



Fakulteta za elektrotehniko  
Univerza v Ljubljani

**Primož Napotnik**

# ADSL in ADSL2plus

seminarska naloga

Mentor: prof. dr. Sašo Tomažič

## KAZALO:

<b>1</b>	<b>UVOD V TEHNOLOGIJO ADSL</b>	<b>2</b>
1.1	<i>Reed-Solomonove kode</i>	2
1.2	<i>Uvod</i>	2
1.2.1	RS kodirni sistem	2
1.2.2	RS algoritmi kodiranja in dekodiranja	4
1.2.2.1	Kodiranje	4
1.2.2.2	Dekodiranje	4
1.3	<i>Programska izvedba RS</i>	5
1.4	<i>Discrete multitone (DMT) modulacija</i>	6
1.5	<i>Uporaba trellisovega kodiranja v ADSL2/ADSL2plus</i>	10
<b>2</b>	<b>ADSL2 IN ADSL2PLUS</b>	<b>11</b>
2.1	<i>Pregled ADSL2/ADSL2plus</i>	11
2.2	<i>ADSL2/2+ parametri okvirja</i>	13
2.3	<i>Izboljšana modulacija</i>	14
2.4	<i>Manjša režija (overhead)</i>	14
2.5	<i>Večje kodno ojačanje</i>	14
2.6	<i>Izboljšana inicializacija</i>	15
2.6.1	Znižanje oddajne moči (Power Cutback)	15
2.6.2	Oblikovanje spektra	18
2.6.3	Spremenljiv pilotski ton	22
2.7	<i>Adaptacija linijske hitrosti</i>	22
2.7.1	Bit swapping (BS)	22
2.7.2	Dynamic Rate Repartitioning (DRR)	22
2.7.3	Seamless Rate Adaptation (SRA)	23
2.7.4	Linijska diagnostika (DELT)	24
2.8	<i>ADSL2/2plus inicializacijska sekvenca</i>	24
2.8.1	Handshake	24
2.8.2	Discovery	24
2.8.3	Training	25
2.8.4	Channel analysis	26
2.8.5	Exchange	26
<b>3</b>	<b>PRAKTIČNI PRIKAZ DELOVANJA ADSL2/ADSL2PLUS</b>	<b>28</b>
3.1	<i>Testno okolje</i>	28
3.2	<i>Bit swapping (BS)</i>	29
3.3	<i>SRA</i>	31
3.4	<i>Uravnavanje moči (power management)</i>	34
3.5	<i>Spremenljivi pilotski ton</i>	36
3.6	<i>Linijska diagnostika (DELT)</i>	37

# 1 UVOD V TEHNOLOGIJO ADSL

ADSL2/2plus sta novi širokopasovni tehnologiji, ki tako kot ADSL omogočata prenos podatkov preko analogne (POTS) in digitalne (ISDN) linije. Učinkovite metode kodiranja in DMT modulacija so ključne za zagotovitev visokih podatkovnih hitrosti in stabilne sinhronizacije.

Seminarska naloga obravnava naslednje sklope:

- Metode kodiranja; Reed-Solomonove kode, algoritme RS kodiranja in dekodiranja,
- DMT modulacijo,
- Trellisovo kodiranje (TCM) in dekodiranje,
- Osnove ADSL2 in ADSL2plus tehnologije s praktičnim prikazom delovanja funkcionalnosti.

## 1.1 Reed-Solomonove kode

### 1.2 Uvod

Reed-Solomonove (RS) kode sta nedvisno razvila Reed in Solomon v letu 1960.

So podmnožica Bose-Chaudhuriand-Hocquenghem (BCH) kod.

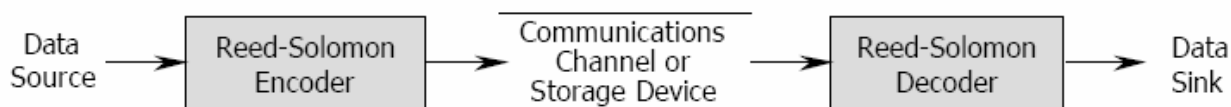
RS kode so posebej primerne za izločanje vplivov impulznega šuma v prenosnem kanalu.

Zmožnost korekcije izbruhov napak izhaja iz tega, da so »blokovno (byte)« in ne »bitno« orientirane. V RS kodi ena napaka pomeni okvaro poljubnega števila bitov v simbolu.

RS kode se uporabljajo na mnogih področjih, kot so vesoljske in satelitske komunikacije, brezžične in mobilne komunikacije, HDTV, xDSL, CD, ...

#### 1.2.1 RS kodirni sistem

Tipični RS kodirni sistem je predstavljen na sliki 1:



Slika 1: RS kodirni sistem

RS kode so nebinarne ciklične kode, s simboli iz  $s$ -bitnih sekvenc, kjer je  $s$  pozitivno celo število, večje od 2.

Običajna oznaka je RS  $(n,k)$ .

RS  $(n,k)$  z  $s$ -bitnimi simboli eksistirajo za vsak  $n$  in  $k$  za katera velja:

$$0 < k < n < 2^s + 2$$

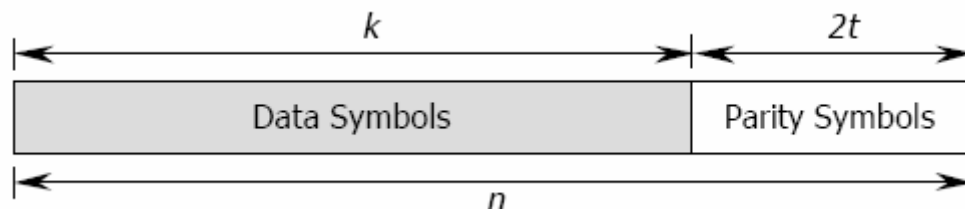
- $k$  je število podatkovnih simbolov
- $n$  je število kodnih simbolov

V procesu kodiranja RS koder doda paritetne simbole  $t$ , dobimo:

$$(n,k) = (2^s - 1, 2^s - 1 - 2 \cdot t)$$

Število paritetnih simbolov je  $2t$  in velja  $n - k = 2 \cdot t$

Dolžina RS kode je omejena na  $n = 2^s + 1$



**Slika 2: Struktura Reed-Solomonove kode**

Za ADSL velja, da se število podatkovnih simbolov in dolžina RS kode spreminja v odvisnosti od strukture ADSL podatkovnega okvirja.

Aritmetika ADSL RS kod se izvaja v Galois-evih poljih  $GF(2^8)$ .

Pogosto uporabljena ADSL RS koda je  $(255,223)$  z 8-bitnimi simboli.

Za to kodo vsaka kodna beseda vsebuje 255 oktetov, od katerih je 223 oktetov podatkovnih simbolov in 32 redundantnih paritetnih simbolov.

Dekoder lahko torej popravi 16 simbolov kodne besede, v mejnem:

- lahko se okvari 16 bitov, vsak v drugem simbolu (oktetu),
- lahko se okvari vseh 16 oktetov (dekoder popravi  $16 \cdot 8$  bitov).

## 1.2.2 RS algoritmi kodiranja in dekodiranja

### 1.2.2.1 Kodiranje

Algoritem RS kodiranja je relativno preprost.

Splošna oblika RS (n,k) polinoma sporočila  $u(x)$  in generatorskega polinoma  $g(x)$  je:

$$u(x) = u_0 + u_1x + u_2x^2 + \dots + u_{k-1}x^{k-1}$$

$$g(x) = (x + \alpha)(x + \alpha^2) \dots (x + \alpha^{2^t}) = g_0 + g_1x + g_2x^2 + \dots + g_{2^t-1}x^{2^t-1} + x^{2^t}$$

$\alpha$  je koren polinoma  $g(x)$  oz. primitiv GF ( $2^s$ ).

RS kodno besedo konstruiramo z množenjem obeh polinomov:

$$v(x) = u(x)g(x) = v_0 + v_1x + v_2x^2 + \dots + u_{n-1}x^{n-1} \quad (1)$$

Paritetne simbole  $2t$  izračunamo po formuli:

$$p(x) = x^{2t}u(x) \bmod g(x) \quad (2)$$

kjer je  $p(x)$  paritetni polinom.

Enačba (1) dobi obliko:

$$v(x) = x^{2t}u(x) \cdot p(x) \quad (3)$$

### 1.2.2.2 Dekodiranje

RS dekodiranje je zelo kompleksno.

Splošen princip predstavlja slika 3:



$r(x)$	Received codeword	$S_i$	Syndromes
$\sigma(x)$	Error location polynomial	$\beta_i$	Error locations
$v(x)$	Recovered codeword	$e_i$	Error magnitudes
$e(x)$	Error pattern polynomial		

**Slika 3: Arhitektura RS dekoderja**

V ADSL RS kode operirajo z 8-bitnimi simboli.

Razmerje bitnih napak (BER-Bit Error Rate) izraženo v simbolih (SER-SymbolErrorRate) je:

$$p_s = 1 - (1 - p_e)^8 \quad (4)$$

- $p_e$  je razmerje bitnih napak (BER) brez kodiranja.

BER na izhodu RS (n,k) dekodiranja je enako:

$$BER = \frac{n-k+1}{2n} \sum_{i=t+1}^n \binom{n}{i} \cdot p_s (1-p_s)^{n-i} \quad (5)$$

### 1.3 Programska izvedba RS

Naj bo  $\vec{v} = (v_0, v_1, v_2, \dots, v_{n-1})$  oddana kodna beseda,  $\vec{r} = (r_0, r_1, r_2, \dots, r_{n-1})$  sprejeta kodna beseda,  $\vec{e} = (e_0, e_1, e_2, \dots, e_{n-1})$  vzorec napak pri prenosu, kjer je  $e_i = r_i - v_i$ .

V primeru pojava napake je v vzorcu  $e(x)$  -  $\gamma$  napak na mestih  $j_1, j_2, \dots, j_\gamma$ , in velja

$$e(x) = (e_{j_1} x^{j_1}, e_{j_2} x^{j_2}, \dots, e_{j_\gamma} x^{j_\gamma}) \text{ kjer je } 0 \leq j_1 < j_2 < \dots < j_\gamma \leq n-1.$$

RS algoritem išče lokacijo napak  $j_\gamma$  in njihove vrednosti  $e_{j_\gamma}$ .

Dekodiranje lahko predstavimo v štirih korakih:

#### 1. Izračun sindroma

Sindrom računamo z namenom detekcije napak v sprejeti kodni besedi.

Sindrom je definiran:

$$S_i = r(\alpha^i) = r_0 + r_1 \alpha^i + r_2 \alpha^{2i} + \dots + r_{n-1} (\alpha^i)^{n-1} = r_0 + \alpha^i (r_1 + \dots + \alpha^i (r_{n-2} + \alpha^i r_{n-1}) \dots) \quad (6)$$

$i = 1, 2, \dots, 2t$ ,  $\alpha$  je primitiv  $GF(n-1)$ .

Kodna beseda je brez napak le v primeru, ko so vrednosti vseh sindromov enake nič.

V primeru napake uporabimo sindrome da poiščemo napako (lokacijo in vrednost).

#### 2. Berlekamp-ov iteracijski algoritem za iskanje polinoma lokacij napak

Polinom napak je definiran kot  $\sigma(x) = (1 + \beta_1 x) \cdot (1 + \beta_2 x) \cdot \dots \cdot (1 + \beta_\gamma x)$ , kjer je  $\beta_i$  lokacija

(indeks) napake. Z Berlekamp-ovim algoritmom izračunamo  $\sigma_i$  in koeficiente polinoma  $\sigma(x)$  da

velja  $\sigma(x) = 1 + \sigma_1 x + \dots + \sigma_\gamma x^\gamma$ .

Koraki algoritma so:

1. Inicializacija spremenljivk:  $k = 0, L = 0, \sigma^0(x) = 1, T(x) = x$

$$2. k = k + 1, d^{(k)} = S_k - \sum_{i=1}^L \sigma_i^{(k-1)} S_{k-i}$$

3. if  $d^{(k)} = 0$ , then go to step (1)

$$4. \sigma^k(x) = \sigma^{k-1}(x) + d^{(k)} T(x)$$

5. if  $2L \geq k$  then go to step (7)

$$6. L = k - L, T(x) = \frac{\sigma^{(k-1)}(x)}{d^{(k)}}$$

$$7. T(x) = xT(x)$$

8. if  $k < 2t$  then go to step (2)

### 3. Iskanje korenov polinoma lokacij napak

V polinom  $\sigma(x)$  vnesemo  $n$  - elementov polja GF, tj.  $1, \alpha, \alpha^2, \dots, \alpha^{n-1}$  in poiščemo korene polinoma:

$$\sigma(\alpha^i) = 1 + \sigma_1 \alpha^i + \dots + \sigma_\gamma \alpha^{i\gamma} = 1 + \alpha^i (\sigma_2 + \dots + \alpha^i (\sigma_{\gamma-1} + \alpha^i \sigma_\gamma) \dots); i = 1, 2, \dots, n-1 \quad (7)$$

Če je  $\alpha^i$  koren polinoma  $\sigma(x)$  dobimo:  $\beta_i = \alpha^{-i}$  in s tem tudi lokacijo napak.

### 4. Izračun vrednosti napak

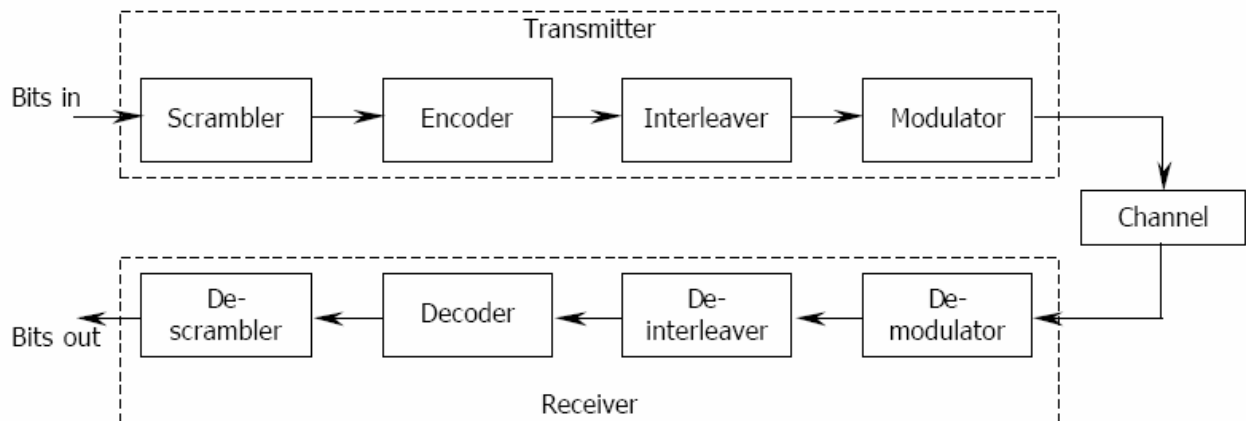
Naj bo  $z(x) = 1 + x(S_1 + \sigma_1) + x^2(S_2 + \sigma_1 S_1 + \sigma_2) + \dots + x^\gamma(S_\gamma + \sigma_1 S_{\gamma-1} + \sigma_2 S_{\gamma-2} + \dots + \sigma_\gamma)$

Vrednost napake na lokaciji  $\beta_i$  je:

$$e_{ji} = \frac{z(\beta_i^{-1})}{\prod_{\substack{i=1 \\ i \neq l}}^v (1 + \beta_i \beta_l^{-1})} \quad (8)$$

## 1.4 Discrete multitone (DMT) modulacija

Splošna shema oddajnika in sprejemnika v komunikacijskem sistemu je podana na spodnji sliki:



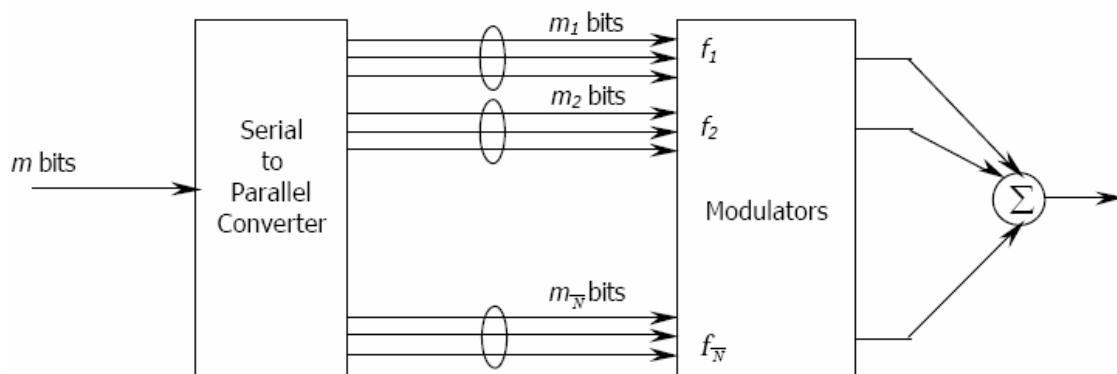
Slika 3: Splošna shema komunikacijskega sistema

DMT je splošna oblika modulacije z več nosilci.

Predstavila sta jo Peled in Ruiz leta 1980.

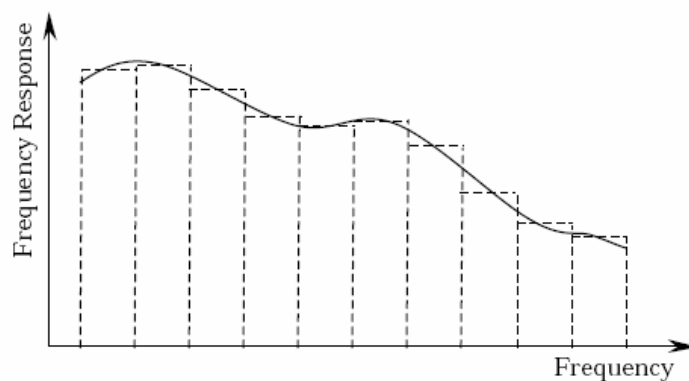
Osnova DMT sistema je kvadraturna amplitudna modulacija (QAM).

DMT je oblika modulacije z več nosilci (MCM-Multi Carrier Modulation). Osnovni princip MCM prikazuje slika 4:



**Slika 4: Princip MCM oddajnika**

Blok  $m$  bitov prenašamo čez množico frekvenčnih pasov, ki se med seboj ne prekrivajo. Oddajnik sešteje  $\overline{N}$  neodvisnih signalov, sprejemnik jih razloči s filtri. V DMT sistemu je prenosni kanal razdeljen na enake frekvenčne pasove, kot kaže slika 5:



**Slika 5: DMT kanali**



Blok shema osnovnega DMT oddajnika je prikazana na sliki 6.

Vhodni bitni tok je shranjen v blok  $b$  bitov. Od teh  $b$  bitov se  $b_i$  ( $i = 1, \dots, N$ ) bitov prenese po  $i$ -tem podkanalu in velja:

$$b = \sum_{i=1}^N b_i$$

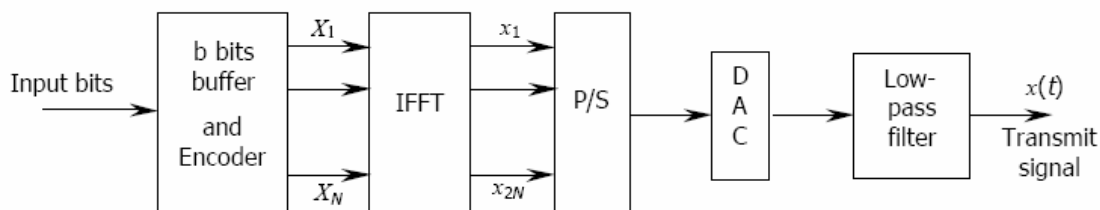
Namesto preslikave  $b_i$  v amplitude kosinusnih in sinusnih signalov (QAM), bodo  $b_i$  za vsak  $i$ -ti podkanal kodirani v kompleksno vrednost  $X_i$ , imenovano podsimbol.

Realna in imaginarna komponenta podsimbola  $X_i$  predstavljata  $x$  in  $y$  os QAM točke.

Kompleksno konjugirane vrednosti so dodane zaradi zagotavljanja simetrije v vhodni blok IFFT.

IFFT transformira  $2N$  podsimbolov v množico  $2N$  realnih vrednosti (vzorcev)  $x_i$  časovnega prostora.

Teh  $2N$  vrednosti se prenese v D/A pretvornik, na izhodu katerega dobimo zvezni analogni signal  $x(t)$ , ki ga imenujemo tudi DMT simbol.

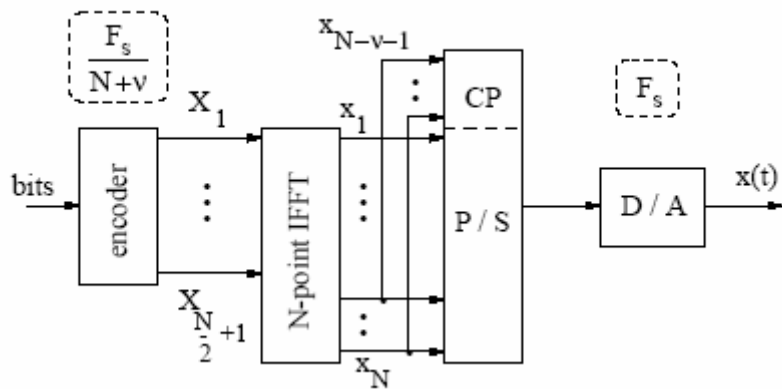


**Slika 6: Splošna shema DMT oddajnika**

Frekvence vzorčenja na slikah 7 in 8 so označene v črtkanih kvadratih.

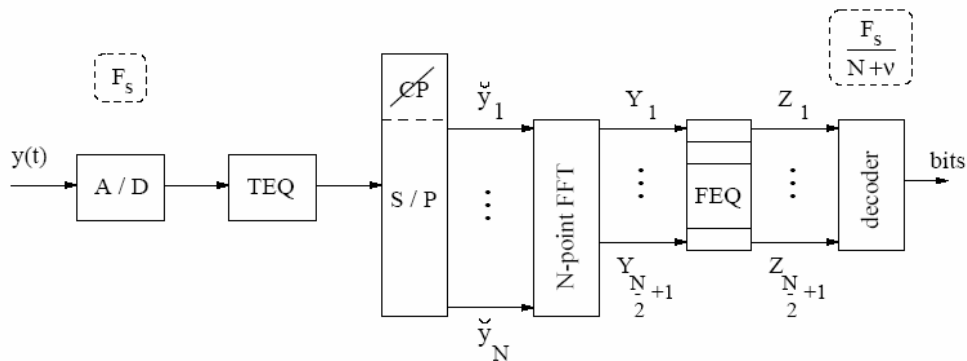
Oddajnik dela naslednje:

- Serijski bitni niz je razdeljen v  $\frac{N}{2} + 1$  paralelnih bitnih nizov. Število bitov  $b_i$  v posameznem paralelnem nizu je odvisno od SNR na tonu  $i = 1, 2, \dots, \frac{N}{2} + 1$ . Biti se nato preslikajo v kompleksne podsimbole  $X_i$ , razen tona 1 in  $\frac{N}{2} + 1$  ki morata biti realni vrednosti. Konstelacijo tona  $i$  tvori  $2^{b_i}$  kompleksnih vrednosti.
- Izvede se IFFT:  $[X_1 \dots X_N]^T = \left[ X_1 \dots X_{\frac{N}{2}+1} \ X_{\frac{N}{2}}^* \dots X_2^* \right]^T$ . Na ta način dobimo vektor realnih vrednosti  $N$  vzorcev oz. DMT simbole  $[x_1 \dots x_N]^T$ .
- Zadnjih  $\nu$  vzorcev simbola v časovnem prostoru se ciklično ponovi na začetku naslednjega simbola in jih imenujemo ciklični prefiks (CP).
- Simbol z dodanim cikličnim prefiksom (časovni prostor) je pretvorjen iz digitalne v analogno obliko. Zvezni časovni signal  $x(t)$  pošljemo po kanalu. V tem modelu kanal predstavlja kombinacija oddajnih filtrov, fizični prenosni medij oz. fizični kanal in sprejemni filtri.



**Slika 7: DMT oddajnik**

Frekvenco vzorčenja označujemo z  $F_s$ , simbolno hitrost pa z  $\frac{F_s}{N+v}$ .



**Slika 8: DMT sprejemnik**

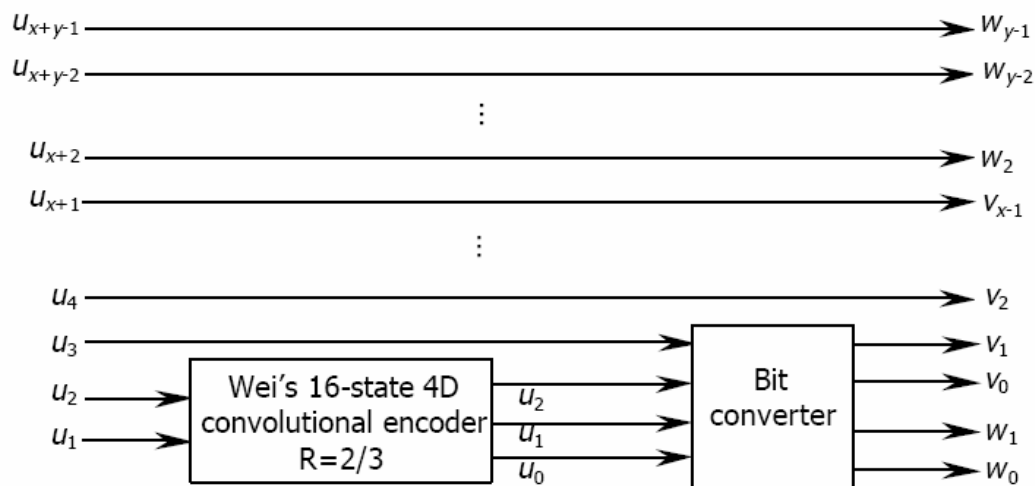
Na sprejemni strani se (če izvezamo izravnavo signala) izvede obratni proces.

- Sprejeti analogni signal  $y(t)$  najprej pretvorimo v digitalno obliko.
- Diskretni signal  $y_l$  filtriramo s FIR filtrom, imenovanim tudi TEQ (Time domain EQuilizer).
- Filtrirano sekvenco  $y_l$  pretvorimo iz serijske v paralelno obliko.
- Odstranimo ciklični prefiks.
- Izvedemo FFT operacijo.
- FEQ izravna vsak vzorec (ton) posebej.
- Izravnane vzorce  $Z_i$  dekodiramo s QAM konstelacijskim dekodeerjem.

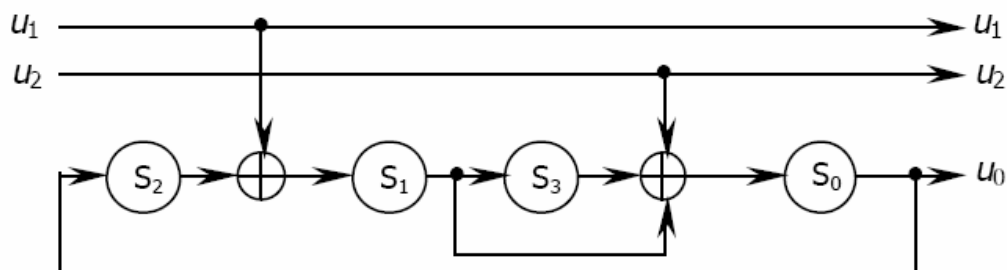
## 1.5 Uporaba trellisovega kodiranja v ADSL2/ADSL2plus

Uporaba Trellisove kode (TCM) je v ADSL2 in ADSL2plus obvezna.

TCM je izveden kot 4D konvolucijski koder s 16 stanji. Konvolucijska koda dosega teoretično kodno ojačanje 4.5 dB. Slika 10 prikazuje Wei-jev 4D konvolucijski koder s 16 stanji:



Slika 9: Princip trellisovega koderja za ADSL



Slika 10: Wei-jev koder

Vhod v trellisov koder je množica bitov  $\vec{u} = [u_1, u_2, \dots]$ .

Vsaka beseda  $\vec{u}$  je zakodirana v dve binarni besedi  $\vec{v}$  in  $\vec{w}$  po naslednjem postopku:

1. Z Wei-jevim koderjem zakodiramo  $(u_1, u_2)$ . Dobimo  $(u_0, u_1, u_2)$  pri čemer sta  $(u_1, u_2)$  nespremenjena,  $u_0 = S_0$ .
2.  $(u_0, u_1, u_2)$  uporabimo za določitev ene od osmih 4D podmnožic
3. podmnožica se preslika v dva indeksa ki določata LSB (Least Significant Bit)  $\vec{v}$  in  $\vec{w}$ . Preslikava je sledeča:

$$v_0 = u_3$$

$$v_1 = u_1 \oplus u_3$$

$$w_0 = u_2 \oplus u_3$$

$$w_1 = u_0 \oplus u_1 \oplus u_2 \oplus u_3$$

## 2 ADSL2 IN ADSL2PLUS

### 2.1 Pregled ADSL2/ADSL2plus

ITU-T standard G.992.3 opisuje drugo generacijo tehnologije ADSL in pomeni nadgradnjo predhodnega standarda G.992.1 (G.dmt).

G.992.3 podaja dodatne funkcionalnosti in izboljšave glede na G.992.1.

- Izboljšana karakteristika doseg/podatkovna hitrost
- Izboljšana linijska diagnostika
- Adaptacija spektra in moči na liniji
- Večja robustnost
- Izboljšana stabilnost

Povečanje podatkovne hitrosti je namenjeno zagotavljanju storitve na dolgih linijah in kjer je velik vpliv presluha. To je tudi največja prednost ADSL2, saj je največja slabost ADSL prav v nezmožnosti zagotovitve storitev na dolgih linijah.

Večje hitrosti prenosa dosežemo z naslednjimi izboljšavami:

- Večjim izkoristkom modulacije,
- Manjšim overhead-om okvirjev,
- Višjim kodnim ojačanjem,
- Izboljšano inicializacijo,
- Dinamičnim prilagajanjem linijske hitrosti.

ADSL2 tipično dosega DS/US hitrosti 8000/800 kbps, maksimalno pa 12000/1024 kbps.  
ADSL2plus tipično dosega DS/US hitrosti 16000/800 kbps, maksimalno pa 24000/1024 kbps.

Spodnja tabela podaja okvirne teoretične vrednosti:

	ADSL (G.dmt)	ADSL2	ADSL2plus
ITU referenca	ITU-T G.992.1	ITU-T G.992.3	ITU-T G.992.5
Max DS [Mbps]	12 (s=1/2)	12	26
Max US [Mbps]	1	1	1
Število nosilcev, (frekvenčno področje)	256 (1.1 MHz)	256 (1.1 MHz)	512 (2.2 MHz)

#### **ZMOŽNOSTI:**

- Visoke podatkovne hitrosti,
- Izboljšana odpornost proti vplivom premoščenih odcepov (bridge taps) in šuma (pilotski ton ni več fiksni ampak določen s strani sprejemnika),
- Prenos podatkov tudi po pilotskem nosilcu (2 bita),
- ADSL2 okvir:
  - Reed-Solomon ekstrahiran iz DMT simbola,
  - Okvir ni več vezan na DMT simbol,
  - Spremenljiva velikost CRC okvirja,
- Trellisovo kodiranje je obvezno za US in DS smer,
- Izboljšana inicializacija,
- Uporaba OAM protokola za podajanje podrobnih informacij o stanju na liniji,
- Povečan doseg (Reach extended ADSL2 (ReADSL)).

#### **KOMPATIBILNOST:**

- Avtomatska prilagoditev standarda v primeru različnih načinov delovanja (G.dmt in T1.413).

#### **VEČJI DOSEG:**

- 1-bit konstelacije,
- 4 kbps korak nastavljanja linijske hitrosti,
- V primeru ADSL2+ je povečan DS prenos na linijah dolžine do približno 1500 m. Nad to dolžino so zmožnosti enake kot pri ADSL.

#### **ADAPTACIJA LINIJSKE HITROSTI:**

- Linijska hitrost v smeri DS se prilagaja dinamično, brez retrainov (SRA),
- Bit swapping v US in DS smeri.

SRA funkcionalnost proži ATU-R.

#### **OMEJEVANJE MOČI:**

- Obvezno omejevanje moči v primerih ko je to možno (manjši nivo presluha),
- L2 stanje - varčevanje z močjo v primeru zmanjšane aktivnosti na strani ATU-R (prenos podatkov v smeri DS manjši od 1024 kbps),
- L3 stanje - varčevanje z močjo v primeru neaktivnega ATU-R.

L2 in L3 stanje proži ATU-C.

#### **LINIJSKA DIAGNOSTIKA:**

- DELT (Double Ended Line Testing)

## 2.2 ADSL2/2+ parametri okvirja

ADSL2/2+ parameter	Definicija
$B_0$	Nominalno število oktetov nosilca okvirja #0 na multipleksiran podatkovni okvir (v referenčni točki A) v funkciji latenčne poti #0.
$M_0$	Število multipleksiranih podatkovnih okvirjev na FEC podatkovni okvir v funkciji latenčne poti #0.
$T_0$	Razmerje med številom multipleksiranih podatkovnih okvirjev in številom sinhronizacijskih oktetov in funkciji latenčne poti #0. Sinhronizacijski oktet je vnešen na vsak $(T_0 - t_i)$ multipleksiran podatkovni okvir.
$R_0$	Število RS redundančnih oktetov na kodno besedo v funkciji latenčne poti #0. To je tudi število redundančnih oktetov na FEC podatkovni okvir funkciji latenčne poti #0.
$D_0$	Globina prepletanja v funkciji latenčne poti #0.
$L_0$	Število bitov, ki je iz funkcije latenčne poti #0 vključeno v posamezni DMT simbol.

Čisto podatkovno hitrost na nosilec okvirja #0 v latenčni poti #0 lahko izračunamo s pomočjo formule:

$$PodatkovnaHitrost = \frac{(T_0 \cdot (B_0 + 1) - 1) \cdot M_0 \cdot L_0}{T_0 \cdot ((B_0 + 1) \cdot M_0 + R_0)} \cdot 4 \quad [\text{kbps}] \quad (9)$$

Zakasnitev latenčne poti #0 pa izračunamo po formuli:

$$Zakasnitev_{\#0} = \frac{2 \cdot (M_0 \cdot (B_0 + 1) + R_0) \cdot D_0}{L_0} \quad [\text{ms}] \quad (10)$$

Simboli ki opisujejo karakteristike ATU podatkovnega okvirja so:

Karakteristika podatkovnega okvirja	Definicija
$SEQ_p$	Dolžina sekvence sinhronizacijskih oktetov funkcije latenčne poti #p.
$S_p$	Število primitivov za zahtevo PMD bitov (je anako številu PMD simbolov) čez katere se razteza FEC podatkovni okvir.
$OR_p$	Režija (Overhead Rate) funkcije latenčne poti #p.
$PER_p$	Perioda overhead kanala v latenčni poti #p.

Število PMD simbolov na nosilec okvirja #0 v latenčni poti #0 se izračuna po formuli:

$$S_0 = \frac{8 \cdot (M_0 \cdot (B_0 + 1) + R_0)}{L_0} \quad (11)$$

Režija (Overhead Rate) nosilca okvirja #0 v latenčni poti #0 se izračuna po formuli:

$$OR_0 = \frac{M_0}{T_0 \cdot S_0} \cdot 32 \quad [\text{kbps}] \quad (12)$$

Perioda nosilca okvirja #0 v latenčni poti #0 v overhead kanalu se izračuna po formuli:

$$PER_0 = \frac{T_0 \cdot S_0 \cdot SEQ_0}{4 \cdot M_0} \quad (13)$$

## 2.3 Izboljšana modulacija

ADSL2/2+ omogoča večjo učinkovitost modulacije z uporabo blokovnega procesiranja 4-dimenzionalne trellisove kode po Wei-ju.

Podatkovne bite iz podatkovnega pomnilnika dobimo na podlagi tabele bitne alokacije. Bite nato preslikamo v dve binarni besedi z uporabo trellisovega koderja.

Maksimalno gostoto konstelacije dosežemo s konstelacijskim koderjem, s katerim konstruiramo konstelacijo z maksimalnim številom bitov, ki jih je dovoljeno prenašati po posameznem DMT nosilcu t.j 15.

Poleg tega lahko z modulacijo prenašamo podatke tudi po pilotskem tonu. V fazi inicializacije lahko ATU-R zahteva uporabo pilotskega nosilca za prenos podatkov.

ATU-C obravnava pilotski ton enakovredno ostalim tonom DMT simbola. Čeprav se zdi ta izboljšava neznatna, saj lahko na pilotski ton dodelimo največ 2 bita, pa je na dolgih linijah koristna. Podatkovne hitrosti na takih linijah so namreč nekaj sto kbps zato npr. dodatnih 8 bitov na pilotski ton, doprinese 32 kbps kar ni zanemarljivo.

Tretja izboljšava je uporaba 1-bitne konstelacije.

Konstelacijska točka [1,1] pomeni ničlo, točka [-1,-1] pa enico. S pomočjo trellisovega kodiranja lahko iz dveh 1-bitnih konstelacij dobimo 2-bitno konstelacijo. Ta izboljšava je uporabna za dolge linije saj lahko kljub visokemu slabljenju in nizkem SNR še vedno po nosilcih prenašamo vsaj 1 bit.

## 2.4 Manjša režija (overhead)

Pri ADSL je overhead fiksni in znaša 32 kbps. Pri ADSL2/2+ je overhead nastavljen in sicer med 4-32 kbps. Ta izboljšava je posebej dobrodošla na dolgih linijah.

Primer: Pri linijski hitrosti 128 kbps znaša overhead:

- ADSL:  $32/128 = 25\%$
- ADSL2/2+:  $4/128 = 3.125\%$

## 2.5 Večje kodno ojačanje

Nastavljiva režija omogoča RS kodi 0-16 redundantnih oktetov s korakom 2.

Če je linija kratka in SNR velik, potem za zmanjšanje kodnega ojačanja lahko uporabimo le majhno število redundantnih oktetov. V slabih pogojih pa z uporabo več redundantnih oktetov dosežemo višje kodo ojačanje.

## 2.6 Izboljšana inicializacija

Standard G.994.1 podaja dva podatkovna okvirja:

- Capabilities List (CL) in
- Capabilities List Request (CLR).

### 2.6.1 Znižanje oddajne moči (Power Cutback)

Z znižanjem oddajne moči zmanjšamo vpliv bližnjega presluha in odbojev. Moč, dodeljeno nosilcem v US frekvenčnem področju lahko prenesemo na nižje frekvence. Na ta način zmanjšamo presluh.

»Power cutback« pomeni znižanje nivoja močnostnega spektra v [dB] v smeri DS ali US, relativno glede na nominalni nivo (NOMPSD).

Znižanje je čez cel frekvenčni spekter (»flat cutback«).

NOMPSD se uporabi na začetku inicializacije, potem pa se skozi fazo inicializacije in »showtime«-a lahko spremeni. »Showtime« je stanje ATU-C ali ATU-R, potem ko se zaključita inicializacija in training. V tej fazi se prično prenašati podatki.

Ko se znižanje (v katerikoli smeri) oddajne moči izvrši, preide NOMPSD v referenčni nivo REFPSD.

CL in CLR vsebujeta blok parametrov, ki označujejo nominalni oddajni nivo, maksimalni oddajni nivo in maksimalno oddano moč. Velikost posameznega bloka je 6 oktetov.

Ti parametri so podani v korakih po 0.1 dB, v intervalu [-25.6 , 25.5] dB.

ATU-C oceni minimalno znižanje moči v smeri US in DS za ATU-R v stanjih C-COMB1 in C-COMB2.

ATU-R to stori za ATU-C v R-COMB2.

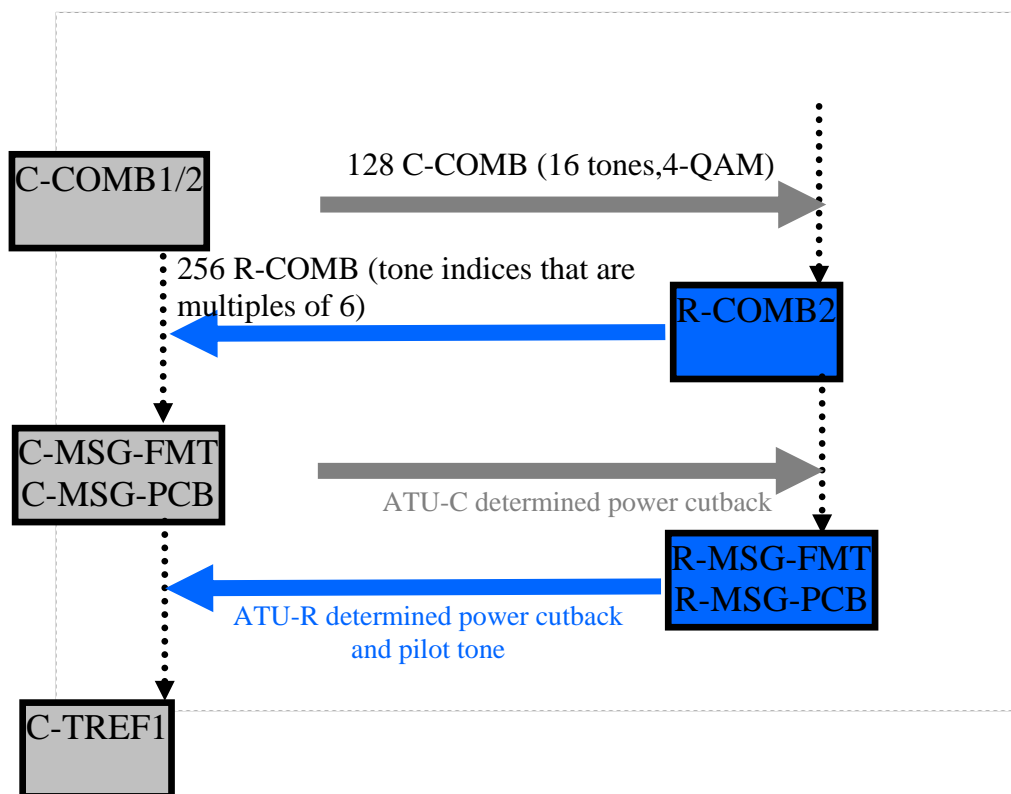
ATU-C in ATU-R imata v inicializaciji stanji C-MSG-PCB (ATU-C) in R-MSG-PCB (ATU-R).

MSG je okrajšava za sporočilo (message), PCB pa za zmanjšanje moči (power cutback).

Vrednosti znižanja (v 0.1 dB kvantih) se prenašajo v sporočilih MSG-PCB.



Časovni diagram procedure zmanjšanja moči je predstavljen na sliki 11.



Slika 11: Časovni diagram za omejevanje moči

	b7	b6	b5	b4	b3	b2	b1	b0
byte 1						<b>Nominal transmit PSD level (NOMPSD)</b>		
byte 2								
byte 3						<b>Maximum nominal Transmit PSD level (MAXNOMPSD)</b>		
byte 4								
byte 5						<b>Maximum nominal aggregate tx power (MAXNOMATP)</b>		
byte 6								

**Slika 12: NOMPSD, MAXNOMPSD, MAXNOMATP**

Bit index	Parameter	Definition
5...0	C-MIN_PCB_DS	ATU-C Minimum Downstream Power Cutback (6 bit value with MSB in bit 5 and LSB in bit 0)
11...6	C-MIN_PCB_US	ATU-C Minimum Upstream Power Cutback (6 bit value with MSB in bit 11 and LSB in bit 6)
13...12	HOOK_STATUS	Hook Status (2 bit value with MSB in bit 13 and LSB in bit 12)
15...14		Reserved, set to 0.
15 + <i>NSC<sub>us</sub></i> ...16	C-BLACKOUT	Blackout indication per subcarrier (subcarrier <i>NSC<sub>us</sub></i> – 1 in bit 15 + <i>NSC<sub>us</sub></i> , subcarrier 0 in bit 16). Bit 16 shall be set to 0 (i.e., no blackout of DC subcarrier).

**Slika 13: C-MSG-PCB**

Bit index	Parameter	Definition
5...0	R-MIN_PCB_DS	ATU-R Minimum Downstream Power Cutback (6 bit value with MSB in bit 5 and LSB in bit 0)
11...6	R-MIN_PCB_US	ATU-R Minimum Upstream Power Cutback (6 bit value with MSB in bit 11 and LSB in bit 6)
13...12	HOOK_STATUS	Hook Status (2 bit value with MSB in bit 13 and LSB in bit 12)
15...14		Reserved, set to 0
23...16	C-PILOT	Subcarrier index of downstream pilot tone (8 bit value with MSB in bit 23 and LSB in bit 16)
31...24		Reserved, set to 0
31 + <i>NSC<sub>ds</sub></i> ...32	R-BLACKOUT	Blackout indication per subcarrier (subcarrier <i>NSC<sub>ds</sub></i> – 1 in bit 31 + <i>NSC<sub>ds</sub></i> , subcarrier 0 in bit 32). Bit 32 shall be set to 0 (i.e., no blackout of DC subcarrier).

**Slika 14: R-MSG-PCB**

## 2.6.2 Oblikovanje spektra

Izboljšanje zmožnosti (večje prenosne hitrosti, višje razmerje SNR) ADSL na dolgih linijah običajno pomeni izboljšanje v smeri DS.

ADSL2/2+ tehnologija omogoča oblikovanje močnostnega spektra, na način, da dodeli moč na tiste dele frekvenčnega spektra, kjer so razmere najboljše.

CL in CLR vsebujeta tudi parametre za oblikovanje močnostnega spektra in sicer blok parametrov parov  $DMT\_nosilec_i - log\_tss_i$ .

Vrednosti parametrov se oddajajo v naraščajočem zaporedju indeksa  $i$ .

Vsak par je opisan s 4 okteti.

Poseben bit v bloku označuje, ali je  $DMT\_nosilec_i$  element množice **SUPPORTEDset** (vrednost 1) ali ne (vrednost 0).

Množica **SUPPORTEDset** je definirana v standardu G.994.1 in podaja indekse nosilcev  $DMT\_nosilec_i$ , ki smejo biti uporabljeni.

Vrednosti  $log\_tss_i$  so podane v logaritemski skali kot 7-bitne nepredznačene vrednosti, v korakih po 0.5 dB in v območju 0 dB (vrednost 0) do 62.5 dB (vrednost 125).

Vrednosti 126 in 127 sta posebej rezervirani za:

- vrednost 126 označuje, da bo  $log\_tss_i$  na  $i$ -tem DMT nosilcu linearno interpolirana glede na diagram na sliki 15;
- vrednost 127 je posebej rezervirana in označuje, da  $DMT\_nosilec_i$  ni vključen ( $tss_i = 0$  v linearni skali).

	b7	b6	b5	b4	b3	b2	b1	b0
byte 1						9 bits		
byte 2			subcarrier index 1 to 2*NSCus-1					
byte 3			indication					
byte 4			spectrum shaping $log_{tss_i}$ 0 dB to -62.5 dB 7 bits					

Slika 15: Blok parametra CL/CLR

V CL/CLR sporočilu so definirane samo 4 lomne točke spektra in sicer na nosilcih z indeksi  $t_1$ ,  $t_2$ ,  $t_3$  in  $t_4$ .

Enačbe za izračun:

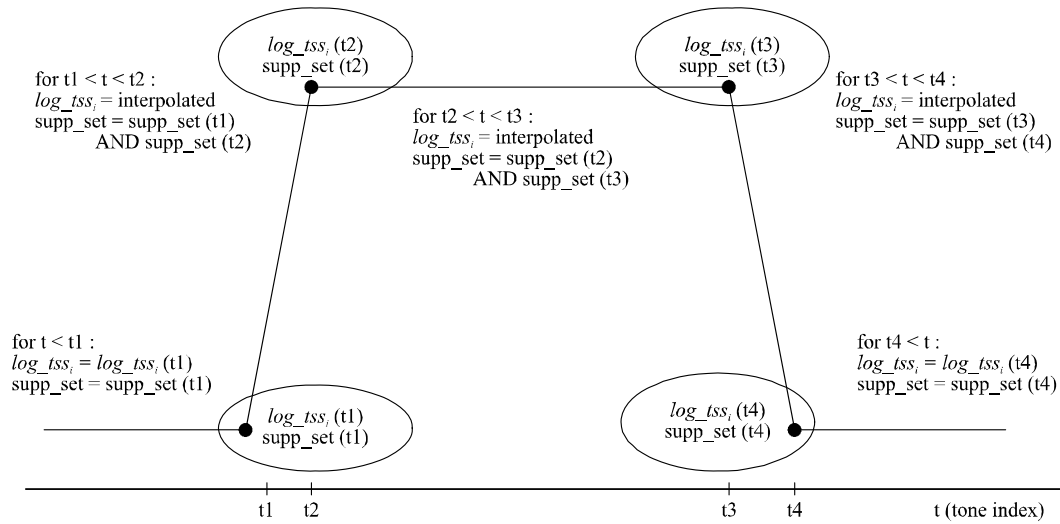
$$S(i \cdot \Delta f) \leq tss_i^2 \leq 1, \text{ za } 1 \leq i \leq 2 \times NSC - 1 \quad (14)$$

$$S(f) = \sum_n S_b \left( f - n \cdot \left( \frac{N}{NSC} \right) \cdot f_s \right) \quad (15)$$

$$S_b(f) = \sum_{k \in SUPPORTEDset} tss_k^2 \times (W^2(f - k \cdot \Delta f) + W^2(f + k \cdot \Delta f)) \quad (16)$$

- $N/NSC$  je faktor vzorčenja IDFT,
- $N$  je število vzorcev,
- $NSC$  je število uporabljenih DMT nosilcev,
- $\Delta f$  je frekvenčni pas nosilca in je 4.3125 kHz,
- $f_s$  je frekvenca vzorčenja ( $= 2 \cdot NSC \cdot \Delta f$ ),
- $W^2(f)$  je Fourierjev transform avtokorelacijske funkcije pravokotnega okna, definiran kot:

$$W^2(f) = \frac{17}{16} \times \text{sinc}^2 \left( \frac{f}{(16/17) \cdot \Delta f} \right) \quad (17)$$



Only four breakpoints are included in the CL/CLR message (at subcarrier index  $t_1$ ,  $t_2$ ,  $t_3$  and  $t_4$ ).

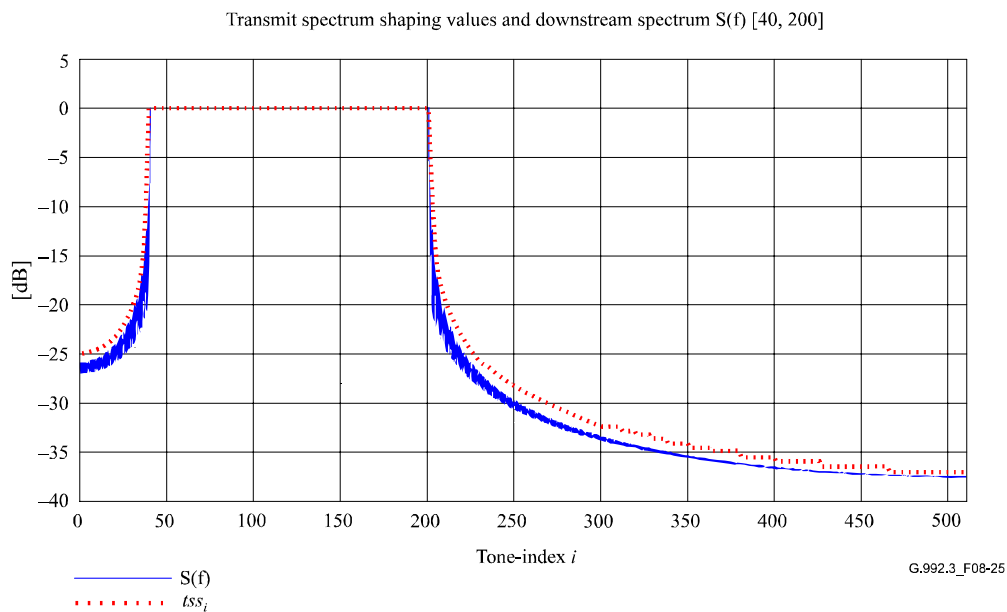
G.992.3\_F08-24

**Slika 16:**

### primer interpolacije $\log_{tss_i}$

Primer  $\log_{tss_i}$  vrednosti za  $i = [1, \dots, 200]$ ,  $N = 2 \cdot NSC = 512$  je na sliki 17.

Pri frekvencah  $i \cdot \Delta f$  je  $tss_i = 1$ . Modra krivulja kaže obliko močnostnega spektra v odvisnosti od vrednosti  $tss_i$ , ki so prikazane z rdečo krivuljo.



**Slika 17: Oblika spektra v odvisnosti od vrednosti  $tss_i$**

V fazi ocenjevanja kanala (channel discovery), lahko sprejemna funkcija (PMD) v sporočilu MSG-PCB vključuje t.i. »blackout bite« ( $BLACKOUT_i$ ,  $i = 1..NSC - 1$ ).

Gre za indikacijo, ali so posamezni nosilci v fazi inicializacije oddani ( $BLACKOUT_i = 0$ ) ali ne ( $BLACKOUT_i = 1$ ).

Če množici SUPPORTEDset oštejemo množico BLACKOUTset dobimo množico MEDLEYset.

Sprejemnik (ATU-R) iz te množice določi nosilec pilotskega tona C-TREF.

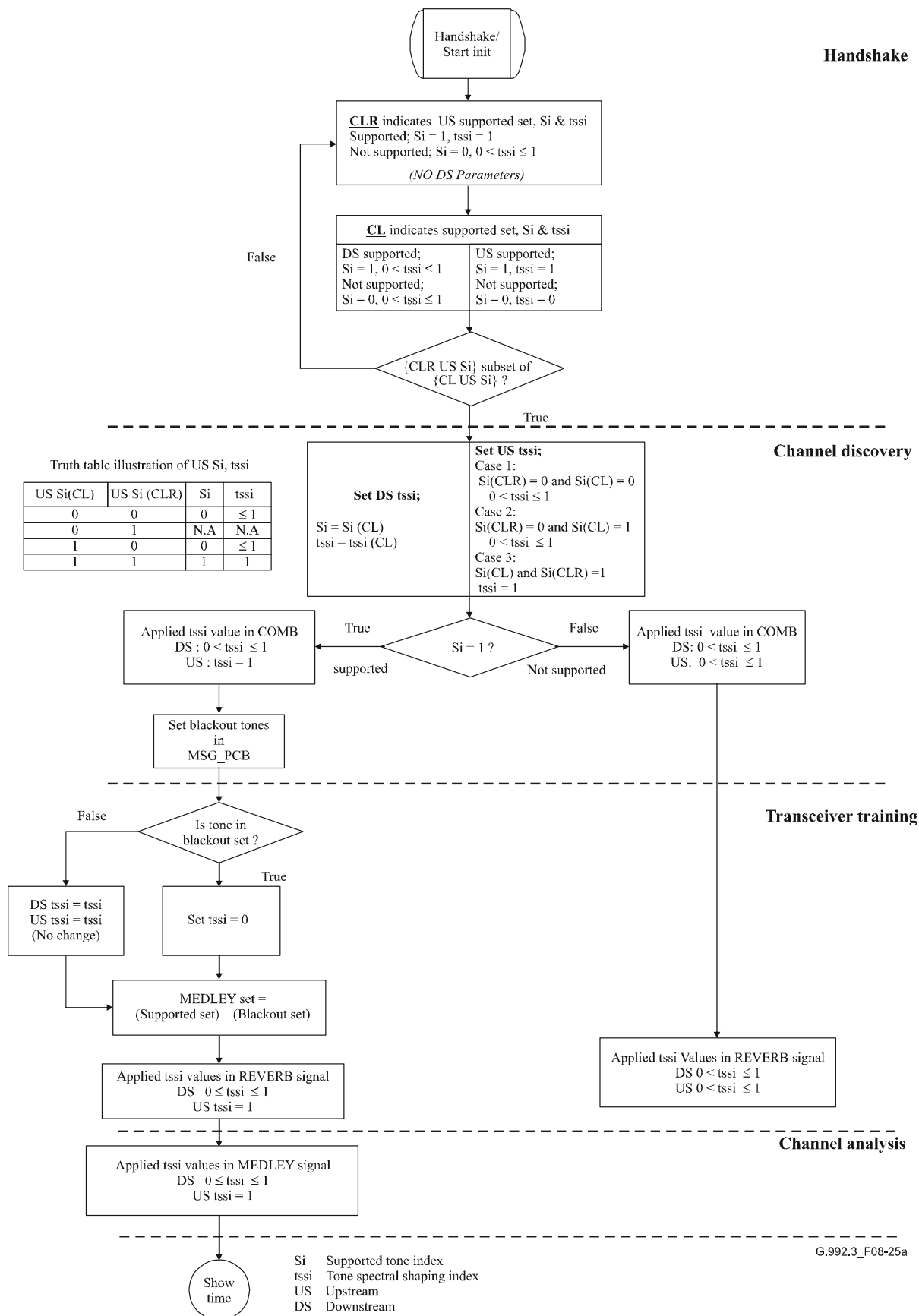
Primer oblikovanja močnostnega spektra in »zatemnitve (blackout)« v fazi inicializacije je podan na sliki 18.

Vrednosti  $Z_i$  ( $i=1...2*NSC - 1$ ) predstavljajo vhodne parametre modulacijske funkcije.

Inicializacijska faza (referenca)	Oblikovanje spectra in "zatemnitev"
G.994.1 (8.13.2)	No spectrum shaping and no blackout applied
Channel Discovery (8.13.3)	$Z_i = tss_i \times (X_i + jY_i)$ No blackout applied Non-zero $(X_i + jY_i)$ shall be scaled to the <i>NOMPSD</i> level
Transceiver Training (8.13.4)	$Z_i = tss_i \times (X_i + jY_i)$ if $BLACKOUT_i = 0$ $Z_i = 0$ if $BLACKOUT_i = 1$ Non-zero $(X_i + jY_i)$ shall be scaled to the <i>REFPSD</i> level
Channel Analysis (8.13.5)	$Z_i = tss_i \times (X_i + jY_i)$ if subcarrier in MEDLEYset $Z_i = 0$ if subcarrier not in MEDLEYset Non-zero $(X_i + jY_i)$ shall be scaled to the <i>REFPSD</i> level
Exchange (8.13.6)	$Z_i = tss_i \times (X_i + jY_i)$ if subcarrier in MEDLEYset $Z_i = 0$ if subcarrier not in MEDLEYset Non-zero $(X_i + jY_i)$ shall be scaled to the <i>REFPSD</i> level

**Slika 18: Primer oblikovanja močnostnega spektra in »zatemnitve« v fazi inicializacije**

V fazi analize kanala in izmenjave so v DS smeri vrednosti  $tss_i$  iz množice MEDLEYset med 0 in 1.  
V smeri US pa so vrednosti  $tss_i$  enake 1.



**Slika 19: Diagram poteka za določanje vrednosti  $tss_i$**

### 2.6.3 Spremenljiv pilotski ton

Večjo robustnost oz. stabilnost povezave pred šumom in premoščenimi odcepi zagotavlja pilotski ton, ki ga določi ATU-R (prenaša se torej v smeri DS). V primerjavi z ADSL ni fiksiran na točno določenem nosilcu, temveč se lahko spreminja glede na razmere na liniji, kar se odraža tudi v boljši sinhronizaciji. Pilotski ton se uporablja za sinhronizacijo takta.

R-MSG-FMT vključuje parameter (1 bit) FMT-C-PILOT ki indicira, ali ATU-R zahteva, da ATU-C odda fiksno 4-QAM konstelacijo na pilotskem tonu C-TREF.

Če ATU-C to oddaja, potem je FMT-C-PILOT enak 1.

R-MSG-PCB vključuje dodaten parameter (1 oktet) C-PILOT, ki predstavlja indeks pilotskega tona v smeri DS iz množice MEDLEYset.

## 2.7 Adaptacija linijske hitrosti

ADSL2/2plus tehnologija omogoča dinamično prilagajanje linijske hitrosti brez ponovnih sinhronizacij (retrain).

Dinamično prilagajanje se lahko vrši s tremi mehanizmi:

- Bit swapping (alokacija bitov),
- Dynamic rate repartitioning in
- Seamless rate adaptation.

Proceduro adaptacije lahko preprosto opišemo v nekaj korakih:

- Sprejemnik spremlja SNR kanala in odloči, da je potrebno spremeniti linijsko hitrost;
- Sprejemnik pošlje sporočilo, s katerim sproži zahtevo za spremembo linijske hitrosti. Sporočilo vsebuje parametre kot npr. število bitov in ojačanje na posameznem nosilcu;
- Oddajnik pošlje signal SYNC FLAG, ki predstavlja marker za označitev natančnega časa (trenutka), ko bodo uporabljeni novi parametri
- Sprejemnik detektira signal SYNC FLAG in od tega trenutka naprej je podatkovna hitrost spremenjena

### 2.7.1 Bit swapping (BS)

BS prilagaja število bitov in ojačanje na DMT nosilec glede na trenutni SNR na posameznem nosilcu.

Ko se prilagoditev izvrši, je celotna podatkovna hitrost  $\sum L_p$  nespremenjena, prav tako je nespremenjena podatkovna hitrost na posamezni latenčni poti  $L_p$ .

Latenčne poti so virtualne poti fizičnega sloja z različnimi zakasnitvami, kar omogoča podporo različnih aplikacij, ki zahtevajo različne performanse in odpornost na šum prenosne poti.

ADSL2/2+ tehnologiji podpirata do 4 latenčne poti.

### 2.7.2 Dynamic Rate Repartitioning (DRR)

DRR se uporablja za spreminjanje porazdelitve podatkovnega toka med različne latenčne poti  $L_p$ .

Ne spreminja se torej skupna podatkovna hitrost temveč samo podatkovna hitrost na posamezni latenčni poti.

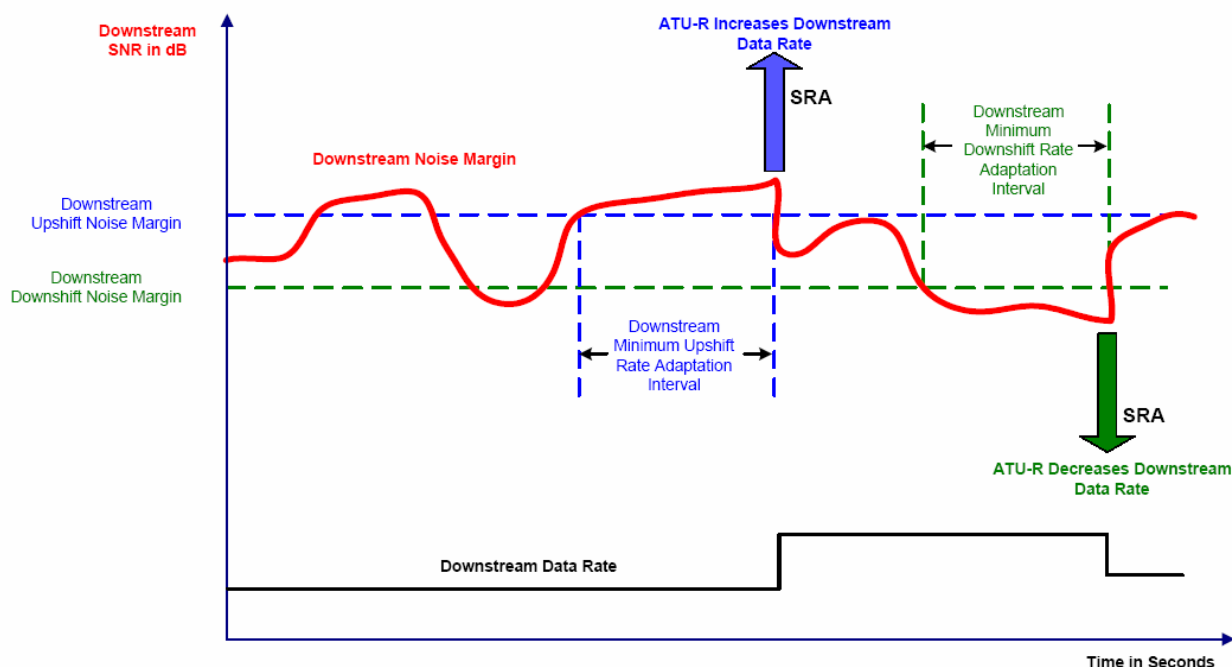
Spreminja se lahko tudi število bitov in ojačanje na posameznem nosilcu (BS).

### 2.7.3 Seamless Rate Adaptation (SRA)

SRA omogoča spreminjanje celotne podatkovne hitrosti  $\sum L_p$  na način, da spreminja krmilne parametre multipleksiranja ADSL okvirjev  $L_p$  in tudi število bitov in ojačanje na posameznem nosilcu. Ker se spremeni skupna podatkovna hitrost ima vsaj ena latentna pot drugačno podatkovno hitrost  $L_p$ . SRA omogoča, da se modulatorjski parametri spreminjajo brez sprememb parametrov okvirjanja. To pomeni, da ne pride do rušenja sinhronizacije kar bi povzročilo veliko število bitnih napak in s tem posledično padec sistema.

ATU, ki podpira kratkočasovno inicializacijo, običajno podpira tudi SRA. Na ta način je ATU zmožen prilagajanja razmeram na liniji, ki so v fazi kratke oz. hitre inicializacije zelo grobo ocenjene.

BS in SRA nadzirata nosilce z namenom, da se vzdržuje ciljni SNR in s tem zagotavlja stabilno ADSL povezavo. SRA se sproži, če se SNR na katerem koli nosilcu spremeni (pade ali naraste čez prag, ki ga določi uporabnik).



Slika 20: Princip delovanja SRA



## 2.7.4 Linijska diagnostika (DELT)

Standard ITU-T G.992.3 podaja novo vrsto linijske diagnostike. DELT uporabljamo kadar so razmere na liniji preslabe da bi se modem uspešno povezal ali pa kadar ne dosegamo željene prenosne hitrosti.

DELT omogoča takijšnje meritev razmer na liniji in to na obeh straneh linije.

Diagnostični način delovanja se prične v fazi inicializacije ob DELT zahtevi s strani ATU. Sekvenca stanj v diagnostičnem načinu je enako kot v inicializacijski sekvenci vse do stanja MEDLEY.

Po stanjih C/R Exchangemarker, ATU pričneta oddajati naslednje testne parametre:

- Razmerje SNR po nosilcu (SNR-ps)
- Maksimalno možno linijsko hitrost (ATTNDR)
- Močnostni spekter šuma linije po nosilcu (PSD QLN-ps)
- Prenosno funkcijo kanala H (f) (CCF-ps)

## 2.8 ADSL2/2plus inicializacijska sekvenca

Faze inicializacije od »Handshake« do »Showtime« so prikazane na sliki 19.

### 2.8.1 Handshake

V handshake sekvenci se v standardih G.992.3 in G.992.5 uporabljajo enaki toni.

Na strani CO:

- Diagnostični način,
- Kratka inicializacija,
- Meje spektra v US in DS (nominalni Tx PSD, max. Nominalni Tx PSD, maksimalna oddana moč TxPower),
- Oblika spektra v US in DS,
- Linijske hitrosti.

Na strani CPE:

- Diagnostični način,
- Kratka inicializacija,
- Meje spektra v US (nominalni Tx PSD, max. Nominalni Tx PSD, maksimalna oddana moč TxPower),
- Oblika spektra v US.

### 2.8.2 Discovery

- **C/R-COMB1** .Funkcije ki jih izvede ATU-R s tem signalom so:
  - Timing (timing recovery),
  - Izbira pilotskega tona,
  - Ocena možne omejitve moči (power cutback) v smeri US in DS.
- **C-COMB2** je enak signalu COMB1:
  - ATU-R fino uglasi timing (timing recovery),
  - ATU-R izmeri karakteristiko linije za kasnejšo določitev pilotskega tona,
  - ATU-R oceni minimalno omejitev moči v US in DS.

- **R-COMB2:**
  - ATU-C izmeri slabljenje linije za določitev minimalne omejitve moči v US in DS.
- **C/R-ICOMB1** je invertiran COMB signal:
  - Običajno se uporablja kot časovni marker.
- **C/R-LINEPROBE** je nestandardni signal, ki ga proizvajalec DSP uvede neodvisno:
  - Uporablja se za ugotavljanje razmer na liniji. Če sta na obeh straneh DSP istega proizvajalca je meritev linije izvedena iz obeh koncev, v nasprotnem pa samo iz ene.
- **C/R-COMB3 in C/R-ICOMB2:**
  - Uporablja se kot časovni marker za naslednje stanje.
- **C/R-MSG-FMT:**
  - Izmenjava sporočil med ATU-C in ATU-R z uporabo COMB in ICOMBsignalov,
  - Lahko se zahteva podaljšano izvajanje stanja R-REVERB1 (272 ali 592 simbolov),
  - Lahko se zahteva podaljšano izvajanje stanja C-REVERB4,
  - Lahko se določi dolžina stanja R-QUIET4,
  - Določi se format C/R-MSG-PCB,
  - ATU-R lahko določi število TREF1 simbolov za regeneracijo timinga (timing recovery),
  - ATU-R lahko določi ali mora ATU-C oddati pilotski ton v času treniranja izločevalnika odbojev (echo canceller),
  - ATU-R lahko zahteva fiksno QAM za oddajo pilotskega tona.
- **C/R-MSG-PCB:**
  - Izmenjava vrednosti omejitev moči v US in DS,
  - ATU-R sporoči indeks tona, namenjenega za pilotski ton,
  - Sporočanje stanj analognega priključka; on/off hook ali unknown (uporaba v G.lite),
  - Sprejemnik lahko zahteva izklop posameznih nosilcev.

### 2.8.3 Training

- **C/R-REVERB1** je enak za G.dmt in T1.413 z razliko, da ne sme biti pilotskega tona na nosilcu 64 razen če tako zahteva ATU-R. Izpogaja se lahko tudi daljše trajanje C/R-Reverb1.
- **C-TREF1** oddaja en sam ton na nosilcu, določenemu za pilotski ton, v fazi »line discovery«.
  - Izvede se timing recovery v DS.
- **C-REVERB2:**
  - Uporablja se kot časovni marker.
- **R-REVERB2:**
  - ATU-C lahko prične z uglasenjem izenačevalnikov (TEQ). Lahko pride do izgube vzorcev signala v smeri US (poravnavanje sprejetih in oddanih simbolov na strani ATU-R), kar povzroči retraining ali ponovno uglasenje TEQ.
- **C/R-ECT:** nestandardni signal (»vendor discretionary«)
  - treniranje EC.

- **C-REVERB3/4:**
  - ATU-R ga lahko uporabi za treniranje TEQ, oceno kanala, ipd. V tem času ni prisotnega odmeva. Podaljšano trajanje C-Reverb4 je lahko določeno v fazi »Discovery«.
- **R-REVERB3/4:**
  - Fino uglasčevanje ali retrain ATU-C TEQ. Možno je podaljšano trajanje R-Reverb4.
- **C/R-SEQUE1:**
  - Časovni marker za indikacijo prehoda v ciklično predpono (cyclic prefix).

#### 2.8.4 Channel analysis

- **C-MSG1:** je sporočilo dolžine 1bit/simbol, signal je moduliran z Reverb in Segue.  
ATU-C sporoči proti ATU-R naslednje:
  - Ciljni SNR v smeri DS,
  - Minimalni SNR v smeri DS,
  - Maximalno SNR v smeri DS,
  - Podpora za dinamično prilagajanje linijske hitrosti (fiksno, adaptivno v fazi inicializacije in dinamično v fazi zveze (SRA)),
  - Dovoljena stanja za omejevanje moči na liniji,
  - Vrednosti parametrov za SRA v smeri DS,
  - Maksimalno podprto število bitov na nosilec,
  - Maksimalno podprto povečanje ojačanja na nosilec,
  - Željena dolžina sekvence »Medley« v smeri US.
- **R-MSG1:** je sporočilo dolžine 1bit/simbol, signal je moduliran z Reverb in Segue.  
ATU-R sporoči proti ATU-C naslednje:
  - Maksimalno podprto število bitov na nosilec,
  - Maksimalno podprto povečanje ojačanja na nosilec,
  - Željena dolžina sekvence »Medley« v smeri US.
- **C/R-Medley:** je pseudo naključni signal
  - Meritev SNR in treniranje TEQ.
- **C/R-Exchangemarker:**
  - Časovni marker.

#### 2.8.5 Exchange

- **C/R-MSG2:** je sporočilo dolžine 1bit/simbol, signal je moduliran z Reverb in Segue.
  - Sprejemnik identificira vse nosilce, ki bodo uporabljeni za prenos informacij (QAM sporočila).

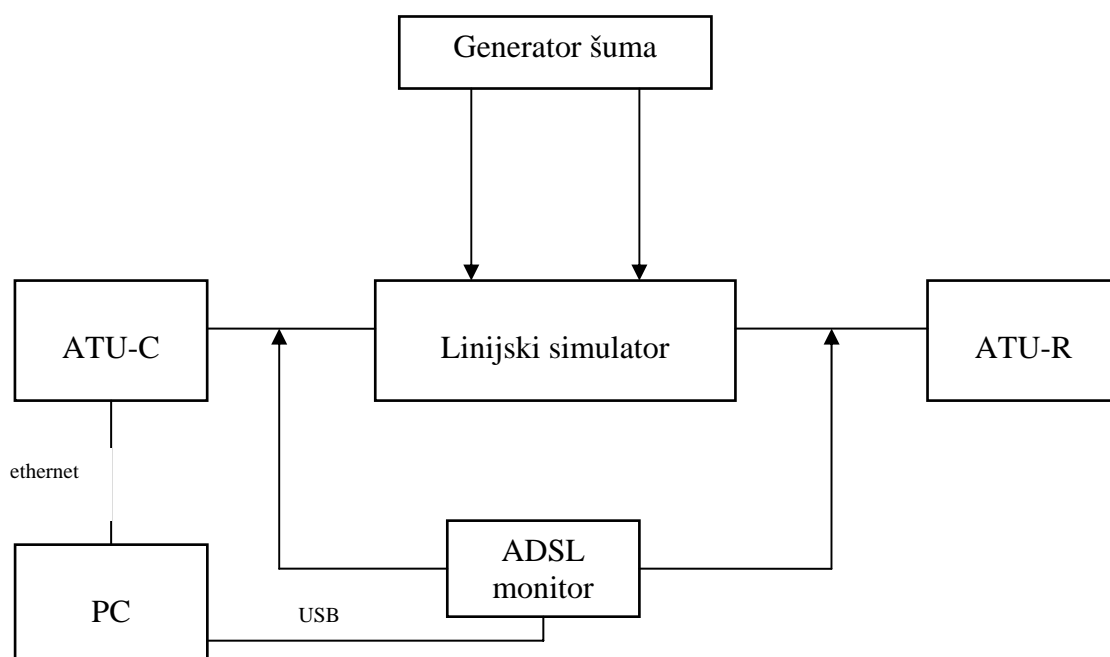
- **C-PARAMS:** prenos parametrov oz. sporočil s pomočjo QAM preko nosilcev, določenih s strani ATU-R
  - Slabljenje linije in signala v smeri US,
  - Dosežen SNR v smeri US,
  - Maksimalna možna podatkovna hitrost, ki jo lahko sprejmemo pod naslednjimi predpostavkami:
    - Uporaba ene same latenčne poti,
    - $\text{SNR} \geq \text{ciljni SNR}$ ,
    - $\text{BER} \leq \text{BER latenčne poti}$ ,
    - Zakasnitev  $\leq$  maksimalna dovoljena zakasnitev latenčne poti,
    - Kodno ojačanje (Trellisovo kodiranje, RS FEC ) ne bo prispevalo k dvigu zakasnitve,
    - Karakteristika linije se ne bo bistveno spremenila.
  - Dejanska oddana moč na linijo,
  - Trellisovo kodiranje v smeri US,
  - Bit/gain tabela v smeri US,
  - NTR (Network timing reference) info,
  - Informacije o sporočilih (kolikšen je overhead, dolžina sporočil, itd...),
  - Informacije o nosilnem kanalu (število oktetov vsakega nosilcav multipleksiranem podatkovnem okvirju) v smeri US,
  - Število podatkovnih okvirjev na FEC podatkovni okvir v posamezni latenčni poti v smeri US.
  - Število RS redundančnih oktetov na FEC podatkovni okvir v posamezni latenčni poti v smeri US,
  - Velikost interleaverja za posamezno latenčno pot v smeri US,
  - Konfiguracija sinhronizacijskega oktetav vsaki latenčni poti v smeri US,
  - Število bitov v posamezni latenčni poti na DMT simbol v smeri US.
- **R-PARAMS:** prenos parametrov oz. sporočil s pomočjo QAM preko nosilcev, določenih s strani ATU-C
  - Slabljenje linije in signala v smeri DS,
  - Dosežen SNR v smeri DS,
  - Maksimalna možna podatkovna hitrost, ki jo lahko sprejmemo pod naslednjimi predpostavkami
    - Uporaba ene same latenčne poti,
    - $\text{SNR} \geq \text{ciljni SNR}$ ,
    - $\text{BER} \leq \text{BER latenčne poti}$ ,
    - Zakasnitev  $\leq$  maksimalna dovoljena zakasnitev latenčne poti,
    - Kodno ojačanje (Trellisovo kodiranje, RS FEC ) ne bo prispevalo k dvigu zakasnitve,
    - Karakteristika linije se ne bo bistveno spremenila.
  - Dejanska oddana moč na linijo,
  - Trellisovo kodiranje v smeri DS,
  - Bit/gain tabela v smeri DS,
  - NTR info,
  - Informacije o sporočilih (kolikšen je overhead, dolžina sporočil, itd...),
  - Informacije o nosilnem kanalu (število oktetov vsakega nosilcav multipleksiranem podatkovnem okvirju) v smeri DS,
  - Število podatkovnih okvirjev na FEC podatkovni okvir v posamezni latenčni poti v smeri DS,
  - Število RS redundančnih oktetov na FEC podatkovni okvir v posamezni latenčni poti v smeri DS,
  - Velikost interleaverja za posamezno latenčno pot v smeri DS,
  - Konfiguracija sinhronizacijskega okteta v vsaki latenčni poti v smeri DS,
  - Število bitov v posamezni latenčni poti na DMT simbol v smeri DS.

- **C/R-Reverb7 in C/R-Segue4:**
  - Časovni marker pred začetkom »showtime« faze.

### 3 PRAKTIČNI PRIKAZ DELOVANJA ADSL2/ADSL2PLUS

#### 3.1 Testno okolje

Testno okolje predstavlja slika 21:



**Slika 21: Okolje za meritve zmoglosti ADSL sistema**

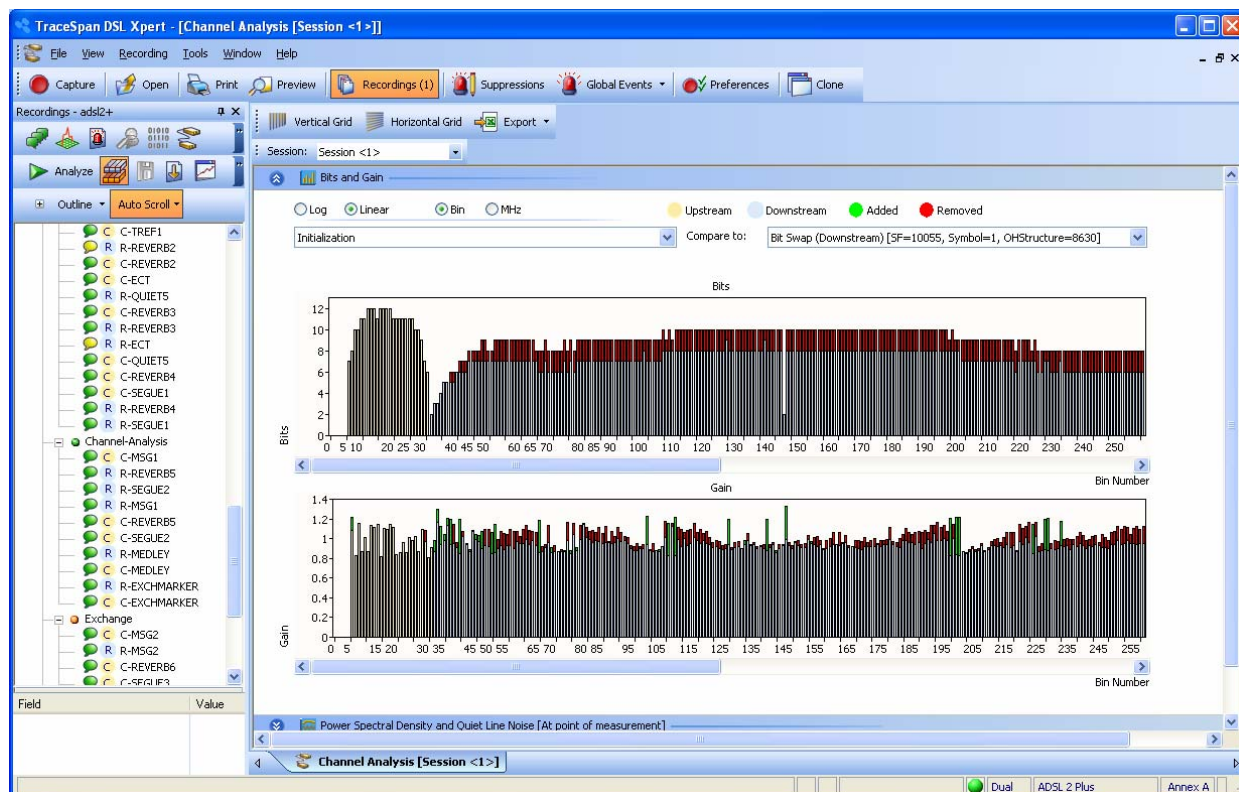
## 3.2 Bit swapping (BS)

The screenshot displays the TraceSpan DSL Xpert software interface, showing a network trace for ADSL 2 Plus. The interface includes a menu bar, a toolbar, a left sidebar with a tree view of network elements, and a main window divided into two panes: 'DownStream' and 'UpStream'.

The 'DownStream' pane shows a list of messages with columns for Line #, Message Type, Name, Priority, and Length. The 'UpStream' pane shows a similar list.

Below these panes, there are two 'Details View' sections. The left 'Details View' shows 'Events' and 'No Events'. The right 'Details View' shows a table with 'Field Name', 'Field Value', and 'Description' columns, containing data for 'Number-Of-Carriers', 'sub-carrier index', 'New gain value', 'New bit value', 'sub-carrier index', 'New gain value', and 'New bit value'.

Slika 22: BS protokol



Slika 23: BS po posameznih nosilcih

### 3.3 SRA

The screenshot displays the TraceSpan DSL Xpert software interface for analyzing an SRA protocol session. The main window is divided into two panes: 'DownStream' and 'UpStream', each showing a list of messages with columns for Line #, Message Type, Name, and Priority.

**DownStream Messages:**

Line #	Message Type	Name	Priority
10			
11	Inventory Message	Identification command	Normal
12			
13	EOC Message	EOC Self Test	Normal
14			
15	On Line Reconfiguration(OLR) Mes...	On Line Reconfiguration Reques...	High
16			
17	Inventory Message	Self test result command	Normal
18			
19			
20	Sync Flag	Sync Flag	High
21	EOC Message	EOC Update test Parameters	Normal
22			
23			
24	Segment Acknowledge (High Priority)	Segment Acknowledge	High
25	Managment Counter Read Message	Counter Read Command	Normal
26			
27	Segment Acknowledge (High Priority)	Segment Acknowledge	High
28			

**UpStream Messages:**

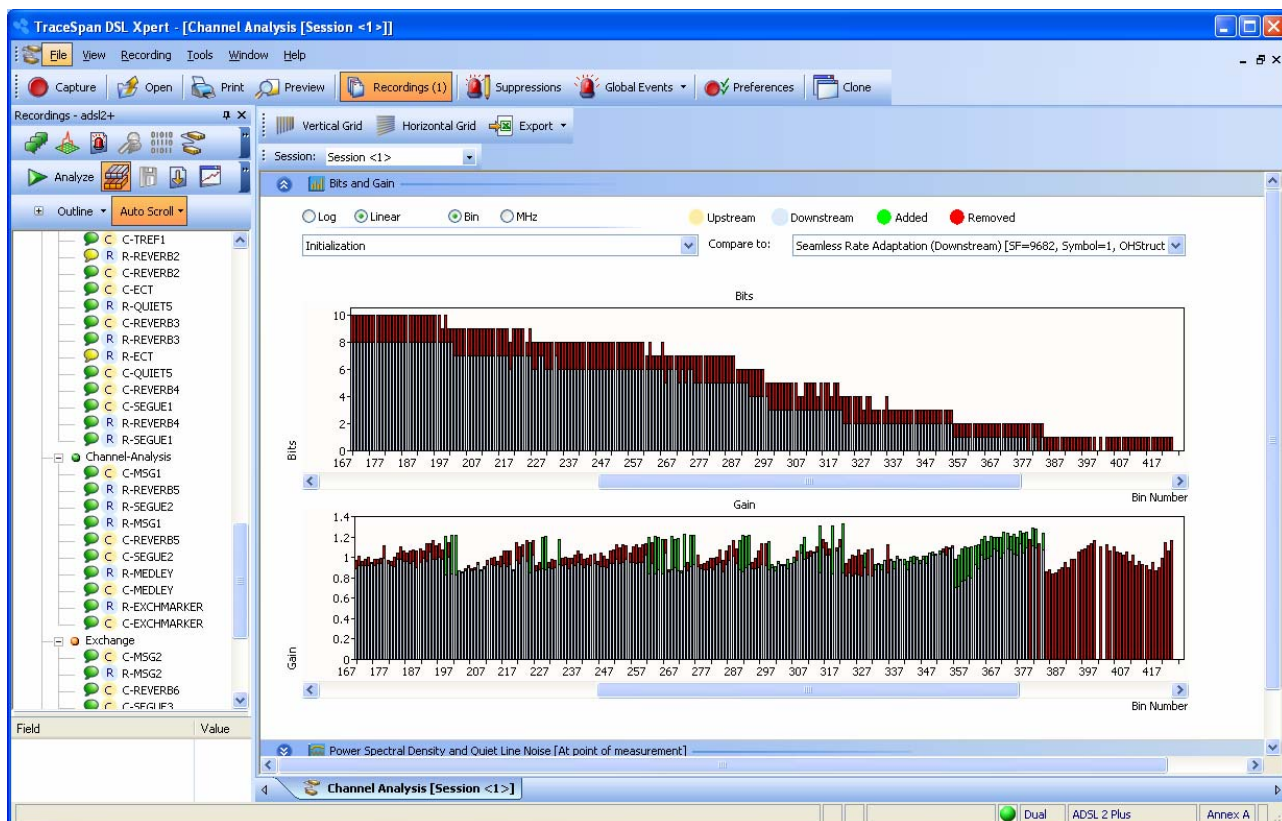
Line #	Message Type	Name	Priority
10	Managment Counter Read ...	Counter Read Response	Normal
11			
12	Inventory Message	Identification response	Normal
13			
14	EOC Message	Self test acknowledge	Normal
15			
16	Sync Flag	Sync Flag	High
17			
18	Inventory Message	Self test result response	Normal
19	On Line Reconfiguration(OLR...	On Line Reconfiguration Request Type 1	High
20			
21			
22	EOC Message	EOC ACK	Normal
23	On Line Reconfiguration(OLR...	On Line Reconfiguration Request Type 3 (...)	High
24			
25			
26	On Line Reconfiguration(OLR...	On Line Reconfiguration Request Type 3 (...)	High
27			
28	On Line Reconfiguration(OLR...	On Line Reconfiguration Request Type 3 (...)	High

The bottom section of the interface shows the 'Details View' for the selected message, displaying a table of field names, values, and descriptions.

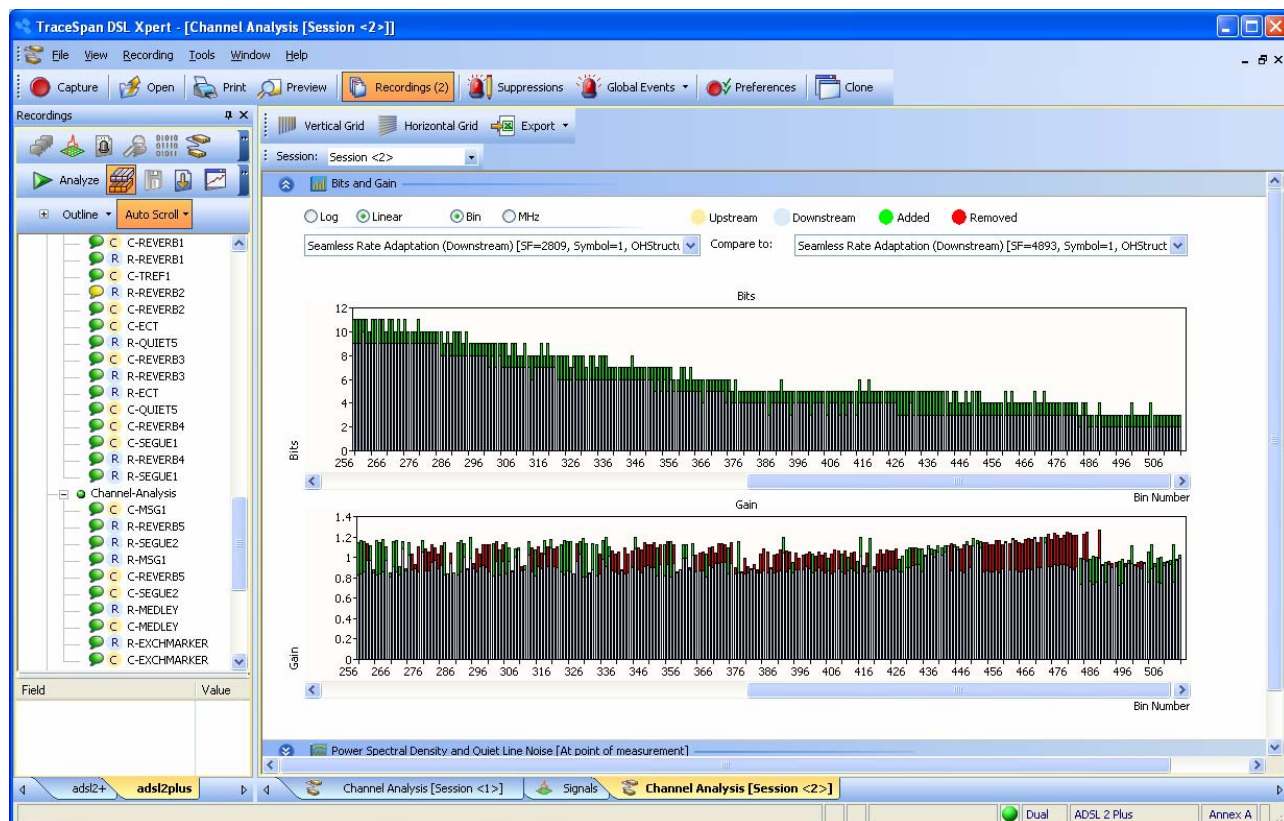
Field Name	Field Value	Description
New Lp value - LP 0	0x00000CB9	
New Bpn value - Frame Bearer 0	0x000000EE	
Number-Of-Carriers	0x000001FC	
sub-carrier index	0x00000020	
New gain value	0x00000192	
New bit value	0x00000002	
sub-carrier index	0x0000008F	
New gain value	0x00000274	
New bit value	0x00000002	
sub-carrier index	0x00000021	
New gain value	0x000001D0	
New bit value	0x00000003	
sub-carrier index	0x000001EE	
New gain value	0x0000019A	
New bit value	0x00000002	
sub-carrier index	0x000001F1	
New gain value	0x00000198	

Slika 24: SRA protokol



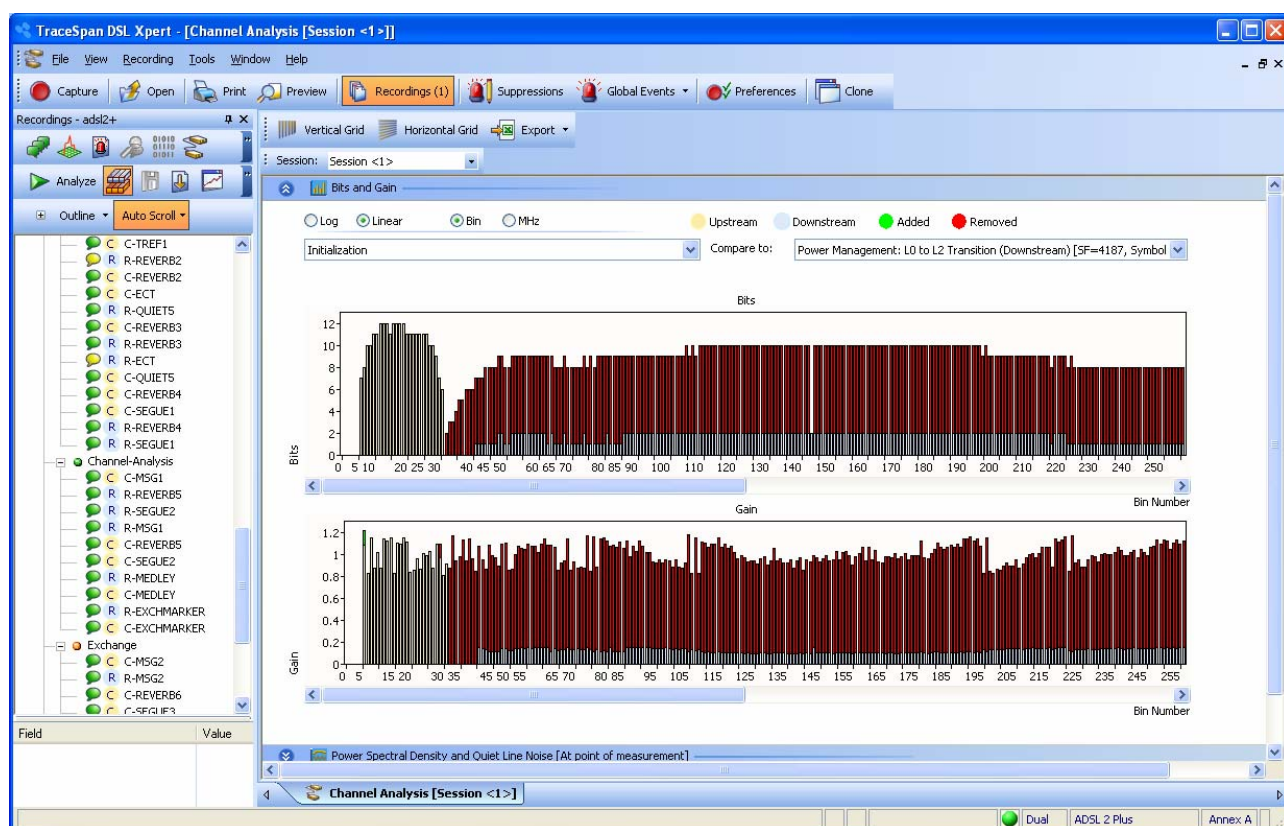


Slika 25: Znižanje bitne hitrosti

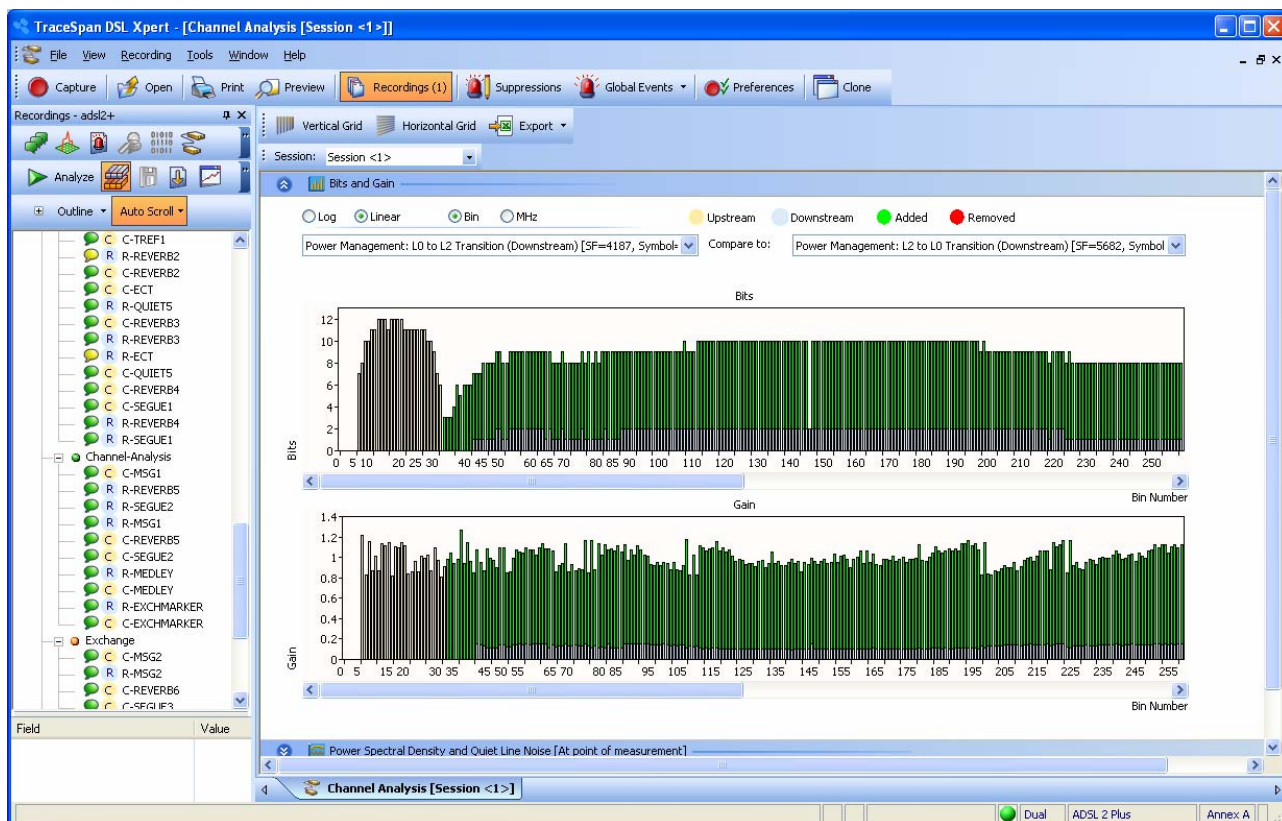


Slika 26: Zvišanje bitne hitrosti

### 3.4 Uravnavanje moči (power management)



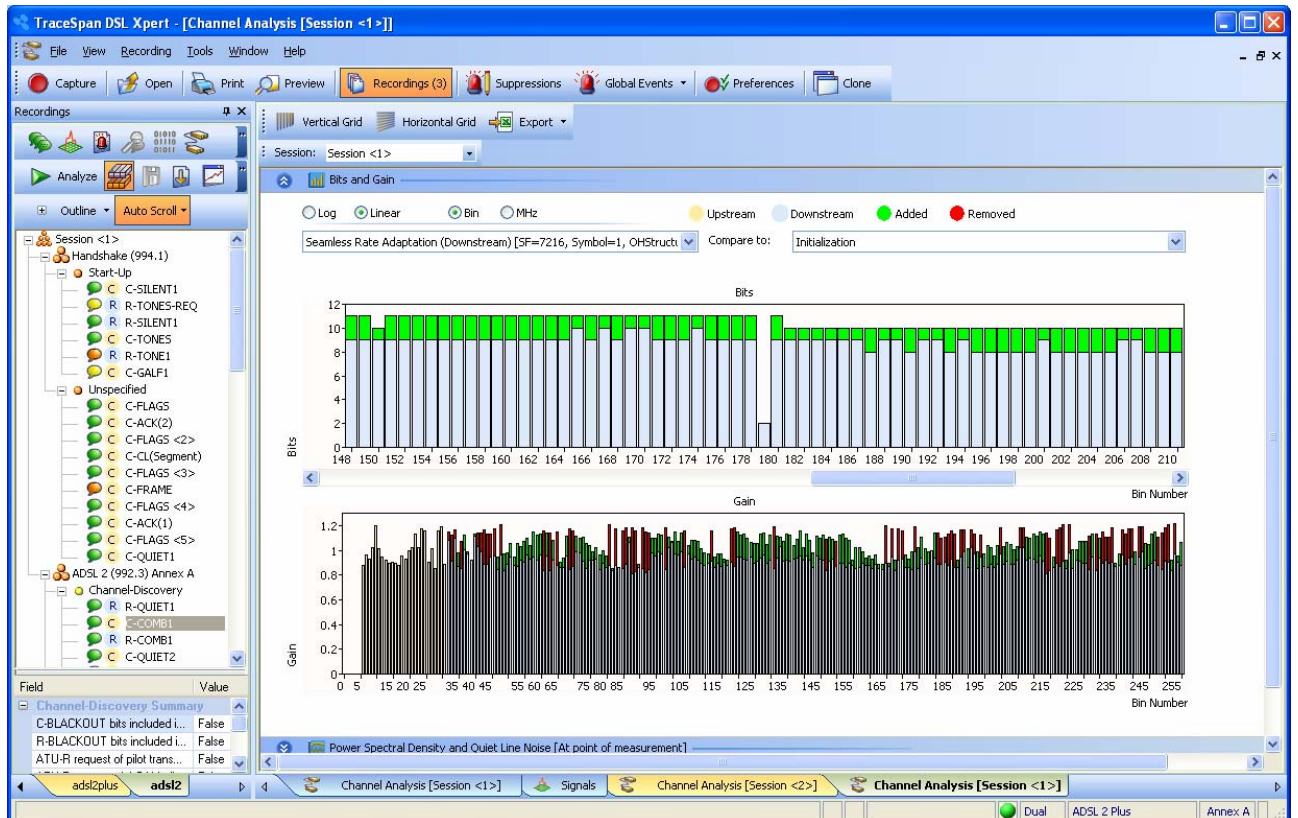
Slika 27: Prehod iz stanja L0 v L2:



Slika 28: Prehod iz stanja L2 v L0:

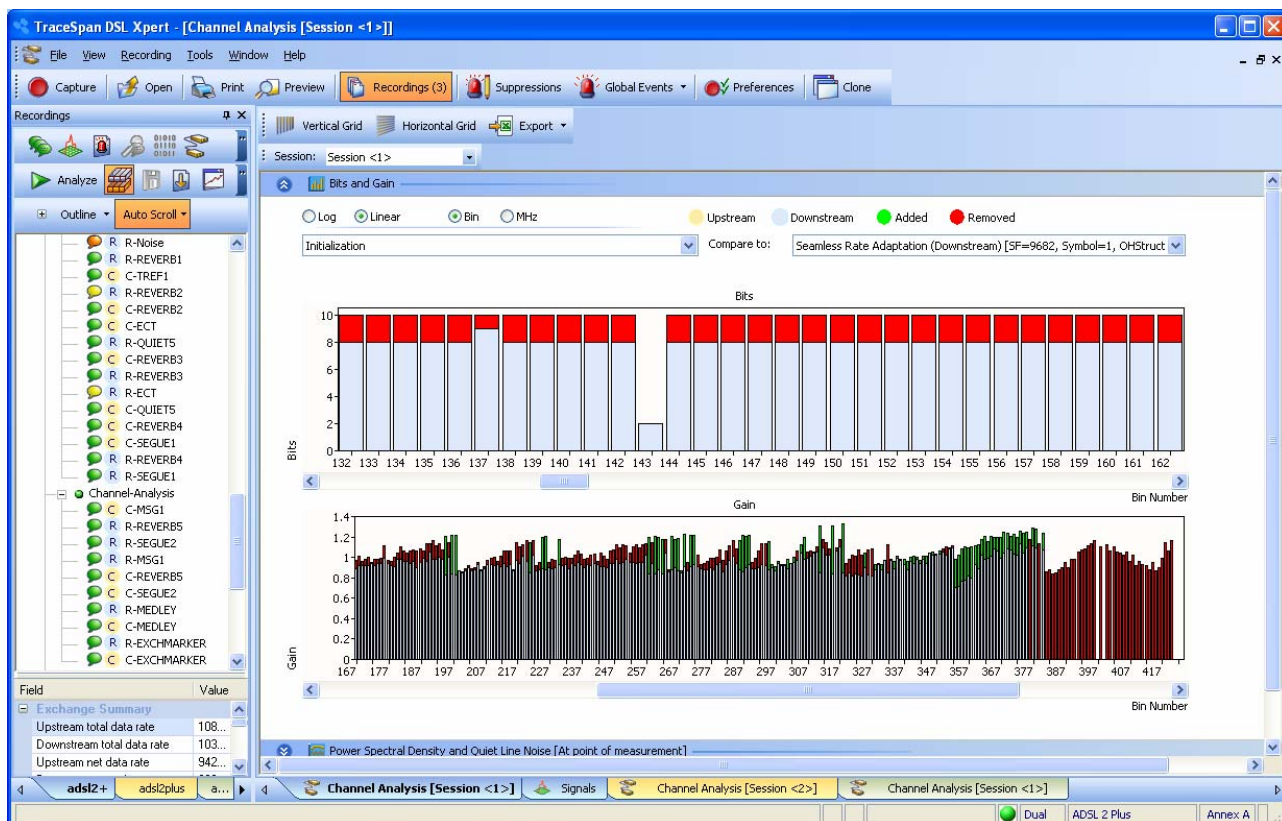
### 3.5 Spremenljivi pilotski ton

Sliki prikazujeta dve različni »showtime stanji«. Na prvi sliki je vidno, da je pilotski ton na nosilcu 179, na drugi pa je na nosilcu 143



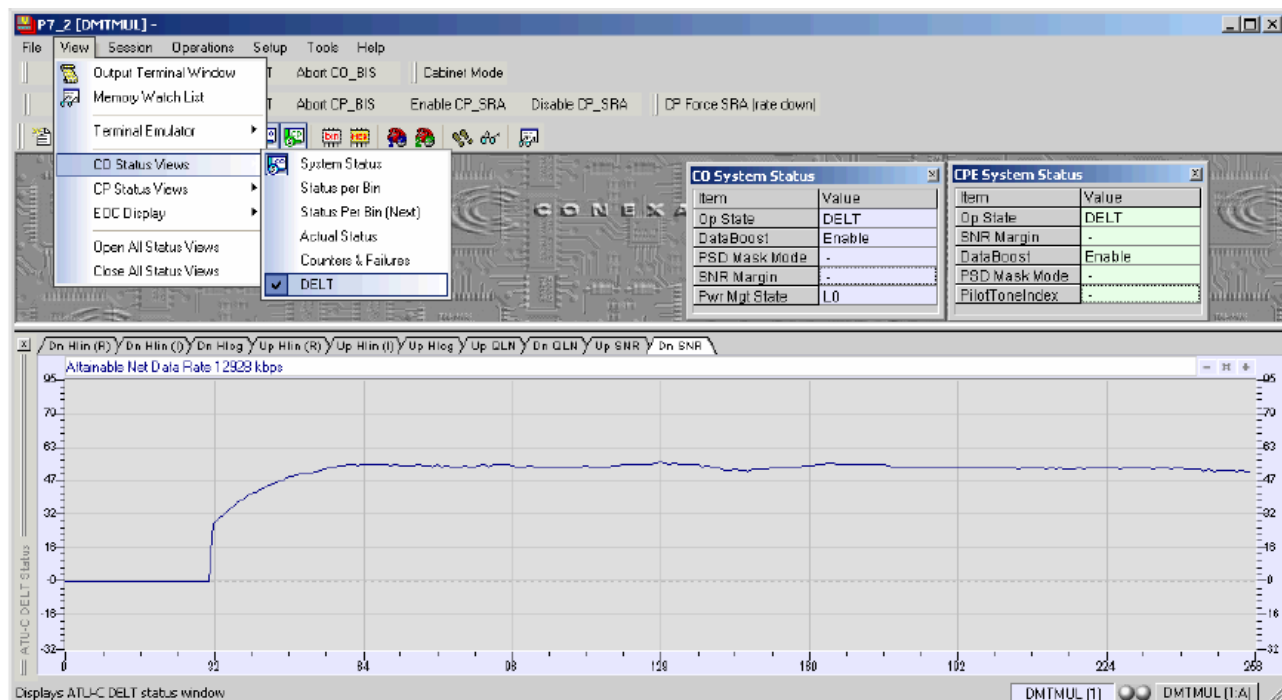
Slika 29: Pilotski ton na nosilcu 179





Slika 30: Pilotski ton na nosilcu 143

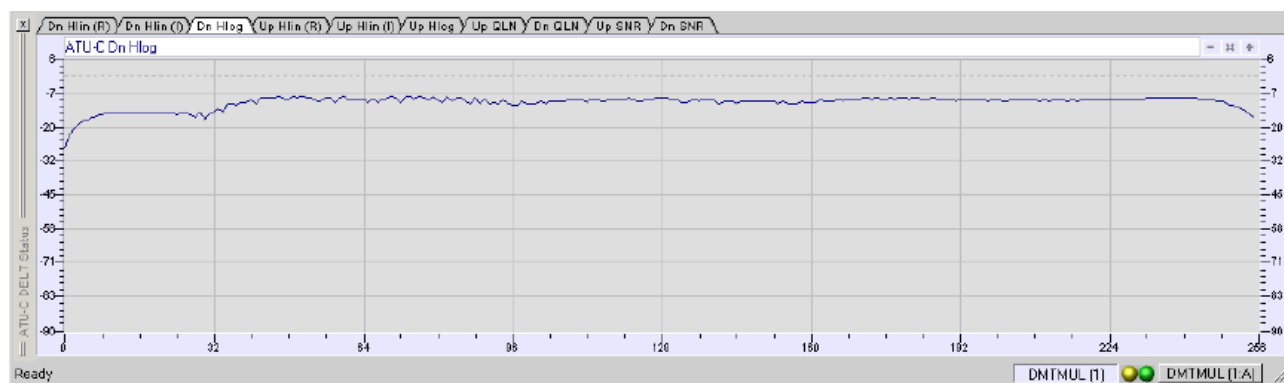
### 3.6 Linijska diagnostika (DELT)



Slika 31: DELT – SNR(f) in ATTNR



Slika 32: DS QLN(f)



Slika 33: DS Hlog(f)

## Literatura

- [1] ITU-T Recommendation G.992.1 (1999): Asymmetrical digital subscriber line (ADSL) transceivers
- [2] ITU-T Recommendation G.992.3 (2005), *Asymmetric digital subscriber line (ADSL) transceivers 2 (ADSL2)*
- [3] ITU-T Recommendation G.992.5 (2005), *Asymmetric digital subscriber line (ADSL) Transceivers – Extended bandwidth ADSL2 (ADSL2+)*
- [4] Thomas Starr, John M. Cioffi, Peter J. Silverman, Understanding digital subscriber line technology, Prentice Hall PTR, 1999
- [5] Conexant Systems Inc, DO-300277-DG Issue 18, Appendix B: MIB parameters for ADSL, ADSL2, ADSL2plus, G.Span and G.Span Plus, June 2005