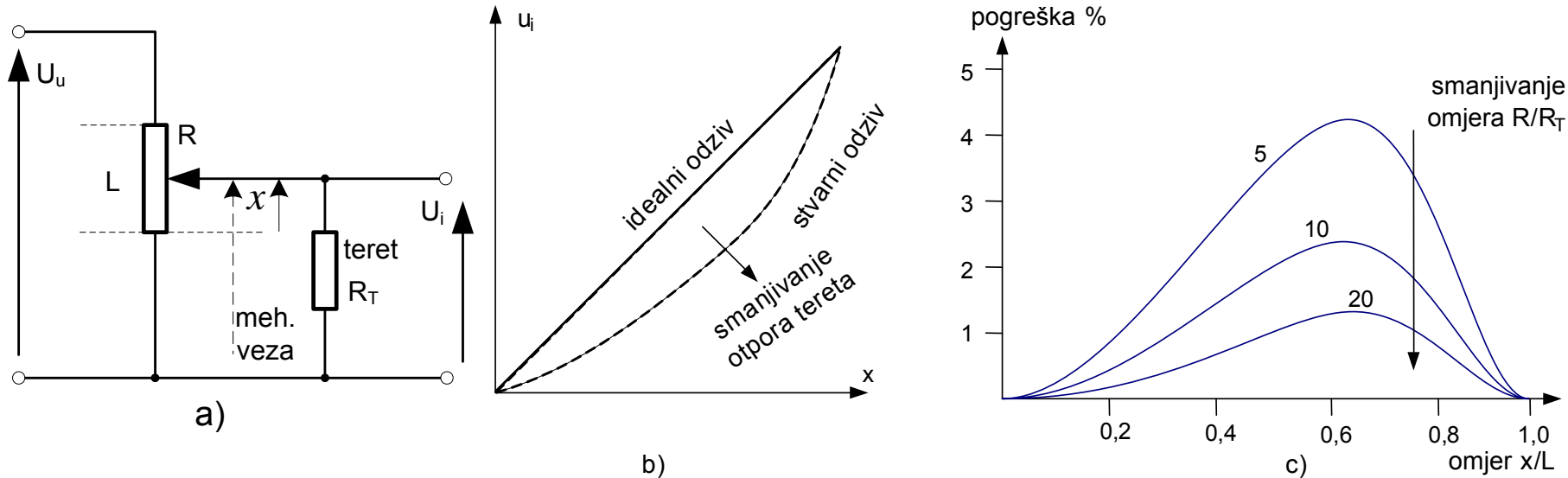


Senzori - otpornički pretvornici pomaka

a) Potenciometarski mjerni pretvornik

Pretvara PV *pomak* ili položaj (rotacijski ili translacijski) *u naponski signal*



Potenciometarski spoj a), statička karakteristika b) i ovisnost pogreške o teretu c).

$$u_i(t) = \frac{U_u}{L} \cdot x(t) \Rightarrow$$

$$k = \frac{U_u}{L} [V / m]$$

Translacijsko gibanje

Rotacijsko gibanje

$$u_i(t) = k \cdot \theta(t)$$

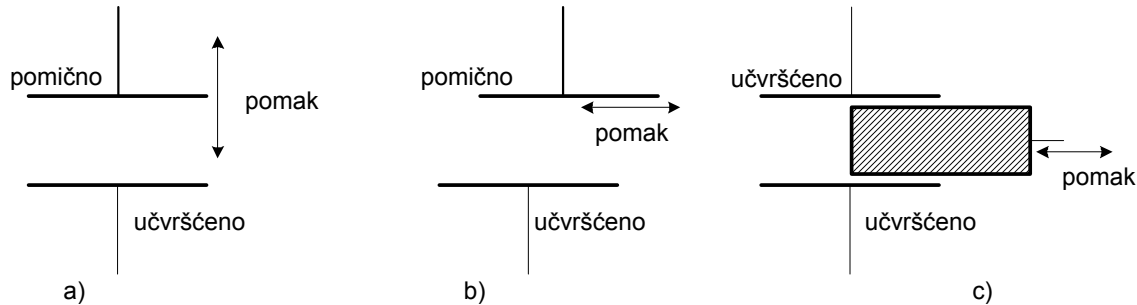
$$k \cdot 2\pi \cdot N = u_u(t) \Rightarrow$$

$$k = \frac{u_u}{2\pi N} [V / rad]$$

$N \Rightarrow$ broj okretaja višeokretajnog potencijometra

Senzori - **kapacitivni** pretvornici pomaka

b) Kapacitivni pretvornici pomaka



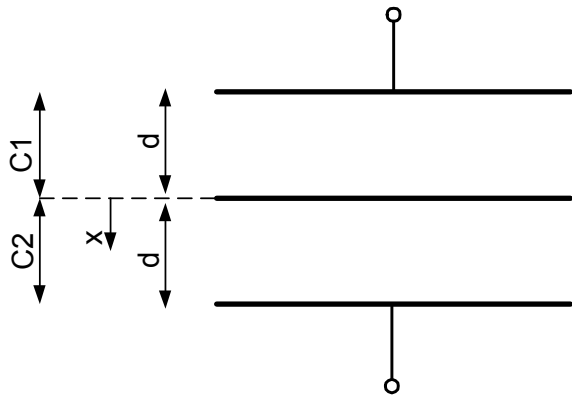
$$C = \frac{\varepsilon \cdot A}{d}$$

Načela rada kapacitivnog davača pomaka , promjenom **razmaka ploča**, efektivne **površine** i **dielektrične konstante**.

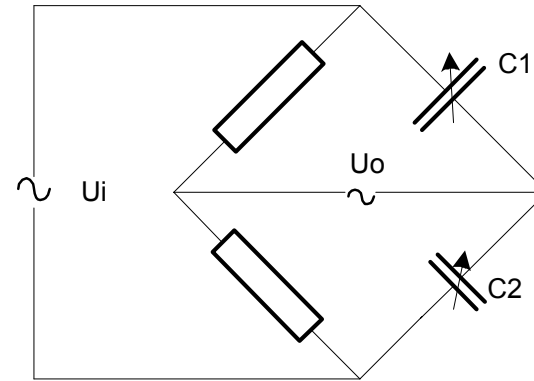
Načini mjerenja promjene kapaciteta

- Strujno-naponska, **na osnovi strujno naponskih mjerenja** u električnom krugu s kapacitivnim mjernim pretvornikom **indirektno računa vrijednost kapaciteta**, a nakon **umjeravanja** može se dobiti vrijednost procesne varijable
- Mjerenjem **promjene frekvencije koja nastaje promjenom kapaciteta** mjernog pretvornika u LC oscilatorima,
- Primjenom **diferencijalne metode mjerenja**, tj. mjerenjem **diferencijalnog kapaciteta** mjernog pretvornika (kondenzatora) koji se sastoji iz tri ploče

Senzori - **kapacitivni** pretvornici pomaka



a)



b)

Tropločni kapacitivni pretvornik pomaka a) i izmjenični diferencijalni mjerni most za detekciju promjene kapaciteta kondenzatora

$$C_1 = C_0 \cdot \frac{d}{d+x} \quad C_2 = C_0 \cdot \frac{d}{d-x}$$

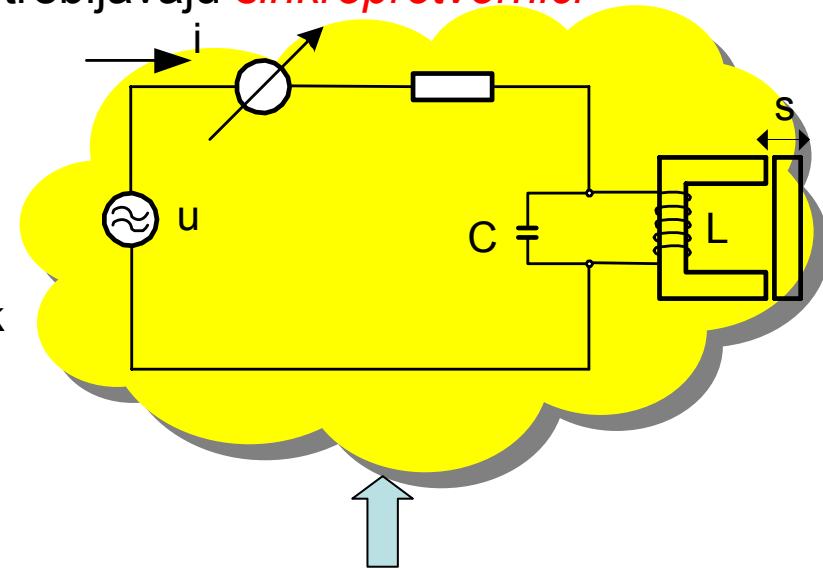
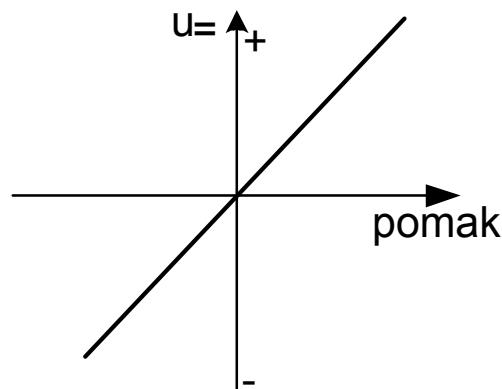
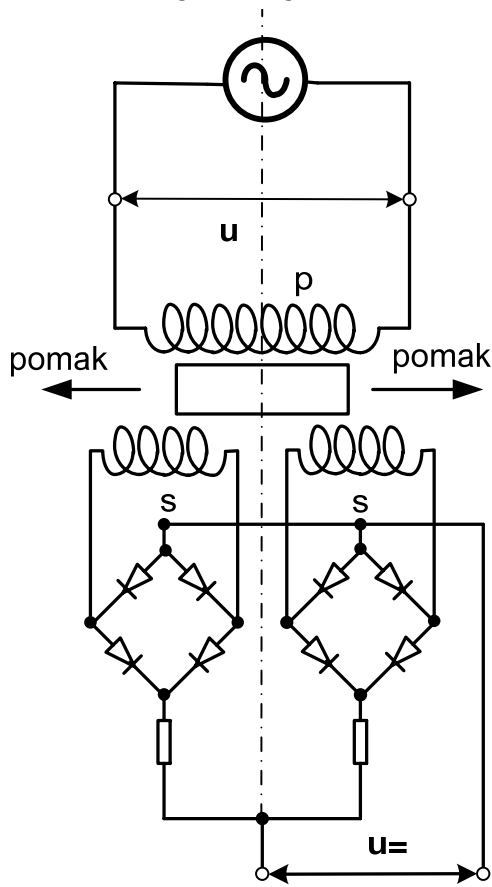
$$U_0 = U_i \cdot \left(\frac{d+x}{2 \cdot d} - \frac{1}{2} \right) = \frac{U_i \cdot x}{2 \cdot d}$$

- Tropločni kapacitivni pretvornik pomaka a) i izmjenični diferencijalni mjerni most za detekciju promjene kapaciteta kondenzatora
- Važno, **linearna ovisnost napona o pomaku**.

Senzori - **induktivni** pretvornici pomaka

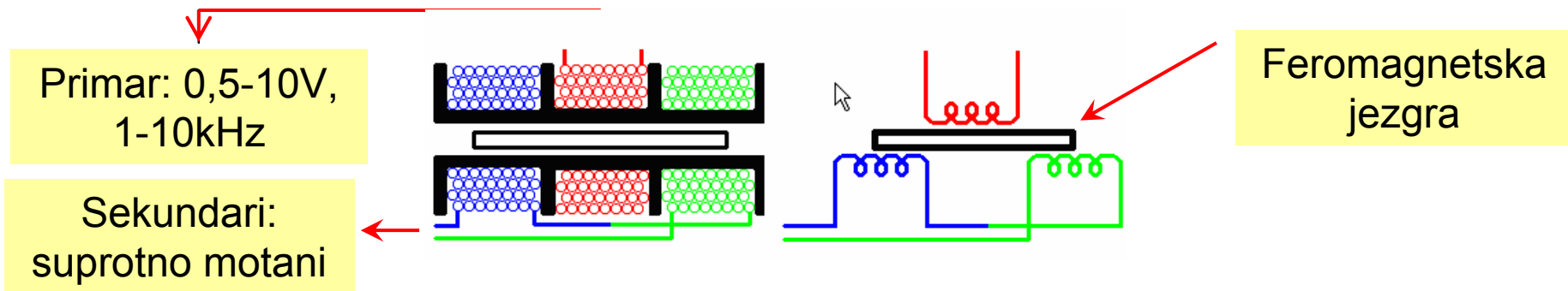
c) Induktivni pretvornici pomaka

- Mjerni pretvornici kod kojih **pomak** utječe na **promjenu induktiviteta zavojnice**
- Za mjerenje **pravocrtnih pomaka** najčešće se upotrebljavaju **diferencijalni transformator i induktivni most**.
- Za mjerenje **kutnih pomaka** najčešće se upotrebljavaju **sinkropretvornici**

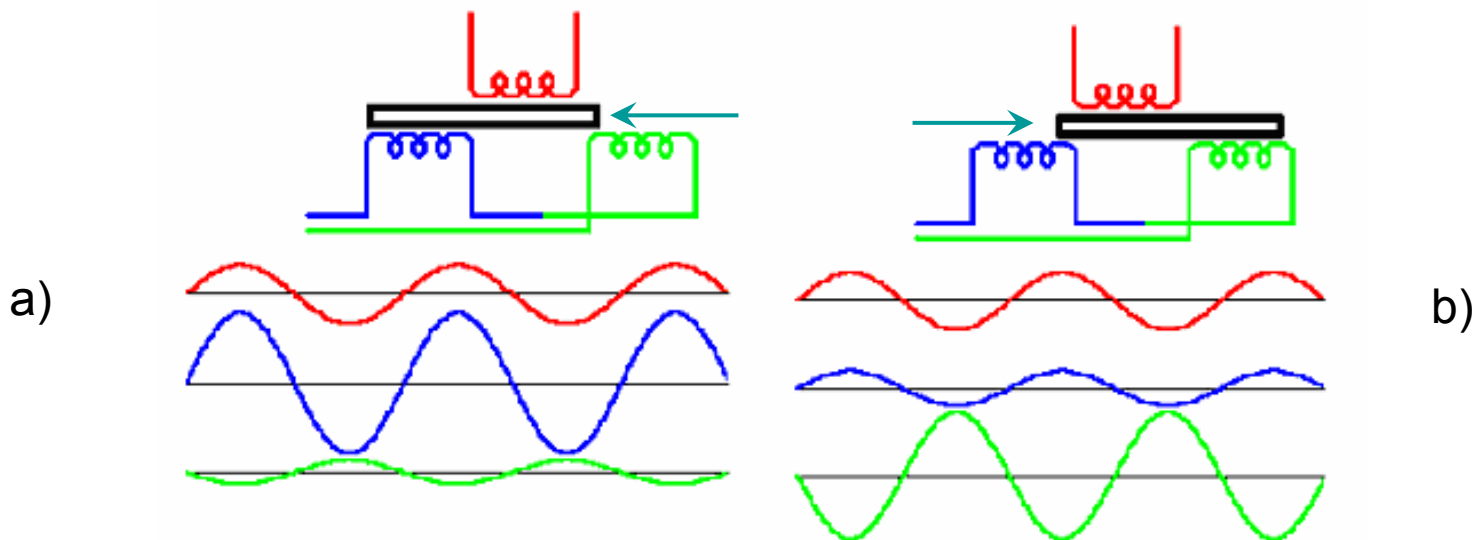


Pomak kotve uzrokuje promjenu reluktancije kruga i induktiviteta zavojnice pa time i promjenu struje u krugu. C se dodaje da bi se poboljšala linearnost pretvornika.

Senzori - LVDT pretvornici pomaka

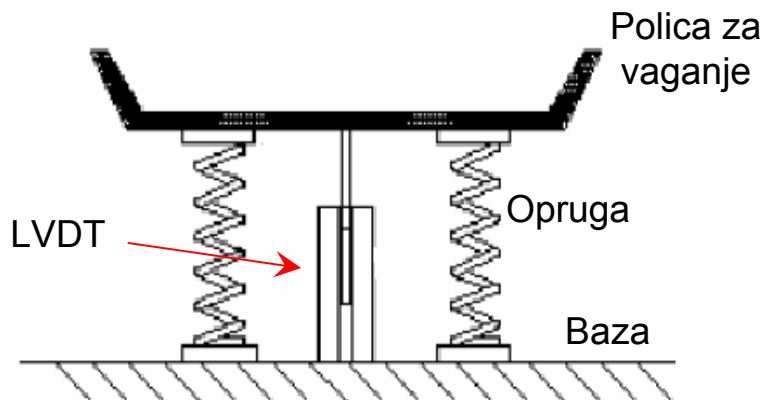
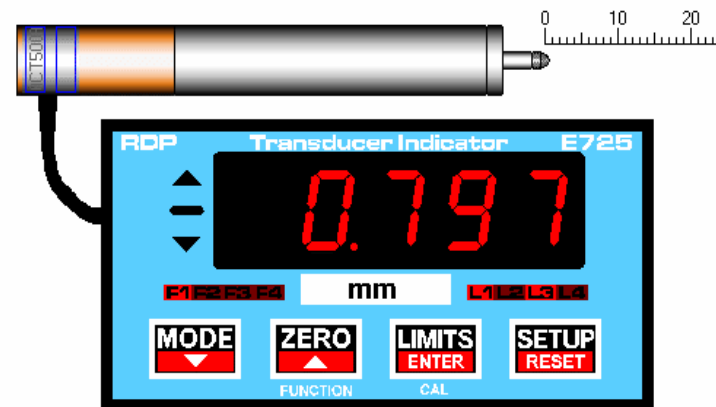
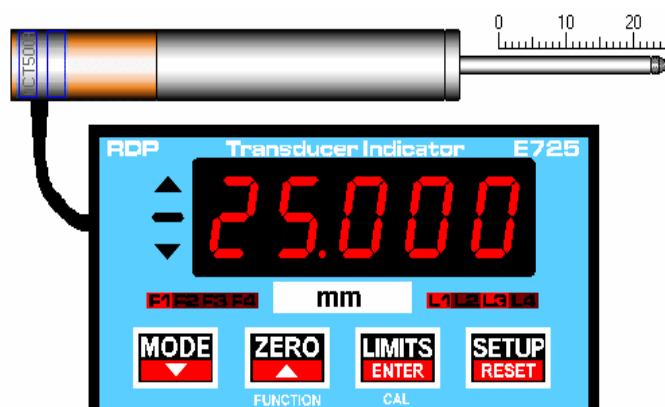


Konstruktivna izvedba LVDT-a i shematski prikaz



Inducirani naponi u sekundaru LVDT-a za krajnji lijevi a) i krajnji desni b) položaj pomične jezgre. Za središnji položaj jezgre naponi sekundara su suprotni i jednaki

Senzori - LVDT pretvornici pomaka

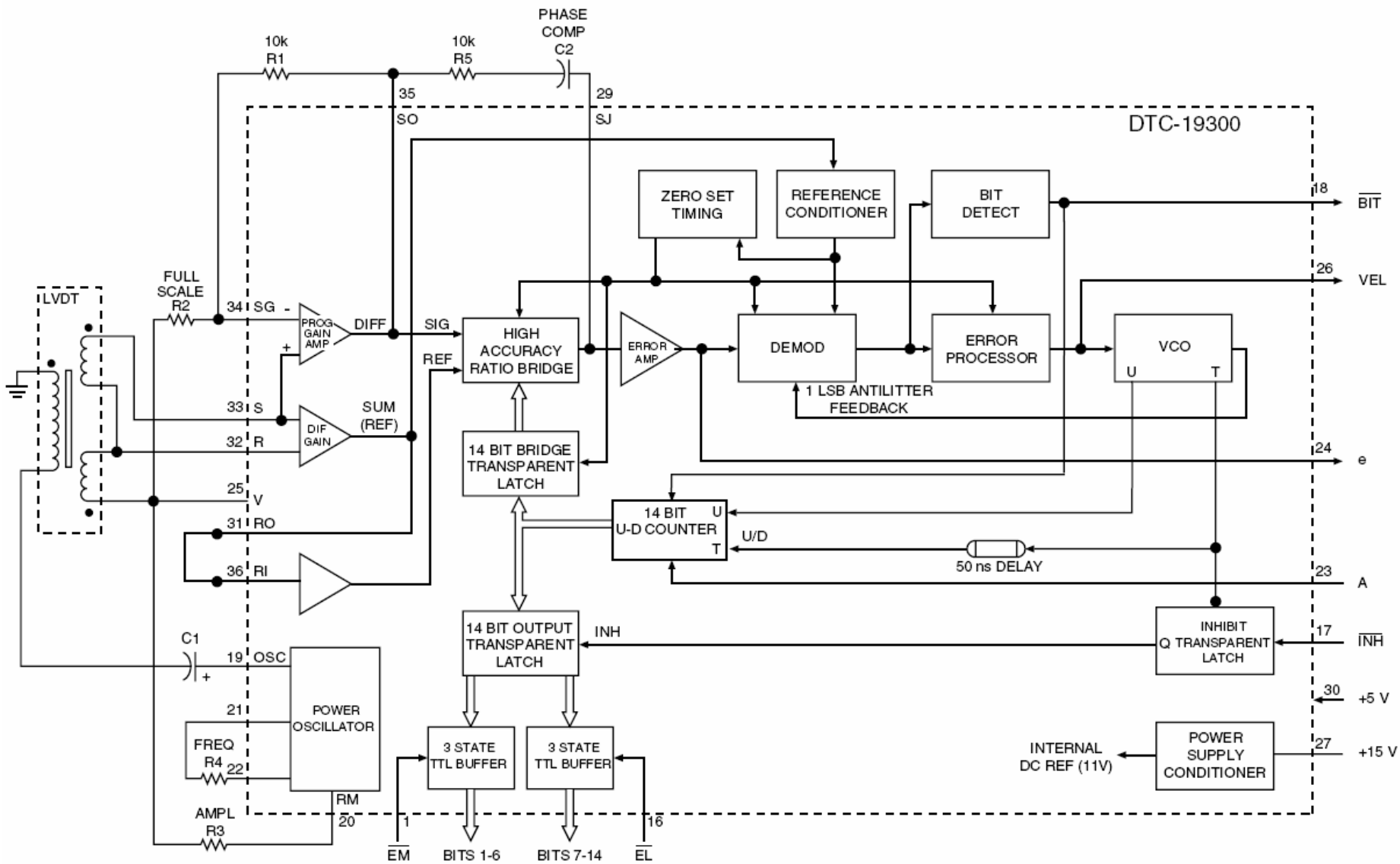


Primjena LVDT-a za mjerenje dužine (gore) i težine (dolje) vaganje

Senzori - LVDT pretvornici pomaka

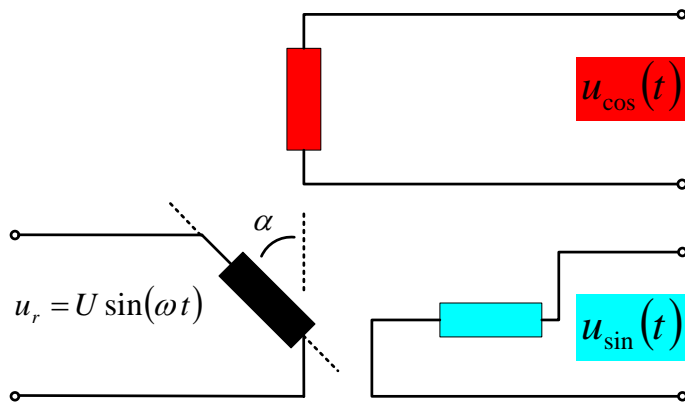
- Za pretvorbu LVDT formata u digitalni podatak koristi se digitalni konverter (primjer, **2S54, 2S56, 2S58** od proizvođača **Analog Devices**)
- Extremna **visoka ponovljivost** (stabilnost) i izuzetno **visoka rezolucija** (primjer, ukupan pomak (hod) jezgre od **1mm s rezolucijom od 0,061 μ m** (14 bitni podatak), a moguće je dobiti i **1,22nm!!!**)
- **Linearnost** bolja od **0,01%**
- Uz **Three state output buffers** (bistabili s tri stanja, **ON, OFF, stanje visoke impedancije**) osigurava se direktan pristup sabirnici podataka. Linije za komunikaciju s procesorom su INHIBIT, BUSY, ENABLE M i ENABLE L)

Senzori - LVDT/Digital pretvornik



Senzori - Rezolver (1)

- *Rotorski namot* se napaja *izmjeničnim naponom frekvencije 2-5(10) kHz* a u *statorskim namotima* se inducira napon čija *amplituda ovisi o kutu zakreta* (položaju) rotora.



$$u_r(t) = U_{mr} \sin(\omega t)$$

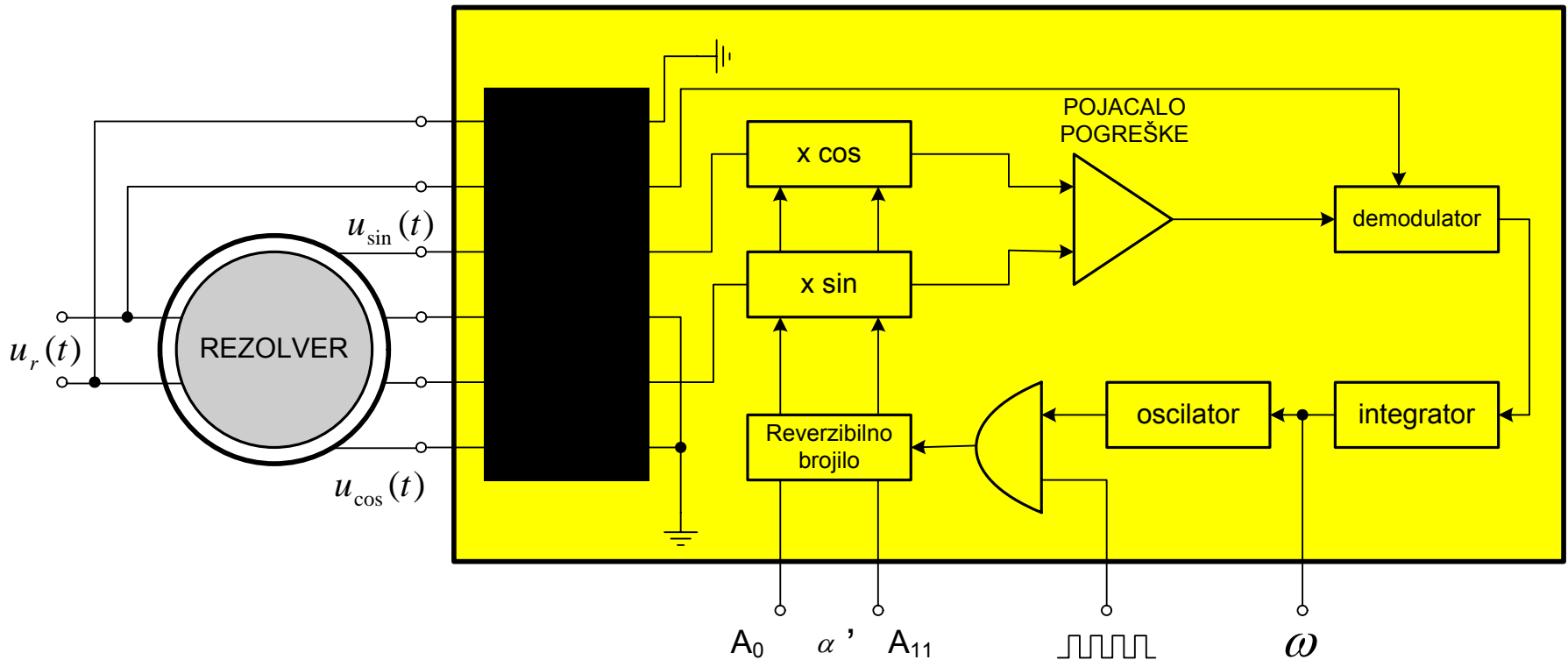
$$u_{\sin}(t) = k_r U_{mr} \sin(\omega t) \cdot \sin \alpha$$

$$u_{\cos}(t) = k_r U_{mr} \sin(\omega t) \cdot \cos \alpha$$

- Kod *BIM-a sa sinusnim strujama* koristi se kao *visokorezolucijski mjerni član položaja i brzine vrtnje* motora

Senzori - Rezolver (3)

R/D pretvornik



Na ulazu u pojačalo pogreške

$$u'_{\sin}(t) = k_r U_r \sin(\omega t) \cdot \sin \alpha \cos \alpha'$$

$$u'_{\cos}(t) = k_r U_r \sin(\omega t) \cdot \cos \alpha \sin \alpha'$$

Na izlazu iz pojačala pogreške

$$u_e(t) = k_r U_r \sin \omega t (\sin \alpha \cos \alpha' - \cos \alpha \sin \alpha')$$

Nakon demodulacije

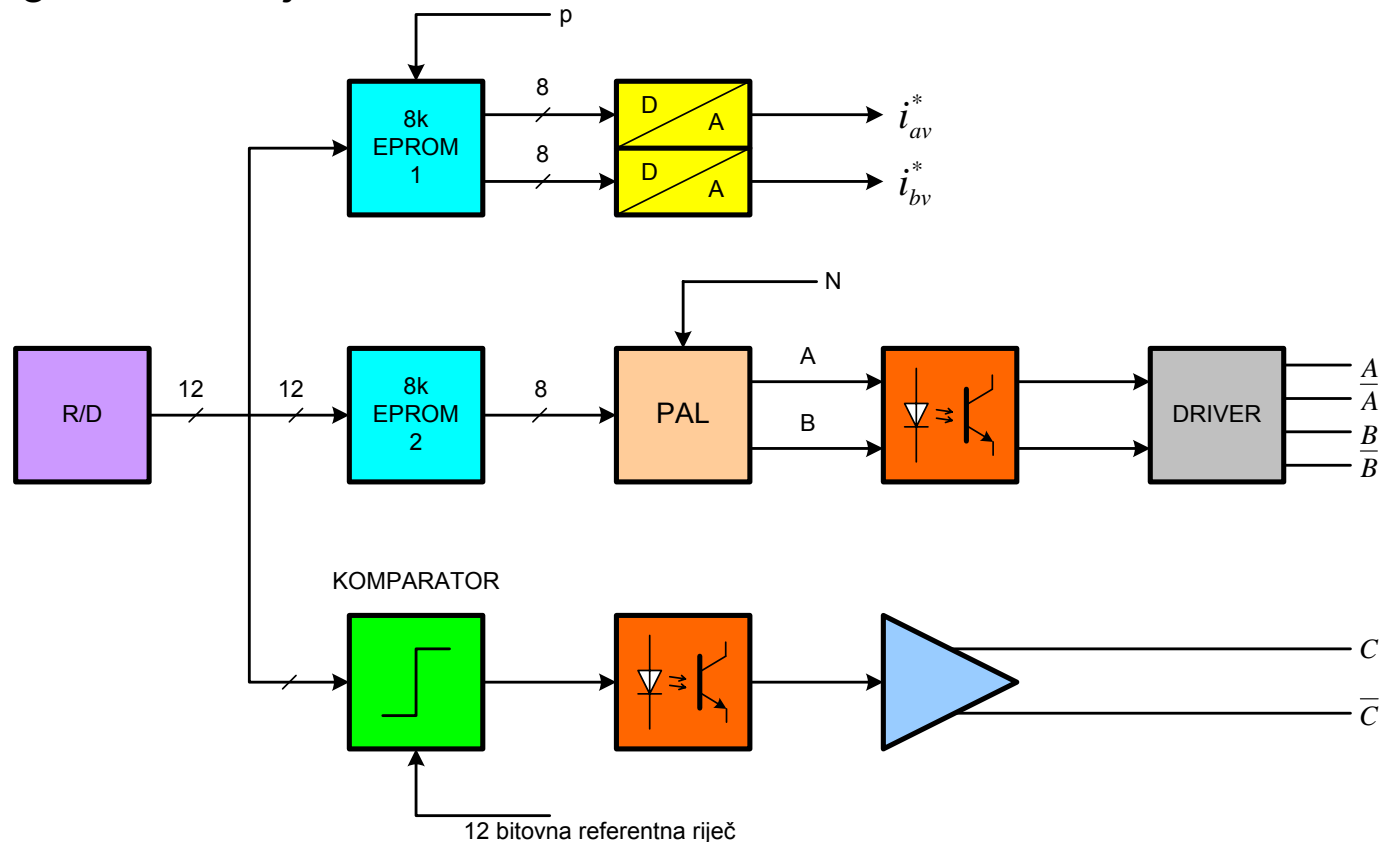
$$u_{ed}(t) = k'(\alpha - \alpha')$$

Brojilo se puni do izjednačavanja kuteva, $u_{ed}=0$

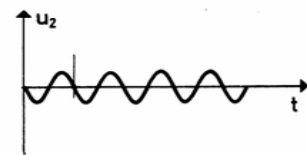
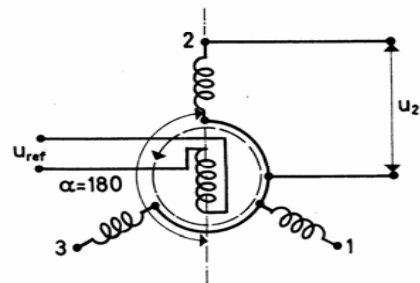
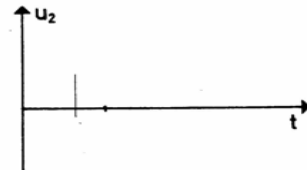
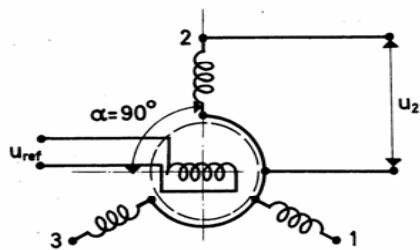
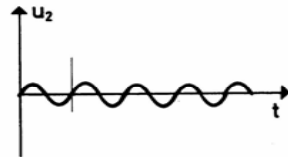
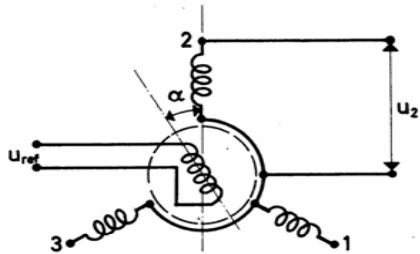
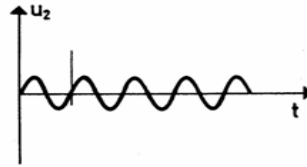
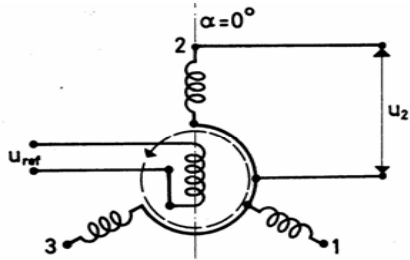
Senzori - Resolver (4)

Primjena kod BIM-a sa sinusnim strujama:

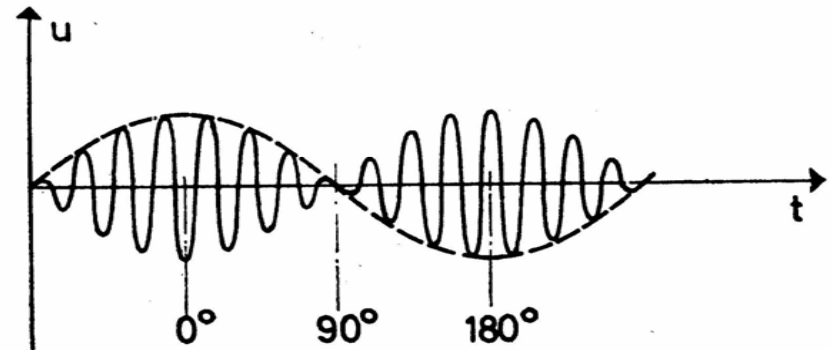
- digitalni podatak položaja rezolucije 12-16 bita
- zapis referentnih jediničnih sinusnih struja za krug regulacije statorskih struja
- analogni signal brzine vrtnje za krug regulacije brzine vrtnje
- emulirani enkoder impulsi kao moguća povratna veza po brzine vrtnje za digitalni regulacijski krug brzine vrtnje



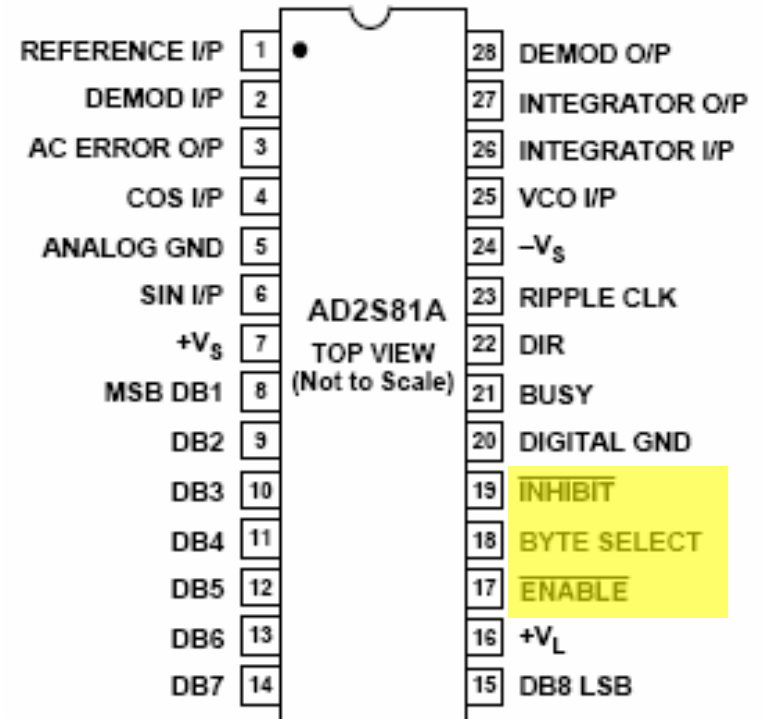
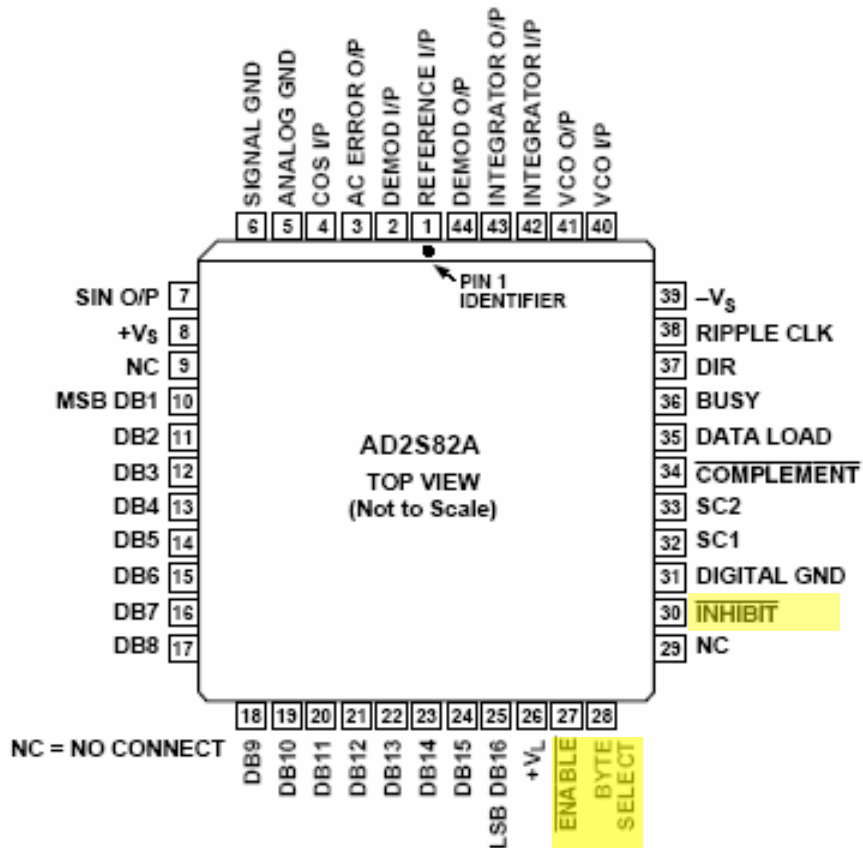
Senzori - Selsin (Sinkro)



$$\begin{aligned}
 U_1 &= U_{\max} \cos \alpha &= k_r U_r \sin \omega t \cdot \cos \alpha \\
 U_2 &= U_{\max} \cos(\alpha - 2\pi/3) &= k_r U_r \sin \omega t \cdot \cos(\alpha - 2\pi/3) \\
 U_3 &= U_{\max} \cos(\alpha - 4\pi/3) &= k_r U_r \sin \omega t \cdot \cos(\alpha - 4\pi/3)
 \end{aligned}$$

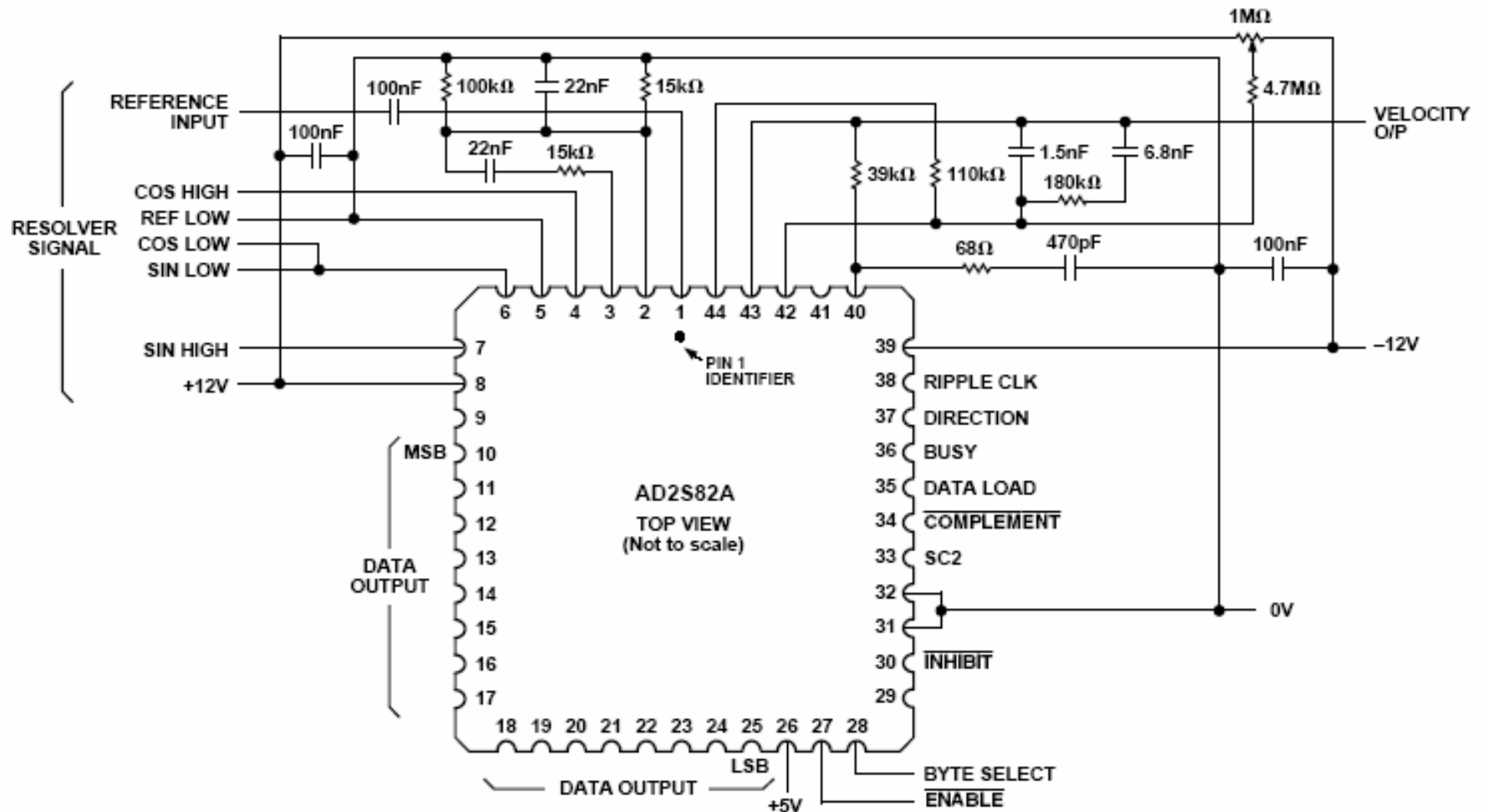


Senzori - Resolver (5)



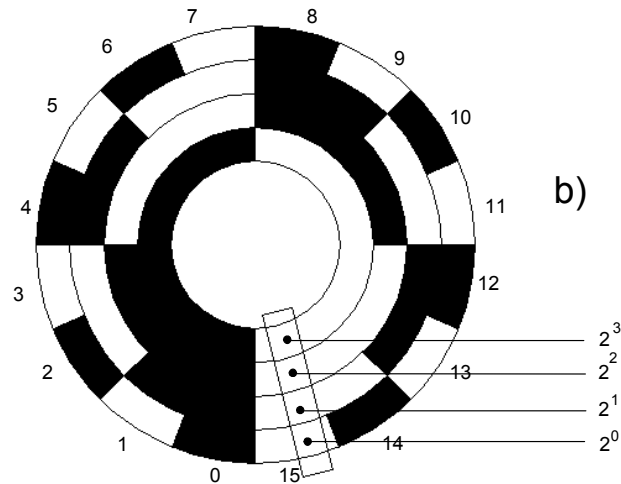
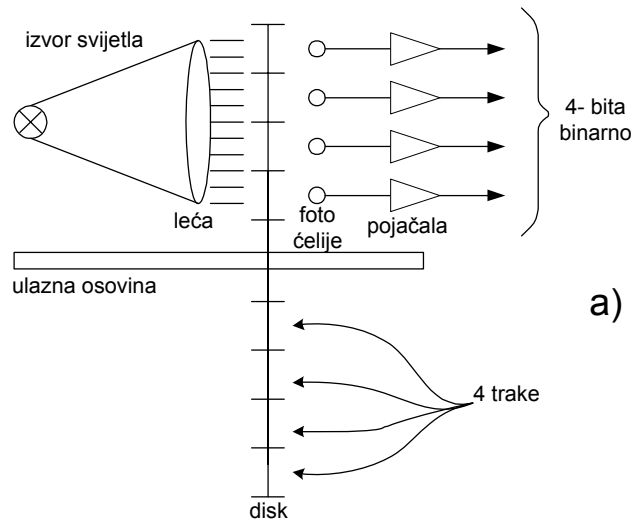
- Komercijalna izvedba R/D pretvornika 2S82 u SMD tehnici a) i 2S81 u klasičnoj verziji DIP kućišta b), Analog Devices.
- Digitalni izlaz (12-16 bitni) je dostupan u 2 byte-a, tipa *three state (ON, OFF, visoka impedancija)*. Direktna komunikacija s procesorom preko sabirnice podataka. Linije za komunikaciju su **INHIBIT, BYTE SELECT, ENABLE**)

Senzori - Resolver (6)

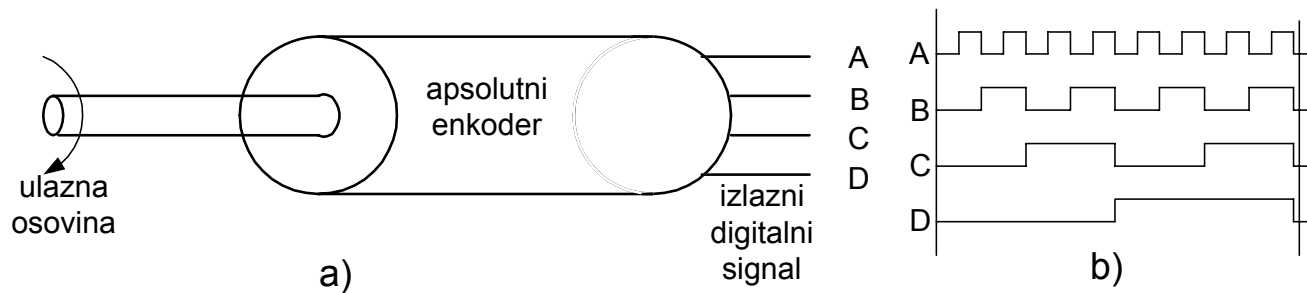


Pasivna mreža za siguran (stabilan) rad oko 2S82 R/D pretvornika

Senzori - Apsolutni enkoder (1)



Optički apsolutni enkoder, načelo rada a), 4-bitni disk b)



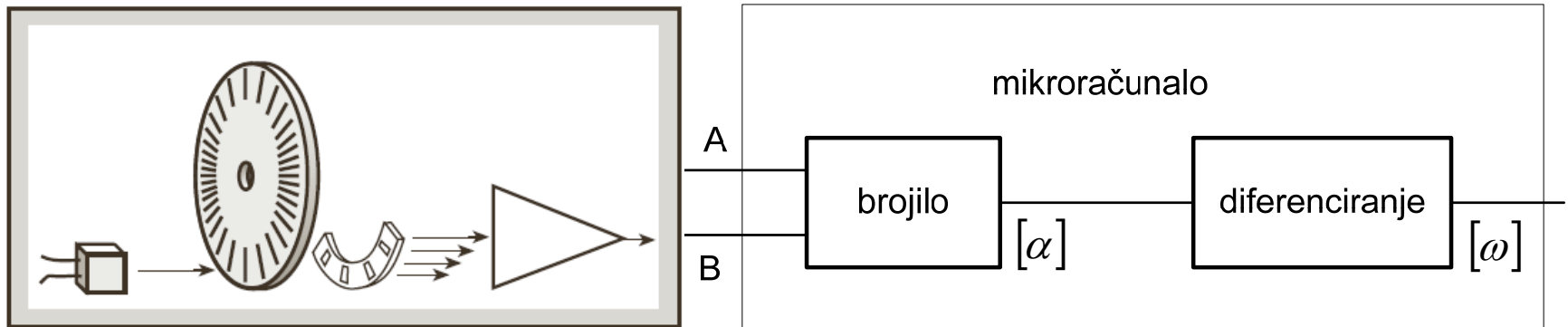
Apsolutni enkoder, shematski prikaz a), stanja digitalnih izlaza b).

Senzori - Apsolutni enkoder (2)

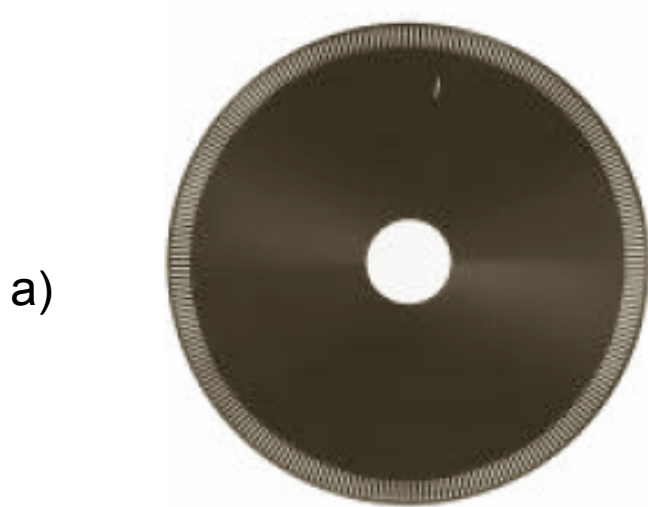
Karakteristike:

- Radi na optičkom načelu. Svjetlost prolazi kroz odgovarajuću matricu i aktivira fotoosjetljivu električnu komponentu koja radi u sklopnom režimu.
- Broj od “N” traka na rotirajućem disku definira *broj bitova digitalnog zapisa* kuta (pozicije), a samim tim i rezoluciju
- Svi mjerni članovi pozicije (pomaka) koji daju digitalni format kao izlaznu veličinu mogu se koristiti *i kao mjerni članovi brzine*.
- Kolika je rezolucija digitalnog zapisa kuta (u rad) sa izvedbom rotirajućeg diska prema prethodnoj slici??

Senzori - Inkrementalni enkoder (1)



Dobivanje informacija o brzini vrtnje na osnovi impulsa s **apsolutnog** enkodera



Rotirajući disk inkrementalnog a) i apsolutnog b) enkodera

Senzori - Inkrementalni enkoder (2)

Karakteristike:

- Inkrementalni enkoderi su najjednostavniji uređaji za mjerenje položaja i brzine, ali **ne daju apsolutni položaj** kao potencimetri, selsini ili apsolutni enkoderi.
- U najjednostavnijoj varijanti **koristi se jedan impulsni niz** pri čemu se impulsi broje nekim vanjskim brojačem s ciljem dobivanja informacije o brzini i poziciji.
- Jedan impulsni niz ne može dati informaciju o smjeru brzine vrtnje. U tom slučaju se koristi dvokanalni inkrementalni enkoder, koji generira **dva slijeda impulsa A i B** međusobno fazno pomaknutih za 90°, na osnovi kojih se određuje smjer vrtnje (sliku!).

Metode mjerenja brzine vrtnje na osnovi impulsa s enkodera:

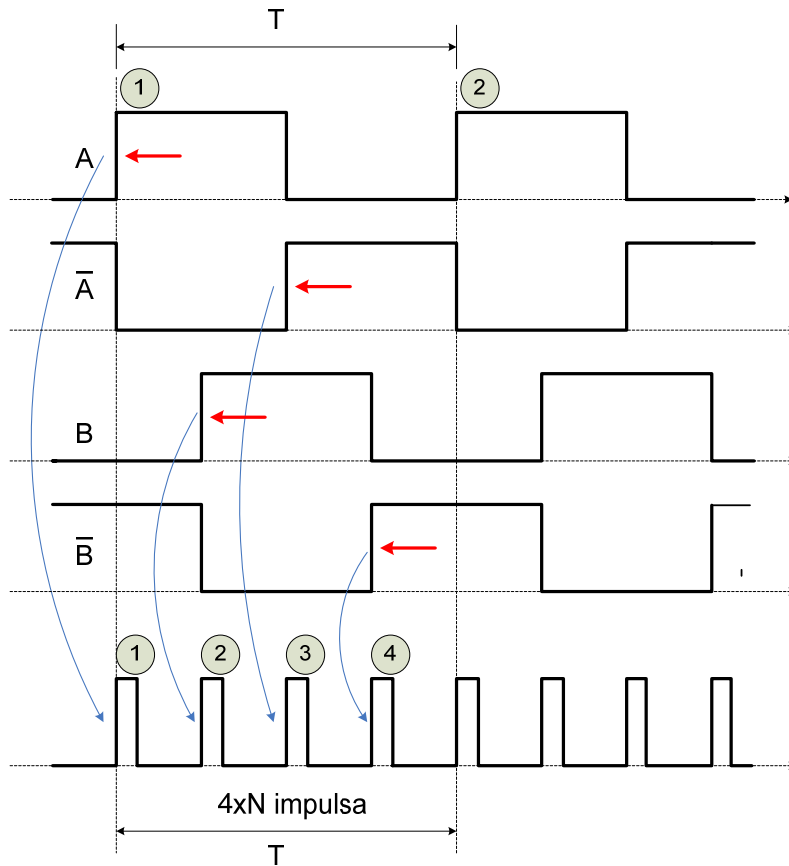
- **M-metoda.** Brojanje impulsa u definiranom vremenskom intervalu **T** (za velike brzine)

$$R[rpm] = \frac{60}{N[imp / okr] \cdot T[s]}$$

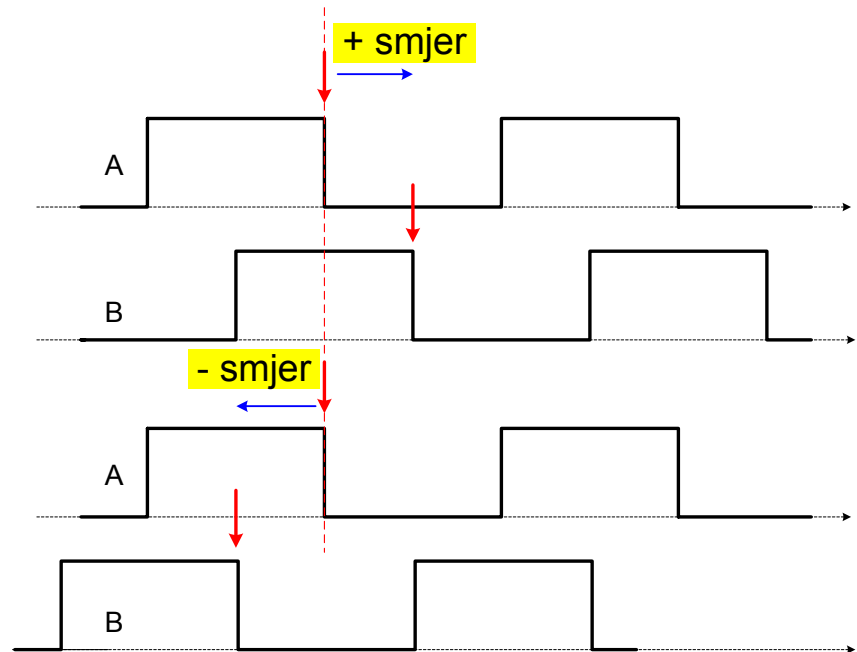
- **T-metoda.** Mjerenje vremena između dva susjedna impulsa (za male brzine)
- **M/T metoda.** Kombinacija M i T metode

Senzori - Inkrementalni enkoder (3)

Učetverostručenje impulsa

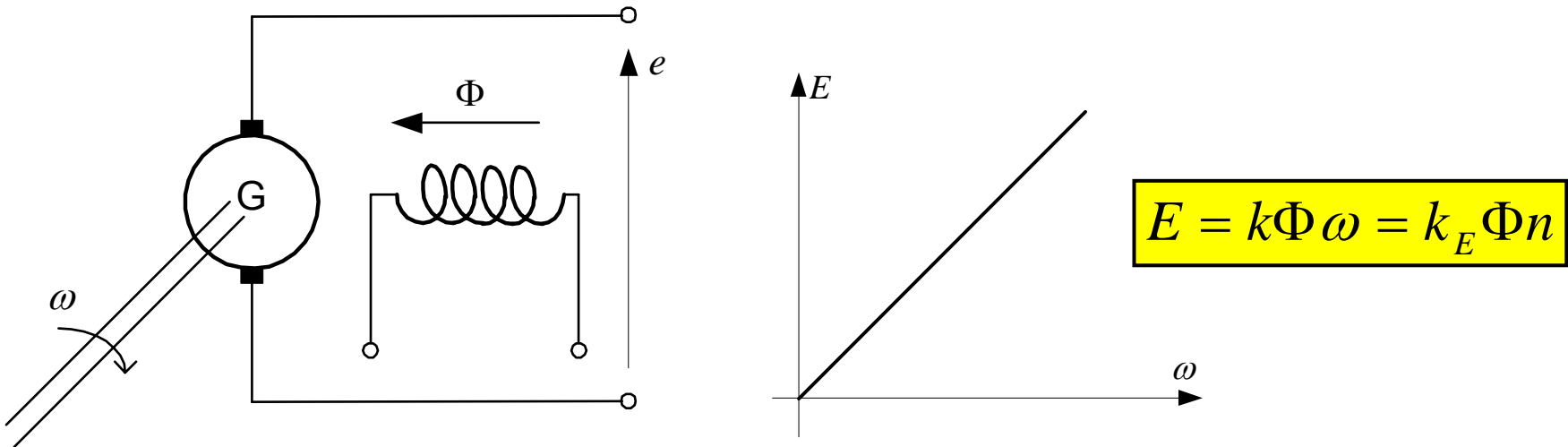


Određivanje smjera vrtnje



Senzori - Tahogenerator

- Tahogenerator je rotacijski stroj koji daje *napon proporcionalan brzini vrtnje*.
- Tahogenerator *istosmjernog napona* sličan je po funkciji istosmjernom generatoru u kojem je tok konstantan.



- Konstantan tok postiže se uglavnom *permanentnim magnetom*,
- Struja opterećenja mora biti ograničena tako da inducirani napon bude jednak naponu na strani tereta ($E=U$)
- Na taj način se održava *linearan odnos između napona na strani tereta* (mjernog uređaja) *i brzine vrtnje*.
- Izlaz tahogeneratora mora biti zaključen visokom impedancijom (*iznad 100k Ω*)

Senzori - Tahogenerator (2)

- Iznos faktora pojačanja (osjetljivosti) današnjih komercijalnih izvedbi tahogeneratorskih kreće se između $(60-80)V/1000\text{ rpm}$. U manjoj mjeri se pojavljuju izvedbe $10V/1000\text{rpm}$.
- Zbog zahtjeva na visoku točnost (mjerni član !!!), uvodi se niz dodatnih poboljšanja pri projektu i konstrukciji kao i složeni i precizni postupci u izradi.