

Modulátory a demodulátory

Rozdělení způsobu zpracování signálu:

- Směšování (zpracování dvou blízkých signálů)
- Modulace (zpracování dvou vzdálených signálů)

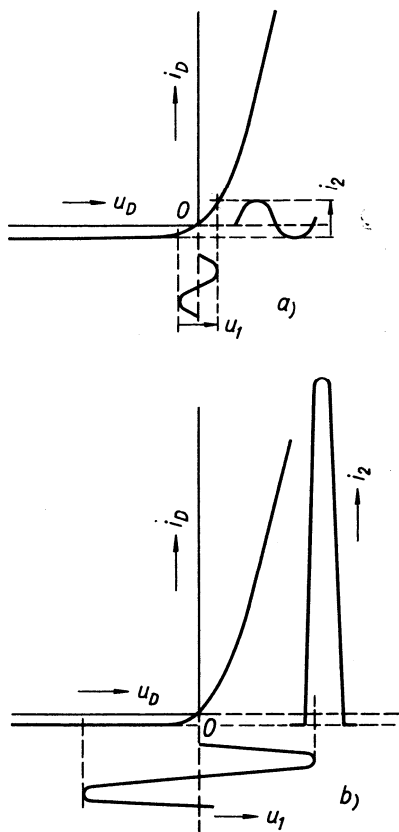
Modulátory jsou elektronická zařízení, ve kterých je vyšší signál tvarován signálem mnohonásobně nižším. Tím se liší od směšovačů, kde se zpracovávají dva relativně blízké signály. Podle způsobu funkce lze tyto obvody dělit na lineární a nelineární. (toto tradiční označení není přesné, protože v obou případech se využívá nelineárního průběhu charakteristiky).

V nelineárních obvodech (obr.38a) se na diodu přivádí malé harmonické signálové napětí u_1 (v řádu desítek milivoltů) a k dalšímu zpracování se využívá zkreslený proud i_2 . V lineárním režimu je vstupní signál u_1 tak velký (např. stovky milivoltů), že dochází prakticky k jednocestnému usměrnění, při kterém jedna z půlvln (zde záporná) je zanedbatelně malá oproti druhé (obr.38b).

V modulátorech se na vstup přivádějí dva signály, nízkofrekvenční u_{NF} a vysokofrekvenční u_{VF} . Výstupní průběh má obecně spektrum (Fourierova řada):

$$\begin{aligned}
 i_2 &= a_{00} + a_{01}\sin\omega_{nf}t + a_{02}\sin 2\omega_{nf}t + a_{03}\sin 3\omega_{nf}t + \dots \\
 &+ a_{10}\sin\omega_{vf}t + a_{11}\sin(\omega_{vf} \pm \omega_{nf})t + a_{12}\sin(\omega_{vf} \pm 2\omega_{nf})t + \dots \\
 &+ a_{20}\sin\omega_{vf}t + a_{21}\sin(2\omega_{vf} \pm \omega_{nf})t + a_{22}\sin(2\omega_{vf} \pm 2\omega_{nf})t + \dots \\
 &= \sum_{n=0}^{\infty} \sum_{m=0}^{\infty} a_{nm} \sin(n\omega_{vf} \pm m\omega_{nf})t
 \end{aligned}$$

Za modulátorem následují filtrační obvody, které propustí užitečné kmitočty, zpravidla nosný a obě postranní pásma



$$a_{10}\sin\omega_{vf}t + a_{11}\sin(\omega_{vf} \pm \omega_{nf})t$$

a ostatní, nežádoucí potlačí. Podobně u **demodulace** se využívá složka původního nízkofrekvenčního kmitočtu $a_{01}\sin\omega_{nf}t$ (provázená bohužel i svými harmonickými $a_{02}\sin 2\omega_{nf}t \dots$). Stejnosečná složka a_{00} se využije pro automatické řízení zisku (AVC, Automatic Volume Control) a vysokofrekvenční složky se potlačí.

Příklady nejjednodušších modulačních obvodů pro amplitudově modulovaný signál (AM) jsou na obr.39. V sériovém zapojení (obr.39a) se vysokofrekvenční modulovaný signál přivádí na diodu ze sekundárního vinutí posledního mezifrekvenčního transformátoru Tr. Dioda propustí jen záporné půlvlny. Jejich vf složky potlačí kondenzátor C2 a za oddělovacím kondenzátorem C3 se odebírá demodulovaný nf signál. Proto se snažíme, aby $\omega_{nf\max} \ll (\frac{1}{RC_2}) \ll \omega_{vf\min}$. Stejnosečná složka se využívá pro AVC. Vždy je nutné pamatovat, že detekční obvod musí být uzavřen pro stejnosměrný proud (zde odporem R). V opačném případě se kondenzátor C2 nabije na špičkovou hodnotu, uzavře diodu a znemožní její funkci.

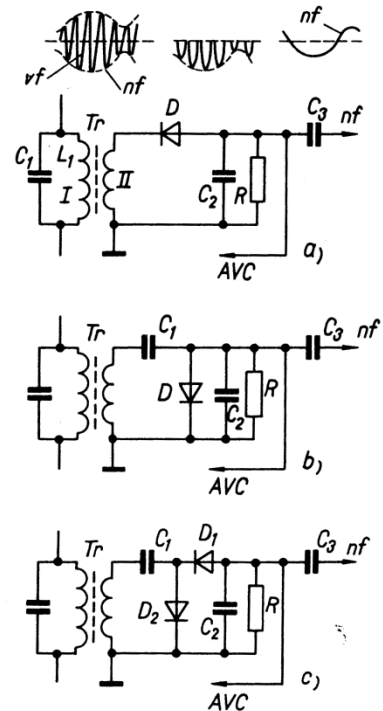
Obr. 38. Signál na diodě při a) nelineární modulaci nebo demodulaci; b) lineární modulaci nebo demodulaci

V paralelním uspořádání (obr.39b) zkratuje dioda D kladné půlvlny vysokofrekvenčního signálu k zemi. Používá se tam, kde je zdroj vf signálu neprůchodný pro stejnosměrný proud (zde naznačeno kondenzátorem C1) nebo chceme-li jeden pól uzemnit.

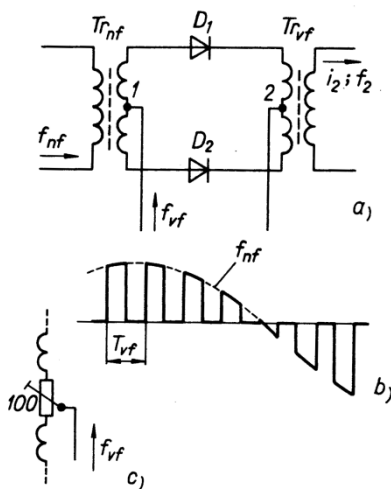
Na obr.39c je použit Delonův zdvojovač. Nevýhodou jednoduchých modulátorů a demodulátorů je vznik velmi složitého spektra kmitočtů, ve kterém užitečné signály mají velmi malý výkon. Kromě toho je nf signál provázen svými harmonickými, které zhoršují kvalitu přenosu. Proto byly zkonstruovány modulátory a demodulátory, které samy, vhodným obvodovým řešením, užitečné složky zvýhodní a zabrání vzniku složek nežádoucích (alespoň některých).

Symetrický modulátor na obr. 40a má nízkofrekvenční transformátor Tr_{nf} a vysokofrekvenční transformátor Tr_{vf} . Střední

vnitřních vinutí obou transformátorů jsou buzeny nosným vysokofrekvenčním signálem f_{vf} . V půlperiodě, kdy je v bodě 1 kladné napětí, obě diody D1, D2 vedou, v další půlperiodě (bod 1 je záporný) nevedou, jsou zahazeny. Obě diody pracují v rytmu nosného kmitočtu f_{vf} jako dva spínače, které propouštějí a potlačují nízkofrekvenční modulační signál (obr.40b). Modulační signál je ve srovnání s nosným zanedbatelně malý, takže na stav diod nemá vliv. Symetrický modulátor potlačuje nosný kmitočet a některé další produkty, propouští však původní nízký kmitočet.



Obr. 39. Demodulátory signálů AM



Obr. 40. Symetrický modulátor s diodami

D1 a D2, diody D3 a D4 jsou zahazeny. V následující půlperiodě se naopak zahradí diody D1 a D2, diody D3 a D4 vedou. Vstupní modulační signál je tedy k bodům 3, 4 periodicky přiváděn v původní a převrácené polaritě (obr. 41b). Nosný i původní nf signál jsou potlačeny a na výstupu jsou k dispozici liché produkty

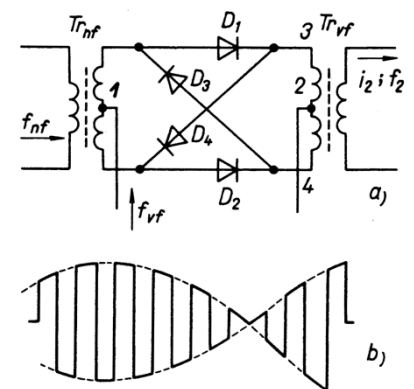
$$i_2 = a_{11}\sin(\omega_{vf} \pm \omega_{nf})t + a_{31}\sin(3\omega_{vf} \pm \omega_{nf})t + \dots$$

z nich samozřejmě první je nejdůležitější.

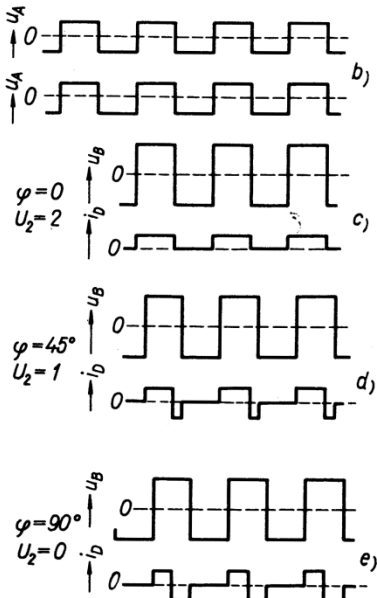
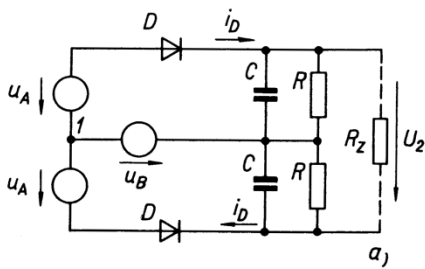
Správná funkce obou posledních modulátorů vyžaduje symetrii vinutí obou transformátorů, které se proto vinou současným pokládáním dvou vodičů, odvíjených ze dvou cívek. Z diod, jež jsou k dispozici, je třeba vybrat pár, popř. čtveřici se shodnými vlastnostmi. Přinejmenším se sleduje shoda úbytku napětí při průchodu propustného proudu asi 1 mA. Nejlépe se pro to hodí diody se (zlatým) přivařeným hrotem. Celkovou symetrii, posuzovanou zpravidla útlumem nosného kmitočtu na výstupu, lze zlepšit potenciometry ve středech vnitřních vinutí (obr. 40c) anebo zařazením odporů (desítky Ω) do série s diodami.

Obě zapojení mohou být v opačném smyslu přenosu použita i k demodulaci.

Moderní přenosové systémy používají stále častěji jiné druhy modulace a demodulace než amplitudové, např. modulaci fázovou nebo kmitočtovou. Tomu pak odpovídají příslušné detekční (demodulační) obvody.



Obr. 41. Kruhový modulátor



Obr. 42. Princip a funkce fázového detektoru se souhlasnou polaritou diod

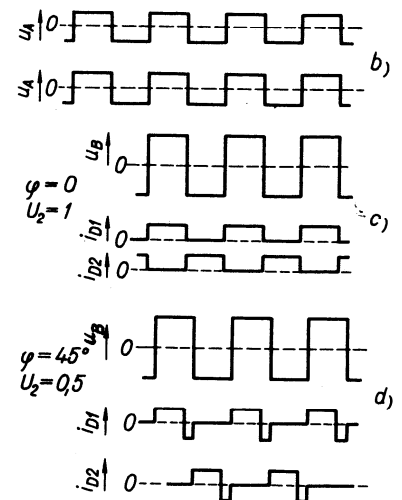
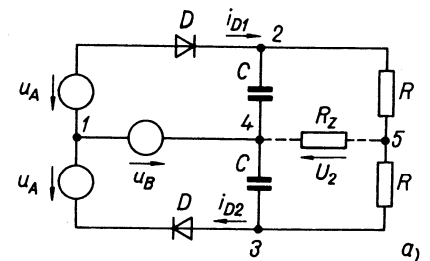
Princip *fázového detektoru* se souhlasně pólovanými diodami je na obr. 42a. V symetrickém uspořádání vidíme dva dříve popsané detekční obvody. V každém z nich působí vstupní signál u_A , který má být detekován. Ve střední větvi je generátor referenčního signálu u_B . Všechny signály mají stejný kmitočet. Za předpokladu, že amplituda U_B je mnohem větší než U_A , lze pro harmonické průběhy odvodit, že detekované výstupní napětí

$$U_2 = K 2U_A \cos \varphi$$

je úměrné dvojnásobku amplitudy U_A a kosinu fáze u_A a u_B

Funkci fázového detektoru lze vysvětlit pomocí obr. 42b až 42e. pro jednoduchost předpokládejme, že všechny signály mají pravoúhlé průběhy a úkolem referenčního signálu je periodicky otevírat a zahrazovat diody D. V půlperiodě, kdy je u_B v bodě 1 kladné, jsou obě diody otevřeny. V další půlperiodě jsou obě diody zahraženy. Proti U_B je amplituda U_A tak malá, že nemá vliv na polarizaci diod a proud signálu u_A prochází otevřenou diodou v obou směrech.

Při $\varphi = 0$ nabíjejí oba zdroje napětí u_A po celou půlperiodu horní polepy obou kondenzátorů C kladným napětím – pro tento případ položíme $U_2 = 2$. Při $\varphi = 45^\circ$ zruší záporný impuls část kladného náboje, takže např. $U_2 = 1$. Při $\varphi = 90^\circ$ prochází obvody střídavý proud, účinek obou jeho půlvln se ruší a $U_2 = 0$.



Obr. 43. Princip a funkce fázového detektoru s nesouhlasnou polaritou diod

navzájem zaměnit místo připojení vstupního a referenčního signálu.

Zapojíme-li dolní diodu opačně, než je zapojena na obr. 42a, vznikne fázový detektor s nesouhlasně pólovanými diodami podle obr. 43a. N rozdíl od předchozího zapojení otevírá referenční signál diody střídavě. V půlperiodě, kdy bod 1 je kladný, vede horní dioda a nabíjí se horní kondenzátor C. Ve druhé půlperiodě vede dolní dioda a stejným proudem se nabíjí dolní kondenzátor. Body 2, 3 mají stále stejné napětí. Proto je zátěž R_Z připojena mezi bod 4 a odporovým děličem vytvořený střední bod 5. Proud procházející R_Z je součtem dvou stejně velkých proudů, buzených napětími kondenzátorů mezi body 2, 4 a 3, 4.

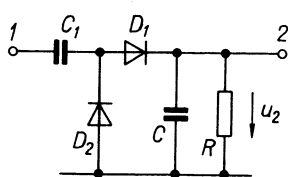
Za předpokladu, že amplituda referenčního signálu U_B je značně větší než amplituda vstupního signálu, lze odvodit, že detekované výstupní napětí

$$U_2 = K U_A \cos \varphi$$

je úměrné napětí U_A a kosinu fáze mezi u_A a u_B .

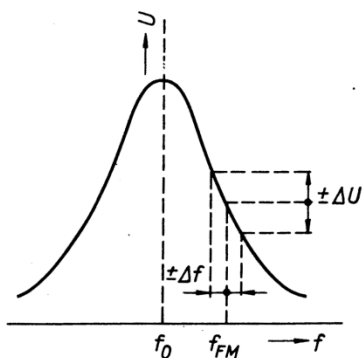
Funkci tohoto fázového detektoru lze opět vysvětlit pomocí pravoúhlých signálů na obr. 43b až 43d.

V případě, kdy $\varphi = 0$, otevírají se střídavě diody a po celou dobu každé půlperiody jimi procházejí kladné proudy i_{D1} a i_{D2} . Při fázovém posunu mezi u_A a u_B , např. $\varphi = 45^\circ$, se náboje kondenzátorů zmenší o záporné impulsy, jak je naznačeno na obr. 43d. V krajním případě, kdy $\varphi = 90^\circ$ je opět $U_2 = 0$.



Obr. 44. Jednoduchý demodulátor signálu FM

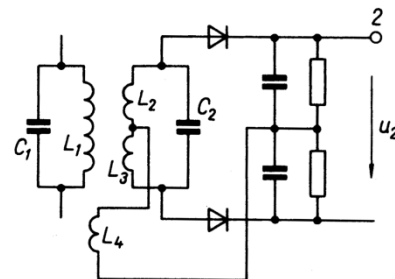
Nejdůležitější jsou *detektory kmitočtové modulace*. Existují jednoduchá zapojení, odvozená z detektorů amplitudových. Víme, že při vhodné volbě časové konstanty filtračního obvodu je výstupní (usměrněná a filtrovaná) napětí úměrné kmitočtu usměrňovaného kmitočtu. Příklad takového zapojení je na obr. 44.



Obr. 45. Demodulace signálu FM na boku rezonanční křivky

K detekci signálu FM lze použít i boku rezonanční křivky laděného obvodu přijímače, určeného původně k příjmu signálu AM. Jak je zřejmé z obr. 45, je změna výstupního napětí ΔU úměrná změně kmitočtu Δf . Na tomto principu je založen **Travisův kmitočtový diskriminátor**.

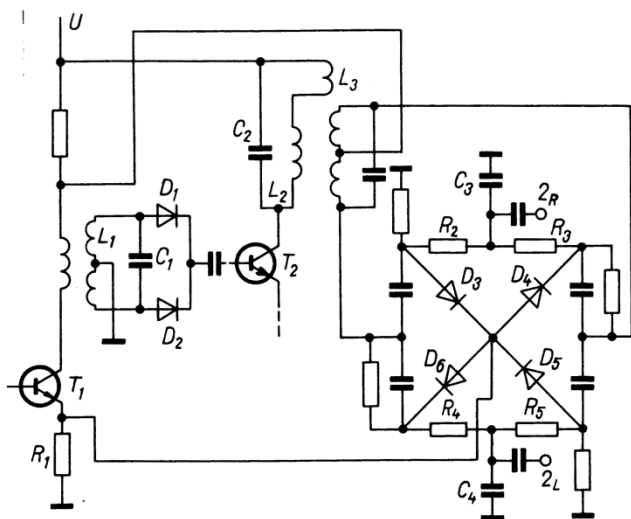
Na obr. 46 je kmitočtový diskriminátor, ve kterém podle výkladu k obr. 42 funkci referenčního signálu zastává napětí, indukované do vinutí L_4 , těsně svázaného s vinutím L_1 (výstup posledního stupně mezifrekvenčního



Obr. 46. Kmitočtový diskriminátor s indukční vazbou referenčního signálu

zesilovače). Symetrická vinutí L_2 a L_3 jsou s L_1 v tzv. kritické vazbě, kdy je indukované napětí při rezonančním kmitočtu f_0 pootočeno o 90° proti napětí v primárním vinutí a výstupní napětí u_2 je nulové. Při změně kmitočtu signálu o Δf se však změní fáze signálu indukovaného do L_2 , L_3 o $2Q \Delta f/f_0$, kde Q je činitel jakosti sekundárního obvodu L_2 , L_3 , C_1 . Výsledná změna výstupního napětí odpovídá výkladu k obr. 42.

K dekódování stereofonního signálu se používá **křížového (Mackova) demodulátoru** podle obr. 49.



Obr. 49. Princip dekóderu stereofonního signálu s křížovým demodulátorem

Na vstup T1 se přivádí demodulovaný stereofonní signál. Na emitorovém odporu R1 se zesilují obě postranní pásma a součtový signál $L + R$, zatímco v kolektorovém obvodu je L_1 , C_1 laděný na pilotní kmitočet 19 kHz. Dvoucestným usměrněním (D_1 , D_2) a dalším selektivním zesílením (L_2 , L_3 , C_2) vzniká pomocný kmitočet 38 kHz, ovládající diody D_3 až D_6 křížového demodulátoru, do jehož středu je z emitoru T1 zaveden kódovaný stereofonní signál. V jedné půlperiodě vedou diody D_3 , D_4 a signál se přivádí na výstup 2_R , příslušející pravému (Right) kanálu. V další půlperiodě vedou diody D_5 , D_6 a spojují střed demodulátoru s levým (Left) výstupem 2_L . Členy R_2 , R_3 , C_3 a R_4 , R_5 , C_4 zajišťují deemfázi (Deemfáze je umělé zeslabení vyšších kmitočtů po demodulaci kmitočtové modulace) dekódovaných signálů.

Zdroj: Jindřich Čermák – Kurz polovodičové techniky SNTL 1976