

Modulační metody, datové měniče a telefonní modemy



Úvodem:

objem signálu V_s vs. objem kanálu V_k

1. **Dynamický rozsah signálu** – D_s – změna amplitudy signálu vyjadřující rozsah hlasitosti (prakticky: odstup amplitudy signálu od amplitudy šumu → odstup střední hodnoty výkonu signálu P_s ku střední hodnotě výkonu šumu $P_{\check{s}}$)
2. **Šířka pásma (šířka frekvenčního spektra) signálu** – F_s – reálné telekomunikační signály jsou složeny z jednoduchých sinusových složek o různých frekvencích a souhrn všech těchto složek vytváří šířku pásma signálu
3. **Doba trvání signálového prvku** – T_s – prvkem signálu je nejmenší část signálu, která musí být samostatně rozlišena

Modulace

- Přenášený signál → analogový nebo diskrétní (digitální) charakter
- Podle charakteru nosné vlny:
 - ∅ Harmonický signál → spojitá (analogové) modulace
 - ∅ Impulsní charakteru → impulsní modulace

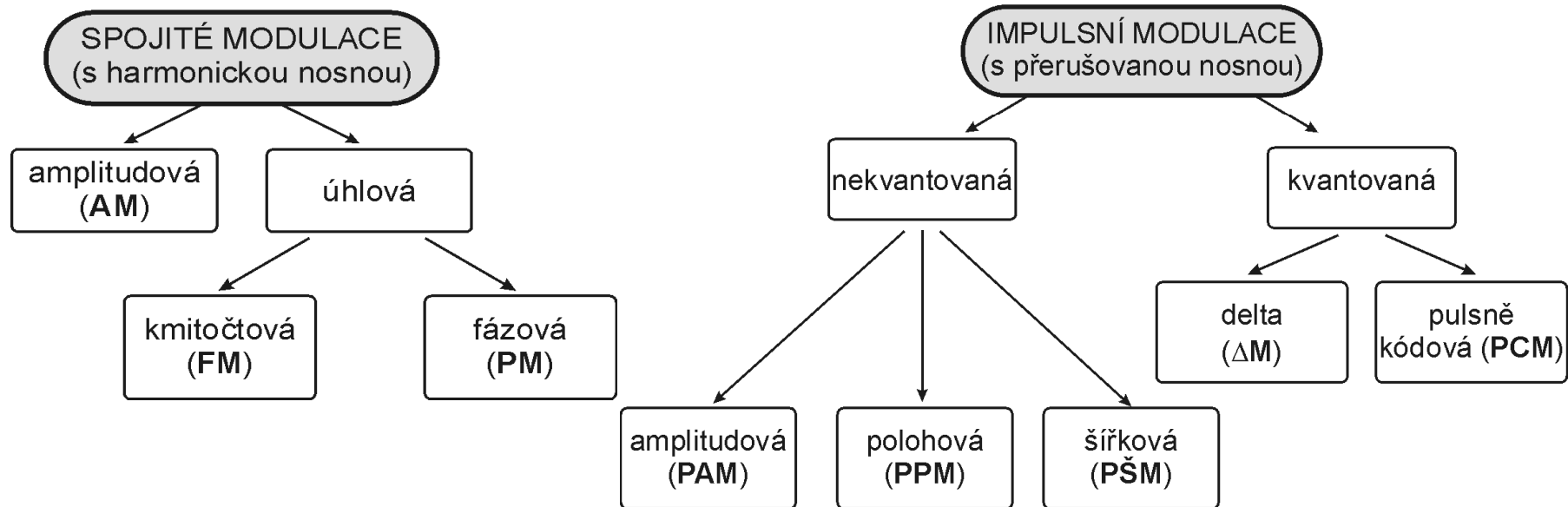
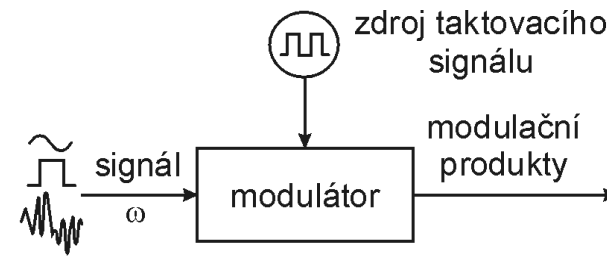
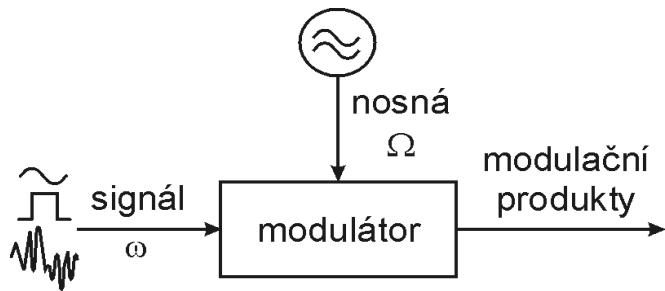


Modulace

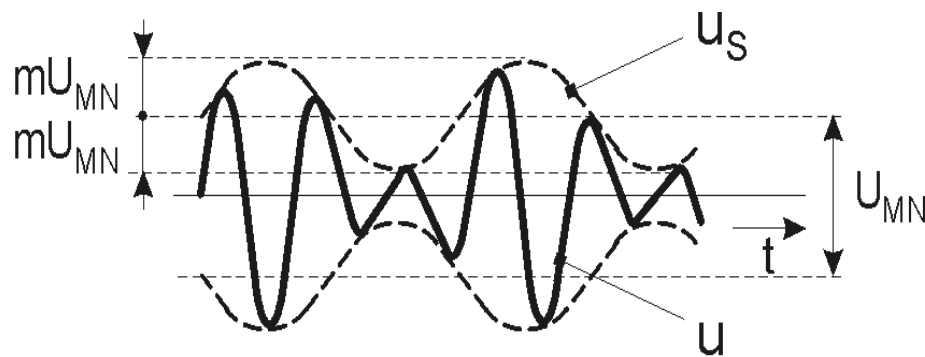
- ∅ Ovlivňování nosné vlny modulačním signálem, čímž vzniká modulovaná vlna

Modulací dochází k přenosu analog. nebo digit. signálu v přeloženém pásmu

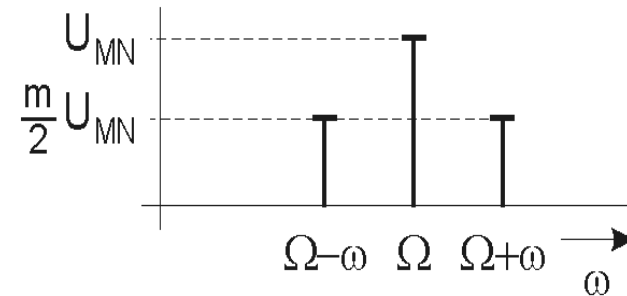
Spojité a impulsní modulace



Amplitudová modulace harmonickým signálem



a

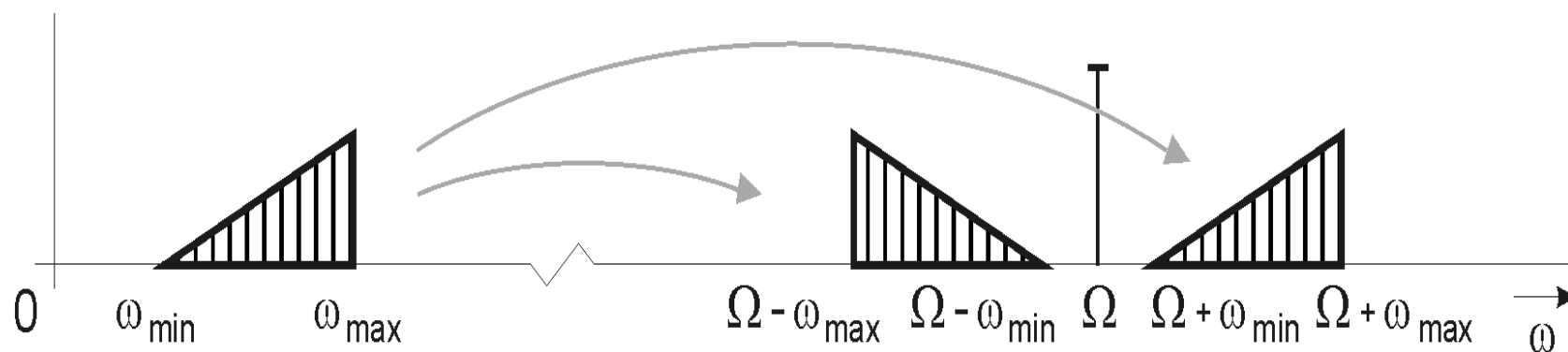


b

časový průběh (a)

frekvenční spektrum (b)

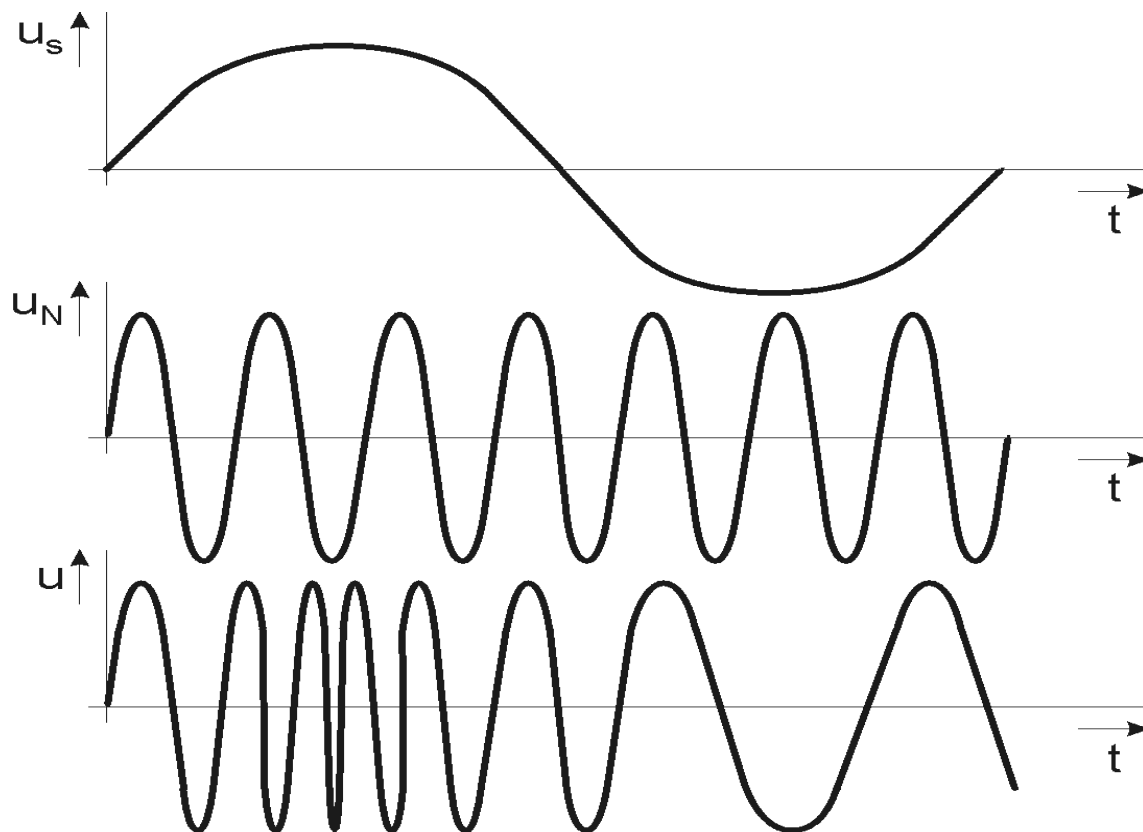
Amplitudová modulace při modulaci nosné mnohovlnným signálem



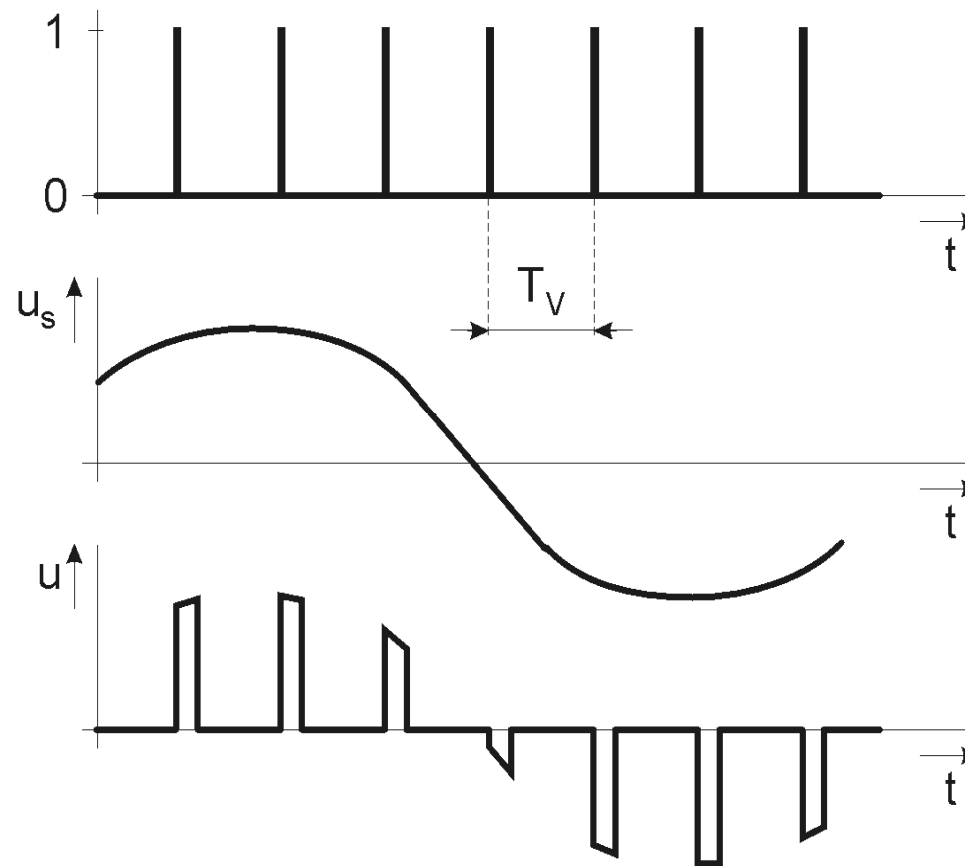
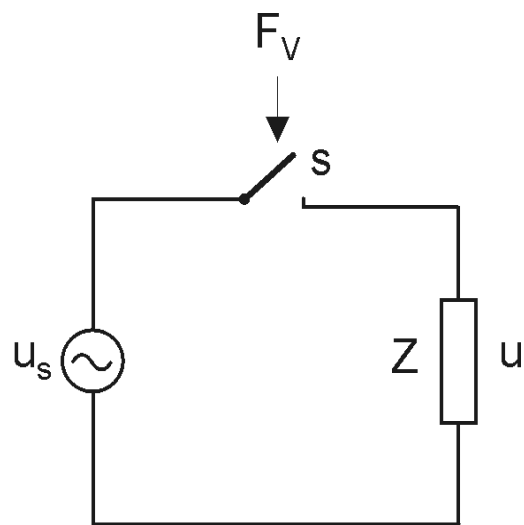
spektrum modulačních produktů

Kmitočtová modulace harmonickým signálem

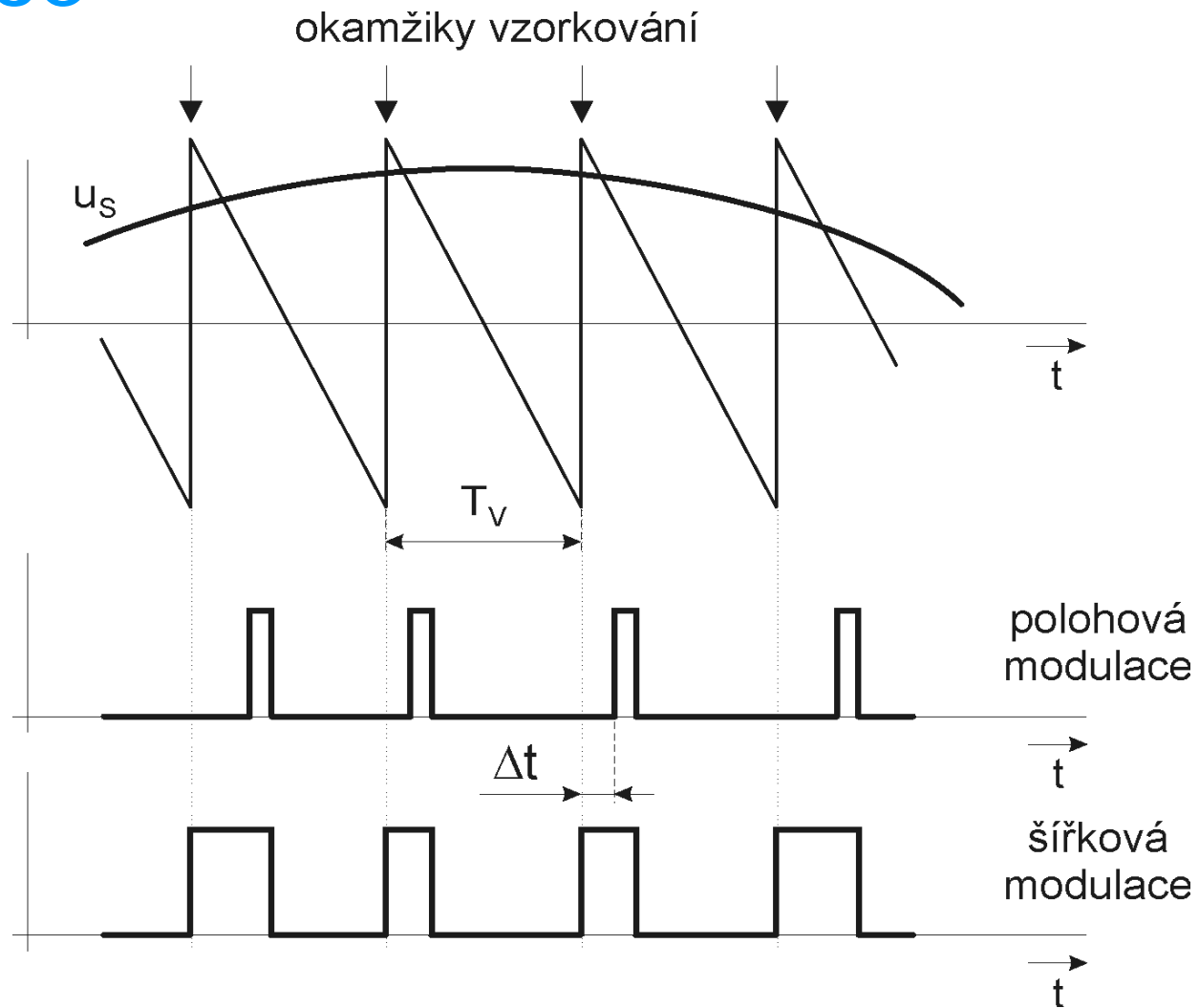
časové průběhy



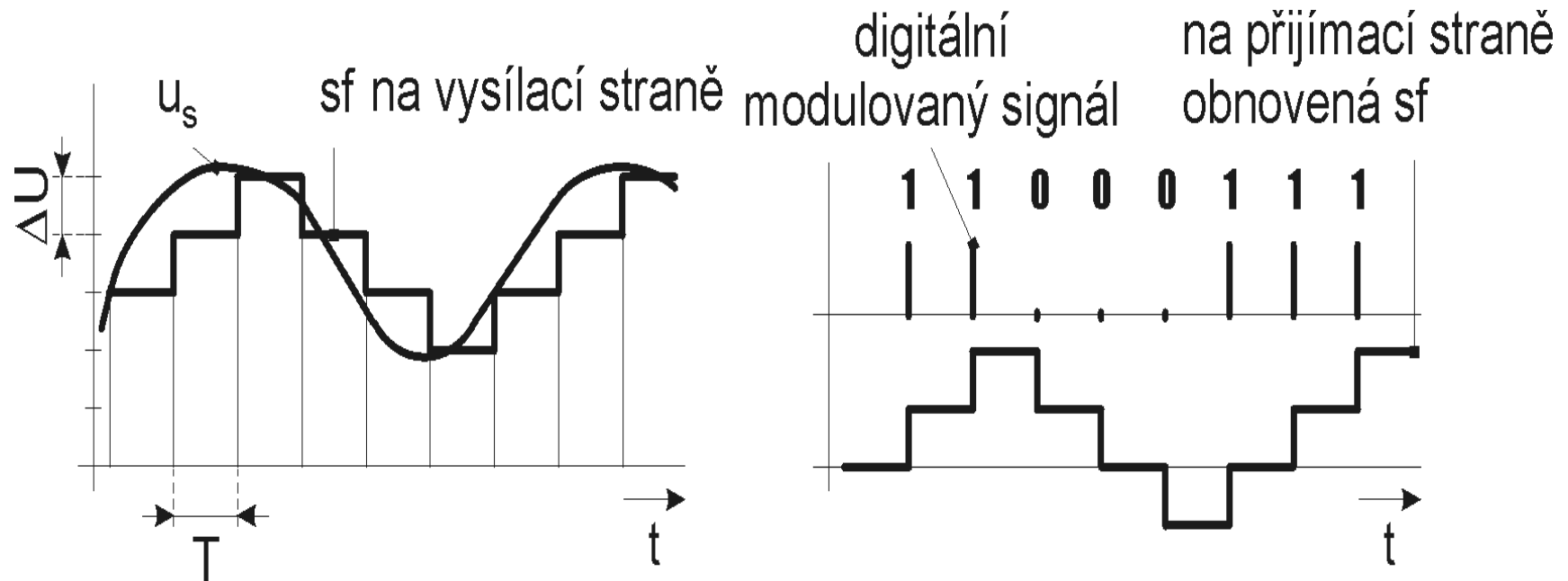
Princip pulzní amplitudové modulace



Princip polohové a šířkové impulzní modulace



Princip delta modulace



Vybrané modulace digitálního signálu jejich aplikace (1)

- **FSK** – frekvenční klíčování, Frequency Shift Keying (modemy podle doporučení V.21 a V.23)
- **ASK** – amplitudové klíčování, Amplitude Shift Keying
- **PAM** (MPAM) – přípojky SHDSL, měniče podle V.90
- **MPSK** – Mstavové klíčování fázovým posuvem; pro $M = 2$ se označuje jako **BPSK** (dvojkové klíčování fázovým posuvem)
- **QPSK** – kvadrurní klíčování fázovým posuvem (modifikovaná 4PSK, liší se pootočením konstelace o $\pi/4$)
- **MQAM** (Mstavová kvadrurní amplitudová modulace (např.: $M = 4; 16; 32; 64; 256; 1664$); konstelace je v pravoúhlém rastru; jedna z nejpoužívanějších modulací (např. v modemech)
- **APSK** – Amplitude Phase Shift Keying – kombinace ASK a PSK; konstelace je kruhově symetrická

Vybrané modulace digitálního signálu jejich aplikace (2)

- **DPSK** – Differential Phase Shift Keying – patří do třídy modulací s pamětí; informace se přenáší pomocí změn fáze mezi dvěma sousedními symboly (použití např.: starší telefonní modemy)
- **CAP** – Carrierless Amplitude and Phase – vhodná pro plně digitální implementaci pomocí signálových procesorů; společné rysy s QAM; pro modulaci se používá dvojice Hilbertových filtrů
- **MCM** – MultiCarrierless Modulation
- **DMT** – Discrete MultiTone; v řadě subkanálů se používá QAM (např.: ADSL, VDSL)
 - **OQAM** – Orthogonally multiplexed QAM
 - **DWMT** – Discrete Wavelet Multitone
 - **OFDM** – Orthogonal Frequency Division Multiplexing (např. DAB, DVB, WiMax); signály jednotlivých subnosných jsou vzájemně ortogonální
- **TCM** – Trellis Coded Modulation – mřížkově kódovaná modulace; patří do třídy modulací s pamětí; využívá se v telefonních modemech pro zvýšení pravděpodobnosti správného rozpoznání signálového prvku (využívá se konvolučního kódování)
- **GMSK** – Gaussian Minimum Shift Keying

Digitální modulace – další informace

- **BPSK**

- ∅ Charakterizováno 2 stavy nosné vlny s fází 0 a π

- **4-PSK**

- ∅ Charakterizováno 4 stavy nosné vlny s fází 0, $\pi/2$, π a $3\pi/2$

- ∅ Jeden modulační prvek = dvojice binárních symbolů (0,1)

- Modulační rychlost (4 stavy) = polovina přenosové rychlosti

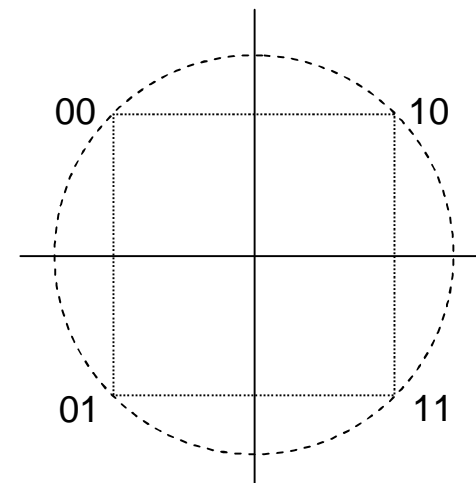
- **QPSK**

- ∅ QPSK = mírně modifikovaná 4-PSK

- ⇒ pootočení konstelace (množiny stavů fáze) o $\pi/4$

- žádný vliv na vlastnosti modulace

- ∅ Výhoda: jednodušší algoritmy v demodulátoru



Poznámka:

- ∅ QPSK je totožná se 4stavovou modulací 4-QAM

- ∅ V praxi, QAM používá větší počet stavů díky kombinaci amplitudového & fázového klíčování

Digitální modulace – 16QAM (1/2)

- Ze vstupní sériové dvojkové posloupnosti se vydělují skupiny 4 bitů
 - ∅ Skupina 4 bitů = kvadbit [a b c d]
 - ∅ Kvadbit je na výstupu vyjádřen jedním signálovým prvkem $S_k(t) = C_k \cdot \cos(\omega t + \phi_k)$
... 16 různých kvadbitů, kterým se přiřadí 16 různých kombinací C_k a ϕ_k
- Princip
 - ∅ Kvadbit vstupního toku dat [a b c d] je rozdělen na 2 dibity – **dibit [a b]** a **dibit [c d]**
 - ∅ Dibity jsou zakódovány pomocí PAM do jedné ze čtyř úrovní

I	A_2	A_1	$-A_1$	$-A_2$
a b	1 1	1 0	0 0	0 1

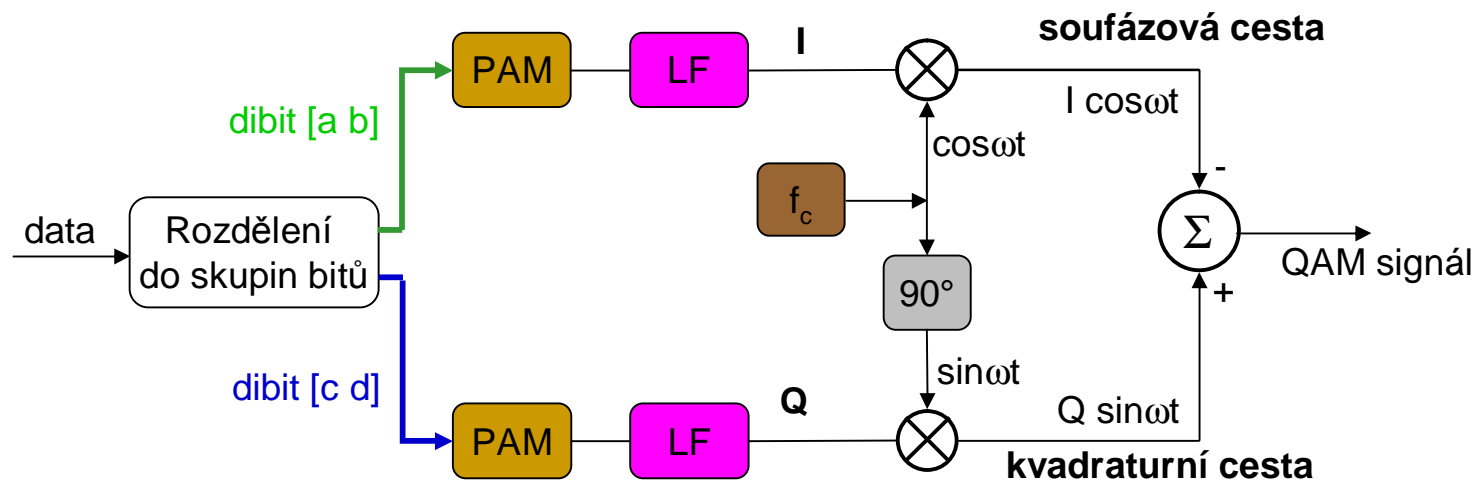
I – soufázová cesta

Q	A_2	A_1	$-A_1$	$-A_2$
c d	1 1	1 0	0 0	0 1

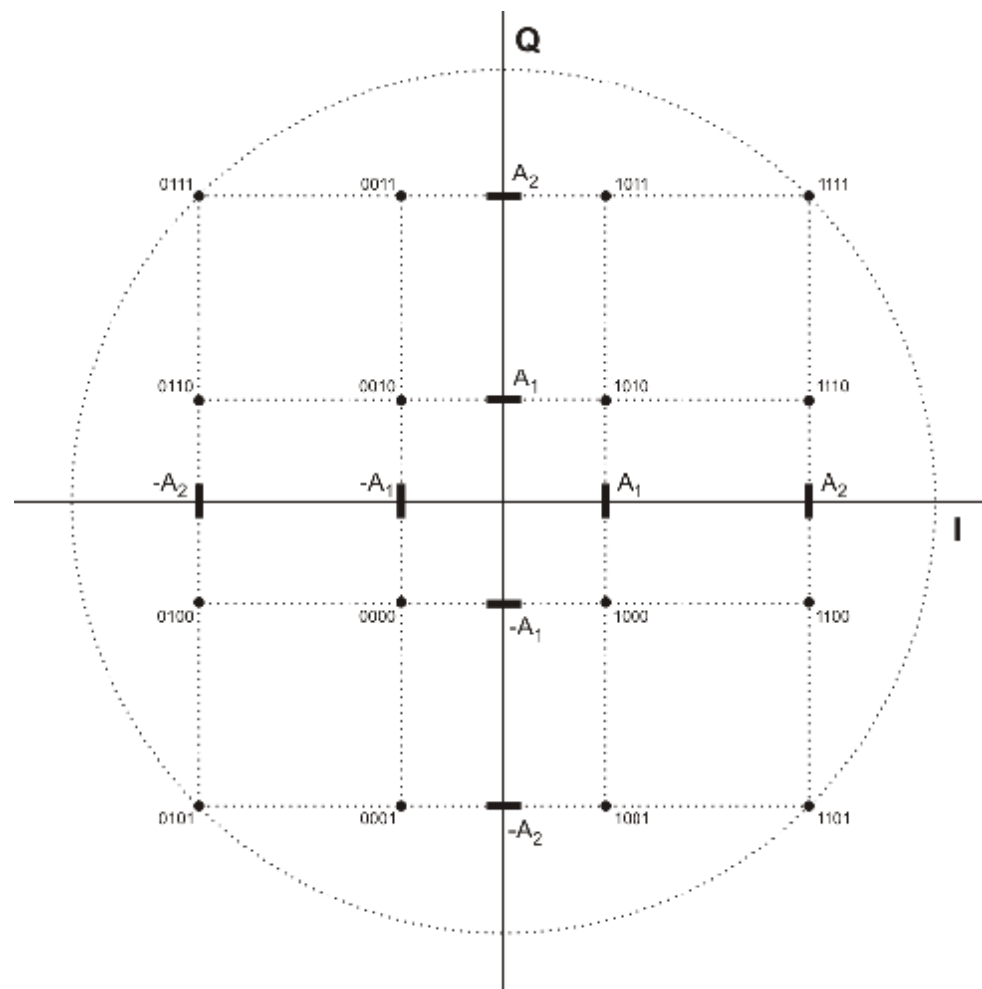
Q – kvadrurní cesta

Digitální modulace – 16QAM (2/2)

- Ø Filtrací pro redukci šířky pásma, **dolní propust (LF, Low Freq.)**, získáme modulační signál **I soufázové cesty** (...obdobně pro **kvadrurní cestu**)
- Ø Modulační signály I a Q tvoří vstup pro modulátory s nosnou frekvencí f_c
 - § Pro kvadrurní cestu posun o 90°
- Ø Výsledný signál QAM získáme sečtením signálů z obou cest
 - § Modulační rychlost = $\frac{1}{4}$ přenosové rychlosti (...1 modulační prvek = 4 bity)



Digitální modulace (konstelační diagram 16QAM)



Digitální modulace

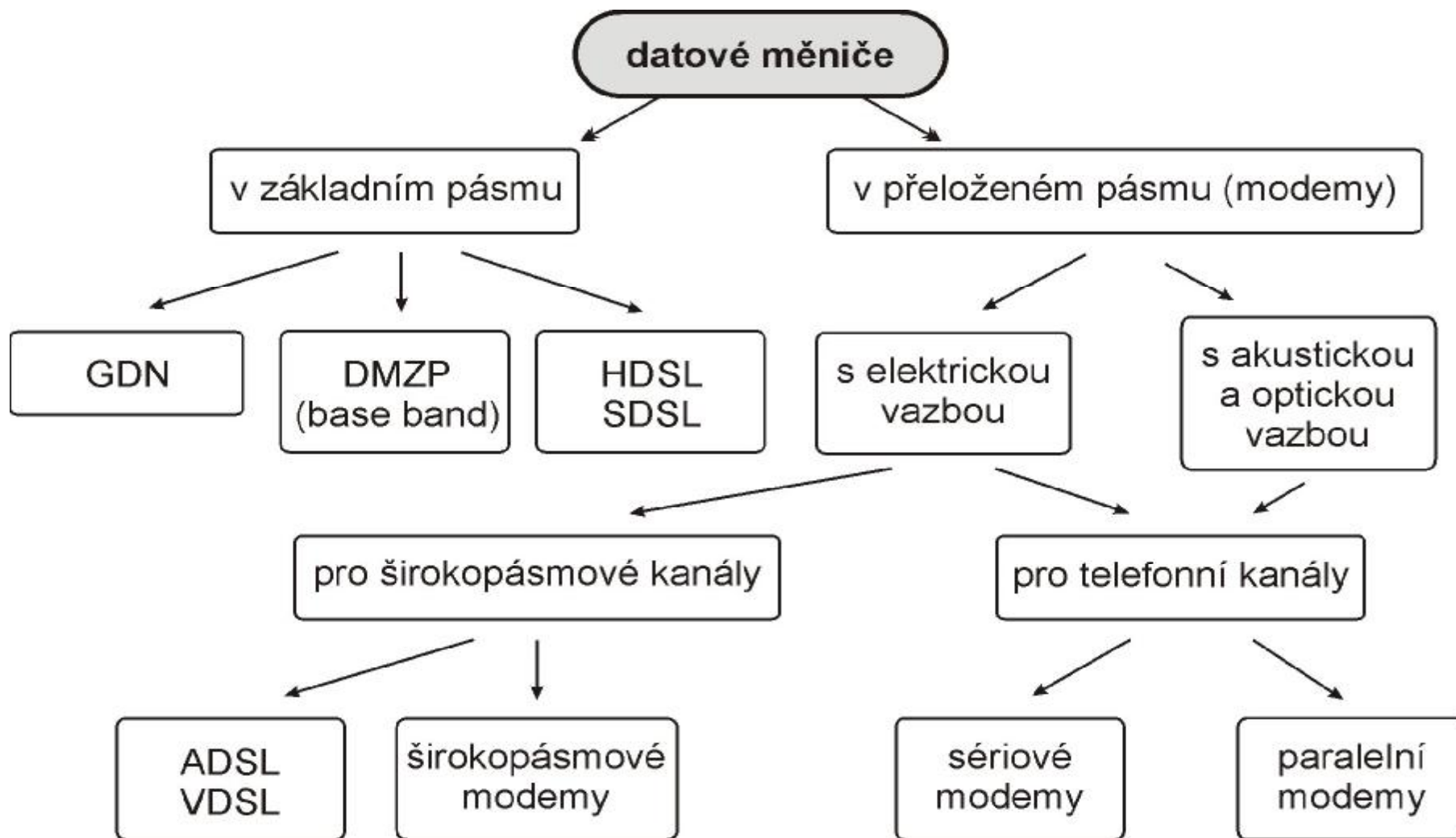
- Vícestavová modulace šetří frekvenční pásmo, ale s vyšším počtem stavů modulace se signál stává mnohem náchylnější na rušení

Příklad pro 16-QAM

Pro chybovost řádově 10^{-7} až 10^{-6} je třeba nutný odstup signálu od šumu 21,5 dB, s každým dalším přidaným bitem ke skupině [a b c d], čili se zdvojnásobením počtu stavů, se požadavek zvětšuje o 3 dB \Rightarrow z tohoto důvodu je nutné volit kompromis mezi chybovostí, přenosovou rychlostí a šířkou použitého frekvenčního spektra

- V praxi se používá běžně modulace 64QAM, 256QAM, 1664QAM apod.

Datové měniče užívané v telefonní síti a v jejích částech



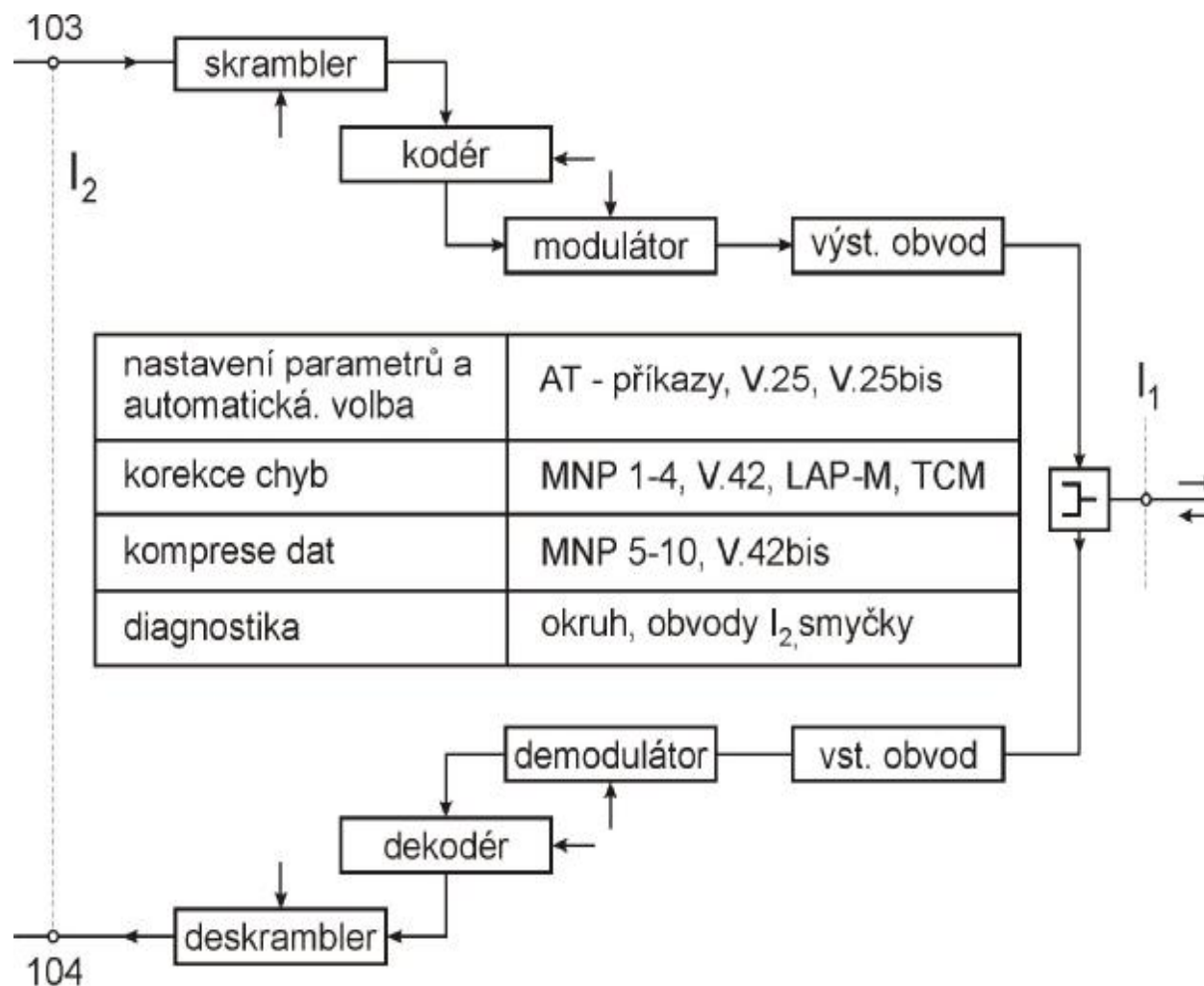
Další typy datových měničů

- Kabelové modemy
- GSM modemy
- GPRS modemy
- UMTS modemy
- Modemy pro PLC (Power Line Communication)
- Terminálové adaptéry pro ISDN
- Telegrafní měniče signálu (TMS)

Telefonní modemy

- Rozšířený prostředek přenosu dat - využívají telefonních vedení a hostitelské telefonní sítě
- Přenosová rychlost je limitována šířkou pásma telef. kanálu (3,1kHz)
 - Ø Maximálně – 33, 6 resp. 56 kbit/s (za určitých podmínek)
 - Ø Výhoda: možnost použít telefonní ústředny bez nutnosti budování specifické sítě pro přenos dat
- Před vytvořením datového spojení je nutné nejprve spojení sestavit
 - Ø Pomocí účastnické volby čísla cílové stanice (tzv. dial-up)
 - Ø Po celou dobu trvání komunikace zůstává spojení přes telefonní síť vytvořené a je odpovídajícím způsobem zpoplatněné
- Řešení
 - Ø Samostatné přístroje
 - Ø Integrované do počítače

Signálová cesta a vnitřní parametry telefonních modemů



Doplňkové možnosti modemů (1)

- MQAM
- Mřížkové kódování (TCM)
- Výkonné signálové procesory

- Protokoly zabezpečující přenos dat proti chybám
 - Ø MNP protokoly (rozdílení dle složitosti a vlastností)
 - § 1 až 4 (detekce a korekce chyb),
 - § 5 až 10 (detekce, korekce, datová komprese)
 - § ... pro detekci chyby se užívá zabezpečení cyklickým kódem (CRC)
 - Ø protokol LAP-M
 - § Vychází z HDLC, detekce chyby pomocí CRC (16 bitů)
 - Ø protokol V.42
 - § Zahrnuje vlastnosti předchozích protokolů

Doplňkové možnosti modemů (2)

- Kompresní algoritmy
 - Ø MNP protokoly (rozlišení dle složitosti a vlastností)
 - § 5 až 10 (detekce, korekce, datová komprese)
 - Ø protokol V.42bis
 - § Zahrnuje vlastnosti předchozích protokolů
- Nastavování parametrů
 - Ø propojky, přepínače, programové řízení (např. AT příkazy)
- Automatická volba
 - Ø V.25 (zastaralé), AT příkazy, V.25bis
- Diagnostika, měření
 - Ø smyčkové zkoušky
 - Ø měření analogových vlastností (poměr s/š, přijímací úroveň)
 - Ø měření chybovosti
 - Ø dálkové nastavování parametrů

Telefonní modemy - vývoj

- V.21, V.23
 - Ø Historicky nejstarší telefonní modemy používající 2FSK
- V.26, V.27
 - Ø Poloduplexní modem, vícecestavová diferenční fázová modulace DPSK
- V.29
 - Ø Poloduplexní modem, modulace QAM
- V.22 a V22.bis
 - Ø Duplexní modem, vícecestavová modulace DPSK a 16QAM
- V.32, V.32bis a V.34
 - Ø Duplexní modem, modulace QAM s TCM, pro přenos v obou směrech se používá stejné frekvenční pásmo a metody potlačení ozvěny
- V.90
 - Ø Použití - v digitalizovaných telefonních sítích (analogová je pouze jedna přípojka do digitální ústředny)
 - Ø Vysílací směr - po přípojném dvoudrátovém vedení je přenášen datový QAM signál (až k PCM převodníku v ústředně), max. $v_p = 33,6$ kbit/
 - Ø Opačný směr - **modulace PAM**, max. $v_p = 56$ kbit/s (bez použití komprese)

Vybrané telefonní modemy

doporučení ITU-T	v_p [bit/s]	modulace	přenos	využití telefonního kanálu [kHz]
V.21	300 +300	2st. FSK	aryt.	1,08 1,75
V.22	1200 +1200	4st. DPSK	aryt. synch.	1,2 2,4
V.22bis	2400 +2400	16st. QAM	aryt. synch.	1,2 2,4
V.23	1200 +75	2st. FSK	aryt. synch.	0,42 1,7
V.26bis	2400 +75	4st. DPSK	synch.	0,42 1,8
V.27ter	4800 +75	8st. DPSK	synch.	0,42 1,8
V.29	9600	16st. QAM	synch.	1,7
V.32	9600 +9600	32st. QAM +TCM	synch.	potlačení 1,8 ozvěny
V.32bis	14400 +14400	32st. QAM +TCM	synch.	potlačení 1,8 ozvěny
V.33	14400 +75	128st. QAM +TCM	synch.	0,315 1,8
V.34	33600 +33600	1664st. QAM +TCM	synch.	potlačení 1,959 ozvěny
V.90	33600 +56000	1664st. QAM +TCM, PAM	synch.	potlačení 1,959 ozvěny

Schéma triviálního modemu

