

6. Maturitní otázka verze 3

Analogové modulační metody

Spojité modulační metody s VF harmonickou nosnou se dělí na amplitudové AM a úhlové. Teprve úhlové se dělí na kmitočtové FM a fázové PM. Napětí nosné vlny lze vyjádřit $u = U_N \sin(\Omega t + \varphi)$, kde U_N je max. amplituda nosné vlny (ovlivňuje ji AM), Ω je úhlová rychlost nosné vlny: $\Omega = 2\pi f$ kde f je kmitočet nosné vlny (FM) a φ je počáteční fázový posuv nosné vlny (PM).

1) AM

Předpoklady: $u_M = U_M \sin \omega t$ (u_M =okamžitá hodnota modulačního signálu)

$u_N = U_N \sin \Omega t$ (u_N =okamžitá hodnota nosného signálu)

platí $\omega \ll \Omega$ (modulační signál \ll nosná)

=> maximální hodnota každého kmitu AM signálu

$$U(t) = U_N + u_M = U_N + U_M \cdot \sin \omega t = U_N \cdot \left(1 + \frac{U_M}{U_N} \sin \omega t \right) = U_N \cdot (1 + m \sin \omega t)$$

=> $m = \frac{U_M}{U_N}$ =hloubka modulační =poměr velikosti nosného a modulačního signálu

=> okamžitá hodnota modulovaného AM signálu se bude rovnat

$$u(t) = U(t) \cdot \sin \Omega t = U_N \cdot (1 + m \sin \omega t) \sin \Omega t = U_N \sin \Omega t + U_N m \sin \omega t \cdot \sin \Omega t$$

rozvinutím podle goniometrické funkce $\sin \alpha \cdot \sin \beta = \frac{1}{2} [\cos(\alpha - \beta) - \cos(\alpha + \beta)]$

$$u_{AM} = U_N \sin \Omega t + \frac{m}{2} U_N \cos(\Omega - \omega)t - \frac{m}{2} U_N \cos(\Omega + \omega)t \quad (\text{nosná + D-H postranní kmitočty})$$

Z rovnice vyplývá, že zobrazeno v kmitočtové rovině se spektrum AM signálu modulovaného harmonickým průběhem skládá ze tří složek: nosná kmitočtu Ω resp. f_N a dvou symetrických postranních kmitočtů. Při modulaci přirozeným (měnícím se) signálem přechází postranní kmitočty do postranních pásem.

Nedostatky:

- 1) Špatné výkonové využití vysílače (pouze postranní pásma nesou inf. obsah a přitom obsahují pouze $\frac{1}{3}$ celkového výkonu).
- 2) Nízká odolnost vůči rušení amplitudového charakteru (poruchy, šum,...)
- 3) Nízká dynamika signálu v důsledku omezené hloubky modulační (max 90-95%)
- 4) Malá šířka pásma $\pm 4,5 \text{ kHz}$ v rozhlasových pásmech omezuje kmitočtový rozsah přenášeného NF signálu. Je však naopak vhodná pro využití kmitočtově úzkých pásem ($SV \approx 0,5 \dots 1,5 \text{ MHz}$, KV cca 500 kHz)

Účelové varianty AM:

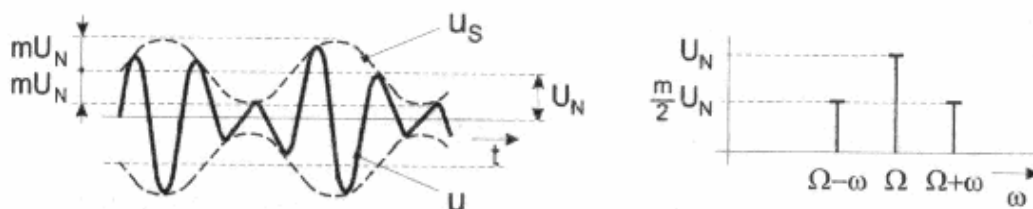
DSB (Dual Side Band)-obě postranní pásma s potlačenou nosnou

SSB (Single Side Band)-pouze jedno postranní pásmo (užití-dálkové spoje)

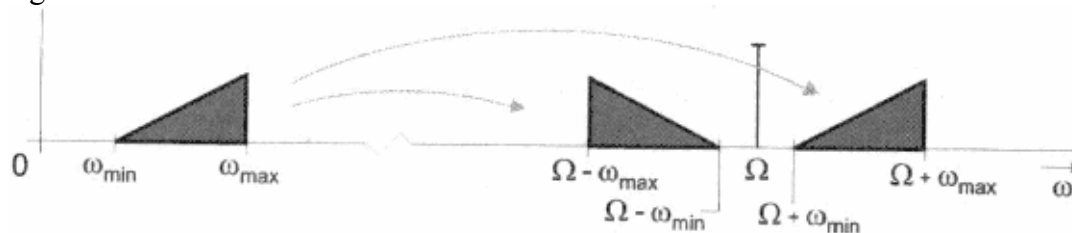
VSB (Vestigial Side Band)-částečně potlačené postranní pásmo

ISB (Independent Side Band)-nezávislá postranní pásma

obr.1-časový průběh a frekvenční spektrum při AM modulaci harmonickým signálem



obr.2-spektrum modulačního produktu AM modulace při modulaci nosné mnohovlnným signálem



2)FM

Typickou vlastností je konstantní amplituda modulovaného signálu, mění se jeho kmitočet, viz obr.1. Harmonickým signálem ω modulovaný FM signál s nosnou Ω_0 (bez modulace) si lze představit, jako vektor $\Delta\Omega$ s konstantní amplitudou rotující kolem pevného bodu Ω_0 rychlostí ω . Z tohoto modelu vyplývá závislost $\Omega_{FM(t)}$ na modulačním kmitočtu ω a na kmitočtovém zdvihu $\Delta\Omega$ (největší změna nosné frekvence). $\Omega_{FM(t)} = \Omega_0 + \Delta\Omega \cos \omega t$

Poměr mezi zdvihem a úhlovou modulační rychlostí ω se označuje jako index frekvenční modulace a je dán vztahem. $M = \frac{\Delta\Omega}{\omega}$

Podle definice úhlového kmitočtu $\Omega = \frac{d\Phi}{dt}$ vyplývá, že integrací základní rovnice podle času můžeme odvodit i okamžitý fázový úhel kmitočtově modulovaného signálu.

$$\Phi_{FM(t)} = \int \Omega_{FM(t)} dt = \Omega_0 t + \frac{\Delta\Omega}{\omega} \sin \omega t = \Omega_0 t + M \sin \omega t$$

Užitečné spektrum kmitočtové modulace je rozloženo do teoreticky nekonečného počtu spektrálních složek, umístěných symetricky vzhledem k nosné a s odstupy a šířce ω (resp. f_{mod}). Prakticky se však pro přenos využívá jen omezeného počtu těchto složek, které v sobě obsahují převážnou část celkové energie frekvenčně modulované vlny. Na obr.2 jsou uvedeny tři příklady spektrálních složek frekvenčně modulované vlny pro různé indexy frekvenční modulace. Na svislé ose je vynesena poměrná absolutní hodnota amplitudy jednotlivých složek a na vodorovné ose pak symetricky k frekvenci nosné Ω násobky součtových ($\Omega + \omega$, $\Omega + 2\omega$, ...) a rozdílových frekvencí ($\Omega - \omega$, $\Omega - 2\omega$, ...). Namísto úhlové rychlosti můžeme uvažovat frekvenci.

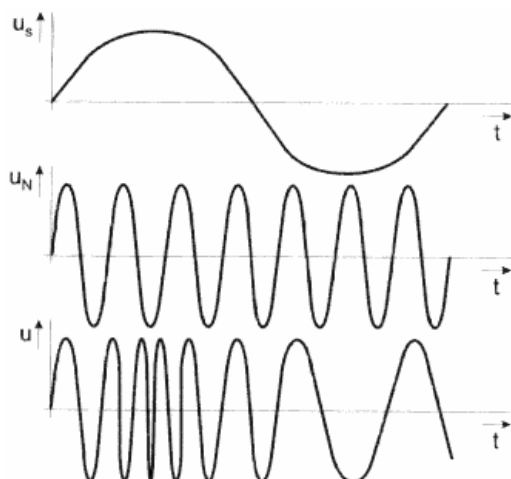
Přednosti FM:

- 1) Možnost potlačení rušení amplitudového charakteru silným zesílením a následním omezením signálu na přijímací straně. Zůstává však zkreslení a rušení parazitní fázovou modulací a šumy.
- 2) Lepší výkonové využití vysílače tím, že podstatný podíl výkonu je soustředěn do spektrálních složek přenášející informační obsah.
- 3) Podstatně vyšší dynamika přenosu.
- 4) Možnost podstatného zvýšení odstupů S/N (signál/šum) zařazením vzájemně inverzních kmitočtových korekcí do modulací (korekce ve vysílači=preemfáze) a demodulační (korekce v přijímači=deemfáze) sekce.

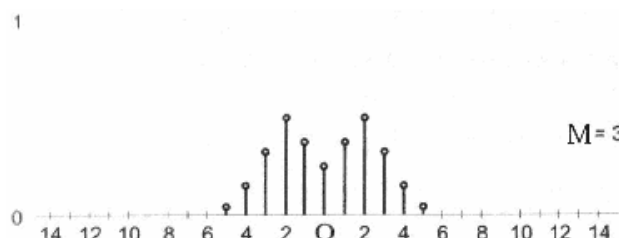
Nedostatky FM:

- Základním nedostatkem vyplývajícím ze zajištění předchozích předností je ve srovnání s AM potřeba mnohem širšího přenosového pásma a z toho vyplývající nutnost provozu na VKV a UKV.

obr.1



obr.2



Př. pro rozhlasový kanál 30-15000Hz resp. $\Delta f = 15\text{kHz}$ je potřebná šíře pásma:

- | | |
|--|---|
| 1) při použití AM s přenosem obou postranních pásem | $\Delta f_{\text{mod}} = 30\text{kHz}$, |
| 2) při použití AM s přenosem jednoho postranního pásma (SSB) | $\Delta f_{\text{mod}} = 15\text{kHz}$, |
| 3) při použití FM s indexem frekvenční modulace $M=8$ | $\Delta f_{\text{mod}} = 240\text{kHz}$. |

3) Přenosová zkreslení:

- a) lineární – postihují závislost na kmitočtu
 - útlumová – kmitočtová závislost útlumu
 - fázová (zkreslení skupinového zpoždění) – různé zpoždění signálu pro různé kmitočty
- b) nelineární
 - amplitudové – tvarové „oříznutí“
 - harmonické – zjištění vyšších harmonických složek vzniklých v důsledku nelinearity
 - intermodulační – zjištění dalších kmitočtových složek vzniklých při buzení kombinací dvou harmonických signálů různých kmitočtů
- c) zkreslení vlivem šumu a rušení – příčiny: tepelné šумы (vznikají na vedeních a v zesilovačích), brumy ze síťového napájení, impulsní rušení (atmosférickou elektřinou a ze silových rozvodů) a přeslechy (ze souběžně vedených okruhů).