SPEKTAR UGAONO MODULISANIH SIGNALA

Proces amplitudske modulacije se sastoji u translaciji spektra modulišućeg signala, odnosno, svakoj komponenti iz spektra modulišućeg signala čija je učestanost f_{m}, u spektru AM signala odgovaraju dvije komponente simetrično smještene u odnosu na nosilac: f_0+f_m i $f_0—f_m$. Proces amplitudske modulacije je ***linearan*** jer važi zakon superpozicije komponenata. Bitna osobina spektra AM signala je da nema generisanja novih komponenata čije su učestanosti različite od onih koje su nastale opisanom translacijom.

Kod ugaone modulacije to nije slučaj.

- Komponente iz spektra ovako modulisanog signala vrlo su složeno vezane za komponente modulišućeg signala.
- Spektar UM signala je, čak i u najjednostavnijem slučaju (modulišući signal je jedna sinusoidalna funkcija), ***neograničen***. Tj. u procesu ugaone modulacije jedna komponenta generiše beskonačno mnogo komponenata različitih učestanosti.
- Proces ugaone modulacije je u suštini ***nelinearan*** i zato zakon superpozicije ne važi.

Spektar UM signala kada je modulišući signal u obliku sinusoidalnog test tona:

Pretpostavimo da je modulišući signal dat jednostavnim analitičkim izrazom:

$$u_m(t) = U_m \cos\omega_m t$$

Izraz za fazno i frekvencijski modulisan signal ovakvim modulisućim signalom je:

$$u_{\Phi M}(t) = U_0 \cos(\omega_0 t + k_\varphi U_m \cos\omega_m t)$$

$$u_{FM}(t) = U_0 \cos\left(\omega_0 t + k_\omega \frac{U_m}{\omega_m} \sin\omega_m t\right)$$

Odnosno, dovoljno je razmatrati sledeći slučaj:

$$u_{UM}(t) = U_0 \cos(\omega_0 t + m \cos\omega_m t)$$

Veličina m predstavlja maksimalnu devijaciju faze ugaono modulisanog signala, naziva se ***indeks ugaone modulacije***, i za slučaj fazno modulisanog signala iznosi:

$$m = k_\varphi U_m$$

a za slučaj frekvencijski modulisanog signala on je:

$$m = \frac{k_\omega U_m}{\omega_m}$$

Izraz za UM signal može da se predstavi u vidu sume prostoperiodičnih komponenata, a za to se koriste određeni identiteti iz teorije Besselovih funkcija. Važi da je:

$$\sin(\alpha + m\sin\beta) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} J_n(m)\sin(\alpha + n\beta)$$

$$\cos(\alpha + m\sin\beta) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} J_n(m)\cos(\alpha + n\beta)$$

$$\sin(\alpha + m\cos\beta) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} J_n(m)\sin\left(\alpha + n\beta + n\frac{\pi}{2}\right)$$

$$\cos(\alpha + m\cos\beta) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} J_n(m)\cos\left(\alpha + n\beta + n\frac{\pi}{2}\right)$$

J_n(m) je Besselova funkcija prve vrste n-tog reda za argument m.
Sada je UM signal:

$$u(t) = U_0\cos(\omega_0 t + m\cos\omega_m t) = U_0\sum_{n=-\infty}^{\infty} J_n(m)\cos\left[(\omega_0 + n\omega_m)t + n\frac{\pi}{2}\right]$$

Ovaj izraz može da se zapiše i u obliku:

$$u(t)=U_0\left\{J_0(m)\cos\omega_0 t+\sum_{n=-\infty}^{-1} J_n(m)\cos\left[(\omega_0+n\,\omega_m)\,t+n\frac{\pi}{2}\right]+\sum_{n=1}^{\infty} J_n(m)\cos\left[(\omega_0+n\,\omega_m)\,t+n\frac{\pi}{2}\right]\right\}$$

Kako za Besselove funkcije važi:

$$J_{-n}(m)=(-1)^n J_n(m)$$

i važi:

$$\cos\left[(\omega_0-n\,\omega_m)\,t-n\frac{\pi}{2}\right]=(-1)^n\cos\left[(\omega_0-n\,\omega_m)\,t+n\frac{\pi}{2}\right]$$

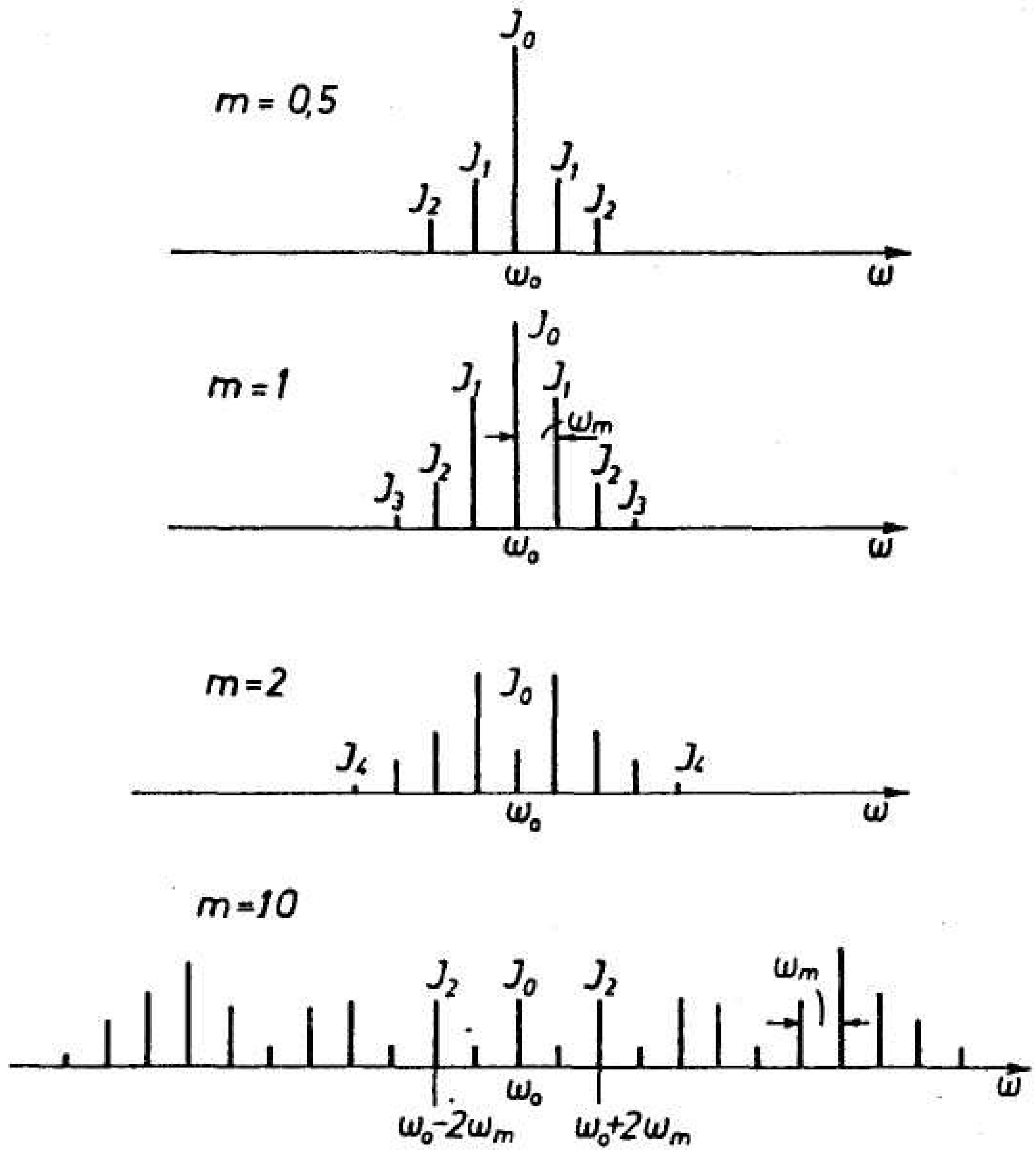
To izraz za UM signal postaje:

$$u(t)=U_0 J_0(m)\cos\omega_0 t+U_0\sum_{n=1}^{\infty} J_n(m)\left\{\cos\left[(\omega_0-n\,\omega_m)\,t+\frac{n\pi}{2}\right]+\cos\left[(\omega_0+n\,\omega_m)\,t+n\frac{\pi}{2}\right]\right\}$$

Za dati indeks modulacije m i za izabranu vrijednost n=1, 2, 3..., Besselova funkcija J_n(m) predstavlja konstantu. U izrazu koji predstavlja ugaono modulisan signal razlikujemo tri dijela:

1. Nosilac čija je amplituda $U_0 J_0(m)$ a učestanost ω_0
2. Beskonačno mnogo komponenti oblika $U_0 J_n(m)\cos(\omega_0 - n\omega_m)t$
3. Beskonačno mnogo komponenti oblika $U_0 J_n(m)\cos(\omega_0 + n\omega_m)t$

Vidimo da je spektar ***neograničen*** i ***diskretan*** a komponente se nalaze lijevo i desno od nosioca, pri čemu je razmak između dvije susjedne komponente u spektru ω_m.



Slika: Amplitudski spektri ugaono modulisanog signala sinusoidalnim test tonom za razne vrijednosti indeksa modulacije m.

Spektar UM signala kada je modulišući signal u obliku sume dva sinusoidalna test tona

Kada je modulišući signal suma dva sinusoidalna test tona, UM signal je oblika:

$$u(t) = U_0 \cos(\omega_0 t + m_1 \cos\omega_1 t + m_2 \cos\omega_2 t)$$

m_1 i m_2 su indeksi modulacije komponenti čije su učestanosti ω_1 i ω_2.
Gornji izraz za UM signal može da se zapiše i u obliku:

$$u(t) = U_0 \cos\left[\left(\frac{\omega_0 t}{2} + m_1 \cos\omega_1 t\right) + \left(\frac{\omega_0 t}{2} + m_2 \cos\omega_2 t\right)\right]$$

Odnosno:

$$u(t) = U_0 \cos\left(\frac{\omega_0 t}{2} + m_1 \cos\omega_1 t\right) \cos\left(\frac{\omega_0 t}{2} + m_2 \cos\omega_2 t\right) -$$

$$- U_0 \sin\left(\frac{\omega_0 t}{2} + m_1 \cos\omega_1 t\right) \sin\left(\frac{\omega_0 t}{2} + m_2 \cos\omega_2 t\right)$$

Koristeći izraze za Besselove funkcije, dobija se:

$$u(t)=U_0\left[\sum_{p=-\infty}^{\infty} J_p(m_1)\cos\left(\frac{\omega_0 t}{2}+p\,\omega_1 t+p\frac{\pi}{2}\right)\right]\left[\sum_{q=-\infty}^{\infty} J_q(m_2)\cos\left(\frac{\omega_0 t}{2}+q\,\omega_2 t+q\frac{\pi}{2}\right)\right]-$$

$$-U_0\left[\sum_{p=-\infty}^{\infty} J_p(m_1)\sin\left(\frac{\omega_0 t}{2}+p\,\omega_1 t+p\frac{\pi}{2}\right)\right]\left[\sum_{q=-\infty}^{\infty} J_q(m_2)\sin\left(\frac{\omega_0 t}{2}+q\,\omega_2 t+q\frac{\pi}{2}\right)\right]$$

$$u(t)=U_0\sum_{p=-\infty}^{\infty}\sum_{q=-\infty}^{\infty} J_p(m_1)\,J_q(m_2)\left[\cos\left(\frac{\omega_0 t}{2}+p\,\omega_1 t+p\frac{\pi}{2}\right)\cdot\cos\left(\frac{\omega_0 t}{2}+q\,\omega_2 t+q\frac{\pi}{2}\right)\right.$$

$$\left.-\sin\left(\frac{\omega_0 t}{2}+p\,\omega_1 t+p\frac{\pi}{2}\right)\cdot\sin\left(\frac{\omega_0 t}{2}+q\,\omega_2 t+q\frac{\pi}{2}\right)\right]$$

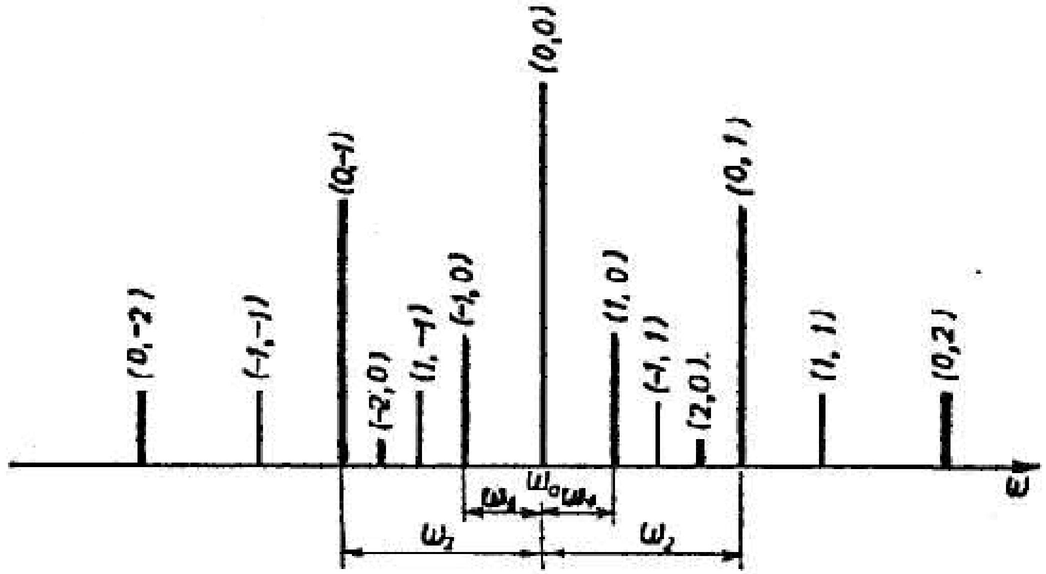
Izraz u uglastoj zagradi predstavlja razvijeni oblik kosinusa sume dva ugla, pa je:

$$u(t)=U_0\sum_{p=-\infty}^{\infty}\sum_{q=-\infty}^{\infty} J_p(m_1)\,J_q(m_2)\cos\left[(\omega_0+p\,\omega_1+q\,\omega_2)\,t+(p+q)\frac{\pi}{2}\right]$$

Spektar ovakvog ugaono modulisanog signala je diskretan.

Sve njegove komponente možemo podijeliti u četiri kategorije:

1. p=q=0, nosilac
2. p=0, q≠0; Komponente na učestanostima $\omega_0+p\omega_1$ koje bi se dobile kada bi u modulišućem signalu figurisala samo jedna sinusoida, $m_1\cos\omega_1 t$
3. p≠0, q=0; Komponente na učestanostima $\omega_0+q\omega_2$ koje bi se dobile kada bi u modulišućem signalu figurisala samo jedna sinusoida, $m_2\cos\omega_2 t$
4. p≠0, q≠0; Komponente na učestanostima $\omega_0+p\omega_1+q\omega_2$ koje predstavljaju komponente nastale uslijed međusobnog uticaja dvije sinusoide.



Slika: Amplitudski spektar ugaono modulisanog signala pri čemu je modulišući signal sastavljen od sume dva sinusoidalna test tona čije su učestanosti ω_1 i ω_2, a odgovarajući indeksi modulacije $m_1=0{,}5$ i $m_2=1$

Zaključak:

- Postojanje posljedne kategorije komponenata u spektru ugaono modulisanog signala ukazuje na to da zakon superpozicije u analizi spektra ne važi.
- U opštem slučaju viši bočni opseg nije simetričan nižem. Znači, prenošena poruka nije sadržana u svakom od bočnih opsega, pa se ne može, kao kod AM signala, prenositi samo jedan bočni opseg.

ANALIZA SPEKTRA UGAONO MODULISANIH SIGNALA I POTREBNA ŠIRINA PROPUSNOG OPSEGA UČESTANOSTI SISTEMA ZA PRENOS

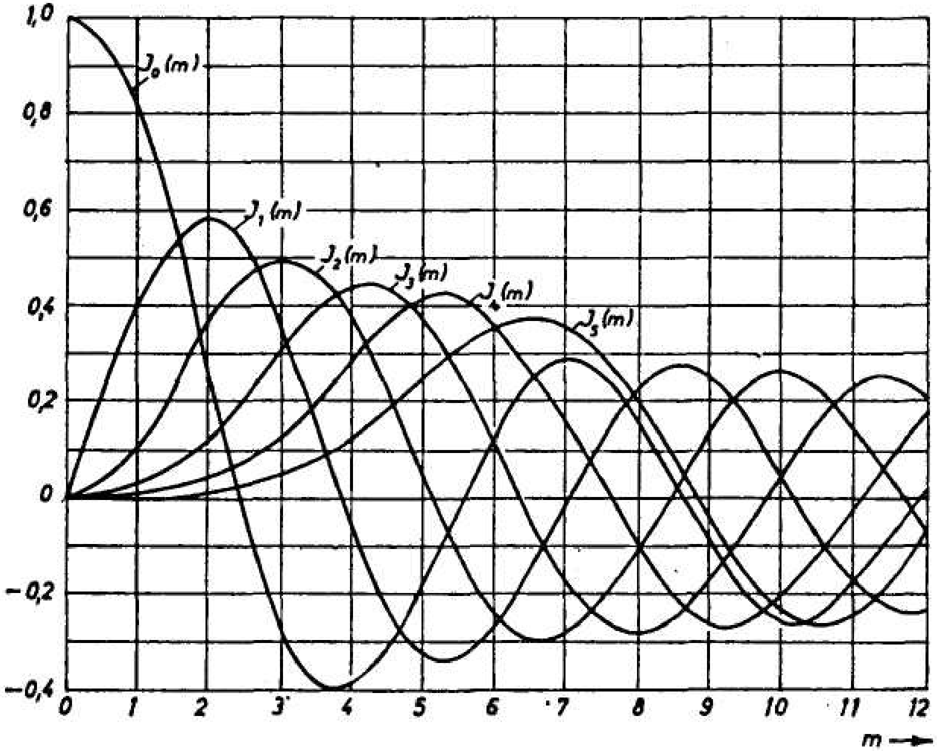
Amplitude pojedinih spektralnih komponenata ugaono modulisanog signala zavise od Besselovih funkcija $J_n(m)$.

Da bi se odredila struktura amplitudskog spektra UM signala potrebno je analizirati kako zavisi $J_n(m)$ od indeksa modulacije m i reda funkcije n koji određuje red bočnih komponenata.

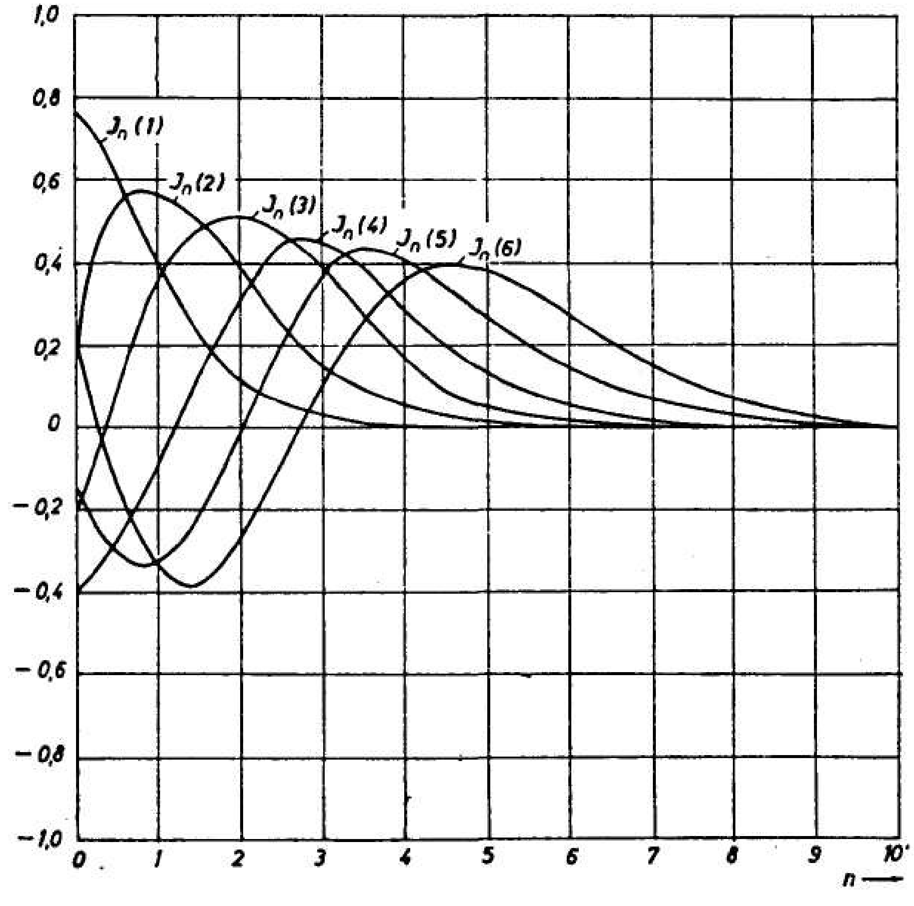
Za neke vrijednosti m i n, Besselove funkcije imaju relativno vrlo malu vrijednost, pa će se one u određenim uslovima moći i zanemariti.

Zanemarivanjem pojedinih komponenata sistem za prenos se može dimenzionisati tako da ima ograničen propusni opseg, a da degradacija kvaliteta prenosa bude u dozvoljenim granicama.

NEKE KARAKTERISTIČNE OSOBINE BESSELOVIH FUNKCIJA



Slika: Besselove funkcije $J_n(m)$;
n=const, m=var.



Slika: Besselove funkcije $J_n(m)$;
m=const, n=var.

1. U slučaju da je indeks modulacije m=0, tada je $J_0(0)=l$, a $J_n(0)=0$, za n>l. Tada nema modulacije, već postoji samo nosilac.
2. Što je red funkcije *n* veći, to je prvi maksimum više udaljen od koordinatnog početka, a taj prvi maksimum je najveća apsolutna vrijednost funkcije za dati red.
3. Sa porastom indeksa modulacije *m* funkcija datog reda *n* mijenja se oscilatorno, uzimajući sve manje i manje apsolutne vrijednosti.
4. Kako red funkcije *n* u slučaju modulacije sinusoidalnim test tonom označava red bočne komponente, to kriva sa slike za usvojeni indeks modulacije m pokazuje relativne amplitude bočnih komponenata za cijele vrijednosti *n*.
5. Za male vrijednosti indeksa modulacije *m* Besselove funkcije se mogu aproksimirati polinomom oblika $J_n(m) \cong \dfrac{m^n}{2^n n!}$
6. Za velike vrijednosti argumenta *m* približno je:

$$J_n(m) \cong \sqrt{\frac{2}{\pi m}} \cos\left(m - \frac{n\pi}{2} - \frac{\pi}{4}\right)$$

7. $J_n(m)$ počinje brzo da opada sa porastom *n* kada je ispunjen uslov $n>m$.
8. Opšta osobina Besselovih funkcija je da je $J_{n\geq m+2}(m) < 0.1$

ŠIRINA OPSEGA UČESTANOSTI POTREBNA ZA PRENOS UGAONO MODULISANIH SIGNALA

Spektar UM signala sadrži neograničeno mnogo komponenenata. Njihove amplitude su direktno srazmjerne ili Besselovoj funkciji $J_n(m)$ (u slučaju kada je modulišući signal sinusoidalni ton), ili proizvodu Besselovih funkcija različitih redova i argumenata (u slučaju kada je modulišući signal suma sinusoidalnih tonova).

Sa porastom reda n, vrijednosti funkcije $J_n(m)$ za $n>m$ počinju naglo da opadaju, tj. javlja se čitav niz komponenata zanemarljivo malih amplituda koje se ne prenose. Zadatak je odrediti koje komponente možemo odbaciti a da ne dođe do značajnije degradacije kvaliteta prenošenog signala.

Kriterijum o značajnim bočnim komponentama

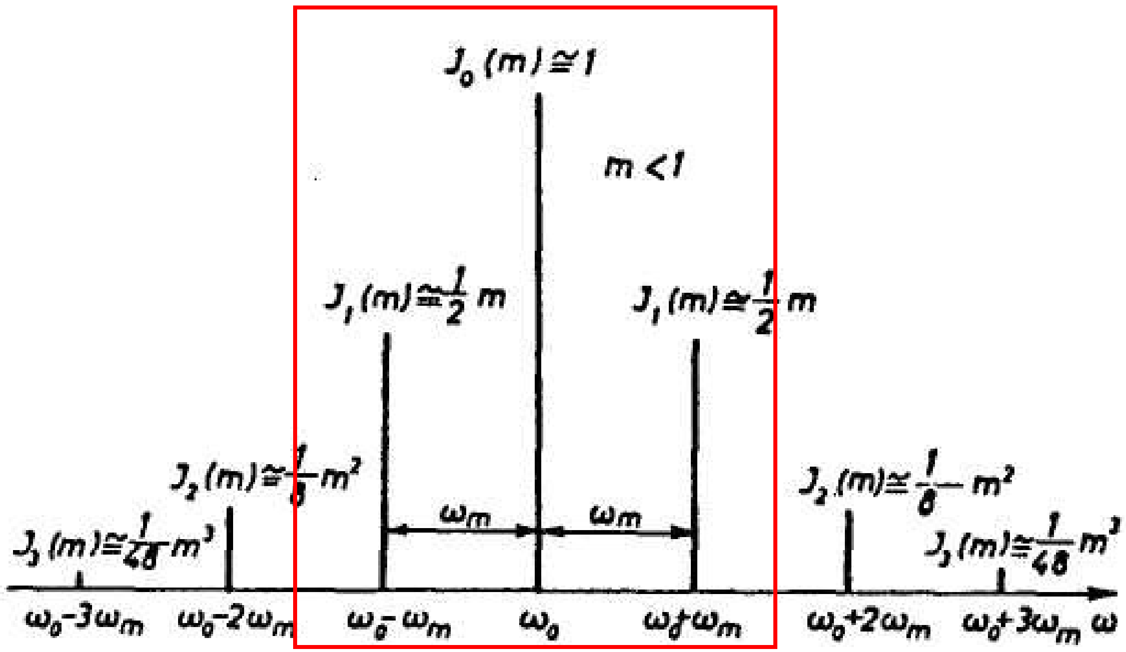
Značajnim bočnim komponentama se smatraju sve one spektralne komponente koje nose više od p% snage nemodulisanog nosioca. Najčešće se uzima da je ovaj procenat p=1%.

Može se smatrati da je za prenos UM signala potreban onaj opseg učestanosti izvan koga bilo koja od spektralnih komponenenata ima snagu manju od 1% snage nosioca.

Širina spektra UM signala modulisanog sinusoidalnim test tonom

Neka je indeks modulacije mali, m<1. Tada je:

$$J_0(m) \cong 1,\ J_1(m) \cong \frac{1}{2}m,\ J_2(m) \cong \frac{1}{8}m^2, J_3(m) \cong \frac{1}{48}m^3, \ldots \qquad J_n(m) \cong \frac{m^n}{2^n n!}$$



Slika: Dio amplitudskog spektra ugaono modulisanog signala sinusoidalnim test tonom sa indeksom modulacije m<1

Na osnovu definicije značajnih komponenata UM signala, može da se pronađe vrijednost indeksa modulacije m pri kojoj je dovoljno prenositi samo bočne komponente prvog reda.

Nemodulisani nosilac ima relativnu amplitudu J_0(m)=1. Relativna snaga ove komponente je J_0^2(m)=1.

Relativna snaga jedne bočne komponente prvog reda treba da zadovolji uslov:

$$J_1^2(m) = \left(\frac{1}{2} m\right)^2 = 0{,}01$$

odakle je $m \leq 0.2$.

U svim slučajevima UM signala u kojima je indeks modulacije m≤0.2, dovoljno je prenositi nosilac i prve bočne komponente. Izraz za takav UM signal moći će se približno napisati u sledećem obliku:

$$u(t) \cong U_0 J_0(m) \cos \omega_0 t + U_0 J_1(m) \cos\left[(\omega_0 - \omega_m)t + \frac{\pi}{2}\right] + U_0 J_1(m) \cos\left[(\omega_0 + \omega_m)t + \frac{\pi}{2}\right]$$

Kako je:

$$J_0(m) \cong 1 \text{ i } J_1(m) \cong \frac{1}{2} m,$$

To je:

$$u(t) \cong U_0 \cos \omega_0 t + \frac{1}{2} m U_0 \cos\left[(\omega_0 - \omega_m)t + \frac{\pi}{2}\right] + \frac{1}{2} m U_0 \cos\left[(\omega_0 + \omega_m)t + \frac{\pi}{2}\right]$$

Ovaj izraz brojem komponenata i njihovim amplitudama podsjeća na amplitudski modulisan signal KAM tipa. Ali, fazni odnosi se znatno razlikuju.

Izraz za sinusoidalno modulisan signal KAM tipa je:

$$u_{KAM}(t) = U_0' \cos \omega_0 t + \frac{1}{2} m_0 U_0 \cos(\omega_0 - \omega_m)t + \frac{1}{2} m_0 U_0 \cos(\omega_0 + \omega_m) t$$

Razlika između UM i KAM signala može se najbolje uočiti iz njihove fazorske predstave.

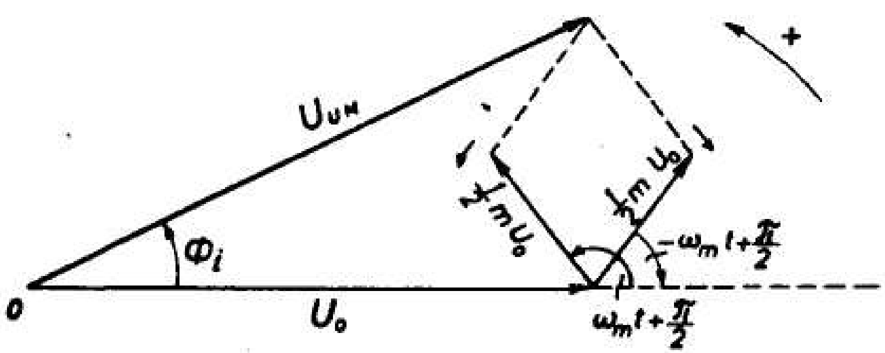
UM signal može da se napiše u obliku:

$$u(t) = R_e\left\{\left[U_0 + \frac{1}{2} m U_0 e^{-j\left(\omega_m t - \frac{\pi}{2}\right)} + \frac{1}{2} m U_0 e^{j\left(\omega_m t + \frac{\pi}{2}\right)}\right] e^{j\omega_0 t}\right\}$$

Izraz u uglastoj zagradi može da se smatra kao rezultanta tri fazora:

$$U_{UM} = U_0 + \frac{1}{2} m U_0 e^{-j\left(\omega_m t - \frac{\pi}{2}\right)} + \frac{1}{2} m U_0 e^{j\left(\omega_m t + \frac{\pi}{2}\right)}$$

Fazorski dijagram je:



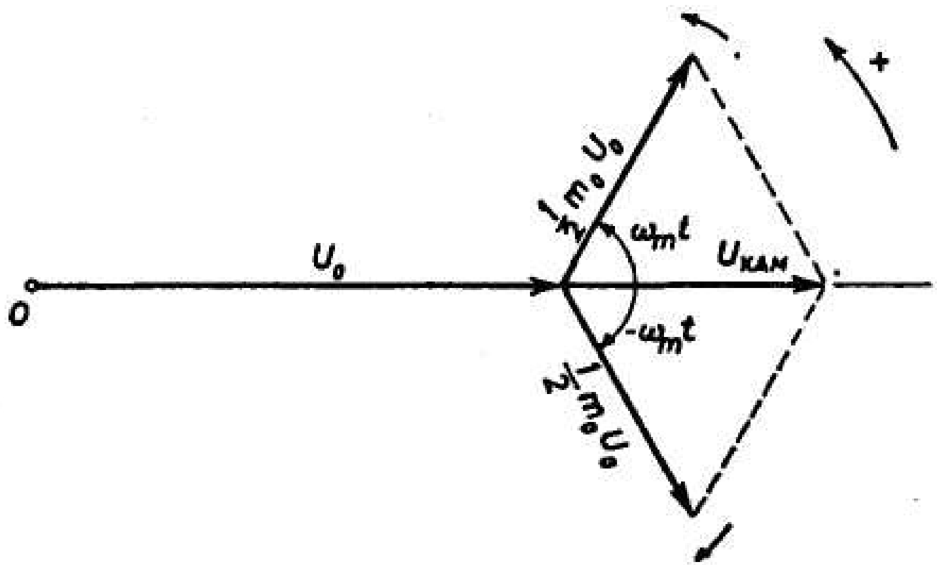
Slika: Fazorska predstava ugaono modulisanog signala sinosuidalnim test tonom pri čemu je indeks modulacije m<0,2

Na sličan način izraz za KAM signal može da se napiše u obliku:

$$u_{KAM}(t) = R_e\left\{\left[U_0 + \frac{1}{2} m_0 U_0 e^{-j\omega_m t} + \frac{1}{2} m_0 U_0 e^{j\omega_m t}\right] e^{j\omega_0 t}\right\}$$

Izraz u uglastoj zagradi je jedan fazor U_{KAM} koji predstavlja rezultantu tri fazora:

$$U_{KAM} = U_0 + \frac{1}{2} m_0 U_0 e^{-j\omega_m t} + \frac{1}{2} m_0 U_0 e^{j\omega_m t}$$



Slika: Fazorska predstava amplitudski modulisanog signala tipa KAM sinusoidalnim test tonom.

U slučaju KAM signala rezultantni fazor je uvijek na realnoj osi, i zavisno od stepena modulacije i vrijednosti U_0 mijenja se samo njegov intenzitet. To nije slučaj sa ugaonom modulacijom. Kod nje rezultantni fazor treba da se pomjera oko svog centralnog položaja, ugao Φ_i se mijenja onako kako diktira modulišući signal. Vrh fazora U_{UM} treba uvijek da opisuje dio kruga sa centrom u tački O, pošto je amplituda UM signala konstantna. Međutim, to nije slučaj. Razlog je što smo zanemarili neke bočne komponente, pa je došlo do parazitne amplitudske modulacije.

✓ Zaključak:

U opštem slučaju eliminisanje izvjesnih bočnih komponenata dovodi do parazitne amplitudske modulacije.

U slučaju kada indeks modulacije nije mali, spektar ugaono modulisanog signala sadrži više od dvije značajne bočne komponente. Kako je:

$$J_{n\geq m+2}(m) < 0.1$$

to će za ovako ugaono modulisane signale biti dovoljno da se sa svake strane nosioca prenese po $n=m+1$ bočnih komponenata. Potrebna širina opsega za prenos UM signala biće definisana Carsonovim obrascem:

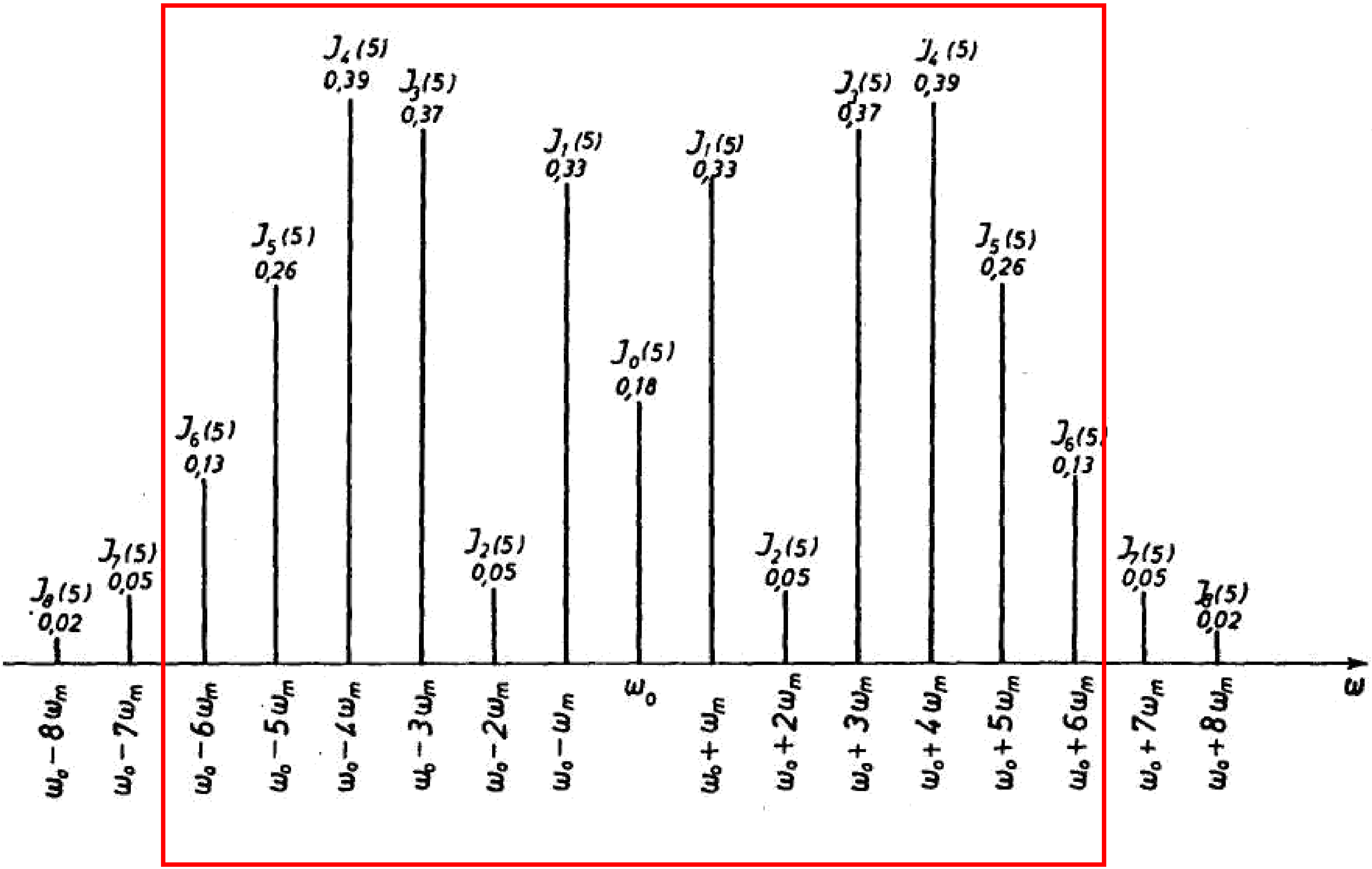
$$B = 2f_m(m+1)$$

Carsonov obrazac se za male vrijednosti indeksa modulacije $m<<1$ postaje:

$$B \cong 2f_m$$

Za velike vrijednosti $m>>1$ postaje:

$$B \cong 2mf_m$$



Slika: Dio amplitudskog spektra UM signala sinusoidalnim test tonom za m=5

PRINCIPI IZGRADNJE FAZNIH I FREKVENCIJSKIH MODULATORA

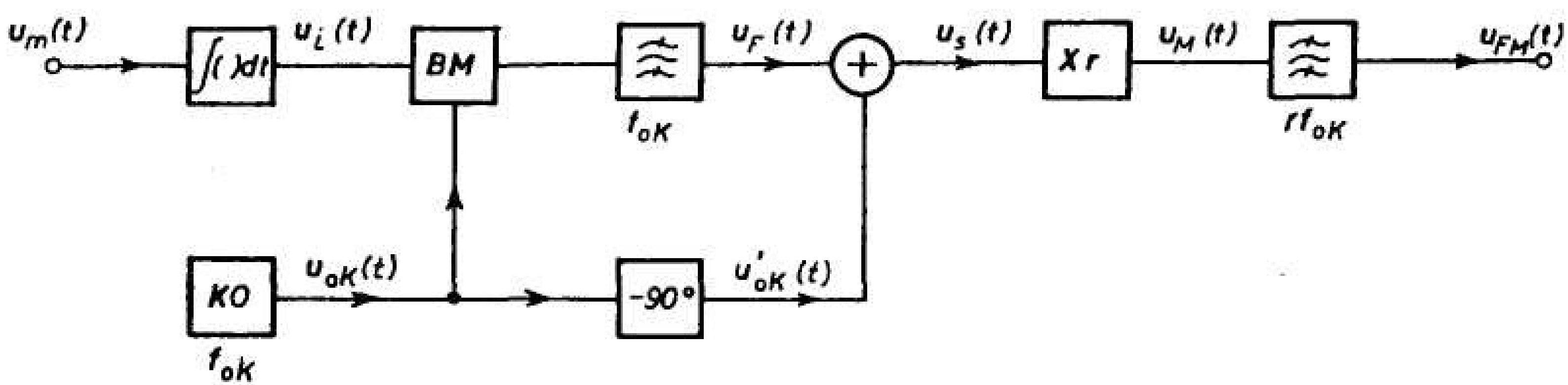
Metode generisanja FM signala mogu da se klasifikuju u dvije grupe:

1. indirektne – postupci kojima se FM signali dobijaju pomoću integratora i ΦM modulatora
2. direktne – nekim direktnim postupkom se obezbjeđuje da trenutna devijacija učestanosti bude direktno srazmjerna modulišućem signalu.

1. INDIREKTNI METODI GENERISANJA FM SIGNALA

- Armstrongov modulator

Blok šema Armstrongovog modulatora prikazana je na slici:



Slika: Blok-šema Armstrongovog modulatora

KO je kvarcni oscilator fiksne učestanosti f_{0K}. Napon na njegovom izlazu je:

$$u_{0K}(t) = U_{0K} \cos \omega_{0K} t$$

BM je balansni modulator. Neka je modulišući signal oblika:

$$u_m(t) = U_{m1} \cos \omega_m t$$

Kako modulišući signal napaja integrator, na njegovom izlazu (ulazu u BM) je:

$$u_i(t) \cong \frac{1}{RC} \int U_{m1} \cos \omega_m t \cdot dt = \frac{U_m}{\omega_m} \sin \omega_m t$$

Na izlazu balansnog modulatora, filtrom propusnikom opsega učestanosti izdvaja se signal:

$$u_F(t) = k_U u_i(t) \cdot u_{0K}(t) = k_U \frac{U_m U_{0K}}{\omega_m} \sin \omega_m t \cdot \cos \omega_{0K} t$$

Napon iz KO istovremeno napaja sklop koji unosi fazni pomeraj od -90°, pa se na njegovom izlazu dobija:

$$u'_{0K}(t) = U_{0K} \cos\left(\omega_{0K} t - \frac{\pi}{2}\right) = U_{0K} \sin \omega_{0K} t$$

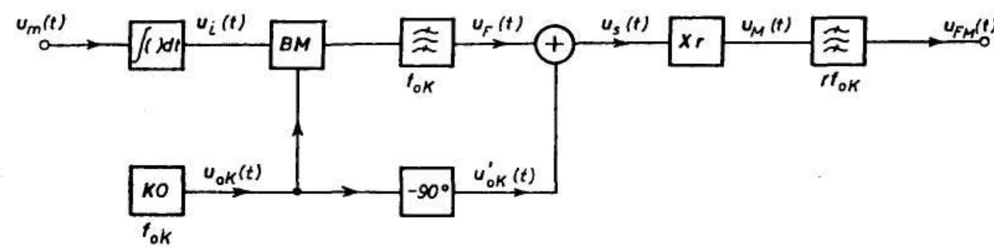
Na izlazu iz kola za sumiranje dobija se napon:

$$u_S(t) = u'_{0K}(t) + u_F(t) = U_{0K} \sin \omega_{0K} t + k_U \frac{U_m U_{0K}}{\omega_m} \sin \omega_m t \cdot \cos \omega_{0K} t$$

Ovaj izraz može da se napiše u obliku:

$$u_S(t) = U_{0K}\left(\sin \omega_{0K} t + \frac{k_U U_m}{\omega_m} \sin \omega_m t \cdot \cos \omega_{0K} t\right) = U_{0K} \sqrt{1 + \left(\frac{k_U U_m}{\omega_m}\right)^2 \sin^2 \omega_m t} \; \sin(\omega_{0K} t + \varphi)$$

Uz: $\tan\varphi = \frac{k_U U_m}{\omega_m} \sin\omega_m t$



I pretpostavku da je: $\frac{k_U U_m}{\omega_m} \ll 1$

Može se smatrati:

$$\tan\varphi \cong \varphi \qquad \text{i} \qquad \left(\frac{k_U U_m}{\omega_m}\right)^2 \to 0$$

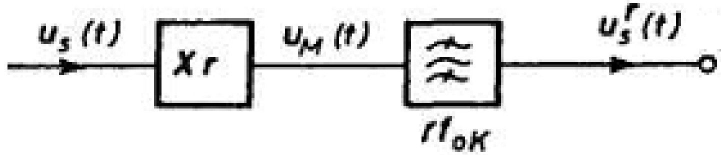
Pa je:

$$u_S(t) \cong U_{0K} \sin\left(\omega_{0K} t + \frac{k_U U_m}{\omega_m} \sin\omega_m t\right)$$

$$u_S(t) = U_{0K} \sin\left(\omega_{0K} t + k_U \int U_m \cos\omega_m t\, dt\right)$$

Ovaj izraz predstavlja frekvencijski modulisan signal. Pretpostavljeni sklop vrši funkciju FM modulatora samo ako je indeks modulacije mali (m<<1). Maksimalni indeks modulacije u ovom slučaju iznosi 0,2 (signal ima nosilac i 2 bočne komponente).

Da bi se povećala devijacija učestanosti, dobijeni signal se dovodi na umnožavač učestanosti (X r) i odgovarajući filtar.



Umnožavač je nelinearan sklop čija je karakteristika „izlaz — ulaz”:

$$u_M(t) = a_0 + a_1 u_S(t) + a_2 u_S^2(t) + \cdots + a_r u_S^r(t) + \cdots$$

Izlaznim filtrom propusnikom opsega učestanosti čija je centralna učestanost rf_{0K}, r je cio broj, se izdvaja r-ti harmonik signala $u_s(t)$, pa je:

$$u_{FM}(t) = U_0 \sin\left(r\,\omega_{0K} t + \frac{rk_U U_m}{\omega_m} \sin \omega_m t\right) = U_0 \sin\left(\omega_0 t + \frac{\Delta\omega_0}{\omega_m} \sin \omega_m t\right)$$

Dobili smo FM signal čija je učestanost nosioca:

$$f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi} = \frac{r\,\omega_{0K}}{2\pi} = rf_{0K}$$

a devijacija učestanosti:

$$\Delta f_0 = \frac{1}{2\pi} \Delta\omega_0 = \frac{1}{2\pi} rk_U U_m = \frac{1}{2\pi} r\Delta\omega_{0K} = r\,\Delta f_{0K}$$

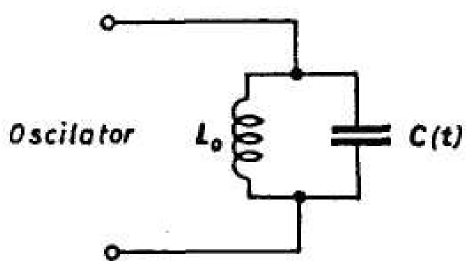
Na ovaj način smo povećali maksimalnu devijaciju učestanosti i indeks modulacije r puta.

2. DIREKTNI METODI GENERISANJA FM SIGNALA

Direktan metod generisanja FM signala podrazumijeva da se učestanost oscilatora direktno mijenja pod uticajem modulišućeg signala. Ovaj princip se po pravilu ostvaruje tako što se neki od parametara oscilatora od koga zavisi učestanost oscilacija ω_0 mijenja u zavisnosti od modulišućeg signala. Najčešće su to kapacitivnost kondenzatora i induktivnost kalema.

Dobra strana ovih modulatora je u tome što se ***direktno*** postiže dovoljno velika devijacija učestanosti, pa nije potreban veliki broj stepeni umnožavača.

- Generisanje FM signala promjenom C ili L u rezonantnom oscilatornom kolu



Rezonantna učestanost oscilatora je:

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L_0 C_0}}$$

Neka je u tom kolu induktivnost L_0=const, a neka se kapacitivnost kondenzatora mijenja ($C=C(t)$).

$$C = C(t) = C_0 + \delta C(t)$$

Trenutna učestanost generisanih oscilacija će biti:

$$\omega_i^2 = \omega^2(t) = \frac{1}{L_0 C(t)}$$

Uvrštavajući izraz za promjenjivu kapacitivnost, trenutna učestanost je:

$$\omega_i^2 = \omega^2(t) = \frac{1}{L_0 [C_0 + \delta C(t)]} = \frac{1}{L_0 C_0} \frac{1}{1 + \frac{\delta C(t)}{C_0}}$$

$$\omega_i = \omega(t) = \omega_0 \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{\delta C(t)}{C_0}}}$$

Pretpostavimo da su promjene kapacitivnosti male:

$$\delta C(t) \ll C_0$$

Tada će za trenutnu učestanost važiti približno:

$$\omega_i = \omega(t) \cong \omega_0 \left[1 - \frac{\delta C(t)}{2 C_0} \right]$$

$$\omega_i = \omega(t) = \omega_0 + \delta\omega_i$$

Trenutna devijacija učestanosti je:

$$\frac{\delta\omega_t}{\omega_0} \cong -\frac{\delta C(t)}{2C_0}$$

Znak - znači da povećanju kapacitivnosti $\delta C(t)$ odgovara smanjenje učestanosti. Pretpostavimo da su promjene kapacitivnosti direktno srazmjerne modulišućem signalu $u_m(t)$:

$$\delta C(t) = k_C u_m(t) = k_C U_m m(t) = \Delta C_0 m(t)$$

$$\Delta C_0 = |\delta C(t)|_{max} = k_C U_m |m(t)|_{max} = k_C U_m$$

Trenutna devijacija učestanosti će biti:

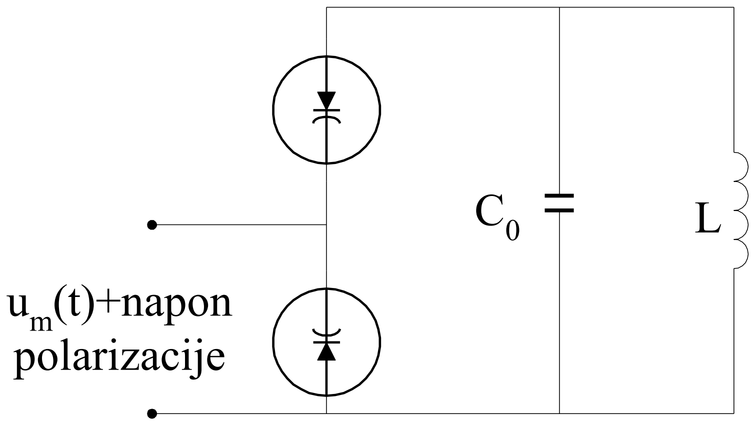
$$\delta\omega_t \cong -\frac{1}{2}\omega_0 \frac{\Delta C_0}{C_0} m(t) = -\Delta\omega_0 m(t)$$

Tj. učestanost izlaznog signala:

$$\omega_t = \omega(t) = \omega_0 - \Delta\omega_0 m(t)$$

Pri navedenim uslovima moguće je ostvariti da se trenutna učestanost oscilatora mijenja direktno srazmjerno modulišućem signalu.

- Jedna mogućnost promjene kapacitivnosti je pločasti kondenzator čije se rastojanje između ploča, ili njihova površina mijenja u skladu sa modulišućim signalom.
- Druga mogućnost je upotreba varikap dioda koja je negativno polarisana, a kapacitivnost zavisi od napona polarizacije.



$$\delta C(t) << C_0$$

FM signale generalno možemo podijeliti na:
1. Uskopojasne – indeks modulacije je m<0.2
2. Širokopojasne – indeks modulacije je m>0.2

Oba navedena tipa modulatora su uskopojasna.