

## V. MODULÁTORY A SMĚŠOVAČE

Vysílač vysílá do prostoru elektromagnetické vlny, které se šíří prostorem rychlostí 300 000 km za sekundu. Někde (třeba velice daleko) je zachytí anténa rádiového nebo televizního přijímače.

Samotné elektromagnetické vlny potřebnou informaci nepřenášejí. Mocí přijímače a indikátoru bychom mohli nejlépe zjistit, že vysílač elektromagnetické vlny buď vysílá, nebo nevysílá. Samotné elektromagnetické vlny totiž představují pouze jakousi spojovací linku mezi vysílačem a přijímačem. Stejně jako drátovým vedením, tak i elektromagnetickým vlněním se zpráva, informace (tj. řeč, hudba, obraz, různé číslíkové údaje apod.) musí teprve poslat. Informaci je nutné na vysílané elektromagnetické vlny určitým způsobem vtisknout — tomu se říká modulace.

Modulace je základem bezdrátového přenosu informací, a proto si všimněme blíže její podstaty.

### 16. DRUHY MODULACE

Průběh vysokofrekvenční vlny je sinusový a je dán vztahem

$$i = A \sin(\omega t + \varphi) = A \sin(2\pi f_0 t + \varphi) \quad (76)$$

kde  $i$  je okamžitá hodnota vysokofrekvenčního proudu, procházejícího do antény,

$A$  amplituda vysokofrekvenční vlny,

$\omega$  úhlový kmitočet vysokofrekvenční vlny,  $\omega = 2\pi f_0$ ,

$t$  čas,

$\varphi$  fázový úhel vysokofrekvenční vlny.

Modulačním signálem můžeme při modulaci působit na nosnou vlnu těmito třemi základními způsoby:

1. Modulačním signálem můžeme ovlivňovat amplitudu  $A$  vysokofrekvenční nosné vlny — nastává *amplitudová modulace*.

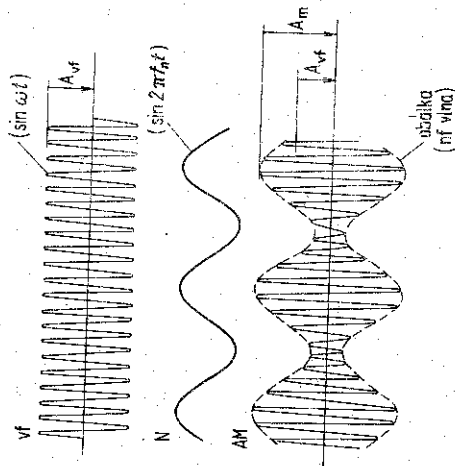
2. Modulačním signálem můžeme ovlivňovat kmitočet  $f_0$  (resp.  $\omega$ ) nosné vlny — nastává *frekvenční modulace*.

3. Modulačním signálem můžeme ovlivňovat fázový úhel  $\varphi$  nosné vlny — nastává *fázová modulace*.

Vedle těchto základních druhů modulace se používají různé druhy *impulsové modulace*.

#### 16.1. Amplitudová modulace

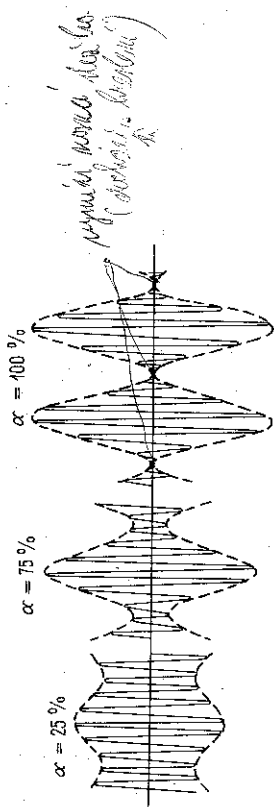
Základní princip amplitudové modulace je celkem jednoduchý: amplituda nosné vlny se mění podle okamžité hodnoty amplitudy modulující vlny (obr. 132). Křivka  $N$  znázorňuje časový průběh nízkofrekvenční modulující vlny. Křivka  $v_f$  znázorňuje průběh vysokofrekvenční nosné vlny. Časový průběh modulované vlny je znázorněn křivkou  $AM$ . Čárkované čáry představují obalovou křivku signálu. Amplituda původní vysokofrekvenční vlny se tedy zmenšuje a zvětšuje v porovnání se svou původní hodnotou přesně v rytmu modulující vlny.



Obr. 132. Amplitudově modulovaná vlna

Přenášená informace (v našem případě sinusový průběh s kmitočtem  $f_m$ ) je v modulované vlně obsažena v podobě pomyslné obálky, naznačené na obrázku čárkované.

Při amplitudové modulaci je důležitý údaj o *hloubce amplitudové modulace*  $\alpha$ . Modulované vlny s hloubkou modulace 25 %, 75 %, 100 % jsou



Obr. 133. Amplitudově modulovaná vlna s různou hloubkou modulace

na obr. 133. Je-li hloubka modulace větší než 100 %, dochází ke zkreslení signálu, a proto např. v rozhlasovém a televizním vysílání nelze hloubku modulace nad 100 % povolit.

Hloubku modulace  $\alpha$  vypočítáme ze vzorce

$$\alpha = \frac{A_m}{A_{vf}} \cdot 100 \quad (\%) \quad (77)$$

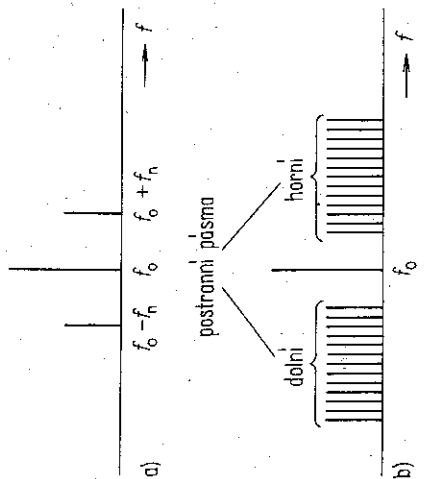
kde  $A_m$  je amplituda modulované vlny,

$A_{vf}$  amplituda původní nemodulované vysokofrekvenční vlny.

Při hlubším matematickém rozboru amplitudové modulace bychom zjistili, že amplitudová modulace je spojena s určitým problémem. Jestliže totiž ve výrazu pro průběh nosné vlny s kmitočtem  $f_0$  násobíme její amplitudu matematickým vztahem, který popisuje sinusový průběh nízkofrekvenční modulující vlny s kmitočtem  $f_n$ , dostaneme ve výsledném dosti složitým výrazu součin sinů. Jeho úpravou dostaneme zajímavý výsledek. Vedle kmitočtu nosné vlny  $f_0$  a kmitočtu modulující vlny  $f_n$  se ve vzorci popisujícím průběh modulované vlny objeví zcela nové kmitočty ( $f_0 + f_n$ ) a ( $f_0 - f_n$ ), které v původních vlnách nebyly. Jsou to kmitočty, které vznikly sečtením a odečtením modulujícího kmitočtu od kmitočtu nosné vlny, zvané *kombinační kmitočty* (obr. 134a).

*Příklad.* Nosnou vlnu s kmitočtem 100 kHz modulujeme kmitočtem 3 kHz. Modulaci vznikají kombinační kmitočty 103 kHz a 97 kHz. Kombinačním kmitočtům se také říká *postranní kmitočty*.

Obr. 134. Postranní kmitočty a postranní pásma u amplitudově modulované vlny



Při běžném rozhlasovém vysílání se nosná vlna amplitudově moduluje nikoli jedním kmitočtem, ale celým spektrem akustických kmitočtů. Modulaci pak vznikají postranní kmitočtová pásma (obr. 134b).

Čím vyšší modulační kmitočty se v rozhlasovém vysílání přenášejí, tím širší je potřebné kmitočtové pásmo pro přenos. Aby se např. do středovlnného pásma všechny dnešní vysílací stanice vešly, bylo nutné mezi národní dohodou stanovit, že šířka kmitočtového pásma vysílače bude omezena, a proto přenos zvuku amplitudově modulovanými vysílacími na obvyklých pásmech (dlouhé, střední a krátké vlny) není kvalitní.

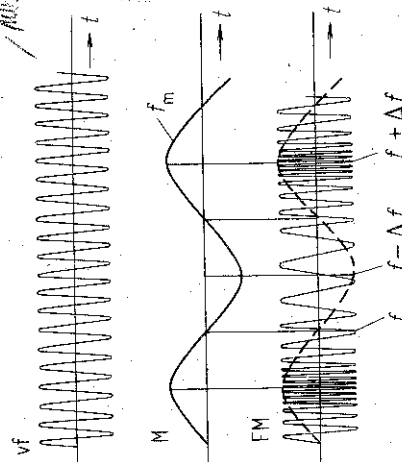
Ve zvláštních případech lze při vysílání jedno postranní pásmo potlačit. Tím se celková šířka pásma zmenší na polovinu. To je nejmenší šířka pásma, kterou lze určitý signál přenést.

## 16.2. Frekvenční modulace

Jestliže budeme modulující vlnou působit místo na amplitudu nosné vlny na její kmitočet (frekvenci), dostaneme kmitočtové neboli frekvenčně modulovanou vlnu. Kmitočet nosné vlny se mění přesně podle průběhu modulující vlny (obr. 135).

Postihnout frekvenčně modulovanou vlnu matematicky je velmi složité. Dosazením výrazu, který popisuje sinusový průběh modulující vlny, do výrazu pro nosnou vlnu dostaneme rovnici, která obsahuje sinus sinu; řešení spadá do oblasti vyšší matematiky. Řešení však dokazuje, že při

frekvenční modulaci nosné vlny jediným kmitočtem vzniká rozsáhlé frekvenční pásmo. (U amplitudové modulace vznikla jen jediná dvojice postranních kmitočtů.) Při frekvenční modulaci celým spektrem kmitočtů pak vzniká větší postranní pásmo než u amplitudové modulace. To je nevýhodné.



Obr. 135. Frekvenčně modulovaná vlna

Při frekvenční modulaci se však dosahuje mnohem kvalitnějšího přenosu. Proto se frekvenční modulační začíná stále více používat pro kvalitní rozhlasové vysílání. Pro velkou potřebnou šířku pásma nemožno frekvenčně modulované vysílání vysílat na dlouhých, středních ani krátkých vlnách. Vysílají v pásmu velmi krátkých vln, kde je místa tolik, že se frekvenční rozsah modulujícího signálu nemusí omezovat. Vysílá se celé nízkofrekvenční spektrum akustického signálu. Zvuk přijímaný v pásmu velmi krátkých vln je velmi kvalitní.

U amplitudové modulace jsme stanovili měřítko ovlivnění nosné vlny modulující vlnou, byl to čísel hloubky modulační  $\alpha$ . Obdobně u frekvenční modulační stanovíme měřítko modulační

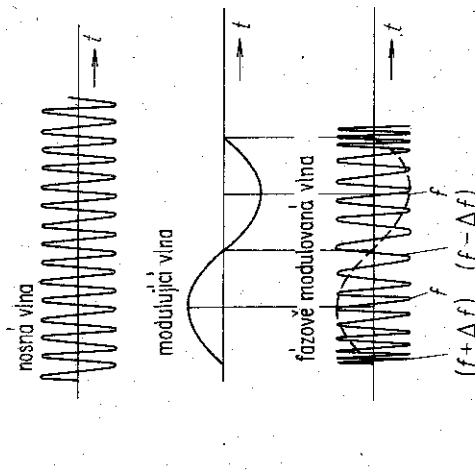
$$m_f = \frac{\Delta f_0}{f_m} \quad (78)$$

kde  $m_f$  je index frekvenční modulační,  $\Delta f_0$  největší změny kmitočtu nosné vlny,  $f_m$  moduluující kmitočet.

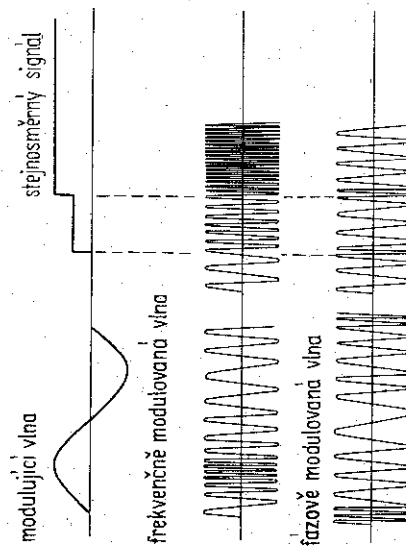
### 16.3. Fázová modulační

Při fázové modulační budeme modulující vlnou měnit fázi nosné vlny (obr. 136).

Na první pohled by se mohlo zdát, že fázová modulační je shodná s frekvenční modulační. Obě modulační jsou si svým charakterem a vlastnostmi v mnohém podobné, ale je mezi nimi jeden rozdíl: při fázové modulační nastává nejstrmější změna fáze vždy při největší změně modulující vlny. Tam, kde změna modulující vlny nenastává, nemění se ani fáze nosné vlny.



Obr. 136. Fázově modulovaná vlna



Obr. 137. Rozdíl mezi časovým průběhem frekvenčně modulované vlny a fázově modulované vlny

Jak se tedy fázová modulace projevuje při přenosu stejnosměrného signálu? To vidíme na obr. 137. Při modulování stejnosměrným signálem lze tuto stejnosměrnou informaci přenést prostřednictvím frekvenční modulace; kmitočet nosné vlny se trvale změní. Stejnosměrný signál ale nelze přenést prostřednictvím fázové modulace. Fáze nosné vlny se sice trvale změní, ale její kmitočet se oproti původnímu nezmění. Tato trvalá fázová změna není při příjmu běžnými prostředky zjistitelná. Frekvenční modulaci lze tedy přenést stejnosměrnou složku, fázovou modulaci nikoli.

U fázové modulace se obvykle udává fázový zdvih  $\Delta\varphi$

$$\Delta\varphi = kA \quad (79)$$

kde  $k$  je konstanta,

$A$  amplituda modulující vlny.

Fázový zdvih je tedy úměrný amplitudě modulující vlny.

Rozdíl mezi frekvenční modulací a fázovou modulací nejlépe plyne z okamžité změny kmitočtu (z kmitočtového posuvu), který je u frekvenční modulace nezávislý na kmitočtu modulující vlny. U fázové modulace je ale kmitočtový posuv  $\Delta f_0$  závislý na modulačním kmitočtu.

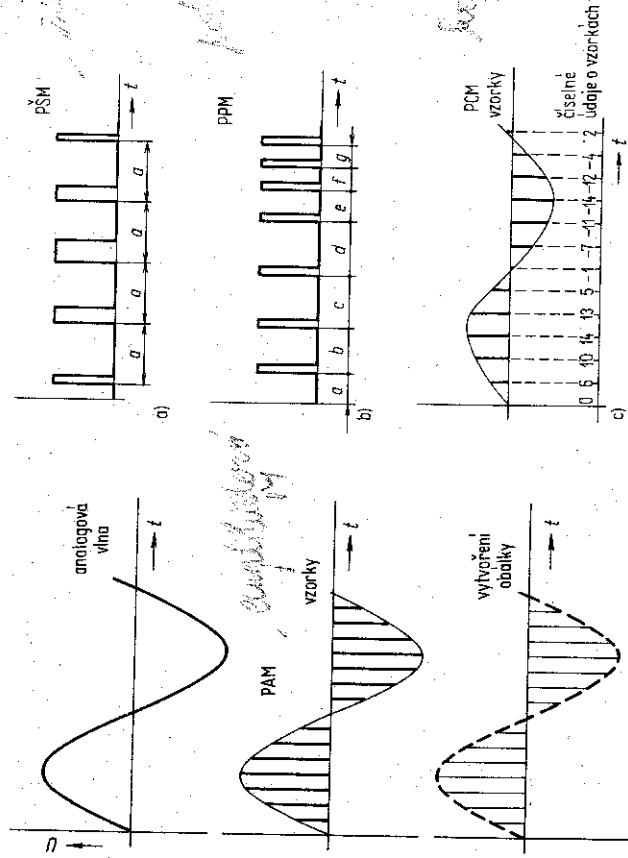
#### 16.4. Impulsová modulace

Přenos informací se nemusí uskutečňovat jen spojitým, analogovým signálem, který svou velikostí (tj. hodnotou proudu nebo napětí) v každém okamžiku definuje okamžitou amplitudu přenášené zprávy (zvukového signálu, televizního obrazu, fyzikální veličiny apod.).

V některých případech stačí (nebo je výhodné) informaci přenášet jen v podobě krátkých vzorků, tj. přenášet ji impulsy. Nejjednodušší případ přenosu amplitudově modulovanými impulsy je na obr. 138. Vysílají se jen vzorky přenášené spojitě vlny. Na přijímací straně je pak nutné elektricky vytvořit obálku impulsů, abychom dostali původní signál.

Uvedený příklad tzv. *impulsově amplitudově modulace* (PAM) byl nejjednodušší ukázkou. V praxi se impulsová modulace používá v poněkud odlišných formách, jak k přenosu spojitých informací, tak i k přenosu číslicových informací (např. při přenosu údajů z počítače apod.).

Informace se může přenášet tím, že impulsy mají sice stále stejnou amplitudu, ale různou šířku (obr. 139a). Hovoříme pak o *impulsově šířkové*



Obr. 138. Impulsová amplitudově modulace (PAM)

Obr. 139. Impulsová modulace

- a) šířková (PŠM), b) polohová (PPM), c) kódová (PCM)

*modulaci* (zkráceně PŠM). Přenášená informace může být také přenesena impulsy, které mění svou polohu — *impulsově polohová modulace* (PPM), (obr. 139b).

Nejzajímavější a perspektivně nejnámější je tzv. *impulsově kódová modulace*, zkráceně PCM. Při ní se spojitý, tedy analogový signál převádí na číslicovou formu. V rychlém sledu, alespoň dvakrát rychlejším, než jaký je nejvyšší kmitočet analogového signálu, se odeírají vzorky signálu (obr. 139c). Velikost každého vzorku se vyjádří číslem. Číselný údaj o velikosti vzorku se převede do dvojkové soustavy v podobě série impulsů dvojnásobné hodnoty.

Například při převodu zvukového signálu z původně analogové formy na číslicovou (tj. signálu s kmitočty do 18 kHz) se používá vzorkovací kmitočet kolem 40 kHz. Znamená to, že se pomocí 40 000 skupin impulsů musí za sekundu vyjádřit 40 000 čísel. Přitom čísla nebyvají malá. Pro

přenos zvukového signálu je zapotřebí pomocí impulsů vyjádřit 40 000 třímístných až čtyřmístných čísel za sekundu, aby byl přenos kvalitní.

Analogový signál se převádí na číslicový analogově číslicovým převodníkem (zkrácené převodník A/Č), který je velmi složitý. Zpětně se číslicový signál převádí na analogový číslicově analogovým převodníkem (zkrácené převodník Č/A).

Přenos, zpracování, záznam a reprodukce analogových signálů převedených na číslicové jsou sice velmi náročné, ale mají několik zásadních kvalitativních předností, jako je nepatrné zkreslení signálu, potlačení šumu, velká dynamika. Proto se impulsové kódové modulaci věnuje v poslední době velká pozornost.

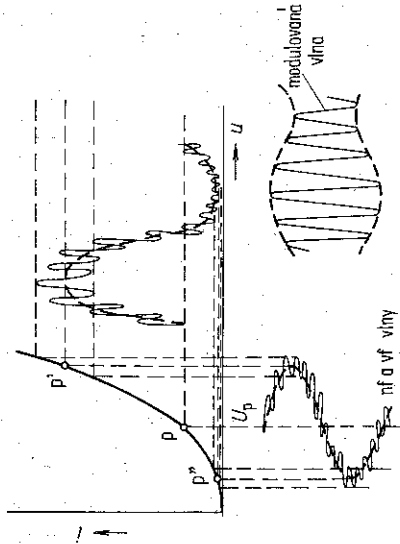
## 17. MODULÁTORY

Zatím jsme uvažovali, jaký je princip jednotlivých druhů modulace a jaké jsou jejich vlastnosti. Nyní si krátce všimneme elektronických obvodů, které moduluji.

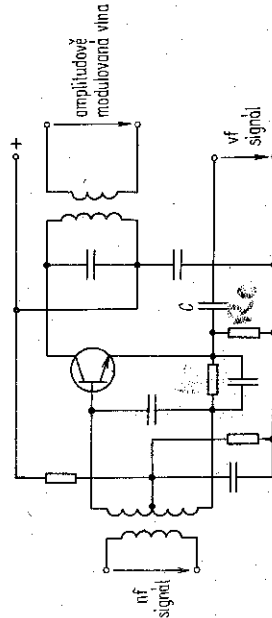
### 17.1. Amplitudové modulátory

Poználi jsme, že amplitudově modulovaná vlna se v podstatě skládá ze tří složek: z nosné vlny s kmitočtem  $f_0$ , z dolního rozdílového (postranního) kmitočtu ( $f_0 - f_n$ ) a z horního rozdílového (postranního) kmitočtu ( $f_0 + f_n$ ). Popíšeme princip zařízení, kterým se tyto tři kmitočtové složky (z nichž se amplitudově modulovaná vlna skládá) získají a které se nazývá *amplitudový modulátor* (zkrácené modulátor AM).

Vysokofrekvenční nosná vlna a nízkofrekvenční modulujiící vlna se společně přivádějí na elektronickou součástku, která má vhodnou nelineární voltampérovou charakteristiku. Takovou součástkou je například dioda. Společným průchodem obou signálů nelineární součástkou dojde ke zkreslení. Matematickým rozložením a jednoduchým měřením bychom zjistili, že vedle původních dvou signálů s kmitočty  $f_0$  a  $f_n$  se objeví nové složky, nové signály. Těchto nových vzniklých signálů je mnoho. Lze dokázat, že jsou to různé součty, rozdíly a násobky obou přiváděných kmitočtů. Nás ovšem zajímají čtyři kmitočty, které jsou při vhodném zapojení obvodu (vhodném tvaru nelineární charakteristiky) nejvýraznější: nosná



Obr. 140. Princip vzniku amplitudové modulace na nelineární charakteristice



Obr. 141. Jednoduchý amplitudový modulátor s tranzistorem

vlna s kmitočtem  $f_0$ , modulujiící vlna s kmitočtem  $f_n$  a dvě vlny s kmitočty ( $f_0 + f_n$ ) a ( $f_0 - f_n$ ).

Nepotřebné složky včetně původní modulujiící vlny, pokud by se jim jevily rušivě, se odstraňují elektrickými filtry. Dostaneme výsledný průběh vlny, která se skládá ze složek  $f_0$ ,  $f_0 + f_n$  a  $f_0 - f_n$ . To odpovídá signálu, kterým jsme popsali amplitudově modulovanou vlnu.

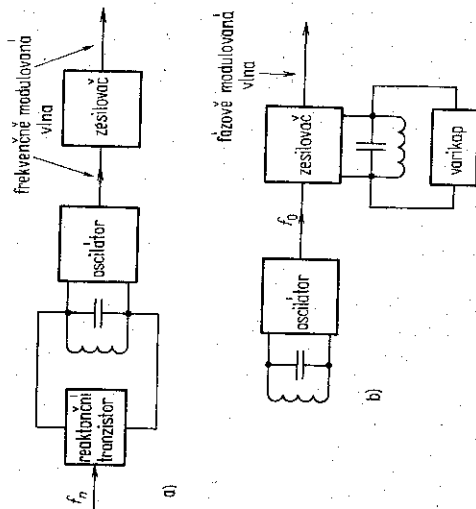
Vznik amplitudově modulované vlny můžeme názorně vysvětlit na nelineární charakteristice (obr. 140). Nízkofrekvenční signál s poměrně velkou amplitudou tu posouvá pracovní bod P. Dioda propouští vysokofrekvenční signál s amplitudou, která je úměrná poloze pracovního bodu pohybujiícího se v rytmu nízkofrekvenčního signálu.

Způsob modulace AM na společné nelineární charakteristice se někdy nazývá aditivní (součtový). Příklad modulatoru, v němž se k modulaci využívá nelineární charakteristiky tranzistoru, je na obr. 141. Vysokofrekvenční signál se s výhodou zavádí přes oddělovací kondenzátor  $C$  do emitoru tranzistoru, nízkofrekvenční signál se zavádí do báze. Při vhodné volbě pracovního bodu dostaneme na rezonančním obvodu amplitudově modulovaný signál.

Výhodou je malé zkreslení a dobrá energetická účinnost.

## 17.2. Frekvenční a fázové modulátory

Principů frekvenčních a fázových modulátorů je mnoho. Jejich podrobný výčet by přesáhl rámec našeho výkladu. Stručně se proto zmíníme pouze o základních principech.



Obr. 142. Vznik modulované vlny  
a) frekvenčně modulované,  
b) fázově modulované

Frekvenčně modulovat lze podle principu na obr. 142a. Paralelně k rezonančnímu obvodu oscilátoru je připojena součástka, která mění svou imaginární složku impedance v závislosti na připojeném nízkofrekvenčním (modulačním) napětí. Může to být např. varikap (polovodičová součástka s přechodem PN, která představuje napěťově závislou kapacitu) nebo reaktanční tranzistor. Změnami kapacity nebo indukčnosti se mění rezo-

nanční kmitočet rezonančního obvodu, a tím kmitočet oscilátoru. Vzniká frekvenčně modulovaná vlna.

Na obr. 142b je varikap nebo reaktanční tranzistor přřazen ke kmitavému obvodu za oscilátor, např. do obvodu zesilovače. Jestliže se nízkofrekvenčním modulačním napětím mění rezonanční kmitočet rezonančního obvodu, neovlivňuje to kmitočet oscilátoru. Mění se však fáze signálu. Vzniká fázově modulovaná vlna.

Podrobnosti o modulátorech lze nalézt v odborné literatuře.

## 18. SMĚŠOVAČE

Směšovač je elektronický obvod, do kterého se přivádějí dva signály s různým kmitočtem. Oba signály se v něm „smíchají“. Výsledkem směšování je nový signál s kmitočtem, který je součtem nebo rozdílem kmitočtů obou původních signálů. Princip směšování se dnes využívá např. ve všech rozhlasových přijímačích. Také funkce voliče kanálů v televizoru je založena na směšování.

Se smícháním dvou signálů jsme se už setkali u amplitudové modulace a setkáme se s ním při popisu detekce amplitudově modulovaného signálu na nelineární charakteristice. Při modulaci AM, při detekci signálu AM i u směšovače se skutečně využívá stejného jevu. Přivedeme-li na součástku s nelineární charakteristikou dva signály s různými kmitočty, jejich smíšením vzniknou nové signály s kmitočty součtů nebo rozdílů kmitočtů původních signálů. Z nich se pak vhodným filtrem vybere potřebný kmitočet. Ve směšovači se obvykle využívá rozdílový kmitočet, méně často součtový kmitočet. V tzv. násobiči kmitočtu se využívá některého z násobků základního kmitočtu přivedeného signálu.

V tab. 2 jsou uvedeny hlavní údaje o funkčních obvodech využívajících směšování (resp. násobení).

### 18.1. Využití směšovačů

Vstupní část rozhlasového přijímače je na obr. 143a. Anténa zachycuje směs vysokofrekvenčních signálů různých vysílačů s kmitočty  $f_1, f_2, f_3$  až  $f_n$ . Ty se přivádějí na směšovač. Ke směšovači je současně připojen

Tabulka 2. Porovnání obvodů využívajících směšování (popř. násobení)

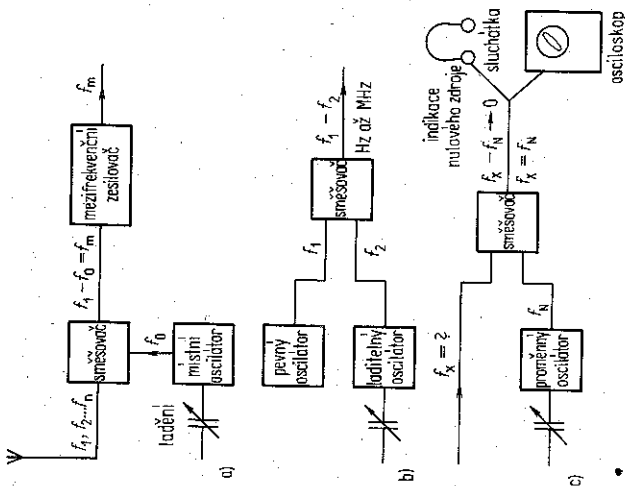
Obvod	Signály na nelineární charakteristice s typickým kmitočtem	Využívá se signál s kmitočtem
Modulátor AM	1. signál $f_1$ nízký 2. signál $f_2$ vysoký	$f_2$ $f_2 - f_1$ $f_2 + f_1$
Detektor AM	AM vlna se složkami $f_2, (f_2 - f_1), (f_2 + f_1)$	$f_1$ nízký
Směšovač (např. v rozhlasovém přijímači)	$f_1$ vysoký $f_2$ vysoký	$f_3 = f_2 - f_1$ nebo $f_3 = f_2 + f_1$
Zázneřový generátor	$f_1$ vysoký $f_2$ vysoký	$f_3 = f_2 - f_1$ $f_3 = 0$ Hz až jednotky MHz
Zázneřový měřič kmitočtů	$f_1$ vysoký $f_2$ vysoký	$f_1 - f_2$ při nulové zázneři
Násobitě kmitočtů	$f_1$ vysoký	$2f_1$ nebo $3f_1$ nebo $4f_1 \dots$ až $nf$

pomocný oscilátor, jehož kmitočet  $f_0$  závisí na kapacitě proměnného (ladicího) kondenzátoru. Za vstup ze směšovače je připojen selektivní vysokofrekvenční zesilovač s poměrně velkým ziskem, který je pevně naladěný na tzv. mezifrekvenční kmitočet  $f_m$ . Zesiluje pouze kmitočty v blízkém okolí kmitočtu  $f_m$ , ostatní kmitočty potlačuje.

Při vyladování přijmu stanic na rozhlasovém přijímači se proměnnou kapacitou mění kmitočet  $f_0$  pomocného oscilátoru. Při určité ladicí kapacitě je splněna podmínka

$$f_1 - f_0 = f_m \quad (80)$$

kde  $f_1$  je kmitočet daného vysíláče.



Obr. 143. Směšovač

- a) v rozhlasovém přijímači,
- b) v zázneřovém oscilátoru,
- c) v zázneřovém měřiči kmitočtů

Mezifrekvenční zesilovač zesílí signál s kmitočtem  $f_m$ . Přijímač je tedy naladěný na příjem vln s kmitočtem  $f_1$ . Při dalším ladění pomocného oscilátoru bude splněna podmínka

$$f_2 - f_0 = f_m \quad (81)$$

a přijímač je naladěný na příjem vysíláče pracujícího s kmitočtem  $f_2$  atd.

Na výstupu směšovače se může objevit i signál vysíláče, který má kmitočet  $f_3$ , platí-li pro něj

$$f_0 - f_3 = f_m \quad (82)$$

To znamená, že pro  $f_3$  bude platit

$$f_3 = f_2 - 2f_m \quad (83)$$

Kmitočtu  $f_3$  se říká zrcadlový. Abychom potlačili nežádoucí příjem stanice se zrcadlovým kmitočtem  $f_3$ , musíme před směšovač umístit vhodné selektivní (rezonanční) obvody.

Na obr. 143b je blokové schéma přístroje, používaného v měřící technice. Je to tzv. zánějový oscilátor. Skládá se ze základního oscilátoru s pevně naladěným kmitočtem  $f_1$ . Druhý oscilátor s kmitočtem  $f_2$  je předladitelný proměnnou kapacitou. Signály z obou oscilátorů se přivádějí do směšovače. Využívá se nově vzniklý signál s rozdílovým kmitočtem  $f_1 - f_2$ . Zánějový oscilátor pracuje jako generátor sinusového průběhu s měnitelným (nastavitelným) kmitočtem ve velkém rozsahu, od 0 Hz do řádu megahertzů.

Na obr. 143c je zánějový měřic kmitočtů. Na vstup směšovače se přivádí signál s neznámým kmitočtem  $f_x$  a signál z předladitelného, cejchovaného oscilátoru, který má známý kmitočet  $f_N$ . Chceme-li zjistit hodnotu neznámého kmitočtu  $f_x$ , měníme kmitočet  $f_N$  cejchovaného oscilátoru tak dlouho, až ve sluchátkách připojených na výstup směšovače uslyšíme záněj. Je to rozdílový kmitočet obou přiváděných signálů. Rozdíl mezi těmito kmitočty je tak malý, že rozdílový signál vzniklý ve směšovači je ve sluchátkách slyšitelný. Čím je při ladění slyšet hlubší tón, tím je rozdíl mezi  $f_x$  a  $f_N$  menší. V oblasti shody obou kmitočtů klesne tón ve sluchátkách pod dolní kmitočtovou mez slyšitelnosti. Říká se tomu nulová záněj. Přesný souhlas obou kmitočtů lze nastavit pomocí osciloskopu. Při nulové záněji je kmitočet laditelného cejchovaného oscilátoru shodný s dosud neznámým kmitočtem  $f_x$ .

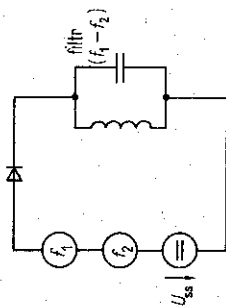
## 18.2. Základní zapojení směšovače

Nejjednodušší zapojení směšovače lze získat z nelineárního odporového dvojpolu, vytvořeného z diody (obr. 144). Na nelineární charakteristice dochází ke směšování signálů s kmitočty  $f_1$  a  $f_2$ . V sérii zapojení zdroj stejnosměrného napětí  $U_{ss}$  naznačuje, že je nutné nastavit vhodný pracovní bod v zakřivené části charakteristiky, aby směšování bylo co nejúčinnější. Připojený filtr vybírá užitečný signál z množství signálů, které směšováním vznikly; může to být kterýkoliv z výstupních signálů podle tab. 1.

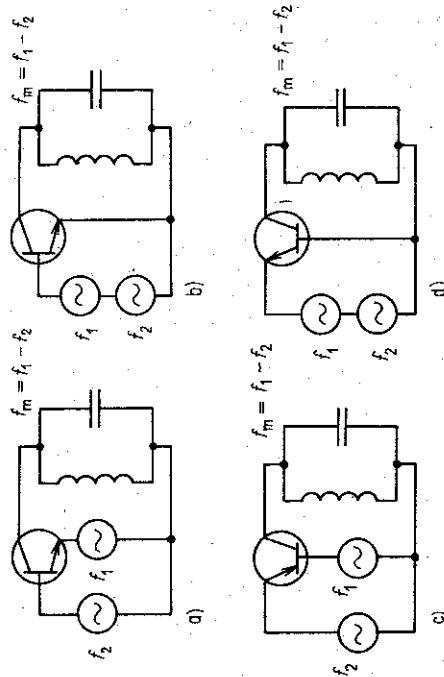
V praxi se dnes ke směšování nejčastěji používají tranzistory, a to v zapojení SE nebo SB. Na relativně nižších kmitočtech se používá zapojení SE, na vyšších kmitočtech zapojení SB.

K tranzistoru jsou v praktickém zapojení směšovače připojeny obvykle tři rezonanční obvody. Dva jsou naladěny na kmitočty  $f_1$  a  $f_2$ , tj. na

kmitočty dvou vstupních signálů, a třetí rezonanční obvod je naladěn na kmitočet  $f_1 - f_2 = f_m$ , což je signál s nově vzniklým kmitočtem. Jedna ze základních podmínek správné funkce zapojení je, aby se rezonanční obvody vzájemně neovlivňovaly.



Obr. 144. Směšování na diodě

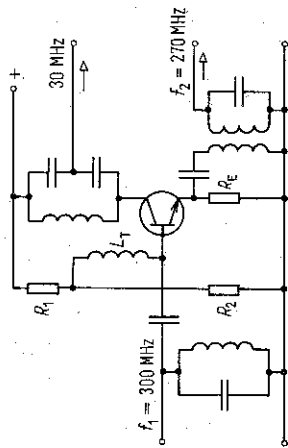


Obr. 145. Princip směšovače s tranzistorem

Různých zapojení směšovačů je mnoho. Na obr. 145a, b je principiální uspořádání směšovače s tranzistorem v zapojení se společným emitorem, na obr. 145c, d je zapojení se společnou bází. Můžeme si představit, že rezonanční obvody naladěné na kmitočty  $f_1$ ,  $f_2$  a  $f_m$  představují určitou impedanci (při rezonanci reálný odpor) vždy pouze pro příslušný signál s odpovídajícím kmitočtem, pro ostatní signály představují zkrat.



Obr. 146. Příklad zapojení směšovače



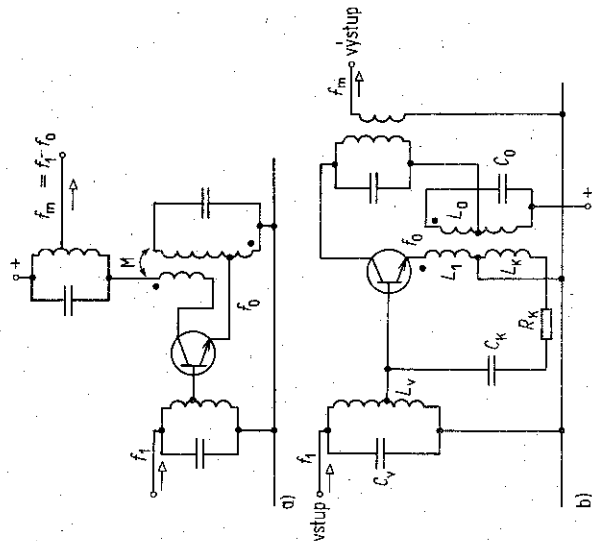
Další jednoduché zapojení směšovače je na obr. 146. Rezistory  $R_1$  a  $R_2$  slouží k nastavení pracovního bodu tranzistoru. Induktivnost  $L_T$  je ve funkci vysokofrekvenční tlumivky; zabraňuje tomu, aby rezistory  $R_1$  a  $R_2$  tlumily rezonanční obvod.

Ve všech uvedených případech šlo o způsob směšování, který se nazývá aditivní. U zapojení s elektronkami se velmi často používalo multiplikační směšování (násobení). Každý ze signálů, které se měly směšovat, tj. signálů s kmitočty  $f_1$  a  $f_2$ , se zvlášť přiváděl na jednu ze dvou řídicích mřížek speciálních směšovacích elektronek (hexod, heptod, oktod). Filtr zařazený v anodovém obvodu vybíral užitečný (rozdílový) kmitočet. Elektronkové směšovače dnes sice patří už historii, ale připomněli jsme si je pro seznámení s multiplikačním směšováním. S dnešními polovodičovými součástkami se multiplikační směšovač nepodařilo ještě vytvořit. Protože multiplikační směšování je dokonalejší než aktivní směšování, hledá se (zatím marně) polovodičová součástka, která by multiplikační směšování umožnila.

### 18.3. Kmitající směšovač

Kmitající (také samokmitající) směšovač je v podstatě oscilátor, který je upraven tak, že do něj můžeme přivádět vnější signál s kmitočtem  $f_1$ . Oscilátor sám kmitá na kmitočtu  $f_0$ . Aby oscilátor nejen kmital, ale současně účinně směšoval, musí být vybuzen až do nelineární oblasti. Zpětná vazba musí být proto nastavena na větší hodnotu než u obvyklého oscilátoru, která nemá zkruslovat. Zakřivení na charakteristice svědčí o směšování a ve výstupním obvodu se odebírá signál vzniklý směšováním,  $f_m = f_1 - f_0$ .

Obr. 147. Samokmitající směšovač  
a) v základním zapojení,  
b) vyvážený



Výhodou samokmitajícího oscilátoru je úspora jedné aktivní obvodové součástky, neboť se v něm oscilátor slučuje se směšovačem do jednoho obvodu.

Uvedme jako příklad dvě uspořádání používaná v praxi. Na obr. 147a je zjednodušené zapojení samokmitajícího směšovače, používaného v malých tranzistorových přijímačích.

Na obr. 147b je zapojení tzv. vyváženého kmitajícího směšovače. Tzv. vyváženost zabraňuje zpětnému pronikání kmitočtu oscilátoru do rezonančního obvodu vstupního signálu  $f_1$ . To má význam např. v rozhlasových přijímačích. Kmitočet oscilátoru by totiž pronikal do vstupního rezonančního obvodu připojeného k anténě. Anténa by pak vyzařovala elektromagnetické vlny vybuzené oscilátorem a přijímač by se stal zdrojem rušení.

Zpětná vazba je do emitoru oscilátoru zavedena cívkou  $L_1$ , vázanou s rezonančním obvodem  $L_0 C_0$ . Kmitý oscilátoru bez vyvážení by pronikaly z emitoru do báze a tím do vstupního (anténního) rezonančního obvodu  $C_V L_V$ . K indukčnosti  $L_1$  je však připojena kompenzační cívka  $L_K$ , která má shodný počet závitů jako  $L_1$  (je s cívkou  $L_1$  vinuta současně).

Tím přes rezistor  $R_K$  a kondenzátor  $C_K$  na bázi tranzistoru zavádí kompenzační napětí, které je v opačné fázi než rušivý signál, který přichází cestou přes emitor a bázi. Rušivé napětí se tím kompenzuje.

#### 18.4. Násobič kmitočtu

Již dříve jsme uvedli, že na nelineární charakteristice dochází k nelineárnímu zkreslení. Přivedeme-li na vstup nelineárního zesilovače sinusový signál s kmitočtem  $f$ , objeví se na výstupu nové signály s kmitočty, které jsou celistvým násobkem původního kmitočtu, tedy  $2f$ ,  $3f$ ,  $4f$  atd.

Toho se využívá v násobičích kmitočtu. Na vstup zesilovače, jehož pracovní bod je volen úmyslně tak, aby docházelo k značnému nelineárnímu zkreslení, se přivádí signál s kmitočtem  $f$ . Na výstupu zesilovače je rezonanční obvod naladěný na některý násobek kmitočtu  $f$ . Na něm se nakmitá signál s kmitočtem rovným násobku původního kmitočtu.

Poloha pracovního bodu aktivního prvku – tranzistoru se přitom volí tak, aby došlo k zdůraznění onoho násobku vstupního kmitočtu  $f$ , na který je výstupní rezonanční obvod naladěný.

#### Otázky ke kapitole V.

1. Jaké druhy modulace znáte?
2. V čem se ve svém praktickém účinku liší fázová modulace a frekvenční modulace?
3. Co je to hloubka amplitudové modulace?
4. Jaký je princip směšování?
5. Jaký je rozdíl mezi aditivním směšováním a multiplikačním směšováním?
6. Kde a jak se směšování využívá?
7. Popište princip násobiče kmitočtu. Navrhněte jeho jednoduché zapojení.

## VI. DETEKTORY A DEMODULÁTORY

Demodulátory tvoří samostatnou důležitou skupinu elektronických obvodů. Jejich účelem je zpracovat modulovanou vlnu a získat z ní původní modulační signál. Princip funkce a zapojení demodulátoru se liší podle toho, zda je demodulátor určen k demodulaci frekvenčně nebo fázově modulované vlny nebo amplitudově modulované vlny. Demodulátorům amplitudově modulovaných vln se často říká detektory.

### 19. DETEKTOR AMPLITUDOVĚ MODULOVANÝCH VLN

Jde o demodulátory většinou velmi jednoduché, složené z diody, rezistoru a kondenzátoru (obr. 148). Používaly se v tomto jednoduchém uspořádání ve všech rozhlasových i televizních přijímačích a v dalších zařízeních. Vyznačovaly se velkou spolehlivostí, velkou citlivostí a nízkou cenou. S rozvojem integrovaných obvodů se využívá mnohem složitější, ale výhodnější způsob demodulace amplitudově modulovaných vln – demodulace synchronní detekcí. Hlavní výhodou synchronní detekce je menší nelineární zkreslení.

#### 19.1. Diodová detekce

Diodový detektor může být paralelní (obr. 148a) nebo sériový (obr. 148b). Většinou se používá sériové zapojení. Přivedeme-li na zakřivenou část charakteristiky diody relativně velký amplitudově modulovaný signál, pracuje sériový detektor jako jednopulsní usměrňovač. Velikost usměrněného napětí se mění podle modulační obálky. Paralelně k zatěžovacímu rezistoru  $R$  je připojen kondenzátor  $C$ , který se nabíjí na špičkové napětí amplitudově modulované nosné vlny. Kondenzátor se však současně přes rezistor  $R$  vybíjí. Napětí na kondenzátoru proto stále sleduje velikost amplitudy nosné vlny. Na kondenzátoru je tedy napětí odpovídající obálce, tj. nízkofrekvenčnímu modulačnímu signálu.