

# PRENOS ANALOGNIH SIGNALA

Prenos analognih signala:

- U osnovnom opsegu učestanosti
- Modulisanim nosiocem

Obrada analognih signala ostvaruje se u predajniku na način što se jednom pomoćnom periodičnom determinističkom signalu modifikuju osnovni parametri, tako da on postane nosilac originalnog signala, a samim tim i prenošene poruke.

Postupak kojim se modifikuju parametri periodičnog signala u funkciji karakterističnih veličina izvornog signala, naziva se **modulacija**.

Cilj u postupku modulacije je da se signal obradi tako da bude podesan za prenos, odnosno da se njegove karakteristike prilagode karakteristikama transmisionog puta.

Signal koji je originalni nosilac poruke naziva se **modulišući signal**, pomoćni periodični signal se naziva **nosilac**, a modulišućim signalom modifikovani nosilac naziva se modulisani signal.

Na mjestu prijema primljeni modulisani signal mora da se podvrgne novoj obradi. Neminovan je inverzan proces: iz modulisanog signala treba “izvući” originalan signal koji nosi poruku. Takav postupak obrade modulisanog signala u prijemniku naziva se **demodulacija**, a na prijemu dobijeni originalan signal **demodulisani (detektovani) signal**.

Modulacija i demodulacija predstavljaju dva nerazdvojiva postupka u prenosu signala. Prvi je vezan za predajnik, a drugi za prijemnik. Sklop kojim se obavlja modulacija naziva se **modulator**, a sklop u kome se obavlja demodulacija **demodulator**. U opštem modelu komunikacionog sistema, modulator je sastavni dio kanalnog koda, a demodulator kanalnog dekodera. Zajedničkim imenom, obično se modulator i demodulator nazivaju: **modem**.

Obrada signala ima veliki značaj. Neke mogućnosti koje pruža modulacija su:

- Radio prenos poruka
- Frekvencijski multipleksni ili višekanalni sistemi prenosa.
- Veća zaštita prenošenog signala od uticaja smetnji u vidu šumova.
- Specijalnim postupcima modulacije signali se mogu zabilježiti i uskladištiti, što ima poseban značaj za njihovu reprodukciju u bilo kom vremenskom trenutku.

Postoje različiti načini za modulisanje nosilaca koji se mogu klasifikovati u nekoliko grupa. Podjela se može izvršiti prema talasnom obliku modulisanog signala:

- 1) postupci u kojima je modulisani signal kontinualan,
- 2) one u kojima se kao rezultat modulacije dobija signal impulsnog talasnog oblika (naredni semestar).

Kod postupaka u kojima se dobija kontinualan modulirani signal kao nosilac se koristi signal sinusoidalnog talasnog oblika. On ima tri karakteristična parametra: amplitudu, učestanost i fazu.

Na svaki od ovih parametara se može posebno uticati, tako što se izabrani parametar mijenja direktno srazmjerno modulišućem signalu.

U skladu sa tim razlikuje se:

- a) **Amplitudska modulacija (AM)** - amplituda nosioca postaje direktno proporcionalna modulišućem signalu;
- b) **Frekvencijska modulacija (FM)** - učestanost nosioca postaje direktno proporcionalna modulišućem signalu;
- c) **Fazna modulacija (FM)** - faza nosioca postaje direktno proporcionalna modulišućem signalu.

Poslednja dva modulaciona postupka se nazivaju zajedničkim imenom **ugaona modulacija (UM)**.

## AMPLITUDSKA MODULACIJA (AM)

AM spada u grupu linearnih modulacionih postupaka u kojima se koristi kontinualni nosilac sinusoidalnog talasnog oblika.

Kod linearnih modulacionih postupaka modulacija se svodi na translaciju spektra modulišućeg signala u domen viših učestanosti, pri čemu ne dolazi do generisanja novih spektralnih komponenti.

U procesu ove modulacije amplituda nosioca modifikuje se tako da ona postane vremenska funkcija direktno srazmjerna modulišićem signalu.

Postoji nekoliko vrsta amplitudski moduliranih signala. Oni se međusobno razlikuju po tome koji se karakteristični dio spektra moduliranog signala prenosi, pa se definišu:

1. AM signal sa dva bočna opsega (AM-2BO)
2. AM signal sa dva bočna opsega i nosiocem – konvencionalni AM signal (KAM)
3. AM signal sa jednim bočnim opsegom (AM-1BO)
4. AM signal sa nesimetričnim bočnim opsezima (AM-NBO)

Inverzan proces - demodulacija AM signala je takođe linearan proces i predstavlja translaciju spektra iz domena viših u domen nižih učestanosti.

## PRODUKTNNA MODULACIJA-PRINCIP DOBIJANJA AM SIGNALA

Kod AM nosilac je kontinualan, oblika:

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

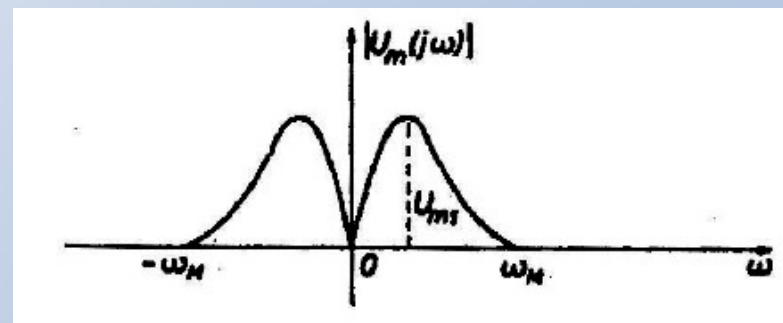
$U_0 = \text{const.}$  je amplituda napona nosioca,  $\omega_0 = 2\pi f_0$  njegova kružna učestanost.

Neka je sa  $u_m(t)$  označen električni ekvivalent poruke (modulišući signal).

Pretpostavimo da modulišući signal ima sledeće osobine:

- da je njegova srednja vrijednost jednaka nuli;
- da je njegov spektar ograničen učestanošću  $\omega_M$

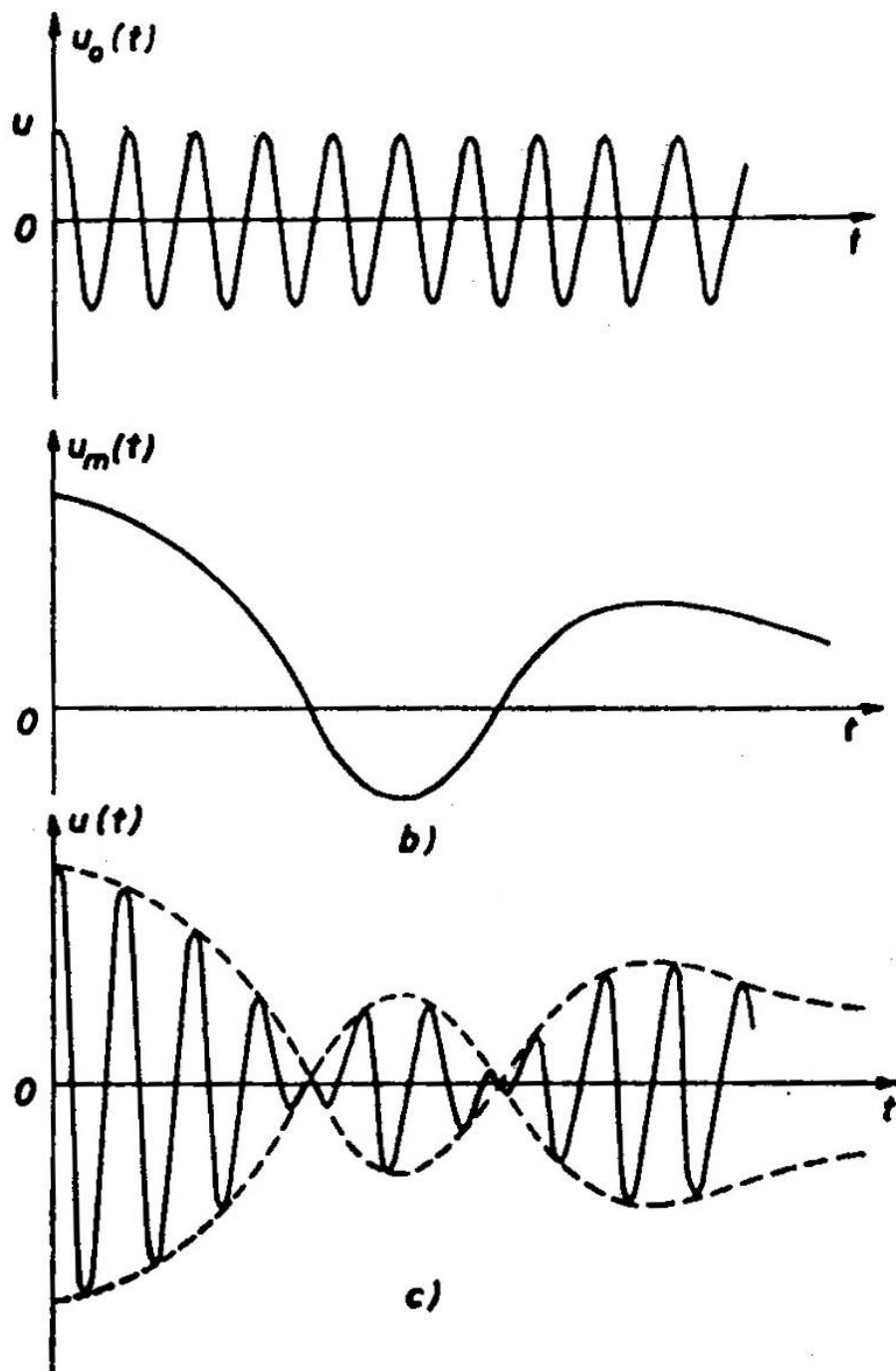
$$U_m(j\omega) = \begin{cases} U_m(j\omega) & |\omega| < \omega_M \\ 0 & |\omega| > \omega_M \end{cases}$$



Amplitudska modulacija podrazumijeva modifikaciju amplitude nosioca tako da ona u procesu modulacije postaje direktno srazmjerna modulišućem signalu. Stoga izraz za amplitudski modulirani signal treba da bude u obliku:

$$u_{AM}(t) = k_U u_m(t) \cos \omega_0 t$$

$k_U$  predstavlja neku konstantu proporcionalnosti. Veličina  $k_U u_m(t)$  može da se shvati kao promjenljiva amplituda koja nosi poruku.



Na slici su prikazane funkcije koje predstavljaju nosilac, modulišući i modulisani signal. Uočava se da je anvelopa modulisanog signala direktno srazmjerna modulišućem signalu.

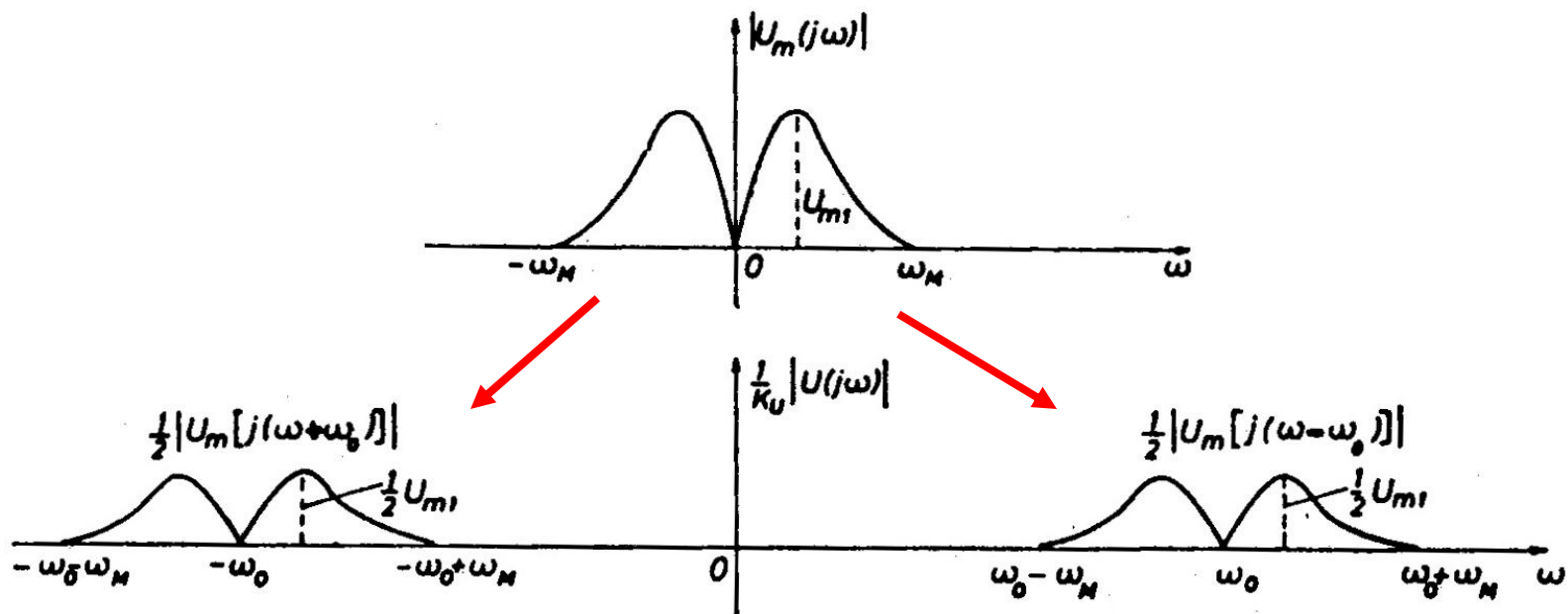
Iz izraza za AM signal vidi se da se on dobija kao proizvod dvije funkcije:  $k_U u_m(t)$  i  $\cos \omega_0 t$ . Stoga se modulacija zasnovana na ovom principu naziva **produktna modulacija**, a sklopovi pomoću kojih se ona realizuje nazivaju se **produktivnim modulatorima**.

*Slika: a) Nosilac b) modulišući signal c) modulisani signal*

Spektar dobijenog AM signala (primjenom Fourier-ove transformacije):

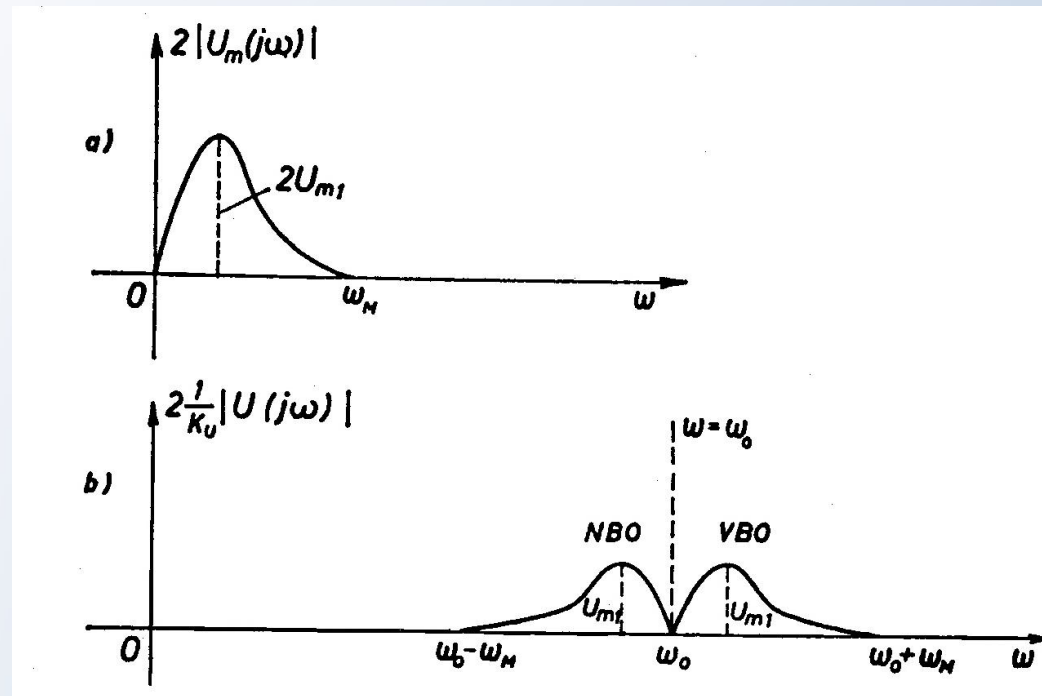
$$U(j\omega) = \frac{1}{2}k_U U_m [j(\omega - \omega_0)] + \frac{1}{2}k_U U_m [j(\omega + \omega_0)]$$

Zaključujemo da se množenjem signala i nosioca u vremenskom domenu vrše dvije translacije u frekvencijskom domenu, jedna za vrijednost učestanosti nosioca  $\omega_0$  i druga za  $-\omega_0$ .



Slika: Na gornjoj slici je spektralna gustina amplituda modulišućeg signala  $u_m(t)$ , a na donjoj spektralna gustina amplituda modulisanog signala  $u(t)/k_U = u_m(t)\cos \omega_0 t$

Poslije izvršene amplitudske modulacije širina spektra je dva puta veća od širine spektra modulišućeg signala. Spektar koji se nalazi u opsegu učestanosti  $(\omega_0 \div \omega_0 + \omega_M)$  naziva se **višim bočnim opsegom** (VBO), a njemu simetričan spektar u opsegu  $(\omega_0 - \omega_M \div \omega_0)$  **nižim bočnim opsegom** (NBO).



Slika: a) Spektralna gustina amplituda modulišućeg signala  $u_m(t)$   
 b) spektralna gustina amplituda modulisanog signala  $u(t)/k_U = u_m(t)\cos \omega_0 t$   
 u slučaju kada se uzmu u obzir samo pozitivne učestanosti.

- Oblik i jednog i drugog bočnog opsega ostao je isti kao i oblik spektra modulišućeg signala. Znači, modulirani signal vjerno nosi u sebi prenošenu poruku.
- Cilj modulacije je translacija spektra modulišućeg signala za vrijednost  $\omega_0$ .
- Prenošeni signal  $u_m(t)$ , u svom osnovnom opsegu učestanosti, ima spektar koji zauzima opseg:

$$B_{NF} = f_M - 0 = f_M$$

Modulirani signal zauzima dva puta širi opseg učestanosti :

$$B_{VF} = (f_0 + f_M) - (f_0 - f_M) = 2f_M = 2B_{NF}$$

Modulirani signal ima dva bočna opsega, i ovaj tip amplitudski moduliranog signala naziva se AM signal sa dva bočna opsega (AM-2BO). I viši i niži bočni opseg imaju oblik spektra modulišućeg signala, pa je za prenos željene poruke u principu dovoljno prenositi samo jedan bočni opseg. Takav AM signal se naziva AM signal sa jednim bočnim opsegom (AM-1BO).

# REALIZACIJA PRODUKTNE MODULACIJE

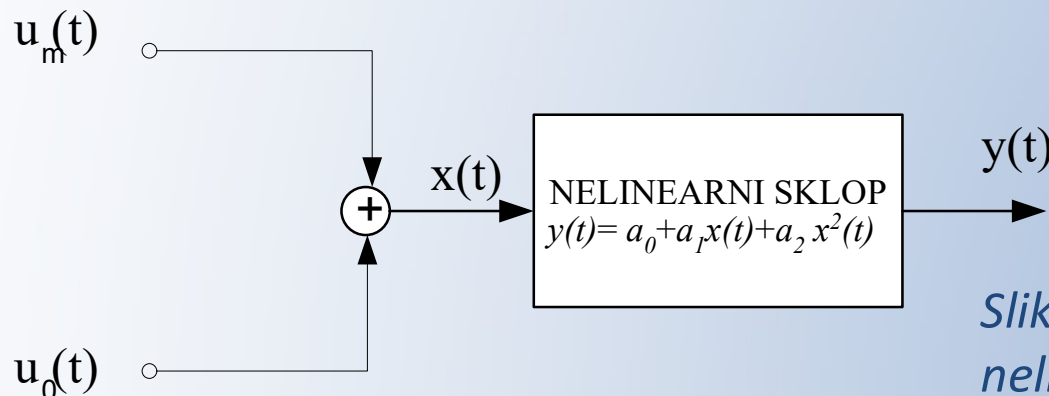
## 1. POMOĆU NELINEARNIH SKLOPOVA

Svaki električni sklop koji posjeduje nelinearnu karakteristiku "izlaz-ulaz" može da posluži kao produktni modulator.

Pretpostavimo zato da imamo neki nelinearan sklop čija je karakteristika "izlaz - ulaz " data polinomom oblika:

$$y(t) = a_0 + a_1 x(t) + a_2 x^2(t) + \dots$$

U ovoj relaciji  $x(t)$  predstavlja ulazni, a  $y(t)$  izlazni signal, dok su  $a_0$ ,  $a_1$ ,  $a_2 \dots$  konstante. U ovom razmatranju, biće pretpostavljena kvadratna karakteristika. Nelinearni sklop se može iskoristiti na sledeći način:



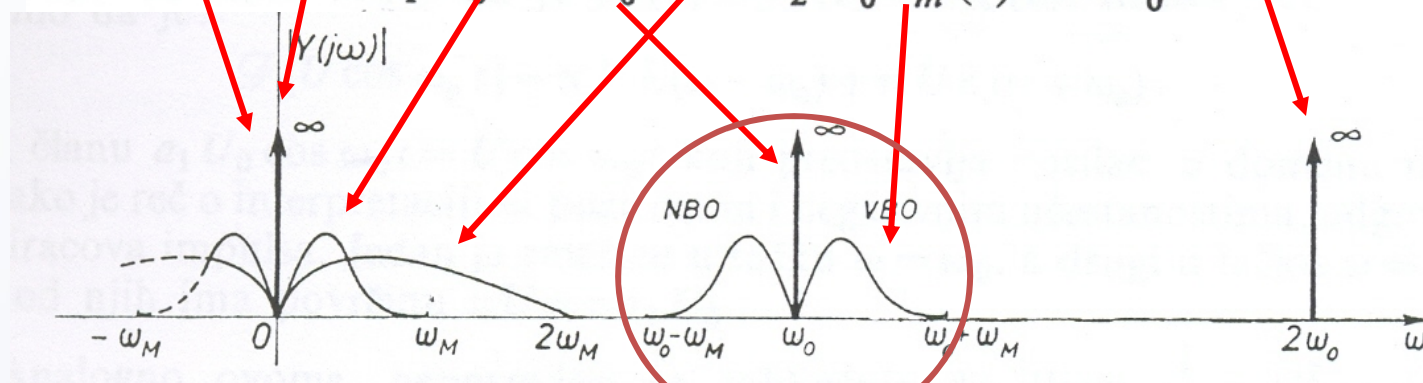
*Slika: Realizacija AM pomoću nelinearnog sklopa*

Na izlazu iz ovog sklopa se dobija signal oblika:

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

$$= a_0 + \frac{1}{2} a_2 U_0^2 + a_1 u_m(t) + a_2 u_m^2(t) + \frac{1}{2} a_2 U_0^2 \cos 2\omega_0 t +$$

$$+ a_1 U_0 \cos \omega_0 t + 2 a_2 U_0 u_m(t) \cos \omega_0 t$$



- Prva dva člana predstavljaju jednosmjernu komponentu (u spektru Diracov impuls na učestanosti 0);
- Treći član predstavlja modulišući signal;
- Četvrti član je kvadrat modulišućeg signala koji ima dva puta širi spektar;
- Peti član je deterministički signal dva puta veću učestanosti od nosioca (Diracov impuls na učestanosti  $2\omega_0$ );
- Šesti član predstavlja nosilac;
- Poslednji član je korisni produkt modulacije (AM signal).

**Znači, svi članovi osim poslednjeg predstavljaju neželjene komponente (parazite) u slučaju koji posmatramo.**

Da bi se dobio amplitudski modulisan signal potrebno je iz spektra izlaznog signala izdvojiti željeni član. To se jednostavno može ostvariti pomoću filtra propusnika opsega učestanosti u opsegu  $(\omega_0 - \omega_M \div \omega_0 + \omega_M)$ . Pri tome se mora izbjeći eventualno preklapanje ove komponente sa ostalim. Sa slike je jasno da treba da je zadovoljen uslov:

$$\omega_0 - \omega_M \geq 2\omega_M \quad \text{tj.} \quad \omega_0 \geq 3\omega_M$$

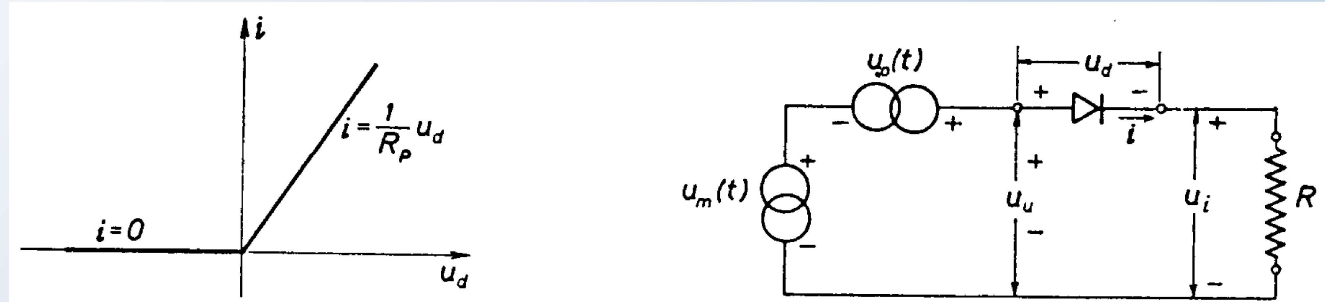
U sredini opsega postoji nosilac, tj. filter propušta dva bočna opsega i nosilac. Nemoguće je napraviti filter koji bi izdvojio samo dva bočna opsega, a ne i nosilac. Zato se za dobijanje AM signala sa dva bočna opsega primjenjuju specijalni postupci. Prisustvo nosioca ne utiče na poruku, ali je “višak” sa stanovišta snage. Ova kombinacija: nosilac, niži i viši bočni opseg naziva se konvencionalni amplitudski modulisani signal (KAM).

Za nelinearni sklop reda 3 povećava se broj komponenti (pored ovih navedenih za 2, još 6 novih), ali ni jedna od njih ne predstavlja korisnu komponentu.

✓ **Zaključak:** Za dobijanje AM signala pomoću nelinearnih sklopova dovoljna je nelinearnost sklopa reda 2.

## 2. APROKSIMACIJA PRODUKTNE MODULACIJE POMOĆU PREKIDAČKIH SKLOPOVA

Ovi sklopovi imaju dva režima rada. Najprostiji primjer prekidačkog sklopa je poluprovodnička dioda.



*Slika: Idealizovana karakteristika poluprovodničke diode; Tipično kolo linearnog prekidača*

U ovom slučaju nosilac nije sinusoidalna funkcija, već je povorka pravougaonih impulsa. Izraz za napon ovog signala može da se nađe na osnovu Fourier-ove analize i ima oblik:

$$u_0(t) = 2 U_0 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin \frac{n \pi}{2}}{\frac{n \pi}{2}} \cos n \omega_0 t$$

Za diodu važi:

$$i = \begin{cases} \frac{1}{R_p} u_d & u_d > 0 \\ 0 & u_d \leq 0 \end{cases}$$

$R_p$  predstavlja otpornost diode u propusnom smjeru. Izlazni napon  $u_i$  na otporniku  $R$  zavisi od režima rada diode. Kada je u kolu uspostavljen protok el. energije (napon na diodi  $u_d > 0$ ) važi:

$$u_d(t) = -Ri(t) + u_0(t) + u_m(t)$$

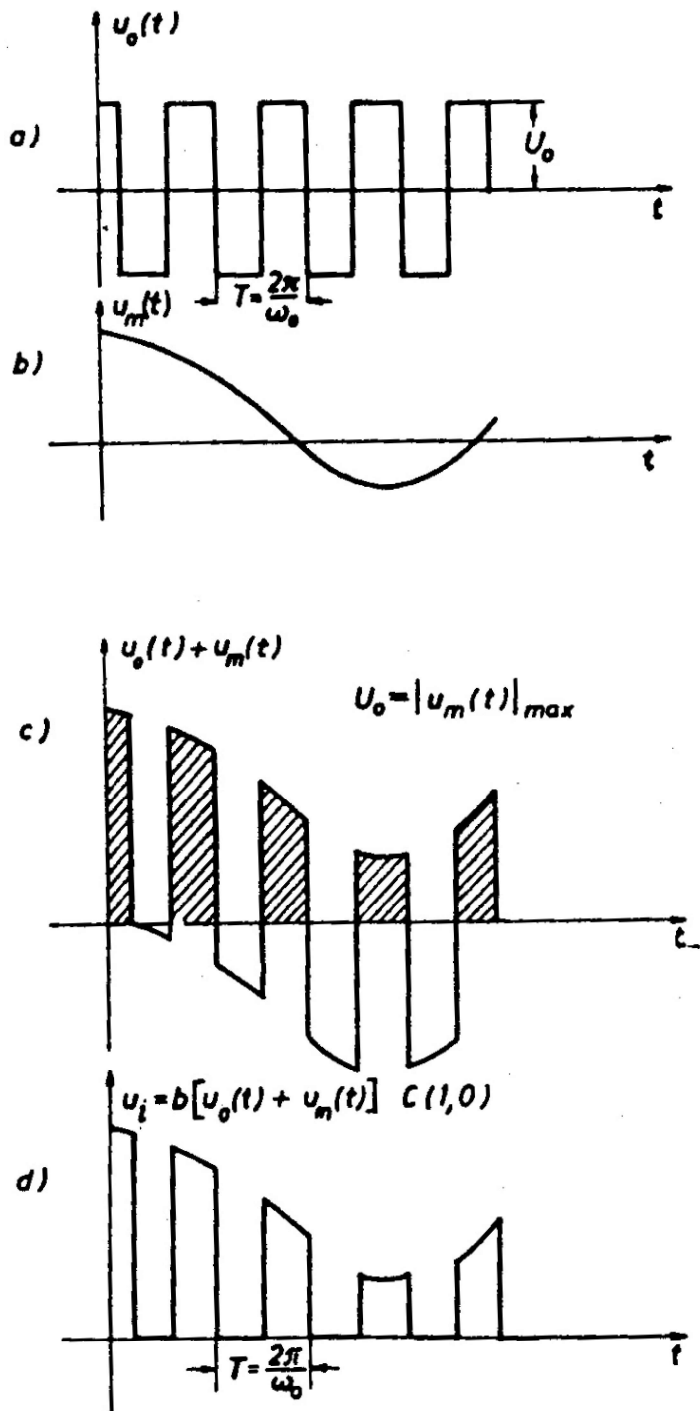
tj.

$$u_d(t) = \frac{1}{1 + \frac{R_p}{R}} [u_0(t) + u_m(t)]$$

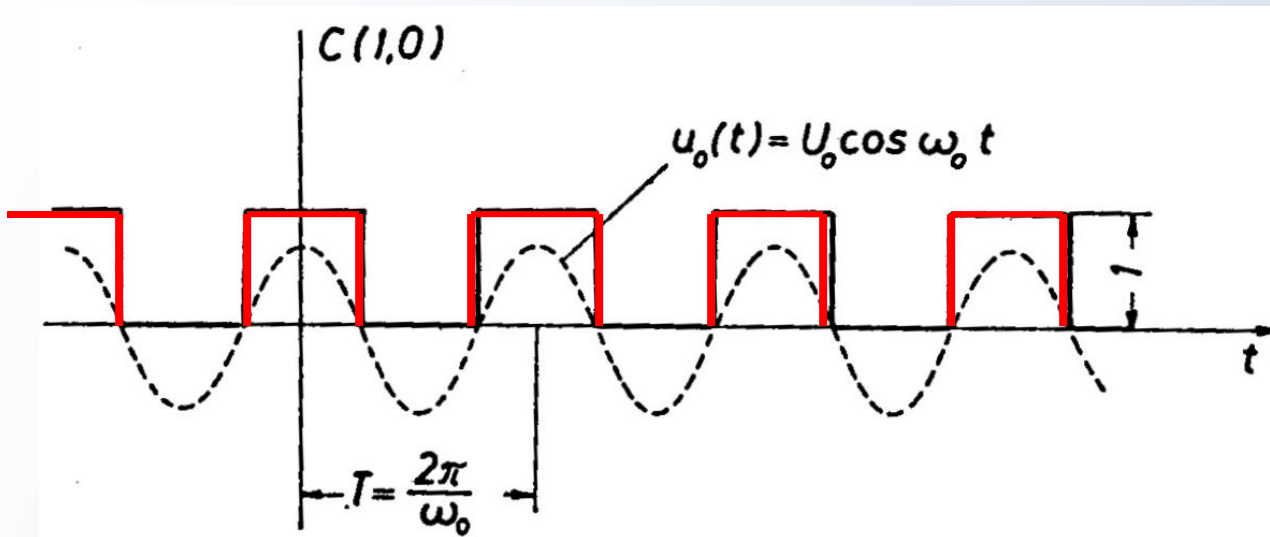
$$u_i(t) = \frac{u_d(t) R_p}{R_p + R} = \frac{R}{R_p + R} [u_0(t) + u_m(t)]$$

Kada nema protoka el.energije,  $u_i = 0$ .

Slika: Vremenski dijagrami pojedinih napona a) napon nosioca  $u_0(t)$ ; b) modulišući signal  $u_m(t)$ ; c) suma napona  $u_0(t) + u_m(t)$ ; d) talasni oblik izlaznog napona  $u_i$



Sa  $C(1,0)$ , je označena prekidačka funkcija koja u pozitivnim poluperiodama nosioca ima vrijednost 1, a u njegovim negativnim poluperiodama vrijednost 0.



$$C(1,0) = \begin{cases} 1, & u_0 > 0 \\ 0, & u_0 < 0 \end{cases}$$

$$C(1,0) = \frac{C(1,-1) + 1}{2}$$

$$C(1,0) = \frac{1}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin \frac{n\pi}{2}}{\frac{n\pi}{2}} \cos n\omega_0 t = \frac{1}{2} + \frac{2}{\pi} \cos \omega_0 t - \frac{1}{3} \frac{2}{\pi} \cos 3\omega_0 t + \frac{1}{5} \frac{2}{\pi} \cos 5\omega_0 t + \dots$$

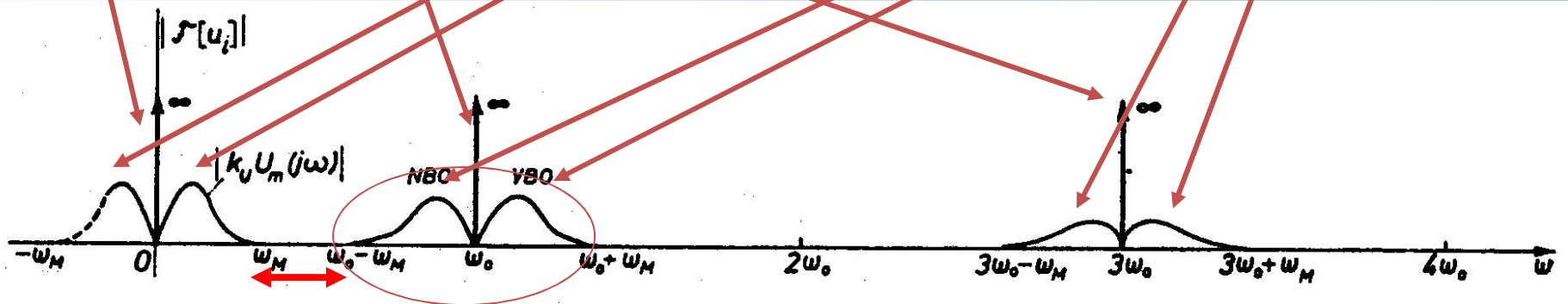
$C(1,-1)$  predstavlja povorku naizmjeničnih pravougaonih impulsa čije su amplitude u pozitivnim poluperiodama jednake 1, a u negativnim -1.

$C(1,0)$  se naziva **prekidačka funkcija**, a  $C(1,-1)$  **komutaciona funkcija**.

Sada je izlazni napon oblika:

$$u_i(t) = \frac{R}{R + R_d} (U_0 + u_m(t)) C(1,0) = \frac{R}{R + R_d} (U_0 + u_m(t)) \left( \frac{1}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin \frac{n\pi}{2}}{\frac{n\pi}{2}} \cos n\omega_0 t \right) =$$

$$= \frac{RU_0}{2(R + R_d)} + \frac{RU_0}{R + R_d} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin \frac{n\pi}{2}}{\frac{n\pi}{2}} \cos n\omega_0 t + \frac{R}{2(R + R_d)} u_m(t) + \frac{R}{R + R_d} u_m(t) \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin \frac{n\pi}{2}}{\frac{n\pi}{2}} \cos n\omega_0 t$$



$$\omega_0 \geq 2\omega_M$$

Slika: Spektralna gustina amplituda signala  $u_i$

Iz izraza za izlazni signal, kao i sa slike koja predstavlja njegov spektar, vidi se da se pomocu linearnog prekidača može ostvariti produktna modulacija:

Prvi član u izrazu predstavlja jednosmjernu komponentu, drugi član beskonačno mnogo nosilaca na učestanostima  $n\omega_0$ ,  $n=1, 3, 5, \dots$ , treći član predstavlja signal poruke, dok poslednji član predstavlja beskonačno mnogo AM komponenti na učestanostima  $n\omega_0$  kojima u domenu učestanosti odgovaraju dva bočna opsega lijevo i desno od učestanosti  $n\omega_0$ .

Da bi se dobio željeni amplitudski modulisani signal pomjeren na učestanost  $\omega_0$  potrebno je dobijeni signal propustiti kroz filter propusnik opsega učestanosti  $(\omega_0 - \omega_m \div \omega_0 + \omega_m)$ . Izdvajanje filtrom će biti usješno ako nema preklapanja komponenti, tj. ako je ispunjen uslov:

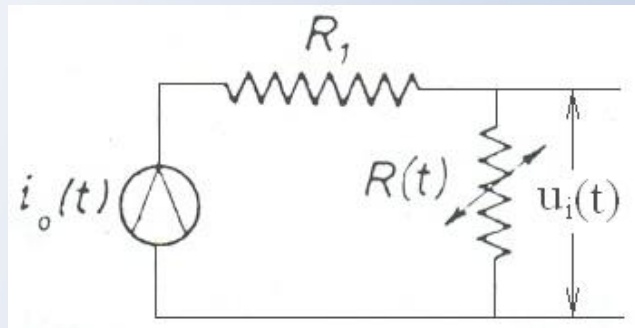
$$\omega_0 - \omega_M \geq \omega_M, \text{ tj. } \omega_0 \geq 2\omega_M$$

Da bi filtriranje bilo uspješno učestanost nosioca mora biti bar dva puta veća od maksimalne učestanosti modulišućeg signala.

### 3. METODA VARIJACIJE PARAMETARA

Metoda varijacije parametara ili ***parametarska modulacija*** se zasniva na mogućnosti da se neki od parametara linearnog kola mijenja srazmjerno modulišućem signalu. Riječ je o klasi linearnih kola sa vremenski promjenljivim parametrima.

Posmatrajmo neko pasivno linearno kolo sastavljeno od R, L i C elemenata. Ako se jedan, bilo koji, od ovih parametara mijenja u vremenu kaže se da se radi o kolu sa promjenljivim parametrima. Ako se otpornost R otpornika mijenja u vremenu, tako da su njegove promjene srazmjerne modulišućem signalu ( $R(t)=ku_m(t)$ ) tada je izlazni napon oblika  $u_i(t)=R(t)i_o(t)$ .



*Slika: Linearno kolo sa promjenljivim parametrom  $R(t)$*

Slično je ako se mijenja kapacitivnost kondenzatora ( $q(t)=C(t)u(t)$ ), ili induktivnost kalema ( $\varphi(t)=L(t)i(t)$ ). Međutim, ovakve realizacije nisu našle neku ozbiljniju primjenu u telekomunikacijama. Ovaj metod više teorijski nego praktični značaj jer su elementi mehanički sa velikim stepenom inertnosti.

# VRSTE AM SIGNALA I PRINCIPI IZGRADNJE MODULATORA

Produktnom modulacijom se uvijek dobija amplitudski modulisani signal čiji se spektar sastoji iz nižeg i višeg bočnog opsega. Svaki od ovih bočnih opsega sadrži prenošenu poruku, pa je za prenos poruke potrebno i dovoljno prenijeti sve komponente iz samo jednog bočnog opsega. Međutim, postoje opravdani razlozi zašto se koriste modulacioni postupci za generisanje AM-2BO signala:

- čak i kada bi imali idealan produktni modulator koji na svom izlazu daje samo dva bočna opsega, postavlja se problem selekcije jednog od njih (pitanje filtra koji može uspješno da izdvoji jedan bočni opseg)
- ako je riječ o modulacionim postupcima koji pored ova dva bočna opsega daju i druge, nekorisne produkte, problem filtriranja željene komponente postaje još ozbiljniji
- veliki uticaj ima i pitanje demodulacije koja treba da predstavlja proces inverzan modulaciji. Pošto se modulacijom vrši transliranje spektra signala za učestanost nosioca  $\omega_0$ , demodulacijom se vrši translacija spektra modulisanog signala za  $-\omega_0$ . Za to je na prijemu potreban pomoćni signal identičan nosiocu, koji KAM signal obezbjeđuje.

Navedeni primjeri sadrže kontradiktorne argumente za izbor rješenja:

- prenos dva bočna opsega zahtijeva dva puta širi opseg učestanosti za prenos iste poruke;
- prenos jednog od njih dozvoljava bolje iskorišćenje raspoloživog opsega učestanosti, ali su potrebni posebni filtri i komplikovaniji uređaji;
- ako se prenosi i nosilac, demodulacija je lakša, ali se troši predajna snaga za prenos ove komponente i svi pojačavači moraju biti predviđeni za veću snagu.

Bira se ono rješenje koje u datim okolnostima predstavlja tehničko-ekonomski kompromis.

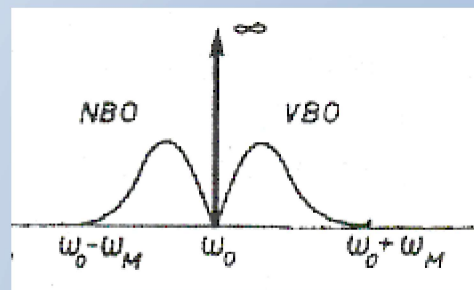
## AM SIGNALI SA DVA BOČNA OPSEGA – AM-2BO

AM-2BO signal se može dobiti pomoću sklopova sa nelinearnom karakteristikom, pomoću prekidačkih sklopova i kola sa varijacijom parametara. Međutim, u tim slučajevima je problem izdvajanje dva bočna opsega koja se nalaze u okolini učestanosti nosioca od ostalih produkata modulacije, a naročito eliminisanje nosioca.

***Balansni modulatori*** omogućavaju dobijanje AM-2BO signala koji ne sadrži nosilac.

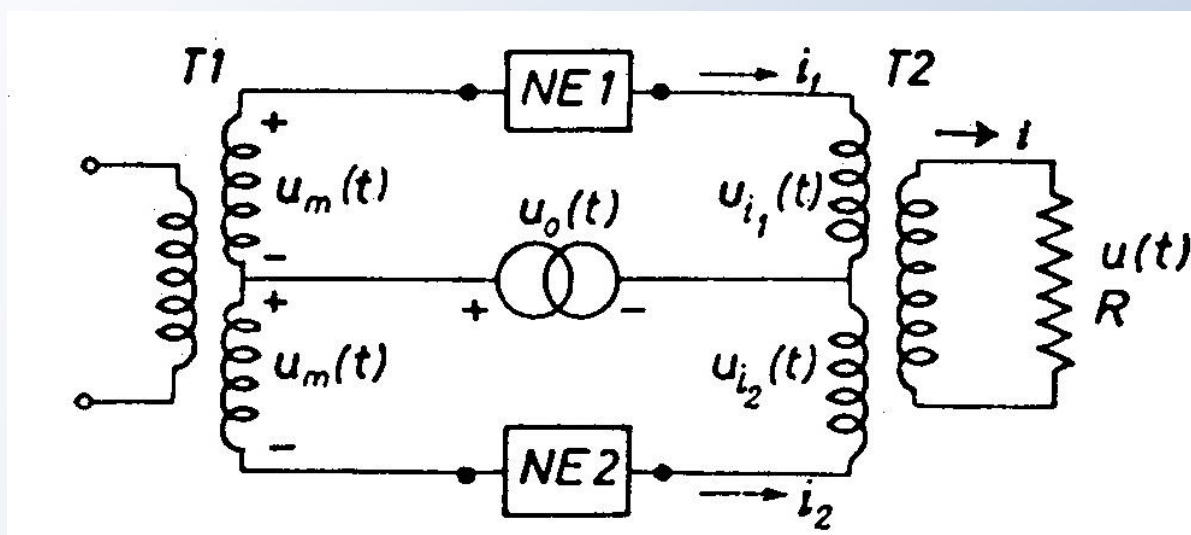
Dva tipa modulatora:

1. balansni nelinearni modulator
2. balansni prekidački modulator



## 1. BALANSNI NELINEARNI MODULATOR

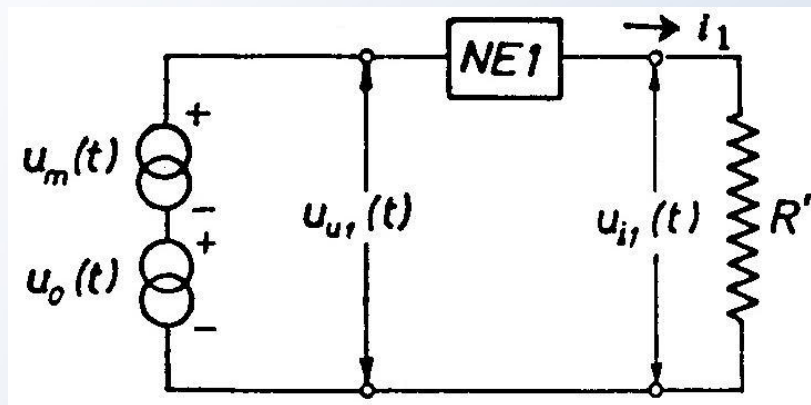
Ovaj modulator se realizuje pomoću dva nelinearna elementa označena sa NE1 i NE2, kao na slici. Pretpostavimo da je ova karakteristika kvadratna, jer članovi višeg reda od 2 ne doprinose dobijanju korisne komponente.



Slika: Šema nelinearnog balansnog modulatora

Transformatori T1 i T2 su takvi da ako je T1 odnosa 1:n, onda je T2 n:1. Na primarne krajeve transformatora T1 se vezuje izvor modulišućeg signala tako da je na svakoj polovini sekundara napon  $u_m(t)$ . Nelinearni elementi NE1 i NE2 moraju da imaju potpuno **identične** karakteristike.

a) Analiza gornje polovine šeme:  
Njoj ekvivalentna šema je na slici.



*Slika: Ekvivalentna šema gornjoj polovini šeme nelinearnog balansnog modulatora*  
 $R'$  je otpornost ekvivalentnog otpornika.  
 Zavisnost izlaznog napona od ulaznog je:

$$u_{i1}(t) = a_0 + a_1 u_{u1}(t) + a_2 u_{u1}^2(t)$$

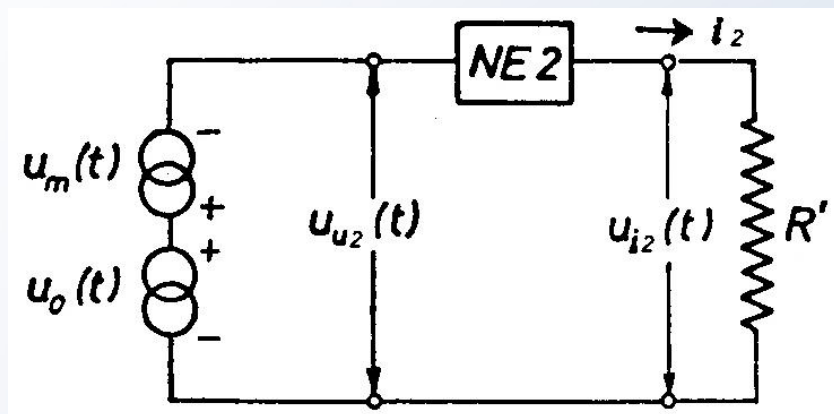
Kako je ulazni signal:

$$u_{u1}(t) = u_0(t) + u_m(t)$$

to će izlazni napon na krajevima ekvivalentnog otpornika  $R'$  biti:

$$u_{i1}(t) = a_0 + a_1 [u_0(t) + u_m(t)] + a_2 [u_0(t) + u_m(t)]^2$$

b) Slično je za donju polovinu šeme.



*Slika: Ekvivalentna šema donjoj polovini šeme nelinearnog balansnog modulatora*

U ovom slučaju ulazni napon će biti:

$$u_{u2}(t) = u_o(t) - u_m(t)$$

pa je napon na krajevima otpornika  $R'$ :

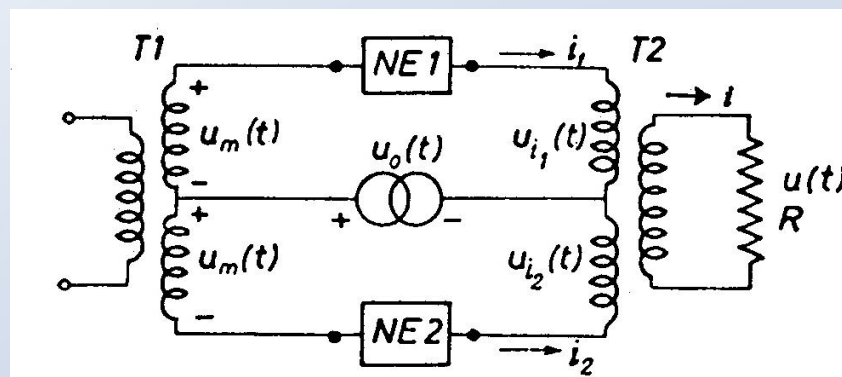
$$u_{i2}(t) = a_0 + a_1[u_o(t) - u_m(t)] + a_2[u_o(t) - u_m(t)]^2$$

Pretpostavljajući da je izlazni transformator T2 idealan, struja  $i$  u kolu sekundara biće proporcionalna razlici struja  $i_1 - i_2$ , odnosno napona  $u_{i1} - u_{i2}$ .

$$u_{i1}(t) - u_{i2}(t) = 2a_1 u_m(t) + 4a_2 u_m(t) u_0(t)$$

Napon  $u_i(t)$  na krajevima potrošača R je:

$$u(t) = 2ka_1 u_m(t) + 4ka_2 U_0 u_m(t) \cos \omega_0 t$$



Na izlazu iz modulatora dobio se modulišući signal i drugi član koji predstavlja modulisani signal tipa AM-2BO, nosioca nema. Zahvaljujući simetriji gornje i donje polovine šeme i identičnosti karakteristika nelinearnih elemenata NE1 i NE2, fluksevi koji potiču od napona nosioca su u protivfazi, pa se poništavaju. Korisni produkt modulacije izdvaja se filtrom propusnikom opsega učestanosti. Da bi to bilo moguće, potrebno je da je maksimalna učestanost u spektru modulišućeg signala  $u_m(t)$  i učestanost nosioca zadovoljavaju uslov:

$$\omega_0 - \omega_M \geq \omega_M, \text{ tj. } \omega_0 \geq 2\omega_M$$

## 2. BALANSNI PREKIDAČKI MODULATOR

Sastoji se od prekidačkih elemenata u izbalansiranim električnim šemama tako da se dobija signal sa dva bočna opsega bez nosioca.

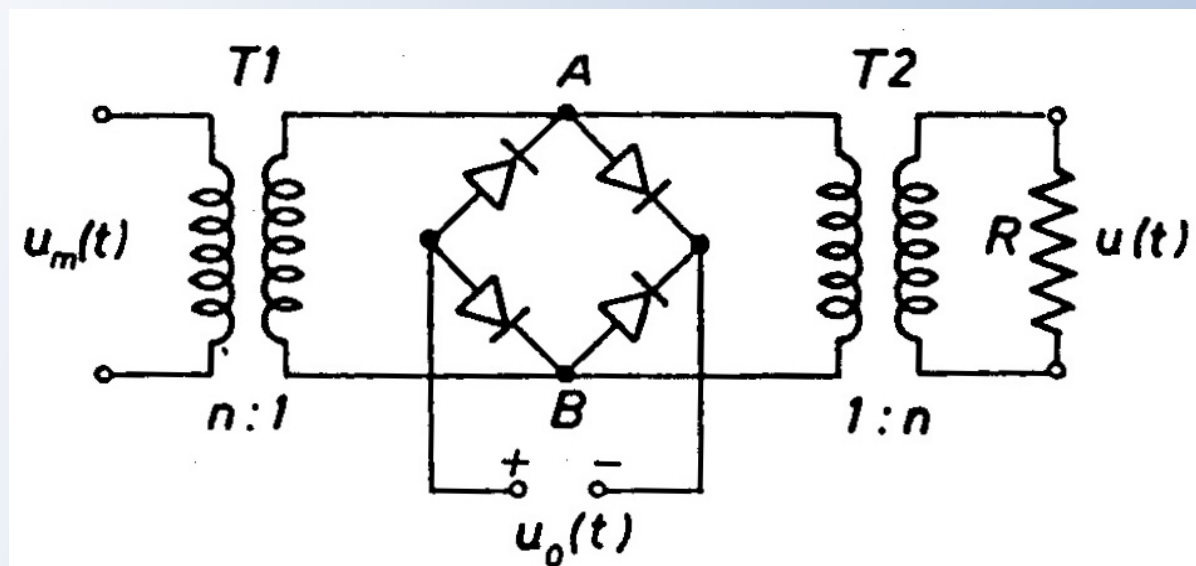
Postoji nekoliko različitih šema koje se realizuju preko transformatora i prekidačkih elemenata:

- balansni prekidački modulator paralelnog tipa
- balansni prekidački modulator rednog tipa
- kružni modulator

## BALANSNI PREKIDAČKI MODULATOR PARALELNOG TIP

Pretpostavke:

- transformatori su komplementarni
- kao prekidački elementi koriste se poluprovodničke diode
- diode su međusobno identične i idealne (otpornost u propusnom smjeru je 0, u nepropusnom beskonačna)
- kao u slučaju prekidačkih sklopova  $|u_m(t)|_{\max} \ll U_0$  (smatramo da približno važi da nosilac otvara i zatvara diode)

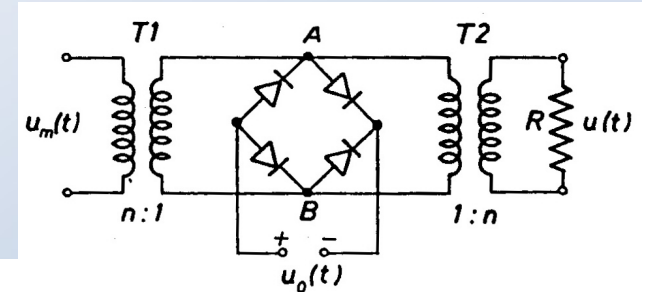


*Slika: Balansni prekidački modulator paralelnog tipa*

U pozitivnim poluperiodama nosioca, napon na krajevima primara izlaznog transformatora je nula, a u negativnim poluperiodama proporcionalan naponu  $u_m(t)$ . Izlazni napon je oblika:

$$u(t) = u_m(t)[1 - C(1,0)]$$

$C(1,0)$  je prekidačka funkcija. Sada je izlazni signal:



$$u(t) = u_m(t) \left( \frac{1}{2} - \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin \frac{n\pi}{2}}{\frac{n\pi}{2}} \cos n\omega_0 t \right) = \frac{1}{2} u_m(t) - \frac{2}{\pi} u_m(t) \cos \omega_0 t +$$

$$+ \frac{1}{3} \frac{2}{\pi} u_m(t) \cos 3\omega_0 t - \frac{1}{5} \frac{2}{\pi} u_m(t) \cos 5\omega_0 t + \dots +$$

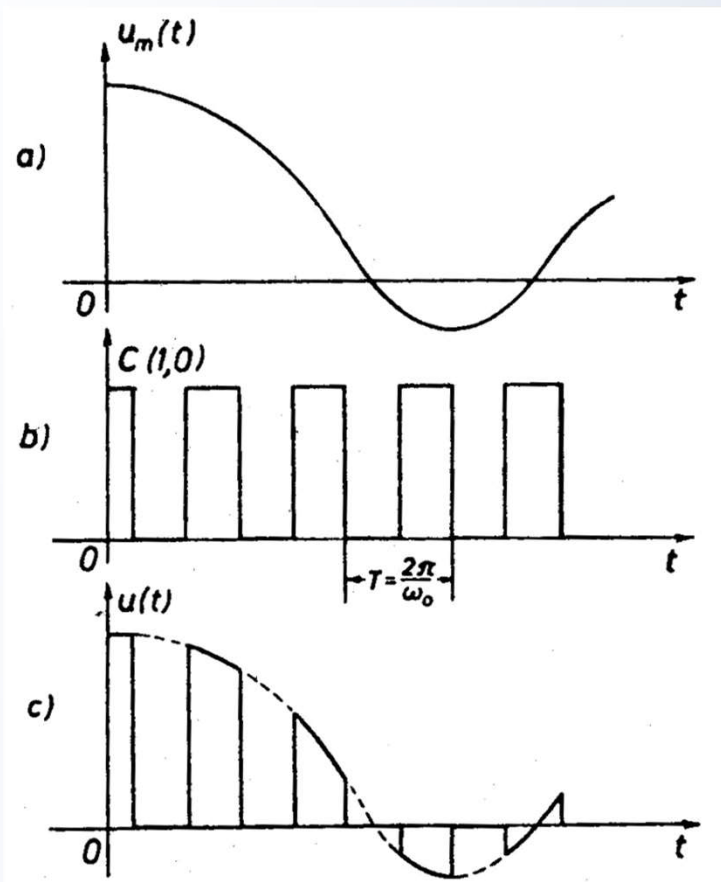
Prvi član izraza je modulišući signal, drugi član predstavlja amplitudski modulisani signal tipa AM-2BO. Na izlazu iz modulatora se ne pojavljuju ni nosilac, ni njegovi harmonici. Da bi se korisni član mogao izdvojiti filtrom, mora da bude zadovoljen uslov:

$$\omega_0 - \omega_M \geq \omega_M, \text{ tj. } \omega_0 \geq 2\omega_M$$

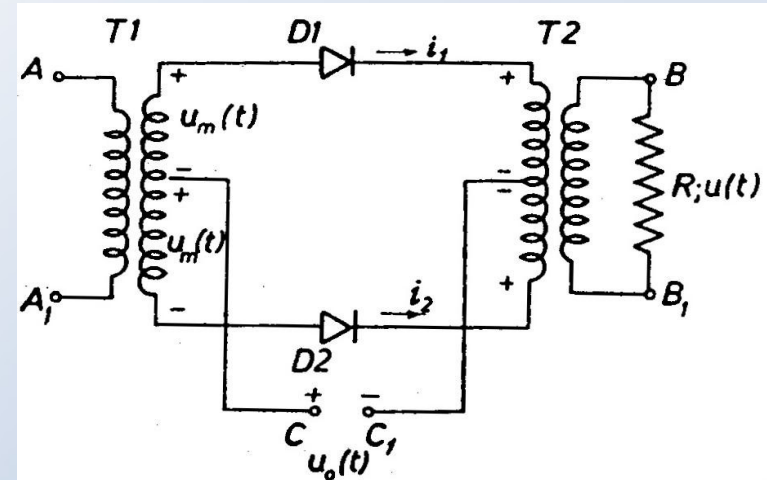
## BALANSNI PREKIDAČKI MODULATOR REDNOG TIP

Pretpostavke:

- transformatori su komplementarni
- diode su identične i idealne
- $U_0 \gg |u_m(t)|_{\max}$



Slika: a) Modulišući signal, b) pre-kidačka funkcija, c) modulirani signal



Slika: Balansni prekidački modulator rednog tipa

Kad diode provode, kolo u kome je napon  $u_m(t) + u_m(t) = 2u_m(t)$  biće zatvoreno i napon na otporniku  $R$ , u tom intervalu vremena, zavisice samo od  $u_m(t)$  i biće mu direktno srazmjeran. Kad diode ne provode, napon  $u(t)$  biće jednak nuli, jer je kolo prekinuto.

$$u(t) \propto u_m(t) C(1,0)$$

Korisni član se izdvaja filtrom, uz uslov:

$$\omega_0 - \omega_M \geq \omega_M, \text{ tj. } \omega_0 \geq 2\omega_M$$

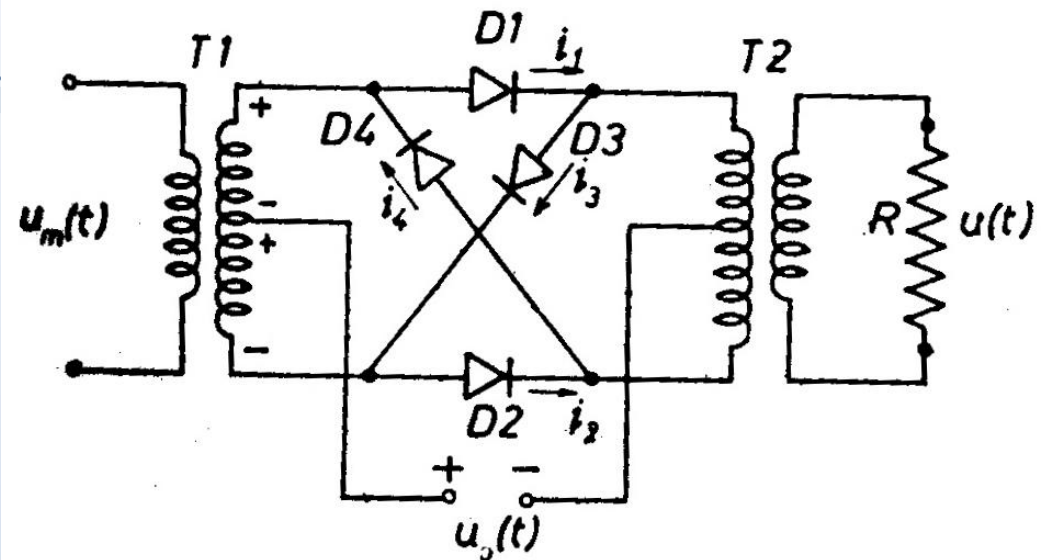
# KRUŽNI (PRSTENASTI, RING) MODULATOR

Pretpostavke:

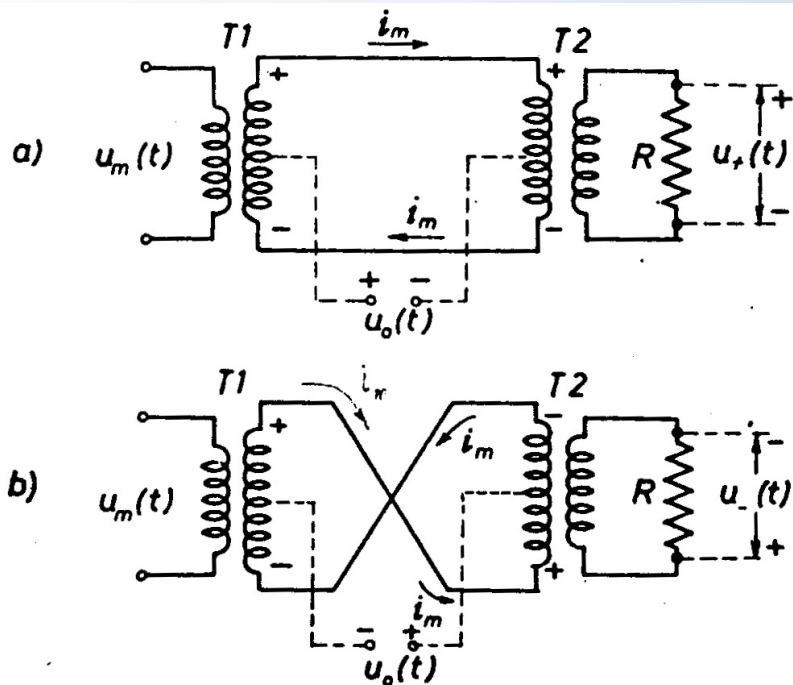
- transformatori su komplementarni
- diode su identične i idealne
- $U_0 \gg |u_m(t)|_{\max}$
- šema je u odnosu na generator nosioca  $u_0(t)$  električki simetrična

Postoje dva režima rada dioda:

1. Za  $u_0(t) > 0$  provode D1 i D2
2. Za  $u_0(t) < 0$  provode D3 i D4



Slika: Kružni modulator



Slika: Šeme ekvivalentne šemi kružnog modulatora

a) Slučaj kad provode diode D1 i D2, a D3 i D4 ne;

b) slučaj kad provode diode D3 i D4, a D1 i D2 ne.

Za pozitivnu poluperiodu, izlazni napon je:

a za negativnu:

$$u_+(t) \propto u_m(t) C(1,0)$$

$$u_-(t) \propto u_m(t) C(0,1)$$

Konačno, superpozicijom ova dva linearna stanja napon na izlazu će biti:

$$u(t) = u_+(t) - u_-(t) \propto u_m(t) [C(1,0) - C(0,1)]$$

$$u(t) \propto u_m(t) C(1,-1)$$

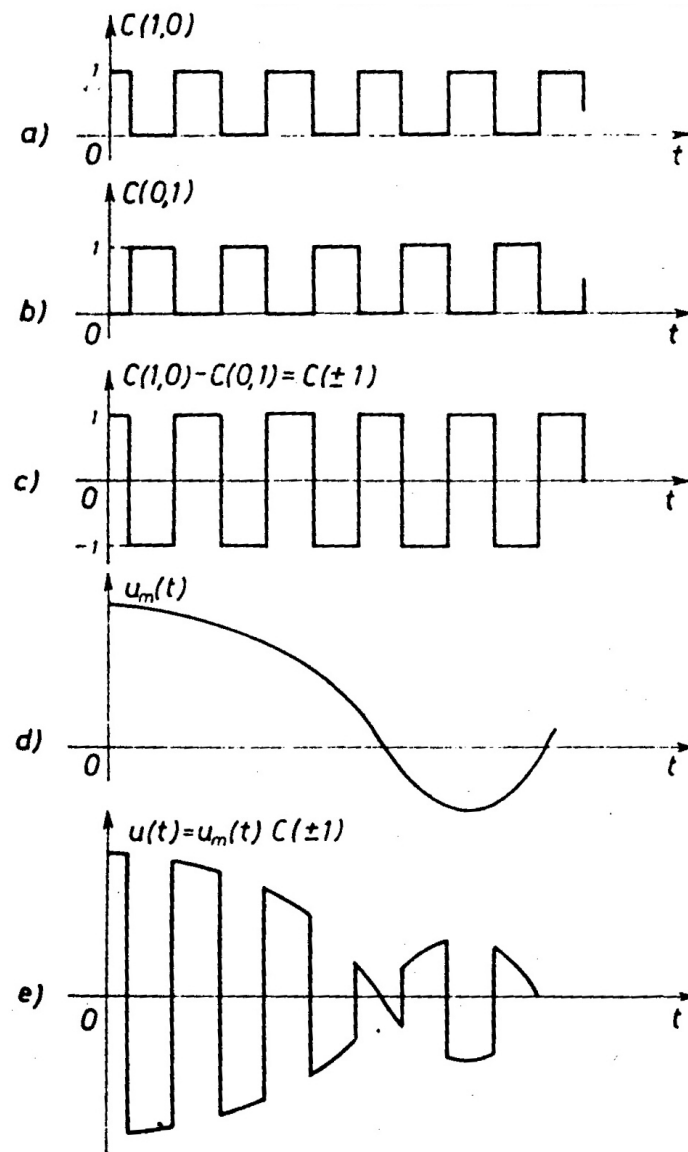
$$C(1,-1) = 2 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin \frac{n\pi}{2}}{\frac{n\pi}{2}} \cos n\omega_0 t$$

Izlazni signal se sada može napisati u obliku:

$$u(t) \propto u_m(t) C(\pm 1) = u_m(t) 2 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin \frac{n\pi}{2}}{\frac{n\pi}{2}} \cos n\omega_0 t$$

Pošto se u konačnom izrazu ne javlja i modulišući signal, to se korisni član može izdvojiti filtrom, uz uslov:

$$\omega_0 - \omega_M \geq 0, \text{ tj. } \omega_0 \geq \omega_M$$



Slika: Talasni oblici signala:

a) Funkcija  $C(1,0)$ ; b) funkcija  $C(0,1)$ ; c) funkcija  $C(1,-1)$ ; d) modulišući signal; e) modulirani signal