

**Univerza v Ljubljani**  
**Fakulteta za elektrotehniko**

**Boštjan Voljč**

## **Miniaturni FM oddajnik**

SEMINARSKA NALOGA  
pri predmetu  
**ELEKTRONSKA VEZJA**

Ljubljana, maj 2001

**KAZALO**

1	UVOD .....	1
2	FM ODDAJNIK .....	2
2.1	Frekvenčna modulacija .....	2
2.2	Delovanje oddajnika .....	3
2.2.1	Blok diagram oddajnika .....	3
2.3	Izdelava oddajnika .....	4
3	MERITVE .....	5
3.1	Odvisnost nivoja in frekvence od napajalne napetosti .....	5
3.2	Odvisnost frekvence od temperature .....	7
4	ZAKLJUČEK .....	9

## 1 UVOD

Seminarska naloga opisuje miniaturni FM oddajnik, ki deluje na radijskih frekvencah med 91 MHz do 97 MHz. Oddajnik se lahko uporablja kot brezžični mikrofona, ki ga lahko sprejemamo na vsakem radijskem sprejemniku. Frekvenco se lahko poljubno nastavlja, kar nam omogoča, da se frekvenca našega oddajnika ne prekriva s frekvencami drugih radijskih postaj in tako ne pride do motenj.

Oddajnik je bil kupljen kot kit komplet v trgovini CONRAD. Komplet je vseboval ploščico z izdelanim tiskanim vezjem, vse elemente ter navodilo za izdelavo. V kompletu pa ni bilo stikala za vklop/izklop vezja in pa ohišja. Za ohišje je v našem primeru uporabljeno kar ohišje navadne žepne svetilke, ki po velikosti ravno ustreza vgradnji vezja, mikrofona, stikala in pa seveda ene 1.5 V baterije, ki nam služi za napajanje.

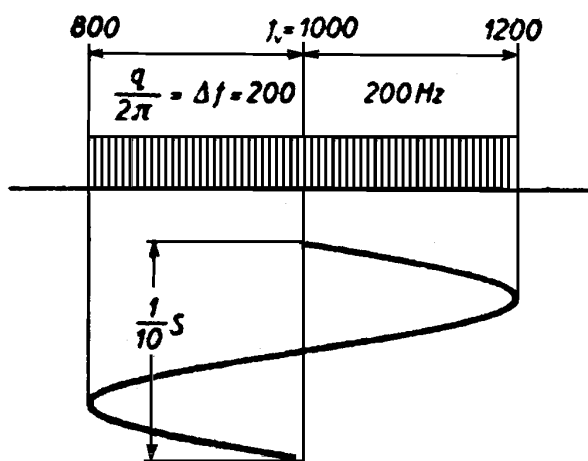
V nadaljevanju naloge je tako opisan princip delovanja oddajnikov ter seveda frekvenčna modulacija, katero uporablja za prenos podatkov tudi naš oddajnik. Opisana je tudi izdelava in nastavljanje oddajnika. Ko je bil oddajnik izdelan, nas je zanimala njegova občutljivost na spremembo napajalne napetosti ter na spremembo temperature. Potek meritev in pa seveda rezultati so predstavljeni v zadnjem poglavju.

## 2 FM ODDAJNIK

### 2.1 FREKVENČNA MODULACIJA

Poznamo več vrst modulacij kot so frekvenčna, amplitudna, fazna in digitalna modulacija. Z njeno pomočjo prenašamo informacije. Pri vsaki izmed modulacij imamo osnovno nosilno frekvenco, ki ji moduliramo (spreminjamo) amplitudo, frekvenco ali fazo in tako lahko pošiljamo informacijo, kar je v našem primeru govor.

Pri frekvenčni modulaciji spreminjamo frekvenco. Predstavljajmo si nosilni signal s frekvenco 1 kHz, ki je frekvenčno moduliran do razmaha 200 Hz z modulacijsko frekvenco 10 Hz. Praktično to predstavlja signal, ki menja frekvenco med 800 Hz in 1200 Hz zvezno desetkrat na sekundo.



**Slika 1: Frekvenčna modulacija**

Razmah 200 Hz predstavlja frekvenčno modulacijo, ki jo označimo z FM, hitrost spreminjanja te modulacije pa imenujemo modulacijska frekvenca, ki jo navadno označimo z  $f_{\text{mod}}$ .

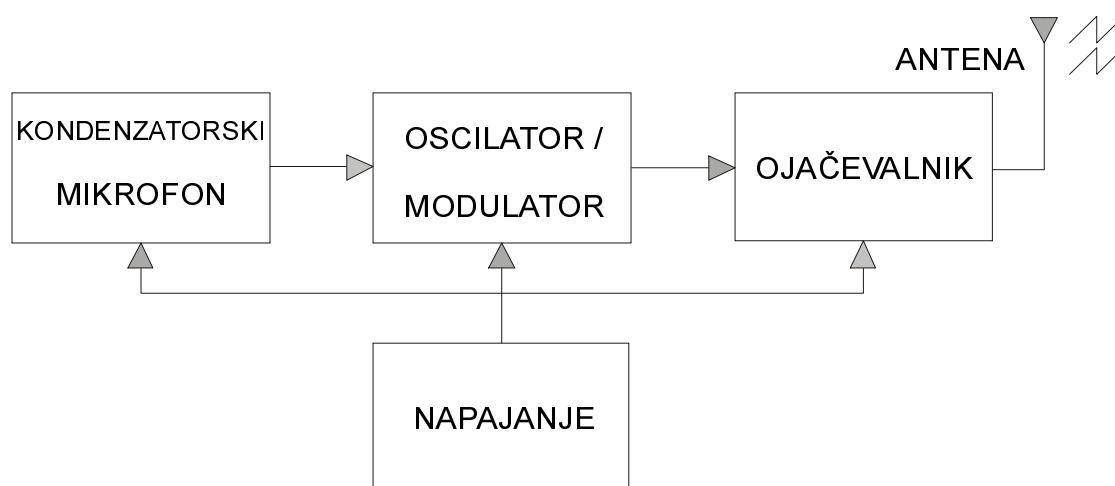
Pri radijskih oddajnikih frekvenčna modulacija ni stalna, ampak se spreminja v odvisnosti od jakosti signala na vhodu (mikrofonu). Večja kot je jakost, bolj je signal frekvenčno moduliran. Seveda obstaja tudi zgornja meja frekvenčne modulacije. Pri radijskih sprejemnikih se lahko nosilna frekvenca spreminja za največ 100 kHz. To nam da frekvenčni pas 200 kHz. Če poslušamo torej radijski program na frekvenci 95,6 MHz, to pomeni, da se nosilna frekvenca lahko spreminja med 95,5 in 95,7 MHz.

## 2.2 DELOVANJE ODDAJNIKA

FM oddajnik je izredno majhen, saj njegovo tiskano vezje meri le 14 x 30 mm. Kljub svoji majhnosti pa lahko oddaja signal skoraj 15 m daleč, seveda pa je razdalja močno odvisna od pregrad, ki se nahajajo med oddajnikom in radijskim sprejemnikom. Oddajnik vsebuje namesto tuljave s fiksno vrednostjo vrtljivo tuljavo, s katero lahko nastavljamo frekvenco med približno 91 MHz in 97 MHz. S tem lahko oddajnik nastavimo na frekvenco, ki je zagotovo prosta in s tem preprečimo prekrivanje signalov.

### 2.2.1 Blok diagram oddajnika

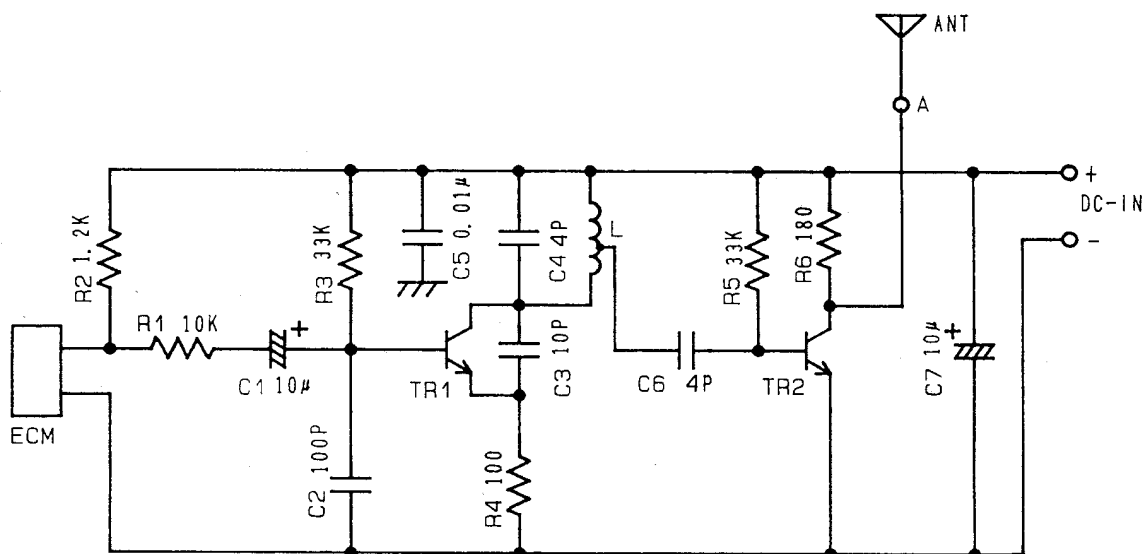
Na blok diagramu na Sliki 2 lahko vidimo grobo zgradbo oddajnika in njegovo delovanje. *Kondenzatorski mikrofoni* služi za zajemanje signala, kar je v našem primeru govor ali kakšen drug zvok.



**Slika 2: Blok diagram oddajnika**

Srce bloka *oscilator/modulator* je tranzistor TR1<sup>1</sup>, ki predstavlja visokofrekvenčni oscilator, ki oscilira na frekvencah med 91 MHz do 97 MHz, odvisno od nastavitve vrtljive tuljave. Frekvenca oscilatorja se spreminja v odvisnosti od zvoka, ki ga zajame mikrofoni. Signal z mikrofona je pripeljan na bazo tranzistorja TR1. Večji kot je vhodni signal na bazi tranzistorja, bolj frekvenca oscilatorja variira. Tako dobimo frekvenčno moduliran signal.

<sup>1</sup> glej Slika 3: Načrt vezja



**Slika 3: Načrt vezja**

Ojačevalnik vsebuje tranzistor TR2<sup>2</sup>, ki ojača frekvenčno moduliran signal iz oscilatorja/modulatorja. Tako ojačan signal nato antena odda v prostor. Vse skupaj je napajano z 1.5 V baterijo.

### 2.3 IZDELAVA ODDAJNIKA

Kit komplet oddajnika je že vseboval vse elemente in tiskano vezje razen ohišja in stikala. Najprej sem prispajkal vse elemente na tiskano vezje. Nato sem izbral ohišje žepne svetilke, ki po velikosti ravno ustreza tiskanemu vezju in eni bateriji. Poleg tega sem v ohišje vgradil še stikalo za vklop/izklop oddajnika.

Ko je bil oddajnik narejen, je sledilo umerjanje frekvence. To je bil tudi edini parameter, ki ga je bilo potrebno umeriti. Vrtljiva tuljava vpliva na frekvenco, ki se giblje med 91 in 97 MHz. Najprej sem na radijskem sprejemniku poiskal frekvenco, na kateri ni oddajala nobena radijska postaja, to se pravi, da je bila frekvenca »prazna«. Nato sem vklopil oddajnik in ga postavil pred zvočnik sprejemnika. Glasnost sprejemnika sem dal približno na polovico, tako da je prišlo do povratnega učinka, ko se je oddajna frekvenca ujela s sprejemno frekvenco in je sprejemnik pričel piskati. Pri vrtenju tuljave je bilo pomebno, da sem jo vrtel s plastičnim izvijačem, saj se je pri uporabi kovinskega izvijača ob njegovi odstranitvi frekvenca nekoliko spremenila.

<sup>2</sup> glej Slika 3: Načrt vezja

### 3 MERITVE

Naš oddajnik je prirejen delovanju pri napajalni napetosti 1.5 V in sobni temperaturi. Zanimivo pa je seveda preveriti delovanje pri različnih temperaturah in različnih napajalnih napetosti.

#### 3.1 ODVISNOST NIVOJA IN FREKVENCE OD NAPAVALNE NAPETOSTI

Napajalna napetost baterije navadno variira med  $-33\%$  do  $+10\%$  nazivne vrednosti. Pri napajanju z 1.5 V baterijo je tako zanimivo območje napajalne napetosti od 1 V do 1,65 V. Pri meritvi sem uporabil spektralni analizator, stabilizirani usmernik ter digitalni multimeter. Frekvenco oddajnika bi lahko meril tudi s števcem, vendar je nivo oddajnika prenizek, da bi prožil števec. Zato sem se raje odločil za spektralni analizator, ki poleg center frekvence meri tudi nivo. Meritev je bila izvedena tako, da je bila čez žico antene navita tuljava z 10 ovoji premera približno 1 cm. Ravno zaradi tega se je pojavil problem, da se ni dalo meriti absolutnega nivoja, saj nimamo dobrega sklopa, s katerega bi lahko odvzemali signal z oddajnika. Zato sem raje opazoval relativno spremembo nivoja pri različnih napajalnih napetostih.

Pri meritvi je bila napajalna napetost realizirana z stabiliziranim usmernikom, kateremu sem nivo dodatno preverjal z digitalnim multimetrom. Preko tuljave sem odvzemal signal z antene in ga nato prikazal na spektralnem analizatorju. Odčital sem frekvenco nosilnega signala ter njegov relativni nivo. Podatki meritev so prikazani v Tabeli 1 in v Grafu 1. Napetost napajalnika sem spreminjal po korakih približno 100 mV.

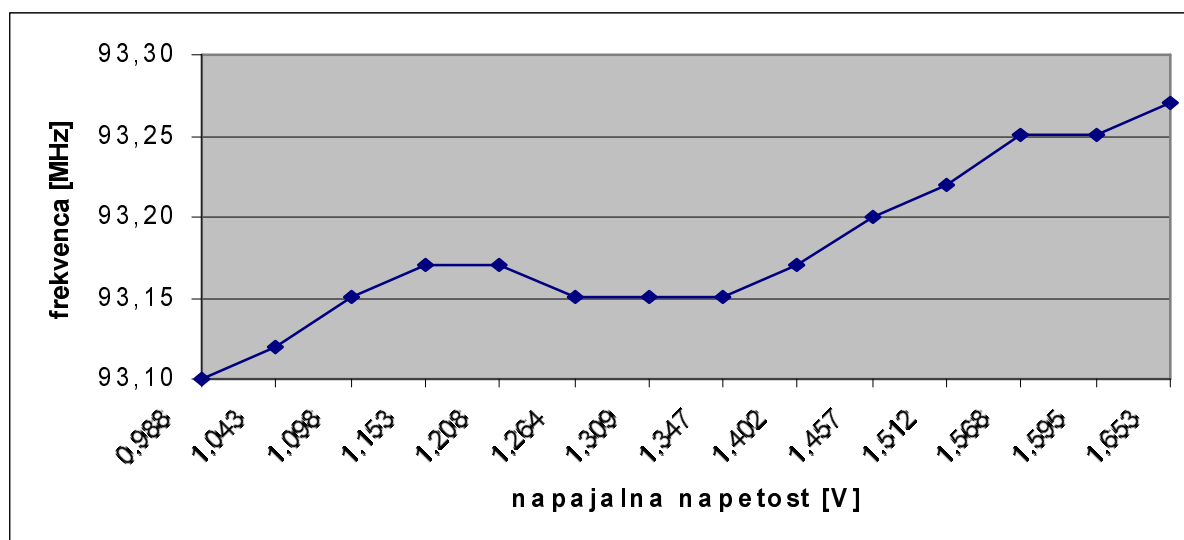
V prvem stolpcu so napisane napajalne napetosti, odčitane z digitalnega multimetra. Drugi stolpec prikazuje frekvenco nosilca signala, tretji stolpec pa relativni nivo. V četrtem stolcu pa je preračunana sprememba nivoja pri različnih napajalnih napetostih glede na nivo pri nazivni napajalni napetosti 1.5 V.

Uporabljena merilna oprema:

- HP 8593E Spectrum Analyzer, 9kHz - 26,5GHz
- HP 34401A Multimeter
- HP 6213A DC power supply

$U_{\text{bat}}$ [V]	$f_x$ [MHz]	$U_{\text{xrel}}$ [dB]	$U_x$ [dB]
0,988	93,10	-49,1	-11,6
1,043	93,12	-46,5	-9,0
1,098	93,15	-44,7	-7,2
1,153	93,17	-43,4	-5,9
1,208	93,17	-41,8	-4,3
1,264	93,15	-42,0	-4,5
1,309	93,15	-40,8	-3,3
1,347	93,15	-40,4	-2,9
1,402	93,17	-39,2	-1,7
1,457	93,20	-38,3	-0,8
1,512	93,22	-37,5	0,0
1,568	93,25	-37,1	0,4
1,595	93,25	-37,0	0,5
1,653	93,27	-36,6	0,9

**Tabela 1: Odvisnost frekvence in nivoja od spremembe napajalne napetosti**

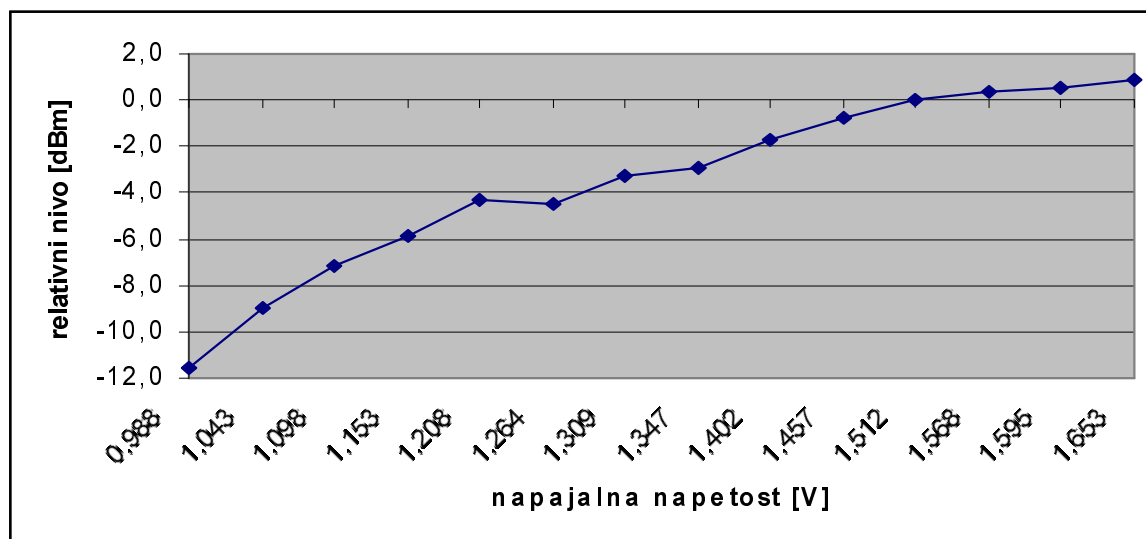


**Graf 1: Odvisnost frekvence oddajnika od napajalne napetosti**

Iz Grafa 1 lahko vidimo, da se frekvenca spreminja v našem področju napajanja za 0,2 MHz. Radijske sprejemnike se da navadno nastaviti na določeno frekvenco na 0,05 MHz točno. V našem primeru je frekvenca najbolj stabilna na območju napajalne napetosti od 1,153 V do 1,402 V, kjer se spremeni samo za 0,02 MHz. Iz tega sledi, da moramo pri čisto polni bateriji zvišati frekvenco za 0,05 MHz,



kolikor namreč znaša odstopanje. Oddajnik pa je tako primeren tudi za delovanje s polnilnimi baterijami, ki imajo napetost 1,2 V.



**Graf 2: Odvisnost oddajnega nivoja oddajnika od napajalne napetosti**

Na Grafu 2 je prikazano absolutno odstopanje nivoja pri različnih napetostih glede na napetost 1,512 V, kar naj bi tudi bila približna napetost, za katero je oddajnik grajen (1,5 V). Vidimo, da oddajni nivo z višanjem napajalne napetosti narašča, kar je povsem logično.

### 3.2 ODVISNOST FREKVENCE OD TEMPERATURE

Meritev temperaturne odvisnosti frekvence je nekoliko bolj zapletena. Ne da se namreč točno določiti temperature vezja. Meritev sem vseeno opravil tako, da sem z grelcem na topli zrak segrel vezje na temperaturo približno 70 °C, ohladil pa sem ga s sprejem KALT, ki lahko ohladi na -50 °C. Po krajši ohladitvi je imelo vezje približno -20 °C, po malo daljši približno -35 °C in po še daljši -50 °C.

Iz Tabele 2 je razvidno, da ima temperatura kar velik vpliv na frekvenco. Ta namreč s segrevanjem pada, z ohlajanjem pa narašča. Škoda je, da nisem mogel bolj točno spreminjati temperature v področju od 10 do 30 °C, ki bi bilo za delovanje nekako najbolj zanimivo. Mislim pa, da se v tem področju frekvenca minimalno spremeni, kar pomeni, da je vezje dokaj solidno načrtovano. Sprememba oddajnega nivoja je zanemarljiva.

$U_{\text{bat}}$ [V]	$T_a$ [°C]	$f_x$ [MHz]
1,485	20	93,20
1,485	-20	93,37
1,485	-35	93,45
1,485	-50	93,55
1,485	70	92,12

**Tabela 2: Odvisnost frekvence od spremembe temperature**

## 4 ZAKLJUČEK

Izgradnja oddajnika je bila zelo zanimiva. Dejstvo, da je bil oddajnik kupljen v kit kompletu nekoliko olajša delo, saj ni potrebno izdelati tiskanega vezja. Res pa je, da izdelava tiskanega vezja ne bi bila možna ročno, saj je vezje premajhno. V poštev bi prišel fotopostopek, ki pa je več ali manj rutinski, saj zajema samo premaz gole tiskanine s fotorezistom, osvetljevanje z UV svetlobo skozi »masko« z narisanim načrtom ter jedkanje. Pred prispajkanjem elementov pa bi bilo potrebno vezi na ploščici še prevleči z spajko. Prednost kupljenega kit kompleta je tudi v tem, da je pri takšnem vezju večja možnost, da bo delovalo.

Oddajnik je tako dokaj solidno načrtovan in tudi sama izgradnja ni zapletena. Zanimivo je bilo izdelati oddajnik in pa seveda vgradnja v ohišje, za kar je uporabljeno kar ohišje baterije.

Pri izdelavi oddajnika sem lahko spoznal metode izdelave določene naprave, seveda brez načrtovanja in izdelave tiskanine. Poleg tega pa sem se naučil tudi nekaj o delovanju oddajnikov na splošno.