Amplitudová modulace

Při amplitudové modulaci je amplituda střídavého napětí závislá na čase a můžeme jí vyjádřit vztahem

$$U(t) = U_n + U_m \sin(\omega t + \varphi). \tag{7}$$

Dosadíme-li amplitudu danou vztahem (7) do rovnice (1) dostaneme rovnici pro okamžitou hodnotu napětí ve tvaru

$$u = \left(U_n + U_m \sin(\omega t + \varphi)\right) \sin \Omega t. \tag{8}$$

Po roznásobení získáme výraz $u = U_n \sin \Omega t + U_m \sin \Omega t \cdot \sin(\omega t + \varphi)$, který po úpravě pomocí goniometrického vztahu

$$\sin\alpha \cdot \sin\beta = \frac{1}{2}\left(\cos(\alpha - \beta) - \cos(\alpha + \beta)\right) \tag{9}$$

přejde do tvaru $u = U_n \sin \Omega t + \frac{U_m}{2}\left(\cos(\Omega t - \omega t - \varphi) - \cos(\Omega t + \omega t + \varphi)\right)$. Ten již snadno upravíme do tvaru

$$u = U_n \sin \Omega t + \frac{U_m}{2}\cos\left((\Omega - \omega)t - \varphi\right) - \frac{U_m}{2}\cos\left((\Omega + \omega)t + \varphi\right). \tag{10}$$

Který z argumentů Ωt nebo ωt ve vztahu (8) budeme považovat za argument α a který za β vystupujících ve vztahu (9), je jedno. Funkce kosinus, pomocí níž součin obou sinů vyjádříme, je funkce sudá a tedy argument ve tvaru $\Omega - \omega$ nebo případně $\omega - \Omega$ vede ke stejnému výsledku.

Ze vztahu (10) je zřejmé, že amplitudově modulovaná vlna obsahuje tři složky o různých úhlových frekvencích:

1. složka s úhlovou frekvencí Ω nosné vlny - člen $U_n \sin \Omega t$;
2. složka s úhlovou frekvencí $\Omega - \omega$ (dána rozdílem úhlové frekvence nosné vlny a modulačního signálu) - člen $\frac{U_m}{2}\cos\left((\Omega - \omega)t - \varphi\right)$;
3. složka s úhlovou frekvencí $\Omega + \omega$ (dána součtem úhlové frekvence nosné vlny a modulačního signálu) - člen $-\frac{U_m}{2}\cos\left((\Omega + \omega)t + \varphi\right)$.

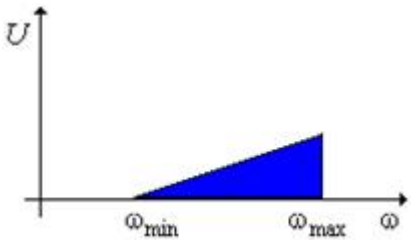
Složky s úhlovými frekvencemi $\Omega - \omega$ a $\Omega + \omega$ se nazývají **postranní frekvence** (**postranní pásma**) a podle jejich polohy vzhledem k úlohové frekvenci nosné vlny je označujeme jako **dolní postranní pásmo** (LSB) a **horní postranní pásmo** (USB).

Princip frekvenční analýzy a zobrazování pásem ukazuje graf zobrazený na obr. 129, na kterém je modrým trojúhelníkem označen modulační signál ve frekvenčním pásmu od ω_{min} do ω_{max}. Na obr. 130 je zobrazena frekvenční analýza (tj. postranní pásma) signálu popsaného vztahem (10) tak, že:

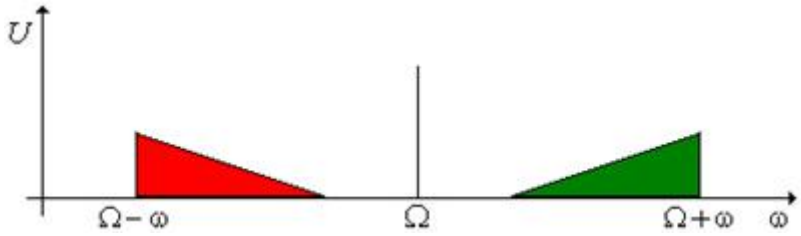
1. svislá úsečka s označením Ω odpovídá úhlové frekvenci nosného signálu popsané ve

vztahu (10) prvním členem;

2. červený trojúhelník znázorňuje rozdílové pásmo popsané ve vztahu (10) druhým členem;
3. zelený trojúhelník znázorňuje součtové pásmo popsané ve vztahu (10) třetím členem.



Obr. 129



Obr. 130

Obě zobrazená postranní pásma se tvoří u spojitých signálů, které obsahují souvislé spektrum modulačních frekvencí (resp. obsahují signály těchto frekvencí) - tj. u signálů používaných v televizní technice, zvukové technice, ... **Šířka** *B* **přenosového kanálu** (**šířka přenosového pásma**), který je vyhrazen pro šíření daného signálu (signálu popsaného vztahem (10)), je dána dvojnásobkem nejvyšší modulační frekvence f_{max}, tj. platí

$$B = 2 f_{max} = \frac{\omega_{max}}{\pi}. \qquad (11)$$

Přenosová pásma jednotlivým provozovatelům pozemního televizního vysílání a pozemního rozhlasového vysílání přiděluje radiotelekomunikační ústav. Daným přenosovým pásmem je pak omezeno vysílání daného subjektu.

Všechny signály vysílané danou rozhlasovou stanicí nebo televizní stanicí tedy musí být takové, aby se do přiděleného pásma „vešly“.

Např. pro střední vlny je nejvyšší modulační frekvence 4,5 kHz a potřebná šířka přenosového kanálu tedy je 9 kHz. Pro televizní vysílání s nejvyšší modulační frekvencí 6,5 MHz by byla potřebná šířka přenosového kanálu 13 MHz. To je ovšem vzhledem k omezené šířce pásem VHF a UHF vyhrazených pro pozemní televizní vysílání značně nehospodárné a proto se toto vysílání bez ohledu na použitou normu vždy realizuje s částečně potlačeným dolním postranním pásmem.

Můžeme zavést další parametr, pomocí kterého se popisuje amplitudová modulace. Je jím **hloubka modulace** *m* definovaná vztahem

$$m = \frac{U_m}{U_n}; \qquad (12)$$

platí $[m] = 1$ nebo můžeme zlomek ve vztahu (12) vynásobit 100 a udat hloubku modulace v procentech.

Vzhledem k tomu, že v praxi vždy platí vztah $U_m < U_n$, je hloubka modulace vždy menší než 1 (resp. menší než 100 %). Při nedodržení této podmínky nastane přemodulování a vznikne zkreslení průběhu výstupního signálu. Po demodulaci se toto zkreslení projeví zkreslením přenášených informací.

Vytkneme-li ve vztahu (10), dostaneme výraz $u = U_n \left(\sin \Omega t + \frac{U_m}{2U_n} \cos\left((\Omega - \omega)t - \varphi\right) - \frac{U_m}{2U_n} \cos\left((\Omega + \omega)t + \varphi\right) \right)$.

S využitím hloubky modulace definovaé vztahem (12) pak můžeme psát:

$$u = U_n\left(\sin\Omega t + \frac{m}{2}\cos\left((\Omega-\omega)t-\varphi\right) - \frac{m}{2}\cos\left((\Omega+\omega)t+\varphi\right)\right). \qquad (13)$$

Vztahy (10) a (13) se často vyskytují i ve tvaru bez fázového posunu φ, který neovlivní průběh a typ amplitudové modulace.

Ze vztahu (13) vyplývá, že amplitudy složek postranních pásem mohou dosahovat pro maximální hloubku modulace (tj. $m = 1$) nejvýše poloviny amplitudy nosné frekvence.

U členů ve vztahu (13), které odpovídají postranním pásmům, je hodnota amplitudy daná výrazem $\frac{m}{2}$, proto mohou být amplitudy ve frekvenčním spektru u příslušného pásma maximálně poloviční (při nejvyšší hloubce modulace $m = 1$).

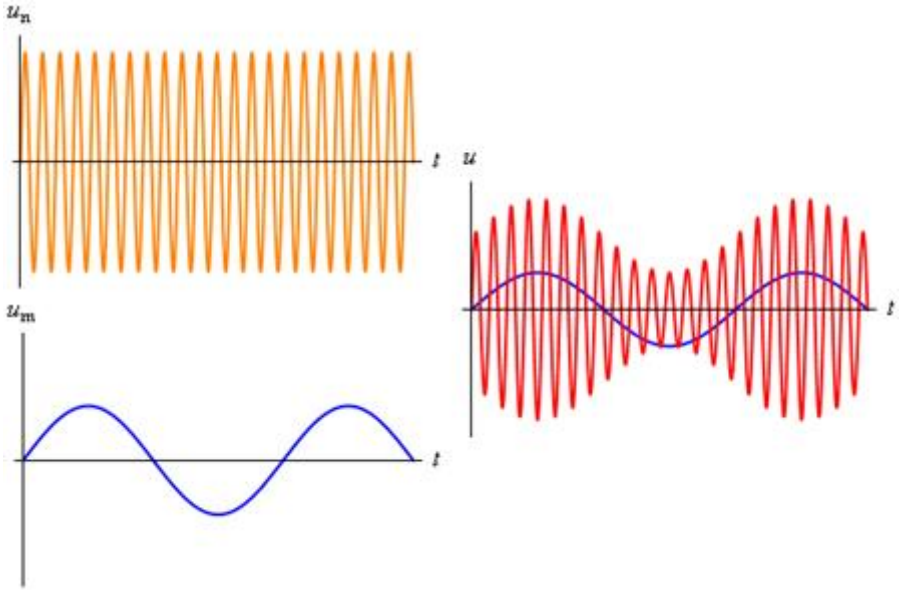
Tomuto rozložení amplitud ve frekvenčním spektru odpovídá i rozložení elektrického výkonu mezi signál s nosnou frekvencí a signály postranních pásem. Vzhledem k tomu, že elektrický výkon je přímo úměrný druhé mocnině elektrického napětí, připadá na signály s frekvencemi z postranního pásma maximálně čtvrtina elektrické energie ve srovnání s energií signálu s frekvencí rovné nosné frekvenci.

Budeme-li předpokládat, že veškeré přenášené informace jsou obsaženy v obou postranních pásmech, pak stačí tedy přenášet pouze jedno z těchto postranních pásem a signál o nosné frekvenci. V přijímači pak stačí obnovit nosnou vlnu a pomocí některého ze způsobů koherentní demodulace (synchronní demodulace) získat původní modulační signál. To umožní při šestkrát menším výkonu vysílače jeho stejný dosah jako při původním výkonu; je nutné ovšem mít složitější přijímač.

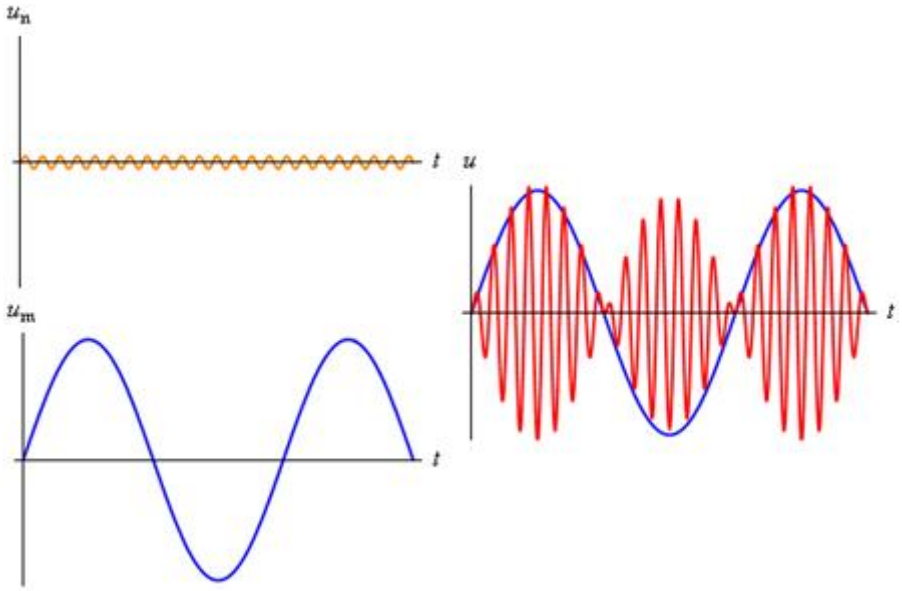
Existují různé způsoby přenosu v závislosti na tom, jaká část signálu se přenáší:

1. AM DSB (*Dual Side Band*) - modulovaný signál, který obsahuje obě postranní pásma i signál nosné frekvence přesně ve shodě s obr. 130; průběh výsledného modulovaného signálu spolu s původním nosným signálem a modulovaným signálem je pro tento případ zobrazen na obr. 131;
2. AM DSB SC (*Dual Side Band Supressed Carrier*) - modulovaný signál obsahuje obě postranní pásma, ale signál nosné frekvence je zcela potlačen (viz obr. 132). Tento stav se dosahuje pomocí tzv. kruhového modulátoru. Systémem DSB nebo DSB SC se přenáší např. pozemní televizní vysílání.
3. AM DSB RC (*Dual Side Band Reduced Carrier*) - modulovaný signál obsahuje obě postranní pásma i signál nosné frekvence, ale vliv nosného signálu je vzhledem k celkovému průběhu zmenšen;
4. AM SSB (*Single Side Band*) - modulovaný signál obsahuje pouze jedno postranní pásmo (může to být jak součtové pásmo, tak i rozdílové pásmo) a signál nosné frekvence (viz obr. 133). Používá se hlavně v oblasti telefonie, dálkových koaxiálních kabelů, amatérského vysílání, ...
5. AM SSB SC (*Single Side Band Supressed Carrier*) - modulovaný signál obsahuje pouze jedno postranní pásmo (lze použít jak součtové pásmo, tak i rozdílové pásmo) a signál nosné frekvence je zcela potlačen (viz obr. 134). Modulační signál je tedy tímto způsobem při použití součtového pásma pouze přetransformován do jiného frekvenčního pásma. Při použití rozdílového pásma je navíc původní pásmo zrcadleno.
6. AM SSB RC (*Single Side Band Reduced Carrier*) - modulovaný signál obsahuje pouze jedno postranní pásmo (lze použít jak součtové pásmo, tak i rozdílové pásmo) a signál nosné frekvence, ale jeho hodnota je zmenšena.

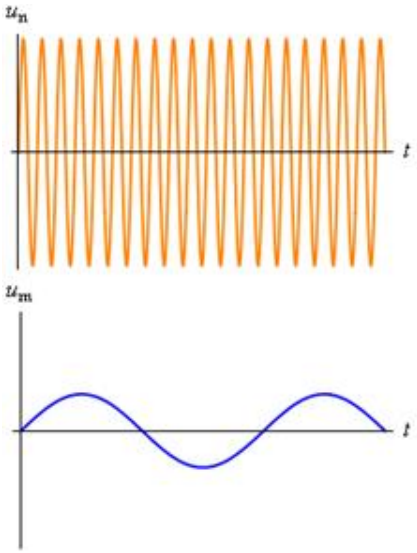
Jednotlivé typy modulací mají různé vlastnosti, kterých se využívá v různých přenosových systémech. Obecně platí, že čím více složek modulovaný signál obsahuje, tím je odolnější proti rušení při přenosu, ale zabírá širší přenosové pásmo.



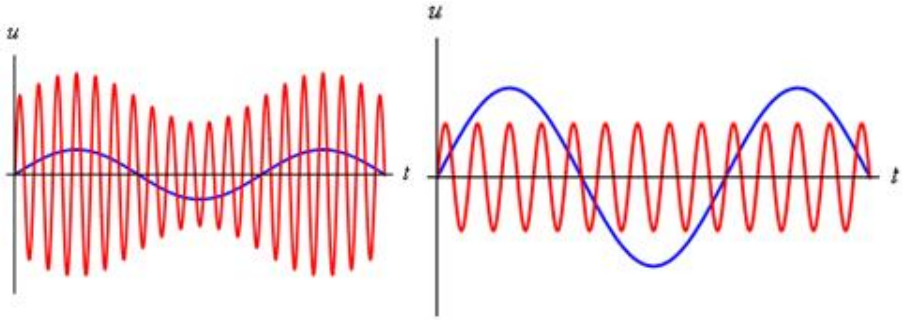
Obr. 131



Obr. 132



Obr. 133



Obr. 134

© Encyklopedie Fyziky (http://fyzika.jreichl.com); Jaroslav Reichl, Martin Všetička
Licence http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/ zakazuje úpravy a komerční distribuci.