

OBRADA SIGNALA

Modulacija analognim signalom

Modulacija je postupak obrade signala kojim se u prenošeni signal utiskuje signal informacije. Na prijemnoj strani se vrši obrnuti postupak – demodulacija, kako bi se ponovno dobila informacija. Prenošeni signal ima veću frekvenciju, samim tim ima bolja svojstva širenja prenosnim medijumom. Signal informacije zovemo još i modulacijski signal, dok kao rezultat modulacije dobijamo modulirani signal.

Postoji više vrsta modulacija:

- Analogna modulacija signala, kod koje se mijenja jedan od parametara sinusnog signala: amplituda, frekvencija ili faza. Stoga razlikujemo amplitudnu modulaciju (AM), frekvencijsku modulaciju (FM) i faznu modulaciju (PM).
- Diskretna modulacija ili digitalna modulacija sinusnog signala
- Modulacija impulsnih signala
- Digitalni modulacijski postupci, od kojih su najpoznatiji: Impulsno kodna modulacija (PCM) i delta modulacija (DM).
- Modulacijski postupci za prijenos podataka u radio-difuziji.

U istoriji komunikacija značajnu ulogu je odigrala amplitudna modulacija, koja je danas u svom izvornom obliku gotovo neizbježna. Međutim njezina primjena je i dalje prisutna u složenim modulacijskim postupcima. Posebno je pogodna za razumjevanje modulacije uopšte.

Frekvencijska modulacija je danas najzastupljenija u radio-difuziji, mada razvijene su i zarad drugih modulacija odnosno modulacijskih postupaka koji u sebi sadrže veći broj faza obrade signala.

Od velikog broja modulacija ovdje će biti objašnjene:

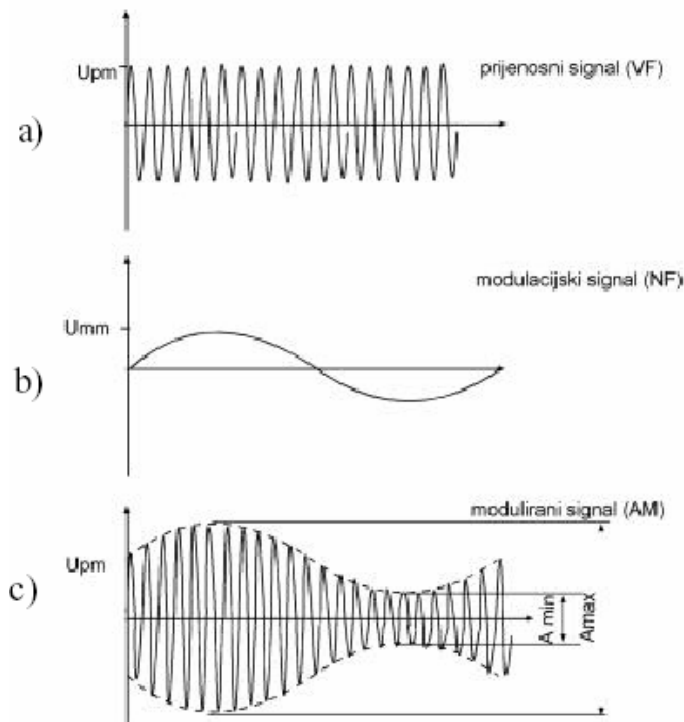
- amplitudna modulacija (AM)
- frekvencijska modulacija (FM)
- fazna modulacija (PM)
- kvadaraturna amplitudna modulacija (QAM)

Amplitudna modulacija (AM)

Amplitudna modulacija u svojem početnom, izvornom obliku danas se malo koristi, no principe modulacije uopšte, najlakše je razumijeti na primjeru amplitudne modulacije.

Modulacija amplitude prenošenog signala obavlja se tako da se mijenja amplituda na način i po zakonu promjene modulacijskog signala.

Prenošeni signal je taj koji će nam poslužiti za prenos informacije (Slika 1. a). On sam ne sadrži informaciju. Informacija je sadržana u modulacijskom signalu (Slika 1. b). Modulacijski signal je sam po sebi informacija.



Matematički oblik prenošenog signala je: $u_p = U_{pm} \sin(\omega_p t + \Phi_0)$, a modulacijskog: $u_m = U_{mm} \sin \omega_m t$ pri čemu je: $\omega_p = 2\omega_m$, odnosno $f_p \gg f_m$.

Na Slici 1. c prikazan je amplitudno modulirani signal gdje se vidi da se amplitudna modulacija dobija tako što modulacijski signal utiče na amplitudu prijenosnog signala te je mijenja na način i prema zakonu po kojem se mijenja amplituda modulacijskog signala.

Jedan od važnih parametara modulacije je dubina modulacije ili indeks modulacije.

Indeks modulacije ili dubina modulacije je odnos između najveće promjene amplitude modulacionog signala i najveće promjene amplitude prenošenog signala. On pokazuje koliki je uticaj modulacijskog signala na amplitudu prenošenog signala. Izračunava se prema sledećoj formuli:

$$m_a = \frac{U_{mm}}{U_{pm}}$$

Gdje su U_{mm} – amplituda modulacijskog signala, a U_{pm} – amplituda prenošenog signala

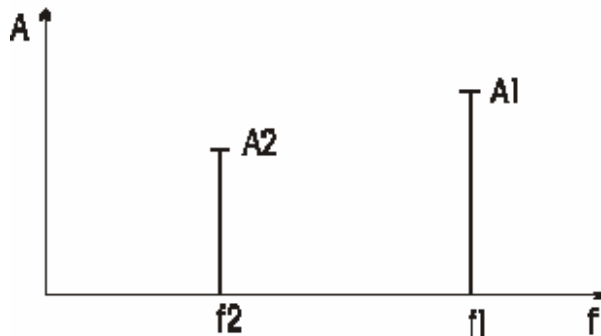
Spektralni prikaz AM signala

Prema definiciji, to je takav prikaz signala u kojem se vidi zavisnost amplitude signala o njegovoj frekvenciji. Taj prikaz može biti čisto matematički, ali je grafički pogodniji.

Pretpostavimo da imamo dva nezavisna signala i to:

- Sinusni signal čija je amplituda A_1 i frekvencija f_1 (ω_1) i
- Sinusni signal čija je amplituda A_2 i frekvencija f_2 (ω_2), pri čemu je $A_1 > A_2$ i $f_1 > f_2$.

Njihov spektralni prikaz biti će kao na Slici 2.



Slika 2. Spektralni prikaz dva zadana sinusna signala

U procesu amplitudne modulacije na ulazu u modulator (Slika 3.) imamo prenošeni signal $u_p(t)$, modulacijski signal $u_m(t)$, a na izlazu iz modulatora imamo tri signala:

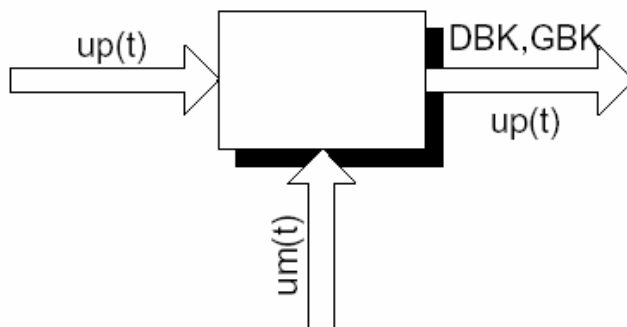
- signal amplitude $\frac{m_a}{2} U_{pm}$ sa frekvencijom $f_p - f_m$, kojeg zovemo **donja bočna komponenta**

(DBK) AM signala

- signal amplitude $\frac{m_a}{2} U_{pm}$ sa frekvencijom $f_p + f_m$, kojeg zovemo **gornja bočna komponenta**

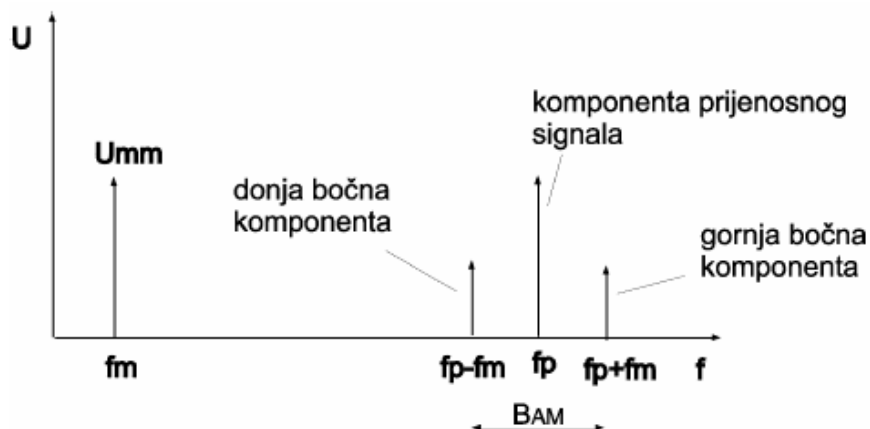
(GBK) AM signala, te

- nepromijenjen **prijenosni signal** sa amplitudom U_{pm} i sa frekvencijom f_p .



Slika 3. Blok shema AM modulatora sa pripadajućim signalima

Prema tome, kod modulacije jednom frekvencijom imati ćemo spektar signala prema Slici 4.



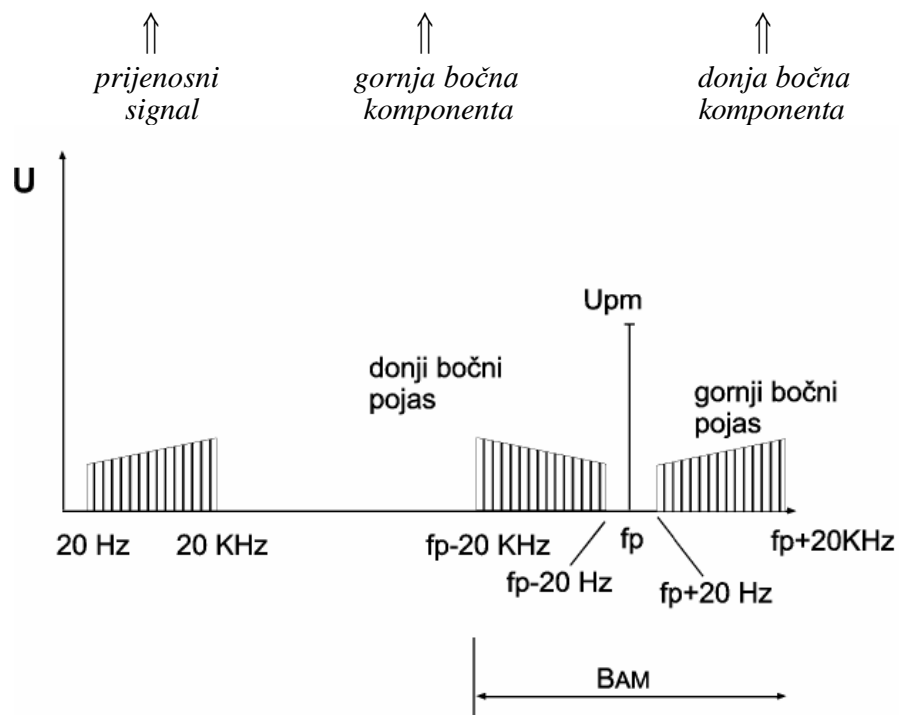
Slika 4. Spektar AM signala kod modulacije jednom frekvencijom

Međutim, informacija redovito sadrži niz frekvencija i niz amplituda tako da se spektar signala informacije prikazuje u obliku trokuta ili trapeza.

Prenošeni signal $u_p(t)$ sada se modulira nekom zvučnom informacijom koja, kao što znamo, obuhvata pojas od 20 Hz do 20 kHz (Slika 5.).

Za amplitudnu modulaciju, napon u vremenskoj domeni je:

$$u(t) = U_p \cdot \cos \omega_p t + 1/2 m_a U_p \cdot \cos(\omega_p + \omega_m)t + 1/2 m_a U_p \cdot \cos(\omega_p - \omega_m)t$$



Slika 5. Spektar AM signala kod modulacije pojasom frekvencija

Važan podatak kod svakog signala je širina pojasa frekvencija **B** kojeg on zauzima. U pravilu teži se da ona bude što manja, kako se ne bi narušio kvalitet informacije.

Za AM signal, širina pojasa B_{AM} je:

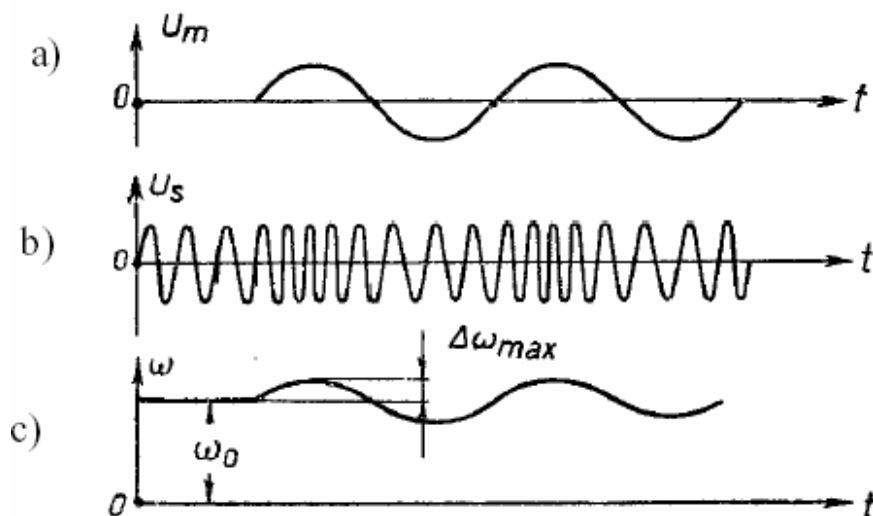
$$B_{AM} = 2f_{m \max}$$

Gdje je $f_{m \max}$, maksimalna frekvencija modulacijskog signala (u našem primjeru $B_{AM} = 40 \text{ kHz}$).

Frekvencijska modulacija (FM)

Frekvencijska modulacija nastaje kada se mijenja trenutna frekvencija prenošenog signala proporcionalno promjeni nivoa modulacijskog signala.

Vremenski prikaz FM signala prikazan je slikom 6.



Slika 6. Vremenski prikaz FM signala

Na slici 6.a je prikaz modulacijskog signala koji ima oblik sinusoida. Na slici 6.b se vidi promjena frekvencije prenošenog signala pri čemu se frekvencija za pozitivnu poluperiodu modulacionog signala povećava, a za negativnu smanjuje.

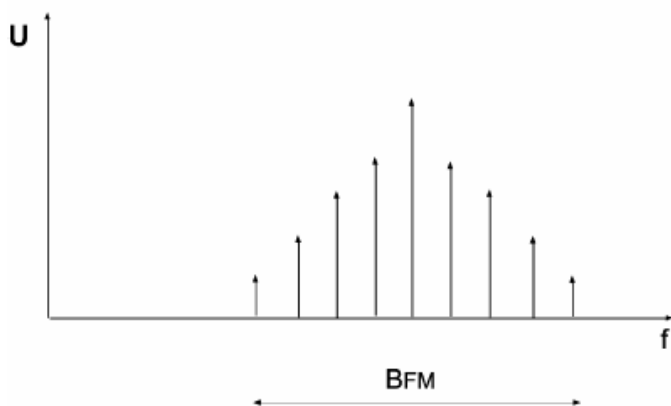
Na slici 6.c dijagram prikazuje promjenu frekvenciju oko neke srednje vrijednosti ω_0 . Maksimalnu promjenu frekvencije nazivamo devijacija frekvencije $\Delta \omega$ (Δf).

Indeks frekvencijske modulacije m_f se definiše kao odnos devijacije frekvencije i frekvencije modulacijskog signala.

$m_f = \Delta f / f_m$, gdje je:

Δf – devijacija frekvencije, a

f_m - frekvencija modulacijskog signala



Slika 7. Spektar FM signala

Širina spektra FM signala prikazana je slikom 7. i mnogo je veća nego širina spektra AM signala. U procesu frekventijske modulacije javlja se niz komponenata lijevo i desno od prenošene frekvencije na međusobnim udaljenostima koje se razlikuju za f_m , no njihove amplitude brzo opadaju tako da se uzima širina spektra koja pripada amplitudi od maksimalno 1 % amplitude prijenosnog signala.

$$B_{FM} = 2 f_m (m_f + 1) \text{ ili}$$

$$B_{FM} = 2 \Delta f$$

Fazna modulacija

Frekventijsku modulaciju (FM) i faznu modulaciju (PM), zajedničkim imenom nazivamo modulacija argumenta.

Ako imamo signal oblika $U_0(t) = U_{m0} \sin(\omega_0 t + \varphi_0)$, izraz u zagradi predstavlja argument funkcije ili kut, pa se ove modulacije nazivaju i kutnim.

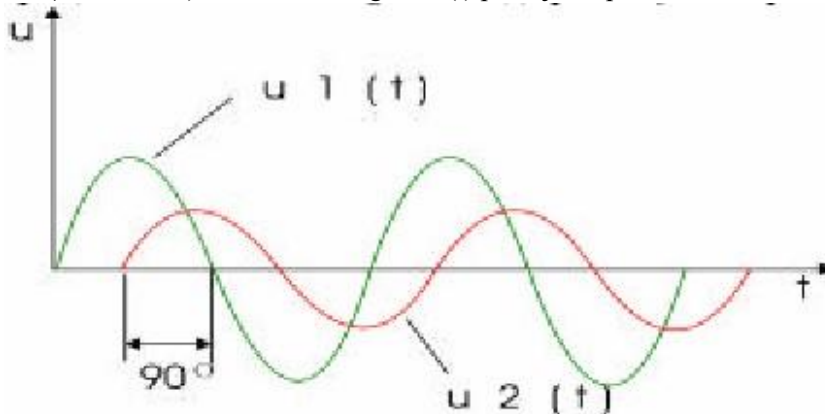
Referentnom fazom φ_0 ćemo smatrati onu koja će služiti samo za poredjenje sa nekim drugim sličnim signalom. Ako se poredjenje ne mora obaviti, može se smatrati da je $\varphi_0 = 0$.

Ako je drugi signal oblika:

$U_1(t) = U_{m1} \sin(\omega_0 t + \varphi_1)$, vidi se da su frekvencije oba signala jednake (ω_0), a različite su amplitude i faze.

Neka je, na primjer, razlika između faza φ_1 i φ_0 ,

$\varphi_1 - \varphi_0 = 90^\circ (\pi/4)$, što znači da signal $u_1(t)$ prednjači upravo za $\pi/4$ (slika 8.).



Slika 8. Fazni pomak između dva napona

Faznom modulacijom ujedno se dobija i FM signal, a frekventijskom modulacijom se dobiva PM signal.

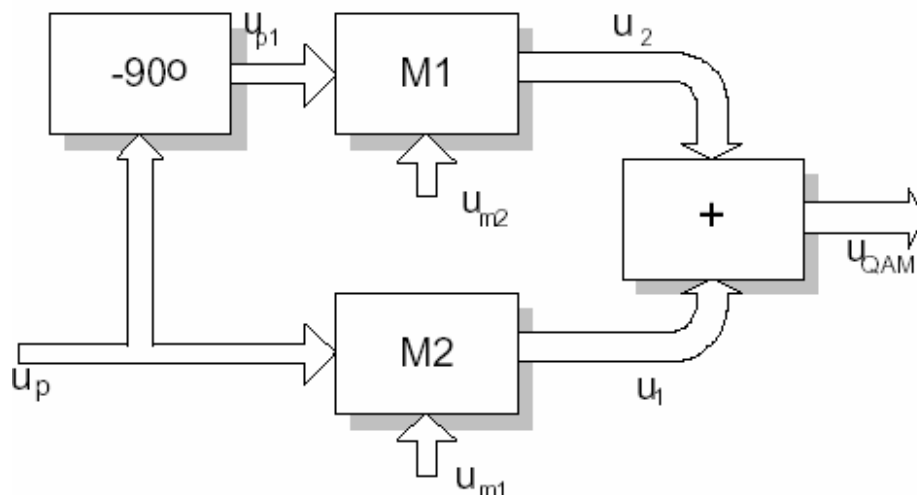
Koja je onda razlika među njima?

Kod PM-a je promjena faze proporcionalna promjeni amplitude modulacijskog signala, a kod FM je promjena frekvencije proporcionalna promjeni amplitude modulacijskog signala.

Kvadraturna amplitudna modulacija QAM

Kvadraturna amplitudna modulacija ili QAM je složeniji modulacijski postupak, koji se koristi kod prenosa TV signala i kod prenosa digitalnih signala.

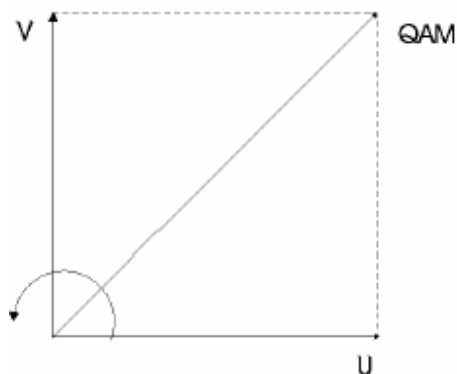
Ovom modulacijom postiže se to da se istom prenosnom signalu, pomoću amplitudne modulacije, utiskuju dva modulacijska signala (slika 9.).



Slika 9. Blok shema dobivanja QAM signala

Modulacijski signal u_{m1} modulira amplitudu prijenosnog signala u_p , dok istovremeno modulacijski signal u_{m2} , modulira amplitudu signala, koji je relativno fazno pomaknut za 90° u odnosu na signal u_p .

QAM signal se dobije zbrajanjem ta dva signala dakle sinusoide i kosinusoide istih frekvencija. Rezultantni modulirani signal u_{QAM} , će dakle imati promjenjivu amplitudu, ali i fazu u odnosu na nedomulirani signal (slika 10.).



Slika 10. Vektorski prikaz QAM signala

U i V su trenutne vrijednosti amplitude pojedinih moduliranih signala, a QAM je amplituda rezultantnog signala.

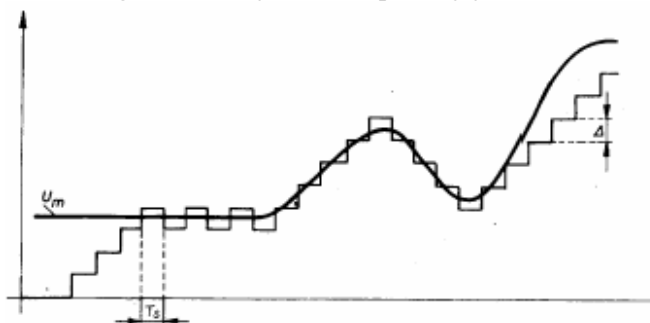
Delta modulacija (DM)

Delta modulacija se svodi na razliku između veličine susjednih uzoraka tj. je li sledeći uzorak veći, manji ili jednak prethodnome. Taj postupak se zove diferencijalna kvantizacija.

Kod delta modulacije (DM) ne upotrebljavaju se podaci o apsolutnim nivoima signala u trenucima uzimanja uzoraka, već samo podaci o predznaku promjene signala.

Na ulaz u delta modulator se dovodi analogni signal informacije. Delta modulator sam sekvencijalno generira uzorke signala ΔU , u vremenskim razmacima T_s , počevši od nekog slučajnog nivoa, uspoređuje ih sa signalom informacije pokušavajući ga "uhvatiti" (slika 11.)

Ako je nivo trenutnog uzorka veći od nivoa prethodnog modulator će na svom izlazu generisati signal koji odgovara znaku «1», a ako je ona niža tada se generiše «0». Ukoliko nema promjene u nivoima signala, naizmjenično se ponavljaju znakovi «1» i «0».



Slika 11. Princip nastanka DM signala

Na izlazu iz delta modulatora imat ćemo u prikazanom primjeru:
11110101011111000001111111

Kod DM nastaju dvije vrste grešaka kvantizacije:

- izobličenje signala zbog preopterećenja strminom i
- granulacijski šum

Preopterećenje strminom nastaje kada je korak ΔU premalen da bi slijedio nagle promjene ulaznog signala (zadnji dio krive na prethodnoj slici)

Granulacijski šum je posljedica prevelikog koraka ΔU zbog čega signal varira oko stvarnog nivoa ulaznog signala.

Ova modulacija je najprikladnija za modulaciju govornog signala.

Kako bi se izbjegle ove reške koristi se ADM – adaptivna delta modulacija.

Kod ove modulacije razlikuju se brze i spore promjene ulaznog signala, tako da se kod sporih promjena ulaznog signala uzima manji korak ΔU , a kod naglih promjena veći korak ΔU .

