



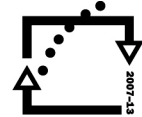
evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Projekt: Inovace oboru Mechatronik pro Zlínský kraj Registrační číslo: CZ.1.07/1.1.08/03.0009

4.2. Modulátory a směšovače

4.2.1 Modulace

V přenosové technice potřebujeme přenést signály na velké vzdálenosti (rozhlasový přenos, hovor pomocí mobilního telefonu, televizní přenos...).

Elektrické kmity získané z mikrofonu mají příliš malý kmitočet (20 Hz až 20 kHz), aby se mohly šířit bezdrátově na větší vzdálenost.

Elektromagnetické vlny s vyšším kmitočtem (např. 1 MHz) schopnost šíření mají, avšak zvukové vlny takto vysokého kmitočtu již naše ucho nevnímá.

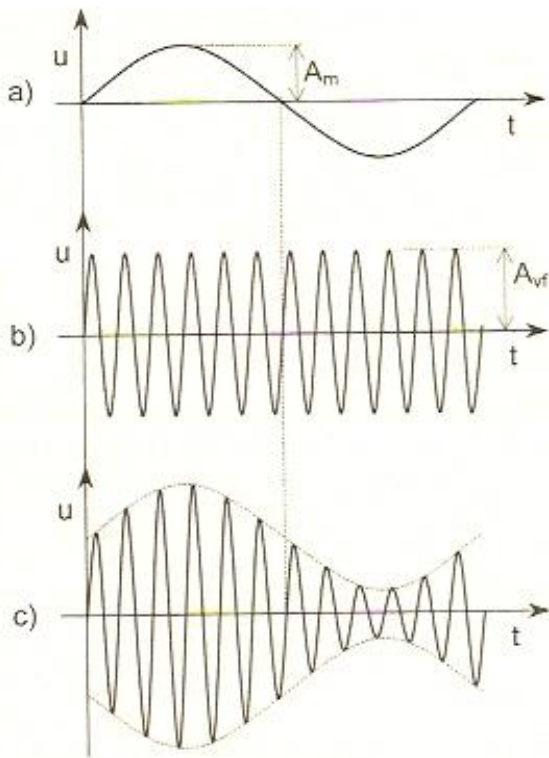
Řešení této situace je možné tím, že vhodným způsobem oba signály spojíme tj. nízkým kmitočtem, který chceme přenést, ovlivníme některou charakteristickou veličinu vysokofrekvenční vlny (amplitudu, kmitočet, fázi, sled impulzů apod.).

Toto ovlivňování některého z parametrů vysokofrekvenční vlny (nazývané nosná vlna) nízkofrekvenčním signálem (modulační signál) se nazývá modulace.

Podle parametru nosné vlny, který je nízkofrekvenčním signálem ovlivňován, rozlišujeme modulaci amplitudovou, kmitočtovou, fázovou, impulsovou atd.

1. Amplitudová modulace

Při amplitudové modulaci, která se označuje AM, se mění amplituda nosné vlny v závislosti na změnách okamžité hodnoty amplitudy modulačního signálu. Kmitočet nosné vlny přitom zůstává stejný.



Obr.1. Průběhy signálů při AM modulaci

a) modulační signál, b) nosná vlna, c) amplitudově modulovaná nosná vlna

Amplituda nosné modulované vlny je v každém okamžiku součtem nebo rozdílem amplitudy nosné nemodulované vlny a okamžité hodnoty modulačního signálu.

Poměr amplitud modulačního signálu a nosné vlny se nazývá hloubka modulace

$$m_A = \frac{A_m}{A_{vf}} \cdot 100 \%$$

Hloubka modulace bývá menší jak 100 %, aby nedocházelo ke ztrátě přenášeného signálu.

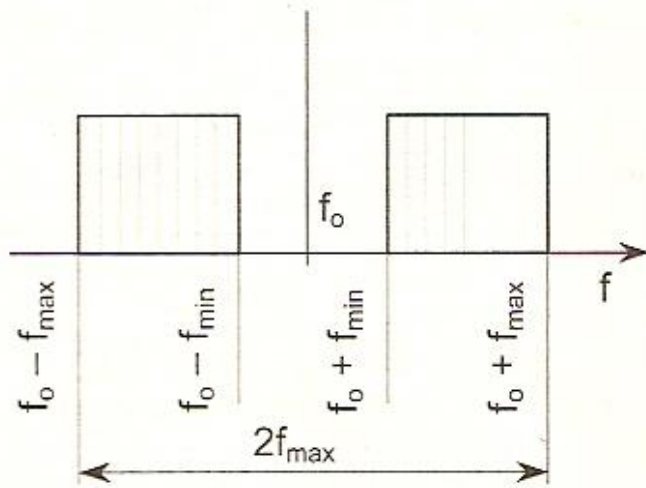
Amplitudovou modulací vznikne kmitočtové spektrum, které je dáno kmitočtem nosné vlny f_0 a šířkou pásma modulačního kmitočtu f_{\min} až f_{\max} .

To obsahuje kromě kmitočtu nosné vlny f_0 ještě dvě postranní kmitočtová pásma stejné šířky.

Kmitočet horního postranního pásma se mění v rozmezí $f_0 + f_{\min}$ až $f_0 + f_{\max}$, kde f_{\min} a f_{\max} jsou nejnižší a nevyšší modulační kmitočty.

Kmitočet dolního postranního pásma se mění v rozmezí $f_0 - f_{\max}$ až $f_0 - f_{\min}$. Celková šířka obou pásem bude potom $(f_0 + f_{\max}) - (f_0 - f_{\max}) = 2f_{\max}$.

Často se používá amplitudová modulace s jedním postranním pásmem. Vytváří se tak, že amplitudově modulovaný signál se nechá projít pásmovou propustí, která propustí pouze jedno postranní pásmo a potlačí pásmo druhé, případně potlačí i nosný kmitočet.



Obr.2. Kmitočtové spektrum AM nosné vlny

Při vysílání horního postranního kmitočtového pásma získáváme vlastně původní modulační signál, posunutý o nosný kmitočet f_0 do vyšší oblasti kmitočtového spektra. Tímto způsobem lze přesouvat různé modulační signály a skládat je nad sebe do širšího kmitočtového pásma. Využívá se toho při tzv. vícekanálové telefonii.

Amplitudová modulace je nejjednodušší způsob modulace, má však malou energetickou účinnost a modulovaná nosná vlna je značně ovlivňována rušivými signály, zvláště při dálkovém přenosu.

2. Kmitočtová modulace

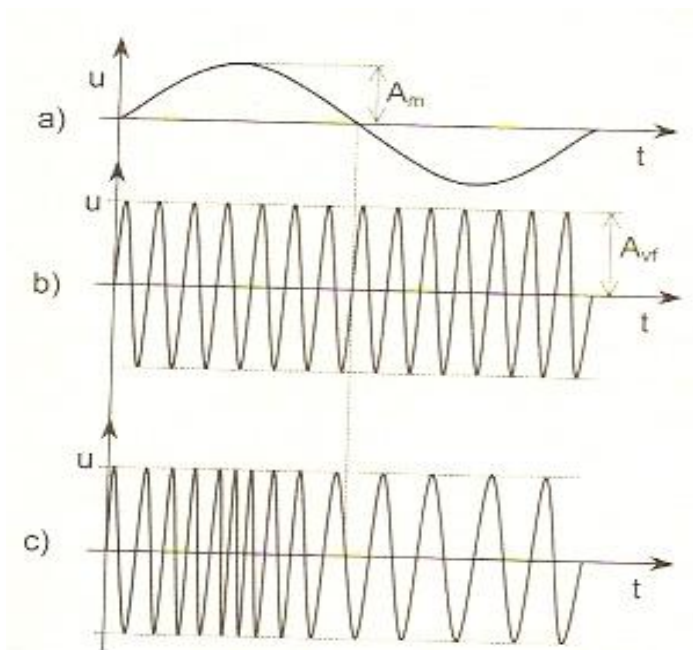
U kmitočtové modulace, která se označuje FM, se kmitočet nosné vlny mění dle velikosti okamžité hodnoty modulačního signálu, amplituda nosné vlny zůstává stejná.

Čím je amplituda modulačního signálu větší, tím větší je změna kmitočtu nosné vlny. Tato změna se nazývá kmitočtový zdvih $\Delta f = f_{\max} - f_{\min}$.

V současné době se používá kmitočtový zdvih $\Delta f = \pm 75$ kHz a kmitočet modulačního signálu nejvýše 15kHz. Pro tyto hodnoty je potřebná šířka pásma 240kHz a proto se FM používá jen u velmi krátkých vln označovaných VKV a vln kratších.

Poměr kmitočtového zdvihu Δf a frekvence modulačního signálu f_m se nazývá **modulační index** m_f . Platí pro něj vztah $m_f = \Delta f / f_m$ a nabývá hodnoty 5 až 7.

Kmitočtová modulace je odolnější proti poruchám než modulace amplitudová, vyžaduje však podstatně větší šířku pásma a jak vysílače, tak přijímače jsou složitější.

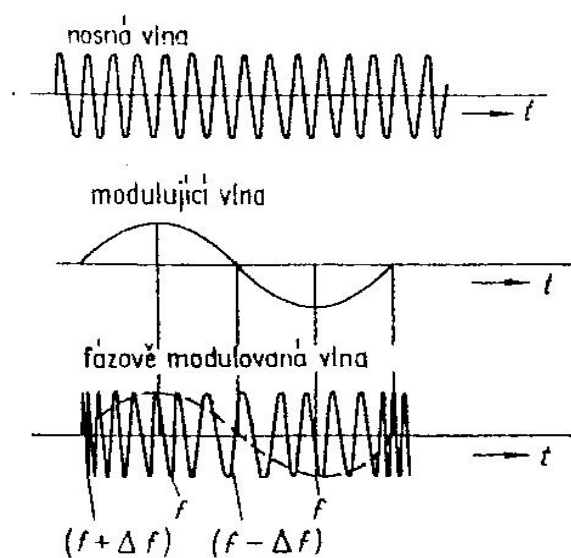


Obr.3. Průběhy signálů při FM modulaci

a) modulační signál, b) nosná vlna, c) kmitočtově modulovaná nosná vlna

3. Fázová modulace

U tohoto druhu modulace se informace přenáší změnou fáze nosného signálu. Čím větší je změna amplitudy modulačního signálu (modulující vlny), tím větší je fázový posun nosné vlny. Tam, kde změna amplitudy modulačního signálu nenastává, nemění se ani fáze nosné vlny. Při změně fáze se mění i frekvence nosné vlny.



Obr.4. Průběhy signálů při fázové modulaci

4. Impulsová modulace

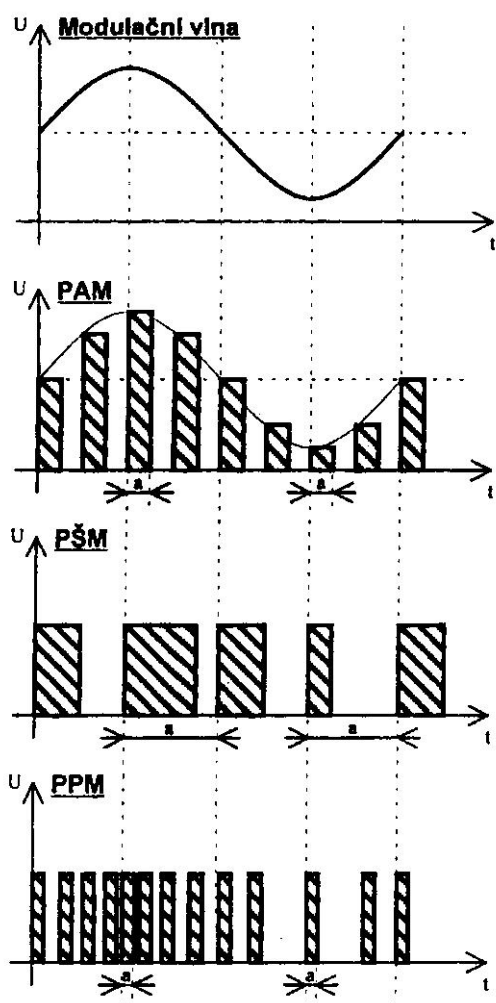
Při impulsové modulaci jsou informace přenášeny prostřednictvím sledu impulsů. Při impulsové modulaci se nepřenáší informace spojitě, ale pomocí uměle vytvořených impulsů, jejichž kombinace odpovídá původní spojitě informaci.

Signál diskrétní impulsové modulace je na přenosové trase méně narušitelný šumem, zkreslením a na přijímací straně je snadno obnovitelný.

Diskrétní modulační metody jsou založeny na vzorkování časového průběhu vstupního spojitého signálu.

Podle Shannon-Kotělnikova teorému musí být kmitočet vzorkovacích impulsů alespoň dvojnásobkem nejvyššího kmitočtu vzorkovaného spojitého signálu.

Druhy impulsové modulace



Obr.5. Průběhy modulací PAM, PŠM, PPM

a) Impulsová (pulsně) amplitudová modulace PAM

- signál získaný PAM je tvořen impulsy se stejnou šířkou a periodou
- amplituda jednotlivých impulsů sleduje okamžitou hodnotu spojitého vzorkovaného signálu v okamžiku vzorkování
- systém PAM lze použít pouze na kratších přenosových trasách s nízkou hladinou šumu

b) Impulsová (pulsně) šířková modulace PŠM

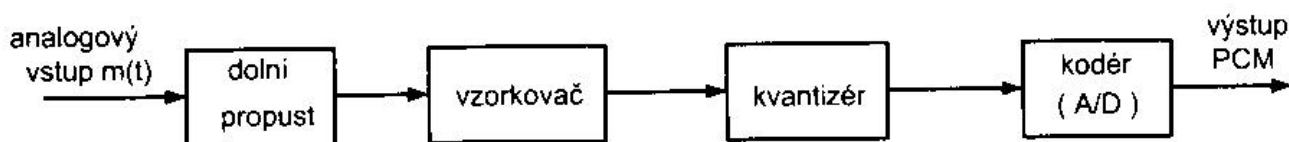
- při PŠM je informace o amplitudě signálu v okamžiku vzorkování zachycena šířkou impulsů
- amplituda impulsů je konstantní a nenesou žádnou informaci
- na přijímací straně je proto možné amplitudovým omezením odstranit zašumění signálu – v tom je přednost PŠM před PAM

c) Impulsová (pulsně) polohová modulace PPM

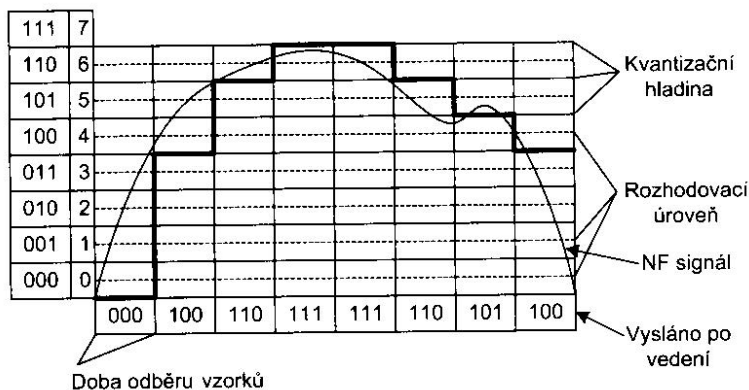
- při použití PPM je informace o amplitudě signálu v okamžiku vzorkování vyjádřena okamžitou polohou impulsů
- amplituda i šířka impulsů zůstávají stejné a nenesou žádnou informaci

d) Impulsová (pulsně) kódová modulace PCM

- jedná se o diskrétní kódovou modulaci, která je základem všech digitálních modulací
- nejprve se vytvoří vzorky impulsové modulace PAM, kterým se přiřadí nejbližší kvantizační hladiny
- tyto hladiny jsou potom v kodéru převedeny (zakódovány) do některého z digitálních kódů nejčastěji do binárního (dvojkového) kódu (sled jedniček a nul odpovídající příslušné hladině)



Obr.6. Vytváření signálu PCM



Obr.7. Příklad třímístného kódování v PCM

Při třímístném kódování v PCM je použito $2^3 = 8$ kvantizačních hladin 0 až 7. Těmto hladinám jsou přiřazeny třímístné (tříbitové) binární kódy (např. hladina č.4 = 100). Kdyby amplituda vzorkovaného signálu překročila hladinu č.7, musí se použít vyšší počet hladin, tzn. čtyřmístné kódování, které obsahuje $2^4 = 16$ kvantizačních hladin.

4.2.2. Modulátory

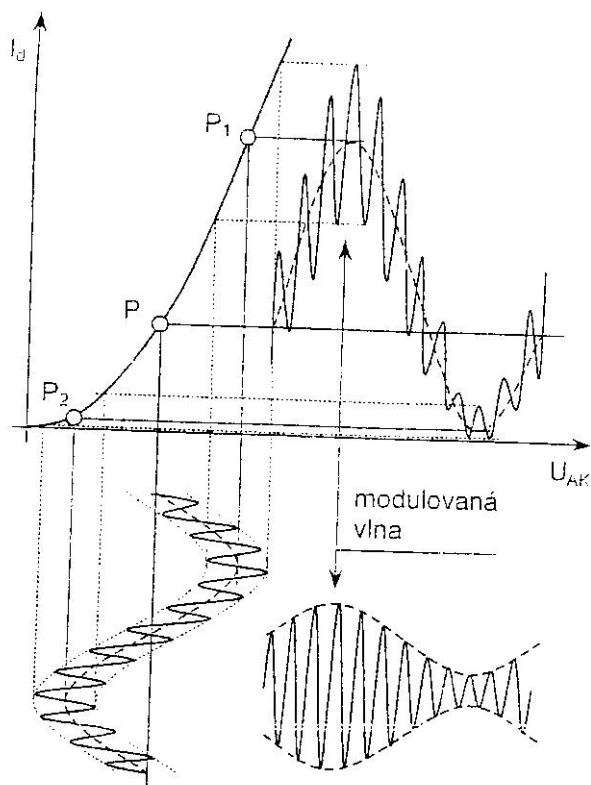
Jsou elektronická zařízení, kde dochází k úpravě nosné vlny na vlnu modulovanou.

1. Amplitudový modulátor

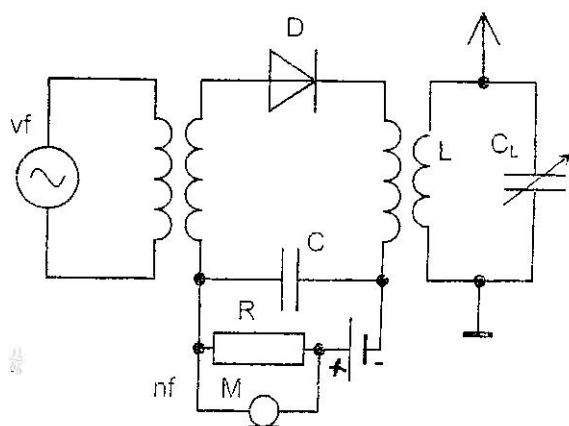
Využívá v principu elektronickou součástku, která má vhodnou nelineární voltampérovou charakteristiku, kterou je např. dioda nebo tranzistor.

Společným průchodem obou signálů (vysokofrekvenční nosné vlny a nízkofrekvenčního modulačního signálu) nelineární součástkou dojde ke zkreslení a tím ke vzniku modulované vlny. Nízkofrekvenční signál s poměrně velkou amplitudou tu posouvá pracovní bod P v rozsahu od P_1 do P_2 .

Dioda propouští vysokofrekvenční signál s amplitudou, která je úměrná poloze pracovního bodu pohybujícího se v rytmu nízkofrekvenčního signálu.

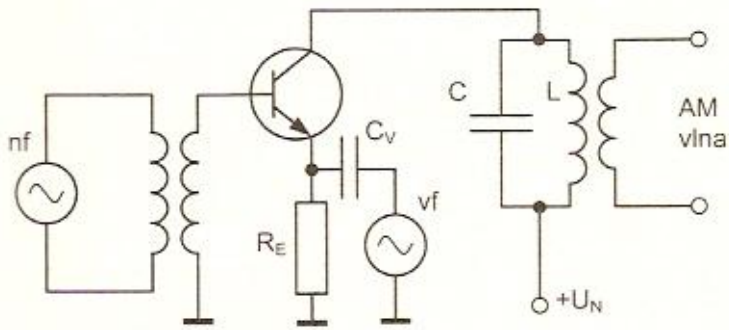


Obr.8. Princip vzniku amplitudové modulace na nelineární charakteristice



Obr.9. Jednoduchý AM modulátor s diodou

Obvod pracuje jako vysílač, protože amplitudově modulovaná vlna je přes přizpůsobovací transformátor přivedena na rezonanční obvod LC_L , který je spojen s anténou. Ladicím kondenzátorem C_L se rezonanční obvod LC_L na rezonanční frekvenci, která je rovna frekvenci vysokofrekvenční nosné vlny.



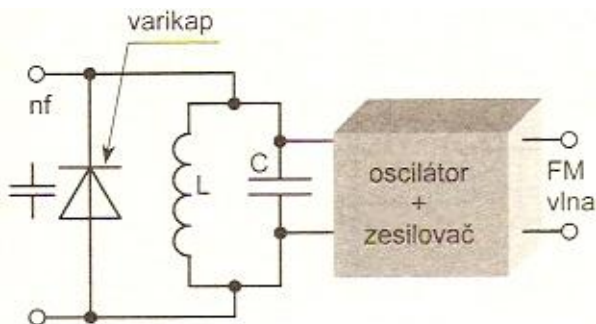
Obr.10. Jednoduchý AM modulátor s tranzistorem

Nízkofrekvenční signál NF vzniká v mikrofónu a moduluje nosnou vlnu VF, jejímž zdrojem je vysokofrekvenční oscilátor. VF signál se zavádí přes oddělovací kondenzátor C_v do emitoru tranzistoru, NF signál se zavádí přes oddělovací transformátor do báze tranzistoru. Při vhodné volbě pracovního bodu dostaneme na rezonančním obvodu LC amplitudově modulovaný signál AM.

2. Kmitočtový modulátor

Kmitočtově lze modulovat pomocí součástky, která mění svoji imaginární složku impedance v závislosti na připojeném NF (modulačním) napětí.

Může to být např. varikap (kapacitní dioda), jejíž kapacita závisí na přiloženém NF napětí.



Obr.11. Vznik FM vln

Změnami kapacity varikapu se mění rezonanční kmitočet rezonančního obvodu LC a tím také kmitočet oscilátoru.

Vzniká tak kmitočtově modulovaná FM vlna. AM a FM modulace se používá v rádiovém i televizním přenosu informací.

4.2.3. Směšovače

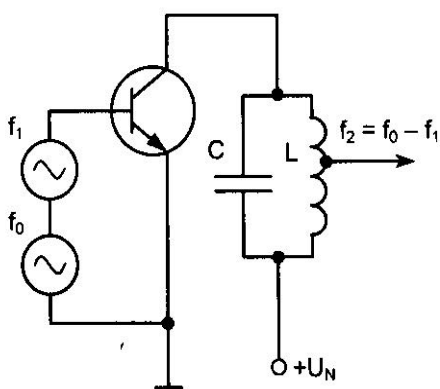
Směšovače - jsou elektronické obvody, ve kterých dochází ke směšování dvou vysokofrekvenčních signálů, které se přivádějí na jejich vstupy.

Směšování - směšování je proces přeměny vysokofrekvenčního signálu s určitým kmitočtem na vysokofrekvenční signál jiný, zpravidla o nižším kmitočtu. Aby bylo možno přeměnu uskutečnit, je potřebný ještě jeden vysokofrekvenční signál o jiném kmitočtu, než má původní signál. K tomu je nutný pomocný oscilátor.

Princip směšování

U směšování se využívá stejného jevu jako u amplitudové modulace. 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 požadovaný kmitočet, nejčastěji rozdílový $f_2 = f_0 - f_1$. Směšovače se rozdělují na aditivní, multiplikativní a kmitající (nebo též samokmitající).

1) Aditivní směšovač



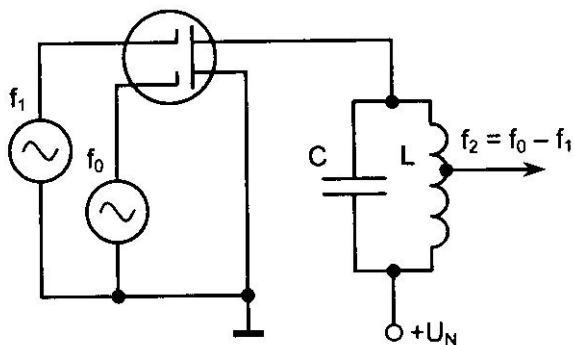
Obr.12. Aditivní směšovač

- vysokofrekvenční signál o kmitočtu f_1 a signál z pomocného oscilátoru o kmitočtu f_0 se přivádějí sériově (nebo paralelně) na jednu elektrodu nelineárního prvku
- rezonanční obvod na výstupu směšovače je naladěn na požadovanou rozdílovou proudovou složku s kmitočtem $f_2 = f_0 - f_1$

2) Multiplikativní směšovač

Vhodnější multiplikativní směšovače používají nelineární prvky s více řídicími elektrodami. Dříve se k tomuto účelu využívaly elektronky, neboť polovodičové bipolární tranzistory multiplikaci neumožňovaly.

Až vynález tranzistoru řízeného elektrickým polem typu MOSFET umožnil realizaci multiplikativního směšovače na bázi polovodiče.

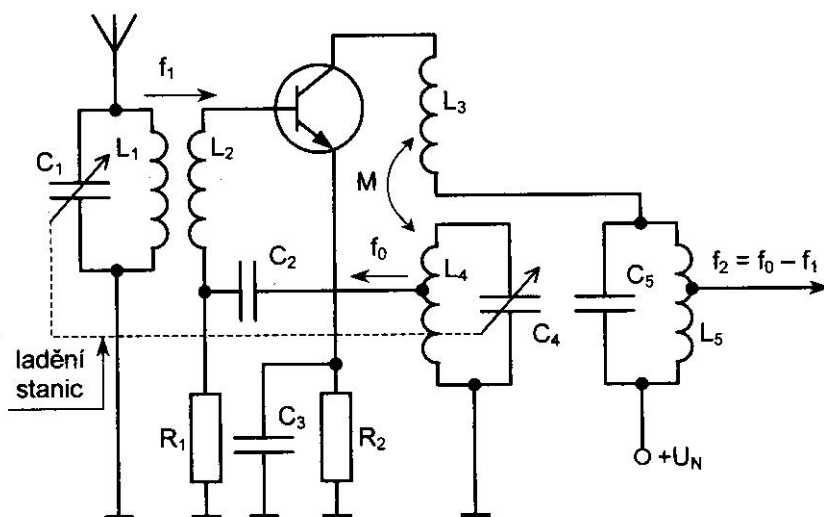


Obr.13. Multiplikativní směšovač s tranzistorem MOSFET se dvěma řídicími elektrodami

- vysokofrekvenční signál o kmitočtu f_1 a signál z pomocného oscilátoru o kmitočtu f_0 se přivádějí samostatně každý na jednu řídicí elektrodu nelineárního prvku - tranzistoru MOSFET, v němž dochází k jejich směšování
- při směšování vzniká celé spektrum kmitočtů součtový, rozdílový a jejich násobky
- rezonanční obvod na výstupu směšovače je naladěn na požadovanou rozdílovou proudovou složku s rozdílovým kmitočtem $f_2 = f_0 - f_1$

3) Kmitající směšovač

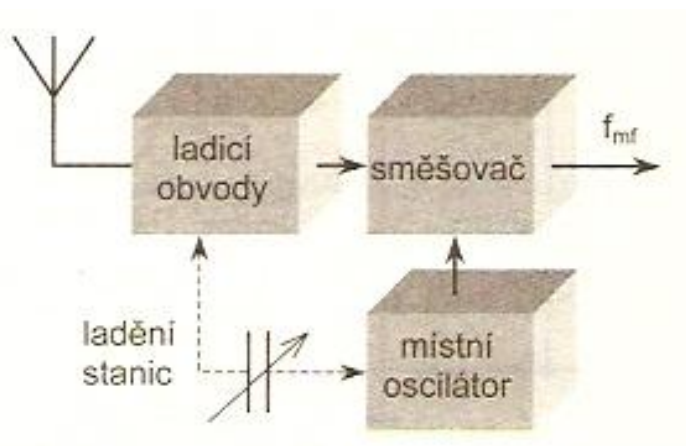
Kmitající směšovač je v podstatě oscilátor, který je upraven tak, že do něj můžeme přivádět vnější signál s kmitočtem f_1 . Oscilátor s tranzistorem kmitá sám na kmitočtu f_0 . Aby oscilátor nejen kmital, ale i směšoval, musí být vybuzen až do nelineární oblasti silnější zpětnou vazbou.



Obr.14. Kmitající směšovač

- laditelný oscilátor má zavedenou kladnou zpětnou vazbu mezi kolektorem a bází tranzistoru pomocí vinutí L_3 a rezonančního obvodu L_4C_4
- napětí vyráběné oscilátorem má kmitočet f_0
- vinutím L_2 je současně do báze tranzistoru zaváděn směšovaný signál ze vstupního rezonančního obvodu L_1C_1 s kmitočtem f_1
- požadovaná rozdílová složka s kmitočtem $f_2 = f_0 - f_1$ se vybírá v kolektorovém obvodu L_5C_5

Použití směšovače



Obr.15. Směšovač v rozhlasovém přijímači

- hlavní použití směšovačů je v rozhlasové a televizní technice při přeměně vysokofrekvenčního signálu přijímané stanice s určitým kmitočtem na vysokofrekvenční signál o nižším kmitočtu z důvodu jeho jednoduššího dalšího zpracování
- můžeme se s nimi setkat i v měřicí technice, např. při měření kmitočtu apod.

Použitá literatura:

- Kesl, J.: Elektronika I – analogová technika
- Bezděk, M.: Elektronika I