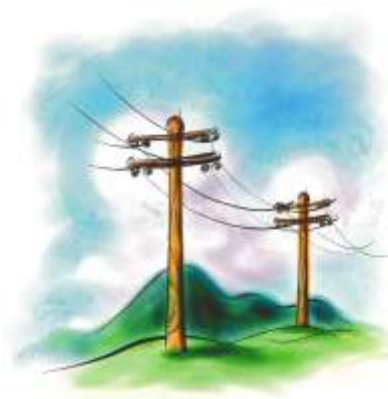


Regionalni centar za talente Beograd II

Digitalna frekvencijska modulacija (FSK) i konstrukcija FSK modema

Frequency shift keying and constructing a complete FSK modem

· Telekomunikacije ·



Autori:

Miloš Savićević

III razred elektrotehničke škole „Nikola Tesla“, smer Telekomunikacije

Regionalni centar za talente Beograd II

Miloš Milisavljević

III razred elektrotehničke škole „Nikola Tesla“, smer Telekomunikacije

Regionalni centar za talente Beograd II

Mentori:

Docent Dr. Aleksandar Nešković, dipl. inž.

Docent Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu

Mr. Dragan Lopičić, dipl. inž.

Profesor elektrotehničke škole „Nikola Tesla“ Beograd.

Digitalna frekvencijska modulacija (FSK) i konstrukcija FSK modema

Frequency shift keying and constructing a complete FSK modem

Autori:

Miloš Savićević

III razred elektrotehničke škole „Nikola Tesla“, smer Telekomunikacije

Regionalni centar za talente Beograd II

Miloš Milisavljević

III razred elektrotehničke škole „Nikola Tesla“, smer Telekomunikacije

Regionalni centar za talente Beograd II

Mentori:

Docent Dr. Aleksandar Nešković, dipl. inž.

Docent Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu

Mr. Dragan Lopičić, dipl. inž.

Profesor elektrotehničke škole „Nikola Tesla“ Beograd.

Rezime

Sa brojem digitalnih sistema i opreme koji su u stalnom porastu, potreba za metodama prenosa podataka je postala polje koje se brzo razvija. Ovaj projekat opisuje FSK modulaciju, konstrukciju i ispitivanje FSK modema za serijski prenos podataka. Sistem koristi XR-2206 kao modulator, XR-2211 kao demodulator i XR-084 integrisano kolo kao filter propusnih opsega frekvencija. Ova tri IC-a čine kompletni full duplex, 300 baud-ni FSK modem.

Ključne reči: FSK modulacija, FSK modem, modulator, demodulator.

Abstract

With the number of digital systems and equipment growing so rapidly, the need for a method of moving data has also become a fast growing field. This project describes the FSK modulation and construction of a modem system using frequency shift keying, FSK, for serial data transmission. The system utilizes the XR-2206 as a modulator, the XR-2211 as a demodulator, and an XR-084 op amp as a bandpass filter. These three IC's make up a complete working 300 baud, full duplex, FSK modem.

Key words: FSK modulation, FSK modem, modulator, demodulator.

Teorijski uvod

U savremenim telekomunikacijama, analogni signali sve više bivaju potisnuti digitalnim zbog svojih brojnih prednosti (moderna tehnologija, integracija sistema prenosa i komutacije, mogućnost nadgledanja i kontrole, jednostavna signalizacija, ekonomičnost, jednostavnost multipleksiranja, regeneracija signala i dr.).

Digitalni signali se ne mogu prenositi u svom prirodnom obliku (vazduh, voda, vakuum, optička vlakna), već se moraju modulisati, tj. potrebno je izvršiti modulaciju nosećeg kontinualnog signala digitalnim signalom koji treba da se prenese. Signal se transilara u oblasti visokih frekvencija jer je onda pogodniji za prenos i manje prostora zauzima u kanalu.

FSK modulacija se koristi prenosima gde se binarni brojevi zamenjuju sa dve frekvencije iz opsega 0.3-3.4KHz, što predstavlja opseg frekvencija u telefoniji, koja je po svojoj prirodi propusnik opsega (kroz već postojeće analogne telefonske linije). FSK modulacija se koristi i u bežičnom prenosu (FSK transmitter). U ovim prenosima noseći signal je najčešće sinusoida.

Promenom jednog od parametra sinusnog nosioca: amplitude, frekvencije i faze pod uslovom da su druga dva parametra konstantna ostvaruje se amplitudska (AM), frekvencijska (FM) ili fazna (PM) modulacija. U slučaju amplitudske modulacije vrši se samo translacija spektra, dok se u slučaju frekvencijske i fazne modulacije javljaju i nove komponente u rezultujućem spektru.

Digitalna frekvencijaska modulacija (FSK)

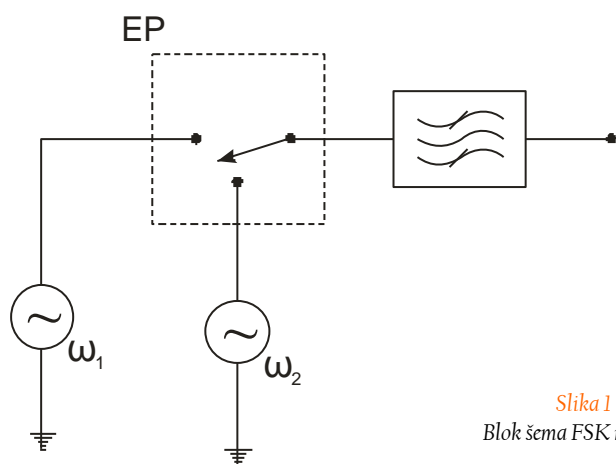
Digitalna frekvencijska modulacija je varijanta ugaone modulacije gde se menja frekvencija nosioca u zavisnosti od signala poruke. Ona se dobija tako što se frekvencija nosećeg kontinualnog talasa menja srazmerno modulišućem tj. digitalnom signalu. To znači da se talasni oblik digitalnog frekvencijski modulisanog signala sastoji od naizmeničnih sinusnih signala konstantne amplitude a različitih frekvencija i to po jedna frekvencija za svaki različiti simbol poruke.

Razlikujemo dve vrste frekvencijske modulacije:

1. Digitalna frekvencijska modulacija sa diskontinualnom fazom ili FSK (Frequency Shift Keying), poznata kao „tvrdo tastovanje“
2. Digitalna frekvencijska modulacija sa kontinualnom fazom ili CPFSK (Continuous Phase Frequency Shift Keying), poznata kao „meko tastovanje“.

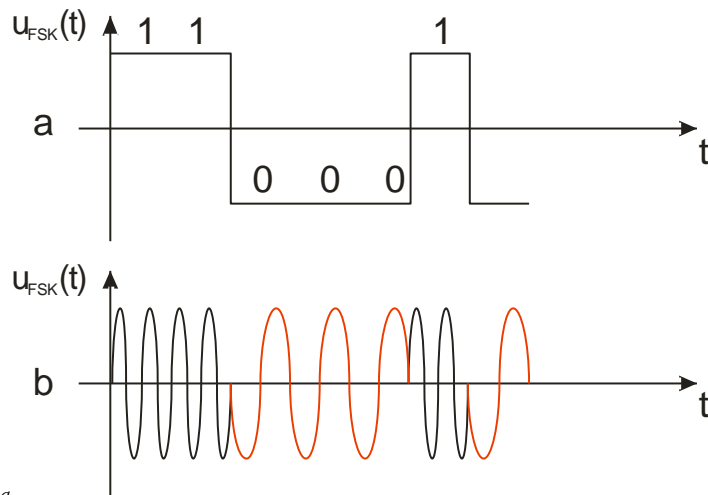
Digitalna frekvencijska modulacija sa diskontinualnom fazom (FSK)

Blok šema FSK modulacije sa diskontinualnom fazom ili tvrdim tastovanje data je na slici 1.



Slika 1
Blok šema FSK modema

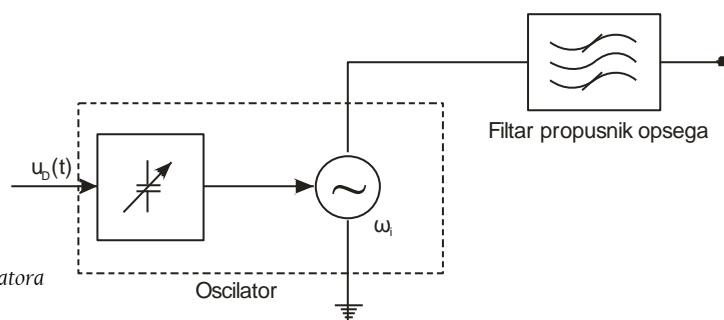
Predajnik emituje signal konstantne amplitude i učestanosti $\omega_1 = \omega_0 + \Delta\omega$ u slučaju prenošenja binarne „1“, dok je u slučaju prenošenja binarne „0“ signal iste amplitude, ali druge učestanosti $\omega_2 = \omega_0 - \Delta\omega$, pri čemu je prelaz sa ω_1 na ω_2 nagao. Zato FSK modulator treba da ima dva oscilatora stabilne učestanosti ω_1 i ω_2 čiji signali se preko elektronskog preklopnika EP vode na pojasni filter i dalje na predaju. Elektronskim prekidačem upravlja povorka pravougaonih impulsa odnosno modulišući signal. Kao što se vidi sa slike 2 vidi, FSK modulirani signal ima diskretne promene faze u trenucima kada binarni signal prelazi iz jednog stanja u drugo. Zbog naglog prelaza iz jednog u drugo binarno stanje u samom FSK modulisanom signalu dolazi do diskontinualne promene faze po čemu je ova pojava nazvana tvrdo tastovanje.



Slika 2
Talasni oblici FSK signala

Digitalna frekvencijska modulacija sa kontinualnom fazom (CPFSK)

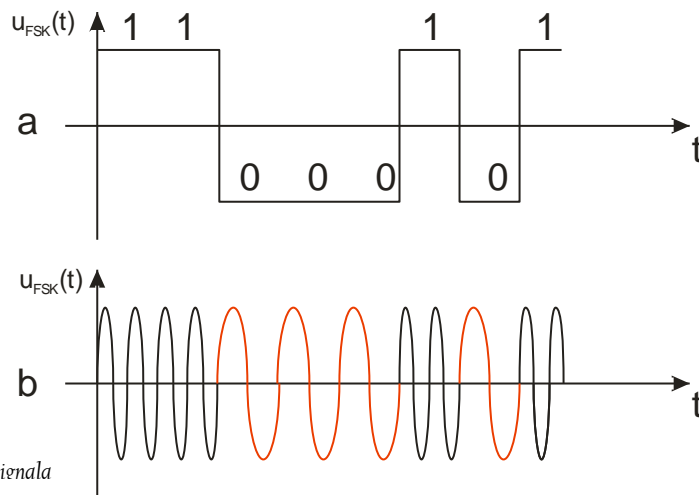
Na blok šemi (slika 3) je prikazan modulator digitalnog frekvencijski modulisanog signala sa kontinualno, fazom (CPFSK modulator).



Slika 3
Blok šema CPFSK modulatora

U kolu oscilatora, trenutne vrednosti ω_i , se nalazi promenljivi reaktivni element (najčešće kondezator), čije se reaktansa menja sa promenom binarnog modulišućeg signala. Ove skokovite promene, u kolu oscilatora izazivaju promene učestanosti signala, koje su praćene kontinualnim, mekim promenama frekvencije signala.

Na izlazu iz modulatora dobijamo CPFSK signal koje je prikazan na slici 3 (b). Na slici je takođe prikazan i binarni modulišućí signal (a).



Slika 4
Talasni oblici CPFSK signala

Analitički oblik digitalno frekvencijski modulisanog signala je:

$$u_{CPFSK}(t) = \begin{cases} U_0 \cos \omega t = U_0 \cos(\omega_0 + \Delta\omega)t, \rightarrow u_D(t) = 1 \\ U_0 \cos \omega t = U_0 \cos(\omega_0 - \Delta\omega)t, \rightarrow U_D(t) = 0 \end{cases}$$

što znači da se on sastoji iz dve različite frekvencije, pri čemu modulator za binarnu „1“ na modulišućem signalu generiše sinusni signal određene učestanosti $(\omega_0 + \Delta\omega)$, dok za binarnu „0“ generiše sinusni signal druge učestanosti $(\omega_0 - \Delta\omega)$. Iz ove formule se zaključuje da se učestanosti razlikuju za $\Delta\omega$, koje se naziva devijacija učestanosti, i definiše se kao:

$$\Delta\omega = \frac{\omega_1 - \omega_2}{2}, \text{ dok je odgovarajuća devijacija frekvencije nosioca: } \Delta f = \frac{f_1 - f_2}{2}, \text{ koja}$$

definiše kvalitet signala koji se prenosi.

CPFSK signal ima malo uži spektar od FSK signala, pa se zato modulacija CPFSK češće koristi od FSK modulacije. Kao i u teoriji klasične frekvencijske modulacije i ovde u slučaju modulacije digitalnim signalom definiše se indeks modulacije:

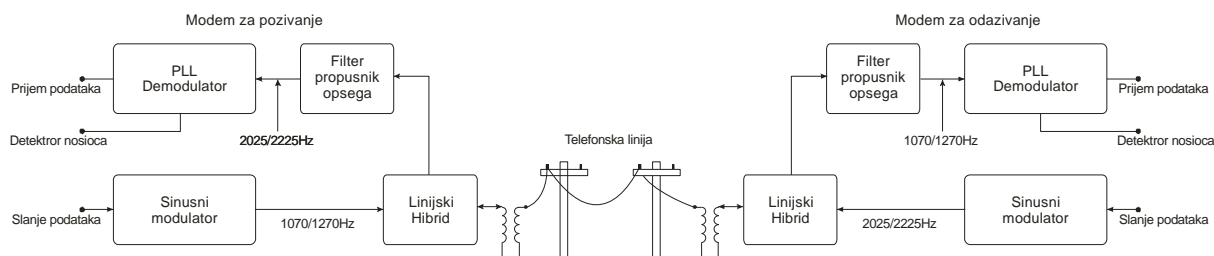
$$m = (f_1 - f_2) \cdot T = \frac{2\Delta f}{f_m}$$

gde su Δf i f_m devijacija frekvencije nosioca i modulišuća frekvencija, a T – trajanje elementarnog modulišućeg signala odnosno digitski interval i pri čemu su:

1. signali kojima je $m \ll 1$ Narrowband FM (uskopropusni FM)
2. signali kojima je $m \gg 1$ Wideband FM (širokopropusni FM).

Opšti opis FSK modema

Na slici 3 je prikazana blok šema FSK sistema. Ceo sistem se zasniva na dva modema: modema za pozivanje i modema za odazivanje.



Slika 5

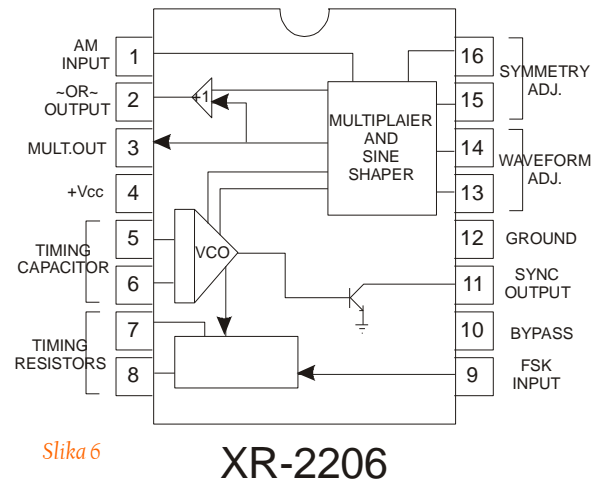
Blok šema modemske FSK sistema

Modem za odazivanje će konvertovati ulazne podatke ili u 1070Hz kao logičku „1” ili u 1270Hz kao logičku „0” i poslati ih na telefonsku liniju, dok će ih primljene sa linije 2025Hz i 2225Hz dekodovati kao logičke „1” i „0”. Modem za slanje će jednostavno zameniti frekvencije za slanje i primanje. Sinusni modulator će generisati dve diskretne frekvencije svog izlaza koje odgovara logičkoj „0” i „1” ulaza modema za odazivanje. Linijski hibrid će otpremiti ove frekvencije do telefonske linije i prilagoditi ih telefonskom vodu, dok primljene frekvencije bude slao na filter propusnih opsega i demodulator. Ovaj blok (linijski hibrid) će napraviti izolaciju između modulatora i demodulatora na svakom od krajeva (sprećiće da signal iz sopstvenog sinusnog generatora ode u svoj demodulator, tj. da dođe do samooscilovanja). Filter propusnih opsega je iskorišćen da spreči neželjene signale i šum primljen sa linije pre nego što je signal stigao do demodulatora. Na ulaz demodulatora dolazi (CP)FSK signal, koji on vraća u binarni signal.

Modulator (XR-2206)

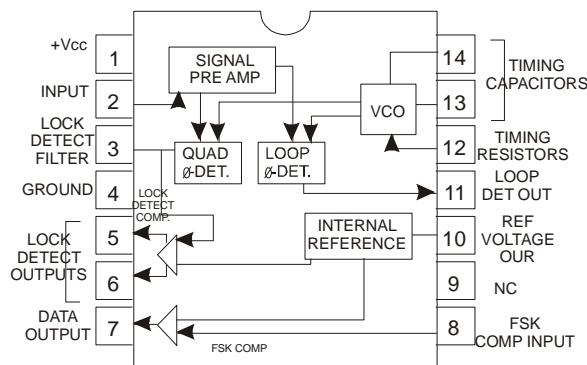
XR-2206 (slika 6) je integrisano kolo koje radi kao monolitni generator funkcija sposoban da produkuje visoko kvalitetni sinusne, kvadratne, trougaone signale i oblike impulsa velike stabilnosti i tačnosti. Izlazni talasni oblici mogu biti amplitudski i frekvenciski modulisani sa spoljašnjim naponom. Frekvencija može biti selektovana sa eksternom opsega od 0.01Hz do više od 1MHz. Kolo sadrži 4 finkcionalna bloka: naponski kontrolisani oscilator (VCO), analogni množač, uobličavač sinusnog napona (jediničnog pojačanja) i prekidača. VCO daje izlaznu

frekvenciju proporcionalnu ulaznoj struji koja se stvara sa otporom od *timing* terminala prema masi. Strujni prekidači određuju (vode) jedan od *timing* pinova prema VCO, kontrolisanih sa FSK ulazom, da proizvede izlaznu frekvenciju. Sa dva *timing* pina dve diskretne izlazne frekvencije mogu biti nezavisno proizvedene za FSK generator aplikacija.



Demodulator

XR-2211 (slika 7) je monolitični PLL (fazno sinhrona petlja) specijalno projektovana za prenos podataka. Ona je posebno podesna za FSK modeme. Radi sa širokim opsegim napajanja od 4,5 - 20V i široki opseg frekvencija od 0,01Hz do 300Khz. Može se prilagoditi analognom signalu od 2mV – 3V i može biti urađena u DTL, TTL i ECL tehnici. Kolo sadrži osnovni PLL za podešavanje ulaznog signala sa filtrom propusnih opsega, kvadraturnim faznim detektorom koji omogućava



Slika 7

XR-2211

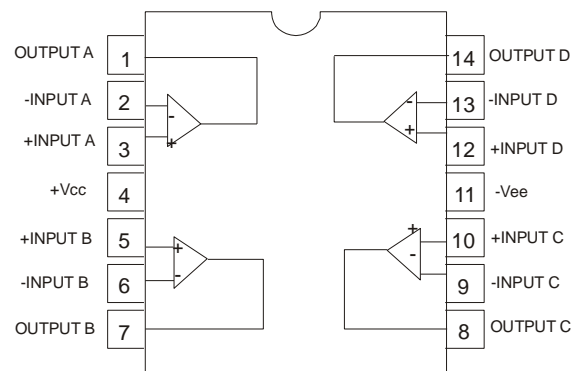
detekciju nosioca i FSK komparatorom napona koji omogućava FSK demodulaciju. Spoljne komponente su upotrebljene za nezavisno podešavanje centralne frekvencije, opsega i izlaznog kašnjenja. Glavni PLL unutar XR-2211 je konstruisana od ulaznog predpojačavača, analognog množača koji se oristo kao fazni detektor i precizno naponski kontrolisanog oscilatora (VCO). Predpojačavač se koristi ako limiter tako da ulazni signali iznad tipično 2mV RMS su pojačani na konstantni visoki nivo signala. Fazni detektor radi kao logičko ex-ili kolo. Njegov izlaz nefiltriran daje zbir i razliku ulaznih frekvencija sa izlaza VCO, $f_{ulaz} + f_{ulaz} = 2f_{ulaza}$, $f_{ulaz} - f_{ulaz} = 0\text{Hz}$ kada fazni detektor uklanja zbir frekvencija dok propušta razliku jednosmernih komponenti da pobudi

detekciju nosioca i FSK komparatorom napona koji omogućava FSK demodulaciju. Spoljne komponente su upotrebljene za nezavisno podešavanje centralne frekvencije, opsega i izlaznog kašnjenja. Glavni PLL unutar XR-2211 je konstruisana od ulaznog predpojačavača, analognog množača koji se oristo kao fazni detektor i precizno naponski

VCO. VCO je u stvarnosti strujno kontrolisani oscilator sa nominalnom ulaznom strujom koju određuje f_0 (kontrolise otpornik R_0) prema zemlji i njegova pobudna struja sa otpornikom R_1 kod faznog detektora. Druge sekcije kola XR-2211 rade kao: određuju kad je VCO pobuđen iznad ili ispod centralne frekvencije (FSK komparator) stvaraju oba, aktivno visoko i nisko stanje, i pokazuju kada je glavni PLL zaključan, odnosno uhvaćen.

Filtar propusnik opsega

Filtar propusnik frekvencija treba da ima takvu karakteristiku slabljenja da u opsegu frekvencija od nule do prve granične frekvencije f_{C1} ima bveliko slabljenje, od f_{C1} do f_{C2} ima malo slabljenje, a iznad druge granične frekvencije f_{C2} ponovo veliko slabljenje. XR-084 (slka 8) zajedno sa RC komponentama ima ulogu filtra propusnih opsega. Sastoji se od četiri komparatora napona. Ovo kolo odlikuje visoka ulazna impedansa (Z_{ul}) i mala kapacitivnost (C). Podešeno je za rad na veoma visokim frekvencijama.



Slika 7

XR-084

Tehnički karakteristike

Šema je konstruisana za jednosmerno napajanje od 12V. Ulazi za prijem podataka prihvataju TTL kompaktilne signalne nivoe, dok izlazi generišu signalne nivoe u rasponu od 0 do 12V. Kalibracija se vrši podešavanjem modulatora. Sa niskim signalom (logička „0“) na njegovom ulazu R_{21} je podešen za 1270 ili 2225Hz za pozivni i odzivni modem naizmenično. Za više signale (logička „1“) R_{22} je podešen za 1070 ili 2025Hz. Demodulator se podešava dovođenjem signala sa ulaza modema naizmenično sa 1070/1270Hz ili sa 2025/2225 Hz pravougaonim signalima. Modulaciona frekvencija bi trebalo da bude 150 Hz što je $\frac{1}{2}$ od sistemskog 300 baudnog prenosa. Što je dobijeno iz formule:

$$\nu = 2 \cdot f_m$$

Brzina u baudima predstavlja broj BIT/s koji mogu biti primljeni i poslani. R_{19} je podešen za pravougaone impulse za primanje podataka. R_{20} se koristi za podešavanje naponskog nivoa modulatora. Kada se modulatorski izlaz podesi na -6dB sistem će raditi sa rasponom ulaznih signala od +10dBm do -48dBm.

Zaključak i beleške pri izradi šeme

Kriterijumi kojima smo se vodili pri biranju teme su bili takvi da je projekat trebao da bude kompromis prakse i teorije. Izabrali smo projekat koji je, sa teorijske strane, pogodan za naš nivo znanja, a praktično izvodljiv. Još jedan od motiva kojim smo se vodili je da bio napravimo rad koji će i posle smotre koristiti našoj školi kao maketa za vežbe iz predmeta „Sistemi prenosa“.

Tokom konstrukcije modema nailazili smo na razne probleme. Prve poteškoće su se javile kod podešavanja promenljivih otpornika R_{22} i R_{21} iz razloga što su veoma osetljivi. Morali smo da zamenimo obične trimere sa multiturn potencimetrima (zato što su oni mnogo precizniji). Sledeći problem se javio već kod filtera, zato što je otpornicima R_3 i R_4 koje smo mi imali tolerancija bila 10%, a predviđena tolerancija je trebala da bude 1%. Na kraju zbog dva hladna lema koja smo imali na XR-2206, nismo dobijali izlazni signal, pa smo ponovnim lemljenjem otklonili kvar i dobili signal na izlazu.

Zahvalnost

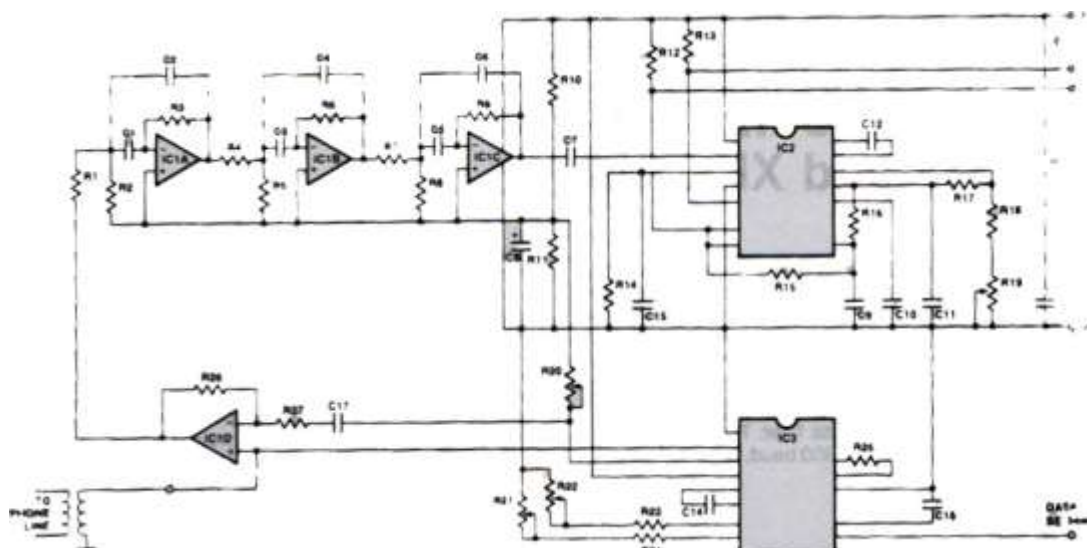
Zahvaljujemo se dr Aleksandru Neškoviću, docentu na ETF-u Beogradu što nas je uputio na pravu literaturu i mr Draganu Lopičiću koji nam je stavio na raspolaganje laboratoriju gde smo isprobali uređaj i obezbedio uslove za izvođenje ogleđa.

Literatura

1. Dragan Lopičić i Miomir Filipović, (2003) „Teorija Telekomunikacija“, Zavod za udžbenike i nastavna sredstva Beograd
2. Dragan Lopičić, (2006) „Sistemi Prenosa“ Beograd.
3. Charan Langton: „Intuitive Guide To Principles Of Communications“
4. Nepoznat autor: Frequency shift keying- „Preparation and Experiment“

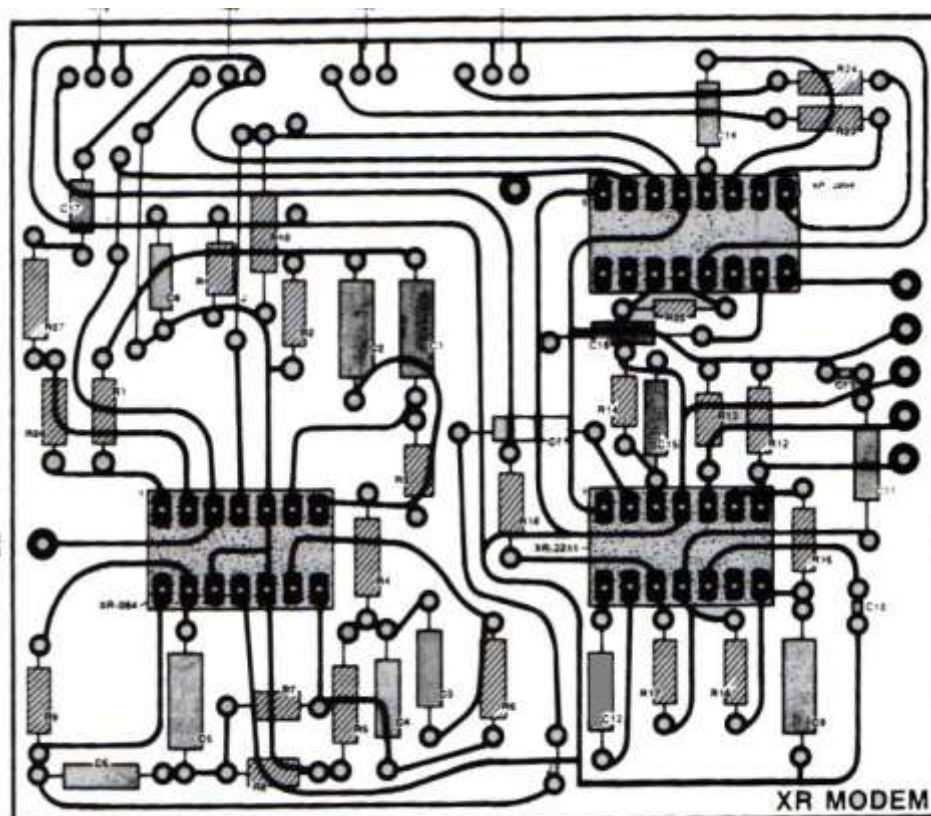
Prilog:

1. Električna šema FSK modema



Slika 1
Električna šema FSK modema

2. Montažna šema FSK modema.



Slika 2
Montažna šema FSK modema