

Příklady otázek ke zkoušce (vycházejí důsledně z přehledu látky)

- Základní parametry metalických sdělovacích vedení.
- Satelitní technika, dráhy, použití
- Mobilní komunikace, systémy, topologie, radiotelefonní systémy
- Šíření elektromagnetických vln, zákonitosti a aplikace. Které typy vln podle mechanismů jejich šíření rozlišujeme?
- Základní pojmy z akustiky - akustický tlak, intenzita zvuku, hladina zvuku, hlasitost
- Porovnejte systémy s komutací (přepojováním) kanálů, zpráv a paketů. Uveďte základní vlastnosti.
- AM - amplitudová modulace, časové průběhy, spektrum - odvození
- Optické komunikace – typy optických vláken a základní parametry, použitelnost, princip WDM
- Vlastnosti sluchového orgánu - křivky slyšitelnosti – izofony, dynamický rozsah, frekvenční rozsah, maskování, citlivost ucha v čase.
- Hovorový signál - tvorba řeči, základní tón..., kmitočtový rozsah, dynamika řeči, spektrum, formanty...
- Porovnejte telefonní přístroje MB a ÚB, hovorové obvody - princip protimístní vazby, vidlice
- Elektroakustické měniče – základní principy.
- Obecné schéma sdělovacího systému, uveďte příklady...
- Diskretizace signálu. Vzorkování, kvantování
- Diskrétní modulace s nosnou ASK, FSK, PSK, QAM
- Digitální přenosové systémy - rámec PCM, PDH, SDH
- Moderní analogový telefonní přístroj - princip protimístní vazby, vidlice, signalizace na účastnické analogové lince.

Pro zopakování:

Modulační rychlost uvádí kolik signálových prvků přeneseme za jednotku času: $v_m = 1/a$ [Bd], kde a [s] je délkou charakteristického intervalu (signálového prvku).

Z modulační rychlosti vychází požadavek na šířku pásma.

Přenosová rychlost uvádí kolik bitů informace přeneseme za jednotku času: $v_p = v_m \log_2 s$ [bit/s], kde s je počet stavů signálu.

Větší počet stavů – přeneseme větší objem dat při dané modulační rychlosti.

Kapacita kanálu je maximální dosažitelná přenosová rychlost v daném kanálu (prostředí):

$$C = v_{pmax} = B \log_2 (1 + S/N) \text{ [bit/s]},$$

kde B je šířka pásma a S/N je poměr signál/šum (poměr dvou výkonů).

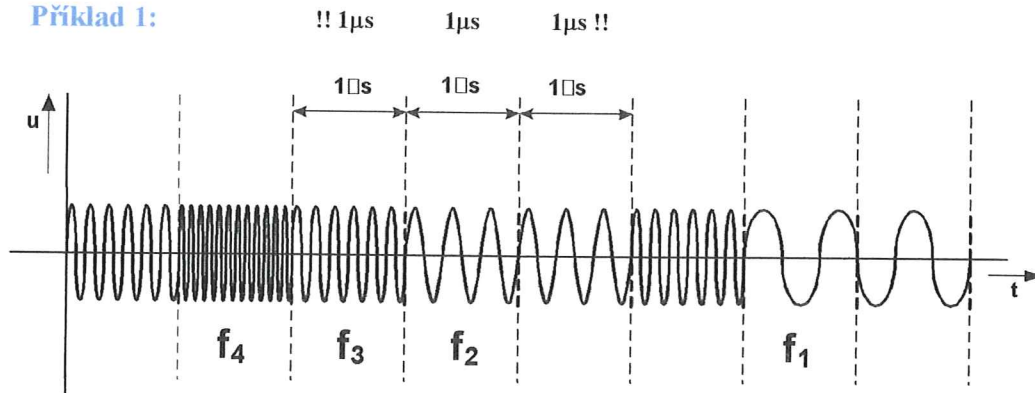
Je to vlastnost prostředí a neznamená to, že touto rychlostí musíme pracovat.

Obvykle dosahujeme rychlosti nižší.

$$S/N \text{ zadáno v [dB]} \rightarrow \frac{S}{N} = 10^{\left(\frac{[dB]}{10}\right)}, \quad (\text{př: } 30\text{dB} = 10^{30/10} = 1000)$$

Několik příkladů:

Příklad 1:



Jaká je potřebná minimální šířka pásma B pro přenos? (spektrum)

řešení: $a=1\mu s$, modulace 4FSK, $s=4$, Nyquist – 1Bd/Hz

$$v_m = \frac{1}{a} = \frac{1}{10^{-6}} = 10^6 [Bd], \quad v_m \rightarrow B_{\min} = 1 [MHz] \leftrightarrow (10^6 Hz) \text{ viz. Nyquist !}$$

$$v_p = v_m \cdot \log_2 s = 10^6 \cdot \log_2 4 = 2 [Mbit/s], \quad (\log_2 4 = 2)$$

stavy: $f_1-00, f_2-01, f_3-10, f_4-11 \rightarrow$ telegram (z obr.) | 10 | 11 | 10 | 01 | 01 | 10 | 00 | 00 |

doplnit obr. spektra !

$$f_{n+1} = f_n + \Delta f$$

Příklad 2:

Rádiový spoj přenáší hovor v podobě standardního PCM. Je použita modulace 4FSK s nosnou 398 MHz. Jaká je přenosová rychlost v_p , modulační rychlost v_m a minimální potřebná šířka pásma pro přenos B_{\min} ?

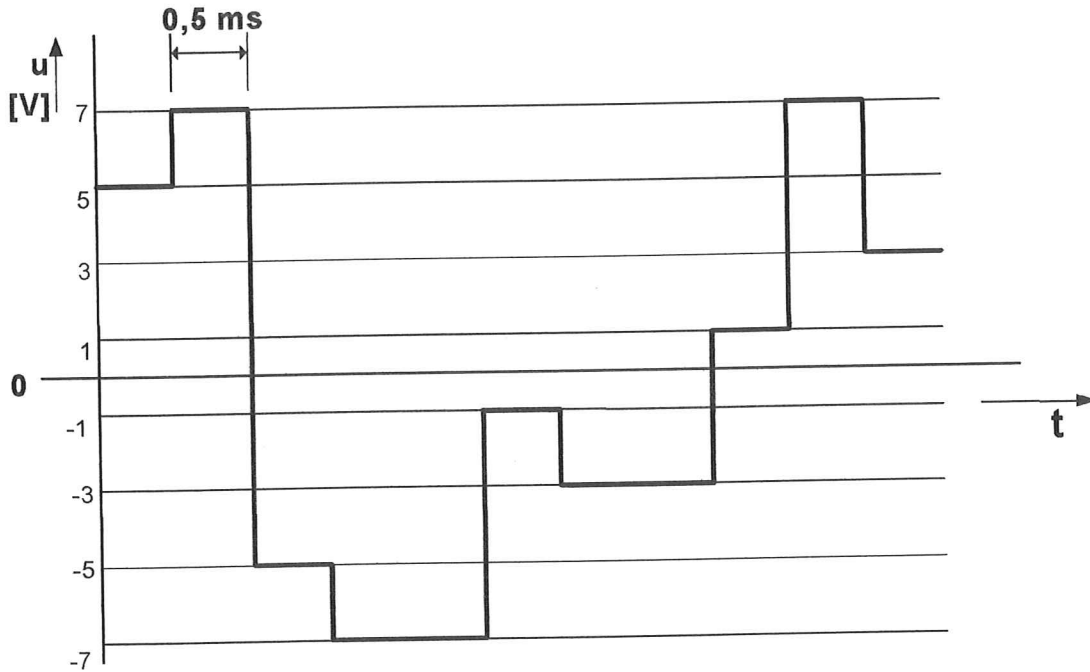
řešení: $s=4$, 4FSK \rightarrow 1Bd/Hz, hovor – vzorkování $f_s=8kHz$, 8bit \rightarrow 64kbit/s (standard) = v_p

$$v_p = 64 [kbit/s] = v_m \cdot \log_2 s = v_m \cdot 2 \rightarrow v_m = \frac{64}{2} = 32 [kBd] \rightarrow B_{\min} = 32 kHz$$

($f_n=398MHz$ je jen nosná, nepočítá se s ní)

Příklad 3:

Jaká je modulační a přenosová rychlost pro následující signál:



Jaká je potřebná minimální šířka pásma **B** pro přenos?

řešení: $a=0,5 \cdot 10^{-3}$, $s=8$, zákl. pásmo- Nyquist 2Bd/Hz

$$v_m = \frac{1}{a} = \frac{1}{0,5 \cdot 10^{-3}} = 2000 [\text{Bd}], \quad v_p = v_m \cdot \log_2 s = 2000 \cdot \log_2 8 = 6 [\text{kbit/s}], \quad (\log_2 8 = 3)$$

$B_{\min} = 1 \text{ kHz}$ ($v_m/\text{Nyquist} = 2000/2$) **obr. spektra doplnit!**

Příklad 4:

Jaká je kapacita standardního telefonního kanálu, jestliže byl změřen odstup signálu a šumu 30dB? Kolika stavovou modulaci s oběma postranními pásmy je nutno použít, aby byla kapacita využita?

řešení: B standardního tel. kanálu 0,3-3,4kHz je 3100Hz

$$B = 3100 \text{ Hz} \rightarrow v_{m \max} = 3100 \text{ Bd},$$

$$C = v_{p \max} = B \cdot \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right) = 3100 \cdot \log_2 (1 + 1000) = 3100 \cdot 9,967 = 30,898 [\text{kbit/s}]$$

$$s = ? , \quad v_p = v_m \cdot \log_2 s \rightarrow 30898 = 3100 \cdot \log_2 s \rightarrow 9,967 = \log_2 s \rightarrow s = 1001$$

Použijeme tedy modulaci 1024QAM

Příklad 5:

Kolika stavovou modulaci s oběma postranními pásmy musíme použít a jaký minimální odstup signál šum v dB musí být na standardním telefonním kanálu, abychom mohli přenášet data rychlostí 30 kbit/s ?

řešení: $v_p = 30 \text{ kbit/s}$, $v_m = 3100 \text{ Bd}$ (standard viz. př. 4)

$$v_p = v_m \cdot \log_2 s \rightarrow 30000 = 3100 \cdot \log_2 s \rightarrow 9,678 = \log_2 s \rightarrow s = 819$$

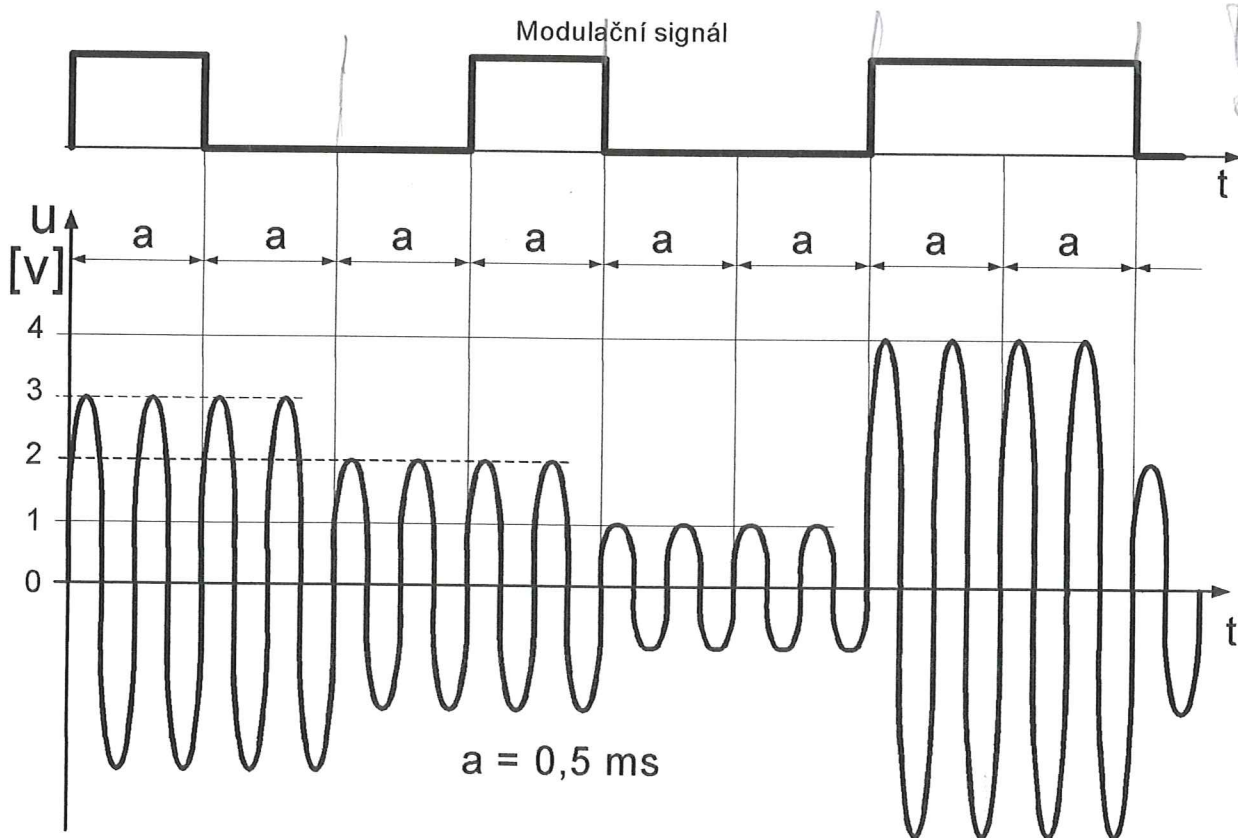
$$C = v_{p\max} = v_m \cdot \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right) = 3100 \cdot \log_2 (1 + 1000) = 30 [\text{kbit/s}]$$

$$9,677 = \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right) \Rightarrow 2^{9,677} = 1 + \frac{S}{N} = 819 \Rightarrow 819 - 1 = \frac{S}{N} = 818$$

definice dB $\rightarrow dB = 10 \log \frac{S}{N} \Rightarrow 10 \log 818 = 29,12 \text{ dB}$

Příklad 6:

Vypočítejte modulační a přenosovou rychlost pro následující signál a určete pro přenos potřebnou šířku pásma B_{\min} :



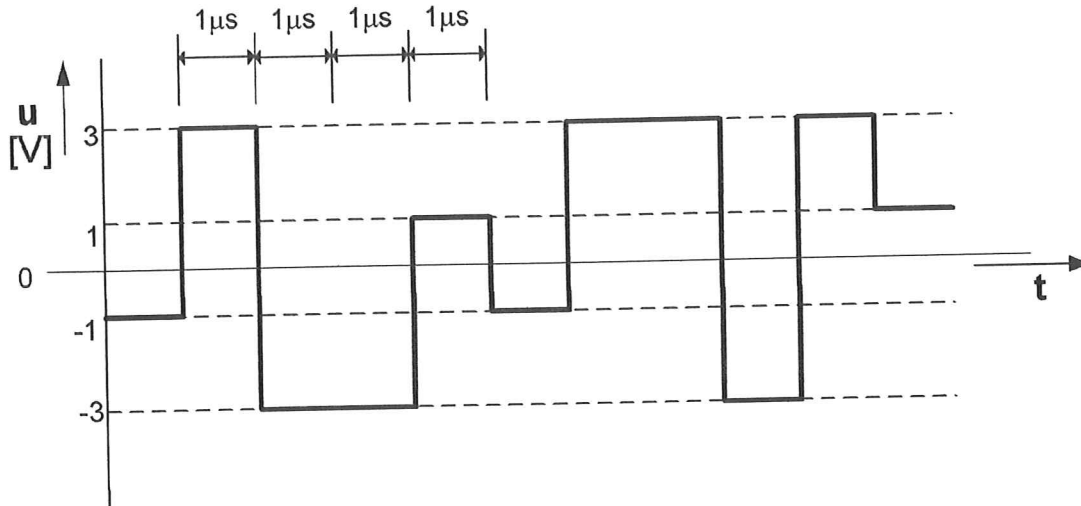
řešení: modulace 4ASK $\rightarrow s=4$, pozor – ASK přenáší změnu za $2a$! , 1Bd/Hz

$$v_m = \frac{1}{2 \cdot a} = \frac{1}{2 \cdot 0,5 \cdot 10^{-3}} = 1000 [\text{Bd}] \rightarrow B_{\min} = 1 \text{ kHz } (v_m / N_{yq.})$$

$$v_p = v_m \cdot \log_2 s = 10^3 \cdot \log_2 4 = 2 [\text{kbit/s}]$$

Příklad 7:

Vypočítejte modulační a přenosovou rychlost pro následující signál a určete pro přenos potřebnou šířku pásma B:



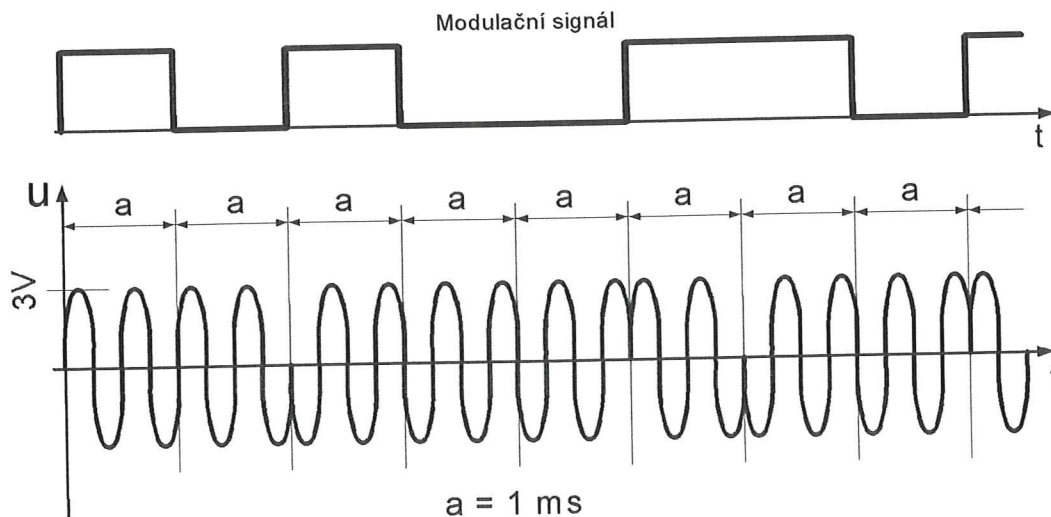
LINKOVÝ KÓD 2B1Q

řešení: $a=1 \mu\text{s}$, $s=4$, zákl. pásmo – 2Bd/Hz

$$v_m = \frac{1}{a} = \frac{1}{10^{-6}} = 10^6 [\text{Bd}] \rightarrow B_{\min} = 10^6 / 2 = 0,5 \text{ MHz}, v_p = v_m \cdot \log_2 s = 10^6 \cdot \log_2 4 = 2 [\text{Mbit/s}]$$

Příklad 8:

Jaká je modulační a přenosová rychlost pro následující signál? O jaký typ modulace jde? Jaká je potřebná minimální šířka pásma B pro přenos? Kolik informačních bitů nese jeden signálový prvek?

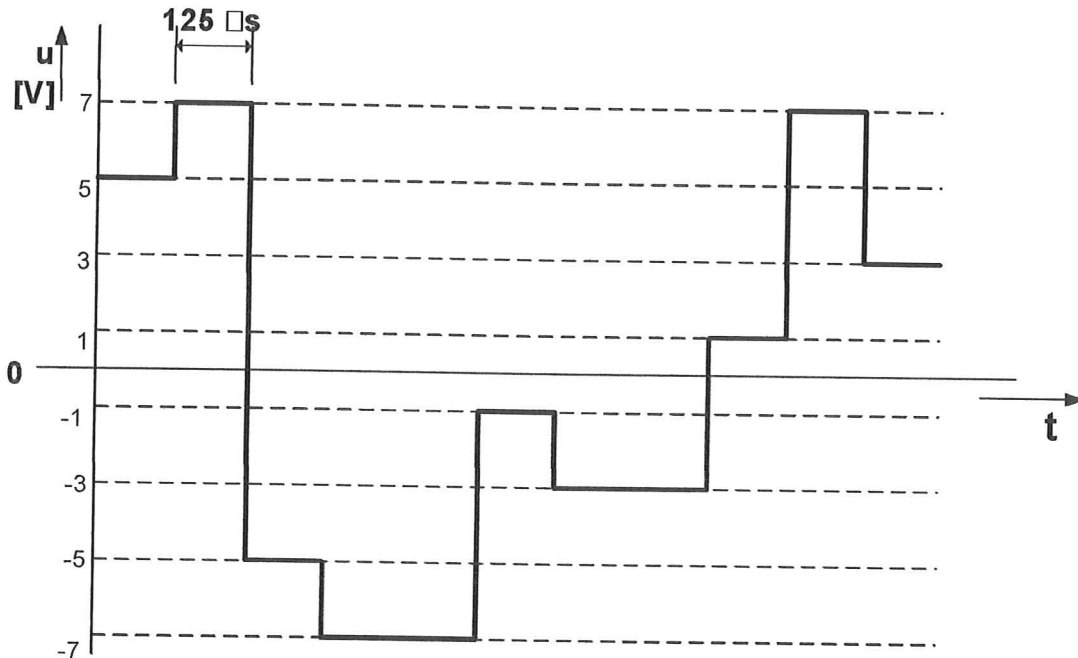


řešení: modulace DPSK, přel. pásmo – 1Bd/Hz

$$v_m = \frac{1}{a} = \frac{1}{10^{-3}} = 10^3 [\text{Bd}], v_p = v_m \cdot \log_2 s = 10^3 \cdot \log_2 2 = 10^3 [\text{bit/s}], B_{\min} = 1 \text{ kHz}$$

Příklad 9:

Jaká je modulační a přenosová rychlost pro následující signál? Jaká je potřebná minimální šířka pásma B pro přenos? Kolik informačních bitů nese jeden signálový prvek?



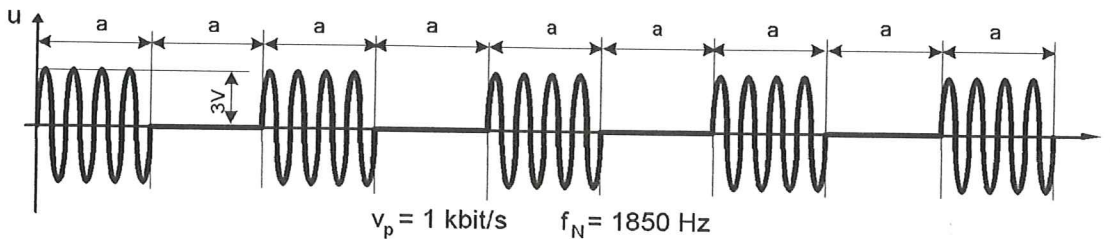
řešení: $a=125\mu s$, $s=8$, zákl. pásmo – 2Bd/Hz

$$v_m = \frac{1}{a} = \frac{1}{125 \cdot 10^{-6}} = 8 [kBd], \quad v_p = v_m \cdot \log_2 s = 8000 \cdot \log_2 8 = 24 [kbit/s], \quad B_{min}=4kHz$$

počet bitů/prvek $\rightarrow \log_2 s=3$

Příklad 10:

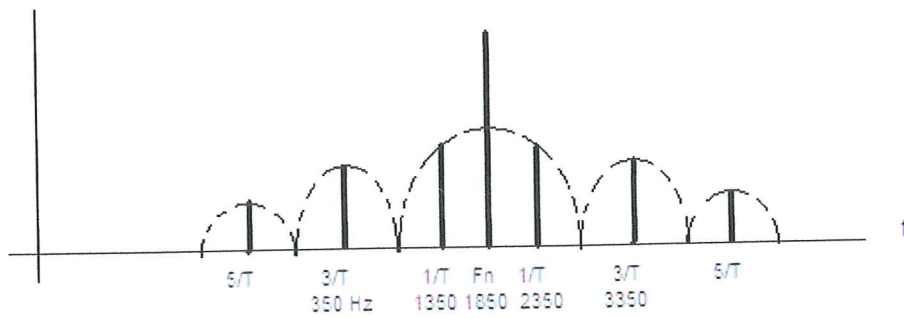
Jaké spektrum má následující signál – spočítejte složky a nakreslete. Jaká je minimální šířka pásma potřebná pro přenos.



řešení: $a = ?$, $s = 2$, přel. pásmo – 1Bd/Hz, $v_p = 1kbit/s \rightarrow v_m = 1kBd$, $a = \frac{1}{v_m} = \frac{1}{10^3} = 10^{-3} [s]$

$$B_{min} = v_m/1 = 1kHz, \quad T = 2 \cdot a = 2 [ms],$$

spektrum - $\frac{1}{T} = 500Hz, \frac{2}{T} = 0, \frac{3}{T} = 1500Hz, \frac{4}{T} = 0, \frac{5}{T} = 2500Hz, \dots$, dvě pásma okolo 1850Hz



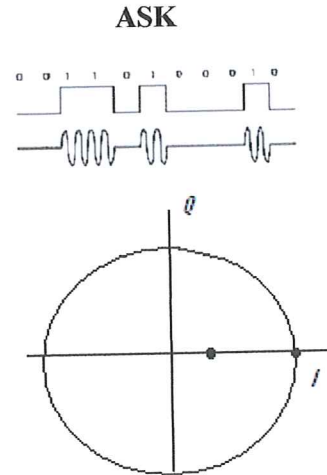
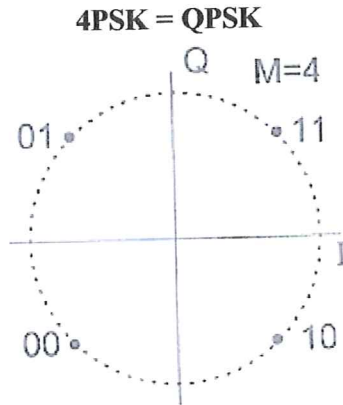
Příklad 11:

Nakreslete IQ diagram pro modulaci 16QAM, 4PSK a ASK. Kolik bitů informace ponese jeden stav v jednom a druhém případě? Vysvětlete jaký význam mají modulace v přenosovém řetězci.

řešení: počet bitů/1 stav $\rightarrow \log_2 s$, 16QAM $\rightarrow \log_2 16 = 4(\text{bity/stav})$, 4PSK $\rightarrow \log_2 4 = 2$
 ASK $\rightarrow \log_2 2 = 1$, POUŽITÍM VÍCESTAVOVÉ MODULACE UŠETŘÍME FREKVENČNÍ PÁSMO, SE VZRŮSTEM POČTU STAVŮ MODULACE SE SIGNÁL STÁVÁ NÁCHYLNĚJŠÍ NA RUŠENÍ.

16QAM

0000	0001	0011	0010
1000	1001	1011	1010
1100	1101	1111	1110
0100	0101	0111	0110



Příklad 12:

1024 QAM – o jakou jde modulaci. Jaká je modulační rychlost, je-li přenosová rychlost 30 kbit/s ? Lze tento signál přenést telefonním kanálem? Jestli ano, za jakých podmínek?

řešení: kvadraturní amplitudová modulace, $v_p = 30\text{kbit/s}$, $s = 1024$, přelož. pásmo - 1Bd/Hz

$$v_p = v_m \cdot \log_2 s = v_m \cdot \log_2 1024 = 30000 \rightarrow v_m = \frac{30000}{10} = 3000[\text{Bd}],$$

$$\text{tel. kanál } B=3100 \text{ Hz} \rightarrow v_{m \max}=3100\text{Bd},$$

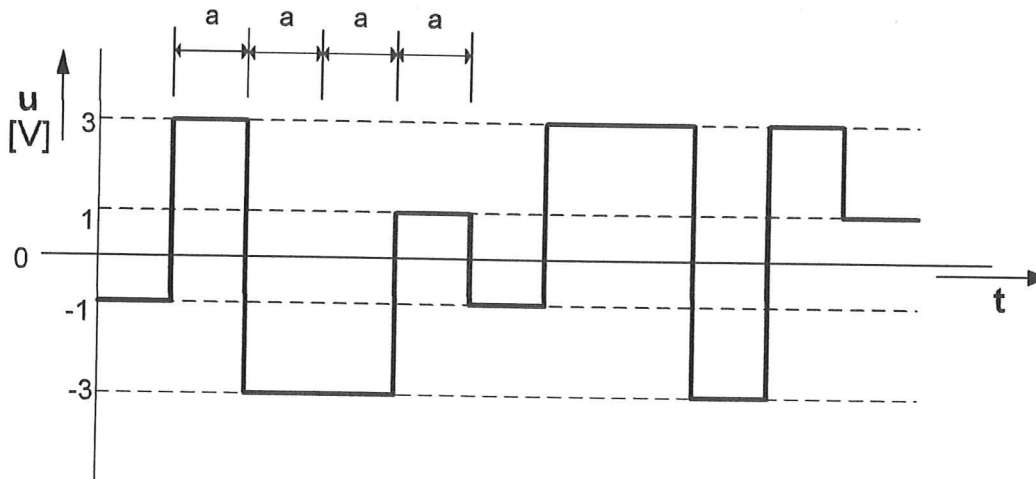
$$C = v_{p \max} = B \cdot \log_2 \left(1 + \frac{S}{N}\right) = 3100 \cdot \log_2 \left(1 + \frac{S}{N}\right) = 30000[\text{bit/s}] \rightarrow$$

$$\log_2 \left(1 + \frac{S}{N}\right) = 9,678 \Rightarrow 2^{9,677} = 1 + \frac{S}{N} = 818 \Rightarrow \frac{S}{N} = 817 \rightarrow \sim 29,12\text{Db}$$

$$S/N > 29,12\text{Db}$$

Příklad 13:

Po lince jsou přenášeny dva PCM telefonní hovory se standardními parametry a jeden kanál datový s přenosovou rychlostí 16 kbit/s (2B + D). Signál má tvar podle obrázku. Jaká je přenosová rychlost, modulační rychlost a minimální potřebná šířka pásma pro přenos?



řešení: 2-drát, linkový kód 2B1Q, kanály 2B+D $\rightarrow 2 \times 64 + 16$ kbit/s, $s=4$,
zákl. pásmo – 2Bd/Hz

$$v_p = v_m \cdot \log_2 s = v_m \cdot \log_2 4 = 144000 [\text{bit/s}] \rightarrow v_m = \frac{144000}{2} = 72000 [\text{Bd}] \rightarrow$$

$$B_{\min} = \frac{v_m}{2} = 36 [\text{kHz}]$$

Příklad 14:

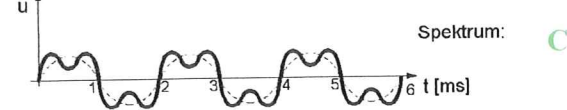
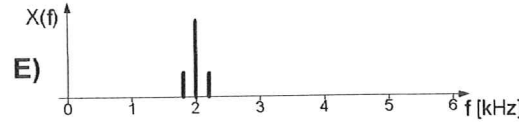
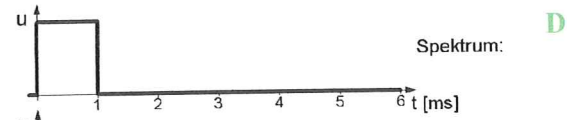
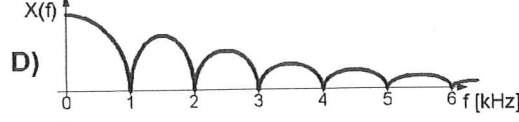
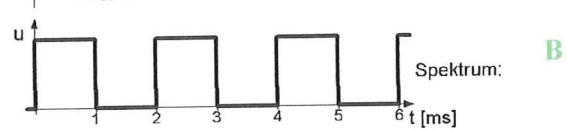
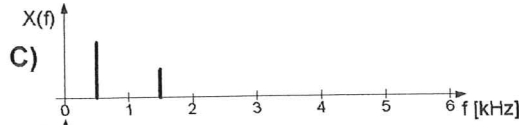
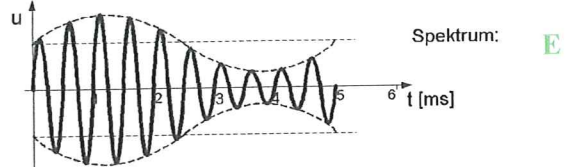
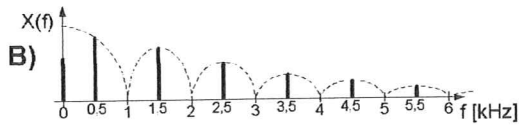
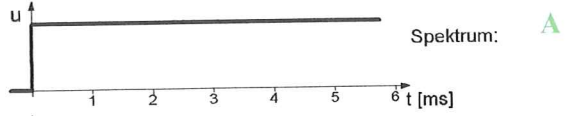
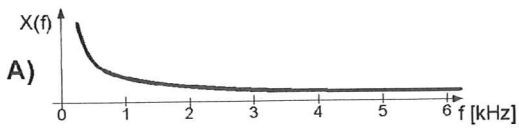
Po lince je přenášén jeden PCM telefonní hovor se standardními parametry. Signál má tvar podle obrázku (př.13). Jaká je přenosová rychlost, modulační rychlost a minimální potřebná šířka pásma pro přenos?

řešení: 2-drát, linkový kód 2B1Q, kanály 1B $\rightarrow 64$ kbit/s, $s=4$,
zákl. pásmo – 2Bd/Hz

$$v_p = v_m \cdot \log_2 s = v_m \cdot \log_2 4 = 64000 [\text{bit/s}] \rightarrow v_m = \frac{64000}{2} = 32 [\text{kBd}] \rightarrow B_{\min} = \frac{v_m}{2} = 16 [\text{kHz}]$$

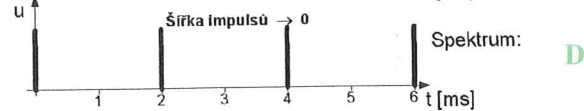
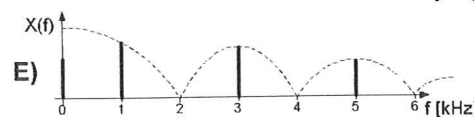
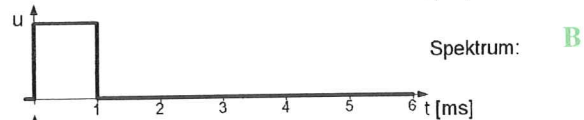
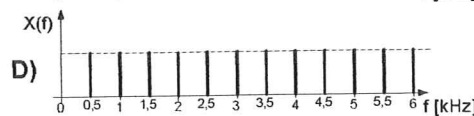
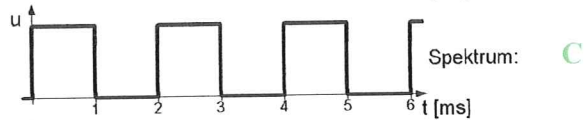
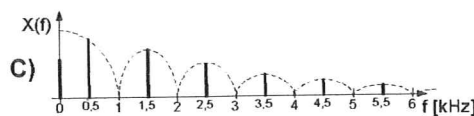
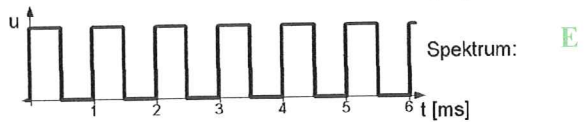
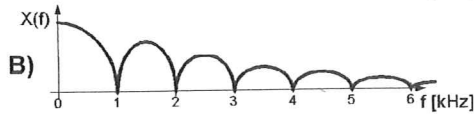
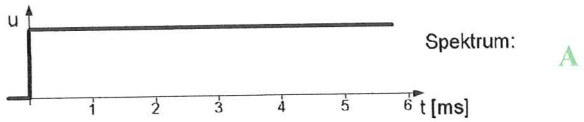
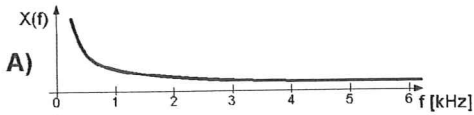
Příklad 15:

K jednotlivým časovým průběhům přiřaďte spektrum, např.: Spektrum: A. Přiřazení zdůvodněte!



Příklad 16:

K jednotlivým časovým průběhům přiřaďte spektrum, např.: Spektrum: A. Přiřazení zdůvodněte!



Příklad 17:

Nakreslete spektrum AM modulační, které vznikne namodulováním standardního telefonního hovoru se střední amplitudou $V = 1,5V$ na nosný signál s amplitudou $A = 5V$ a frekvencí $f_N = 300kHz$. Vypočítejte hloubku modulační a potřebnou šířku pásma pro přenos tohoto signálu. Jak by bylo možné vylepšit energetické poměry a zmenšit šířku pásma?

$$\text{modulační signál } m(t): m(t) = U_m \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f_m \cdot t)$$

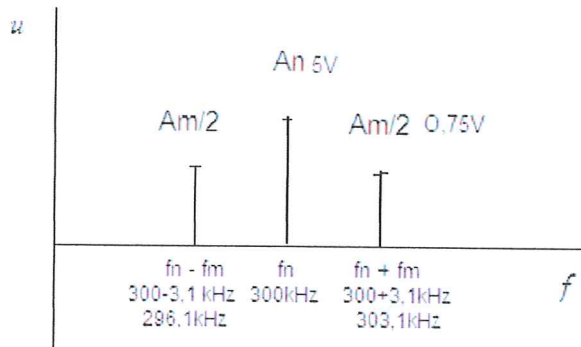
$$\text{nosný signál } u_c(t): u_c(t) = U_c \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f_c \cdot t)$$

$$\text{amplitudově modulovaný signál } u_{AM}(t): u_{AM}(t) = [U_c + U_m \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f_m \cdot t)] \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f_c \cdot t)$$

$$V = A_n, A = A_m, \text{ hloubka modulační } m = (V/A) \cdot 100 = (1,5/5) \cdot 100 = 30\%$$

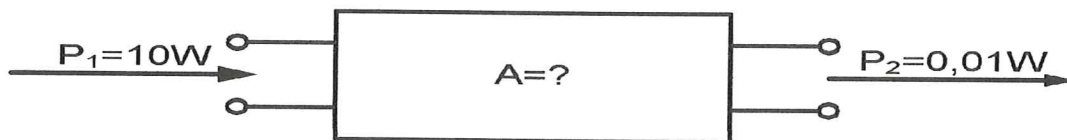
tel. hovor šířka pásma – 3100Hz
celková šířka pásma – 6200Hz

$$m = \frac{V}{A} = \frac{1,5}{5} \cdot 100 = 30\%$$



Příklad 18:

- Jaký je přenos a útlum dvojbranu?
- Definujte absolutní a relativní úroveň signálu, útlum a zisk.



řešení:

$$\text{útlum } A = 10 \cdot \log \frac{P_1}{P_2} = 10 \cdot \log \frac{10}{0,01} = 30 [Db] - \text{relativní} - \text{vztažená k nějakému místu vedení}$$

$$\text{přenos } A = \frac{P_2}{P_1} = \frac{0,01}{10} = 10^{-3} [-] - \text{relativní}$$

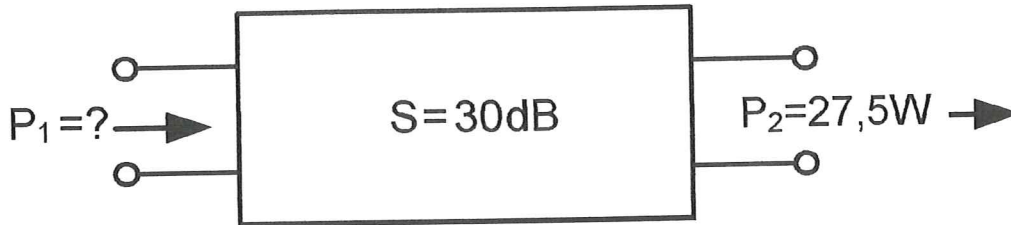
$$\text{absolutní hodnoty } L = 10 \cdot \log \frac{P_x}{P_0} [Db], L = 20 \cdot \log \frac{U_x(I_x)}{U_0(I_0)} [Db]$$

$$\text{referenční hodnoty: } Z=600\Omega, P_0=1mW, U_0=0,775V, I_0=1,29mA$$

$$\text{útlum } A \rightarrow P_2 < P_1, \text{ zisk } S \rightarrow P_2 > P_1$$

Příklad 19:

- a) Jaký je vstupní výkon při daném zisku dvojbranu?
b) Definujte absolutní a relativní úroveň signálu, útlum a zisk.



řešení:

$$S = 10 \cdot \log \frac{P_2}{P_1} \rightarrow \frac{30}{10} = \log \frac{27,5}{P_1} \rightarrow P_1 = \frac{27,5}{1000} = 0,0275 [W]$$

relativní hodnoty $S = 10 \cdot \log \frac{P_2}{P_1}$

absolutní hodnoty $L = 10 \cdot \log \frac{P_x}{P_0} [Db]$, $L = 20 \cdot \log \frac{U_x(I_x)}{U_0(I_0)} [Db]$

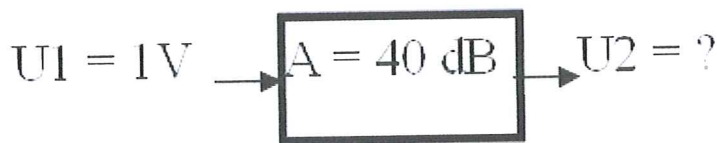
referenční hodnoty : $Z=600\Omega$, $P_0=1mW$, $U_0=0,775V$, $I_0=1,29mA$

útlum $A \rightarrow P_2 < P_1$, zisk $S \rightarrow P_2 > P_1$, $A = 10 \cdot \log \frac{P_1}{P_2} [Db]$

Příklad 20:

Jaké napětí bude na výstupu článku?

Definujte absolutní a relativní úroveň signálu, útlum a zisk.



řešení:

$$A = 20 \cdot \log \frac{U_1}{U_2} \rightarrow \frac{40}{20} = \log \frac{1}{U_2} \rightarrow U_2 = \frac{1}{100} = 0,01 [V]$$

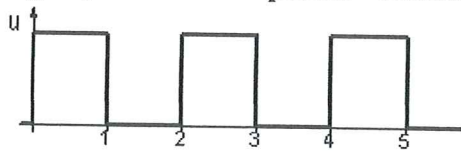
relativní hodnoty $A = 10 \cdot \log \frac{P_1}{P_2}$

absolutní hodnoty $L = 10 \cdot \log \frac{P_x}{P_0} [Db]$, $L = 20 \cdot \log \frac{U_x(I_x)}{U_0(I_0)} [Db]$

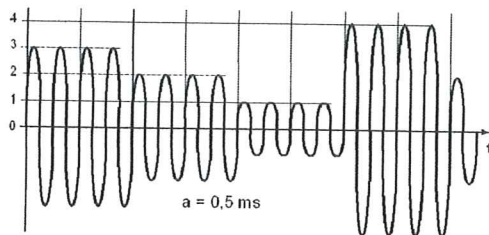
referenční hodnoty : $Z=600\Omega$, $P_0=1mW$, $U_0=0,775V$, $I_0=1,29mA$

útlum - $P_2 < P_1$, zisk - $P_2 > P_1$

Signály v základním pásmu – 2Bd/Hz



Signály v přeloženém pásmu – 1Bd/Hz



Rozdělení modulací

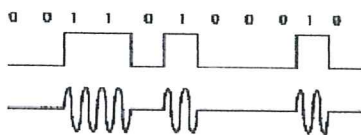
modulační signál - signál, který chceme modulovat na nosný signál

nosný signál - signál, který modulujeme modulačním signálem

modulovaný signál - výsledný signál po procesu modulace

modulační produkty - složky modulovaného signálu (z pohledu jeho frekvenční analýzy)

ASK - Amplitude-Shift Keying



MODULACE S KLÍČOVÁNÍM AMPLITUDY (KLÍČOVÁNÍ AMPLITUDOVÝM POSUVEM, ZDVIHEM) NEMÁ VE SVĚ ZÁKLADNÍ PODOBĚ VÝHODNÉ VLASTNOSTI A PROTO SE NEPOUŽÍVÁ

FSK - Frequency-Shift Keying

PSK - Phase-Shift Keying

-DPSK - Different Phase Shift Keying

-BPSK - Binary Phase Shift Keying (dvoustavová)

-QPSK - Quadrature Phase Shift Keying (čtyřstavová)

PAM - pulzně amplitudová modulace

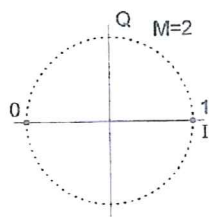
PWM - pulzně šířková modulace

PPM - pulzně polohová modulace

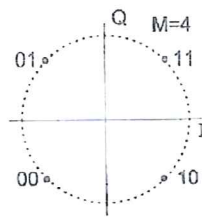
PCM - pulzně kódová modulace

QAM - kvadrurní amplitudová modulace

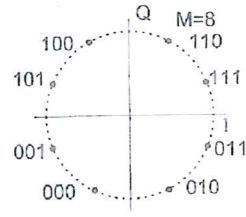
APSK - amplitudově fázová modulace



2PSK



4PSK



8PSK

Úrovně signálu na přenosové cestě

V přenosové a datové technice obvykle nepoužíváme základní fyzikální jednotky (napětí, proud, výkon), ale logaritmický poměr těchto veličin, který se nazývá úroveň L (level).

Základní vyjádření:

$$L_m = 10 \cdot \log \frac{P_x}{P_0} \quad [\text{dBm}] \quad \text{kde} \quad P_0 = 1 \text{ mW}$$

$$L_U = 20 \cdot \log \frac{U_x}{U_0} \quad [\text{dB}_U] \quad \text{kde} \quad U_0 = \sqrt{P_0 \cdot Z_0} = \sqrt{1 \cdot 10^{-3} \cdot 600} = 0,775 \text{ V}$$

$$L_I = 20 \cdot \log \frac{I_x}{I_0} \quad [\text{dB}_I] \quad \text{kde} \quad I_0 = \sqrt{\frac{P_0}{Z_0}} = \sqrt{\frac{1 \cdot 10^{-3}}{600}} = 1,29 \text{ mA}$$

$$\Delta = 10 \cdot \log \frac{Z_0}{Z_x} \quad [\text{dB}] \quad \text{kde} \quad Z_0 = 600 \Omega$$

$$L_m = L_U + \Delta$$