

- 1. Úvod do problematiky prístupových sietí**
- 2. Analógové a digitálne modulácie**
- 3. Multiplexy, metódy viacnásobného prístupu, duplexná prevádzka**

## Obsah

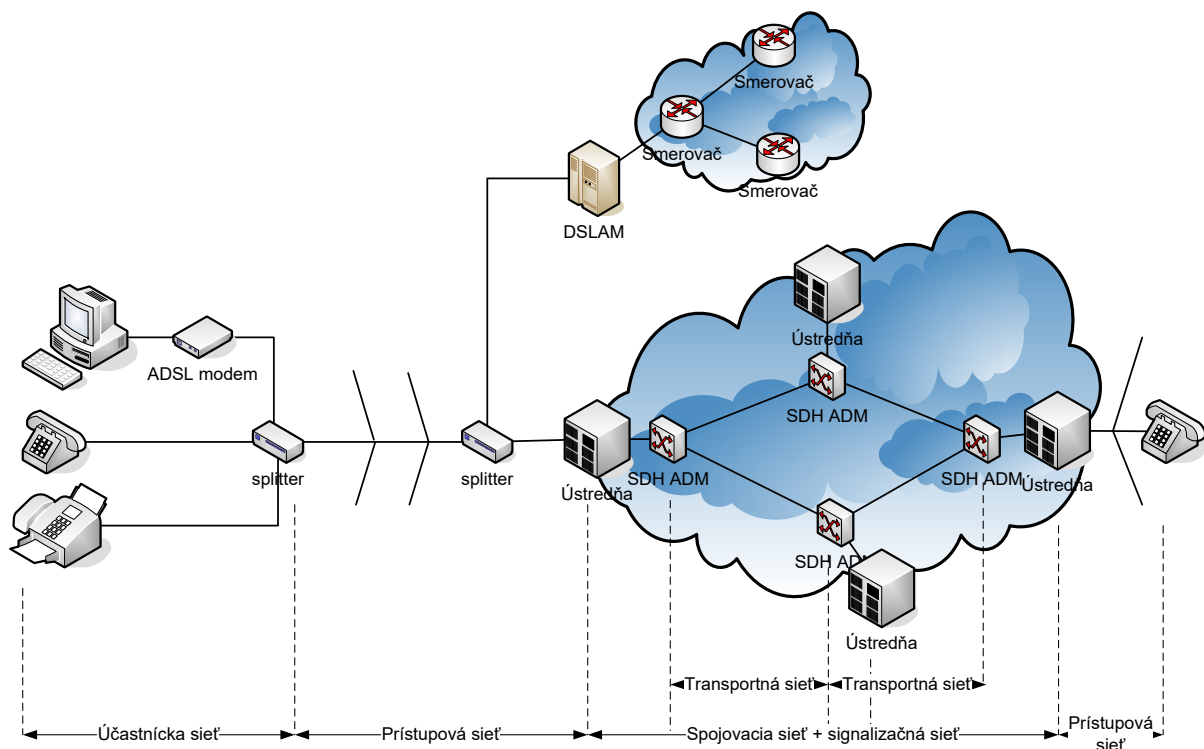
1	Prístupové siete .....	3
1.1	Rozdelenie telekomunikačnej siete .....	3
1.2	Základná špecifikácia prístupovej siete .....	3
2	Modulácie .....	8
2.1	Modulácie s nosnými vlnami .....	8
2.1.1	Vektorové modulácie .....	11
2.1.2	Diskrétna multitónová modulácia (DMT) .....	14
2.2	Modulácie v základnom pásme .....	15
2.2.1	Linkové kódy .....	16
2.3	Otázka vhodnosti digitálnych modulácií pre elektrické signály .....	19
3	Metódy pre zabezpečenie komunikácie cez prenosové médium .....	20
3.1	Multiplexy .....	20
3.1.1	Priestorový multiplex .....	21
3.1.2	Frekvenčný multiplex .....	21
3.1.3	Vlnový multiplex .....	22
3.1.4	Časový multiplex .....	22
3.1.5	Kódový multiplex .....	23
3.1.6	Polarizačný multiplex .....	23
3.2	Prístupové metódy .....	24
3.2.1	Časovo delený viacnásobný prístup - TDMA .....	24
3.2.2	Frekvenčné delený viacnásobný prístup - FDMA .....	25
3.2.3	Vlnovo delený viacnásobný prístup - WDMA .....	26
3.2.4	Kódovo delený viacnásobný prístup - CDMA .....	27
3.3	Zabezpečenie duplexnej prevádzky .....	29
3.4	Vidlica .....	30
3.5	Vidlica s číslicovou kompenzáciou odrazov (echa) .....	31
4	Literatúra .....	32

# 1 Prístupové siete

## 1.1 Rozdelenie telekomunikačnej siete

V telekomunikačnej praxi rozoznávame viacero úrovní a typov sietí:

- Transportná sieť – sieť, ktorej primárnym účelom je prepojenie jednotlivých spojovacích uzlov spojovacej siete
- Spojovacia sieť – sieť, ktorej úlohou je zabezpečiť smerovanie a prepojovanie za účelom výmeny informácií medzi terminálmi
- Prístupová sieť – sieť zabezpečujúca prepojenie medzi účastníckou sieťou a spojovacou sieťou
- Účastnícka sieť – sieť koncových zariadení a prenosových médií patriacich zväčša účastníkovi
- Signalizačná sieť – sieť, ktorá zabezpečuje výmenu informácií potrebných v spojo-orientovanej sieti pre vytvorenie, udržanie a zrušenie spojenia
- Inteligentná sieť (IN) – funkčné rozšírenie služieb siete smerom k zákazníkovi pomocou doplnenia existujúcej siete o ďalšie riadiace bloky, databázy a multimediálne bloky
- Manažmentová sieť (TMN) – Integrácia dohľadových a manažmentových (určených pre správu) systémov všetkých sieťových prvkov do jedného celku umožňujúceho jednoduchšiu a komplexnú správu celej siete

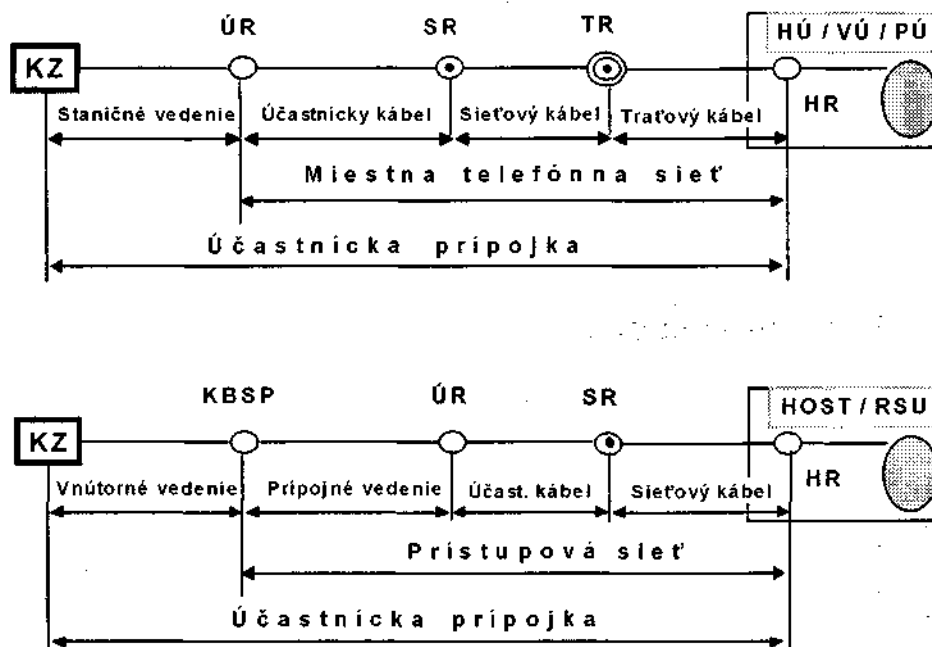


*Zjednodušené zobrazenie jednotlivých typov sietí*

## 1.2 Základná špecifikácia prístupovej siete

Hierarchicky najnižšou, ale významnou časťou modernej telekomunikačnej siete je prístupová sieť (Access Network). Pojem „prístupová sieť“ sa zavádza obyčajne v súvislosti s digitalizáciou telekomunikačnej siete, hoci problematikou prístupu sa treba zaoberať i v sieti analógovej - presnejšie povedané v sieti vybavenej elektromechanickými spojovacími

systémami. V „analogovej“ telekomunikačnej sieti sa rieši účastnícka prípojka metalickými vedeniami, spravidla symetrickými párami, ktoré sa prepojujú v traťovom sieťovom a účastníckom rozvádzači. Vedenia prepojujú zodpovedajúce body medzi hlavným rozvodom miestneho spojovacieho systému HR a účastníckym rozvádzačom ÚR. Metalické vedenia sú zoskupované do miestnych káblov a vytvárajú tzv. "Miestnu telefónnu sieť". V niektorých prípadoch sa používajú jednoduché koncentračné zariadenia (podvojný a skupinový prípojky, koncentrátoři a pod.).



Obr. 1.2 Organizácia prístupu: a) miestna sieť – analógové spojovacie systémy  
 b) prístupová sieť – digitálne spoj. systémy

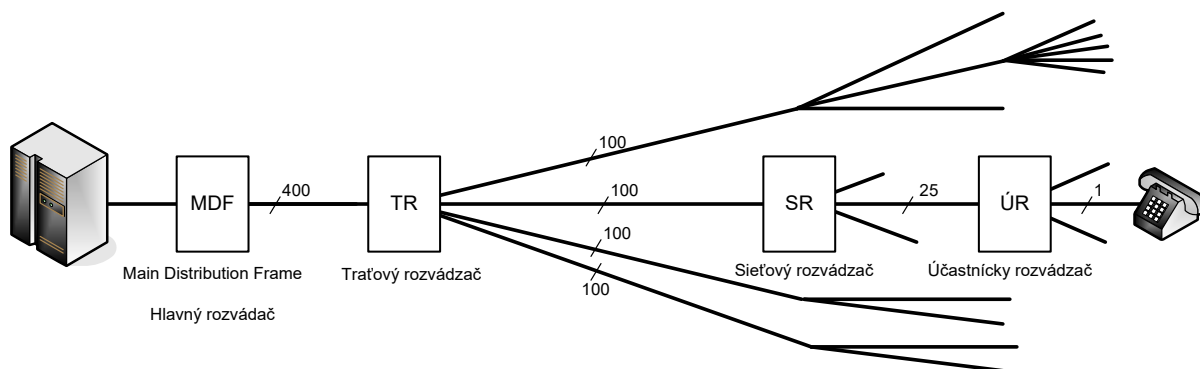
Legenda:

KZ – Koncové zariadenie  
 ÚR – Účastnícky rozvádzač  
 SR – Sieťový rozvádzač  
 TR – Traťový rozvádzač

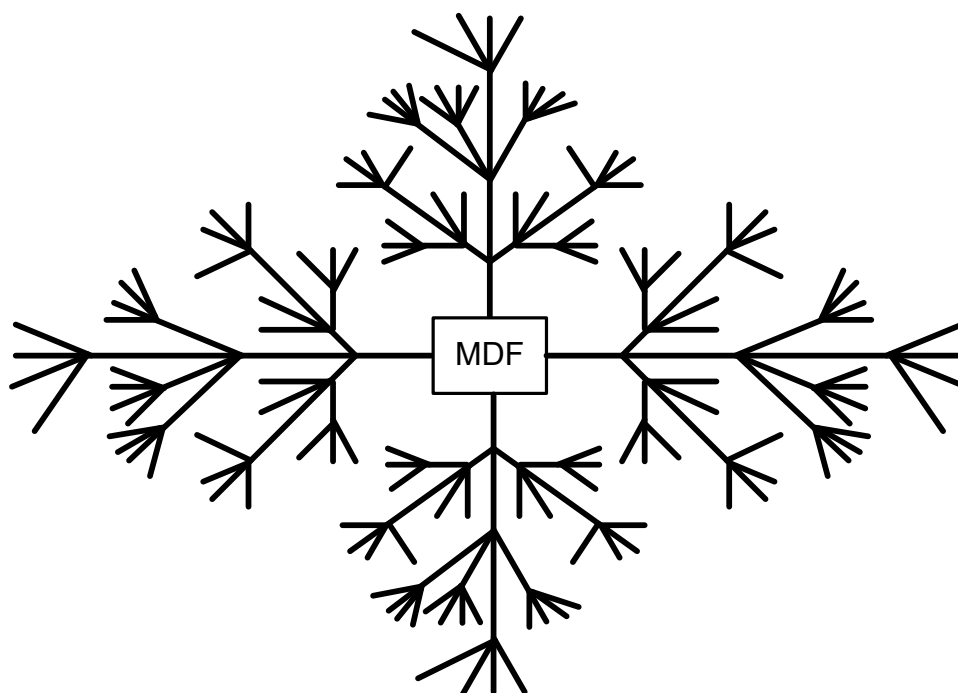
HÚ – Hlavná ústredňa  
 VÚ/PÚ – Vedľajšia ústredňa / podústredňa  
 HOST – Hostiteľská dig. ústredňa  
 RSU – Vzdialená účastnícka jednotka.

Výstavba miestnej siete vyžaduje vysoké investičné náklady, je zdrojom až 75% všetkých porúch vznikajúcich v sieti a rovnako nepriaznivo vysoké sú i náklady na údržbu. Oblasť okolia ústredne, z ktorej sú k nej pripojení účastníci, tzv. atrakčný obvod ústredne, je obmedzený elektrickými parametrami prípojného páru, najmä odporom účastníckej slučky a tlmením vedenia. Polomer dosahuje rádovo kilometre, čo je vzhľadom na nízku kapacitu elektromechanického spojovacieho systému vyhovujúce. Vedenia pracujú s veľmi nízkym využitím, podiel automatizácie na údržbových prácach je pomerne nízky. I keď miestna telefónna sieť plní základnú funkciu prístupu k spojovacej a transportnej sieti, nie je ešte možné hovoriť o sieti prístupovej.

V telekomunikačnej sieti, obsahujúcej v spojovacej sieti digitálne spojovacie systémy, zostáva charakter individuálnej prípojky viac-menej zachovaný. Pribúda definovanie koncového bodu prístupovej siete KBSP. Koncový bod prístupovej siete [1] je fyzický prepojavací bod so štandardným rozhraním medzi verejnou telekomunikačnou sieťou a účastníckym koncovým zariadením a obyčajne ho predstavuje účastnícka zásuvka alebo iné dohodnuté miesto.



*Štruktúra metallickej prístupovej siete pre analógovú telefóniu (POTS)- káblový strom*

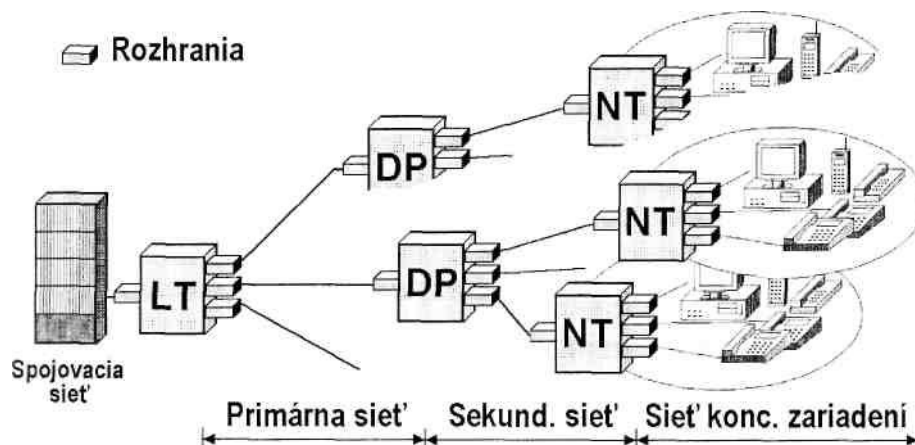


*Pokrytie územia pomocou káblových stromov*

Podstatne vyššie kapacity digitálnych ústrední spôsobujú rozšírenie ich atraktívnych oblastí, čím narastá možná vzdialenosť medzi spojovacím systémom a koncovými zariadeniami účastníkov. Používanie dlhých individuálnych účastníckych prípojok sa stáva vysoko neekonomické alebo technicky nemožné a vyvoláva potrebu decentralizácie tejto časti siete. V počiatočných budovania digitálnej telekomunikačnej siete sa decentralizácia rieši prostredníctvom vzdialených účastníckych jednotiek RSU (Remote Subscriber Unit) pripojených k hostiteľskej ústredni niekoľkými tokmi s kapacitou 2 Mb/s prostredníctvom prenosového systému PDH alebo SDH. Nízka prípojná kapacita jednotiek RSU umožňuje poskytnúť účastníkovi v optimálnom prípade základný prístup ISDN s kapacitou 2B+D. Toky s vyššou kapacitou - napr. primárny prístup 30B+D alebo prenajaté okruhy - musia byť pripojené priamo k hostiteľskej ústredni.

Východiskom je vytvorenie účastníckej siete pripojenej k hostiteľskému spojovaciemu systému štandardným rozhraním, umožňujúcej využívať centralizovaný dohľad nad jej stavom s možnosťou pružnej rekonfigurácie tak, aby bola schopná pri primeraných nákladoch zabezpečiť ľubovoľnému účastníkovi prístup k spojovacej a transportnej sieti s požadovanou prenosovou kapacitou. Tak vzniká prístupová sieť.

Prístupovou sieťou rozumieme časť telekomunikačnej siete, zabezpečujúcej prenos signálov medzi koncovými bodmi účastníckych vedení a spojovacej siete, zabezpečujúcej teda prístup účastníkov k službám poskytovaným vyššími sieťovými úrovňami. Logická architektúra prístupovej siete - s ohľadom na to, že jednou z jej úloh je koncentrácia prevádzky z účastníckych terminálov do spojovacej siete - je stromová, prípadne hviezdicová, i keď fyzická architektúra môže byť rozdielna - napr. kruhová sieť. Prístupová sieť je rozdelená na dve úrovne, primárnu a sekundárnu. Primárna úroveň zabezpečuje transport informačných tokov spoločným prenosovým prostredím medzi jednotkou zakončenia LT, pripojenou k spojovacej sieti a distribučným bodom DP, rozdeľujúcim prevádzkové toky k jednotlivým sekundárnym podsietiam. Distribučný bod je možné chápať ako vnútorné rozhranie prístupovej siete. V závislosti od technológie použitej v prístupovej sieti je distribučný bod realizovaný optickými alebo optoelektronickými prvkami, prípadne základňovou rádiovou stanicou.



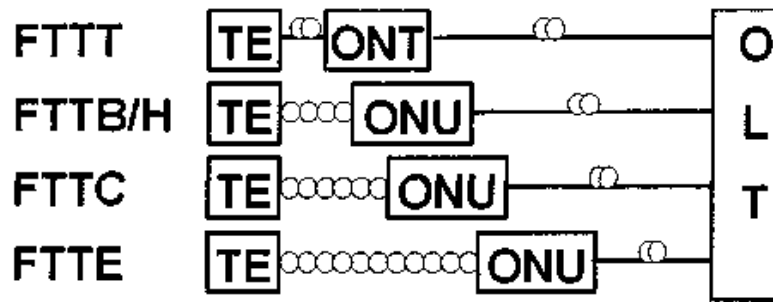
Sekundárna sieť zabezpečuje transport tokov k zakončeniam prístupovej siete NT, ku ktorým sú cez účastnícke rozhrania pripojené účastnícke koncové zariadenia. Zároveň primárna a sekundárna prístupová sieť tvoria dve najnižšie úrovne prenosovej siete, tretiu a štvrtú.

Z hľadiska budúcej širokopásmovej siete je zrejmé, že základné prenosové médium bude optické vlákno a optický prístupový systém. Vo všeobecnosti obsahuje zakončenie optického linkového traktu na strane spojovacieho systému v jednotke OLT (Optical Line Termination) a na strane terminálu v jednotke ONT (Optical Network Termination) alebo ONU (Optical Network Unit), ak jednotka zabezpečuje konverziu signálov do elektrickej oblasti a vytvorenie štandardných účastníckych rozhraní -obr. 1.5.

Architektúra optickej prístupovej siete umožňuje pripojenie účastníckeho terminálu:

- Priamo optickým rozhraním, čo je principiálne možné v architektúre FTTH (Fibre to the Terminal), ktorá poskytuje síce takmer neobmedzenú šírku pásma a flexibilitu prípojky z hľadiska typov služieb, ale zároveň (z pohľadu súčasných dní i blízkej budúcnosti) extrémne vysoké náklady na zriadenie a prevádzku takejto prípojky
- Kombináciou optického a metalického média - teda hybridnou technológiou vo všetkých ostatných prístupových architektúrach. V závislosti od polohy rozhrania medzi optickou a metalickou časťou prístupovej siete sú známe rôzne architektúry prístupu, známe ako:
  - FTTH - Fibre to the Home, pri ktorom zakončenie optickej prístupovej siete je v blízkosti terminálu, ktorý je na zakončenie pripojený metalickým vedením s dĺžkou jednotiek až desiatok metrov

- FTTB - Fibre to the Building, s relatívne krátkym úsekom metalického páru, nepresahujúcim spravidla niekoľko sto metrov
- FTTC - Fibre to the Curb, kde je zakončenie optickej prístupovej siete situované do exteriéru v blízkosti účastníka (účastníkov), do vzdialenosti okolo 1 km
- FTTE - Fibre to the Exchange, pri ktorom zakončenie optickej siete je umiestené do objektu, kde bol predtým umiestený spojovací systém, a kde teda končia na rozvode príslušné prípojné vedenia.



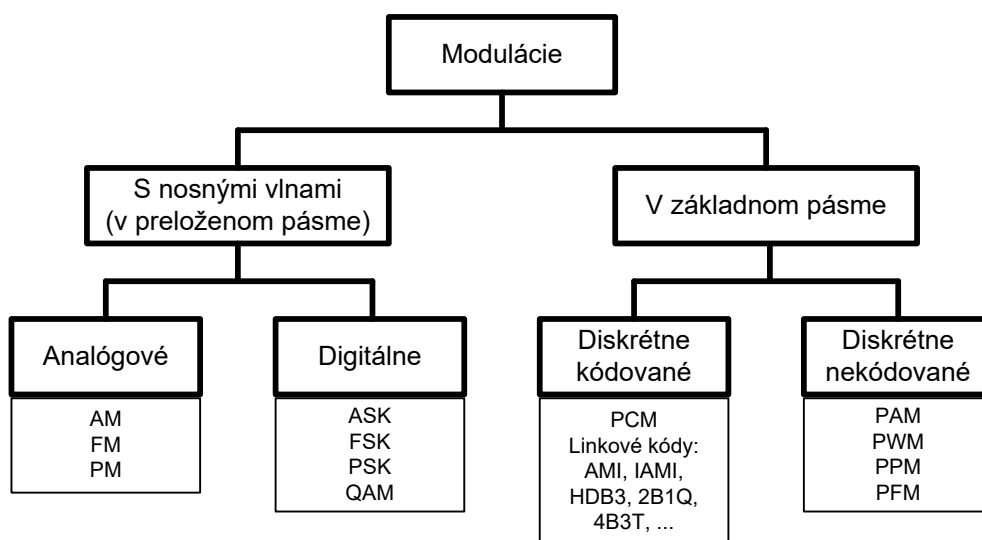
Obr. 1.5. Stratégie prístupu po optickom vlákne

## 2 Modulácie

Pre prenos informácie je potrebné preniesť signál, ktorý je nositeľom tejto informácie. Z teórie informácií vyplýva, že signály, ktoré sú plne predpovedateľné (deterministické) a teda v sebe neobsahujú žiadnu náhodnosť, tak nemôžu prenášať žiadnu informáciu. Pre prenos informácie je potrebné preniesť signál, ktorého charakter musí byť náhodný, pričom najmenej jedna z jeho charakteristických vlastností určuje informačný obsah prenášanej správy.

Z uvedeného dôvodu periodický harmonický signál s nemennou amplitúdou, frekvenciou a fázou nenesie žiadnu informáciu. Ak ale budeme (náhodne) meniť niektorý z menovaných parametrov tohto signálu, potom sa takýto proces nazýva modulácia signálu. Výsledný modulovaný signál nesie informáciu.

Modulácie možno rozdeliť podľa rôznych kritérií a vytvoriť tak relatívne komplexný model. Pre našu potrebu bude postačovať rozdeliť modulácie podľa tohto pavúka :-).



*Rozdelenie modulácií s vymenovaním niektorých základných modulácií*

### 2.1 Modulácie s nosnými vlnami

Tento typ modulácií sa využíva najmä pri rádiových prenosoch, kedy je potrebné zabezpečiť aby prenášaný signál bolo možné odvysielať, prijať a súčasne aj efektívne preniesť cez prenosové médium (voľný priestor). Z uvedeného dôvodu musí byť daný signál preložený do oblasti vyšších frekvencií, teda sa nachádza v preloženom pásme.

Nezávisle od toho či sa jedná o analógové alebo digitálne modulácie, možno definovať túto základnú terminológiu:

Nosný signál – vysokofrekvenčný signál, ktorý vo svojej pôvodnej forme nenesie žiadnu informáciu, ale je vhodný na prenos cez dané prenosové médium

Modulačný signál – nízko-frekvenčný signál, ktorý nesie požadovanú informáciu

Modulovaný signál – vysokofrekvenčný signál, ktorý v sebe nesie požadovanú informáciu a je vhodný pre prenos cez dané prenosové médium

Časový priebeh nosnej vlny možno popísať pomocou rovnice:

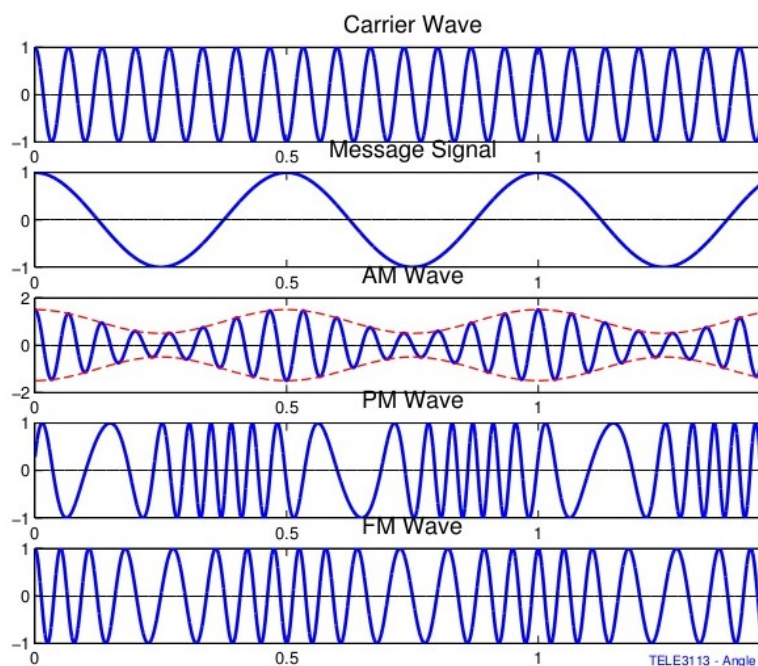
$$y(t) = y_m \sin(\omega t + \varphi) = y_m \sin(2\pi f t + \varphi)$$



Nosná vlna má teda harmonický priebeh a možno ju popísať pomocou troch parametrov: amplitúdy, frekvencie a počiatočnej fázy.

Pri modulácii dochádza k zmene najmenej jedného z týchto parametrov na základe modulačného signálu. Modulačný signál ovplyvňuje jeden (alebo dva) parametre nosného signálu. Podľa toho, aký parameter sa mení, možno rozdeliť analógové modulácie na:

- Amplitúdová modulácia (AM - Amplitude Modulation) - ovplyvňuje sa amplitúda nosného signálu,
- Frekvenčná modulácia (FM - Frequency Modulation) - ovplyvňuje sa frekvencia nosného signálu,
- Fázová modulácia (PM - Phase Modulation) - ovplyvňuje sa fáza nosného signálu,

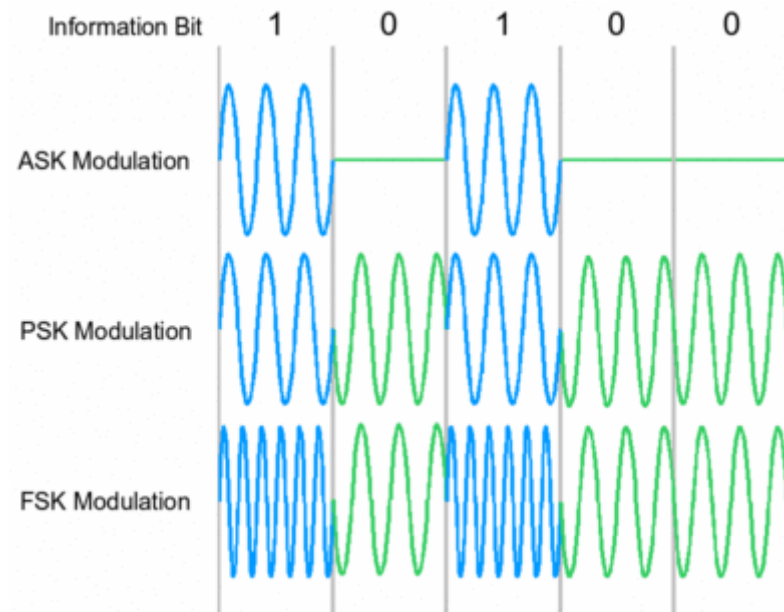


Časové priebehy signálov AM, PM a FM

Analógové modulácie vznikajú tak, že sa pomocou **analógového** modulačného signálu (signálu spojitého v čase a amplitúde) moduluje analógová harmonická nosná vlna.

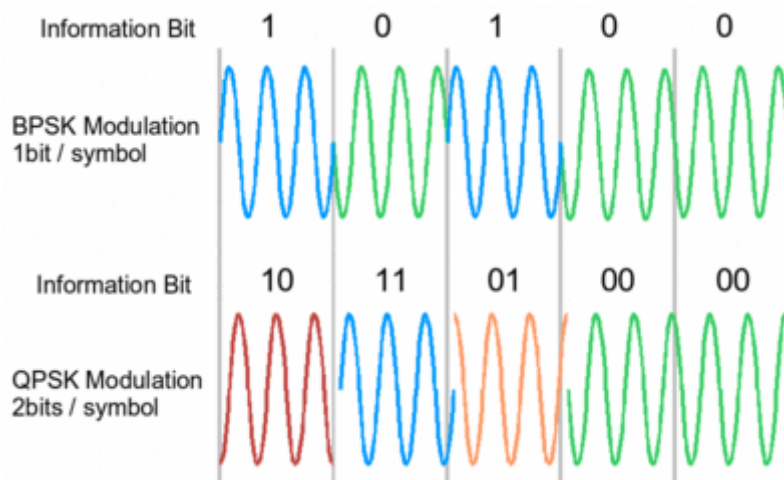
Digitálne modulácie sa líšia od analógových tým, že modulačným signálom je digitálny signál. Ak je modulačný signál dvojstavový, potom získame tieto digitálne modulácie:

- Amplitude-Shift Keying, t.j. ASK – amplitúdové kľúčovanie
- Frequency-Shift Keying, t.j. FSK – frekvenčné kľúčovanie
- Phase-Shift Keying, t.j. PSK – fázové kľúčovanie



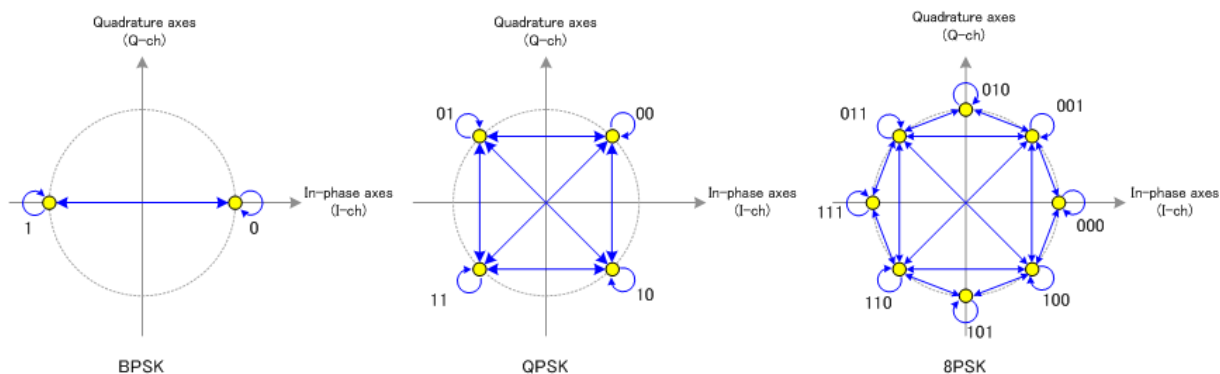
*Modulácie ASK, PSK a FSK*

Ak by sme napr. pri fázovej modulácii mali diskretný modulačný signál s viac ako dvomi stavmi, tak by výsledný modulovaný signál bol viacstavový a jednalo by sa o viacstavovú fázovú moduláciu – napr. QPSK (Quadrature PSK).



*Porovnanie binárnej a kvadratúrnej fázovej modulácie*

Každý signál v modulácii PSK možno charakterizovať pomocou jeho počiatočnej fázy. Ak znázorníme tieto počiatočné fázy do roviny s kružnicou, získame tzv. konštelačný diagram.



Konštelačný diagram pre modulácie BPSK, QPSK a 8PSK

### 2.1.1 Vektorové modulácie

Pri vytváraní symbolov s veľkým počtom stavov je všeobecne výhodné oddeľovať jednotlivé symboly nielen z hľadiska úrovne, ale definovať ich z pohľadu úrovne i fázy signálu, teda vektorovo v komplexnej rovine. Metódy umiestenia symbolov do komplexnej roviny súhrnne nazývame vektorovou moduláciou. Nech je komplexný symbol situovaný do koncového bodu vektora vyjadreného harmonickým signálom s konštantnou uhlovou frekvenciou  $\omega$ , v čase premenlivou amplitúdou  $U(t)$  a fázou  $\varphi(t)$ , vyjadreného vzťahom:

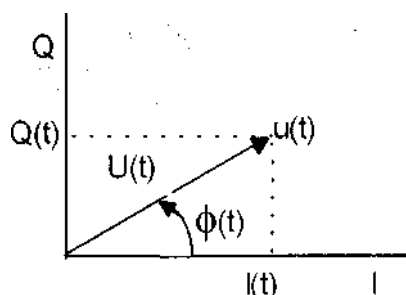
$$u(t) = U(t) \cdot \sin(\omega t + \varphi(t))$$

Ten istý bod vektorovej roviny je možné dosiahnuť súčtom dvoch signálov s rovnakou frekvenciou, ale so vzájomným fázovým posunom  $\pi/2$  (sú v kvadratúre) a s amplitúdami  $I(t)$  a  $Q(t)$ :

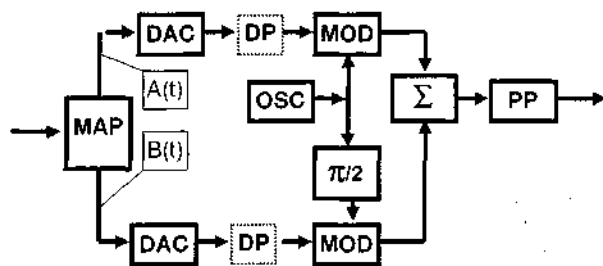
$$u(t) = I(t) \cdot \sin(\omega t) + Q(t) \cdot \cos(\omega t)$$

Tento princíp predstavuje univerzálny spôsob vytvárania viacstavových modulácií, pretože prenášaný  $k$ -ty symbol  $S(k)$  je možné umiestiť do ľubovoľnej polohy so súradnicami  $\{I(t), Q(t)\}$  v komplexnej rovine. O type a vlastnostiach použitej modulácie rozhoduje len spôsob mapovania dátových prvkov do jednotlivých symbolov a preddefinované hodnoty úrovni prevodníkov ADC.

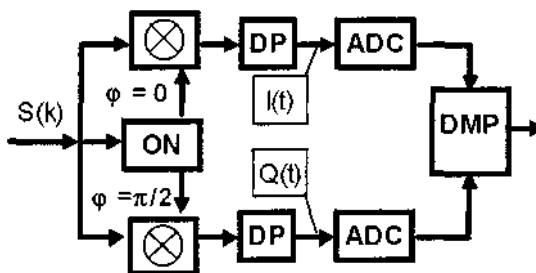
Pozn.: V rovine signálového priestoru sú dve osi: I – in-phase a Q – quadrature.



Princíp vytvárania vektorových modulácií

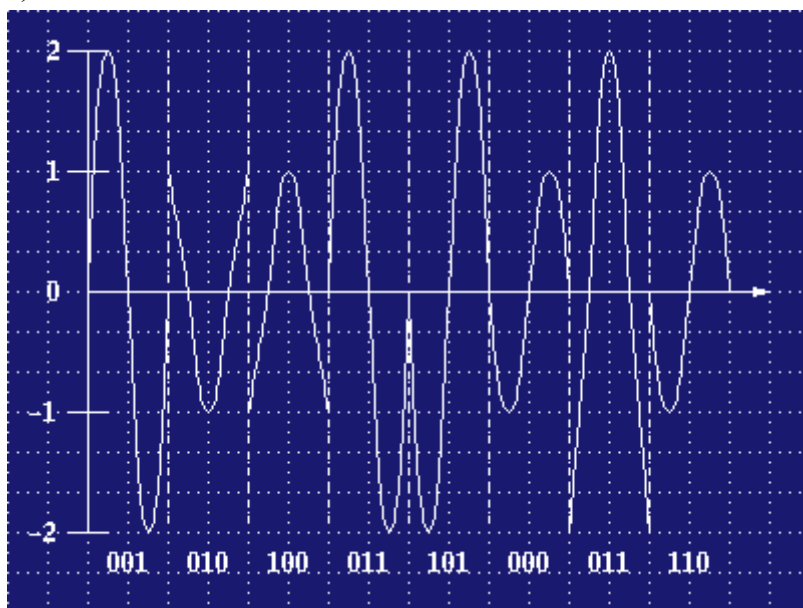


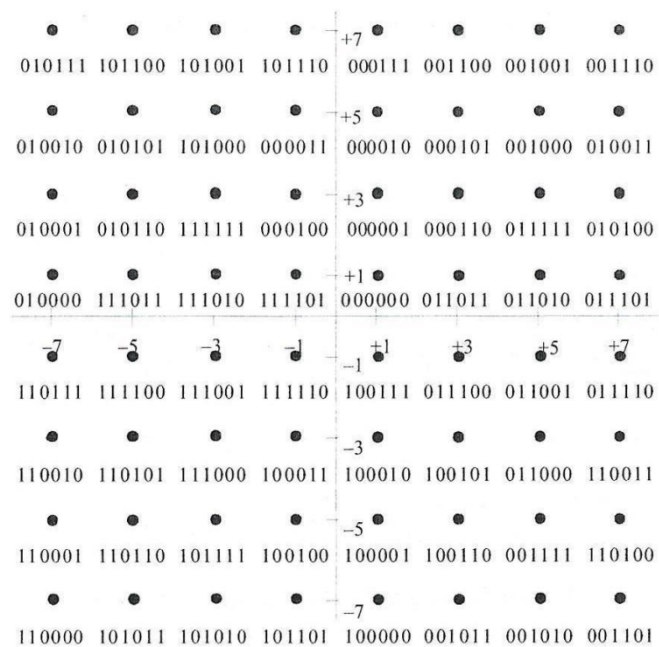
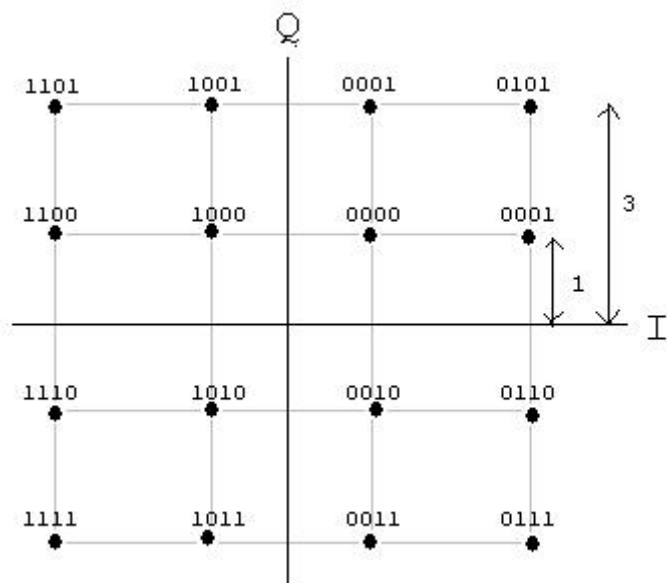
Obr. 8.10 Princíp vektorového modulátora



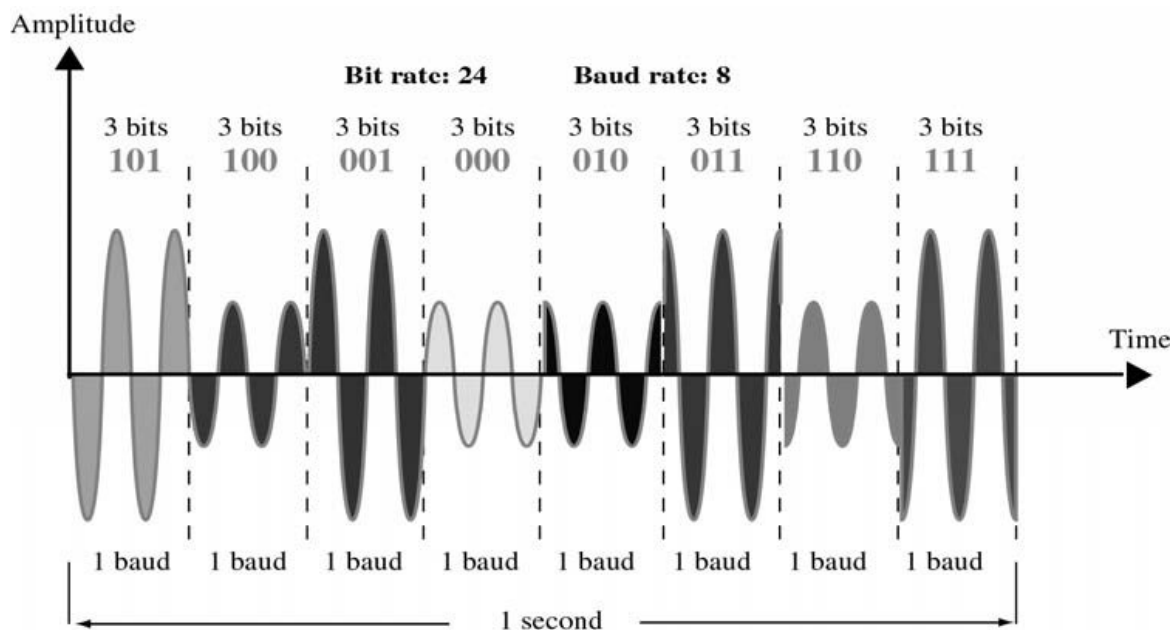
Obr. 8.11 Princíp vektorového demodulátora

Typickým príkladom vektorovej modulácie je kvadrátúrna amplitúdová modulácia (QAM).





*Diagram amplitúdovo fázových stavov pre 64 stavovú QAM moduláciu*



*Vzťah medzi prenosovou a modulačnou rýchlosťou*

### 2.1.2 Diskrétna multitónová modulácia (DMT)

Diskrétna multitónová modulácia DMT (Discrete Multi - Tone) sa snaží minimalizovať nevýhody všeobecných vektorových modulácií:

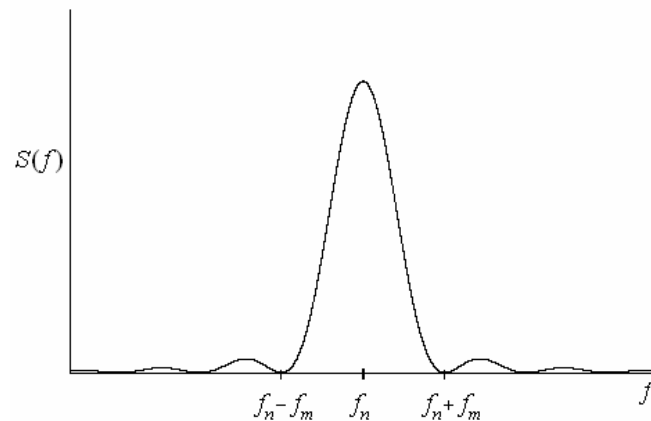
- potrebu veľkej šírky pásma, z čoho vyplývajú vysoké nároky na adaptívne korektory prenosovej charakteristiky
- citlivosť na rušenie
- nárast nárokov na minimálnu hodnotu odstupu S/Š s pribúdajúcim počtom stavov
- neschopnosť reagovať na prítomnosť vysokofrekvenčných interferencií RFI
- oneskorenie pri generovaní symbolu tým, že plnenie vyrovnávacieho registra v mapperi trvá nezanedbateľný čas, čo komplikuje činnosť adaptívnych digitálnych korektorov.

Pri použití DMT sa použiteľné frekvenčné pásmo rozdelí na veľký počet subkanálov so šírkou jednotiek kHz. Každý subkanál prenáša symboly modulované QAM na nosnej posadenej do stredu subkanála. Výkonová spektrálna hustota sa udržiava v každom subkanáli rovnako veľká. Prenosové charakteristiky subkanálu sú, vzhľadom na jeho malú šírku frekvenčné pomerne málo závislé, čo minimalizuje nároky na ich korekciu. S ohľadom na nárast tlmenia s frekvenciou treba však vyrovnať úroveň jednotlivých subkanálov pred demoduláciou.

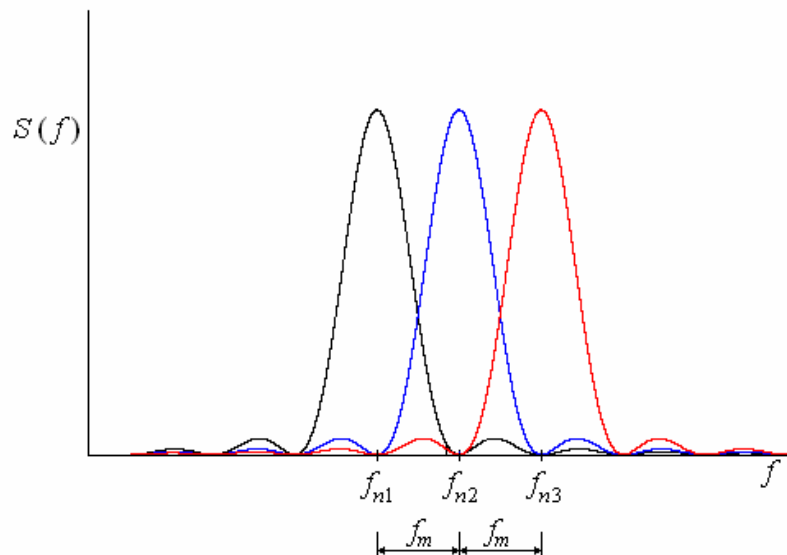
Systém DMT je navrhnutý ako adaptívny, riadiace procedúry optimalizujú DMT tak, aby v každom okamihu poskytovala maximálne využitie kapacity prenosového média. Adaptibilita sa dosahuje:

- meraním odstupu signál/šum pred prenosom v jednotlivých subkanáloch a vylúčením všetkých nosných s nevyhovujúcou hodnotou S/Š, alebo s prítomnosťou RFI
- stanovením počtu stavov QAM v jednotlivých subkanáloch tak, aby sa dodržal predpísaný limit chybovosti

- kontrolou chybovosti BER počas prenosu a následnou dynamickou zmenou nosných a modulačných stupňov pri prekročení BER.



*Spektrum QAM modulovaného signálu*

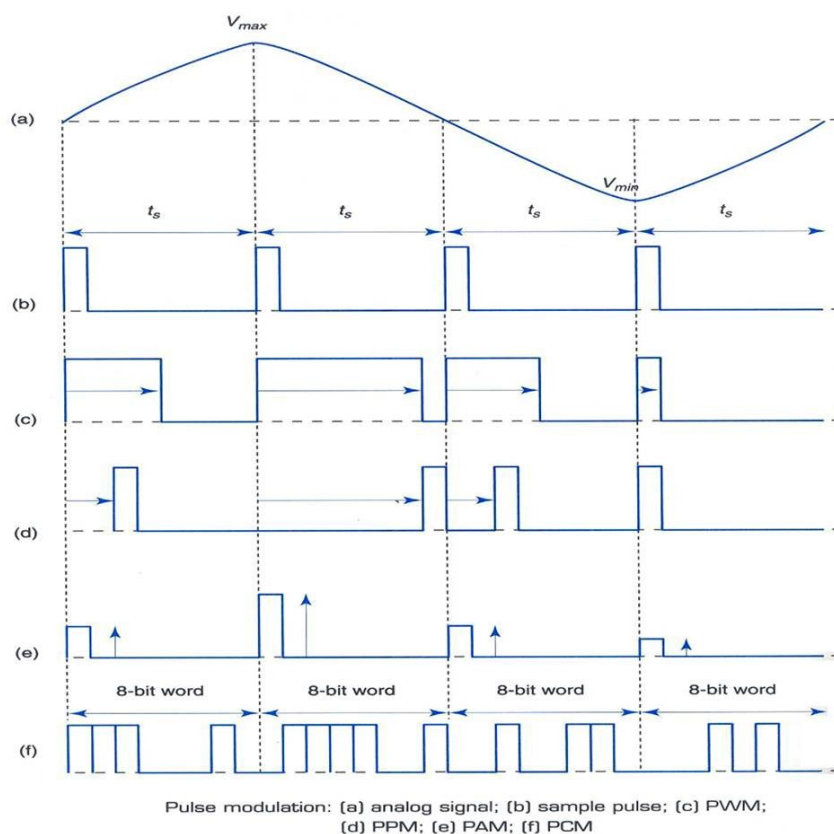


*DMT: Ortogonálny frekvenčný digitálny multiplex – jeho spektrum*

## **2.2 Modulácie v základnom pásme**

Medzi prakticky vôbec nepoužívané modulácie v základnom pásme využívané v telekomunikačnej technike, patria tzv. nekódované modulácie:

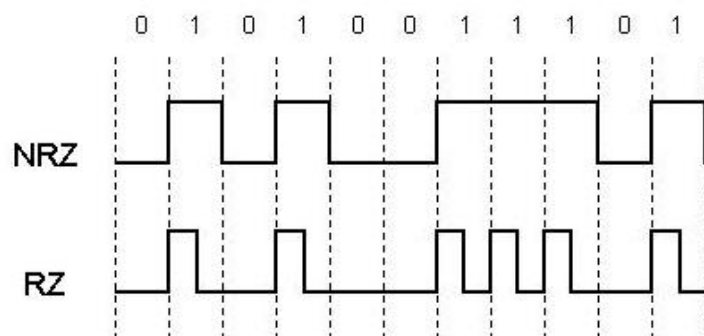
- Pulzná amplitúdová modulácia PAM (Pulse Amplitude Modulation)
- Pulzná šírková modulácia PWM (Pulse Width Modulation)
- Pulzná fázová (polohová) modulácia PPM (Pulse Phase Modulation)
- Pulzná frekvenčná modulácia PFM (Pulse Frequency Modulation)
- Pulzná kódová modulácia PCM (Pulse Code Modulation)



V praxi sa najčastejšie využívajú linkové kódy, ktoré sú spomínané v ďalších kapitolách.

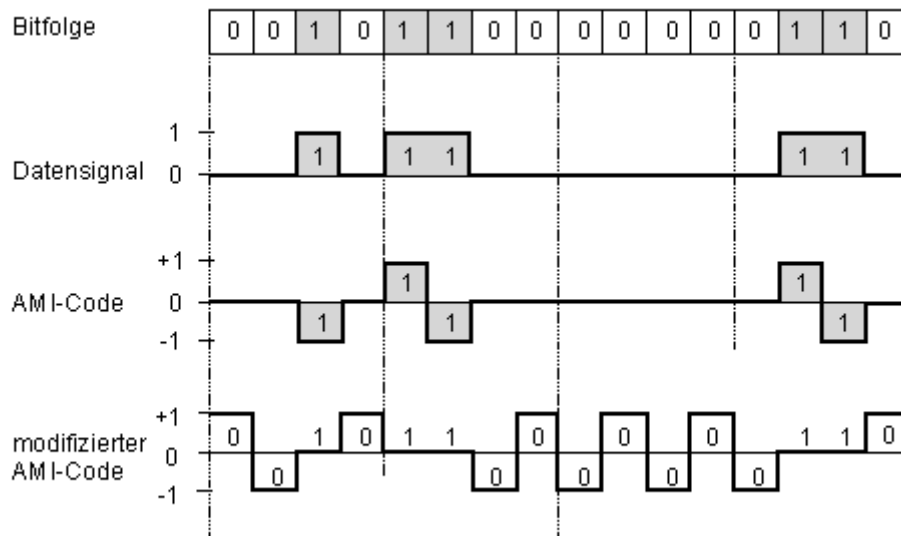
### 2.2.1 Linkové kódy

Číslicové obvody používané na spracovanie digitálnych signálov poskytujú na svojich výstupoch signál s jedinou polaritou (tzv. unipolárny signál, napríklad úroveň  $L = 0$  V, úroveň  $H = +5$  V). Unipolárny signál spĺňa vyššie stanovené kritériá len čiastočne, preto v obvodoch linkových traktov meníme jeho charakter. Ak z hľadiska polohy frekvenčného spektra prenášaného signálu vyhovuje prenos v základnom pásme, v obvodoch linkových traktov premieňame unipolárny signál na linkový kód. Ak treba presunúť frekvenčnú polohu spektra prenášaného signálu do vhodnejšej frekvenčnej oblasti, používame moduláciu.



*Return to Zero a No Return to Zero kód*





*AMI a modifikovaný (inverzný) AMI kód*

Najjednoduchší linkový kód používaný v metalických prístupových sieťach je kód s pravidelným striedaním polarity signálu, AMI (Alternate Mark Inversion). Kód má tri napäťové stavy, +1, 0 a -1, Binárny signál s logickou úrovňou H sa kóduje striedavo kladným a záporným impulzom, signál s úrovňou „L” je vyjadrený stavom bez napätia. Kódovanie sa robí s návratom k nule. V niektorých prípadoch sú úrovne priradené vstupným signálom vymenené z dôvodu zbernicovej konfigurácie rozhrania (napr. v digitálnej prípojke ISDN - BRA na rozhraní S<sub>1</sub>). Linkový kód AMI má nevýhodné vlastnosti z hľadiska obnovy taktu (strata synchronizácie pri dlhšej postupnosti signálov s úrovňou „0”), čo je možné odstrániť predspracovaním signálu do pseudonáhodnej postupnosti použitím skremblera.

Modifikáciou kódu AMI je kód HDB3 (High Density Bipolar, ITU-T G.703), ktorý obmedzuje dĺžku súvislej skupiny symbolov s nulovou úrovňou na najviac tri nahradením skupiny špeciálnym symbolom pri súčasnom narušení bipolarity. Ak sa v dátovej postupnosti nachádzajú štyri po sebe idúce nuly 0000, tak sú nahradené buď sekvenciou 000V alebo B00V. Bit V (violation) spôsobuje narušenie bipolarity, t.j. má rovnakú polaritu ako predošlý bit s logickou hodnotou 0 alebo V. Inak povedané bit V je kódovaný ako + alebo - napätie, ale s rovnakou polaritou ako mal predošlý bit kódovaný s + alebo - polaritou. Bit B (balance) sa vkladá pre vykompenzovanie predošlého narušenia bipolarity. Medzi dvoma bitmi V je vždy nepárny počet B bitov. Bity B aj V samozrejme kódujú logickú hodnotu 0 a sú identifikovateľné prijímačom práve kvôli narušeniu bipolarity, ktorá sa pri AMI kóde nevyskytuje.

Prijímač HDB3 kódu vždy jednoducho deteguje dve po sebe idúce nuly a narušenie bipolarity. Na základe toho vie, že sekvenciu 4 bitov musí interpretovať ako logické nuly 0000.

V kódach HDB3 a AMI prebieha mapovanie jedného vstupného prvku do jedného symbolu linkového kódu, takže symbolová a prenosová rýchlosť sú si číselne rovné.



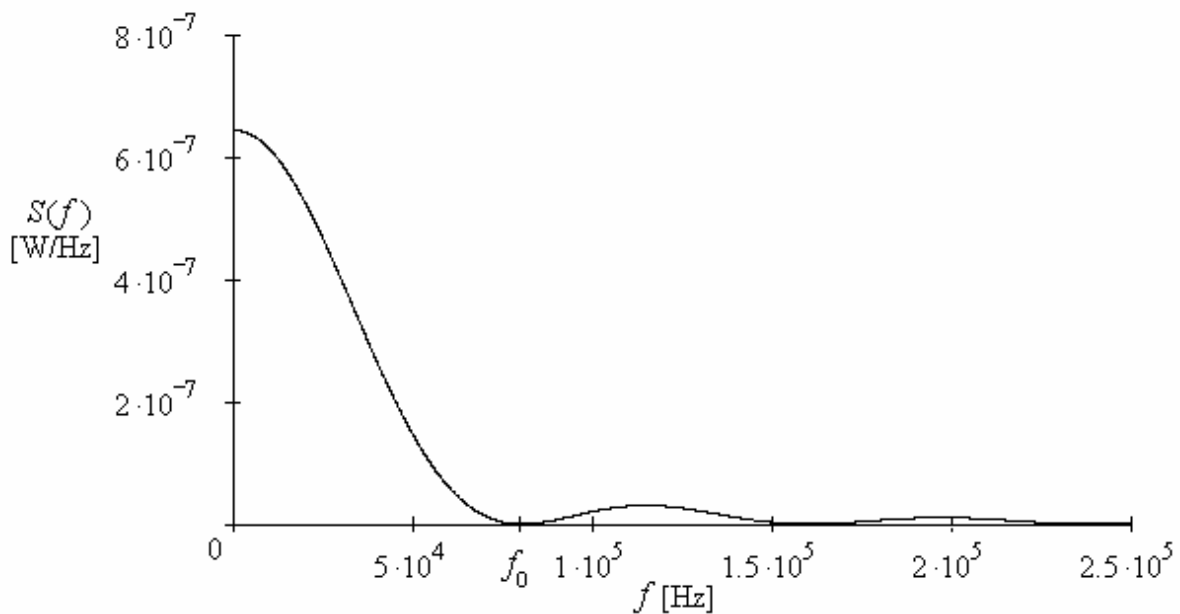
Pre BRA ISDN platí:

$m = 4$  – počet stavov linkového kódu

$U = 2,5 \text{ V}$  – amplitúda impulzov

$f_0 = 80\,000 \text{ Hz}$  – medzná frekvencia

$R = 135 \, \Omega$  – charakteristická impedancia vedenia



*Spektrálna výkonová hustota pre BRA ISDN*

### **2.3 Otázka vhodnosti digitálnych modulácií pre elektrické signály**

Jedným z hlavných faktorov, určujúcich efektívne využitie vlastností prenosového média, je optimálna voľba charakteru prenášaného signálu. Vo všeobecnosti pri prenose požadujeme:

- súhlasnú frekvenčnú polohu spektra prenášaného signálu a prenosu prenosového média
- minimalizáciu nárokov na šírku frekvenčného pásma
- dobré vlastnosti z hľadiska obnovy taktu na vstupe prijímača, čo je nevyhnutné z hľadiska bitovej synchronizácie
- rovnomerné rozdelenie výkonovej hustoty signálu
- nulový obsah jednosmernej zložky, čo je nevyhnutné pri prenose cez galvanický oddelené prenosové prostredie (translátory a pod.).

### 3 Metódy pre zabezpečenie komunikácie cez prenosové médium

V telekomunikačnej praxi je potrebné nielen zabezpečiť komunikáciu medzi najmenej dvomi zariadeniami, ale je taktiež potrebné vyriešiť tieto problémy:

1. Akým spôsobom čo najlepšie využiť prenosové médium pre prenos čo najväčšieho množstva signálov (dát)
2. Ako zabezpečiť „súčasnú“ existenciu viacerých komunikačných relácií a komunikáciu v rámci nich
3. Ako zabezpečiť „súčasnú“ komunikáciu v oboch smeroch

Prvý problém možno riešiť viacerými prístupmi ako je použitie vhodnej modulácie, počtu stavov modulovaného signálu, vhodného frekvenčného pásma a pod. Tieto problémy boli spomínané v predošlých statiach.

Druhý problém je otázkou toho, ako je riadený prístup na prenosové médium z hľadiska komunikačných relácií pochádzajúcich od rôznych zdrojov. V prípade, že preposielateľom informácií je iba jedno zariadenie, ktoré preposiela informácie od ostatných zariadení, potom je problém súčasného prenosu relatívne jednoduchý a možno ho riešiť pomocou tzv. multiplexov. Inak povedané, ak k prenosovému médiu pri vysielaní pristupuje iba jedno zariadenie, potom tento problém možno riešiť pomocou multiplexov. Ak ale k prenosovému médiu pristupuje viac ako jedno zariadenie, potom je potrebné tento problém riešiť pomocou metód viacnásobného prístupu.

Tretí problém sa zaoberá otázkou zabezpečenia obojsmernej komunikácie, t.j. duplexnej komunikácie, alebo zjednodušene - duplexu.

#### 3.1 Multiplexy

Multiplex je metóda prenosu viacerých signálov cez jedno prenosové médium. Z prichádzajúcich signálov sa v multiplexore vytvára výsledný signál, ktorý možno preniesť cez prenosové médium a na druhej strane ho pomocou demultiplexora opäť previesť na viaceré signály, ktoré sa prakticky nelíšia od tých, ktoré vstupovali do multiplexora.

Multiplex možno zabezpečiť viacerými spôsobmi, na základe čoho rozoznávame tieto základné multiplexy:

- Priestorový multiplex SDM (Space-division multiplex)
- Frekvenčný multiplex FDM (Frequency-division multiplex)
- Vlnový multiplex WDM (Wave-division multiplex)
- Časový multiplex TDM (Time-division multiplex)
- Kódový multiplex CDM (Code-division Multiplex)
- Polarizačný multiplex PDM (Polarisation-division multiplex)

V ďalších kapitolách sa bude občas používať pojem kanál. Pod kanálom možno rozumieť časť multiplexu, ktorá neovplyvňuje iné časti. Inak povedané, ak prenášam v rámci multiplexu jeden signál cez kanál A a druhý signál cez kanál B, tak tieto signály sa v princípe nemôžu významne ovplyvňovať. Samozrejme obidva kanály ale využívajú to isté prenosové médium.

### 3.1.1 Priestorový multiplex

Tento typ multiplexu je dosť netypický, pretože prísne vzaté to nie je multiplex, keďže využíva iný priestor prenosového média.

Pri komunikácii cez metalické médium možno tento multiplex chápať tak, že každý metalický pár môže prenášať iné informácie, pričom všetky metalické páry sú súčasťou jedného kábla, ktorý sa považuje za jedno prenosové médium. Tento prístup je ale prinajmenšom sporný.

Podobne existujú systémy, ktoré umožňujú komunikovať medzi dvoma bodmi s priamou viditeľnosťou pomocou laserových lúčov na vzdialenosť aj niekoľko kilometrov až desiatok kilometrov.

V oblasti rádiových sietí možno aplikovať nasmerovanie vyžarovacieho laloku antény smerom k jednej skupine terminálov tak, aby anténa nežiarila smerom k iným terminálom.

Podobne možno pri štandarde 802.11n a modernejších využiť technológiu MIMO, kedy je využité viaccestné šírenie signálu a tým sa znásobuje kapacita kanála.

### 3.1.2 Frekvenčný multiplex

Princíp frekvenčného multiplexu je založený na vytvorení rôznych frekvenčných kanálov, t.j. na prenose signálov v rôznych frekvenčných pásmach. Tento prenos prebieha cez jedno prenosové médium, v rovnakom čase, môže prebiehať s rovnakou moduláciou a rovnakou polarizáciou.

Typickým príkladom frekvenčného multiplexu je vysielanie rozhlasových staníc v rôznych frekvenčných pásmach. V závislosti od toho, ktorý kanál (frekvenčné pásmo) si naladíme na rádioprijímači, takú rozhlasovú stanicu budeme počúvať.

Už z princípu frekvenčného multiplexu je zjavné, že je pri prenose vhodné použiť modulácie s nosnými vlnami.

*Niektoré kanály pre systém DVB-T*

Kanál	Frekvenčný rozsah kanála	Frekvencia DVB-T
21	470 - 478 MHz	474 MHz
22	478 - 486 MHz	482 MHz
23	486 - 494 MHz	490 MHz
24	494 - 502 MHz	498 MHz
25	502 - 510 MHz	506 MHz
...	...	...

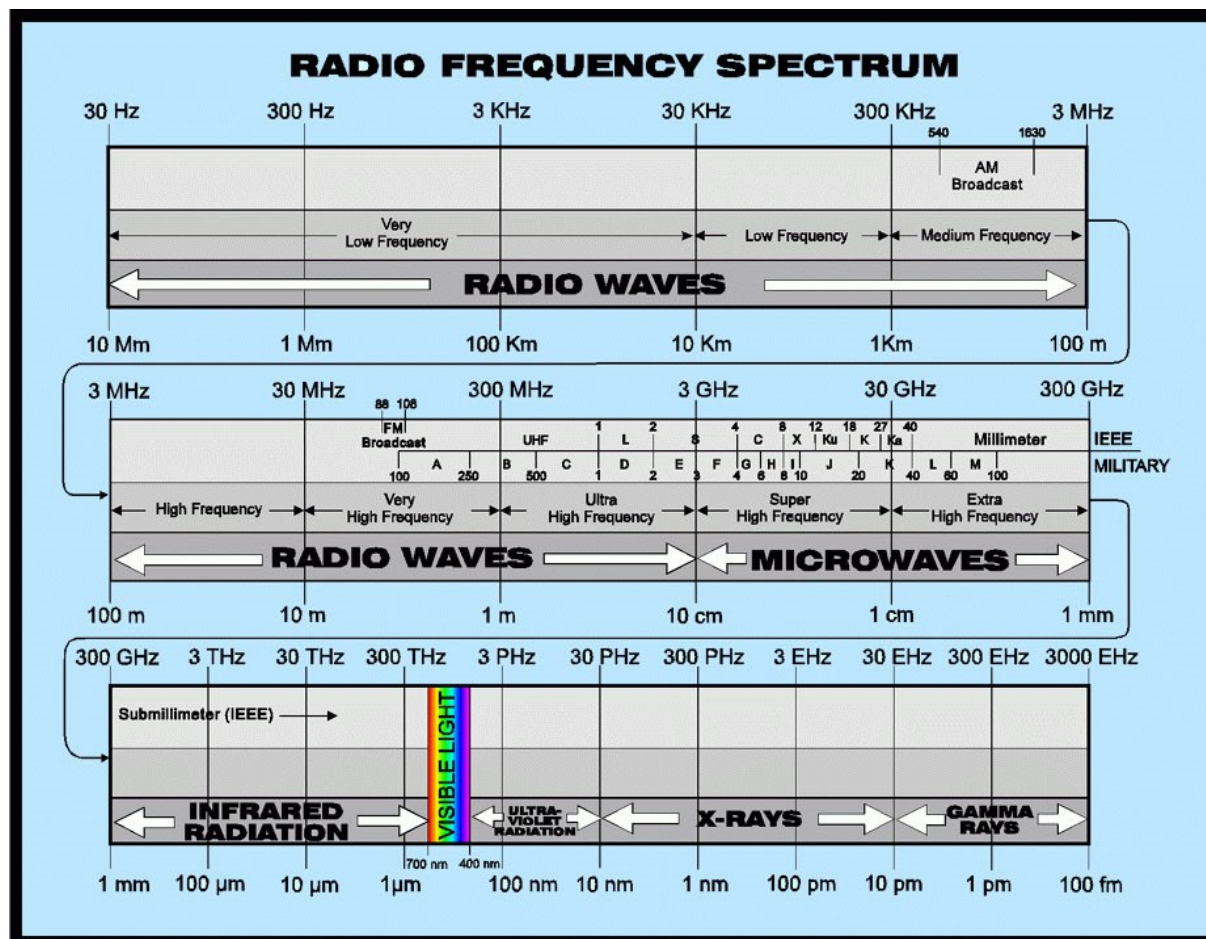
*Rozdelenie pásiem pre rádiové vlny*

3 - 30 Hz	extrémne dlhé vlny	ELF
30 - 300 Hz	super dlhé vlny	SHF
300 - 3000 Hz	ultra dlhé vlny	ULF
3 - 30 kHz	veľmi dlhé vlny	VLF
30 - 300 kHz	dlhé vlny	LF
300 - 3000 kHz	stredné vlny	MF
3 - 30 MHz	krátke vlny	HF
30 - 300 MHz	veľmi krátke vlny	VHF
300 - 3000 MHz	ultra krátke vlny	UHF
2 - 30 GHz	centimetrové vlny	SHF
30 - 300 GHz	milimetrové vlny	EHF

300 - 3000 GHz	decimilimetrové vlny	
----------------	----------------------	--

### 3.1.3 Vlnový multiplex

Vlnový multiplex je v podstate frekvenčný multiplex v oblasti frekvencií typických pre optiku. Zjednodušene povedané, každý kanál používa inú vlnovú dĺžku.



*Rozdelenie frekvenčného spektra pre elektromagnetické vlnenie*

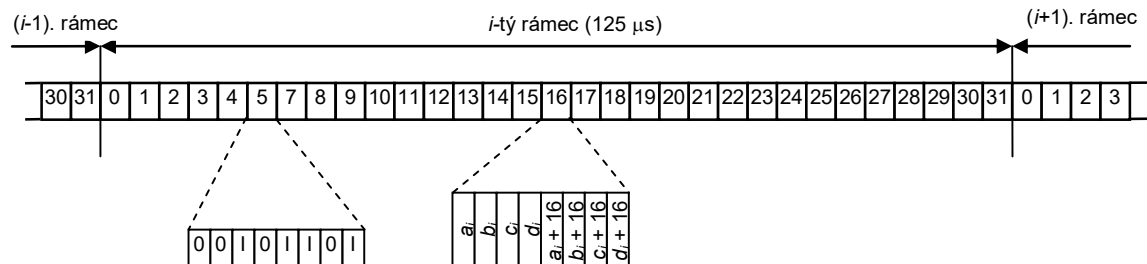
### 3.1.4 Časový multiplex

Pri časovom multiplexe sa vysielajú rôzne signály v rovnakom frekvenčnom pásme, cez jedno prenosové médium, s rovnakou polarizáciou a s možnosťou rovnakej modulácie.

K multiplexovaniu viacerých signálov dochádza vďaka tomu, že informačný obsah daného signálu je odvysielaný za kratší čas ako mal pôvodný signál. Tento čas sa nazýva časový kanál. Zvyšný čas je potom možné využiť pre odosielanie informácií, ostatnými časovými kanálmi. Aby bolo možné odoslať požadované informácie za kratší čas, je potrebné prenášať informácie v digitálnej, nie analógovej forme. Tento multiplex je preto vhodný iba na prenos digitalizovaných informácií = dát.

Pri časovom multiplexe dochádza k periodickému vysielaniu na jednotlivých kanáloch. Najprv sa odošle časť dát v rámci prvého kanálu, potom sa odosiela časť dát cez druhý kanál a tak ďalej, až kým sa neodoslú dáta cez posledný kanál. Po odvysielaní dát cez posledný kanál sa celý proces opakuje a dáta sú odosiadané opäť cez prvý kanál.

Časový multiplex je v súčasnosti snád' najpoužívanejším multiplexom v telekomunikačnej praxi.



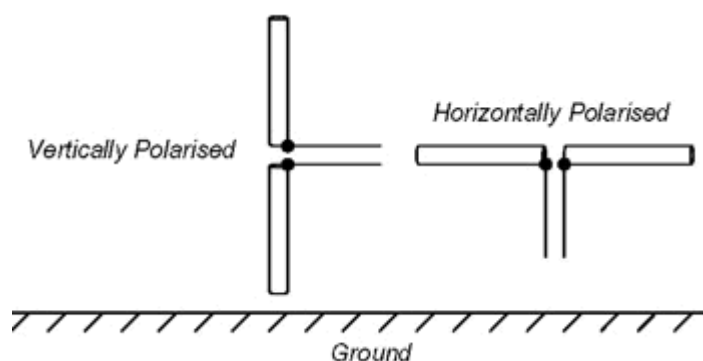
Časový rámeček multiplexu E1

### 3.1.5 Kódový multiplex

Pri kódovom multilexe sú kanály vytvorené v kódovej oblasti, t.j. k vysielaniu rôznych kanálov dochádza v tom istom frekvenčnom pásme, čase a priestore, s použitím rovnakej polarizácie a trebárs aj modulácie. Jediné v čom sa od seba jednotlivé kanály odlišujú je použitý kód. Jednotlivé kódy pre kanály sú navzájom ortogonálne, t.j. prijímač si zo zhluku kanálov dokáže vyselektovať jeden z nich na základe znalosti jeho kódu. Samozrejme, že tento princíp má aj svoje negatíva, medzi ktoré patrí nutnosť rozšírenia širý pásma jedného kanála, napr. pomocou metódy priameho rozprestretia spektra.

### 3.1.6 Polarizačný multiplex

Polarizačný multiplex je založený na fakte, že elektromagnetická vlna je polarizovaná. Elektromagnetická vlna obsahuje dve zložky E a H, ktoré sú navzájom kolmé. Ak by sme mali vytvorenú komunikačný kanál pomocou dvoch Yagi (v prekade z japončiny – koza ☺) antén s rovnakou polarizáciou, tak tento kanál bude schopný prenášať informácie. Ak by sme jednu anténu pootočili o cca 45 stupňov, znížila by sa efektivita prenosu energie medzi anténami, čo spôsobí v prijímači zníženie odstupu signálu od šumu a to môže následne spôsobiť napr. zvýšenie chybovosti pri prenose. Ak by ale došlo k vzájomnému pootočeniu antén o 90 stupňov, potom by teoreticky prijímač nebol schopný prijímať signál z vysielateľa. Tento fakt možno využiť pre vytvorenie napr. dvoch kanálov, pričom každý z nich bude využívať inú (navzájom ortogonálnu) polarizáciu. Ortogonálne polarizácie sú napr. horizontálna a vertikálna, kruhová ľavotočivá a kruhová pravotočivá.



Vertikálna a horizontálna polarizácia anténových dipólov

## 3.2 Prístupové metódy

V prístupovej sieti sa možno stretnúť s viacerými prístupovými metódami, medzi ktoré patria:

- Časovo delený viacnásobný prístup TDMA (Time Division Multiple Access)
- Frekvenčne delený viacnásobný prístup FDMA (Frequency Division Multiple Access)
- Vlnovo delený viacnásobný prístup WDMA (Wave Division Multiple Access)
- Kódovo delený viacnásobný prístup CDMA (Code Division Multiple Access)

### 3.2.1 Časovo delený viacnásobný prístup - TDMA

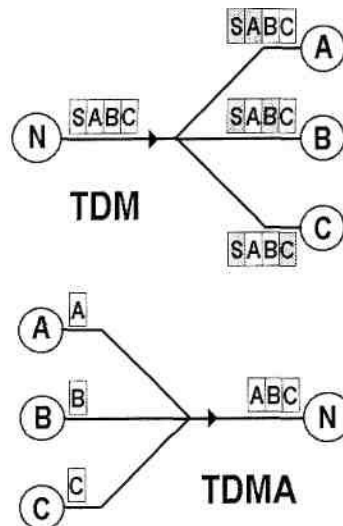
Časovo delený viacnásobný prístup prideliť prenosovú kapacitu v časovo delených kanálových intervaloch. Principiálne vychádza z časovo deleného multiplexu (Time Division Multiplex, TDM), ktorý predpokladá vytvorenie prenosovej relácie typu „bod - bod“ bez potreby riadiť prístup na prenosové médium. Pri nárokoch na vytvorenie relácie typu „bod - viac bodov“ treba doplniť mechanizmus multiplexovania čiastkových tokov o procedúry zabezpečujúce časovo delený viacnásobný prístup na prenosové médium - teda TDMA (Time Division Multiple Access). Multiplexovanie údajov z jednotlivých terminálov do spoločného toku smerujúceho k centrálnemu uzlu môže byť:

- Orientované bitovo, čiže súvislý dátový tok sa vytvára multiplexovaním príspevkových bitov jednotlivých terminálov. Tie musia byť plne synchronizované, pričom oneskorenie prenosového média musí byť zanedbateľné. Tento prípad je viac-menej teoretický a dá sa použiť len pri nízkych prenosových rýchlostiach.
- Orientované blokovo, pri ktorom sú účastnícke dáta zoskupené do blokov, navzájom oddelených medzerou. V závislosti od prenosovej kapacity priradenej každému terminálu môžeme rozlišovať organizáciu:
  - s pevným pridelením prenosovej kapacity
  - s dynamickým prideľovaním kapacity.

Systémy s pevným pridelením prenosovej kapacity majú prenos obyčajne organizovaný v rámcoch. Prístupové metódy s dynamickým prideľovaním kapacity, používané v sieťach pracujúcich v asynchrónnom prenosovom móde (Asynchronous Transfer mode, ATM) vyžadujú na prideľovanie kapacity mechanizmus vyhodnocovania nárokov na prenosové médium zo strany jednotlivých terminálov a prideľovanie oprávnení na vysielanie pre jednotlivé ONU zodpovedajúcim protokolom MAC.

Predstavme si jednoduchú sieť so stromovou architektúrou (obr. 2.4). Požadujeme zabezpečiť obojsmerný prenos informácie medzi centrálnym uzlom N a koncovými uzlami - terminálmi siete (A, B, C), pričom predpokladáme rámcovo orientovaný prístup s pevným pridelením prenosovej kapacity. V smere z centrálného uzla do terminálov, teda „z bodu k viacerým bodom“, je možné použiť jednoduchý časový multiplex TDM. Pri použití synchrónneho prenosového módu prebieha prenos v rámcoch, ktoré sa začínajú kanálovým intervalom nesúcim slovo rámcovej synchronizácie. Každý terminál sa bitovo a rámcovo zasynchronizuje na prichádzajúci dátový tok. Ak každý terminál má pridelený príslušný kanálový interval, je schopný dekodovať práve jemu prislúchajúce dáta.





Obr. 2.4 Princíp TDM / TDMA

V opačnom smere (v literatúre označovanom „Upstream“) treba zostaviť podobný rámec na vstupe prijímača centrálného uzla, pričom každý kanálový interval generuje iný terminál. Fyzická vzdialenosť medzi centrálnym uzlom a terminálmi je vo všeobecnosti rôzna, rôzne je teda i oneskorenie a tlmenie jednotlivých trás.

Preto treba zabezpečiť:

- optimálne časovanie vysielania jednotlivých terminálov tak, aby v spoločnom uzle siete nedochádzalo k prekryvaniu jednotlivých kanálových intervalov, a to ani pri kolísaní oneskorenia v povolenom intervale
- bitovú synchronizáciu prijímača na začiatku príjmu každého informačného bloku
- kompenzovanie premenlivej hodnoty tlmenia jednotlivých trás.

Na zabezpečenie časovania vysielania jednotlivých terminálov musí riadiaca procedúra v centrálnom uzle merať oneskorenie medzi uzlom a terminálom, vypočítať oneskorenie, ktoré musí terminál pri vysielaní dodržať, aby jeho údaje „zapadli“ do príslušného kanálového intervalu a preniesť tieto informácie do terminálu. Procedúra nastavenia optimálneho časovania pre každý terminál prebieha postupnou aproximáciou. Nazýva sa „Ranging“ a prebieha v troch fázach:

- predbežné nastavenie časovania, tzv. približný statický ranging
- jemné statické dostavenie časovania,
- dynamické doladenie a synchronizácia - dynamický ranging.

### 3.2.2 Frekvenčné delený viacnásobný prístup - FDMA

Frekvenčné delený viacnásobný prístup FDMA pracuje, podobne ako frekvenčné delený multiplex FDM, na princípe delenia celkovej kapacity prenosového média na väčší počet frekvenčné delených segmentov. Každý segment je pevne priradený jednému prenosovému kanálu. Vzhľadom na stabilitu frekvencie treba medzi jednotlivými segmentmi vynechať „ochranné“ frekvenčné pásmo, čo znižuje efektivitu využitia kapacity kanálu. Metóda FDMA podobne nie je vhodná, ak treba súčasne vysielat' dáta všetkým účastníkom (tzv. „Broadcast“), pretože majú pridelené rôzne frekvenčné kanály. Jej hlavné použitie je v oblasti rádiových prístupových systémov. Technika frekvenčného multiplexu sa však často používa v kombinácii s inými metódami (TDMA, WDMA,...).

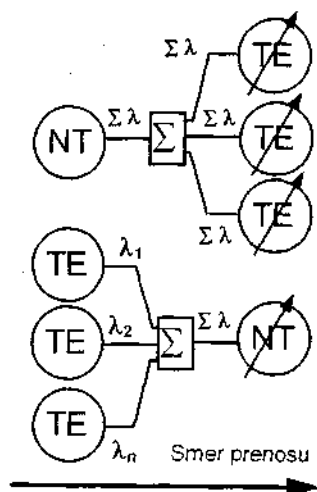
### 3.2.3 Vlnovo delený viacnásobný prístup - WDMA

Vlnovo delený viacnásobný prístup (Wavelength division multiple access, WDMA) využíva na prenos jednotlivých kanálov rôzne optické vlnové dĺžky. V najjednoduchšom prípade sa používa optický vlnový multi-plex (WDM) na oddelenie doprednej a spätnej prenosovej cesty, pričom každá prebieha v inom optickom okne (napr. 1550 nm dopredný smer prenosu, 1380 nm spätný smer). Pre vytvorenie viackanálového prístupového systému však treba vytvoriť väčší počet optických nosných, umiestených v jednom optickom okne, vlnový multiplex musí byť teda podstatne „hustejší“. Teoreticky je možné v súčasnosti vytvoriť v optickom okne 1550 nm viac ako 100 optických nosných, prakticky ich počet nepresahuje 20 až 40. Podobne ako pri frekvenčnom delení prístupu FDMA je možné na spoločnom médiu vytvoriť relácie typu bod - bod alebo bod - viac bodov.

Riešenie prístupu typu bod - bod predpokladá použiť pre každý prenášaný kanál samostatnú optickú vlnovú dĺžku, takže prístupová metóda sa redukuje na jednoduchý optický multiplex. Čiastkové optické signály sú zlúčené do celkového toku pasívnym optickým multiplexorom. Na strane prijímačov podobný multiplexor rozdelí optické nosné k jednotlivým prijímačom. Takto organizovaná optická prístupová sieť má pevné pridelenie prenosových kanálov terminálom. Ak treba zabezpečiť flexibilitu v prideliovaní kanálov jednotlivým terminálom, musia byť zdroje optického žiarenia, prijímače alebo multiplexory WDM elektricky preladiteľné. Rýchlosť preladovania však v takto riešenej sieti nebude dominantný parameter. Zostavenie spojenia sa uskutočňuje vzájomnou súhrou vlnovej dĺžky zdroja, prijímača a vlnovo selektívneho prvku WDM. V literatúre sa takto organizovaná sieť označuje ako „sieť s vlnovým smerovaním“ (Wavelength-routing network).

Pri viacnásobnom prístupe sa jednotlivým kanálom prideliujú optické vlnové frekvencie multiplexne. To znamená, že minimálne jeden koniec prenosovej cesty musí byť preladiteľný. V princípe je možné použiť:

- Preladiteľný vysielač a pevne naladené selektívne prijímače. Vysielač sa periodicky ladí na jednotlivé optické vlnové dĺžky. Tento prípad je vhodný pre smer sieť => terminál, pričom jednotlivé terminály obsahujú selektívne pevne ladené optické prijímače.
- Preladiteľný prijímač a pevne naladené vysielače. Tento prípad je použiteľný na prenos opačným smerom. Treba však zabezpečiť synchronizáciu medzi okamžikom naladenia prijímača a začatím vysielača, čo je obdoba rangingu v prístupe TDMA.
- Laditeľné prijímače aj vysielače. Táto kombinácia poskytuje najvyššiu flexibilitu pri vytváraní spojení, je však najviac nákladná.



Vo všetkých týchto prípadoch zlučovanie tokov od jednotlivých vysielateľov a jeho smerovanie k prijímačom zabezpečuje neselektívny optický deliaci / zlučovací prvok - napr. optický hranol. Sieť pracujúca na tomto princípe sa označuje „Broadcast and Select“.

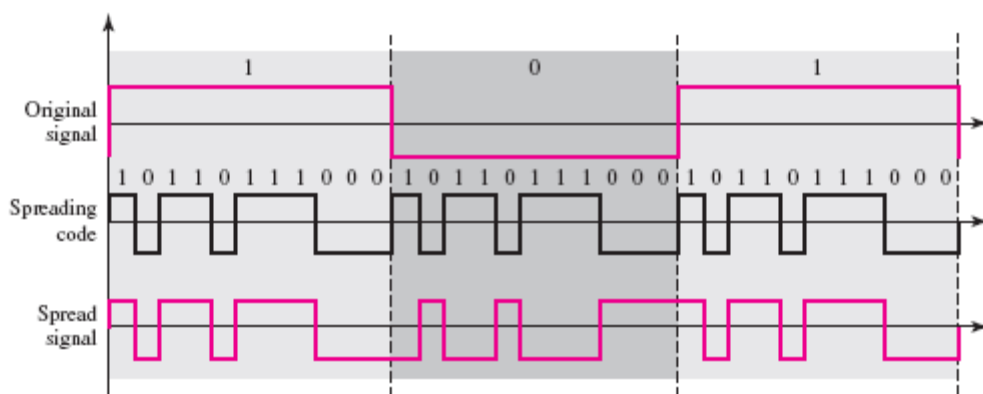
### 3.2.4 Kódovo delený viacnásobný prístup - CDMA

Metóda CDMA (Code Division Multiple Access) patrí do metód pracujúcich s rozprestreným spektrom (Spread Spectrum). Teória týchto systémov je rozpracovaná od šesťdesiatych rokov. Na rozdiel od metód TDMA alebo FDMA, ktoré na oddelenie jednotlivých kanálov využívajú časovú alebo frekvenčnú oblasť, pri metóde CDMA používajú všetky terminály rovnakú frekvenčnú a časovú oblasť. Jednotlivé kanály sa oddeľujú priradením špecifického kódového slova každému spojeniu. Kódové slovo obsahuje  $n$  bitov, nazývaných „Chips“. Hodnota  $n$  definuje tzv. „faktor rozprestrenia“, nazývaný i systémový zisk (Spread Factor). Prenos kódovaných signálov vyžaduje podstatne väčšiu šírku pásma ako prenos signálov s použitím iných prístupových metód. Jej podstatnou výhodou však je minimalizácia rizika prijmu signálu neoprávneným prijímačom. Preto sa prístupové metódy CDMA používajú v rádiových prístupových systémoch, a to i pre vojenské aplikácie.

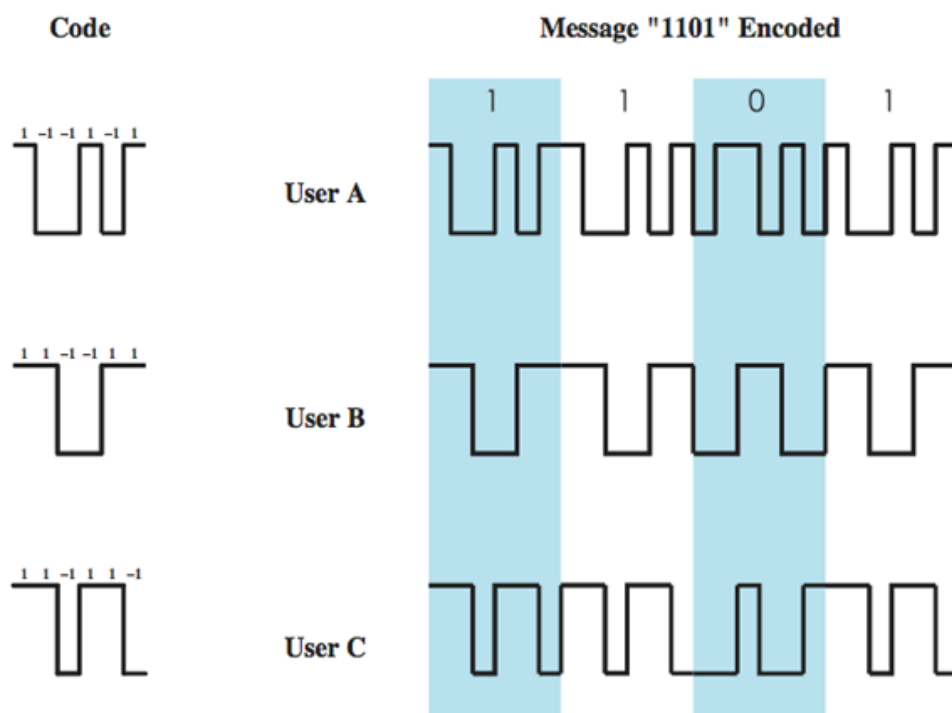
Systémov s rozšíreným spektrom existuje veľké množstvo a podobne sa dajú rôznym spôsobom klasifikovať. Podľa použitej modulačnej metódy delíme tieto systémy do dvoch hlavných skupín:

- Systémy s priamym vytváraním pseudonáhodnej postupnosti (Direct Sequence alebo Pseudo Noise)
- Systémy pracujúce so zmenou spektra vo frekvenčnej alebo časovej oblasti (Frequency Hopping, Time Hopping).

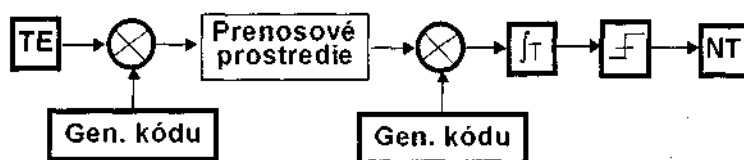
Systémy s priamym vytváraním pseudonáhodnej postupnosti vytvárajú výstupný pseudonáhodný signál tak, že každý bit prenášanej správy sa násobí kódovacou sekvenciou s dĺžkou  $n$  bitov. To znamená, že operácia kódovania i prenosová rýchlosť výstupného toku dát musí prebiehať s  $n$ -násobne vyššou rýchlosťou než prenosová rýchlosť vstupného dátového toku.



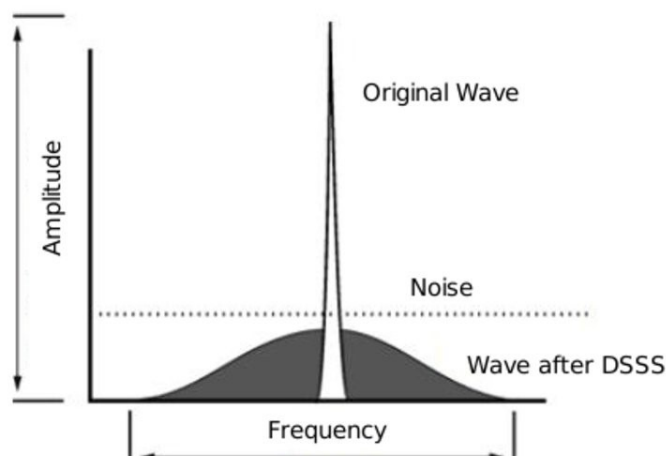
Princíp vytvárania výstupného signálu pri rozprestieraní spektra



Ortogonalita kódov pri rozprestieraní spektra pomocou metódy DSSS



Princíp rozprestierania spektra – bloková schéma



*Pohľad na rozprestretie spektra vo frekvenčnej oblasti*

### 3.3 Zabezpečenie duplexnej prevádzky

Duplex je pojem označujúci obojsmernú komunikáciu. Z hľadiska smeru komunikácie rozoznávame:

- simplex – jednosmerná komunikácia, napr. vysielanie rozhlasovej stanice
- duplex – obojsmerná komunikácia, ktorá má dva varianty. Predpokladajme komunikáciu dvoch staníc A a B.
  - polovičný duplex – buď vysielajú A alebo B. Súčasné vysielanie A a B je zakázané. Využíva sa najmä v bezdrôtových dátových sieťach, kde je nemožné súčasne vysielajúť a prijímať signál na tej istej frekvencii.
  - plný duplex – stanice A aj B môžu súčasne vysielajúť.

Podobne ako pri multiplexoch, možno aj duplexnú prevádzku zabezpečiť týmito spôsobmi:

- Priestorový duplex SDD (Space-division duplex)
- Frekvenčný duplex FDD (Frequency-division duplex)
- Vlnový duplex WDD (Wave-division duplex)
- Časový duplex TDD (Time-division duplex)
- Kódový duplex CDD (Code-division duplex)
- Polarizačný duplex PDD (Polarisation-division duplex)
- Vidlica (Hybrid)
- Vidlica s digitálnym potlačením echa

Princípy duplexnej prevádzky sú založené na rovnakých princípoch ako princípy multiplexov.

Pri priestorovom duplexe sa pre vzostupný a zostupný smer používa iná časť priestoru prenosového média. Školometským príkladom priestorového duplexu je napr. 100BASETX, ktorý pre prenos v jednom smere používa žily 1 a 2 a v opačnom smere žily 3 a 6 v štvorárovom TP kábli.

Pri frekvenčnom duplexe sa pre opačné smery používajú rôzne frekvenčné pásma. Napr. systém GSM 900 používa pre uplink pásmo 890-915 MHz a pre downlink 935-960 MHz.

Pri vlnovom duplexe sa používajú v rôznych smeroch dve vlnové dĺžky, čo sa používa napr. pri niektorých typoch SFP konvertorov pre gigabitový Ethernet.

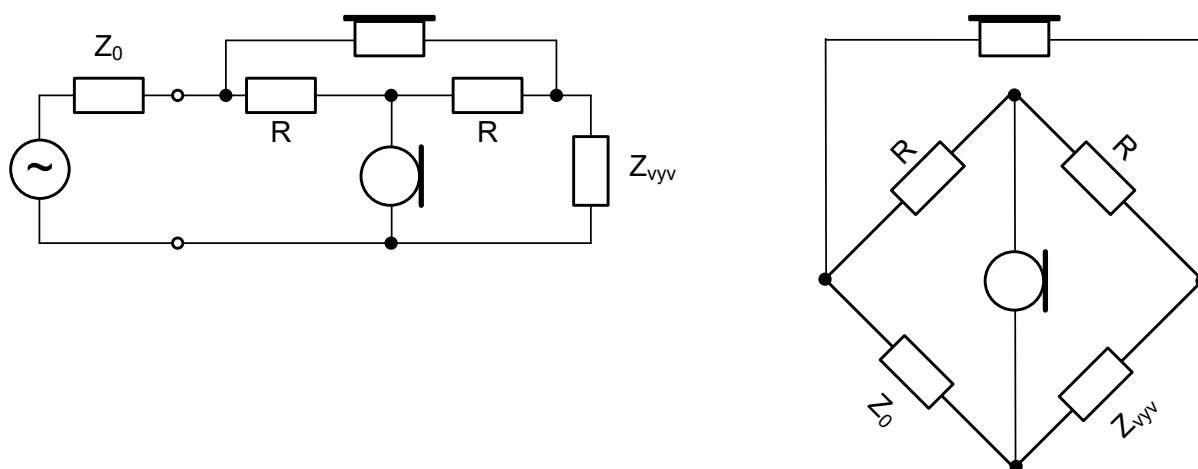
Časový duplex je založený na princípe, že dochádza k rýchlemu striedaniu vysielania na oboch stranách. Inak povedané, chvíľu vysielajú stanica A, potom nasleduje ochranná pauza, potom vysielajú stanica B a nasleduje ochranná pauza. Celý proces sa periodicky opakuje. Metóda sa niekedy nazýva aj ping-pong. Vzhľadom na to, že striedanie vo vysielaní prebieha rýchlo (niekoľko desiatok až tisícok cyklov za sekundu) a prenášané dáta sa ukladajú do vyrovnávacích pamätí, navonok sa zdá, ako keby systém pracoval v režime plného duplexu. Tento systém je napr. použitý pri zabezpečení komunikácie medzi ISDN terminálom a pobočkovou ústredňou (konkrétne na Up rozhraní).

Kódový duplex používa v opačných smeroch iný ortogonálny kód.

Polarizačný duplex sa s výhodou používa pri rádiových spojoch na väčšie vzdialenosti. Prenos v jednom smere prebieha pomocou vertikálnej a v opačnom smere pomocou horizontálnej polarizácie. Tento princíp možno využiť napr. pri vytváraní spojov bod-bod pomocou WiFi.

### 3.4 Vidlica

Vidlica (v anglickej literatúre označovaný ako hybrid), je jednoduché zariadenie, ktoré umožňuje vykonať prevod medzi dvojdrôtovou a štvordrôtovou prevádzkou. Toto zariadenie (zapojenie) je staré ako samotná telefónia, t.j. viac ako 100 rokov. Účel vidlice spočíva v tom, že umožňuje po dvojdrôtovom vedení súčasne vysielajúť a prijímať signály. Princíp fungovania je založený na fakte, že ak vysielaním ruším aj svoj prijímač, možno tento vplyv eliminovať vzhľadom na to, že viem aký signál vysielam. Postačuje teda vykompenzovať rušenie spôsobené vlastným vysielaním a následne prijímač prijíma takmer iba ostatné signály, pričom vlastné rušenie je silne (do cca 40 dB) potlačené.

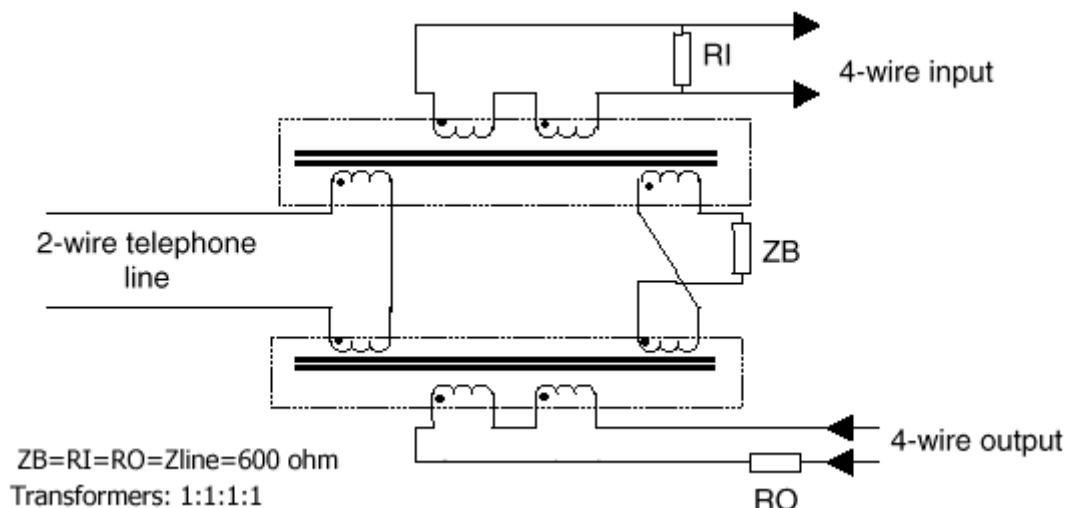


*Odporová vidlica hovorového obvodu telefónneho prístroja a jej prekreslené zapojenie do mostíka*

$Z_{vyv}$  je impedancia vyvažovača

$Z_0$  je obrazová impedancia vedenia

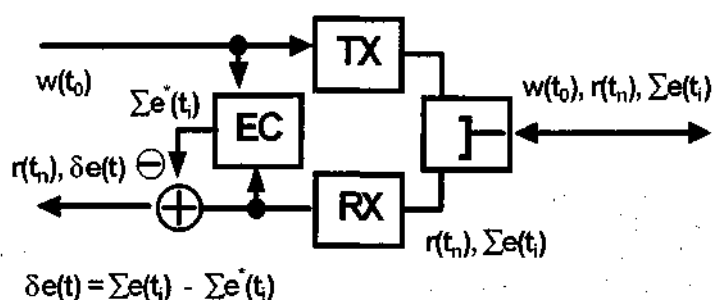
Ak platí, že  $Z_0 = Z_{vyv}$ , potom je mostík vyvážený a nedochádza k vzájomnému ovplyvňovaniu mikrofónu a slúchadla. Inak povedané, pri dokonalom vyvážení nebude účastník počuť v slúchadle, čo rozpráva. Tento efekt je ale nežiadúci.



*Iný typ vidlice používaný pri prispôsobovaní dvojdrôtovej na štvordrôtovú prevádzku*

### 3.5 Vidlica s číslicovou kompenzáciou odrazov (echa)

Pri duplexnom prenose symetrických služieb po jednom páre s použitím vidlice sa podstatnou mierou na celkovej úrovni presluchov podieľa konečná hodnota priečného tlmenia vidlice na blízkom konci, ktorá v závislosti od jej vyváženosti dosahuje hodnoty okolo 25-40 dB. Presluchové pomery zhoršuje, i keď v menšej miere, aj priečne tlmenie vidlice na vzdialenom konci. Preto tento spôsob oddelenia smerov prenosu je možný len s použitím obvodu adaptívnej digitálnej kompenzácie presluchu. Nedostatočným priečnym tlmením oboch vidlíc a nehomogenitami prenosového páru sa vysielaný symbol vracia do prijímacieho smeru ako ozvena -postupnosť symbolov oneskorených podľa vzdialenosti miesta vzniku od vysielateľa s rôznymi úrovňami, danými tlmením prenosovej cesty. Obvody digitálnej kompenzácie ozveny na základe analýzy prenosového prostredia a vysielaného symbolu simulujú ozveny vznikajúce v prenosovej ceste, a takto vytvorená umelá ozvena sa odčítava od prijímaného signálu (obr. 8.3). Signálový procesor EC, vytvárajúci kompenzačný signál, generuje postupnosť symbolov s rôznym oneskorením a amplitúdou tak, aby po odčítaní bola zvyšková ozvena minimálna.



Obr. 8.3 Princíp digitálnej kompenzácie ozveny

$w(t_0)$ - vysielaný symbol	TX - vysielateľ
$r(t_n)$ - prijímaný symbol	RX - prijímač
$\Sigma e(t_i)$ - prijímaná ozvena	EC - kompenzátor ozveny
$\delta e(t)$ - zvyšková ozvena	$\oplus$ - sumačný obvod

## 4 Literatúra

Referencie (nie podľa noriem):

Väčšina textu a obrázkov je prebraná až úplne ukradnutá z knihy [1].

- [1] Vaculík, M.: Prístupové siete, 2000, ISBN 80-7110-706-4
- [2] Čepčiansky, G.: Technológia ADSL, 2005, ISBN 80-8070-387-6
- [3] Pantuček, A.: Teória a technológia oznamovacích vedení, ISBN 80-05-00146-0, ALFA, 1988
- [4] Dobeš, J., Žalud, V.: Moderní radiotechnika, BEN, 2006, ISBN 80-7300-132-2
- [5] Iné verejne dostupné a neverejné zdroje