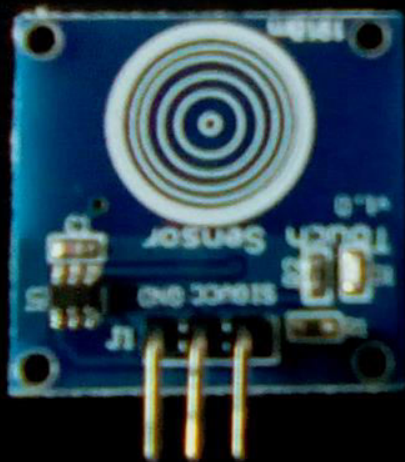


Merni sistemi u računarstvu, <http://automatika.etf.bg.ac.rs/sr/13e053msr>

# Senzori



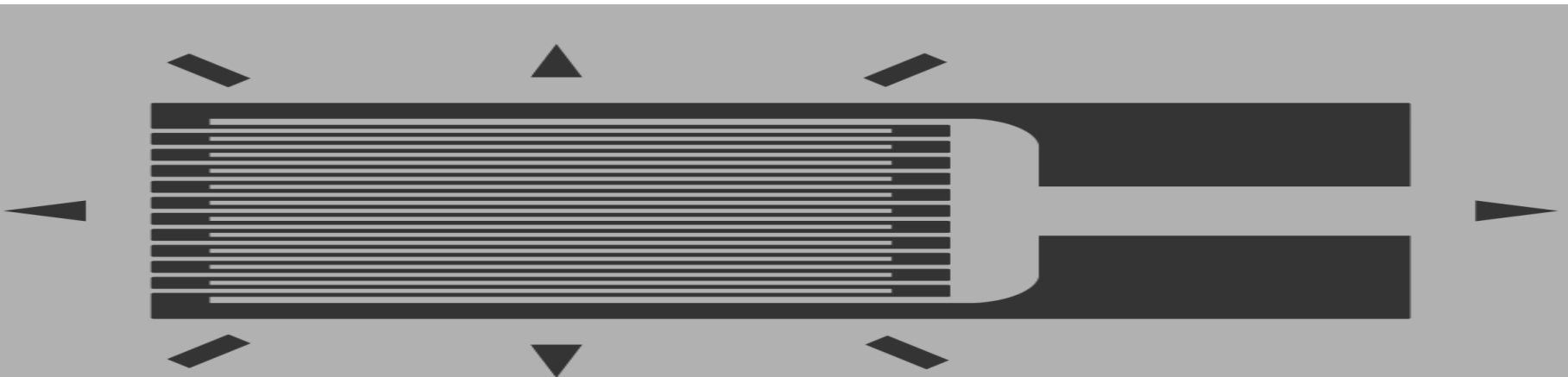
Dr Nadica Miljković, vanredni profesor, kabinet 68, [nadica.miljkovic@etf.bg.ac.rs](mailto:nadica.miljkovic@etf.bg.ac.rs)

Prezentacija za ovo predavanje je skoro u potpunosti pokrivena udžbenikom N. Miljković, odakle je i preuzet veliki broj ilustracija: <https://doi.org/10.5281/zenodo.1335249>. Deo ilustracija je preuzet i iz materijala za predmet Električna merenja koji drži prof. Predrag Pejović na Katedri za elektroniku, <http://tnt.etf.bg.ac.rs/~oe2em/mostovi.pdf>.

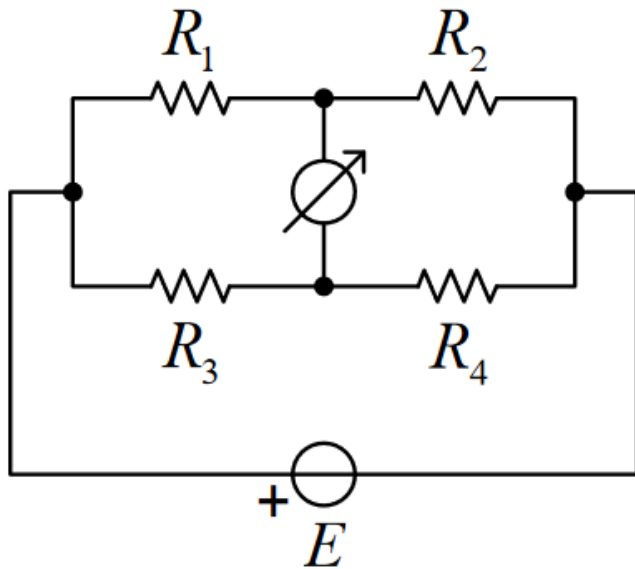


# Merne trake

- “A **strain gauge** is a device used to measure strain on an object. Invented by Edward E. Simmons and Arthur C. Ruge in 1938, the most common type of strain gauge consists of an insulating flexible backing which supports a metallic foil pattern. The gauge is attached to the object by a suitable adhesive, such as cianoacrylate.<sup>[1]</sup> As the object is deformed, the foil is deformed, causing its electrical resistance to change. This resistance change, usually measured using a Wheatstone bridge, is related to the strain by the quantity known as the gauge factor.”
- Definicija: Wikipedia, [https://en.wikipedia.org/wiki/Strain\\_gauge](https://en.wikipedia.org/wiki/Strain_gauge). Slika: CC BY-SA 2.5, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=893221>.



# Merna traka

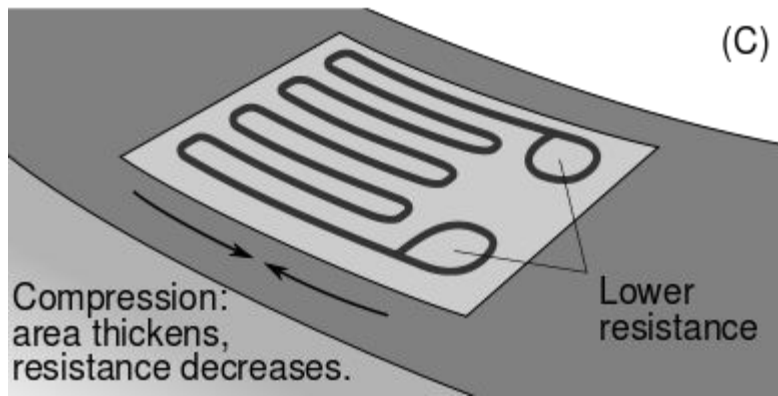
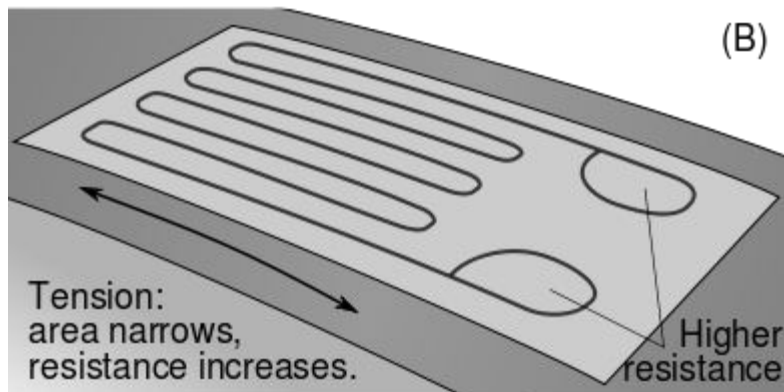
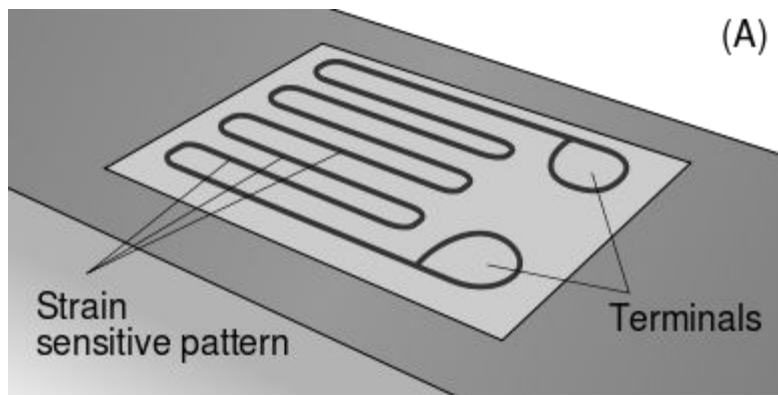


Merna traka (eng. *strain gauge*, [https://en.wikipedia.org/wiki/Strain\\_gauge](https://en.wikipedia.org/wiki/Strain_gauge)) je rezistivni senzor koji se koristi za merenje naprezanja. Princip rada se zasniva na **tenzootpornom** efektu (promena otpornosti žice pri njenom istezanju).

Kako dolazi do naprezanja objekta, folija na kojoj se nalazi merna traka se deformiše i električna otpornost materijala (merne trake) se menja. Promena otpornosti se meri i na osnovu nje se računa naprezanje tj. faktor naprezanja (eng. *gauge factor*).

Najčešće se za merenje promene otpornosti koristi Vitstonov most koji je prikazan na slici ([https://en.wikipedia.org/wiki/Wheatstone\\_bridge](https://en.wikipedia.org/wiki/Wheatstone_bridge)).

# Merna traka



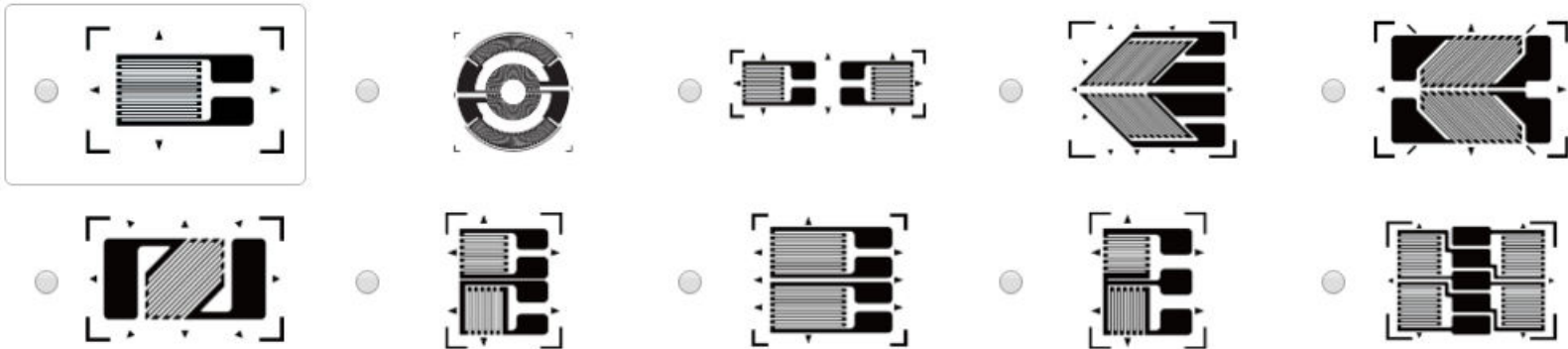
Najčešće se proizvode od folije, tankog filma ili poluprovodnika i pričvršćuju se za objekat (čije se naprezanje meri) adhezivnim materijalima. Prilikom konstrukcije senzora, važno je da naprezanje folije odgovara deformaciji / istezanju žice.

Ima ih različitih dimenzija od par mm do par cm.

Slika: By Izantux - WikiCommons, CC0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=14933147>

Senzor reaguje u većoj meri na promenu u pravcu žice / merne trake u opoređenju sa promenom koja deluje u pravcu normalnom na pravac prostiranja žice (različita je osetljivost).

# Merna traka - deformacije



Merna traka služi za merenje deformacija.

Karakteristika merne trake je najčešće linearna samo u relativno malom opsegu (1-10% od maksimalne vrednost), pa se zato koristi za merenje relativno malih deformacija u praksi.

Slika: By Maartenkleemans - Own work, CC BY-SA 4.0,  
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=79160900>

# Temperaturna kompenzacija merne trake

Primeri mostova sa temperaturnom kompenzacijom za merne trake (primenom većeg broja traka povećava se osetljivost). U zavisnosti od veličine deformacije koju je potrebno izmeriti, bira se odgovarajuća realizacija Vitstonovog mosta (sa jednom ili više mernih traka).

Odlične ilustracije date su na sajtu <https://www.allaboutcircuits.com/textbook/direct-current/chpt-9/strain-gauges/>

# Princip rada merne trake

Ako se pretpostavi da je merna traka u obliku žice, onda je otpornost niti jednaka:

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

gde je  $\rho$  specifična otpornost (zavisí od materijala) žice,  $l$  je dužina žice,  $r$  je poluprečnik žice i  $S$  je površina poprečnog preseka žice:

$$R = \frac{\rho l}{\pi r^2}$$

Prilikom istezanja žice, dužina postaje  $l + \Delta l$ , dolazi do smanjenja poluprečnika  $\Delta r$ :

$$\frac{\Delta r}{r} = -\mu \frac{\Delta l}{l}$$

U prethodnom izrazu  $\mu$  je Puasonov koefidijent:

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta l}{l} + 2\mu \frac{\Delta l}{l} + \frac{\Delta \rho}{\rho}$$

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta l}{l} \left( 1 + 2\mu + \frac{\Delta \rho / \rho}{\Delta l / l} \right)$$

Član  $\frac{\Delta \rho / \rho}{\Delta l / l}$  je koeficijent piezorezistencije i izražava promenu otpornosti specifične otpornosti žice usled

naprezanja. Ovaj element je konstantna veličina i zavisi od materijala  $\Rightarrow k = 1 + 2\mu + \frac{\Delta \rho / \rho}{\Delta l / l}$ .  $k$  je

konstanta (osetljivost), pa se može pisati (za metalne trake  $k \approx 2$ ):

$$\frac{\Delta R}{R} = k \frac{\Delta l}{l}$$





# Merna traka - primena

Omogućava da se procenom promene otpornosti odredi deformacija tela na koje je pričvršćena merna traka.

Merne trake su (u zavisnosti od postavljanja) primenljive za merenje mehaničkih veličina (na primer: ubrzanja, pritiska i protoka fluida).

Fotografija je snimljena na Elektrotehničkom fakultetu Univerziteta u Beogradu.

Merenje ugla?

# Elektrogoniometri

Elektrogoniometri su senzori čiji se rad zasniva na primeni mernih traka. Omogućavaju merenje uglova u više osa nezavisno od radijusa savijanja. Osetljivi su na habanje i istežanje.

Potrebno je pravilno postavljanje, kako bi se izbegla greška merenja usled pomeranja kože u odnosu na skeletnu strukturu.

Tačnost im je  $\pm 2^\circ$ , a životni vek je minimum 600000 korišćenja. Za detalje pogledati Goniometer and torsiometer operating manual, [https://www.motion-labs.com/pdf/biometrics\\_goniometer\\_ug.pdf](https://www.motion-labs.com/pdf/biometrics_goniometer_ug.pdf).

Na početku svakog merenja, potrebno je kalibrisati senzor. Postupak kalibracije?

Fotografija je snimljena na Elektrotetehničkom fakultetu Univerziteta u Beogradu.





# Kapacitivni senzori

Za pločasti kondenzator važi:

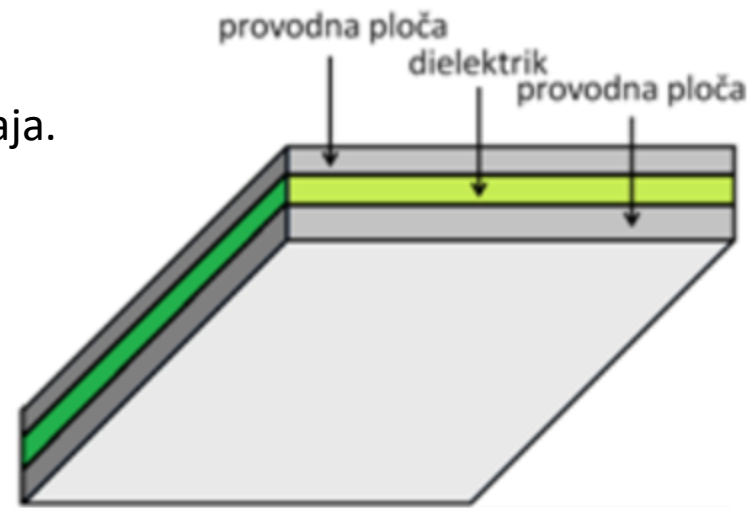
$$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r S}{d}$$

$C$  je kapacitivnost kondenzatora,  $\epsilon_0$  je dielektrična konstanta vakuma,  $\epsilon_r$  je relativna dielektrična konstanta dielektrika,  $S$  je površina provodnih ploča i  $d$  je rastojanje između njih.

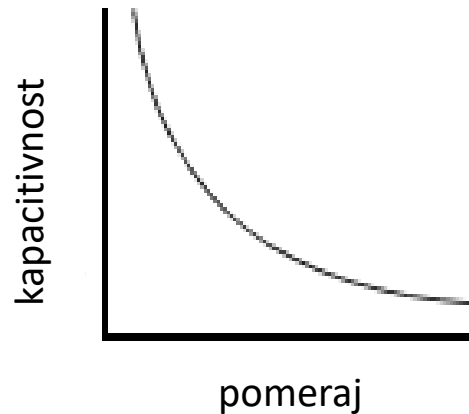
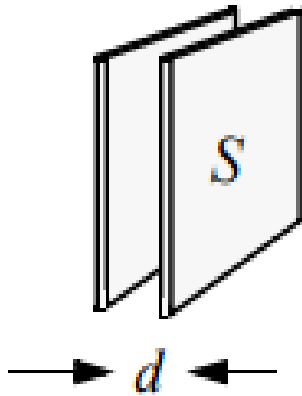
Meri se promena kapacitivnosti koja može biti rezultat:

1. promene površine  $S$
2. promene rastojanja između provodnih ploča  $d$
3. promena dielektrika  $\epsilon_r$

Najčešće se ovakvi senzori koriste za merenje pomeraja.



# Kapacitivni senzori pomeraja



Kapacitivni senzor pomeraja, Fair use and modified from: Baxter L.K. Capacitive sensors, <http://www.capsense.com/capsense-wp.pdf>.

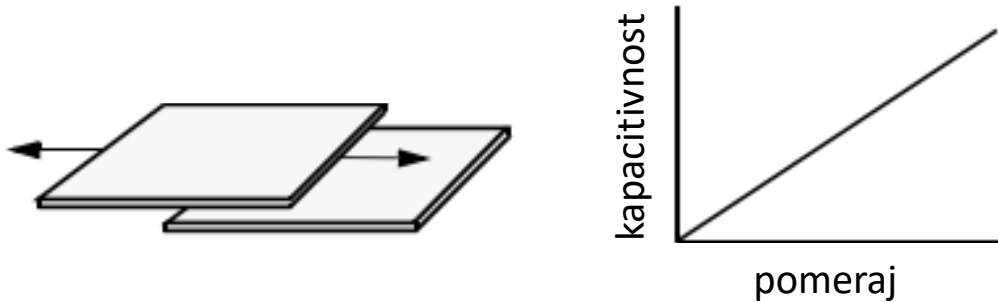
Kapacitivni senzori pomeraja

([https://en.wikipedia.org/wiki/Capacitive\\_displacement\\_sensor](https://en.wikipedia.org/wiki/Capacitive_displacement_sensor)) su bezkontaktni uređaji koji mogu da mere, sa visokom rezolucijom, poziciju i/ili promenu pozicije provodnika.

Ako se rastojanje između pločastih provodnika  $d$  menja, onda se menja i kapacitivnost  $C$ . Merenjem kapacitivnosti moguće je izračunati promenu rastojanja.

Na slici je data zavisnost promene kapacitivnosti od pomeraja rastojanja  $d$  koja je nelinearna.

# Kapacitivni senzori pomeraja



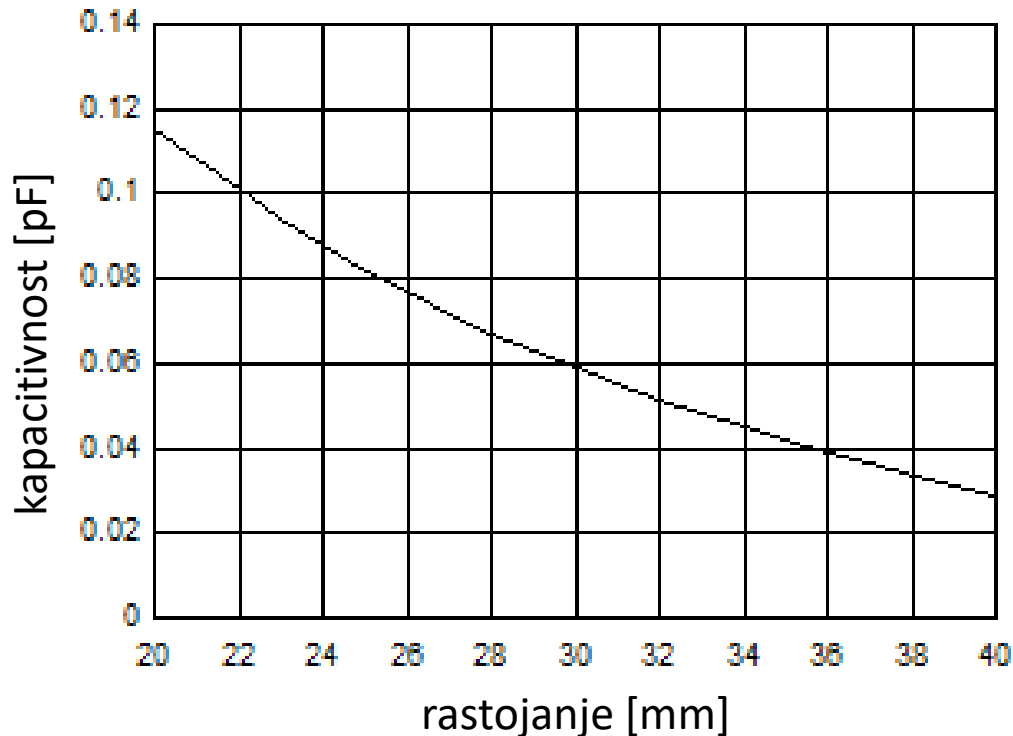
Kapacitivni senzor pomeraja, Fair Use and modified from: Baxter L.K. Capacitive sensors (<http://www.capsense.com/capsense-wp.pdf>).

Detekciju pomeraja je moguće realizovati i pomeranjem provodnih ploča. Prednost ove metode je što je zavisnost kapacitivnosti od pomeraja linearna. Mana je što je neophodno da se prilikom pomeraja održava rastojanje  $d$  konstantnim.

$$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r S}{d}$$

U upotrebi su takođe i kapacitivni senzori pomeraja sa tri i više provodnih ploča. Za merenje se koriste ili jednostavna RC kola ili  $C / V$  konvertori.

# Kapacitivni senzor rastojanja - primer



## Zadatak

Primenom RC metode izmereni su  $\Delta t_1 = 0.08 \mu\text{s}$  i  $\Delta t_2 = 0.22 \mu\text{s}$  (vreme koje je potrebno da se napon na kondenzatoru sa 10% poveća na 90% od vrednosti napona napajanja) za pozicije provodnih ploča  $p_1$  i  $p_2$ . Ako je  $R = 1 \text{ M}\Omega$  i ako je zavisnost kapacitivnosti kondenzatora  $C$  i rastojanja data na slici (podatak proizvođača), odrediti pomeraj objekta  $\Delta p$ .

# Kapacitivni senzor rastojanja - rešenje

## Zadatak

Primenom RC metode izmereni su  $\Delta t_1 = 0.08 \mu\text{s}$  i  $\Delta t_2 = 0.22 \mu\text{s}$  (vreme koje je potrebno da se napon na kondenzatoru poveća sa 10% na 90% od vrednosti napona napajanja) za pozicije provodnih ploča  $p_1$  i  $p_2$ . Ako je  $R = 1 \text{ M}\Omega$  i ako je zavisnost kapacitivnosti kondenzatora  $C$  i rastojanja data na slici (podatak proizvođača), odrediti pomeraj objekta  $\Delta p$ .

Poznato je:

$$\Delta t = RC \ln 9$$

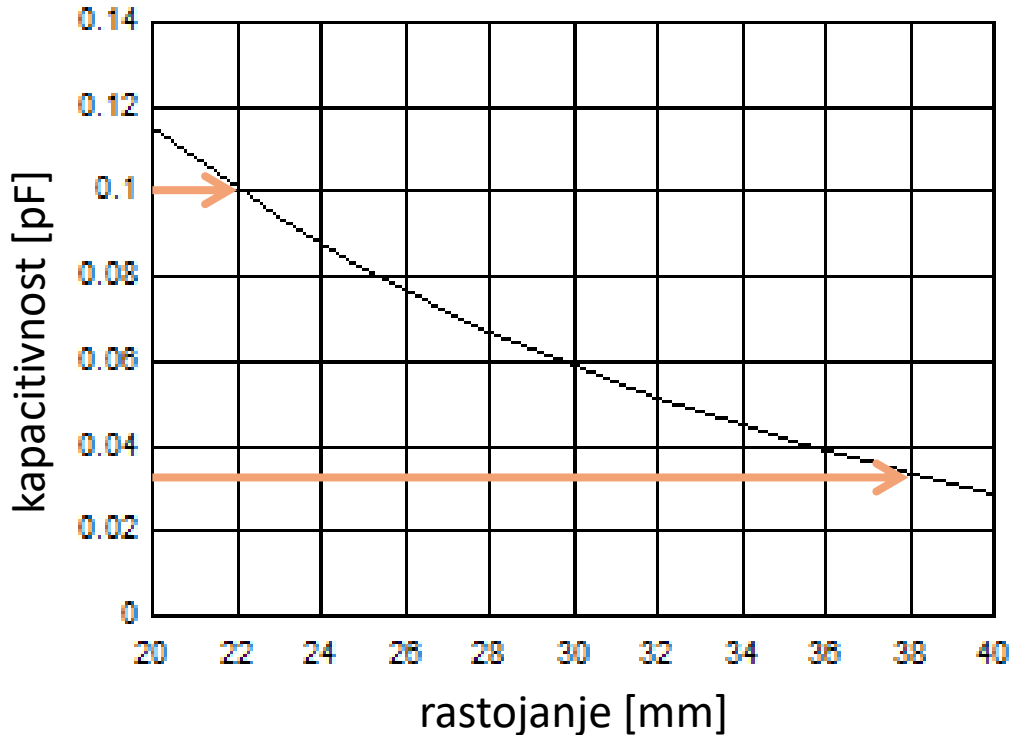
$$C = \frac{\Delta t}{R \ln 9}$$

$$C_1 = \frac{0.08 * 10^{-6}}{10^6 \ln 9} = 0.0364 \text{ pF}$$

$$C_2 = \frac{0.22 * 10^{-6}}{10^6 \ln 9} = 0.1001 \text{ pF}$$



# Kapacitivni senzor rastojanja - rešenje



$$C_1 = 0.0364 \text{ pF}$$

$$C_2 = 0.1001 \text{ pF}$$

## Zadatak

Primenom RC metode izmereni su  $\Delta t_1 = 0.08 \mu\text{s}$  i  $\Delta t_2 = 0.22 \mu\text{s}$  (vreme koje je potrebno da se napon na kondenzatoru poveća sa 10% na 90% od vrednosti napona napajanja) za pozicije provodnih ploča  $p_1$  i  $p_2$ . Ako je  $R = 1 \text{ M}\Omega$  i ako je zavisnost kapacitivnosti kondenzatora  $C$  i rastojanja data na slici (podatak proizvođača), odrediti pomeraj objekta  $\Delta p$ . Sa slike:  $\Delta p = p_2 - p_1 (= 38 - 22) = 16 \text{ mm}$ .

PRIMERI PRIMENE  
KAPACITIVNIH I REZISTIVNIH SENZORA

# Rezistivni ekran osetljiv na dodir

Radi na principu mehaničkog prekidača -> usled dodira ostvaruje se kontakt provodnika.

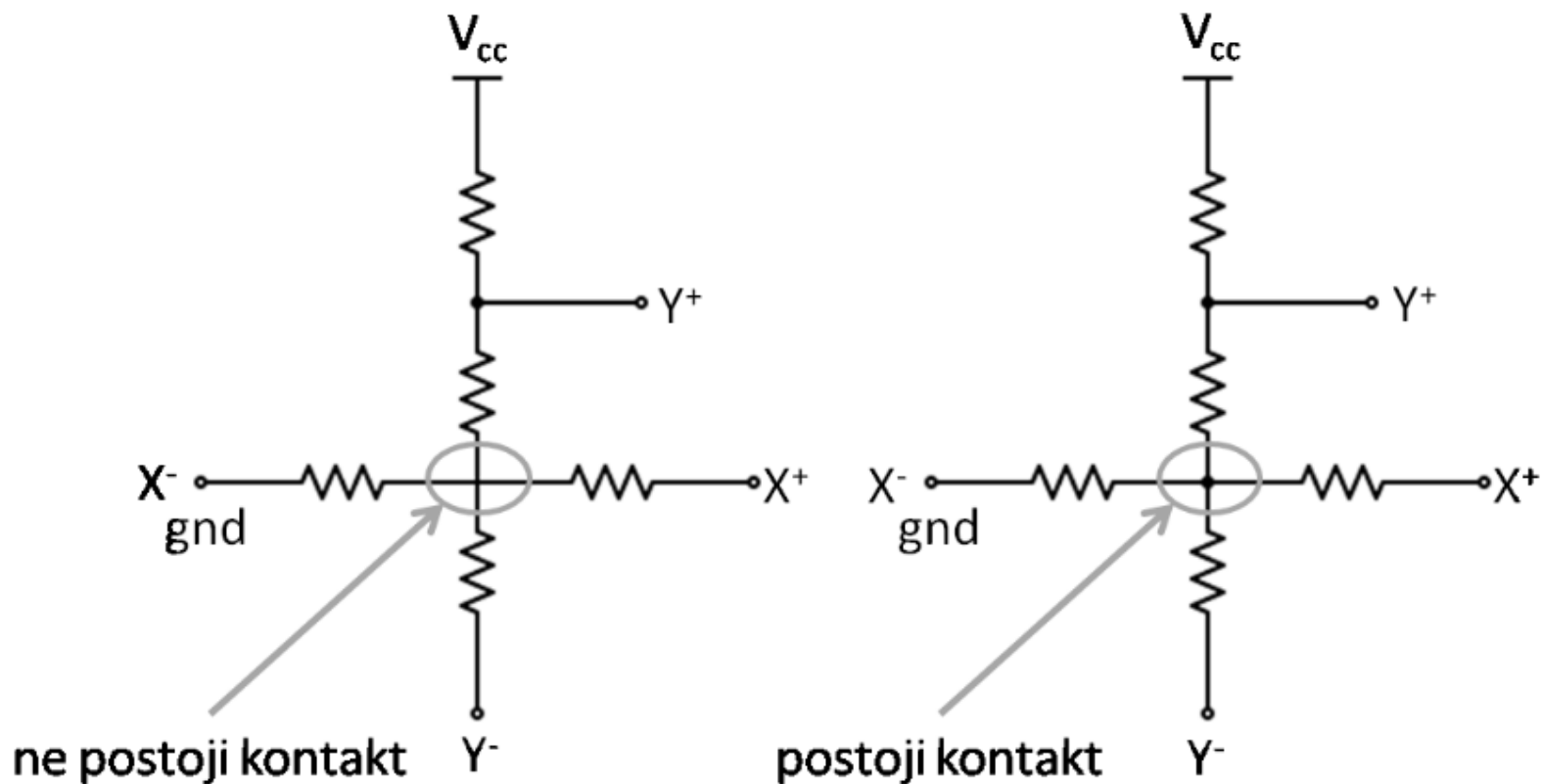
Koristi se za konstruisanje ekrana osetljivih na dodir (eng. *touch screen*). Rezistivna metoda detekcija kontakta/dodira nije široko rasprostranjena.

Ekran osetljiv na promenu otpornosti sastoji se iz dva providna sloja koji su napravljeni od provodnih materijala. Kada postoji pritisak na određenom delu ekrana, gornji sloj ostvaruje kontakt sa donjim slojem. Ako se dovede naponsko napajanje u jednom od provodnih slojeva, dolazi do transformacije kola u razdelnik napona.

Napajanje se dovodi u jednom sloju u y pravcu (u pravcu ordinate), a potom u x pravcu (u pravcu apscise) kako bi se očitale  $(x, y)$  koordinate mesta dodira.

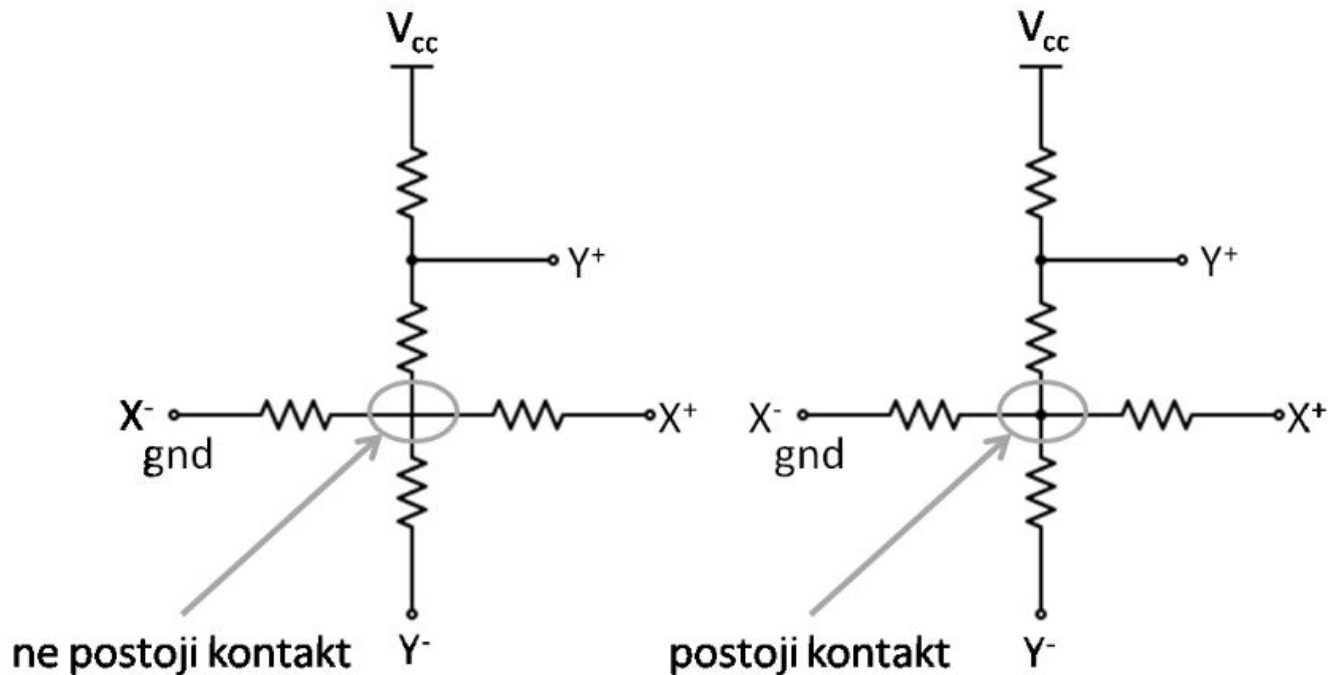
Dodatna literatura, <http://www.ti.com/lit/an/slaa384a/slaa384a.pdf>.

# Rezistivni ekran osetljiv na dodir



Sl. 87, Detekcija dodira kod rezistivnih ekrana osetljivih na dodir. Na levom panelu prikazana je jednostavna konstrukcija ekrana kada kontakt ne postoji, a na desnom panelu naponski razdelnik kada postoji kontakt. Sa  $X$  i  $Y$  su objašnjeni pravci ekrana tj. koordinatni sistem u kome se očitava mesto kontakta. Ilustracija je prilagođena opisu u [1].

# Rezistivni ekran osetljiv na dodir

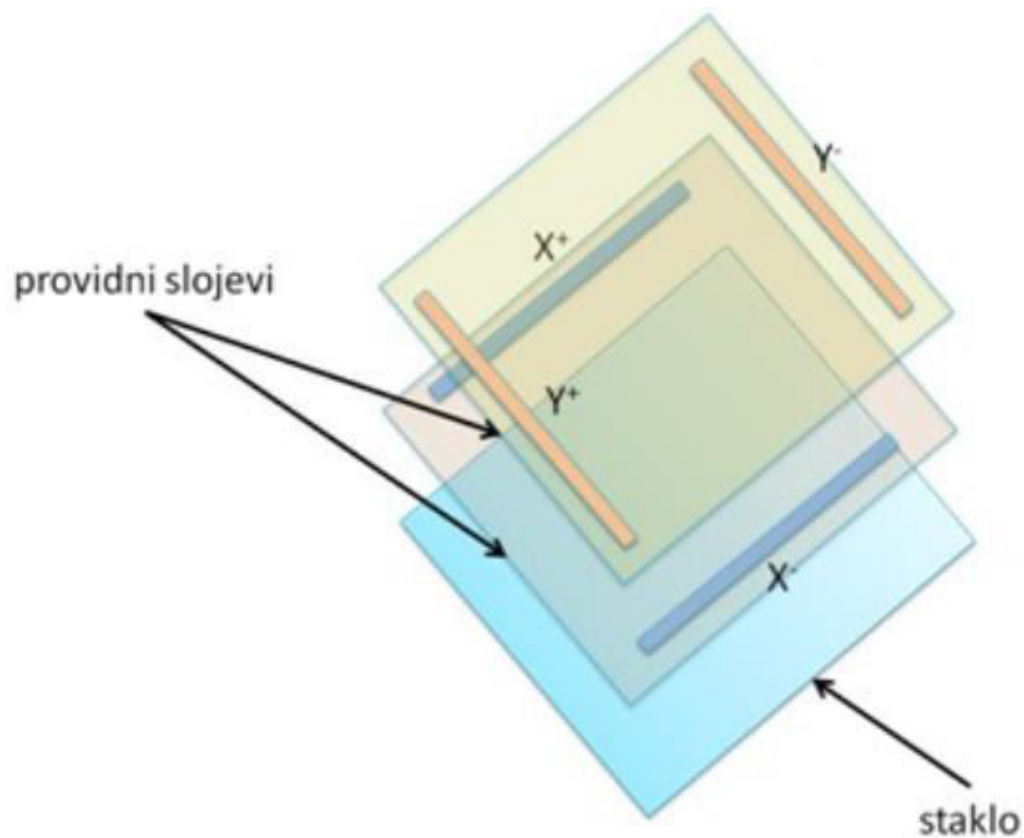


Napajanje  $V_{cc}$  se dovodi u tačku  $Y^+$  preko otpornika. Uzemljenje napajanja se dovodi u tačku  $X^-$ .

Otpornost otpornika koji je povezan sa  $V_{cc}$  preko  $Y^+$  je obično par stotina  $\Omega$  i uobičajeno je znatno veći od ostalih otpornosti u kolu.

Kada nema kontakta, tačka  $Y^+$  je povezana za tačku  $Y^-$ , a kada ima kontakta, tačka  $Y^+$  je povezana sa uzemljenjem ( $X^-$ ).

# Detekcija dodira – 4 kontakta



Sl. 89, Konstruisanje ekrana osetljivog na dodir sa 4 kontakta, ( $X^+$ ,  $X^-$ ,  $Y^+$ ,  $Y^-$ ). Ilustracija je prilagođena opisu u [1]. Provodni slojevi / kontakti su označeni na slici na providnim slojevima koji se nalaze iznad stakla.

# Detekcija dodira – 4 kontakta

Koordinate  $(x, y)$  mesta kontakta se određuju u 2 koraka nakon što je došlo do kontakta.

Za određivanje koordinate  $y$ :

1. Napajanje ( $V_{Drive}$ ) se dovodi na  $Y+$ , uzemljenje na  $Y-$  i meri se napon u  $X+$
2. Odnos merenog napona i napona napajanja odgovara odnosu  $y$  koordinate i visine ekrana  $h$

Na sličan način se računa i koordinata  $x$ :

1. Napajanje ( $V_{Drive}$ ) se dovodi na  $X+$ , a uzemljenje na  $X-$  i meri se napon  $Y+$
2. Odnos merenog napona i napona napajanja odgovara odnosu  $x$  koordinate i širine ekrana  $w$

# Rezistivni ekran osetljiv na dodir

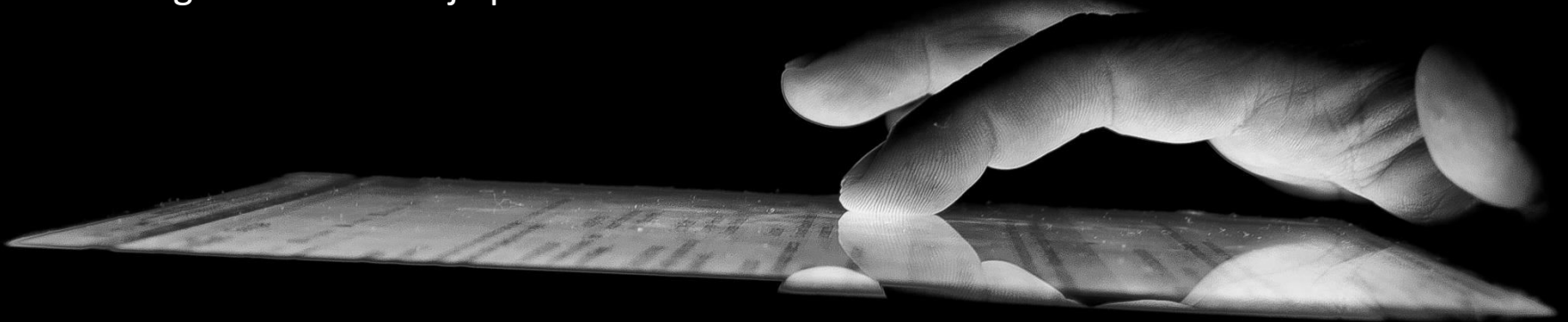
Osim realizacije sa 4 kontakta, moguće je realizovati i detekciju i sa 5 kontakta.

Prednosti ovakvog sistema su:

1. može se detektovati kontakt sa raznim objektima (prst, rukavica, olovka i dr.)
2. može se odrediti pritisak
3. relativno jeftini senzori
4. potrebne su relativno male snage napajanja
5. otporni su na vlagu, prašinu, masnoće

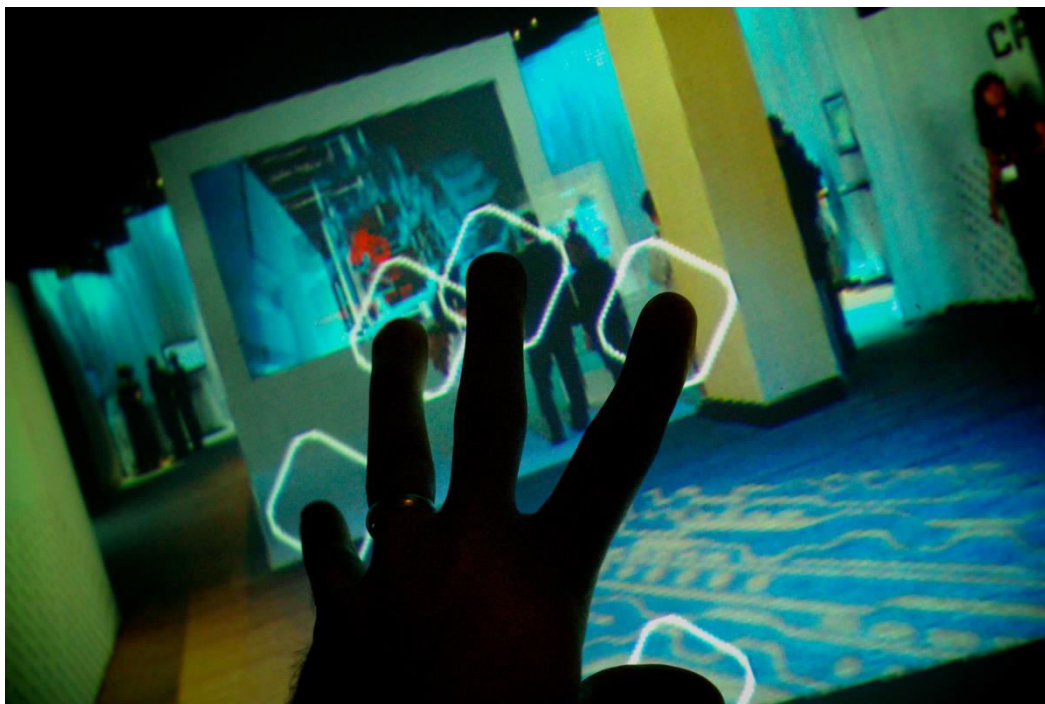
Mane ovog sistema su:

1. manji je kvalitet slike u poređenju sa drugim *touchscreen* tehnologijama
2. moguća su oštećenja površine senzora





# Kapacitivni ekran osetljiv na dodir



Detekcija većeg broja kontakta istovremeno. Izvor: Awesome touch screen by BBQ Junkie; Flickr [link](#); CC BY-NC 2.0.

Široko je rasprostranjena metoda realizacije kapacitivnih ekrana osetljivih na dodir.

Realizacije kapacitivnih ekrana osetljivih na dodir:

1. površinska kapacitivnost
2. projektovana kapacitivnost
  - a. *self capacitance*
  - b. *mutual capacitance*

# Površinska kapacitivnost

Radi na principu elektro-kapacitivne detekcije -> usled dodira dolazi do promene C u kolu.

$$i_C(t) = C \frac{dv_c(t)}{dt}$$

$$Q = CU$$

Stakleni ekran je prekriven provodnim slojem. Napajanje se dovodi na sva 4 ugla ekrana, što rezultuje formiranjem unofornog elektrostatičkog polja.

Merenjem struje u svakom od uglova ekrana koja nastaje kao rezultat kontakta sa kapacitivno provodnim prstom (jedan provodnik je provodni sloj ekrana, a drugi je prst), kontroler određuje poziciju dodira. Kapacitivnost koja je rezultat kontakta prsta sa ekranom je reda od 0.5 pF do 20 pF.

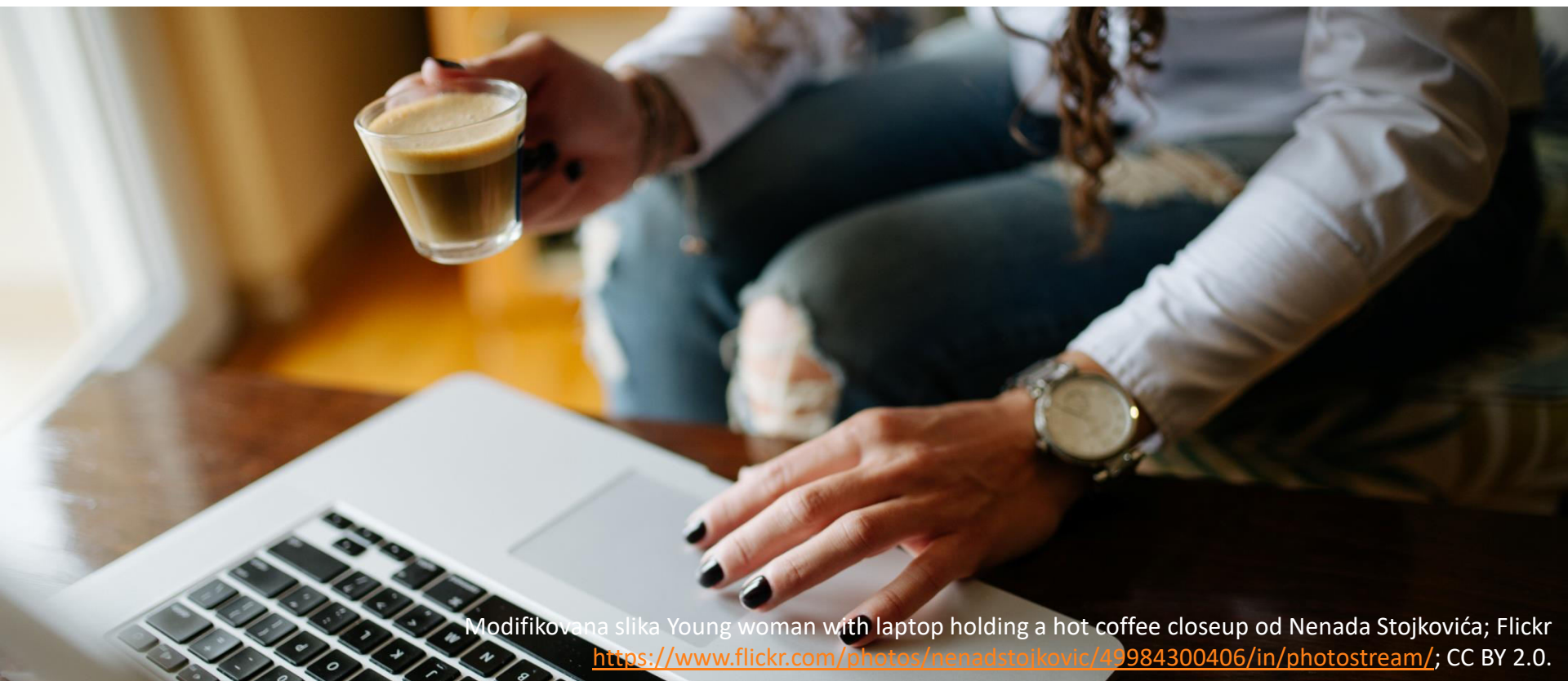
Mana ovih sistema je što često može doći do greške u određivanju lokacije kontakta usled nehomogenosti provodne površine.

Kapacitivnost se najčešće meri RC metodom (meri se vreme punjenja kondenzatora).

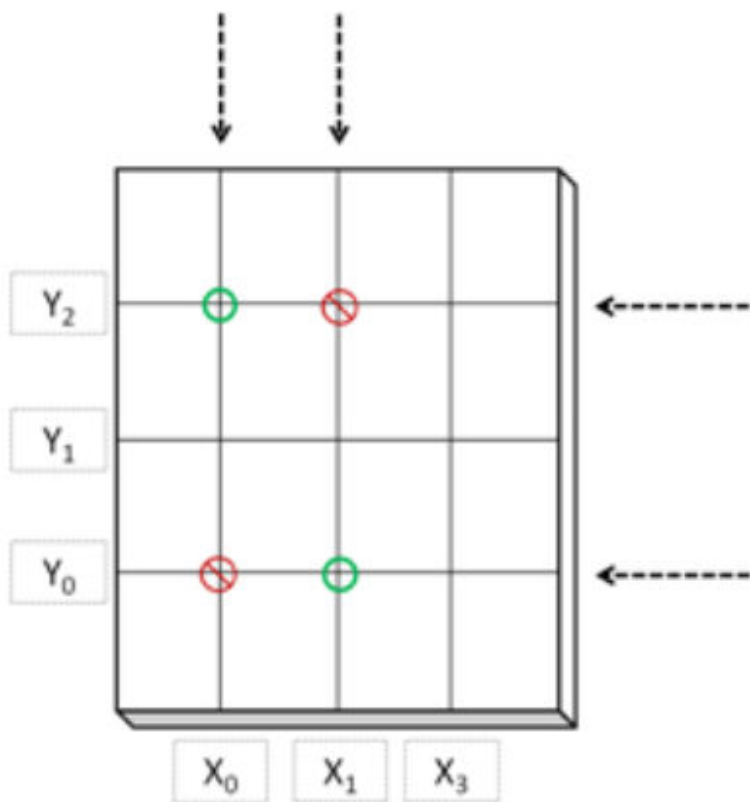
# Projektovana kapacitivnost - *self capacitance*

Ekran osetljiv na dodir koji se zasniva na projektovanoj kapacitivnosti se sastoji iz niza kondenzatora.

Kada postoji kontakt – prst će biti u kontaktu sa više kondenzatora u  $X$  pravcu i sa više kondenzatora u  $Y$  pravcu (ose se moraju prethodno definisati). Ovakva realizacija omogućava precizno detektovanje pozicije kontakta, na osnovu merenja kapacitivnosti.



# Projekovana kapacitivnost – *mutual capacitance*



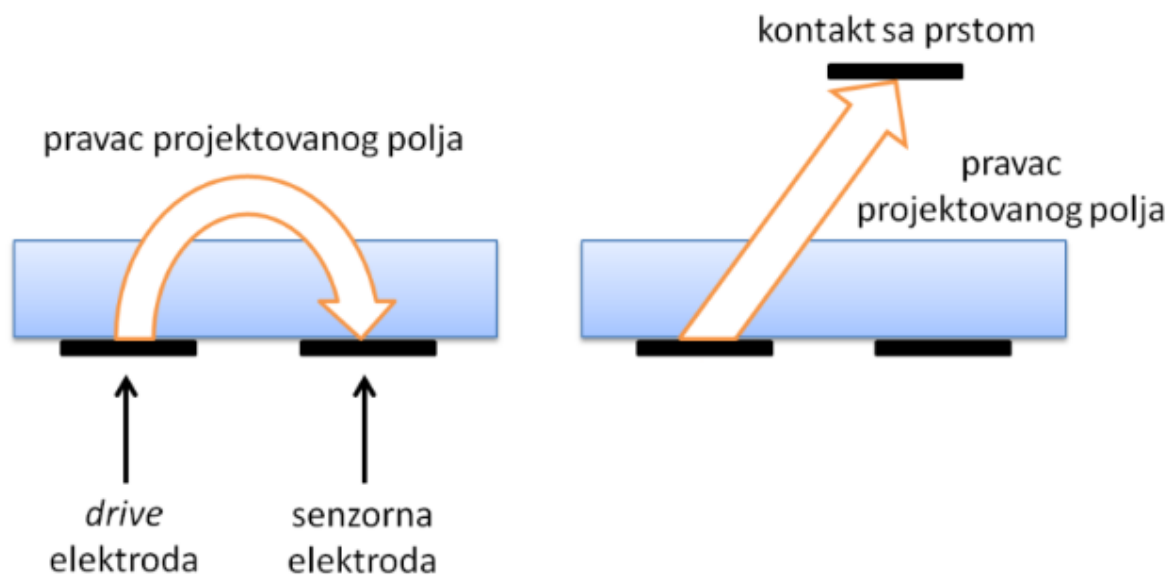
- ⊗ pogrešno detektovani kontakti
- ⊕ ispravno detektovani kontakti

Ako bi se metoda *self-capacitance* koristila za detektovanje više kontakta istovremeno, došlo bi do greške usled pogrešno identifikovanih mesta kontakta (eng. *ghost point* na slici).

Kod tehnike projektovane kapacitivnosti, kapacitivnost se meri između dve elektrode. Obzirom da relativno mala struja protiče kroz prst (usled kapacitivnih osobina prsta), dolazi do smanjenja kapacitivnosti između dve elektrode.

Prilikom kontakta prst/panel – meri se promena kapacitivnosti na samom mestu kontakta.

# Projekovana kapacitivnost – *mutual capacitance*



Sl. 91, *Mutual capacitance* metoda koja se koristi za detekciju većeg broja istovremenih kontakta. Na levom panelu je prikazan pravic projektovanog polja koje stvara struja koja prolazi kroz dve elektrode (*drive* elektrode na koju se dovodi napajanje i senzorne elektrode na kojoj se vrši merenje) kada nema kontakta, a na desnom panelu je prikazan pravic prostiranja polja kada postoji kontakt.

# Kapacitivni ekran osetljiv na dodir

Prednosti ovakvog sistema su:

1. odličan kvalitet slike
2. izdržljiv ekran
3. otpornost na tečnosti i prljavštine
4. moguće je detektovati lokacije više kontakta istovremeno

Mane ovog sistema su:

1. mora se vršiti kontakt prstom ili nekim drugim elementom sa kapacitivnim osobinama
2. osetljivost na EMI (eng. *electromagnetic interference*) i RFI (eng. *radio-frequency interference*)

# Primer kapacitivnog senzora



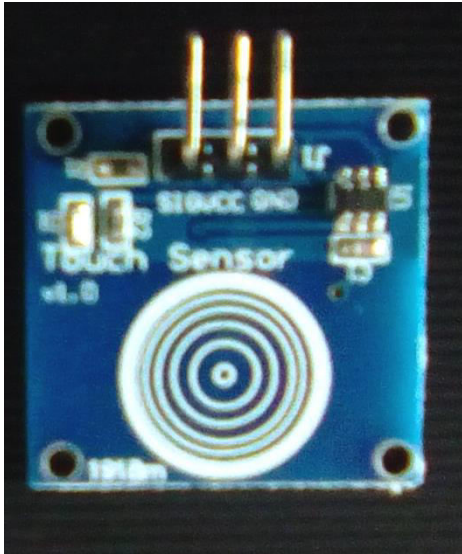
- Na slici je prikazan senzor koji se koristi na laboratorijskim vežbama.
- Princip rada ovog senzora je da kada je prst postavljen na površinu prikazanu na slici, dolazi do promene kapacitivnosti koja rezultuje naponskom promenom na izlazu.
- Senzor na svom izlazi ima ON i OFF stanja (dva stanja). Ovo je digitalni senzor/detektor. Šta bi se desilo da se izlaz senzora poveže sa analognim ulazom na UNO R3 ili sličnoj pločici?
- Ukupna kapacitivnost ovog senzora se povećava kada provodni objekat (prst) dodirne elektrodu senzora (označena koncentričnim kružnicama na slici). Promena se detektuje merenjem promene napona. Koristan je u primenama gde je poželjna primena manje sile, odnosno kao zamena za *pushbutton*.

# TTP223B senzor

- *One channel jog digital touch sensor capacitive touch switch* je pun opis senzora.
- Može se prekriti raznim materijalima: plastikom, staklom i sl. Može da radi i u vlažnom okruženju (eng. *waterproof*).
- *Low power supply*: 2 do 5.5 VDC. *Datasheet* ovog senzora se može naći na: <https://wiki.eprolabs.com/images/d/d4/TTP223-datasheet.pdf>. Više o senzoru i na: [https://wiki.eprolabs.com/index.php?title=TTP223 Capacitive Touch Sensor](https://wiki.eprolabs.com/index.php?title=TTP223_Capacitive_Touch_Sensor).
- Vreme odziva (eng. *response time*) je od 60 ms do 220 ms i zavisi od napajanja (220 ms je za napajanje od 3 V).
- Ima autokalibraciju uključenu u IC (eng. *Integrated Circuit*). Šta to znači?



# TTP223B osetljivost senzora



- Prema uputstvu proizvođača, može se menjati na sledeće načine:
  - Promenom veličine elektrode (tj. kontaktne površine). Korišćenjem veće kontaktne površine povećava se osetljivost.
  - Promenom debljine panela. Korišćenje tanjih materijala, može se povećati osetljivost.
  - Podešavanjem vrednosti  $C_s$ . Kada  $C_s$  ne postoji, osetljivost je najveća, pa se može smanjiti dodavanjem  $C_s$  (u opsegu je od 0 do 50 pF).
- Pogledajte uputstvo (eng. *datasheet*) za TTP223B senzor:  
<https://wiki.eprolabs.com/images/d/d4/TTP223-datasheet.pdf>.

DA LI POSTOJE SENZORI ZASNOVANI NA PROMENI  
INDUKTIVNOSTI?

# Da.



U kalemu, promenljiva struja generiše magnetsko polje. Magnetska indukcija tog polja je:

$$B = \mu_0 \mu_r \frac{Ni}{l}$$

$i$  je intenzitet struje,  $N$  je broj namotaja,  $\mu_0$  je permeabilnost vakuuma,  $\mu_r$  je relativna permeabilnost jezgra i  $l$  je dužina kalema na kome se nalazi namotaj. Ako u namotaju nema jezgra (vazduh), onda je  $\mu_r = 1$  i:

$$B = \mu_0 Ni/l$$

JEZGRO SE POMERA

To je princip rada ovog senzora.

Modifikovana slika: By me - Photograph, CC BY-SA 3.0,

<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=1534586>

# Indukcioni senzor

Napon koji se dobija na izlazu u slučaju kada nema pomeraja (jezgro je uvučeno) je:

$$V_{01} = Ri - L \frac{di}{dt}$$

Napon koji se dobija na izlazu u slučaju kada je došlo do pomeraja je:

$$V_{02} = Ri - L_1 \frac{di}{dt} - L_2 \frac{di}{dt}$$

|                                      |                                       |  |
|--------------------------------------|---------------------------------------|--|
| $L = \mu_0 \mu_r \frac{N^2 A}{\ell}$ | $L_1 = \mu_0 \mu_r \frac{N_1^2 A}{x}$ | $L_2 = \mu_0 \frac{(N - N_1)^2 A}{\ell - x}$ |
|--------------------------------------|---------------------------------------|--|

Primetiti da, u drugom slučaju, postoje dve induktivnosti  $L_1$  i  $L_2$ , koje su rezultat pomeraja jezgra u solenoidu i njihova induktivnost zavisi od dužine jezgra. Računanjem razlike ova dva napona dobija se funkcija u zavisnosti od pomeraja  $x$ .

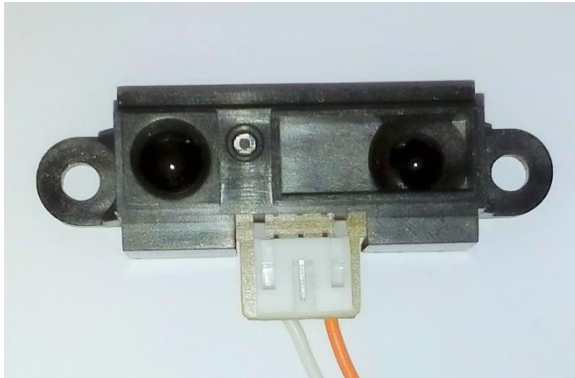


# Infracrvena svetlost

- Infracrveno zračenje/radijacija/svetlost je elektromagnetna radijacija sa dužim talasnim dužinama od vidljive svetlosti.
- Kreće se od vidljive svetlosti (od crvene boje) na 700 nm i može imati talasnu dužinu do 1 mm.
- Vrlo često se koriste senzori koji se nalaze u bliskoj IR zoni (700 nm – 2500 nm).
- Postoji niz senzora čiji se rad zasniva na IR zračenju. Ovde će se koristiti za merenje brzine obrtaja.
- Na koji način možete da proverite da li je “uključena” IR dioda? DEMO!!!

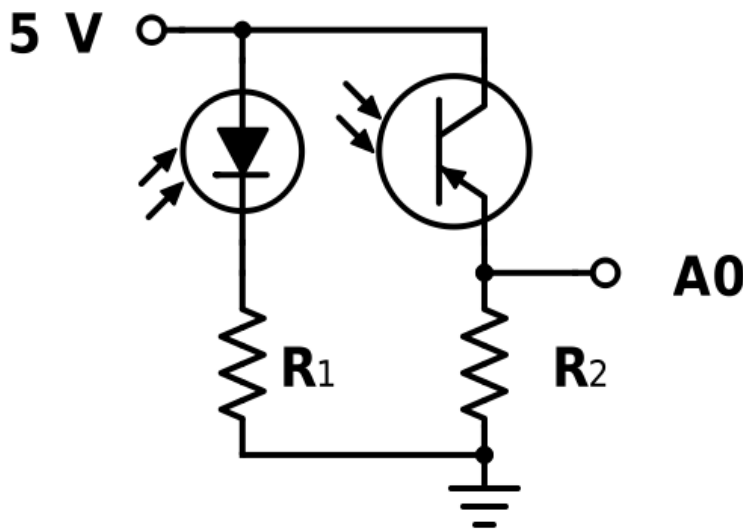


# Dioda kao senzor



- Pasivni infracrveni senzor se koristi za merenje radijacije infracrvene svetlosti u vidnom polju.
- Koriste se najčešće kao detektori pokreta.
- Primer IR senzora SHARP GP2DI2F7Y za merenje rastojanja tj. blizine od 10 do 80 cm je prikazan na slici.
- Ovi senzori se pretežno koriste u robotici.
- Najčešće sadrže prijemnik i predajnik elektromagnetnog zračenja.

# Na laboratorijskim vežbama

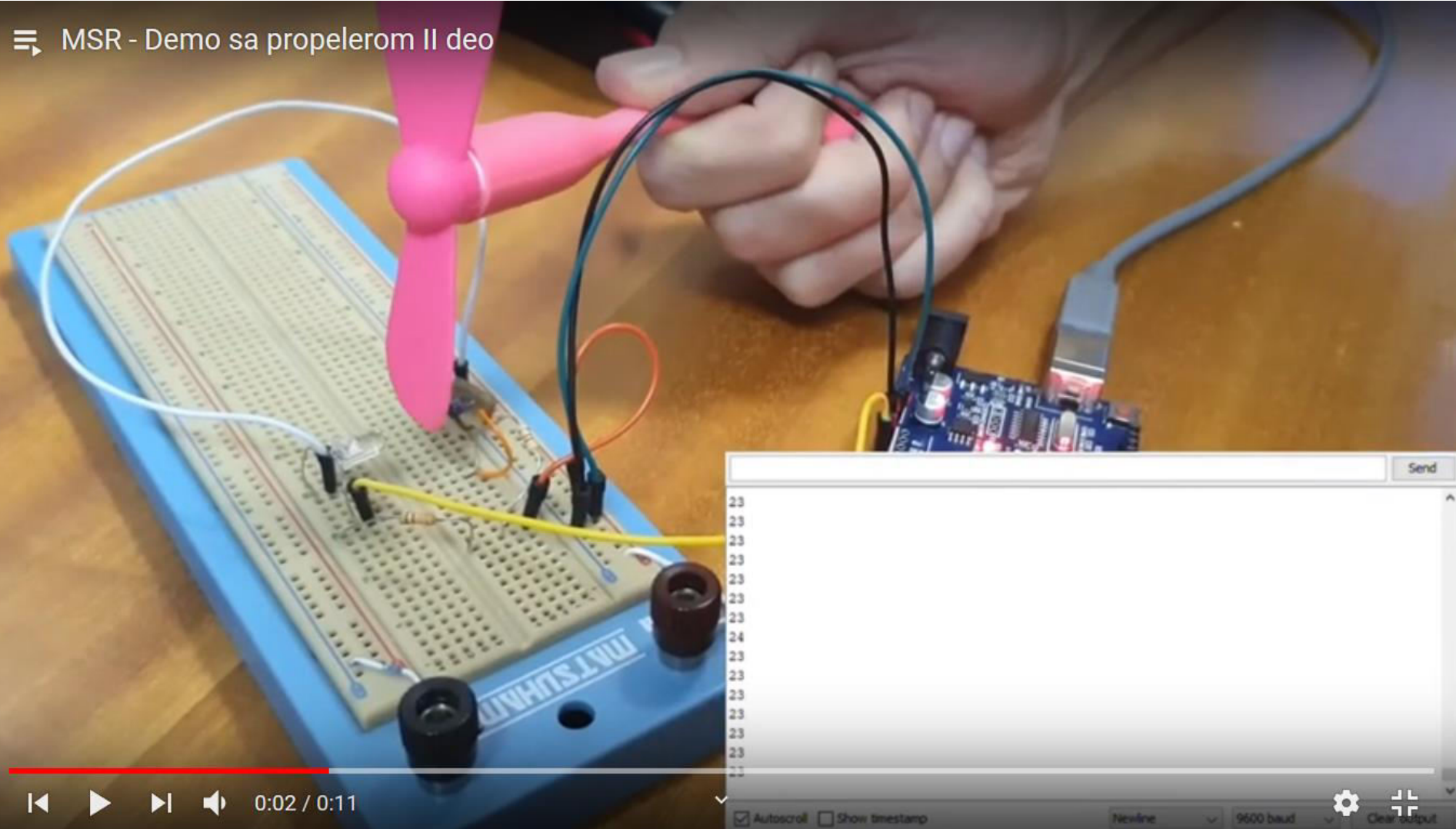


- IR dioda i fototranzistor se mogu koristiti kao predajnik i prijemnik kako je prikazano u kolu na slici gore.
- Ako se nađe prepreka između IR diode i fototranzistora videće se promena napona **A0**.
- Ovaj princip se koristi za konstruisanje enkodera ([https://en.wikipedia.org/wiki/Rotary\\_encoder](https://en.wikipedia.org/wiki/Rotary_encoder)).



# Pogledajte video!

☰ MSR - Demo sa propelerom II deo



I deo: [https://youtu.be/6dFFXuME1ok?list=PLI3SYeiSufnDcgmFyNV\\_yYSYdiQ4pzGvz](https://youtu.be/6dFFXuME1ok?list=PLI3SYeiSufnDcgmFyNV_yYSYdiQ4pzGvz), II deo:  
[https://youtu.be/NhYRo80kipA?list=PLI3SYeiSufnDcgmFyNV\\_yYSYdiQ4pzGvz](https://youtu.be/NhYRo80kipA?list=PLI3SYeiSufnDcgmFyNV_yYSYdiQ4pzGvz)

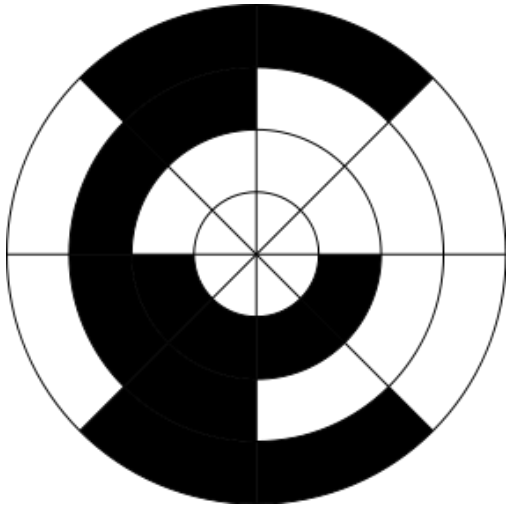


# Optički enkoderi

Optički enkoderi ([https://en.wikipedia.org/wiki/Rotary\\_encoder](https://en.wikipedia.org/wiki/Rotary_encoder)) su uređaji koji omogućavaju da se promena ugla (detekcija ugla i ugaone brzije obrtaja) beleži kao analogna ili digitalna informacija.

Mogu biti apsolutni ili relativni optički enkoderi. Kod apsolutnih enkodera broj traka određuje rezoluciju. Ako ima 5 traka, onda se razlikuje  $2^5$  pozicija u krugu od 360 stepeni -> u tom slučaju postoji i 5 snopova svetlosti i 5 fotodetektora.

# Optički apsolutni enkoderi



By jjbeard - Replacement for Image:Encoder\_disc.png, Public Domain,  
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=801435>

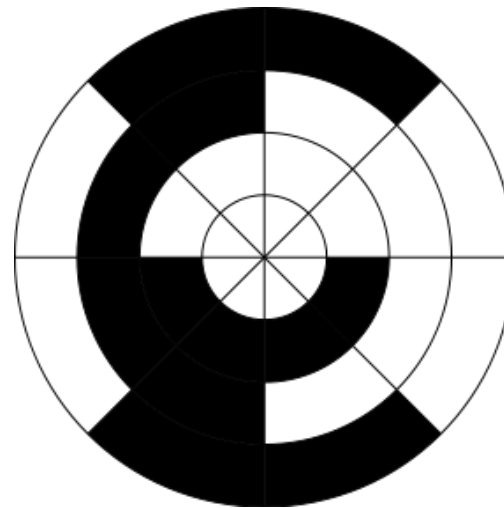
Kod *Gray*-evog koda je manja mogućnost greške prilikom očitavanja. Razlog tome je što se susedne vrednosti razlikuju u jednom bitu, pa ukoliko senzor ne registruje promene na vreme, greška će biti jednaka LSB (eng. *Least Significant Beat*), a ne MSB (eng. *Most Significant Beat*).

# Grejevo i binarno kodiranje

Izvor: [https://en.wikipedia.org/wiki/Rotary\\_encoder](https://en.wikipedia.org/wiki/Rotary_encoder)

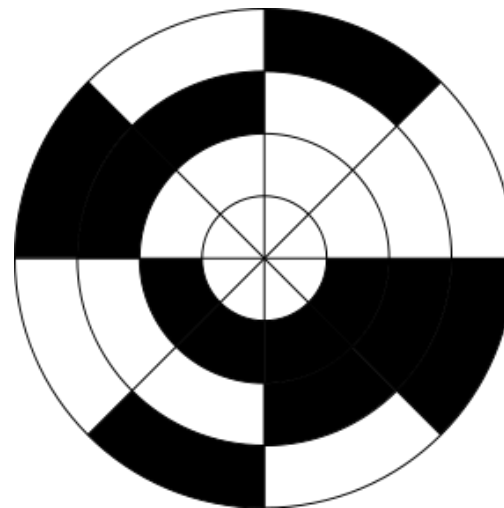
Gray Coding

| Sector | Contact 1 | Contact 2 | Contact 3 | Angle        |
|--------|-----------|-----------|-----------|--------------|
| 0      | off       | off       | off       | 0° to 45°    |
| 1      | off       | off       | ON        | 45° to 90°   |
| 2      | off       | ON        | ON        | 90° to 135°  |
| 3      | off       | ON        | off       | 135° to 180° |
| 4      | ON        | ON        | off       | 180° to 225° |
| 5      | ON        | ON        | ON        | 225° to 270° |
| 6      | ON        | off       | ON        | 270° to 315° |
| 7      | ON        | off       | off       | 315° to 360° |



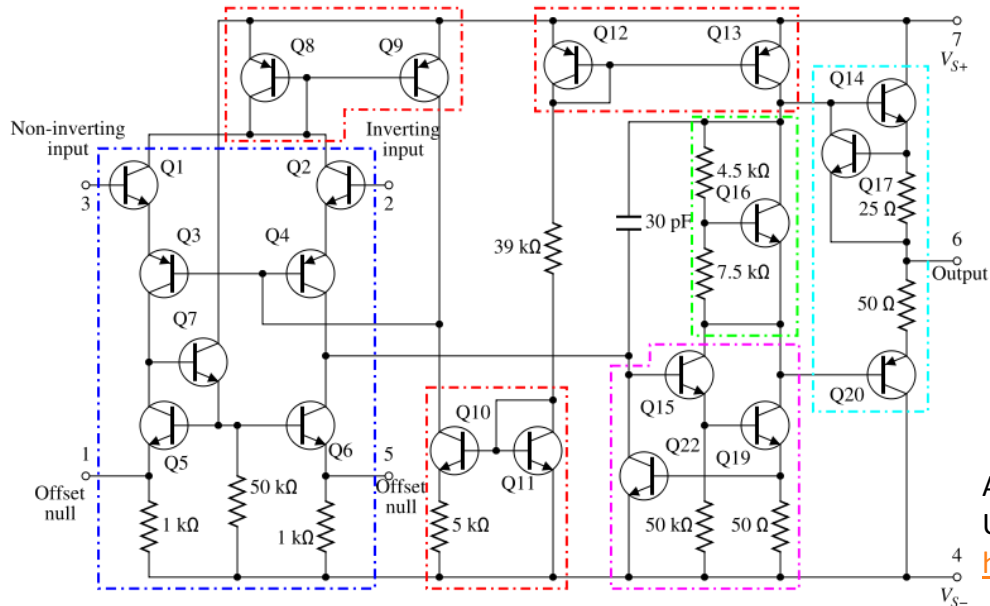
Standard Binary Encoding

| Sector | Contact 1 | Contact 2 | Contact 3 | Angle        |
|--------|-----------|-----------|-----------|--------------|
| 0      | off       | off       | off       | 0° to 45°    |
| 1      | off       | off       | ON        | 45° to 90°   |
| 2      | off       | ON        | off       | 90° to 135°  |
| 3      | off       | ON        | ON        | 135° to 180° |
| 4      | ON        | off       | off       | 180° to 225° |
| 5      | ON        | off       | ON        | 225° to 270° |
| 6      | ON        | ON        | off       | 270° to 315° |
| 7      | ON        | ON        | ON        | 315° to 360° |



OPERACIONI POJAČAVAČ KAO BAFER  
POJAČAVAČI I FILTRI

# Pojačavači

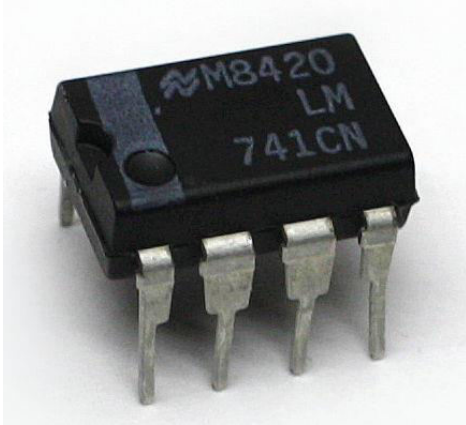


Аутор: Daniel Braun - redrawn png file (from User:Omegatron),Page# 4 of datasheet, CC BY 2.5,  
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=2205381>

Većina pasivnih senzora proizvodi signale koji su malih amplituda (u odnosu na šum). To su ili naponski signali malih amplituda ( $\mu\text{V}$ ) ili strujni signali malih amplituda (pA). Kako je za većinu A/D konvertora predviđeno da ulazni signal bude većih amplituda (V ili mA), to je neophodno pojačati ulazni signal (napon i do 10 k puta, a struju i do 1 M puta). Generalno, svrha pojačavača (<https://en.wikipedia.org/wiki/Amplifier>), nije samo pojačanje ulaznog signala, već i prilagođenje ulazne impedanse, podešavanje SNR (eng. *signal to noise ratio*), filtriranje signala i dr.

Osnovni element svih pojačavačkih kola je operacioni pojačavač ([https://en.wikipedia.org/wiki/Operational\\_amplifier](https://en.wikipedia.org/wiki/Operational_amplifier)). Integrirano kolo operacionog pojačavača može da sadrži stotine tranzistora, otpornika i kondenzatora.

# Operacioni pojačavač



Neke karakteristike idealnog operacionog pojačavača:

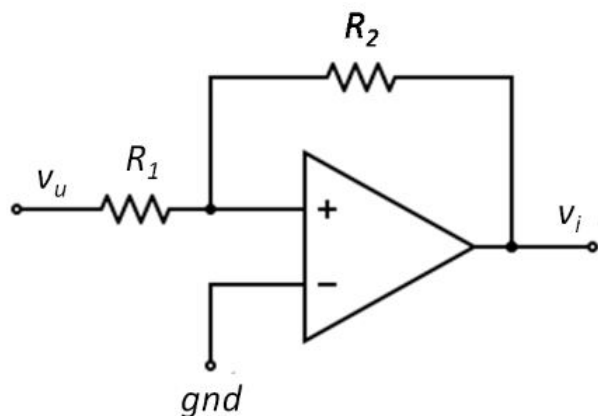
- 1) Beskonačna ulazna otpornost (struja je 0 na ulazu)
- 2) Nulta izlazna otpornost (ponaša se kao idealan naponski generator)
- 3) Beskonačno pojačanje u otvorenoj petlji
- 4) Beskonačna širina propusnog opsega
- 5) Beskonačna brzina odziva
- 6) Beskonačan faktor potiskivanja CMRR (eng. *common mode rejection ratio*)
- 7) Ima 2 ulaza: invertujući i neinvertujući

Realni pojačavači ove karakteristike. Najčešće se realne karakteristike aproksimiraju idealnim.



# Invertujući pojačavač

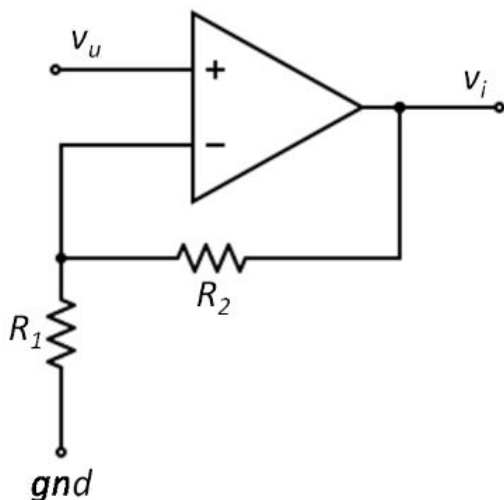
Ako je struja na ulazu 0 (beskonačna ulazna otpornost), tada je struja kroz  $R_1$  i  $R_2$  ista.



$$v_i = -\frac{R_2}{R_1} v_u$$

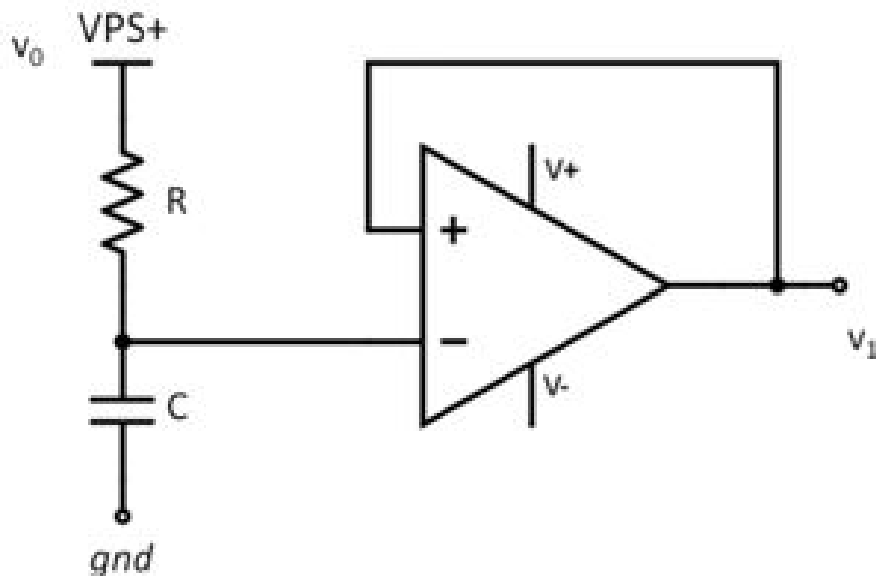
# Neinvertujući pojačavač

Ako je struja na ulazu 0 (beskonačna ulazna otpornost), tada je struja kroz  $R_1$  i  $R_2$  ista.



$$v_i = \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) v_u$$

# Operacioni pojačavač jediničnog pojačanja

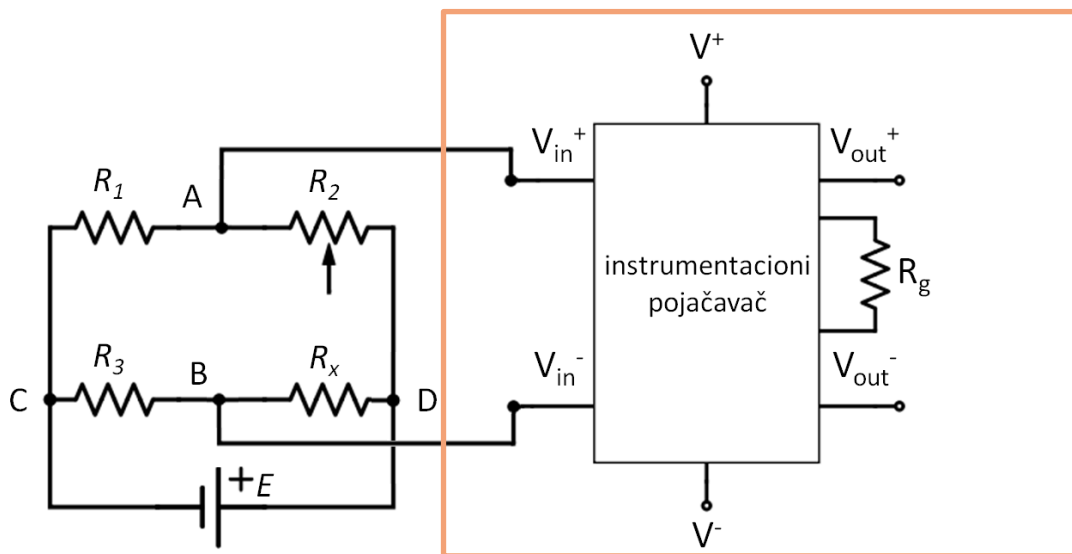


Ovakav pojačavač služi kao bafer.

Pojačanje je jedinično, ali je ulazna impedansa velika. Ovakav pojačavač je idealan razdvojni stepen i sprečava uticaj opterećenja na izvor signala.

Impedansa analognih ulaza kod UNO R3 kola (ATmega328P čipa) je  $100\text{ M}\Omega$ , jer se koristi A/D konvertor sa sukcesivnom aproksimacijom, pa ovaj bafer u većini primena nije ni potreban.

# Instrumentacioni pojačavač

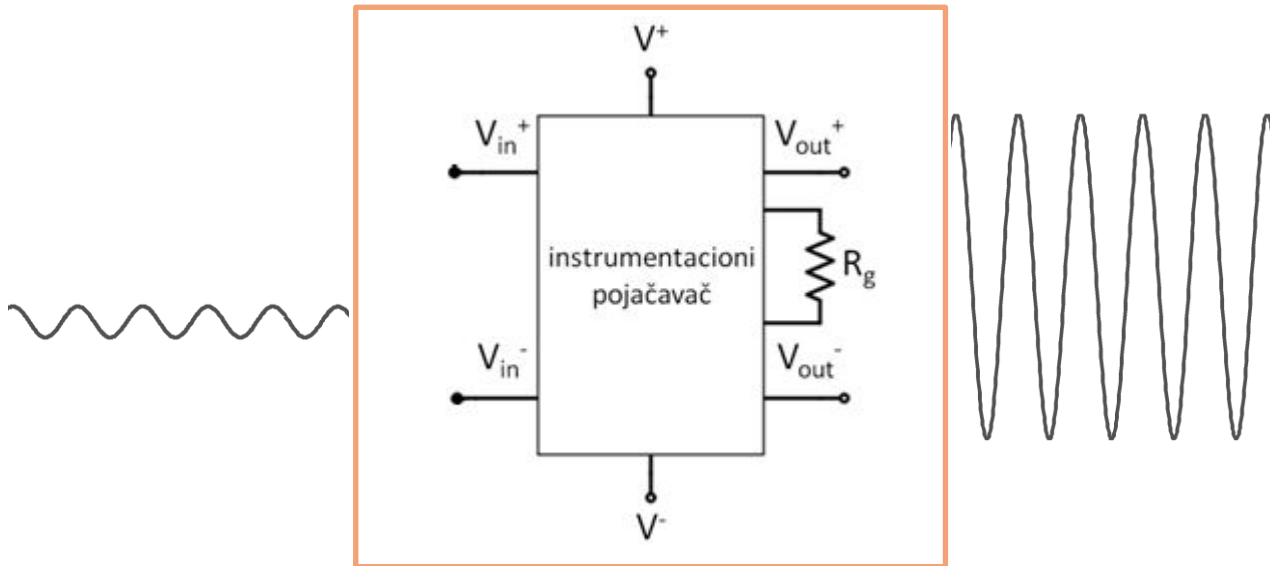


$$G = 1 + \frac{50 \text{ k}\Omega}{R_G}$$

Čip INA121 (instrumentacioni pojačavač, Burr-Brown, <http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/56680/BURR-BROWN/INA121P.html>) sa izrazom za pojačanje pojačavača u zavisnosti od odabira  $R_G$ .

Osnovna razlika između idealnog operacionog i idealnog instrumentacionog pojačavača je ta što instrumentacioni pojačavač ima konačno pojačanje (određeno odabirom otpornika  $R_G$ ). Takođe, razlika je i u tome što postoji mogućnost da se instrumentacioni pojačavač koristi za pojačanje razlike dva napona (npr. indikator ravnoteže mosta).

# Instrumentacioni pojačavač – primer



Ako je napon na ulazu instrumentacionog pojačavača sinusoida amplitude 20 mV, frekvencije 20 kHz i  $R_G = 5 \text{ k}\Omega$ , kolike su amplituda i frekvencija na izlazu pojačavača?

Poznato je iz uputstva proizvođača (INA121, Burr-Brown):

$G = 1 \Rightarrow [0 \text{ } 600] \text{ kHz}$

$G = 10 \Rightarrow [0 \text{ } 300] \text{ kHz}$

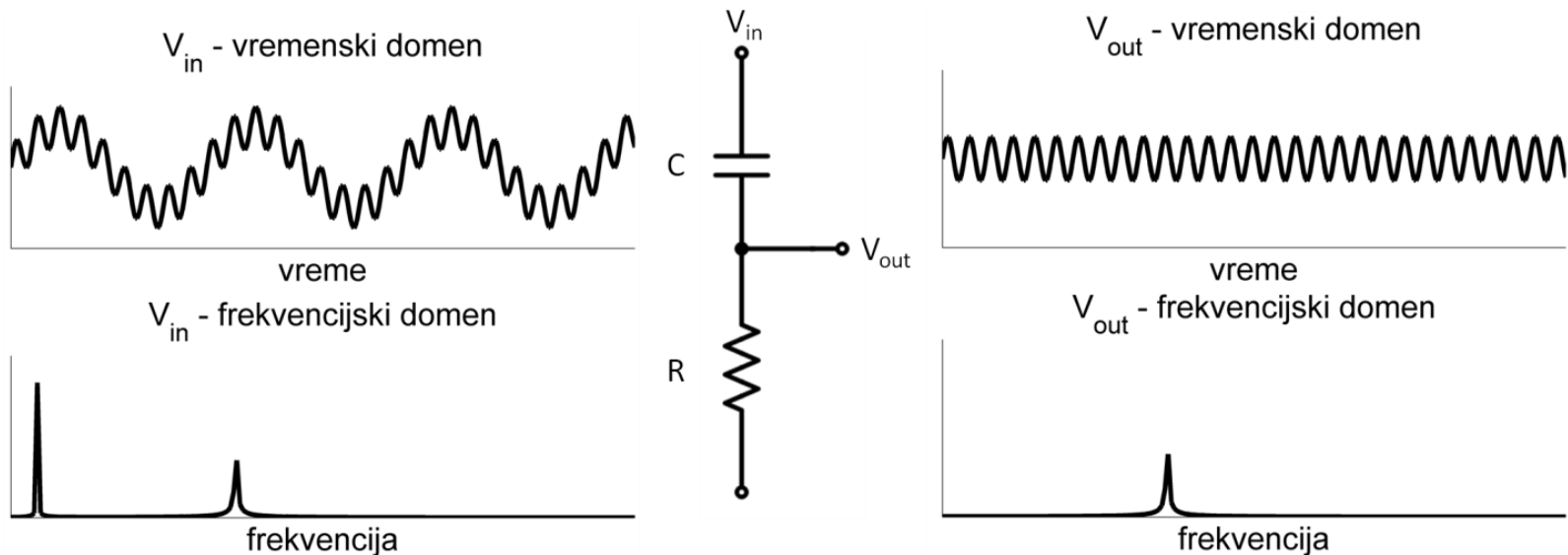
$G = 100 \Rightarrow [0 \text{ } 50] \text{ kHz}$

$G = 1000 \Rightarrow [0 \text{ } 5] \text{ kHz}$

Kakav je signal na izlazu pojačavača, ako se frekvencija ulaznog signala promeni sa 20 kHz na 1 MHz? Ukratko, čitajte uputstvo!!!

# Filtri

filtrar visokopropusnik

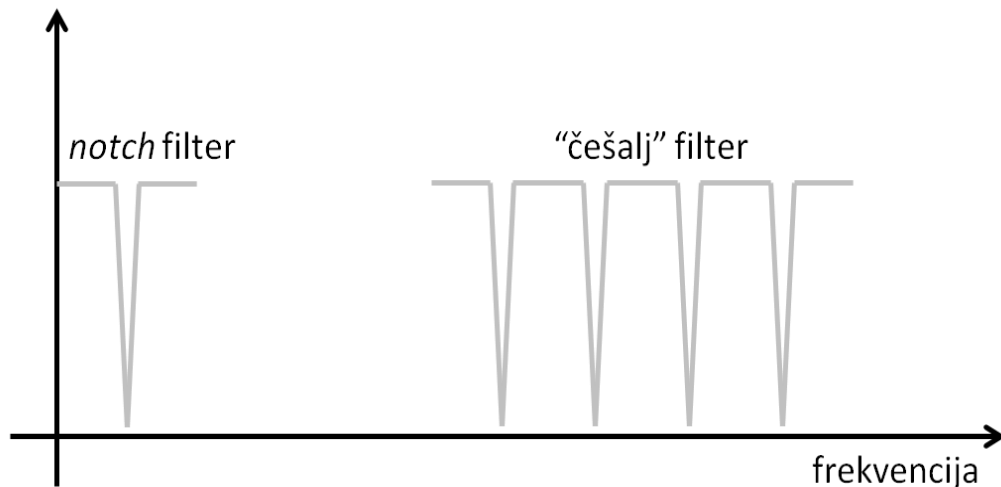
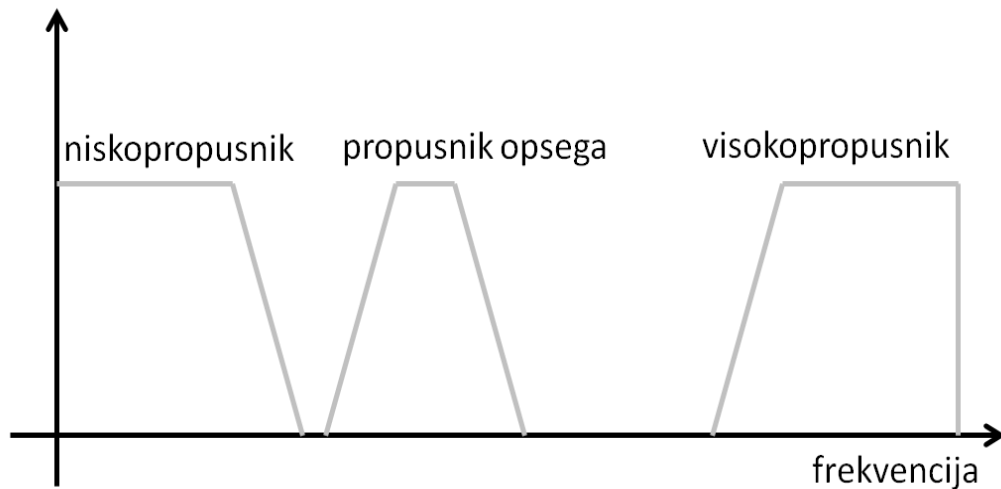


$$f_c = \frac{1}{2\pi\tau} = \frac{1}{2\pi RC}$$

Analogni filtri se koriste u elektronskim kolima za kondicioniranje signala i služe za uklanjanje neželjenih frekvencija na signalu i/ili za pojačanje/propuštanje frekvencijskog opsega od značaja.

Na primer: potrebno je filtrirati niske frekvencije u signalu, pa je potrebno primeniti filtrar visokopropusnik (eng. *high pass filter*, [https://en.wikipedia.org/wiki/High-pass\\_filter](https://en.wikipedia.org/wiki/High-pass_filter)). Najjednostavnije kolo koje se može koristiti u tu svrhu je RC kolo.

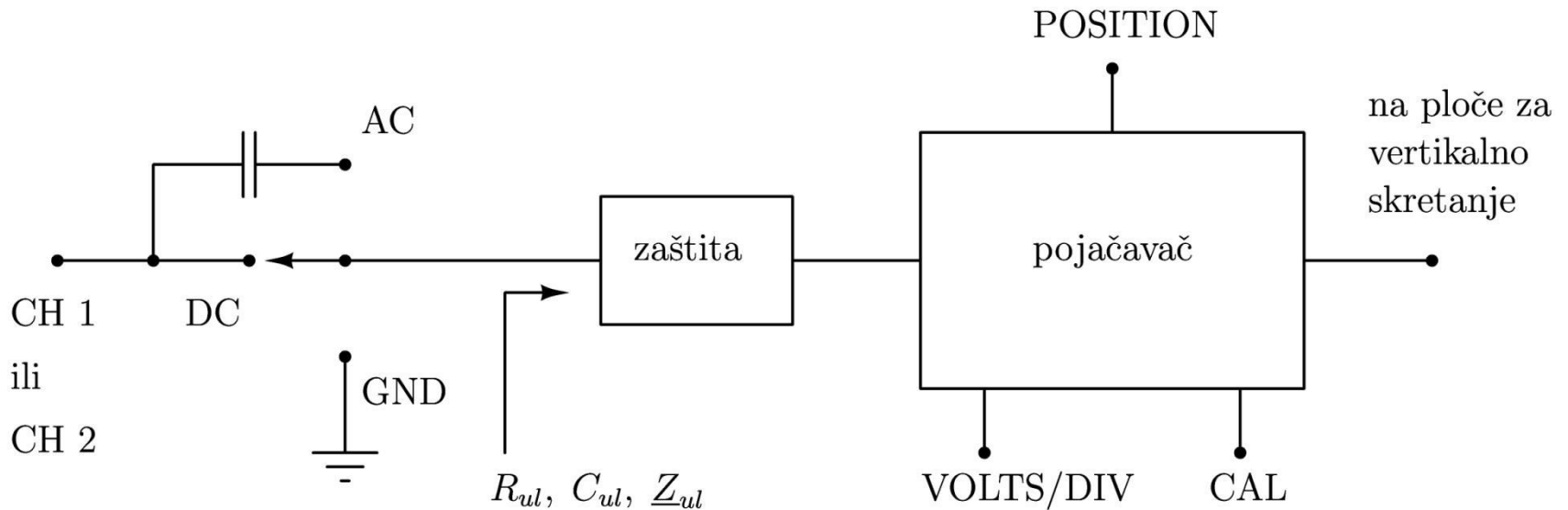
# Filtri



Postoji veliki broj mogućih realizacija analognih filtara. Takođe, filtre je moguće realizovati i softverski – digitalni filtri.

Na slici je dat primer najčešće korišćenih filtara: BP (eng. *band pass*) – propusnik opsega, LP (eng. *low pass*) – niskopropusnik, HP (eng. *high pass*) – visokopropusnik i drugi.

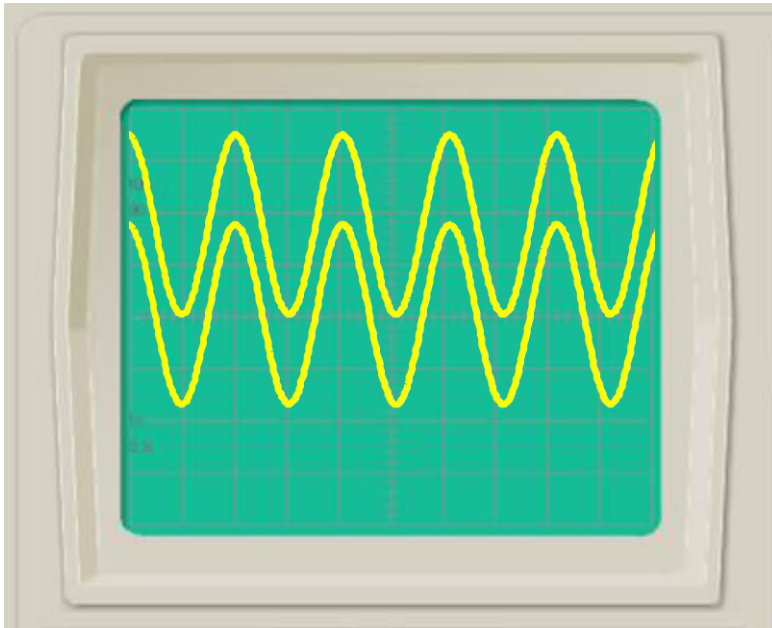
# Filter – primer



U položaju AC (na osiloskopu) signal se dovodi na ulaz pojačavača preko razdvojnog kondenzatora koji sa ulaznom otpornošću čini filter propusnik visokih frekvencija. Na taj način se izdvaja (filtrira) jednosmerna komponenta signala, a pojačavaču se prosleđuje samo naizmenična.

Izvor: P. Pejović, Princip rada i primena osciloskopa, Univerzitet u Beogradu – Elektrotehnički fakultet, 2015 (slika 9), <http://tnt.etf.bg.ac.rs/~oe2em/osc.pdf>.

# Filter – primer



Maska osciloscopa je preuzeta sa sajta Oscilloscope Simulation, © 2002 Peter Debik, Berlin.

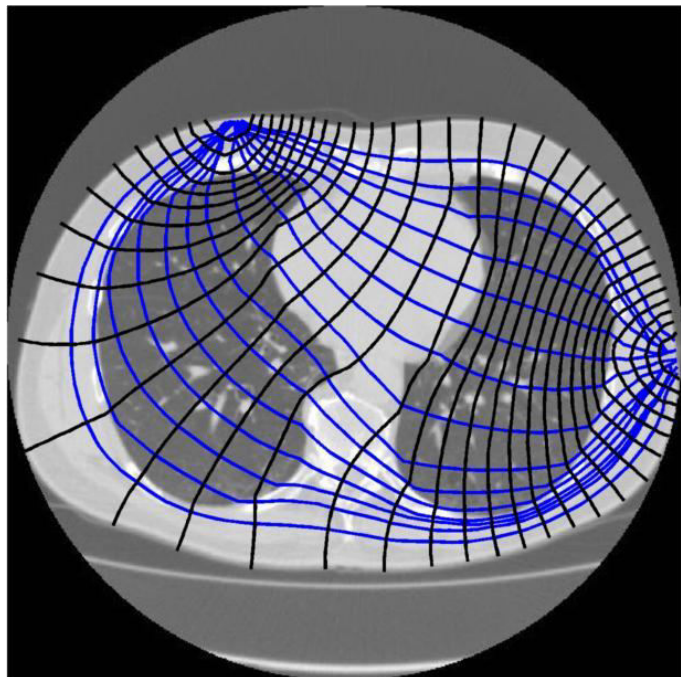
U položaju AC (na osiloskopu) signal se dovodi na ulaz pojačavača preko razdvojnog kondenzatora koji sa ulaznom otpornošću čini filter propusnik visokih frekvencija. Na taj način se izdvaja (filtrira) jednosmerna komponenta signala, a pojačavaču se prosleđuje samo naizmenična.

Izvor: P. Pejović, Princip rada i primena osciloscopa, Univerzitet u Beogradu – Elektrotehnički fakultet, 2015 (slika 9), <http://tnt.etf.bg.ac.rs/~oe2em/osc.pdf>.



ZANIMLJIV PRIMER PRIMENE MERENJA IMPEDANSE  
BIOMEDICINSKA TEHNIKA

# EIT u intenzivnoj nezi



Komercijalni EIT (eng. *Electrical Impedance Tomography*) sistemi su namenjeni korišćenju u jedinicama intenzivne nege za monitoring funkcije pluća.

Pogledati detalje na *Electrical Impedance Tomography: The realization of regional ventilation monitoring*, 2nd edition, Eckhard Teschner, Michael Imhoff, Steffen Leonhardt, Drager, Technology for Life, [https://www.draeger.com/Library/Content/rsp\\_eit\\_booklet\\_9066788\\_en\\_2.pdf](https://www.draeger.com/Library/Content/rsp_eit_booklet_9066788_en_2.pdf).

Slični sistemi se koriste u geofizici i u monitoringu industrijskih sistema.

Slika, By Andy Adler - <http://eidors3d.sourceforge.net/tutorial/netgen/extrusion/thoraxmdl06a.jpg>, CC BY 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=26585098>, "CT of human thorax showing current paths for EIT and equipotentials"