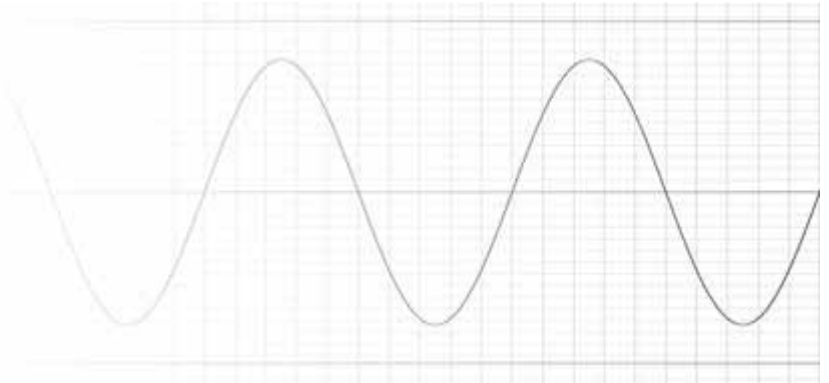


Modulacije



Mada postoji više modulacijskih postupaka prema vrstama prijenosnog signala (kao npr. periodičnim impulsima ili npr. digitalni modulacijski postupak) onaj najpoznatiji i najrašireniji jest postupak modulacije sinusnog signala. Na tom postupku se temelji većina modulacija vezanih uz radio tehniku i tu prije svega mislimo na AM (amplitudna) i FM (frekvencijska) modulaciju. Modulacijom sinusnog signala premješta se informacijski signal iz osnovnog pojasa frekvencija u područje viših frekvencija, uglavnom zbog lakšeg prijenosa.

Pojam **modulacije** podrazumijeva mijenjanje parametara pomoćnog signala ovisno o signalu koji sadrži informaciju. Pomoćni signal naziva se još i **val nosioc (engl. carrier)**, a signal koji sadrži informaciju te vrši promjenu vala nosioca naziva se **modulacijski signal**. Kao rezultat modulacije nastaje signal koji zovemo **modulirani signal**. Sklop u kojemu se obavlja modulacija naziva se **modulator**.

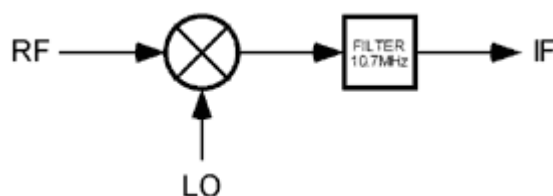
Objasnimo to sljedećim primjerom. U radio stanici, dok govorimo kroz mikrofona, naš glas se pretvara u električni signal koji sadržava informaciju. To je modulacijski signal. Nakon toga modulacijski signal ulazi u modulator gdje će se pomiješati sa valom nosiocem koji je također ušao u modulator (njega smo mi stvorili oscilatorom) i kao rezultat na izlazu iz modulatora dobiti ćemo modulirani signal visoke frekvencije.

Miješala (mixeri)

Kao prvu stvar bitno je navesti da 'mixer' o kojemu mi pričamo nema apsolutno nikakve veze sa audio mixerom spravom preko koje se snimaju i miješaju audio kanali - primjerice u audio studiju. Posljedica korištenja pogrešnog naziva jest najčešće zbunjenost korisnika kada im se spomene 'mixer' u radio tehnici.

Miješalo tj. mixer jest uređaj koji obavlja funkciju **transpozicije frekvencije**. Sastoji se od nelinearnog elementa (npr. reaktancija, bipolarni tranzistor, otpor ili dioda s negativnim otporom) na kojemu se miješaju **radiofrekvencijski signal (RF)** i signal **lokalnog oscilatora (LO)**, kako bi se između većeg broja novostvorenih frekvencijskih komponenata filtriranjem izdvojila ona željena. U heterodinskim prijemnicima frekvencija izlaznog signala naziva se i **međufrekvencija (IF)**, a predstavlja razliku između frekvencije LO signala i frekvencije RF. Iza miješala se postavlja filter koji zapravo određuje tu međufrekvenciju. Ovo je jako bitno istaknuti, jer miješalo ne zna koju frekvenciju mi želimo transponirati – iz miješala dobivamo dvije frekvencije: zbroj i razliku dovedenih frekvencija. Taj dio posla obavljamo filterom i kalkulacijom. Ako npr. kod radio uređaja filter iza miješala propušta frekvenciju 10.7 MHz širinom npr. 15 kHz - tada kažemo da je međufrekvencija tog uređaja 10.7 MHz. Pa ćemo u skladu sa time izračunati koliku frekvenciju moramo podesiti na lokalnom oscilatoru kako bismo uhvatili željenu stanicu i

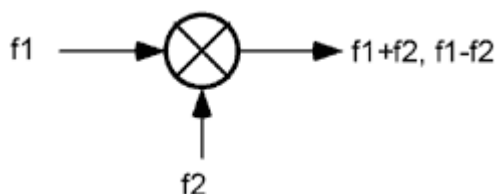
transponirali ju na 10.7 MHz.



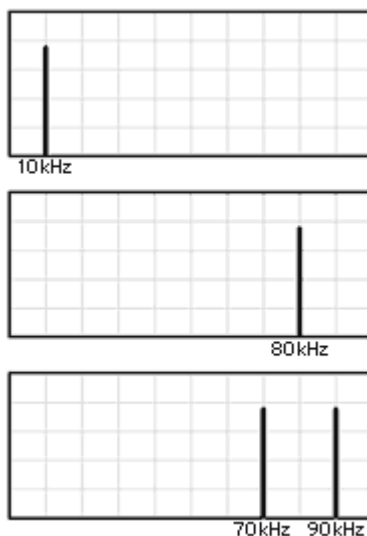
Tipičan primjer miješala i filtera u radio uređaju

Kada na ulaz miješala dovedemo dva sinusna signala, na izlazu dobivamo njihov **zbroj i razliku**. Matematički gledano, možemo reći da miješalo (mixer) vrši operaciju zbrajanja dvaju signala. Zbrajanjem se naime vrše samo promjene u domeni amplitude, dok frekvencijska domena ostaje nepromijenjena. Kod množenja međutim nije tako.

Pretpostavimo da smo na ulaz miješala (mixera) doveli dva sinusna vala. Prvome je frekvencija $f_1=110$ kHz, a drugi neka ima frekvenciju $f_2=100$ kHz. Na izlazu iz miješala dobivamo njihov zbroj i razliku: f_1+f_2 i f_1-f_2 , što će reći 210 kHz i 10 kHz. Najčešća primjena miješala jest kod transpozicije frekvencije. Jer ako pogledamo što se je desilo kod f_1-f_2 , možemo zaključiti da smo signal koji se je nalazio na 110 kHz transponirali na 10 kHz.



Pogledajmo sada drugi primjer miješala, na kojem primjerice funkcioniра većina modulatora (AM, USB, LSB, DSB). Imamo dva sinusna vala $f_1=10$ kHz, $f_2=80$ kHz. Na izlazu iz miješala multiplikacijom dobivamo dva sinusna vala $f_1+f_2=90$ kHz i $f_1-f_2=70$ kHz. Kao što znamo frekvencija ne može imati negativnu vrijednost (vidi dno teksta), što znači da ćemo dobiti $f_1-f_2=70$ kHz.



No prava miješala, osim zbroja i razlike ulaznih frekvencija, na izlazu daju neke neželjene produkte i tu prije svega mislimo na propuštanje ulaznih signala. Tako će miješalo iz prethodnog primjera na izlazu osim 110 kHz i 90 kHz djelomično propustiti i signale f_1 i f_2 . Doduše f_1 nas ne mora brinuti jer je mu je

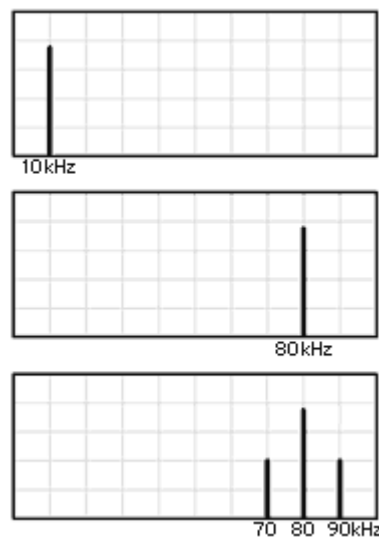
frekvencija niska, ali f_2 (100 kHz) nam može praviti probleme u stupnjevima koji slijede nakon miješala. Većina današnjih miješala su u stanju blokirati te neželjene produkte i to u rasponu od 20 do 60 dB. Sa druge strane stara miješala iz doba vakuumskih cijevi gotovo uopće ne blokiraju ulazne signale.

Modulacije

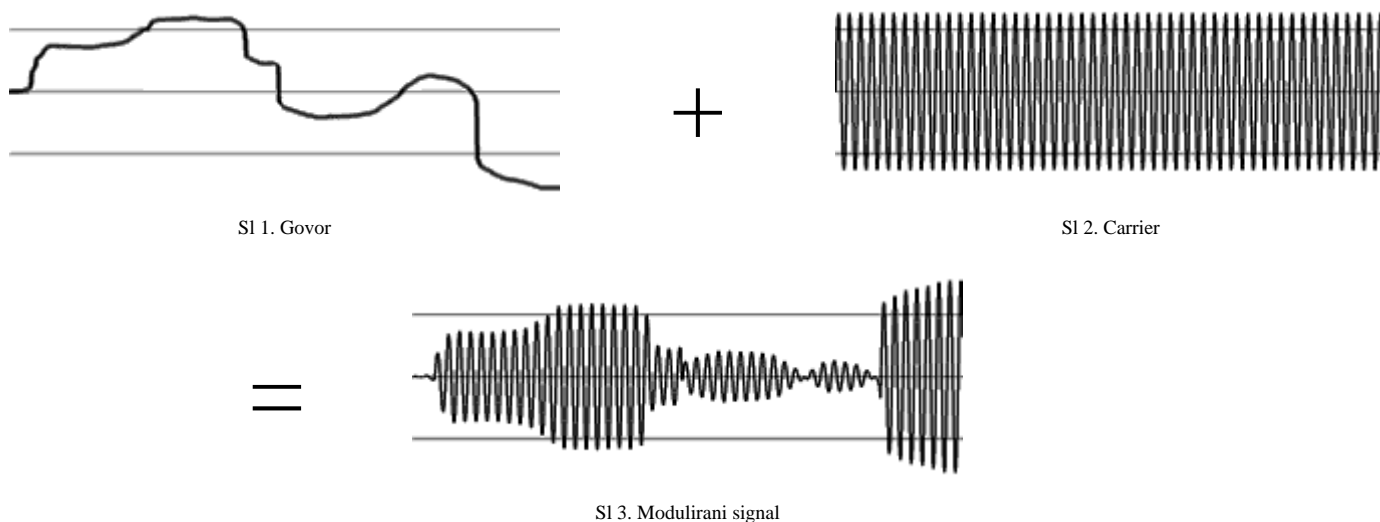
AM modulacija

Iz prethodnog poglavlja o miješalima saznali smo da je miješalo utoliko bolje koliko bolje blokira ulazne signale. No ipak postoji jedan izuzetak. Sada ćemo opisati proces miješanja kod kojeg miješalo uz standardni produkt zbroja i razlike, propušta i jedan od ulaznih signala i to toliko jako da mu je energija gotovo jednaka onoj od produkta. Taj proces modulacije spada u najstariji proces konvertiranja informacije u radio val, a zove se amplitudna modulacija (AM).

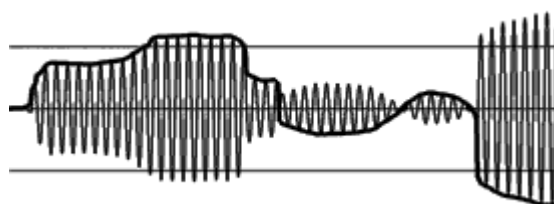
Na slici ispod možemo vidjeti isti primjer kao i kod prethodnog slučaja s mixerom, samo što ovdje signale 10 kHz i 80 kHz propuštamo kroz AM modulator. Razlika je očigledna jer osim zbroja i razlike modulator je na izlazu dao i signal od 80 kHz koji je doslovno 'prošao' kroz modulator.



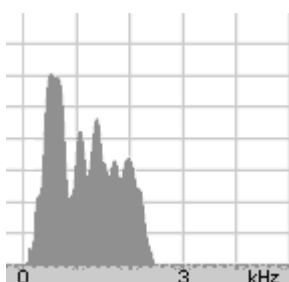
Mijenjanje amplitude vala nosioca u funkciji ovisnosti o razini modulacijskog signala rezultira postupkom koji zovemo modulacija amplitude. To se može vidjeti na slici ispod koja na vertikalnoj osi prikazuje amplitudu signala, a na horizontalnoj vrijeme - tj. prikazuje valni oblik (waveform). Modulacijski signal ljudskog glasa (Sl. 1) modulira amplitudu vala nosioca (Sl. 2), što rezultira modulacijom (Sl. 3).



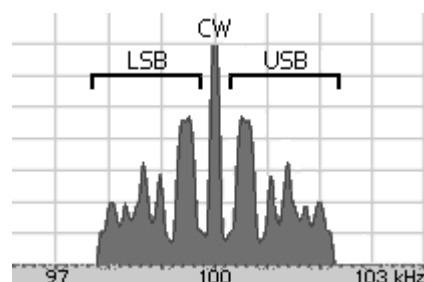
Slika nam prikazuje isječak kratak svega nekoliko mikrosekundi, da dobijemo predodžbu kako izgleda proces miješanja dvaju signala. A slika ispod pokazuje nam kombinaciju prve i treće slike kako bismo na najjednostavniji način vidjeli kako ljudski glas (podebljana linija) modulira amplitudu carriera.



Pogledajmo sada spektralnu karakteristiku i izgled AM signala na sljedećem primjeru. Ljudski glas širine 3 kHz pomiješati ćemo u AM modulatoru sa carrierom frekvencije 100 kHz. Na izlazu iz modulatora dobivamo 100 kHz carrier i dva bočna pojasa (sidebanda) svaki širine 3 kHz. Dakle ista priča kao i kod miješala, samo što kao što smo već pokazali u sredini imamo i val nosioc (carrier) jer AM proces potječe iz doba miješala koja su propuštala i ulazne signale, pa se je takav sistem modulacije održao do danas. To se može vidjeti na slici ispod.



SI. 4 Govor

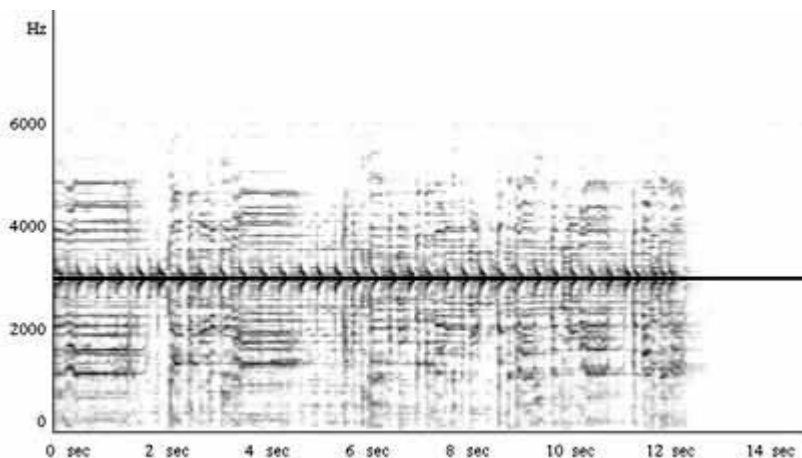


SI. 5 Modulirani signal (AM)

Slika 4 pokazuje spektralni signal ljudskog glasa širine 3 kHz. Horizontalna linija označava frekvenciju, vertikalna amplitudu (jakost signala). Na izlazu iz modulatora dobivamo signal moduliran AM modulacijom i možemo ga vidjeti na slici 5.

Kao što se vidi na slici 5, od jednog signala, dobili smo dva, od kojih je lijevi (onaj koji se nalazi od

97-100 kHz) spektralno zaokrenut naopačke, dok je desni (100-103 kHz) zadržao potpuno istu spektralnu karakteristiku kakvu je imao kada je bio u audio području (0-3 kHz). Pogledajmo sliku 4 i usporedimo ju sa desnim bočnim pojasom USB na slici 5. Kao što vidimo oni su identični. Signal u sredini (onaj najjači) na 100 kHz jest val nosioc (**CW - carrier wave, continuous wave**).

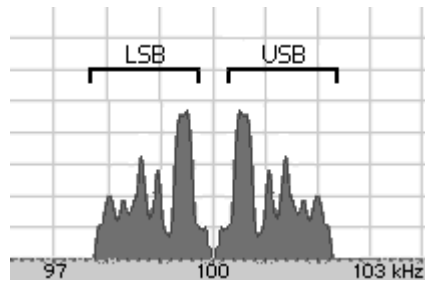


Pogledajmo sada konkretan primjer. Slika iznad prikazuje nam AM modulirani signal Hrvatskog Radija na frekvenciji 1125 kHz. Da bismo prikazali kompletan AM signal, morali smo sa prijemnikom doći 3 kHz ispod, tako da je prijemnik bio podešen na 1122 kHz. Na slici se može vidjeti **gornji i donji bočni pojas** koji su identični, ali **spektralno zaokrenuti**. Jaki signal u sredini između njih je **carrier**. U dvanaestoj sekundi prestaje muzika, ali kao što vidimo, carrier i dalje ostaje. To je upravo glavna karakteristika AM modulacije i ono po čemu se razlikuje od SSB-a i DSB-a. Kod njih bi naime prilikom prestanka muzike signal potpuno nestao, jer kod njih nema nosioca. Da je tome tako, možemo se uvjeriti u bočnim pojasovima koji nestaju u dvanaestoj sekundi. Pa čemu onda služi taj carrier uopće?

O AGC-u: Carrier u AM signalu služi kao dobra referenca nekim el. krugovima u radio prijemniku, a među ostalim daje nam i korisnu informaciju o jakosti signala, pa radio prijemnik može u skladu sa jakošću carriera vršiti automatsko pojačanje signala (**AGC - automatic gain control**). Nema svaka radijska postaja istu jakost signala. Jakost signala ovisi o udaljenosti od odašiljača, jakosti odašiljača i konfiguraciji terena, a može varirati tako da je neka stanica i 1 000 000 puta jača od druge. Kada ne bi bilo AGC-a, odabir različitih stanica bio bi zahtjevan i naporan posao gdje bi za svaku stanicu posebno trebalo podešavati pojačanje radio signala. Ako je podešenje prejako, signal distorzira, ako je preslabo, ne čujemo stanicu. Iz tog razloga svi radio uređaji posjeduju AGC.

DSB modulacija (dual side band)

Radi se o modulaciji koja nastaje primjenom balansnog miješala odnosno balansnog modulatora. Balansno miješalo propušta isključivo samo produkt (zbroj i razliku) i gotovo potpuno blokira ulazne signale da se ne pojave na izlazu. Stoga se može reći da kod DSB modulacije imamo čisti matematički zbroj i razliku dvaju signala bez primjesa njihovih originalnih komponenti. DSB modulacija nema neku široku primjenu, no opisali smo ju kako bi bilo jasnije poglavlje o miješalima koja su zapravo potpuno ista svojstvima DSB modulatora. Slika ispod prikazuje izgled DSB signala koji bismo dobili miješanjem glasa i carriera iz prethodnog poglavlja AM modulacija.



SSB modulacija (single side band)

Ako pogledamo AM signal u sredini imamo **val nosioc (carrier)**, a sa strane su **bočni pojasevi (side bands)**. Ispod carriera nalazi se donji bočni pojas, a iznad gornji bočni pojas. Kod SSB modulatora prvo se izvrši klasična AM modulacija, a zatim se kroz filter propušta samo jedan bočni pojas, dok se carrier i drugi bočni pojas filtriraju. Vrsta SSB modulacije ovisi o filteru koji se nalazi iza modulatora. Ako propuštamo gornji bočni pojas (upper side band) tada će se modulacija zvati **USB**, a ako propuštamo donji bočni pojas, (lower side band) tada će se modulacija zvati **LSB**.

USB modulacija (upper side band)

Kao što smo vidjeli kod AM modulacije gornji bočni pojas USB sadržava potpuno iste spektralne karakteristike kao i originalni signal. To znači da prebacivanjem našeg radio prijemnika na USB, mi zapravo pretvaramo naš prijemnik u konverter frekvencije koji vrši transpoziciju dijela radijskog spektra (određenog i omeđenog širinom filtera) u audio područje. Ovo je jako zanimljivo ukoliko nekoga zanima kako izgleda npr. AM signal neke radijske postaje. Transponiramo ju u audio područje i na računalu izvršimo frekvencijsku analizu. Na taj način smo prikazali signal Hrvatskog Radia na frekvenciji 1125 MHz.

LSB modulacija (lower side band)

Kod donjeg bočnog pojasa, signal je spektralno invertiran. Dali ste se ikada pitali kako bi zvučala vaša omiljena pjesma kada biste ju spektralno invertirali? Dakle kada bi duboki tonovi završili tamo gdje su visoki, a visoki tonovi završili na mjestu dubokih. Ako neka AM postaja svira tu pjesmu, u donjem bočnom pojasu (LSB-u) pjesma je spektralno invertirana, dok je ona na USB-u u normalnom spektralnom stanju. Radio amateri na 80m području (3.5 - 3.8 MHz) razgovaraju preko LSB modulacije. Kada bismo transponirali taj signal u audio područje (prebacivanjem prijemnika na USB) ljudski glas bi zvučao skoro neprepoznatljivo jer je spektralno invertiran LSB modulacijom. Tek kada bismo prebacili prijemnik na LSB, čuli bismo normalan ljudski glas.

Direktan prijem

Moguće ga je ostvariti u primjerice rasponu frekvencija od 0-20 kHz, kod VLF prijemnika. Oni naime rade bez transpozicije frekvencije tako što elektromagnetske valove pojačavaju i dovode do slušalica gdje se oni pretvaraju u akustične koje potom možemo čuti.

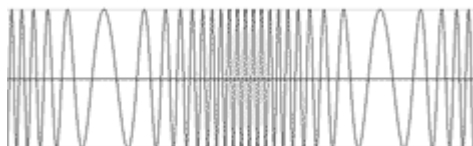
No ne moramo mi slušati te radio valove da bismo ih hvatali 'direktno'. Puno jednostavnije rješenje jest analiza signala u računalu. Tada je direktan prijem moguć do one frekvencije do koje je A/D konverter u stanju ići. Kod tipične audio kartice A/D konverter ide do 22 kHz. No danas se već za malo novaca može nabaviti A/D konverter do 16 MHz i uz pomoću kojega na računalu možemo u realnom vremenu gledati i analizirati kompletan radijski spektar od 0 do 16 MHz. Zatim se softverski prema potrebi može vršiti filtriranje, transpozicija i/ili demodulacija određenog signala bilo gdje u tom području. Na tom principu funkcioniraju neki softverski radio uređaji.

U vrstu direktnog prijema spada i transpozicija signala, kada jedan dio spektra naprimjer širine 6 kHz pri frekvenciji 20 MHz spustimo u audio područje. Pritom se ne vrši nikakva demodulacija, već se sadržaj signala ostavlja onakav isti kakav je bio na 20 MHz gdje smo ga uzeli. Prebacivanjem prijemnika na USB, mi vršimo transpoziciju tj. spuštanje signala u audio područje.

Sjećam se kada sam davno jednom čitao članak o SETI-ju i radio teleskopu preko kojega su se prikupljale informacije. U članku je među ostalim pisalo kako su na frekvenciji 1420 MHz uzeli jedan uski frekventni pojas širine 5 kHz i spustili ga u audio područje 0 do 5 kHz, te su ponudili na web stranici mogućnost da si skinemo taj [audio zapis](#) kako bismo mogli 'čuti' svemir. Ovo mi nikako nije bilo jasno, obzirom da sam do tada znao samo za postojanje AM i FM modulacija. Pa sam se pitao, kako to oni 'direktno' slušaju 1420 MHz? Znači li to da oni 'direktno' slušaju svemir? Odgovor je zapravo jako jednostavan, a glasi transpozicija i objašnjen je u poglavlju o miješalima.

FM modulacija

Radi se o potpuno drugačijoj vrsti modulacije od svih navedenih. Kod FM-a, modulacijski signal (npr. govor) **modulira frekvenciju vala nosioca (carrier)**. Ono što je bitno naglasiti jest da devijacija frekvencije ovisi o amplitudi modulacijskog signala. Što modulacijski signal ima jaču amplitudu, to će njegova spektralna kvaliteta biti bolja, ali će modulirani signal biti širi, jer ćemo carrier tjerati gore-dolje sa sve većim vrijednostima. Veličina promjene frekvencije carriera naziva se **frekventna devijacija**. A odnos te devijacije i frekvencije modulacijskog signala naziva se **index modulacije**.



Slika iznad prikazuje nam kako je kod frekventno moduliranog signala amplituda uvijek konstantna, dok je frekvencija promjenjiva. Mnogi ljudi često postavljaju pitanje zbog čega je prilikom odašiljanja poruka (mogućim civilizacijama) u svemir korištena FM, a ne AM modulacija. Radi se o tome da kod FM modulacije mi nosaču (carrieru) mijenjamo frekvenciju, a amplituda (tj. jakost) signala ostaje konstantna.

Kod AM modulacije, kako i samo ime kaže, vrši se modulacija amplitude, pa jakost signala nije konstantna, nego varira. Stoga je logično da takvu vrstu modulacije ne bi bilo pametno koristiti za poruku koja će toliko dugo putovati svemirom. Jer nije niti bitno dali će signal doći u čitavom obliku, dovoljno je da bilo šta dođe, pa je konstantna amplituda daleko bolje rješenje od promjenjive.

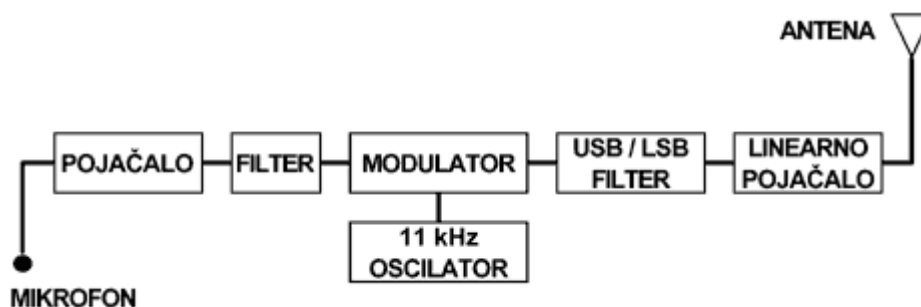
Negativna frekvencija ?

Frekvencija je veličina koja nam prikazuje količinu titraja (neke promatrane pojave) u sekundi, a izražena je prema jednadžbi $f[\text{Hz}] = 1/t[\text{sec}]$. Ako pogledamo jednadžbu, vidjeti ćemo da pri vrijednosti frekvencije 0 Hz vrijeme odlazi u beskonačnost. Iz ovoga možemo zaključiti da 0 Hz zapravo nije frekvencija. Zvuči zanimljivo, no postoji li nešto u prirodi kako bismo mogli provjeriti da je to zaista tako? Postoji li neka fizikalna veličina koja nema frekvenciju? Naravno da postoji! Zove se istosmjerni napon, odnosno DC. On nema frekvenciju i gledano kroz osciloskop on predstavlja beskonačno ravnu vodoravnu liniju - upravo onako kako nam pokazuje i jednadžba.

A što je sa negativnom frekvencijom? Ne postoji. Odgovor nam leži u samoj definiciji frekvencije. Da bismo izrazili frekvenciju treba nam broj titraja u jedinici vremena. Npr. udario je loptom 2 puta u sekundi o pod. Možemo li reći da je udario -2 puta o pod? Ne, jer to je besmislica. Baš zato za frekvenciju ne možemo reći da je negativna, jer nam njena definicija to ne dozvoljava!

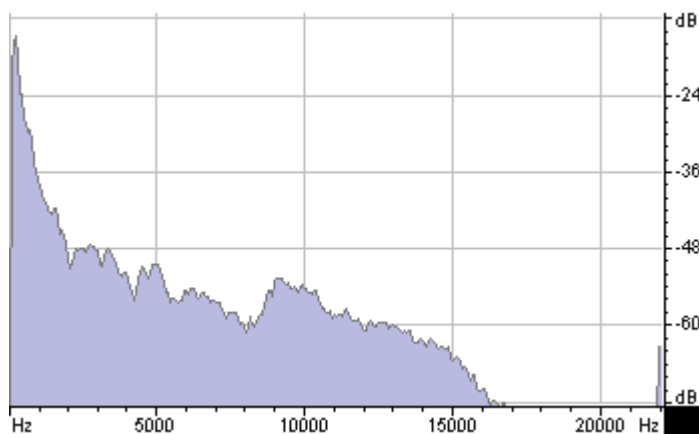
Dobro, ali dali je moguće prevariti nekako matematičku jednadžbu, npr. upotrebom neke matematičke operacije koju primjenimo na dva sinusna vala? Ovo smo spomenuli u poglavlju o miješalima, kada smo imali situaciju gdje smo pomiješali dva sinusna vala $f_1 = 10 \text{ kHz}$, $f_2 = 80 \text{ kHz}$. Na izlazu iz miješala multiplikacijom dobili smo dva sinusna vala $f_1 + f_2 = 90 \text{ kHz}$ i $f_1 - f_2 = 70 \text{ kHz}$. Dakle nismo dobili -70 kHz, nego 70 kHz. Upravo zato što negativna frekvencina ne postoji! To se također može provjeriti izradom sklopa koji će na izlazu davati signal i koji možemo spuštati sve niže u frekvenciji i približiti ga nuli. No, kada dođe do nule, neće otići u minus! Ne. Signal se jednostavno počne vraćati nazad (penjati u frekvenciji). Doslovno se odbija od DC-a kao od ogledala i vraća nazad. S time što riječ ogledalo treba doslovno shvatiti jer signal je sada spektralno okrenut naopačke i izgleda točno onako kako izgleda LSB signal. To naime i jest LSB signal.

PRAKTIČNI PRIMJER: SSB modulacija i demodulacija - korak po korak



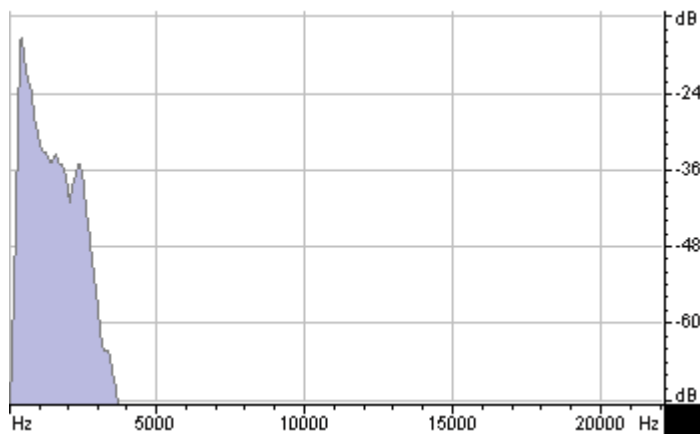
Modulacija

Ljudski glas kroz mikrofون ulazi u radio uređaj. Ako pogledamo spektralnu analizu ljudskog glasa na slici 6, vidjeti ćemo da neke frekvencijske komponente idu i do 15 kHz. To bi bilo previše široko za moduliranje, stoga se signal prvo mora filtrirati. Naime, kod SSB modulacije modulirani signal je jednake širine modulacijskom signalu. To znači, ako u audio području nešto zauzima 0 - 15 kHz, toliko će zauzimati i u radio frekventnom području, npr. od 3500 - 3515 kHz.



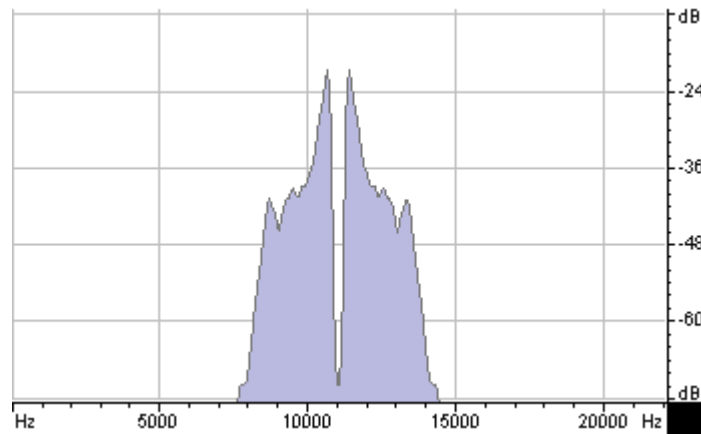
Slika 6

Širina od 15 kHz je nedopustiva, jer bismo gazili druge radio amatere s našim signalom. Osim toga imali bismo izrazito nisku efikasnost odaslane snage. Jer, umjesto da svu snagu usmjerimo u područje širine 3 kHz mi bismo ju razvukli na širinu 15 kHz što će rezultirati lošim odnosom signala i šuma.



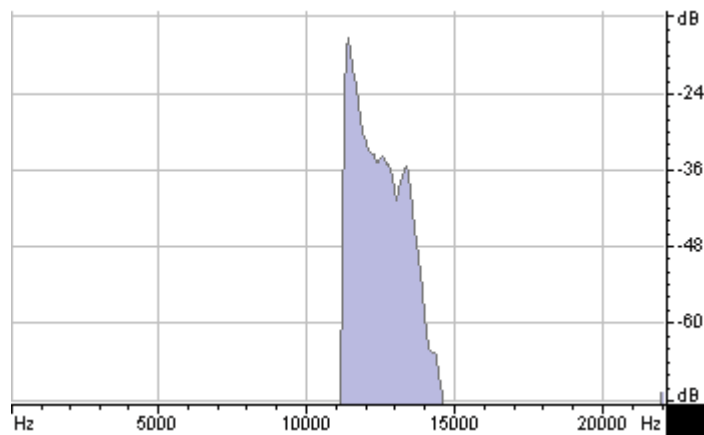
Slika 7

Slika 7 prikazuje nam filtriran ljudski glas kojemu su odstranjene sve frekvencijske komponente iznad od 3 kHz. Što će reći da smo širinu ljudskog glasa sa 15 kHz sveli na 3 kHz. Posljedica toga su njegova izobličenja, no ona su sasvim prihvatljiva da ljudski glas bude i dalje prepoznatljiv. Mnogi prijemnici posjeduju i kompresor audio signala. Zadatak kompresora jest da smanji dinamički raspon ljudskog glasa, tj. smanji razlike u amplitudama. Time dobivamo glasniji signal, jer će oni tiši tonovi biti poglašnjeni, a glasniji biti malo stišani. Tako da će ono što smo izgovarali tiše i ono što smo izgovarali glasnije imati približno jednaku amplitudu (jakost). Takav signal je puno lakše poglasiti do maksimalne moguće vrijednosti. Kada bismo pokušali nekompresirani signal tako poglasiti pojavila bi se amplitudna izobličenja (distorzije) na mjestima gdje smo glasnije govorili.



Slika 8

Na jedan ulaz modulatora dovede se carrier, a na drugi modulacijski signal. Na izlazu iz modulatora dobivamo dva signala, tj. bočna pojasa, točno kako nam pokazuje slika 8. Potpuno isti zakoni vrijedili bi da imamo val nosioc frekvencije npr. 3.5 MHz, 144 MHz i sl. Razlog zbog kojeg smo odabrali 11 kHz je taj što se sve može jednostavno analizirati i prikazati na računalo. A što je još bolje, može se i poslušati. Prosječna zvučna kartica dozvoljava reprodukciju i analizu frekvencija do 22 kHz.



Slika 9

Sada je potrebno jakim filterom izdvojiti gornji bočni pojas. Zadatak filtera je potisnuti sve frekvencije koje se nalaze ispod 11 kHz. Rezultat možemo vidjeti na slici 9. Sada smo dobili USB signal koji se prosljeđuje na neko linearno pojačalo i preko antene odašilje se u eter. Gotovo!

Prijem i demodulacija

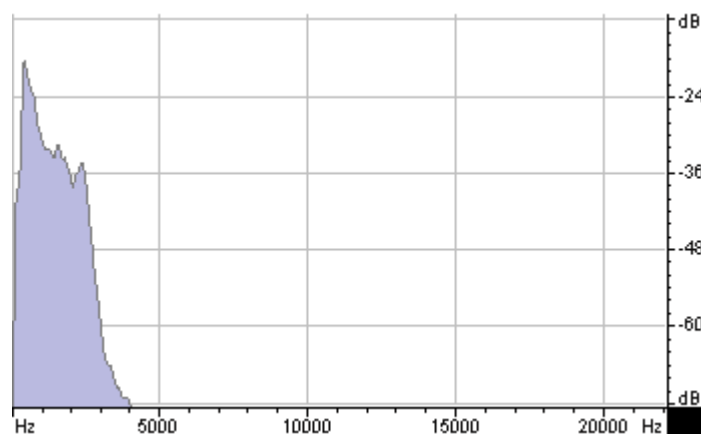
Dali smo izvršili uspješno moduliranje, najlakše je provjeriti tako da uzmemo radio prijemnik i pokušamo uhvatiti odašlani signal. Srećom posjedujem jedan prijemnik koji je u stanju ići do 10 kHz, pa možemo napraviti pokus. Kažem "srećom" jer rijetko koji radio uređaj uopće ide ispod 100 kHz. U našem slučaju radi se o komunikacijskom prijemniku Icom PCR-1000 (10 kHz - 1.3 GHz), kontroliranom od strane računala.



Slika 10

Kao što gornji panel na slici 10 prikazuje, radio uređaj smo podesili na frekvenciju 11 kHz. Panel ispod pokazuje jakost signala, a ispod toga možemo vidjeti da je odabrana vrsta modulacije USB. Selektirana širina filtera je 3 kHz. Na samom dnu možemo vidjeti band scope koji je centriran na 11 kHz. Svaki stupac predstavlja 1 kHz, pa lagano možemo očitati da je signal koji hvatamo širok oko 4 kHz. (Jak signal na 10 kHz posljedica je lošeg filtera, no o toj problematici nećemo sada.)

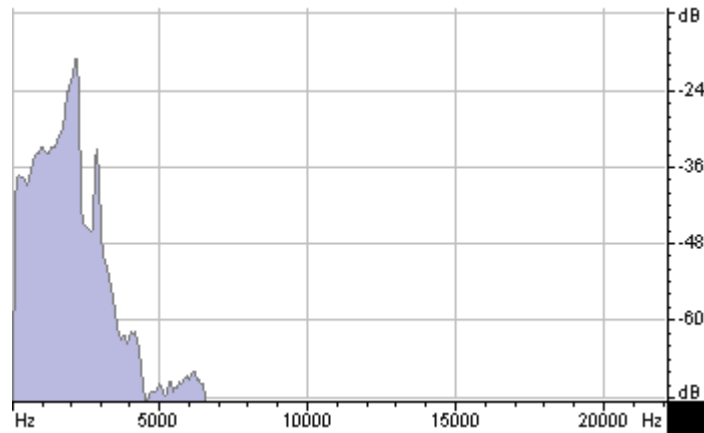
Kao što smo ranije spomenuli, radio uređaj podešen na USB modulaciju, vrši direktno transponiranje signala u audio područje. U ovom slučaju 11-13 kHz spušta na 0-3 kHz. Ostaje nam spojiti audio izlaz iz radio uređaja na neke slušalice ili na računalo i poslušati rezultat



Slika 11

Spektralna analiza na slici 11 pokazuje nam zvučni zapis gotovo identičan onom na slici 7. Što će reći da smo uspješno uhvatili i demodulirali USB signal koji je bio odaslan na 11 kHz. Kao što smo rekli, ista stvar važila bi da je signal odaslan na nekoj drugoj (višoj) frekvenciji.

Kada nam je već radio uređaj na raspolaganju, možemo za znatiželjnike napraviti i jedan mali eksperiment sa okretanjem spektra naopačke - visoke frekvencije ljudskog glasa biti će tamo gdje su niske, a niske tamo gdje su visoke. To ćemo napraviti tako da ćemo prijemnik prebaciti na LSB i poslušati ovaj isti ljudski glas. Da bismo uspješno to izveli, potrebno je prijemnikom otići 3 kHz više, dakle na 14 kHz. Pogledajte sliku 9 i razmislite zašto je to potrebno napraviti.



Slika 12

Sada slijedi spuštanje 14-11 kHz u audio područje. Opseg (14-11kHz) sam namjerno napisao naopačke, da shvatite da će rezultat biti spektralno zaokrenut naopačke (podsjetimo se, negativne frekvencije ne postoje). Slika 12 pokazuje nam USB signal koji smo spustili u audio područje, spektralno okrenutog naopačke. (Napomena: Slika zbog nesavršenosti radio prijemnika tj. filtera nije 100% točna, stoga na njoj ignorirajte frekvencije iznad 3 kHz.) Kada usporedite tu sa slikom 11 i vidjeti ćete da je signal na slici 12 doista okrenut naopačke.

Tomislav Štimac 07/2004.