

Az SDH technológia

**A technológia és a hálózatszervezés összefoglaló
áttekintése**



© BME Híradástechnikai Tanszék 1998.

TARTALOM

1 AZ SDH TECHNOLÓGIA MEGHATÁROZÓ ELŐNYEI	3
2 AZ SDH HÁLÓZAT MŰKÖDÉSÉNEK ALAPELVEI	4
2.1 Jelfolyamsebesség	5
2.2 Keretszervezés	6
2.3 Az SDH és PDH keretszervezés kapcsolata	10
2.4 Szinkronizálás	10
2.5 Multiplexálás	11
2.6 SDH átviteli szakaszok	13
2.7 Az SDH hálózat rétegmodellje	14
2.8 Menedzselhetőség	15
2.9 Szabványosság	15
3 HÁLÓZATELEMEK	16
3.1 Csomópontok	17
3.1.1 Multiplexerek	18
3.1.2 Digitális rendezők	21
3.2 Átviteli rendszerek	22
4 SDH HÁLÓZATI ALAPARCHITEKTÚRÁK	24
5 STRUKTÚRÁLT SDH HÁLÓZATI ARCHITEKTÚRÁK	26
5.1 Egyszintű strukturált hálózatok	26
5.2 Hierarchikus felépítésű hálózatok	27
5.3 A csomópontok rendszertechnikai felépítése	28
6 SDH HÁLÓZATVÉDELMI MEGOLDÁSOK	30
6.1 Hálózatvédelmi alapsémák	30
6.1.2 Védelmi átkapcsolás	34
6.2 Klasszikus SDH öngyógyító gyűrűk	34
6.2.1 Klasszikus SDH öngyógyító gyűrűk felépítése és működése	34
6.2.2 Klasszikus SDH öngyógyító gyűrűk összehasonlító értékelése	42
6.3 Szövevényes hálózatok védelmének áttekintése	46
6.4 Hierarchikus stuktúrált SDH alkalmazható védelmi stratégiák áttekintése	47
7 RÖVIDÍTÉSEK	50

1 AZ SDH TECHNOLÓGIA MEGHATÁROZÓ ELŐNYEI

A távközlő hálózatok fejlődésének első szakaszát a hagyományos távbeszélő rendszerek igényeinek megfelelően az analóg átviteli rendszerek jelentették.

A digitális átviteli rendszerek gyakorlati megjelenését az impulzus kód moduláció (Pulse Code Modulation → PCM) alkalmazása indította el a 60-as - 70-es években. Az eredetileg "PCM" megnevezéssel jelölt rendszerek multiplexereiben alkalmazott speciális szinkronizációs eljárás (a "bitbeszúrás", angol szóval "bit stuffing"), amelyet "pleziokron", azaz "majdnem szinkron" műveletnek neveznek, később a PDH (Plesiochronous Digital Hierarchy) megjelölés elterjedéséhez vezetett. A szabványokba foglalt PCM/PDH rendszertechnika sokáig egyeduralkodónak számított a távközlő hálózatok világában.

Az SDH betűszóval azonosított Szinkron Digitális Hierarchia (Synchronous Digital Hierarchy), amelynek szabványosítása a 80-as évek végén kezdődött, a digitális távközlő hálózatok legújabb generációját képviseli.

Amint az elnevezés is mutatja, a PDH és az SDH technológiát egymással szembeállítva, a közöttük fennálló egyik lényeges különbség éppen a szinkronizációs mechanizmusban keresendő. Mivel az SDH rendszertechnika a PDH rendszereket követte a távközlő hálózatok fejlődésében, természetes, hogy tervezése során az egyik vezérelv éppen a PDH technika hátrányainak kiküszöbölése volt.

A fentiekből is következik, hogy az SDH technológia meghatározó előnyei a PDH rendszerű átvittelrel összevetve érzékelhetők.

A PDH technológia legfontosabb hiányosságai a következők voltak:

- a nagysebességű bitfolyamon belül nehézkes az alacsonyabb sebességű csatorna-összetevők kiválasztása, valamint beillesztése (egy ilyen művelet a teljes keretstruktúra lebontását, majd visszaállítását igényli), ennek következtében a hálózat átstrukturálása, új felhasználóknak a hálózatra kapcsolása drága és bonyolult;
- a keretstruktúra alkalmatlan a menedzsment információk megfelelő módon történő továbbítására, ennek következtében hatékony hálózatmenedzselő rendszer kialakítása lényegében nem lehetséges;
- a fenti két tényező együttes hatása (különösen a nagy igényeket támasztó szolgáltatások elterjedésével) jelentős mértékben rontja a hálózat hatékonyságát és megbízhatóságát.

Az SDH technológia kiküszöböli a fenti hátrányokat, és ezen túl további előnyöket is nyújt a PDH rendszerekben megszokott lehetőségekhez képest.

Az SDH technológia legfontosabb előnyei a következők:

- a nagysebességű bitfolyamon belül az alacsonyabb sebességű csatorna-összetevők kiválasztása és beillesztése viszonylag egyszerű, és ez a körülmény viszonylag egyszerű és olcsó multiplexálási technológiát, olcsó üzemeltetést és karbantartást tesz lehetővé;
- a keretstruktúra a menedzsment információk továbbítását nagymértékben támogatja, és ez hatékony, szoftver úton vezérelhető hálózatmenedzselő rendszer kialakítását teszi lehetővé, ennek segítségével például a hálózat szoftver úton átkonfigurálható;
- az egyszerű multiplexálási technológiából és a hatékony hálózatmenedzselésből következően az SDH hálózat könnyen és gazdaságosan bővíthető;
- az SDH technológia a hálózatnak a hálózatmenedzselő rendszer által szoftver úton vezérelt átkonfigurálási lehetőségén túl automatikus öngyógyító mechanizmusokkal is segíti a megbízhatóság növelését ("öngyógyító gyűrűk");
- az SDH hálózati hierarchia a PDH hálózatoknál lényegesen nagyobb adatátviteli sebességek megvalósítását teszi lehetővé;
- az SDH technológia világméretű szabványokon alapul, a szabványok lehetővé teszik az európai és az észak-amerikai hierarchia adatátviteli sebességeinek egymáshoz való illeszkedését;
- a fenti előnyök együttesen nagy teljesítményű, rugalmas, hatékony, jól strukturálható és gazdaságosan üzemeltethető hálózat kialakítását teszik lehetővé.

Az SDH és a PDH technológia alapvető tulajdonságaiban mutatkozó különbségeket az SDH hálózatok működési alapelveit szemléltető ábrákat követően, a 2.8 táblázatban összefoglaltuk.

2 AZ SDH HÁLÓZAT MŰKÖDÉSÉNEK ALAPELVEI

Az SDH hierarchia működésének alapelveit az alábbiakban a

- jelfolyamsebesség;
- keretszervezés;
- multiplexálás;

- szinkronizálás;
- menedzselhetőség;
- konfigurálhatóság

szempontjai szerint vizsgáljuk meg, és felsoroljuk

- a legfontosabb SDH szabványokat.

2.1 Jelfolyamsebesség

Az ide vonatkozó CCITT ajánlás (G.707) az SDH hálózatban a multiplexálás rendjét is meghatározó, többféle adatátviteli sebességet definiál. (A sebességek egymással összefüggő rendszerét nevezik az SDH technológia multiplexálási hierarchiájának, vagy egyszerűen csak SDH hierarchiának.)

Az SDH hierarchiában alapvető fontosságú az STM-1 (Synchronous Transport Module-1) elnevezéssel jelölt elsőrendű transzport modul, amelynek sebessége 155,52 Mbit/sec. (Az STM-1 sebességre a pontos érték helyett általában 155 Mbit/sec megjelöléssel szoktak hivatkozni.)

A G.707 ajánlás magasabb rendű transzport modulokat is meghatároz. Ezek elnevezése STM-4 és STM-16, bitsebességük az STM-1 sebességének pontos többszöröse, nevezetesen 4-szerese, illetve 16-szorosa. (Lásd a 2.1 táblázatot.)

Szinkron transzport modul	Bitsebesség
STM-1	155.52 Mbps
STM-4	622.08 Mbps
STM-16	2488.32 Mbps
STM-64	9953.28 Mbps

2.1 táblázat SDH vonali rendszerek bitsebességei

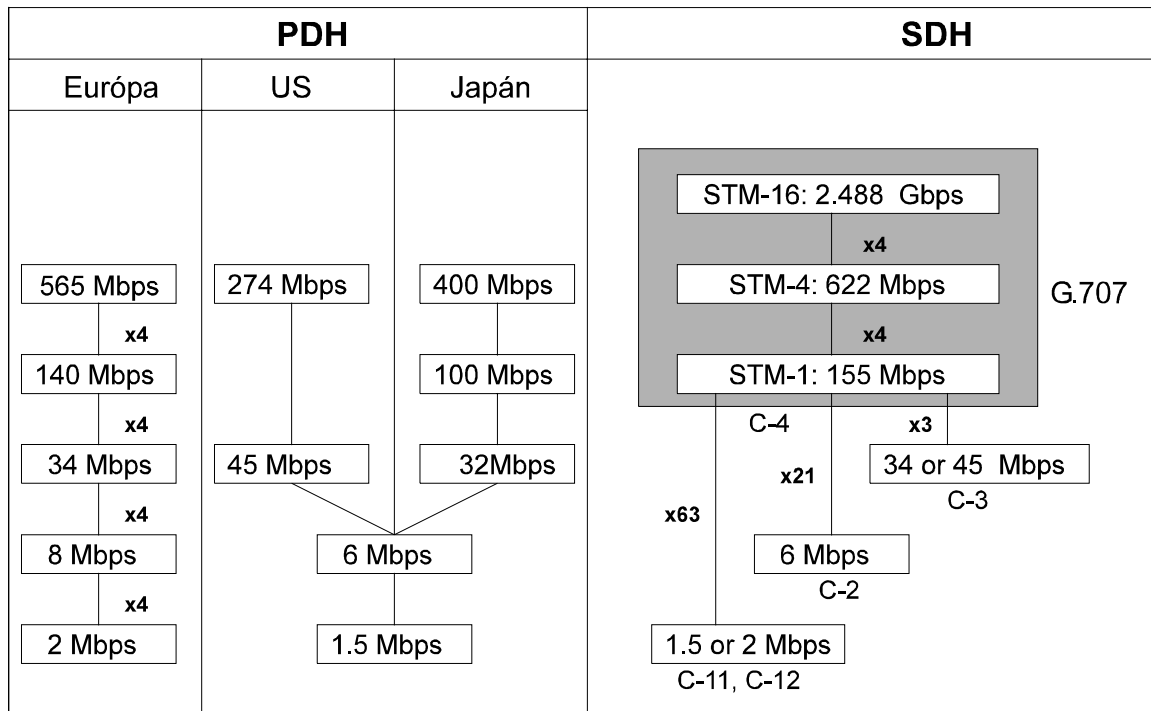
A PDH hierarchia szerint Észak-Amerikában és Európában két, egymástól különböző (de facto) szabvány vált általánosan használatossá:

- Észak-Amerika: 1,544 Mbit/sec (T1);
- Európa: 2,048 Mbit/sec (E1).

A PDH magasabb rendű sebességszintjein a jelfolyamok sebessége ennek az első szinten érvényes bitsebességnek nem pontos többszöröse.

Az 2.2 táblázatban a PDH és az SDH hierarchia bitsebességeit hasonlítottuk össze.

A G.702-es szabvány a PDH - SDH jelfolyam-sebességek határfelületeit definiálja.



2.2 táblázat PDH és SDH jelsebességek összehasonlítása

A PDH technológia

- 2 Mbit/sec-os hierarchiájából a
 - ◊ 2.048 Mbit/sec-os,
 - ◊ 34.368 Mbit/sec-os és
 - ◊ 139.264 Mbit/sec-os jelfolyamok,
- az 1.5 Mbit/sec-os hierarchiából az
 - ◊ 1.544 Mbit/sec-os,
 - ◊ 6.312 Mbit/sec-os és
 - ◊ 44.736 Mbit/sec-os jelfolyamok

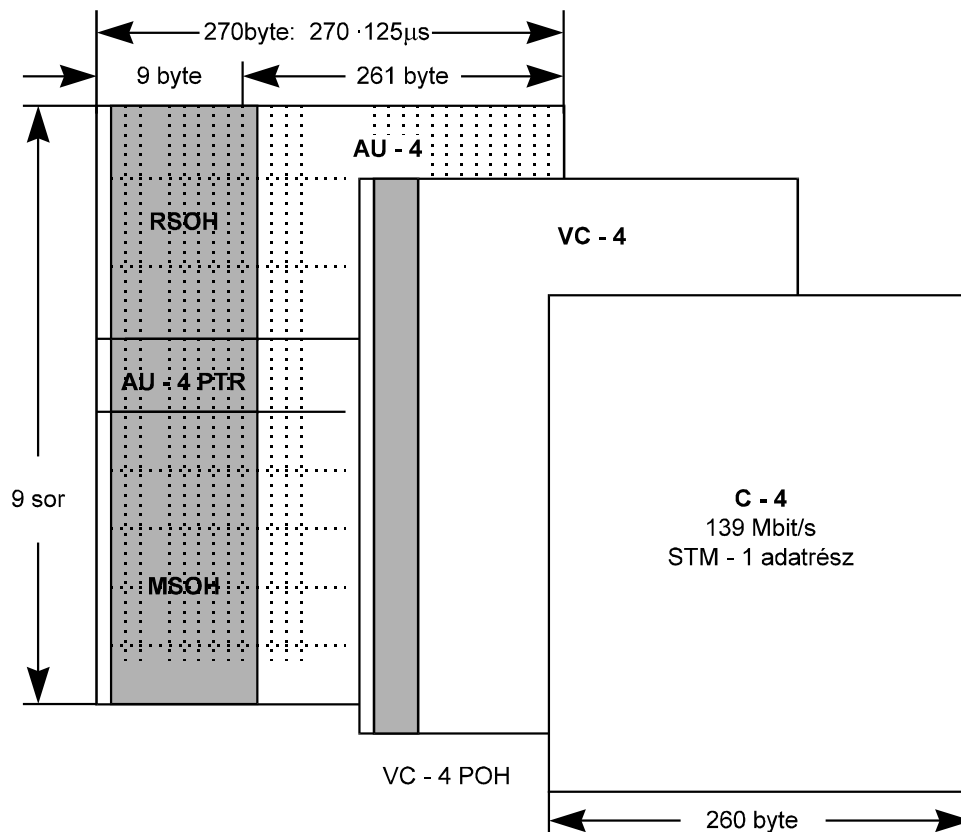
csatlakoztathatók az SDH hálózathoz.

2.2 Keretszervezés

Az STM-1 keret *byte-szervezésű*, 2.430 db 8-bites byte-ból áll. (A keret egyes byte-jai egy-egy 64 kbit/sec bitsebességű csatornának felelnek meg. Mivel az SDH hierarchia szabványos STM-1 keretének adatátviteli sebessége, amint

ezt a 2.1 fejezetben láttuk, 155,52 Mbit/sec, könnyen belátható, hogy a 2.430 db byte-ból álló elsőrendű transzport modul kerethossza 125 msec. Ez 8 kHz-es ismétlődési frekvenciának felel meg.)

A 2.430 db byte által hordozott információ típusa 270 byte-onként (keretenként kilencszer) ismétlődik. Ez az oka annak, hogy az STM-1 keret általában kétdimenziós, (270 byte) x (9 sor) alakú struktúra formájában szokták szemléltetni. (Ld. a 2.3 ábrát.)



2.3 ábra STM-1 SDH keret szerkezete

Az 2.3 ábra elemi pontjai egy-egy byte-ot jelölnek, a keret méreteinek (9 sor, 270 oszlop) és a pontonként 64 kbit/sec értékű bitsebességnek az összeszorozásával az SDH hálózatok elsőrendű transzport moduljának bitsebessége adódik ($9 \times 270 \times 64 \text{ kbit/sec} = 155.22 \text{ Mbit/sec}$.)

Az STM-1 keret funkciójukban egymástól jól megkülönböztethető részekre tagolódik.

A soronként 9 byte-nyi szélességet jelképező 9 oszlop az ún. *keret fejrész*, a soronként 261 byte-nak megfelelő további 261 oszlop az ún. *rakomány* (payload), amely ún. virtuális konténerekben az átvendő tényleges ("hasznos") információt tartalmazza. *A keret fejrész és a rakomány további részekre bontható.* Az STM-1 keret egymáshoz illeszkedő alkotórészeit a 2.3. ábrán a szemléletesség kedvéért egymásból kiemelve, térben ábráztuk.

A keret fejrész (angol terminológiával: Section Overhead → SOH) felépítését a 2.4 ábrán szemléltettük.

RSOH	A1	A1	A1	A2	A2	A2	C1		
	B1			E1			F1		
	D1			D2			D3		
Mutató	H1			H2			H3	H3	H3
	B2	B2	B2	K1			K2		
MSOH	D4			D5			D6		
	D7			D8			D9		
	D10			D11			D12		
	Z1	Z1	Z1	Z2	Z2	Z2	E2		

2.4 ábra Az STM-1 keret fejrésze

A keret fejrész további három részre, a

- regenerátor szakasz fejrész (Regenerator Section Overhead → RSOH);
- mutató byte-ok;
- multiplexer szakasz fejrész (Multiplexer Section Overhead → MSOH);

elnevezésű részekre tagolódik, a byte-ok funkcióját tekintve

- szinkronizációs byte-okat (keret és mutató byte-okat), valamint
- üzemviteli és menedzsment információs byte-okat, illetve adatbyte-okat

tartalmaz.

Az üzemviteli és menedzsment célokat szolgáló byte-ok igen fejlett üzemviteli és hálózatfelügyeleti rendszer kialakítását teszik lehetővé. (Ezeket az információkat a szabványos Q interfészen keresztül a TMN → "Telecommunication Management Network" elnevezésű szabványos hálózatmenedzselő rendszer képes hatékonyan felhasználni.)

Az RSOH regenerátor szakasz fejrészt alkotó byte-ok a következők:

- *A1, A2* (a keretszinkronizálást szolgálják);
- *C1* (az STM-4 kereten belül az STM-1 keretek számozására szolgál);
- *B1* (a regenerátor szakasz bithibáit jelzi);

- *D1 - D12* (adatcsatornaként szolgálnak adminisztratív és fenntartási információk számára).

A mutató byte-ok a következők:

- *H1, H2, H3* (A virtuális konténer szinkronizálásában van fontos szerepük: a virtuális konténer kezdetét jelölik a keret kezdő byte-jához képest. Az átvitt információt a H1, H2 byte-ok szinkronizálják, H3 a mutató byte-ok védelmére szolgál.)

Az MSOH multiplexer szakasz fejrészt alkotó byte-ok a következők:

- *B2* (a multiplexer szakasz bithibáit jelzi);
- *K1, K2* (a multiplexer szakasz védőátkapcsolását vezérlik);
- *D4 - D12* (adatcsatornaként szolgálnak adminisztratív és fenntartási információk számára);
- *E1, E2* (szolgálati csatorna byte-ok);
- *Z1, Z2* (későbbi felhasználás céljaira fenntartott byte-ok.)

Az ábrából látható, hogy számos byte funkciója jelenleg még nincs definiálva, ezek lehetőséget nyújtanak majd a jövőbeni igények kielégítésére.

A *virtuális konténer (Virtual Container → VC)* a belépési és kilépési csomópont között átvendő információt tartalmazza. Az SDH technológia az STM-1 (ezen keresztül az STM-N) keret különböző kapacitású (sebességű) virtuális konténerekből történő összeállítására nyújt lehetőséget. A különböző kapacitású konténereket a VC elnevezés után írt számmal különböztetik meg egymástól. Az 2.3 ábra a VC-4 konténer STM-1 keretbe történő illesztését szemlélteti. A VC-4 virtuális konténer mérete 9 x 261 byte, és alkalmas a PDH hierarchia 140 Mbit/sec átviteli sebességű jelfolyamának továbbítására.

A virtuális konténer (VC-n) részei a következők:

- fejrész (Path Overhead → POH);
- konténer (Container → C-n).

A fejrész (POH) különböző üzemviteli információknak a végpontok között történő továbbítására szolgál, és tartalmaz hibafigyelést is. A POH fejrész a VC-n virtuális konténer első oszlopát foglalja el.

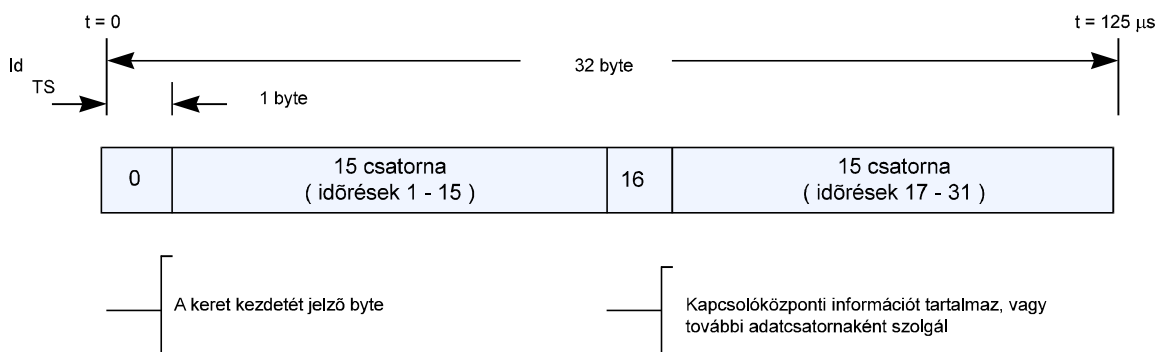
A "C-n" konténer a két végpont (a belépési és kilépési pont) között átvendő hasznos információt tartalmazza.

Az adatok átvitelét szolgáló eljárás során az STM-1 keret 9 x 9 byte-nyi *fejrészt* a multiplexerek/regenerátorok lebontják, feldolgozzák, és újra

generálják. A VC-n virtuális konténerok és a hozzájuk tartozó POH fejrész továbbítása azonban változatlan formában történik a be- és kilépési végpontok között, tehát az útvonal (path) mentén.

2.3 Az SDH és PDH keretszervezés kapcsolata

A PDH hierarchiában az E1 keret kivételével valamennyi keret *bitszervezésű*. Az említett E1 keret az egyetlen igazán szinkron keret a PDH rendszerű digitális átviteltechnikában. (Ld. a 2.5 ábrát.)



2.5 ábra Az E1 (PDH) keret felépítése

Ez a keret byte szervezésű, és sem kiigazító biteket, sem pointereket nem tartalmaz. Egy byte átvitele 64 kbit/sec adatátviteli sebességet reprezentál. A keret 32 csatornát foglal magában, és ez 2.048 kbit/sec adatátviteli sebességnek felel meg. A keretidő 125 msec.

Ez az ismétlési sebesség, és ez a byte-szervezés képezi az alapját valamennyi SDH keretnek is.

A PDH hierarchia felsőbb szintjeire ez a byte-szervezésű keretstruktúra nem jellemző. A PDH technológiában a további keretek bitszervezésűek.

2.4 Szinkronizálás

Az SDH rendszerekben a hasznos információt hordozó virtuális konténerok (VC-n) helyét az STM-1 kereten belül a *mutató byte-ok* (a keret fejrész H1 és H2 byte-jai) mutatják meg.

Ha az egyes csomópontok (multiplexerek) órafrekvenciája egymástól eltér, vagy különböző órafrekvenciájú hálózatok találkoznak egymással, a mutató byte-ok módosulnak, és a virtuális konténer (VC-n) elmozdul a keret kezdetéhez képest.

A multiplexerek a rendszerórát különböző időzítési forrásokhoz szinkronizálhatják:

- bejövő STM-N vonali jelek;
- valamelyik STM-1 összetevő jel;
- valamelyik PDH összetevő jel;
- külső szinkronizációs bemeneti portok.

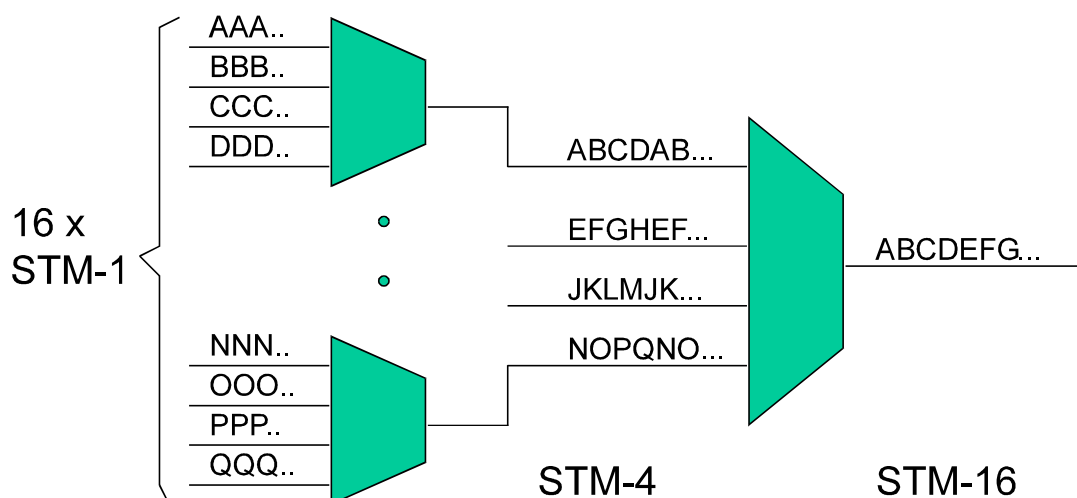
Az időzítési források prioritás szerint veendő figyelembe. Ha az egyik időzítési forrás meghibásodik, akkor a következő legnagyobb prioritással rendelkező forrás lép a helyébe.

A rendszertervezők célja a jövőben az, hogy valamennyi multiplexert egy nagyon pontos központi világra vezéreljen. (A központi óra szerepét egy atomóra tölthetné be, ennek megvalósítása azonban ma még csak a jövőbeni tervekben szerepel.)

A PDH rendszertechnikában bitszintű szinkronizálást alkalmaznak. A különböző sebességkompenzáló technikák némileg magasabb átviteli kapacitást igényelnek, mint maguk a csatornák, amelyeket korrigálni akarnak. Ez a többletkapacitás a "töltő" ("stuffing") bitek és információs bitek szállításához kell. (A szükséges többletkapacitás technikánként és hierarchiaszintenként változó. Ezért van az, hogy a PDH hálózatok magasabb hierarchiaszintjeinek bitsebessége az alsóbb szintek bitsebességeinek nem pontos többszöröse)

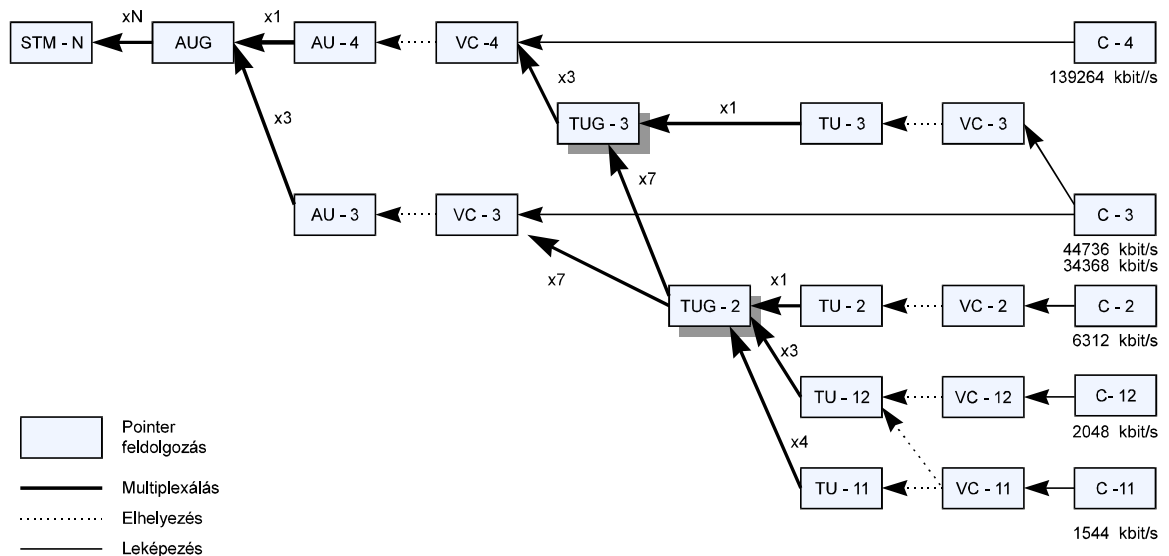
2.5 Multiplexálás

Az STM-N multiplexálás egyszerű byte-beléptetési sémát használ. (Lásd az 2.6 ábrát.)



2.6 ábra Multiplexálás byte szintű beléptetéssel

Az 2.7 ábra azt szemlélteti, hogyan építhetők be az STM-1 keretbe a különböző virtuális konténerek.



2.7 ábra A virtuális konténerek beépülése az STM-1 keretben

A VC-n virtuális konténer kezdetét az STM-1 keret kezdőbyte-jához képest a H1, H2 mutató byte-ok mutatják meg. A mutatók révén a hasznos adat helye a fő jelfolyamban az átvitel ideje alatt mindvégig pontosan meghatározható, ennek következtében a csomópontokon az összetevő jelek előzetes demultiplexálás nélkül emelhetők ki vagy iktathatók be a fő jelfolyamba.

A mutató byte-ok által nyújtott megoldás lehetővé teszi azt is, hogy az STM keretben a rendszeróra által meghatározott sebességtől kissé eltérő sebességű (órafrekvenciájú) virtuális konténereket továbbítsanak a rendszeren.

Az SDH hálózat feladatai közé tartozik a kisebb sebességű PDH jelfolyamok szállítása is. Az SDH jelfolyamok multiplexálását szabályozó G.709-es CCITT ajánlás a különböző hierarchiasztintú PDH összetevő jelfolyamok beillesztését is definiálja. Az alacsonyabb szintű összetevő jelsorozatok a megfelelő szintű konténerekbe leképezve illeszthetők az SDH struktúrába.

Példaként felsorolva: a 2 Mbit/sec-os összetevő jel a VC-12 jelű konténerbe, a 34 Mbit/sec-os összetevő jel a VC-3 jelű konténerbe képezhető le. Ezeknek a konténereknek az átvitelére alacsonyabb szintű keretek, úgynevezett összetevő egységek (Tributary Unit → TU) szolgálnak. Ezeknek a kereteknek a beillesztése a VC-4 konténerekbe szintén úgy történik, hogy pontos helyük az átvitel során mindvégig meghatározható.

A PDH 140 Mbit/sec sebességű jelfolyama a VC-4-es konténerbe közvetlenül beilleszthető.

A távközlési rendszerek európai szabványosításával foglalkozó ETSI (European Telecommunications Standard Institute) a nemzetközi ITU-T

(International Telecommunication Union) által ajánlott becsomagolási lehetőségeknek csak egy részét ismeri el.

A PDH-ban a multiplexálás bitszinten történik, ezért egy új összetevő beiktatása során az eljárásban sok és bonyolult berendezésre van szükség (elasztikus pufferek, kiigazító szakaszok, demultiplexerek, multiplexerek stb.). A PDH-ban az összetevő jelek beiktatása ill. kiemelése a fő jelfolyamba ill. jelfolyamból csakis a fő jelfolyam előzetes demultiplexálásával oldható meg.

Az SDH technológia előnyeivel kapcsolatosan az 1 fejezetben leírtak szempontok jelentős részének az SDH és a PDH technológiában alkalmazott multiplexálási eljárás fenti különbségei adják magyarázatát.

	PDH	SDH
Multiplexálási eljárás	bitszervezésű	byteszervezésű
Kerethosszúság	hierarchiaszintenként különböző	hierarchiaszintenként azonos
Plusz kapacitás a menedzsment számára	nincs	SOH és POH
Szinkronizálási eljárás	bitszintű korrekció	byteszintű korrekció pointertechnika
Konfigurálás	rögzített	szoftverrel vezérelhető

2.8 táblázat A PDH és SDH technológia összehasonlítása

2.6 SDH átviteli szakaszok

Az SDH rendszerekben különféle átviteli szakaszokat különböztetnek meg. Ezek az alábbiak:

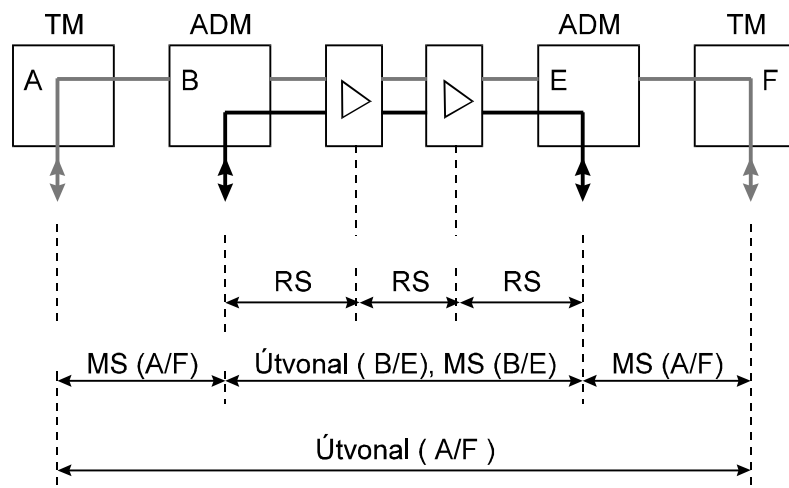
- átviteli útvonal (path);
- multiplexer szakasz (multiplexer section);
- regenerátor szakasz (regenerator section).

Az átviteli útvonal (path) definíciószerűen az SDH hálózatra csatlakozó (vég)pontok közötti logikai kapcsolat. A logikai kapcsolat mindig valamilyen konkrét nyomvonalon jön létre. Ha a hálózatban meghibásodások fordulnak elő, az útvonalat másik nyomvonalon kell biztosítani. Az SDH rendszerben a csatlakozó végpontokon bontják le, illetve állítják össze a virtuális konténereket, amelyek az átviteli útvonalon változatlanul haladnak át. A csatlakozó pontokon PDH jelekkel és SDH jelformátummal egyaránt lehet csatlakozni.

A *multiplexer szakasz* két csomópont között az információtovábbító berendezéseket foglalja magában. Az SDH rendszertechnikában a hálózat a multiplexer szakasz szintjén nyújt védelmet, illetve tartalékolást az átvitel megszakadása (esetleg minőségének romlása) esetén.

A *regenerátor szakasz* egy adott csomópont és egy regenerátor vagy két regenerátor között helyezkedik el. A regenerátor szakasz az SDH rendszerben egyedi tartalékolással nem rendelkezik.

Az SDH hálózat átviteli szakaszait az 2.9. ábra szemlélteti.



RS = Regenerátor szakasz **MS** = Multiplex szakasz **TM** = Terminál multiplexer

2.9 ábra Átviteli szakaszolás az SDH hálózatokban

2.7 Az SDH hálózat rétegmodellje

Az SDH hálózatok az egymásba ágyazódó funkciók alapján "réteghálózatba" szervezhetők.

Minden réteg azonos tulajdonságú pontok hálózata (pl.: a VC-12 virtuális konténereket szállító útvonal hálózata, vagy a multiplexerek hálózata).

A rétegek egymáshoz való viszonya ún. kliens-szerver kapcsolat. (Lásd a 2.10. ábrát.)

A hálózat rétegmodelljének használata a hálózat tervezésében kötelező. Mivel a rétegek szervesen egymásra épülnek, a szintenként megfogalmazott követelmények, definíciók egy *egységesen tervezett hálózatot* eredményeznek.

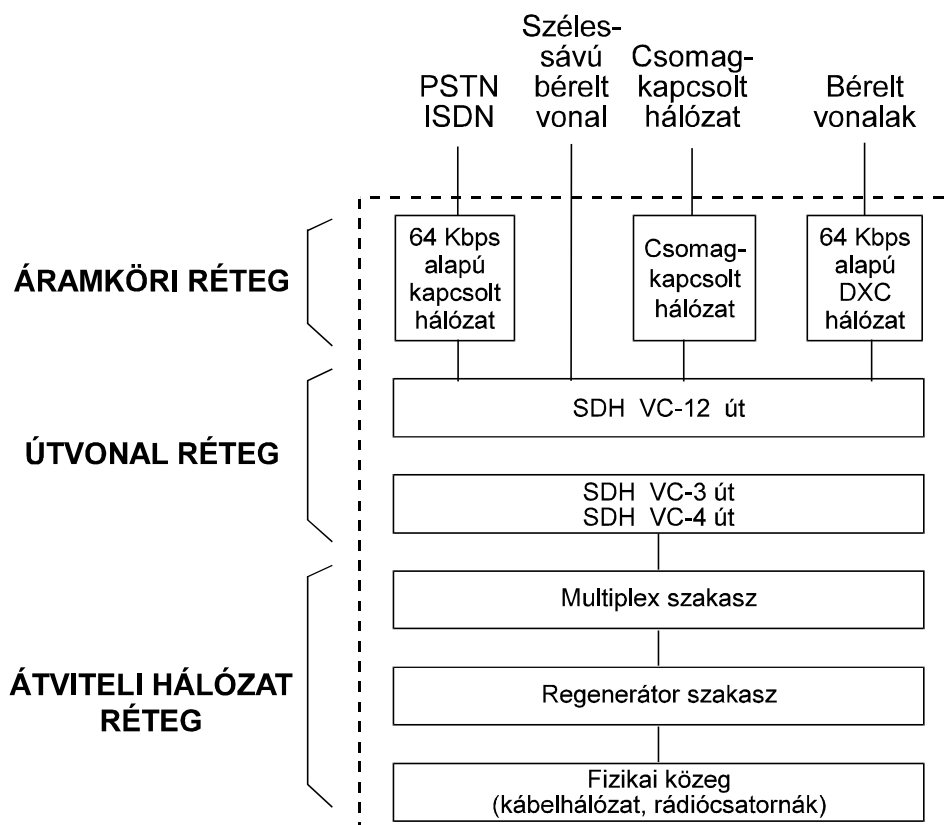
2.8 Menedzselhetőség

Míg a PDH keretekben legfeljebb 1-1 bit szolgál az alarm jelzések átvitelére, az SDH keretben a D1 - D12 byte-ok együttesen szolgálják a menedzsment funkciók kommunikációs igényeinek kiszolgálását, és a fejrész számos további byte-ja is az üzembiztonsággal, hibajelzéssel kapcsolatos.

A fenti lehetőséget adták meg az alapot a nagy hatékonyságú, korszerű, szabványos TMN hálózatmenedzselő rendszer kialakításához. A menedzselhetőség keretében az SDH rendszerek szoftver úton konfigurálhatók, míg a PDH rendszerek konfigurációja fixen beállítható.

A TMN hálózatmenedzselő rendszer SDH hálózatokban történő alkalmazását a függelék egy külön fejezetében tárgyaljuk.

Az SDH rendszerben a meghibásodások hatásának hálózatmenedzselés útján (szoftver úton) történő kiküszöbölésén túl gyors, öngyógyító automatizmusok működtetésére is van lehetőség. Ezekről a következő fejezetekben lesz szó.



2.10 ábra Az SDH hálózatok rétegszerkezete

2.9 Szabványosság

Az alábbiakban röviden összefoglaljuk az SDH technológia rendszerteknikáját meghatározó legfontosabb CCITT ajánlásokat:

Az első, meghatározó jelentőségű szabvány:

1988 Melbourne: G.707 (az SDH bitsebességei - STM-N (N = 1, 4, 16))

A további ajánlások:

G.708	(keretstruktúra)
G.709	(multiplexálási struktúra)
G.781	(a multiplexerek felépítése)
G.782	(a multiplexerek típusai, általános jellemzői)
G.709	(a multiplexerek funkcionális blokkjai)
G.781 - G.784	(az elektronikus rendezők felépítése, típusai)
G.957 - G.958	(SDH berendezések optikai csatlakozásai)
G.773	(a Q protokollok rögzítése - hálózatmenedzselés)
G.803	(Az SDH hálózatok architektúráis jellemzői - tervezés)
G.702	(A PDH-SDH határfelület meghatározása)

3 HÁLÓZATELEMEK

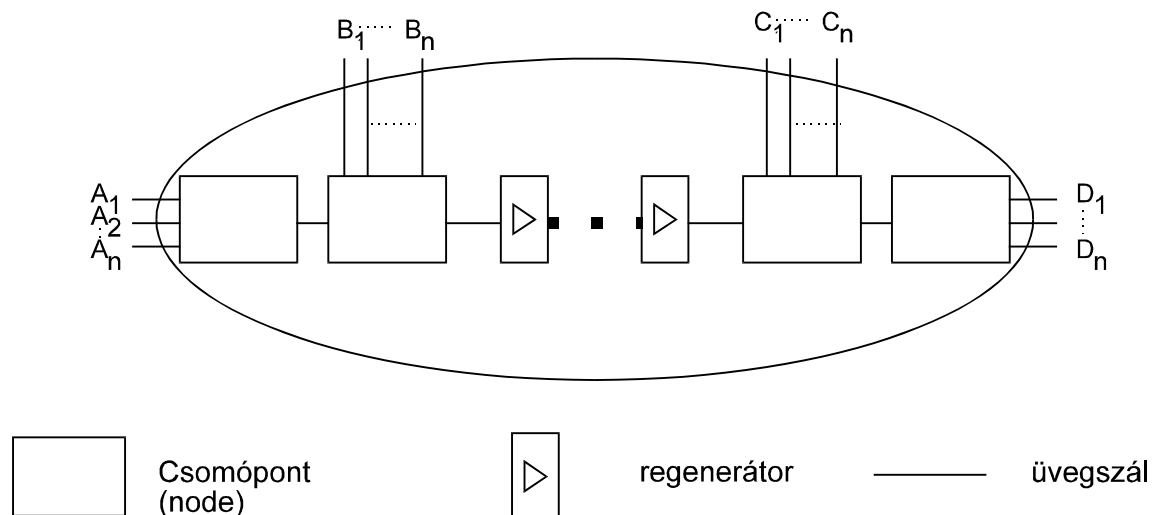
Az SDH hálózat az SDH jeleket feldolgozó

- csomópontokból

és az azokat összekapcsoló

- átviteli rendszerekből

áll. (Lásd a 3.1 ábrát.)



3.1 ábra Az SDH hálózat sematikus szerkezete

Az SDH hálózatban alkalmazott rendszerelemek a PDH rendszerekben alkalmazott elemektől tulajdonságaikban, működési elvükben és rendszertechnikai felépítésükben számos tekintetben különböznek.

3.1 Csomópontok

Az SDH hálózatokban alkalmazott csomóponti berendezések az alábbiak szerint csoportosíthatók:

- multiplexerek;
- digitális rendezők.

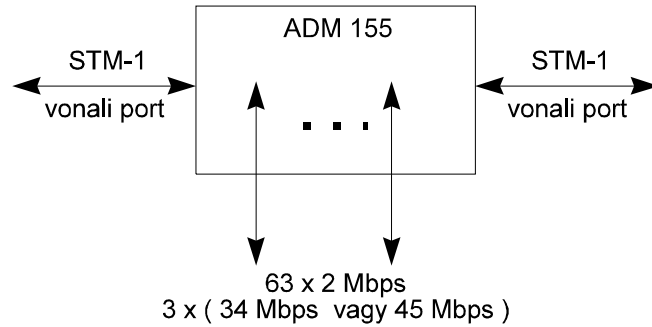
A multiplexerek olyan csomóponti berendezések, amelyek az adott csomóponton áthaladó SDH jelfolyam fogadásán és továbbításán kívül az SDH hálózatra csatlakozó összetevő jeleknek az SDH jelfolyamba történő leképezését és beillesztését, illetve onnan történő kiválasztását végzik. Az összetevő jelek beillesztése és kiválasztása során a multiplexerek elvégzik az STM-N keret megfelelő módosítását, ez a művelet azonban az SDH technológia adottságaiból következően nem igényli az SDH keretek lebontását. Az összetevő jelek származhatnak külső berendezésektől, PDH hálózatról stb. A multiplexerek feladatai közé tartozik a védelmi funkciók ellátása és a hálózatmenedzselő rendszer adatkommunikáció útján történő kiszolgálása is.

A digitális rendezők ("Digital Cross Connect"-ek) az SDH jelfolyamon belüli jelutak állandó jellegű vagy tartós átírányítását végzik, a hálózatmenedzselő rendszer vezérlő parancsainak megfelelően.

3.1.1 Multiplexerek

A multiplexereket általában olyan univerzális berendezések formájában valósítják meg, amelyek többféle feladat ellátására alkalmasak.

A multiplexerek általános funkcióit a 3.2 ábra, funkcionális felépítésének vázlatát a 3.3 ábra szemlélteti.



Beiktató / leágazó multiplexer

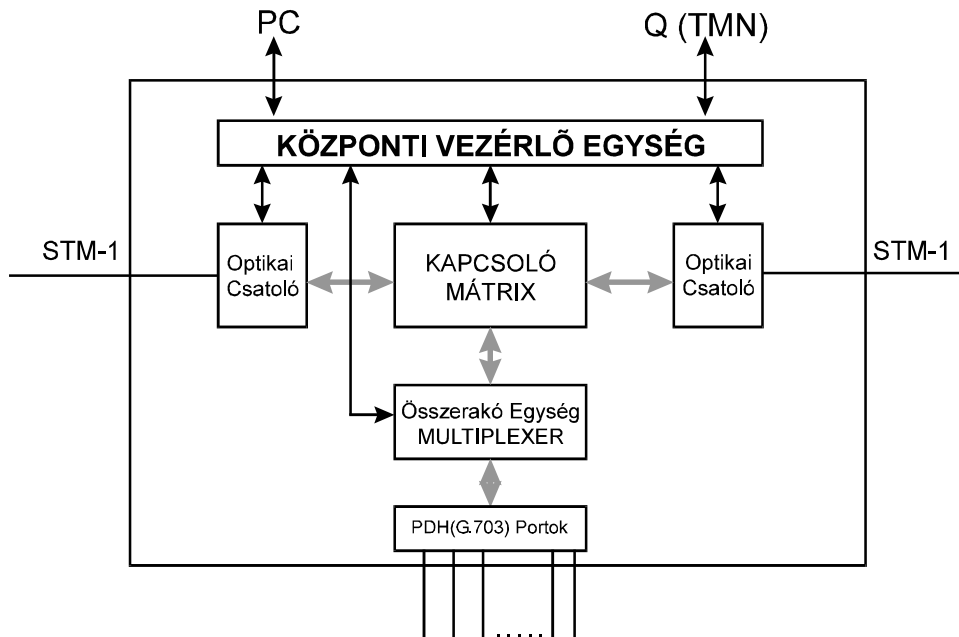
- SDH jelek továbbítása - kétirányú (W,E)
- PDH jelek beiktatása / leágaztatása
- STM-N keret generálása / feldolgozása / módosítása
- Védelmi funkciók, APS
- Menedzsment kiszolgálása

3.2 ábra SDH multiplexerek sematikus felépítése

Az SDH multiplexer egy kapcsoló mátrix köré kiépített, komplex berendezés.

A multiplexert alkotó alapegységek a következők:

- kapcsoló mátrix;
- optikai csatoló;
- összerakó egység;
- központi vezérlő egység.



3.3 ábra Az SDH multiplexerek funkcionális felépítése

A *kapcsoló mátrix* feladata, hogy az SDH keretben a virtuális konténereket elhelyezze, vagy onnan kiemelje. A kapcsoló mátrixok lehetővé teszik a vonali és az összetevő csatornák közötti kapcsolatok átrendezését is, ezért a multiplexerek (bizonyos korlátok között) lényegében a digitális rendező feladatainak ellátására is képesek. A kapcsoló mátrix tartalékolási célból számos berendezésben duplikálható.

Az *optikai csatoló* optikai adó/vevőt, STM-1 szintnél magasabb hierarchiában működtethető berendezés esetén pedig ezen kívül STM-N szintű multiplexert is tartalmaz.

Az *összerakó (tributary) egység* az alacsonyabb sebességű összetevő (PDH) jelek virtuális konténerekké szervezését végzi (TU - VC transzformáció). A berendezések (a megadott modulszám keretei között) általában szabadon konfigurálhatók, a portok és modulok száma, valamint a kezelhető összetevő csatornák típusa és sebessége gyártó-specifikus.

A *központi vezérlő egység* feladata az, hogy generálja, elemezze, módosítsa az STM-N keret fejrészét, információt gyűjtsön a komponensek és vonalak működéséről, ezeket az információkat (a Q protokoll segítségével, esetleg más módon) továbbítsa a hálózatmenedzselő rendszer (lokális PC, TMN hálózatmenedzselő rendszer) felé, továbbá az, hogy vezérelje a multiplexerben elhelyezett modulok működését.

Amint az a korábbiakból következik, a byte-szervezésű STM-N keretstruktúrának köszönhetően a PDH összetevő jelek előzetes demultiplexálás/multiplexálás nélkül építhetők be vagy emelhetők ki a fő jelfolyamból.

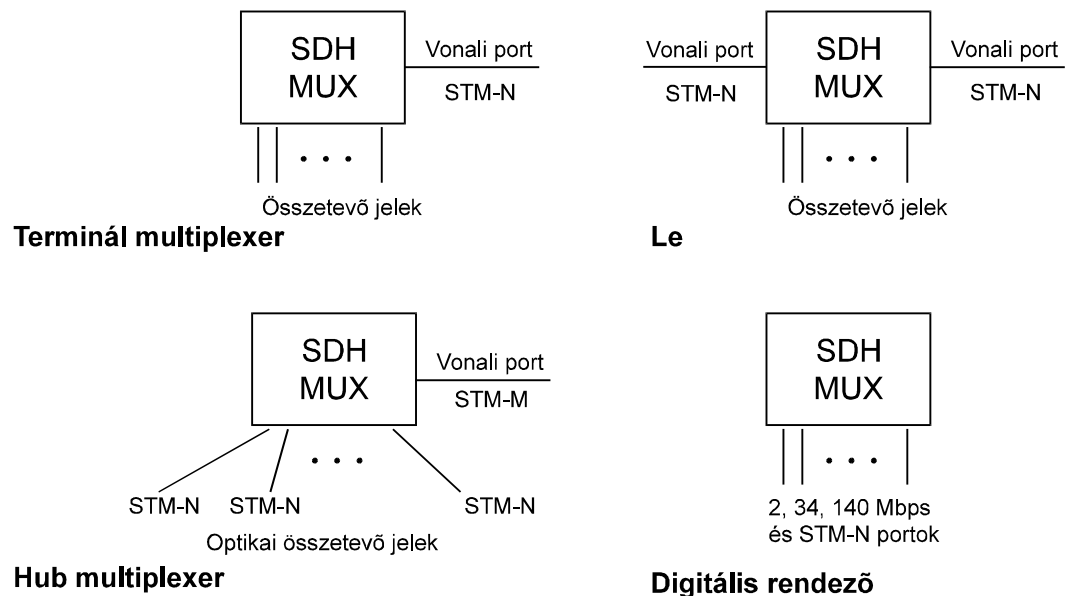
Az univerzális berendezések különböző kialakításai pontos funkciójukban egymástól különbözhetnek. A különböző alkalmazási feladatokat ellátó

multiplexereket (az alkalmazás módjának megfelelően) ezért különböző elnevezéssel szokták jelölni, attól függetlenül, hogy ezeket a funkciókat egyetlen berendezéstípus különbözőképpen konfigurált változatai, vagy egymástól típusában is különböző berendezések valósítják meg.

A multiplexerek leggyakrabban alkalmazott funkcionális típusait a 3.4 ábrán szemléltettük.

Az ábrán is látható alkalmazási típusok a következők:

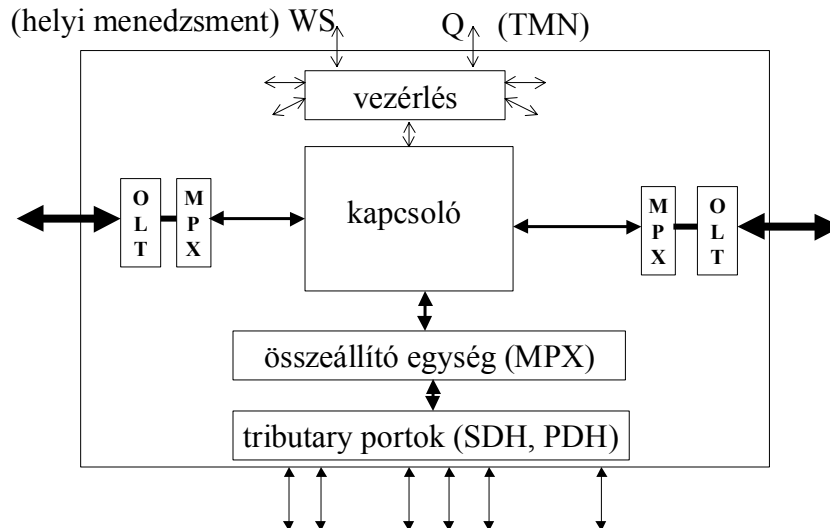
- terminál multiplexer;
- leágazó/beiktató multiplexer;
- hub (átemelő) multiplexer;
- digitális rendező multiplexer.



3.4 ábra Az SDH multiplexerek funkcionális típusai

A *terminál multiplexer* a multiplexerek legegyszerűbb alkalmazási lehetősége. A leágazó/beiktató multiplexer két vonali portjával ellentétben a terminál multiplexer csak egy vonali porttal rendelkezik, ezért pont-pont összeköttetéseken vagy a multiplexerlánc végén alkalmazható. Feladata, hogy a bejövő összetevő jeleket multiplexálva azokat az STM-N jelfolyamon továbbítsa.

A *leágazó/beiktató multiplexer* a multiplexerek leggyakoribb alkalmazása. A leágazó/beiktató multiplexer két vonali porttal rendelkezik, ezért a multiplexerláncon belül is alkalmazható. A bejövő összetevő jelek multiplexálásával kapcsolatos feladata a terminál multiplexerekével megegyezik.



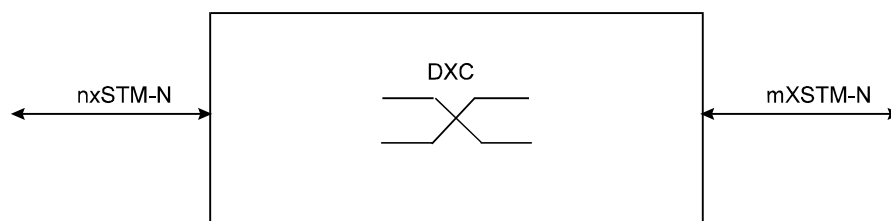
3.5 ábra SDH leágazó multiplexer funkcionális felépítése

A "hub" (átemelő) multiplexer összetevő jelei többnyire csak részlegesen kitöltött optikai STM-N jelek. (Ez az eset gyakran fordul elő, pl. csillag topológia alkalmazása esetén.) A hub multiplexer ezeket fogja össze egy ugyanolyan, vagy magasabb szintű STM-M jelfolyammá.

Digitális rendező multiplexer. A kapcsoló mátrix jelenléte lehetővé teszi az összetevő-összetevő, összetevő-optikai, optikai-optikai jelcsatornák tetszőleges átrendezését, tehát a multiplexer digitális rendezőként is működhet.

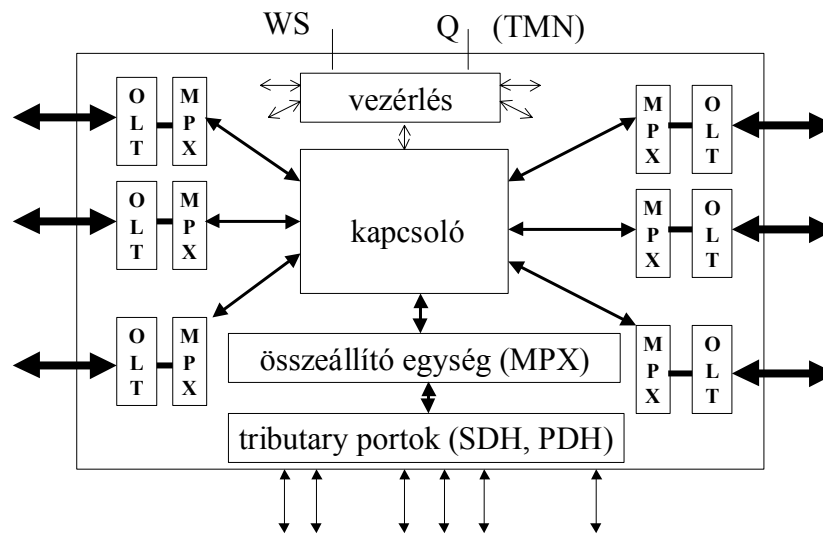
3.1.2 Digitális rendezők

A digitális rendezők feladata az azonos irányban haladó, azonos célú adatforgalmak összegyűjtése, irányítása, azok csatorna-összetevőinek átrendezése, a gyengén kitöltött, azonos rendeltetésű nyalábok tömörítése. A digitális rendező összetevő csatornabemenetekkel nem rendelkezik, ezért leágazási/beiktatási feladatok ellátására nem alkalmas. A digitális rendező vázlatát a 3.6. ábra szemlélteti, a 3.8 ábra a funkcionális felépítését adja meg.



DXC 4/1 - N db. (N elég nagy szám) STM-1 ekvivalens portot köt össze, melyek különböző sebességű (2 Mbps és 34 Mbps) PDH nyalábokat tartalmaznak.
 DXC 4/4 - 140 Mbps PDH nyalábok és 155 Mbps szinkron jelek kapcsolását biztosítja

3.6 ábra Digitális rendező sematikus vázlat



3.7 ábra Digitális rendező funkcionális felépítése

3. 2 Átviteli rendszerek

SDH hálózatok elvileg bármilyen adatátviteli közeg segítségével kialakíthatók, az adatok továbbítására azonban a leggyakrabban az üvegszálal (fénykábeles) jeltovábbítást használják.

Minden más átviteli eszköz átviteli tulajdonságai elmaradnak a fénykábeles adattovábbításé mögött, és annak ma már csak esetenként lehetnek indokolt kiegészítői. Az SDH technológia ezért a gyakorlatban összekapcsolódik a korszerű fénykábeles adatátvitel fogalmával.

Az SDH hálózatok átviteli közegeként a gyakorlatban jelenleg az

- az optikai átviteli eszközöket (üvegszálal, fénykábelet) és
- a digitális, szélessávú mikrohullámú rendszereket

alkalmazzák.

Az *optikai jelátvitel* szabványos jellemzőit a CCITT G. 957-es ajánlása tartalmazza.

Az optikai jelátviteli rendszerek az alábbi részeket tartalmazzák:

- vonali végberendezések;
- fényvezető szálak;

- regenerátorok.

A *vonali végberendezések* feladata a fényvezető szálak illesztése az elektronikus jelfeldolgozó egységhez.

A *fényvezető szálak* a jelek optikai úton történő továbbítására szolgálnak.

A *regenerátorok* feladata az, hogy a szóródás miatt torzult és gyengült jelek amplitúdóját valamint időzítését és jelalakját helyreállítsák és reprodukálják.

A *jelek továbbítására optikai úton történő továbbítására szolgáló üvegszálak* gyártási technológiája gyorsan fejlődik, a kereskedelem kínálatában szereplő kábelek jellemzői folyamatosan javulnak. Az "üvegszál" anyagának összetétele az átvitel minőségét nagyban befolyásolja, ezért a korszerű "üvegszálak" anyaga a közönséges üveg anyagától lényegesen különbözik.

A gyakorlatban alkalmazott fényvezető szálak szerkezetére jellemző, hogy a szál üvegmagját egy második üvegréteg veszi körül. A fény haladása az üvegszálban a fény teljes visszaverődésén alapul: a fény a héj határán verődik vissza. Ha az üvegszál átmérője viszonylag nagy, a fény mintegy "cikk-cakkban" halad az üvegszálban. A fénytovábbításnak ezt a módját *multimódusú átvitelnek* nevezzük. Ennél a terjedési módnál a csillapítás viszonylag nagy, a jelerősítés nélkül áthidalható távolság viszonylag kicsi.

A fényvezető szál átmérője és abszorpciós tényezője, valamint a fény hullámhossza határozzák meg azt, hogy milyen távolságra képesek a jelek erősítés nélkül eljutni az üvegszálban. Ha a fényvezető szál átmérője elég kicsiny, a fény közel párhuzamosan halad a szál tengelyével. A fénytovábbításnak ezt a módját nevezzük *monomódusú átvitelnek*. Monomódusú üvegszálban a lézerrészek fényjelei mintegy 90 km távolságra képesek eljutni jelerősítés nélkül.

A fénykábeles összeköttetésekben alkalmazott szálak számát a gyakorlatban gazdasági megfontolások alapján alakítják ki. 12 - 24 szál létesítése általánosnak mondható, bár 48 szál alkalmazása is előfordul. A hálózatok adatátviteli kapacitása a technológia fejlődésével rohamosan növekszik.

Az egyetlen szálpáron megvalósított adatátviteli sebességre ma még a 155 Mbit/sec (SDH/STM-1) a jellemző, de egyre inkább terjed a 622 Mbit/sec (SDH/STM-4), valamint a 2,4 Gbit/sec sebességű rendszerek alkalmazása, sőt a közeljövőben várható a még nagyobb adatátviteli kapacitások (20 Gbit/sec) megjelenése is.

A *mikrohullámú átviteli rendszerek* elterjedésének kezdetén frekvenciamodulált (analóg) átviteli módot alkalmaztak.

A digitális (PCM) technológia elterjedése és a mikrohullámú rendszerekben történő alkalmazása a mikrohullámú technológiát a PDH rendszerek egyik legkorszerűbb átviteli eljárásává emelte. A PDH technológiában a

mikrohullámú rendszereket általában 2 - 8 Mbit/sec sebességű adatátvitel megvalósítására alkalmazták.

A fénykábeles átvitel elterjedése és az adatátvitellel szemben támasztott igények növekedése miatt a mikrohullámú rendszerek jelentősége manapság mindinkább a háttérbe szorul. A fénykábeles rendszerekkel szemben egyre nyilvánvalóbbak a mikrohullámú rendszerek hátrányai: a viszonylag drága üzemeltetés, a korlátozott sáv szélesség, az időjárástól való függőség (a szél, a hó, a fagy befolyásolja a parabolaantennák működését), a kisebb megbízhatóság stb.

A szélessávú mikrohullámú rendszerek elterjedése mindezek ellenére alkalmassá tette ezt a technológiát is az STM-1 szintű SDH jelátvitel megvalósítására. Egyetlen mikrohullámú összeköttetés a berendezésekkel, antennákkal együtt egyetlen szálpár fényvezetővel egyenértékű, de annál sokkal bonyolultabb és drágább struktúra. Ott azonban, ahol a gyors létesítés előnyt jelent, vagy a terepviszonyok más összeköttetést nem tesznek lehetővé, és a rendelkezésre álló sáv szélesség elegendő, a mikrohullámú rendszerek telepítése ma is indokolt lehet. STM-1-nél magasabb hierarchiaszintű SDH jelátvitel megvalósítására a mikrohullámú rendszerek (a korlátozott sáv szélesség miatt) nem alkalmasak.

4 SDH HÁLÓZATI ALAPARCHITEKTÚRÁK

Az SDH hálózati elemek összekapcsolásával SDH részhálózatokat, hálózati szegmenseket alakíthatunk ki. A hálózati szegmensek további összekapcsolásával (linkek) különböző bonyolultságú SDH hálózatokat lehet építeni. A részhálózatok topológiája önmagában meglehetősen egyszerű. (Lásd a 4.1. ábrát.)

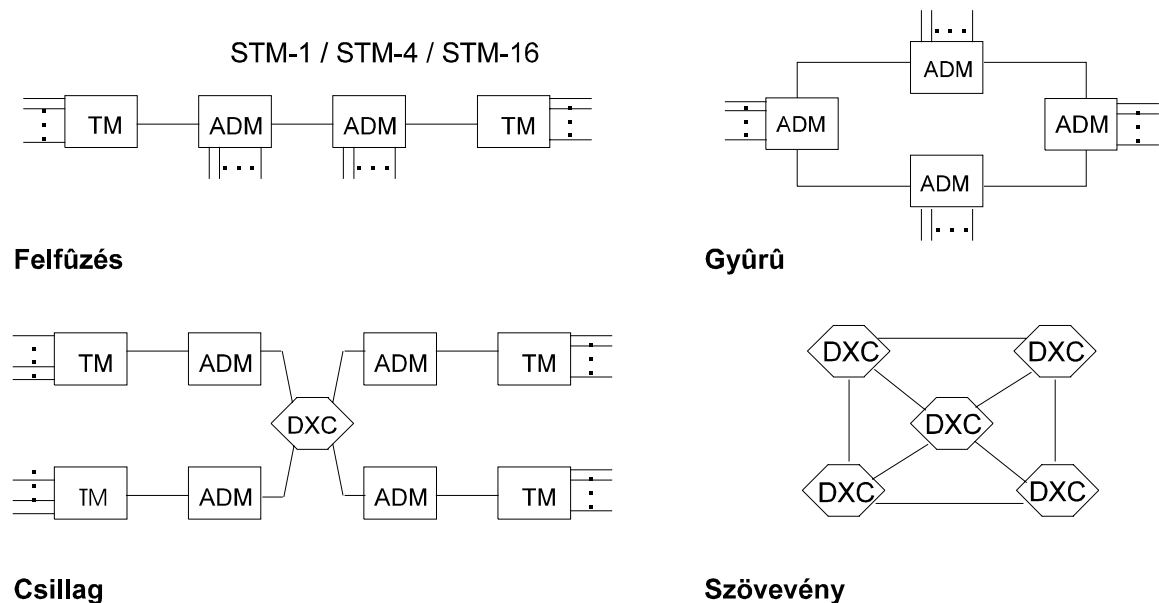
Az 4.1 ábrán szemléltetett alaparchitektúrák a következők:

- felfűzés;
- gyűrű;
- csillag;
- szövevény.

Felfűzés alkalmazása esetén a forgalom a láncba kapcsolt csomópontokon keresztül halad. Összetevők bárhol beiktathatók, leágaztathatók. Az ilyen elrendezéseket lineáris hálózatoknak is hívják. Vasutak, autópályák nyomvonalaikhoz illeszkedve alkalmazzák esetenként. Védett átvitel megvalósítására önmagában nem alkalmas.

A *gyűrű* önmagába visszacsatolt felfűzés. A gyűrű felépítés esetén alkalmazható automatikus, gyors, nagyon kis (<50 ms) reakcióidővel működő önjavító algoritmus tette elterjedtté. Széles körben alkalmazzák előfizetői hálózatok, LAN, WAN gerinchálózatok, nemzeti hálózatok esetén.

A *csillag elrendezésben* az egész forgalom egy központi csomóponton halad át. A középpontban elhelyezkedő csomópont lehet hub (átemelő) multiplexer vagy digitális rendező. A hálózat sérülékenysége miatt alkalmazása önmagában nem szerencsés. Előfizetői hálózatokban esetenként alkalmazzák.



4.1 ábra SDH alaparchitektúrák

Szövevényes elrendezésű hálózatban a csomópontok közül egy vagy több legalább két további csomóponthoz kapcsolódik egy vagy több vonalon keresztül. A szövevényes hálózat csomópontjai általában digitális rendezők.

A szövevényes hálózat előnye, hogy egyes csomópontok vagy átviteli szakaszok meghibásodása esetén az átviteli útvonalak a hálózatmenedzselő rendszer által (szoftver úton vezérelhető módon) 200 ms-nál rövidebb idő alatt átrendezhetők. A meghibásodások ellen ez a forgalom-átirányítás nyújt védelmet. A gyűrűs hálózattal szemben hátrányként említhető a bonyolultabb felépítés, ami a hálózatmenedzselő rendszer bonyolultságában és nagyobb költségében is megmutatkozik. (Minél bonyolultabb a szövevény, annál több az átrendezéshez rendelkezésre álló tartalék útvonal, tehát annál nagyobb a hibavédelem hatékonysága, de a hálózatmenedzselő rendszer bonyolultsága is.) A szövevényes hálózat főleg országos gerinchálózat kiépítésére alkalmas.

5 STRUKTÚRÁLT SDH HÁLÓZATI ARCHITEKTÚRÁK

A fejezet rövid áttekintést az a strukturált SDH hálózatok felépítéséről, és az eltérő szerkezetű hálózati struktúrák tipikus alkalmazási köréről.

Az architektúrák ismertetése és értékelése során a védett SDH hálózatok kialakításának szempontjai lesznek a meghatározók

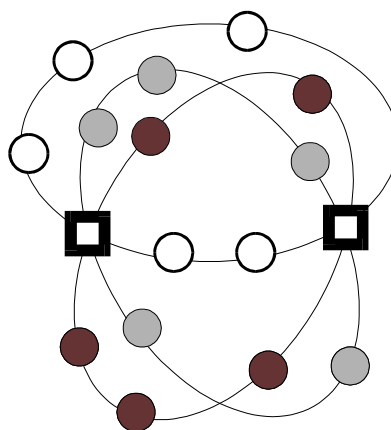
Az anyag mind az egyszintű (nem hierarchikus) mind a többszintű, hierarchikus hálózati struktúrák irodalomból és a gyakorlati alkalmazásokból ismert változatait tárgyalja.

A strukturált hálózatok ismertetéséhez kapcsolódóan az eltérő szerepű csomópontok tipikus funkcionális modelljét és rendszertechnikai felépítését is ismerteti.

5.1 Egyszintű strukturált hálózatok

Kisebb méretű hálózatokban (kevés csomópontszám, kisebb földrajzi kiterjedés), esetenként, ha a hálózat csak több SDH részhálózattal valósítható meg, a részhálózatokat összekapcsoló felső sík hiányozhat, vagy speciális formát ölthet.

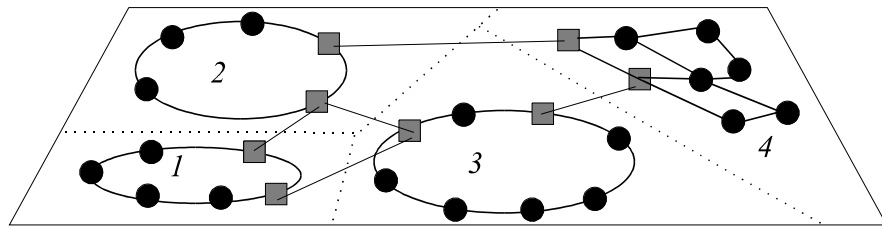
Ezekben az esetekben a hálózat sokszor nem tekinthető a klasszikus értelemben többszintűnek. Az 5.1 ábra által mutatott példában a hálózatot alkotó gyűrűk hub pontjai azonosak, így a gyűrűk közötti tranzitálást szolgáló hálózati sík két pontra redukálódik. A szerkezetről megmutatható, hogy költségjellemzői és üzemeltetési tulajdonságai kedvezőbbek, mint a tényleges többszintű hálózatokéi. Ugyanakkor nem hagyható figyelmen kívül, hogy az így felépülő hálózat nagyon sebezhető, hiszen a két hub pont egyidejű kiesése teljesen szétvágja a hálózatot. Összességében kijelenthető, hogy az azonos hubpárra telepített gyűrűkből felépülő hálózati szerkezet a kis és közepes méretű városi környezetben magvalósított hálózatok egyik alkalmas megoldását szolgáltathatja.



5.1 ábra Azonos hubpárra telepített gyűrűk

Az egyszintű strukturált hálózatok másik típusát azok a hálózatok alkotják, amelyekben nem létezik elkülönült tranzit hálózati sík, a részhálózatok

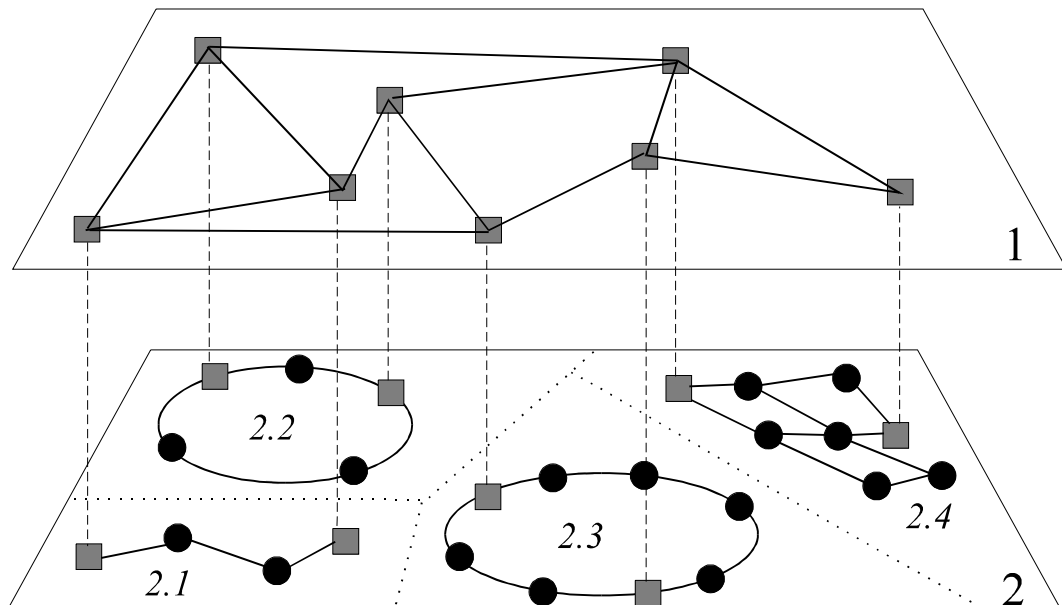
kölcsönösen részt vesznek a nem szomszédos hálózatrészek összekapcsolásában. A 5.2 ábra egy ilyen hálózati megoldásra mutat példát. Ezen megoldások hátránya, hogy a nagy tranzitforgalmat lebonyolító gyűrűk (pl. a 3-as) könnyebben telítődhetnek, ezáltal a hálózat nehezebben fejleszthető. A gyűrűcsomópontokon áthaladó nagy tranzitforgalom a csomópontokban elhelyezett ADM-eken keresztül ki/becsatolható csomóponti igények mennyiségét is jelentősen korlátozhatja, rontva ezzel az ADM kapacitások kihasználtságát. (A jó ADM kapacitáskihasználtság feltétele, hogy a csomópont csatlakoztatási kapacitás - tributary kapacitás - maximális kihasználást a gyűrűszakaszok kapacitása - szabad kapacitásainak hiánya - ne korlátozza.)



5.2 ábra Egyszintű strukturált SDH hálózat

5.2 Hierarchikus felépítésű hálózatok

Az SDH hálózatok az esetek többségében hierarchikus felépítésűek. A kapcsolt távbeszélő hálózatok hierarchikus forgalomirányítási szabályainak analógiájára az alacsonyabb szintű hálózatrészek között a magasabb szintűek teremtenek kapcsolatot. A hálózati szintek kliens-szerver viszonyban vannak egymással, ami tervezési, fejlesztési és üzemeltetési szempontból is megteremti a hálózatrészek viszonylag független (vagy egyszerűen függetleníthető) kezelésének lehetőségét.)



5.3 ábra Kétszintű hierarchikus SDH hálózat

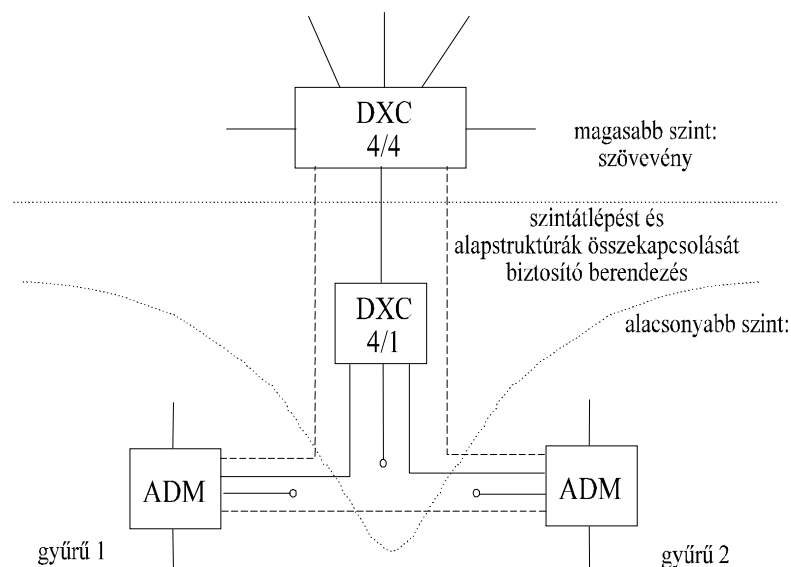
Ezekben a hálózatokban az alsó síkon tipikusan gyűrűk, esetleg topológiai okokból busz jellegű felfűzések, valamint ritkán szövevényes részhálózatok találhatóak. A részhálózatok általában két kitüntetett pontok (hub pont) csatlakoznak a magasabb hálózati síkhoz. A magasabb hálózati síkot gyűrűk vagy szövevényes hálózatok alkotják. A gyűrű-gyűrű szerkezetű hálózatok általában sérülékenyebbek, mert a többszörös hálózati hibák a gyűrű jellegű szerkezeteket könnyen szétvághatják, és ha ez a magasabb hálózati síkon következik be, akkor teljes hálózatrészek között szűnhet meg ennek következtében a kapcsolat.

Szövevényes felső hálózati sík mellett ez a veszély kisebb, mert a szövevényes hálózatok nagyobb összefüggősége több lehetőséget nyújt a kerülőutak kialakítására. Egy tipikus kétszintű hierarchikus SDH hálózat struktúráját az 5.3 ábra mutatja.

5.3 A csomópontok rendszertехnikai felépítése

Az SDH hálózatok csomópontjainak rendszertехnikai felépítése az SDH hálózati alapszerkezetek (felfűzés, gyűrű, szövevény) változatosságából következően is jelentősen különbözhetnek. A gyűrű szerkezet csomópontjai leágazó multiplexerekkel (ADM) a szövevényes hálózati pontok vonali- és végmultiplexerekkel szerelve épülnek fel. A felfűzéses szerkezetű hálózatrészekben mindhárom multiplexer típust megtalálhatók. (A felfűzés végpontja végmultiplexer és/vagy vonali multiplex lehet, míg a közbülső felfűzött pontokban a leágazó multiplexerek alkalmazása lehet célszerű.)

Az egyes csomópontok rendszertехnikai felépítése nem csak a csomópontot a hálózathoz kapcsoló hálózatrész szerkezetétől függ erősen, hanem magának a csomópontnak a hálózatban betöltött szerepétől is.



5. 4 Gyűrűk és szövevényes hálózat közötti hub pont felépítése

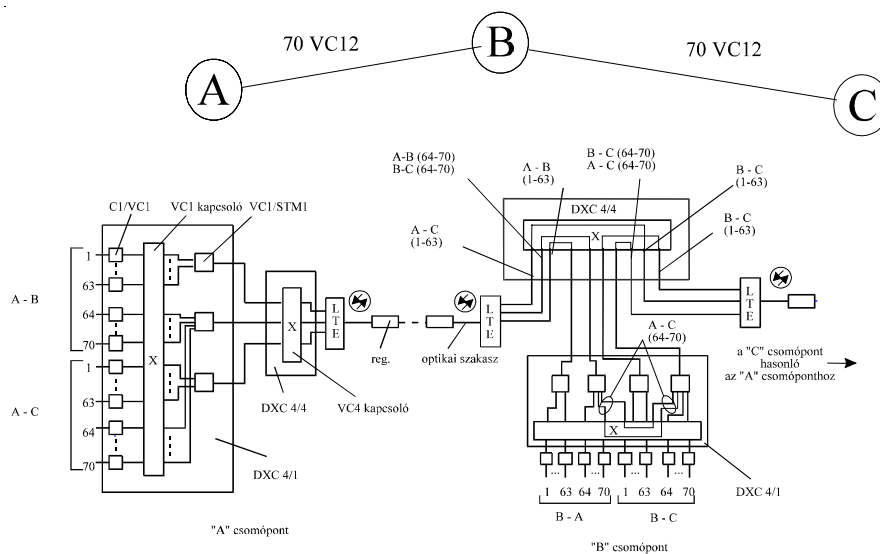
Két tipikus csomópontszerepet érdemes külön is kiemelni. Az egyik a hálózatrészek összekapcsolásában döntő szerepet játszó hub pont, a másik a szövevényes hálózatok nagy csomópontjai, amelyek a nyalábok rendezésében és a hálózatvédelemben egyaránt fontos szerepet játszhatnak. Ezeket a pontokat flexibilitási pontnak is nevezik, mert tipikusan digitális rendező (DXC) berendezésekkel felszereltek, mely berendezések rugalmas

kapcsolási képességre alapozottan a hálózat átrendezésének meghatározó pontjai.

Az 5. 4. ábra egy olyan csomópont rendszerteknikai felépítését mutatja be, mely csomópont két gyűrű közös hub pontja és a gyűrűket egy szövevényes szerkezetű magasabb hálózati síkhoz kapcsolja. Az ADM-ek a gyűrűk alkotta átviteli rendszerekhez való hozzáférést szolgálják, a DXC 4/1 a gyűrűkből kilépő nyalábok rendezését, kitöltöttségének javítását célzó nyalábolást valósítják meg, míg a szövevényes síkon elhelyezkedő DXC 4/4 berendezés a magasabb szintű (VC4, STM1) nyalábok védelmét szolgáló hálózatátrendezések meghatározó eszköze.

Az 5. 5. ábra egy kis, három csomópontból álló szövevényes hálózat csomópontjainak felépítését ábrázolja. A hálózat A-B és B-C pontjai között 70-70 VC12 nagyságú átviteli út biztosítandó. A példa a DXC 4/4 és DXC 4/1 berendezések nyalábrendeztetésben játszott funkcionális szerepét próbálja egyszerűen megvilágítani. Ha tekintjük például az A pontból a C pontba menő 70 VC 12 megvalósítását, láthatjuk, hogy a tisztán A-C közötti kapcsolatot szolgáló a B pont DXC 4/4-esén sértetlenül halad át, míg a további 7 VC12-t szállító nyaláb a B pont DXC4/1-esében végződve a B-C összeköttetés hasonló részével közös nyaládba rendezve halad tovább.

Nagyobb, szövevényesebb hálózat és alkalmasan megtervezett és megépített tartaléknyalábok esetén a B pont DXC 4/4-ese a B-C szakasz hibája esetén képes lenne az A-C és B-C tiszta nyalábot és az A-C, B-C vegyes nyalábot magasabb szinten egy a B-C szakaszt elkerülő tartalékútra irányítani (átrendezhető tartalékhálózat).



5.5 ábra Szövevényes SDH hálózat flexibilitási pontja

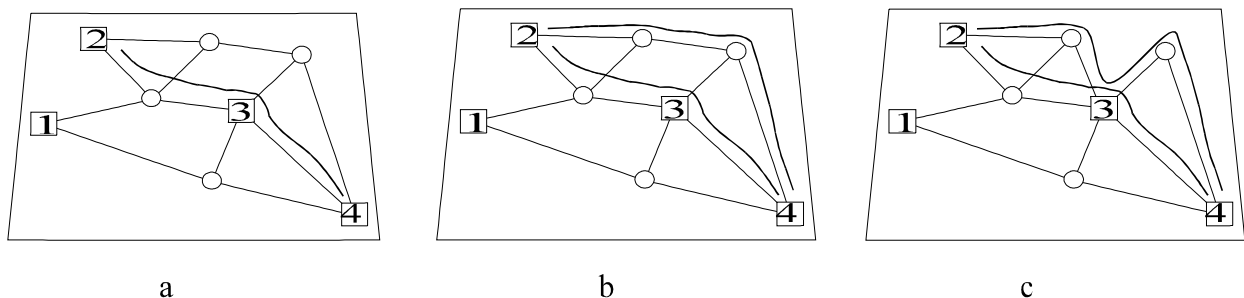
6 SDH HÁLÓZATVÉDELMI MEGOLDÁSOK

6.1 Hálózatvédelmi alapsémák

A hálózatvédelmi sémák olyan egyszerű, különböző technológiákban egyaránt alkalmazható egyszerű megoldások, melyek a pont-pont összeköttetések egyszeres hibák hatásából következő degradációját csökkenthetik, illetve kiküszöbölhetik.

Mivel a meghibásodott hálózatelemből következő degradáció csökkentésére azonos (helyettesítő) funkciójú hálózatelemek igénybevétele szükséges, a megoldások alapjául strukturális vagy kapacitásredundancián alapuló sémák szolgálnak.

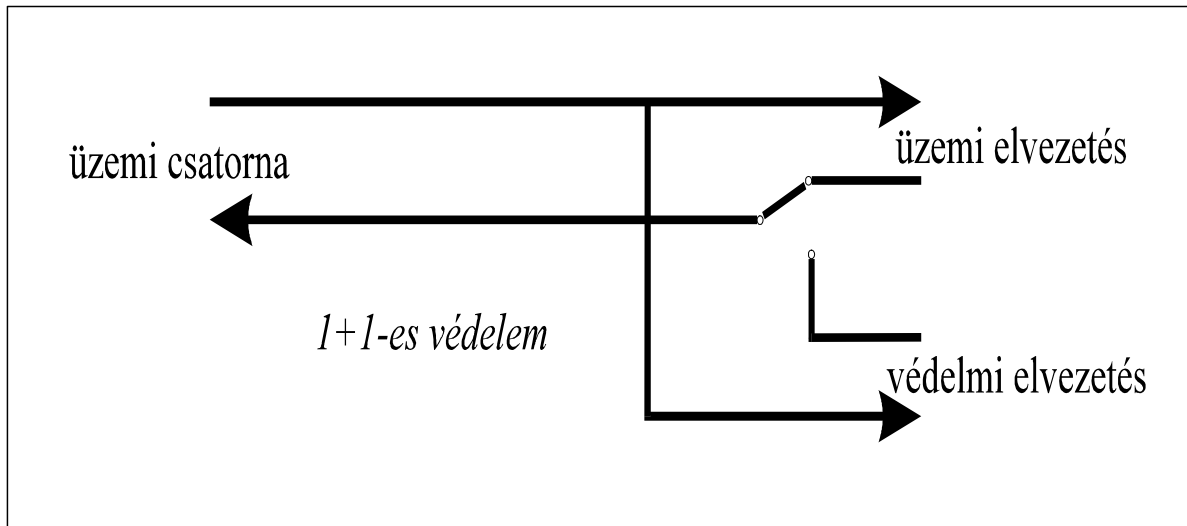
Osztott elvezetés beszélünk akkor, ha a pont-pont összeköttetésben igényelt átviteli kapacitást több (tipikusan két) független átviteli úton megosztva hozzuk létre. Ekkor egy hálózatelem (csomóponti vagy szakasz jellegű) meghibásodása egy átviteli útra jutó kapacitásrész kiesését eredményezi (a végponti funkciók hibája természetesen a teljes átviteli kapacitás kiesését vonja maga után, ha ezek a funkciók nem védettek). Csomópont- és élfüggetlen útpárra ad illusztrációt a 6.1 ábra.



6.1 ábra Egyutas elvezetés (a), csomópont (b) és élfüggetlen (c) útpárok

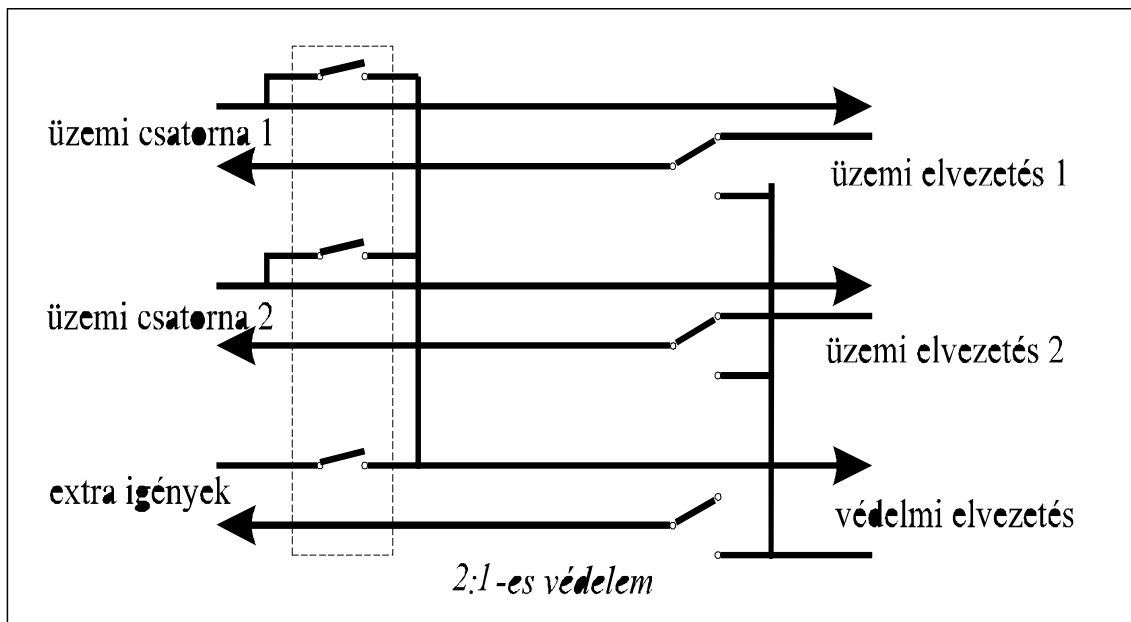
Protection (védelem) típusú védelmek lehetnek az 1+1 és M:N (tipikusan 1:1) védelmek. Ekkor a védett üzemi kapacitásokhoz előre hozzárendelt a nekik megfelelő védelmi kapacitás. Az üzemi és védelmi kapacitások összerendelése történhet az egyes szakaszok vagy az utak szintjén.

Az 1+1 védelmi alapsémában (6.2 ábra) az átvinni kívánt információt az adóoldalon duplikáljuk, a hálózaton két független átviteli úton továbbítjuk, majd a vevőoldal a két irányból vett jel kiértékelésére alapozottan dönt az aktuálisan felhasználható információról. A séma dedikált védelmet jelent, egy hálózatelemhez (út, szakasz) egyértelműen hozzárendelünk egy megfelelő tartalékelemet, amely folyamatosan ugyanazt a funkciót látja el. A duplikált erőforrásigénnyel egyszerű működés biztosítható, mert az adóoldal lokálisan dönthet a vett információ minősége alapján a védelmi kapcsolat szükségességéről.

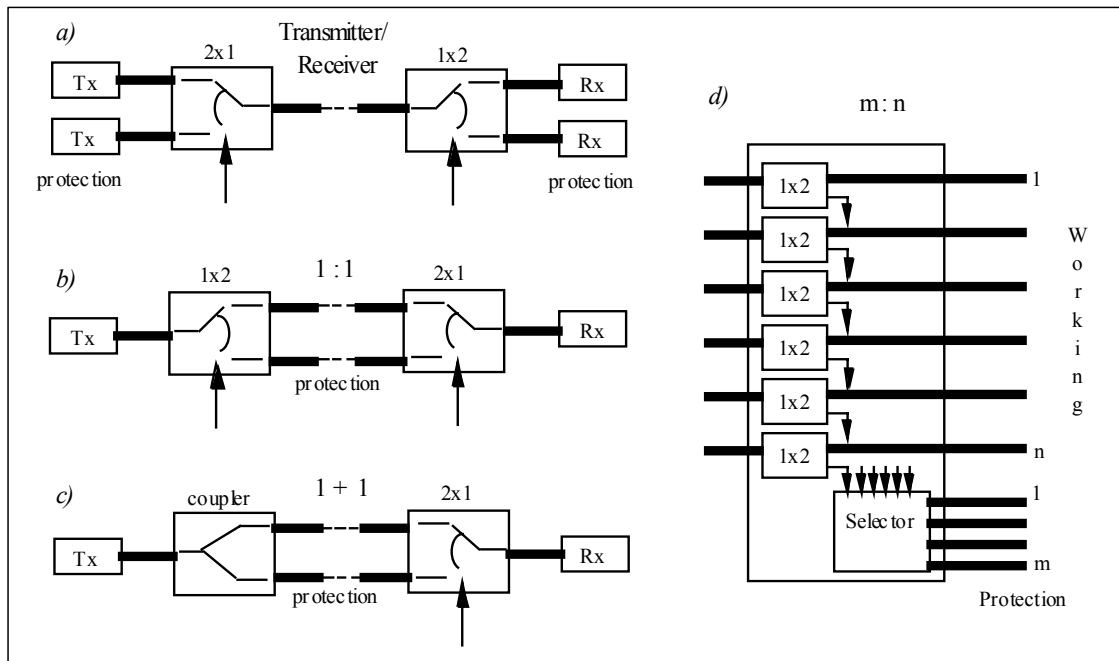


6.2 ábra 1+1 védelmi alapséma (kétirányú összeköttetés egyik oldala)

Az N:M védelmi séma esetén N üzemi hálózatelemhez M védelmit rendelünk (célszerűen $N \geq M$), amelyeket az üzemi elemek osztott tartalékként használhatnak. Egy üzemi hálózatelem meghibásodása esetén a hiba bekövetkezését észlelő végpont az ellenoldali végponttal dönt a védelmi átkapcsolás szükségességéről és az ellenoldali végponttal kommunikálva szinkronban egy kiválasztott tartalékra kapcsolnak. A hiba elhárítása után a rendszernek vissza kell térnie eredeti állapotába, mert csak kapcsolási szerkezetből következően csak a tartalékelemek hozzáférhetőek minden üzemi elem számára. (6.3 ábra)



6.3 ábra n:m védelmi alapséma

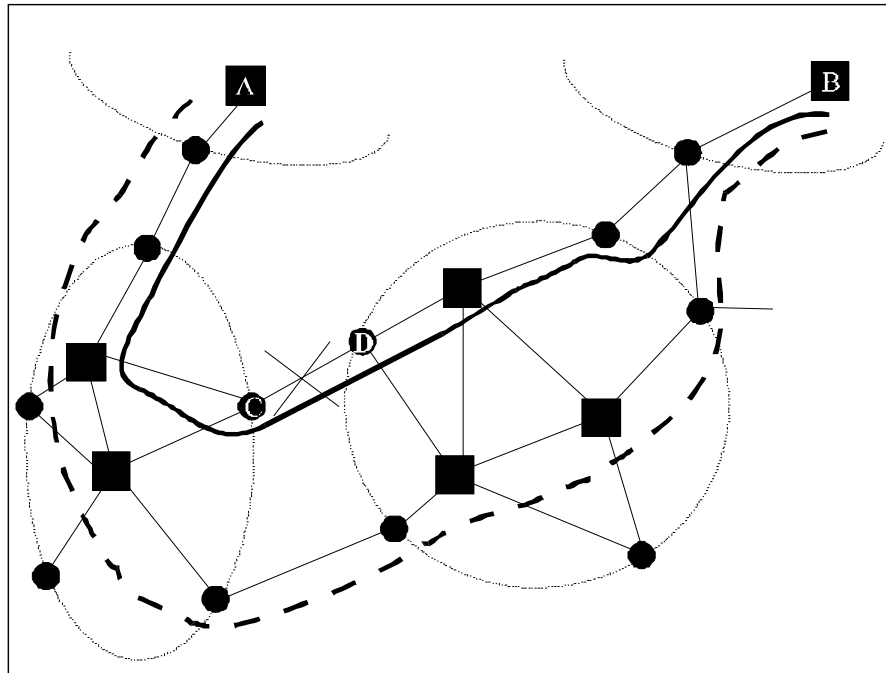


6.4 Védelmi sémák alkalmazási példái

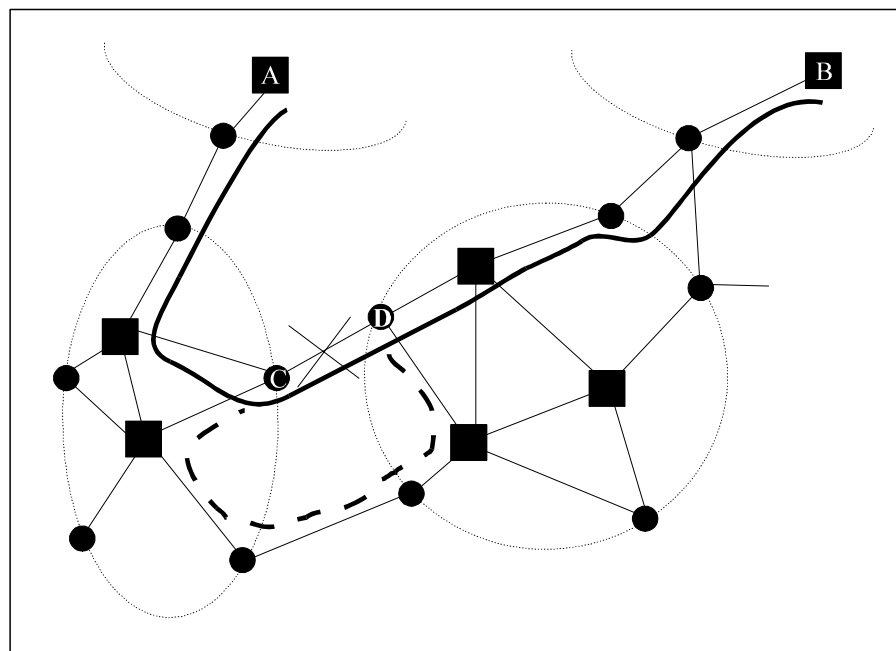
Restoration (helyreállítás) típusú védelem az átrendezhető tartalékhálózati védelem. Ennek lényege, hogy az egyes szakaszok tartalékkapacitásokat tartalmaznak, de ezek nincsenek megfeleltetve az üzemi egységeknek. Hiba esetén a hálózat igényeinek elvezetését átrendezik a csomópontok flexibilitására alapozottan, ezeket a védelmi kapacitásokat is felhasználva. Ez az átrendezés történhet többféleképpen. Egyik megoldás, mikor a védelmet a hálózat szakasz rétegében valósítják meg. Ekkor csak a hibás szakasz igényeit vezetik el másfele a szakasz környékén (egy nyalábban vagy részekre bontva). Másik — az útrétegben megvalósított védelmi mód —, amikor az összes meghibásodott utat újraépítik a hálózatban. Elvileg a teljes hálózat átrendezése (meghibásodott és hibamentes utak megváltoztatása) is lehetséges, de ezt élő szolgáltatásokat hordozó hálózaton tipikusan nem alkalmazzák (az utak megváltoztatása a szolgáltatások rövid idejű megszakadásával járhat). Az egyes megoldásoknak eltérő az esetenkénti kapacitás igénye. Az összes (meghibásodott) utat átrendező megoldás tipikusan hatékonyabb, kevesebb többletkapacitást igényel. Az átrendezést végző algoritmus is többféle módszer szerint működhet. Két tipikus megoldás az előre definiált és a dinamikus átrendezés. Utóbbi bár mindig a hálózat pillanatnyi állapotát figyelembe véve tudja az éppen optimális megoldást biztosítani lassabb és bonyolultabb, nagyobb számítás igényű. Az átrendezés és a védelem vezérlése lehet központosított, de lehet elosztott vezérlésű is. Központosított vezérlés esetén a hálózat az egyes csomópontok állapotváltozását a központ felé jelzi, és a központ utasítja a többi csomópontot az új állapotoknak megfelelően. Az oszttott vezérlés esetén a hálózat egyes csomópontjainak kell reagálniuk a megváltozott körülményekre. Az oszttott vezérlés bonyolultabb, összetettebb, de a védelmi kapcsolás ideje (*restoration time*) kevesebb. Az oszttott típusú védelmi algoritmusok hatékonyságuk miatt igen jelentősek és a már meglévő

algoritmusok javítása, lehetőségeik bővítése (pl. speciális, kritikus helyzetek sikeres lekezelése) folyamatosan történik. (6.7 ábra)

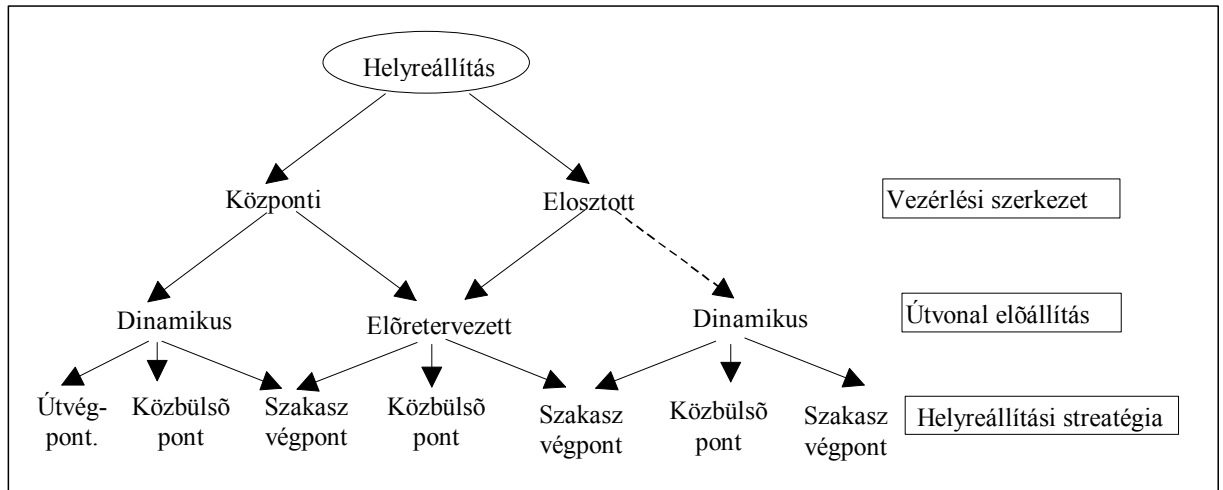
A helyreállítás típusú védelem hatékonysága a nagyobb kapacitás kihasználás miatt kedvezőbb, de az üzemeltetése bonyolultabb a hálózat működtetése során.



6.5 ábra Útalapú helyreállítás



6.6 ábra Szakaszalapú helyreállítás



6.7 ábra Helyreállítási stratégiák áttekintése

6.1.2 Védelmi átkapcsolás

Mindkét végén kapcsolt, azaz „*dual ended*” típusú védelem esetén, két ponton van szükség a védelmi kapcsolók átállítására. Ebben az esetben külön hálózati protokoll gondoskodik a védelmi kapcsolók működésének összehangolásáról. Az APS (*Automatic Protection Switching*) két típusú kapcsolót vezérel az SDH fejlécben található K1 és K2 byte-ok segítségével. Az APS lényege röviden összefoglalva a következő:

Amikor a vevő a vételi oldalon hibát, vagy kapcsolási kérelmet észlel, megvizsgálja a védelmi kapacitást használni kívánó üzemi igény prioritását (ha van). Ha ez az igény rendelkezik a megfelelő prioritással, a K1 byte-ot a megfelelő beállításokkal a védelmi vonalon visszaküldi az adónak. Az adó, azonosítva a K1 byte-ot, és a vevő prioritását kiértékelve küldi vissza a K1 byte-ot a vevőnek a védelmi úton, az átkapcsolási kérelem megerősítésére. Ez a protokoll egy kétirányú átkapcsolást inicializál. Az adó oldalon, a jelzett igény útja áthidalódik a védelmi elvezetésre. Amikor az út áthidalása megtörtént, a K2 byte beállításával jelzi az adó az átkapcsolást. A vevő a K2 byte adatai alapján ellenőrzi, az átkapcsolás helyességét (hogy a kérésnek megfelelő út hidalódott-e át a védelmi vonalra,) és a vételi oldal is átkapcsolja az utat a védelmi vonalra. Ennek megtörténtét a K2 byte-on jelzi az adónak, ami aztán végleg befejezi a kapcsolást, egyező K2 byte esetén.

6.2 Klasszikus SDH öngyógyító gyűrűk

6.2.1 Klasszikus SDH öngyógyító gyűrűk felépítése és működése

A szövevényes hálózatok és védelmi alapmegoldások után, ezeknek az elemi megoldásoknak a gyűrűkön történő megvalósításaira következnek példák ebben az alfejezetben.

A gyűrűk — mint ez az eddigiekből is már kiderült —, az SDH hálózatok jól használható, hatékony architektúrái közé tartoznak. Az átvitel

szempontjából két alapvető gyűrűtípust különböztethetünk meg, az egyirányú és a kétirányú gyűrűt. Az egyirányú gyűrűben az igények csak az egyik irányba (pl. az óramutató járásával egyezően) kerülhetnek elvezetésre, a kétirányú gyűrűben az igények mindkét irányba elvezethetők.

Elvezetés szempontjából értelmezhetünk még osztott és osztatlan elvezetésű gyűrűket, aszerint, hogy az egyes igények csak egyben, vagy valamilyen arányban megosztva is elvezethetők-e.

A védett gyűrűk minden esetben két optikai szálon valósíthatók meg. Egy ilyen gyűrűn az igények átvitele két irányba halad egyszerre, (egyik szálon az egyik irányba, míg másik szálon a másik irányba).

Egy általános modell szerint különböző csatornák értelmezhetők egy védett gyűrűn, az elvezetési és védelmi módoktól függően. Maximum négy csatorna értelmezhető, az üzemi és a védelmi elvezetés egyes irányainak megfelelően egy-egy. Az egyes gyűrűk ezeket a csatornákat más-más módon kezelik és valósítják meg. (Egy kétirányú négyszálas gyűrűn például minden csatorna külön üvegszálon kerül megvalósításra.)

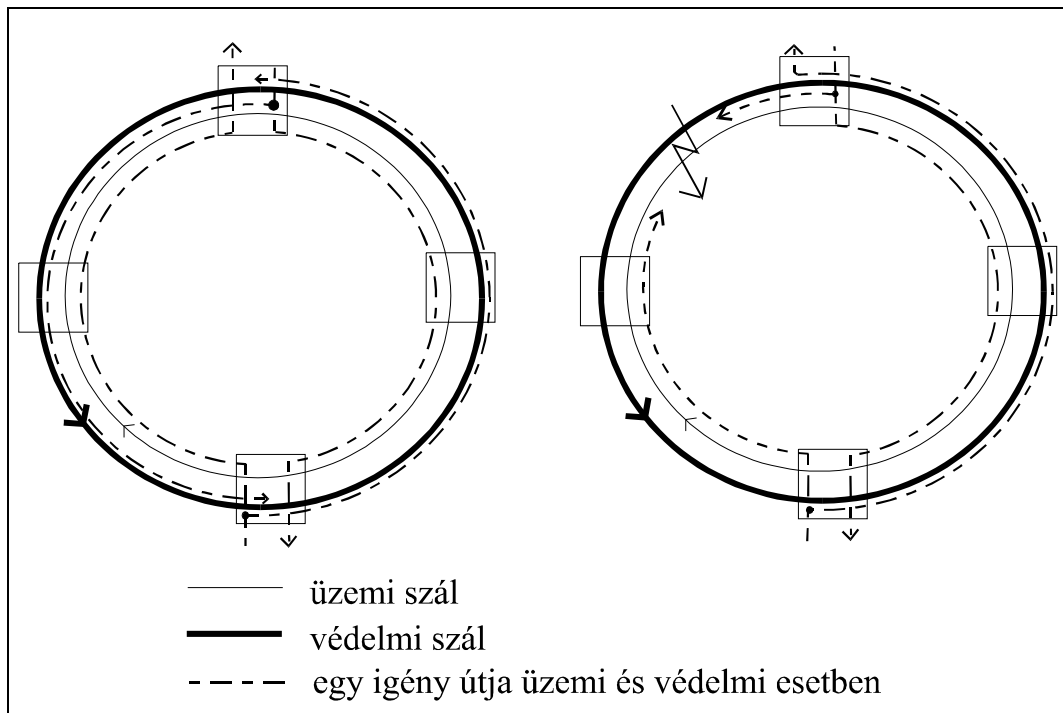
A következőkben a hat leginkább elterjedt és alaptípusnak is nevezhető gyűrűfajtát tekinti át a diplomamunka. Ezek az egyirányú útvédett (USHR/PP — *Unidirectional Self-Healing Ring with Path Protection*), kétirányú útvédett két szálas (BSHR2/PP — *Bidirectional SHR with Path Protection on two fibre*), kétirányú szakaszvédett négy szálas (BSHR4/MSSP — *Bidirectional SHR with Multiplex Section Shared Protection on four fibre*), kétirányú szakaszvédett kétszálas (BSHR2/MSSP — *Bidirectional SHR with Multiplex Section Shared Protection on two fibre*), egyirányú szakaszvédett (USHR/MSSP — *Unidirectional SHR with Multiplex Section Dedicated Protection*) és a kétirányú négy szálas passzív védelmű (BSHR4/PPR — *Passive Protected Bidirectional SHR on four fibre*) gyűrűk

Útvédett gyűrűk

A következőkben a két legfontosabb útvédett gyűrű kerül bemutatásra. Az útvédelem a gyűrűknél általánosan összefoglalva az előzőekben részletezetteket azt jelenti, hogy az igény, üzemi elvezetés esetén, az üzemivel egyidejűleg, elvezetésre kerül a gyűrű védelem számára fenntartott kapacitásaiban, az üzemivel ellentétes irányban is.

Egyirányú útvédett gyűrű (USHR/PP)

Az USHR/PP gyűrű (6.1. ábra) két üvegszálon kerül megvalósításra. Az egyik szál az üzemi, a másikat a védelmi elvezetés használja.



6.8 ábra Egyirányú útvédett gyűrű

Az üzemi és a védelmi gyűrű irányítottága ellentétes. Hibamentes esetben — mint az a 6.8 ábrán is jól látható — a forrás-csomópont a továbbítandó igényt mind az üzemi, mind a védelmi gyűrűn továbbítja. Az általános modellnek megfelelően az egyik üvegszál az üzemi elvezetéseké, és a másik szál a védelem számára fenntartott kapacitásokat tartalmazza. Az üzemi és védelmi igények a két szálban külön kerülnek elvezetésre.

Egyszerű elosztott menedzsment jellemzi, mely a védelmet a vételi oldal lokális döntésein alapuló védelmi kapcsolással valósítja meg. A meghibásodott utak külön riasztást küldenek a hálózat felé, ezért a hálózati menedzsmentnek a szakaszvédelemhez képest nagyobb számú riasztást kell kezelni.

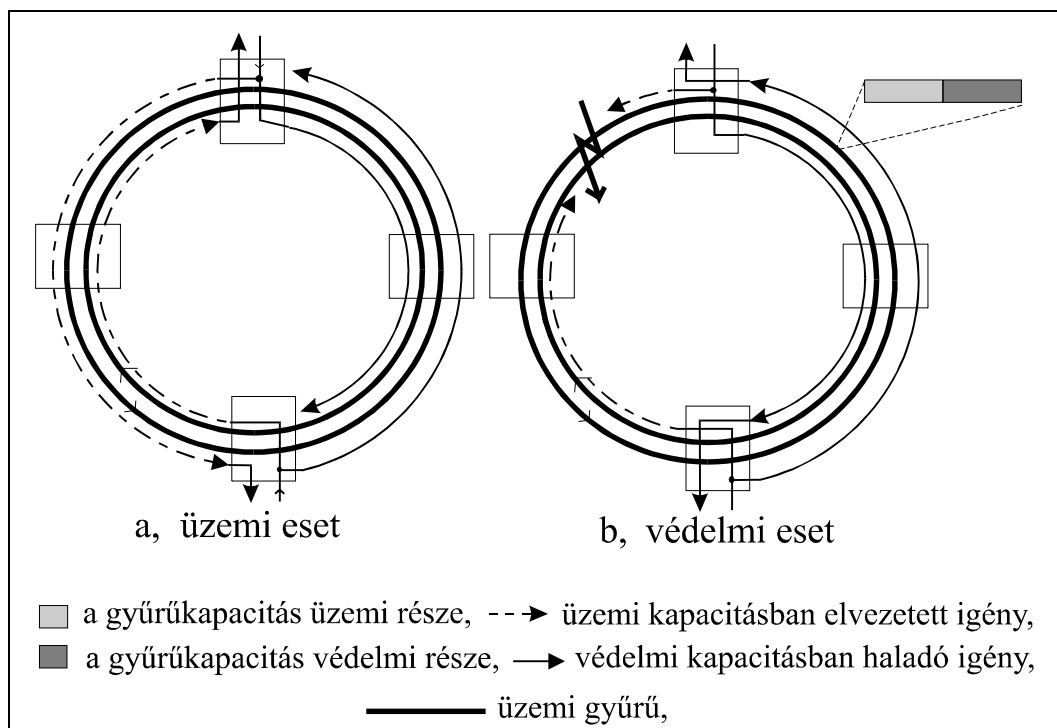
A vételi oldal mind az üzemi, mind a vételi úton érkező jelnél folyamatosan figyeli a jelszintet, a BER értékét. Ezek romlása vagy megszűnte (LOS, LOP, LOF) esetén a vételi oldal detektálja a hibát. Egyszeres hiba esetén nem szükséges bonyolult védelmi kapcsolás, a gyűrű az előbb elmondottakból adódóan képes a hiba elhárítására, mert ha a hiba az üzemi gyűrűben van, akkor a vevő automatikusan a védelmi gyűrű információjára kapcsol át, ha pedig a védelmi gyűrű hibásodik meg, akkor az üzemi gyűrű jelét fogadja el hibamentesnek átkapcsolás nélkül.

Kétirányú útvédett gyűrű két szálon megvalósítva (BSHR2/PP)

A BSHR2/PP gyűrű (6.9 ábra) két üvegszálon kerül megvalósításra. Az egyes szálak ellentétes irányítottságúak.

A gyűrű két választott csomópontja között az üzemi elvezetés mindkét irányba a gyűrű azonos ágán történik, és minden üzemi átvitel a gyűrű ellentétes felében is elvezetésre kerül az útvédelem miatt. Az általános modellnek megfelelően az üzemi és védelmi kapacitások itt az USHR/PP-hez képest nem külön szálaban, hanem a gyűrű eltérő felében különülnek el. Azaz egy szál kapacitásának megosztásával különül el a szál irányítottságának megfelelő üzemi ill. védelmi elvezetés. Az ajánlások az 1-től $N/2$ -ig terjedő kapacitás részt az üzemi és az $N/2$ -tól N -ig terjedő kapacitás részt a védelem számára javasolják.

Az egyszeres hiba elleni védelem a vételi oldal döntésén alapul a jelminőség figyelése alapján, az USHR/PP-hez hasonlóan. Főbb jellemzői is az egyirányú útvédett gyűrűével egyezők.



6.9 ábra Kétirányú útvédett gyűrű két szálon megvalósítva

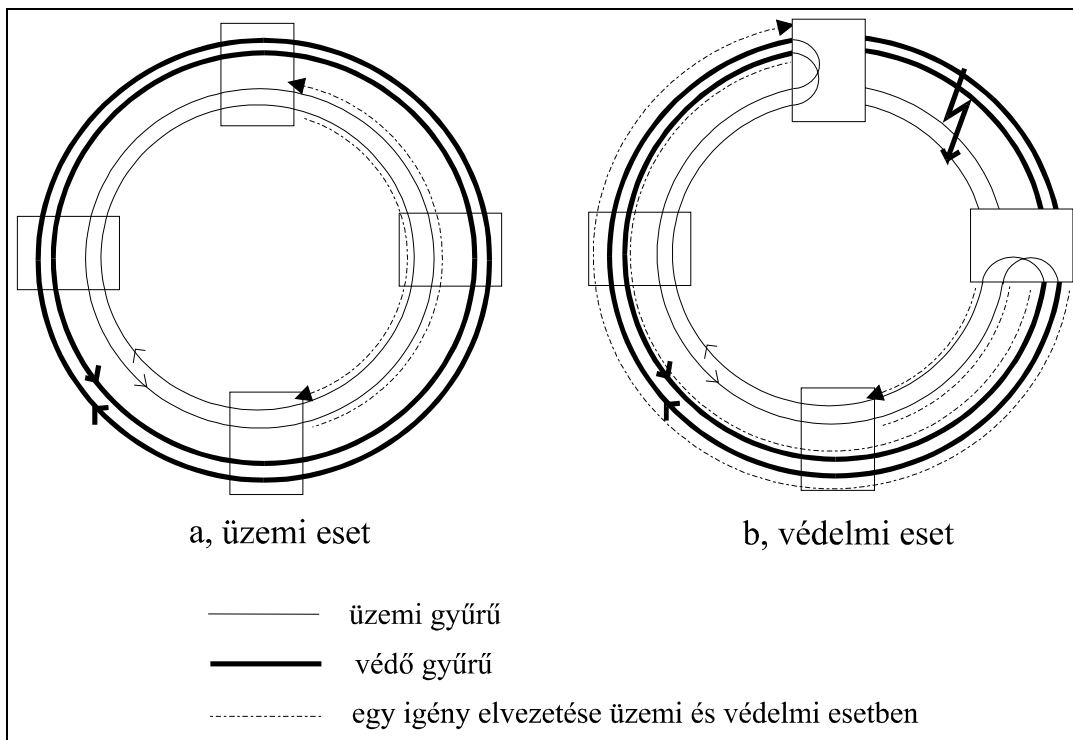
Szakaszvédelem gyűrűk

A szakaszvédelem a gyűrűk esetén általánosan azt jelenti, hogy a bevezetőben említett négy egyirányú elvi csatornára bontva a gyűrű által biztosított kapacitásokat, kettőt az üzemi elvezetés egy-egy iránya használ, kettőt a védelmi elvezetés egy-egy iránya használ. Az üzemi elvezetés egy szakaszának védelmét a gyűrű védelmi csatornáit látják el, általában a gyűrű ellenkező felében elvezetve a szakaszon továbbított igényeket.

Kétirányú szakaszvédett gyűrű négy szálon megvalósítva (BSHR4/MSSP)

A BSHR4/MSSP architektúra (6.10 ábra) két szálát alkalmaz az üzemi gyűrű egy-egy irányának megvalósítására és további két szálát ezen üzemi szálak védelmére. Az általános modellnek megfelelően, minden csatornát külön üvegszálon valósítanak meg.

Hibamentes esetben az igények az üzemi gyűrűben kerülnek elvezetésre. Az útvédett gyűrűk esetében elvezetési (USHR/PP), illetve védelmi (BSHR2/PP) okból az összes igény a teljes gyűrűt terheli. A BSHR4/MSSP gyűrű alkalmas igény eloszlás esetén biztosítja a sáv szélesség újrafelhasználásának lehetőségét. Üzemi esetben a védelmi szálak nem használtak, a kapacitások még jobb kihasználtsága érdekében kisebb prioritású extra (nem védett) igények továbbíthatók rajtuk, melyek hiba esetén, az aktivizálódó védelem során eldobásra kerülnek



6.10. ábra Kétirányú szakaszvédett gyűrű négy szálon megvalósítva

Az 6.10 ábrán a védett igények elvezetése látható üzemi esetben és aktivizált védelem esetén.

A csomópontközi kommunikációt — mely a védelmi átkapcsolást is vezérli — egy, a védelmi szálon megvalósított üzemi csatorna biztosítja a gyűrűben. Így a csomópontok a hálózat állapotát folyamatosan követik, és ez alapján értelmezik az egyes gyűrűkön kapott jeleket. (Egy csomópont ez alapján dönti el, hogy a kapott jel alacsony prioritású igényeket hordoz, vagy aktivizált védelem mellett továbbított védett igényt.)

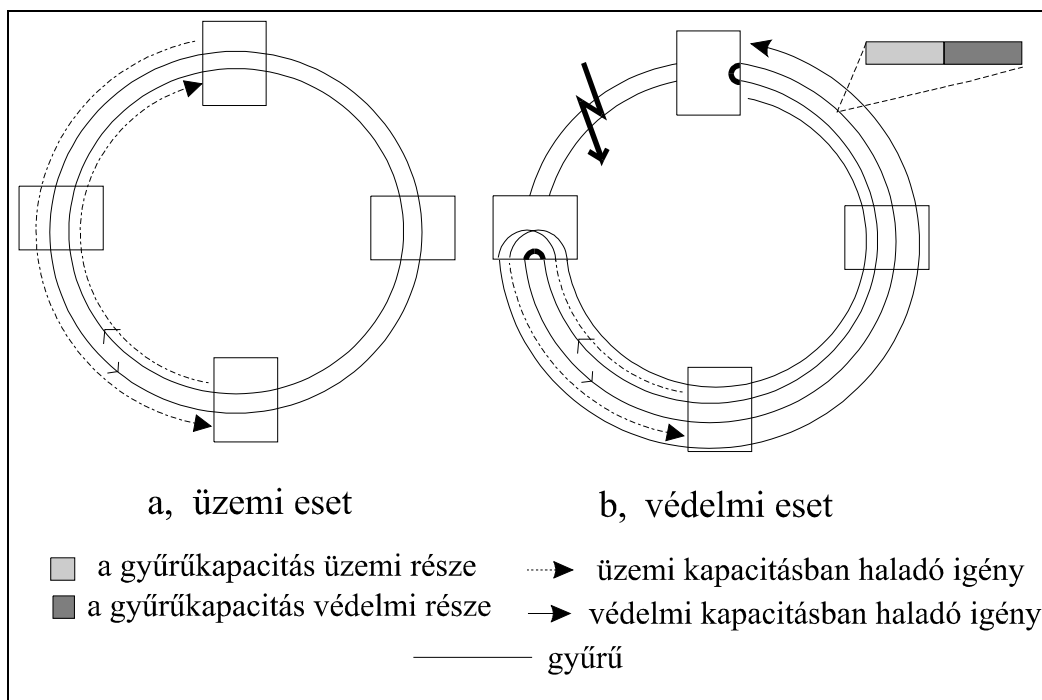
Meghibásodás esetén a védelem két szinten képzelhető el a hibától függően. Ha egy szakaszon csak az üzemi gyűrű sérül meg, akkor a gyűrű

azon a szakaszon átkapcsol a védelmi gyűrűre, így helyettesítve az üzemi gyűrű sérült szakaszát. Ekkor a védelmi gyűrű többi része még felhasználható extra igény továbbítására. Ha a meghibásodás során mind az üzemi, mind a védelmi gyűrű megszakad, a szakadás szomszédos csomópontjai a gyűrű hibás üzemi szakaszát a hibátlan védelmi szakaszok sorával helyettesítik, átkapcsolva az üzemi elvezetést a védelmi gyűrűre (3.7. ábra). Így a szakadás egyik végéről a védelmi gyűrűn jutnak el az igények a szakadás másik végére, ahol visszakapcsolódnak az üzemi gyűrűbe. Ebben az esetben a védelmi gyűrűben nem szállítható extra igény. A gyűrű csomópontjai közötti protokoll, amely a szükséges kommunikációt biztosítja, bonyolultabb mint az útvédelem védelmi kapcsolásához szükséges protokoll. Többszörös hiba esetén a gyűrű darabokra szakadhat és félrekapcsolás is előfordulhat.

A félrekapcsolás során, a többszörös szakadás (hiba) miatt összekeveredő azonosítók érvénytelen adatai miatt a gyűrű csomópontja nem ismeri fel, hogy a kapott információ más, mint amit a hálózat várna, így a multiplexálás és a kapcsolás során a csomópont téves végződésre csatolja az igényeket.

Kétirányú szakaszvédett gyűrű két szálon megvalósítva (BSHR2/MSSP)

A BSHR2/MSSP megoldás (6.11. ábra) két szálat igényel, irányonként egyet-egyét.



6.11. ábra Kétirányú szakaszvédett gyűrű két szálon megvalósítva

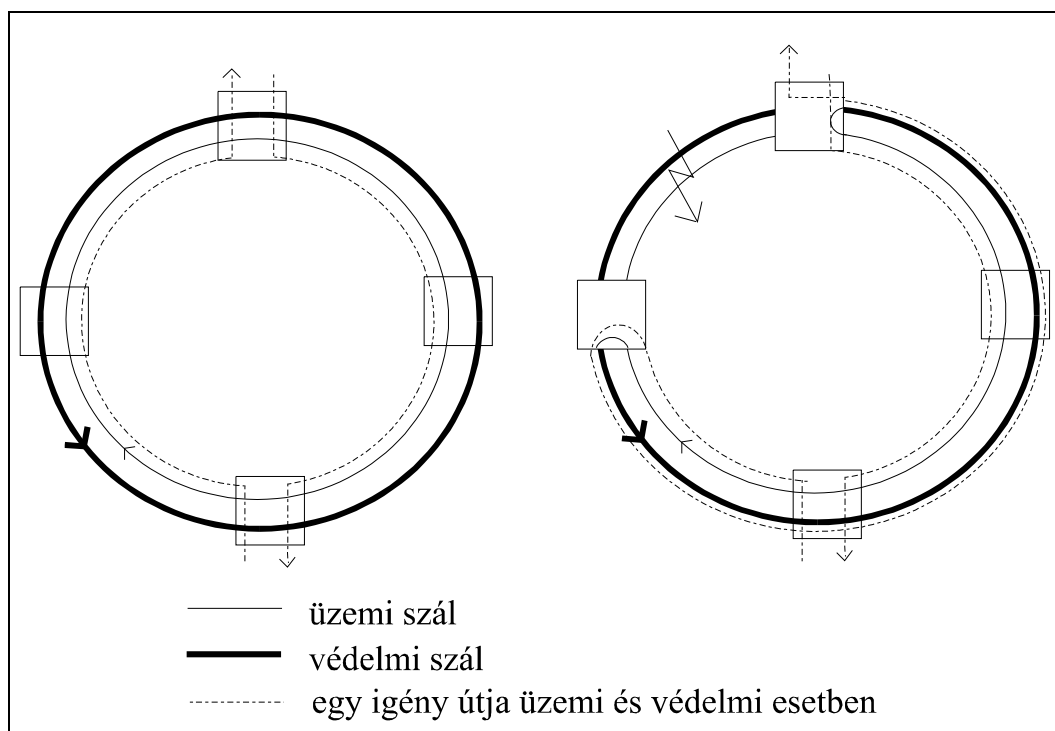
A védelmi kapacitást — a BSHR4/MSSP-től eltérően — nem külön védelmi gyűrűben, hanem az üzemi gyűrű elkülönített részében valósítja meg, azaz a gyűrű kapacitásának a fele a védelem számára van fenntartva. (A

BSHR2/PP-hez hasonló kapacitás megosztással.) Tehát az általános modell azonos irányú csatornái vannak egy szálon megvalósítva.

Védelmi mechanizmusa hasonló a BSHR4/MSSP-hez, de a külön védelmi gyűrű hiánya miatt itt a védelem természetesen csak egyféleképpen képzelhető el, azaz a hosszabb úton megvalósítva a gyűrű ellenkező irányú védőkapacitásában.

Egyirányú szakaszvédett gyűrű (USHR/MSDP)

Az USHR/MSDP architektúra (6.12 ábra) megvalósításához is két szál kell. Ebben az esetben az általános modell oly módon szűkül, hogy összesen csak két egyirányú csatornát lehet értelmezni, egy üzemit és egy védelmit. Ezek kerülnek külön szálon megvalósításra.



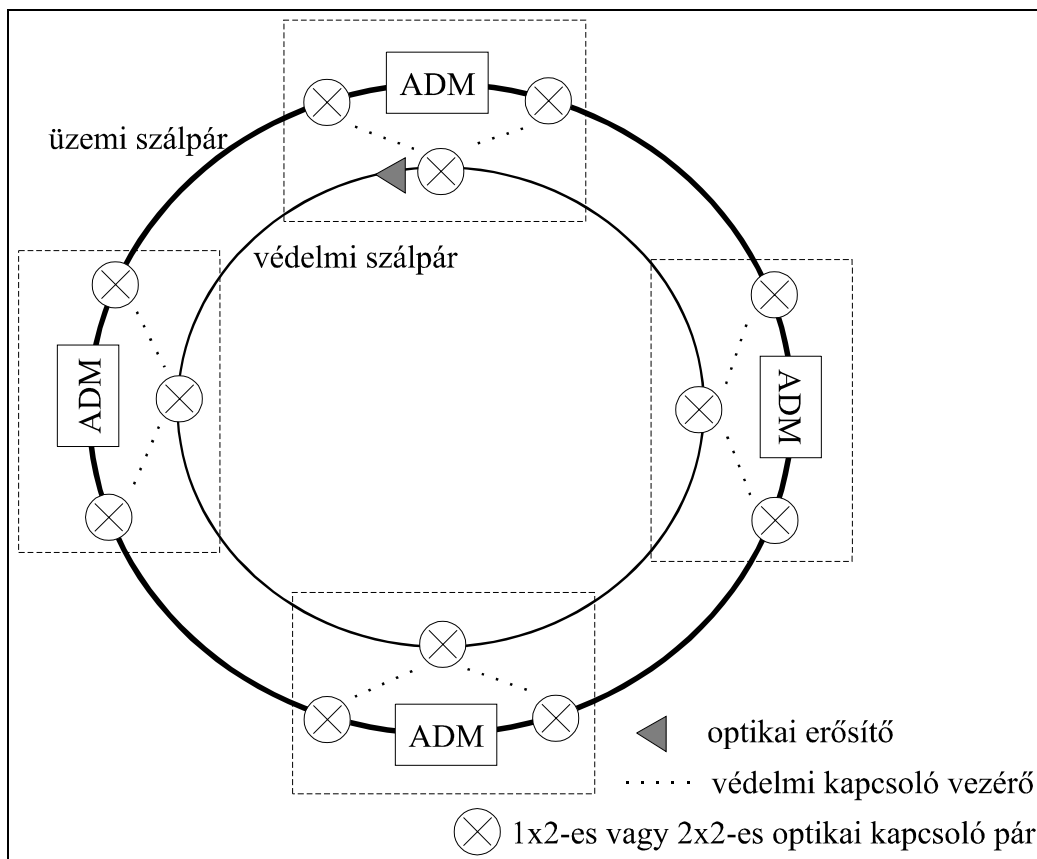
6.12. ábra *Egyirányú szakaszvédett gyűrű*

Az üzemit és a védelmi gyűrűben az igények csak egy-egy irányban haladhatnak. Egyik gyűrűben sem lehetséges a sáv szélesség újrafelhasználása az egyirányú gyűrű jellegéből adódóan. (Egy igény a gyűrűt teljes hosszában lefoglalja.) A védelmi gyűrűben hibamentes esetben kis prioritású extra igény szállítható. Az üzemit gyűrű meghibásodása esetén a csomópontok közötti belső kommunikációs csatornán minden csomópont értesül a gyűrű új állapotáról, és a szakadás szomszédos csomópontjai az igényeket a hibás üzemit szakasz helyett a védelmi gyűrűn, a gyűrű meghibásodott részével ellentétes gyűrűívben vezetik el a meghibásodott üzemit szakasz másik végére, ahol ismét visszakerülnek az üzemit gyűrűbe. Az extra igények ebben az esetben is eldobásra kerülnek. A védelmi gyűrű hibájának esetén nem történik védelmi kapcsolás.

Passzív védelmű gyűrű négy szálon megvalósítva (BSHR4/PPR)

A BSHR4 gyűrű az egyik legtöbb lehetőséggel rendelkező gyűrűtípus. (Ezek pl. a nagy kapacitás, extra igények szállítása, sávzélesség újrafelhasználás, két féle védelmi kapcsolás.) Hátránya, hogy megvalósítása igen költséges. A költségét jelentősen csökkenti ha az eddigiektől eltérő, passzív védelemmel látjuk el.

A BSHR4/PPR két részből áll. Egy két szálon megvalósított kétirányú üzemi gyűrűből, és egy két szálon megvalósított főként passzív elemeket tartalmazó kétirányú védelmi gyűrűből. ADM-ek, csak az üzemi gyűrűben találhatóak. (6.13 ábra)



6.13 ábra *Passzív védelmű, négy szálon megvalósított kétirányú gyűrű*

A gyűrű védelmét csupán optikai kapcsolók és — nagy távolságok esetén —erősítők látják el. A kapcsolókat az üzemi gyűrű ADM-jei vezérik. Az ADM-ek az üzemi gyűrű belső kommunikációs csatornáján keresztül értesülnek a gyűrű állapotáról. Szakadás vagy csomópont kiesés esetén a kapcsolók az üzemi gyűrűben szállított igényeket a védelmi gyűrűre irányítják át a hibás szakasz kikerülésére. A hiba helyreállítása után az igényeket a védelem visszakapcsolja az üzemi gyűrűre.

Előnye, hogy mivel a gyűrű kapacitását meghatározó elektronikus berendezés csak az üzemi gyűrűben található, a védelmi gyűrű független a szállított igények méretétől, így egy bővítés esetén csak az üzemi gyűrűt kell a megnövekedett igények méretének megfelelően fejleszteni. Alkalmazási területe a BSHR4 és BSHR2 gyűrűével egyező, de kedvezőbb megvalósítási költséggel rendelkezik.

A védelmi gyűrűkben nem védett igény nem szállítható. Ehhez ugyanis aktív elem kellene a védelmi gyűrűben is, de pont ezen ADM-ek hiányával tudja ez a megoldás a megvalósítás költségét csökkenteni.

6.2.2 Klasszikus SDH öngyógyító gyűrűk összehasonlító értékelése

A szövevényes hálózatok és védelmi alapszempontok mellett az előzőekben ismertetett védelmeket alkalmazó gyűrűk is igen fontos architektúrái a védett átviteli hálózatoknak.

A gyűrűk — mint ez az eddigiekből is már kiderült —, az SDH hálózatok jól használható, hatékony architektúrái közé tartoznak. Az átvitel szempontjából két alapvető gyűrűtípust különböztethetünk meg, az egyirányú és a kétirányú gyűrűt. Az egyirányú gyűrűben az igények csak az egyik irányba (pl. az óramutató járásával egyezően) kerülhetnek elvezetésre, a kétirányú gyűrűben az igények mindkét irányba elvezethetők.

Elvezetés szempontjából értelmezhetünk még osztott és osztatlan elvezetésű gyűrűket, aszerint, hogy az egyes igények csak egyben, vagy valamilyen arányban megosztva is elvezethetők-e.

A védett gyűrűk minden esetben két optikai szálon valósíthatók meg. Egy ilyen gyűrűn az üzemi átvitel két irányba halad egyszerre, (egyik szálon az egyik irányba, míg másik szálon a másik irányba).

Egy általános modell szerint különböző csatornák értelmezhetők egy védett gyűrűn, az elvezetési és védelmi módoktól függően. Maximum négy csatorna értelmezhető, az üzemi és a védelmi elvezetés egyes irányainak megfelelően egy-egy. Az egyes gyűrűk ezeket a csatornákat más-más módon kezelik és valósítják meg. (Egy kétirányú négyszálas gyűrűn például minden csatorna külön üvegszálon kerül megvalósításra.)

A következőkben a hat leginkább elterjedt és alaptípusnak is nevezhető gyűrűfajta összehasonlítása következik, melyből lényeges jellemzőik is jól kitűnnek. Ezen klasszikus SDH gyűrűk részletes ismertetései az irodalomban megtalálhatók. Az összehasonlított gyűrűk a következők: Egyirányú útvédett (USHR/PP — *Unidirectional Self-Healing Ring with Path Protection*), kétirányú útvédett két szálas (BSHR2/PP — *Bidirectional Self-Healing Ring with Path Protection on two fibre*), kétirányú szakaszvédett négy szálas (BSHR4/MSSP — *Bidirectional SHR with Multiplex Section Shared Protection on four fibre*), kétirányú szakaszvédett kétszálas (BSHR2/MSSP — *Bidirectional SHR with Multiplex Section Shared Protection on two fibre*), egyirányú szakaszvédett (USHR/MSDP — *Unidirectional SHR-with Multiplex Section Dedicated Protection*) és kétirányú négy szálas passzív védelmű (BSHR4/PPR — *Passive Protected Bidirectional SHR on four fibre*) gyűrű.

6.2.1 Kapacitás szempontjából

Az egyes gyűrűket a kapacitásigény és a védelem bonyolultsága szempontjából vizsgálva a következők állapíthatók meg: Az USHR/PP és a BSHR2/PP kapacitása az igények összegével megegyező és az egyirányú gyűrű esetén a védelmi gyűrű kapacitása az üzemi gyűrűével azonos. Az USHR/MSDP esetén is azonos a védelmi és az üzemi gyűrű kapacitása, és ez a kapacitás az igények 100%-ának védelme mellett az USHR/PP kapacitásával azonos, tehát ebből a szempontból a két gyűrű azonosnak

tekinthető. A BSHR4 kapacitása duplája a BSHR2 által biztosított kapacitásnak, de a megvalósítás költsége kisebb, mint két BSHR2 költsége. Mivel a két kétirányú gyűrű jellemzői alapvetően azonosak de a kétszálás megvalósítás kevesebb eszközt és költséget igényel, így kisebb kapacitásigény esetén a BSHR2, nagyobb kapacitásigény esetén a BSHR4 érdemesebb a megvalósításra, ha a feltételek alapján a BSHR gyűrű az optimális megoldás. A BSHR4/PPR kapacitását csak az üzemi gyűrű határozza meg. Kapacitása a BSHR4/MSSP-vel egyező, de megvalósítási költsége lényegesen.

6.2.2 A védelem összetettsége alapján

Védelmi mechanizmus bonyolultsága szempontjából az útvédett gyűrűk a legelőnyösebbek, ezek rendelkeznek ugyanis a legegyszerűbb védelmi kapcsolással, mely a vételi oldal lokális döntésein alapul. A védelem az üzenet fejlécét ellenőrizve dönt a vett jel helyességéről. A többi gyűrű esetén mindig bonyolultabb, csomópontok közötti belső kommunikáció szükséges, hogy a bonyolultabb védelmi kapcsoláshoz szükséges információ minden csomópontban rendelkezésre állhasson. Az automatikus védelmi kapcsolást az 1+1-es egyirányú gyűrű kivételével az APS (automatic protection switching) protokoll biztosítja. A protokoll az átviteli egységek fejlécében található védelmi vezérlőbyte-ok alapján működik. (Ezek az STM-N modulok POH — *Path Overhead* — fejlécének MSOH — *Multiplex Section Overhead* — alrészének K1 és K2 bytejai.)

6.2.3 Prioritás kezelés szempontjából

Egy architektúra lényeges jellemzője, hogy az alapvető üzemi átvitel mellett képes-e továbbítani kis prioritású, extra igényeket is. Erre az USHR/PP és a BSHR2/PP valamint a BSHR4/PPR nem, de a másik három klasszikus SDH gyűrű képes. Ennek oka a védelmi és az üzemi kapacitás egymáshozrendelésének formája. (Az 1+1-es egymáshozrendelés minden esetben az üzemi igényrel terheli a védelmi kapacitást is. Ettől eltérően az M:N-es egymáshozrendelés csak meghibásodás esetén terheli a védett igényrel a védelem számára fenntartott kapacitást.)

6.2.4 Sáv szélesség kezelés

A sáv szélesség újrafelhasználásával csökkenthető az üzemi gyűrű kapacitása. Ezt a lehetőséget csak a kétirányú szakaszvédett és a passzív védelemmel rendelkező gyűrűk biztosítják a fenti hat gyűrűfajtából. A többi gyűrű esetén minden igény (elvezetési illetve védelmi okokból) az egész gyűrűt terheli.

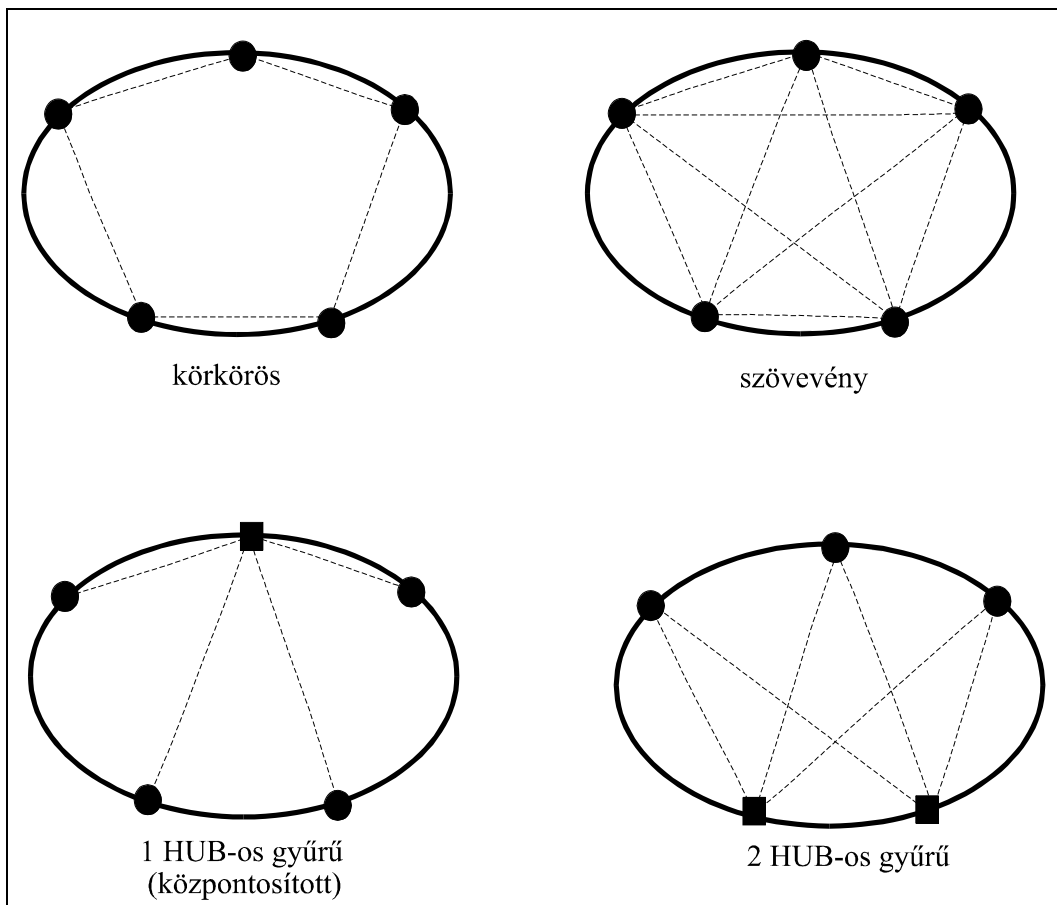
6.2.5 Nyalábolás

A védett és nem védett igények vegyes nyalábolása és szállítása csak az útvédett gyűrűk esetén lehetséges. A szakaszvédett gyűrűk esetén a védelem az egész szakaszra vonatkozik, függetlenül annak tartalmától, így vegyes szállítás esetén egy szakadás alkalmával a nem védett igényeket a

védettekkel együtt a szakasz védelmi útjára vezetnék ezzel védve a nem védett igényeket is. A passzív védelem ebből a szempontból a szakaszvédelemmel egyezik meg.

6.2.6 Függőség az igényeloszlástól

A hálózaton elvezetendő igények "mintázata" (eloszlása) is befolyásolja a szükséges kapacitást, mert az eltérő tulajdonságú gyűrűk másként tudják kezelni az egyes igénymintákat. (A 6.14 ábrán tipikus igényminták láthatók.) Az egyirányú gyűrűk alkalmazása központosított igényeloszlás (minden csomópont egy csomóponttal kommunikál) esetén előnyös, mert ezt a kétirányú gyűrűkkel azonos hatékonysággal tudják kezelni, de egyszerűbb működés és optimálisabb megvalósítási költségek mellett. A kétirányú gyűrűk viszont a szövevényes igényeket (mindegyik csomópont mindegyikkel kommunikál) jelentős kapacitás csökkenéssel tudják kezelni az egyirányú gyűrűkhöz képest.



6.14 ábra Tipikus igényeloszlások gyűrűkben

Kétirányú gyűrűknél esetenként az egyirányú gyűrű kapacitásának akár az ötöde is elég lehet azonos igények elvezetésére. Az egyes gyűrűk jellemzői szemléletesen a 6.15. táblázatban láthatók.

6.2.7 Gyakorlati alkalmazás

A jellemző igényminták egyben a preferált alkalmazási területeket is meghatározzák. A centralizált igényeloszlás a távközlés primer körzeteiben és az előfizetői hálózatokban jellemző, így ezeken a helyeken az egyirányú ill. a kétirányú útvédett gyűrűk használata lehet hatékony. A szövevényes igényeloszlás a központok közötti átvitelre jellemző, így ezeken a helyeken inkább a kétirányú szakaszvédett gyűrűk felhasználása jellemző. A fenti megállapítások a SONET hierarchián alapuló hálózatokban (USA) tisztábban érvényesülnek, ugyanakkor berendezés konfigurációs okokból a központok közötti hálózatokban Európában a kétirányú útvédett gyűrűk alkalmazása jellemzőbb (VC12-es szintű hozzáféréssel).

	optikai szál szám	védelem típusa	védett/nem véd. VCn vegyesen	védelmi kapcso- lás	kedvező igény- minta	tart. kapac. extra átvitelre	sávszéless ég újrafelh.
USHR/PP	2	útv.	lehet	egyszer ű	centralizál t	nem lehet	nem lehet
USHR/MSD P	2	szakasz v.	nem lehet	összetet t	centralizál t	lehet	nem lehet
BSHR2/PP	2	útv.	lehet	egyszer ű	centralizál t	nem lehet	nem lehet
BSHR2/MSS P	2	szakasz v.	nem lehet	összetet t	szövevén y	lehet	lehet
BSHR4/MSS P	4	szakasz v.	nem lehet	összetet t	szövevén y	lehet	lehet
BSHR4/PPR	4	passzív	nem lehet	összetet t	szövevén y	nem lehet	lehet

6.15. táblázat Klasszikus SDH gyűrűk főbb jellemzői

A széles körű alkalmazhatóság alapja a megfelelő szabványok megléte. Az ANSI T1X1.5 ajánlascsoport az amerikai SONET, az ITU-T (formálisan CCITT) SDH ajánlásai, a G.707 - G.709, G.781 - G.784, G.774, G.803, G.831, G.957, és a G.958, pedig az európai SDH hálózatok témakörében adnak eligazítást. Az útvédett gyűrűk az útvédelmi protokoll szabványosításával szabályozottak (ETSI DE/TM-03042), a szakaszvédett gyűrűk esetén is léteznek szabványok, de az extra igények átvitelének kérdésére még folyamatban van a szabvány készítése.

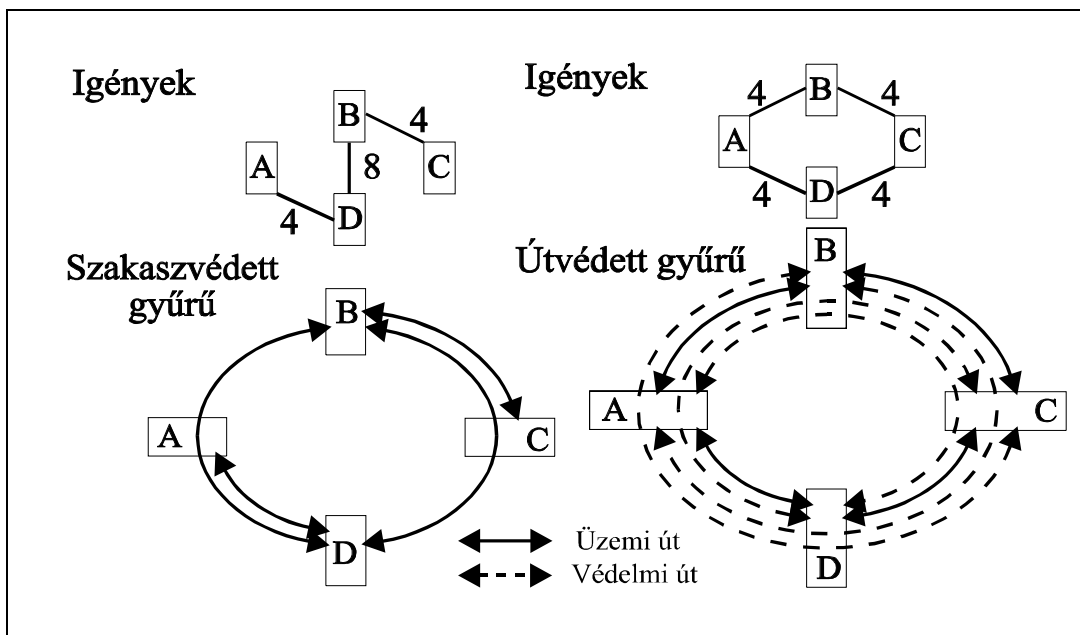
6.2.8 Korlátok

Ezeknek a gyűrűknek közös korlátja a klasszikus technológiából adódó maximalizált kapacitás. Egyrészt maga a gyűrű meghatározott kapacitást tud csak kiszolgálni (ez ma 2.4 ~ 10 Gbit/s), másrészt a kétszálás gyűrűk védelmi megoldásaiból adódóan az ADM-ek kapacitás kihasználtsága korlátozott. Erre mutat példát a 6.16 ábra szakasz és útvédett esetben.

A 6.7. ábrán a kétféle védelem mellett olyan igényeket kell továbbítani, melyek nagysága nem indokolná a gyűrű telítődését általános igényminta esetén, de a bemutatott igényminta mellett az igények védett elvezetése a gyűrű teljes kapacitását kihasználja (szakaszvédett esetben fele-fele, útvédett esetben negyed-háromnegyed arányban). Ezzel a gyűrűben alkalmazott ADM-ek kihasználtsága meglehetősen rossz hatékonyságú, és ez nem is javítható a bemutatott példában, mert a gyűrű telítődése miatt újabb igényeknek új gyűrűt kellene nyitni, melyekhez ezek az ADM-ek nem férnének hozzá. (A példában a gyűrű STM-16-os gyűrű, mely 16 db. STM-1 igényt tud szállítani. A példa igényei STM-1 egységben kerültek megadásra.)

A klasszikus technológiával megvalósított SDH gyűrűk esetén rendelkezésre álló kapacitás már a közeljövőben kevésnek bizonyulhat a szélesávú igények elterjedésével, ugyanis ezek méretének figyelembe vételével (~500 Mbit/s) a hálózat egyidejűleg csak korlátozott számú igényt képes kiszolgálni. Ez a korlát a különböző kódolási és tömörítési eljárások alkalmazása mellett is — bár kitolódik —, de megmarad.

Nehézséget jelent továbbá a csomópont sorrend rugalmatlansága (a fizikai összeköttetés ezt egyértelműen meghatározza), és hogy a már meglévő gyűrűk csak nagy költséggel és nehezen bővíthetők a növekvő igényeknek megfelelően. A bővítés során a gyűrű minden csomópontjában le kell cserélni a berendezéseket, ami igen költséges eljárás.



6.16. ábra Gyűrűtelítődés miatt korlátozott ADM kihasználtság PP és MSSP gyűrű esetén

6.3 Szövevényes hálózatok védelmének áttekintése

A szövevényes hálózati struktúra tipikus architektúrája az átviteli hálózatok egy részének. Az alfejezetben e hálózati architektúra védelmi megoldásainak rövid összefoglalója következik.

A szövevényes hálózatok védelmét és a hálózat rugalmasságát több eltérő szempont szerint is megközelíthetjük. A hálózatokban lehetséges a felhasznált fizikai eszközök védelme, de védhetők a hálózat által biztosított logikai utak és szakaszok is. Más megközelítés szerint védhetők a hálózat egyes részei, de védhetők maguk a hálózaton továbbított igények.

Szövevényes hálózatoknál gondot okozhat, hogy egy csomópont által detektált hiba a küldő csomópont kiesése miatt, vagy az összekötő szakasz meghibásodása miatt keletkezett. Ezért szövevényes hálózat esetén, ha a hálózat egyik csomópontja egy másik csomópont kiesését feltételezi, az azt körülvevő csomópontoktól kér információt a kérdéses csomópont állapotáról. Ezzel a módszerrel viszonylag nagy biztonsággal megállapítható, hogy a csomópont vagy csak az összekötő szakasz hibásodott meg. Ebből a szempontból kritikus a hálózathoz csak egy élen csatlakozó csomópontok helyzete. A hálózat tervezés során érdemes törekedni arra, hogy ilyen kritikus hálózati struktúra ne alakulhasson ki. Ez a védelmi megoldás hatékonysága érdekében is fontos lehet.

A védelem hatékonyságát növelheti, ha összetett vegyes védelmi megoldásokat alkalmaznak a hálózatban. Például a hiba detektálása után, első lépésként a gyors, előre tervezett szakasz helyreállítást végzik el, majd a dinamikus út újra elrendezés elkészítése után — ami lassabb de hatékonyabb a kapacitás kihasználtság szempontjából —, az út helyreállítást alkalmazzák a hiba megszűntéig. Az ehhez hasonló összetett védelmi megoldások igen hatékonyak lehetnek.

6.4 Hierarchikus stuktúrált SDH alkalmazható védelmi stratégiák áttekintése

A hierarchikus hálózatok a bonyolultabb, nagy kiterjedésű vagy nagy kapacitású hálózatok esetén alkalmazhatók. Ekkor a hálózat csomópontjait csoportokra bontva, egy-egy csoport alkotja a hálózat egy-egy alstruktúráját, és ezek az alstruktúrák kapcsolódnak egymáshoz az úgynevezett HUB-okon keresztül. Ezek a csomópontok több alstruktúra elemei egyszerre, így az alstruktúrák közötti igények rajtuk keresztül továbbíthatók a hálózaton. Az egyes alhálózatok logikai szintekre helyezhetők, így beszélhetünk két, három stb. szintű hálózatokról, ahol az egyes szinteknek több alhálózata is lehet.

Hierarchikus hálózatokban is szükség lehet az igények védelmére. Ez több módon történhet. A védelem alapvető megoldása a *Dual Homing* alhálózati kapcsolódási forma. Ez azt jelenti, hogy egy alhálózat két csomóponton (két HUB-on) keresztül is kapcsolódik a nála egy logikai szinttel feljebb levő hálózathoz. Ennek oka, hogy egy HUB kiesése, egyszeres HUB használat esetén az adott alstruktúrát teljesen levágja a hálózatról. Dual Homing esetén ehhez már mindkét HUB-nak működésképtelennek kell lennie.

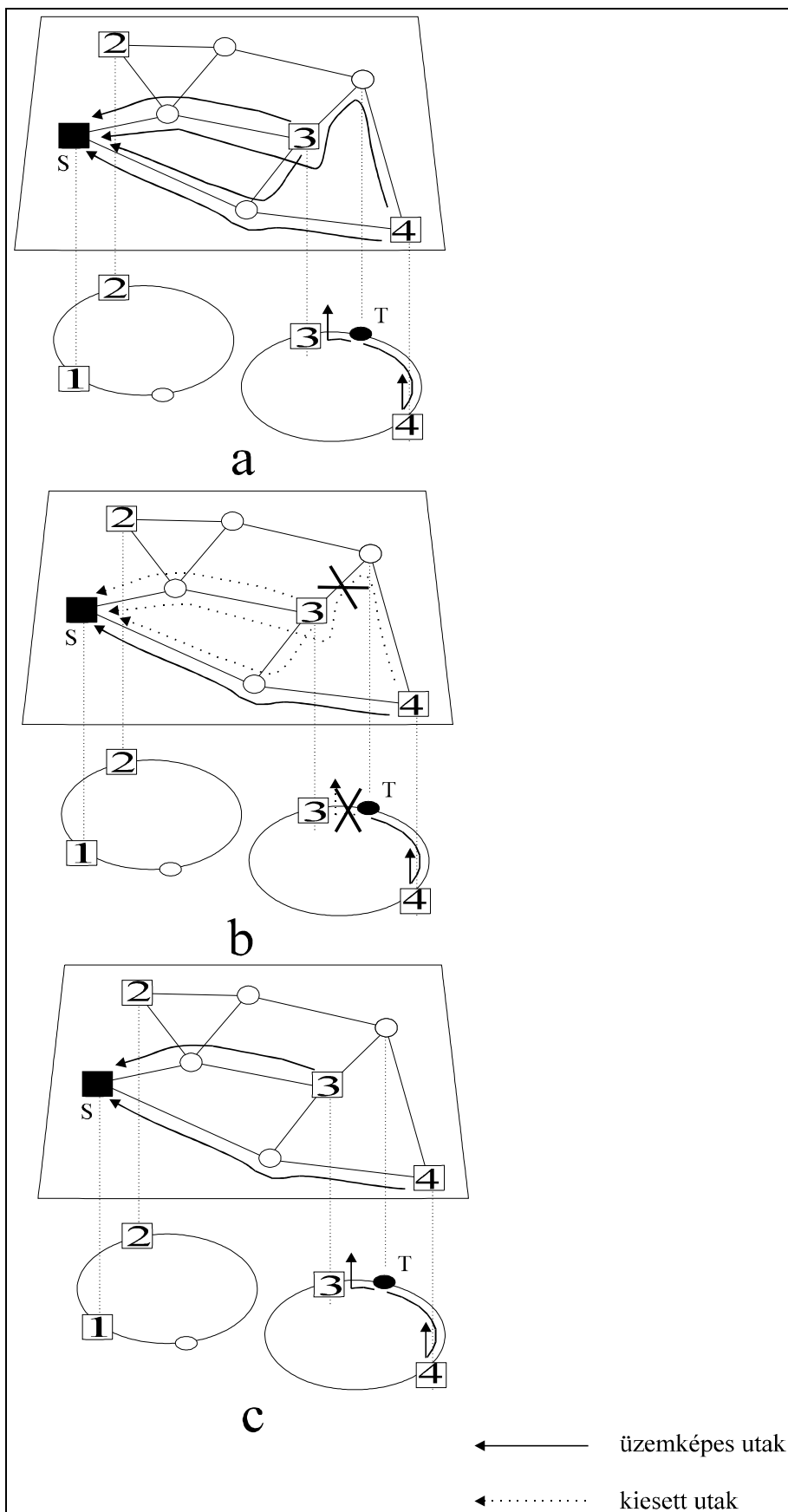
Az igények védhetők osztott elvezetéssel a hierarchikus hálózatban, ami — mint ezt ennek a védelmi megoldásnak a részletezésénél már megindokoltam —, nem számít 100%-os védelemnek, de kisebb prioritású igények esetén plusz védelmi kapacitások beépítése nélkül is alacsony szintű védelmet nyújt az igényeknek. Az osztott elvezetésű védelem alkalmazása

esetén, a hálózatnak meg kell felelnie annak a topológiai követelménynek, hogy a logikai hálózaton független utak, a fizikai struktúrán is független elvezetésű utak legyenek, — az egész hálózatot egységesen nézve.

Az igényekre értelmezhetjük az alstruktúránkénti védelmet. Ebben az esetben az igény minden esetben olyan módon védett, amilyen védelmet az adott alstruktúrára definiáltunk a hálózat tervezésekor. Tehát lehet hogy az igény a hálózat 1. alstruktúráján útvédett, a 2. alstruktúráján szakaszvédett. Esetleg a CP-k között alhálózati védelemmel (SNCP) rendelkezik. Az alstruktúránkénti védelem kritikus pontja, hogy a megoldás igen érzékeny a HUB kiesésre. Ez *dual homing* alhálózat kapcsolódási megoldással és egyéb kapacitás ill. hozzáférési feltételek biztosításával kiküszöbölhető, viszont ezekben az esetekben már érdemes megfontolni, hogy más védelmek alkalmazása nem hatékonyabb és így előnyösebb-e.

Az igények a hierarchikus hálózatokban nem csak az alhálózatok védelmén keresztül védhetők, de definiálhatunk a hálózat egészén is 1+1 formában védett igényt. Ez a megoldás az igény kezdőpontjától a végpontjáig védi az igényt a hálózatban, két teljesen független utat biztosítva az elvezetésére. (A megosztott elvezetéssel ellentétben az igény mindkét úton teljes egészében elvezetésre kerül.) Ez a védelmi megoldás — mely a 6.17 ábrán látható —, 100%-os védelmet nyújt a védett igényekre.

A fejezet áttekintette a különböző védelmi alapmegoldásokat, majd ezek tipikus SDH hálózati alkalmazási területeit.



6.17. ábra 1+1-es hálózati védelem

7 RÖVIDÍTÉSEK

A szakmai terminológiában a rövidítések nagyrészt angol kifejezésekből erednek, így úgy láttam helyesnek, ha magyarázatuknál az eredeti angol, — és ahol ez lehetséges —, a magyar jelentést is megadom.

ADM	Add Dropp Multiplexer — Be/ki csatoló multiplexer
APS	Automatic Protection Switching — Automatikus védelmi kapcsolás
ATM	Asynchronous Transfer Mode — Aszinkron átviteli mód
AU	Administrative Unit — Adminisztratív egység
AUG	Administrative Unit Group — Adminisztratív egység csoport
BER	Bit Error Ratio — Bithiba arány
BSHR	Bidirectional SHR — Kétirányú SHR
BSHR2	BSHR on two optical fibre — Két szálon megvalósított BSHR
BSHR4	BSHR on four optical fibre — Négy szálon megvalósított BSHR
C	Container — Konténer
CP	Connection Point — Kapcsolódási pont
DXC	Digital Cross Connect — Digitális rendező
E	Emitter — Adó
EPS	Electrical Protection Switch/Switching — Elektronikai védelmi kapcsoló/kapcsolás
LDXC	Local Digital Cross Connect — Helyi kapcsoló mező /Elektromos rendező/
LOF	Loss of Frame — Keret-vesztés
LOP	Loss of Pointer — Pointer-vesztés
LOS	Loss of Signal — Jel-vesztés
MSP	Multiplex Section Protection — Multiplex szakaszvédelem
MSDP	Multiplex Section Dedicated Protection — Multiplex dedikált szakaszvédelem
MSOH	Multiplex Section Overhead — Multiplex szakasz fejléc
MSSP	Multiplex Section Shared Protection — Multiplex osztott szakaszvédelem
OADM	Optical Add Dropp Multiplexer — Optikai ADM
OIF	Optical Interface — Optikai interfész
PCM	Pulse Code Modulation
PDH	Pleisochronous Digital Hierarchy — Kvázi-szinkron digitális hierarchia
POH	Path Overhead — STM-N keret útjának fejléce
PP	Path Protection — Útvédelem
PPR	Passive Protected Ring — Passzív védelmű gyűrű
PS	Protection Switch/Switching — Védelmi kapcsoló/kapcsolás
R	Receiver — Vevő
RSOH	Regenerator Section Overhead — Regenerátor szakasz fejléc
S	Sender — Adó
SDH	Synchronous Digital Hierarchy — Szinkron digitális hierarchia
SHN	Self-Healing Networks — Öngyógyító hálózat
SHR	Self-Healing Ring — Öngyógyító gyűrű struktúra

SNCP	Subnetwork Connection Protection — Alhálózati védelem
SNCP/I	SNCP with Inherent Monitoring —
SNCP/N	SNCP with Non-intrusive Monitoring —
SNCP/SL	SNCP with Sub-layer Monitoring —
SONET	Synchronous Optical Network — Szinkron optikai hálózat
STM	Synchronous Transport Module — Szinkron átviteli egység
TDM	Time Division Multiplexing/Multiplexer — Időosztásos multiplexálás/multiplexer
TM	Terminal Multiplexer — Végmultiplexer
TRIB	Tributaries — Kimeneti végződések
TU	Tributary Unit — Összetevő egység
TUG	Tributary Unit Group — Összetevő egység csoport
USHR	Unidirectional SHR — Egyirányú SHR
USHR2	USHR on two optical fiber — Két szálon megvalósított USHR
VC	Virtual Container — Virtuális konténer