

# Úvod do SDH

Ing. Jiří Vodrážka, Ph.D.  
Katedra telekomunikační techniky  
ČVUT-FEL

## SDH přenosová technologie

- navazuje na americký systém SONET
- celosvětově standardizovaná ITU-T
- přenosu prostřednictvím optických vláken
- navržena s ohledem na příspěvkové signály PDH i budoucí rozvoj technologií (dnes ATM, IP)
- Nástroje pro monitorování kvality a zajištění spolehlivého přenosu s metodou ochrany (Protection) - zálohování
- podpora pro centralizovaný management sítě a distribuci taktovacího signálu

## Aplikace

- Páteřní a přístupové optické sítě
- Vysokokapacitní radioreléové spoje
- Telefonní, datový provoz
- Pevné okruhy s vysokou spolehlivostí (E1, E3)
- Linková rozhraní páteřních ATM přepínačů a IP směrovačů
- Přenosové rychlosti od 52 Mbit/s do 10 Gbit/s
- Ethernet 10 Gbit/s ... převzata struktura STM

4

## Vlastnosti

- Bajtové řízené prokládání
- Synchronní sdružování – délky rámců vždy 125  $\mu$ s
- Rámce v podobě devítirádkové matice
- Vyrovnávání přenosových rychlostí metodou kombinovaného stuffingu s podporou ukazatele
- Přenos pomocí virtuálních kontejnerů VC a jejich kombinací
- Pružné vydělování příspěvkových signálů pomocí digitálních rozvaděčů (cross-connect)

5

## SONET

- Synchronous Optical Network (USA)
- Vychází z americké PDH (DS1 1,5 Mbit/s, DS3 44 Mbit/s)
- Shodné principy multiplexování jako SDH, odlišná terminologie
  - STS – Synchronous Transport Signal
  - OC – Optical Carrier
  - VT – Virtual Tributary
- Podle upraveného doporučení G.783 – odstraněny odchylky – kompatibilita s SDH

6

## SDH a SONET

SONET		SDH	Mbit/s
STS-1	OC-1	STM-0	51.84
STS-3	OC-3	STM-1	155.52
STS-12	OC-12	STM-4	622.08
STS-48	OC-48	STM-16	2488.32
STS-192	OC-192	STM-64	9953.28
STS-768	OC-768	STM-256	39045.12

7

## Multiplexní jednotky SDH

- Mapování příspěvkového signálu do kontejneru C
- Přidání záhlaví cesty POH (Path OverHead) – virtuální kontejner VC
- Přidání ukazatele PTR (Pointer) – příspěvková jednotka TU (Tributary Unit)
- Sdružování do skupin TUG
- Uložení do VC vyššího řádu + PTR
- Vytvoření administrativní jednotky AU, AUG
- Přidání záhlaví sekce SOH (Section OverHead) – STM

## STM-1 kapacitní možnosti

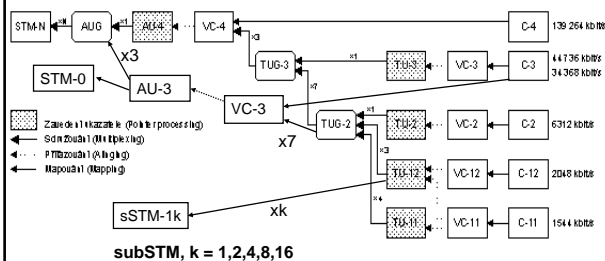
Virtual Container		PDH signal
1x VC-4		1x E4
3x VC-3		3x E3
2x VC-3	21x VC-12	2x E3 + 21x E1
1x VC-3	42x VC-12	1x E3 + 42x E1
	63x VC-12	63x E1

- Kapacita STM-N = N x STM-1
- Vysokorychlostní příspěvkový signál – multi-kontejner VC-4-Nc ... **zřetězení** (concatenation) N x VC-4

10

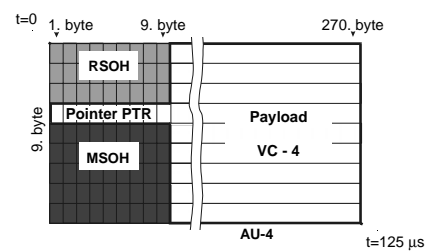
## Multiplexování (ETSI)

Multiplexní schéma SDH pro Evropu



11

## STM-1 rámcová struktura



RSOH – Regenerator Section OverHead  
MSOH – Multiplex Section OverHead

12

## Struktura multiplexních jednotek

- Matice 9 řádků x M sloupců
- Vysílá se v sériovém tvaru bit po bitu po řádcích zleva doprava
- Přenosová rychlost:

$$v_p = N_B \cdot N_{kd} \cdot F_v = N_B \cdot 8 \cdot 8 = 9 \cdot M \cdot 64 \quad [\text{kbit/s}]$$

kde  $N_B$  počet bajtů rámce

$N_{kd} = 8$  - počet bitů jednoho bajtu

$F_v = 8000$  Hz opakovací frekvence rámce (vzorkovací kmitočet)

- Přenosová rychlost signálu STM-1 je potom 155 520 kbit/s
- Přenosová rychlost signálu STM-N je Nx vyšší

13

typ	[byte]	[kbit/s]	může přenášet
<b>virtuální kontejnery</b>			
VC-11	3x9-1	1664	PDH T1
VC-12	4x9-1	2240	PDH E1
VC-2	12x9-1	6848	PDH T2
VC-3	85x9	48960	PDH E3, T3; 7xTUG-2
VC-4	261x9	150336	PDH E4; 3xTUG-3
<b>příspěvkové jednotky</b>			
TU-11	3x9	1728	VC-11
TU-12	4x9	2304	VC-12
TU-2	12x9	6912	VC-2
TU-3	86x9-6	49152	VC-3
<b>skupiny příspěvkových jednotek</b>			
TUG-2	12x9	6912	4xTU-11, 3xTU-12, TU-2
TUG-3	86x9	49536	7xTUG-2, TU-3

14

typ	[byte]	[kbit/s]	může přenášet
<b>administrativní jednotky</b>			
AU-3	87x9+3	50304	VC-3
AU-4	261x9+9	150912	VC-4
AU-4-Nc	NxAU-4	Nx	VC-4-Nc (zřetězení)
<b>skupina administrativních jednotek</b>			
AUG-1	261x9+9	150912	3xAU-3, AU-4
AUG-N	Nx	Nx	NxAUG-1, AU-4-Nc
<b>synchronní transportní moduly</b>			
STM-1	270x9	155520	AUG-1
STM-N	Nx	Nx	AUG-N, N=4,16,64,256

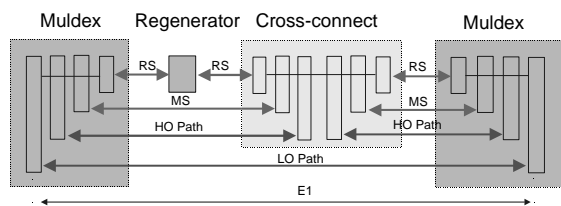
15

## subSTM

- Podpora nízkých přenosových rychlostí v přístupových sítích a radioreléových spojích
- Náhrada PDH 1. až 3. řádu
- Pro Evropu **sSTM-1k** (kxTU-12, k=1,2,4,8,16)
- Redukované záhlaví STM ... 1 sloupec (9 bajtů)
- Přenosová rychlost ... k.2304+9.64 kbit/s
- Druhý řád sSTM-2k

16

## Záhlaví v SDH síti



- **Záhlaví sekcí:** RSOH, MSOH
- **Záhlaví cest:** High Order POH, Low Order POH

17

## Záhlaví STM-1

1.	A1	A1	A1	A2	A2	A2	J0		
2.	B1			E1			F1		
3.	D1			D2			D3		
4.	H1			H2			H3	H3	H3
5.	B2	B2	B2	K1			K2		
6.	D4			D5			D6		
7.	D7			D8			D9		
8.	D10			D11			D12		
9.	S1					MI	E2		
	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.

- RSOH
- PTR
- MSOH

18

## Význam bajtů záhlaví

- A1, A2 - synchronizace rámce souběhu
- B1, B2, B3 - kontrolní bajty chybovosti - metoda BIP
- (C1), C2 - identifikátor zátěže (příp. pořadí AU v STM-N)
- D1 až D3 (D4 až D12) - datový komunikační kanál DCC 192 kbit/s pro RS (576 kbit/s pro MS)
- E1, E2 - služební hovorové kanály
- F1, F2, F3 - uživatelský, údržbový kanál
- J0, J1, J2 - identifikátor přístupového bodu sítě
- K1, K2, K3, K4 - automatické ochranné přepínání APS
- M1 - zpětná hlášení o kvalitě
- S1 - informace o kvalitě synchronizačního signálu

19

## Záhlaví STM-0

1.	A1	A2	J0
2.	B1	E1	F1
3.	D1	D2	D3
4.	H1	H2	H3
5.	B2	K1	K2
6.	D4	D5	D6
7.	D7	D8	D9
8.	D10	D11	D12
9.	S1	M1	E2

- RSOH
- PTR
- MSOH

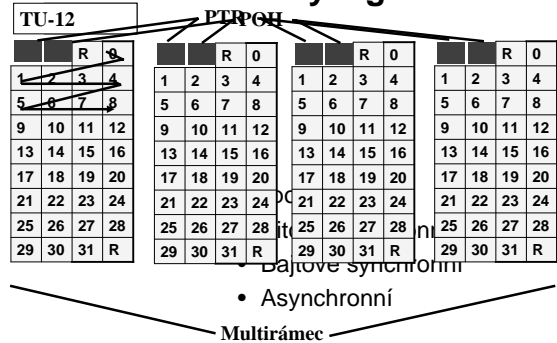
20

## Záhlaví cesty POH VC-3 a 4

- |    |    |   |
|----|----|---|
| 1. | J1 | 1. sloupec VC   |
| 2. | B3 | • J1 - identifikátor přístupového bodu cesty                              |
| 3. | C2 | • C2 - identifikátor zátěže   |
| 4. | G1 | • G1 - zpětná informace o stavu koncového bodu cesty                      |
| 5. | F2 | • H4 - identifikátor rámce  |
| 6. | H4 | • N1 - podpora TTP (Trail Termination Point) – dohled nad segmentem cesty |
| 7. | F3 |   |
| 8. | K3 |   |
| 9. | N1 |   |

21

## E1 tributary signal



22

## Asynchronní mapování

- Kombinovaný stuffing ve čtvrtém C-12 multirámce pomocí posledního bitu v bajtu R a prvního bitu užitečné zátěže
- $S_1$  - bit pro záporný stuffing     $S_2$  - bit pro kladný stuffing
- $C_1$  a  $C_2$ - řídicí bity (1 = provedený stuffing)

multirámec	výplň	výplň	výplň
1. C-12	R	32 x 8 bitů	R
2. C-12	$C_1C_2\dots$	32 x 8 bitů	R
3. C-12	$C_1C_2\dots$	32 x 8 bitů	R
4. C-12	$C_1C_2\dots S_1$	$S_2+7 + 31 \times 8$ bitů	R

23

## POH u VC-12

4 bajty předřazené před každý C-12 multirámce (35 bajtů)

- V5 - služební bajt
  - 2 bity zabezpečení BIP-2
  - 3 bity označení nákladu - způsobu mapování
  - zpětné poplachové signály (ztráta, porucha, chybovost)
- J2 - identifikátor přístupového bodu cesty
- N2 - podpora dohledu nad segmentem cesty TTP
- K4 - ochrana cesty nižšího řádu

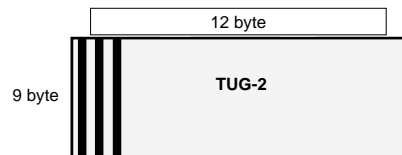
24

## Ukazatel u TU-12

- Mód (fázový vztah mezi VC-12 a VC-4)
  - plovoucí (Floating) - ukazatel TU-12/PTR (povinně pro asynchronní mapování)
  - uzavřený (Locked)
- Ukazatel TU-12/PTR ... 4 bajty předřazené před každý VC-12 multirámce (36 bajtů)
  - V1 – návěští +PTR (jako H1 u AU-4)
  - V2 – PTR (H2)
  - V3 – záporný stuffing (H3)
- Pozice se číslují od druhého VC-12 multirámce (0 až 139)
  - 0=J2, kladný stuffing - 35. bajt

25

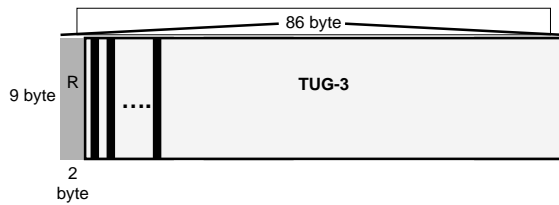
## Multiplexování TU-12



- 1. krok – Tributary Unit Group TUG-2

26

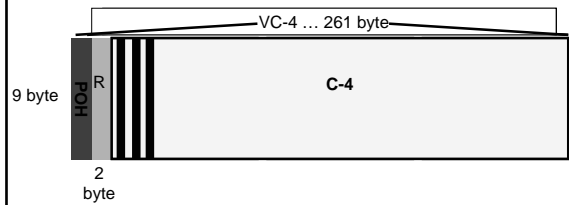
## Multiplexování TU-12



- 2. krok – Tributary Unit Group TUG-3

27

## Mapování TUG-3 do VC-4



- 3. krok – C-4 a VC-4 (do VC vyššího řádu)

28

## Časové polohy TU-12 (TI)

- 9 řád celkem 261 sloupců - naznačeno jen do sloupce 72
- (dále se 3x opakuje periodicky sloupec 10 až 72)

sloupec $S_x$	1	2	4	10	11	12	13	14	...	30	31	32	...	51	52	53	54	...	70	71	72	
pořadí $TI$	P	2		1	2	3	4	5	...	21	22	23	...	42	43	44	45	...	61	62	63	
TUG-3 $M$	H	6	1	2	3	1	2			3	1	2		3	1	2	3			1	2	3
TUG-2 $L$	x	1	1	1	2	2				7	1	1		7	1	1	1			7	7	7
TU-12 $K$	R	1	1	1	1	1				1	2	2		2	3	3	3			3	3	3
vstup $TP$			1	22	43	4	25			61	2	23		62	3	24	45			21	42	63

29

## Přepočít časových poloh

Může se vyskytnout různý způsob číslování:

- Podle pořadí TI v rámci VC-4
- Podle pořadového vstupu MX
- Podle MX schématu poloha TUG-3/TUG-4/TU-12 od 1-1-1 do 3-7-3
- Přepočít
  - Časové polohy (intervalu):  $TI = K + 3(L-1) + 21(M-1)$
  - Vstupu (portu) multiplexoru:  $TP = M + 3(L-1) + 21(K-1)$

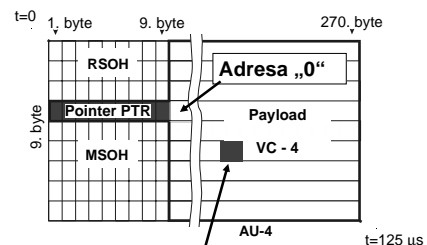
30

## Funkce ukazatele

- vyjádření fázového vztahu mezi multiplexními jednotkami (statická hodnota)
- vyrovnání přenosových rychlostí metodou kombinovaného stuffingu (dynamicky se měnící hodnota)
- 2 úrovně:
  - mezi VC nižšího řádu a příslušnou TU (pro uzavřený mód odpadá)
  - mezi VC vyššího řádu a příslušnou AU

31

## Ukazatel AU-4 / VC-4



VC-4 začíná např. na adrese 180

PTR=180

32

## Struktura ukazatele AU-4 / VC-4



- NDF (New Data Flag) - návěštění nové hodnoty ukazatele 1001 (jinak 0110)
- SS - určení typu příspěvkové jednotky (nevyhodnocuje se)
- ID - hodnota ukazatele v 10 bitech
- Informační pole je adresováno po trojicích bajtů (0 až 782) počínaje pozicí bezprostředně následující za bajty H3

33

## Změna hodnoty ukazatele

- návěštěním zcela nové hodnoty ukazatele - inverzí kombinace NDF z 0110 na 1001 - akceptuje se ihned aktuální hodnota ukazatele
- třikrát se opakující nová hodnota je považována za platnou
- při vyrovnání přenosových rychlostí změnou o jedničku
  - + inkrementací při kladném stuffingu
  - dekrementací při záporném stuffingu

34

## Vyrovnání přenosových rychlostí

3 kroky ve 3 po sobě jdoucích rámcích

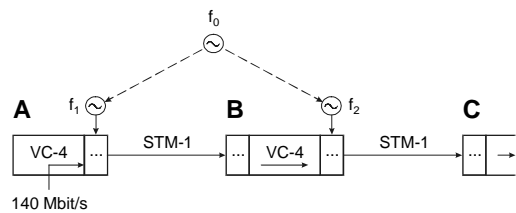
- Původní hodnota ukazatele  $n$
- Návěštění stuffingu
  - inverzí bitů I (inkrementace  $n+1$ ) - kladný stuffing pro VC-4 pomalejší než AU-4 (pomocí trojice bajtů v informačním poli s adresou 0)
  - inverzí bitů D (dekrementace  $n-1$ ) - záporný stuffing pro VC-4 rychlejší než AU-4 (pomocí H3)

- Nová hodnota ukazatele

Vyrovnání probíhá u VC-4 po třibajtových skocích

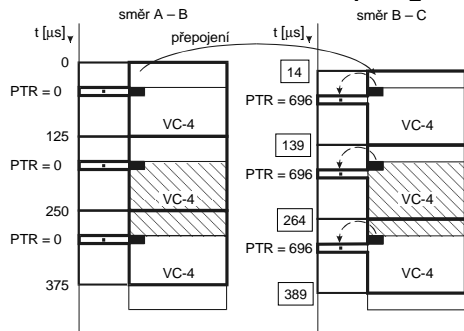
35

## Cesta VC-4 sítí



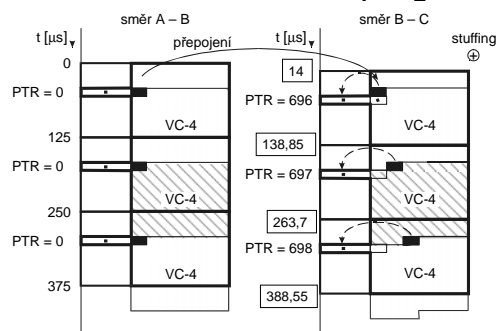
36

## Fázový posuv ( $f_1 = f_2$ )



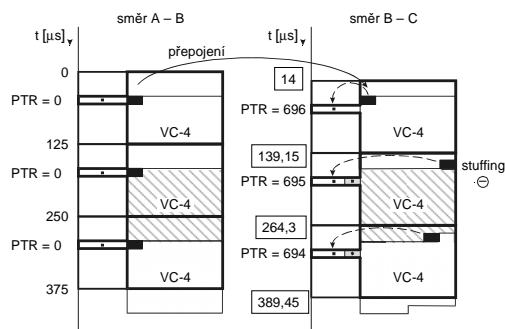
37

## Kladný stuffing ( $f_1 < f_2$ )



38

## Záporný stuffing ( $f_1 > f_2$ )



39

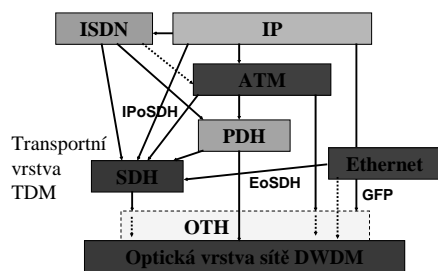
## Přenosové možnosti SDH ve vysokorychlostních datových sítích ATM, IP a Ethernet

- Rozhraními STM-N jsou vybaveny páteřní přepínače ATM a IP směrovače
- Síť SDH musí zajistit transparentní přenos informačního pole souvisle obsazeného buňkami či pakety

49

## Kombinace technologií

- Rozvoj paketového přenosu (IP, Ethernet)



50

## Řetězení VC

- přenos rychlejších signálů než VC-4
- přenos signálů s jinými rychlostmi, než nabízejí typizované kontejnery
- **VC-n-Xc**
  - n řád kontejneru
  - X počet zřetězených kontejnerů
  - c Concatenation (souvislé zřetězení)
- Ukazatel **PTR**
  - odpovídá prvnímu kontejneru zřetězení
  - ostatní obsahují indikátor zřetězení v H1 a H2: 1001xx1111111111

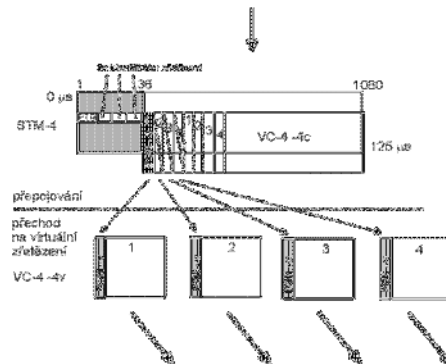
51

## Přepojování zřetězených VC

- U původních muldexů SDH nelze přepojovat zřetězené VC-4-Xc (max. kapacita rozvaděčů je VC-4), kde  $X \leq N$
- Přepojování vyřeší měnič na virtuální zřetězení VC-4-Xv, který vytvoří separátní záhlaví cesty POH každého ze zřetězených kontejnerů
  - Nutné číslování VC – sestavení správného pořadí při rozdílech ve zpoždění při přenosu – max. 256 ms
  - Dvoustupňový multirámec 16x256 VC-4 o délce 512 ms
  - Využití byte H4

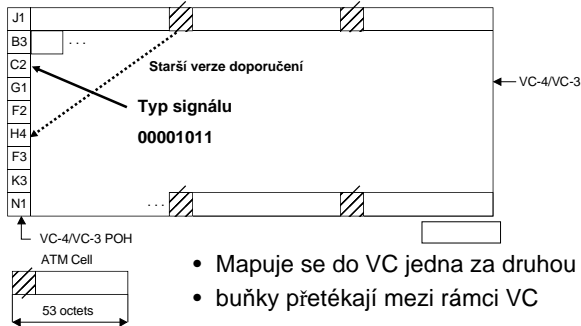
52

## Zřetězení 4 virtuálních kontejnerů VC-4



53

## Mapování ATM buněk do VC



54

## Mapování IP paketů do VC

- Využití ATM vrstvy – segmentace do buňek – nižší efektivita IP over ATM (IPOA) ITU-T Y.1310
- POS – Packet Over SDH - IP datagram = PDU (Protocol Data Unit)
- Způsob přenosu: IP/PPP/HDLC/SDH (dokumenty RFC IETF)
  - Internet Protocol / Point to Point protocol / High-level Data Link Control
    - PPP zapouzdření paketů (+2 bajty)
    - rámec HDLC, mezery mezi rámci se vyplní bajty Návěští, provádí se kontrola chybovosti CRC-16/32, bajtové mapování do VC-4 nebo VC-4-Xc
- Link access procedure – SDH: LAPS (ITU-T X.85/Y.1321) místo PPP... SAPI (Service access point identifier), povinně CRC-32

55

## Struktura IP/PPP/HDLC

záhlaví rámce HDLC

1 bajt	1 bajt	1 bajt
01111110	11111111	00000011
Návěští	Adresa	Řízení

zapouzdřený IP paket

2 bajty PPP	default 1500 bajtů
Typ protokolu	Informace (IP datagram)

zápatí rámce HDLC

4 bajty	1 bajt
CRC 32	01111110
FCS	Návěští

dále následuje mezirámcová výplň nebo další HDLC rámec

56

## Použití skrambleru

- SDH dle G.707 PRBS délky 127 bitů (polynom řádu 7, 7 stupňů posuvného registru), neskrabljuje se 1.ř. SOH
- ATM buňky - mimo záhlaví se skramblují ve vrstvě ALL polynomem  $x^{43}+1$  (43 bitový posuvný registr)
- POS - původní dokument RFC1619 (bajt C2 v POH VC-4: 11001111) standardní skrambler (polynom řádu 7)
  - Při přenosu paketů IP (délka může přesáhnout délku rámce STM) hrozí zlomyslné narušení přenosu – dodatek G.707 - stejný skrambler jako u ATM s řádem 43 na celé rámce HDLC
  - RFC1662 (bajt C2 v POH VC-4: 00010110)
- LAPS ...  $x^{43}+1$  (bajt C2 v POH VC-4: 00011000)

57

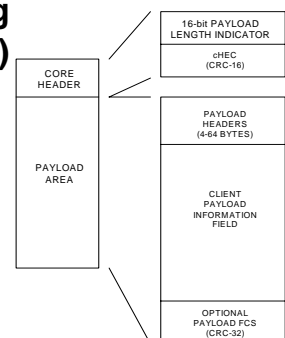
## Trendy

- Integrace funkce **ATM switch** a **IP router** do SDH síťových prvků
- **Ethernet over SDH (EoSdh)**
  - Ethernet over LAPS (EoLAPS) ITU-T X.86/Y.1323
  - Generic Framing Procedure (GFP) G.7041/Y.1303
- Integrace **Ethernet switch** do SDH síťových prvků
- Virtuální síť LAN (VLAN)
- Dynamické přidělování VC (virtuální zřetězení – příklad 5xVC-12, 2xVC-3) LCAS (Link Capacity Adjustment Scheme) G.7042/Y.1305

58

## Generic Framing Procedure (GFP)

- Frame-Mapped (GFP-F) PDU-oriented adaptation mode ... IP, Ethernet
- Transparent (GFP-T), block-code oriented adaptation mode ... Fiber Channel.



59



## Zařízení SDH sítě

- Zařízení síťových uzlů SDH – síťové prvky NE (Network Element)
- Funkce síťových uzlů SDH:
  - časově sdružují transportované digitální signály
  - regenerují linkové digitální signály
  - propojují transportované digitální signály mezi linkovými trakty různých směrů přenosu či k dalším zařízením sítě
  - zajišťují distribuci taktovacího signálu, distribuci zpráv managementu sítě, zálohování cest a další podpůrné funkce
- Funkce dána obecným funkčním modelem

61

## Druhy síťových prvků SDH

Synchronní muldexy SM

- SMT - SM typu I.1, I.2 - koncový synchronní muldex
- SML - SM typu II.1, II.2 - synchronní linkový muldex
- ADM - SM typu III.1 - vydělovací muldex (add-drop)
- SMH - SM typu III.2 - rozdělovací muldex (hubbing)

Synchronní rozváděče SDXC (cross-connect)

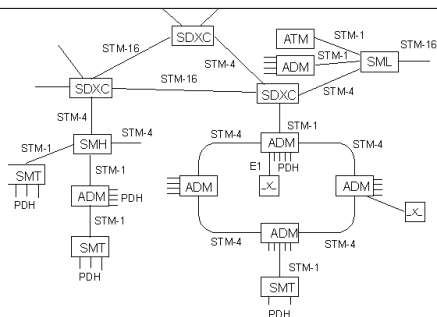
- typu I - spojovací pole na úrovni AU-4
- typu II - spojovací pole na úrovni TU
- typu III - spojovací pole na úrovni TU i AU-4

Opakovač

Pozn.: funkce SDH síťového prvku mohou být implementovány do dalších typů zařízení vybavených STM rozhraními (ATM, IP, Ethernet)

62

## Uzly SDH v síti



63

## Hlavní části síťového uzlu

- síťového prvku SDH (muldex)
- optické rozváděče ODF (linkové signály)
- digitální rozváděče DDF elektrické (příspěvkové signály)
- systém nepřetržitého napájení
- systém služebního spojení
- systém poplachové signalizace
- rozvod taktovacího signálu
- rozvod datové sítě dohledového systému

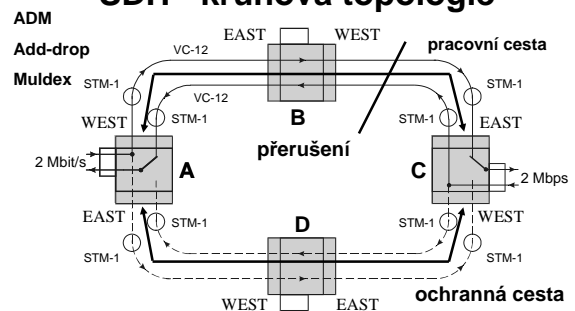
64

## Funkční bloky síťových prvků

- Pro zajištění vzájemné kompatibility síťových prvků různých výrobců ITU standardizovala nejen jejich vnější rozhraní ale i definovala referenční zjednodušený model síťového prvku SDH
- SDH rozhraní - struktura signálů + fyzikální vlastnosti
  - optického rozhraní
  - elektrického rozhraní
- PDH rozhraní
- TMN rozhraní F a Q (řízení a dohled)

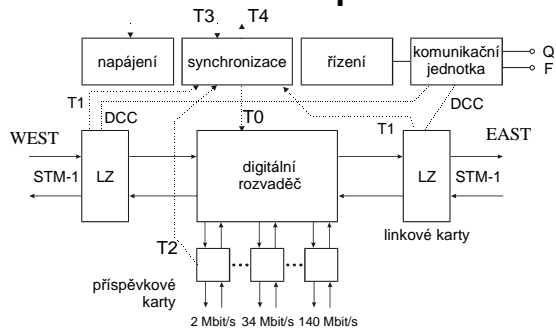
65

## SDH - kruhová topologie



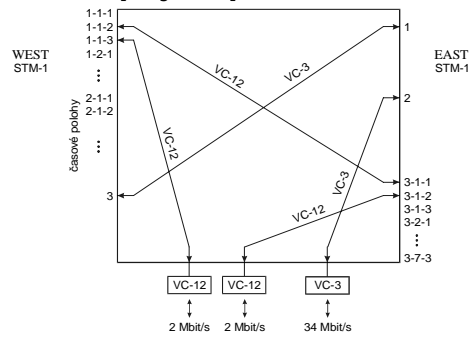
66

## ADM – Add-Drop Muldex



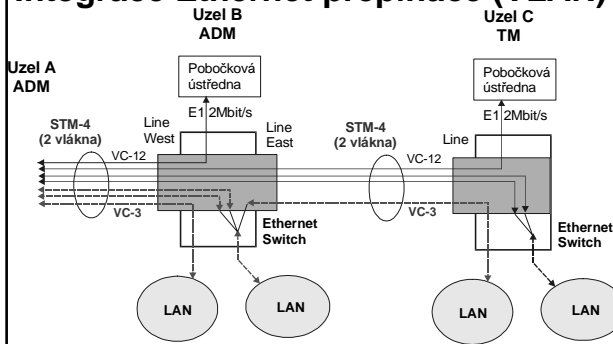
67

## Propojení přes rozvaděč



68

## Integrace Ethernet přepínače (VLAN)



69

## Sítě SDH – PSY 2

- Vrstvový model SDH
- Ochrana a obnova sítě
- Synchronizace sítě
- Monitorování výkonnosti přenosu
- Management sítě TMN
- Návrh sítě

73