

Merač Induktiviteta/Kapaciteta/Frekvencije/Kvarc kristala

Nebojša Kovačević

Svaka laboratorija namenjena izučavanju elektro-tehnike poseduje uređaje kako za univerzalnu, tako i za sasvim specifičnu upotrebu. U nedostatku sredstava, tehničari sve češće prilagođavaju konstrukcije ili pribegavaju samogradnji mernih instrumenata. Uređaji različitih osobina i namene su obično sačinjeni odvojeno, kao posebni elementi za merenje relevantnih veličina.

Konstrukcija ovde opisana sadrži nekoliko mernih uređaja po ceni jednog.

U pitanju je merač induktivnosti kalema, kapaciteta kondenzatora, merača frekvencije u širokom opsegu sa čak osam cifara, kao i merača kvarc kristala.

Osnovu za ovaj uređaj, autor je načinio nakon iskustva sa elektronskim komponentama koje čine ovakve samogradnje veoma jeftinim, i moćnih karakteristika – mikrokontrolerima.

Karakteristike

- 1.) **AUTO RANGE** selekcija za kapacitet i induktivitet sa rezolucijom 1/100.
- 2.) **AUTO SAMO-KALIBRACIJA** pri uključenju, namenjena izbegavanju problema samo-kapaciteta i induktiviteta test sonde i štampanih veza,
- 3.) Merna frekvencija u opsegu od 1Hz do 1GHz,
- 4.) Preko 1% tačnost,
- 5.) **MOD «L»** postaje aktivan pri pritisku na prekidač **S1 (Lx)**. Ulaz pri modu dvostruke kalibracije (za induktivnost veću od 10mH) pojavljuje se pri svakoj promeni položaja **S5**, tako da se merenje kapaciteta i induktiviteta može obavljati simultano. Na **LCD-u** pojavljuje se «Inductance» **X.XXX xH**,
- 6.) **MOD «F»** služi za merenje frekvencije sa eksternog izvora, a **mod «X»** je za merenje rezonantne frekvencije kristala koja je veoma korisna za biranje između mnogo – kristala za uparivanje.
- 7.) Minimalan broj komponentata i samo jedan prekidač za selekciju funkcija.

Mana: Greška se povećava sa porastom aktivnog otpora; za kompenzaciju influence samo-kapaciteta postoji funkcija korekcije indikacija i mapiranje vrednosti ove kapacitivnosti. Za kaleme malih dimenzija sa veoma velikim aktivnim

otporom (više od 20 Ohm), i zatvorenih magnetnih petlji, greška se povećava. Iz ovog razloga je softver nakon prve konstrukcije značajnije izmenjen, kako bi se problemu pristupilo na najbolji mogući način. On je doveden do savršenstva, ali je problem

hardvera mnogo veći i trebao bi zahtevati veću pažnju, kao i pažljivije konstruisanje i biranje komponenata.

Princip rada

U modu merenja frekvencije instrument funkcioniše na dobro znanom metodu u kojem **PIC** mikro-kontroler broji oscilacije u jedinici vremena i predstavlja ih na **LCD**-u. Za merenje rezonantne frekvencije kristala, kristal se postavlja u oscilator i ono što se predstavlja jeste frekvencija oscilatora. Ova osobina je veoma korisna za selektovanje istovetne frekvencije kod upotrebe kristala u mnogobrojnim filterima i sličnoj upotrebi gde je potrebno njihovo precizno uparivanje.

Pri merenju induktivnosti i kapaciteta instrument funkcioniše na rezonantnom principu i biće objašnjen ovde ukratko. Tretirani merni objekat uključuje se u kolo sa poznatim parametrima, koji su sadržani u mernom generatoru. Na promenu generisane frekvencije pod dobro poznatom formulom $f=1/4\pi\sqrt{LC}$ postavlja se potrebna vrednost.

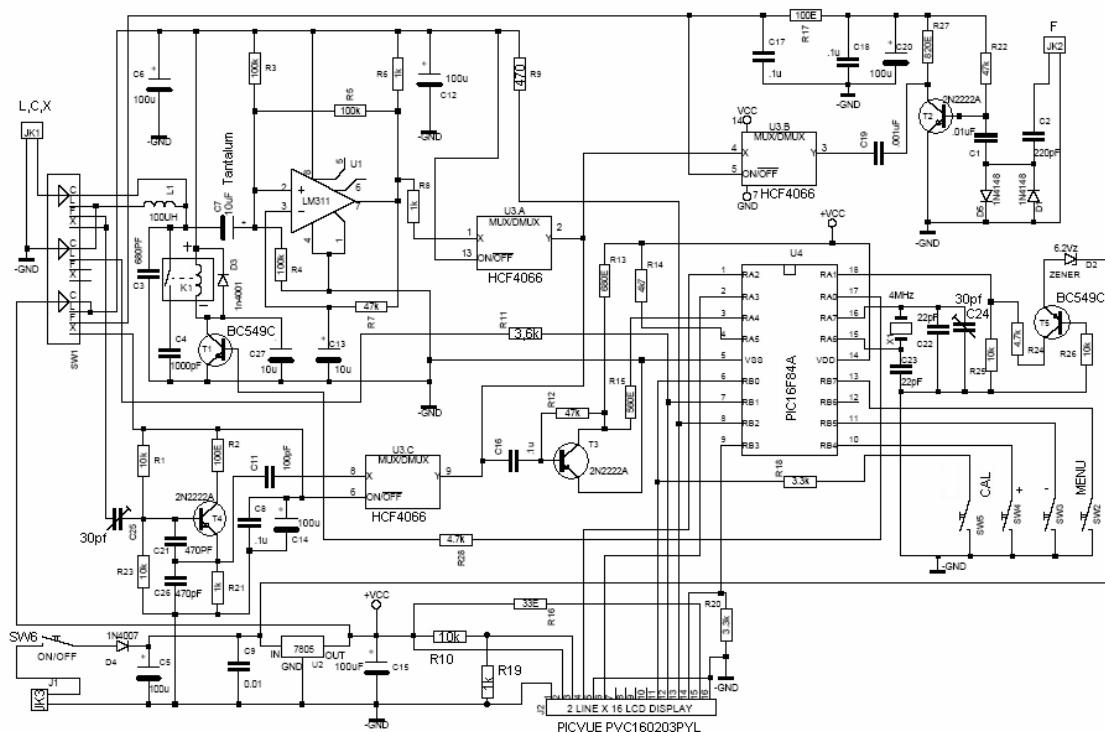
Opisani metod ima jednu esencijalnu manu, koja se sastoji u povećanju greške merenja većih vrednosti (preko 10mH) induktivnosti sa signifikantnim samo-kapacitetom. Očitavanja instrumenta u tom slučaju mogu biti veća za 2-10 puta. Definiciona funkcija parazitskog kapaciteta i rekalkulacija induktivnosti je zbog toga dodana u softver za eliminaciju ove mane od strane autora kasnije. U ovu svrhu kalibracija je izvedena tokom merenja induktivnosti. Dalje, postoji kalkulacija i mapiranje ispravne indukcije i njene samo-kapacitivnosti, sa tačnošću merenja od 2-10%. Opisana metoda takođe nije idealna zbog raspoređivanja samo-kapaciteta između merenih i izmerenih induktivnosti koja se primetno pojavljuje na njihovim uporednim vrednostima.

Šematski dijagram i detalji konstrukcije

Električna šema je prikazana na sledećoj slici. Opažamo nekoliko jedinica upravljanih mikrokontrolerom: merni generator na **U1**, ulazno pojačalo moda **F** na **T2**, komutator signala na **U3**, jedinica za merenje i indikator na **U4**, **LCD** kao i merni oscilator oko **T4**.

LC merni generator je čip-komparator **LM311**. Kolo je veoma dobar generator frekvencije oko 800kHz, obezbeđujući na izlazu signal bez distorzija.

Najbitniji elementi generatora jesu merni kalem **L1** i kondenzator **C3**, kao i standardni kondenzator **C4** kojeg uključuje mikrokontroler. Zavisno od moda rada **L1**



Električna šema LCFX metra

on je konektovan na ulaz **JK1** serijski ili paralelno. Izlaz iz generatora koji prolazi kroz otpor **R8** utiče na prebacaivač **U3 CD4066**. Tranzistor **T2** sakuplja signal iz eksternog izvora, pojačava ga i dovodi na ulaz **CD4066**. Izlaz ovog kola dolazi do **rf** pojačala oko **T3**. Kolo za ovo je jednostavan **rf** pojačivač koji je neophodan da pojača ulazni signal.

Glavna uloga svakako pripada mikrokontroleru **PIC16F84A**. Ovaj čip zaslužuje veliko poverenje i popularnost među elektro-inženjerima zahvaljujući ne samo dobrim unutrašnjim parametrima i niskoj ceni, već takođe i jednostavnosti programiranja. Signal sa tranzistora **T3** je direktno «on-line» sa šmitovim okidačkim kolom u mikrokontroleru. Rezultat kalkulacija jeste izlaz na alfanumeričkom displeju.

Odabiranje modova je određeno trolpolnim preklopnikom **S1** i ovde će biti detaljno objašnjen. Ostali prekidači služe samo za kalibraciju. Tranzistor **T1** pokretan od mikrokontrolera je iskorišćen da uključuje relej za konekciju standardnog kondenzatora **C4** na meri generator. Tranzistori **T5** i dioda **D2** služe za indicaciju stanja baterije. Kolo pomaže u ispisivanju znaka «!» na displeju ako je nivo baterija nizak.

Što se tiče kvaliteta komponenata, reći ću samo to da treba odabrati što je moguće bolji kvalitet i što manju toleranciju komponenata, naročito kabela i kondenzatora. Koristiti kvalitetna podnožja za **IC**, po mogućnosti pozlaćena. Smanjiti dužine vodova

na minimum, što će smanjiti i samo-kapacitivnost i induktivitet. Prekidač za selekciju moda rada **S1** jeste klasični preklopnik, a ostala četiri prekidača **S2** do **S4** jesu mali mikro print tasteri koji se nalaze na samoj štampi, jer jednom kada je pomoću njih uređaj izbaždaren, oni više nemaju gotovo nikakvu ulogu. Prekidač **S5** je **SPST** prekidač za dvostruku kalibraciju jedinice protiv samo-kapaciteta većih vrednosti induktiviteta, većih od 10mH. Prekidači **S1** i **S5** su postavljeni na prednji panel.

PIC je programiran pre postavljanja na ploču. Sa nekim malim korekcijama programa, moguće je korišćenje savremenije verzije **PIC16F628A**, koji poseduje dvostruko veću memoriju i brzinu do 5 miliona operacija u sekundi.

Specijalnu pažnju treba posvetiti releju **K1**. Prvo, trebalo bi da pouzdano radi na 4,5V. Drugo, otpor zatvorenih kontakata treba da bude minimalan, ali ne veći od 0,5 Ohm. Mnogi releji sa potrošnjom struje od 5-15mA imaju otpor 2-4 Ohm, što je nedopustivo u našem slučaju (primer su releji iz telefona i modema). Treba koristiti relej velikog kvaliteta sa minimalnim otporom kontakata. Ovde se može upotrebiti i 12V relej, sa dodatkom napajanja od 12V za njega.

Glavne komponente na kojima počiva tačnost uređaja jesu kalem **L1**, kondenzatori **C3**, **C4**, **C7**, i otpori **R3** i **R8**. **L1** treba da bude maksimalno dobrog kvaliteta i minimalne samo-kapacitivnosti. Uobičajeni subminijaturni induktori sa kapacitetom od 100-125uH će ovde dobro poslužiti.

Kondenzatori **C3**, **C4**, **C7**, **C21** i **C26** zahtevaju takođe visok kvalitet, naročito u smislu termičke stabilnosti. **C3** može biti kapaciteta 510-680pf. Isto to važi i za **C4**, ali u granicama od 820-2200pf

Za proširenje donje granice merenja frekvencije (reda Hz), neophodno je koristiti 10uf elektrolitički kondenzator za **C11** i **C16**. Kondenzator **C7** treba da bude 10uf/25V tantal.

Testiranje i kalibracija

1. Struja potrošnje ne bi trebala da premaši 20mA u bilo kom modu rada (izuzev za trenutak rada releja).
2. Otpornik **R10** reguliše odgovarajući kontrast za **LCD**.
3. Proveriti kratke spojeve i postaviti **IC** u podnožje. Držati selektor u poziciji merenja kapaciteta, a onda uključiti napon u uređaj. Napon na izlazu regulatora i **PIC** kola ne sme preći 5V.
4. Tada, uređaj prelazi u **mod samo-kalibracije** protiv samo-kapacitivnosti i induktivnosti u uređaju. On ispisuje «calibration» i posle nekoliko sekundi

- pokazuje «OK». Tada bi naš metar trebalo da pokaže 0.00pf i spreman je za merenje L i C.
5. Za merenje frekvencije, postaviti **S1** u mod **F**. Podesiti trimer **C24** konektovan na kristal i **PIC** pinove **15** i **16** za ispravno očitavanje. Displej pokazuje «frequency» XX,XXX,xxx MHz. Upotrebiti pouzdan izvor zračenja za kalibraciju, ili fabrički f-metar.
 6. Dalje, potrebno je otići u mod instalacije konstanti za korektnu indikaciju izmerenih vrednosti kapaciteta i induktiviteta. Postoje dve konstante koje treba instalirati, **X1** i **X2**. Konstanta **X1** je instalirana numerički, jednako vrednosti kondenzatora **C4** u pf i ovde je ona 1.000 bez podešavanja. Trebalo bi da podesimo ovu vrednost jer od nje zavisi preciznost očitavanja.
 7. **Mod instalacija konstanti.** Ovaj mod je neophodan za dobijanje korektnih vrednosti induktiviteta i kapaciteta i ova procedura je potrebna samo prilikom prvog uključanja uređaja. Metar u stvari poredi novu vrednost kondenzatora ili kalema koji treba da izmerimo sa vrednosti koju već imamo u oscilatoru i pokazuje je na displeju. Za ovo, trebali bismo da unesemo vrednosti konstanti u EEPROM mikrokontrolera. Isključiti metar i postaviti ga u položaj «C», za merenje kapaciteta, a onda pritisnuti **S2** i uključiti metar. Metar pokazuje konstante **X1** i **X2** prema stanju **S5**. Promenimo trenutno stanje **S5** sa pritisnutim **S1** kako bismo dobili bilo **X1** ili **X2**. Pritisnuti **S3** ili **S4** kako bismo promenili vrednosti na gore ili dole. **X1** je jednak numeričkoj vrednosti **C4** u pf i ovde je negova vrednost već 1.000. Konstanta **X2** je za induktivnost i njena vrednost je već takođe 1.000. Prvo podesimo **X1** gore ili dole. Onda, jednostavno promenimo stanje **S5**. Ovo će sačuvati novu vrednost konstante u EEPROM. Metar tada automatski odlazi na mod merenja kapacitivnosti. Tada pritisnuti dugme za kalibraciju jednom i kada smo spremni, izmeriti poznatu vednost C sa metrom. Ista procedura važi i za dobijanje korektne vrednosti za **X2**, tako da metar pokaže ispravnu vrednost induktiviteta. Zapamtimo da se beleženje novih konstanti u EEPROM vrši jedino tasterom **S5** (memorisanje).

Softver

Ovo je bio teži deo projekta. Softver meri dva parametra, nakon komande za kalibraciju. Prvo, meri oscilatornu frekvenciju koristeći interni induktivitet i kapacitet. Nakon toga, dodaje se “standardni” kapacitet (oko 1000pf), paralelno generatoru i frekvencija se ponovo meri.

Program tada ponavlja proces, u kojem meri frekvenciju oscilatora koristeći interni induktivitet i kapacitet, kao i bilo koji nepoznati induktivitet ili kapacitet koji je unešen u kolo - naknadno. Veoma ozbiljne matematičke operacije se izvode svaki put kada unesemo nepoznatu vrednost u kolo. Ova matematička vrednost se dalje procesira i šalje na LCD.

Preciznost?

Preciznost zavisi pre svega od toga da korisnik zna da rukuje mernim instrumentom i da je nepoznata komponenta dovoljno visokog Q faktora. Obzirom da sve što PIC čini jeste merenje frekvencije oscilatora, bilo koja dodatna komponenta koja će dozvoliti oscilatoru da funkcioniše biće prikazana kao kalem ili kondenzator, zavisno od položaja preklopnika (moda rada). Na primer, 22Ω otpornik je prikazan kao $3,14\mu\text{H}$ kalem ili kao 119nf ($0,119\mu\text{f}$) kondenzator. A ovo nije ni izbliza tačno!

Kada nepoznata komponenta ima visok Q faktor, uređaj generalno pokazuje preciznost bolju od 1%.

U modu samo-kalibracije, greška zavisi u prvom redu od vrednosti oscilatora LC, kao i od vrednosti standardnog kondenzatora od oko 1000pf.

Najgora greška pojavljivala se pri korišćenju feritnog kalema za L1. Ovde je greška bila manja od 1% za vrednosti induktiviteta ispod $475\mu\text{H}$, i kapaciteta ispod 3300pf. Greška se povećavala na 3% na vrednosti od $0,22\mu\text{f}$.

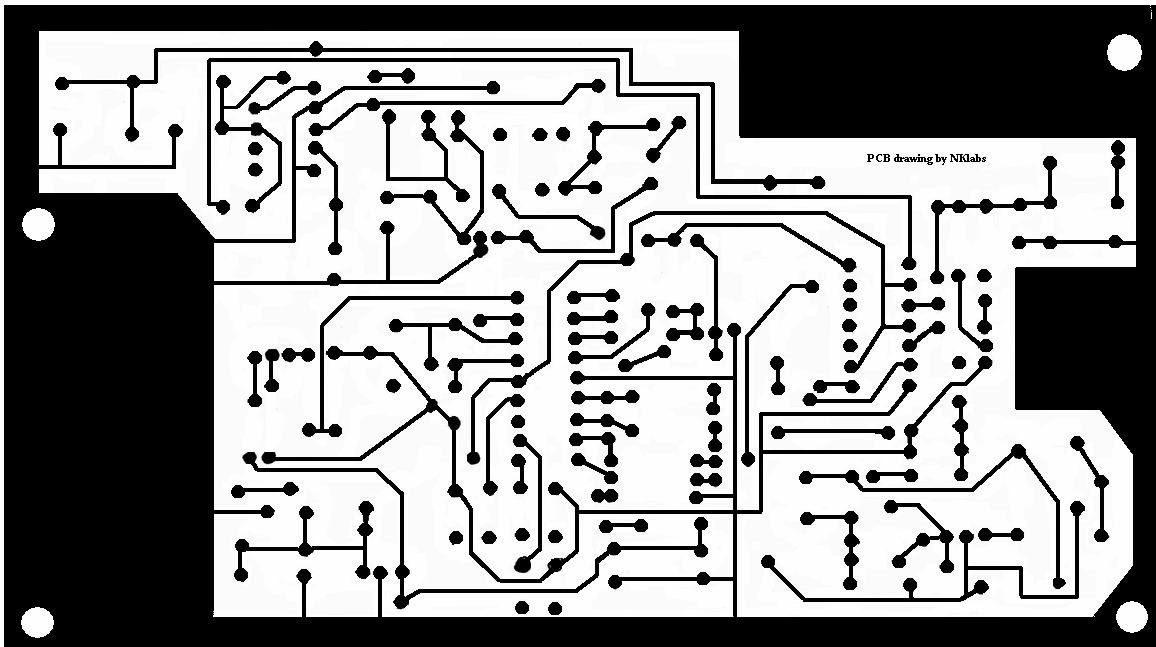
Iznenadujuće, ali najveća tačnost je postignuta pri korišćenju kalema iz starog TV aparata. Ovde je greška bila manja od 1% za vrednosti ispod $0,22\mu\text{f}$ i takođe manje od 1% za vrednosti ispod $475\mu\text{H}$.

Korišćen je 1000pf stirofleks kondenzator. Keramički može biti loš izbor ovde, jer neki od njih (zavisno od proizvođača), imaju puno gubitaka.

Nemamo razloga da sumnjamo u bilo kakvu nelinearnost u očitavanju za male vrednosti. Komponente niskih vrednosti su, teorijski, direktno proporcionalne razlici frekvencije (kada je komponenta pridodana oscilatoru), a softver prati ovu proporcionalnost.

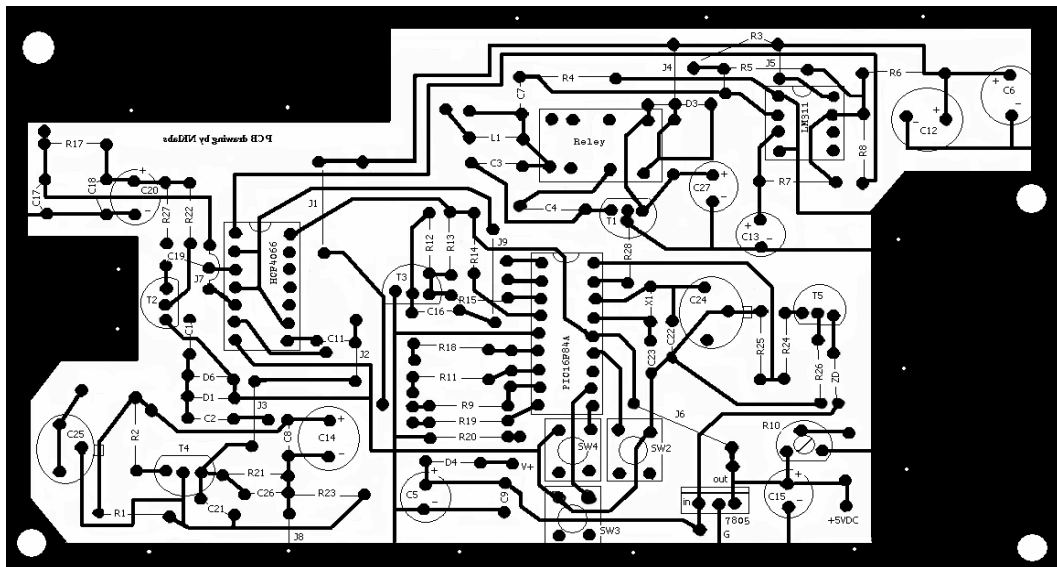
Izgled završenog uređaja

Štapane veze su urađene prema sledećim slikama. Pločica je rađena standardnom flomaster tehnikom, obzirom da nema kritično osetljivih ili SMD komponenti.



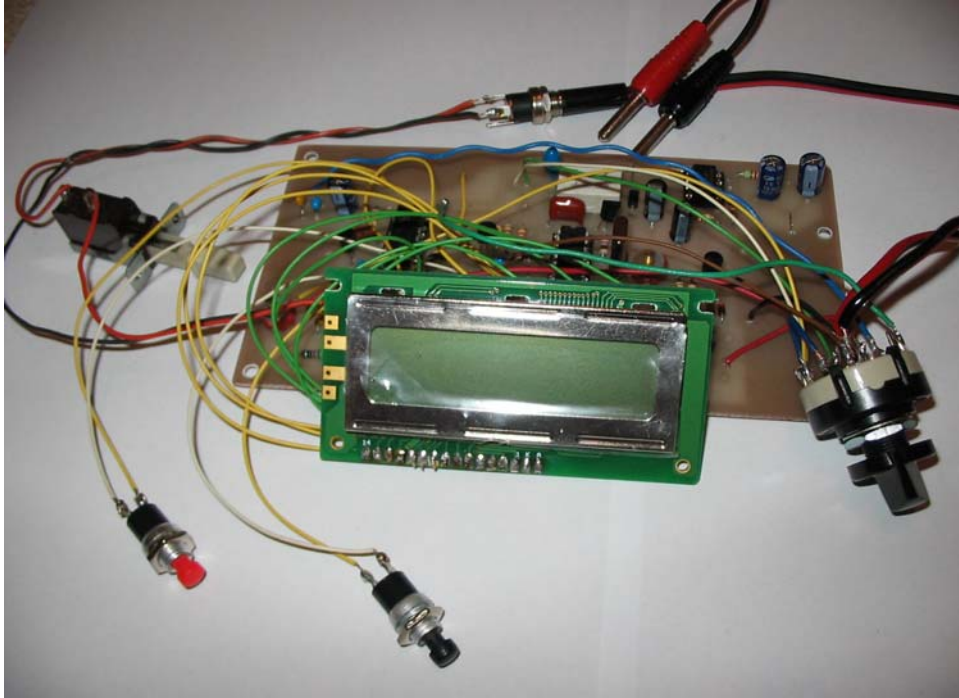
Izgled štampane ploče – donja strana (75x140mm)

Na sledećoj slici, vidi se izgled elektronike LCFX metra pre postavljanja u kutiju. Kutija svakako treba da bude metalna. Na prednji panel izvodi se tasteri (na slici crveni), preklopnik modova rada, prekidač za uključenje uređaja, kao i LCD. Na zadnjem panelu nalazi se konekcija za eksterno napajanje. Potrošnja struje ne sme preći 20mA, osim u trenucima rada releja i sa LCD-om bez pozadinskog osvetljenja, koji kod mernih uređaja nije neophodan.

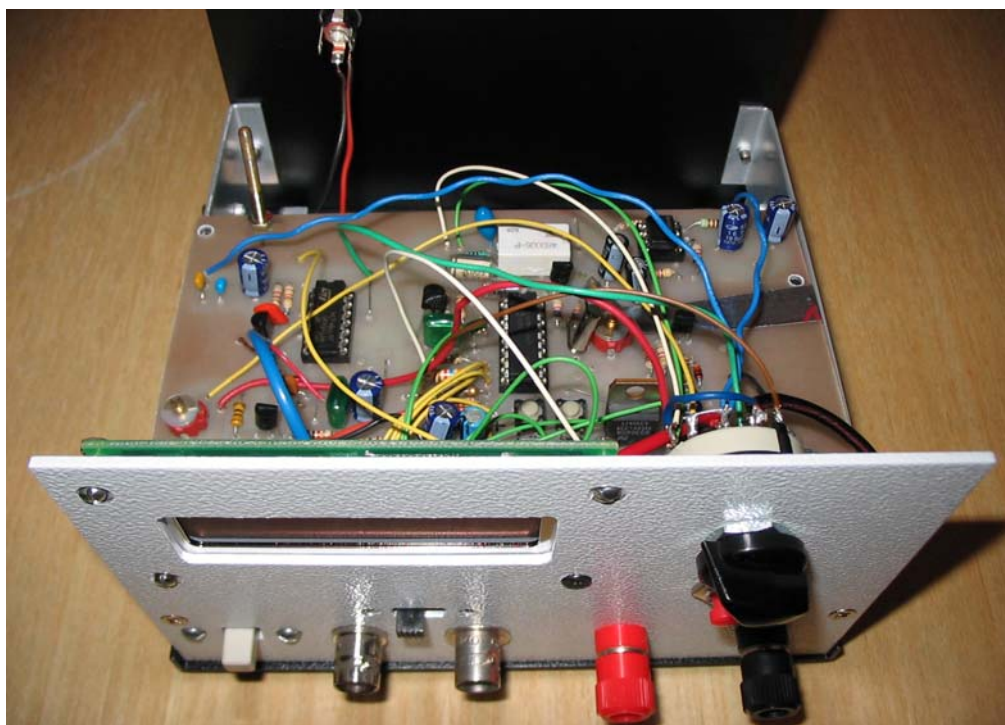


Štampana ploča – komponent strana

Problemi oko gradnje odnosili su se pre svega na kvalitet elemenata. Iznenadjujuće, ali tačnost nije bila problem sa kvalitetnijim komponentama, ali se pažnja morala obratiti naročito na otpornike R9 i R11, koji treba da budu što manjeg odstupanja, a nisu direktno povezani sa preciznošću uređaja. Svakako, treba odabrati metal film otpornike, tolerancije 1%. Merni instrumenti zahtevaju veoma veliku pažnju što se tiče ovoga. Isprva su se dakle problemi odnosili na udešavanje ovih komponentata.



Izgled elektronike LCFX metra



Završen uređaj sa pogledom na unutrašnjost.



Izgled prednjeg panela završenog uređaja.

Zaključak

Kao zaključak, bismo mogli reći da se ovim principima može izraditi neverovatno precizan merni instrument veoma niske cene. Sa izborom najlošijih mogućih komponeneta, preciznost bi morala ostati u granicama do 3% tačnosti, a ako imamo sreće, sa kvalitetnijim komponentama, i ispod 1% tačnosti.

Ovoliko je potrebno kako bi se ova konstrukcija pravilno sproveda u delo. Program za mikrokontroler (hex.file), se može dobiti od autora teksta, kao i već programirani elementi.



Nebojša Kovačević
mailto: morfeus@eunet.yu