

Óbudai Egyetem
Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar
Híradástechnika és Infokommunikáció Tanszék



TUDOMÁNYOS DIÁKKÖRI DOLGOZAT

**MEZŐ- ÉS ÁLLOMÁSI SZINTŰ
IRÁNYÍTÁSTECHNIKAI ÉS
KOMMUNIKÁCIÓS REDUNDANCIA
ALKALMAZÁSAI**

Szerző: **Ádám Richárd János**
villamosmérnök MSc. szak, II. évf.

Konzulens: **Baross Márk Tamás**
Egyetemi tanársegéd

TARTALOMJEGYZÉK

1	BEVEZETÉS	4
2	PROTOKOLLOK	5
2.1	Alállomási környezetben használt „hagyományos” kommunikációs protokollok hátrányai:	5
2.2	IEC 61850	6
2.2.1	IEC61850 adatmodell.....	6
2.2.2	IEC61850 hierarchikus felépítése	7
3	REDUNDANCIA.....	9
3.1	RSTP (Rapid Spanning Tree Protocol)	9
3.1.1	RSTP normál üzemben.....	10
3.1.2	RSTP hibás üzemben.....	11
3.1.3	RSTP sikeres hiba helyreállítás után	12
3.2	PRP (Parallel Redundancy Protocol)	12
3.2.1	PRP normál üzemben	14
3.2.2	PRP hibaelhárítás működése (hiba esetén).....	15
3.2.3	PRP előnyei, hátrányai	16
3.2.4	IEC62439-3 PRP – Duplikációk kiszűrése	16
3.3	HSR (High-availability Seamless Redundancy)	17
3.3.1	HSR normál üzemben	18
3.3.2	HSR hibaelhárítás működése (hiba esetén)	18
3.3.3	HSR előnyei, hátrányai	19
4	Adatáramlás PRP és HSR rendszerekben	20
4.1	Adatfolyam struktúra (Data Flow Structure)	21
4.2	Hibaállapot figyelembevétele.....	22
4.3	Sampled Value és GOOSE üzenetek felépítése a process busban.....	23

4.3.1	Sampled Value	23
4.3.2	GOOSE.....	24
4.4	Alkalmazási példák tapasztalatokkal	26
5	Továbbfejlesztési lehetőségek	29
6	ÖSSZEFOGLALÁS.....	30
7	Hivatkozások.....	31
8	Ábrajegyzék	33

1 BEVEZETÉS

A villamosenergia-hálózatok egyik legfontosabb tulajdonsága a biztonság és a megbízhatóság. Napjainkban kulcsfontosságú kérdés az alállomási rendszerek folyamatos fejlesztése és modernizálása. Ahhoz, hogy a kommunikáció hatékonyan és zavartalanul működjön, különféle szabványokat és protokollokat dolgoztak ki, amelyek lehetővé teszik a gyors, pontos és biztonságos adattovábbítást az alállomások, valamint az alállomások eszközei között. Dolgozatom célja, hogy bemutassam villamos alállomásokban, az ipari automatizálásában és energiaelosztásban használt szabványokat, kommunikációs protokollokat. Részletesen elemzem az IEC61850 szabványt, amely az alállomási automatizálás alapja. Bemutatom az eltéréseket az IEC61850-es és egy hagyományos rendszer között. Mivel a legkisebb hiba is komoly meghibásodást okozhat, és ez súlyos következményekkel járhat, például áramkimaradás, hálózati zavar vagy akár pénzügyi veszteség, ezért szemléltetem miért fontos az üzemvitel szempontjából a hálózati redundancia. Különös figyelmet fordítok az RSTP (Rapid Spanning Tree Protocol), PRP (Parallel Redundancy Protocol) és HSR (High-availability Seamless Redundancy) protokollokra, bemutatva ezek működését, előnyeit, hátrányait és alkalmazási területeit az alállomási környezetben.

2 PROTOKOLLOK

A protokollok nagyon fontosak mind az infokommunikációs, mind az erősáramú villamos alállomások életében, különösen az ipari automatizálásában, valamint a villamosenergia elosztásában, ugyanis ezek biztosítják a megbízhatóságot, a hibatűrés és a rendelkezésreállást.

De mik is azok a protokollok? A protokollok olyan szabályrendszerek, amelyek definiálják milyen módon létesítenek kommunikációs kapcsolatot egymással a különböző résztvevők, vagy rendszerek egy hálózaton belül. Tehát mondhatjuk, hogy a protokoll az maga a hálózat „nyelve”. Meghatározzák az információ leírásának és átadásának mikéntjét. [1]

Típusai:

- Hálózati protokollok: Azok a protokollok, amely az adatsomagok útvonalát és címkézését definiálják a hálózaton belül ilyen például az IP (Internet Protocol). Ez az internet meghatározó protokollja.
- Szállítási protokollok: Feladatuk, hogy az adatok helyesen és sérülésmentesen jussanak el a célba. Például: TCP (Transmission Control Protocol). Ez garantálja a megfelelő sorrendet és az adatsomagok hiánytalanságát.
- Adatkapcsolati protokollok: A hálózat fizikai rétegében (például az Etherneten) szabályozzák az adatok továbbítását
- Alkalmazási protokollok: Ezek a protokollok magasabb szintű protokollokat szolgálna ki. Például weboldalak megtekintése (HTTP), e mailek küldése (SMTP), valamint fájltávitel (FTP).

Az alállomásokban más típusú protokollokat alkalmazunk ezek például:

- Nemzetközi szabványok (pl: IEC60870-5-103, IEC60870-5-101/4, DNP, Modbus, RTU)
- Gyártóspecifikus protokollok (pl: ABB-SPA)

2.1 Alállomási környezetben használt „hagyományos” kommunikációs protokollok hátrányai:

Természetesen minden jó mellett találhatunk hátrányokat is a protokollban. Egy szűken értelmezhető, úgynevezett funkcionális tartományban lehet csak őket alkalmazni. Bővítésük

igen nehézkes tud lenni, illetve az alkalmazott készülékek száma is korlátozott. Még ma is szükség van speciális soros kommunikációs eszközökre, amelyek rendkívül érzékenyek az infokommunikációs technológiák változására, fejlődésére. A védelem- és irányítástechnikában nincs teljes mértékben meghatározva a szabványnak való megfelelés, túl sok különböző megoldást találhatunk ugyanarra a problémára, melyek igen nagy költségűek is lehetnek.

2.2 IEC 61850

A megoldást egy olyan szabvány kidolgozásával hozták létre, amely különböző gyártók, különböző termékei és eszközei között feltétel nélkül képes adatátvitelt megvalósítani. Alapvető feltétele a hosszútávon való alkalmazás, illetve az adatátviteli technológiák gyors fejlődésétől való függetlenség. Ez a szabvány lett az IEC61850. A legnagyobb különbségeket hagyományos rendszer és az IEC61850-es rendszer között az alábbi táblázat szemlélteti:

Hagyományos rendszer		IEC61850
- Különböző protokollok miatti korlátok - Gateway szükséges - Összetett, bonyolult kábelezés	Tervezés	- Egyszerű rendszerfelépítés - Protokollminősített
- Különböző adatformátumok - Komplikált adatbázis készítés	Konfigurálás	- Kommunikáció egy nyelven - Egy rendszerintegráló szoftver
Soros protokolloknál bonyolult hibakeresés és nyomon követés	Üzembehelyezés	Egyszerűbb rendszereknél egyszerűbb a hibakeresés

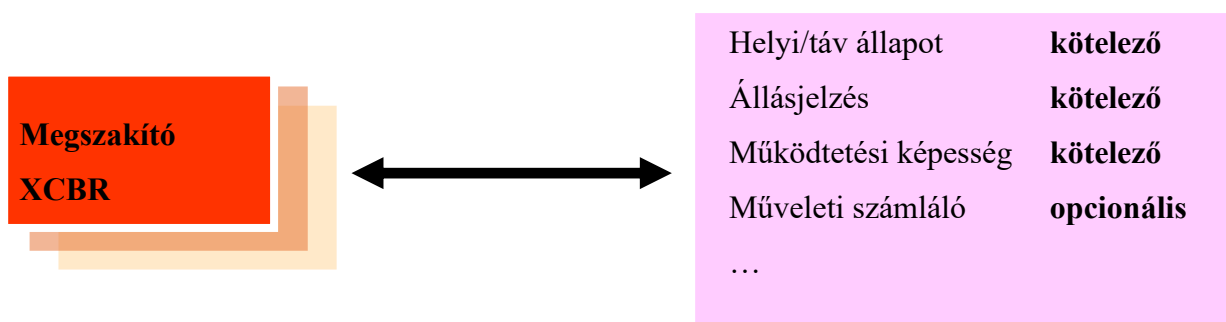
1. táblázat A hagyományos és az IEC61850-es rendszer közti különbségek (saját ábra)

Kétségtelen tehát, hogy a villamos alállomások automatizálásának és kommunikációjának az alapja az IEC61850. Fentebb már megemlítettem, hogy célja közé tartozik az egységesítés, - ezáltal a különböző gyártók eszközei tudnak kommunikálni egymással - valamint a biztonság. A szabvány kiterjed a teljes adatmodellre, amely az alállomás összes funkciójára és eszközére vonatkozik. Tehát mind a védelmekre, mind a relékre, illetve különböző kommunikációs és energia felügyeleti eszközökre vonatkozik.

2.2.1 IEC61850 adatmodell

Az IEC 61850 egyik legszámottevőbb újítása, hogy objektumorientált adatmodellt használ, melyben az alállomási kommunikációban résztvevők és a résztvevők funkciói egyértelműen

azonosított adatszerkezetekkel rendelkeznek. Ez az adatmodell lehetővé teszi azt, hogy a rendszerben lévő minden eszköz közvetlenül kommunikáljon egymással, illetve az adatokat valós időben osszák meg. Ez a valós idejű kommunikáció növeli a hálózat reakcióképességét és hatékonyságát, legfőképpen a védelmi és irányítástechnikai funkciók esetén. A szabványban az eszközök más néven IED-k (Intelligent Electronic Devices) úgy vannak modellezve, hogy azok tartalmazzák az eszközök státuszát, minőségét, riasztását, parancsokat, illetve más fontos adatokat. [2]



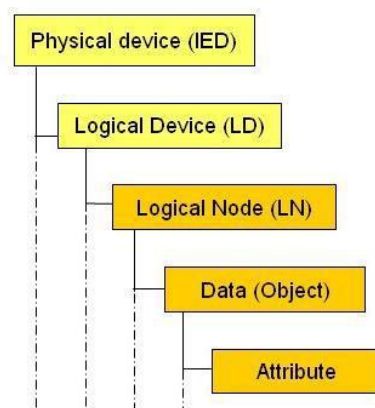
1. ábra A megszakító IEC61850-es adatmodellje (saját ábra, forrás: Bánfalvy Zoltán, ABB Kft., MEE Vándorgyűlés, Budapest, 2012.09.06. Ethernet-hálózatok redundanciája, IEC 61850 és IEC 62439)

Minden objektumnak vannak kötelező és opcionális adatai. Ahogy azt a fenti példán láthatjuk, egy megszakítónak van egy külön „kódja”, amit a szabvány ad meg. Kötelező adat például a helyi/táv állapot. Az állásjelzés és a működtetési képesség is kötelező például az emberi életek érdekében.

2.2.2 IEC61850 hierarchikus felépítése

Az IEC61850 Egy igen jó struktúrájú szabvány. Nagyon jól megszervezett több réteges megközelítést alkalmaz, amelyben minden eszköz, minden adatmodell és a kommunikáció kiszolgálása teljes mértékben elkülöníthető. A hierarchikus felépítés több fő szintre osztható, amelyben minden szint egy különböző feladatot vagy funkciót lát el: [3]

- Fizikai réteg (Physical Layer)
- Eszközzaréteg (IED – Intelligent Electronic Devices)
- Logikai réteg (Logical Nodes és Logical Devices)
- Adatszolgáltatási réteg (Data Services és Communication Services)



2. ábra Az IEC61850 hierarchikus felépítése (forrás: https://www.researchgate.net/figure/Logical-View-of-a-Physical-Device-in-IEC-61850-A-physical-device-represents-the-external_fig3_29601384)

A fizikai réteg foglalja magába az összes fizikai eszközt és berendezést, például kapcsolóberendezések, relék, szenzorok stb. Mérés, védelmi vagy vezérlési funkciókat látnak el. Minden fizikai eszközt IED-nek nevezünk az IEC61850-ben. Ezek olyan okos elektronikus berendezések, amelyek adatokat mérnek, kezelnek, illetve kommunikálnak más eszközökkel. Legfőbb feladatuk közé tartozik például a relék irányítása hálózat monitorozása vagy a berendezések működtetése. Minden fizikai eszközt (IED) a logikai eszközök (LD) alkotnak, amelyeket további értelmezésben kisebb logikai csomópontokra (LN) bonthatunk. Ezek a logikai csomópontok reprezentálják a berendezés funkcióit, például mérés, vezérlés vagy védelmi funkció. Egy fizikai eszköz több logikai eszközből is állhat ugyanis minden LD egy saját specifikus szerepet tölt be. Lehet ez védelmi logikai eszköz, vezérlési eszköz vagy kommunikációs eszköz. A logikai csomópontok még kisebb egységek sokkal specifikusabb funkciókat képviselnek, mint például megszakítóvezérlés (CSWI), mérések (MMXU) vagy védelmi funkciók (PTOC). Egy ilyen logikai csomópontot láthattunk már az 1. ábrán, ahol ugyanis a megszakítót, mint XCBR jelöltük. [4]

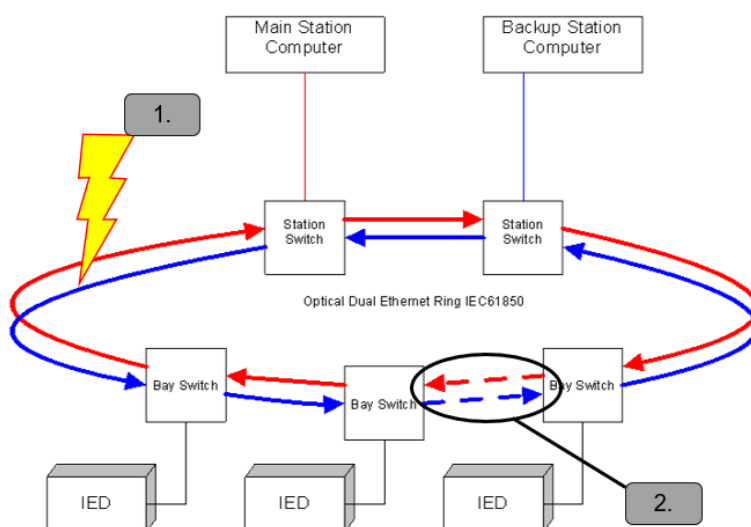
3 REDUNDANCIA

A redundancia fő célja, hogy növelje a rendszer megbízhatóságát és csökkentse a meghibásodás esélyét. A legegyszerűbben úgy lehet ezt elmagyarázni, ha mondjuk egy adatátvitelnél több független út vagy kommunikációs összeköttetés van, és az egyik útvonal esetleg meghibásodik, akkor a rendszer egy másik működő vonalra kapcsolna át automatikusan, gyorsan, lehetőleg hiba vagy adatvesztés nélkül. Láthatjuk, hogy állomások esetén ez rendkívül fontos, hiszen a működésnek folyamatosnak kell lennie, ugyanis az energiaellátás megszakadása esetén mind az infrastruktúra, mind az iparág, mind a lakosság kritikus helyzetbe kerülhet.

Az IEC61850-es szabvány első kiadása nem foglalkozott a redundancia kérdésével. Később a munkabizottság felismerte, hogy az átjárhatóság érdekében a redundancia megoldását bele kell írni a szabványba. A második kiadás (IEC61850 Edition 2) már tartalmazza a redundanciát. Ugyanakkor külön szabványt is definiáltak a PRP/HSR megoldásokra melynek elnevezése az IEC62439 lett. [5]

3.1 RSTP (Rapid Spanning Tree Protocol)

Az RSTP jelenleg az egyik legelterjedtebb topológia. A redundanciát logikai hálózati hurkok kialakításával valósítja meg. Nem azonnal használ párhuzamos útvonalakat, ez az egyik legnagyobb negatívuma. Ezt a problémát a HSR és a PRP oldja meg. [6]

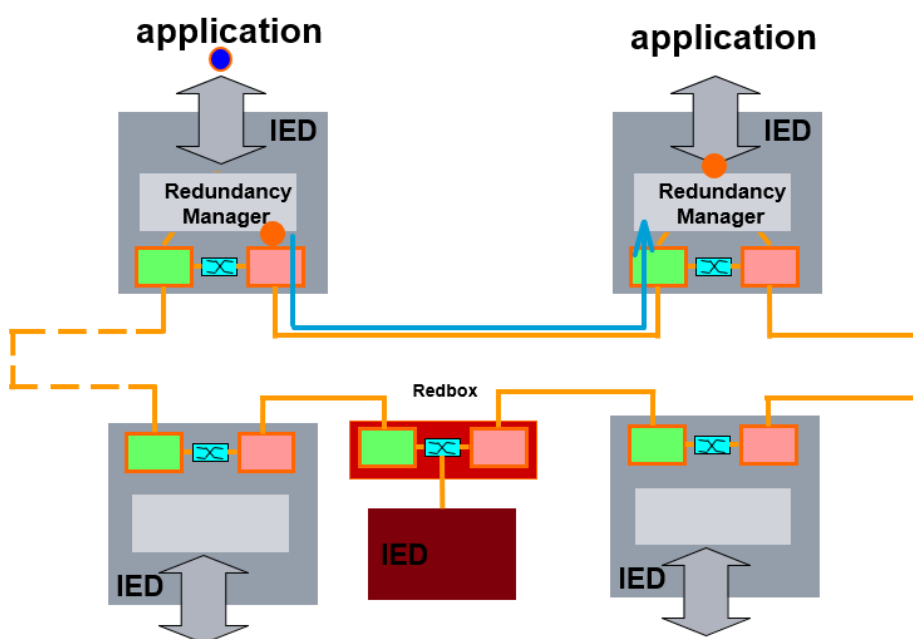


3. ábra Az RSTP felépítése (forrás: Bánfalvy Zoltán, ABB Kft., MEE Vándorgyűlés, Budapest, 2012.09.06. Ethernet-hálózatok redundanciája, IEC 61850 és IEC 62439)

Amint az RSTP észreveszi, hogy kiesik egy útvonal a hálózatban (1.eset) újragondolja a hálózatot és aktivál egy tartalék vonalat (2. eset, a szaggatott vonalakból „folyékony” vonal lesz). Ezt a tartalékot csak akkor aktiválja, ha az elsődleges útvonal meghibásodik. Így az adatsomagunk akkor is eléri a célját, ha bizonyos útvonalak kiesnek. Relatíve gyorsan tervezi újra a hálózatot, (kevesebb mint egy másodperc alatt) viszont ez az idő bőven elég arra, hogy elveszítsünk fontos csomagokat. Tehát a helyreállítási idő gyors, de nem zéró késleltetésű. Óriási előnye viszont, hogy támogat minden topológiát (fa, csillag, gyűrű, meshed).

3.1.1 RSTP normál üzemben

Normál üzemben, tehát mikor nincsen semmilyen hálózati hiba az RSTP az alábbi ábra szerint biztosítja a hatékony és stabil hálózati kommunikációt:



4. ábra RTSP normál üzemben (forrás: Bánfalvy Zoltán, ABB Kft., MEE Vándorgyűlés, Budapest, 2012.09.06. Ethernet-hálózatok redundanciája, IEC 61850 és IEC 62439)

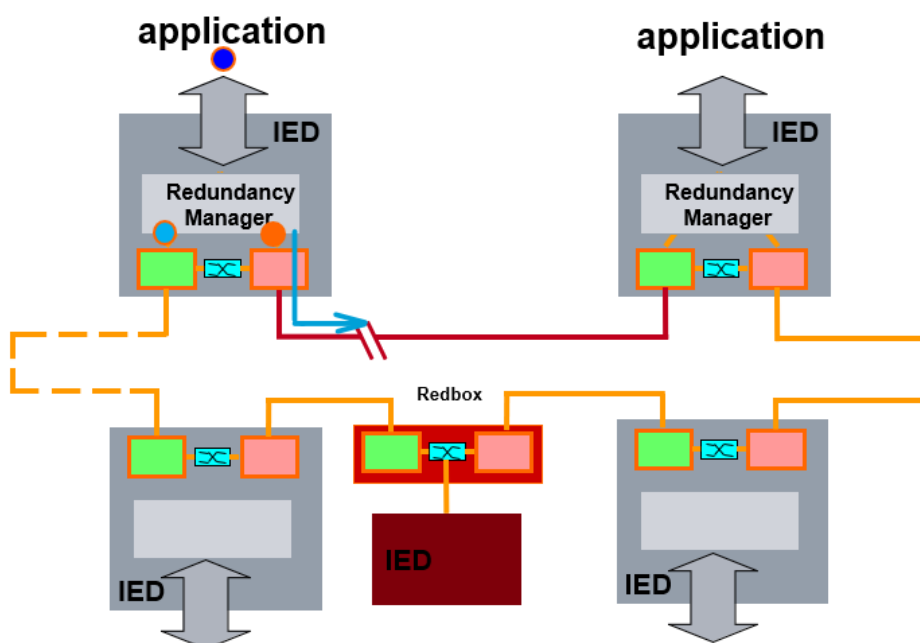
Az RSTP a teljes hálózatban kiválaszt egy úgynevezett gyökérhidat (root bridge), amely egy központi csomópont (hub). Ez lesz a legkisebb azonosítójú kapcsoló. A gyökérhid egy referenciapontként viselkedik. Ez lesz a hálózati topológiai információkért felelős szerv. A hardverhibák vagy a topológiaváltozások esetén nagyon fontos feladata van, hisz ő jelöli ki az alternatív útvonalakat, amelyek minimális késleltetéssel jönnek létre. Az RSTP minden kapcsolónál más-más portokat határoz meg a hálózati forgalom irányításához:

- Gyökérport (Root port): A gyökérport az a port, amely a gyökérhídon keresztül BPDU-kat (Bridge Protocol Data Units) fogad. Általában, ez a legrövidebb útvonal.
- Kijelölt port (Designated port): Ez az a port, amelyen a gyökérhíd elér az adott hálózati szegmensünk. Minden szegmensben csak egy kijelölt port lehet, máskülönben hídhurok keletkezik.
- Alternatív és backup portok: Ezek a portok vagy standby vagy blokkolt üzemmódban vannak. Akkor kerülnek aktiválásra, ha egy port kiesik, így ezek tudják újra biztosítani a hálózati redundanciát (lásd RSTP sikeres hiba helyreállítás után).

Normál üzemben az alternate és backup portok blokkolt állapotban vannak, így nem alakulhatnak ki hálózati hurkok. Ahogy azt az ábrán is láthatjuk, a kék vonal mentén, csak a gyökérport és a kijelölt port továbbít adatforgalmat. [7]

3.1.2 RSTP hibás üzemben

Az előző ábrán láthattuk, hogy a narancssárga pontunk eljutott az egyik IED-ből a másik IED-be. Nézzük meg mi történik, ha valamilyen hálózati hiba van a rendszerben, és nem áll helyre a hurok, nem alakul ki a redundancia:

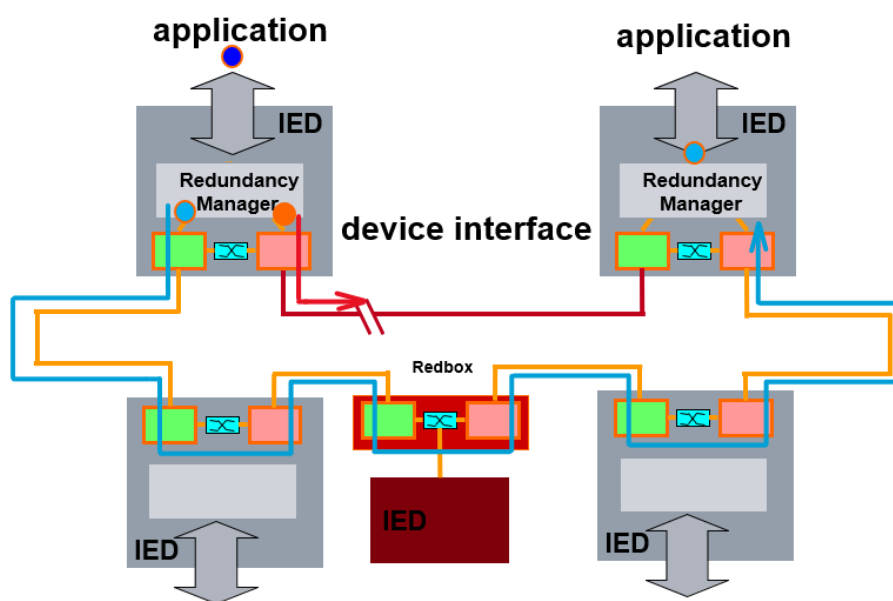


5. ábra RSTP hibás üzemben (forrás: Bánfalvy Zoltán, ABB Kft., MEE Vándorgyűlés, Budapest, 2012.09.06. Ethernet-hálózatok redundanciája, IEC 61850 és IEC 62439)

Ahogy azt már említettem, a helyreállítási idő igen kicsi, de nem nulla. Előfordulhat az az este, mikor a hálózatnak nincs elég ideje kiválasztani és aktiválni egy alternatív portot, így az adattovábbítás ebben az esetben megszakad.

3.1.3 RSTP sikeres hiba helyreállítás után

Amennyiben a hálózat a helyreállítási időn belül újra folytonos lesz, nem lesz adatkárosodás.



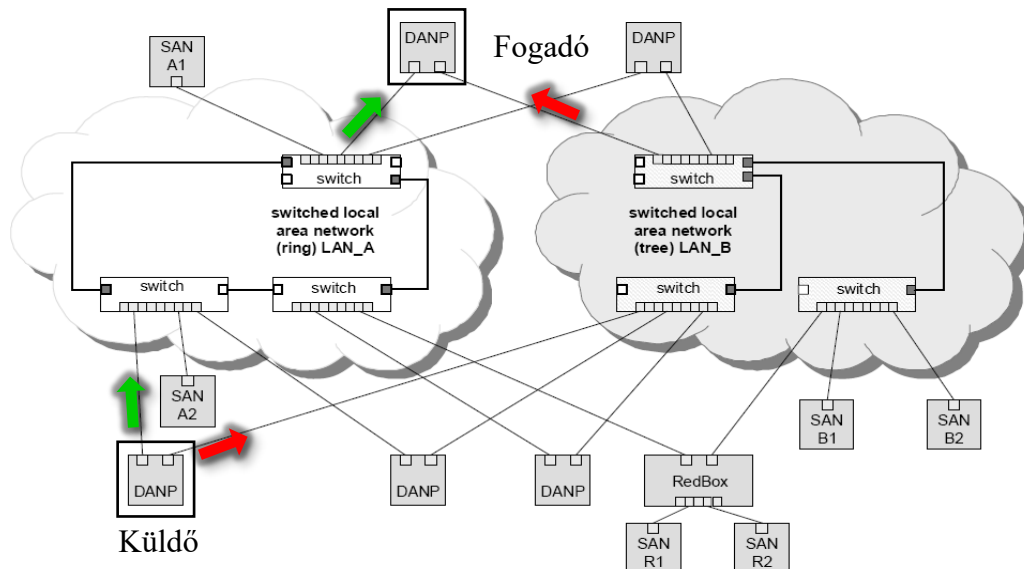
6. ábra RSTP sikeres hiba helyreállítás után (forrás: Bánfalvy Zoltán, ABB Kft., MEE Vándorgyűlés, Budapest, 2012.09.06. Ethernet-hálózatok redundanciája, IEC 61850 és IEC 62439)

Hiba esetén az RSTP aktivál egy megfelelő alternatív vagy backup portot, azaz a blokkolt állapotát átváltoztatja aktívra, így egy új útvonalat jelöl ki a gyökérport és a kijelölt port közé. Az ábránkon is jól látszódik az eltérés a normál üzemhez képest. Míg az első esetben a narancssárga pontunk jutott el egyik IED-ből a másikba, ebben az esetben egy másik útvonalon a világoskék pontunk fog a hálózatban mozogni. Az is jól látszódik, hogy eredetileg a mályva színű portból indult és a zöld portba érkezett az adat, míg a sikeres hibaelhárítás után ez pont fordítva történt. [7] [8]

3.2 PRP (Parallel Redundancy Protocol)

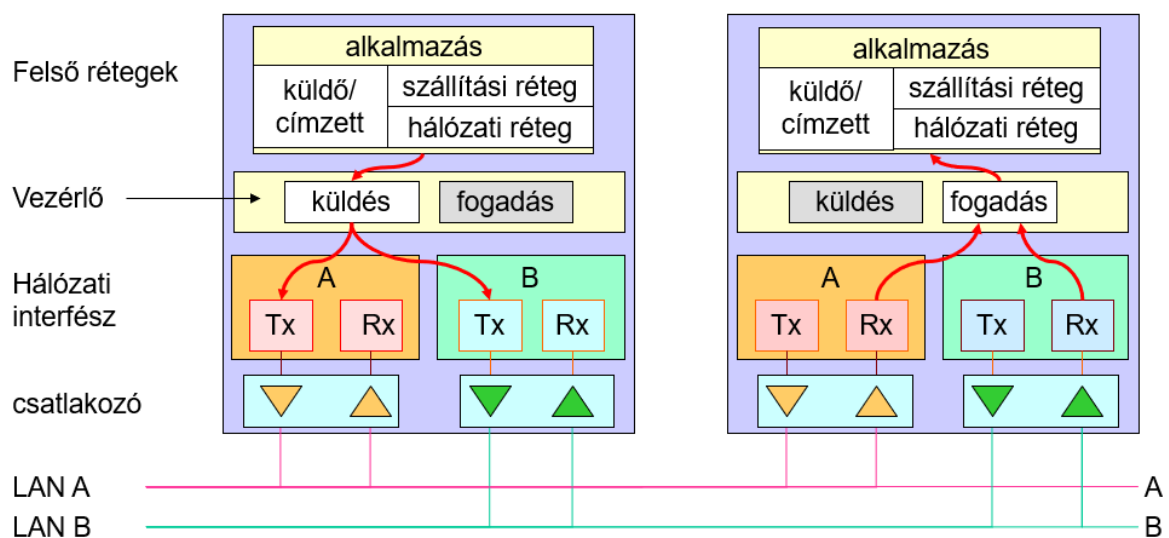
A PRP egyik legfontosabb tulajdonsága a zéró adatvesztés. Ez a protokoll az IEC62439-3 szabványnak felel meg. Több hálózati struktúrában alkalmazható, de a csillagtopológiában a legelterjedtebb. Lényege, hogy két egymástól teljesen független hálózat van. A redundanciát támogató eszközöket ennél a kialakításnál DANP-nak (Double Attached Node implementing

PRP) nevezzük, ugyanis ezek a készülékek mindkét független hálózathoz csatlakoztatva vannak.



7. ábra PRP felépítése (forrás: Bánfalvy Zoltán, ABB Kft., MEE Vándorgyűlés, Budapest, 2012.09.06. Ethernet-hálózatok redundanciája, IEC 61850 és IEC 62439)

Mindkét hálózaton elküldjük ugyan azt a csomagot, amit továbbítani szeretnénk a vevő felé. Ha nincs hiba az útvonalakban, akkor a vevő mindkét hálózaton keresztül megkapja a kívánt adatsomagot. Az elsőt – tehát amit hamarabb kapott meg – feldolgozza, míg a másodikat eldobja.

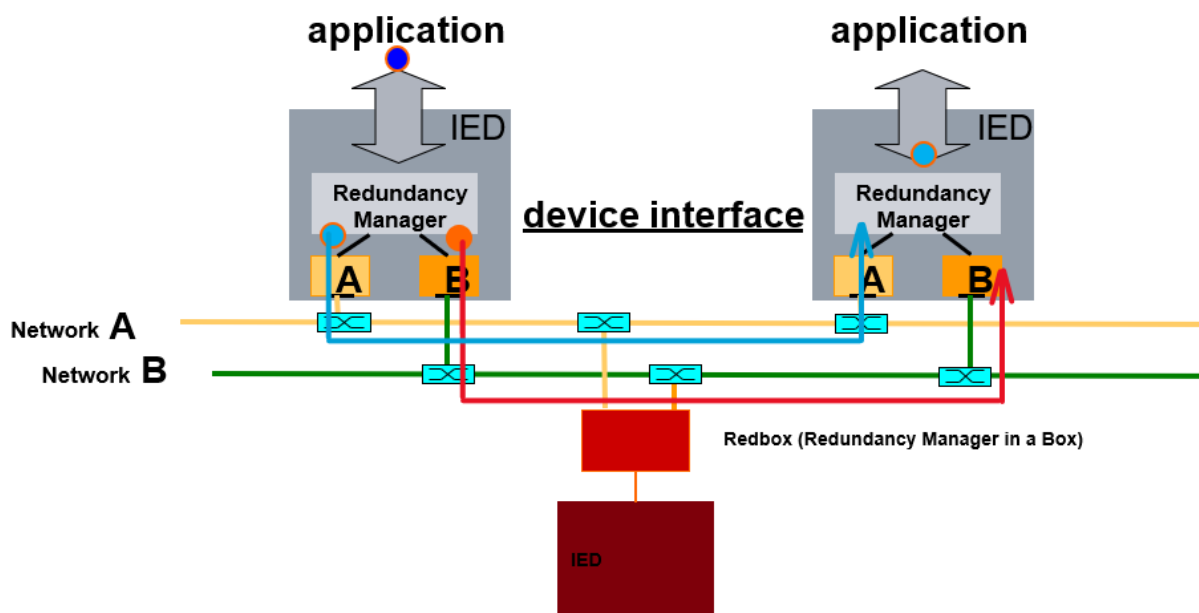


8. ábra PRP adatfolyam (forrás: Bánfalvy Zoltán, ABB Kft., MEE Vándorgyűlés, Budapest, 2012.09.06. Ethernet-hálózatok redundanciája, IEC 61850 és IEC 62439)

Az alábbi ábra szemlélteti nagyon jól a folyamatot. Az adatkeretet mind a LAN A és mind a LAN B hálózatra elküldjük. Természetesen az adatsomagok valamilyen késleltetéssel érkeznek meg a vevőhöz. Mielőtt megérkeznek a címzetthez, a hálózati réteg és a hálózati interfész közé beépített vezérlő kiszűri a duplikált adatsomagokat, hisz neki a feladata az adatáramlás kezelése. A két irány teljes mértékben egyenrangú, nincs köztük kitüntetett. Az egyik útvonal hibája esetén természetesen a másik útvonalról hiba nélkül továbbra is megkapja az adatsomagokat a vevő. Ahogy az elején említettük, emiatt a párhuzamos útvonal miatt a fő előnye ennek az alkalmazási módszernek a zeroátviteli késleltetés. PRP esetében mindkét hálózati interfészen ugyanazzal az IP címmel és fizikai címmel (MAC address) rendelkeznek.

3.2.1 PRP normál üzemen

A már röviden összefoglalt normál üzemet szemlélteti az alábbi ábra:

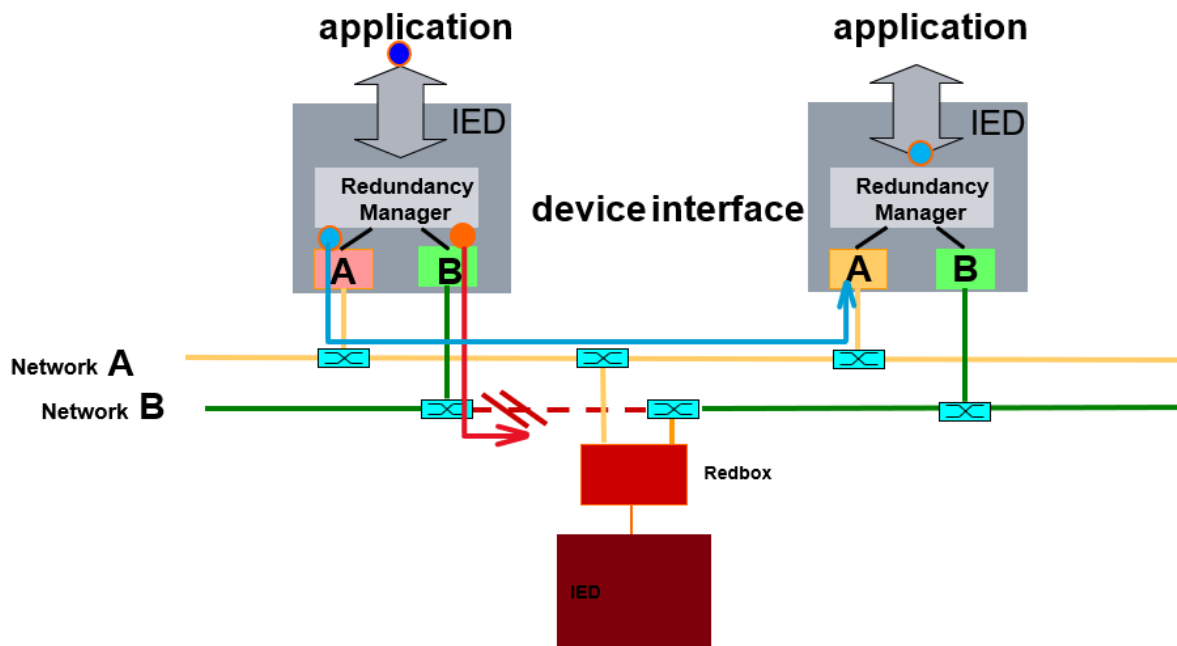


9. ábra PRP normál üzemen (forrás: Bánfalvy Zoltán, ABB Kft., MEE Vándorgyűlés, Budapest, 2012.09.06. Ethernet-hálózatok redundanciája, IEC 61850 és IEC 62439)

Láthatjuk tehát, hogy az adatsomagot mind az „A”, mind a „B” hálózatról megkapja az IED-nk. Ugyan az az adat (sötétkék pötty „A” hálózaton világoskék, míg „B” hálózaton narancssárga pöttyként szerepel), párhuzamosan jut el a cél felé, két különböző hálózaton. Az „A” hálózaton az adat gyorsabban eljut a cél felé, a redundancy manager, azaz a hálózati interfész kiszűri a duplikációt, és a „B” hálózaton a késleltetéssel megérkező adatsomagot szimplán eldobja.

3.2.2 PRP hibaelhárítás működése (hiba esetén)

Ha az egyik hálózat (esetünkben a LAN B) meghibásodik, azt a PRP rendszer automatikusan felismeri, hiszen a „B” hálózat felől nem érkezik meg az adatcsomag. Az „A” hálózat felől továbbra is megérkeznek a csomagok a célhoz, így a folytonos kommunikáció megmarad.



10. ábra PRP hibaelhárítás működése (hiba esetén) (forrás: Bánfalvy Zoltán, ABB Kft., MEE Vándorgyűlés, Budapest, 2012.09.06. Ethernet-hálózatok redundanciája, IEC 61850 és IEC 62439)

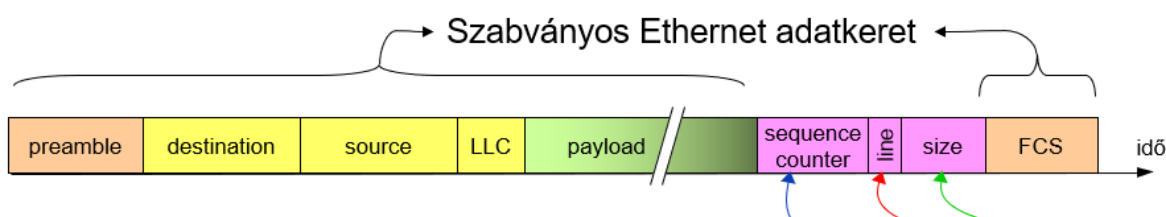
Az RSTP-vel ellenben a PRP működése során nem kell átkapcsolnia a hálózatnak, mivel itt párhuzamos, redundáns adattovábbítás zajlik mindkét hálózaton. Az „A” hálózat továbbra is működik a „B”-vel ellentétben, így a kommunikáció teljes mértékben folytonos. Mivel az adatcsomagok továbbra is megérkeznek, a felhasználó nem vesz észre semmit a rendszerhibából. Tehát kijelenthetjük a rendszer automatikus átváltásra képes az egyenrangú hálózatok között. Meg lehet azt is tenni, hogy a hálózat hibája esetén a rendszerkezelők, rendszerüzemeltetők felé értesítést küld a protokoll, ugyanis a PRP diagnosztikai üzeneteket képes generálni. Ezt akár egy diagnosztikai képen is láthatjuk, ami elősegíti a rendszer gyors helyreállítását, anélkül, hogy az befolyásolná a működést. Amennyiben a hálózat automatikusan helyreállna, az adattovábbítás újra visszaáll a redundáns állapotba, és ismét elkezd mindkét hálózat párhuzamosan küldeni az adatcsomagokat a célállomás felé. [9]

3.2.3 PRP előnyei, hátrányai

Összegezve a PRP előnyei közé tartozik a különböző topológiák támogatása, az IED-ktől független hálózat kialakítása, a rugalmas sebesség (akár már 1 GB/s is). Mivel szabványos Ethernet alapú építőelemeket tartalmaz, nem szükséges semmilyen speciális eszköz. Kihasználható a teljes sávszélesség, a duplikációk kiszűrése miatt nem telítődik a memória gyorsan. A helyreállítási idő nulla, tehát nincs adatvesztés. Ha meghibásodna egy IED, az nem lenne kihatással a hálózat működésére. Előfordulhat olyan eset is, hogy olyan készülékek vannak a hálózatban, melyek nem támogatják a redundáns kommunikációt. Szerencsére ennél a protokollnál ezt a probléma, ugyanis közvetlenül a hálózatba lehet őket csatlakoztatni, vagy egy másik lehetséges módszer lehet úgynevezett „RedBox”-ok közbeiktatásával. „RedBox”-szal akár mindkét hálózatra egyidejűleg csatlakoztathatjuk őket. A sok előny mellett természetesen itt is beszélhetünk hátrányokról. A legnagyobb hátránya a rendszernek a magas telepítési költség a switchek és a kábelezések miatt.

3.2.4 IEC62439-3 PRP – Duplikációk kiszűrése

Felmerülhet a kérdés, hogy hogyan is szűri ki a duplikációkat a hálózati interfész. A PRP-nél és a következő egységben taglalt HSR-nél ugyan az a módszer, így taglaljuk most. Minden PRP és HSR protokoll által küldött adatcsomaghoz hozzáfűznek speciális mezőket, amik jellemzik az útvonalat.



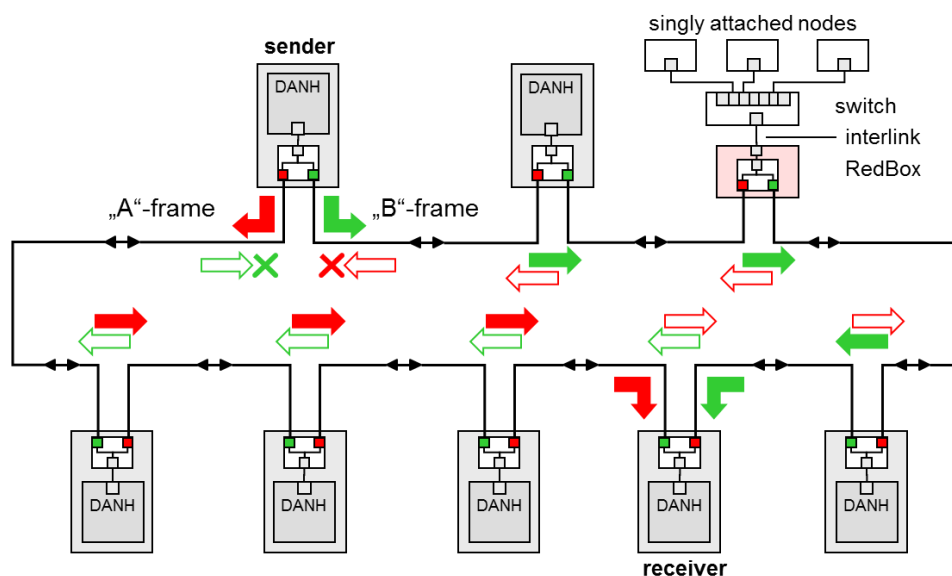
11. ábra Duplikációk kiszűrése PRP, HSR esetén (forrás: Bánfalvy Zoltán, ABB Kft., MEE Vándorgyűlés, Budapest, 2012.09.06. Ethernet-hálózatok redundanciája, IEC 61850 és IEC 62439)

Minden szabványos Ethernet alapú adatkerethez csatolnak egy sorszámot (szekvencia), egy sormutatót, egy méretet, és az FCS (Frame Check Sequence, IEEE 802.3 cyclic redundancy check) mezőt. Ezek azok az információk, amik az adatkeret végén, a „hasznos” adatok után helyezkednek el. Ezáltal a hálózati adatforgalmat elemezve szinte átlátszóak. A küldő fél mindkét irányú csomagját ugyanazzal a sorszámmal látja el. Ha új adatcsomagot küld a rendszerbe, akkor a sorszám bitet növelni fogja eggyel. A vevő egy adatbázis alapján

nyilvántartja a sorszámokat és a források fizikai címeit. Ha ugyanarról a fizikai címről ugyanolyan sorszámmal ellátott adatcsomag érkezik a vevőhöz, csak más hálózatról, a vevő nemes egyszerűséggel szimplán eldobja a keretet. Minden csomópontban logolva van a másik hálózat csomóponti listája, ezáltal a hiba könnyen kiszűrhető. [10]

3.3 HSR (High-availability Seamless Redundancy)

A HSR a PRP-hez hasonlóan nulla adatvesztésű redundanciás protokoll. Ez a protokoll csak a gyűrűs topológiában használható. Hasonló a redundanciát támogató kommunikációs eszközök elnevezése, mint a PRP-ben, csak itt nem DANP-nak, hanem DANH-nak (Double Attached Node implementing HSR) nevezzük őket. Itt is két egymástól független hálózatról beszélünk, valamint itt a készülékek sorba vannak felfűzve.



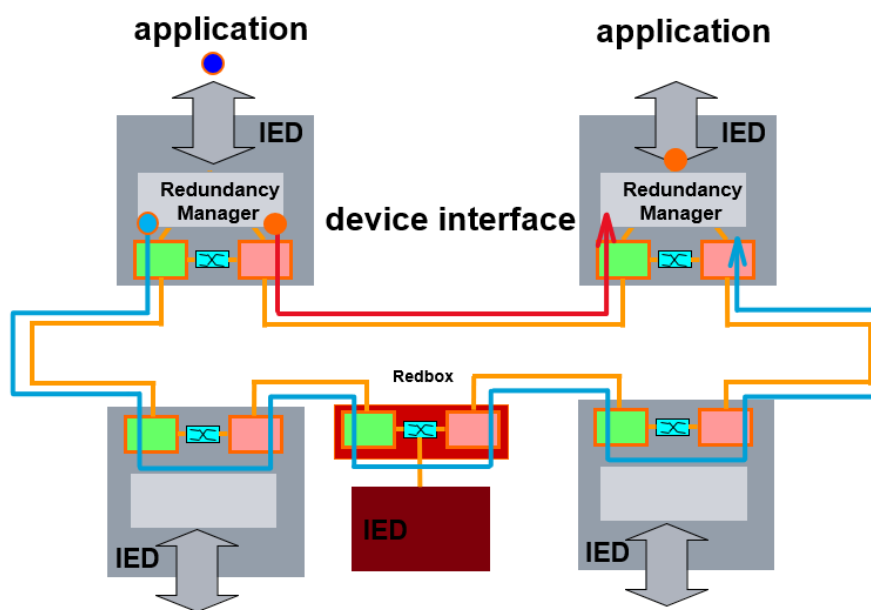
12. ábra HSR felépítése (forrás: Bánfalvy Zoltán, ABB Kft., MEE Vándorgyűlés, Budapest, 2012.09.06. Ethernet-hálózatok redundanciája, IEC 61850 és IEC 62439)

A HSR párhuzamos útvonalat biztosít az adatok számára, azaz az adók mindkét irányba elküldik az adatcsomagokat („A”-keret, „B”-keret). A két független hálózaton keresztül elküldött adatcsomagokat a vevő mindkét portján keresztül megkapja, természetesen valamilyen késleltetéssel. Hiba nélküli esetben az első adatcsomagot feldolgozza, a másik adatcsomagot eldobja. Arról, hogy hogyan szűri a duplikációt a HSR, már a 3.2.4. fejezetben beszéltünk. Bármilyen hálózati hiba esetén a másik hálózat automatikusan továbbítja az adatokat a vevőnek, így a rendszer folyamatosan működik, megszakítás nélkül. Fontos előre gondolkodnunk az

ilyen hálózatok kialakításánál, és figyelembe kell vennünk az egyszeres tartalékolás (N-1) elvét. A DANH csomópontok bridge feladatot is ellátnak a hálózatban a portjaik között.

3.3.1 HSR normál üzemben

Ismét vizualizáljuk a fent említett elméleti hátteret. Ahogy a PRP, úgy a HSR alapja is a párhuzamos adatküldés. Gyűrű topológiában az IED két irányba küldi az adatsomagokat. Egyik adatsomag az óramutató járásával megegyező, míg a másik azzal ellentétes irányba halad. Az ábránk rendkívül hasonló lesz ahhoz, amit az RSTP-nél alkalmaztunk.

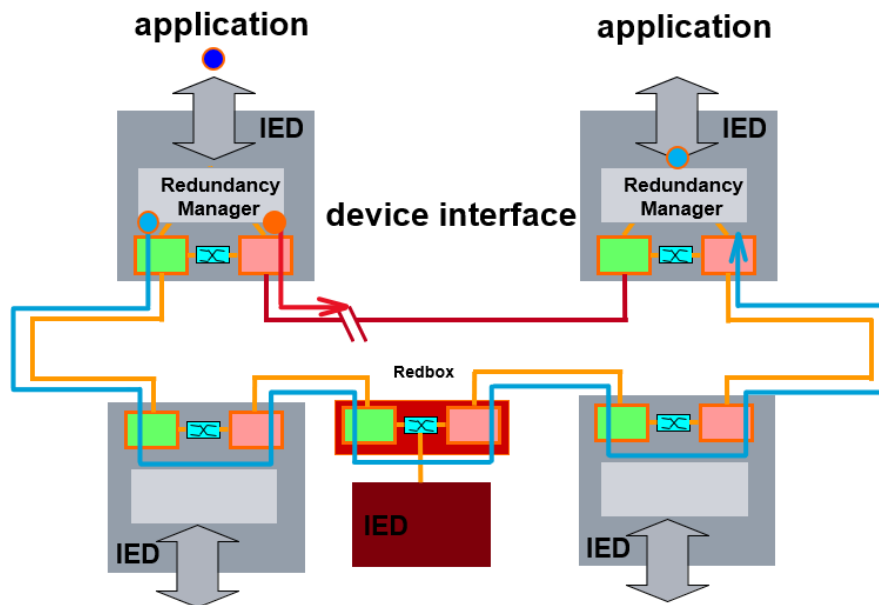


13. ábra HSR normál üzemben (forrás: Bánfalvy Zoltán, ABB Kft., MEE Vándorgyűlés, Budapest, 2012.09.06. Ethernet-hálózatok redundanciája, IEC 61850 és IEC 62439)

Láthatjuk, hogy mivel a piros útvonal rövidebb, mint a világoskék, így a narancssárga pöttyünk fog hamarabb célba érni. A redundancy manager itt is kiszűri a késleltetéssel érkező adatokat, és eldobja a duplikációkat.

3.3.2 HSR hibaelhárítás működése (hiba esetén)

Amennyiben a gyűrű egyik szakaszán fellép valamilyen hálózati hiba (például meghibásodik a kábel, vagy kiesik egy eszközünk), úgy az az útvonal megszakad. Szerencsére a másik útvonal nagy valószínűséggel ép marad, ezért azon az útvonalon továbbra is folyik az adattovábbítás.



14. ábra HSR hibaelhárítás működése (hiba esetén) (forrás: Bánfalvy Zoltán, ABB Kft., MEE Vándorgyűlés, Budapest, 2012.09.06. Ethernet-hálózatok redundanciája, IEC 61850 és IEC 62439)

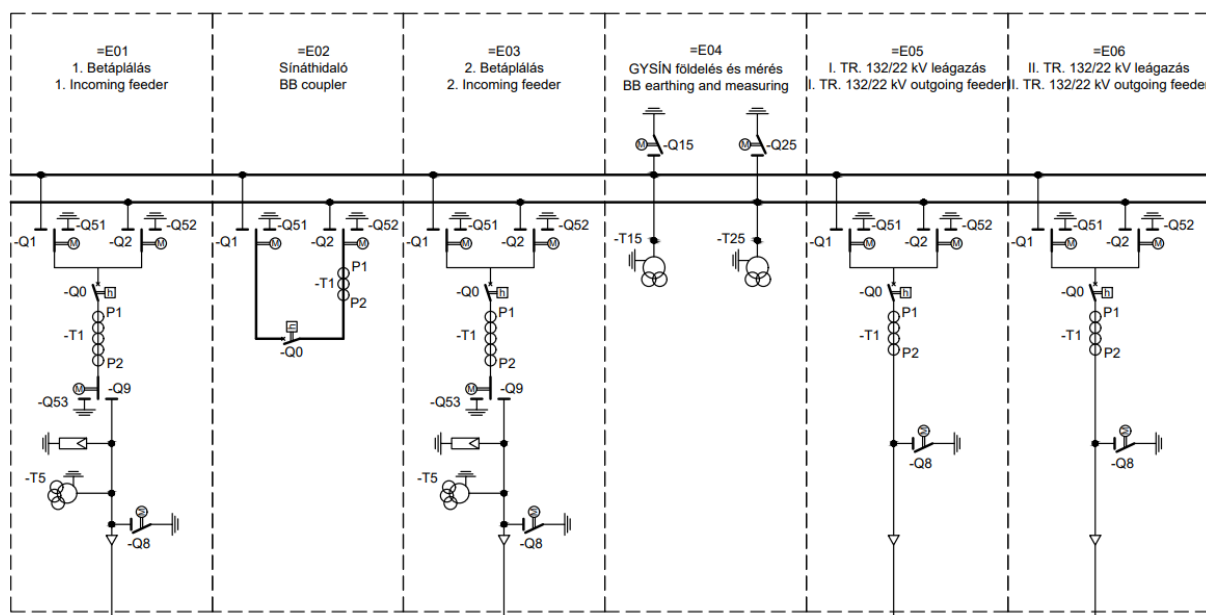
Az ábra jól szemlélteti, hogy a piros útvonalon megszakadt a kábel, abba az irányba nem tud folyni az adat, így kerülővel, de a világoskék adatcsomagunk fog célba érni. Vizuálisan nagyon jól szemlélteti azt is az ábra, hogy ha kiesik még egy készülék a hálózathoz, a gyűrű topológia miatt a kommunikáció megszakad. [11]

3.3.3 HSR előnyei, hátrányai

A HSR előnyei a nulla helyreállítási idő, illetve az alacsony költségvetés, hiszen nem igényel switcheket és extra kábelezést. Sajnos negatívumból annál több jutott ennek a megoldási módszernek. Csakis gyűrűs topológiában lehet használni, mert az IED-k és a portjaik a hálózat szerves részét képezik. Speciális eszközök is szükségesek, hiszen nem csak szabványos Ethernet alapú építőelemeket tartalmaz. Fix hálózati sebességű, általában 100 MB/s, de előfordulhat kicsivel nagyobb is. A kihasználható sávszélesség a párhuzamos adatáramlás miatt a teljes felére csökken csak. A PRP-hez hasonlóan itt is használhatunk „RedBox”-okat, viszont itt csak így tudjuk a redundanciát nem támogató készülékeket a hálózathoz csatlakoztatni, közvetlenül nem tudjuk a hálózatba implementálni. Ha egyidejűleg kettő vagy több IED meghibásodik, a kommunikációs kapcsolatunk megszakadhat, nagy valószínűséggel nem jut el az adatcsomag a feladótól a vevőhöz.

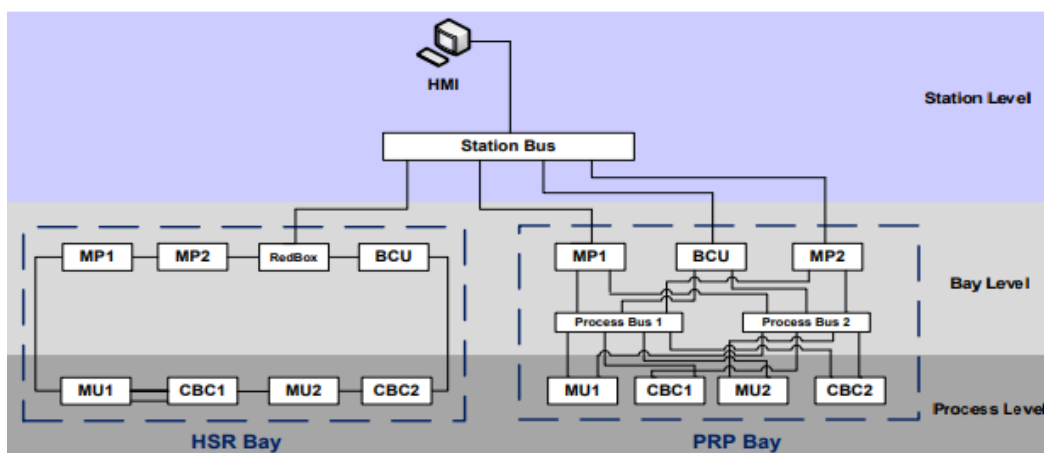
4 ADATÁRAMLÁS PRP ÉS HSR RENDSZEREKBEN

Az alábbi ábra egy dupla gyűjtősínes 132kV/22kV-os alállomás egyvonalas tervét szemlélteti a nagyfeszültségű oldalról:



15. ábra 132kV/22kV-os alállomás nagyfeszültségű egyvonalas sémája (saját ábra)

Két betáplálási mezőből, egy sínáthidaló mezőből, egy gyűjtősín mezőből (ami a mérési feladatokat is ellátja), és két transzformátoros leágazásból áll. Megtehetjük azt, hogy kétféle redundanciát alkalmazunk a hálózatunkban. Az egyik vonalon PRP, a másik vonalon HSR protokollt alkalmazhatunk.



16. ábra Kétféle redundancia alkalmazása egy hálózaton belül (forrás: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8586044>)

Az alábbi ábrán láthatunk egy példát, ahol a hálózaton belül kétféle redundanciát alkalmazunk. Az MU rövidítés a Merging Unitot jelenti, aminek a feladata, hogy a process buson digitalizáljon minden analóg és digitális jelet, hogy azokat az IEC61850-es protokollban használni tudjuk. Ma még gyerekcipőben jár, de ez lesz a digitális alállomások alapja, hogy kialakuljon a végpontok közti digitalizáció. A CBC a megszakítóvezérlőt jelöli (Circuit Breaker Controller), az MP a fő védelmi készülékeket (Main Protection), míg a BCU a Bay Control Unit, aminek sajnos a szakmában tökéletes magyar megfelelője nincs.

4.1 Adatfolyam struktúra (Data Flow Structure)

Ahogy az IEC61850-es szabványban szerepel, digitális alállomásoknak háromféle kommunikációs formát különböztetünk meg:

- Manufacturing Message Specification (MMS)
- Generic Object Oriented Substation Event (GOOSE)
- Sampled Values (SV)

Az MMS üzenet a kliens-szerver kommunikáción alapul, és olyan üzemeltetéssel kapcsolatos információkat tartalmaz, mint a vezérlés, riasztások és jelzések. A GOOSE és SV üzenetek a publikáló-feliratkozó (publisher-subscriber) kommunikáción alapulnak. Olyan időkritikus információkat hordoznak magukban, mint például a különböző védelmi kioldások vagy az analóg mérések. Az alállomásokban a station buson és a process buson egyszerre akár mind a három kommunikációs formát használhatjuk.

A következő táblázat összefoglalja a 3 típusú üzenetformát FITNESS (Future Intelligent Transmission Network Substation) architektúrában: [12]

Üzenet típusa	Kommunikációs forma	Forrás, cél	Adatcsomag mérete [byte]
Sampled Value	Publikáló-feliratkozó	H_MUs → H_MP H_MUs → H_BCU P_MUs → P_MP P_MUs → P_BCU	133
GOOSE	Publikáló-feliratkozó	H_MP → H_CBC P_MP → P_CBC H_BCU → H_CBC P_BCU → P_CBC H_BCU → P_MP P_BCU → H_MP	150 (normál üzemmódban) 150-160 (hiba esetén)
MMS	Kliens-szerver	HMI → H_BCU HMI → P_BCU H_BCU → HMI P_BCU → HMI P_MP → P_HMI H_MP → H_HMI	700

2. táblázat Sampled Value, GOOSE, MMS FITNESS architektúrában (saját ábra, forrás: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8586044>)

A H előtag a HSR rendszert jelöli, míg a P előtag a PRP rendszert. Az utána lévő rövidítéseket már fentebb megmagyaráztam, a HMI a Human Machine Interface, azaz maga az eszköz előlapja.

4.2 Hibaállapot figyelembevétele

Egy alállomáson többféle hiba is kritikus üzemállapotot okozhat. A dolgozat elején már megemlítettem pár példát, nézzük meg kicsit bővebben ezeket, illetve nézzük majd meg az adatok felépítését.

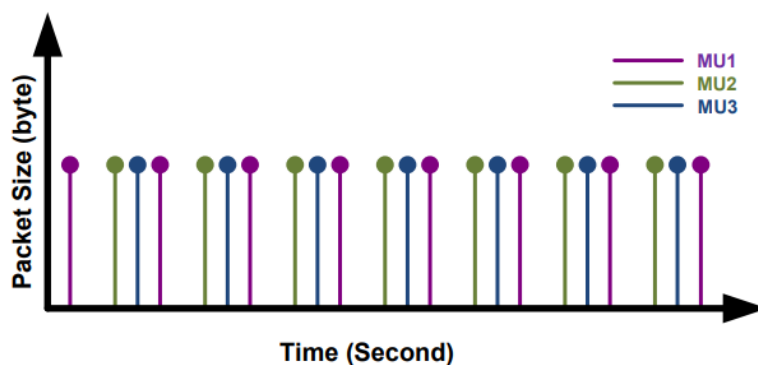
- Hibás berendezések (például Merging Unit): Rengeteg adat érkezik ezekből az eszközökből, ráadásul ciklikusan. Következésképpen, ha egy berendezés meghibásodik, az adatok késhetnek, akár el is veszhetnek, ami kritikus hibát gyakorolhat a villamosenergia-rendszer működésére.

- Optikai szál meghibásodása: Egyetlen egy Ethernet-kapcsolat megszakadása a process busban kis hatással van csak a PRP és HSR hálózatokra, mivel minden adat duplikálódva érkezik meg a célállomáshoz, valamint egymástól független, két különböző útvonalon. Ugyanakkor, ha egy kapcsolat meghibásodik a station busban, az kihatással lesz az egész rendszerre, az egész állomásra.
- Betáplálási hiba: Hiba léphet fel a leágazáson belül bárhol. Fellephet a tápellátás bármely pontján is. A hiba lehet vezeték és vezeték vagy vezeték és föld között. Hiba esetén a megszakítóhoz azonnali kioldási parancs érkezik GOOSE-on keresztül.

4.3 Sampled Value és GOOSE üzenetek felépítése a process busban

4.3.1 Sampled Value

Minden Sampled Value üzenet egy fix data setet visz, amely feszültség és áram információkat tartalmaz, amit a Merging Unit küld. Egy Merging Unitot helyeznek a transzformátorok és a process busz közé, hogy az analóg jeleket digitális jelekké alakítsák át. A Sampled Values multicasting lehetővé teszi, hogy ugyan azt az adatcsomagot több IED felé is közvetítsék. Az SV adatfolyamatát a következő ábra szemlélteti: [12]



17. ábra A Sampled Value adatfolyama (forrás: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8586044>)

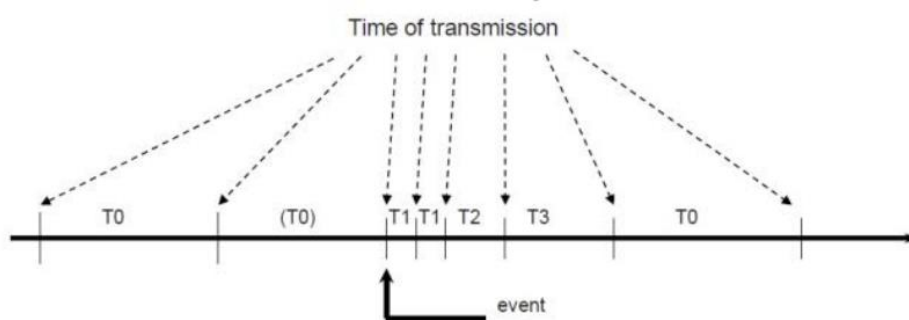
A diagramból az SV adatcsomag mérete és az idő közötti összefüggés az alábbi egyenlettel írható le:

$$f(t) = \delta(t - kT), k = 1, 2, 3 \dots n,$$

ahol $\delta(t)$ az impulzusjeleket definiálja.

4.3.2 GOOSE

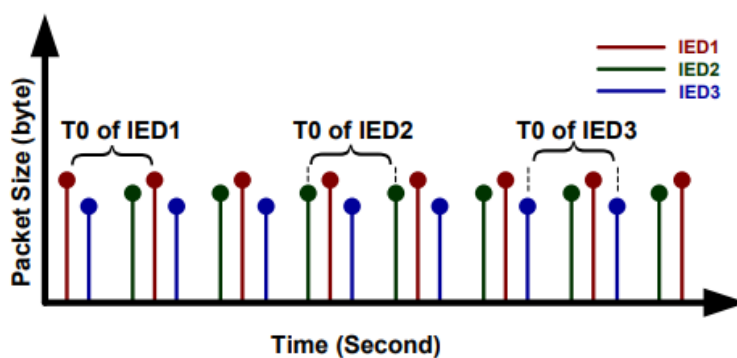
Az eseményvezérelt GOOSE üzenetet leginkább az IED-k által küldött kioldási jelek alkalmazzák, melyeknek célállomása a megszakítóvezérlő (CBC). Mivel ez egy magas prioritást élvező jel, így az érték és az információ rövid idő alatt kerül kicserélésre. A következő ábra azt szemlélteti, hogy állandósult állapotban a GOOSE üzenetek hogyan kerülnek továbbításra:



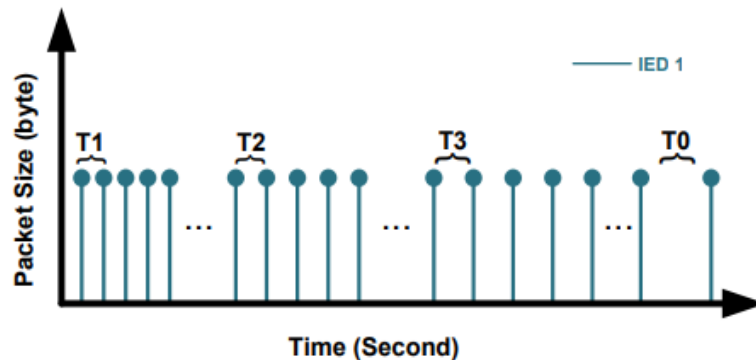
18. ábra GOOSE üzenetek időintervalluma (forrás: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8586044>)

Láthatjuk, hogy ha állandósult állapotról beszélünk, ciklikusan, egy előre definiált frekvencián, mint a szívverés (T0) kerül továbbításra az üzenet. Ezt a T0-at nevezzük a maximális újraküldési időnek. Ha valamilyen fontos esemény vagy hiba történik, a GOOSE üzenet küldési ideje lerövidül T1-re. Ezt követően az időintervallum fokozatosan nő T2-re, majd T3-ra, mindaddig, míg helyre nem áll a stabil üzemállapot, és az újraküldési idő be nem áll újra T0-ra.

A GOOSE újraküldési idő mechanizmusát a következőképpen tudjuk szemléltetni:



19. ábra GOOSE üzenet több IED esetén (forrás: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8586044>)



20. ábra GOOSE üzenet hibás üzemmódban, időintervallumokkal (forrás: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8586044>)

A felső ábrán több IED GOOSE üzenetét láthatjuk, míg az alsó ábrán egy hibás üzemmódot.

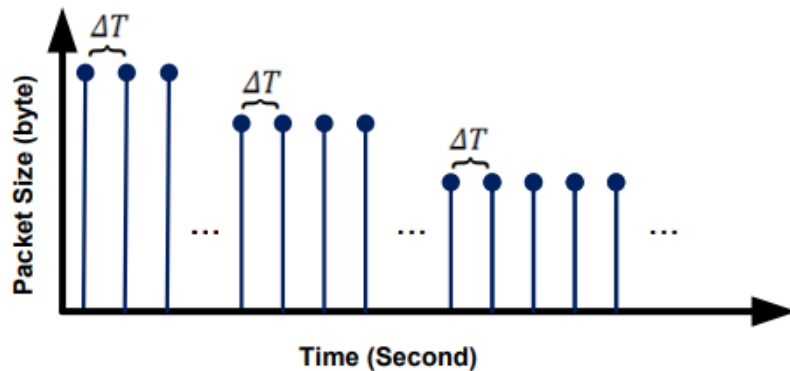
Tegyük fel, hogy a GOOSE adatcsomagok teljes száma $T1$, $T2$ és $T3$ időintervallum alatt rendre l , m , n . T hibatörlési időn belül kell lennie (megközelítőleg 80-90ms) a hibaesemény (például zárlat) miatt frissített GOOSE teljes időtartamának. A T hibatörlési időt az alábbi egyenlőség írja le:

$$T1 \cdot l + T2 \cdot m + T3 \cdot n < T$$

Laboratóriumi tesztek alapján:

- $l = 4$
- $m = 3$
- $n = 4$
- $T1 = 0,003s$
- $T2 = 0,009s$
- $T3 = 0,012s$

Feltételezzük azt, hogy a hibaállapot alatti idő intervallumok egyenletesen ΔT , a GOOSE data flowja az alábbi módon ábrázolható:



21. ábra GOOSE adatfolyama (forrás: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8586044>)

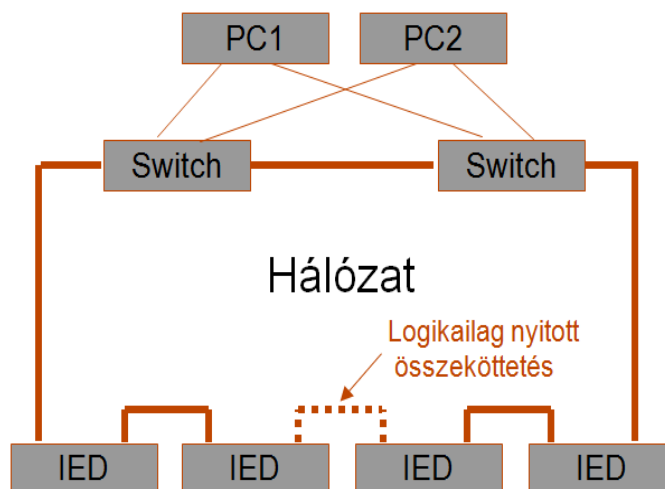
Természetesen ezalatt a ΔT idő alatt is generálódnak adatcsomagok, amelyeknek a mennyiségi valószínűségét Poisso-eloszlással tudjuk leírni:

$$P(N(t + \Delta t) - N(t) = n) = \frac{(\lambda \Delta t)^n e^{-\lambda \Delta t}}{n!}, 0 < \Delta t < t,$$

ahol λ a csomagok gyakoriságát jelöli Δt időben.

4.4 Alkalmazási példák tapasztalatokkal

Az utóbbi évben egyre inkább az RSTP topológián alapuló hurkolt Ethernet hálózatok terjedtek el. Talán erre mondható, hogy a legköltséghatékonyabb megoldás, ugyanis ez a módszer csak a készülékek közötti összeköttetés redundanciát biztosítja. Meghibásodás esetén ugyan nem nagy valószínűséggel, de adatvesztés léphet fel. A helyreállítási idő a topológia fejlesztésének kezdetén egy másodperc körül volt, ma már ezt sikerült leredukálni 100ms nagyságrendűre, körülbelül 20 darab készülék esetén. [4] [13]



22. ábra Redundáns hálózat kialakítása a gyakorlatban (forrás: Bánfalvy Zoltán, ABB Kft., MEE Vándorgyűlés, Budapest, 2012.09.06. Ethernet-hálózatok redundanciája, IEC 61850 és IEC 62439)

Amennyiben a hálózatban használnak olyan speciális funkciókat, mint például a reteszelés, engedélyezés, tiltás, kioldási parancsok, abban az esetben meg kell oldani, hogy a helyreállítási idő maximum 4ms legyen.

Ismert multinacionális vállalatok ma már elkezdtek kísérletezni a PRP és HSR bevezetésével is. Az ABB, majd később az átalakulás után a Hitachi Energy számos projektben alkalmazza a PRP-t, amellyel garantálják az alállomásoknál a magas szintű megbízhatóságot, valamint a rendelkezésre állást. A Relion sorozatú védelmi készülékek támogatják a PRP-t, amely lehetőséget ad a párhuzamos redundáns kommunikáció kialakítására. A Relion készülékek ezáltal biztosítják a folyamatos kommunikáció fenntartását a vezérlőközponttal, más eszközökkel valamilyen hálózati hiba esetén. A Hitachi Energy svájci tesztközpontjában a mai napig folynak hosszútávú, intenzív tesztek.



23. ábra Hitachi Enegy svájci tesztközpont (saját fotó)

A konfiguráció ugyan minimális többletmunkát igényel, mert a redundanciát a hardver szintjén kell kezelni.

5 TOVÁBBFEJLESZTÉSI LEHETŐSÉGEK

Dolgozatom elméleti háttérét szeretném megvalósítani a gyakorlatban is. Szeretnék egy demó állomást építeni, amely már folyamatban is van. Ezen a demó szekrényen 2 védelem közti kommunikációt szeretném elemezni. A demó alállomás tartalmaz egy ABB REF615 kompakt védelmi-mezővezérlőt, egy ABB REF630 komplex védelmi-mezővezérlő készüléket, illetve egy ABB RIO600 távoli bemeneti/kimeneti egységet. Első lépésként újra kell vezetékeezni, újra kell huzalozni a szekrényt, illetve a védelmeket. Ezután fel kell paraméterezni a védelmeket, el kell készíteni azok konfigurációját. Amint ez kész van el kell készíteni a szoftveres kommunikációs összeköttetést, majd fel kell éleszteni a demó alállomást. A következő képek szemléltetik a szekrényt:



24. ábra Demó szekrény kialakítása (saját fotó)



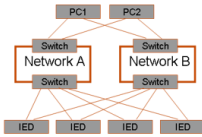
25. ábra Demó szekrény huzalozása (saját fotó)

Amint készen van a kommunikációs összeköttetés, szeretném a dolgozatomban említett protokollokat, szabványokat implementálni a hálózatba. Wireshark segítségével elemezném az adatcsomagok tartalmát, hogy hogyan valósul meg az elmélet a gyakorlatban. Az elkészült bemutató darabot oktatási segédletként lehet alkalmazni hallgatók és szakemberek képzésében, hogy lássák is hogyan történik az adattovábbítás és a redundancia folyamata ipari rendszerekben.

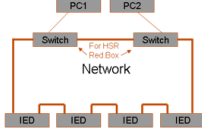
6 ÖSSZEFOGLALÁS

Láthatjuk, hogy a fejlődési lehetőség adott, leginkább a pénz az, ami határt szab a legkorszerűbb hálózatok kialakításában. Az alábbi táblázat összefoglalja a dolgozatban taglalt redundáns hálózatok előnyeit és hátrányait:

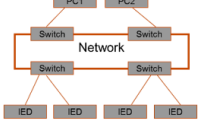
Megoldás	IEC 61850		Architektúra		Teljesítmény			
	8-1	9-2	Redundáns hálózat	1 portos IED	Adatvesztés	Helyreállítási idő	Hálózat	Késleltetés



PRP IEC 62439-3	Igen	Igen	Igen	Igen	Nincs	0 ms	Teljes sávszél., rugalmas sebesség	Nincs
---------------------------	------	------	------	------	-------	------	------------------------------------	-------



HSR IEC 62439-3	Igen	Igen	Nem	Nem, „RedBox” szükséges	Nincs	0 ms	Fél sávszél., Fix sebesség, 100Mbps	Késleltetés minden IED-nél
---------------------------	------	------	-----	-------------------------	-------	------	-------------------------------------	----------------------------



RSTP	Igen	Nem	Nem	Igen	Van	átlagosan 100ms (gyűrű 20 csomópont)	Teljes sávszél., rugalmas sebesség	Nincs
-------------	------	-----	-----	------	-----	--------------------------------------	------------------------------------	-------

26. ábra Redundáns megoldások összefoglaló ábrája (forrás: Bánfalvy Zoltán, ABB Kft., MEE Vándorgyűlés, Budapest, 2012.09.06. Ethernet-hálózatok redundanciája, IEC 61850 és IEC 62439)

Összefoglalásként elmondható, hogy az IEC61850-es szabvány, valamint a hozzá tartozó redundancia protokollok, mint az RSTP, PRP, HSR elengedhetetlen jelentőséggel bír a modern villamos alállomások biztonságos és folytonos üzemeltetésében. Ezen protokollok járulnak hozzá, hogy a kommunikáció hiba esetén is zavartalanul funkcionáljon, minimalizálva az adatvesztést és a rendszerleállás veszélyét. E megoldások összességében nemcsak a hálózat stabilitását fokozzák, hanem hosszú távú, fenntartható és biztonságos energiaelosztást is garantálnak.

Ahogy már többször is említettem, az egyik legelterjedtebb megoldás az RSTP, de amilyen ütemben fejlődik a technológia, az informatika, lehet, hogy holnapután már alap megoldás lesz a PRP vagy a HSR használata, vagy akár valamilyen újabb, jobb, gyorsabb módszert fogunk alkalmazni.

7 HIVATKOZÁSOK

- [1] S. Zsigmond, „Cetroszet,” 30 10 2024. [Online]. Available: https://centroszet.hu/tananyag/szoftver/6_hlzeti_protokollok.html.
- [2] F. Z. Y. B. L. Y. R. S. S. C. X. Chen Haidong, „IED Modeling Based On IEC61850 Standard,” International Conference on Electronic & Mechanical Engineering and Information Technology, 2011.
- [3] C. György, Szerző, *Az IEC61850 szabvány*. [Performance]. 2010. november 17..
- [4] S. Gábor, Szerző, *Az IEC61850-es szabvány gyakorlati alkalmazása*. [Performance]. ABB Kft, 2010. június 1..
- [5] S. I. Shantanu Kumar, „High Performance Communication Redundancy,” 2015 Australasian Universities Power Engineering Conference (AUPEC), 2015.
- [6] D. E. I. Kar, „<https://irh.inf.unideb.hu/>,” [Online]. Available: https://irh.inf.unideb.hu/~cisco/cisco/doku.php?id=srwe:05._fejezet_-_feszitofa_protokoll_stp. [Hozzáférés dátuma: 30 10 2024].
- [7] S. Kumar, N. Das és S. Islam, „Implementing PRP and HSR Schemes in a HV Substation based on IEC62439-3,” 2018 Condition Monitoring and Diagnosis (CMD), 2018.
- [8] J.-c. Tan és W. Luan, „IEC 61850 based substation automation system architecture design,” 2011 IEEE Power and Energy Society General Meeting, 2011.
- [9] A. B. Darby, M. Farook és A. A. Al-Sultan, „Experience using PRP Ethernet redundancy for Substation Automation Systems,” 12th IET International Conference on Developments in Power System Protection (DPSP 2014), 2014.
- [10] M. Rentschler és H. Heine, „The Parallel Redundancy Protocol for industrial IP networks,” 2013 IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT), 2013.

- [11] R. Borgohain, M. J. Roy és P. P. Choudhury, „A brief introduction to High Availability Seamless Redundancy (HSR) and some of its drawbacks : An insight into the functioning of HSR Protocol,” 2018 3rd International Conference on Communication and Electronics Systems (ICCES), 2018.
- [12] L. Xu, H. Li és L. Chen, „Modeling and Performance Analysis of Data Flow for HSR and PRP under Fault Conditions,” 2018 IEEE Power & Energy Society General Meeting (PESGM), 2018.
- [13] R. C. Bernardino, C. M. Martins, P. S. Pereira, G. E. Lourenço és P. S. P. Junior, „Link redundancy in the process bus according to IEC 61850 ED.2: experience with RSTP, PRP and HSR protocols,” 16th International Conference on Developments in Power System Protection (DPSP 2022), 2022.

8 ÁBRAJEGYZÉK

1. táblázat A hagyományos és az IEC61850-es rendszer közti különbségek (saját ábra)	6
2. táblázat Sampled Value, GOOSE, MMS FITNESS architektúrában (saját ábra, forrás: https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8586044)	22
1. ábra A megszakító IEC61850-es adatmodellje (saját ábra, forrás: Bánfalvy Zoltán, ABB Kft., MEE Vándorgyűlés, Budapest, 2012.09.06. Ethernet-hálózatok redundanciája, IEC 61850 és IEC 62439)).....	7
2. ábra Az IEC61850 hierarchikus felépítése (forrás: https://www.researchgate.net/figure/Logical-View-of-a-Physical-Device-in-IEC-61850-A-physical-device-represents-the-external_fig3_29601384)	8
3. ábra Az RSTP felépítése (forrás: Bánfalvy Zoltán, ABB Kft., MEE Vándorgyűlés, Budapest, 2012.09.06. Ethernet-hálózatok redundanciája, IEC 61850 és IEC 62439)	9
4. ábra RTSP normál üzemben (forrás: Bánfalvy Zoltán, ABB Kft., MEE Vándorgyűlés, Budapest, 2012.09.06. Ethernet-hálózatok redundanciája, IEC 61850 és IEC 62439).....	10
5. ábra RSTP hibás üzemben (forrás: Bánfalvy Zoltán, ABB Kft., MEE Vándorgyűlés, Budapest, 2012.09.06. Ethernet-hálózatok redundanciája, IEC 61850 és IEC 62439).....	11
6. ábra RSTP sikeres hiba helyreállítás után (forrás: Bánfalvy Zoltán, ABB Kft., MEE Vándorgyűlés, Budapest, 2012.09.06. Ethernet-hálózatok redundanciája, IEC 61850 és IEC 62439).....	12
7. ábra PRP felépítése (forrás: Bánfalvy Zoltán, ABB Kft., MEE Vándorgyűlés, Budapest, 2012.09.06. Ethernet-hálózatok redundanciája, IEC 61850 és IEC 62439)	13
8. ábra PRP adatfolyam (forrás: Bánfalvy Zoltán, ABB Kft., MEE Vándorgyűlés, Budapest, 2012.09.06. Ethernet-hálózatok redundanciája, IEC 61850 és IEC 62439)	13
9. ábra PRP normál üzemben (forrás: Bánfalvy Zoltán, ABB Kft., MEE Vándorgyűlés, Budapest, 2012.09.06. Ethernet-hálózatok redundanciája, IEC 61850 és IEC 62439).....	14
10. ábra PRP hibaelhárítás működése (hiba esetén) (forrás: Bánfalvy Zoltán, ABB Kft., MEE Vándorgyűlés, Budapest, 2012.09.06. Ethernet-hálózatok redundanciája, IEC 61850 és IEC 62439).....	15
11. ábra Duplikációk kiszűrése PRP, HSR esetén (forrás: Bánfalvy Zoltán, ABB Kft., MEE Vándorgyűlés, Budapest, 2012.09.06. Ethernet-hálózatok redundanciája, IEC 61850 és IEC 62439).....	16

12. ábra HSR felépítése (forrás: Bánfalvy Zoltán, ABB Kft., MEE Vándorgyűlés, Budapest, 2012.09.06. Ethernet-hálózatok redundanciája, IEC 61850 és IEC 62439)	17
13. ábra HSR normál üzemben (forrás: Bánfalvy Zoltán, ABB Kft., MEE Vándorgyűlés, Budapest, 2012.09.06. Ethernet-hálózatok redundanciája, IEC 61850 és IEC 62439).....	18
14. ábra HSR hibaelhárítás működése (hiba esetén) (forrás: Bánfalvy Zoltán, ABB Kft., MEE Vándorgyűlés, Budapest, 2012.09.06. Ethernet-hálózatok redundanciája, IEC 61850 és IEC 62439).....	19
15. ábra 132kV/22kV-os alállomás nagyfeszültségű egyvonalas sémája (saját ábra)	20
16. ábra Kétféle redundancia alkalmazása egy hálózaton belül (forrás: https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8586044)	20
17. ábra A Sampled Value adatfolyama (forrás: https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8586044)	23
18. ábra GOOSE üzenetek időintervalluma (forrás: https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8586044)	24
19. ábra GOOSE üzenet több IED esetén (forrás: https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8586044)	24
20. ábra GOOSE üzenet hibás üzemmódban, időintervallumokkal (forrás: https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8586044)	25
21. ábra GOOSE adatfolyama (forrás: https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8586044)	26
22. ábra Redundáns hálózat kialakítása a gyakorlatban (forrás: Bánfalvy Zoltán, ABB Kft., MEE Vándorgyűlés, Budapest, 2012.09.06. Ethernet-hálózatok redundanciája, IEC 61850 és IEC 62439).....	27
23. ábra Hitachi Enegy svájci tesztközpont (saját fotó)	28
24. ábra Demó szekrény kialakítása (saját fotó)	29
25. ábra Demó szekrény huzalozása (saját fotó)	29
26. ábra Redundáns megoldások összefoglaló ábrája (forrás: Bánfalvy Zoltán, ABB Kft., MEE Vándorgyűlés, Budapest, 2012.09.06. Ethernet-hálózatok redundanciája, IEC 61850 és IEC 62439).....	30