

Jedan od osnovnih problema tehnike telekomunikacija je izrada i analiza sistema koji omogućavaju prenos većeg broja poruka istovremeno, jednim komunikacionim kanalom. Naime, signali (slike, tona, faksimil, podaci itd.) u svom prirodnom NF spektru nisu pogodni za prenos na veće daljine, jer se javljaju velike teškoće, kao što je potreba za dugim antenama sa velikom efikasnošću zračenja i osetljivosti. Pored toga, javlja se problem mešanja signala i nemogućnost selekcije jednog od drugog.

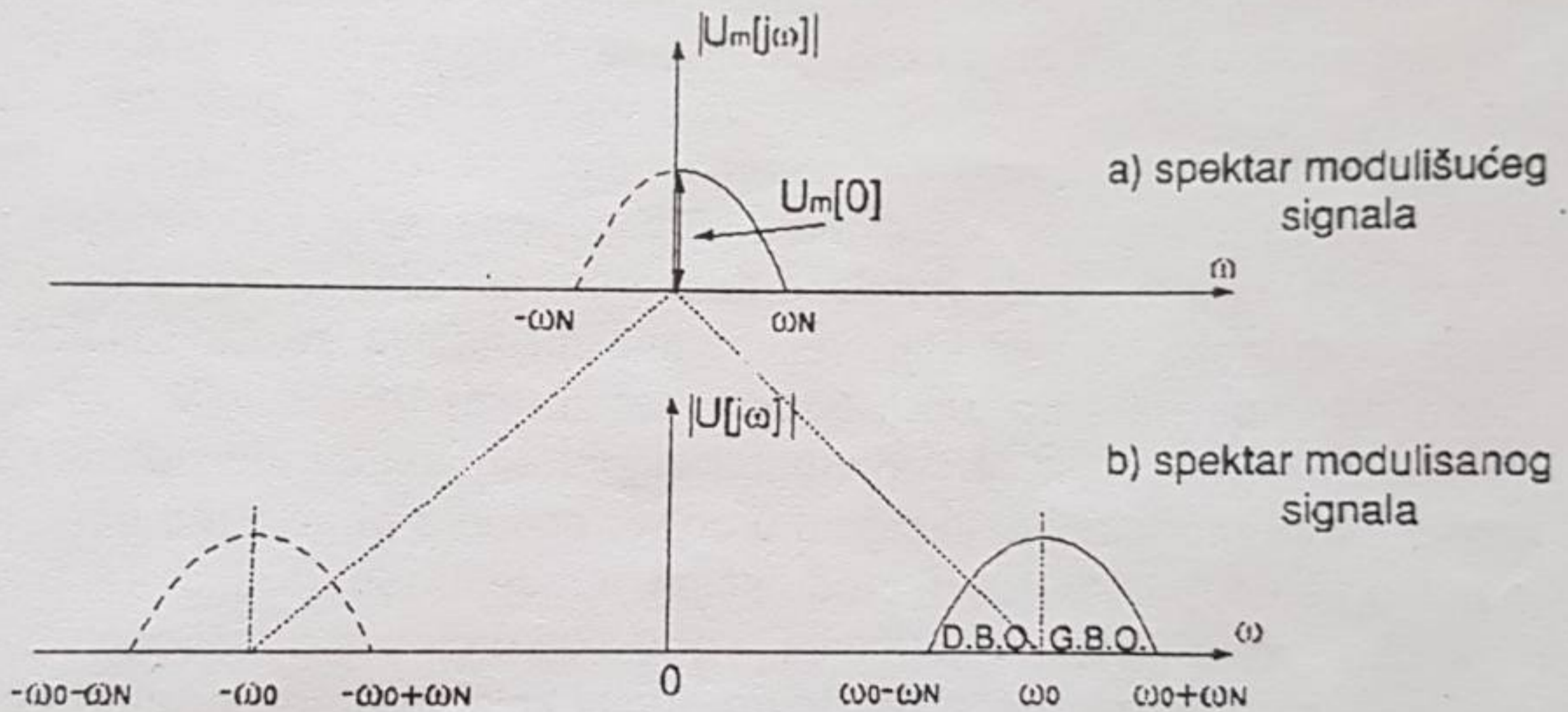
Metoda koja omogućava višestruki prenos je multipleksiranje, a može se ostvariti postavljanjem prenošenih poruka u različite pozicije na frekvencijskoj osi. Takav multipleks naziva se frekvencijski, a pojedine poruke sada se lako mogu izdvojiti filtrima. Frekvencijsko multipleksiranje zahteva primenu pomoćnog visokofrekventnog nosioca obično sinusoidalnog. Postupak transliranja niskofrekventnih signala poruka korišćenjem pomoćnog VF signala-nosioca, poznat je kao modulacija. U zavisnosti koji parametar nosećeg talasa se modifikuje, razlikujemo i više vrsta modulacija. Signal koji vrši modulaciju naziva se modulišući, i on može da utiče na amplitudu, učestanost ili fazu VF nosioca. VF signal-nosilac opet može biti ili kontinualni signal sinusoidalnog oblika (slučaj: kontinualnih modulacija) ili signal u obliku povorke periodično ponavljanih impulsa (slučaj: impulsnih modulacija). Ovde treba dodati da postoji i impulsna kodovana modulacija, gde odbirci modulišućeg signala predstavljaju jedan konačan skup vrednosti koje se mogu numerisati. Ako se numerisanje obavi u binarnom brojnom sistemu, onda svakom broju, odnosno odbirku odgovara odredjeni kod sastavljen od kombinacija dva različita elementa (nula ili jedinica). Takva kodna grupa nula i jedinica predstavlja impulsno kodno modulisan signal.

4.1 ANALOGNI SISTEMI MODULACIJA

Svi sistemi modulacija, koji kao noseći talas koriste sinusoidalne VF oscilacije, ili nosilac u obliku povorke impulsa, a pri modulaciji se kontinualno menja amplituda ili trajanje nosioca, su analogni sistemi. Prema obliku modulisanog signala imamo dve grupe: U prvu grupu svrstavamo postupke koji kao rezultat daju modulisani signal kontinualan, a u drugoj su postupci koji daju pri modulaciji signal impulsnog talasnog oblika.

4.2 KONTINUALNE MODULACIJE

Amplitudna modulacija: Pripada grupi linearnih modulacija, kod kojih se vrši promena amplitude nosećeg talasa proporcionalno trenutnoj vrednosti modulišućeg. Modulirani signal je kontinualnog oblika. Ako modulišućí signal ima proizvoljan niskofrekventni spektar, sa spektralnom karakteristikom $U_m(j\omega)$, i ako takav signal deluje na neki VF talas sa učestanošću ω_0 nastaje nov naizmenični signal, čija je spektralna karakteristika po obliku sasvim slučajna realnom i imaginarnom delu spektra modulišućeg signala, ali je premeštena u više frekventno područje za iznos noseće učestanosti ω_0 . To je ilustrovano na sl.4.1.



Sl. 4.1 - Grafički prikaz spektra modulišućeg i modulisanog signala

Na slici je punom linijom izvučen realni deo spektra modulišućeg i modulisanog signala, a crtkano njihovi imaginarni delovi. Prema tome, postupak modulacije figurativno možemo zamisliti kao proces utiskivanja NF signala u VF noseći signal, a sve u cilju premeštanja spektra signala iz jednog područja učestanosti u drugo. Noseći signal ili noseća pomoćna učestanost ne treba se bukvalno shvatiti, već kao učestanost koja omogućava pomeranje ili translaciju spektra signala. U cilju lakšeg sagledavanja problema amplitudne modulacije - (AM), posmatraćemo najprostiji slučaj, da su i modulišućí i noseći signal, prostoperiodični. Ako je modulišućí signal $u_m(t) = U_m \cos \omega_m t$, a noseći $u_o(t) = U_o \cos \omega_o t$, onda će modulirani talas biti dat izrazom:

$u(t) = A \cdot \cos(\omega_o t)$, gde je $A = [U_o + k U_m \cdot \cos(\omega_m t)]$ dok je (k) konstanta modulatora. Zamenom izraza za A u izraz u(t) dobijamo :

$$u(t) = [U_0 + kU_m \cdot \cos(\omega_m t)] \cdot \cos(\omega_0 t) \quad 4.1$$

$$u(t) = U_0 \cdot [1 + m \cdot \cos(\omega_m t)] \cdot \cos(\omega_0 t) \quad 4.2$$

ili:

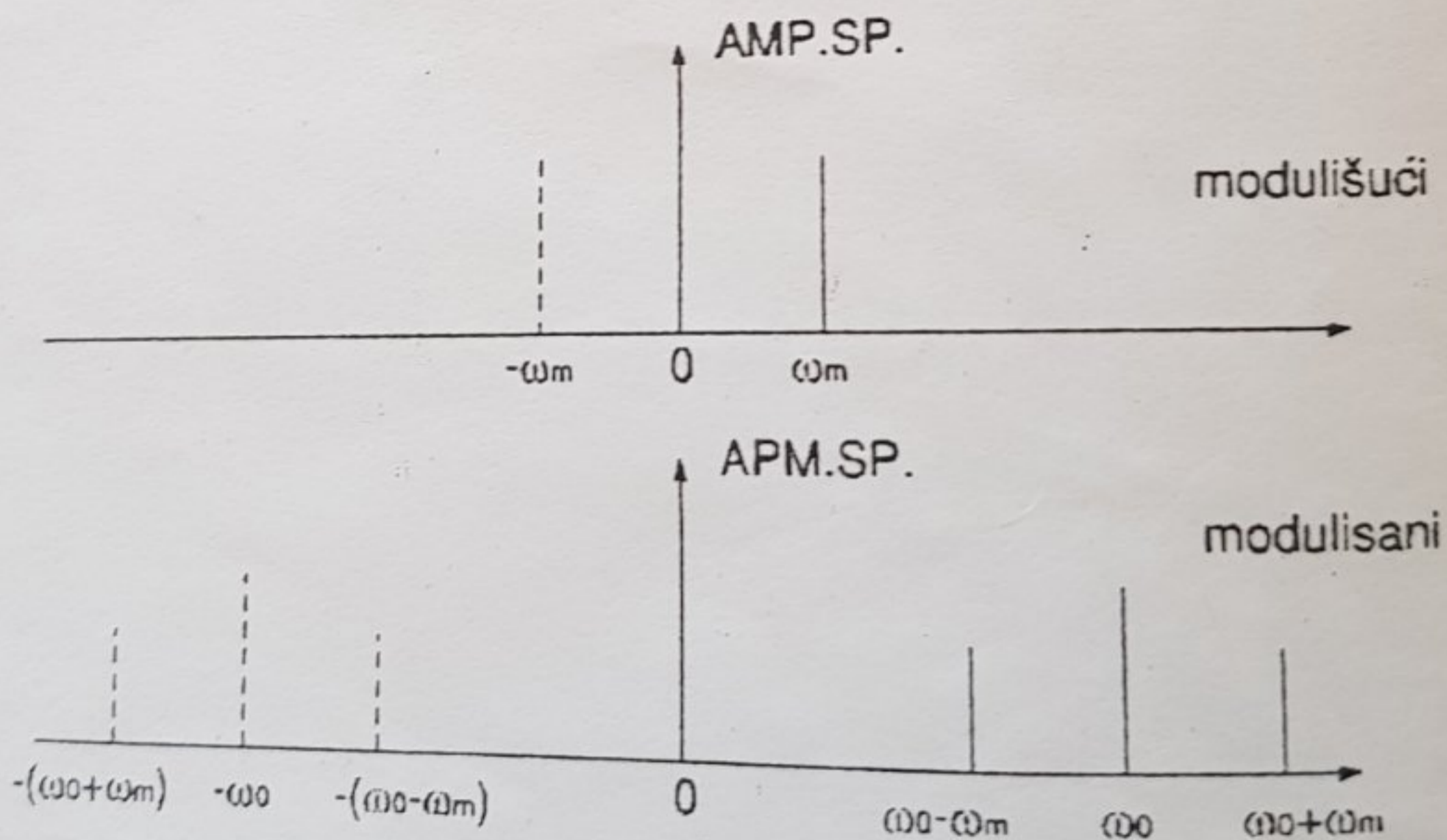
gde je $m = \frac{kU_m}{U_0}$, indeks ili stepen amplitudske modulacije.

Zapažamo da za slučaj, $kU_m = U_0$, $m=1$ što odgovara "dubini" modulacije 100%. Razvijanjem izraza 4.2, modulirani signal $u(t)$ može se rastaviti na tri komponente.

$$u(t) = U_0 \cdot \cos(\omega_0 t) + \frac{mU_0}{2} \cos(\omega_0 - \omega_m)t + \frac{mU_0}{2} \cos(\omega_0 + \omega_m)t \quad 4.3$$

Iz ove jednačine vidimo, da se kao posledica modulacije, u spektru moduliranog signala javlja komponenta nosećeg talasa $U_0 \cos(\omega_0 t)$ i još dve simetrične tzv. bočne - komponente, čije su amplitude $(1/2)m \cdot U_0$

Učestanosti ovih bočnih komponenti simetrično su udaljene od noseće učestanosti ω_0 . Amplitudski spektar moduliranog signala i modulišućeg, za ovaj prost primer, vidi se na sl. 4.2.

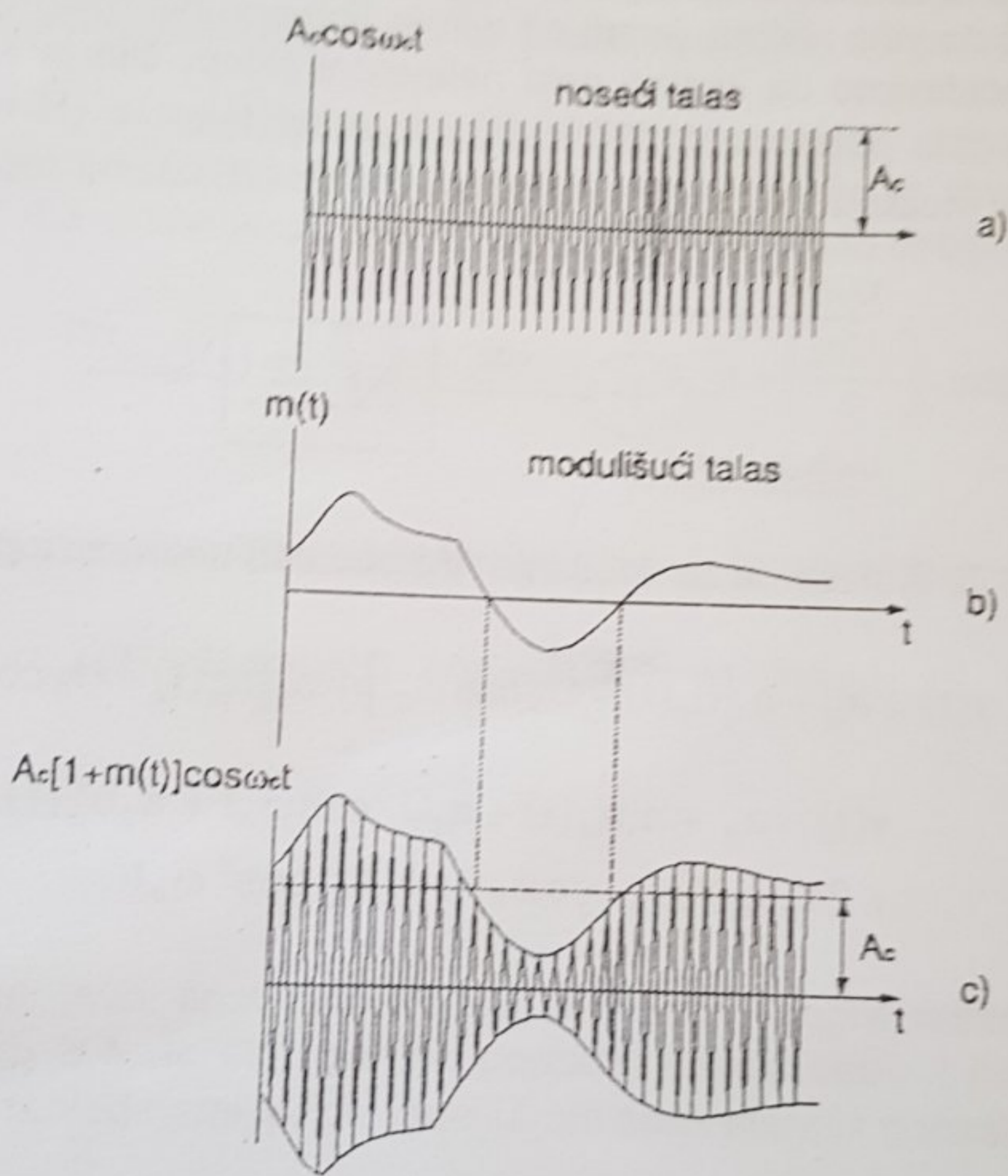


Sl. 4.2 - Grafički prikaz spektra modulišućeg i moduliranog signala kada je modulišući signal prostoperiodičnog oblika - $u_m(t) = U_m \cos \omega_m t$

Rezimirajući do sada rečeno možemo izvesti neke zaključke:

- Amplituda moduliranog signala verno prati modulišući signal
- Spektar moduliranog signala se translira i sadrži po dva bočna opsega, odnosno dve bočne komponente u najprostijem slučaju.

- Ako je spektar signala koji vrši modulaciju u opsegu $[0+f_m]$, onda je širina spektra AM signala $2 \cdot (0+f_m) = 2 \cdot f_m$, dva puta šira.
 - Svaki bočni opseg nosi kompletne podatke o modulišućem signalu i zato po želji jedan se može ukinuti, a da se pri tome ne ošteti informacija koja se prenosi modulisanim signalom.
- Ova vrsta modulacije poznata je i pod nazivom konvencionalna amplitudna modulacija - KAM. Vremenski dijagram modulišućeg, nosećeg i amplitudno-modulisanog signala vidi se na sl. 4.3.



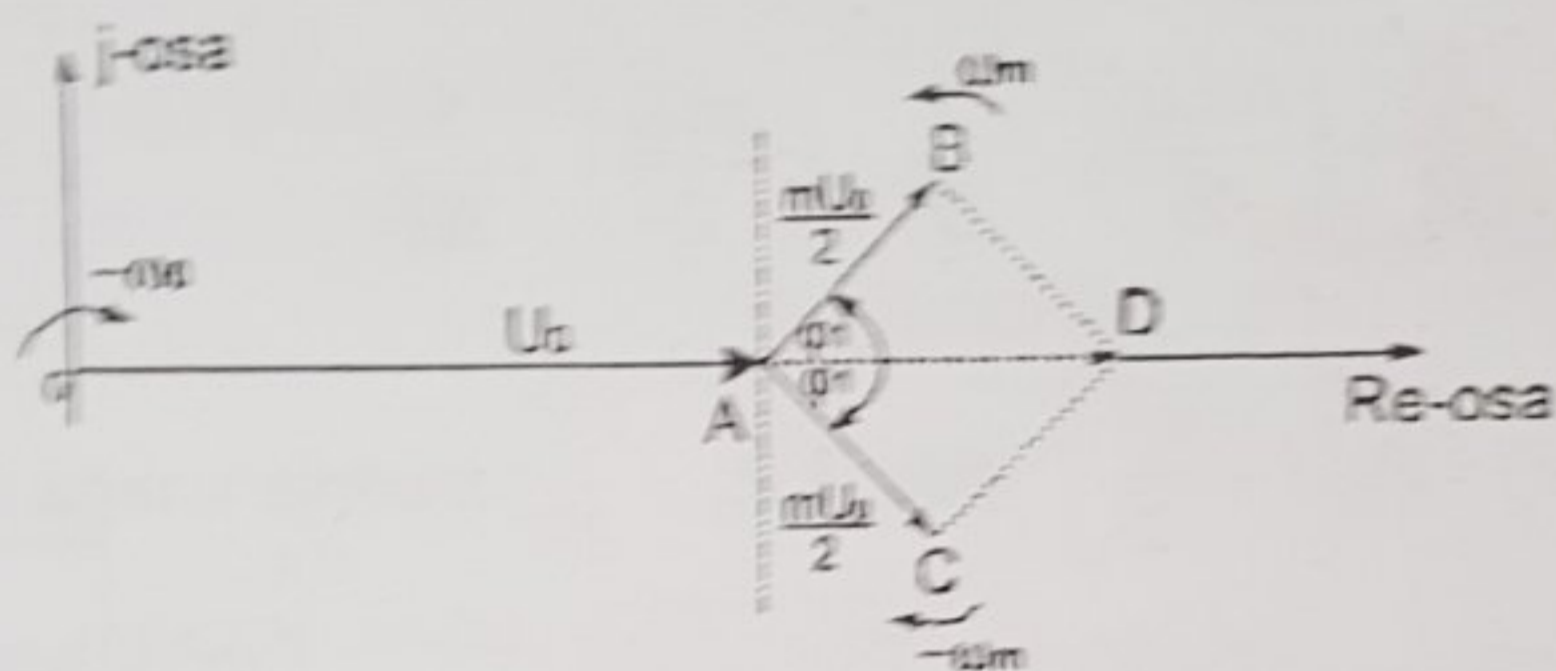
Sl. 4.3. Vremenski dijagram: (a) nosećeg signala, (b) modulišućeg signala;
(c) amplitudno-modulisanog signala

Još bolji uvid u proces modulacije daju nam vektorski dijagrami modulacije. Koristeći Euler-ov obrazac koji daje vezu između trigonometrijskih i eksponencijalnih funkcija, možemo izraz za AM signal predstaviti pomoću tri rotirajuća vektora - fazora.

$$u(t) = \operatorname{Re} \left\{ U_0 \cdot e^{j\omega_0 t} + \frac{1}{2} m U_0 e^{j[(\omega_0 + \omega_m)t + \varphi_1]} + \frac{1}{2} m U_0 e^{j[(\omega_0 - \omega_m)t - \varphi_1]} \right\} \quad 4.4$$

Simbol Re znači da treba uzeti realni deo kompleksnog izraza u velikoj zagradi.

Vektorski prikaz dat je na sl. 4.4.



Sl. 4.4 Vektorski dijagram amplitudne modulacije

Sva tri vektora rotiraju. Prvi vektor OA ima dužinu U_0 i rotira ugaonom brzinom ω_0 , drugi vektor AB ima dužinu $mU_0/2$ i ugaonu brzinu $\omega_0 + \omega_m$, treći vektor AC ima istu dužinu $mU_0/2$ i ugaonu brzinu $\omega_0 - \omega_m$. Ako zamislimo da koordinatni sistem rotira ugaonom brzinom $(-\omega_0)$ tj. suprotno rotaciji vektora OA, onda će ovaj vektor mirno stajati na crtežu, vektor AB rotira sa relativnom učestanošću ω_m u pozitivnom smeru, dok vektor AC sa istom relativnom učestanošću rotira u negativnom smeru. U trenutku $t=0$ imaćemo za sva tri vektora položaja kao na gornjoj slici. Važno je zapaziti iz dijagrama da pri rotaciji vektora AB i AC rezultujući vektor AD je stalno u fazi sa nosećim talasom, s tim što se dužina vektora AD menja u vremenu po zakonu kosinusa između vrednosti $\pm(mU_0)$.

Opisana vrsta modulacije, gledano istorijski je najstarija vrsta modulacije, a koristi se i danas u radio prenosu na srednjim (ST) i kratkim (KT) talasima. Osnovni razlog njene primene do današnjih dana je u jednostavnoj detekciji u prijemniku jer je, na osnovu ekonomske opravdanosti utvrđeno da je bolje imati jedan snažan skuplji predajnik za veliki broj prijemnika sa jednostavnim i jeftinim detektorima.

4.3 BILANS SNAGE AM SIGNALA

U opštem slučaju opterećenje modulatora može biti predstavljeno ekvivalentnom termogenom otpornošću R . To može biti karakteristični otpor koaksijalnog kabla, talasovoda, antene ili bilo kog drugog potrošača. Ako se pogledaju izrazi koji definišu AM signal onda se srednja snaga, koju bi ovaj signal razvio na opterećenju R bila :

$$P = \frac{U_0^2}{2R} + \left(\frac{mU_0}{2}\right)^2 \cdot \frac{1}{2R} + \left(\frac{mU_0}{2}\right)^2 \cdot \frac{1}{2R} \quad 4.5$$

odnosno : $P = P_0 \left[1 + \frac{m^2}{2}\right]$, gde je $P_0 = \frac{U_0^2}{2R}$ srednja snaga nosioca, dok bi

srednja snaga jednog bočnog opsega bila : $P_{bo} = \left(\frac{m^2}{4}\right) \cdot P_0$.

U razmatranju AM videli smo da samo bočni opsezi nose informaciju, a noseća učestanost, ima samo pomoćnu ulogu transponovanja učestanosti. Zato je korisno uvesti i veličinu stepen korisnog dejstva amplitudne modulacije η . Stepen korisnog dejstva se definiše kao količnik korisne snage bočnih opsega prema ukupnoj snazi.

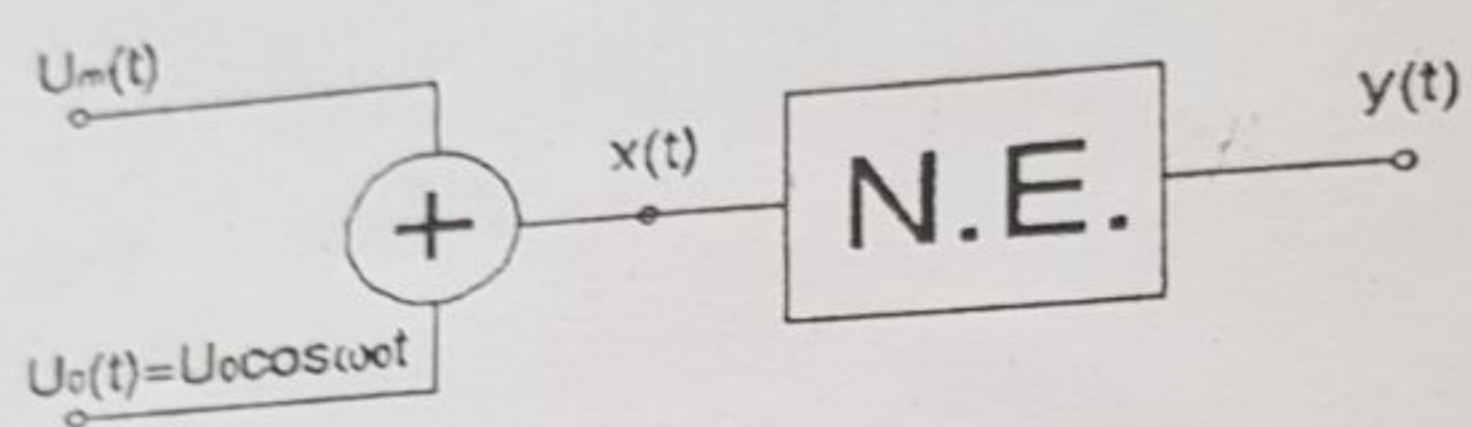
$$\eta = \frac{P_{bo}}{P} = \frac{P_0 \left(\frac{m^2}{4}\right)}{P_0 \left[1 + \frac{m^2}{2}\right]} = \frac{m^2}{2 + m^2} \quad 4.6$$

Za slučaj $m=1$, $\eta=1/3=33\%$ što drugim rečima znači da 2/3 ukupne snage predajnik emituje na nosećoj učestanosti, a samo 1/3 snage otpada na korisnu snagu bočnih opsega, a sve zbog toga, da bi demodulacija, odnosno prijemnici bili jednostavni.

4.4 AMPLITUDNA MODULACIJA (AM-2B0)

Analizirajući KAM signal uočili smo, da snaga sadržana u bočnim opsezima može biti maksimalno 50% snage nosioca. Jasno je onda da je potrebno, snagu nosioca na neki način redukovati tj. učiniti u nekim slučajevima efikasniji prenos. Vrlo često se pribegava potpunom ukidanju komponente nosećeg talasa u samom modulatoru, a prenose se samo dva

bočna opsega ili čak samo jedan bočni opseg. Poznat je slučaj, (SSB)* prenosa, gde se štedi na snazi i potrebnoj širini opsega učestanosti, a primena je mnogostruka; u pokretnim komunikacionim sistemima, telemetriji, radionavigaciji, mornarici itd. Medjutim, takav sistem prenosa zahteva generisanje noseće učestanosti u prijemniku, da bi se mogla obaviti demodulacija tj. potreba za jednim pilot signalom (čija je učestanost jednaka učestanosti nosioca), niskog nivoa, koji služi za sinhronizaciju oscilatora obnovljene noseće učestanosti u prijemniku. Modulacija dva bočna opsega bez nosećeg talasa (AM-2BO) može se realizovati na više načina, jedan od njih je pomoću nelinearnog elementa. Ako pretpostavimo da imamo neki nelinearni sklop, čija je karakteristika izlaz-ulaz data polinomom oblika: $y(t) = a_0 + a_1x(t) + a_2x^2(t)$ i ako na ulaz dovedemo modulišući i noseći signal prema sl. 4.5. izlazni signal biće:



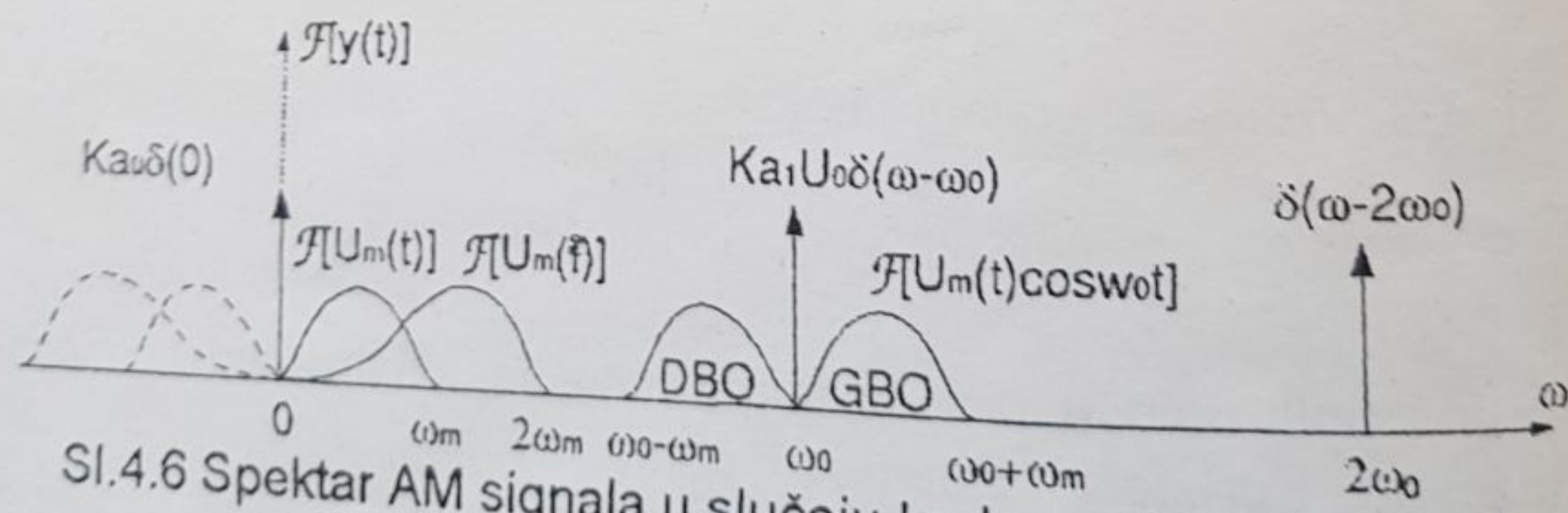
Sl. 4.5. Blok šema za dobijanje AM pomoću nelinearnog sklopa

$$y(t) = a_0 + a_1[u_m(t) + U_0 \cos \omega_0 t] + a_2[u_m(t) + U_0 \cos \omega_0 t]^2 \quad 4.7$$

odnosno:

$$y(t) = a_0 + a_1 u_m(t) + a_1 U_0 \cos \omega_0 t + a_2 u_m^2(t) + 2a_2 u_m(t) U_0 \cos \omega_0 t + a_2 U_0^2 \cos^2 \omega_0 t \quad 4.8$$

Prostim trigonometrijskim transformacijama ovaj izraz se može dalje razviti i videti sastav izlaznog signala. Na sl. 4.6 dat je dijagram spektra izlaznog signala kada modulišući signal ima spektar od $0 \div \omega_m$.



Sl. 4.6 Spektar AM signala u slučaju kada modulišući signal sadrži spektralne komponente od $0 \div \omega_m$

(SSB)* - Single Side Band- Jedan bočni opseg

Analizirajući izlazni signal zapazili bi da član $2a_2U_0u_m(t)\cos\omega_0t$, jedino daje koristan produkt modulacije, tj. dva bočna opsega. Član $a_1U_0\cos\omega_0t$ daje komponentu na učestanosti ω_0 . U spektru se još javlja parazitni opseg $0+2\omega_m$ i komponenta $2\omega_0$. Vidimo da samo nelinearni član polinoma $a_2x^2(t)$ doprinosi dobijanju AM-2BO, dok prisustvo linearnog člana $a_1x(t)$ je ovde nepoželjno, jer daje komponent na ω_0 , koja pada u sredini između gornjeg i donjeg bočnog opsega, i ne može se eliminisati filtrom, a da se ne oštete i korisne komponente GBO i DBO. Znači, za dobijanje samo AM-2BO, treba tražiti druge načine. Oni su nadjeni u izgradnji balansnih modulatora na čijem se izlazu, teoretski, ne pojavljuje noseći talas.

Izraz koji bi odgovarao signalu AM-2BO, za slučaj da je modulišući signal $u_m(t)$ prostoperiodična funkcija, lako se dobija iz izraza za KAM signal jed. 4.3 ukidanjem člana na učestanosti ω_0 . Tada dobijamo:

$$u_{2BO}(t) = \left(\frac{mU_0}{2}\right) \cdot \cos(\omega_0 + \omega_m)t + \left(\frac{mU_0}{2}\right) \cdot \cos(\omega_0 - \omega_m)t \quad 4.9$$

Izražavajući zbir preko produkta, gornji izraz možemo skraćeno napisati:

$$u_{2BO}(t) = U \cos \omega_m t \cdot \cos \omega_0 t, \text{ gde je ; } U = mU_0 \quad 4.10$$