon} = \frac{x_k * l}{1-\varepsilon} = \frac{0,2*8}{1-0,15} = 1,88 \, \Omega \quad (35)$$

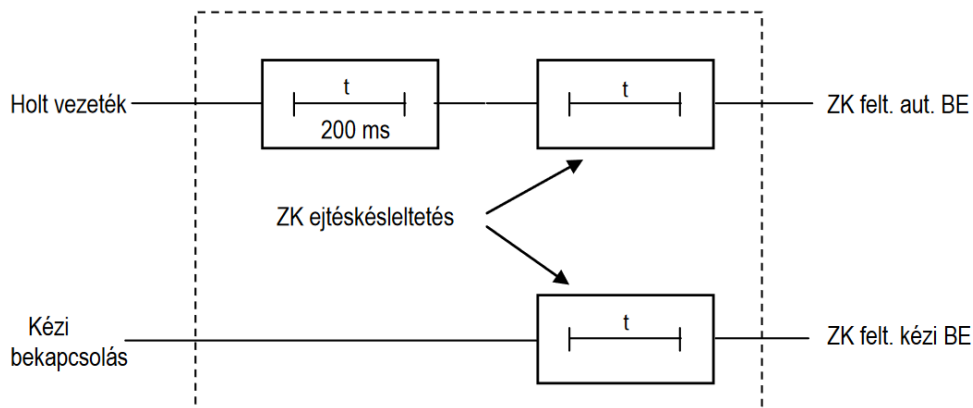
$$X_{v1}^{\frac{\text{második fokozat}}{\text{maximum feltétel}}} \leq X_{TR} = \frac{\varepsilon}{100} * \frac{U_n^2}{S_n} = \frac{10}{100} * \frac{132000^2}{25*10^6} = 69,7 \, \Omega \quad (36)$$

Az első fokozat beállítása $1,37\ \Omega$ vagy ennél kisebb érték késleltetése pedig nincs. A második fokozatnak a minimum feltételnél nagyobb, a maximum feltételnél kisebbnek kell lennie. Maximum feltételnél a naperőmű képzeletbeli 132/22 kV-os transzformátor reaktanciájánál kell kisebbnek lennie a második fokozat beállításának. A transzformátor reaktanciáját a valóságban előforduló névleges teljesítmény és dropp adatokkal helyettesítve számoltam. Beállítási javaslat $2\ \Omega$, késleltetése $t = 0,5\ \text{sec}$. A túlfedéses vezérlés a második fokozatot is gyorsítja, vagyis pillanatműködésű lesz.



41. Ábra Távolságvédelem karakterisztika

A beállításokat a kábel mindkét végén található készülékben el lehet végezni. Az alkalmazott védelmi készülékek **zárlatra kapcsolási logikája** kézi BE parancs hatására élesedik. Amennyiben be parancsot követő 5 másodpercen belül ébred a védelem (irányítatlan fokozat) akkor háromfázisú, késleltetés nélküli végleges kioldást ad a megszakító 1. és 2. KI tekercsére. Illetve a megszakító bekapcsolásának pillanatában nem tudjuk, hogy éppen zárlatos-e a kábel ezért ebben az esetben is indul a védelem.



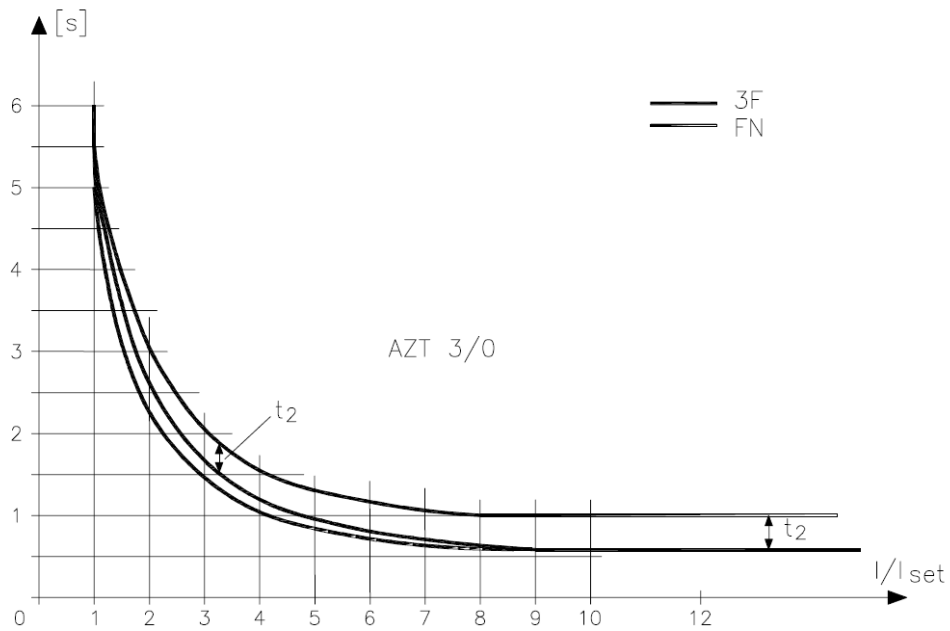
42. Ábra Zárlatra kapcsolás érzékelő funkció

A **feszültségcsökkenési védelem retesz** az indokolatlan működések elkerülésére szolgál, mivel előfordulhat olyan eset, hogy az áram megnövekszik, de a feszültség ép, ellenben a zárlati jelenséggel, amikor a feszültség jelentősen csökken, az áram pedig nagyságrendekkel növekszik.

Az optikai differenciálevű önálló **gyűjtősínvédelem** feladata az alállomás 132 kV-os gyűjtősínjén fellépő zárlatok érzékelése és megszüntetése. Elvi működése szintén Kirchhoff csomóponti törvényére vezethető vissza. A **központi készülék** fogadja a **leágazási készülékek** áramértékeit amit előjelhelyesen összegez és ha a differencia beállított értéknél nagyobb, valamint van feszültség letörés akkor kiold a védelem. Működése esetén késleltetés nélkül, háromsarkúan kikapcsolja a gyűjtősínre szakaszolt legázások és tiltja a leágazások visszakapcsoló automatikáját és jelzést ad. A védelmi készülék optikai kapcsolattal kell összekötni a központi készülékkel, amit bővíteni kell az új készülék fogadása miatt. Ezt lehet egyszerűen paraméter beállításokkal és konfiguráció módosítással, ha van szabad tartalék kártya a készüléken, vagy ha nincs a gyártó végzi el a feladatot. A védelem működéséhez szükséges a leágazó mezők 132 kV-os megszakítóinak és gyűjtősín szakaszolóinak állapotjelzése. A védelem osztott gyűjtősínes üzem esetén képes a hibás sínszakasz kiválasztására és csak az érintett leágazások kikapcsolására, ezért a védelem működéséhez szükséges a 132 kV-os gyűjtősín mező szakaszolóinak állapotjelzése is. A gyűjtősín differencia elvű védelmek sínre szelektív fázisonkénti mérőelemmel rendelkező, mezőszelektív készülék. A mező védelmei bináris bemeneten keresztül indítják a megszakító beragadás elleni védelmét. Ha az indítás és a védelmi kioldás a beállított időn belül nem esik vissza, valamint a mezőkészülék által mért áram sem szűnik meg, akkor kioldó parancsot küld a környező megszakítókra [27]. A **rendellenes üzem elleni védelem** késleltetéssel kikapcsolja a megszakítót a sántaüzem elkerülés érdekében.

A különálló, **autonóm zérussorrendű túláramvédelmi** (AZT) készülék tartalékvédelemként működik a kábelszakasz mindkét oldalán. Feladata késleltetéssel hárítani földzárlati hibaáramokat az alapvédelmek működésének elmaradásakor és az egyenáramú tápfeszültség kiesésekor. A védelem zárlat esetén a zárlati áram nagyságától függő beállított késleltetéssel autonóm kioldást ad a leágazási megszakító KI tekercsére.

Az AZT készülékek saját kondenzátoraiban tárolja a megszakító működtetéséhez szükséges energiát [28].



43. Ábra AZT 3/0 működése zárlati áram nagyságától függően

Forrás: [protecta.hu]



44. Ábra AZT+ készülék

Forrás: [protecta.hu]

5.6 Túláram idő védelem

Második esetben a védelmi rendszer felépítését csak túláram idő védelmi készülékek alkalmazásával valósítottam meg. Ebben az elrendezésben a termelői kábel védelmére csak a kábel MAVIR állomás oldali reléterébe kell védelmi készüléket alkalmazni. Ez a költségeket csökkenti ugyanúgy, mint a közös megszakító alkalmazása. Az első számú alapvédelem egy független túláram-idő védelmi készülék (pl. protecta DTI). A második alapvédelem a leágazás gyűjtőszínvédelmi készülékébe integrált gyors, illetve lassú fokozatú, szintén túláram-idő védelmi egység zérussorrendű független késleltetésű túláramvédelemmel kiegészítve. A gyorsfokozat beállítását úgy kell elvégezni, hogy a 132/22 kV-os naperőmű transzformátor 22kV-os zárlati áramánál nagyobb legyen. Zárlatszámításhoz használt séma:



45. Ábra Zárlatszámítási séma

A transzformátor 22 kV-os oldalára számolva a 3F maximális zárlati áramot saját zárlati teljesítmények módszerével számolva. Az első lépés a kábel teljesítményének meghatározása:

$$S_{zk} = \frac{U_n^2}{x_k \cdot l} = \frac{132000^2}{0,2 \cdot 8} = 10890 \text{ MVA} \quad (37)$$

A transzformátor saját zárlati teljesítménye:

$$S_{zTR} = \frac{100}{\varepsilon} \cdot S_n = \frac{100}{10} \cdot 25 \cdot 10^6 = 250 \text{ MVA} \quad (38)$$

A 22 kV-os oldal gyűjtőszínjén a zárlati teljesítmény:

$$S_{z22kV} = S_{zMH} \times S_{zk} \times S_{zTR} = 234,17 \text{ MVA} \quad (39)$$

Zárlati áram a gyűjtőszínen:

$$I_{z3F/22kV} > \frac{S_{z22kV}}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{234,17 \text{ MVA}}{\sqrt{3} \cdot 22000} = 6,15 \text{ kA} \quad (40)$$

A túláram-idő védelem **gyorsfokozatát** 10-30%-kal nagyobbra kell állítani az I_{z3F} értékétől, hogy a védelem ne „lásson” át a transzformátoron, biztosítva a szelektív működést és időt hagyva a 22 kV-os oldali védelmek működésére. Javasolt primer beállítás értéke: $I_{>>} = 7,38 \text{ kA}$.

A második késleltetett fokozatot úgy kell beállítani, hogy értéke nagyobb legyen a 25 MVA-es transzformátor névleges áram értékénél, de kisebb legyen, mint a 22 kV-os oldalon fellépő legkisebb zárlati áram értéke. Ezáltal fedő védelemként fog funkcionálni a transzformátor 20-as oldali védelmeinek. Késleltetését úgy kell beállítani, hogy a transzformátor belső zárlatai esetén ne a túláram védelem működjön, hanem elsősorban a transzformátor differenciál védelmei.

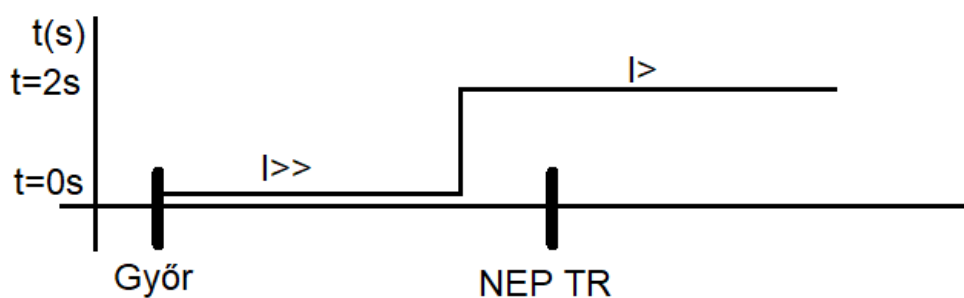
$$I_{zmin/22kV} = I_{z2F} = \frac{\sqrt{3}}{2} * I_{z3F} = 5,33 \text{ kA} \quad (41)$$

$$I_{nTR} = \frac{S_n}{\sqrt{3} * U_n} = \frac{25 \text{ MVA}}{\sqrt{3} * 132000} = 109,35 \text{ A} \quad (42)$$

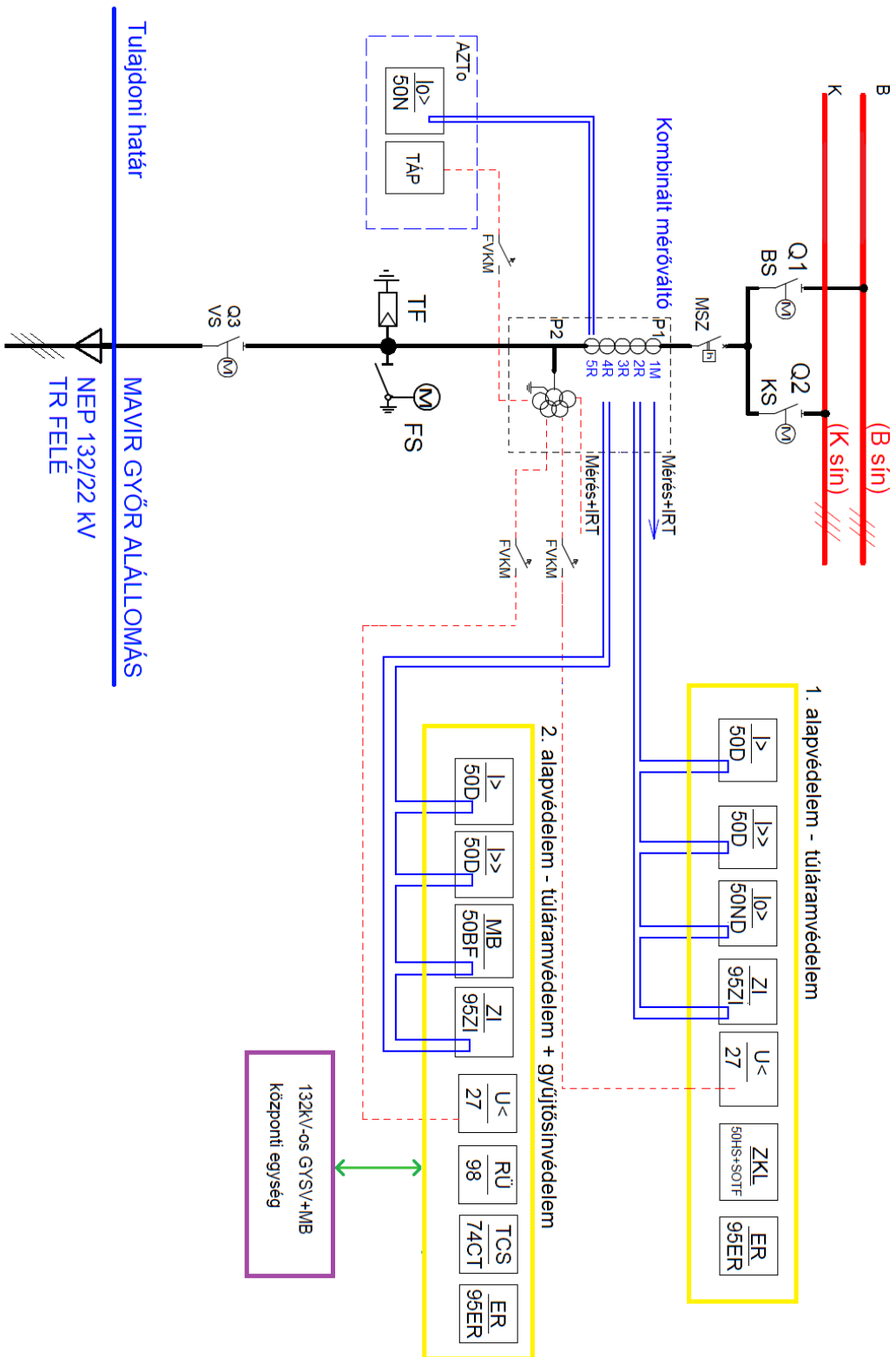
A **lassú fokozat** beállítási értéke:

$$I_{z2F} * 0,8 \geq I_{lassú} \geq 1,2 * I_{nTR} \quad (43)$$

$I_{>} = 140 \text{ A}$ (primer áram), késleltetése 1,5 másodperc beállítástól függően.

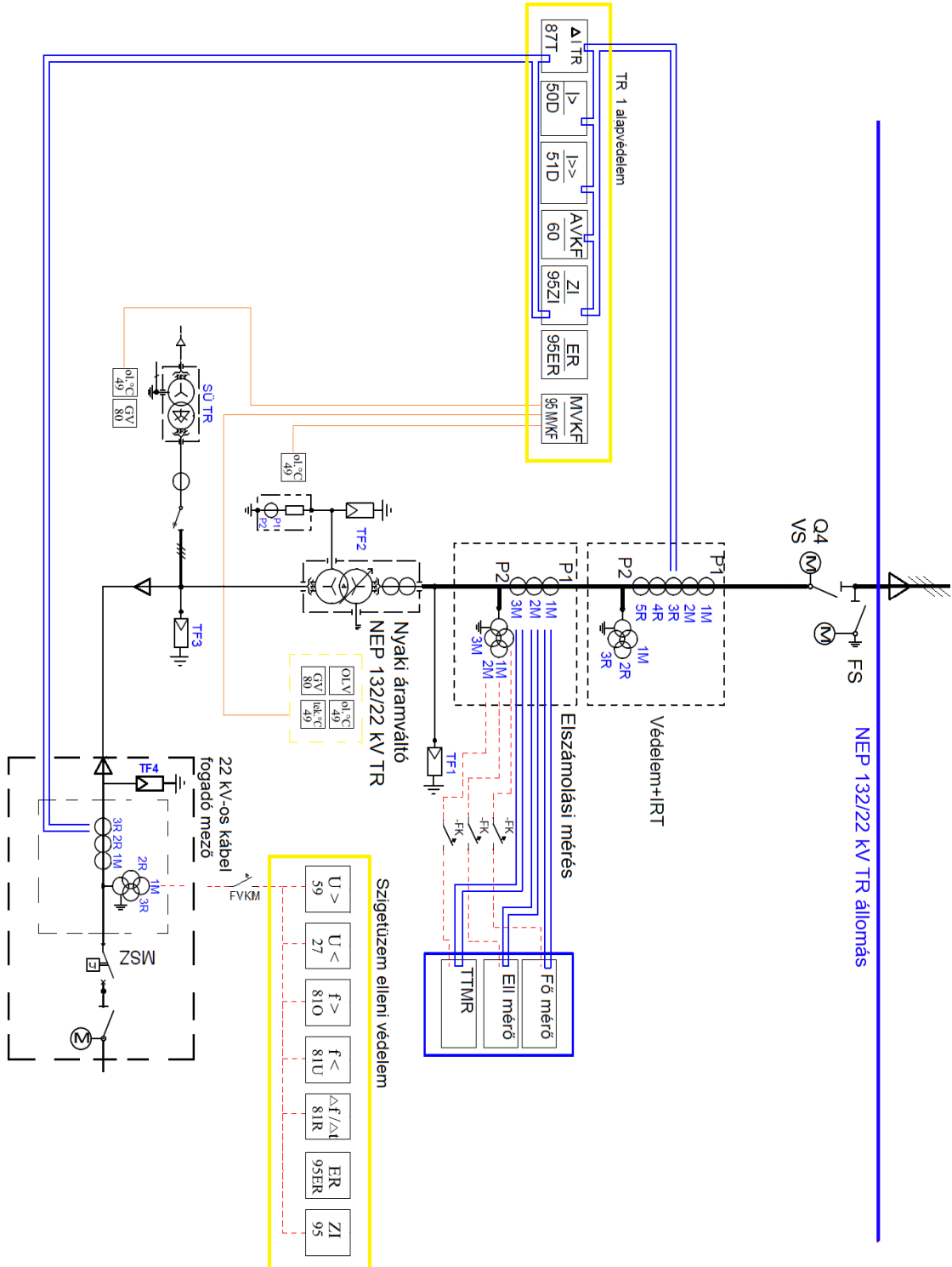


46. Ábra Túláram-idő védelem karakterisztika



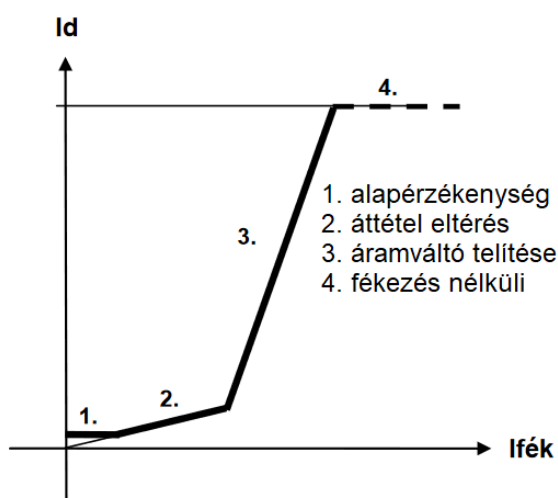
47. Ábra Túláram-idő védelmi blokséma MAVIR alállomás

5.7 Napórőmű transzformátor védelme



48. Ábra Transzformátor védelem

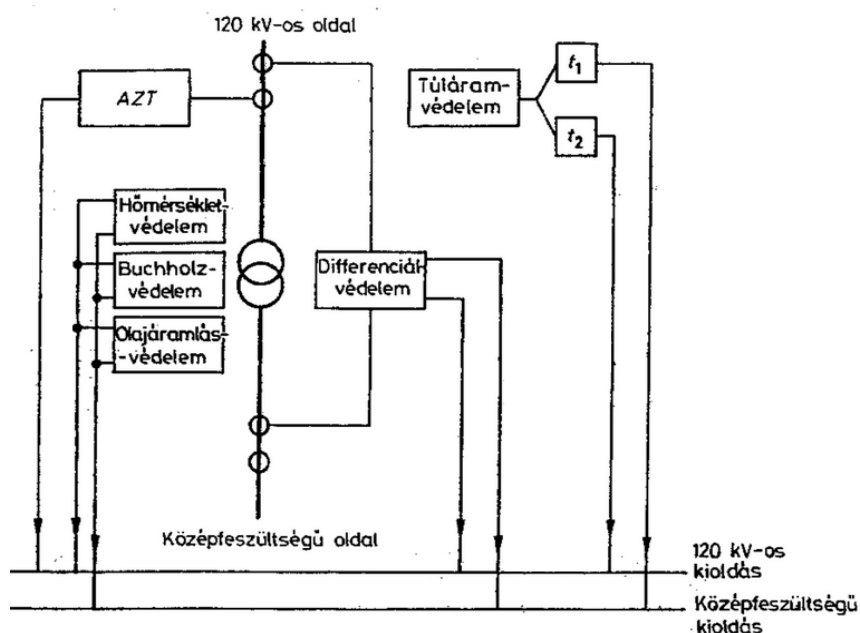
Az erőmű 132/22 kV-os transzformátorának komplex védelmi rendszerének alapvédelme a transzformátor **differentiálvédelem** ($\Delta ITR/87T$). Az elrendezés mindkét korábban bemutatott védelmi koordináció esetén azonos. A szakaszvédelmes megoldásban (34.ábra) a TR tartalékvédelmi készülék a transzformátor 22 kV-os oldali fedővédelme. Ez az egyszerűsített, csak digitális túláram idő védelmi egységek használatánál nem szükséges, mivel a kis áramú ($I > 50D$) tag ezt a funkciót kielégíti, valamint a transzformátor differentiálvédelmi készülékében is megtalálható ez a funkció a gyorsműködésű túláramvédelem mellett. Differentiálvédelmi egységgel minden 10 MVA-feletti transzformátornak kell rendelkeznie, ami működése során minden belső zárlatra késleltetés nélkül kikapcsolja a transzformátor megszakítóit, de külső zárlatokra érzéktelenek. A modern védelmi készülékek szoftveres fékezett, több töréspontú karakterisztikával rendelkeznek a külső zárlatok ignorálása érdekében, valamint a bekapcsolási áramlökés és a zárlati áram megkülönböztetésére Fourier transzformációt alkalmaznak, ami a felharmonikusok szűrésével lehetséges [29] [30].



49. Ábra Fékezési karakterisztika

Forrás: [29]

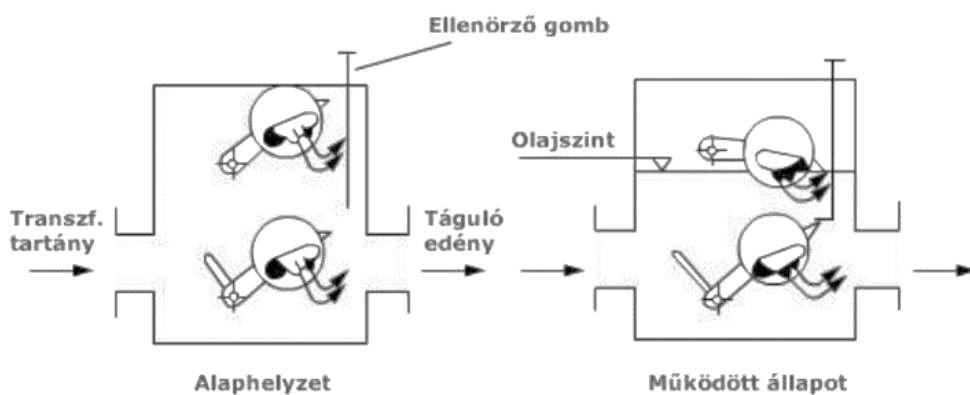
A négy szakasz az ábrán is feltüntetett állapotoknak felel meg. Az első szakasz az alapérzékenység beállítására míg a második az áttétel eltérés kiegyenlítésére szolgál. A harmadik szakasz az áramváltó telítődése miatti hibás működés elkerülése érdekében sokkal meredekebb és az utolsó negyedik szakasz a nagyáramú, fékezés nélküli karakterisztika.



50. Ábra Transzformátor védelmi rendszere

Forrás: [31]

A **mechanikus védelmek** [MVKF] a transzformátor, segédüzemi transzformátor, illetve a hosszúföldelő ellenállás olajlökés, gáz, tekercs és olajhőfok védelmére szolgálnak. Gázfejlődéssel járó belső hibákra **Buchholz** relét alkalmazunk a hazai gyakorlathoz híven védelem gyanánt, ami a transzformátor megszakítóit kikapcsolja. A differenciál védelem működése esetén minden feszültség szint megszakítóját kikapcsolja és indítja a megszakító beragadás elleni védelmét.



51. Ábra Buchholz relé működése



52. Ábra Buchholz relé

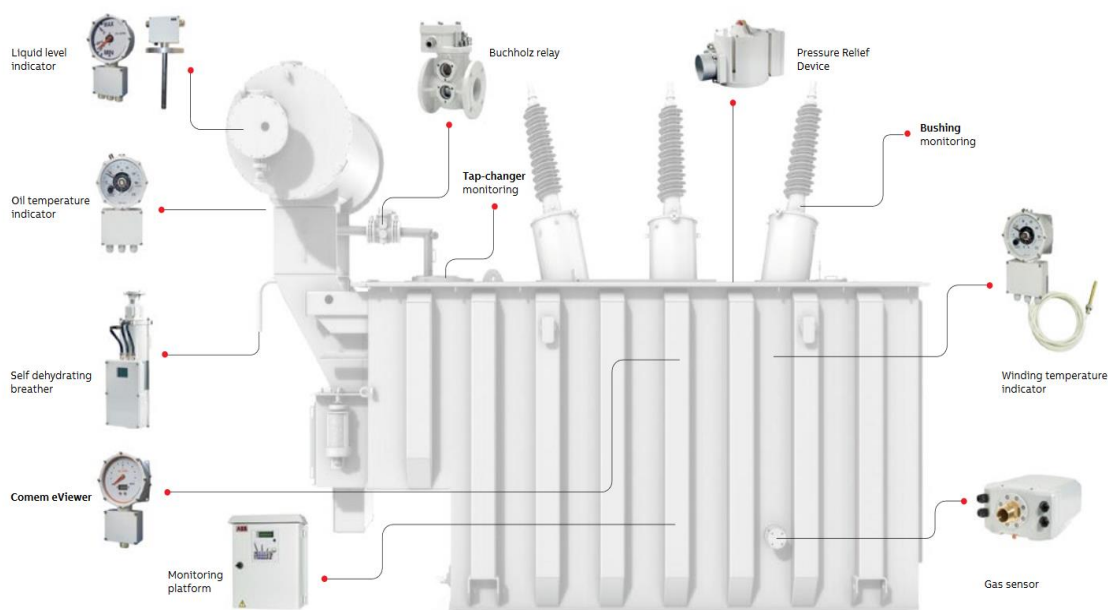
Forrás: [abb.com]

Az olaj, illetve tekercs túlmelegedése a szigetelés épségét veszélyezteti ezért **hőfokvédelem** alkalmazása szintén elengedhetetlen. Tekercs hőfokvédelemre **PT100** típusú ellenállás hőmérő szenzort helyeznek a transzformátor tekercs közelébe és az ellenállás értékéből lehet következtetni a melegedésre. Az ellenállás értéke a hőmérséklet növekedésével arányos.



53. Ábra PT 100 szenzor

Az olajszivárgás, belső zárlatok esetén keletkező ív és közeli zárlatok esetén a zárlat dinamikus hatása miatt a transzformátor tekercsei elmozdulhatnak ami hirtelen olajáramlást eredményez. Erre szolgál az **RS 1000** mechanikus olajlökés védelem, ami az olajáramlás sebességét méri a zárt konzervátor csőrendszerben.



54. Ábra Transzformátor mechanikus védelmi rendszere

Forrás: [abb.com]

5.8 Szigetüzem elleni védelem

A védelmi egység feladata a kommunális szigetüzem megakadályozása. A védelem önálló kioldást ad a transzformátor betápláló 22 kV-os megszakítójának 1. és 2. KI tekercsére, és indítja a megszakítóberagadás védelmét. Szükség esetén jelátviteli készülékeken keresztül a napelempark kapcsolóállomásaiban kioldó körvezeték kiépítésével az összes csatlakozó erőművi egységek kábelszakaszok is kikapcsolhatók. A vektorgrás elleni védelem alkalmazása nem kötelező, funkcióját az irányelvek szerint felválthatja frekvencia változás védelmi funkció.

5.8.1 Független késleltetésű feszültségemelkedési védelem ($U > 59$)

Beállítása: $U_{be} = 1,1 \cdot U_n$, $t_{be} = 3\text{sec}$

5.8.2 Független késleltetésű feszültségcsökkenési védelem ($U < 27$)

Beállítása: $U_{be} = 0,9 \cdot U_n$, $t_{be} = 3\text{sec}$

5.8.3 Frekvencia növekedési védelem ($f > 810$)

Beállítása: $f_{be} = 51,5\text{ Hz}$, $t_{be} = 0,4\text{sec}$

5.8.4 Frekvencia csökkenési védelem ($f < 810$)

Beállítása: $f_{be} = 47,5\text{ Hz}$, $t_{be} = 0,4\text{sec}$

5.8.5 Frekvenciaváltozás sebesség védelem (df/dt)

Beállítása: $df/dt = 0,5\text{Hz/sec}$, $t_{be} = 5\text{sec}$



55. Ábra S24-DSZIV szigetüzem elleni védelmi készülék

Forrás: [protecta.hu]

6. Elszámolási mérés

Az elszámolási mérők MAVIR Zrt. előírásai szerint (MAVIR EMBK irányelv: Irányelv az AVE, NVE rendszer elszámolási célú mérőberendezéseire és a mérési központok kialakítására) hitelesített mérőberendezéseket kell alkalmazni. Az SL7000-es típusú mérőkészülékeknek a felek részére táv lekérdezést biztosítani kell. A mérőberendezés 2 kommunikációs porttal rendelkezik, RS232 és RS485. Az RS485-ös adatkapcsolatokat csatolókon keresztül kell közösíteni. A közösített busz GSM/GPRS modemhez csatlakozik. A modemen keresztül telefonvonalakon lekérdezhetők a mérőkészülékek. Az elszámolási mérők RS232 portján keresztül RS232 típusú Ethernet átalakító alkalmazásával a mérőkészülékek csatlakoztathatóak egy switchhez. A switch RJ 45-ös rendezőn keresztül csatlakozik a kiépítésre kerülő NG-SDH berendezéshez. Így az elszámolási mérőkészülékek adatkapcsolata biztosított lesz a MAVIR elszámolási célú zárt Ethernet hálózatához.



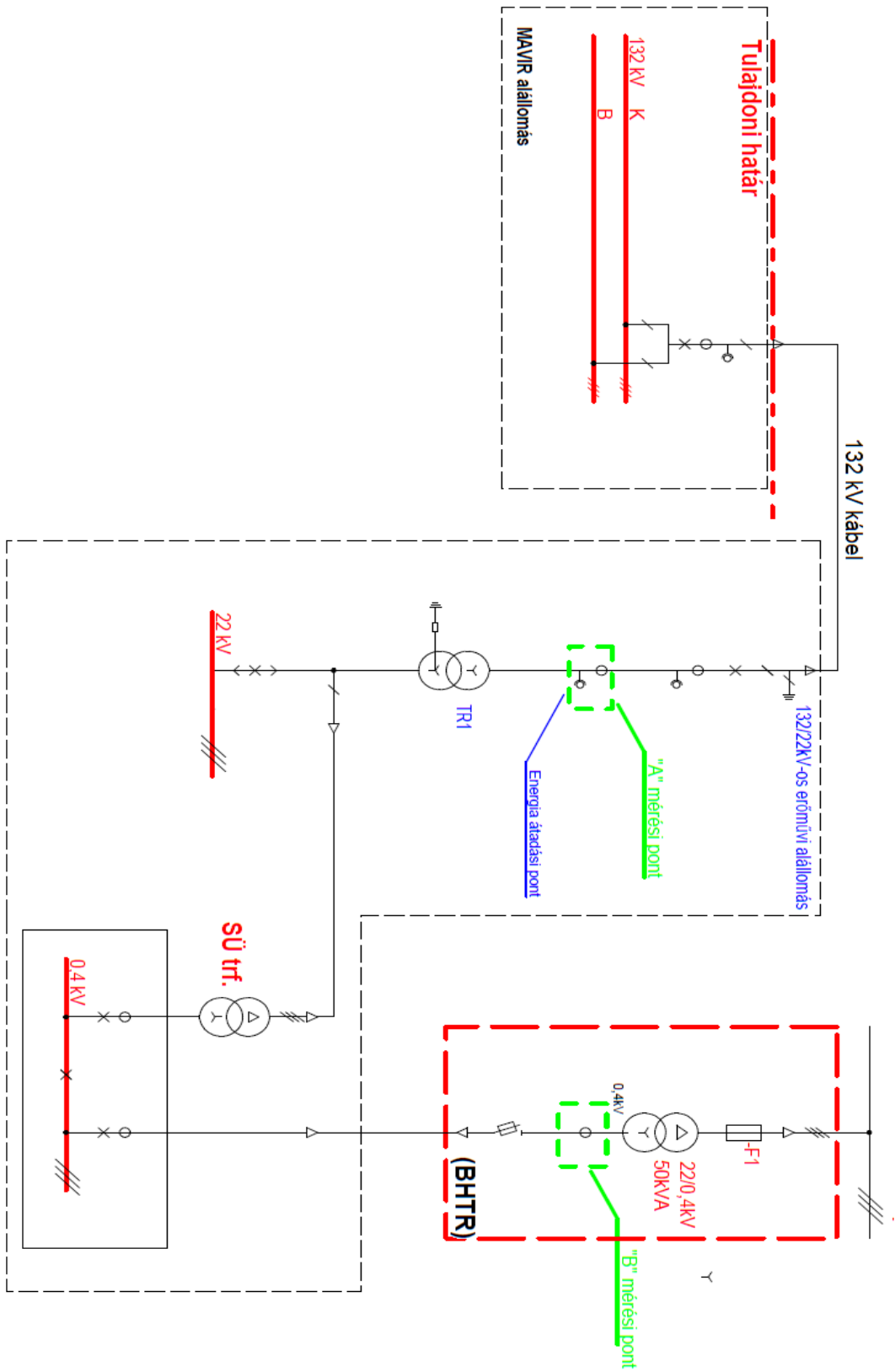
56. Ábra Siemens S7-1200 PLC



57. Ábra Itron GSM/GPRS modem



58. Ábra Moxa switch



59. Ábra MAVIR elszámolási mérés elvi rajza

Áramváltó 0,2S pontosságú mérőmag méretezése:

Megnevezés	Érték
Az áramváltó névleges szekunder teljesítménye	$S_n = 2,5 \text{ VA}$
Az áramváltó szekunder névleges árama	$I_n = 5 \text{ A}$
A fogyasztásmérő terhelés névleges teljesítménye	$S_m = 0,024 \text{ VA}$
Járolékos fogyasztásmérő terhelés (hitelesítő berendezés)	$S_h = 0,1 \text{ VA}$
Az áramváltó szekunder kapcsai és a fogyasztásmérő közötti távolság.	$l_v = 5 \text{ m}$
A réz vezeték fajlagos ellenállása	$\rho = 0,0177 \Omega \text{mm}^2/\text{m}$
A szekunder vezető előzetesen számolt keresztmetszete	$A = 2,5 \text{ mm}^2$

Szekunder vezeték által felvett teljesítmény:

$$S_v = \frac{2 \cdot \rho \cdot l_v}{A} \cdot I_n^2 = \frac{2 \cdot 0,0177 \cdot 5}{2,5} \cdot 5^2 = 1,77 \text{ VA} \quad (44)$$

Az áramváltó maximális és minimális névleges teljesítménye:

$$S_n \geq \frac{2 \cdot \rho \cdot l_v \cdot I_n^2}{A} + S_m + S_h = \frac{2 \cdot 0,0177 \cdot 5 \cdot 5^2}{2,5} + 0,02 + 0,1 = 1,89 \text{ VA} \quad (45)$$

$$S_n \leq 4 \cdot \left(\frac{2 \cdot \rho \cdot l_v \cdot I_n^2}{A} + S_m \right) = 4 \cdot \left(\frac{2 \cdot 0,0177 \cdot 5 \cdot 5^2}{2,5} + 0,02 \right) = 7,16 \text{ VA} \quad (46)$$

A választott 2,5 VA szekunder teljesítményű áramváltó megfelel.

A megválasztott áramváltó szekunder vezető keresztmetszetének ellenőrzése:

$$A \geq \left(\frac{2 \cdot \rho \cdot l_v \cdot I_n^2}{S_n - S_m - S_h} \right) = \frac{2 \cdot 0,0177 \cdot 5 \cdot 5^2}{2,5 - 0,02 - 0,1} = 1,86 \text{ mm}^2 \quad (47)$$

$$A \leq \left(\frac{2 \cdot \rho \cdot l_v \cdot I_n^2}{0,25 \cdot S_n - S_m} \right) = \frac{2 \cdot 0,0177 \cdot 5 \cdot 5^2}{0,25 \cdot 2,5 - 0,02} = 7,31 \text{ mm}^2 \quad (48)$$

A választott 2,5 mm² keresztmetszetű szekunder réz vezeték szintén megfelelő.

Feszültségváltókör 0,2 pontosságú mérőmag méretezése:

Megnevezés	Érték
Az áramváltó névleges szekunder teljesítménye	$S_n = 10 \text{ VA}$
Fázisfeszültség	$\frac{100}{\sqrt{3}} \text{ V}$
A fogyasztásmérői terhelés névleges teljesítménye	$S_m = 3 \text{ VA}$
Járlékos fogyasztásmérői terhelés (hitelesítő berendezés)	$S_h = 2 \text{ VA}$
Az áramváltó szekunder kapcsai és a fogyasztásmérő közötti távolság.	$l_v = 5 \text{ m}$
A réz vezeték fajlagos ellenállása	$\rho = 0,0177 \text{ } \Omega\text{mm}^2/\text{m}$
A szekunder vezető előzetesen számolt keresztmetszete	$A = 2,5 \text{ mm}^2$
A feszültségváltó szekunder köri kismegszakító belső ellenállása	$R_k = 0,15 \text{ } \Omega$

$$S_n \geq S_m + S_h \quad (49)$$

$$10 \geq 5$$

$$S_n \leq 4 * S_m \quad (50)$$

$$10 \leq 16$$

Vagyis a választott 10 VA-es áramváltó megfelel mivel a minimális (5) és maximális (16) közötti értékű.

A megengedhető feszültségesés ellenőrzése

$$A \geq \frac{(S_m + S_h) * \rho * l_v}{U^2 * \Delta u \% - 100 * (S_m + S_h) * R_k} * 100 \quad (51)$$

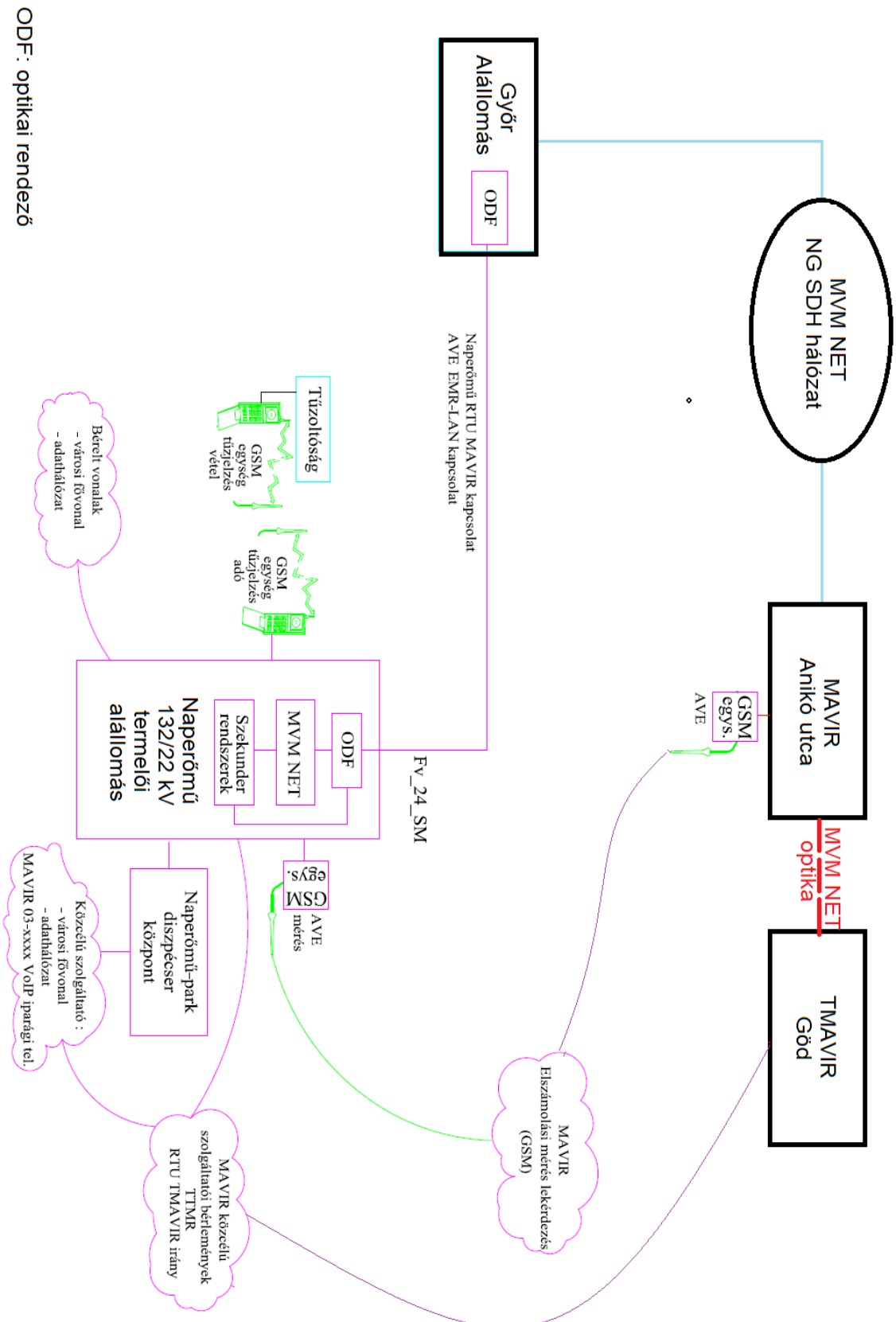
Az feszültségváltó köre maximálisan megengedhető feszültségesése 0,2%:

$$A \geq \frac{(3+2) * 0,0177 * 5}{\left(\frac{100}{\sqrt{3}}\right)^2 * 0,2 - 100 * (3+2) * 0,15} * 100 = 0,078 \text{ mm}^2 \quad (52)$$

A szekunder vezető keresztmetszete akkor megfelelő, ha $A \geq 0,078 \text{ mm}^2$, vagyis már a $1,5 \text{ mm}^2$ keresztmetszetű rézkábel esetén megfelelő a feszültségesés mértéke a mérőkörben.

7. Tartalék telemechanikai rendszer

Az irányítástechnikai rendszer által a MAVIR részére szolgáltatott adatok tartalékként az irányítástechnikai rendszertől független, a MAVIR TTMR rendszerébe illeszkedő tartalékmérési rendszert kell létesíteni. A tartalék mérési rendszer az üzemirányítási pontra áram, feszültség és teljesítmény mérést biztosít. A rendszer a leágazásba épített VERTESZ TMTG-3F távadóból, és ennek kommunikációját illesztő PLC készülékből, valamint a kommunikációt biztosító egyéb eszközökből áll. Az alállomáson üzemelő PLC bemenetére kell kötni a távadót többi készülékkel párhuzamosan. A naperőmű részére felszerelendő távadónak az üzemirányítási méréstől független áramváltó és feszültségváltó műszermagot kell biztosítani. A távadót szünetmentes 230 V AC tápfeszültséggel kell ellátni. A tartalék mérőrendszer (eszközök, sorkapcsok) hozzáférhetőségéről gondoskodni kell, arra plombálás nem terjedhet ki. a távadó és az adatgyűjtő PLC közötti RS-485 csavart érpáru kapcsolat kialakítást, illetve az adatgyűjtő PLC és a MAVIR által kiépített és meghatározott távközlésvégpont közötti Ethernet kapcsolat kialakítása szükséges.



60. Ábra Hírközlési blokkvázlat

Összefoglalás

Szakdolgozatom témája egy MAVIR ZRt. által üzemeltetett átviteli hálózati alállomásra csatlakozó naperőmű szekunder védelmi rendszerének megtervezése. A tervezést, mivel jelenleg a MAVIR nyugati védelmes csoportjánál dolgozom nem terjesztettem ki teljesen a kisfeszültségű és középfeszültségű részig, csak a meglévő Győri 400/220/120 kV-os alállomás oldali és az erőmű által létesítendő 132/KÖF kV-os termelői transzformátorállomás védelmi rendszerét mutattam be.

A dolgozat első felében az elosztói, illetve átviteli csatlakozáshoz szükséges csatlakozási tervek bemutatását próbáltam összegezni a legfontosabb pontokat figyelembe véve. A tervekhez tartozó hálózati visszahatásokra a korszerű hálózatszimulációs megoldásokon keresztül tértem ki, ami szintén elengedhetetlen része az elfogadható csatlakozási terveknek. A hagyományos csatlakozások mellett összefoglaltam az időjárásfüggő erőművekkel szemben támasztott követelményeket, melyeket az Európai Unió és a hazai Nemzeti és Üzemi Kereskedelmi szabályzat tartalmaz és az erőművek tervezésénél, üzemeltetésénél figyelembe kell venni.

A hazai és lehetséges primer diszpozíciókat bemutatva és figyelembe véve terveztem meg egy képzeletbeli 30 MW-os naperőművet a tanulmányaim és tapasztalataim fényében, de elsősorban belső és külső konzulenseim segítségével.

A dolgozat végén tudásom szerint ismertettem az elszámolási mérés és hírközlési rendszer, vagyis tartalék telemechanikai rendszer fontosságát és elvi elrendezését.

A dolgozat készítése során rengeteget tanultam a védelmi rendszerek felépítéséről, szükséges és szükségtelen funkciók megkülönböztetéséről, valamint a rengeteg terv tanulmányozásával ambíciót érzek további tervezési tapasztalat szerzésére.

Summary

The topic of my thesis is the design of the secondary protection system of a solar power plant connected to a transmission network substation operated by MAVIR Ltd. As I am currently working at Secondary Service Department of MAVIR for the Relay Protection Subdivision of the Western Region, I did not fully extend the design to the low-voltage and medium-voltage section, I presented only the protection system of the existing 400/220/120 kV substation in Győr and the 132 / KÖF kV production transformer substation to be established by the power plant.

In the first half of the thesis I summarised the presentation of the connection plans required for the distribution and transmission connection, taking into account the most important points. I addressed the network repercussions of the plans through state-of-the-art network simulation solutions, which is also an essential part of acceptable connection plans. In addition to the traditional connections, I have summarised the requirements for weather-dependent power plants, which are listed in the European Union and the Hungarian National Operating Trade Regulations and must be taken into account in the design and operation of power plants.

Presenting and taking into account the domestic and possible primary dispositions, I designed an imaginary 30 MW solar power plant in the light of my studies and experience, but primarily with the help of my internal and external consultants.

At the end of the dissertation, to the best of my knowledge, I described the importance and conceptual arrangement of the billing measurement and communication system, ie. the backup telemechanics system.

During writing my thesis, I learned a lot about the structure of protection systems, distinguishing between necessary and unnecessary functions, and by studying a lot of plans, I feel ambitious to gain additional design experience.

Táblázatjegyzék

1. táblázat Erőmű típusok	5
2. táblázat AC-DC load-flow összehasonlítása.....	28
3. táblázat Villogás gyakorisága	31
4. táblázat Felharmonikusok koordinációja	33
5. táblázat Kábel paraméterek.....	36
6. táblázat Zárlati áthidalóképesség	42
7. táblázat A2XS(F)2Y kábel fajlagos villamos paraméterei	46
8. táblázat Neplan eredmények	47

Ábrajegyzék

1. ábra PV erőművek terjedése magyarországon.....	3
2. ábra Naperőművek járásonkénti eloszlása.....	4
3. ábra Átviteli hálózat modell.....	10
4. ábra Záratszámítási séma.....	11
5. ábra Inverter transzformátor konténer felülnézeti rajza.....	12
6. Ábra Átviteli hálózathoz csatlakozó erőmű.....	13
7. ábra Prolan IED eszközök.....	14
8. Ábra Országos topológia	15
9. ábra Hírközlési rendszer lehetséges kialakítása.....	16
10. ábra Segédüzemi blokkvázlat	17
11. ábra 120 kV-os leágazás védelmi szekrénye	19
12. ábra SL761x071 többfázisú elektronikus fogyasztásmérő adattáblája	20
13. Ábra SL761x071 többfázisú elektronikus fogyasztásmérő adattáblája	21
14. ábra Tartalék telemechanikai rendszer felépítése	21
15. ábra TTMR rendszer topológiája.....	22
16. ábra TTMR rendszer elvi rajza	23
17. ábra TMTG 3F távadó	23
18. ábra Neplan hálózati struktúra	25
19. ábra Gyűjtősín paraméterezése	26
20. ábra Vezeték paraméterezése.....	26
21. ábra Transzformátor paraméterezése	27
22. ábra Load-flow eredmények	27

23. ábra Hálózatszámítás elvi blokk diagramm	29
24. ábra Napelem karakterisztika.....	35
25. ábra A hatásos teljesítmény üzemi tartománya.....	40
26. Ábra Feszültség-idő profil	41
27. ábra Közvetlen csatlakozás kiserőművek esetén	44
28. Ábra Egyvonalas rajz – MAVIR alállomás	48
29. Ábra Egyvonalas rajz – Naperőmű 132/22 kV transzformátora megszakítóval	49
30. Ábra Egyvonalas rajz – Naperőmű 132/22 kV transzformátora megszakító nélkül	52
31. Ábra Győri MAVIR alállomás	53
32. Ábra Győri MAVIR alállomás 132 kV-os egyvonalas kapcsolási rajza.	54
33. Ábra NSD570 jelátviteli készülék	56
34. Ábra Védelmi rendszer általános felépítése.....	56
35. Ábra Szakaszhvédelmi blokkséma távolságvédelmi funkcióval MAVIR állomáson	57
36. Ábra Szakaszhvédelmi blokkséma távolságvédelmi funkcióval NEP TR állomáson	58
37. ábra Szakaszhvédelem fékezett karakterisztikája	60
38. ábra Szakaszhvédelem működési karakterisztika	61
39. ábra E2-DTVA OX készülék.....	61
40. ábra Szakaszhvédelem algoritmus	61
41. Ábra Távolságvédelem karakterisztika.....	63
42. Ábra Zárlatra kapcsolás érzékelő funkció	63
43. Ábra AZT 3/0 működése zárlati áram nagyságától függően	65
44. Ábra AZT+ készülék	65
45. Ábra Zárlatszámítási séma.....	66
46. Ábra Túláram-idő védelem karakterisztika	67
47. Ábra Túláram-idő védelmi blokkséma MAVIR alállomás.....	68

48. Ábra Transzformátor védelem	69
49. Ábra Fékezési karakterisztika	70
50. Ábra Transzformátor védelmi rendszere	71
51. Ábra Buchholz relé működése	71
52. Ábra Buchholz relé	72
53. Ábra PT 100 szenzor.....	72
54. Ábra Transzformátor mechanikus védelmi rendszere	73
55. Ábra S24-DSZIV szigetüzem elleni védelmi készülék	74
56. Ábra Siemens S7-1200 PLC	75
57. Ábra Itron GSM/GPRS modem.....	76
58. Ábra Moxa switch.....	76
59. Ábra MAVIR elszámolási mérés elvi rajza	77
60. Ábra Hírközlési blokkvázlat	81

Irodalomjegyzék

- [1] MAVIR Közlemények és hírek, „A Paksi Atomerőművel összemérhető a magyarországi napenergia-kapacitás”, 2020.12.02.
Online: <https://www.mavir.hu/web/mavir/-/a-paksi-atomeromuvel-osszemerheto-a-magyarorszagi-napenergia-kapacitas-1?returnPlid=237657540>
[Hozzáférés dátuma: 2021.05.11]
- [2] MAVIR Közlemények és hírek, „Újabb napenergia rekord”, 2021.05.10.
Online: <https://www.mavir.hu/web/mavir/-/%C3%9Ajobb-napenergia-rekord?returnPlid=237657540>,
[Hozzáférés dátuma: 2021.05.11]
- [3] O. Gandhi, D. S. Kumar, C. D. Rodríguez-Gallegos, D. Srinivasan, “Review of power system impacts at high PV penetration Part I: Factors limiting PV penetration” Solar Energy, 2020.
- [4] MAVIR Magazin 2019/20 Tél, (Nyomtatott példány)
- [5] Az Európai Unió Hivatalos Lapja; A BIZOTTSÁG (EU) 2016/631 RENDELETE „A termelőegységek hálózati csatlakozási követelményeire vonatkozó üzemi és kereskedelmi szabályzat létrehozásáról”, 2016. április 14.
Online: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HU/TXT/PDF/?uri=CELEX:32016R0631&from=DE>
[Hozzáférés dátuma: 2021.08.22]
- [6] MAVIR, „Nemzetközi Üzemi és Kereskedelmi Szabályzat” 6.1.számú melléklete „Villamosenergia-termelő berendezések kategorizálására vonatkozó javaslat”, 2021.08.13.
Online: <https://www.mavir.hu/documents/10258/224945670/G+1.1+ABDC+HUN.pdf/28c1128b-2914-4581-babb-bc3fee2dcd5c?version=1.1>
Hozzáférés dátuma [2021.08.22]
- [7] VET, 2007. évi LXXXVI. törvény a villamos energiáról.
Online: <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=a0700086.tv>
[Hozzáférés dátuma: 2021.05.27]
- [8] MAVIR, „Üzemi Szabályzat – MEKH H 2382/2021 (M25. kiadás)”, 2021.09.09.
Online: https://www.mavir.hu/documents/10258/239956514/USz_M25.+kiad%C3%A1s_2021.09.02_clean.pdf/87cfed9e-3ed7-774e-17b5-660ae9416245?t=1630590993112
[Hozzáférés dátuma: 2021.10.02]
- [9] MAVIR, „Üzemi szabályzat – IRÁNYELVEK – IRÁNYELV 132 kV-OS VAGY NAGYOBB NÉVLEGES FESZÜLTSGŰ HÁLÓZATRA CSATLAKOZÓ ERŐMŰVEK LÉTESÍTÉSÉRE ÉS CSATLAKOZTATÁSÁRA – Minimális Műszaki Követelmények”, 2020.04.01.
Online: https://www.mavir.hu/documents/10258/233507899/Er%C5%91m%C5%B1v_ek+Irelv_2020.04.01_clean.pdf/bfaa5858-421c-0228-754f-a69593911bf2?t=1585232898885
[Hozzáférés dátuma: 2021.06.12]

- [10] E.ON Észak-dunántúli Áramhálózat Zrt., „Elosztói Szabályzat - Az elosztó hálózathoz való hozzáférés együttműködési szabályai”, Budapest 2021.06.15
Online: <https://www.eon.hu/content/dam/eon/eon-hungary/documents/hatarozatok-szabalyzatok-aram/eloszttoi-szabalyzat/2021/Elo-szab-t%C3%B6rzs-15-sz-mod-2021-06-15.pdf>
- [11] <https://www.prolan.hu/hu/megoldasok/ProField-RTU>
[Hozzáférés dátuma: 2021.11.11]
- [12] MAVIR, „IRÁNYELVEK RENDSZERE- IRÁNYELV A TÁVKÖZLÉSI RENDSZER KIALAKÍTÁSÁRA, AZ ÁTVITELI RENDSZERIRÁNYÍTÓ TÁVKÖZLÉSI RENDSZERÉHEZ VALÓ CSATLAKOZÁSHOZ-MINIMÁLIS MŰSZAKI KÖVETELMÉNYEK”, 2021.09.02
Online: https://www.mavir.hu/documents/10258/239956514/T%C3%A1vk%C3%B6zl%C3%A9si_rsz_Ir%C3%A1nyelv_2021.09.02_clean.pdf/5b3c4b51-a71b-03d7-77ed-7610f24dbd9a?t=1630570114478
[Hozzáférés dátuma: 2021.11.12]
- [13] https://hu.wikipedia.org/wiki/Multiprotocol_Label_Switching
[Hozzáférés dátuma: 2021.11.12]
- [14] MAVIR, „IRÁNYELVEK RENDSZERE- IRÁNYELV A FOLYAMATIRÁNYÍTÁSI RENDSZER KIALAKÍTÁSÁRA, A RENDSZERIRÁNYÍTÓ FOLYAMATIRÁNYÍTÁSI RENDSZERÉHEZ VALÓ CSATLAKOZÁSHOZ-MINIMÁLIS MŰSZAKI KÖVETELMÉNYEK”, 2021.02.01
Online: https://www.mavir.hu/documents/10258/239156022/Folyirelv+V-4_2021.02.01_clean.pdf/73dc54ef-ea34-6ed2-550a-bbf962245f65?t=1610952613802
[Hozzáférés dátuma: 2021.11.10]
- [15] G. Dr. Morva, Villamosenergia-ellátás II. 2. kötet Villamos védelem és automatika, Budapest: Dr. Turmezei Péter az ÓE KVK dékánja, 2011.
- [16] MAVIR, „IRÁNYELVEK RENDSZERE- IRÁNYELV AZ ÁVE,NVE RENDSZER ELSZÁMOLÁSI CÉLÚ MÉRŐBERENZÉSEIRE ÉS MÉRÉSI KÖZPONTOK KIALAKÍTÁSÁRA-MINIMÁLIS MŰSZAKI KÖVETELMÉNYEK”, 2020.08.27
Online: https://www.mavir.hu/documents/10258/237391774/Meres-elszamolas+Irandelv_2020.08.27_clean.pdf/8e79d5e2-a573-49fc-722c-4ada9c51b0d5?t=1599736803426
[Hozzáférés dátuma: 2021.07.14]
- [17] <http://midra.uni-miskolc.hu/document/30225/26204.pdf>
[Hozzáférés dátuma: 2021.07.14]
- [18] E.ON Észak-dunántúli Áramhálózat Zrt., „Elosztói Szabályzat - Az elosztó hálózathoz való hozzáférés együttműködési szabályai - MELLÉKLETEK”, Budapest 2021.06.15
Online: <https://www.eon.hu/content/dam/eon/eon-hungary/documents/hatarozatok-szabalyzatok-aram/eloszttoi-szabalyzat/2021/Elo-szab-t%C3%B6rzs-15-sz-mod-2021-06-15.pdf>
[Hozzáférés dátuma: 2021.07.18]
- [19] <https://alteo.hu/ezt-tesszuk/ho-es-villamosenergia-termeles/szabalyozasi-kozpont/>
[Hozzáférés dátuma: 2021.07.19]

[20] MAVIR, „Nemzetközi Üzemi és Kereskedelmi Szabályzat” 6.2.számú melléklete „A termelőegységek hálózati csatlakozási követelményeire vonatkozó üzemi és kereskedelmi szabályzat létrehozásáról szóló az Európai Bizottság (EU) 2016/631 rendelet (2016. április 14.) szerinti alapvető követelmények”, 2021.08.13.

Online: https://www.mavir.hu/documents/10258/228656968/RfG_param%C3%A9terek_magyar%C3%A1zattal_fedlappal_HUN_ENG.xlsx/3992e81f-b60a-c741-5ece-dd4e0a941867?version=1.0

[Hozzáférés dátuma: 2021.08.20]

[21] MAVIR, „Üzemi szabályzat – IRÁNYELVEK – ÁTVITELI HÁLÓZATI LÉTESÍTÉSI IRÁNYELVEK –AZ ÁTVITELI HÁLÓZAT ALÁLLOMÁSOK PRIMER ELRENDEZÉSEINEK KIALAKÍTÁSA- MINIMÁLIS MŰSZAKI KÖVETELMÉNYEK”, 2020.04.01.

Online: https://www.mavir.hu/documents/10258/233507899/Prim_+Irelv_2020.04.01_clean.pdf/0d512477-afcb-9667-f346-57e42160821a?t=1585232904306

[Hozzáférés dátuma: 2021.06.12]

[22] MSZ EN 60099-4:2005 Túlfeszültségvezetők 4. rész: Szikraköz nélküli fémoxid túlfeszültség-vezetők váltakozó áramú rendszerekhez

[Hozzáférés dátuma: 2021.11.07]

[23] http://uni-obuda.hu/users/nadas.jozsef/Szakdoli/Minta/doli_11.pdf

[Hozzáférés dátuma: 2021.09.30]

[24] https://protecta.hu/files/files/41814/52_szakaszvedelmi_funkcio_transzformatorra_l.pdf

[Hozzáférés dátuma: 2021.11.29]

[25] <https://www.uni-miskolc.hu/~elkborzo/VA3-kulonbozeti-4.pdf>

[Hozzáférés dátuma: 2021.10.25]

[26] <http://midra.uni-miskolc.hu/document/28252/23935.pdf>

[Hozzáférés dátuma: 2021.10.02]

[27] https://www.protecta.hu/files/files/41939/elosztott_gyujtosin_differencialvedelem_es_megszakito_beragadas_vedelem_v1.0.pdf

[Hozzáférés dátuma: 2021.09.19]

[28] https://www.protecta.hu/files/files/41617/azt_v2.0_hun_e31e.pdf

[Hozzáférés dátuma: 2021.10.22]

[29] https://www.protecta.hu/files/files/41874/e1-dtd2_konfig_v1.0.pdf

[Hozzáférés dátuma: 2021.10.14]

[30] <https://docplayer.hu/5906240-Villamosenergetika-dr-morva-gyorgy.html>

[Hozzáférés dátuma: 2021.11.15]

[31] Póka Gyula – Védelem és automatikák villamosenergia-rendszerben

Online: https://vik.wiki/images/6/64/Vedelmek_jegyzet_poka_1.pdf

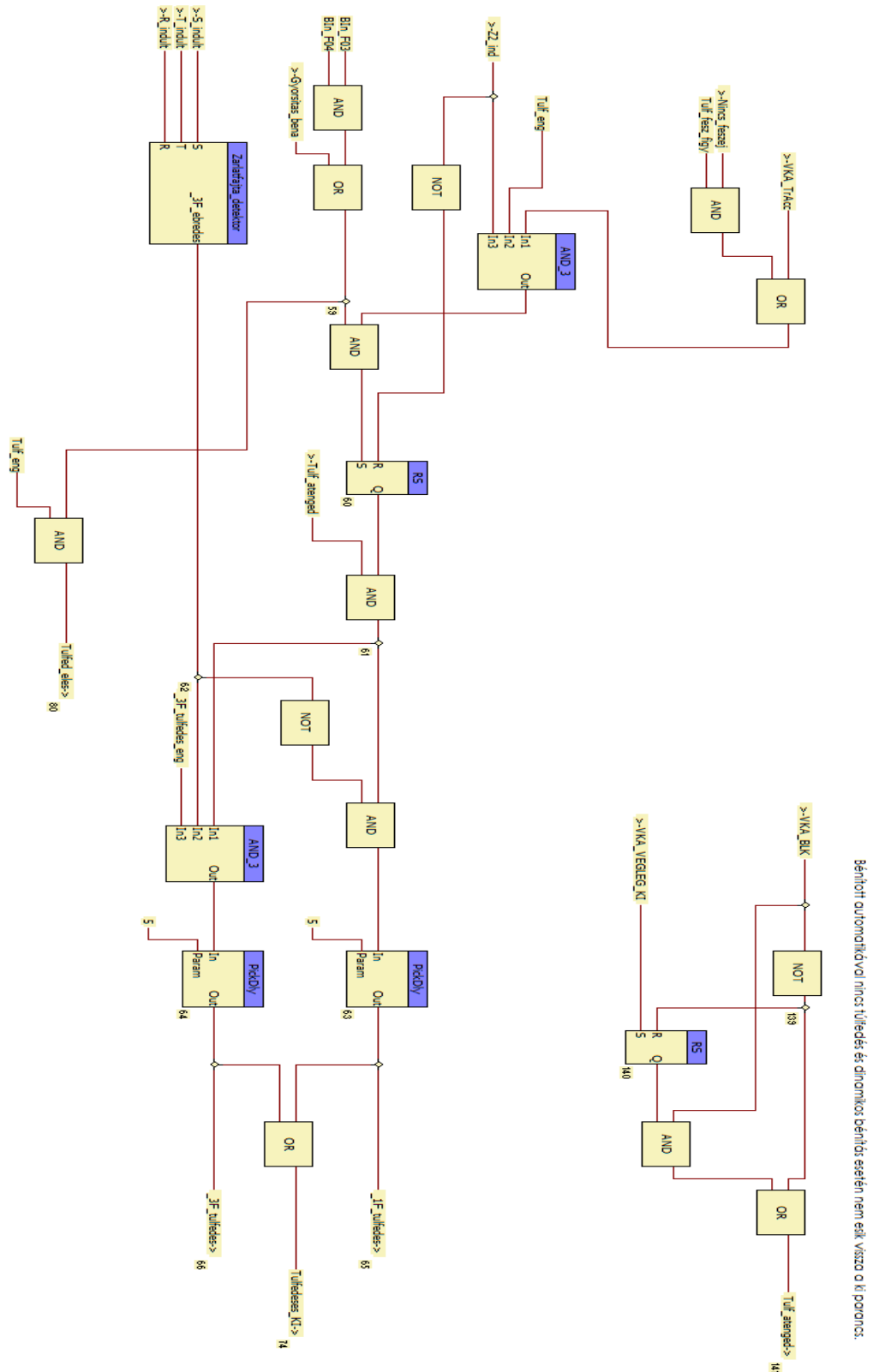
[32] <https://consteel-electronics.com/system/download/HIGH-VOLTAGE-CALBES-DATASHEET-PL.pdf.e080ca4047ef4995ddd7208cc6082eb0>

[Hozzáférés dátuma: 2021.10.27]

[33] https://www.eon.hu/content/dam/eon/eon-hungary/documents/Lakossagi/aram/kiseromuvek-csatlakozasi-lehetosegi/adatlapok_segedletek/kiseromu-csatlakoztatasa-vonatkozo-eloirasok.pdf

[Hozzáférés dátuma: 2021.11.15]

2. Túlfedéses vezérlés



3. Transzformátor védelmi funkciók

