

Modulace analogových a číslicových signálů - rozdělení, vlastnosti, způsob použití.

Kódování na fyzické vrstvě komunikačního kanálu. Metody zabezpečení přenosu.

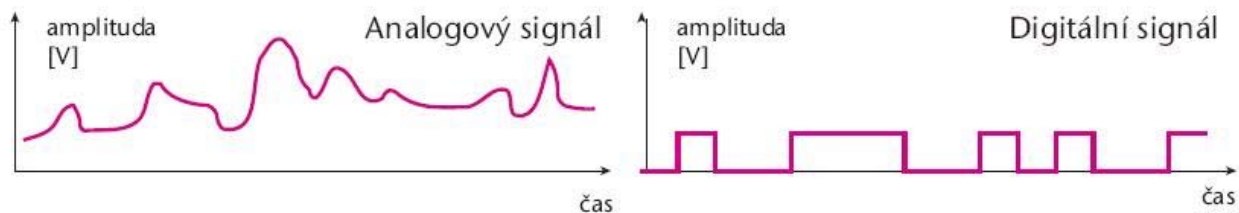
Modulace analogových a číslicových signálů

Signál – prostředek pro přenos informace

- *elektromagnetický signál* – prostředek pro přenos šířením změn elektromagnetických vlastností prostředí
- primárně — funkce času a místa (zdroj, příjemce, přenosový kanál signálu)
- fyzická reprezentace dat – informace se kóduje do *signálových prvků*
- signálové prvky jsou vymezeny *charakteristikami signálu*

Rozdělení signálů:

- *analogový signál* = spojitý v čase + spojitý v hodnotách
- *digitální signál* = diskrétní v čase + diskrétní v hodnotách



Modulace :

– Lineární modulace analogových sig.

1. AM (amplitudová m.) harmonického signálu :

– nosný signál - sig. s nižší frekvencí než modulační signál (nosič sig.)

$$a(t) = A * \cos(\omega_0 * t + \varphi_0)$$

– modulační signál – sig. který nese informaci (zvuk, obraz...)

$$x(t) = X_m * \cos(\Omega * t + \Phi)$$

$$g(t) = x(t)/X_m = \cos(\Omega * t + \Phi)$$

– výsledný modul. signál :

$$a_A(t) = A [1 + m_A * g(t)] * \cos(\omega_0 * t + \varphi_0), \quad m_A = \Delta A / A$$

Odvození viz. Skripta Přenos informace, 2004 str. 62

– vlastnosti :

1. frek. spektrum $x(t)$ se AM posune o kmitočet nosného signálu f_0

2. frek. spektrum amp. mod. sig. je souměrné kolem frekvence f_0
3. frek. spektrum amp. mod. sig. obsahuje doní postranní pásmo, složku s kmitočtem nosného sig. a horní postranní pásmo
4. šířka kmit. pásma je dvojnásobkem nejvyššího kmitočtu kmitočového spektra modulačního sig.

$$\Delta F_s = 1/2\pi * [(\omega_0 + n\Omega) - (\omega_0 - n\Omega)\omega] = 2 * n * \Omega / 2 * \pi = 2 * n * f_\Omega$$

- střední výkon amp. mod. sig. :

Při nulové stř. hodnotě je nulový

$$P_s = \frac{A^2}{2} + \frac{\overline{x^2(t)}}{2} + A \frac{1}{T} \int_0^T x(t) dt$$

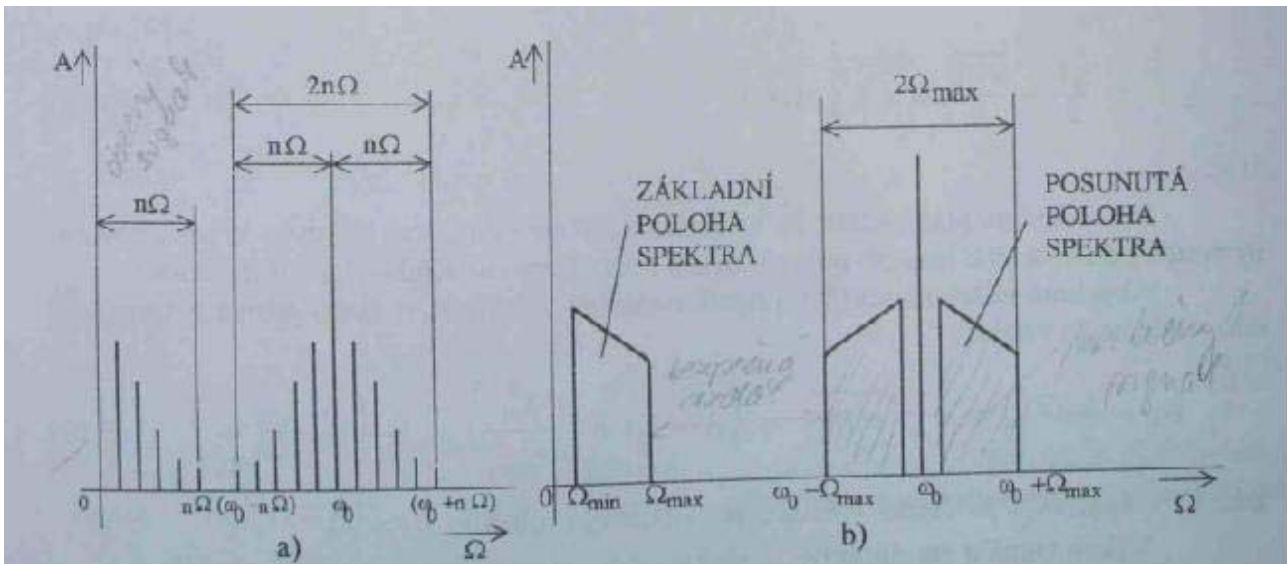
Výkon nosného sig.

Výkon obou postranních pásem

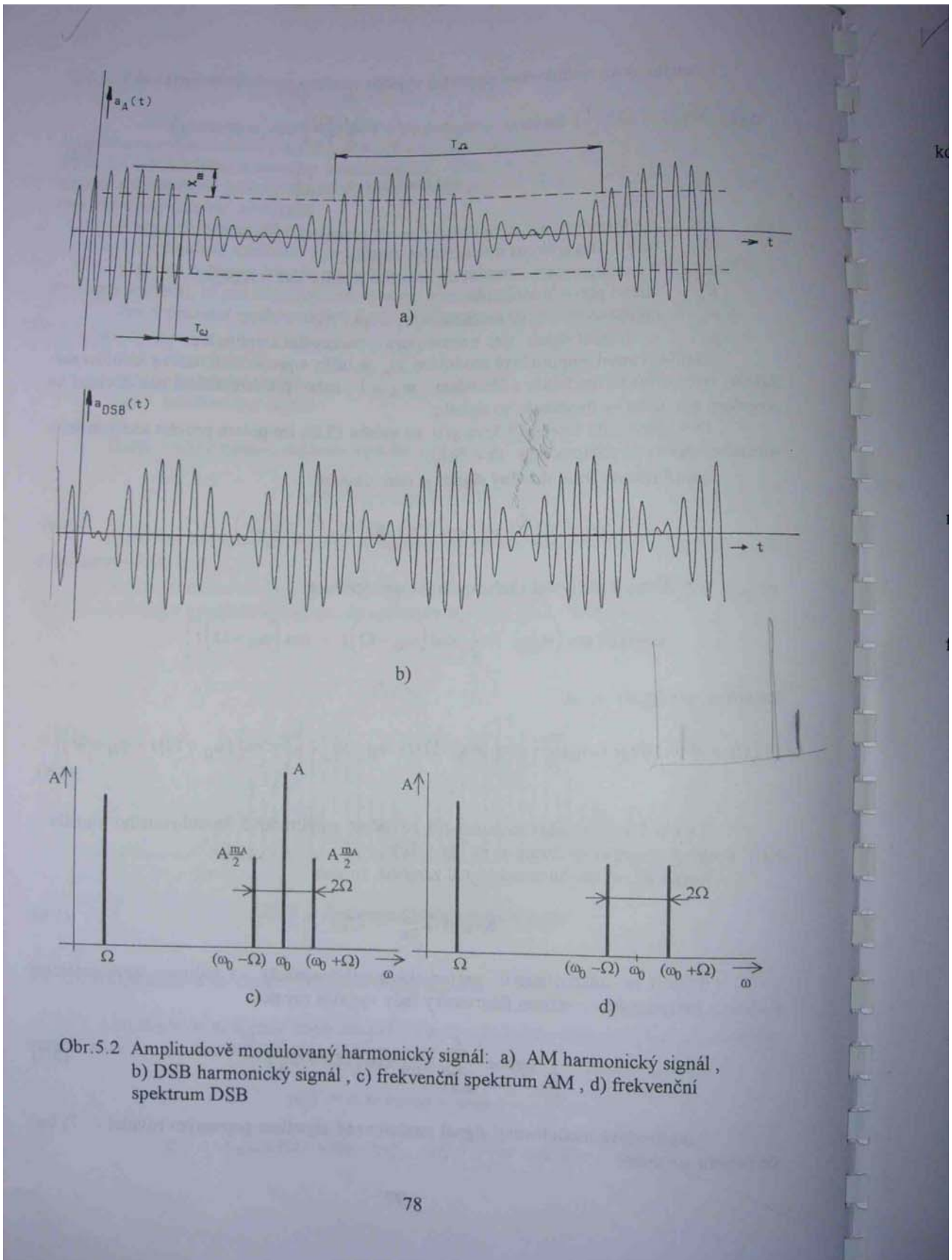
po úpravě předchozího vzorce :

$$P_s = \frac{A^2}{2} * \left(1 + \frac{m_A^2}{k_v^2}\right), \quad k_v = X_{\max} / X_{\text{ef}} - \text{činitel výkonu}$$

Poúpravách a dostaneme tento vztach. Úpravy viz. Skripta Přenos informace, 2004, str. 65



Obr. 5.3 a) Frekvenční pásmo (základní) modulačního signálu $x(t)$ a amplitudově modulaného harmonického signálu $a_A(t)$,
 b) frekvenční pásmo modulačního signálu $x(t)$ pro kmitočty od Ω_{\min} do Ω_{\max} a frekvenční pásmo amplitudově modulaného harmonického signálu $a_A(t)$



Obr. 5.2 Amplitudově modulovaný harmonický signál: a) AM harmonický signál, b) DSB harmonický signál, c) frekvenční spektrum AM, d) frekvenční spektrum DSB

2. DSB (amplitudová mod. s potlačenou nosnou) :

- variace :

1. oboustranná s potlačenou nosnou = DSB
2. jednostranná s nosnou
3. jednostranná s částečně potlačenou nosnou
4. jednostranná s potlačenou nosnou = SSB

– výsledný modul. signál :

$$a_{\text{ADSB}}(t) = x(t) * \cos(\omega_0 * t)$$

– šířka pásma :

$$\Delta F_s = 2 * f_{n\Omega}$$

– střední výkon amp. mod. sig. :

$$P_S = \frac{1}{T} * \int_0^T x^2(t) \cos(\omega_0 * t) dt = \frac{1}{2} * x^2(t)$$

3. FM (kmitočtová mod.) harmonického signálu :

– rozdělení modulace

a) *malou amplitudu* modulač. sig, které odpovídá *úzkopásmová kmit. mod.*

- v praxi se nevyužívá
- malé hodnoty činitele modulace ($m_F < < 1$)
- šířka pásma : $\Delta F_S = 1/2\pi * [(\omega_0 + \Omega) - (\omega_0 - \Omega)] = 2 * f_{\Omega\text{max}}, f_{\Omega\text{max}} - \text{max.}$
frekvence sig. $g(t)$

b) *velkou amplitudu* modulač. sig, které odpovídá *širokopásmová kmit. mod*

- vzorec pro $a_F(t)$ se musí převést do *Besselových funkcí* :

$$a_F(t) = A \{ J_0 * m_F * \cos(\omega_0 * t) - J_1 * m_F * [\cos(\omega_0 - \Omega) * t + \cos(\omega_0 + \Omega) * t] \} + A \{ J_2 * m_F * [\cos(\omega_0 - 2 * \Omega) * t + \cos(\omega_0 + 2 * \Omega) * t] \} + A \{ J_3 * m_F * [\cos(\omega_0 - 3 * \Omega) * t + \cos(\omega_0 + 3 * \Omega) * t] \} + \dots, m_F = \Delta\omega_m / \Omega$$

Kmitočtové spektrum (obr. 5.4) má s kmit. nosné a nekonečný počet bočních složek s kmit $(\omega_0 \pm \Omega), (\omega_0 \pm 2 * \Omega), (\omega_0 \pm 3 * \Omega) \dots$

- šířka pásma : $\Delta F_S \approx 2 * m_F * f_\Omega = 2 * \Delta f_m, m_F \gg 1$

- střední výkon kmit. mod. sig. :

$$P_S \approx a_F^2(t) = \frac{A^2}{2} * \sum_{-\infty}^{\infty} J_k^2(m_F) = \frac{1}{2} * A^2, \sum_{-\infty}^{\infty} J_k^2(m_F) = 1$$

- nosný signál

$$a(t) = A * \cos(\omega_0 * t + \varphi_0)$$

- modulační signál – sig. který nese informaci (zvuk, obraz...)

$$x(t) = X_m * \cos(\Omega * t + \Phi)$$

$$g(t) = x(t)/X_m = \cos(\Omega * t + \Phi)$$

- výsledný modul. signál :

$$a_F(t) = A * \cos[\omega_0 * t + m_F * \sin(\Omega * t + \varphi_0 + \Phi)], m_F = \Delta\omega_m / \Omega$$

Odvození viz. Skripta Přenos informace, 2004 str. 68

- střední výkon kmit. mod. sig. :

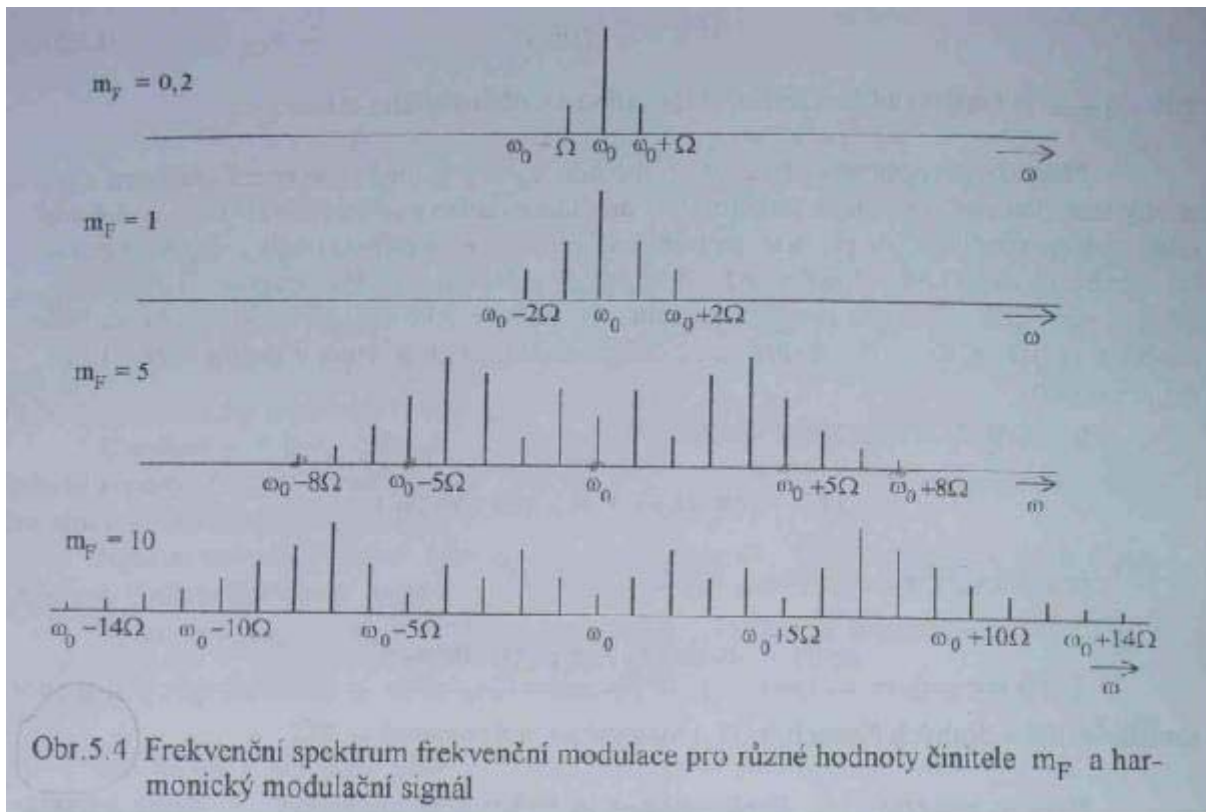
$$P_S = \frac{1}{T} * \int_0^T a_F^2(t) dt = \dots = \frac{A^2}{2} + \frac{A^2}{2 * T} * \int_0^T \cos(2 * \omega_0 * t + 2 * m_F * \sin(\Omega * t)) dt$$

Výkon nemodulovaného sig.

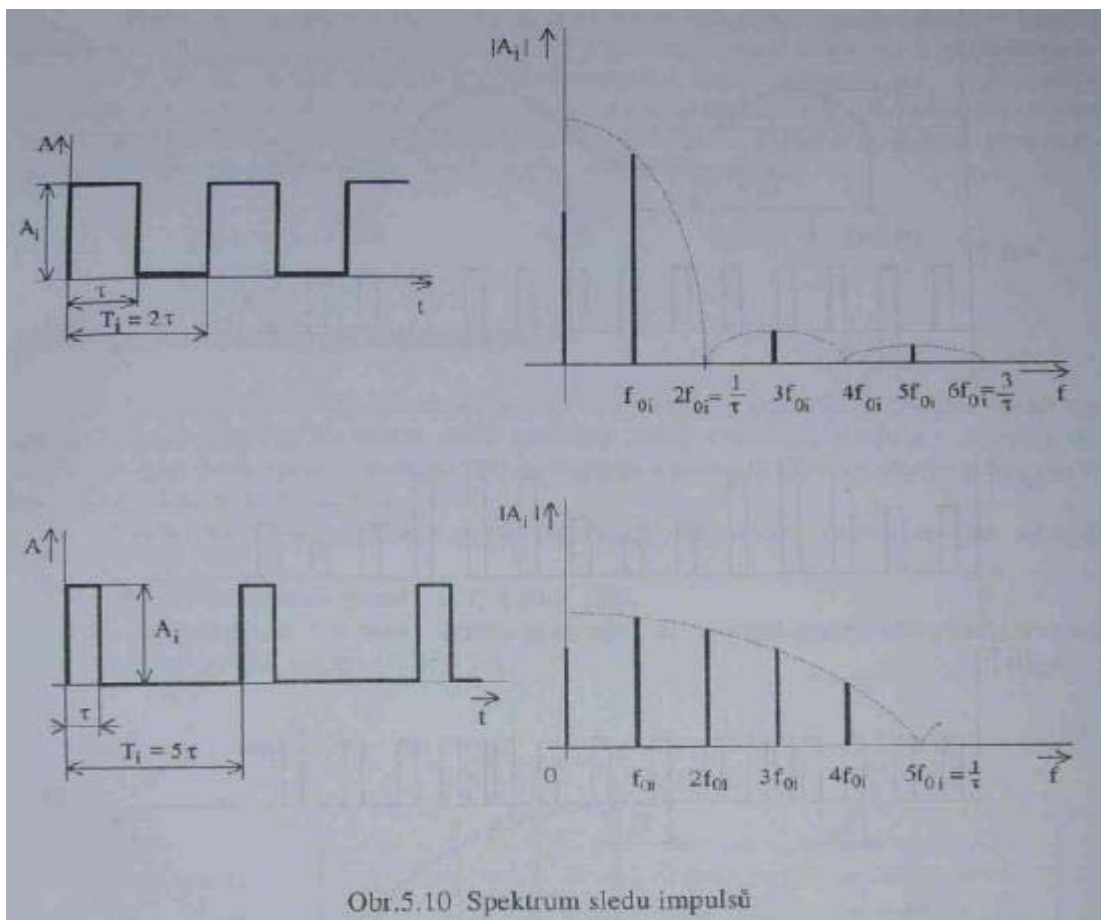
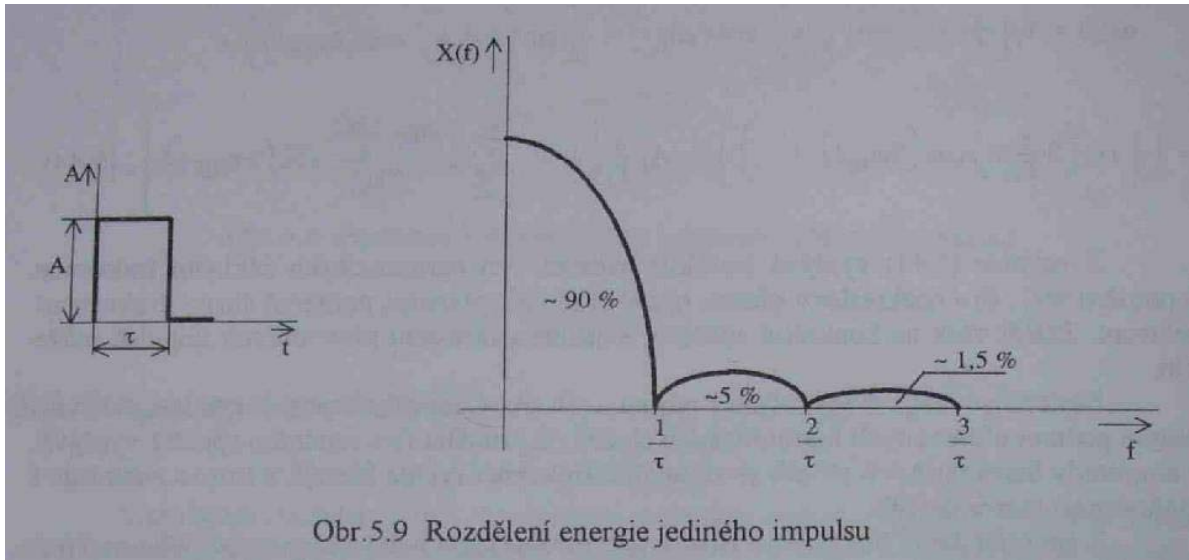
Bude roven nule (je-li T perioda a platí $\Omega \ll \omega_0$)

Odvození viz. Skripta Přenos informace, 2004 str. 68

- tento vztah byl odvozen pro harmonický modulační sig., ale platí i pro neharmonický sig.

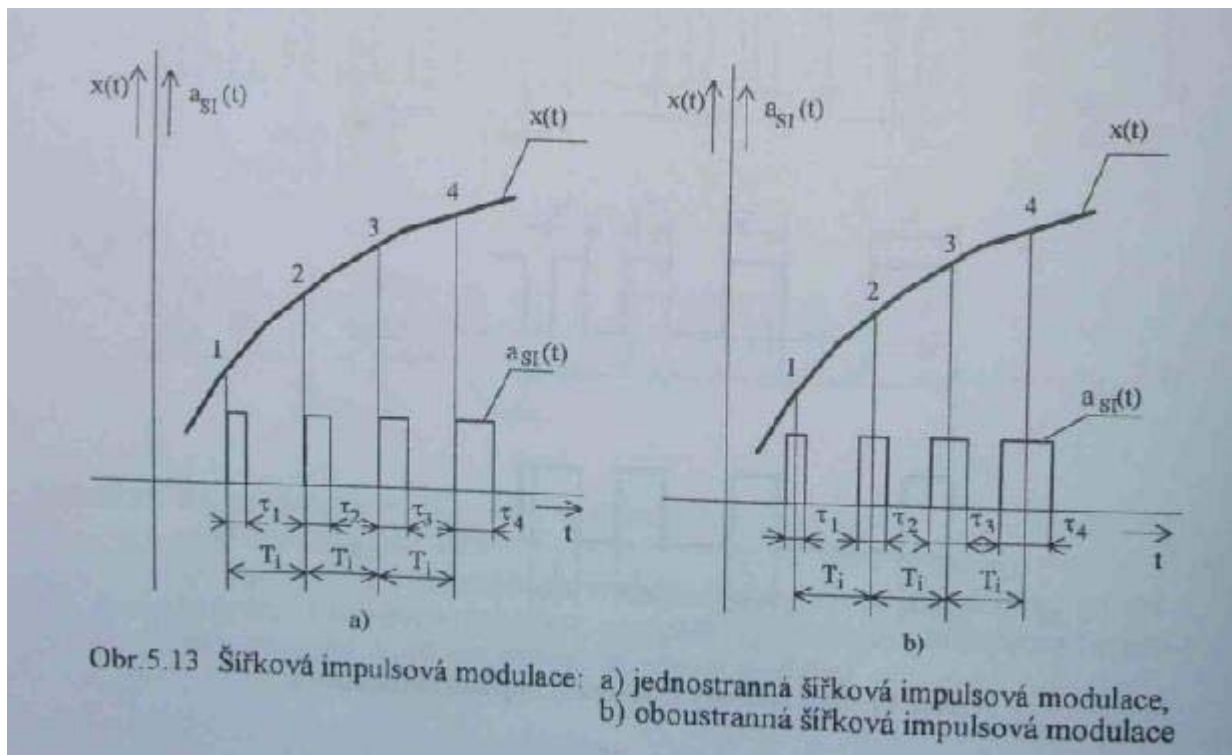


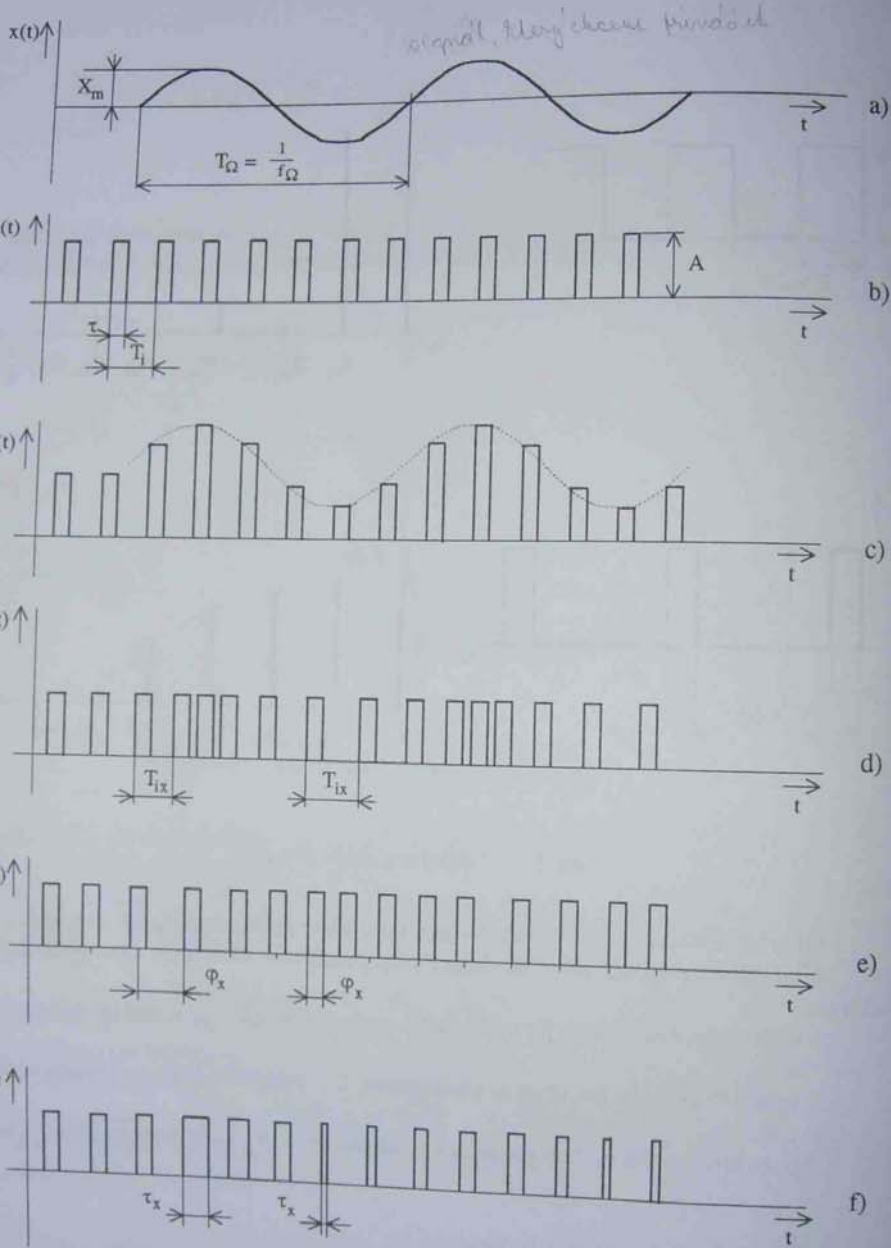
- Impulsová modulace analogových sig.
 - nosný sig. : sled impulsů, jejichž vlastnosti se mění podle typu modulace = *modulované impulsové signály*



- imp. modulace musí s dostatečnou rezervou akceptovat vzorkovací teorém (po rekonstrukci sig. přenášeného disk. cestou musí výsledek splňovat stanovené podmínky.)
- Rozdělení modulace podle způsobu vzorkování informačního signálu :
 1. impulsová analogová modulace – nosný signál je sled periodických impulsů, jejichž char. parametry (výška, šířka, trvání...) se mění spojitě podle informačního sig. Dělení :
 - a) *amplitudovou impulsovou mod.* - výška imp. úměrná modulač. sig.
 - b) *kmitočtová impulsová mod.* - změna kmitočtu
 - c) *polohová impulsová mod. (fázová)* – mění se poloha impulsu vzhledem k předchozímu
 - d) *šířková impulsová mod.* - mění se šířka impulsů
 1. jednostranná šířková mod.
 2. oboustranná šířková mod.
 2. impulsová kódová modulace

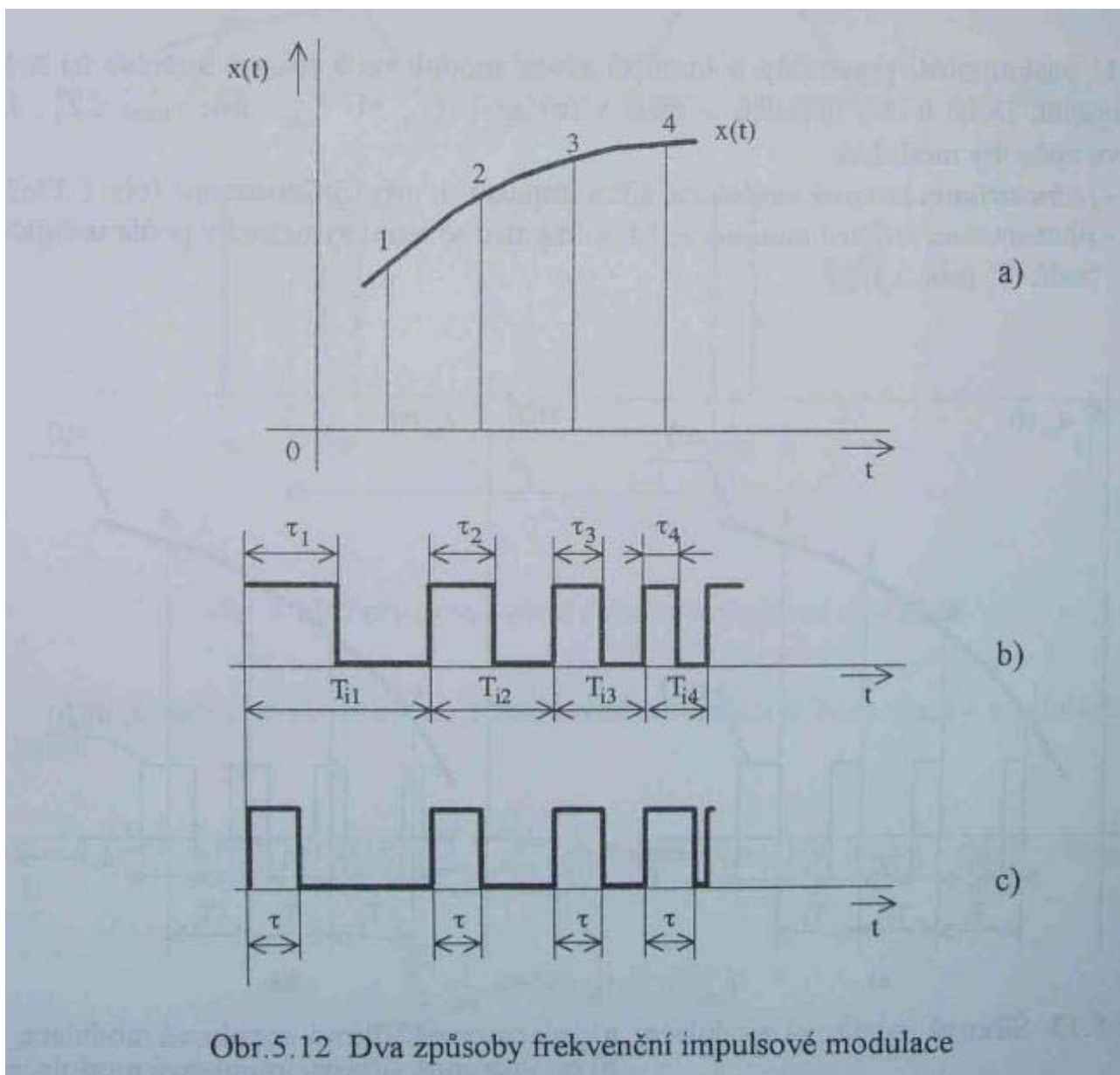
ad. d. Šířková impulsová modulace :





Obr.5.11 Různé způsoby modulace sledu pravoúhlých impulsů :
 a) modulační signál sinusového průběhu $x(t)$, b) nosný signál $a(t)$,
 c) signál $a_{IA}(t)$ při amplitudové impulsové modulaci, d) signál $a_{IK}(t)$ při
 kmitočtové impulsové modulaci, e) signál $a_{IF}(t)$ při fázové impulsové modu-
 laci, f) signál $a_{IS}(t)$ při šířkové impulsové modulaci

ad. b. Kmitočtová impulsní modulace :



Obr.5.12 Dva způsoby frekvenční impulsní modulační

způsoby :

1. T (perioda) – stejná, mění se τ (obr. 5.12 c)
2. mění se T (perioda) i τ (obr. 5.12 b))

➤ Modulace pro přenos dat

1. ASK (amplitudová modulace)

– nosný signál

$$a(t) = A * \cos(\omega * t + \varphi)$$

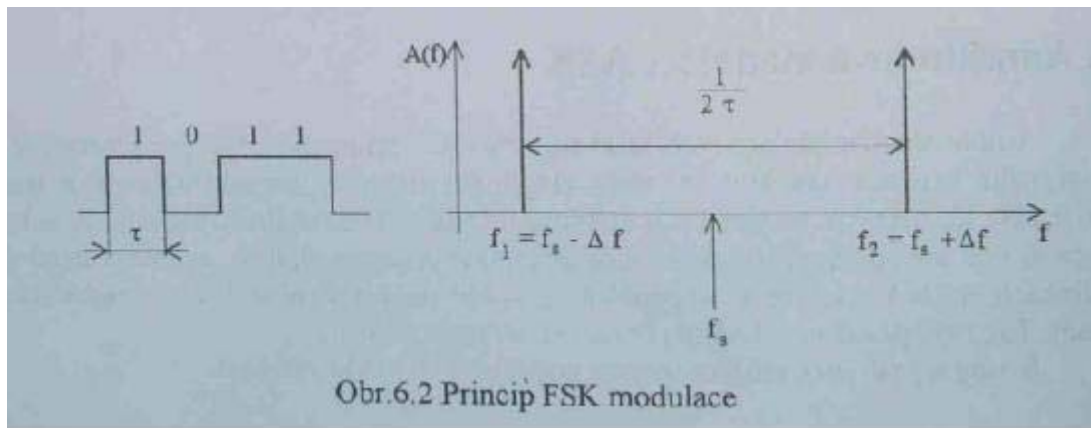
- výsledný modul. signál :

$$a_{\text{ASK}}(t) = d(t) * A * \cos(\omega * t + \varphi), \text{ kde } d(t) \text{ nabývá hodnot "0"; "1"}$$

- vlastnosti :
 - nevýhody z hlediska detekce signálu pro demodulátor (kolísání amplitudy)
 - obecně možné nastavit několik různých amplitud nosného harm. sig.
 - neovlivňuje přenosové parametry kanálu

2. FSK (kmitočtová modulace)

- rozšíření ASK
- princip : log 0 a log 1 jsou přiřazeny různé frekvence



- vlastnosti :
 - jednoduché kódování
 - využívá dostupnou FM techniku
 - menší možnost rušení než u ASK
 - omezením kmit. pásma se zvýší odolnost proti rušení
- výsledný modul. signál :

$$a_{\text{FSK}}(t) = A * \cos [2 * \pi * (f_s \pm \Delta f) * t]$$

- šířka pásma pro přenos kmitočtu f_1 resp. f_2 :

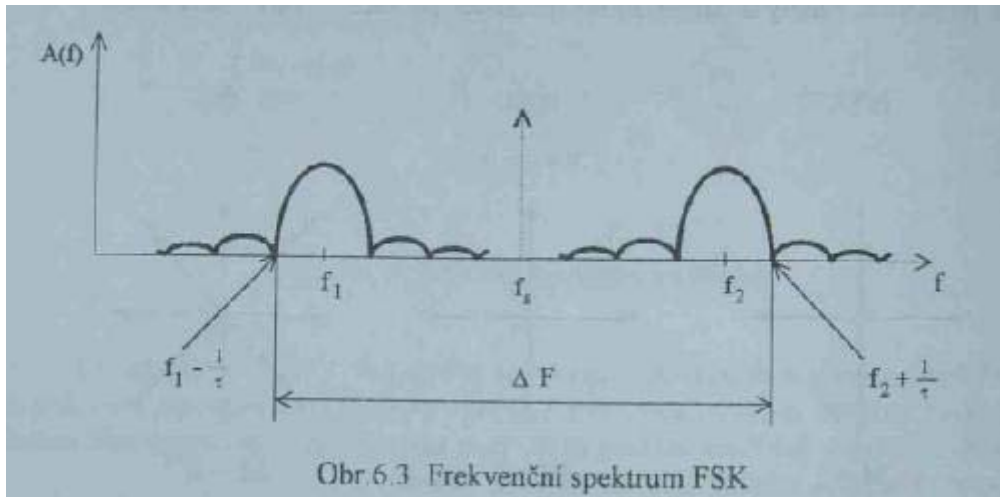
$$\Delta f = \frac{(f_2 - f_1)}{2} = \frac{1}{4} * \tau$$

Pro kmit. přiřazené jednotlivým stavům:

$$f_1 = f_s - \Delta f = f_s - \frac{1}{4} * \tau \quad f_2 = f_s + \Delta f = f_s + \frac{1}{4} * \tau$$

- šířka pásma pro FSK :

$$\Delta F = f_2 + \frac{1}{\tau} - (f_1 - \frac{1}{\tau}) = f_2 - f_1 + \frac{2}{\tau}$$



3. PSK (fázová modulace)

- výsledný modul. Signál :

$$a_{PSK}(t) = a * \sin \left[\omega * t + \frac{2 * \pi * (i-1)}{M} \right]$$

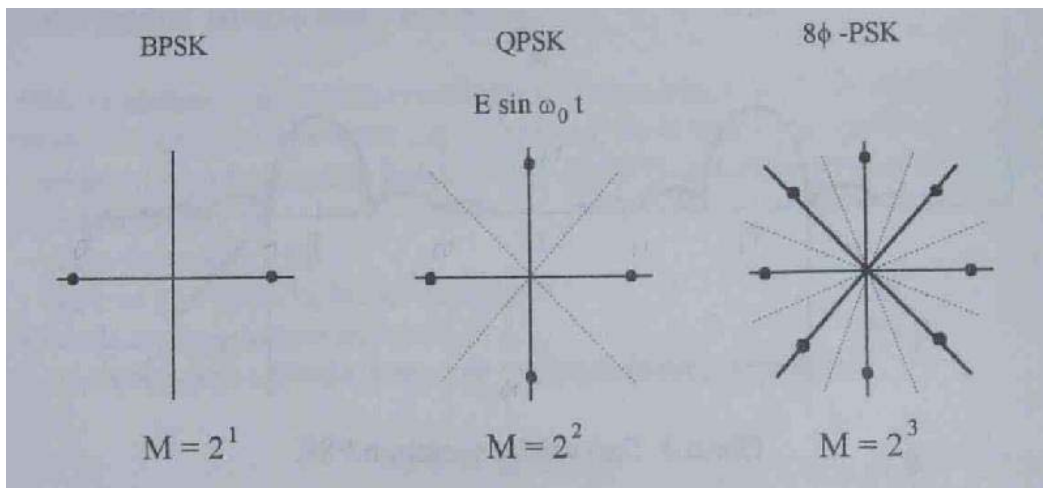
$$i=1,2,\dots,M$$

$M=2^n$ je počet fázových stavů, n- počet fáz. Stavů, které určují fáz. stavy

- varianty :

1. BPSK – $M=2$, binární modulace
2. QPSK – $M=4$, kvadraturní modulace
3. 8Φ – PSK – $M=8$

Zvýšením počtu stavů se zvyšuje rychlost přenosu, ale musí se dát pozor na poměr signál/ šum



4. QAM (kvadrurní amplitudová modulace)

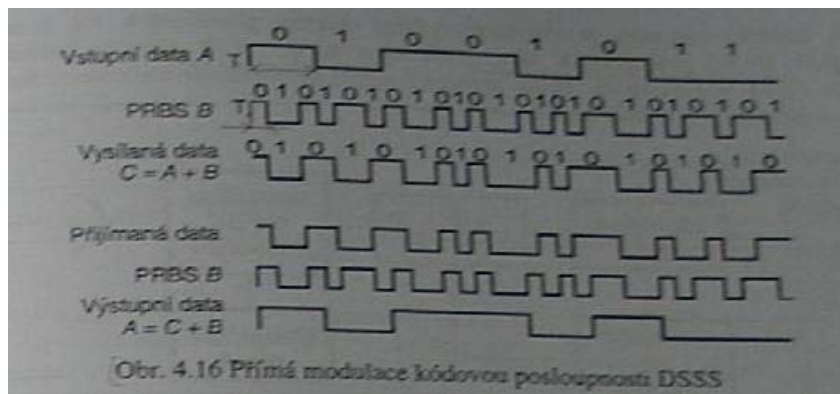
- kombinace amplitudové a fázové modulace
- kapacitu kanálu určuje frekvence nosné a poměr signál/šum

➤ Rozprostřené spektrum

- využití : wi-fi, mobilní komunikace
- výhody :
 1. potlačení rušení
 2. omezení odposlechu
 3. využití použitého kmit. pásma dalšími uživateli

1. DSSS (systém s přímou modulací kódovou posloupností)

- způsoby modulace :
 1. bity vlastní zprávy se nahradí M bity pseudonáhodné posloupnosti ve vysílači (zvýší se počet přenášených bitů) \Rightarrow zvětšení šířky pásma. Vlastní modulace se provádí binární PSK (fáze se mění $0^\circ - 180^\circ$). šířka pásma $B_i = 2 * \Delta f_{vst}$
 2. úmyslně zvýšíme objem přenášených dat rozmítáním datového signálu PRBS posloupností. Data se sečtou mod2 s generovanou PRBS posloupností. Takto upravený signál se pak moduluje na nosnou frek. Demodulace probíhá korelačním způsobem.



- potlačení rušení :

$$\text{zisk zpracování signálu} : G_p = \Delta F_s / \Delta F_M = 2 * t_M / t_L$$

ΔF_s – šířka pásma zprávy t_M

ΔF_M - šířka pásma signálu

t_M – délka zprávy

t_L - délka vzorku PRBS

$$SNR = \frac{G_p * P_R}{\frac{P_N * G_p}{2 * t_M} + P_i}, \text{ SNR – signál/šum}$$

P_R – výkon přijatého sig.

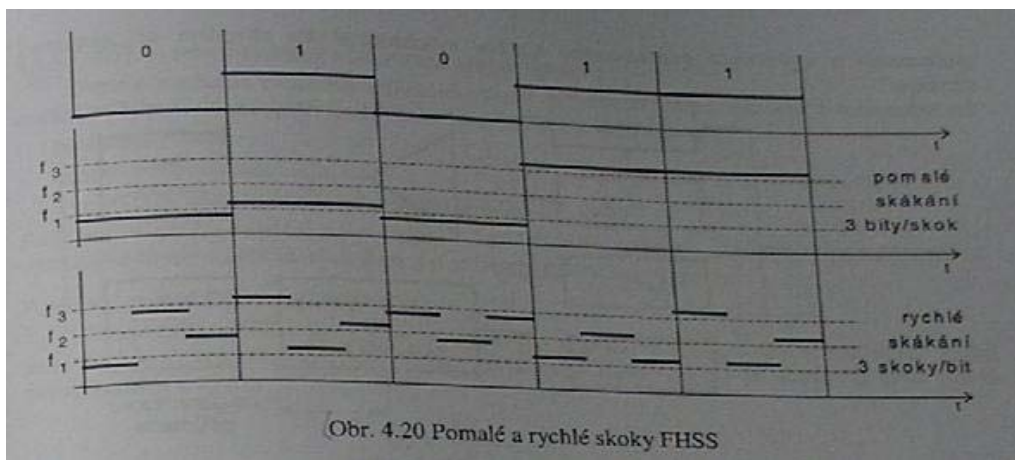
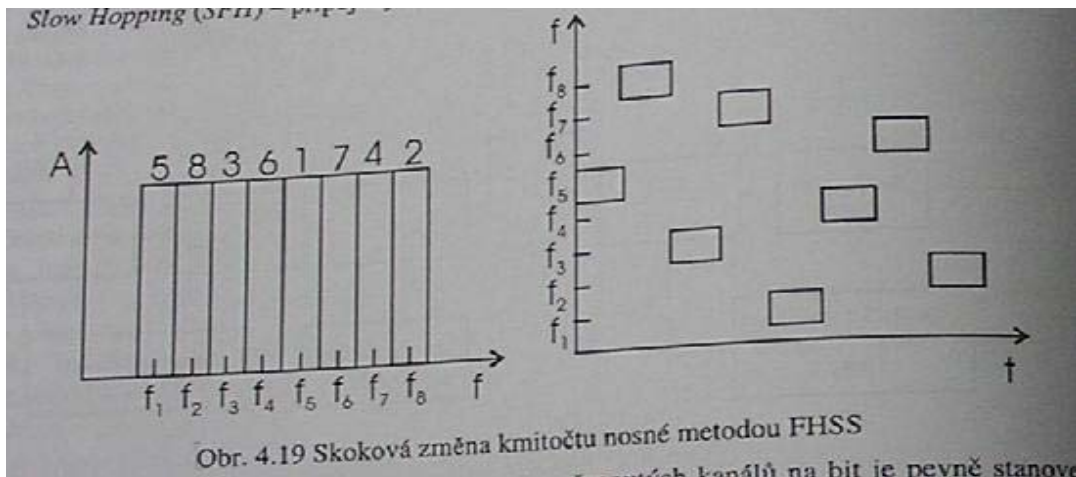
P_N – výkon šumu

2. FHSS (systém se skokovou změnou kmitočtu nosné)

- princip : M-FSK

- rozdělení :

1. Fast Hopping (FFH) – 1 bit se přenáší postupně několika kanály
2. Slow Hopping (SFH) – připojeným kanálem se přenáší několik bitů



- spektrum se volí tak, aby se dosáhlo potřebné šířky pásma signálu
- přenášený signál se směšuje s pomocnou nosnou f_m
- potlačení rušení :

$$\text{zisk zpracování signálu} : G_p = \Delta F_s / \Delta F_M = n * M * K$$

K – konstanta násobiče kmitočtů

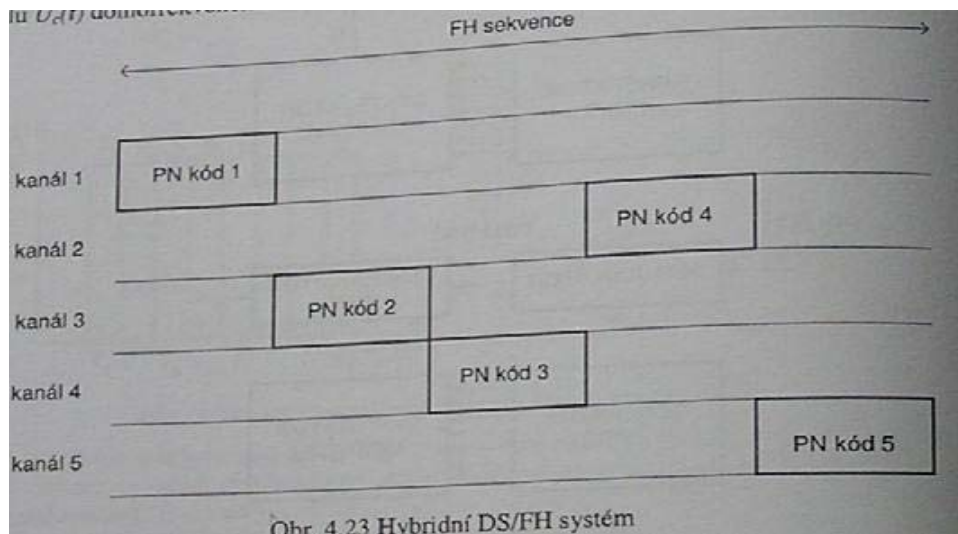
n – počet úseků, na které se dělí zpráva

M – délka posloupnosti generátoru náhodné posloupnosti

3. DS/(F)FH (hybridní systém)

- kombinace DSSS a FHSS
- základem je hopping, který je řízen PRBS generátorem a sekvence, která je přenášena v kanále je kódována dalším PRBS generátorem
- při komunikaci více uživatelů způsobem point-point je třeba pro kódování zvolit

Walsh kódy (sčítání několika posloupností PRBS)



Metody zabezpečení přenosu

Rozdělení:

1. Detekční kódy

- detekují chyby během přenosu
- počet detekovaných chyb je dán min. vzdáleností : $d_{\min} \geq q_z + 1$, q_z – počet chyb
- druhy :

1. Izokódy

- kódy s konstantní váhou (počet 1 je ve všech slovech stejný)
- označení C_n^k , k – počet “1”, n – celkový počet prvků slova
- výpočet možných slov : $C_n^k = \binom{n}{k} = \frac{n!}{k! * (n-k)!}$
- redundance : $R = \frac{n - n_0}{n_0}$, n – počet prvků kód. slova, n_0 – počet prvků ekvivalentního kódu, který je schopen zakódovat shodný počet slov

2. Kódy s paritou

parita = přidání jednoho bitu ke slovu, který zajišťuje sudost/lichost jedniček v daném slovu

Znak	Kód. slovo	Příčná parita
A	100 0001	0
B	100 0010	0
C	100 0011	1
D	100 0100	0
E	101 0000	0
Podélná parita	101 0100	-

3. Cyklické kódy

- ochrana signálu proti shluku chyb
- výpočet :

$$n = n_i + n_k, \quad n_k - \text{stupeň zabezpeč. polynomu}$$

$$2^{n_k} \geq n_i + n_k + 1, \quad n_i - \text{stupeň informačního kód. slova}$$

- používané kódy : CRC-12, CRC-16, CRC-32

2. BCH kódy

- detekční a opravný kód
- parametry :
 - délka bloku dat : $n = 2^m - 1$
 - počet informačních bitů : $k \geq n - m \cdot t$
 - min. kódová vzdálenost : $d_{\min} \geq 2 \cdot t + 1$, t – počet opravitelných chyb

Kódování na fyzické vrstvě komunikačního kanálu

Tuto část jsem nenašel ani ve skriptech. Pokud by někdo věděl co to je, tak ať mi to dá vědět rád to dodělám.

