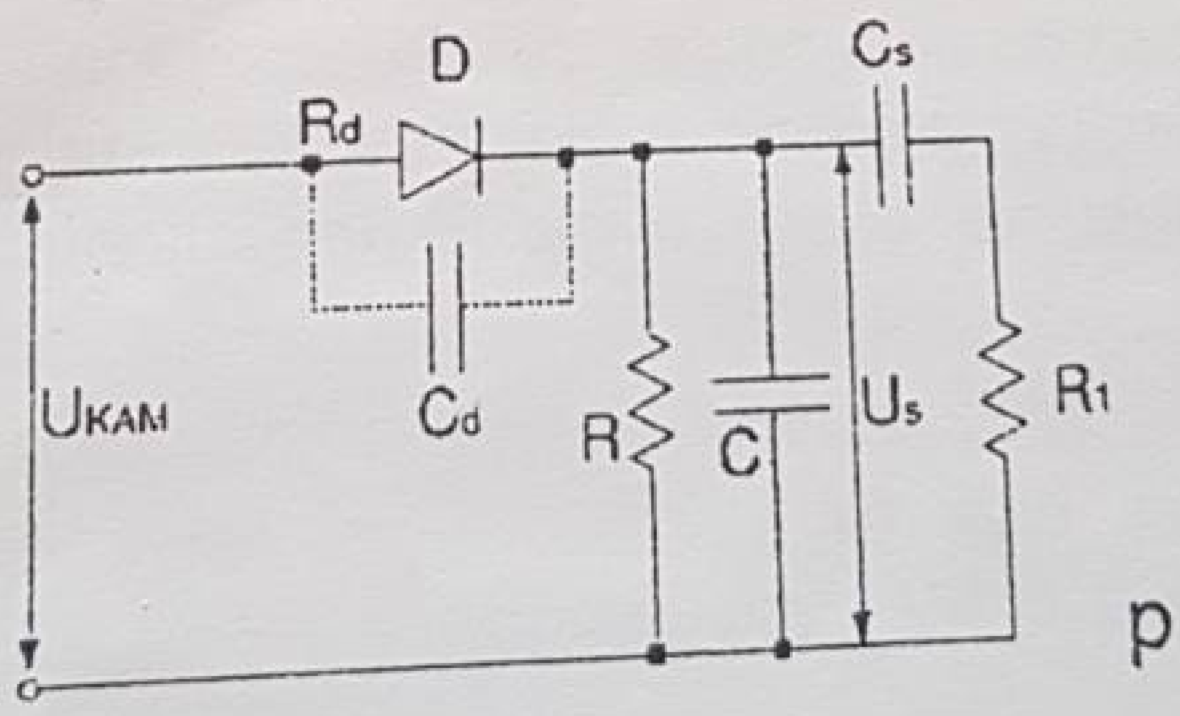
4.9 DEMODULACIJA AM SIGNALA

Demodulacija predstavlja operaciju inverznu modulaciji i obavlja se u prijemniku. Za demodulaciju koriste se nelinearni elementi, odnosno diode, čije su karakteristike prenosa nelinearne. Termin demodulacija i detekcija vrlo često se upotrebljava u istom smislu mada strogo govoreći to nije ispravno. Demodulacijom se iz produkta modulacije rekonstruiše modulišući signal, dok se pri detekciji reprodukcija modulišućeg signala ostvaruje pomoću asimetričnog provodnog sklopa bez upotrebe lokalnog oscilatora. Produktna ili sinhrona demodulacija koristi signal koji se generiše iz lokalnog oscilatora ili tzv. referentnog oscilatora u prijemniku. Po svojoj učestanosti i fazi signal ovog oscilatora mora biti identičan sa nosiocem. SInhroni demodulatori mogu da se koriste za demodulaciju svih tipova AM signala.

Linearni detektori: Ovi detektori rade na principu diode koja, zbog svoje usmerivačke karakteristike, propušta samo jednu poluperiodu modulisanog VF signala. Jedna od najpoznatijih grupa linearnih detektora su tzv. detektori anvelope. Detektori anvelope su vrlo jednostavni, asimetrični sklopovi bez lokalnog oscilatora (koji je potreban kada se radi o tzv. sinhronoj detekciji, i služe za detekciju KAM signala.Ako je modulišući signal bio prostoperiodična funkcija i ako u toku prenosa nije došlo do izobličenja, onda će se anvelopa KAM signala menjati po zakonu: $U_0(t)=U_0[1+m\cdot\cos\omega_m t]$

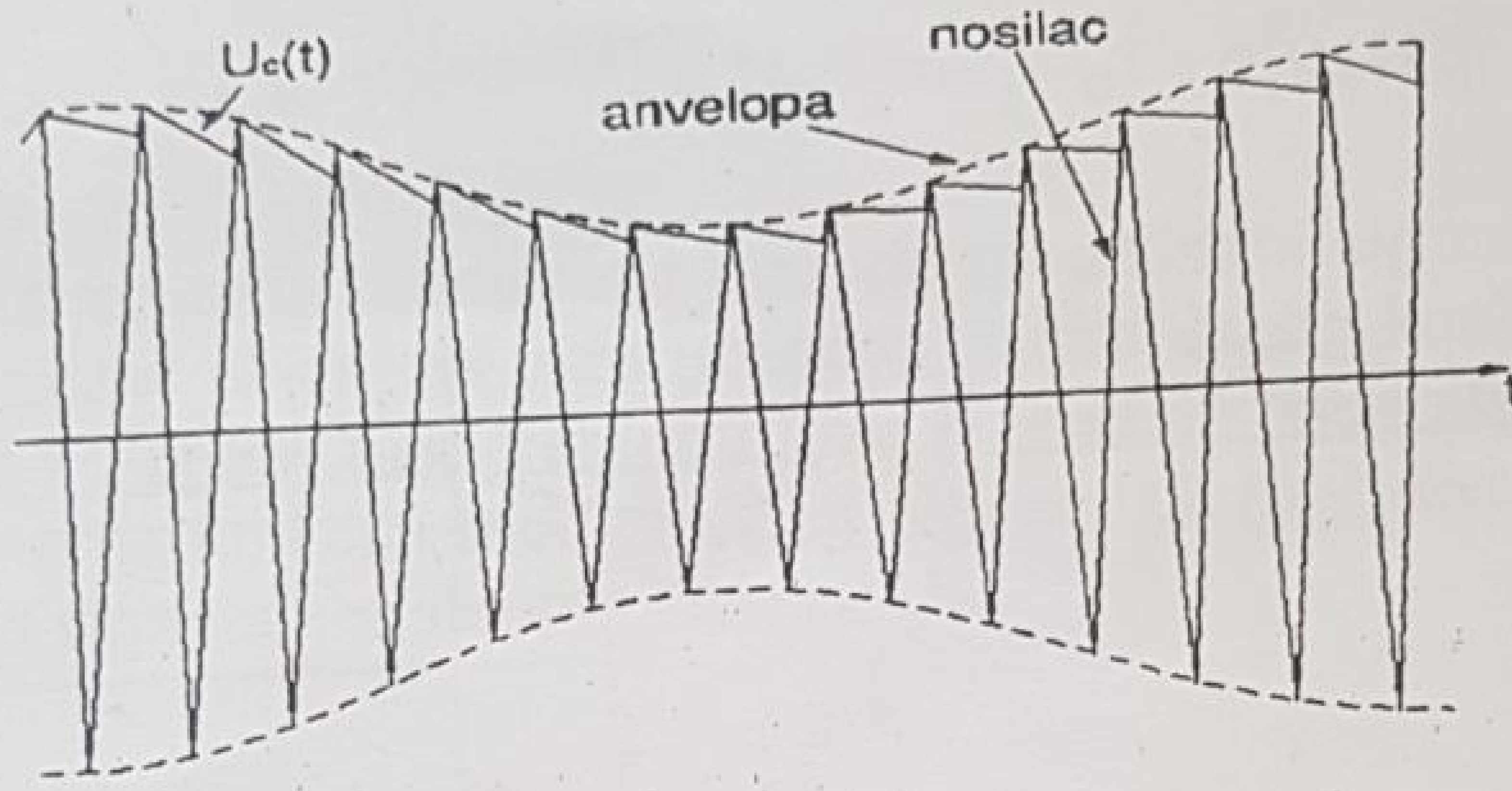
Ako se privede na ulaz detektora modulisani VF signal KAM tipa onda će dioda da propušta samo pozitivne poluperiode VF oscilacija.



Sl. 4.14 Detektor anvelope

Šema detektora vidi se na sl.4.14 a radi uprošćenja, smatramo da je unutrašnja otpornost naponskog izvora koji napaja detektor, nula. Dioda kao osnovni elemenat detektora je, asimetrično provodni elemenat sa relativno malim moduelektrodnim kapacitetom Cd i malom otpornošću u

provodnom smeru. Što se tiče otpora u nepropusnom smeru, on je veliki, ali nema toliko značaja, jer je radna otpornost detektora R mala. Ako ulazni signal nije modulisan izlaz bi bio jednosmerna komponenta, koja se može eliminisati kondenzatorom Cs.
Kada je ulazni signal modulisan dioda provodi puneći kondenzator C, u intervalu kada je dioda zakočena, kondenzator C se prazni preko R. Ako se izabere pravilno vremenska konstanta τ=RC može se ostvariti da napon Uc(t) prati anvelopu modulisanog signala. Ovo je grafički prikazano na sl. 4.15.



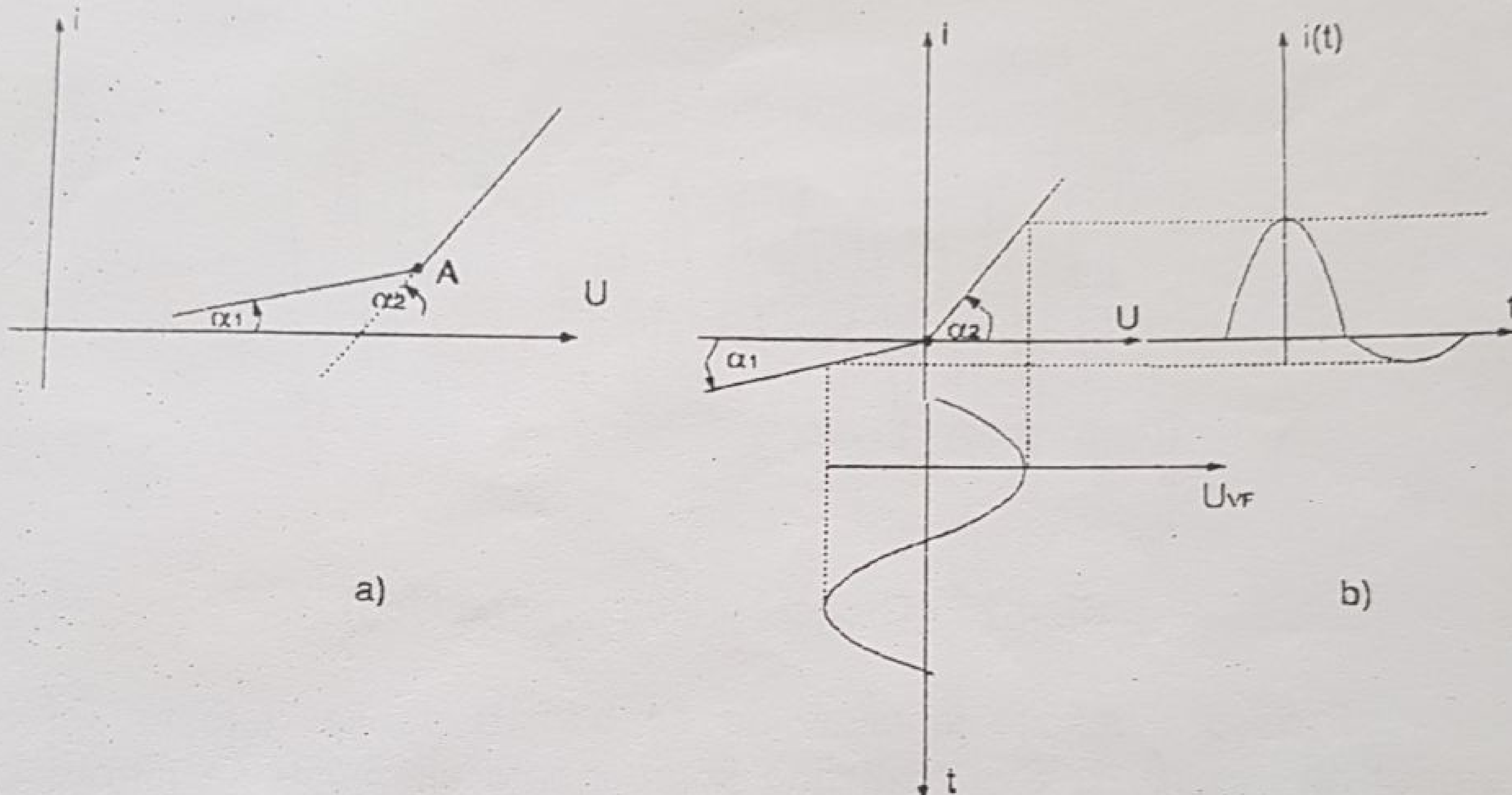
Sl. 4.15 - Grafički prikaz napona Uc(t)

Proces detekcije je takav da se odmah dobije detektovani NF signal na otporu R. Sve parazitne komponente eliminišu se filtrom koji čine elementi R1 i C1 . Da bi se ostvario veliki stepen iskorišćenja potrebno je da bude, R/Rd i C/Cd , što veće, a takodje treba obezbediti uslov: RC<<1/fm gde je fm maksimalna učestanost u spektru modulišućeg signala. S druge strane RC konstanta treba da je dovoljno mala, da bi promena napona na kondenzatoru mogla pratiti brze promene amplitude modulisanog signala. Maksimalna vrednost ove konstante pri kojoj ne postoji izobličenje (dijagonalno odsecanje), odredjena je uslovom, da brzina pražnjenja kondenzatora C u ma kojem delu periode bude jednaka ili manja od brzine promene obvojnice modulisanog signala. Može se pokazati da je ovaj uslove zadovoljen kada je:

$$RC \leq \frac{1}{\omega_m}\sqrt{\frac{1}{m_0^2}-1} \qquad 4.15$$

Ovaj uslov možemo da iskažemo i na drugi način: Ako vremenska konstanta RC zadovoljava relaciju 4.15 onda će napon na kondenzatoru brže da opada nego anvelopa bez obzira u kom trenutku modulišućeg ciklusa ta dva napona bila jednaka. Za tipične prijemnike koji rade na srednjim (ST) i kratkim talasima (KT), vrednosti su na primer: R=10KOma, C=1000pF, fm=5KHz, $\tau=10^{-5}$ sec .U slučaju TV prijemnika: R=100 Oma, C=10pF, $\tau=10^{-9}$ sec, fm=5MHz.

Mada je dioda, kao osnovni elemenat detektora, nelinearna, izborom radne tačke deteketora, boezbedjuje se da ona padne u koleno karakteristike (tačka A) na dijagramu sl.4.16a. Ako transliramo koordinatni početak u tačku (A) dobijamo tipičnu karakteristiku mnogih dioda i suvih usmerača sl. 4.16b.



Sl. 4.16 Aproksimacija nelinearne karakteristike prenosa diode, odsečcima pravih linija

Znači, ako nelinearnu prenosnu karakteristiku, aproksimirano odsečcima prave linije, onda govorimo o linearnoj detekciji. Ako se radna tačka diode nalazi u koordinatnom početku (sl. 4.16b) i na nju deluje VF talas, srednja vrednost struje kroz diodu, kada je $\alpha_1=0$ biće : $i_{SR}=kU_0/\pi$

Medjutim, kada na diodu deluje modulisan (AM) signal, imali bi:

$$i_{SR}=\frac{kU_0}{\pi}+\frac{kmU_0}{\pi}\cos\omega_m t \qquad 4.16$$

gde je (k) konstanta koja definiše nagib aproksimirane karakteristike diode u propusnom smeru ($k_2=tg\alpha_2$). Izraz (4.16) pokazuje, da u najprostirjem slučaju, kod linearne detekcije, efikasnost je veća ukoliko je $K=\frac{1}{R_d}$ veća, tj. unutrašnja otpornost diode manja. Eliminacijom jednosmerne komponente tj. člana $[kU_0/\pi]$ naizmenična komponenta $[kmU_0/\pi]\cdot\cos\omega_m t$

4.10 UGAONE MODULACIJE - UM

Amplitudna modulacija je bila u početku, rasprostranjena u svim oblastima radiotehnike, medjutim, daljim razvojem tehnike telekomunikacija iskristalisala su se dva osnovna problema. Prvi problem snage i dometa, uspešno je rešavan amplitudnom modulacijom, povećanjem snage predajnika i poboljšanjem direktivnosti antenskih sistema. Ovim se ujedno rešavao i drugi problem poboljšanja kvaliteta prijema. Ali, došlo se do kritične tačke kada su prijemnici postali preosetljivi na spoljašnje smetnje i vlastite termičke šumove. Dalje povećanje pojačanja prijemnika, isticalo bi i smetnje, pogoršavajući odnos signal/šum.

Prema tome, trebalo je rešiti problem povećanja dometa i poboljšanja kvaliteta. Dvadesetih godina ovog veka pojavili su se projekti za poboljšanje radio veze frekvencijskom modulacijom.

Dok je AM počivala na principu proizvoda dve funkcije (modulišućeg i nosećeg signala) pri čemu svaka od njih pretrpi samo linearnu transformaciju, ugaona modulacija takodje nastaje kao proizvod dve funkcije, ali svaka od njih, pre množenja podleže eksponencijalnoj transformaciji, što predstavlja u suštini jedan nelinearan proces. Dok spektar modulisanog signala tipa AM, nastaje prostorom translacijom spektra modulišućeg signala, i konačan je, u slučaju UM dobijeni signal ima neograničen spektar. Dok se kod AM modifikuje amplituda signala uz pomoć modulišuće funkcije, u slučaju UM postupak je drukčiji, amplituda nosioca ostaje konstantna, ali njegov ugao se modifikuje proporcionalno modulišućoj funkciji. Ovde treba reći, da se eksponencijalna transformacija koristi jer ima prednosti, demodulacija se lako realizuje.

Radovi i eksperimenti E.H.Armstronga (1932,1935.god) vezani za frekvencijsku modulaciju, izazvali su posebnu pažnju, jer je on uspeo ovom vrstom modulacije da poboljša odnos signal/šum deset do dvadeset puta, u poredjenju sa amplitudnom modulacijom. Tako se došlo do saznanja da frekvencijska modulacija (FM) kao podgrupa UM, pri pravilnoj upotrebi, ima velike prednosti nad AM u pogledu eliminisanja smetnji.

Analitičko objašnjenje principa na kome počivaju UM (frekvencijska i fazna), može se prikazati na sledeći način:

Svaki signal oblika $U_0\cos(\omega_0 t)$ može se napisati kao

$$U_0 \cos\omega_0 t = R_e\left\{U_0 e^{j\omega_0 t}\right\} \qquad 4.17$$

gde je $U_O e^{j a \omega t}$ kompleksni oblik nosećeg signala. U fazorskoj predstavi U_0 je dužina (intenzitet), $a\omega_0 t$ ugao meren u odnosu na realnu osu. Ovaj fazor rotira ugaonom brzinom ω_0.

Ako modulišući signal $u_m(t)$ transformišemo takod da ga možemo ppredstaviti u eksponencijalnoj formi kao $e^{j\varphi[u_m(t)]}$, onda množeći izraze za noseći i modulišući signal i uzimajući realnu vrednost tog proizvoda dobijamo:

$$u(t) = R_e\left\{U_0 e^{j\omega_0 t} e^{j\varphi[u_m(t)]}\right\} = U_0 \cdot \cos\{\omega_0 t + \varphi[u_m(t)]\} \qquad 4.18$$

Ovaj izraz nam predstavlja ugaono modulisani signal, pri čemu je modulišući signal uticao na fazu nosećeg talasa. Ugao kosinusa (izraz u velikoj zagradi), predstavlja trenutnu fazu ϕi modulisanog signala. Kao što vidimo faza ϕ_i je funkcija modulišućeg signala $U_m(t)$ $_i$, dok je amplituda modulisanog signala konstantna i iznosi U_0.

4.11 FAZNA MODULACIJA - PM

Posmatrajmo prostoperiodični VF signal $u_0(t)=Uo \cos\Phi_0(t)$ gde je, $\Phi_o(t) = \omega ot$, faza ovog signala. Vidimo da je faza linearna funkcija vremana, a da je izvod ove faze po vremenu ($\frac{d\phi_0(t)}{dt}$) kružna učestanost prostoperiodičnog signala,ω_0.

Medjutim, ako sada modulišućim signalom, relativno niske učestanosti ω_m modulišemo fazni ugao nosećeg talasa dobićemo fazno modulisani signal oblika

$u_{pm}(t) = U_0 \cdot \cos[\omega_0 t + k_\alpha u_m(t)]$, ako je $u_m(t)=U_m\cos\omega_m t$ onda dobijamo:

$u_{pm}(t) = U_0 \cos[\omega_0 t + k\varphi U_m \cdot \cos\omega_m t]$, gde je : $\Phi i = \omega_0 t + k\phi U_m \cos\omega_m t$ 4.19

trenutna faza modulisanog signala, pri čemu je $k\phi$ - koeficijent čija vrednost zavisi od konstrukcije modulatora. U teorijskim razmatranjima nekada se proizvoljno uzima $k\phi=1$, a da se time ne utiče na opšti karakter analize. Trenutna faza odstupa od linearnog toka, tj. sada je proporcionalna trenutnoj vrednosti um(t). Maksimalno odstupanje faze je očigledno $k\phi Um$ i često se naziva devijacija faze $\Delta\Phi = k\phi \cdot Um$.

Uočavamo važnu odliku PM (Phase - modulation), a to je: devijacija faze PM signala proporcionalna je samo amplitudi modulišućeg talasa Um.
Izraz za PM signal mogao bi se pisati i u sledećem obliku:

$$u_{pm}(t) = U_0 \cdot \cos\left(\omega_0 t + \Delta\phi \cos\omega_m t\right) \qquad 4.20$$

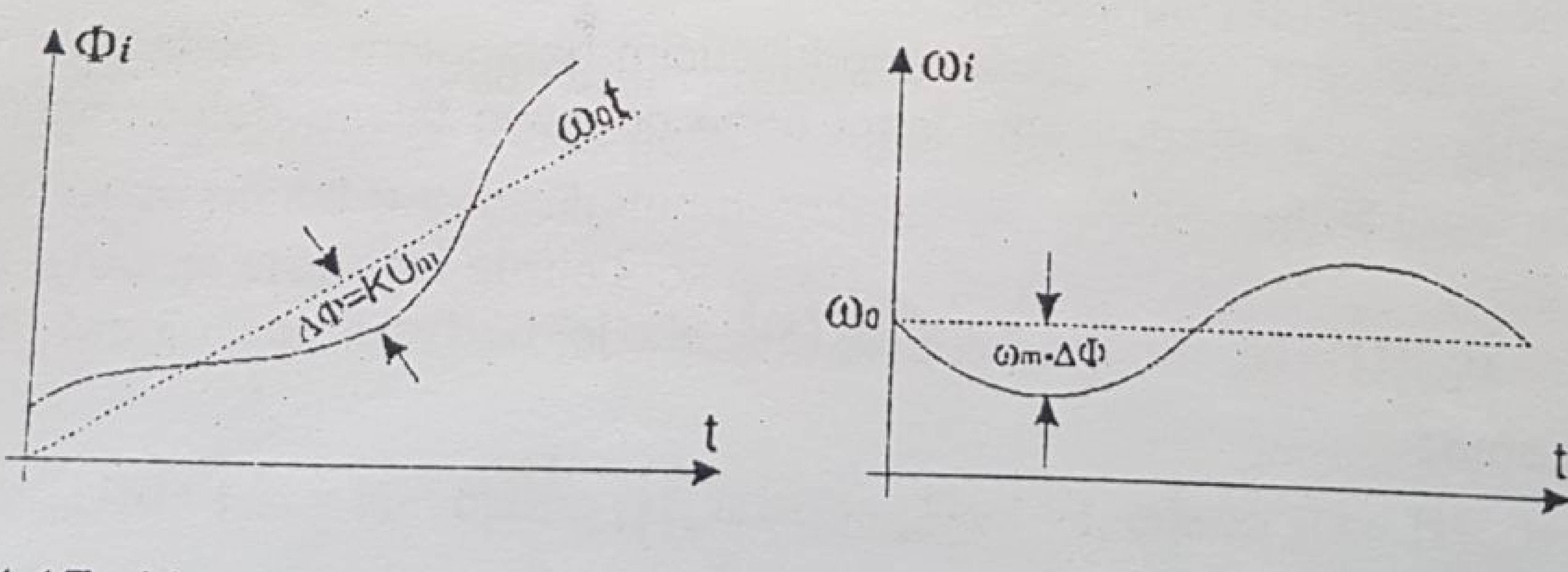
Maksimalna devijacija faze ugaono mogulisanog signala često se naziva i indeks modulacije, tako bismo u slučaju PM imali: $m\phi = \Delta\Phi = k\phi U_m$
Kako su faza i učestanost nerazdvojne veličine, onda uvek kada dolazi do promene faze signala, nastaje i promena učestanosti. Da bi odredili trenutnu učestanost PM signala, potrebno je diferencirati trenutnu fazu po vremenu: $\omega i = d\phi i/dt$ tako da imamo, $\omega i = \omega_0 + k\phi du_m(t)/dt$ ili u našem konkretnom slučaju

$$\omega_I = \omega_o - k\phi\omega_m \cdot U_m \sin \omega_m t \qquad 4.21$$

Analogno maksimalnom "hodu" faze uvodi se i pojam maksimalnog "hoda" ili, "devijacije" učestanosti

$$\Delta\omega_I = k\phi\omega_m \cdot U_m = \omega_m \Delta\Phi, \text{ odnosno, } \Delta f_I = k\phi f_m \cdot U_m = f_m \Delta\Phi \qquad 4.22$$

Vremenski dijagrami osnovnih veličina u slučaju PM dati su na sl. 4.17.



Sl. 4.17 - Vremenski dijagram trenutne faze i trenutne kružne učestanosti kod fazne modulacije

Sa dijagrama se vidi da se trenutna faza menja po zakonu promene modulišućeg signala tj. kosinusnom zakonu, dok se trenutna učestanost menja po zakonu sinusoide tj. pomerena za $\pi/2$. Znači pri faznoj modulaciji, vrši se i modulacija učestanosti. Medjutim, kako se promena faze vrši u ritmu modulišuće učestanosti, a promena učestanosti je pomerena za $\pi/2$, to se ova modulacija zove fazna modulacija.

4.12 FREKVENCIJSKA MODULACIJA - FM

Pri frekvencijskoj modulaciji, učestanost modulisanog signala, je modulisana u ritmu modulišućeg signala. Trenutna kružna učestanost kod FM signala biće:

$$\omega_i = \omega_0 + \Delta\omega_i \cdot \cos\omega_m t \qquad 4.23$$

gde je $\Delta\omega i = K_f Um$ odnosno $\Delta fi = K_f Um/2\pi$. Veličina $\Delta\omega i/2\pi$ je "hod", ili "devijacija" trenutne učestanosti. Znači izraz za ωi mogao bi da se napiše i kao: $\omega i = \omega_0 + K_f \cdot Um\cos\omega t$.

Ako bi uporedili izraz za devijaciju učestanosti, sa odgovarajućim izrazom kod PM, zapažamo da u slučaju FM devijacija učestanosti je direktno proporcionalna samo amplitudi modulišućeg signala, a ne i modulišućoj učestanosti. Oslanjajući se na matematičku vezu izmedju faze i učestanosti, možemo pronaći trenutnu fazu FM signala.

$$\Phi_i = \int_0^t \omega_i dt = \omega_0 t + k_f \int_0^t u_m(t) \cdot dt \qquad 4.24$$

Za slučaj prostoperiodičnog modulišućeg signala imamo:

$$\Phi_i = \omega_0 t + \frac{k_f \cdot U_m}{\omega_m} \sin\omega_m t = \omega_0 t + \frac{\Delta\omega_i}{\omega_m} \sin\omega_m t \qquad 4.25$$

Stepen modulacije kod FM definše se kao odnos frekventne devijacije prema modulišućoj učestanosti: $m_f = \Delta\omega_i / \omega_m = \Delta f_i / f_m$
Ako uporedimo izraze za $m\varphi$ i mf vidimo da u slučaju PM indeks modulacije ne zavisi od modulišuće učestanosti, dok u slučaju FM indeks modulacije je obrnuto proporcionalan modulišućoj učestanosti. Sada poznavajući trenutnu fazu, izraz (4.24) možemo napisati izraz za FM signal.

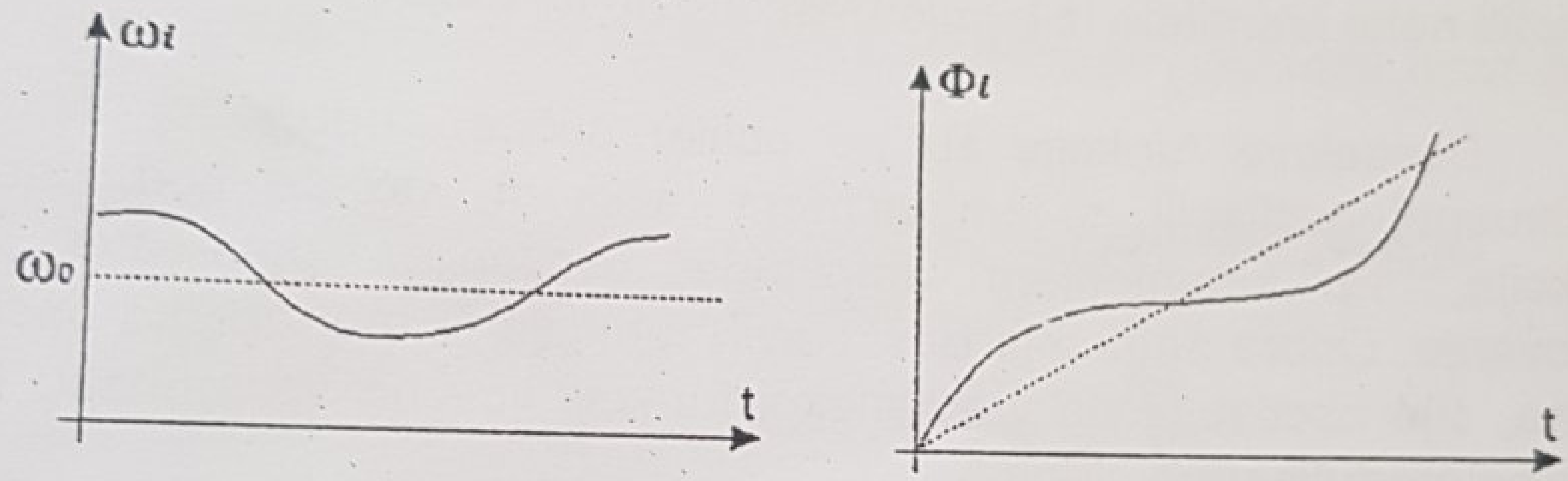
ili :
$$u_{FM}(t) = U_0 \cos\left[\omega_0 t + k_f \int_0^t u_m(t)dt\right] \qquad 4.26$$

$$u_{FM}(t) = U_0 \cos\left[\omega_0 t + m_f \cdot \sin\omega_m t\right] \qquad 4.27$$

Izraz 4.27 možemo napisati i na sledeći način:

$$u_{FM}(t) = U_0 \cos\left[\omega_0 t + m_f \cdot \cos\left(\omega_m t - \frac{\pi}{2}\right)\right] \qquad 4.28$$

FM i PM su nerazdvojne, uvek kada se vrši jedna postoji i druga, o kojoj se modulaciji radi u konkretnom slučaju, možemo da sudimo, samo ako znamo funkcionalnu vezu izmedju trenutne devijacije faze i modulišućeg signala. Na sl.4.18 možemo videti kako se menja učestanost i faza nosećeg talasa u vremenu.



Sl. 4.18 Vremenski dijagram trenutne kružne učestanosti i trenutne faze kod frekvencijske modulacije.

Uočavamo da se kod FM, trenutna učestanost modulisanog signala menja u ritmu modulišuće učestanosti tj. po zakonu kosinusa, dok je promena faze pomerena za $\pi/2$ unatrag.

Uporedjujući sada dijagrame na sl. 4.17 i sl. 4.18. koji važe za slučaj kada je modulišući signal prostoperiodičan, vidimo da su kod PM, promena trenutne učestanosti, a kod FM, promena trenutne faze, pomerene za $\pi/2$ prema modulišućem signalu.

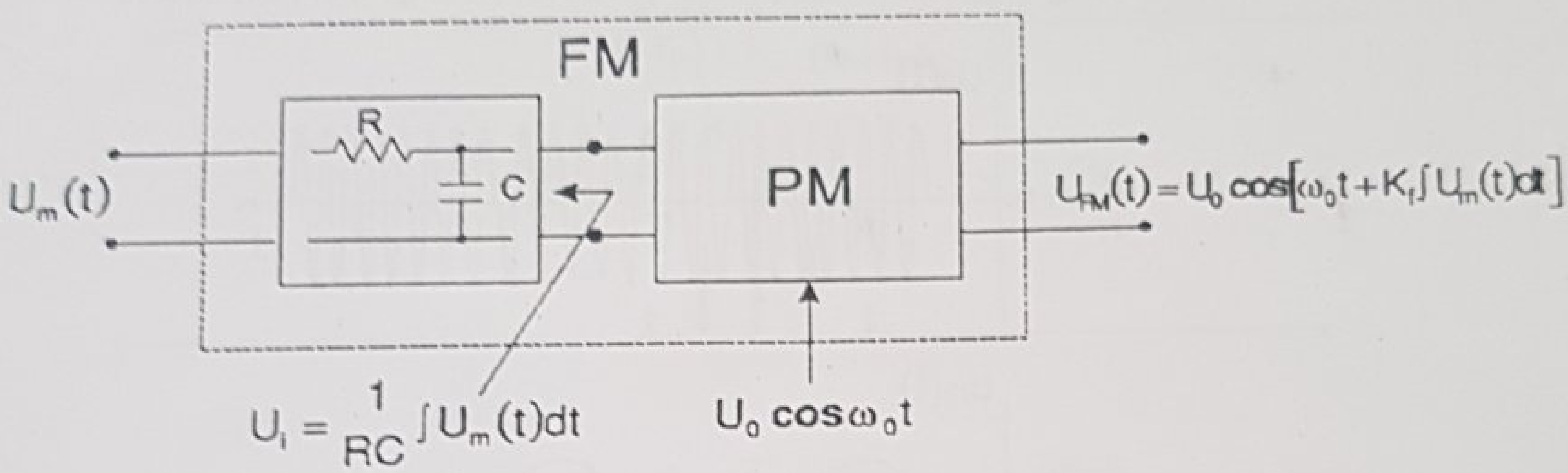
4.13 VEZA IZMEĐU PM I FM

Veza izmedju PM i FM može biti i slikovito prikazana preko blok šema sl. 4.19 i sl. 4.20. Na sl. 4.19 PM modulator je predstavljen blokom koji na svom izlazu daje FM signal, ako se na njegovom ulazu dovede signal koji je integral modulišućeg signala.Znači modulišući signal $u_m(t)$

propuštamo preko RC kola poznatog kao integrator tako da je izlaz integratora istovremeno ulaz PM modulatora.

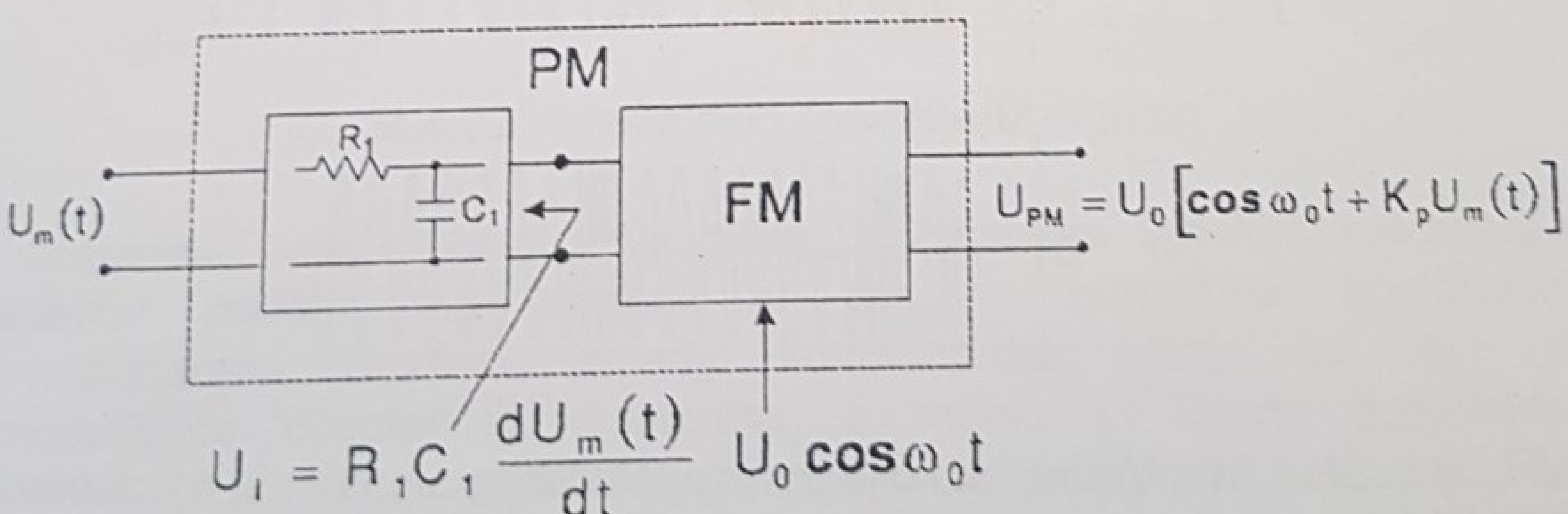
$$u_i(t) = \frac{1}{RC}\int u_m(t)dt \qquad 4.29$$

Izlaz iz ovako formirane kombinacije (integrator i PM modulator) je FM signal: $u_{FM}(t) = U_o \cos\left[\omega_o t + k_\varphi \int u_m(t)dt\right]$



Sl. 4.19 Blok šema za dobijanje FM modulatora kombinacijom integratora i faznog modulatora

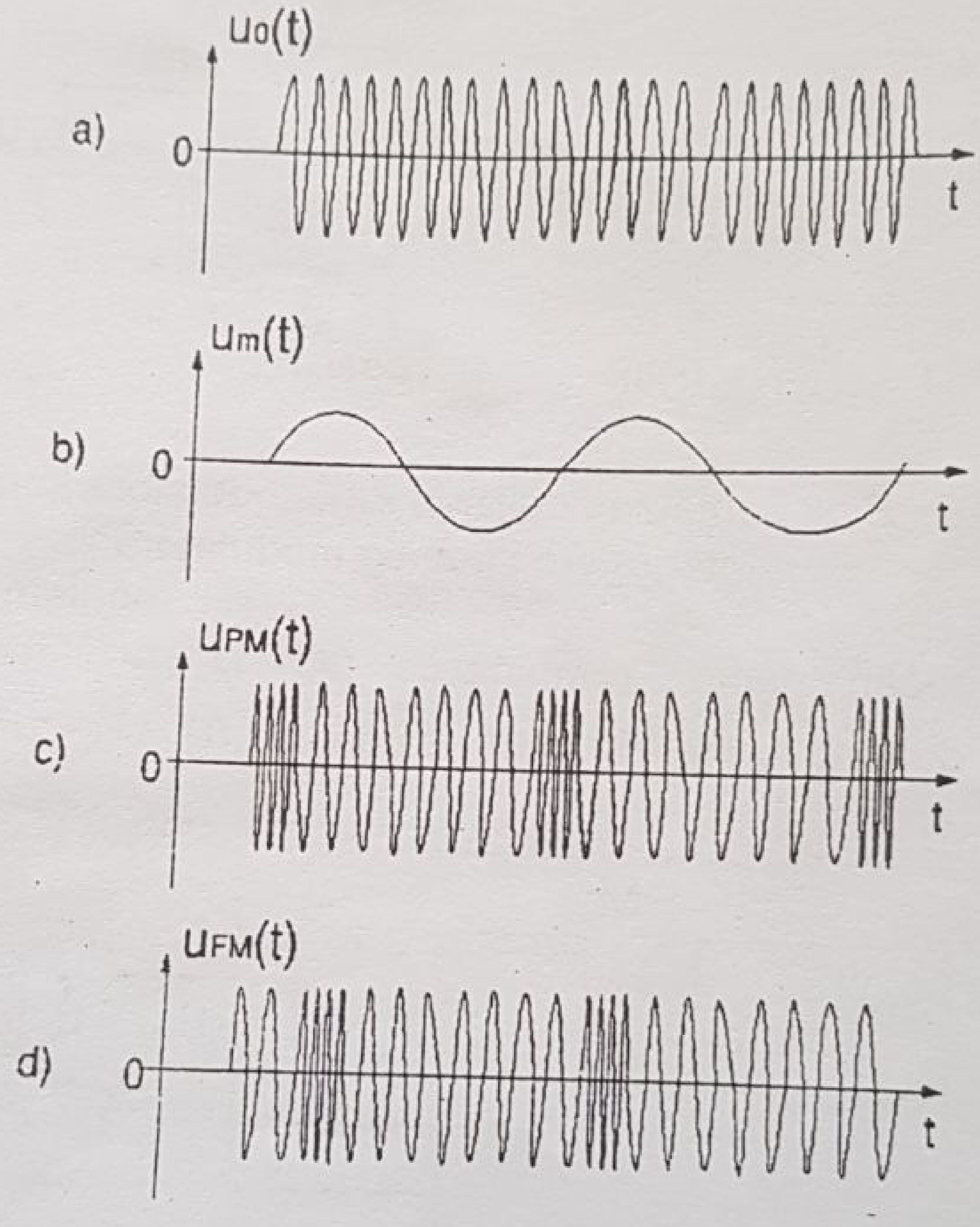
Na sličan način, kombinacija (sl. 4.20) diferencijatora i FM modulatora daje na svom izlazu PM signal: $u_{pm}(t) = U_o \cos\left[\omega_1 t + k_\varphi u_m(t)\right]$



Sl. 4.20 Blok šema za dobijanje PM modulatora kombinacijom diferencijatora i frekvencijskog modulatora

Na sličan način, poznavajući vezu koja postoji izmedju trenutne devijacije faze nosioca i prenošenog signala, moguće je i na mestu prijema tj. pri demodulaciji, praviti kombinacije, odnosno od faznog diskriminatora kome se na izlazu doda integrator, dobiti frekvencijski demodulator, ili obrnuto, ostvariti fazni demodulator uz pomoć postojećeg, frekvencijskog demodulatora kome na izlazu pridodatmo korekciono kolo - diferencijator.

Posmatrajući izraze za fazno i frekvencijski modulisani talas možemo konstatovati da su slični, šta više ako je modulacija izvršena samo jednim prostoperiodičnim signalom nepoznate početne faze, onda se ni eksperimentalno ne može razabrati da li se radi o PM ili FM. Takođe još jedna ilustracija njihove sličnosti je, ako posmatramo vremenski dijagram na kome su prikazani talasni oblici, nemodulisanog nosioca, $U_0(t)$, modulišućeg signala $u_m(t)$ kao i PM i FM signale, sl. 4.21.



Sl. 4.21 - Vremenski dijagram: a) Nosećeg signala; b) Modulišućeg signala; c) PM signala; d) FM signala

Uočavajući dijagrame za $u_{PM}(t)$ i $u_{FM}(t)$ sa gornje slike, zapažamo da se oni razlikuju jedino po fazi modulišućeg ciklusa koji iznosi $\pi/2$. Ako bi ova dva dijagrama posmatrali sasvim odvojeno, ne bismo mogli da tvrdimo o kojoj vrsti ugaone modulacije se radi.