

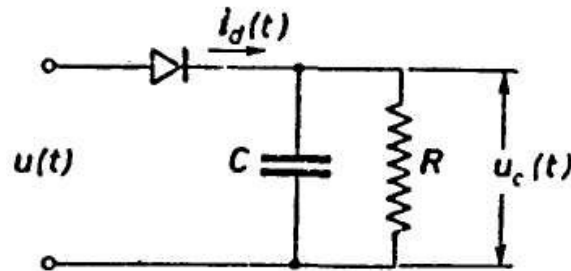
ASINHRONA DEMODULACIJA

- **Demodulacija** - operacija obrnuta modulaciji u kojoj se iz *produkata modulacije* rekonstruiše modulišući signal.
- **Detekcija** - reprodukcija modulišućeg signala koja se ostvaruje pomoću asimetrično provodnog sklopa bez upotrebe lokalnog oscilatora.

Detektor anvelope je sklop koji bez upotrebe lokalnog oscilatora na svom izlazu daje signal identičan anvelopi ulaznog signala.

Koristi se za ekstrakciju modulišućeg signala iz KAM signala, za druge vrste AM signala ne može da se koristi.

Detektor anvelope je vrlo jednostavan, realizuje se pomoću diode i RC kola.



Slika: Detektor anvelope

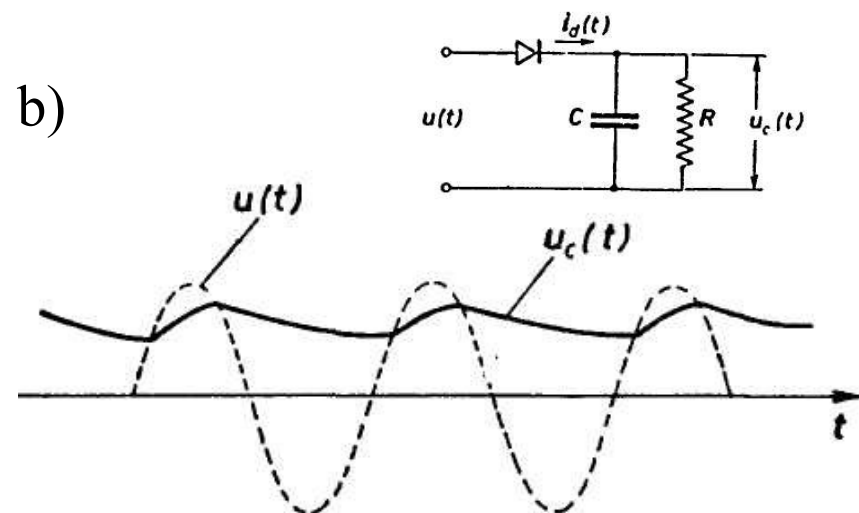
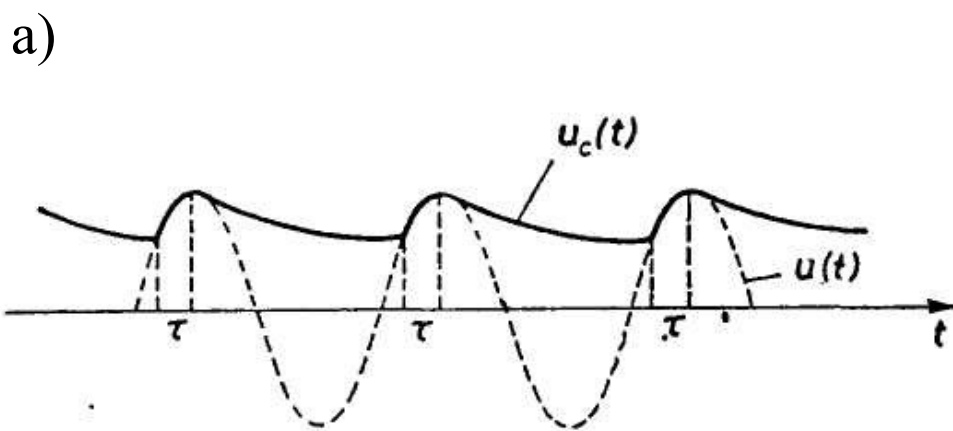
Princip rada:

Neka je ulaz detektora anvelope pobuđen **nemodulisanim nosiocem**. Neka je dioda idealna (otpornost u smjeru propuštanja je nula, a u obrnutom smjeru je beskonačno velika).

Kada dioda provodi, kondenzator C se vrlo brzo napuni i napon na njegovim krajevima dostiže maksimalnu vrijednost ulaznog sinusoidalnog napona.

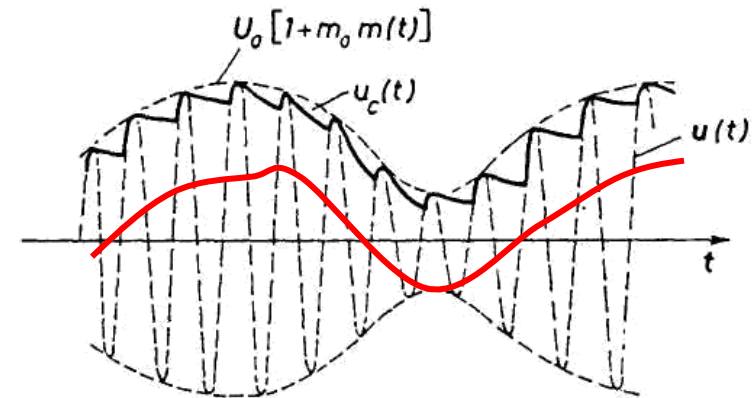
Kada dioda ne provodi, kondenzator C se prazni preko otpornika R .

Struja diode $i_d(t)$ postoji samo u vremenskim intervalima τ . Talasni oblik napona $u_c(t)$ zavisi od vremenske konstante RC . Što je ona veća, to je $u_c(t)$ bliži maksimalnoj vrijednosti U_0 napona $u(t)=U_0\cos\omega_0 t$. Zato se ovaj sklop još naziva i **vršni detektor**.



Slika: Sinusoidalan napon $u(t)$ na ulazu u detektor anvelope i napon $u_c(t)$ na krajevima kondenzatora C , a) uz uslov da je dioda idealna, b) u slučaju kad dioda nije idealna

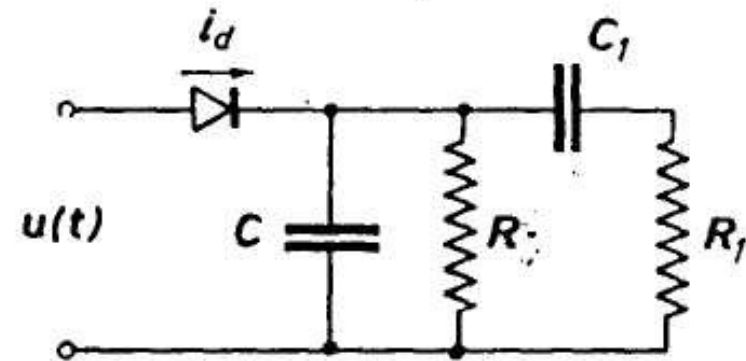
Kada se na ulaz detektora pobudi amplitudski moduliranim signalom tipa **KAM**, odvijaće se isti ovaj proces, samo se sada mijenja amplituda ulaznog signala. Uz uslov da je vremenska konstanta RC povoljno izabrana, napon $u_c(t)$ će se mijenjati tako da prati ove promjene.



Slika: Amplitudski modulisan signal tipa KAM (isprekidano izvučena kriva) i detektovani napon $u_c(t)$ (puno izvučena kriva)

Izlazni napon prati anvelopu signala sa malim promjenama. Upotrebom jednostavnog RC filtra, nepoželjne komponente mogu da se odstrane, tako da se na krajevima otpornika R_1 dobija željeni detektovani napon.

Uslov: učestanost nosioca ω_0 mora da bude mnogo veća od učestanosti ω_M kojom je ograničen spektar modulišućeg signala.



Slika: Detektor anvelope sa jednostavnim filtarskim kolom $R_1 C_1$

Analiza rada detektora anvelope:

Pretpostavimo da je $\omega_0 \gg \omega_M$. Tada se u prvoj aproksimaciji može smatrati da kroz otpornik R protiče korisna komponenta struje diode superponirana komponenti konstantnog intenziteta, a kroz kondenzator C sve one komponente koje imaju visoku učestanost.

Da bismo izveli željenu analizu posmatrajmo prvo slučaj kada se na ulaz detektora dovodi **nemodulisani nosilac**.

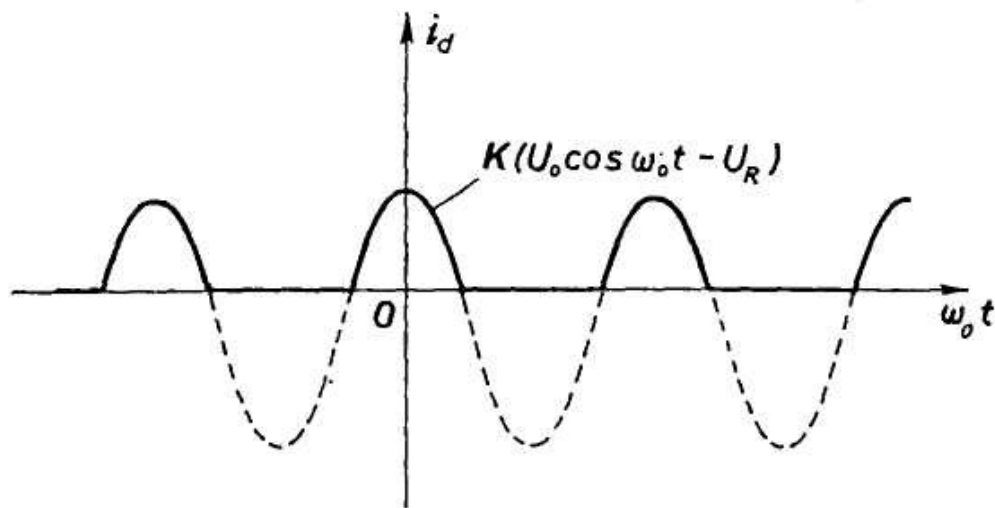
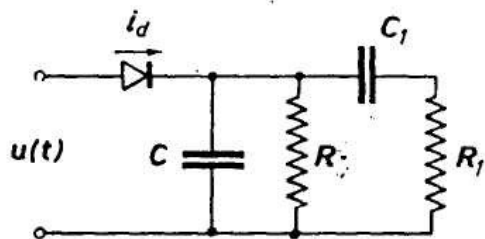
Za $u_d(t) > 0$ dioda provodi, pa je struja kroz diodu $i_d(t) = u_d(t)/R_d$.

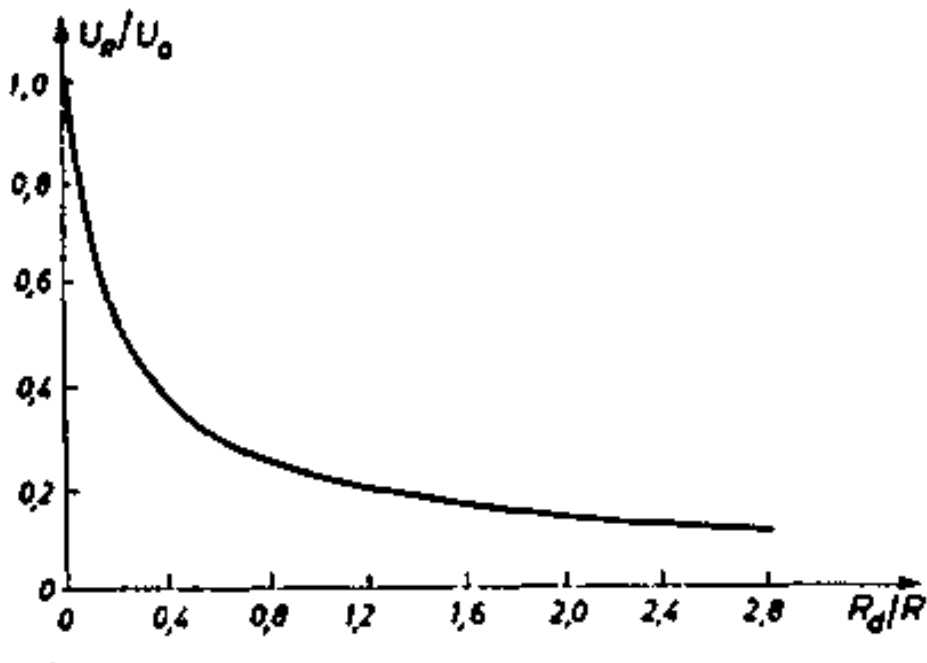
$$i_d(t) = \frac{1}{R_d} (U_0 \cos \omega_0 t - U_R)$$

Za $u_d(t) < 0$ dioda ne provodi, pa je struja kroz diodu $i_d(t) = 0$.

Struja $i_d(t)$ je prikazana puno izvučenom linijom na slici. Postoji kada je ispunjen uslov:

$$\cos \omega_0 t > \frac{U_R}{U_0}$$





Slika: Izlazni napon detektora anvelope u funkciji odnosa otpornosti diode u smjeru propuštanja R_d i otpornosti opterećenja R

Odnos $U_R/U_0 \rightarrow 1$ kada količnik $R_d/R \rightarrow 0$, tj. kada je otpornost diode u smjeru propuštanja veoma mala u odnosu na otpornost opterećenja napon na ovom otporniku biće vrlo približno jednak naponu U_0 .

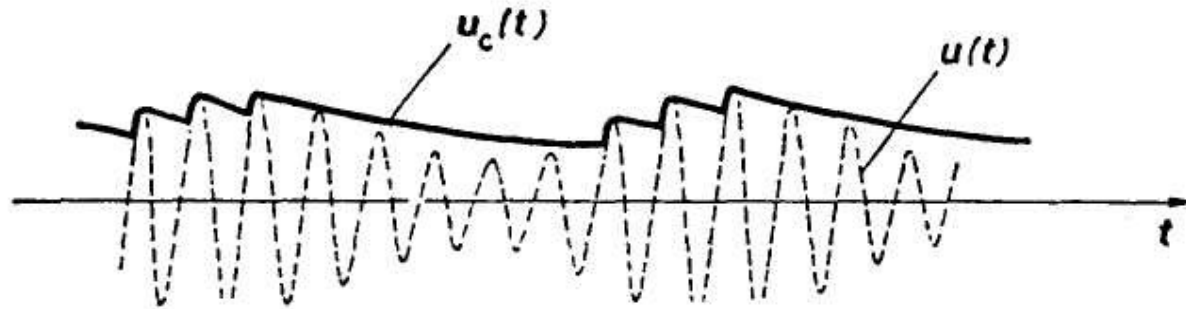
U izrazu za KAM signal umjesto U_0 figuriše izraz $U_0 + U_0 m_0 m(t)$ pa će se na otporniku R dobiti jednosmjerni promjenljivi napon čije su promjene vrlo približno jednake modulišućem signalu $U_0 m_0 m(t)$.

Uloga nosioca je jasna. Konstanta U_0 u izrazu za amplitudu KAM signala obezbjeđuje da anvelopa modulisanog signala nikad ne mijenja znak. Taj uslov omogućuje da se na otporniku R dobije napon identičan anvelopi modulisanog signala.

Odstupanja od idealnog slučaja:

1. Dijagonalno odsijecanje
2. Odsijecanje negativnih vrhova

1. Javlja se u slučaju kada RC konstanta nije dobro izabrana. Ako je vrijednost ove konstante suviše velika, kondenzator ne može dovoljno brzo da se isprazni kroz otpornik R, pa napon na njemu ne slijedi tok anvelope ulaznog modulisanog signala, tj. izlazni detektovani signal postaje izobličen. Ova pojava se naziva ***dijagonalno odsijecanje***.



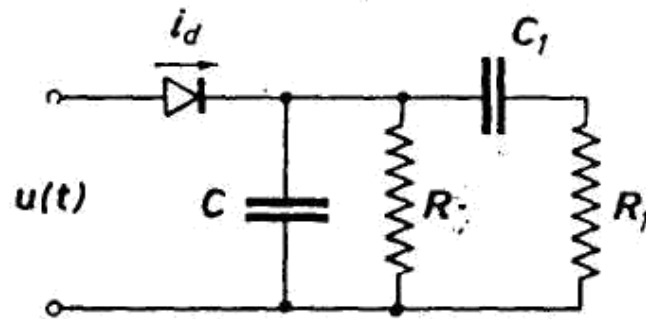
Slika: Talasni oblik detektovanog signala sa dijagonalnim odsijecanjem izazvanim suviše velikom RC konstantom u kolu detektora anvelope

Da bi se izbjegla ova neželjena pojava, RC treba izabrati tako da je:

$$RC \leq \frac{1}{\omega_m} \sqrt{\frac{1}{m_0^2} - 1}$$

2. Druga vrsta izobličenja do koje može da dođe u detektoru anvelope je *odsijecanje negativnih vrhova*.

Na detektor se dodaje još R_1C_1 filter koji se obično bira tako da je C_1 dimenzionisan tako da je njegova reaktansa mala i za najnižu učestanost u spektru modulišućeg signala.



Smatrajmo da je dioda idealna (otpornost u smjeru propuštanja je nula, a u suprotnom smjeru beskonačno velika).

Neka na ulaz detektora dolazi sinusoidalno modulisan signal KAM tipa:

$$u(t) = U_0(1 + m_0 \cos \omega_m t) \cos \omega_0 t$$

Tada je na krajevima otpornika R napon $u_R(t)$ sastavljen iz dvije komponente:

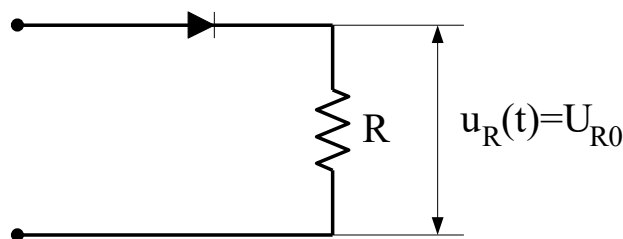
1. komponente konstantnog intenziteta U_{R0}
2. komponente $u_{Rm}(t)$ koja odgovara varijacijama amplitude modulisanog signala.

Prema tome

$$u_R(t) = U_{R0} + u_{Rm}(t)$$

Na krajevima otpornika R_1 postojaće samo napon $u_{Rl}(t)=u_{Rm}(t)$. Ako je vremenska konstanta RC dovoljno velika, onda će konstantni napon U_{R0} biti približno jednak amplitudi napona nemodulisanog nosioca U_0 .

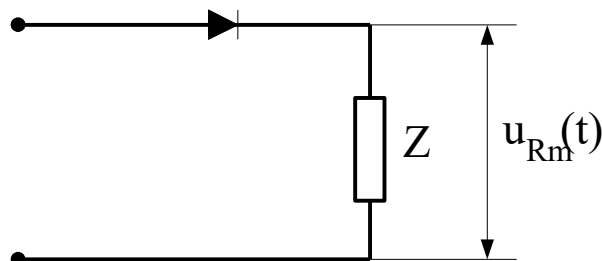
Za dobijanje jednosmjerne komponente struje ekvivalentno kolo je:



Prema tome, struja kroz diodu čiji je intenzitet konstantan, biće:

$$I_{d0} = \frac{U_{R0}}{R} \cong \frac{U_0}{R}$$

Za naizmjenični režim rada kolo se svodi na sledeće:



$$R_m = \frac{RR_1}{R + R_1}$$

$$Z = \frac{R_m}{1 + j\omega_m CR_m}$$

Naizmjenična komponenta napona (i struje) je proporcionalna modulišućem signalu:

$$u_{Rm}(t) = U_0 m_0 \cos \omega_m t$$

$$I_{dm} = \frac{U_{Rm}}{|Z|} = \frac{m_0 U_0}{|Z|}$$

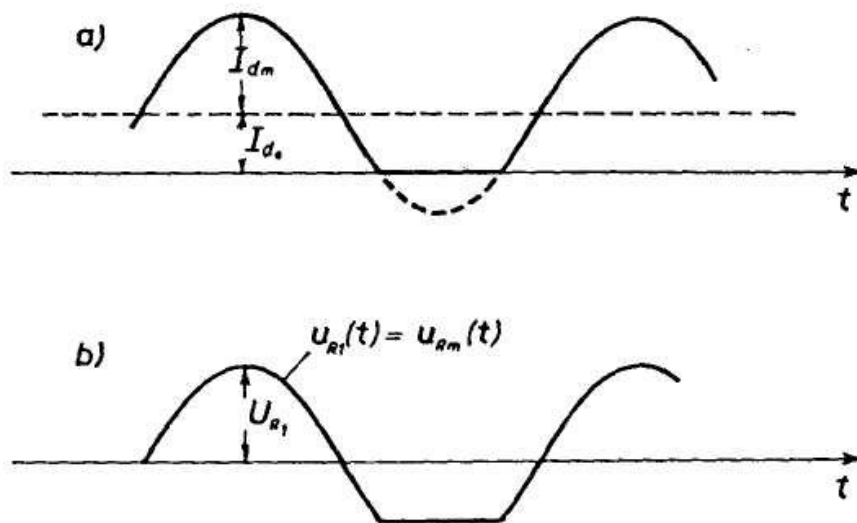
Ukupna struja u kolu je zbir jednosmjerne i naizmjenične komponente $I_{d0} + I_{dm}$. Odnos jednosmjerne i naizmjenične komponente struje je:

$$\frac{I_{d0}}{I_{dm}} = \frac{|Z|}{m_0 R}$$

Pošto je $|Z| < R$, to će za vrijednosti stepena modulacije:

1. $m_0 > |Z|/R$, I_{d0} uvijek biti manje od I_{dm} . Kako struja kroz diodu ne može da teče u nepropusnom smjeru, suma struja $I_{d0} + I_{dm}$ biće kao na slici a).

U jednom vremenskom intervalu njihova suma će biti nula, pa i napon detektovanog signala $u_{R1}(t)$ na krajevima otpornika R_1 ima „odsječene negativne vrhove“, kao što je prikazano na slici b).



Slika: Struja kroz diodu (a) i napon na izlazu iz detektora (b) kad dolazi do pojave „odsijecanja negativnih vrhova“

2. Da ne bi došlo do ove vrste izobličenja, mora da se zadovolji uslov da je:

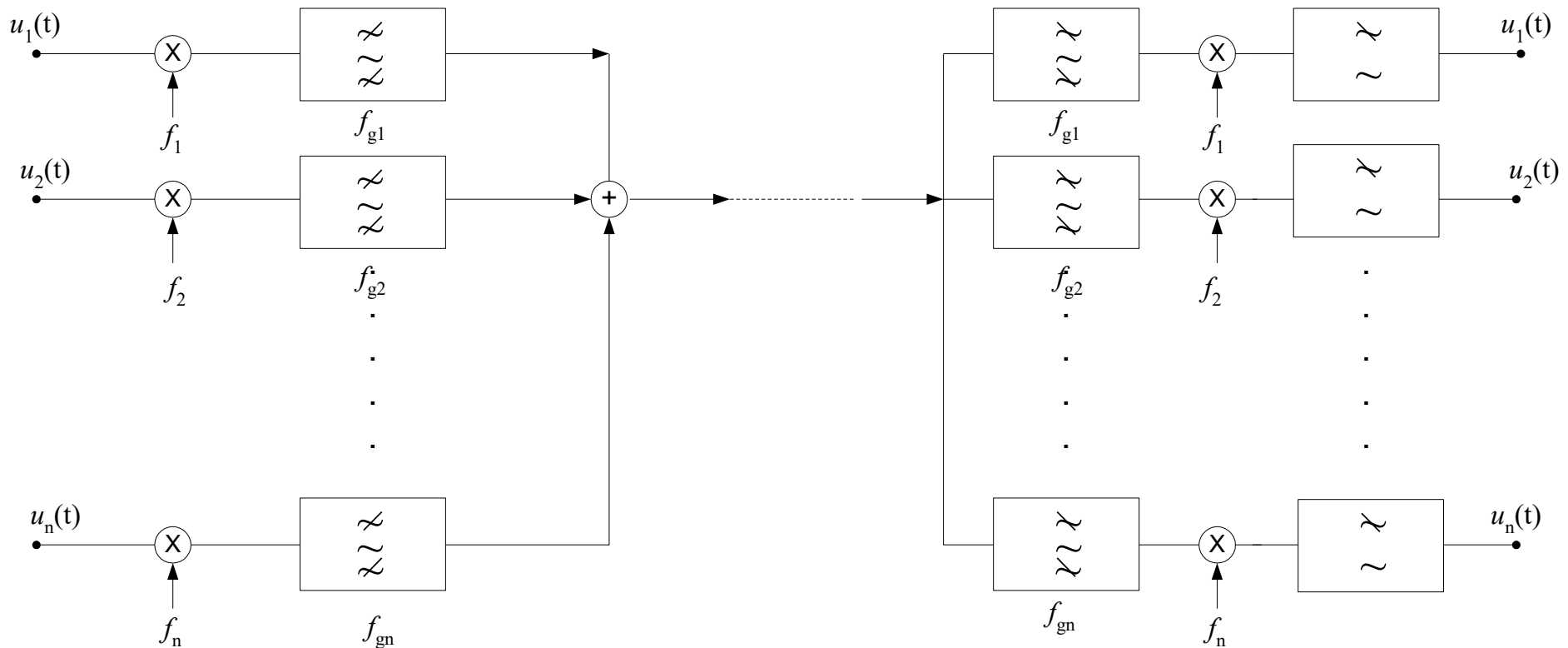
$$m_0 \leq \frac{|Z|}{R}$$

✓ Zaključak:

- Za AM-2BO signale, modulatori su balansni, realizuju se pomoću nelinearnih ili prekidačkih sklopova
- Za AM-1BO signale koriste se:
 - odgovarajući modulatori koji na svom izlazu daju samo jedan bočni opseg
 - modulatori AM-2BO signala u kombinaciji sa filtrom
- Za AM-NBO modulatori su:
 - produktni modulator i filter
 - odgovarajuća šema modulatora koji na svom izlazu daje signal sa nejednakim bočnim opsezima
- Za KAM signale, modulator je produktni
- Demodulacija AM signala može biti:
 - sinhrona – važi za sve tipove AM signala, kombinacija kvocijentnog modulatora i filtra
 - asinhrona – sa detektorom anvelope, i može se primijeniti za modulirane signale koji u sebi sadrže i nosilac.

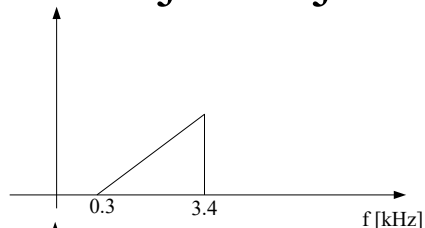
PRENOS MULTIPLEKSNIH SIGNALA

Multipleks – sistem prenosa kojim se vrši istovremeni prenos više različitih poruka. Postoji više vrsta multipleksnog prenosa, jedan od njih je ***multipleks sa frekvencijskom raspodjelom kanala***.

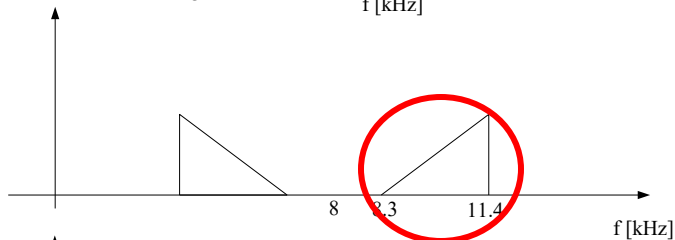


Slika: Principna šema multipleksa sa n kanala

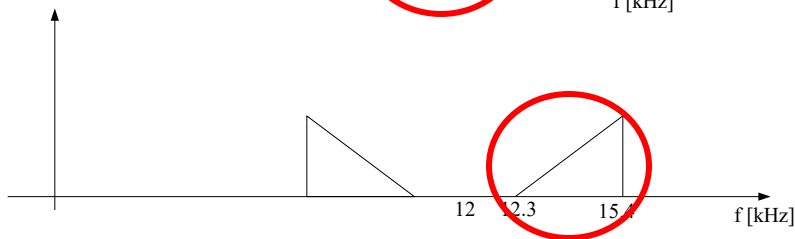
Na svaki od n kanala se dovodi signal koji se moduliše modulacijom tipa AM 1BO. Spektar svakog od ovih signala se translira u odgovarajući položaj, tako da na mjestu njihovog sabiranja ne dolazi do preklapanja spektara.



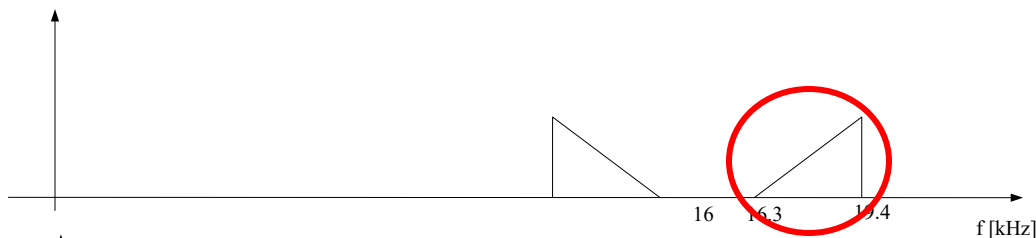
Signal u(t) u osnovnom opsegu ($u(t)$)



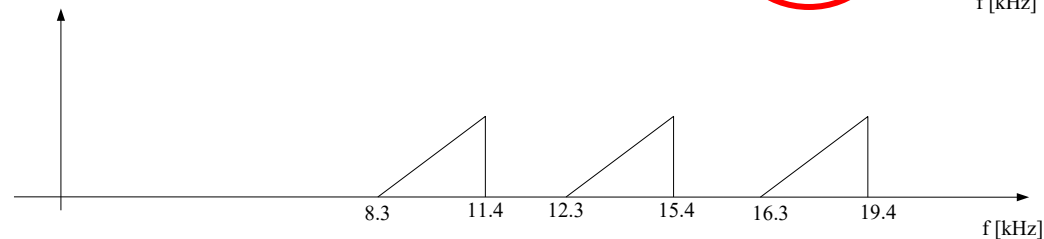
Signal $u(t)$ transliran za $f_1=8\text{kHz}$



Signal $u(t)$ transliran za $f_2=12\text{kHz}$



Signal $u(t)$ transliran za $f_3=16\text{kHz}$



Multipleksni signal

Postoje dva načina multipleksiranja:

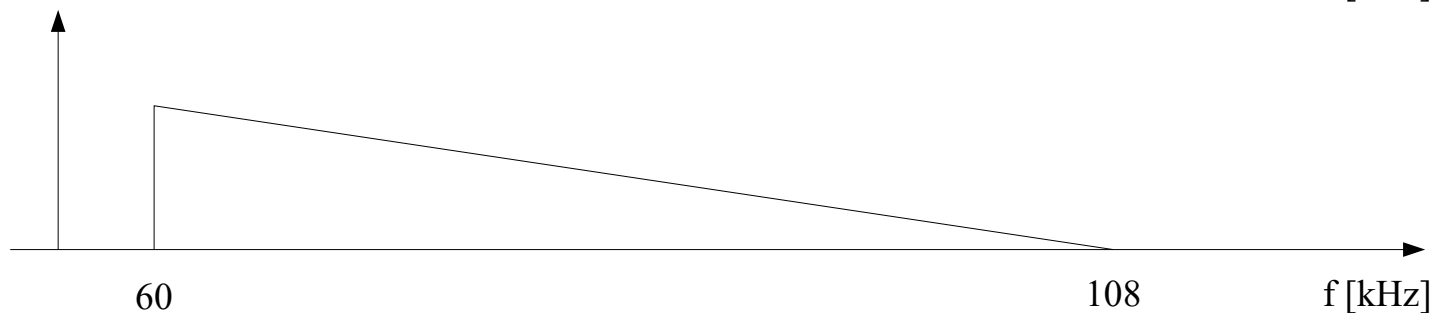
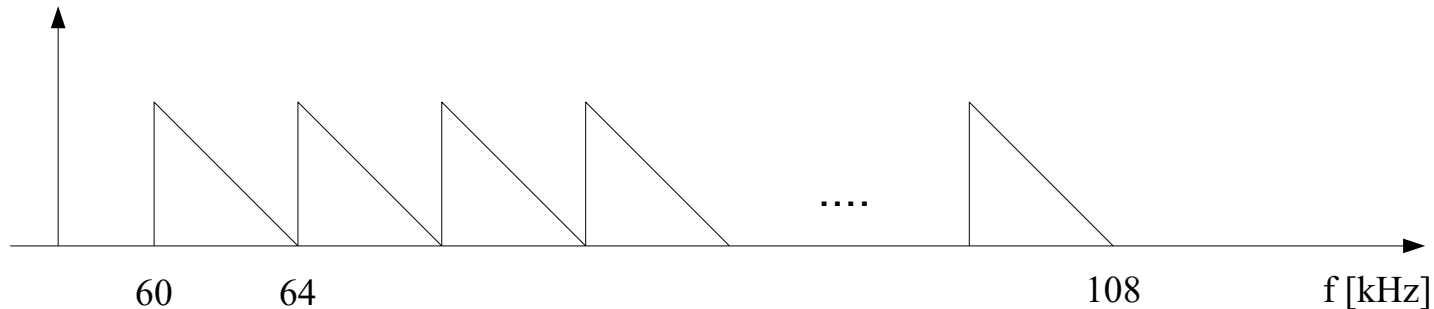
1. Direktna modulacija
2. Predgrupna modulacija

1. Direktna modulacija

Multipleks se sastoji od **12 kanala**. Svaki kanal se posebno moduliše i za svaki je potreban poseban filter koji izdvaja donji bočni oseg, i nosilac na različitoj učestanosti. Učestanosti za koje se vrši translacija su:

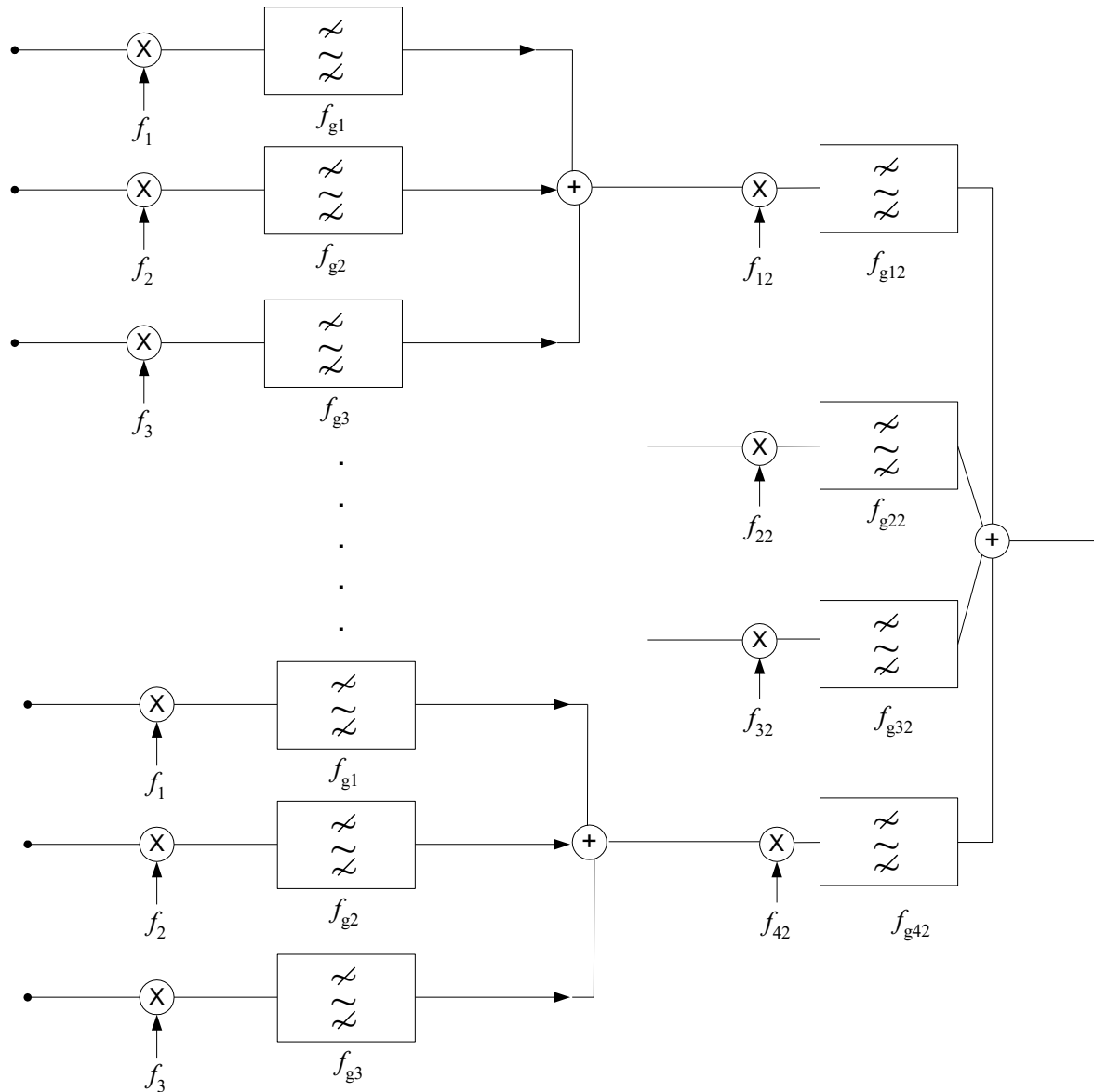
$$f_1=64\text{kHz}, \dots f_n=108\text{kHz}.$$

Riječ je o govornom (telefonskom) signalu, a nosioci su pomjereni za po 4kHz. Opseg koji zauzima ovakav multipleksni signal je $f=(60, 108) \text{ kHz}$.



2. Predgrupna modulacija

Podrazumijeva modulisanje predgrupa.



Vrši se grupisanje po tri kanala, koji se modulišu kao jedna predgrupa. U drugom koraku imamo translacije ovih grupa na različite nosioce.

Sistem sa 12 kanala u ovom slučaju koristi **7 različitih nosilaca i 7 različitih filtara**.

Filtiri vrše izdvajanje gornjeg ili donjeg bočnog opsega.

Učestanosti su:

$$f_1=12\text{kHz}, f_2=16\text{kHz}, f_3=20\text{kHz}$$

$$f_{12}=84\text{kHz}, f_{22}=96\text{kHz}, f_{32}=108\text{kHz}, f_{42}=120\text{kHz}$$

$$f_{g1}=(12.3-15.4)\text{kHz}, f_{g2}=(16.3-19.4)\text{kHz}, f_{g3}=(20.3-23.4)\text{kHz}$$

$$f_{g12}=(60-72)\text{kHz}, f_{g22}=(72-84)\text{kHz}, f_{g32}=(84-96)\text{kHz}, f_{g42}=(96-108)\text{kHz}$$

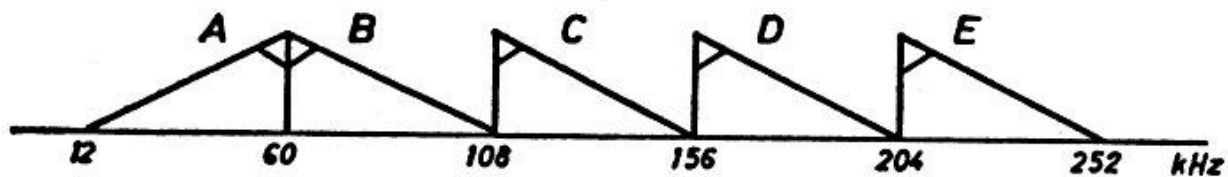
Jasno je da je i ovdje opseg izlaznog (multipleksnog) signala **(60-108)kHz**.

Ovo je **primarna grupa B**.

Pet primarnih grupa čine sekundarnu sa $5*12=60$ kanala u opsegu (12-252)kHz

Pet sekundarnih grupa čine tercijarnu sa $5*60=300$ kanala u opsegu (812-2044)kHz

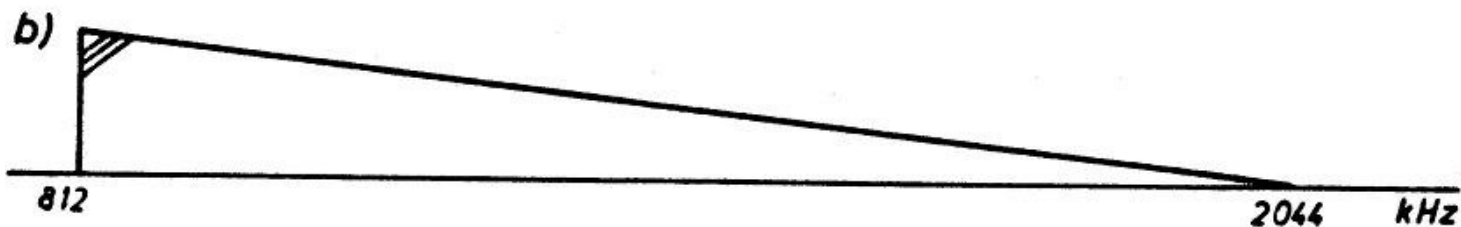
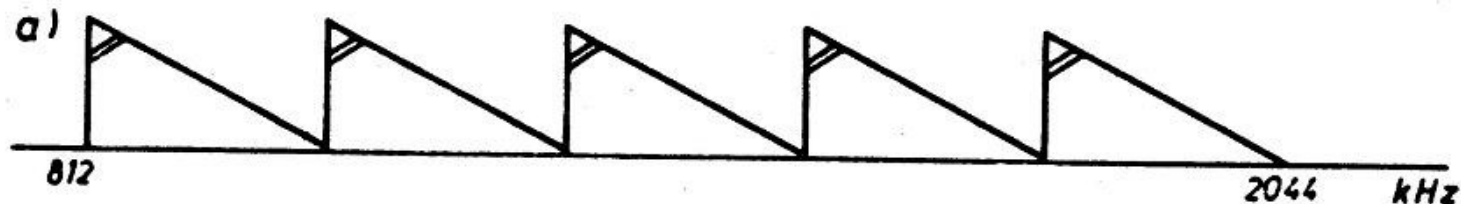
Tri ovakve tercijarne grupe čine kvaternarnu sa $3*300=900$ kanala u opsegu (8156-12388)kHz



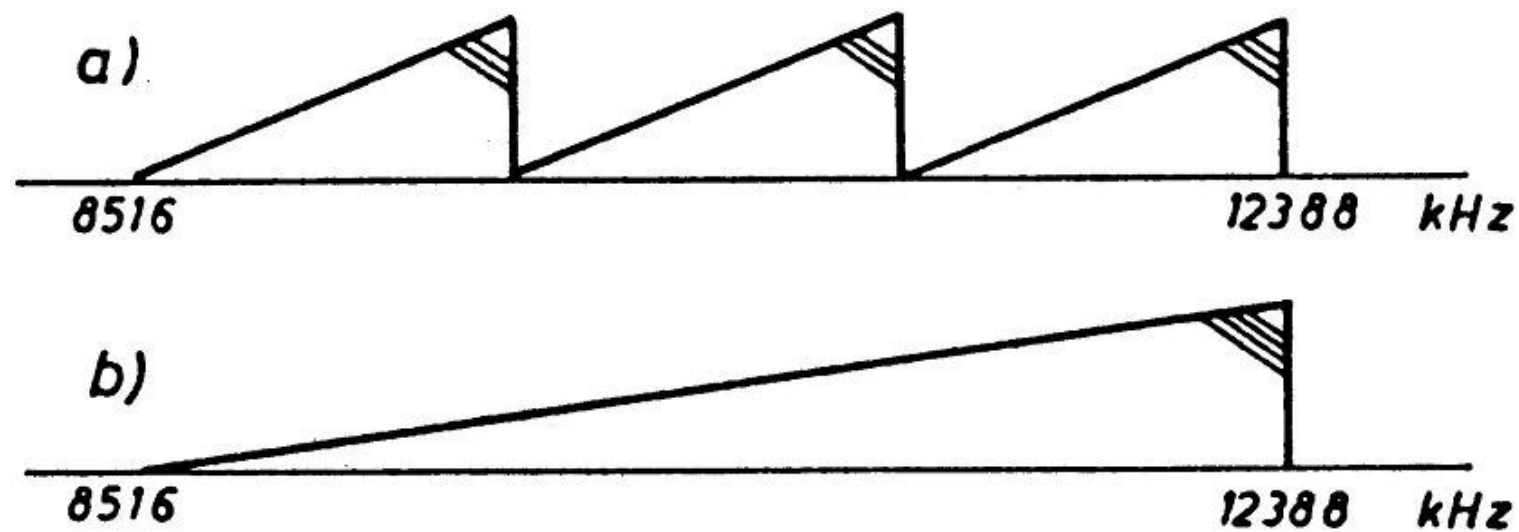
Slika: Sekundarna grupa od 60 kanala



Slika: Osnovna sekundarna grupa od 60 kanala



Slika: Pet sekundarnih grupa a) obrazuju terciarnu b) od 300 kanala



Slika: Tri tercijarne grupe a) obrazuju kvatenarnu grupu b) koja ima 900 kanala

UGAONA MODULACIJA

- Ugaona modulacija spada u nelinearne postupke modulacije
- Dobijeni modulirani signal je kontinualan.
- Kao i u slučaju amplitudske modulacije, nosilac ima sinusoidalni talasni oblik.
- Osnovni parametri nosioca su amplituda i ugao
- U postupku *amplitudske* modulacije *amplituda* nosioca je modifikovana u zavisnosti od modulišućeg signala, a ugao ostaje nepromijenjen.
- U postupku ugaone modulacije amplituda nosioca ostaje nepromijenjena, a njegov ugao se modifikuje modulišućim signalom i postaje karakterističan parametar u kome je sadržana prenošena poruka.

Nosilac:

$$u_0(t) = U_0 \cos(\omega_0 t + \varphi(t))$$

AM FM PM

Opšti izraz za ugaono modulisan signal glasi:

$$u(t) = U_0 \cos \Phi(t) = U_0 \cos [\omega_0 t + \varphi(t)] = U_0 \cos \{\omega_0 t + \gamma [u_m(t)]\}$$

Ugao

$$\Phi(t) = \omega_0 t + \varphi(t) = \omega_0 t + \gamma [u_m(t)] = \Phi_0 + \gamma [u_m(t)] = \Phi_i$$

naziva se *trenutna faza*.

Veličina:

$$\varphi(t) = \gamma [u_m(t)] = \delta \Phi_i$$

koja predstavlja odstupanje trenutne faze Φ_i od vrijednosti $\Phi_0 = \omega_0 t$ zove se *trenutna devijacija faze*.

Izvod trenutne faze $\Phi_i = \Phi(t)$ po vremenu:

$$\omega_i = \frac{d\Phi_i}{dt} = \frac{d\Phi(t)}{dt} = \omega_0 + \frac{d\varphi(t)}{dt}$$

naziva se *trenutna kružna učestanost* ugaono modulisanog signala. Odstupanje trenutne kružne učestanosti ω_i od kružne učestanosti nosioca ω_0 :

$$\frac{d\varphi(t)}{dt} = \omega_i - \omega_0 = \delta\omega_i$$

trenutna devijacija kružne učestanosti ugaono modulisanog signala.

Trenutna učestanost ugaono modulisanog signala je:

$$f_i = \frac{1}{2\pi} \omega_i = \frac{1}{2\pi} \frac{d\Phi(t)}{dt} = f_0 + \frac{1}{2\pi} \frac{d\varphi(t)}{dt}$$

Odstupanje trenutne učestanosti f_i od učestanosti nosioca f_0 :

$$\frac{1}{2\pi} \frac{d\varphi(t)}{dt} = f_i - f_0 = \delta f_i$$

zvaćemo ***trenutnom devijacijom učestanosti***.

Preko navedenih veličina možemo da definišemo da li je riječ o faznoj ili frekvencijskoj modulaciji.

1. Ako je **trenutna devijacija faze** proporcionalna modulišućem signalu, riječ je o **faznoj modulaciji** (FM, PM).
2. Ako je **trenutna devijacija učestanost** proporcionalna modulišućem signalu, riječ je o **frekvencijskoj modulaciji** (FM).

FAZNA I FREKVENCIJSKA MODULACIJA

1. Fazno modulirani signal je onaj čija je trenutna devijacija faze proporcionalna modulišućem signalu.

$$\delta \Phi_i = \varphi(t) = k_\varphi u_m(t), \quad k_\varphi = \text{const.}$$

Modulišući signal $u_m(t)$ je:

$$u_m(t) = U_m m(t) \qquad U_m = |u_m(t)|_{\max}$$

Vremensku promjenu modulišućeg signala $u_m(t)$ karakteriše normalizovana funkcija $m(t)$ koja zadovoljava uslov da je $|m(t)| < 1$, $|m(t)|_{\max} = 1$. Stoga je:

$$|\delta \Phi_i|_{\max} = |\varphi(t)|_{\max} = k_\varphi |u_m(t)|_{\max} = k_\varphi |U_m m(t)|_{\max} = k_\varphi U_m = \Delta \Phi_0$$

Veličina $\Delta \Phi_0$ naziva se *maksimalna devijacija faze* ili *devijacija faze*.

$$\Phi_i = \Phi(t) = \omega_0 t + k_\varphi u_m(t) = \omega_0 t + \Delta \Phi_0 m(t)$$

Konačno, izraz za fazno modulisan signal glasi:

$$u(t) = U_0 \cos \Phi(t) = U_0 \cos [\omega_0 t + k_\varphi u_m(t)] = U_0 \cos [\omega_0 t + \Delta \Phi_0 m(t)]$$

2. Frekvencijski modulisan signal je onaj čija je trenutna devijacija učestanosti proporcionalna modulišućem signalu.

$$\delta f_i = \frac{1}{2\pi} \frac{d\varphi(t)}{dt} = k_f u_m(t); \quad k_f = \text{const.}$$

Maksimalna devijacija učestanosti, ili često samo ***devijacija učestanosti***

$$|\delta f_i|_{\max} = \frac{1}{2\pi} \left| \frac{d\varphi(t)}{dt} \right|_{\max} = k_f |u_m(t)|_{\max} = k_f |U_m m(t)|_{\max} = k_f U_m = \Delta f_0$$

Ako je riječ o kružnoj učestanosti, trenutna devijacija kružne učestanosti je:

$$\delta\omega_i = \frac{d\varphi(t)}{dt} = k_\omega u_m(t); \quad k_\omega = 2\pi k_f = \text{const.}$$

Veličina

$$|\delta\omega_i|_{\max} = \left| \frac{d\varphi(t)}{dt} \right|_{\max} = k_\omega |u_m(t)|_{\max} = k_\omega |U_m m(t)|_{\max} = k_\omega U_m = \Delta\omega_0$$

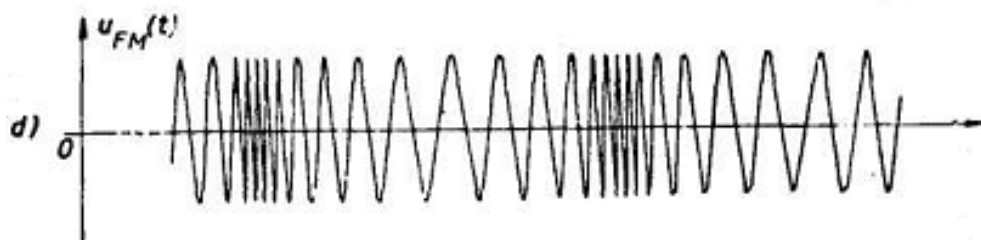
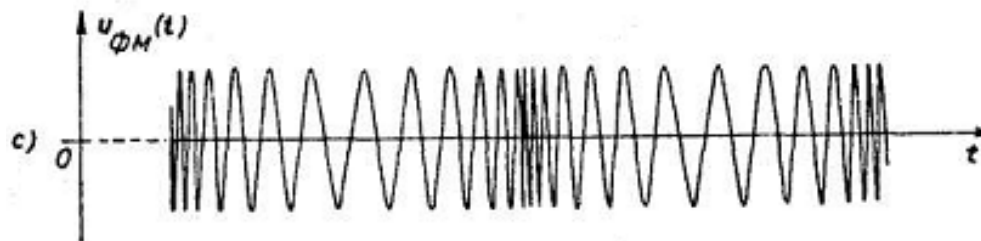
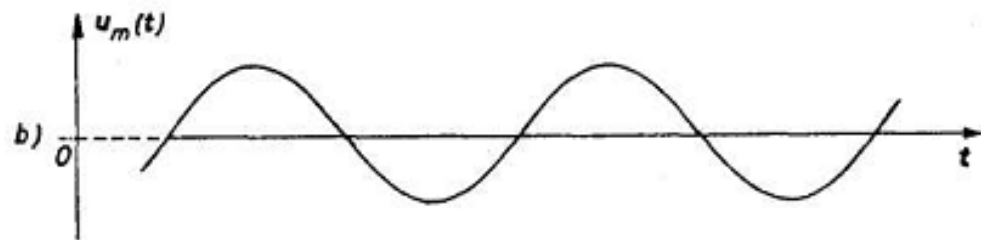
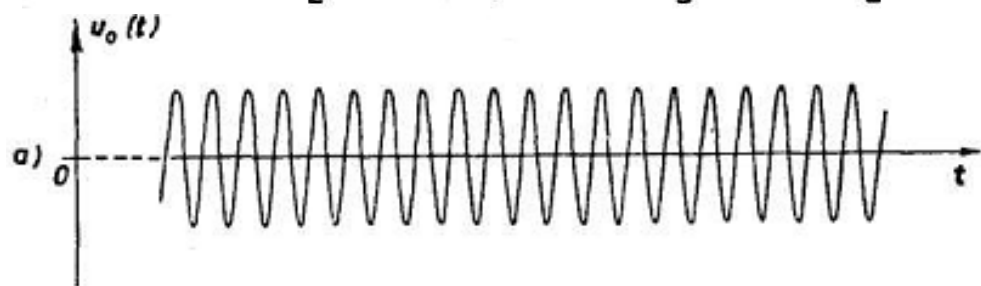
naziva se ***maksimalna devijacija kružne učestanosti*** ili ***devijacija kružne učestanosti***.

Trenutna kružna učestanost je:

$$\omega_i = \omega_0 + \frac{d\varphi(t)}{dt} = \omega_0 + k_\omega u_m(t) = \omega_0 + k_\omega U_m m(t) = \omega_0 + \Delta\omega_0 m(t)$$

Sada je izraz za frekvencijski modulisani signal:

$$u(t) = U_0 \cos \left[\omega_0 t + k_\omega \int u_m(t) dt \right] = U_0 \cos \left[\omega_0 t + \Delta\omega_0 \int m(t) dt \right]$$



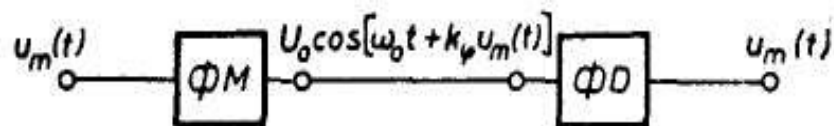
Slika: a) Nosilac; b) modulišući signal; c) fazno modulisan signal; d) frekvencijski modulisan signal

OPŠTA VEZA IZMEĐU FAZNE I FREKVENCIJSKE MODULACIJE

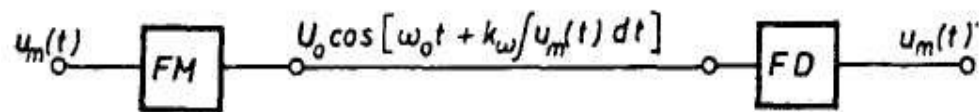
Na slici su prikazane blok-šeme sistema za prenos signala faznom i frekvencijskom modulacijom.

ΦM - fazni modulator; ΦD - fazni demodulator

FM - frekvencijski modulator; FD - frekvencijski demodulator



Slika: Blok-šema za prenos signala faznom modulacijom



Slika: Blok-šema za prenos signala frekvencijskom modulacijom

Na izlazu iz faznog modulatora trenutna devijacija faze nosioca direktno je srazmjerna modulišućem signalu, a na izlazu frekvencijskog modulatora trenutna devijacija faze nosioca proporcionalna je integralu modulišućeg signala.

Što se tiče demodulatora, fazni demodulator na svom izlazu mora dati signal direktno srazmjeran trenutnoj devijaciji faze nosioca na njegovom ulazu, dok frekvencijski demodulator daje signal direktno proporcionalan izvodu trenutne devijacije faze nosioca na svom ulazu.

Imajući u vidu odnose između trenutne devijacije faze nosioca i prenošenog signala u modulatoru i demodulatoru, koji karakterišu opštu vezu između fazne i frekvencijske modulacije, moguće je upotrebom posebnih sklopova od faznog modulatora/ demodulatora napraviti frekvencijski i obrnuto.

1. $\Phi M = \text{diferencijator} + F M$

2. $\Phi D = F D + \text{integrator}$

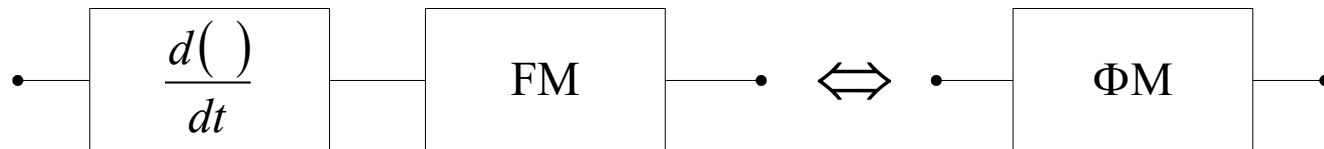
3. $F M = \text{integrator} + \Phi M$

4. $F D = \Phi D + \text{diferencijator}$

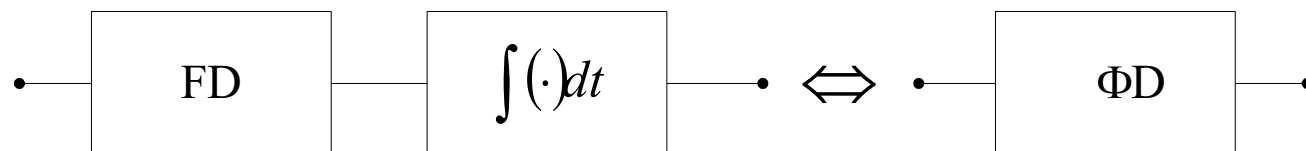
1. Ako na ulaz FM modulatora dovedemo signal $du_m(t)/dt$ izlaz iz modulatora će biti:

$$u_{FM}(t) = U_0 \cos(\omega_0 t + k_\omega u_m(t)) = u_{\Phi M}(t)$$

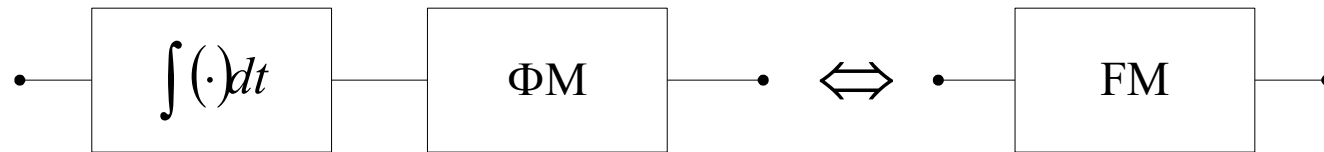
Tj. ΦM modulator će biti kaskadna veza diferencijatora i FM modulatora.



2. Demodulacija je obrnuti proces:



3. Ako signal prije ulaska u ΦM modulator prođe kroz kolo za integriranje, na izlazu sistema dobiće se modulisan signal čija je trenutna devijacija faze direktno srazmjerna integralu modulišućeg signala, a to je u stvari frekvencijski modulisani signal.



4. Demodulacija je obrnuti proces:

