



Visoka škola elektrotehike i računarstva
strukovnih studija-Beograd, 2015/2016
Specijalističke studije SNET

Monitoring i
Dijagnostika
Električnih
Mašina

MERENJE BRZINE OBRTANJA ELEKTRIČNIH MAŠINA TAHOMETRIMA



Predmetni profesor: Dr Željko Despotović

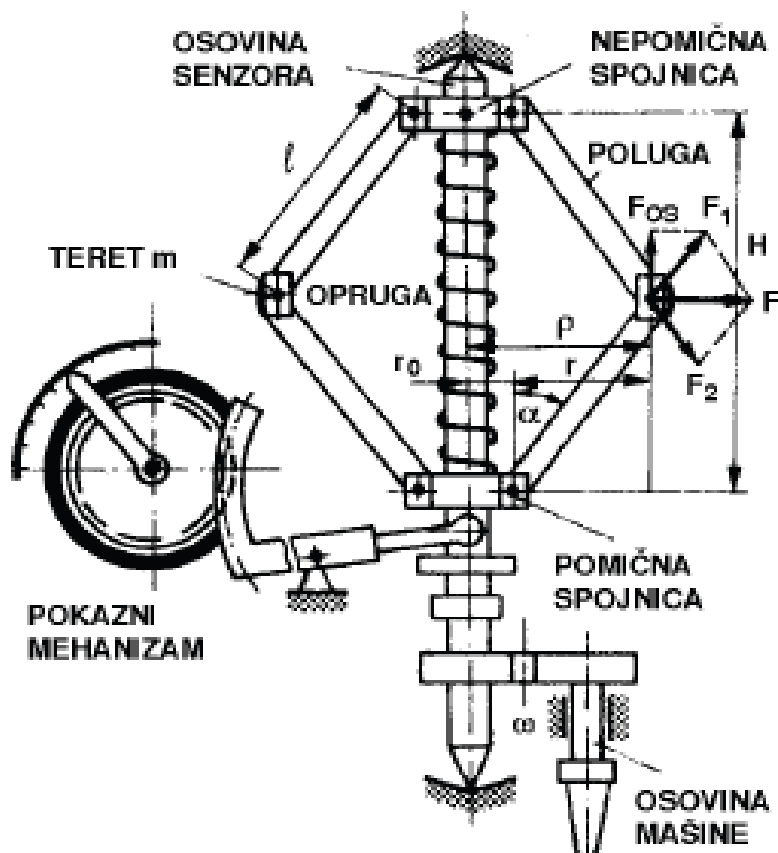
UVOD

- Jedinica ugaone brzine obrtanja Ω je [rad/s]
- Praktična jedinica brzine obrtanja n je [ob/min]
- Postoji međusobna veza :
$$\Omega = 2\pi n/60 \text{ ili } \Omega \approx n/10$$
- 3000 ob/min je ustvari 314 rad/s
- 1500 ob/min je ustvari 157 rad/s
- Brzina obrtanja se može meriti na više načina, odnosno pomoću:
 - *Brojila obrtaja sa hronometrom*
 - *Tahometra sa direktnim pokazivanjem*
 - *Klizanja*
 - *Tahometarskog generetora sa instrumentom*
 - *Mehaničkog (centrifugalnog) tahometra*
- U praksi se pri pojedinačnim merenjima koriste tahometri.
- Za trajna merenja, u automatskoj regulaciji se najčešće koriste tahometarski generatori.
 - Kada god je moguće brzina obrtanja asinhronih mašina se određuje merenjem klizanja, obrnuto nikako!!! ZAŠTO?
 - Tahometri mogu biti: centrifugalni, integralni, sa vrtložnim strujama, kvarcni, stroboskopski,....

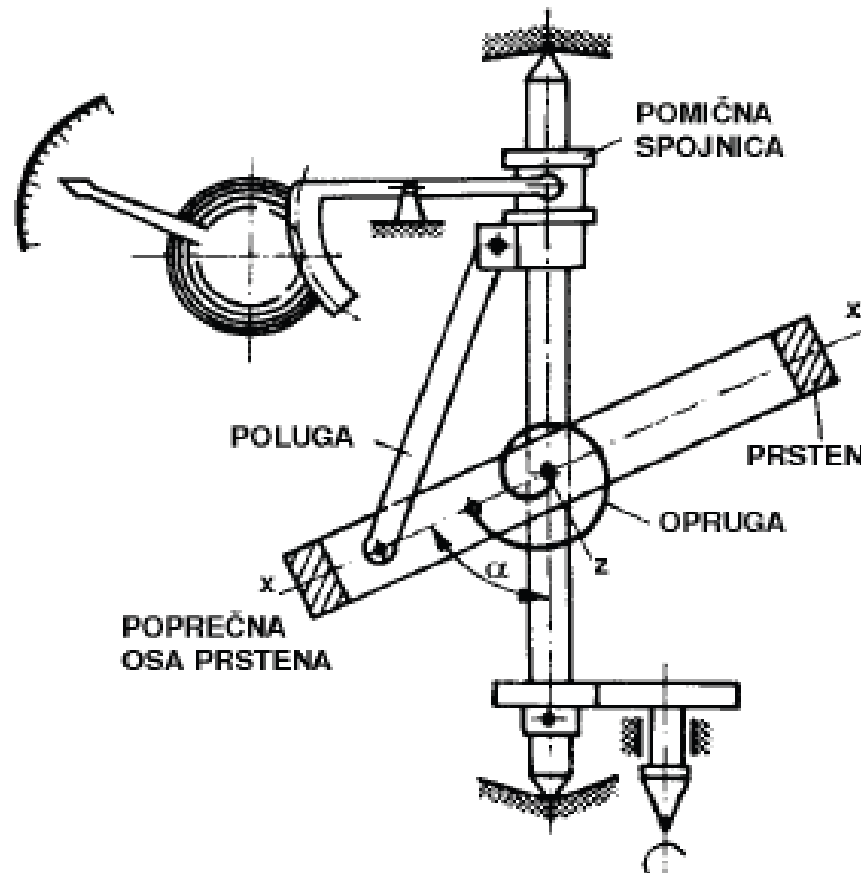
CENTRIFUGALNI TAHOMETAR

- Njegov rad se zasniva na zavisnosti brzine obrtanja i centrifugalne sile koja deluje na merni sistem (dve mase koje se razmiču), a preko njega na delovanjem na sistem poluga centrifugalna sila se prenosi na kretni sistem (kazaljku).
 $F_c = mv^2/r$, $v = r\Omega$, tako da je : $F_c = mr\Omega^2$
- Kao kontra sila se koristi opruga koja teži da mase dovede u ravnotežni položaj
- Skretanje kazaljke odgovara ravnoteži centrifugalne sile i elastične sile opruge
- Između mernog sistema i kontaktne osovine ugrađen je sistem zupčanika čiji se prenosni odnos može menjati
- Nisu velike klase tačnosti (0.5 ili 1)
- Obično imaju više opsega: 0-400ob/min, 0-2000 ob/min i 0-10000ob/min
- Pritiskom na odgovarajuće dugme kazaljka ostaje u položaju izmerene brzina
- POKAZUJU TRENUTNU VREDNOST BRZINE OBRTANJA

MEHANIZAM CENTRIFUGALNOG TAHOMETRA



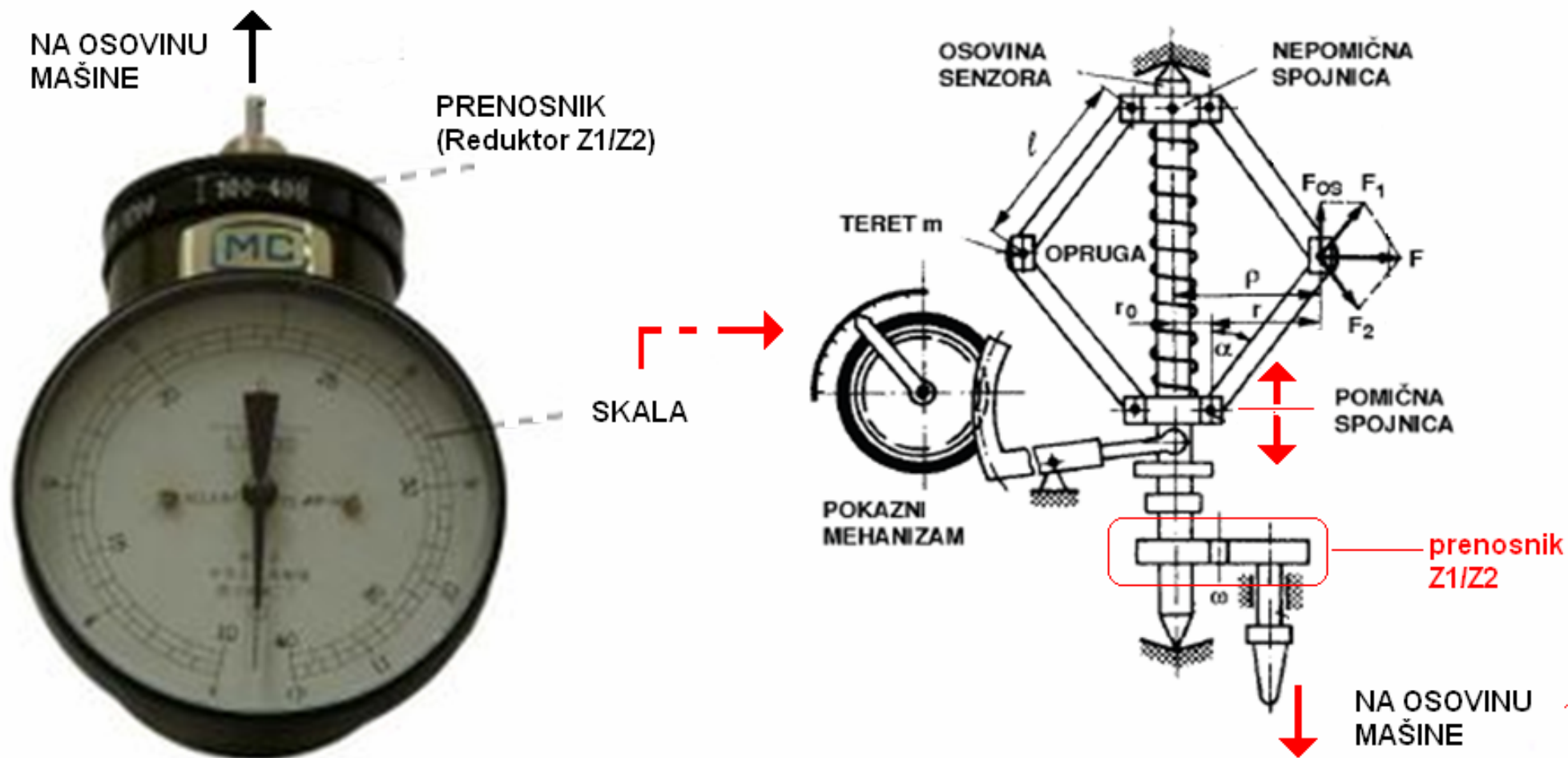
SA KUGLAMA



SA PRSTENOM

- Centrifugalna sila F se može rastaviti na dve komponente F_1 i F_2 . Sila F_1 ima komponentu F_{os} (deluje duž osovine) koja se uravnotežava silom u opruzi.
- Na pomičnoj spojnici je preko poluge vezan kretni deo pokaznog mehanizma
- Kada brzina raste pomeranje pomične spojnice se ostvaruje na gore, dok opadanjem brzine pomična spojnica ide na dole.

IZGLED I DISPOZICIJA CENTRIFUGALNOG TAHOMETRA



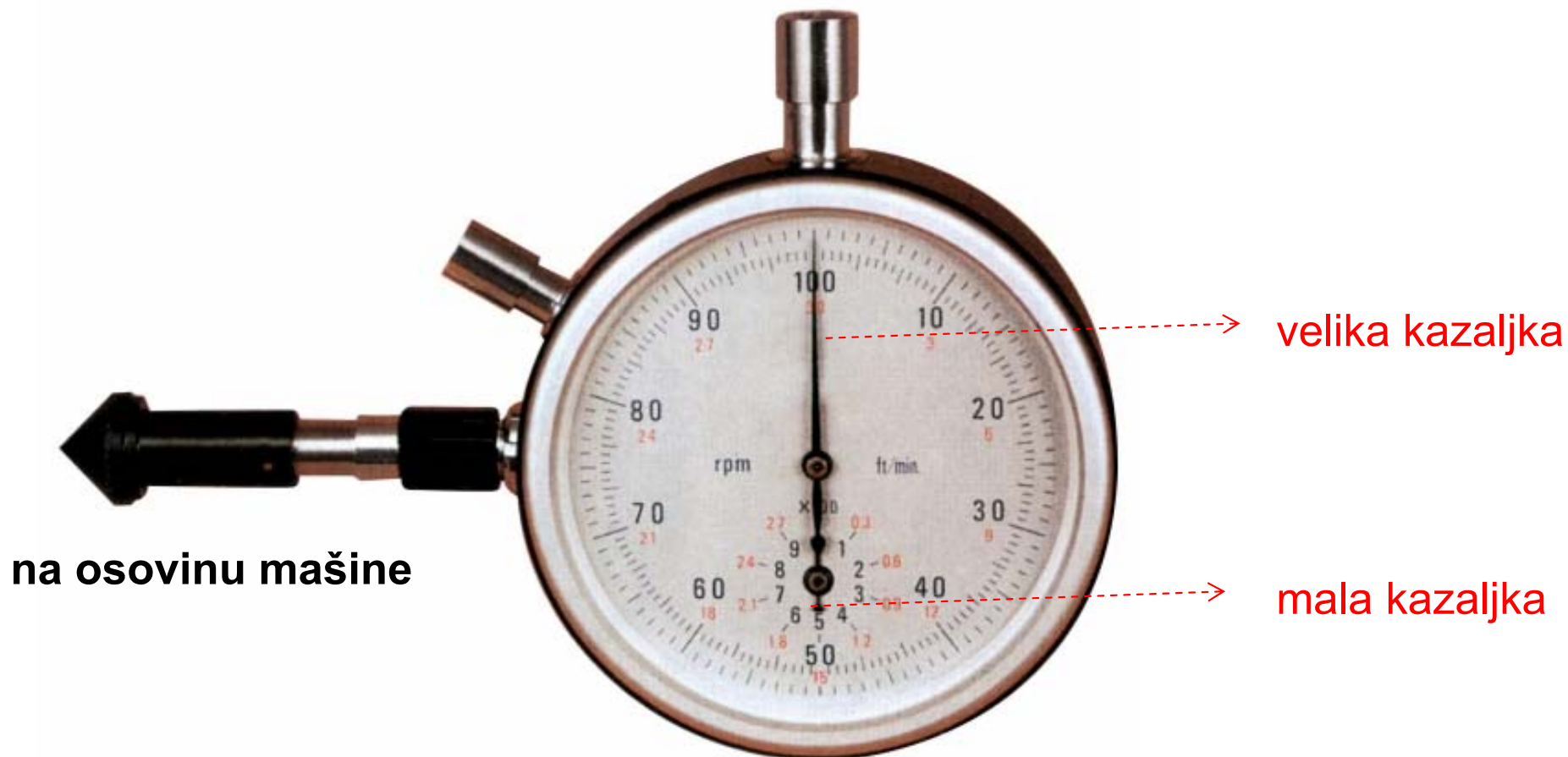
INTEGRALNI (SATNI) TAHOMETAR

- Njegov rad se zasniva na merenju broja obrtaja N u intervalu fiksnog vremena T (obično 3s)
- Ovo merilo predstavlja kombinaciju brojila obrtaja i hronometra
- Meri srednju tj. integralnu brzinu obrtanja :

$$n_{sr} = \frac{1}{T} \int_0^T n dt = N/T$$

- Funkcioniše na osnovu prethodnog integrala pa se zato naziva INTEGRALNI
- Tačniji je od centrifugalnog tahometra (klasa tačnosti 0.1)
- Ima dve kazaljke; velika opiše pun krug za 1000ob/min, a mala za 10000 ob/min.
- U sebi ima satni mehanizam i sistem zupčanika
- Po obavljenom merenju kazaljka ostaje u položaju skretanja tako da je moguće očitavanje
- Pritiskom na odgovarajuće dugme obe kazaljke se vraćaju na nulu

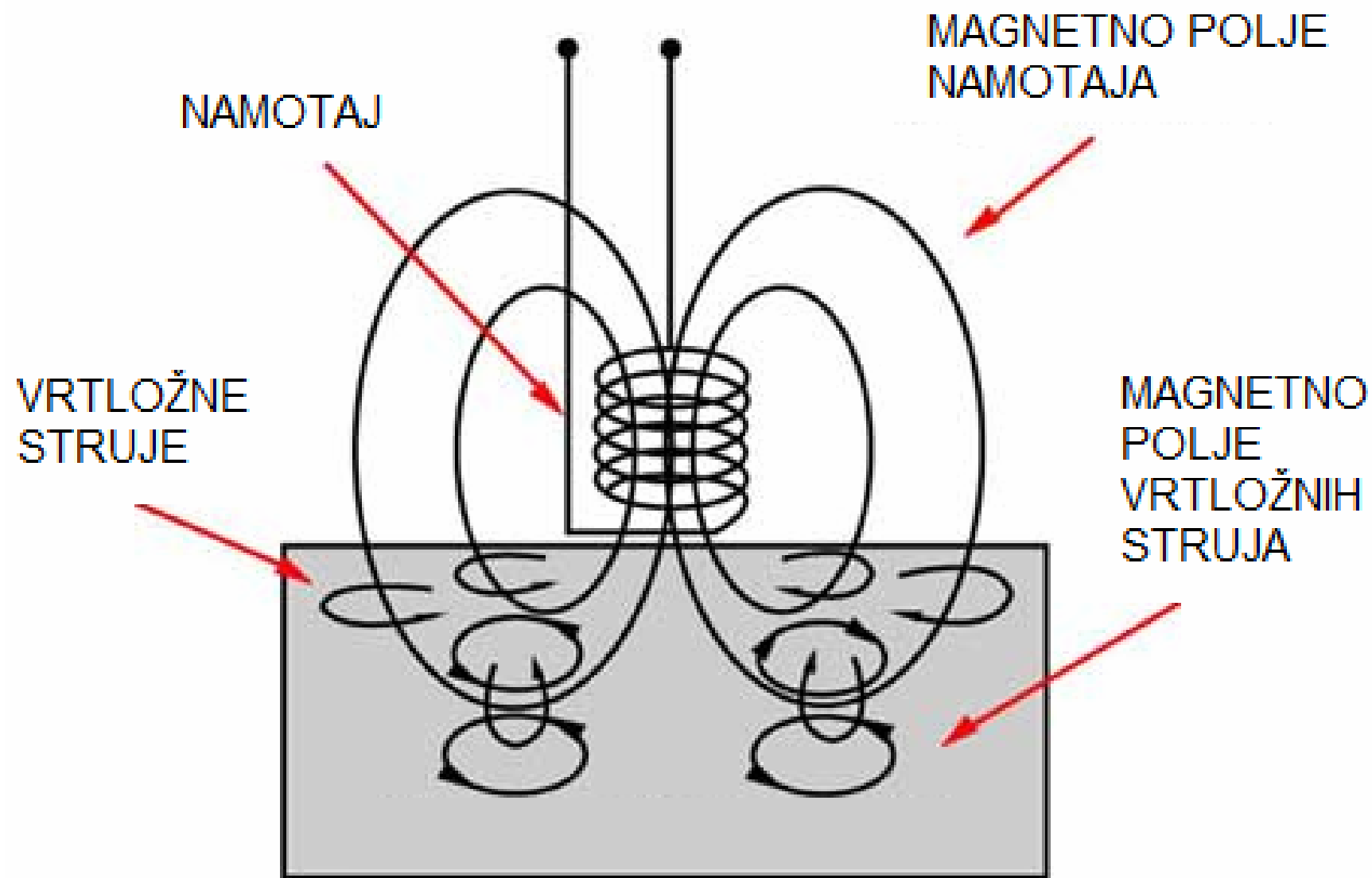
IZGLED INTEGRALNOG (SATNOG) TAHOMETRA



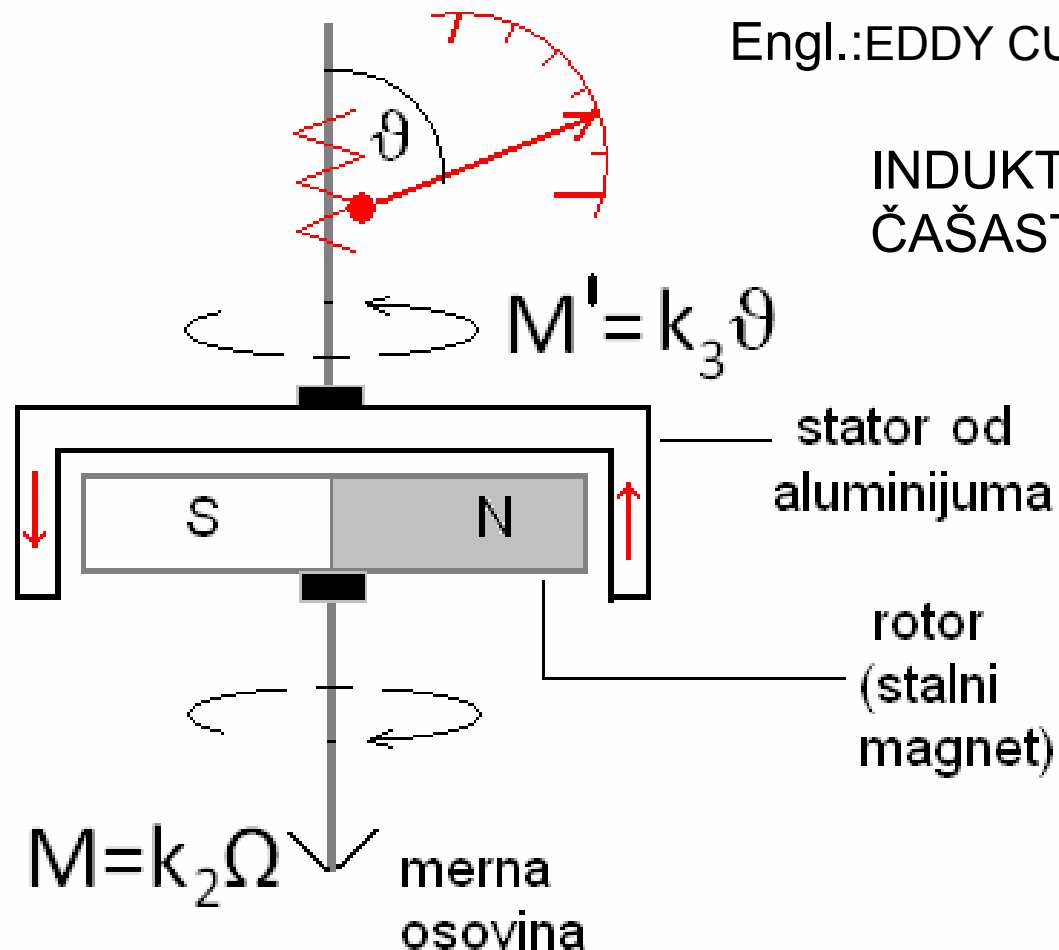
TAHOMETAR SA VRTLOŽNIM STRUJAMA

- Njegov rad se zasniva na merenju polaznog momenta ukočenog asinhronog motora pomoću merenja sile opruge
- Sastoji se od višepolnog stalnog magneta koji se obrće brzinom merne osovine (to je ustvari obrtno magnetno polje)
- Ovo obrtno polje izaziva vrtložne struje u čašastom (zvonastom) induktu od aluminijuma pa samim tim i obrtni momenat proporcionalan brzini obrtanja
- Momenat se uravnotežava sa torzionim momentom opruge koji je srazmeran uglu skretanja kazaljke instrumenta
- Pri ugaonoj brzini Ω gubici usled vrtložnih struja su proporcionalni njenom kvadratu : $P_v \sim \Omega^2$, dok je momenat $M \sim \Omega$
- $P_v = \sigma \cdot f^2 \cdot B_m^2 \cdot m_{Al} = k_1 \Omega^2$, $M = k_2 \Omega = k_3 \vartheta$ (ϑ -skretanje kazaljke)
- Klase tačnosti je obično 0.5
- Ima nekoliko opsega: 0-500, 0-5000, 0-50000 ob/min

PRINCIP INDUKOVANJA VRTLOŽNIH STRUJA U PROVODNOM MATERIJALU



DISPOZICIJA TAHOMETRA SA VRTLOŽNIM STRUJAMA



$$P_V = \sigma \cdot f^2 \cdot B_m^2 \cdot m_{Al} = k_1 \Omega^2,$$

$$M = k_2 \Omega = k_3 \vartheta \quad (\vartheta - \text{skretanje kazaljke})$$

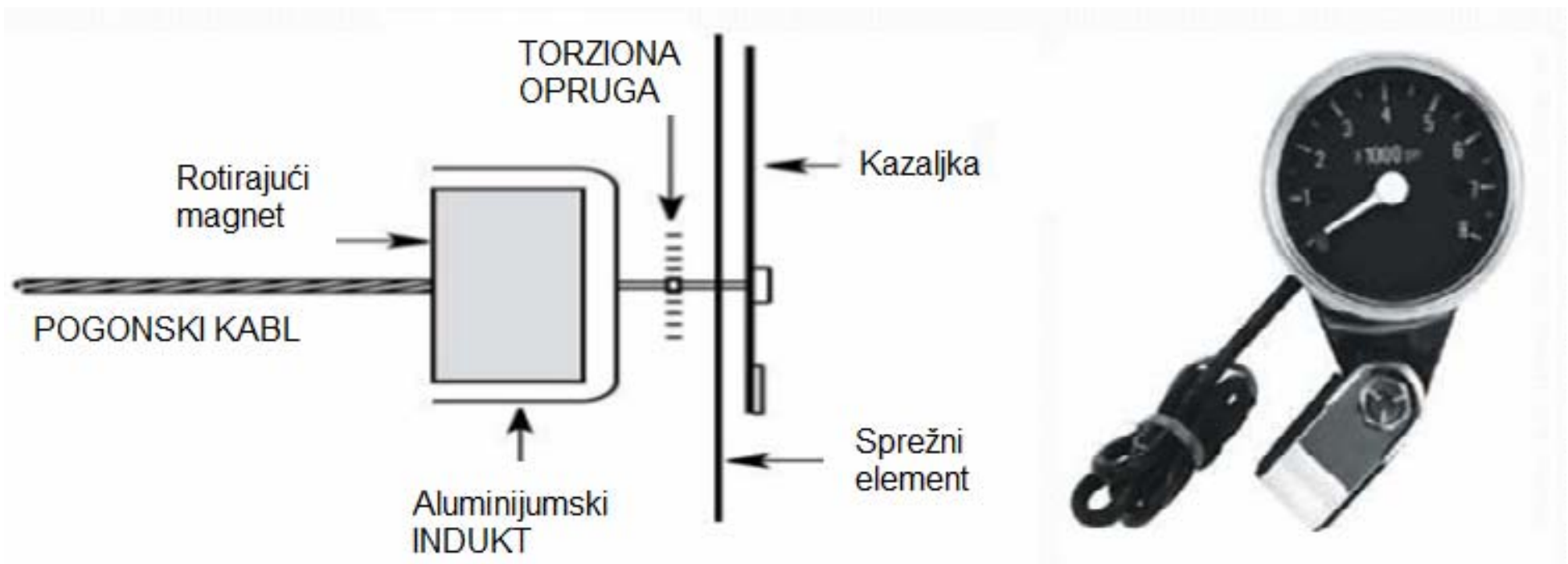
TAHOMETAR SA VRTLOŽNIM STRUJAMA I POGONSKOM SAJLOM

Rotacioni magnet se nekada spreže sa rotacionim pogonskim kablom (sajlom)

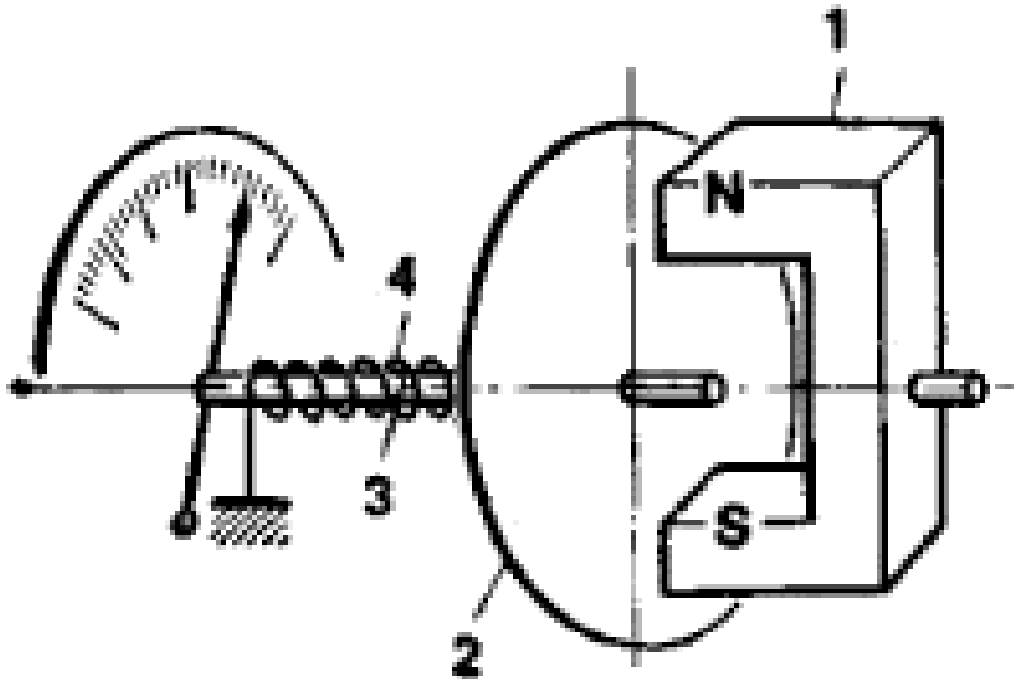
Opružni element je torziona spiralna opruga

Aluminijumski indukt je takođe čašastog oblika

Rotirajući magnet je stalni, kao i u prethodnom slučaju



DISPOZICIJA TAHOMETRA SA VRTLOŽNIM STRUJAMA



Tahometer sa vrtložnim strujama, ali sa običnim induktom (Al kružna ploča)

- 1- Induktor (stalni magnet)
- 2- Indukt (Al kružne ploča)
- 3- Rotaciona osovina
- 4- Opruga sa kazaljkom koja je vezana sa mernom skalom

Slikovit prikaz rada je dat na linku:

https://www.youtube.com/watch?v=3_vfyt6-lc



IZGLED KOMERCIJALNIH TAHOMETARA SA VRTLOŽNIM STRUJAMA



KVARCNI TAHOMETAR

- Kvarcni tahometar je elektronski uređaj koji vrši merenje brzine obrtanja induktivnom detekcijom
- Meri se broj impulsa N u toku vremena $t=1s$ (kvarcna vremenska baza), $n=N/t$
- Kvarcna vremenska baza garantuje tačnost pokazivanja od ± 1 ob/min
- Pokazivanje je digitalno, oično sa 5 cifara i sa memorijom, mernog ciklusa od 1s
- Rade se za opseg merenja 50-19999 ob/min

IZGLED KVARCNOG TAHOMETRA



Kvarcni tahometar
DHZ 902
Proizvođač: JAQUET
Swiss MADE

IZGLED I TEHNIČKI PODACI KVARCNOG TAHOMETRA DT 2235A



Kontaktni , ručni tahometar sa digitalnim pokazivanjem.

Automatski memoriše Max, Min i poslednju vrednost, a takođe čuva 96 parametara

Prednosti:

Širok merni opseg i visoka rezolucija

Poseduje LCD za čitanje podataka.

Ima indikaciju niskog napona baterije.

Tehnički podaci:

Displej: 5 cifara 18mm LCD

Tačnost: (0.05%+1 Digit)

Sampling Time: 0.5 sec(preko 120 ob/min)

Range Select: Auto Range

Memorija: zadnja vrednost, Max, Min

Test baza: 6MHz Quartz Crystal

Potrošnja: Pribl. 45mA (baterija 4x1.5VAA

Merenje:

Kontaktno: 0.5 do 19,999 ob/min

SURFACE SPEED: 0.05 do 1,999.9 m/min

Rezolucija: 0.1 ob/min (0.5 do 999.9RPM)

1ob/min (preko 1,000 ob/min)



DT2235A CONTACT TACHOMETER

Technical Data

5 digit large LCD display, digit height 16mm, with backlight

Measurement range: 0.5 - 19999 rpm

0.05 - 1999.9 m/min (linear surface speed)

Resolution: 0.1 rpm (0.5 - 999.9 rpm) / 1 rpm (above 1000 rpm)

0.01m/min (0.05 - 99.99m/min)/0.1m/min (above 100m/min)

Accuracy: +/- 0.05% + 1 digit

Sampling rate: 0.5s (above 120 rpm)

Operating current: 45 mA

Memory: auto recording for MAX/MIN/LAST measurement data
and 96 data storage

Time base: 6MHz quartz oscillator,

with 10×10^{-6} (0°C - 50°C) accuracy

Power supply: 4 x 1.5V AA size battery or external 6V DC power supply

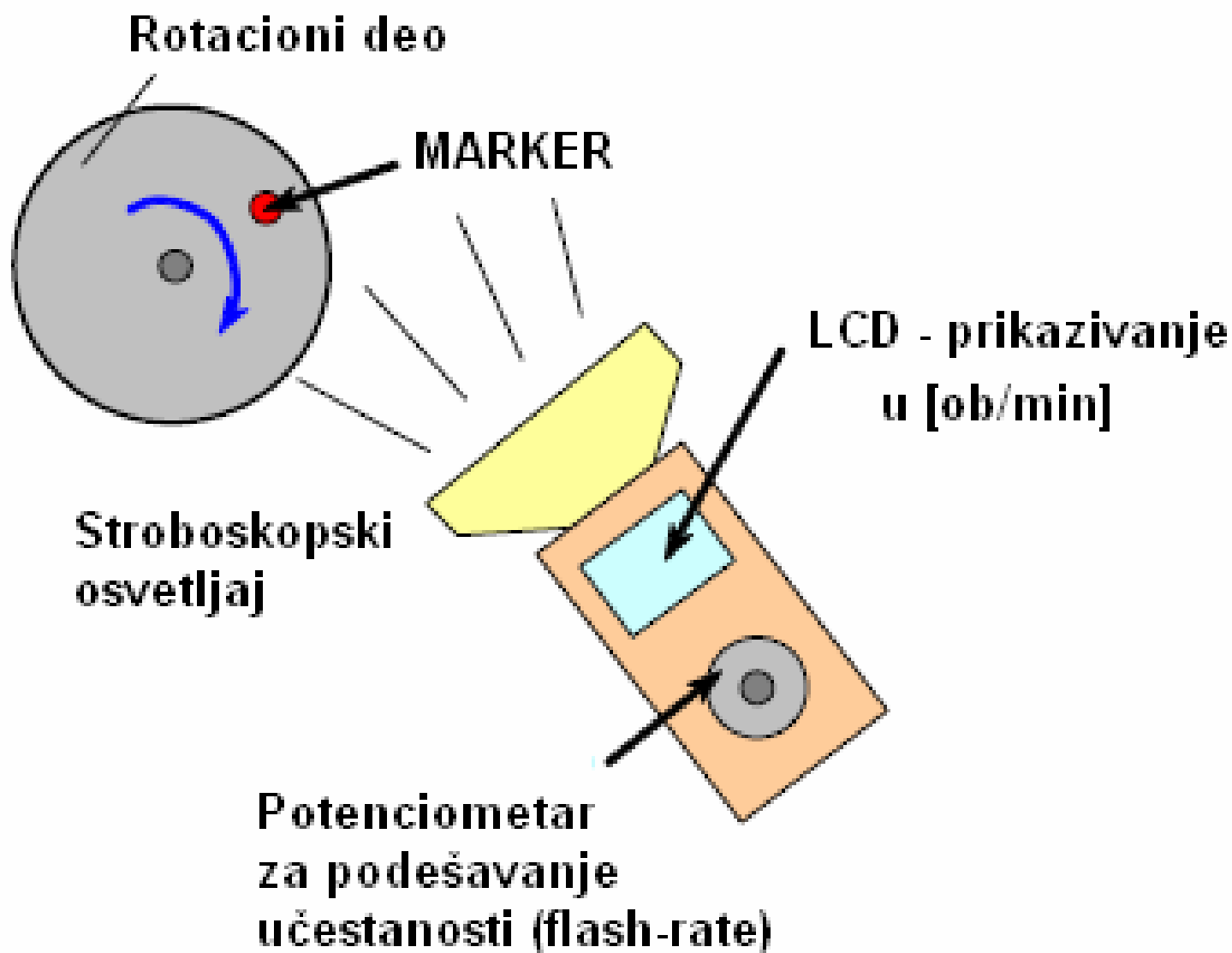


Na raspolaganju su različiti tipovi gumenih adaptera za pouzdan kontakt pri merenju na različitim rotacionim objektima (kao što pokazuje slika)

STROBOSKOPSKI TAHOMETAR

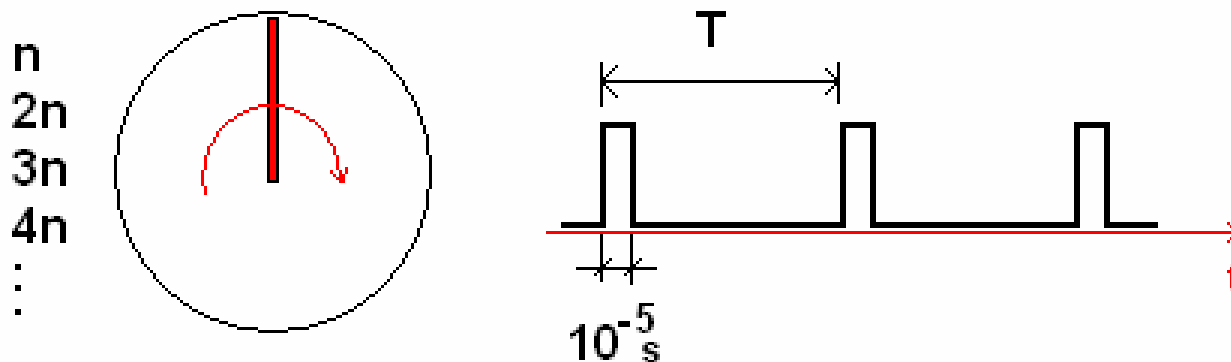
- Merenje brzine obrtanja, za razliku od prethodnih tahometara, je bez mehaničkog kontakta
- Ovo je pogodno za one motore čije je vatilo nepristupačno
- Princip rada se sastoji u osvetljavanju obrtnog predmeta (na primer rotora električne mašine) oštrom i impulsnom svetlošću promenljive učestanosti.
- **PRI JEDNAKOSTI PERIODE IMPULSA OSVETLJAJA I PERIODE OBRTANJA POKRETNOST DELA STIČE SE UTISAK DA POSMATRANI PREDMET MIRUJE**
- Reulator učestanosti svetlosnih impulsa ima baždarenu skalu u (ob/min).
- Lampa (bljeskalica) je ispunjena gasom pod pritiskom (ksenon, neon) koji je bez inercije tako da omogućava brzo i oštro osvetljavanje
- **U NOVIJE VREME SE KAO IZVOR SVETLOSTI-BLJESKALICA KORISTI LED SVETILJKA**
- Radi povećavanja intenziteta osvetljaja lampe su snabdevene reflektorom
- Opseg podešavanja učestanosti je od nekoliko Hz pa sve do nekoliko stotina Hz
- Učestanost diktira oscilatorno kolo (generetor učestanosti)
- Trajanje impulsa bljeska je oko 10 mikrosekundi, a jačina svetlosti 50000-100000 cd.
- *Kandela (cd) je jačina svetlosti kojom u određenom smeru svitli izvor jednobojne svetlosti frekvencije 540 THz kad mu jačina zračenja u tom smeru iznosi 1/683 W/steradianu. OBIČNA SVEĆA STVARA 1cd, sijalica 100W stvara oko 120cd.*

PRINCIP RADA STROBOSKOPSKOG TAHOMETRA

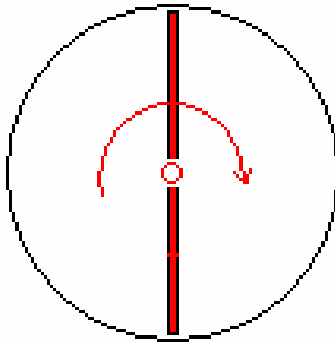


STROBOSKOPSKI KRUG?

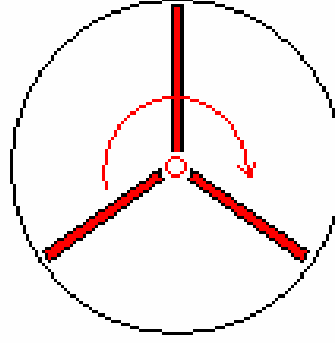
- Brzina obrtanja se praktično meri tako što se na osovinu obrtnog dela priključi tzv. **stroboskopski krug**
- Opcija je da se na osovini može obeležiti jedna crta koja ustvari ima ulogu markera i emulira stroboskopski krug
- Ako je trajanje između dva uzstopna impulsa T (period osvetljavanja) jednako trajanju jednog obrtaja rotora (stroboskopskog kruga) stiče se utisak da je crta (marker) nepomičan i da je brzina obrtanja:
$$n = 60/T = 60f \text{ (ob/min)}$$
- Isti utisak se stiče ako između dva osvetljaja krug napravi 2,3 ili više obrta (to ustvari znači da brzina može da bude $1n, 2n, 3n, \dots$ itd. **Šta ako je brzina manja?**)



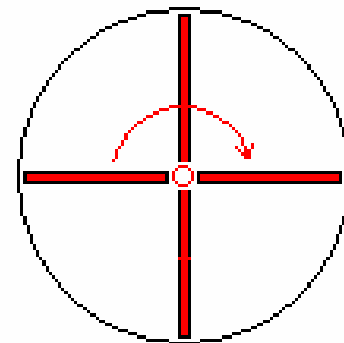
- Ako bi brzina obrtanja bila 2,3,4,... puta manja, posmatrač bi video 2,3,4,... simetrične crte (markera) kao što pokazuje slika



$n/2$



$n/3$

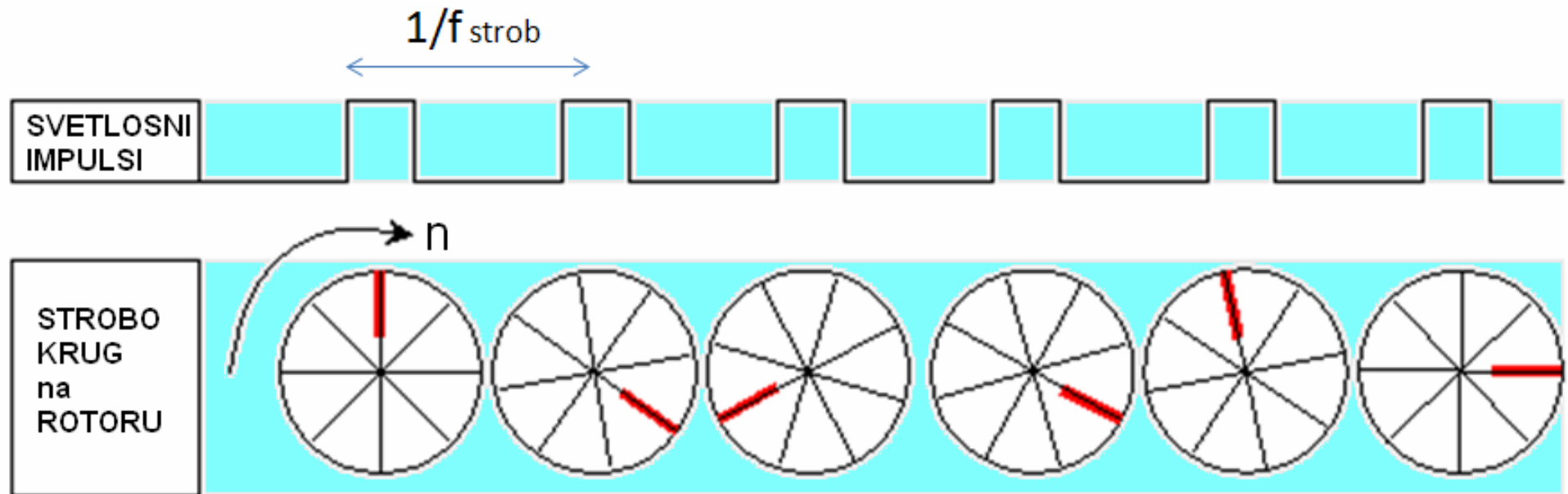


$n/4$

- U nastavku je dato objašnjenje rada stroboskopa za nekoliko karakterističnih slučajeva

SLUČAJ 1

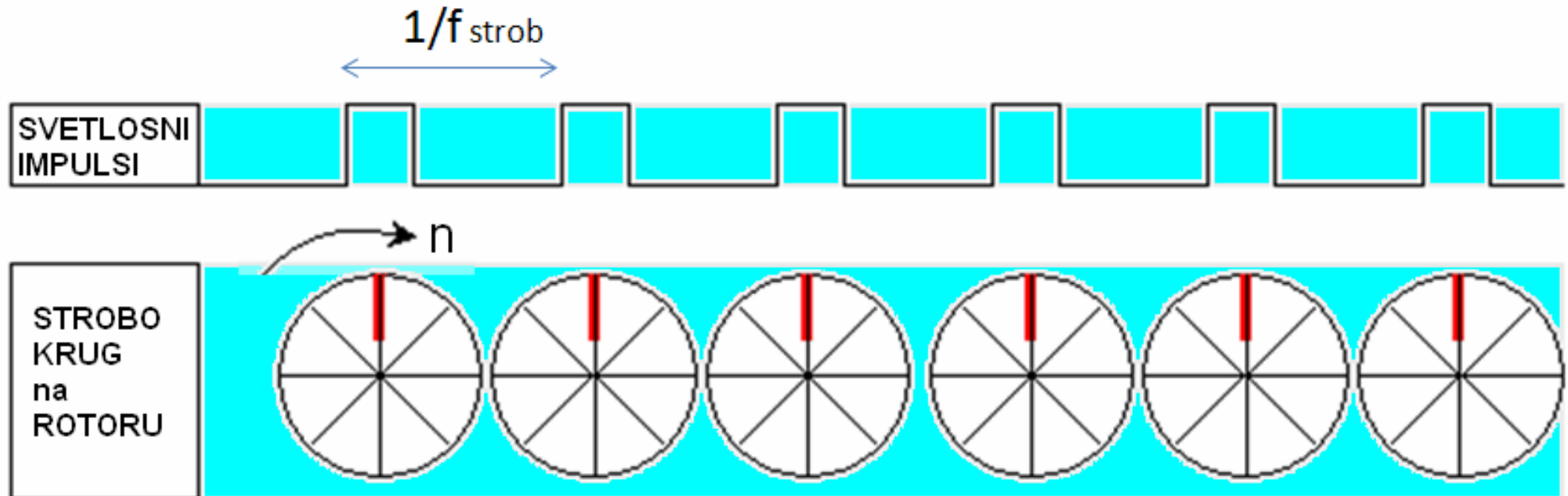
$$n \gg f_{\text{strob}}/60$$



- Učestanost impulsa iz oscilatora jer podešena na veoma niskoj vrednosti i svetlosni impuls osvetljava u proizvolnim trenutcima, marker na rotirajućem delu (crveno označen).
- U ovom slučaju pozicija markera u trenutcima osvetljavanja je stohastička!!!
- Šta se dešava kada se povećava učestanost, odnosno kada učestanost svetlosnih impulsa bude tolika da uvek u istom trenutku osvetljava marker?

SLUČAJ 2

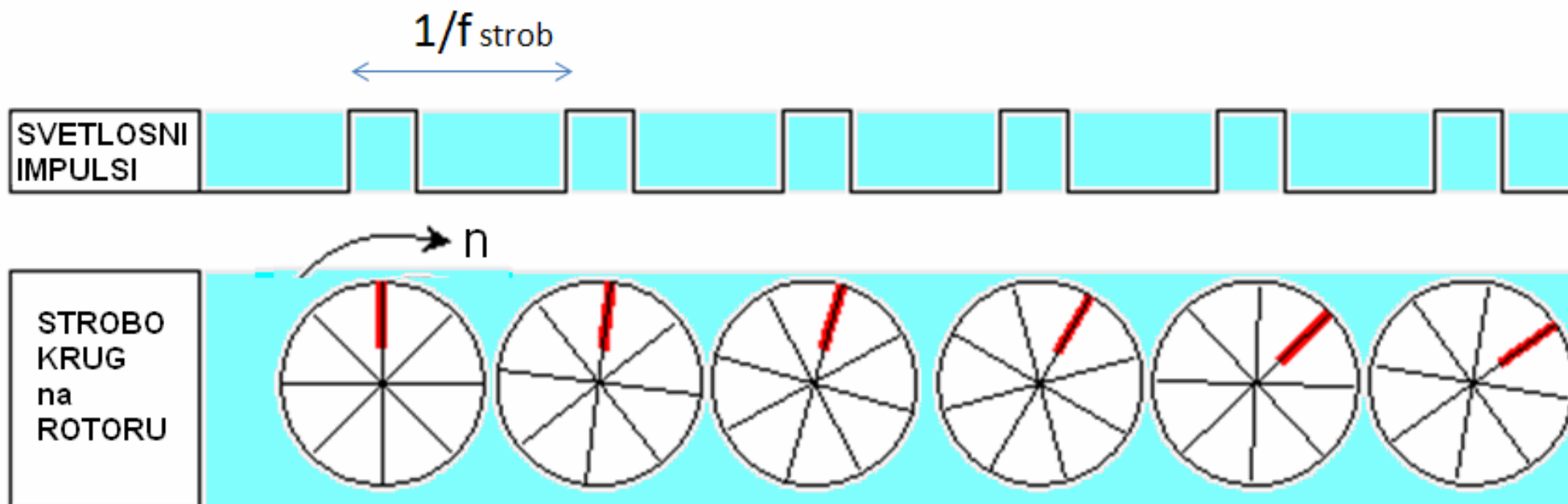
$$n = f_{\text{strob}}/60$$



- Povećavanjem frekvencije i sinhronizacijom svetlosnih impulsa sa brzinom obrtanja pokretnog dela dobija se stacionarno stanje koje daje vizuelno mirnu sliku markera.
- Kako izgleda ova slika kada je učestanost svetlosnih impulsa nešto ispod učestanosti koja odgovara stvarnoj brzini obrtanja ?

SLUČAJ 3

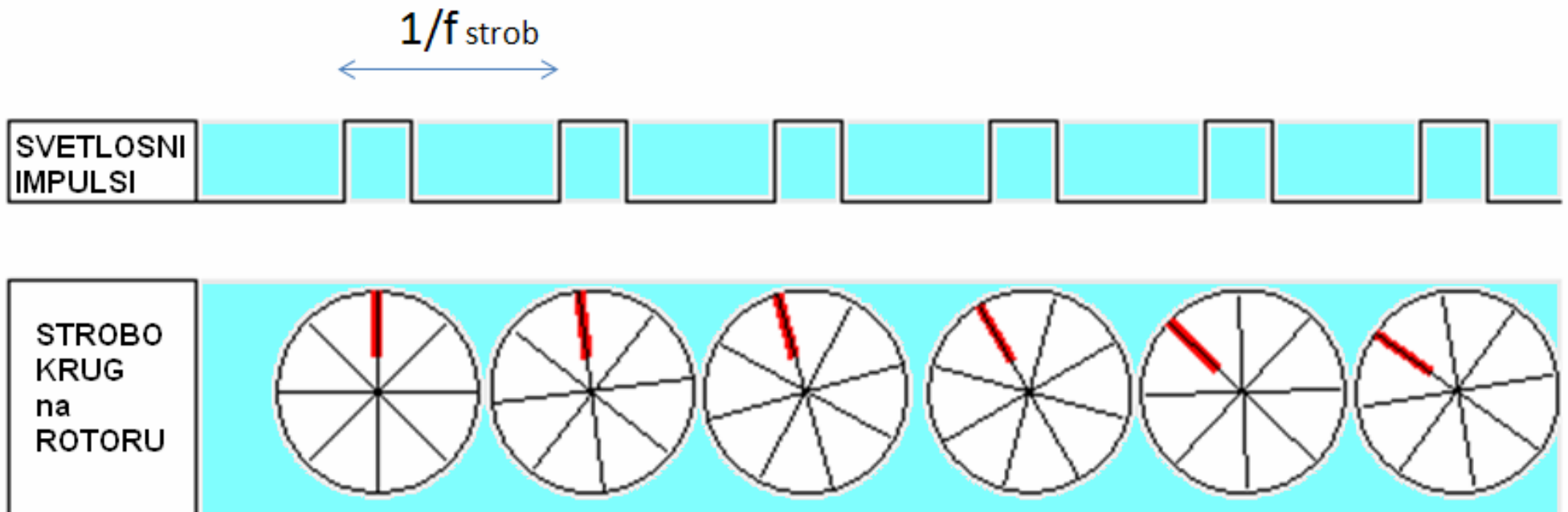
$$n > f_{\text{strob}}/60$$



Kada je učestanost impulsa nešto malo ispod učestanosti koja odgovara brzini pokretnog dela vizuelni položaj markera je takav da izgleda da on blago napreduje, kao što pokazuje slika.

SLUČAJ 4

$$n < f_{\text{strob}}/60$$



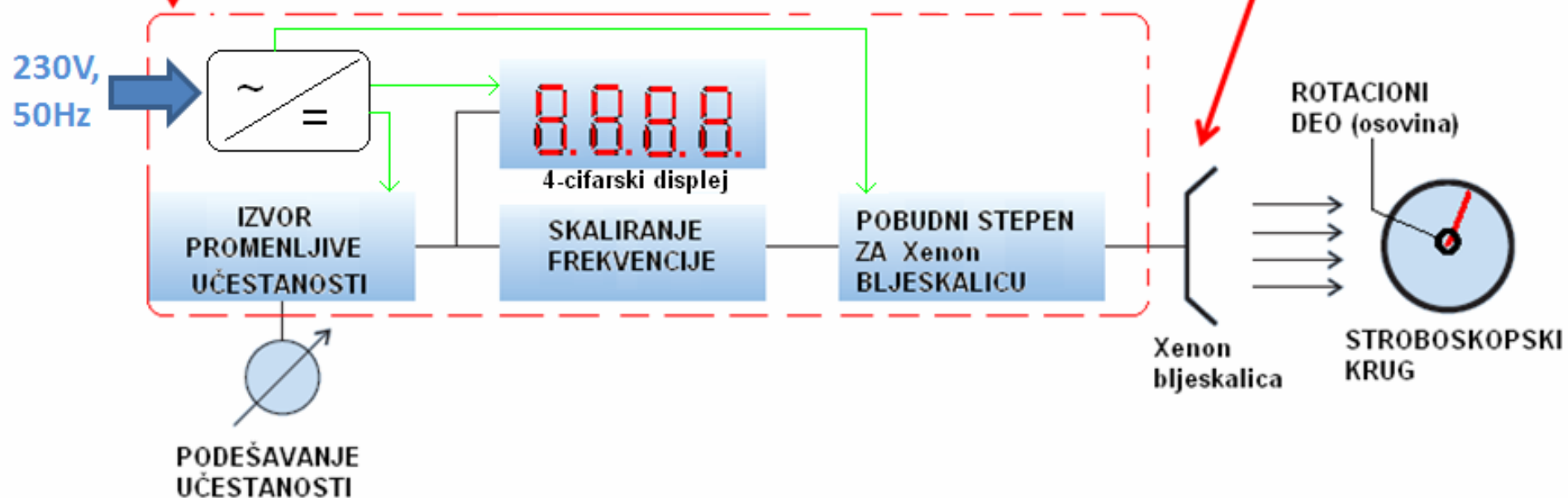
Kada je učestanost impulsa nešto malo iznad učestanosti koja odgovara brzini pokretnog dela vizuelni položaj markera je takav da izgleda da on blago ide u nazad, kao što pokazuje slika.

IZGLED I BLOK ŠEMA STROBOSKOPA SA BLJESKALICOM

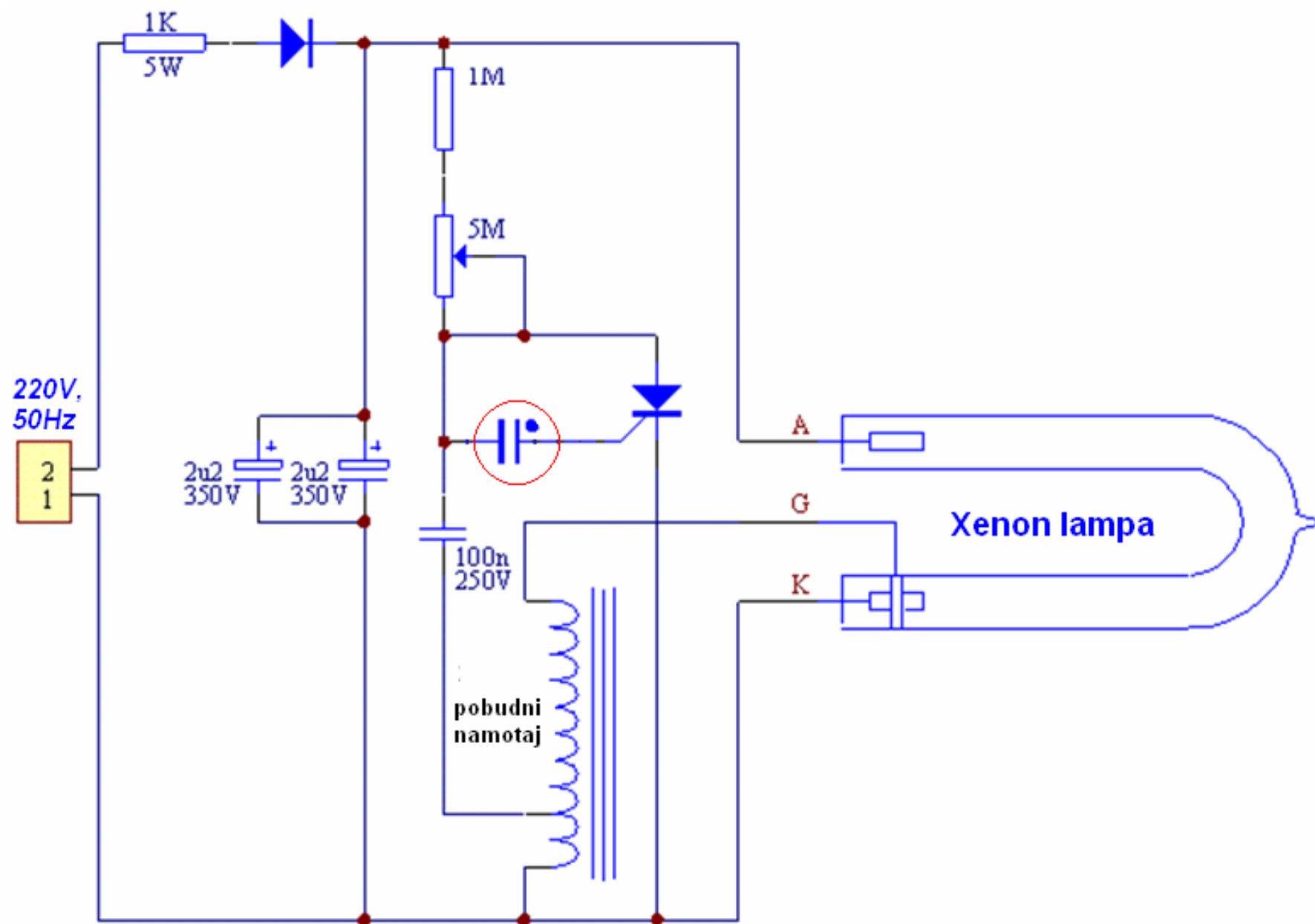
STROBOSKOPSKI UREĐAJ



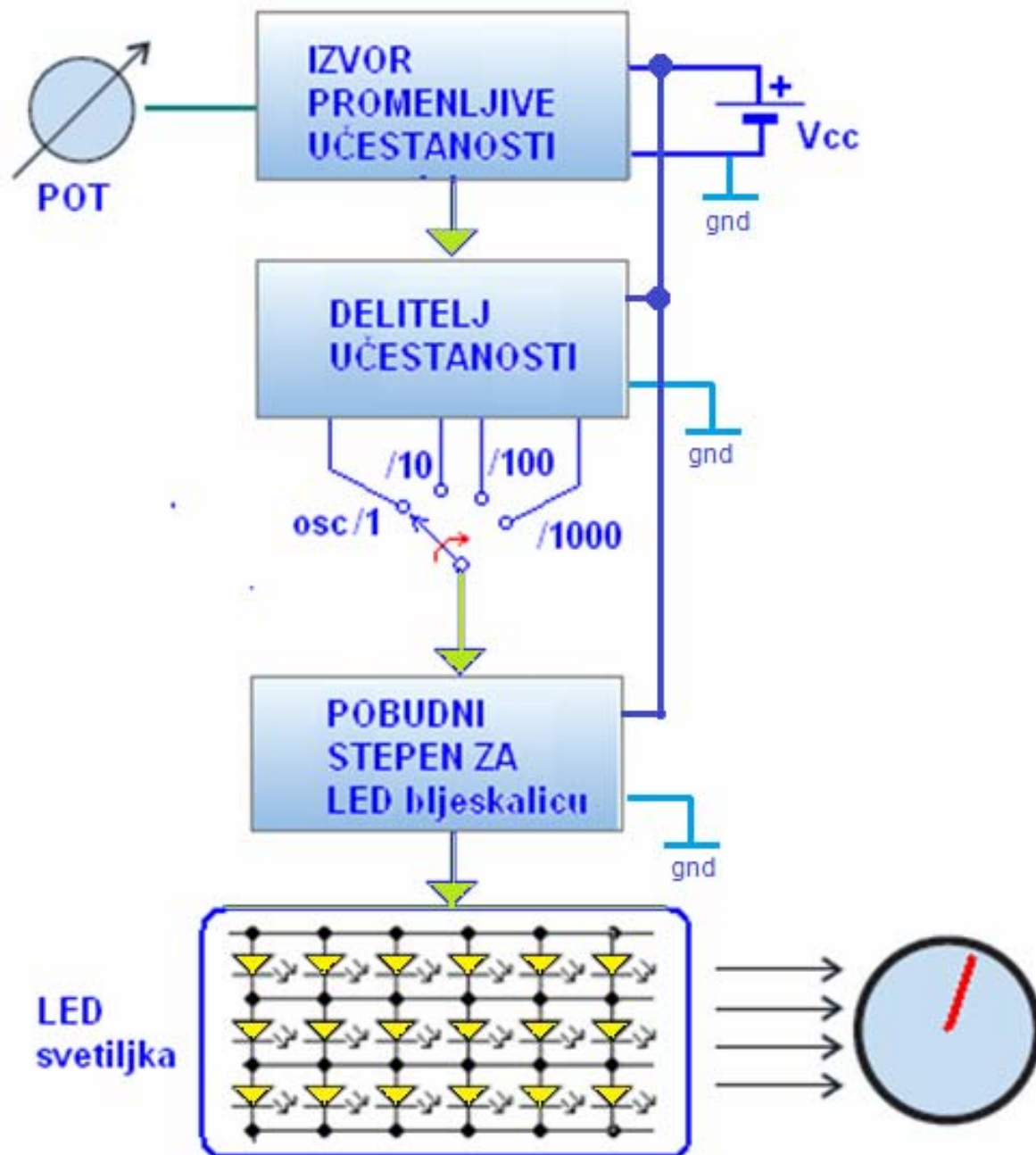
STROBOSKOPSKI UREĐAJ



ŠEMA POBUDNOG SKLOPA Xenon BLJESKALICE



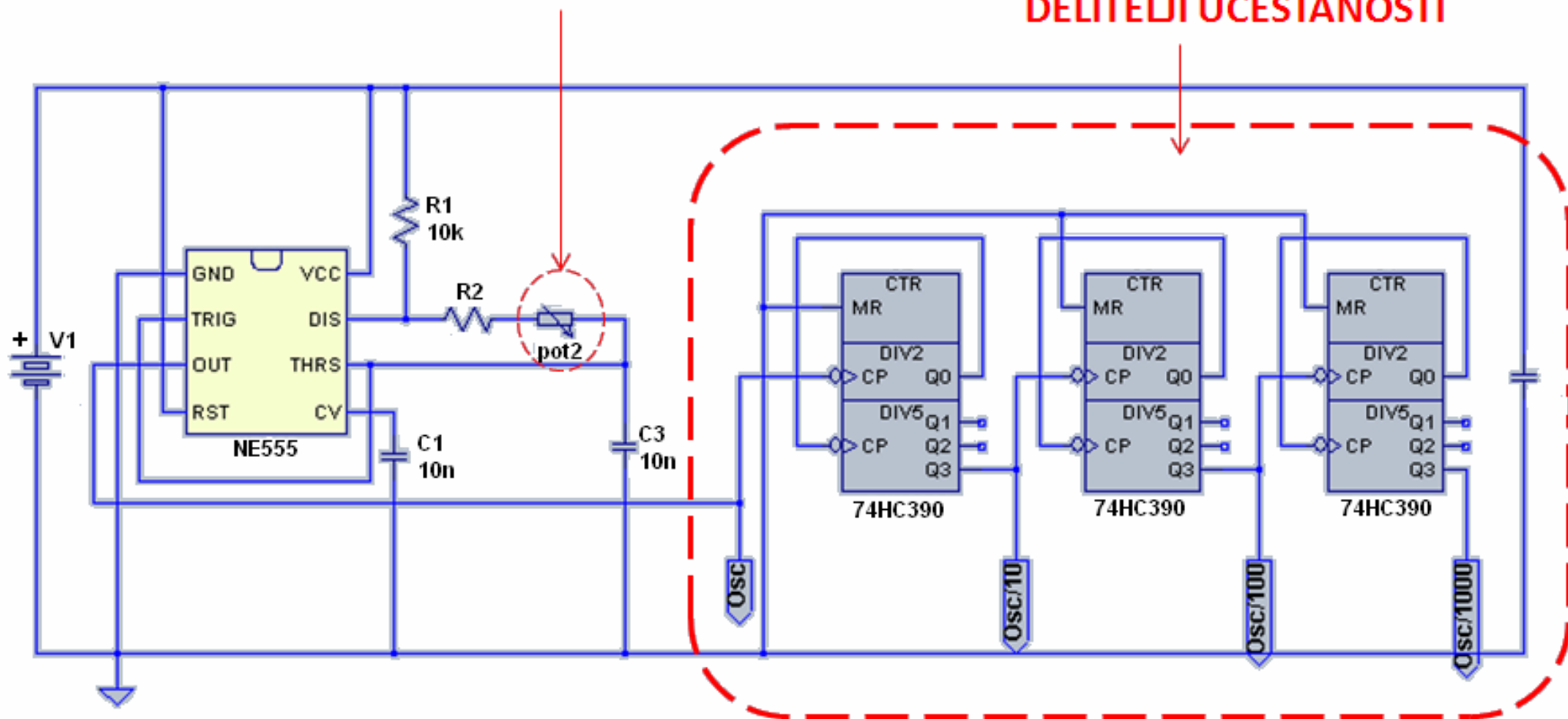
LED stroboskopski uređaj - izgled i blok šema



SEKCIJA OSCILATORA

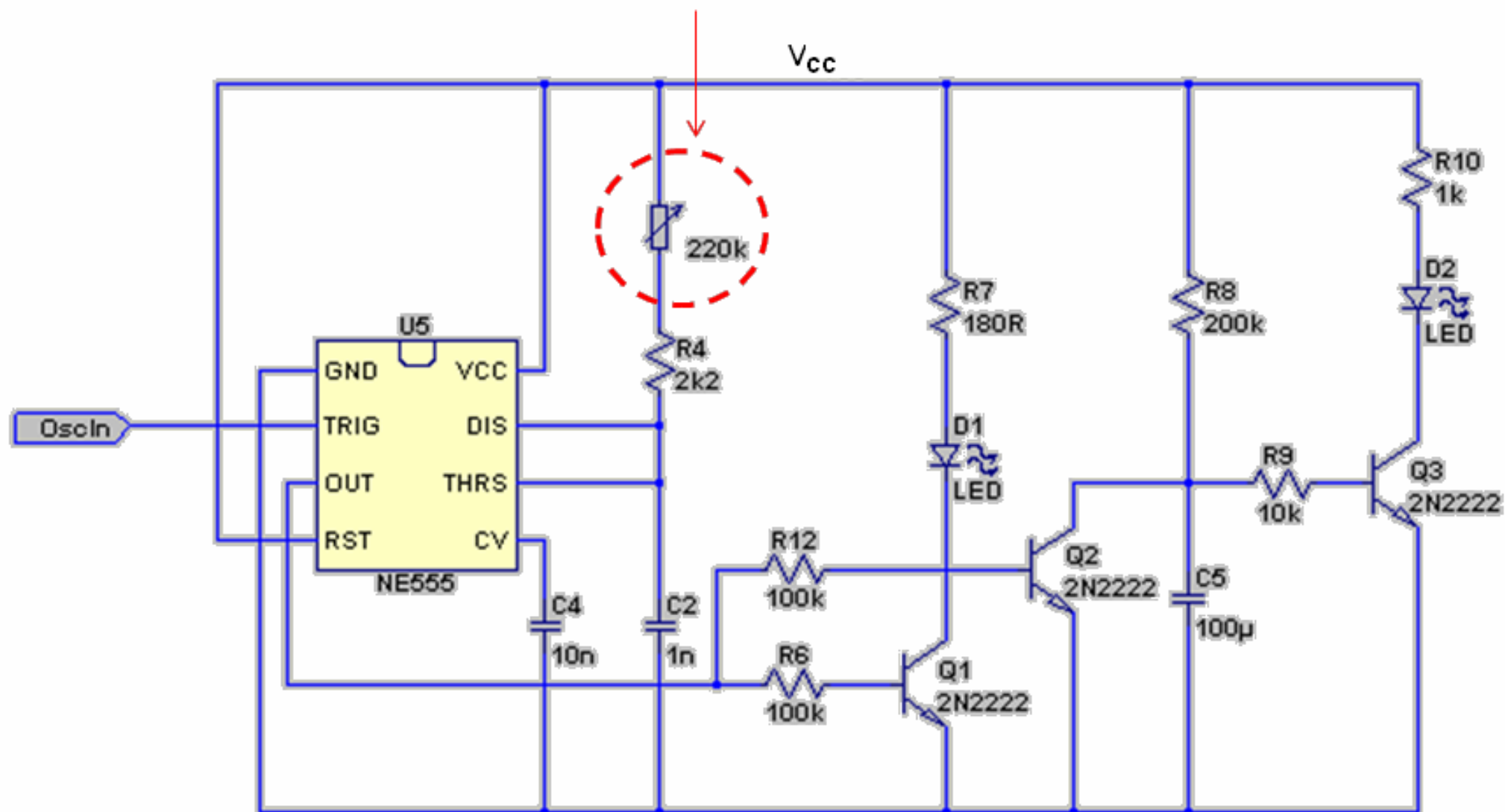
POTENCIOMETAR ZA PODEŠAVANJE UČESTANOSTI IMPULSA

DELITELJI UČESTANOSTI

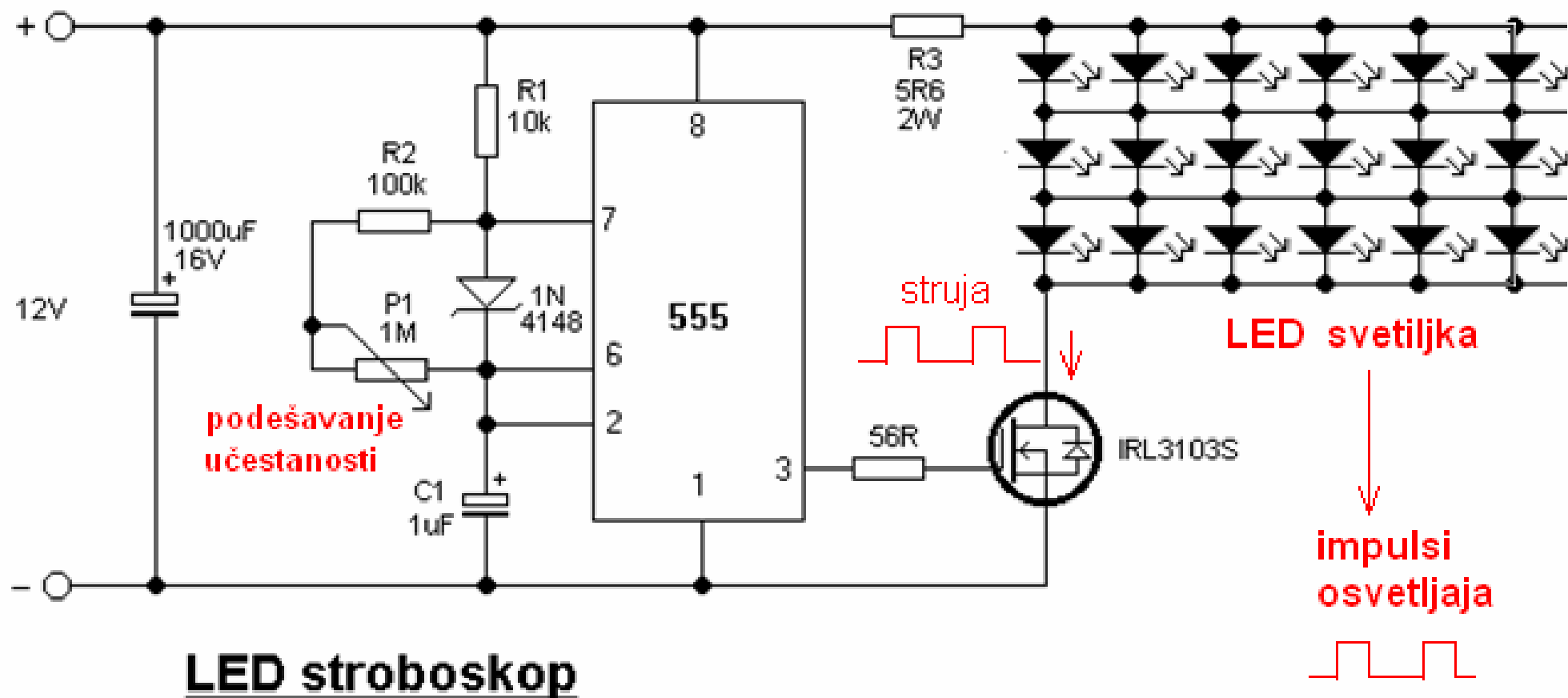


POBUDNA SEKCIJA SA BIPOLARNIM (BJT) ENERGETSKIM IZLAZOM

POTENCIOMETAR ZA PODEŠAVANJE ŠIRINE IMPULSA



POBUDNA SEKCIJA sa MOSFET pobudnim energetskim izlazom



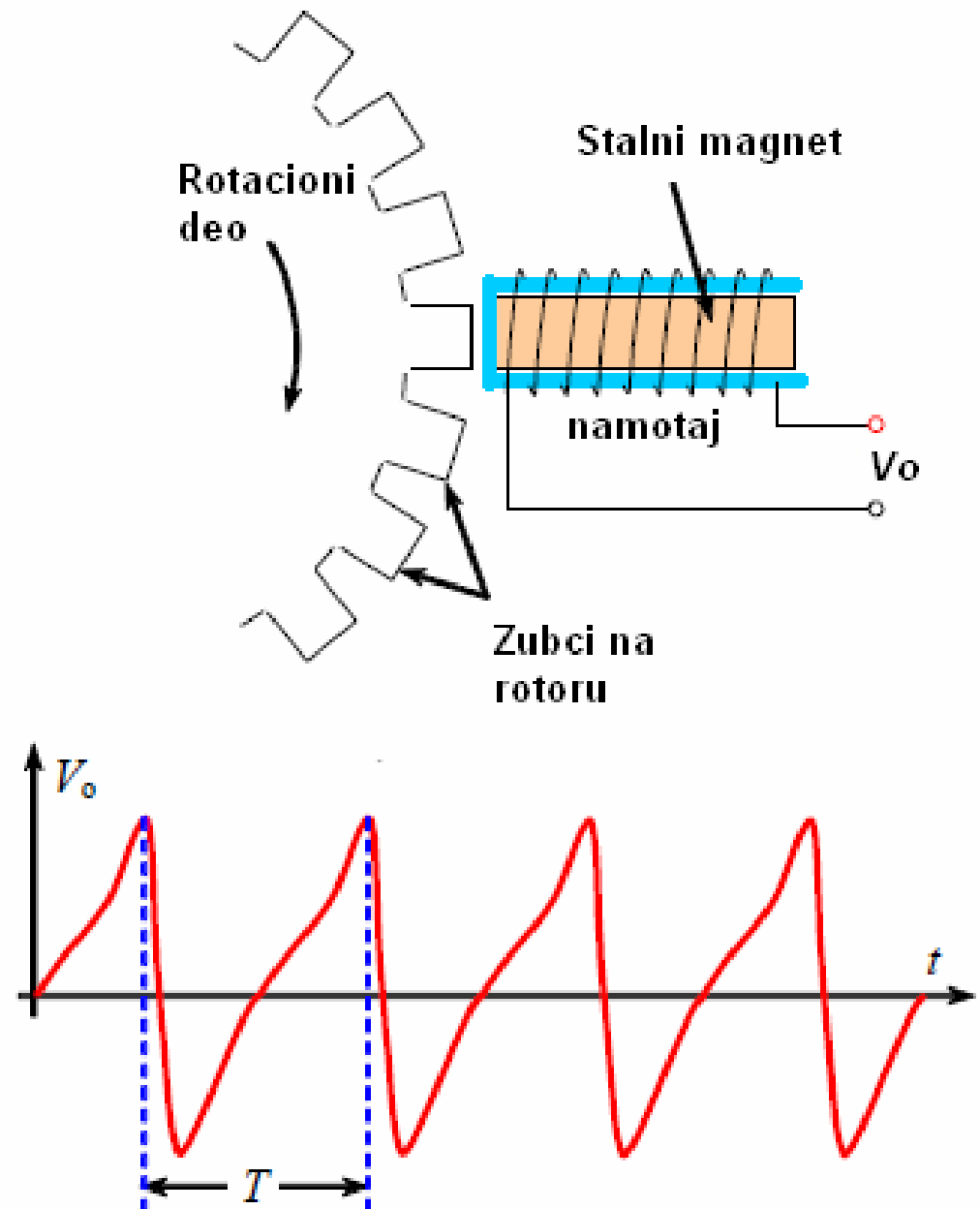


Ručni tahometar i stroboskop

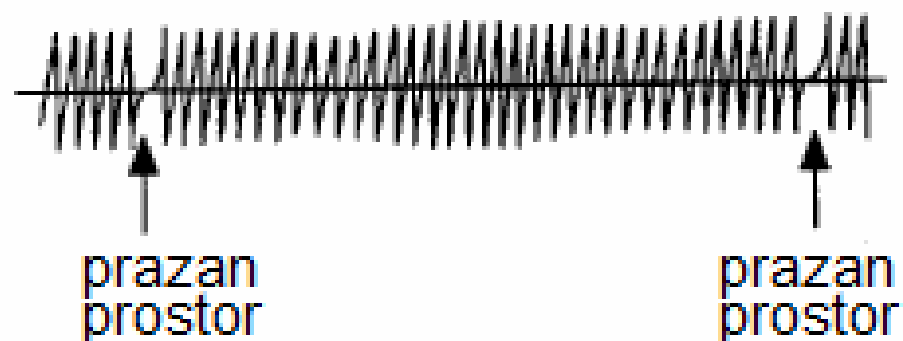
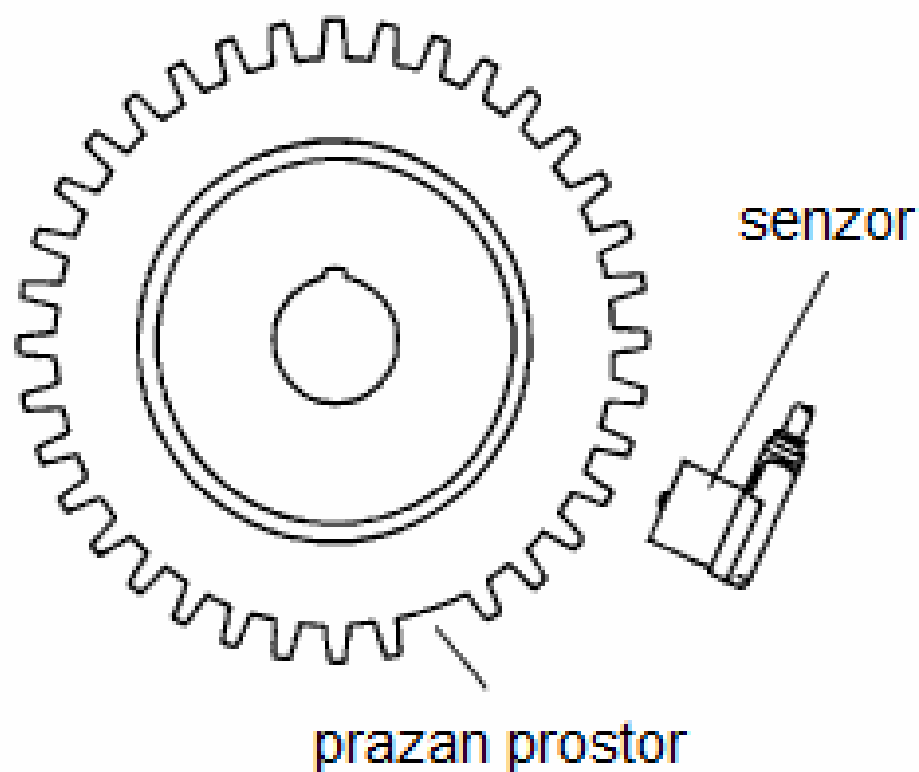
- Stroboskopski efekat se koristi pored merenja brzine obrtanja osovina električnih mašina, i za posmatranje rotora električnih mašina i drugih obrtnih predmeta u cilju inspekcije.
- Takođe ovaj efekat se koristi u inspekciji ventila eksplozivnih motora, za kontrolu rotacione štampe
- Stroboskopski tahometri se rade u različitim klasama od 0.5 do 3 i naravno po različitoj ceni
- Praktični, mali i jeftini stroboskopi na žalost nisu dovoljno tačni

MAGNETNI („pick-up“) TAHOMETAR

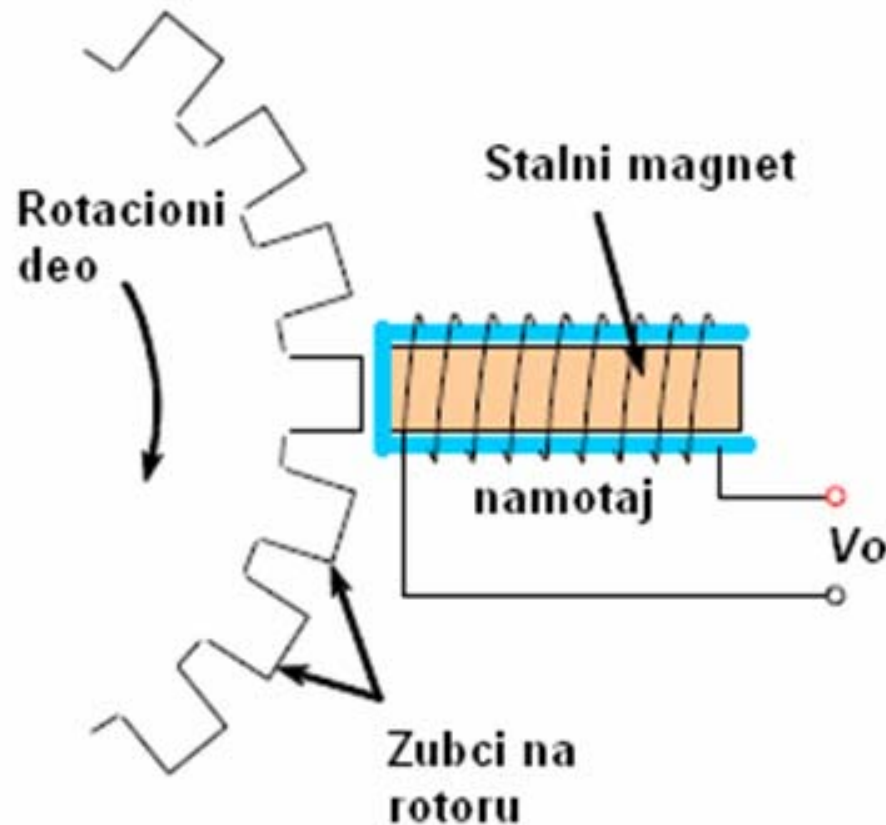
- Pipada grupi beskontaktnih tahometara
- Obično se naziva i kao „**reluctance pickup**“ **tahometar**, i princip rada se zasniva kao i kod induktivnih davača položaja LVDT, odnosno izobličenju magnetnog polja namotaja kada feromagnetni materijal prolazi pored njega
- Kada feromagnetni materijal (koji se nalazi na zupcima rotora) prođe pored namotaja dolazi do deformacije magnetnog polja, a kao posledica toga se generiše izlazni naponski impuls.
- Izlazni napon je promenljiv u vremenu i ima periodu T (svaki prolazak zupca na rotoru prouzrokuje jedan impuls trajanja T).
- Elektronsko kolo meri periodu T i broj impulsa P u intervalu vremena.
- Nakon toga se konvertuje vremenski signal u učestanost i nakon toga u izmerenu vrednost brzine obrtanja datu u [ob/min].



DETEKCIJA IMPULSA POMOČU UMETNUTIH ŠIRIH PROCEPA



Kako se ustvari izračunava brzina obrtanja?



$$n_{[\text{ob/min}]} = P / N_z$$

P- izmeren broj impulsa u intervalu vremena (tipično broj impulsa u sekundi)

N_z- broj zubaca na rotoru (ustvari to je broj impulsa po rotaciji)

PRIMER

POZNATO: Magnetni „pickup“ tahometar se koristi za merenje ugaone brzine rotora. Pretpostavimo da je broj zubaca $N_z=30$. Broj impulsa u sekundi je P i izračunava se elektronskim kolom. Potrebno je izračunati brzinu obrtanja rotora n (ob/min) u funkciji izmerene vrednosti P

$$n_{[\text{ob/min}]} = P_{[\text{imp/s}]} / 30_{[\text{imp/rotaciji}]} \cdot (60_{[\text{s/min}]})$$

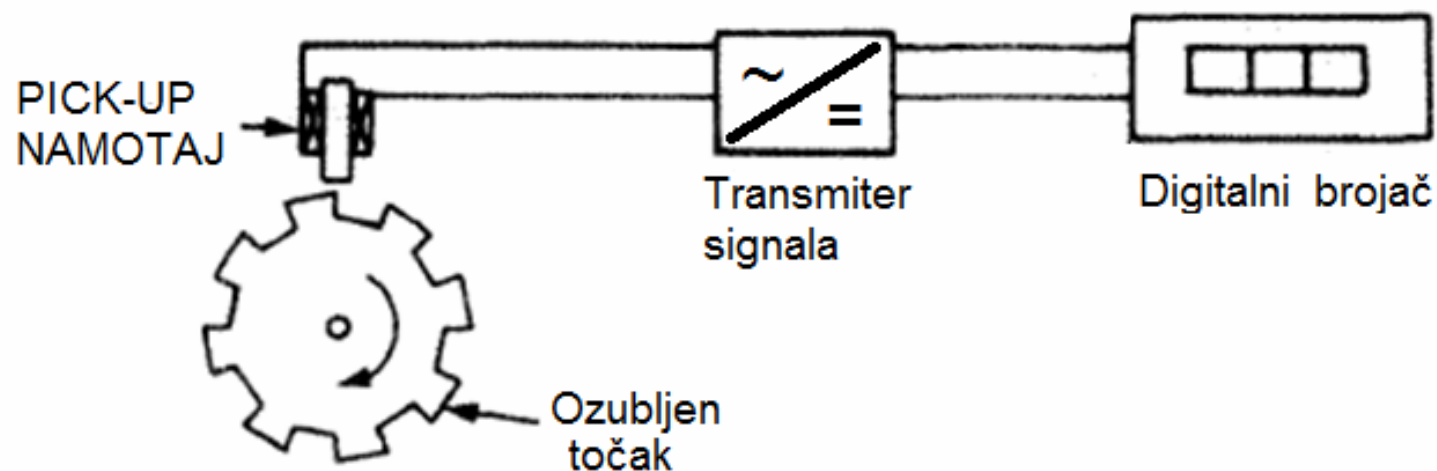
$$n_{[\text{ob/min}]} = 2P_{[\text{rotacija/min}]}$$

$$T = 1/P_{[\text{rotacija/min}]}$$

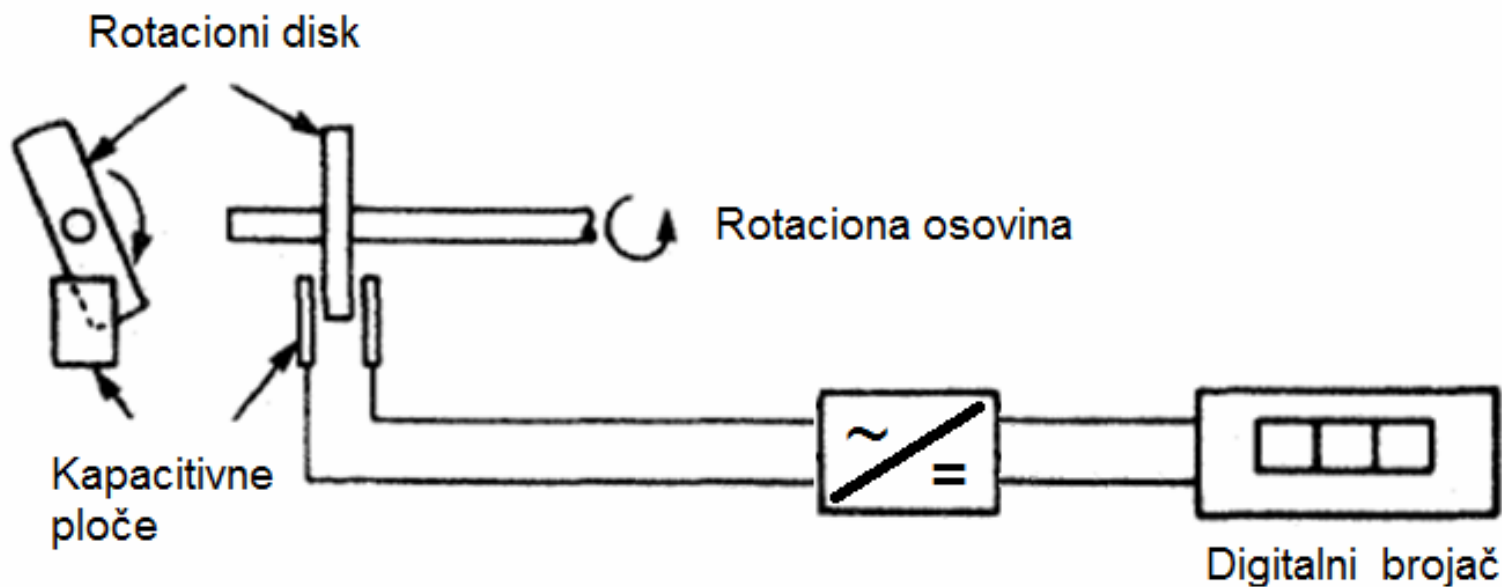
$$n_{[\text{ob/min}]} = 2/T$$

Kada je $P=750$ imp/s, tada je $n=1500$ ob/min. Ukoliko bi $N_z=60$ tada bi bilo $n = P$, odnosno, za $P=750$ imp/s, $n= 750$ ob/min

INDUKTIVNI I KAPACITIVNI TIP TAHOMETARA



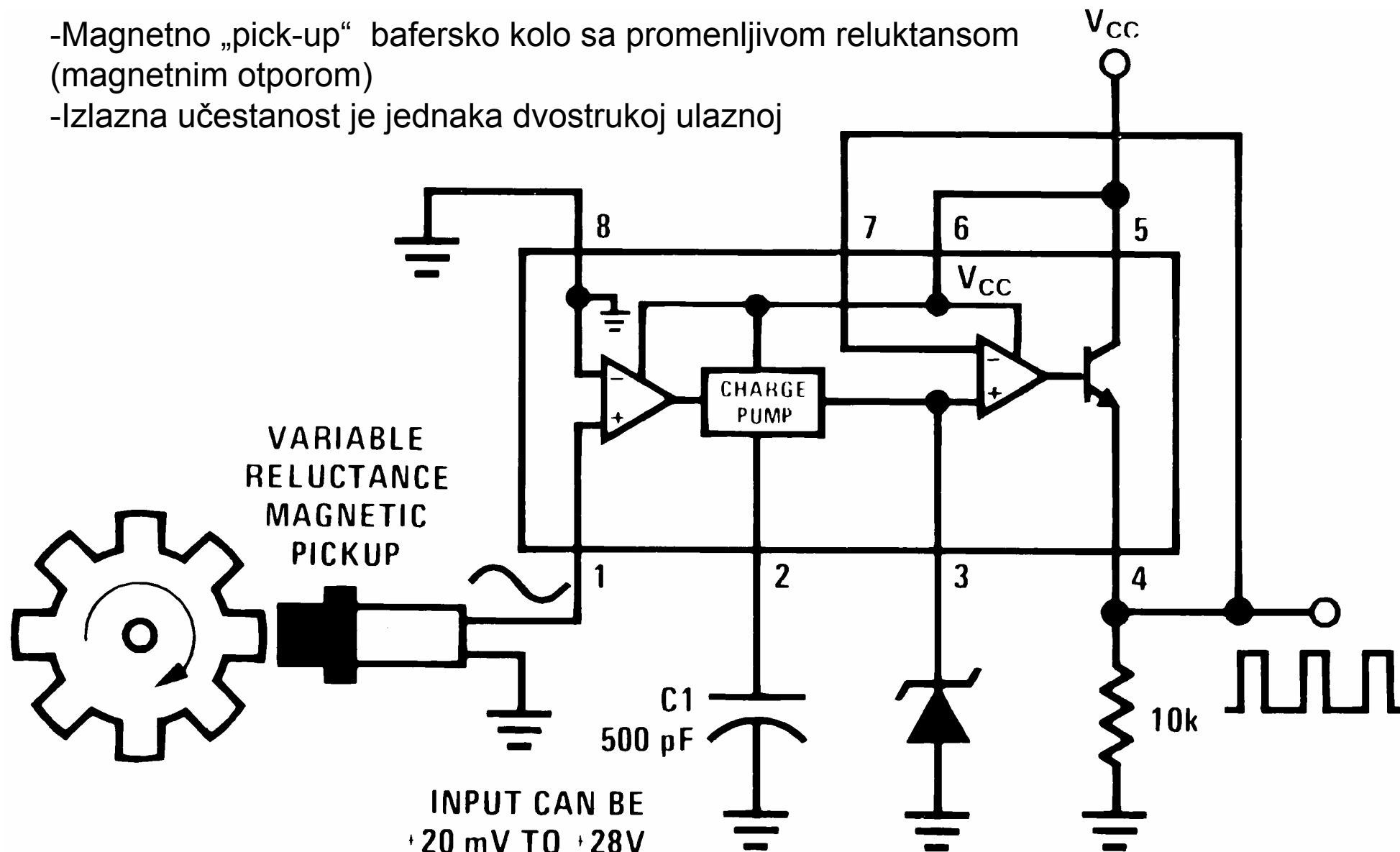
(a) induktivni



(b) kapacitivni

IC od Texas Instrumens: LM2907 sa ugrađenim „charge-pump“ kolom

- Magnetno „pick-up“ bafersko kolo sa promenljivom reluktansom (magnetnim otporom)
- Izlazna učestanost je jednaka dvostrukoj ulaznoj

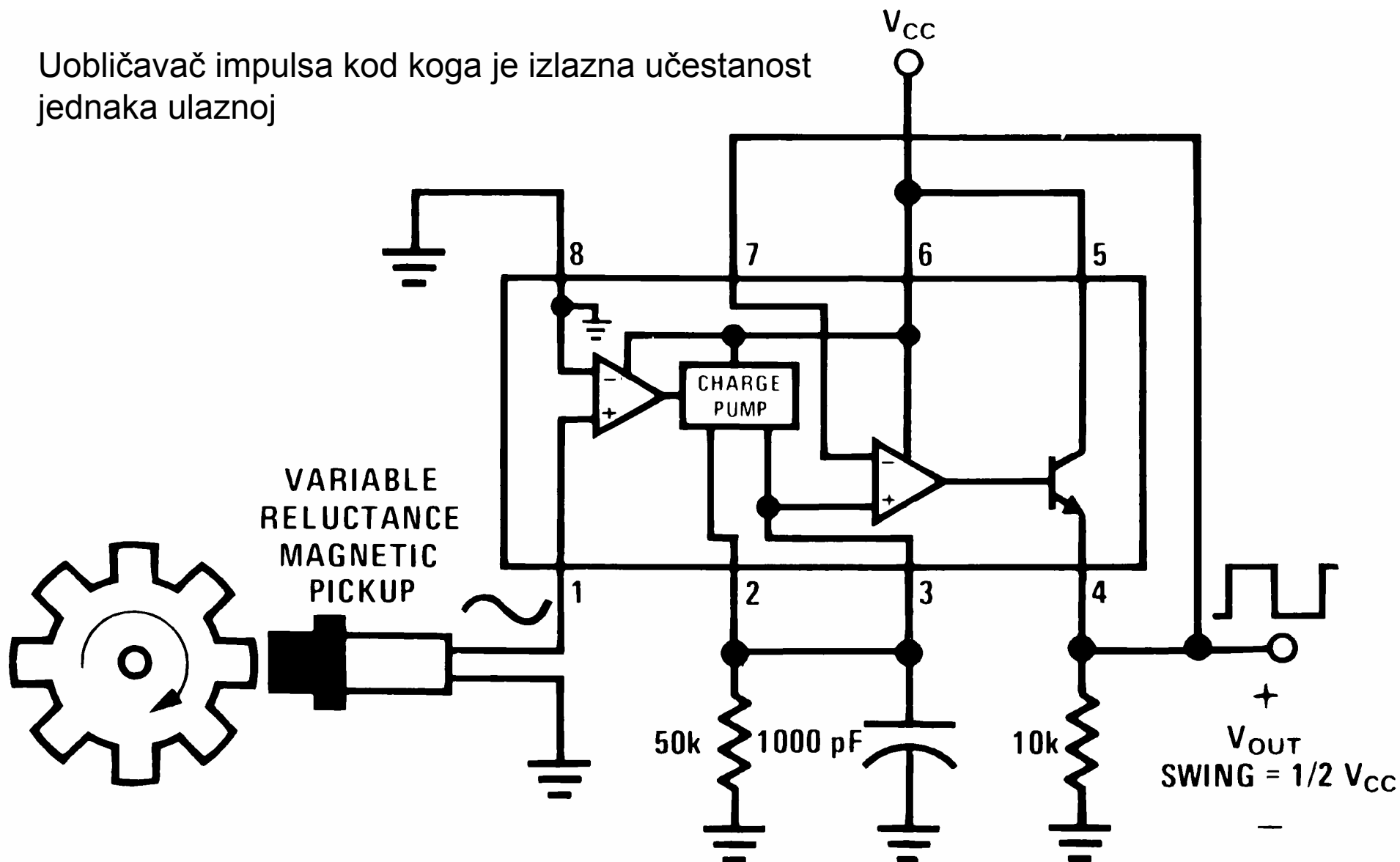


Širina izlaznih impulsa = $V_{CC}/2$ ($C1/I2$)

Visina izlaznih impulsa = V_Z

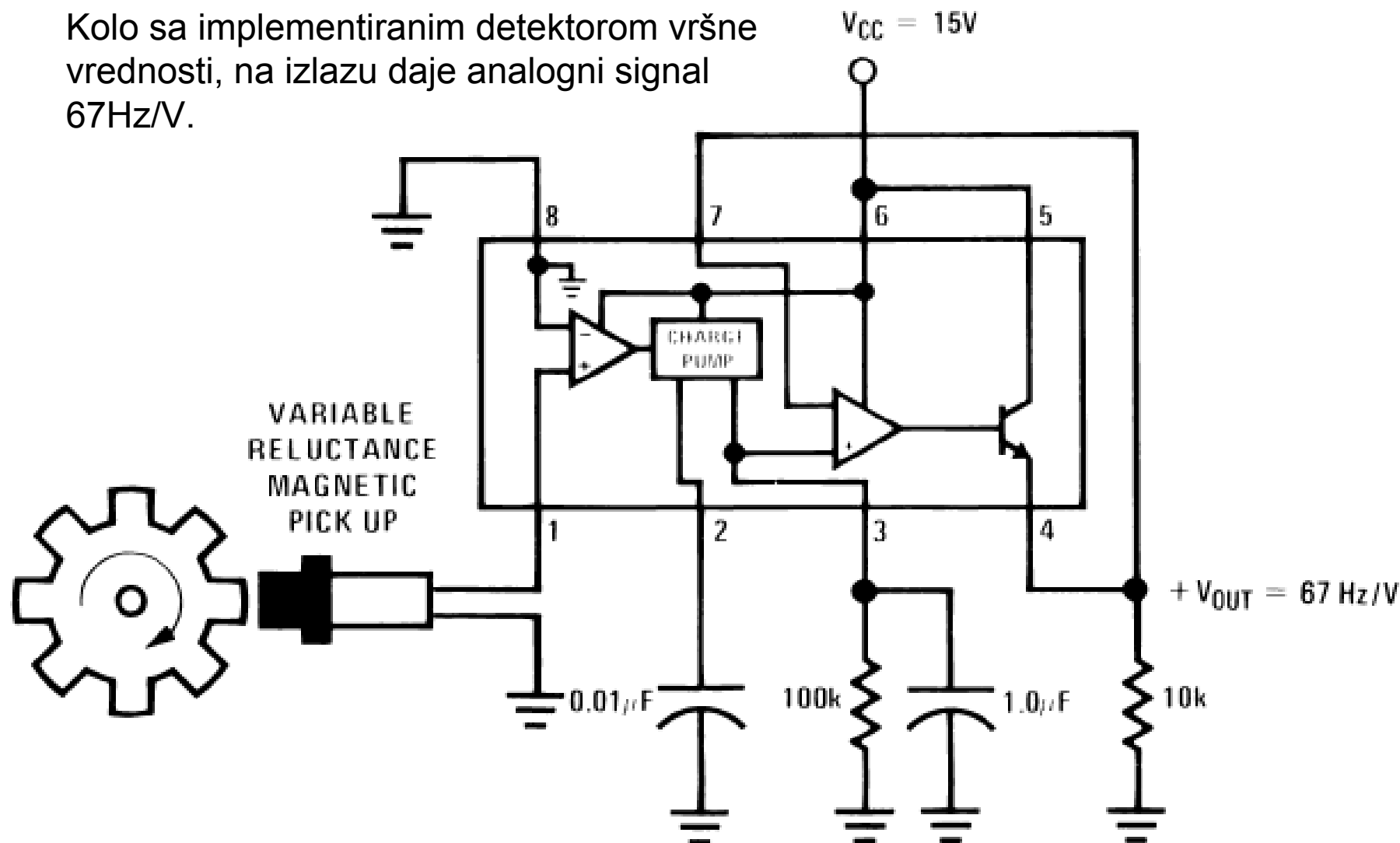
IC od Texas Instrumens: LM2907 sa ugrađenim „charge-pump“ kolom

Uobličavač impulsa kod koga je izlazna učestanost jednaka ulaznoj



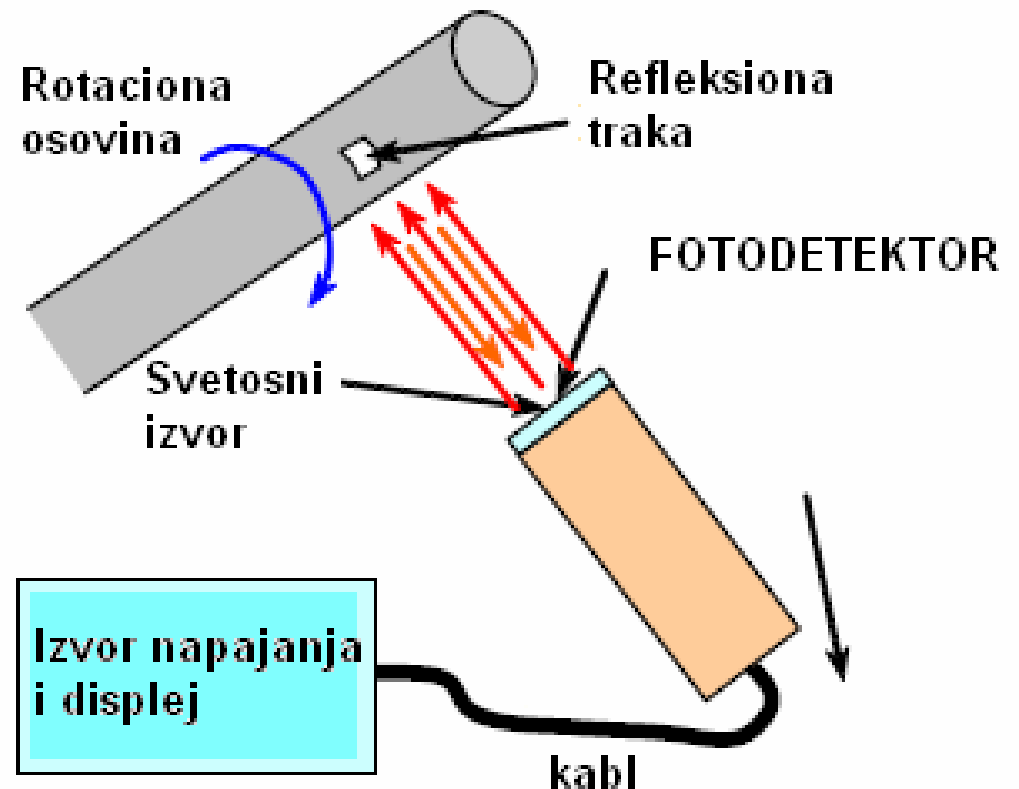
IC od Texas Instrumens: LM2907 sa ugrađenim „charge-pump“ kolom

Kolo sa implementiranim detektorom vršne vrednosti, na izlazu daje analogni signal 67Hz/V.



FOTOELEKTRIČNI TAHOMETAR

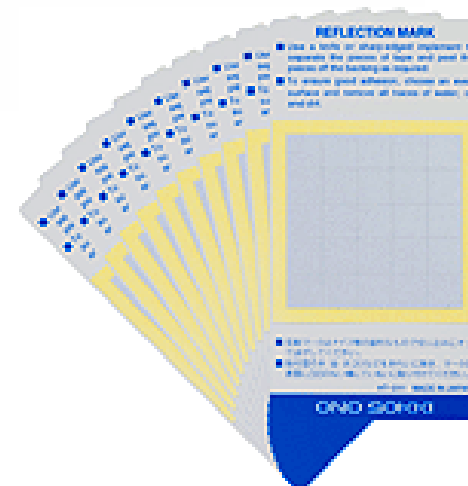
- Izvor svetlosti je sličan kao kod stroboskopa (stroboskopskog izvora svetlosti) . Ovaj izvor emituje svetlosni signal koji se reflektuje od rotacionog elementa.
- Fotodetektor (ustvari fotočelija) proizvodi impulse u trenucima kada primi impuls od reflektujuće trake koja je postavljena na rotacionu osovinu.
- Obzirom da reflektujuća svetlost proizvodi jedan impuls po rotaciji, jednostavno se može meriti broj impulsa odnosno izmereno vreme između impulsa.
- Najveći broj modernih fotoelektričnih tahometara ima digitalno pokazivanje u (ob/min) .



RUČNI FOTOELEKTRIČNI BESKONTAKTNI TAHOMETAR HT-4200



detektujuće
rastojanje
20mm....300mm



OPCIJE KORIŠĆENJA FOTOELEKTRIČNOG TAHOMETRA HT-4200



ZADACI

1. zadatak: Kolika greška u % se pravi ako se klizanje asinhronog motora

Izračunava preko brzine. Izmerena brzina obrtanja na vratilu motora je 1400 ob/min, a meri se sa tri tipa tahometara:

(1) centrifugalnim, (2) integralnim, (3) kvarcnim tahometrom?

2. zadatak: Momenat četvoropolnog asinhronog motora u praznom hodu iznosi 1% od momenta pri nominalnom opterećenju. Ako je nominalno klizanje 2%, potrebno je odrediti:

(a) Klizanje u brzinu u praznom hodu

(b) Vreme potrebno da stroboskopski krug prividno napravi jedan obrt pri nominalnom opterećenju i u praznom hodu

3. zadatak: Pri zaletanju asinhronog motora u trenutku uključenja se imaju najveće vrednosti struje rotora i kontra-elektromotorne sile (KEMS). Nakon zaletanja ove vrednosti opadaju. Šta brže opada KEMS ili struja?

HVALA NA PAŽNJI!!!

- PITANJA
- ???



Beograd, Novembar 2015