

# AMPLITUDNA MODULACIJA

---

**Galešić, Matej**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2022**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **Karlovac University of Applied Sciences / Veleučilište u Karlovcu**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:128:105492>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-02-02**



**VELEUČILIŠTE U KARLOVCU**  
Karlovac University of Applied Sciences

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of Karlovac University of Applied Sciences - Institutional Repository](#)



zir.nsk.hr



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

Veleučilište u Karlovcu

Strojarski odjel

Stručni studij mehatronike

Matej Galešić

# **AMPLITUDNA MODULACIJA**

ZAVRŠNI RAD

Karlovac, 2022.

Karlovac University of Applied Sciences

Engineering Department

Professional undergraduate study of Mechatronics

Matej Galešić

# **AMPLITUDE MODULATION**

FINAL PAPER

Karlovac, 2022.

Veleučilište u Karlovcu

Strojarski odjel

Stručni studij mehatronike

Matej Galešić

# **AMPLITUDNA MODULACIJA**

ZAVRŠNI RAD

Mentor:

dr. sc. Anamarija Kirin

Karlovac, 2022.



**VELEUČILIŠTE U KARLOVCU**  
KARLOVAC UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES  
Trg J.J.Strossmayera 9  
HR-47000, Karlovac, Croatia  
Tel. +385 - (0)47 - 843 - 510  
Fax. +385 - (0)47 - 843 - 579



## VELEUČILIŠTE U KARLOVCU

Stručni studij: Mehatronika

Usmjerenje:.....Karlovac, .....

## ZADATAK ZAVRŠNOG RADA

Student: Matej Galešić

Matični broj: 0112615059

Naslov: Amplitudna modulacija

.....

Opis zadatka: U Završnom radu definirati modulaciju signala te detaljnije opisati amplitudnu modulaciju. Navesti vrste i primjenu amplitudne modulacije. Definirati demodulaciju signala. Provesti simulacije amplitudne modulacije s proizvoljnim signalima i prikazati rezultate. Koristiti se stručnom literaturom, radnim materijalima, Zakonima i Pravilnicima, ostalom stručnom literaturom i konzultirati se s mentorom. Završni rad izraditi sukladno Pravilniku VUKA.

Zadatak zadan:

Rok predaje rada:

Predviđeni datum obrane:

17.12.2021.

.....

11.07.2022.

Mentor:

Predsjednik Ispitnog povjerenstva:

## **PREDGOVOR**

Pisanje završnog rada bilo je izuzetno zahtjevno zbog literature u kojoj se nije bilo tako lako snaći, te je sva literatura isključivo na engleskom jeziku. Veliku pomoć sam imao od moje mentorice Anamarije Kirin kojoj se zahvaljujem na angažiranosti, te sam uz njezinu pomoć lakše savladio pisanje ovog završnog rada. Zahvaljujem se i svim asistentim i profesorima koji su mi za ovo vrijeme studiranja prenosili nova znanja. Zahvaljujem se i svojoj obitelji koja mi je bila podrška tijekom studija i bez koje ne bih bio u mogućnosti da pišem ovaj završni rad, te sam im neizmjereno zahvalan na svemu.

## **SAŽETAK**

U ovom radu objasnit ćemo što je to modulacija i demodulacija, te njezine primjene. U 2. poglavlju ćemo pisati detaljnije o modulaciji i za šta se koristi, te koje su prednosti modulacije. U 3. poglavlju pisat ćemo o amplitudnoj modulaciji koja je tema ovog rada, te objasniti postupak amplitudne modulacije i demodulacije signala. U 4. poglavlju proći ćemo kroz praktični primjer simulacije moduliranja određenog signala poruke uz pomoć amplitudne modulacije.

Ključne riječi: modulacija, amplitudna modulacija, signal poruke, signal nosioca, frekvencija

## **ABSTRACT**

In this final paper we will explain what is modulation and demodulation and its applications. In the second chapter we will talk about modulation more in detail, what it is used for and what are the modulation advantages. In third chapter we will talk about amplitude modulation which is the topic of this paper and explain the process of amplitude modulation and demodulation signals. In fourth chapter we will go through practical example with simulation of message signal modulation using amplitude modulation.

Keywords: modulation, amplitude modulation, message signal, carrier signal, frequency.



# SADRŽAJ

<b>1.</b>	<b>UVOD .....</b>	<b>1</b>
<b>2.</b>	<b>MODULACIJA.....</b>	<b>2</b>
2.1.	ZAŠTO MODULACIJA? .....	3
2.2.	MODULACIJA ANALOGNIH SIGNALA.....	3
2.3.	MODULACIJA DIGITALNIH SIGNALA.....	4
<b>3.</b>	<b>AMPLITUDNA MODULACIJA.....</b>	<b>6</b>
3.1.	MODULACIJSKI INDEKS I POSTOTAK MODULACIJE .....	9
3.1.1.	PRETJERANA MODULACIJA I ISKRIVLJENJE SIGNALA .....	10
3.2.	FREKVENCIJSKA DOMENA I BOČNI POJASEVI.....	12
3.3.	AM DEMODULACIJA.....	14
3.3.1.	DIODA DETEKTOR .....	15
3.4.	NEDOSTATCI AM MODULIRANOG SIGNALA .....	17
3.5.	DSB MODULACIJA.....	17
3.5.1.	NEDOSTATCI DSBSC MODULACIJE .....	19
3.6.	SSB MODULACIJA .....	19
3.6.1.	SPEKTAR I ŠIRINA POJASA SSB SIGNALA.....	21
<b>4.</b>	<b>SIMULACIJA AMPLITUDNE MODULACIJE SIGNALA .....</b>	<b>22</b>
4.2.	SCILAB PROGRAM.....	22
4.3.	OSNOVNE FUNKCIJE U SCILAB PROGRAMU.....	22
4.4.	PISANJE KODA ZA SIMULACIJU MODULACIJE AM SIGNALA.....	23
<b>5.</b>	<b>ZAKLJUČAK.....</b>	<b>27</b>
	LITERATURA.....	28
	POPIS SLIKA.....	29

## 1. UVOD

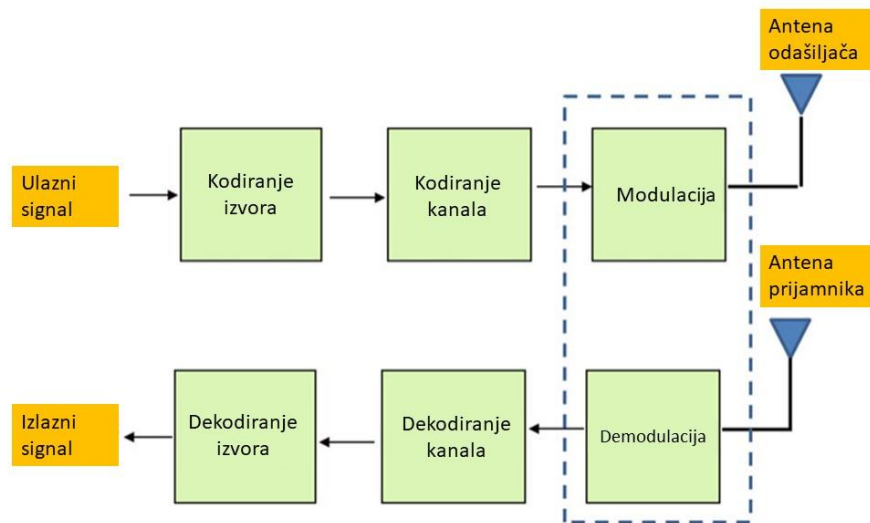
Modulacija je postupak pri kojemu mijenjamo određene karakteristike signala nosioca na strani odašiljanja proporcionalno sa ulaznim signalom (signal poruke). Signal nosilac je signal koji ima veću snagu, te je samim time pogodniji za prijenos informacija. Signal poruke je signal male snage koji sadrži informacije i nije pogodan za prijenos podataka na velike udaljenosti [1].

Suprotno modulaciji je postupak demodulacije, vrši se na strani primanja signala gdje se modulirani signal vraća u prvobitni oblik signala poruke. Svaki radiokomunikacijski sustav se sastoji od modulacije i demodulacije.

Antena je elektromagnetski uređaj koji služi slanje i primanje modulirane noseće frekvencije. Veličina antene ovisi o valnoj duljini sinusoidnog vala i frekvenciji nosioca. Kako bi antena bila prihvatljivih dimenzija potrebno je da nosiva frekvencija bude puno viša od ulaznog signala. Zbog toga se u procesu modulacije koristi signal nosioca visoke frekvencije.

## 2. MODULACIJA

Modulacija je proces u komunikacijskim sustavima koji služi za prilagodbu podataka (informacija, poruka) u električne signale pogodne za transmisiju. Za komunikaciju su potrebni temeljni elementi, a to su signal nosilac visoke frekvencije i ulazni signal, informacija (signal poruke) koji je potrebno modulirati kako bismo ga mogli kao takvoga slati dalje. Signal nosioc i signal poruke su neophodni za komunikaciju koja se odvija između dva uređaja na udaljenim lokacijama. Elektronički komunikacijski sustav pretvara poruku (informaciju) u elektronički signal koji je nošen uz pomoć signala nosioca do drugog uređaja. Modulacija je definirana kao mijenjanje bilo kojeg od temeljnih parametara nosećeg vala u skladu s modulirajućim signalom.



Slika 1. Blok shema, prikaz modernog komunikacijskog sustava [2]

Modulacija je širokoprimjenjena u svim radio uređajima koji komuniciraju s analognom ili digitalnim oblikom podataka, te samim time modulaciju možemo podijeliti u dvije osnovne podjele, a to su:

- modulacija analognih signala
- modulacija digitalnih signala.

## 2.1. ZAŠTO MODULACIJA?

Glavna primjena modulacije je da se omogući prenošenje informacija putem radio valova na velike udaljenosti, a da pri tome ne dođe do gubitka podataka ili preklapanja signala jednih s drugima. Još jedna od važnih prednosti koje nam donosi modulacija je smanjivanje veličine antena. Signal poruke moduliramo sa signalom nosiocem koji je visoke frekvencije, te samim time antena na prijamniku ne mora biti ogromnih dimenzija kako bi mogla „čuti“ poslani signal s odašiljača. Prilikom modulacije se koristi formula kojom se određuje potrebna veličina antene kako bi se moglo nesmetano prenositi signale, a pri tome je potrebno pripaziti da potrebna antena bude prihvatljive dužine. Minimalna potrebna duljina antene za efektivnu komunikaciju se računa pomoću sljedećeg izraza.

$$L_{min} = \frac{\lambda}{4}, \quad (1)$$

pri čemu je  $\lambda$  duljina vala moduliranog signala odnosno signala kojega prenosimo. Znajući da je izraz za brzinu svjetlosti koja iznosi  $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$

$$c = f * \lambda. \quad (2)$$

možemo zapisati da je duljina vala jednaka sljedećem izrazu:

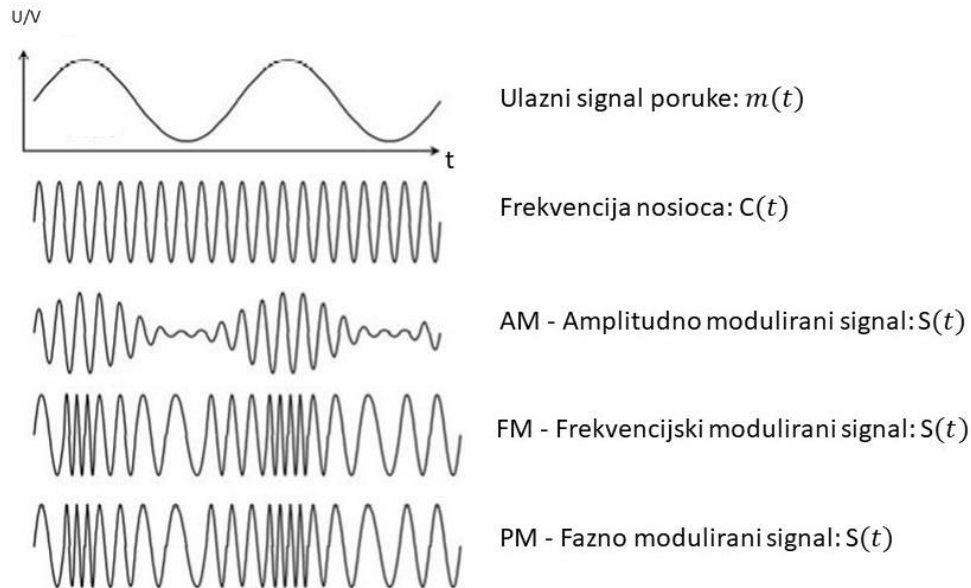
$$\lambda = \frac{c}{f}. \quad (3)$$

Iz navedenih izraza vidljivo je da s povećavanjem frekvencije transmisije smanjujemo valnu duljinu, te se smanjivanjem valne duljine smanjuje i minimalna potrebna duljina antene za efektivnu komunikaciju.

## 2.2. MODULACIJA ANALOGNIH SIGNALA

Kako se signal sastoji od tri parametra (frekvencija, amplituda i faza) modulaciju analognih signala možemo podijeliti na tri tipa, a to su:

1. amplitudna modulacija (AM)
2. frekvencijska modulacija (FM)
3. fazna modulacija (PM).



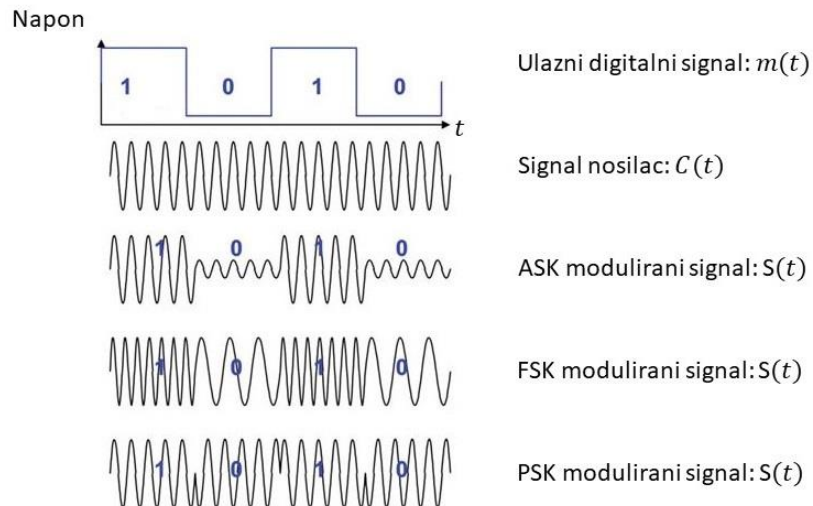
Slika 2. Prikaz modulacije signala pomoću AM, FM i PM modulacije [2]

Iz priložene slike 2. vidimo kako ulazni signal poruke  $m(t)$  mijenja određene parametre signala nosioca  $C(t)$  ovisno o tome koja tehnika modulacije se primjenjuje. Kod amplitudno moduliranog signala na slici 2. možemo vidjeti kako je signal poruke  $m(t)$  utjecao na amplitudu signala nosioca  $C(t)$  dok su sva ostala svojstva nosioca ostala ista. Kod frekvencijske modulacije, za razliku od amplitudne modulacije, imamo stalnu (nepromjenjivu) vrijednost amplitude signala nosioca, dok se frekvencija i faza mijenjaju u ovisnosti o ulaznom signalu. Kod fazne modulacije faza je promjenjiva u ovisnosti o ulaznom modulirajućem signalu dok su svi ostali parametri (frekvencija i amplituda) nepromjenjivi.

### 2.3. MODULACIJA DIGITALNIH SIGNALA

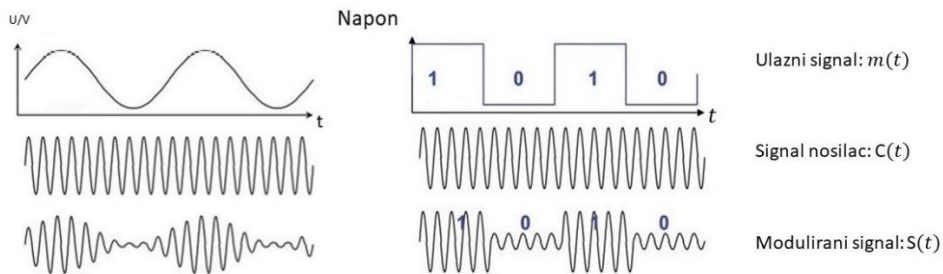
Modulaciju digitalnih signala možemo također podijeliti na tri osnovna tipa ovisno o parametrima signala koje moduliramo (amplituda, frekvencija ili faza), a to su

1. amplitudno zaključavanje pomaka (ASK)
2. frekvencijsko zaključavanje pomaka (FSK)
3. fazno zaključavanje pomaka (PSK)



Slika 3. Prikaz digitalno moduliranih signala uz primjenu ASK,FSK i PSK modulacija

Na slici 4. vidimo primjere modulacije digitalnog ulaznog signala primjenom ASK,FSK i PSK modulacije. Kod ovih modulacija možemo vidjeti da promjenjivi parametar amplitude, frekvencije ili faznog pomaka može poprimiti dva raspona vrijednosti koje se kao takve u digitalnom obliku reprezentiraju kao 0 ili 1, dok je kod modulacije analognih signala vrijednost varijabilnih parametara mogla poprimiti veći raspon vrijednosti.



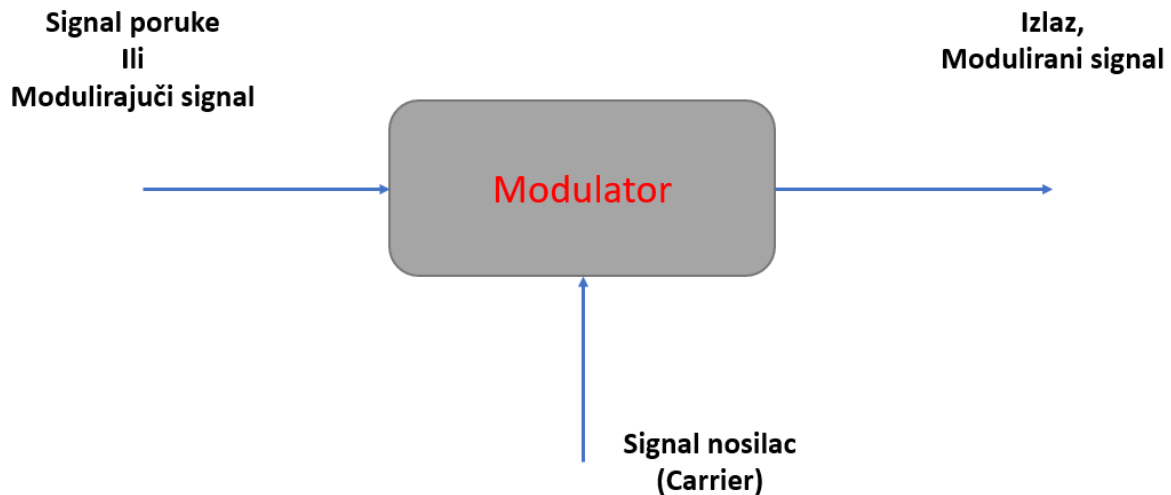
Slika 4. Prikaz analognog i digitalnog amplitudno moduliranog signala

### 3. AMPLITUDNA MODULACIJA

Amplitudna modulacija je proces pri kojemu sinusni (valni) signal prenosimo pomoću modulacije amplitude signala. Često se skraćeno naziva AM, te se najčešće koristi za prijenos informacija pomoću radio valova. Amplitudna modulacija se koristi uglavnom za elektroničku komunikaciju. Jedna je od najranijih modulacijskih metoda korištenih za prijenos informacija putem radija. Kod amplitudne modulacije amplituda signala nosioca (*carrier*) varira u skladu sa signalom poruke (modulacijski signal). Amplitudnu modulaciju možemo podijeliti na 3 osnovna vrste

1. DSB (*double sideband modulation*)
2. SSB (*single sideband modulation*)
3. VSB (*vestigal sideband modulation*)

Svi navedeni tipovi amplitudne modulacije zasnovani su na modulaciji visokofrekventnog signala nosioca (*high frequency carrier*) sa signalom poruke kojem je frekvencija ograničena na određeni pojas  $B$ , te je daleko manja od frekvencije signala nosioca  $f_m \ll f_c$ .



Slika 5. Blokovski prikaz modulatora

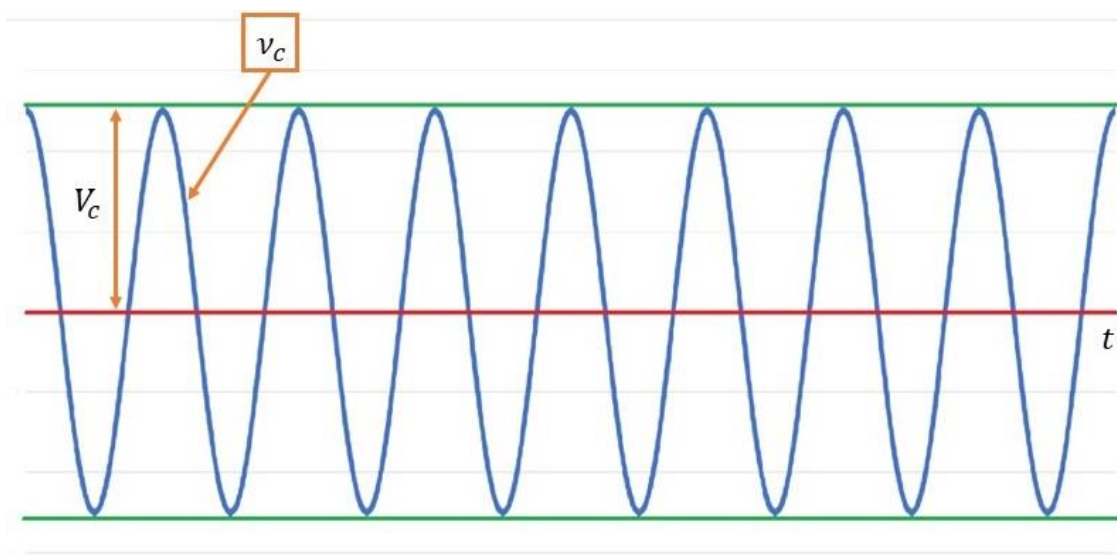
Na slici 5. prikazan je blok prikaz modulatora. Modulator ima dva ulaza, a to su ulazni signal poruke, te ulazni signal nosilac. Moduliranjem dvaju ulaznih signala na izlazu iz modulatora dobivamo modulirani signal koji se dalje kao takav prenosi do prijarnika.

Signal nosilac možemo izraziti preko trigonometrijske funkcije na sljedeći način:

$$v_c = V_c \sin(2\pi f_c t), \quad (4)$$

gdje  $v_c$  predstavlja trenutnu vrijednost napona sinusnog signala nosioca u određenom trenutku  $t$ ,  $V_c$  je maksimalna vrijednost napona (amplituda) nmoduliranog signala nosioca,  $f_c$  je frekvencija signala nosioca, a  $t$  predstavlja vrijeme. Kao i sinusni val signala nosioca, tako možemo izraziti i sinusni signal poruke (modulirajući signal),

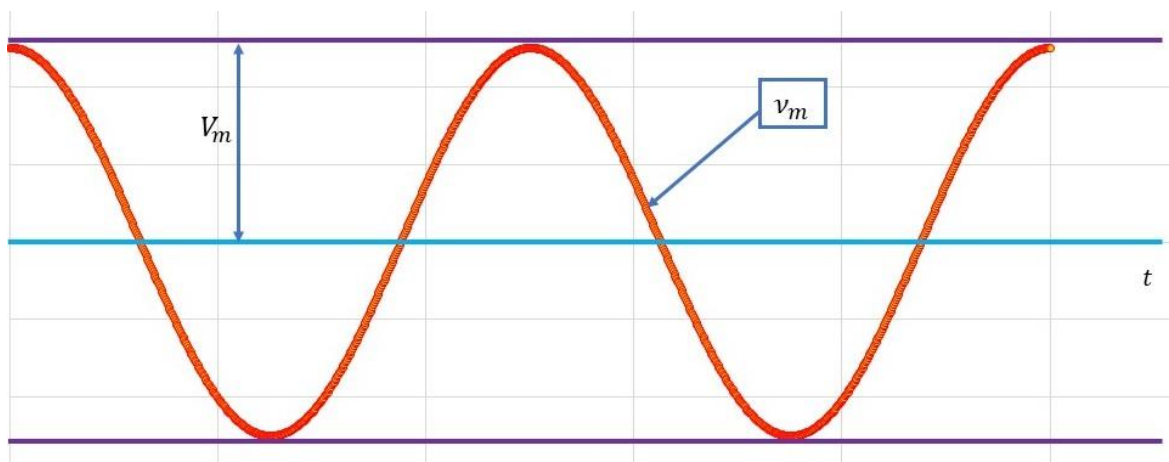
$$v_m = V_m \sin(2\pi f_m t). \quad (5)$$



Slika 6. Prikaz signala nosioca (*carriera*)

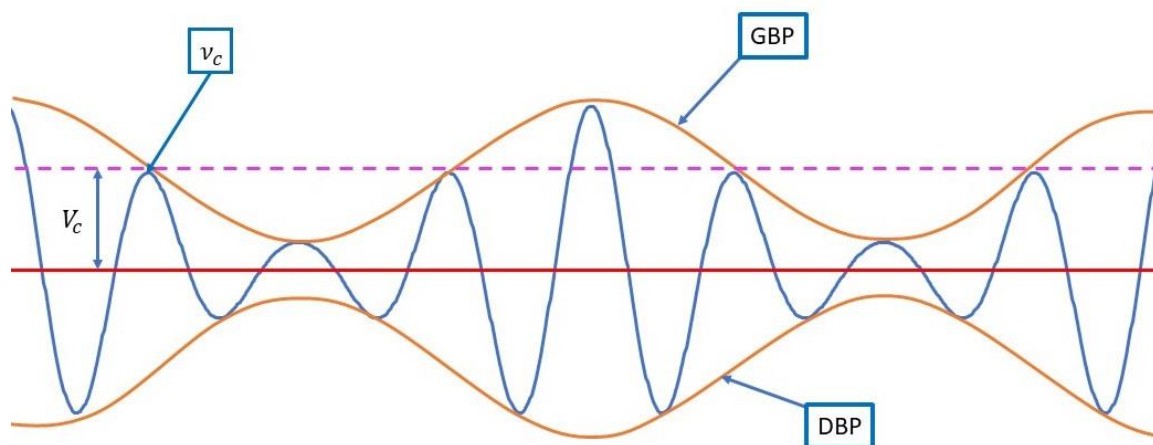
Na slici 6. vidimo sinusni izgled signala nosioca u vremenskoj domeni. Signal nosilac sam po sebi ne sadrži nikakvu informaciju o poruci, služi isključivo za prijenos („pojačavanje“) signala poruke. Izgled moduliranog signala na izlazu iz modulatora ovisi o parametrima modulirajućeg signala (signala poruke) i signala nosioca. Glavna obilježja signala poruke i signala nosioca su njihove amplitude i frekvencije. Na slici 7. možemo vidjeti izgled ulaznog signala poruke koji je znatno manje frekvencije od signala nosioca.





Slika 7. Prikaz ulaznog signala poruke

Postupkom moduliranja signala poruke sa signalom nosiocem na izlazu iz modulatora dobivamo izlazni modulirani signal koji u sebi sadrži i signal poruke i signal nosilac. Na slici 8. možemo vidjeti izlazni modulirani AM signal. Ovojnica (žuta linija na slici 8.) mijenja mijenja se u skladu sa signalom poruke.



Slika 8. Prikaz AM moduliranog signala

Kod AM modulacije, radi kasnijeg postupka asinkrone demodulacije, važno je da maksimalna vrijednost amplitude signala poruke bude manja od maksimalne vrijednosti signala nosioca

$$V_m < V_c. \quad (6)$$

Amplituda signala nosioca je referentna točka za modulirani signal. Modulirajući signal se dodaje ili oduzima od amplitude signala nosioca  $V_c$  pa je trenutna vrijednost  $v_1$

$$v_1 = V_c + v_m = V_c + V_m \sin(2\pi f_m t), \quad (7)$$

gdje je  $f_m$  frekvencija modulirajućeg signala (signala poruke). Iz jednadžbe (7) možemo vidjeti da se trenutna vrijednost amplitude signala poruke dodaje maksimalnoj vrijednosti amplitude signala nosioca. Dakle AM signal možemo izraziti tako da trenutnu maksimalnu vrijednost amplitude USB signala  $v_1$ , (jednadžba (7)) supstitucijom uvrstimo u izraz za signal nosioc (jednadžba 4) umjesto  $V_c$ . Na taj način smo dobili AM signal  $v_{AM}$ , odnosno slijedi:

$$v_c = V_c \sin(2\pi f_c t). \quad (8)$$

U signal nosilac supstitucijom umjesto  $V_c$  uvrštavanjem  $v_1$  dobivamo sljedeći izraz:

$$v_{AM} = v_1 \sin(2\pi f_c t), \quad (9)$$

tj. izraz za AM signal  $v_{AM}$  koji dalje možemo zapisati kao:

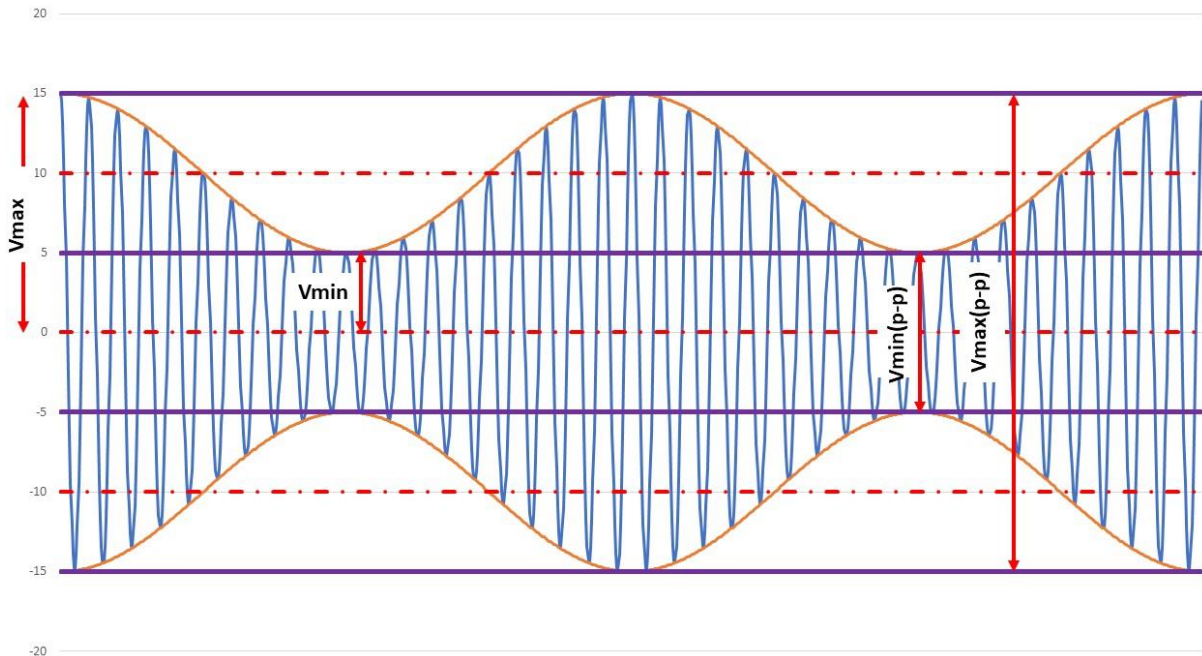
$$v_{AM} = (V_c + V_m \sin(2\pi f_m t)) * \sin(2\pi f_c t). \quad (10)$$

### 3.1. MODULACIJSKI INDEKS I POSTOTAK MODULACIJE

Jedan od jako važnih parametara prilikom moduliranja signala je indeks modulacije. Indeks modulacije je veza između amplitude signala nosioca i amplitude signala poruke. Spomenuli smo kako je važno da amplituda signala poruke mora biti manja od amplitude signala nosioca (jednadžba (3)). Dakle izraz za indeks modulacije možemo zapisati kao omjer amplitude signala poruke i signala nosioca, te slijedi:

$$m = \frac{V_m}{V_c}. \quad (11)$$

Osim navedenog izraza, modulacijski indeks se u praksi najčešće računa na način da se na izlaz iz AM modulatora spaja osciloskop. Na osciloskopu sa grafa možemo očitati vrijednosti prikazane na slici 9.



Slika 9. Prikaz AM signala s maksimalnim i minimalnim vrijednostima amplituda

Modulacijski indeks možemo izračunati preko sljedećeg izraza:

$$m = \frac{V_{max} - V_{min}}{V_{max} + V_{min}}. \quad (12)$$

S osciloskopa možemo direktno očitati vrijednosti  $V_{min}(p-p)$  i  $V_{max}(p-p)$  iz kojih jednostavno dobivamo vrijednosti za  $V_{min}$  i  $V_{max}$  tako da dijelimo  $V_{min}(p-p)$  i  $V_{max}(p-p)$  na pola i daljnjim uvrštavanjem u jednadžbu (12) možemo izračunati vrijednost modulacijskog indeksa.

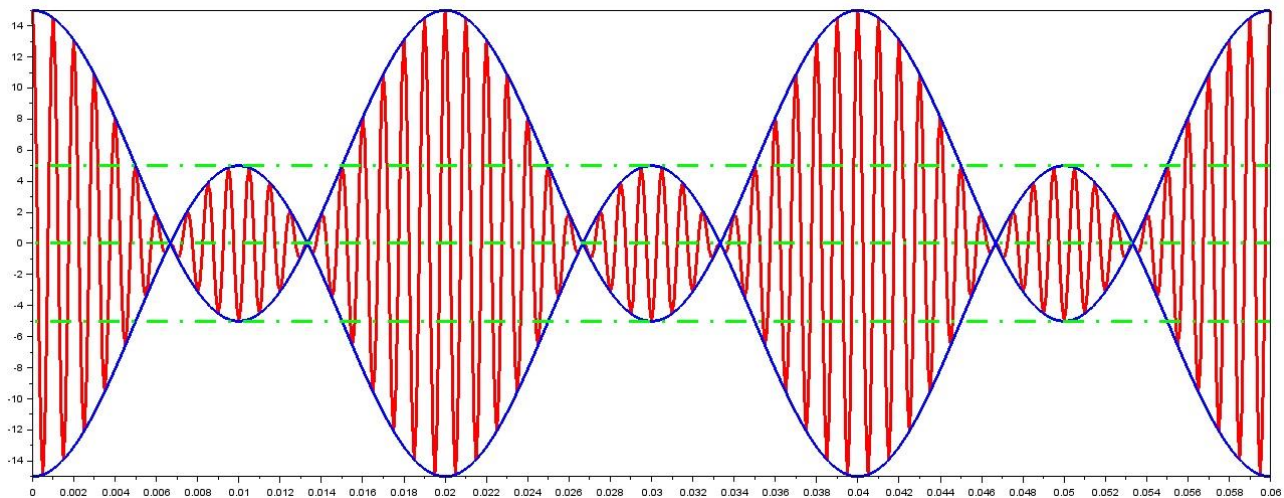
Kada imamo vrijednost modulacijskog indeksa  $m$ , tada možemo izračunati postotak modulacije tako da se modulacijski indeks pomnoži sa 100

$$m\% = m * 100. \quad (13)$$

### 3.1.1. PRETJERANA MODULACIJA I ISKRIVLJENJE SIGNALA

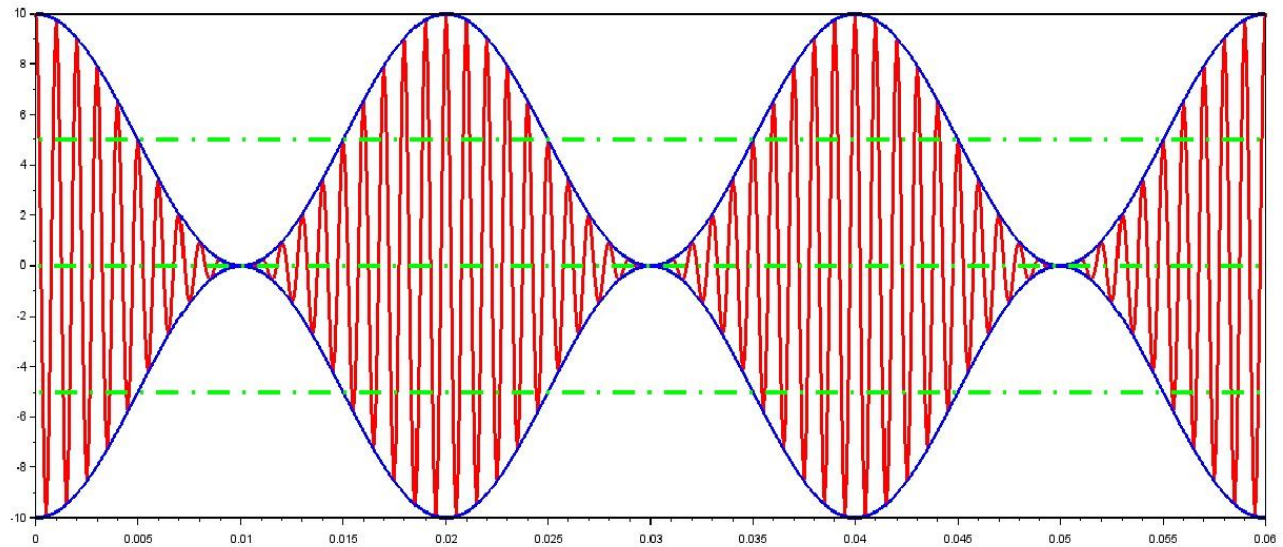
Do iskrivljenja AM signala dolazi u slučaju kada je modulacijski indeks  $m$ , dan jednadžbom (8), veći od 1. Tada dolazi do pretjerane modulacije i izobličenja signala. Izobličenje signala

dovodi do nepravilnih zvukova ukoliko se prenosi zvuk ili do nepravilnosti u slici ukoliko se radi o prijenosu slike putem AM signala. Na slici 10. možemo vidjeti primjer pretjerano moduliranog signala, te nepravilnosti AM signala u slučaju kada je amplituda signala poruke veća od amplitude signala nosioca.



Slika 10. Izobličenje AM signala

Da bi se izbjeglo izobličenje potrebno je da maksimalna vrijednost amplitude poruke ne prelazi vrijednost maksimalne amplitude signala nosioca. Tako se u maksimalnim vrijednostima amplituda signala poruke i signala nosioca podešava da modulacijski index bude jednak 1 odnosno  $V_m = V_c$ . Za taj slučaj kažemo da je modulacija 100% odnosno da nemamo nikakvih izobličenja signala, a da pri tome imamo najbolju izlaznu snagu odašiljača i najbolji izlazni napon na strani prijarnika. Slika 11. prikazuje AM signal za slučaj kada je  $m = 1$ .Možemo vidjeti kako nema izobličenja signala za razliku od slike 10.



Slika 11. Prikaz AM signala kada je modulacijski indeks 1

### 3.2. FREKVENCIJSKA DOMENA I BOČNI POJASEVI

Kada moduliramo signal nosilac sa signalom poruke generira se novi signal na drugim frekvencijama koje nazivamo frekvencije bočnih pojaseva. Frekvenciju gornjeg ili donjeg bočnog pojasa možemo izračunati preko sljedećeg izraza

$$f_{GBP} = f_c + f_m, \quad (14)$$

$$f_{DBP} = f_c - f_m, \quad (15)$$

gdje je:

$f_{GBP}$  – frekvencija gornjeg bočnog pojasa,

$f_{DBP}$  – frekvencija donjeg bočnog pojasa,

$f_c$  – frekvencija signala nosioca,

$f_m$  – frekvencija signala poruke.

Primjenom trigonometrijskih jednakosti na ranije opisanu jednadžbu (10) za AM signal, možemo prikazati postojanje frekvencijskih pojaseva u AM signalu, odnosno matematički možemo prikazati na sljedeći način:

$$v_{AM} = V_c * \sin(2\pi f_c t) + (V_m \sin(2\pi f_m t) * \sin(2\pi f_c t)). \quad (16)$$

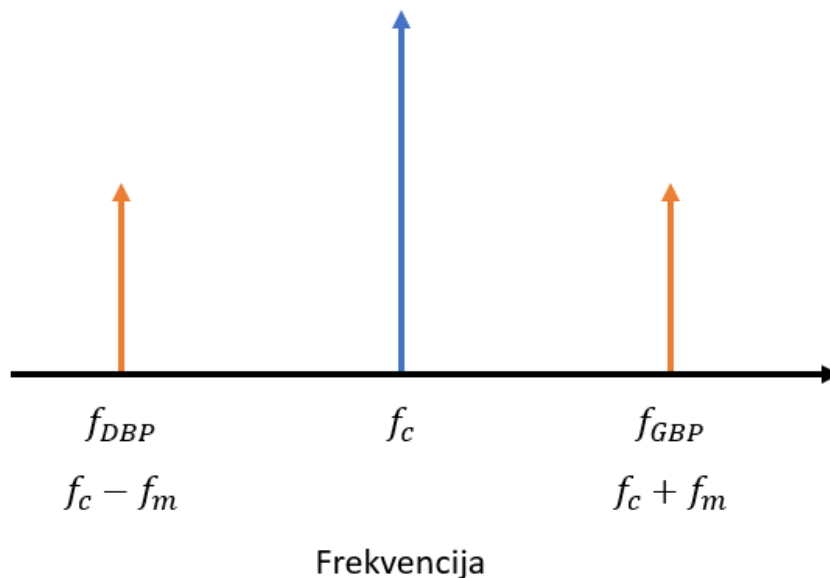
Na prethodno navedeni izraz za AM signal primijenjujemo trigonometrijski identitet

$$\sin A \sin B = \frac{\cos(A - B)}{2} - \frac{\cos(A + B)}{2}, \quad (17)$$

Čijim uvrštavanjem dobivamo sljedeći izraz za AM signal

$$v_{AM} = V_c * \sin(2\pi f_c t) + V_m * \left( \frac{\cos(2\pi(f_c - f_m) t)}{2} - \frac{\cos(2\pi(f_c + f_m) t)}{2} \right). \quad (18)$$

U dobivenom izrazu možemo vidjeti postojanje gornjeg i donjeg frekvencijskog bočnog pojasa.



Slika 12. Prikaz AM signala u frekvencijskoj domeni

Na prikazanoj slici 12. vidimo AM signal prikazan u frekvencijskoj domeni. Možemo primijetiti da se frekvencije bočnih pojaseva nalaze oko frekvencije signala nosioca.

Ukupnu širinu frekvencijskog pojasa AM signala (*bandwidth*) možemo izračunati tako da frekvenciju gornjeg bočnog pojasa oduzimamo od frekvencije donjeg bočnog pojasa

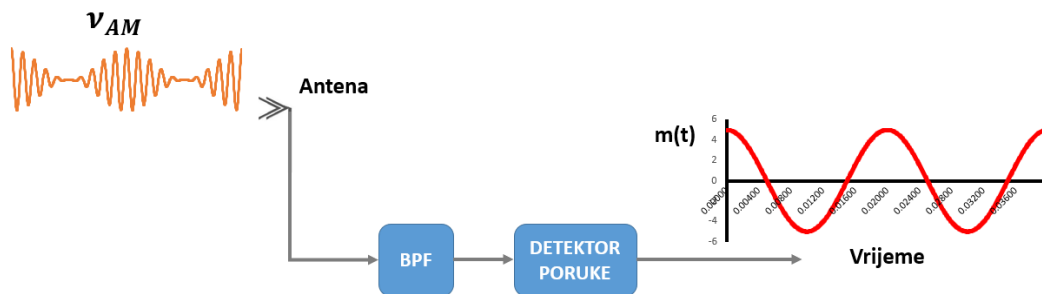
$$BW = f_{GBP} - f_{DBP}, \quad (19)$$

odnosno možemo zapisati i kao:

$$BW = 2 * f_m. \quad (20)$$

### 3.3. AM DEMODULACIJA

Kada smo riješili problem modulacije signala, te smo omogućili prijenos signala na veće udaljenosti putem zraka uz pomoć modulacije signala poruke sa signalom nosiocem, dolazimo do zadnjeg važnog koraka u procesu prijenosa podataka. Poslani modulirani signal od strane odašiljača potrebno je demodulirati na drugoj strani, tj. na strani prijmnika kako bismo dobili poslanu poruku  $m(t)$ . Dakle demodulacija je obrnuti proces od modulacije, te demoduliranjem moduliranog signala dobivamo čisti signal poruke koji se dalje obrađuje po potrebi sustava.

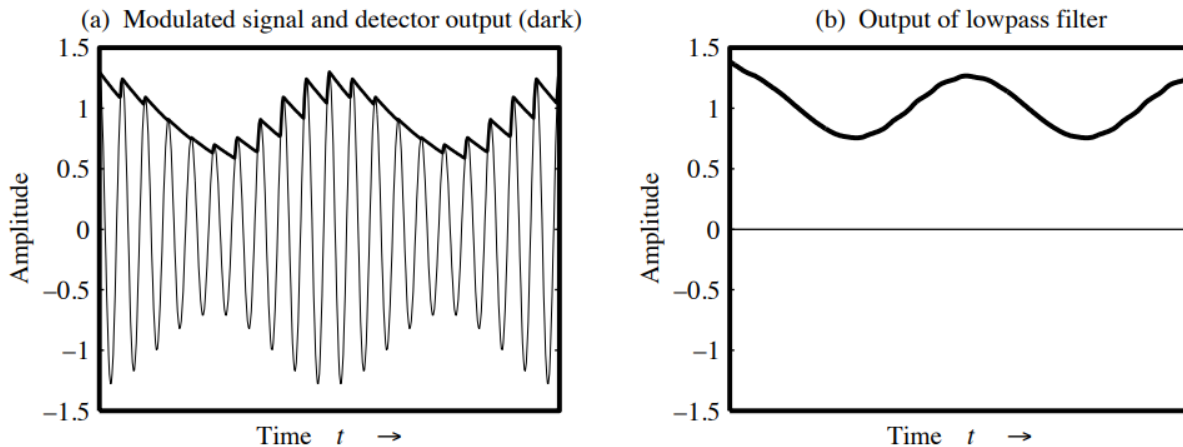


Slika 13. Prikaz demodulacijskog sklopa na strani prijmnika

Na slici 13. možemo vidjeti da se prijmnik sastoji od antene koja zaprima modulirani signal s odašiljača, te kao takav odlazi do pojasno-propusnog filtra (*Band Pass Filter, BPF*) na kojemu je podešena propusnost frekvencija na frekvenciju signala nosioca. Filtrar propušta modulirani signal dalje ukoliko mu je nosioc tražene frekvencije i kao takav dolazi do detektora poruke odnosno postupka demodulacije gdje se odvaja poruka od signala nosioca te konačno na izlazu dobivamo poruku koju je prijmnik zaprimio od odašiljača.

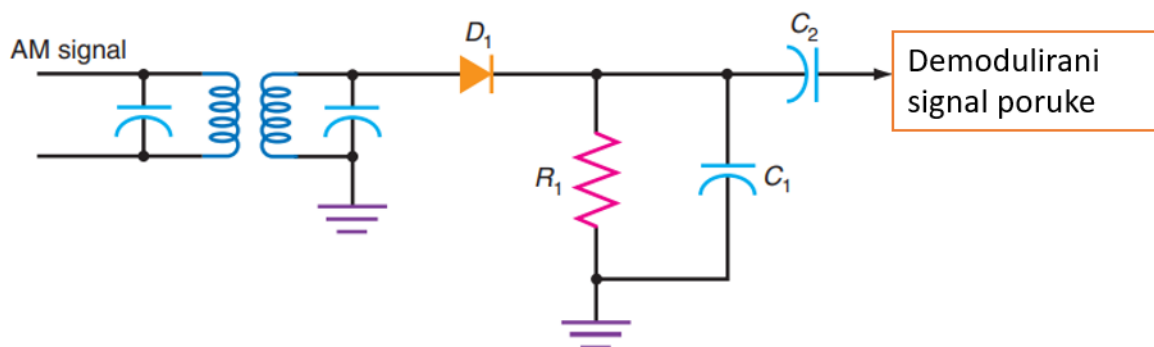
### 3.3.1. DIODA DETEKTOR

Dioda detektor je jedan od najjednostavnijih primjera i najčešće upotrebljavanog načina za demodulaciju amplitudno moduliranog signala AM. Postupkom demodulacije moduliranog signala natrag dobivamo izvorni signal poruke.



Slika 14. Prikaz moduliranog signala i izlaznog demoduliranog signala poruke [1]

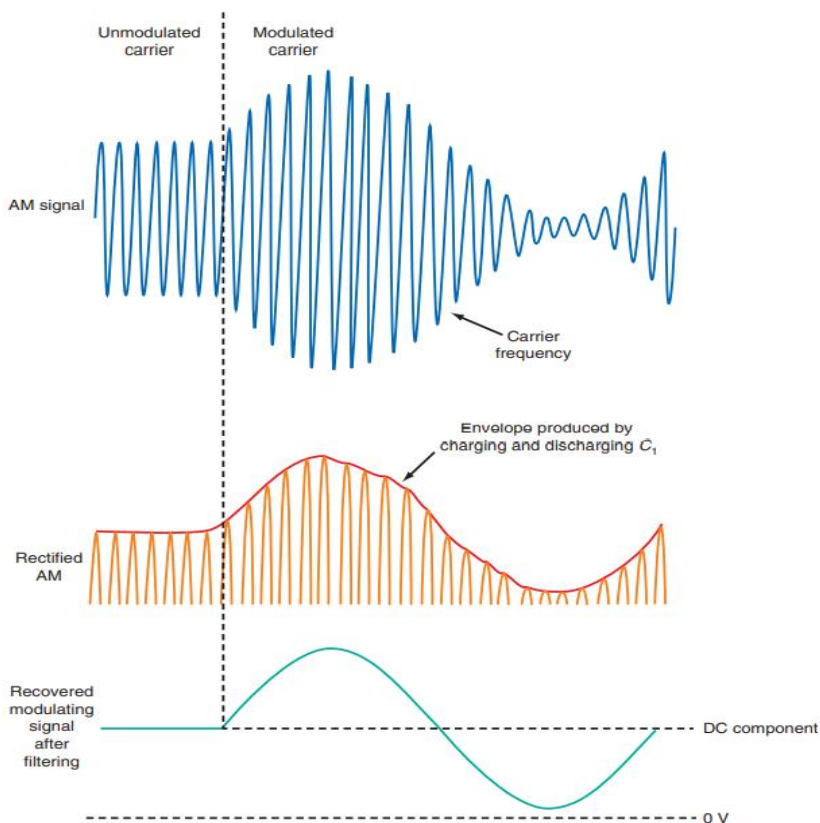
Na slici 14 možemo vidjeti kako iz AM signala ponovno dobivamo izvorni signal poruke. Iz AM signala sa slike je vidljivo kako smo izdvojili poruku iz ovojnice AM signala.



Slika 15. Prikaz dioda detektor demodulator sklopa [3]



Na slici 15 možemo vidjeti prikaz sklopa demodulatora s diodom kao detektorom. AM signal je spojen putem transformatora, te se kao takav preko osnovnog poluvalnog ispravljača odnosno diode (D1) i otpornika (R1). Kada je vrijednost ulaznog signala veća od napona na kondenzatoru C1, dioda propušta signal i kondenzator se nabija na vrijednost ulaznog signala. Kada je ulazni signal manji od napona na kondenzatoru struja kroz diodu je nula i kondenzator se prazni preko otpornika R1. Na taj način dobivamo niz vrijednosti napona koji variraju u skladu sa amplitudama moduliranog signala. Kondenzator C1 paralelno spojen sa otpornikom R1 služi za efikasno filtriranje signala poruke iz moduliranog signala. Kada dioda propušta struju, kondenzator C1 se brzo napuni na maksimalnu vrijednost. Kada struja padne na nulu i kondenzator se prazni preko otpornika R1, vremenska konstanta pražnjenja kondenzatora podešena je tako da je duža od perioda signala nosioca. Zbog toga se kondenzator ne isprazni do kraja već samo dio kondenzatora se uspije isprazniti. Dolaskom sljedećeg pulsa kondenzator se ponovno puni na maksimalnu vrijednost. Kada struja opet padne na nulu odnosno naiđe negativni dio AM signala opet dolazi do pražnjenja određenog dijela kondenzatora i na taj način smo dobili približan demodulirani signal (slika 16).



Slika 16. Prikaz valnih oblika prilikom demodulacije putem dioda detektora [3]

### 3.4. NEDOSTATCI AM MODULIRANOG SIGNALA

Razmatrajući cijeli proces amplitudne modulacije možemo primijetiti neke od važnih nedostataka. Modulirani signal se sastoji od signala nosioca i signala poruke pri čemu signal nosioc uzima energiju, a da pri tome ne sadrži nikakvu informaciju. Kod amplitudne modulacije imamo gornji i donji bočni pojas koji sadrže identične informacije. Amplitudno modulirani signal je osjetljiv na smetnje budući da utječemo na amplitudu signala nosioca. Također širina pojasa AM signala nije efikasna. Vidimo da imamo potrebu za poboljšavanjem efikasnosti širine pojasa signala te energetske učinkovitosti.

### 3.5. DSB MODULACIJA

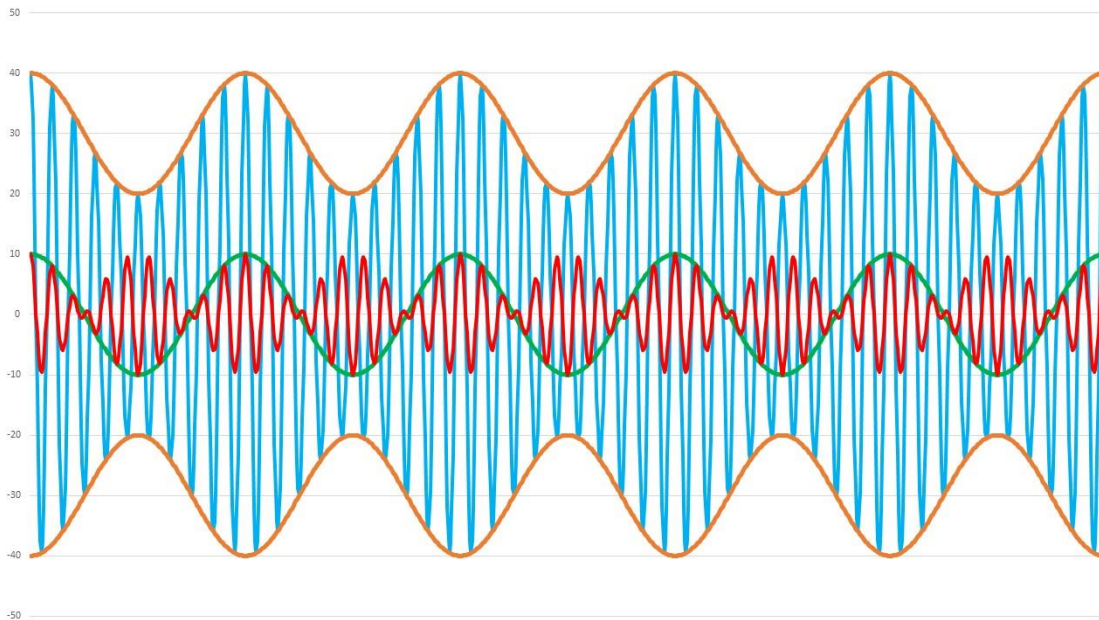
DSBSC (*Double Side-Band Suppressed Carrier*) je modulacija kod koje se frekvencije od amplitudno moduliranog signala simetrično pomiču iznad i ispod frekvencije signala nosioca  $f_c$ . Na taj način možemo reducirati vrijednost nosioca na najnižu moguću praktičnu razinu ili ga u idealnom slučaju potpuno potisnuti. Kako znamo da kod AM modulacije signal nosilac ne sadrži nikakvu informaciju o poruci, kod DSBSC modulacije izuzimamo komponentu signala nosioca iz ranije spomenutog izraza za amplitudnu modulaciju.

$$v_{AM} = V_c * \sin(2\pi f_c t) + V_m * \frac{1}{2} [\cos(2\pi(f_c - f_m) t) - \cos(2\pi(f_c + f_m) t)]. \quad (21)$$

Kada smo izbacili komponentu signala nosioca iz standardnog izraza za AM modulaciju dobivamo izraz za DSBSC signal koji glasi:

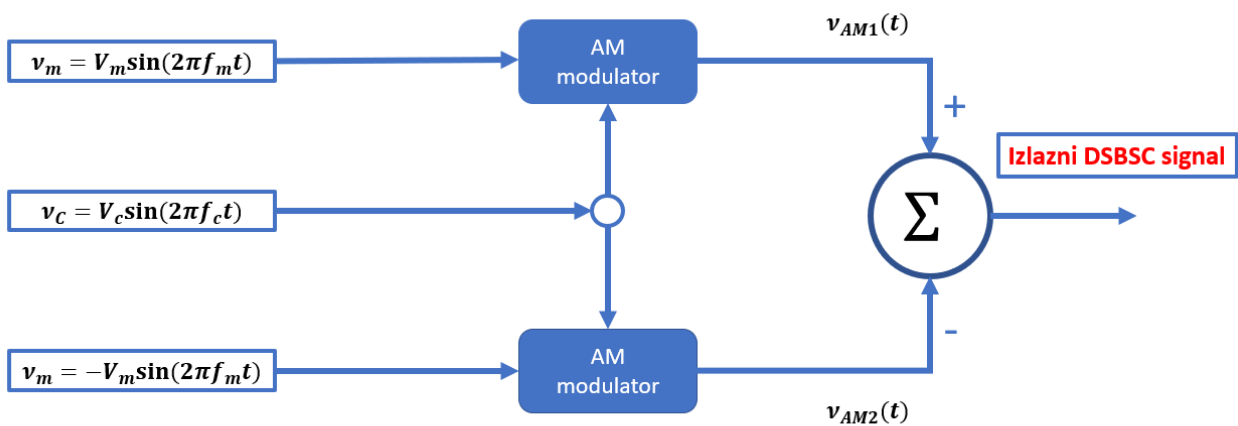
$$v_{AM} = V_m * \frac{1}{2} [\cos(2\pi(f_c - f_m) t) - \cos(2\pi(f_c + f_m) t)]. \quad (22)$$

Slika 17. prikazuje razliku između DSBSC i standardne AM modulacije. Signal označen plavom bojom je standardni AM signal čija ovojnica je označena narančastom bojom. Signal označen crvenom bojom je DSBSC signal, te možemo primjetiti kako je segment signala nosioca potisnut. Signal poruke je označen zelenom bojom, te možemo vidjeti kako se preslikava sa DSBSC moduliranim signalom.



Slika 17. Prikaz DSBSC signala u odnosu na standardni AM signal

Na slici 18. prikazan je blokovski prikaz DSBSC modulatora te možemo vidjeti kako se DSBSC modulator sastoji od dva AM modulatora koji dijele jedan zajednički ulazni parametar signala nosioca  $v_c$ , te različiti ulaz za modulacijski signal odnosno signal poruke  $v_m$ . Izlaze iz AM modulatora međusobno oduzimamo, te se na taj način potiskuje signal nosioc i na izlazu dobivamo modulirani DSBSC signal koji je napisan izrazom (22).



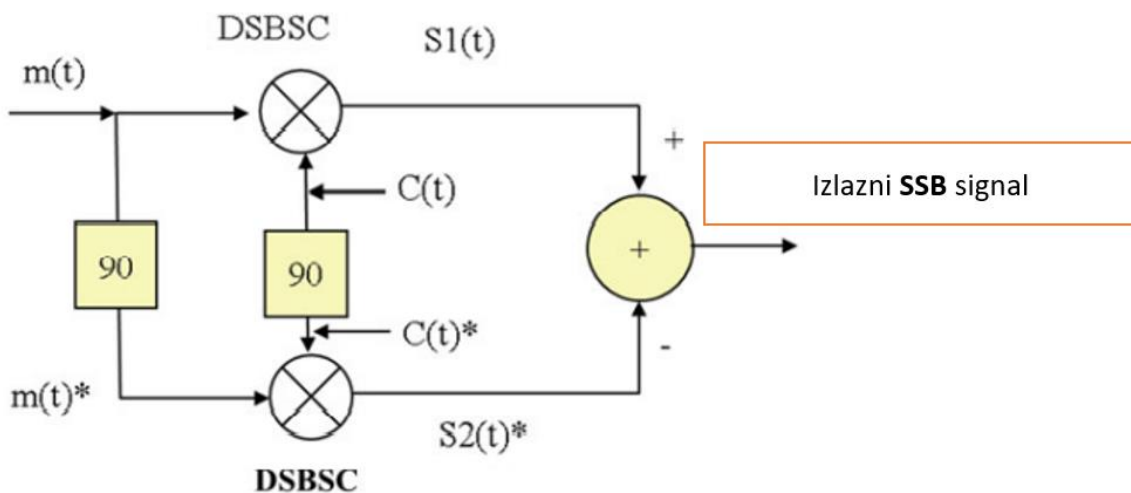
Slika 18. Blok prikaz DSBSC modulatora

### 3.5.1. NEDOSTATCI DSBSC MODULACIJE

Nedostatak DSBSC modulacije je što se i dalje prenosi dvostruka poruka, odnosno imamo dva bočna pojasa sa identičnim informacijama (signalom poruke), te samim time imamo nepotreban gubitak energije. Širina frekvencijskog pojasa je  $2f_m$ .

### 3.6. SSB MODULACIJA

SSB (*Single SideBand*) modulacija je nadogradnja na DSBSC modulaciju, tako da osim što imamo potiskivanje signala nosioca imamo i prenošenje signala poruke samo u jednom bočnom pojasu.



Slika 19. Blok dijagram SSB modulatora [2]

Na slici 19 možemo vidjeti kako se SSB modulator sastoji od dva DSBSC modulatora. Na ulaz SSB modulatora dovodimo signal poruke  $m(t)$  odnosno ranije označenog  $v_m$  u jednađbi (5). Izraz za ulazni signal poruke zapisujemo sljedećim izrazom

$$m(t) = A_m \cos(\omega_m t). \quad (23)$$

Izraz za  $m(t)^*$  sa slike zapisujemo preko Hilbertove transformacije te dobivamo

$$m(t)^* = A_m \sin(\omega_m t) - (\text{Hilbert transformacija}). \quad (24)$$

Kako vidimo na slici 18 za  $m(t)^*$ , potrebno je zakrenuti signal poruke za  $90^\circ$ . U jednadžbi (24) zbog toga koristimo funkciju sinus umjesto kosinus funkcije jer su u odnosu jedna na drugu pomaknute za  $90^\circ$ . Signali nosioci  $C(t)$  i  $C(t)^*$  su također pomaknuti za  $90^\circ$ , te ih zapisujemo izrazima.

$$C(t) = A_c \cos(\omega_c t), \quad (25)$$

$$C(t)^* = A_c \sin(\omega_c t) - (\text{Hilbertova transformacija}). \quad (26)$$

Izraz  $S1(t)$ , odnosno prvi DSBSC signal možemo zapisati kao

$$S1(t) = A_c A_m \cos(\omega_m t) \cos(\omega_c t). \quad (27)$$

Izraz  $S2(t)$  zapisujemo isto kao izraz za  $S1(t)$ , samo je razlika u pomaku od  $90^\circ$  te zbog toga u izrazu koristimo sinus funkciju i možemo  $S2(t)$  zapisati na sljedeći način

$$S2(t) = A_c A_m \sin(\omega_m t) \sin(\omega_c t). \quad (28)$$

Za dobivanje SSB signala na slici 18 vidimo kako je potrebno dva signala  $S1(t)$  i  $S2(t)$  oduzeti jedan od drugoga. Oduzimanjem  $S1(t)$  od  $S2(t)$  dobivamo izraz za SSB signal

$$S_{SSB}(t) = A_c A_m \cos(\omega_m t) \cos(\omega_c t) - A_c A_m \sin(\omega_m t) \sin(\omega_c t). \quad (29)$$

Primjenjujemo trigonometrijske jednakosti dane sljedećim izrazima

$$\cos A \cos B = \frac{1}{2} \cos(A + B) + \frac{1}{2} \cos(A - B), \quad (30)$$

$$\sin A \sin B = \frac{1}{2} \cos(A - B) - \frac{1}{2} \cos(A + B). \quad (31)$$

Sređivanjem  $S_{SSB}(t)$ , uz primjenu trigonometrijskih identiteta (30 i 31) dobivamo izraz za SSB modulirani signal koji zapisujemo na sljedeći način

$$S_{SSB}(t) = A_c A_m \cos(\omega_c + \omega_m)t. \quad (32)$$

U izrazu za SSB, modulirani signal se sastoji samo od GBP, dakle eliminirali smo DBP koji se sastoji od istih informacija kao GBP te samim time je nepotreban.

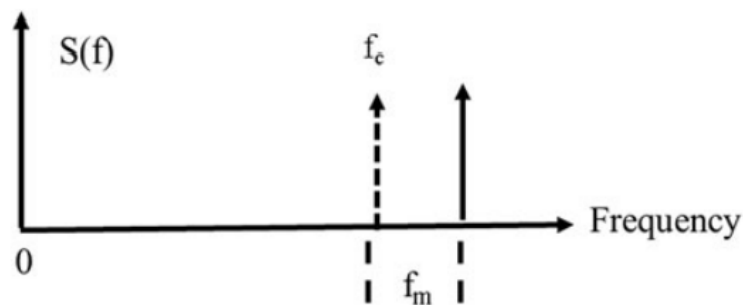
### 3.6.1. SPEKTAR I ŠIRINA POJASA SSB SIGNALA

Kada sredimo izraz za SSB signal (32) i uvrstimo  $2\pi f$  umjesto  $\omega_c$  i  $\omega_m$ , dobijemo sljedeći izraz

$$S_{SSB}(t) = A_c A_m \cos 2\pi(f_c + f_m)t. \quad (33)$$

Možemo vidjeti kako SSB signal sadrži samo jedan bočni pojas, odnosno samo gornji bočni pojas GBP. Kako imamo samo jedan bočni pojas tako je širina pojasa kod SSB moduliranog signala manja nego kod ostalih modulacija gdje smo imali dva bočna pjasa. Širinu pojasa kod SSB signala možemo zapisati izrazom

$$SSB BW = f_m. \quad (34)$$



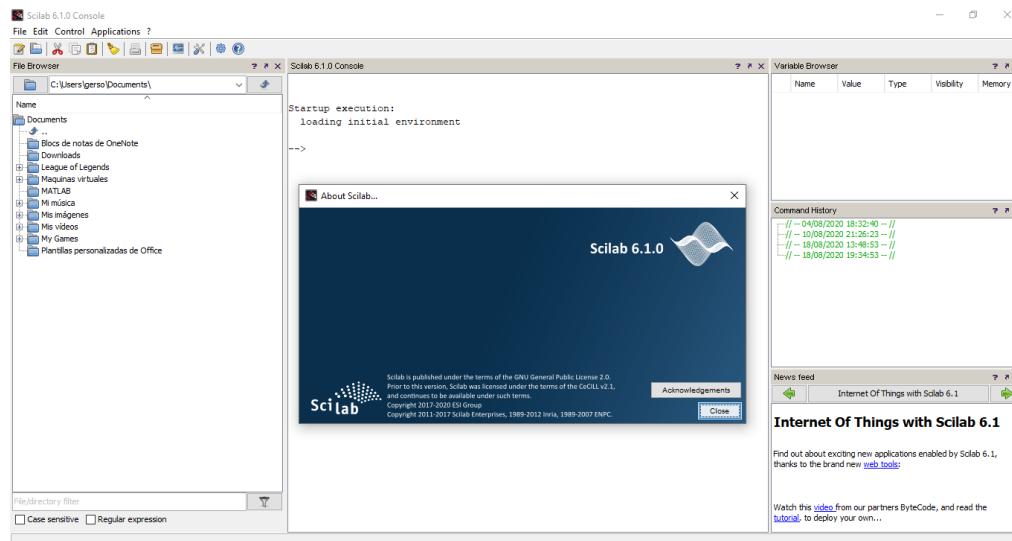
Slika 20. Spektar SSB moduliranog signala [2]

## 4. SIMULACIJA AMPLITUDNE MODULACIJE SIGNALA

U ovom poglavlju odradit ćemo simulaciju standardne amplitudne modulacije ulaznog signala poruke koristeći *Scilab* softver. Za simulirani ulazni signal poruke uzimamo složeniju funkciju kako bismo mogli vidjeti konkretniji prikaz AM signala s njegovim karakteristikama. Osim grafičkog prikaza možemo i poslušati razliku zvučnog signala poruke u odnosu na modulirani zvučni signal poruke.

### 4.2. SCILAB PROGRAM

*Scilab* je besplatni program otvorenog koda, višepatformski numerički računalni paket i programski jezik visoke razine, numerički orijentiran [4]. Može se koristiti za raznorazne simulacije i matematičke izračune. Na slici 21. možemo vidjeti izgled sučelja scilab programa.



Slika 21. Prikaz sučelja scilab programa [4]

### 4.3. OSNOVNE FUNKCIJE U SCILAB PROGRAMU

U ovom dijelu napisat ćemo neke od osnovnih funkcija koje upotrebljavamo u simulaciji AM signala.

*plot* – funkcija koja služi za grafički prikaz podataka (signala) u 2D obliku.

*subplot* – funkcija koja omogućava prikaz više grafova unutar jednog prozora.

*sleep* – funkcija za pauziranje izvršavanja programa u milisekundama

*playsnd* – funkcija koja služi za pokretanje zvučnog signala

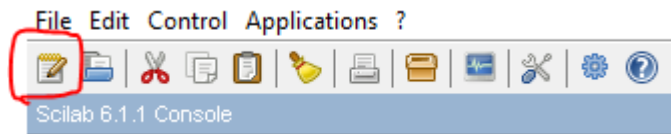
*soundsec* – funkcija koja definira trajanje zvučnoga signala definirane funkcije

*clc* – funkcija koja briše sve ulazne i izlazne vrijednosti iz konzole

*disp* – ispisuje vrijednosti varijabli u konzolu

#### 4.4. PISANJE KODA ZA SIMULACIJU MODULACIJE AM SIGNALA

Kako bismo napravili simulaciju moduliranja standardnom AM modulacijom unutar *Scilab* sučelja odabiremo *SciNotes* ikonu prikazanu na slici 22. Otvara nam se novi prozor u kojemu možemo pisati potreban kod u kojemu definiramo funkciju signala poruke, te definiramo AM signal tako da koristimo formulu za standardnu AM modulaciju.



Slika 22. *SciNotes* ikona unutar *Scilab*-a

Slijedi kod pisan za simulaciju standardnog AM signala u kojemu smo signal poruke definirali kao varijablu *s*.

```
clc;
t=soundsec(1);//ukupna duljina zvuka

fm1=850
fm2=150
fm3=300
fc=2000;//frekvencija signala nosilca

s=sin((2*%pi)*fm1*t)+sin((2*%pi)*fm2*t)+sin((2*%pi)*fm3*t);//Ulazni signal zvuka

a=length(s);//Ukupan broj podataka (amplituda) unutar ulaznog signala zvuka
disp(a);

MAXAMP=0;//Definiranje varijable za maksimalnu vrijednost amplitude u signalu poruke
for i=1:a//For petlja za čitanje maksimalne amplitude unutar signala
if s(i)>MAXAMP then
MAXAMP = s(i);
else
MAXAMP = MAXAMP;//Maksimalna amplituda u signalu poruke
end
end
```



```

ac=MAXAMP;
ka=1/ac
c=ac*sin(2*%pi*fc*t);
AM=(1+ka.*s).*c;//Modulirani signal zvuka

disp('MAX AMP IS: ',MAXAMP);

playsnd(s);// pokretanje zvučnog zapisa bez modulacije (signal poruke)
sleep(2000);//pauza između dva zvuka
playsnd(AM);//pokretanje moduliranog zvučnog zapisa na izlazu

tr=(a-300):1:a;//Printamo samo dio signala raspon
plot(tr,AM(tr),'LineWidth',3);
plot(tr,s(tr)+ac,"r",'LineWidth',3);
plot(tr,-s(tr)-ac,"r",'LineWidth',3);

```

Kako bi signal poruke (zvuka) bio složeniji, zbrojili smo više sinusnih funkcija s različitim vrijednostima frekvencija (fm1, fm2 i fm3). Vrijednost frekvencije signala nosioca smo definirali varijablom fc. Trajanje zvuka smo definirali varijablom t, koju smo uz upotrebu soundsec funkcije definirali na jednu sekundu. Varijablu „a“ smo definirali tako da odgovara količini podataka (vrijednosti amplituda) koji se nalaze unutar samog signala poruke kako bismo je mogli kasnije iskoristiti za grafički prikaz samo jednog segmenta signala kako bi graf bio pregledniji. Varijablu „MAXAMP“ koristimo za čitanje maksimalne vrijednosti amplitude signala poruke, te ju koristimo za postavljanje amplitude signala nosioca definiranog varijablom „ac“ i na taj način radimo AM modulaciju sa modulacijskim indeksnom 1 odnosno radimo stopostotnu modulaciju signala poruke (zvuka).

```

for i=1:a//For petlja za čitanje maksimalne amplitude unutar signala
if s(i)>MAXAMP then
MAXAMP = s(i);
else
MAXAMP = MAXAMP;//Maksimalna amplituda u signalu poruke
end
end

```

Napisana for petlja prolazi kroz svaki podatak vrijednosti amplitude signala poruke, te ga uspoređuje s vrijednosti varijable „MAXAMP“. Ukoliko je pročitana vrijednost amplitude signala poruke „s(i)“ veća od varijable „MAXAMP“, tada varijablu „MAXAMP“ postavljamo na vrijednost pročitane amplitude signala poruke, a ukoliko nije tada vrijednost „MAXAMP“ ne diramo i nastavljamo sa čitanjem amplituda signala poruke dok ne dođemo do kraja podataka. Na taj način smo pročitali maksimalnu vrijednost amplitude signala poruke (zvuka), te ju kao takvu koristimo u daljnjem izračunu.

```

ac=MAXAMP;
ka=1/ac
c=ac*sin(2*%pi*fc*t);

```

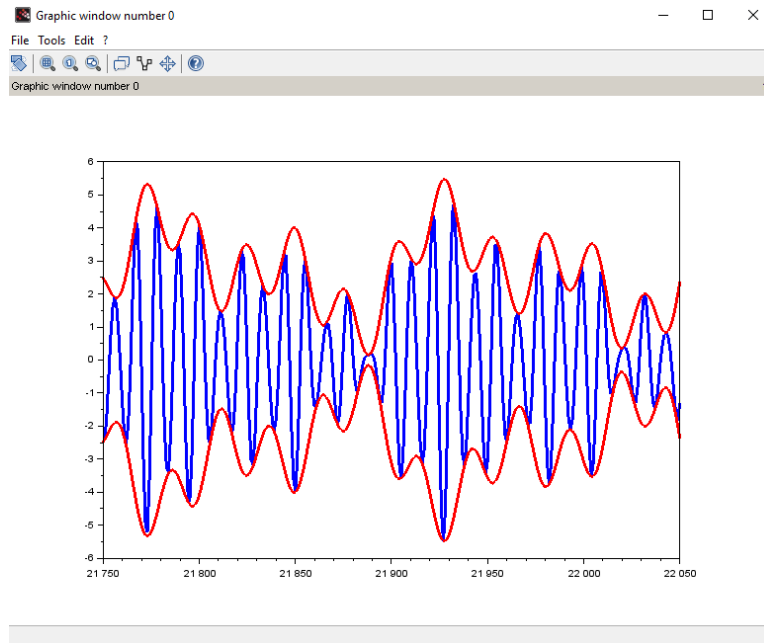
```
AM=(1+ka.*s).*c;//Modulirani signal zvuka
```

Primijenjujemo izraze za dobivanje standardnog AM signala, varijablu za amplitudu signala nosioca „ac“ smo podesili na vrijednost amplitude signala poruke „MAXAMP“. Dobivenu vrijednost varijable za amplitudu nosioca „ac“ uvrštavamo u varijablu „c“ koja nam predstavlja signal nosilac koji zapisujemo preko izraza (8) . Možemo primijetiti da za korištenje vrijednosti broja  $\pi$  upotrebljavamo „%pi“ kod definiranja varijable za funkciju signala nosioca. Modulacijski indeks smo označili sa varijablom „ka“ , a sami amplitudno modulirani signal dobivamo varijablom „AM“. Sada kada imamo sve potrebne vrijednosti, AM signal i signal poruke možemo pristupiti ispisu i prikazu istih kako grafički, tako i preko puštanja zvuka za signal poruke i modulirani signal AM.

```
playsnd(s);// pokretanje zvučnog zapisa bez modulacije (signal poruke)
sleep(2000);//pauza između dva zvuka
playsnd(AM);//pokretanje moduliranog zvučnog zapisa na izlazu

tr=(a-300):1:a;//Printamo samo dio signala raspon
plot(tr,AM(tr),'LineWidth',3);
plot(tr,s(tr)+ac,"r",'LineWidth',3);
plot(tr,-s(tr)-ac,"r",'LineWidth',3);
```

Uz upotrebu funkcije *playsnd* dobivamo izlazni zvučni signal za signal poruke koji smo definirali varijablom „s“. Nakon dobivenog izlaznog zvučnog signala poruke koristimo funkciju „*sleep(2000)*“ koja zaustavlja program u trajanju od dvije sekunde, te nakon toga se izvršava sljedeća linija koda koja nam daje izlazni zvučni signal za amplitudno modulirani signal „AM“. Možemo primijetiti kako je AM signal znatno veće frekvencije. Kako bi grafički prikazali dobivene signale koristimo funkciju *plot*, ali ispisujemo samo dio signala kako bi na grafu bilo lakše vidjeti signal poruke i AM signal. Grafički prikazujemo zadnjih 300 vrijednosti signala uz pomoć petlje „tr=(a-300):1:a;“. Varijabla „a“ je broj podataka (vrijednosti) koliko ih se nalazi unutar signala poruke. Vrijednost 1 predstavlja korak uvećavanja, a vrijednost „a“ maksimalna vrijednost do koje učitavamo podatke. Nakon kreiranja petlje koristimo funkcije koje će ispisati odnosno prikazati grafički izgled AM signala „AM(tr)“, te izgled signala poruke s(tr) koji smo pomakli za vrijednost „+ac“ i „-ac“, te ga tako postavili na gornji i donji bočni pojas. Pokrenemo simulaciju da se izvrši napisani kod , te dobivamo grafički prikaz AM signala prikazan na slici 23 označen plavom bojom. Crvena boja prikazuje ovojnicu AM signala odnosno izgled ulaznog signala poruke.



Slika 23. Prikaz simuliranog AM signala uz uporabu *Scilab* programa

## 5. ZAKLJUČAK

U početku ovoga rada pisali smo zašto je potrebna modulacija, te koje benefite imamo od moduliranja signala. Možemo zaključiti da je postupak modulacije bio prekretnica u načinu komunikacije i prijenosu signala jer smo uz pomoć moduliranja signala dobili mogućnost slanja informacija putem zraka na velike udaljenosti. Pisali smo o standardnoj amplitudnoj modulaciji (AM), te možemo zaključiti da je standardna AM modulacija najjednostavniji primjer modulacije, ali i da je kod standardne AM modulacije puno nedostataka kao što je dvostruko prenošenje informacija odnosno imamo gornji i donji bočni pojas s identičnim informacijama. Isto tako, kod standardne AM modulacije postoji i signal nosilac koji se također prenosi i troši energiju, a da pri tome ne sadrži nikakvu informaciju o poruci. Nakon standardne AM demodulacije spomenuli smo proces DSBSC modulacije koji i dalje nije efikasan jer i kod njega imamo dvostruko prenošenje informacije, odnosno imamo dva bočna pojasa, ali za razliku od standardne AM demodulacije kod DSBSC modulacije smo „sabili“ signal nosilac, te na taj način nemamo bespotreban trošak energije na signal nosioc. Nakon standardne AM i DSBSC amplitudne modulacije došli smo do SSB modulacije koja je daleko efikasnija u prijenosu informacija. Za razliku od ranije spomenute DSBSC amplitudne modulacije, kod SSB modulacije imamo samo jedan bočni pojas i na taj način se informacija poruke šalje samo jednom odnosno nemamo dupliciranja informacije. Možemo zaključiti da je moduliranje signala široko rasprostranjeno oko nas, ali u današnje vrijeme na mnogo kompleksnije načine, te se velika većina informacija i podataka pojavom mobilne tehnologije i radija šalje putem zraka uz pomoć raznoraznih tehnika moduliranja signala.

## LITERATURA

- [1] Ambardar A.: Analog and Digital Signal Processing, Brooks/Cole Publishing Company (1995.), 053495409X
- [2] Saleh Faruque: Radio Frequency Modulation Made Easy
- [3] Louis E. Frenzel Jr.: Principles of Electronic Communication Systems, Fourth Edition
- [4] <https://en.wikipedia.org/wiki/Scilab>, pristupljeno 4.6.2022.
- [5] Borivoj Modlic, Ivan Modlic: Modulacije i modulatori
- [6] <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/amplitude-modulation>, pristupljeno 25.05.2022.

## POPIS SLIKA

Slika 1. Blok shema, prikaz modernog komunikacijskog sustava [2] .....	2
Slika 2. Prikaz modulacije signala pomoću AM,FM i PM modulacije [2] .....	4
Slika 3. Prikaz digitalno moduliranih signala uz primjenu ASK,FSK i PSK modulacija .....	5
Slika 4. Prikaz analognog i digitalnog amplitudno moduliranog signala.....	5
Slika 5. Blokovski prikaz modulatora .....	6
Slika 6. Prikaz signala nosioca (carriera).....	7
Slika 7. Prikaz ulaznog signala poruke .....	8
Slika 8. Prikaz AM moduliranog signala .....	8
Slika 9. Prikaz AM signala s maksimalnim i minimalnim vrijednostima amplituda .....	10
Slika 10. Izobličenje AM signala .....	11
Slika 11. Prikaz AM signala kada je modulacijski indeks 1 .....	12
Slika 12. Prikaz AM signala u frekvencijskoj domeni .....	13
Slika 13. Prikaz demodulacijskog sklopa na strani prijarnika .....	14
Slika 14. Prikaz moduliranog signala i izlaznog demoduliranog signala poruke [1] .....	15
Slika 15. Prikaz dioda detektor demodulator sklopa [3] .....	15
Slika 16. Prikaz valnih oblika prilikom demodulacije putem dioda detektora [3] .....	16
Slika 17. Prikaz DSBSC signala u odnosu na standardni AM signal .....	18
Slika 18. Blok prikaz DSBSC modulatora .....	18
Slika 19. Blok dijagram SSB modulatora [2] .....	19
Slika 20. Spektar SSB moduliranog signala [2] .....	21
Slika 21. Prikaz sučelja scilab programa [4] .....	22
Slika 22. SciNotes ikona unutar Scilab-a .....	23
Slika 23. Prikaz simuliranog AM signala uz uporabu Scilab programa .....	26