

UNIVERZA V LJUBLJANI
Fakulteta za elektrotehniko

Seminarska naloga
Analogni merilnik kapacitivnosti

Predmet: Elektronska vezja
Predavatelj: prof. dr. Marko Topič

Ljubljana, 25.4.2002

Pripravil: Aleš Voda
UNI FE elektronika

1. Uvod

Kot že sam naslov pove, gre za analogni merilnik kapacitivnosti. Rezultat prikazujemo s pomočjo LCD prikazovalnika, spreminjanje merilnega območja merilnika pa nam omogoča vrtljivo stikalo.

2. Seznam uporabljenih elementov

Element	Vrednost / Tip	Število kosov
Upori	10 Ω 1%	2
	1 k Ω 1%	4
	10 k Ω 1%	11
	24 k Ω 1%	1
	100 k Ω 1%	9
	470 k Ω 1%	1
	1 M Ω 1%	3
Trimerji	5 k Ω	4
	10 k Ω	2
	25 k Ω	1
Kondenzatorji	100 pF	1
	0.01 μ F	1
	0.047 μ F	1
	0.1 μ F	5
	0.22 μ F	1
	10 μ F	1
Tranzistorji	BS 170	3
Integrirana vezja	LM 7805	1
	LM 555	1
	LM 324	1
	μ A 741	1
	ICL 7106	1
	CD 4070	1
	HEF 4066B	1
Prikazovalniki	LCD 3 1/2	1
Stikala	vrtljivo stikalo 3x4	1
Baterija	9V	1
Testne plošče	/	3

Groba ocena porabljenih denarnih sredstev za izdelavo merilnika je približno 8.000,00 SIT. V ceno so vštete tudi tri testne plošče (3 x 1500 SIT = 4500 SIT).

3. Princip merjenja

Neznani kondenzator C_x polnimo s konstantnim tokom dokler napetost na njem ne naraste do enega volta. Napetost na kondenzatorju narašča linearno ob predpostavki, da ga polnimo s konstantnim tokom. Nato na referenčnem kondenzatorju povzorčimo napetost, ki nam daje podatek o kapacitivnosti neznanega kondenzatorja. Kako pretvorimo napetost v podatek o kondenzatorjevi kapacitivnosti, nam prikaže naslednji zgled. Kot primer vzemimo,

da želimo izmeriti kapacitivnost kondenzatorja, za katerega imamo podatek, da le ta znaša $0.1\mu\text{F}$. Merilnik vsebuje štiri merilna območja in sicer 2nF , 20nF , 200nF in $2\mu\text{F}$. Zato potrebujemo tudi štiri tokovne generatorje. Razmerja med tokovi izberemo na sledeč način.

Merilno območje [nF]	I [μA]
2	1
20	10
200	100
2000	1000

Vrednosti tokov v gornji tabele so približno nakazane, saj so važna le razmerja med njimi. Na referenčni strani imamo kondenzator $C_{ref} = 0.1\text{nF}$ in tokovni generator $I = 100\mu\text{A}$. Če je izbrano merilno območje $2\mu\text{F}$ se vprašamo, do katere vrednosti bo narasla napetost na referenčnem kondenzatorju. Osnova je enčba za napetost na kondenzatorju in dejstvo, da oba kondenzatorja polnimo enak časovni interval ($\Delta t_{ref} = \Delta t_X$) s konstantnim tokom ($i_C(t) = I_C$):

$$u_C(t) = \frac{1}{C} \int_{t_1}^{t_2} i_C(t) \cdot dt = \frac{I_C}{C} \cdot \Delta t$$

$$\Delta t_{ref} = C_{ref} \cdot \frac{u_{Cref}(t)}{I_{ref}} \quad \Delta t_X = C_X \cdot \frac{u_{Cx}(t)}{I_X} \quad \Rightarrow C_{ref} \cdot \frac{u_{ref}(t)}{I_{ref}} = C_X \cdot \frac{u_X(t)}{I_X}$$

Enačbi za Δt_{ref} in Δt_X izenačimo na osnovi zgoraj navedenega dejstva, da se oba kondenzatorja polnita enak časovni interval. Če iz enačb izrazimo napetost na referenčnem kondenzatorju, dobimo:

$$u_{ref}(t) = \left(\frac{C_X}{C_{ref}} \cdot \frac{I_{ref}}{I_X} \right) \cdot u_X(t)$$

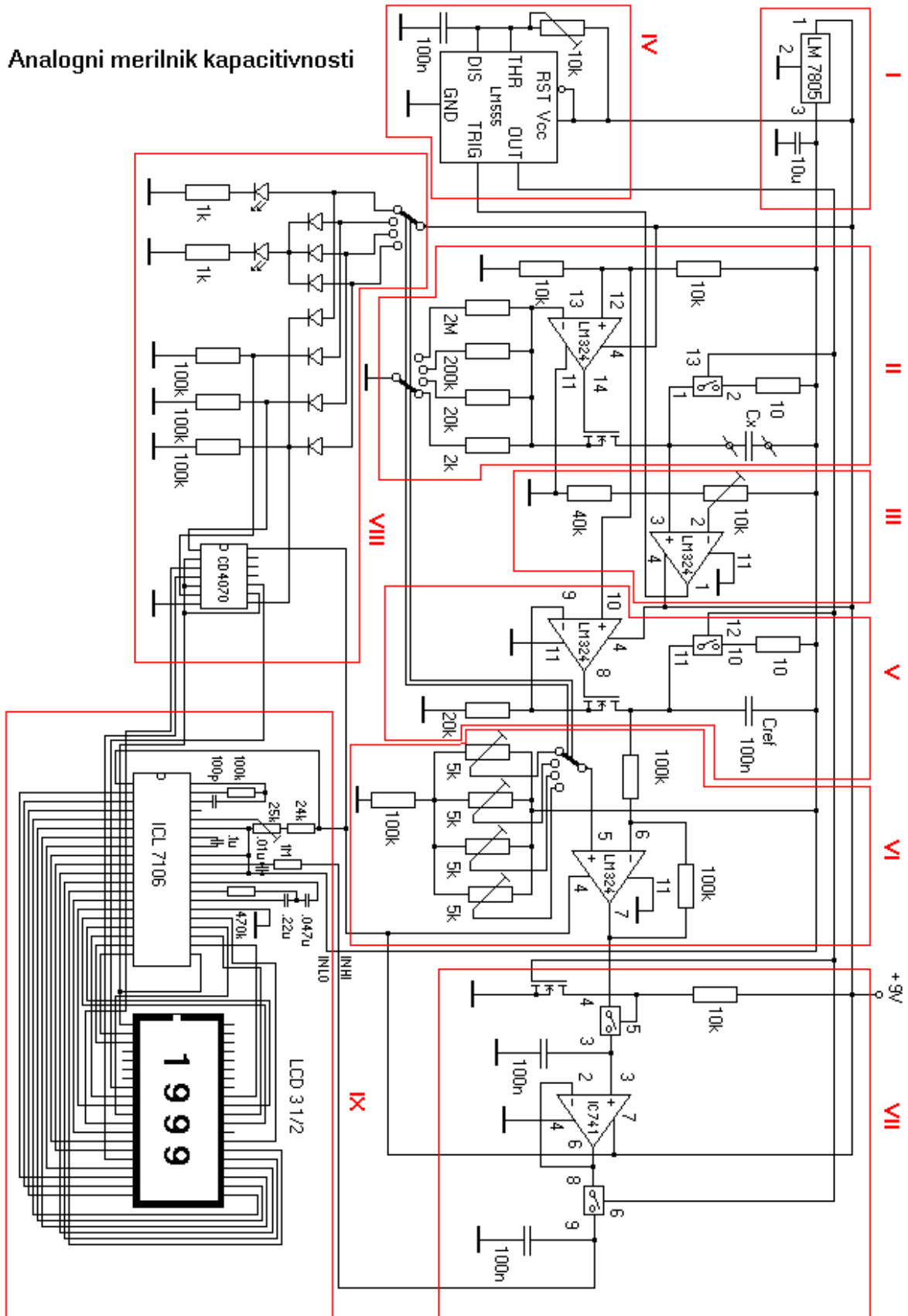
Iz enačbe je razvidno, da je napetost na referenčnem kondenzatorju proporcionalna neznanu napetosti na neznanem kondenzatorju. Za gornji primer se enačba poenostavi in sicer:

$$u_{ref}(t) = \left(\frac{C_X}{C_X} \cdot \frac{I_X}{10 \cdot I_X} \right) \cdot u_X(t) = \frac{1}{10} \cdot u_X(t) = \frac{1}{10} \cdot 1V = 100mV$$

Napetost 100mV nam predstavlja $0.1\mu\text{F}$, kar drži. Čeprav je primer je idealiziran, se mu lahko zelo približamo z izbiro čim bolj točnega razmerja med tokovi. Napetost 1V na referenčnem kondenzatorju nam torej na merilnem območju $2\mu\text{F}$ pomeni kapacitivnost $1\mu\text{F}$.

4. Načrt vezja

Analogni merilnik kapacitivnosti



5. Opis delovanja oziroma funkcije posameznih sklopov v vezju

I

Prvi del predstavlja napetostni regulator LM 7805, ki nam na svojem izhodu daje napetost 5V, ki nam v vezju služi predvsem v merilnem delu vezja.

II

Ta del je srce merilnika in sem ga poimenoval merilna stran. Vsebuje štiri tokovne generatorje za realizacijo štirih merilnih območij. Operacijski ojačevalnik poskrbi za to, da je na uporih konstantna napetost, kar nam zagotavlja konstanten tok skozi merjeni kondenzator, ki je označen s C_x . Kondenzator se polni do napetosti enega volta, nato se sprazni preko stikala in zaščitnega upora. Odpiranje oziroma zapiranje stikala je naloga, ki jo izvrši monostabilni multivibrator, podrobneje opisan v sklopu IV.

III

Sklop vsebuje neinvertirajoči komparator, kateremu referenco nastavljamo na – vhodu s pomočjo trimerja. Napetostna razlika med izhodom LM 7805 in – vhodom komparatorja mora biti 1V. To je torej napetost do katere se bo neznani kondenzator polnil. Ko se kondenzator napolni do 1V, komparator sproži astabilni multivibrator, ki s svojim visokim nivojem na izhodu sklence stikali na referenčni strani in na merilni strani, ter tako začne cikel v katerem se oba kondenzatorja spraznita. Hkrati sklence stikalo na izhodu operacijskega ojačevalnika 741 v sklopu VII, ki predstavlja vzorčevalni del, ter razklence stikalo na njegovem vhodu, da onemogoči polnjenje vhodnega kondenzatorja v tem istem sklopu.

IV

Astabilni multivibrator je realiziran z integriranim vezjem LM 555. S časovno konstantno RC Lahko določimo širino impulza na izhodu (OUT), ki nam služi za praznjenje kondenzatorjev na merilni in referenčni strani, ter za pravilno delovanje sklopa VII.

V

Ta del je analogen sklopu II s to razliko, da imamo tukaj prisoten le en tokovni generator, saj je princip merjenja zasnovan na razmerju tokov tokovnih generatorjev na merilni strani in razmerja merilna stran – referenčna stran. Sklop imenujemo tudi referenčni sklop.

VI

Tukaj imamo invertirajoč ojačevalnik z ojačanjem 1. S trimerji na + vhodu operacijskega ojačevalnika, ko na merilni strani nimamo nobebega kondenzatorja, kalibriramo merilnik na vseh štirih območjih, tako da na prikazovalniku odčitamo ničlo. Trimerji so potrebni, ker astabilni multivibrator potrebuje nek majhen časovni interval, da svoj izhod ponovno postavi na visok nivo, v tem intervalu pa utegne referenčni kondenzator doseči neko majhno napetost, ki jo nato ravno s trimerji kompenziramo.

VII

Sklop predstavlja vzorčevalnik z zadrževalnikom (sample&hold). V trenutku, ko napetost na neznanem kondenzatorju doseže 1V, povzorčimo napetost na referenčnem kondenzatorju in jo zadržimo, ter prikažemo na LCD prikazovalniku. Merilni cikel seznova in znova ponavlja (polnjenje kondenzatorja – praznjenje kondenzatorja). Vhodni kondenzator je ves čas polnjenja neznanega in pa referenčnega kondenzatorja povezan na izhod sklopa VI preko stikala, ki je v tem času edino sklenjeno stikalo, kar je izvedeno s pomočjo invertorja, ki ga

sestavljata MOSFET tranzistor in upor. Istočasno napetost na izhodu operacijskega ojačevalnika 741 sledi napetosti na vhodnem kondenzatorju. V času praznjenja referenčnega in merjenega kondenzatorja pa je to stikalo razklenjeno, sklone pa se stikalo na izhodni strani operacijskega ojačevalnika 741 in tako se povzročena napetost prenese na izhodni kondenzator. Kondenzatorji morajo zato biti dovolj veliki, da v času polnjenja merjenega in referenčnega kondenzatorja de se napetost na izhodni strani sklopa VII ne sesede preveč, oziroma da ta upad napetosti ni preveč zaznaven. Na LCD prikazovalniku lahko to zaznamo kot hitro spreminjanje prikazovanih vrednosti v širšem območju.

VIII

V tem delu generiramo decimalno piko na ustreznem mestu, glede na izbrano merilno območje. Na merilnem območju $2\mu\text{F}$ je ta pika skrajno levo, kar omogoča merjenje na tri decimalna mesta natančno, saj nam napetost 1V na referenčnem predstavlja kapacitivnost $1\mu\text{F}$. Na območju 200nF nam napetost 1V predstavlja vrednost 100nF , zato moramo postaviti decimalno piko skrajno desno, da lahko opazujemo stotice in na eno decimalno mesto natančno. Tretje merilno območje je 20nF in nam 1V predstavlja kapacitivnost 10nF , zato je decimalna pika postavljena na sredino, kar nam omogoča opazovanje desetice in še dveh decimalnih mest. Na najnižjem merilnem območju 2nF nam 1V predstavlja 1nF , torej je decimalna pika spet skrajno levo in omogoča še dodatna tri decimalna mesta. Led diodi nam označujeta μF (leva LED dioda) in nF (desna LED dioda). Diode tipa 1N4148 nam služijo kot logična ALI vrata, oziroma v nasprotnem primeru kot majhni upori. Generiranje decimalne pike je vezano na XOR vrata (integrirano vezje CD 4070) in na signal BP (backplane) iz integriranega vezja ICL 7106 naslednjega sklopa.

IX

Zadnji sklop sestavlja LCD prikazovalnik 31/2 in integrirano vezje ICL 7106, ki je gonilnik za naš prikazovalnik. Na vhod IN HI pripeljemo povzročeno napetost iz sklopa VII, na vhod IN LO pa referenčno napetost +5V iz napetostnega regulatorja LM 7805. V fazi kalibracije izberemo kondenzator znane kapacitivnosti – najbolj primerni so polistirenski (majhne izgube), in ga ob predhodno nastavljenih ničlah na vseh merilnih območjih izmerimo. V primeru, da na prikazovalniku ne odčitamo prave vrednosti znanega kondenzatorja, moramo le to doseči s primerno nastavitvijo trimerja ($25\text{k}\Omega$). Če je za merjeni kondenzator izbrano merilno območje premajhno, se na prikazovalniku izpišeta le enica in decimalna pika.

6. Zaključek

Da bi bil merilnik čim bolj učinkovit in s tem seveda tudi natančen, bi bilo najbolje fiksne upore v tokovnih generatorjih nadomestiti s spremenljivimi (trimerji) in tako v postopku kalibriranja nastaviti karseda točno razmerje tokov tako na referenčni kot na merilni strani. Potrebno je pravilno nastaviti tudi referenčno napetost komparatorja v sklopu III, da se bo neznan kondenzator polnil le do enega volta. Brez dobre kalibracije so odčitane vrednosti - na izbranih prevelikih merilnih območjih – dokaj nenatančne.