

PRETVORNICI POMAKA:

Najčešće upotrebljavani pretvornici – mnoge druge fizikalne veličine se pretvaraju u električne indirektno preko pomaka.

PODJELA:

- linearni
- kutni (rotacijski)

IZVEDBE:

- otpornički
- kapacitivni
- induktivni
- magnetski
- ultrazvučni
- optički
- digitalni enkoderi

OTPORNIČKI PRETVORNICI POMAKA:

PODJELA:

- za mjerenje linearnog pomaka
 - o linearni ("šiber") potenciometar
 - o sa užetom (sajlom)
- za mjerenje kutnog pomaka
 - o 1-okretajni
 - o višeokretajni (3, 5 ili 10) – helikoidalni
 - o višeokretajni (10 ili 20) – linearni pretvaraju rotacijsko u linearno gibanje
 - o rotacijski (bez ograničenja broja okretaja, na osovini motora, mali moment trenja)

NAČIN SPAJANJA:

Najčešće se koriste u potenciometarskom spoju

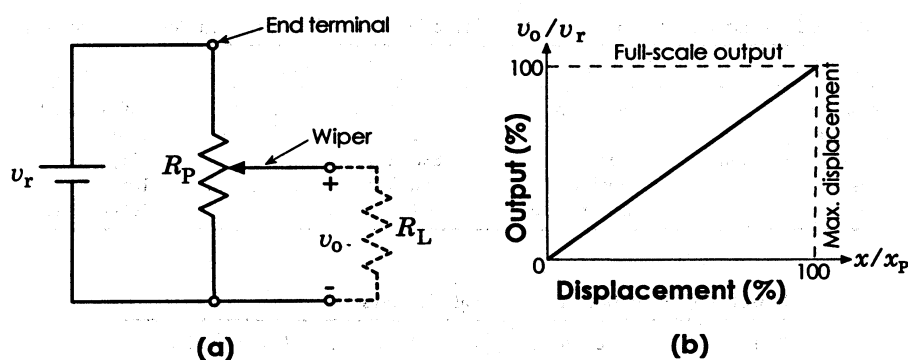


FIGURE 6.2 (a) Schematic diagrams depict a potentiometer as a resistor with an arrow representing the wiper. This schematic shows a pot used as a variable voltage divider — the preferred configuration for precision measurement. R_P is the total resistance of the pot, R_L is the load resistance, v_r is the reference or supply voltage, and v_o is the output voltage. (b) shows an ideal linear output function where x represents the wiper position, and x_P is its maximum position.

NELINEARNOST USLIJED NESAVRŠENOSTI IZRADE:

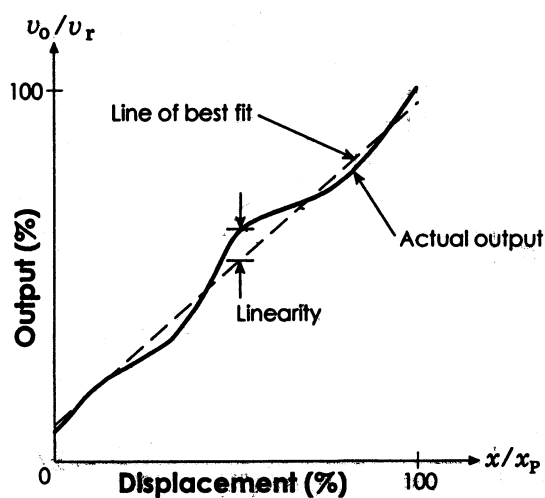


FIGURE 6.3 Independent linearity is the maximum amount by which the actual output function deviates from a line of best fit.

NELINEARNOST USLIJED OPTEREĆENJA:

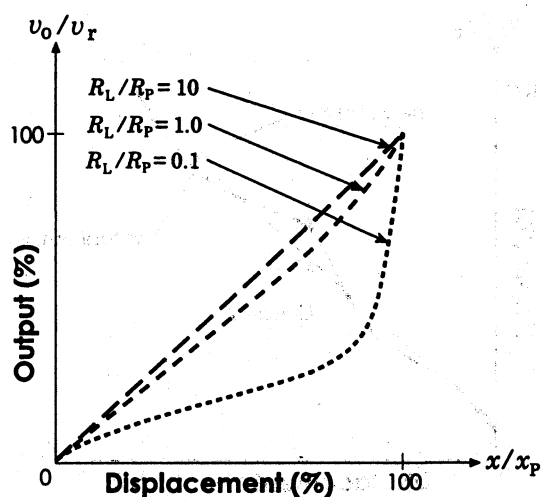
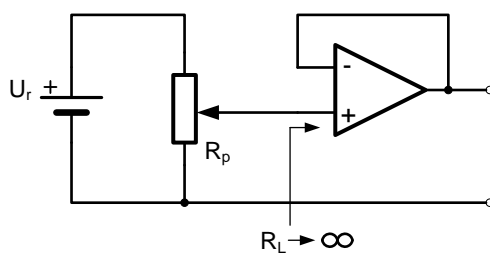


FIGURE 6.4 Linearity can be greatly influenced by the ratio of load resistance, R_L , to potentiometer resistance, R_p .

Da bi omjer otpora R_L/R_p bio čim veći na izlazu otporničkog pretvornika pomaka u potenciometarskom spoju stavlja se odvojno pojačalo velikog ulaznog otpora.



IZVEDBA (TEHNOLOGIJA)

- **žičani** - temperaturno su stabilni i dozvoljavaju najveću disipaciju, ali postoji minimalna promjena otpora ΔR (kvantizacija). ΔR je određen promjerom žice i duljinom jednog zavoja. Kvantizacija nije uniformna jer klizač u određenim položajima kratko spoji žice.

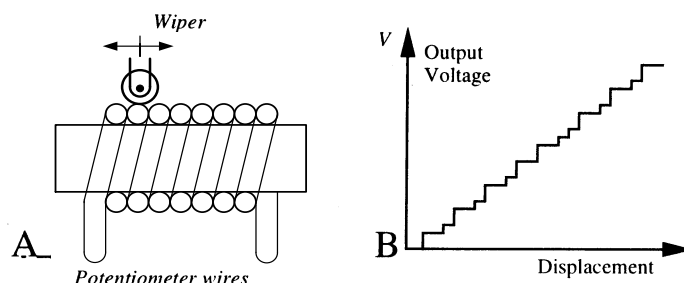


FIGURE 5.2. Uncertainty caused by wire-wound potentiometer. A: A wiper may contact one or two wires at a time; B: uneven voltage steps.

- **vodljiva masa**
 - o vodljiva plastika
 - o cermet
 - o ugljeno plastični
- **hibridni** (žičani otpornici presvučeni vodljivom masom)

Usporedba različitih tehnologija:

TABLE 6.2 Characteristics of Conductive Plastic, Wirewound, and Hybrid Resistive Elements

	Conductive plastic	Wirewound	Hybrid
Resolution	Infinitesimal	Quantized	Infinitesimal
Power rating	Low	High	Low
Temperature stability	Poor	Excellent	Very good
Noise	Very low	Low, but degrades with time	Low
Life	10^6 – 10^8 cycles	10^5 – 10^6 cycles	10^6 – 10^7 cycles

Prednosti i nedostaci potencijometara kao pretvornika pomaka:

TABLE 6.1 Fundamental Potentiometer Characteristics

Advantages	Disadvantages
Easy to use	Limited bandwidth
Low cost	Frictional loading
Nonelectronic	Inertial loading
High-amplitude output signal	Wear
Proven technology	

MEHANIČKE IZVEDBE:

- linearni i rotacijski

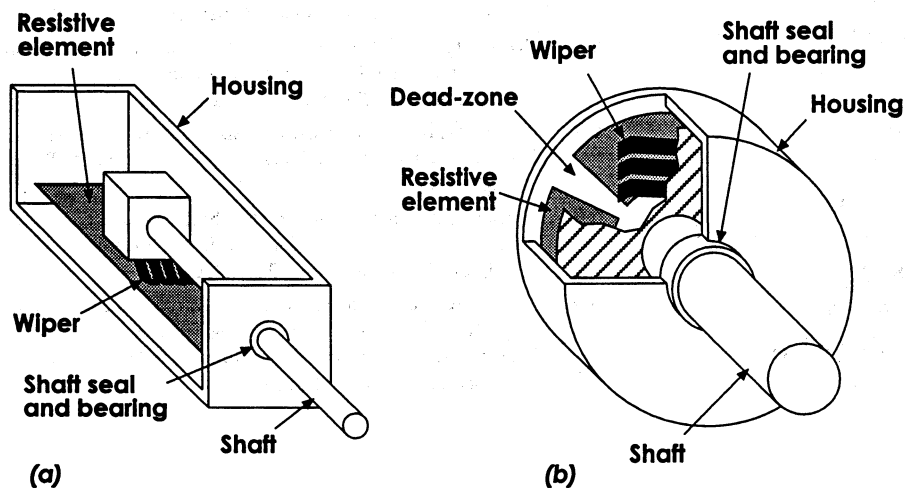
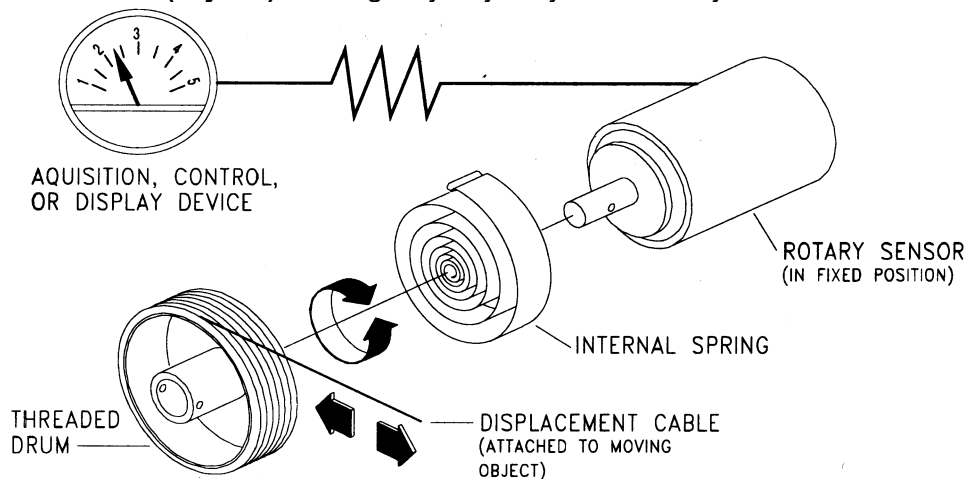


FIGURE 6.1 Representative cutaways of linear-motion (a) and rotary (b) potentiometers.

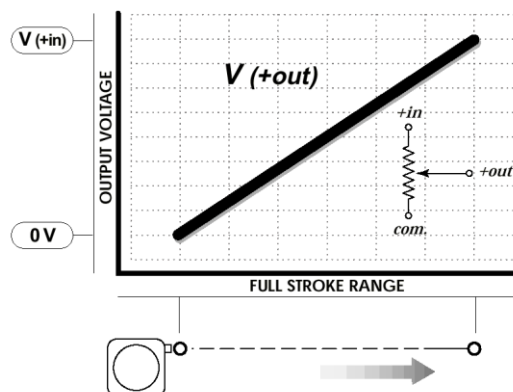
- s užetom (sajlom) – omogućuje mjerenje većih udaljenosti



Izvedba:



Electrical Output Signal:

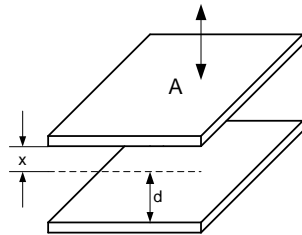


KAPACITIVNI PRETVORNICI POMAKA:

$C = f(\epsilon, A, d)$ – koriste se sve tri mogućnosti

PROMJENA RAZMAKA MEĐU PLOČAMA, d :

- izvedba s jednom mirnom i jednom pomičnom pločom:



$$C = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{A}{d+x}$$

$$\frac{dC}{dx} = -\epsilon_0 \epsilon_r \frac{A}{x^2}$$

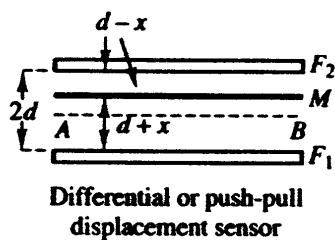
- o nelinearna karakteristika $C(x)$
 - o osjetljivost je veća ako su ploče bliže
 - o relativna promjena kapaciteta jednaka je relativnoj promjeni pomaka x
- $$\frac{dC}{C} = \frac{dx}{x}$$
- o koristi se za mjerenje vrlo malih pomaka ($< 0.1 \text{ mm}$)

Kod kondenzatorskih mikrofona se tlak mjeri pomoću pomaka.

- diferencijalna izvedba:

moгуće su dvije izvedbe:

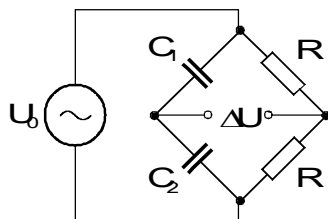
- o srednja ploča je mirna, a vanjske ploče su pomične
- o srednja ploča je pomična, a vanjske su ploče mirne



$$C_1 = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{A}{d+x}$$

$$C_2 = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{A}{d-x}$$

Za mjerenje se koristi mosni spoj:



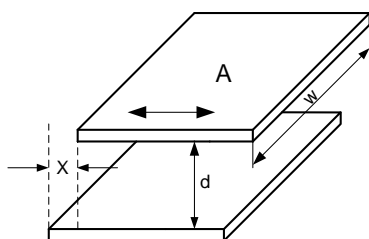
$$\Delta U = U_0 \left(\frac{C_1}{C_1 + C_2} - \frac{1}{2} \right) = U_0 \left(\frac{\frac{k}{d-x}}{\frac{k}{d+x} + \frac{k}{d-x}} - \frac{1}{2} \right) = U_0 \left(\frac{d+x}{2d} - \frac{1}{2} \right) = U_0 \frac{x}{2d}$$

Linearna ovisnost $\Delta U(x)$.

Ovaj se spoj koristi kod integriranih akcelorometara.

PROMJENA POVRŠINE PLOČA, A:

Linearni pomak

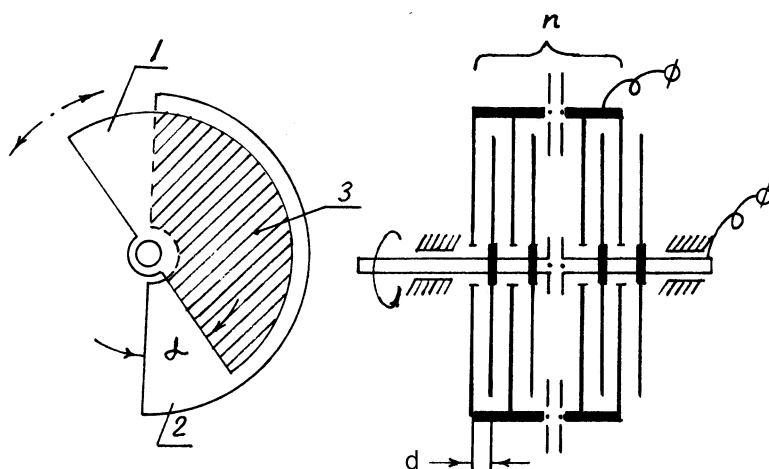


$$C = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{A - wx}{d}$$

$$\frac{dC}{dx} = -\epsilon_0 \epsilon_r \frac{w}{d}$$

linearna ovisnost $C(x)$

Kutni pomak



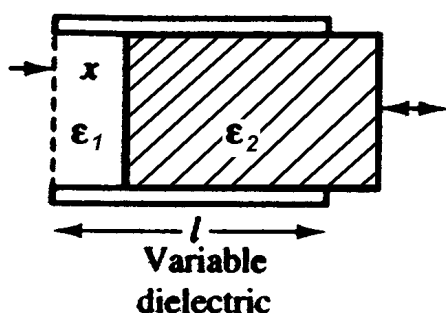
$$C = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{A(n-1)}{d} \frac{180^\circ - \alpha}{180^\circ}$$

n – ukupni broj ploča
statora i rotora
linearna ovisnost $C(\alpha)$

Figure 3.5 Model of angular-displacement element.

Odgovarajućim oblikom ploča može se ostvariti linearna ili nelinearna ovisnost $C(x)$ i $C(\alpha)$.

PROMJENA DIELEKTRIKA IZMEĐU PLOČA, ϵ :



$$C = \epsilon_0 \epsilon_1 \frac{wx}{d} + \epsilon_0 \epsilon_2 \frac{(l-x)w}{d}$$

$$C = \frac{\epsilon_0 w}{d} [\epsilon_2 l - (\epsilon_2 - \epsilon_1)x]$$

$$\frac{dC}{dx} = -\epsilon_0 \frac{w}{d} (\epsilon_2 - \epsilon_1), \quad \epsilon_2 > \epsilon_1$$

Linearna ovisnost $C(x)$

Paralelni spoj dva kondenzatora sa različitim relativnim dielektričkim konstantama.

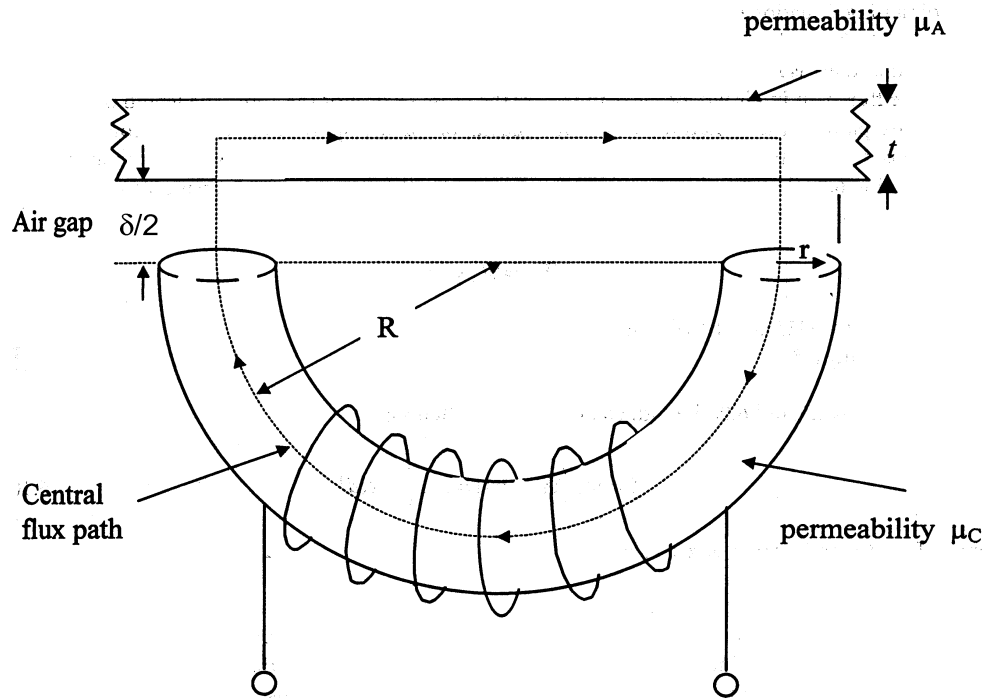
INDUKTIVNI PRETVORNICI POMAKA:

Njihov se rad temelji na ovisnosti induktiviteta svitka o promjeni magnetskog otpora.

Primjena u industriji – robusni i kompaktni, manje osjetljivi na uvjete okoline (vlaga, prašina) od kapacitivnih. Moraju se oklapati radi smanjenja utjecaja vanjskog magnetskog polja.

PRETVORNICI S PROMJENJIVOM RELUKTANCIJOM: promjenom zračnog rasporeda mijenja se otpor magnetskog kruga

OSNOVNA IZVEDBA:



Pomični dio ne mora nužno biti od istog materijala kao i jezgra.

$$R_m = R_C + R_G + R_A$$

$$R_m = \frac{1}{\mu_0 \mu_C} \cdot \frac{l_{mC}}{S_C} + \frac{1}{\mu_0} \cdot \frac{\delta}{S_G} + \frac{1}{\mu_0 \mu_A} \cdot \frac{l_{mA}}{S_A}$$

$$l_{mC} = R\pi, \quad S_C = S_G = r^2\pi, \quad l_{mA} = 2R, \quad S_A \approx 2rt$$

$$R_m = \frac{1}{\mu_0 \mu_C} \cdot \frac{R}{r^2} + \frac{1}{\mu_0} \cdot \frac{\delta}{r^2\pi} + \frac{1}{\mu_0 \mu_A} \cdot \frac{R}{rt}$$

$$R_m = \frac{R}{\mu_0 r} \left[\frac{1}{\mu_C r} + \frac{1}{\mu_A t} \right] + \frac{1}{\mu_0 r^2 \pi} \delta = R_{m0} + k\delta$$

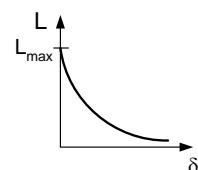
$$L = \frac{n^2}{R_m} = \frac{n^2}{R_{m0} + k\delta} = \frac{L_0}{1 + \alpha\delta}, \quad L_0 = \frac{n^2}{R_{m0}}, \quad \alpha = \frac{k}{R_{m0}}$$

Gdje je:

- R_m magnetski otpor
- R_C otpor U-jezgre
- R_G otpor zračnog rasporeda
- R_A otpor kotve

Nedostaci:

- nelinearna ovisnost $L(\delta)$
- postoji magnetska privlačna sila na pomični dio jezgre
- ovisnost o temperaturi



DIFERENCIJALNA IZVEDBA: služi za mjerenje malih linearnih pomaka

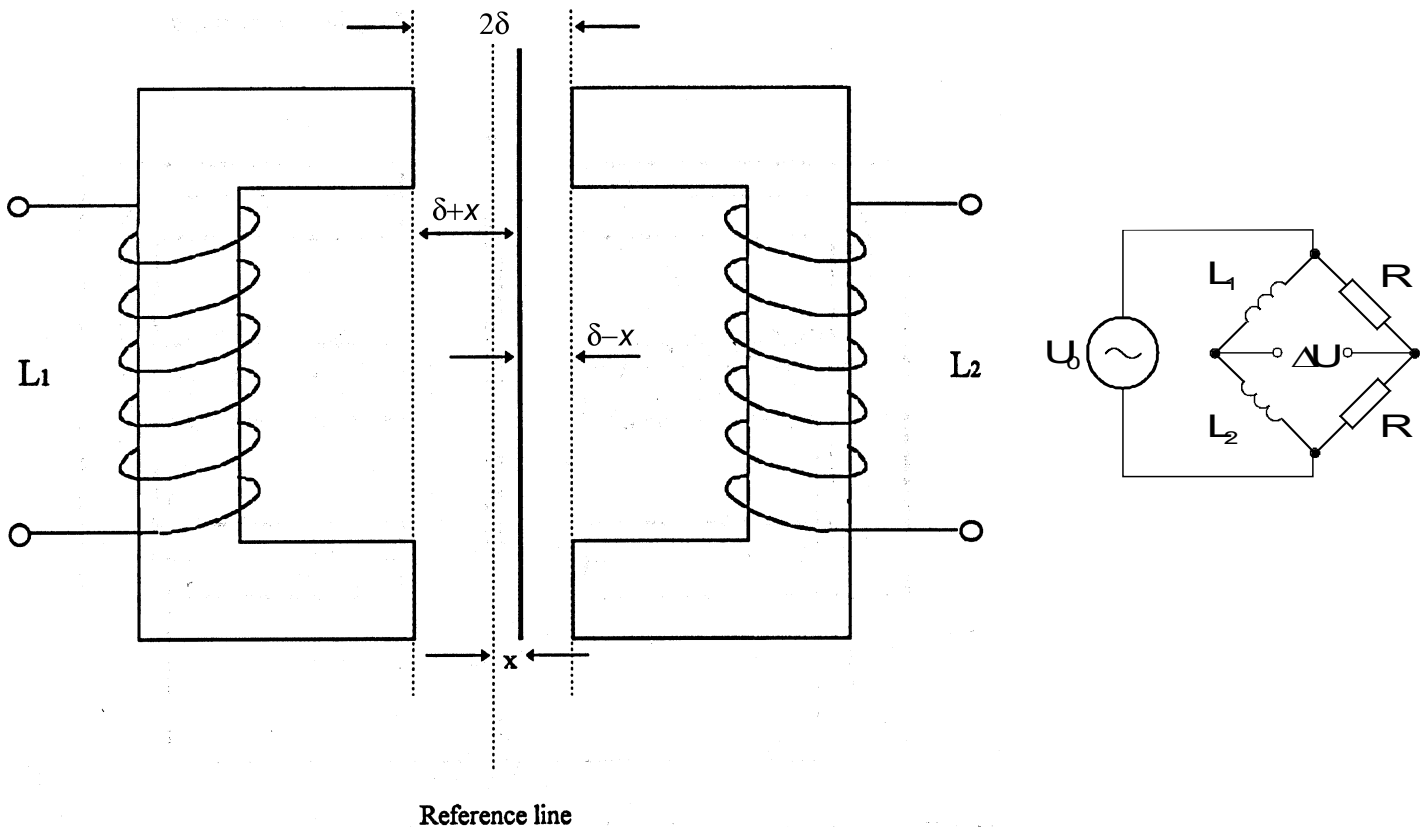


FIGURE 6.9 A variable-differential reluctance sensor consists of an armature moving between two identical cores separated by a fixed distance. The armature moves in the air gap in response to a mechanical input. This movement alters the reluctance of coils 1 and 2, thus altering their inductive properties. This arrangement overcomes the problem of nonlinearity inherent in single coil sensors.

$$L_1 = \frac{L_0}{1 + 2\alpha(\delta + x)}, \quad L_2 = \frac{L_0}{1 + 2\alpha(\delta - x)}$$

$$\frac{\Delta U}{U_0} = \frac{j\omega L_2}{j\omega L_1 + j\omega L_2} - \frac{1}{2} = \frac{L_2}{L_1 + L_2} - \frac{1}{2}$$

$$\frac{\Delta U}{U_0} = \frac{x}{\left(\frac{1}{\alpha} + 2\delta\right)}$$

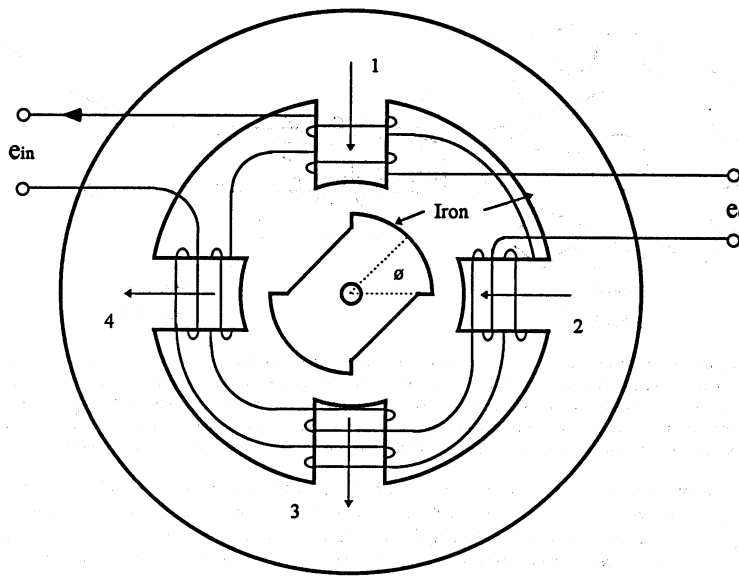
Linearna promjena ΔU s pomakom x .

U ravnotežnom položaju se sile na pomični dio poništavaju

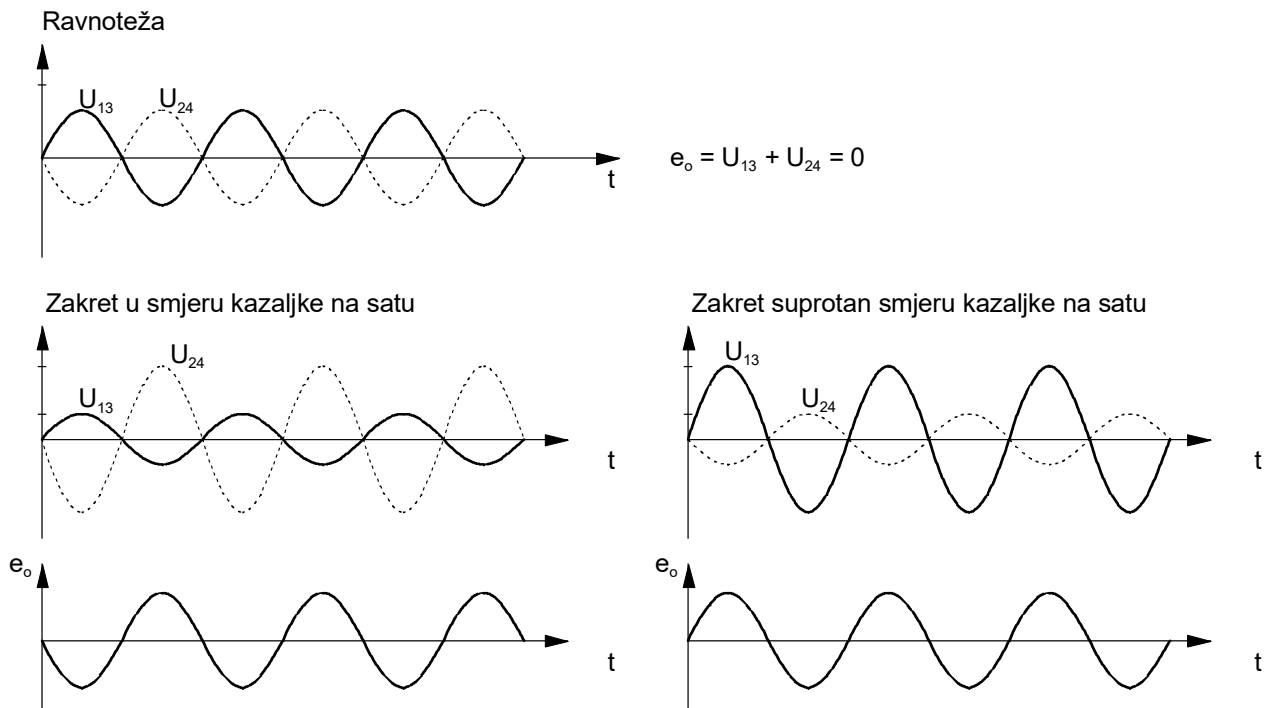
Pretvornici s promjenjivom reluktancijom se mogu koristiti u izvedbama u kojima se umjesto pokretnog dijela koristi membrana (npr. pretvornik tlaka, mikrofon).

MICROSYN:

Pretvornik s promjenjivom reluktancijom za mjerenje kutnih pomaka



U nultoj poziciji rotacijskog elementa naponi inducirani u zavojnicama 1 i 3 su jednaki naponima u zavojnicama 2 i 4:
 $U_{13} = U_{24} \Rightarrow e_o = 0$.
 Zakretanje u smjeru kazaljke na satu povećava R_m za zavojnice 1 i 3, dok smanjuje za 2 i 4 što daje određeni iznos $e_o \neq 0$.
 Zakretanje u suprotnom smjeru daje e_o fazno zakrenut za 180° .
 Smjer zakretanja može se pratiti korištenjem fazno-osjetljivog demodulatora.



Amplituda izlaznog napona U_{izl} je proporcionalna kutu zakreta
 Ako se za mjerenje izlaznog napona U_{iz} koristi RMS voltmetar, ne može se odrediti smjer vrtnje. Zbog toga se koristi fazno osjetljivi demodulator.

Koristi se kod giroskopa – može detektirati vrlo male kutne pomake (0.01°).

Linearnost: 0.5% do 1% pune skale (F.S.)

Prednost ove izvedbe je u tome da na rotoru nema namota, a nisu potrebni ni klizni prstenovi.

PRETVORNICI S PROMJENJIVIM INDUKTIVITETOM:

Razlika u odnosu na pretvornike s promjenjivom reluktancijom je samo u načinu izvedbe.

LDT: - LINEAR DISPLACEMENT TRANSDUCER

Dva namota na šupljem valjku koji je izolator

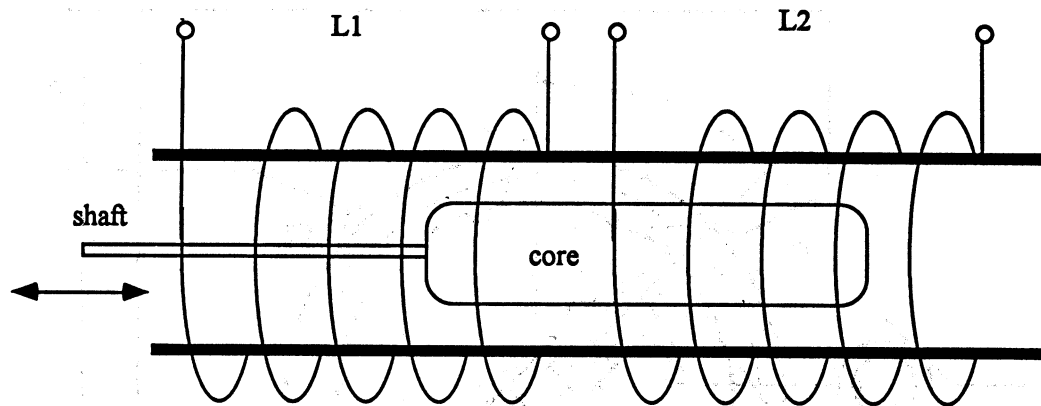


FIGURE 6.14 A typical linear-variable inductor consists of a movable iron core inside a former holding a center-tapped coil. The core and both coils have the same length l . When the core is in the reference position, each coil will have equal inductances of value L . As the core moves by δl , changes in inductances $+\delta L$ and $-\delta L$ create voltage outputs from the coils.

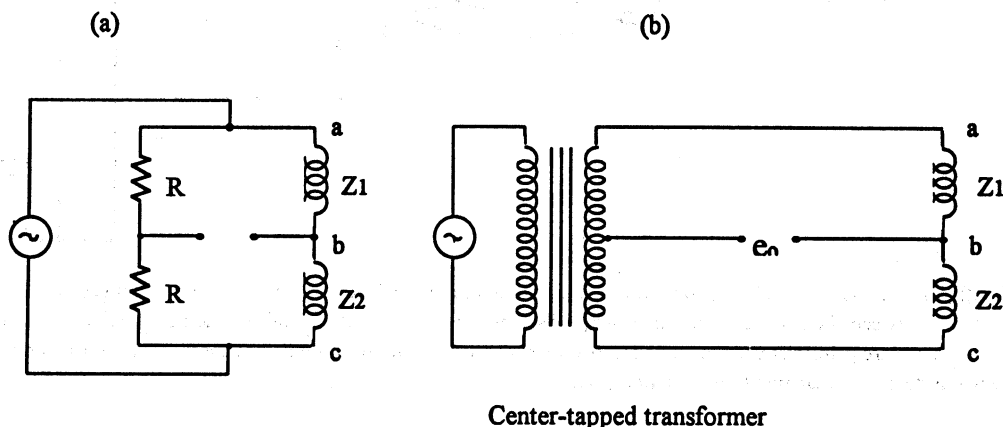


FIGURE 6.15 The two coils of a linear-variable inductor are usually placed to form two arms of a bridge circuit, also having two equal balancing resistors as in circuit (a). The bridge is excited with ac of 5 V to 25 V with a frequency of 50 Hz to 5 kHz. At a selected excitation frequency, the total transducer impedance at null conditions is set in the 100 Ω to 1000 Ω range. By careful construction of the bridge, the output voltage can be made a linear function displacement of the core within a limited range. In some cases, in order to reduce power losses due to heating of resistors, center-tapped transformers may be used as a part of the bridge network (b).

Jezgra i zavojnice imaju istu duljinu – pomakom jezgre mijenja se L_1 i L_2 i to u suprotnom smjeru pa se mogu koristiti kao jedna polovica mosta (polumost).

Drugu polovicu mosta čine otpornici približno jednakog iznosa kao i impedancija zavojnica pri radnoj frekvenciji i nultom položaju.

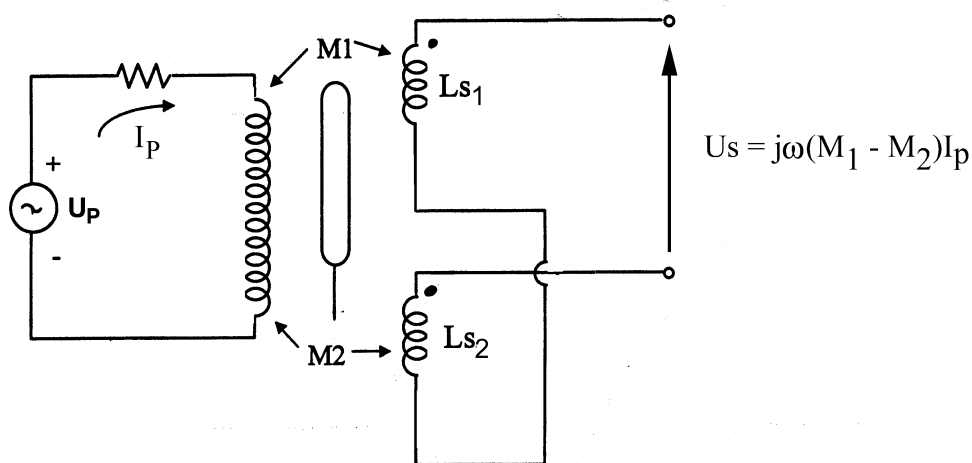
Radi smanjenja disipacije umjesto otpornika se može koristiti transformator sa srednjim izvodom.

Izrađuju se za pomake od 2 mm do 5 m

Osjetljivost: 1% pune skale.

LVDT: - LINEAR VARIABLE DIFFERENTIAL TRANSFORMER

Mjeri se promjena međuinduktiviteta između primarnog i dva sekundarna namota



Izvedba:

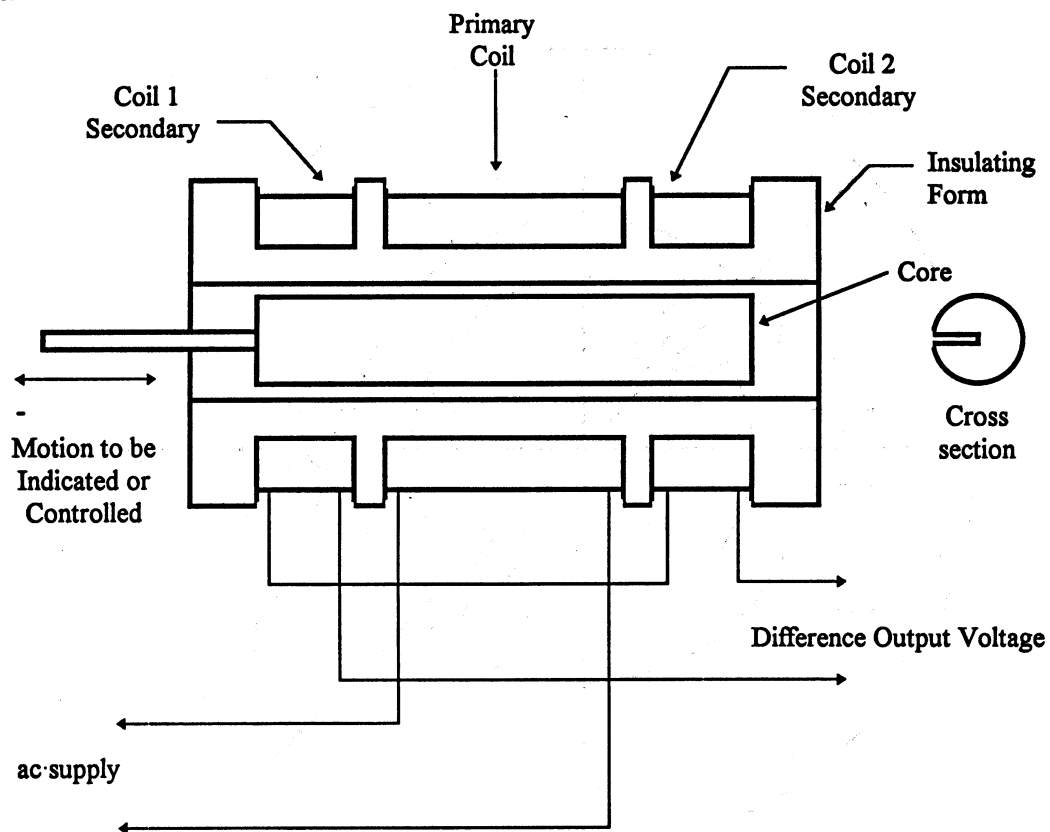


FIGURE 6.17 A linear-variable-differential-transformer LVDT is a passive inductive transducer consisting of a single primary winding positioned between two identical secondary windings wound on a tubular ferromagnetic former. As the core inside the former moves, the magnetic paths between primary and secondaries change, thus giving secondary outputs proportional to the movement. The two secondaries are made as identical as possible by having equal sizes, shapes, and number of turns.

U nultom položaju je $M_1 = M_2$ pa je i $U_s = 0$. Pomicanjem jezgre mijenja se međuinduktivitet između primarne i sekundarnih zavojnica.

Korištenjem "običnih" demodulatora dobiva se informacija o amplitudi pomaka, ali ne i o smjeru.

Za određivanje smjera pomaka koristi se fazno osjetljivi demodulator.

Demodulacija se vrši sinkrono sa naponom U_p , pa je moguće detektirati skok u fazi kod promjene smjera.

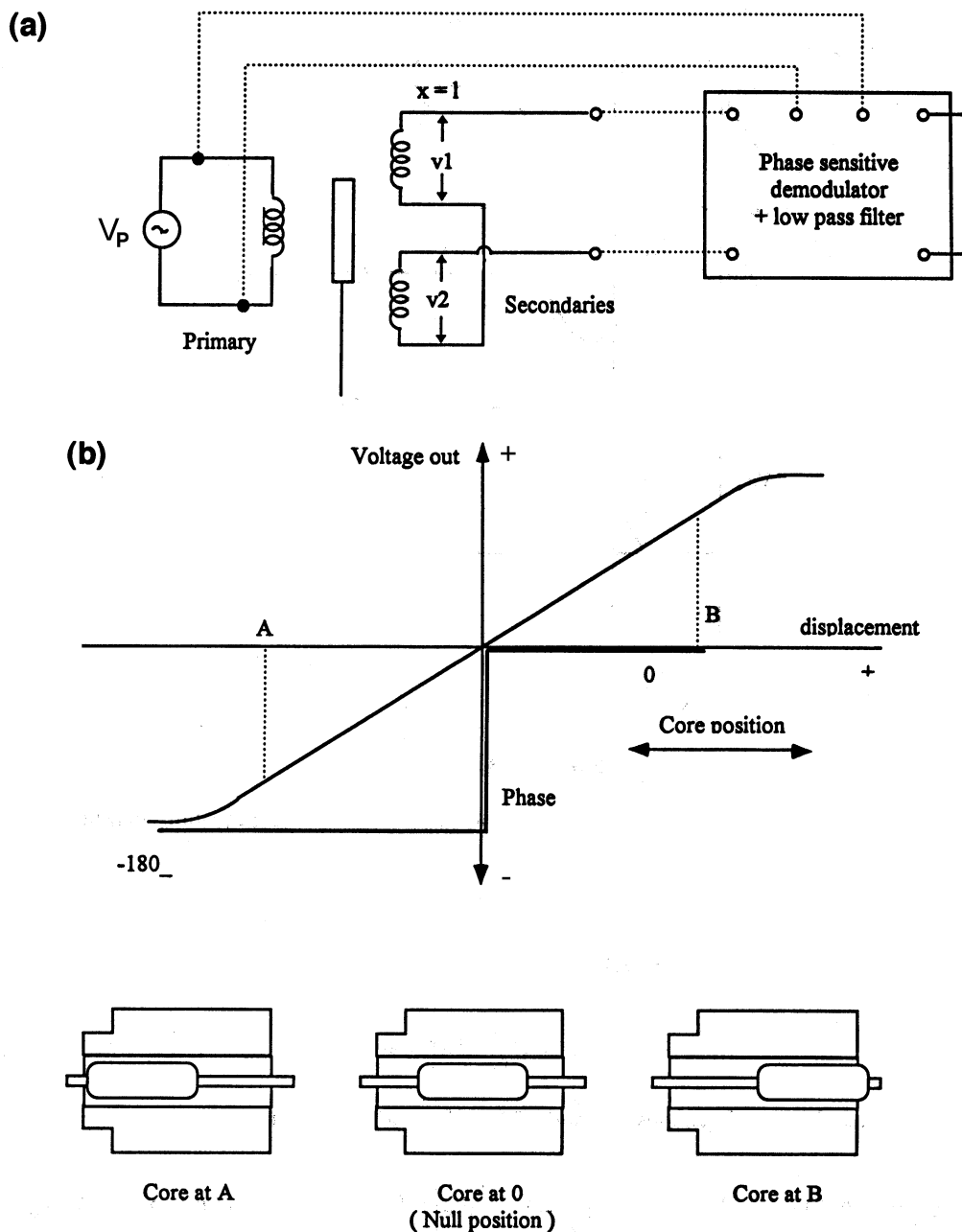
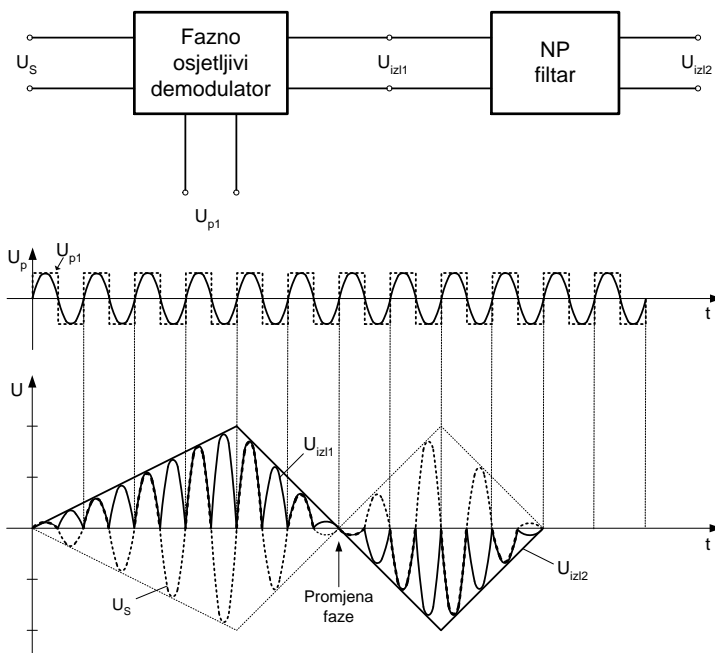
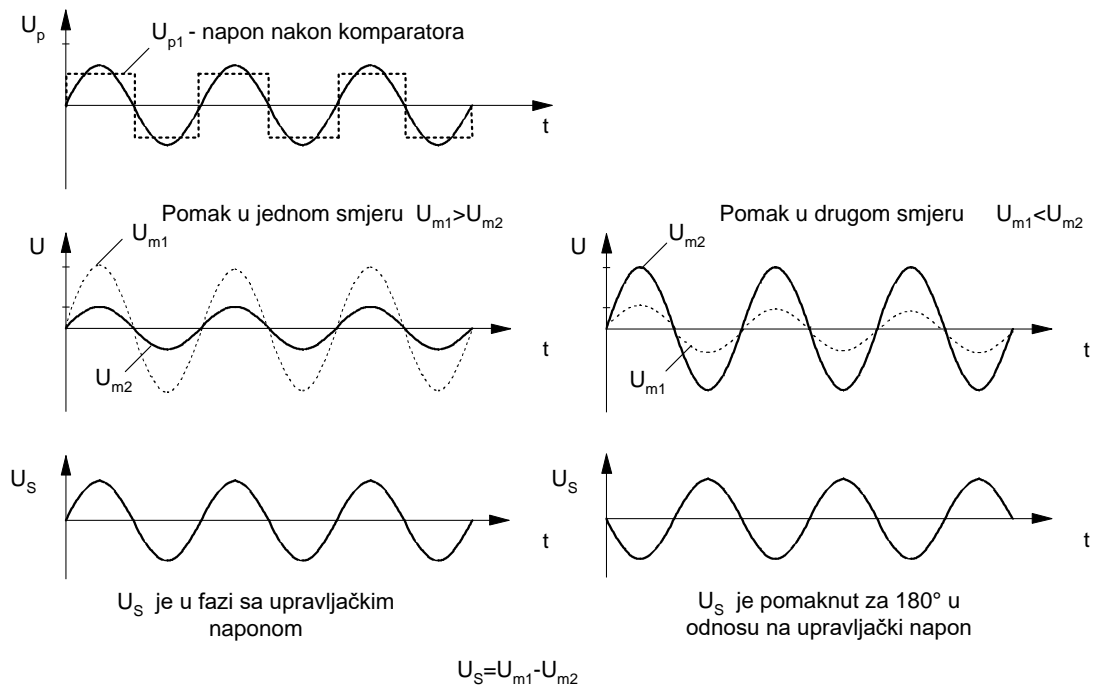


FIGURE 6.19 Phase-sensitive demodulator and (a) are commonly used to obtain displacement proportional signals from LVDTs and other differential type inductive sensors. They convert the ac outputs from the sensors into dc values and also indicate the direction of movement of the core from the null position. A typical output of the phase-sensitive demodulator is shown in (b). The relationship between output voltage v_o and phase angle α is also shown against core position x .



Fazno osjetljivi demodulator djeluje na sljedeći način: $U_p > 0 \Rightarrow U_{izl1} = U_s$
 $U_p < 0 \Rightarrow U_{izl1} = -U_s$,

tj. mijenja pojačanje ± 1 u ovisnosti o polaritetu upravljačkog napona U_p .

Raspon: ± 0.25 mm do 1.1 m.

Osjetljivost: 0.0005 mm

Temperaturno područje primjene: -256°C do 600°C

Postoji i RVDT: Rotary Variable Differential Transformer.

MAGNETSKI PRETVORNICI POMAKA:

Beskontaktni pretvornici pomaka – nema problema s trenjem i habanjem.

Podjela:

- magnetostruktivni
- magnetorezistivni
- Hall-efekt
- magnetski enkoderi

MAGNETOSTRIKTIVNI PRETVORNIK POMAKA

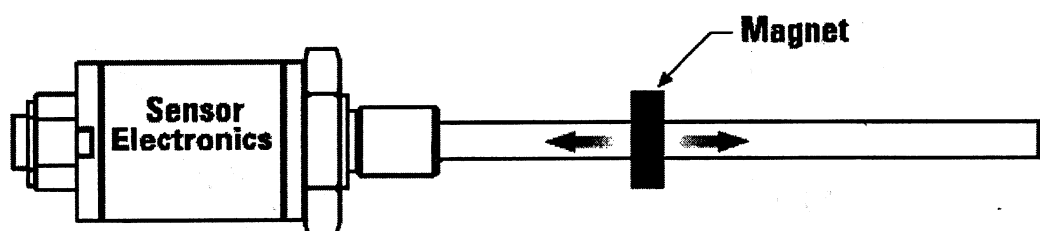


FIGURE 6.82 Magnetostrictive sensor with position magnet.

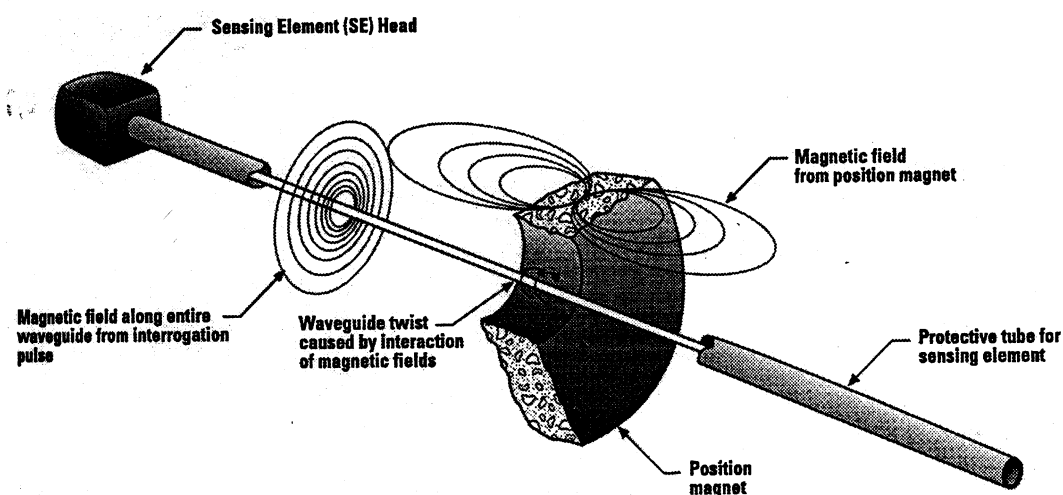


FIGURE 6.84 Operation of magnetostrictive position sensor.

Glavni dijelovi pretvornika su valovod i prstenasti permanentni magnet koji je pomičan po cijeloj duljini valovoda. Kroz vodič smješten unutar valovoda se propusti električki impuls. Na mjestu gdje se nalazi permanentni magnet dolazi do interakcije njegovog magnetskog polja s magnetskim poljem impulsa propuštenog kroz valovod. Uslijed interakcije ta dva magnetska polja dolazi do torzionog naprezanja valovoda na tom mjestu – **Wiedemannov efekt**. To naprezanje stvara mehanički val koji propagira kroz valovod brzinom zvuka (ovisi o materijalu valovoda). Kada taj mehanički val dođe do ultrazvučnog senzora, izmjeri se vrijeme proteklo između postavljanja električnog impulsa i dolaska mehaničkog vala iz čega se može izračunati položaj permanentnog magneta.

Ovaj tip pretvornika može mjeriti pomak u velikom rasponu (do 7 m) uz vrlo visoku rezoluciju (reda veličine $3 \mu\text{m}$). Linearnost je reda veličine 0.05%, a može se postići temperaturna stabilnost od 20 ppm/°C.

ULTRAZVUČNO MJERENJE POMAKA:

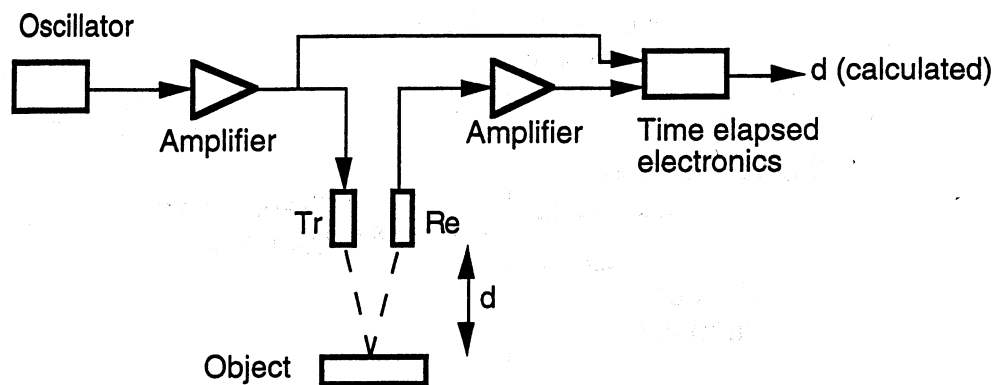
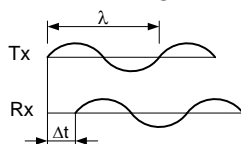


FIGURE 6.61 Principle of a pulse-echo ultrasound system for distance measurements (Tr = transmitter, Re = receiver).

$$2d = v\Delta t, \quad \Rightarrow \quad d = \frac{v\Delta t}{2}$$

Mogu se koristiti u nekoliko režima rada:

- **impulsni režim rada:**
 - jednostavna metoda
 - loš odnos signal/šum zbog niske energije odaslanog signala (kratki impuls)
- **mjerjenje faznog pomaka između kontinuiranog odaslanog i primljenog signala:**
 - bolja otpornost na smetnje
 - ne može se izravno koristiti za udaljenosti veće od polovice valne duljine ultrazvučnog vala ($\lambda/2$)



- **frekvencijska modulacija:** odašilje se signal koji je linearno frekvencijski moduliran – iz razlike trenutnih frekvencija odaslanog i primljenog signala može se izračunati d .
 - velika otpornost na smetnje
 - metoda je neupotrebljiva za udaljenosti manje od valne duljine, $d < \lambda$
- **korelacijska metoda:** šalje se bijeli šum – kroskorelacija odaslanog i primljenog signala ima maksimum za $\tau = \Delta t$

$$R_{xy}(\tau) = \frac{1}{T} \int_0^T x(t)y(t-\tau)dt$$

- velika otpornost na smetnje
- zahtjevno sklopovlje

OPTIČKO MJERENJE POMAKA:

LASERSKI INTERFEROMETAR (MICHELSONOV INTERFEROMETAR):

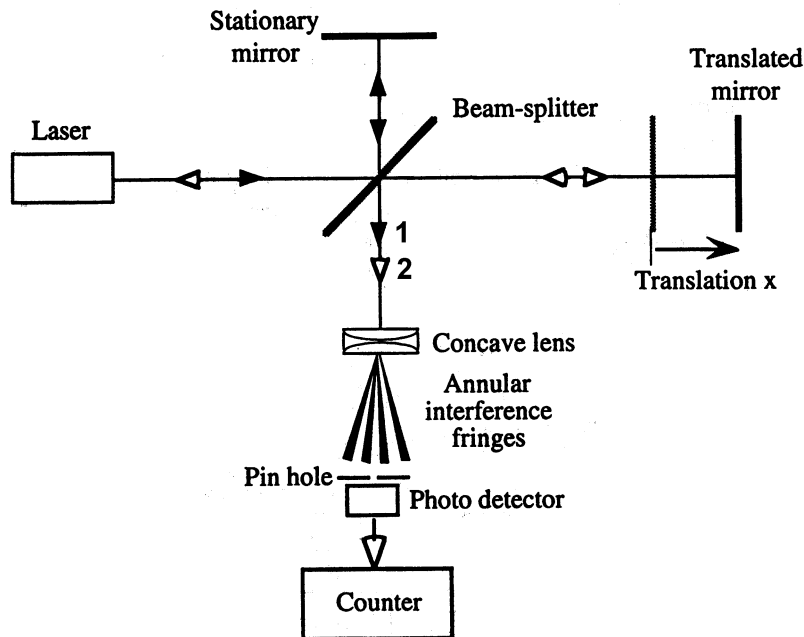


FIGURE 6.49 Schematics of the basic Michelson interferometer.

Između zraka 1 i 2 postoji fazni pomak određen razlikom u duljini optičkih puteva. Ako se ta razlika kontinuirano mijenja pomicanjem zrcala, na mjestu foto-detektora mogu se uočiti sinusoidalne varijacije intenziteta.

Mogu se brojiti promjene intenziteta (tamno – svijetlo – tamno, ...) čime se dobiva promjena duljine optičkog puta zrake 2 kao cjelobrojni višekratnik $\lambda/2$

Poboljšana izvedba mjeri relativnu promjenu faze sinusoidalne promjene intenziteta, čime se ostvaruje još bolja rezolucija.

OPTIČKA TRIANGULACIJA:

Metoda se koristi kod fotoaparata za automatsko fokusiranje željenog objekta.

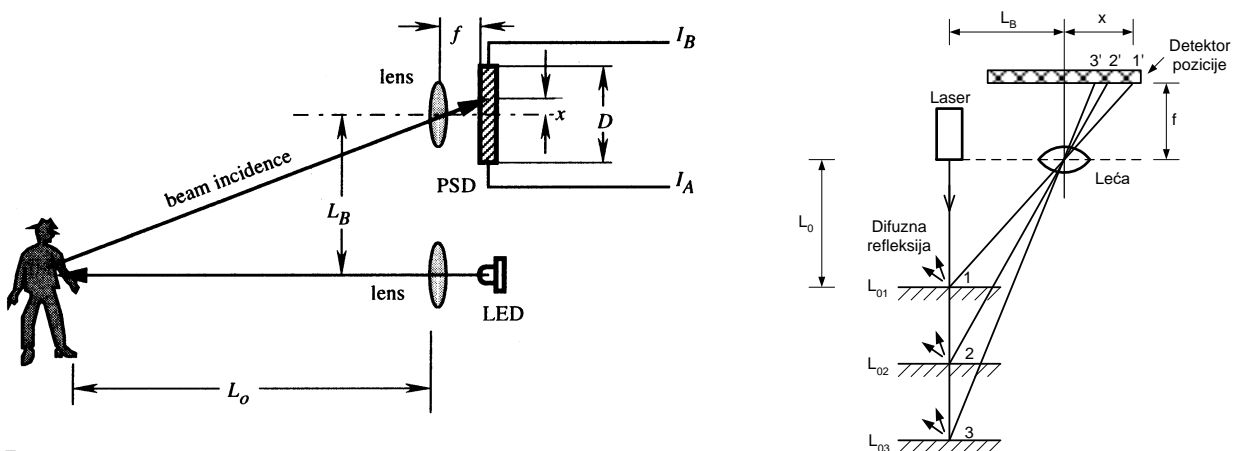
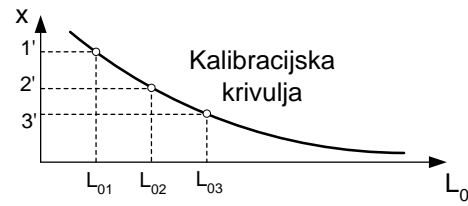


FIGURE 5.36. The PSD sensor measures distance by applying a triangular principle.

Pomoću teorema o sličnosti trokuta dobivamo:

$$\frac{L_0}{L_B} = \frac{f}{x} \Rightarrow L_0 = L_B \frac{f}{x}$$

Nelinearan odnos $L_0(x)$.



PSD – POSITION SENSITIVE DETECTOR

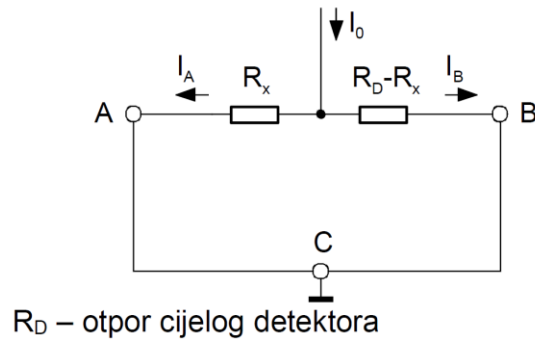
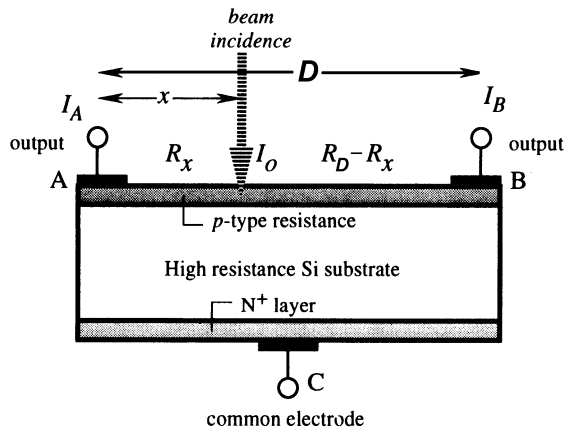


FIGURE 5.37. Design of a one-dimensional PSD.

Fotoelektrička struja I_0 uzrokovana upadnim svjetlom proporcionalna je intenzitetu svjetla. Ta struja teče prema izlazima A i B u omjeru otpora, tj. razmaka između točke upada i elektroda:

$$I_A = I_0 \frac{R_D - R_x}{R_D} \quad I_B = I_0 \frac{R_x}{R_D}$$

Uz pretpostavku linearnog odnosa između otpora i duljine vrijedi:

$$I_A = I_0 \frac{D - x}{D} \quad I_B = I_0 \frac{x}{D}$$

Kao izlazni signal promatra se omjer struja I_A i I_B čime se eliminira utjecaj struje I_0 :

$$P = \frac{I_A}{I_B} = \frac{D - x}{x} - 1 \Rightarrow x = \frac{D}{P + 1}$$

Uvrštenjem d u izraz za triangulaciju, dobijamo:

$$L_0 = L_B \frac{f}{x} = f \frac{L_B}{D} (P + 1) = k(P + 1)$$

gdje je k – geometrijska konstanta pretvornika

Udaljenost objekta je linearno proporcionalna omjeru struja.

DIGITALNI ENKODERI:

Postoje dva osnovna tipa digitalnih enkodera:

- apsolutni
- inkrementalni

5.34.

- podjela s obzirom na izvedbu:

- kontaktni
- magnetski
- optički

- podjela s obzirom na tip pomaka:

- linearni
- kutni

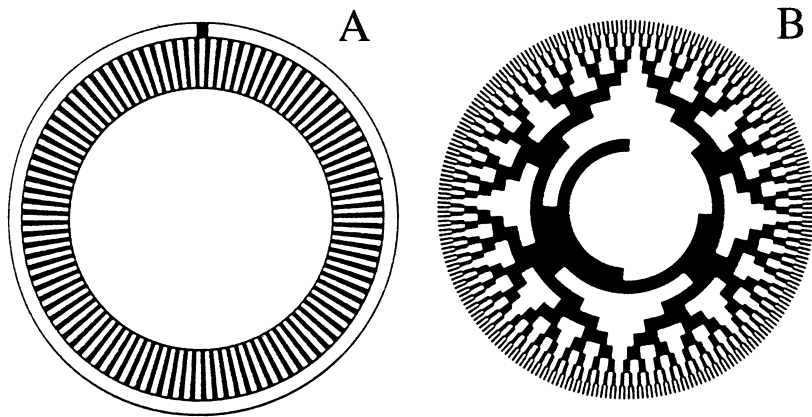
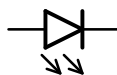


FIGURE 5.34. Incremental (A) and absolute (B) optical encoding disks.

APSOLUTNI ENKODER:



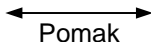
Izvor svjetla



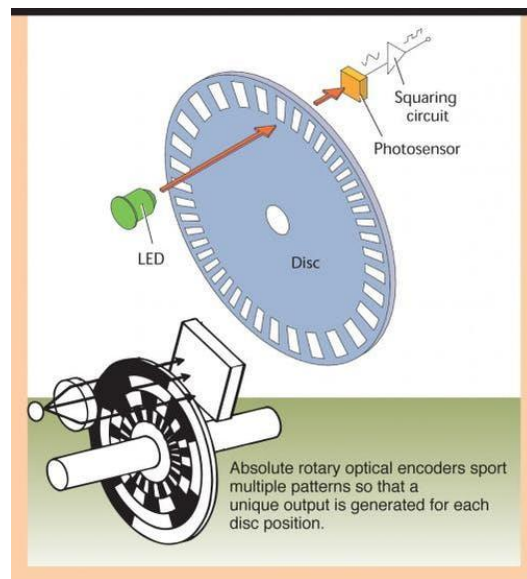
Geometrijska maska



Foto detektor



Pomak



Kao izlaz daje podatak o apsolutnom položaju u obliku binarnog koda:

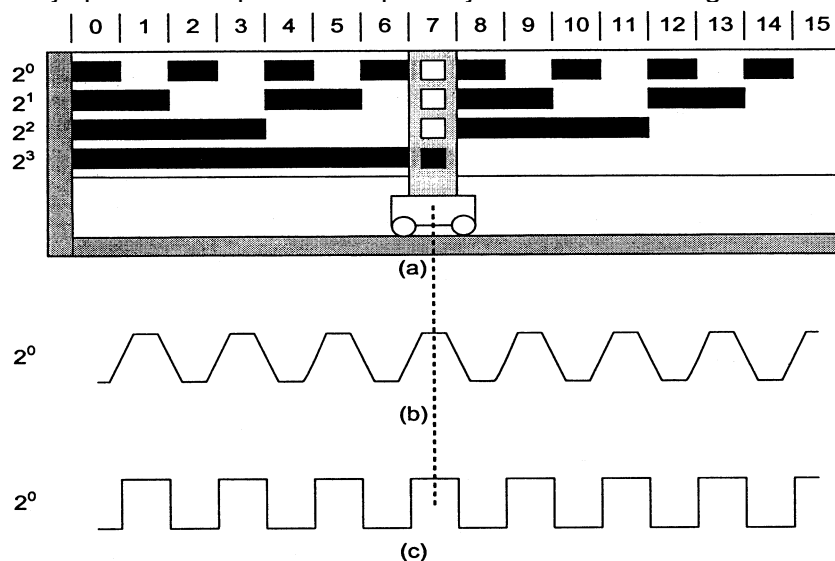
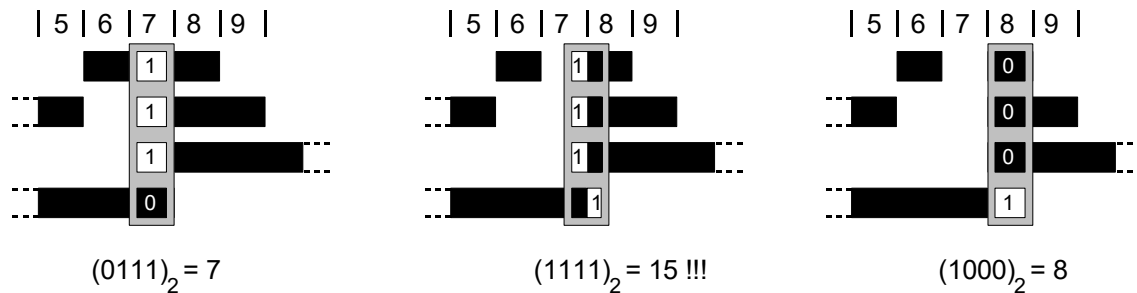


FIGURE 6.67 (a) Absolute encoders using a natural binary code of four digits. Four tracks are required. The moving read head has four apertures and is shown in position 7 along the scale. (b) The output of the read head aperture corresponding to the least significant track. It represents the proportion of light area covering the aperture. (c) The binary digit obtained after squaring the raw output signal.

Problem prijelaznih pojava kada se mijenja više bitova istovremeno, npr. promjena sa 7 na 8:

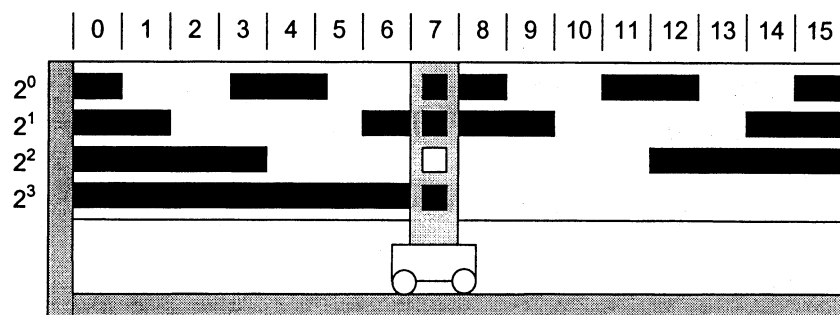


Čak i najtočnija i najpreciznija izvedba ne omogućava "fini" prijelaz iz jednog stanja u drugo.

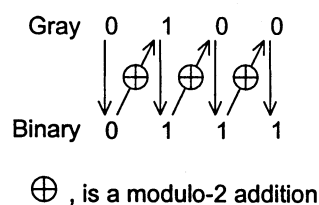
Problem se rješava izborom kodova kod kojih se susjedna stanja razlikuju za samo po jedan bit (npr. Grayev kod) ili posebnim načinom uzorkovanja (npr. "V"-scan).

Apsolutni enkoder koji koristi Grayev kod:

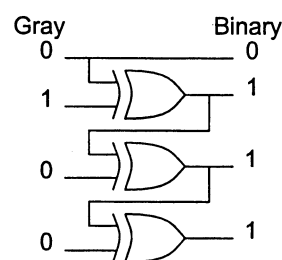
U svakom se koraku mijenja samo jedan bit, ali je potrebna dodatna logika za pretvorbu Gray-ovog koda u binarni.



(a)



(b)



(c)

FIGURE 6.69 (a) Gray code allows a transition on only one track between each successive position so that no ambiguity arises. A scheme based on modulo-2 additions converts the Gray code to natural binary code in (b). Exclusive-ORs implement the conversion in (c).

"V" - uzorkovanje ("V"-scan)

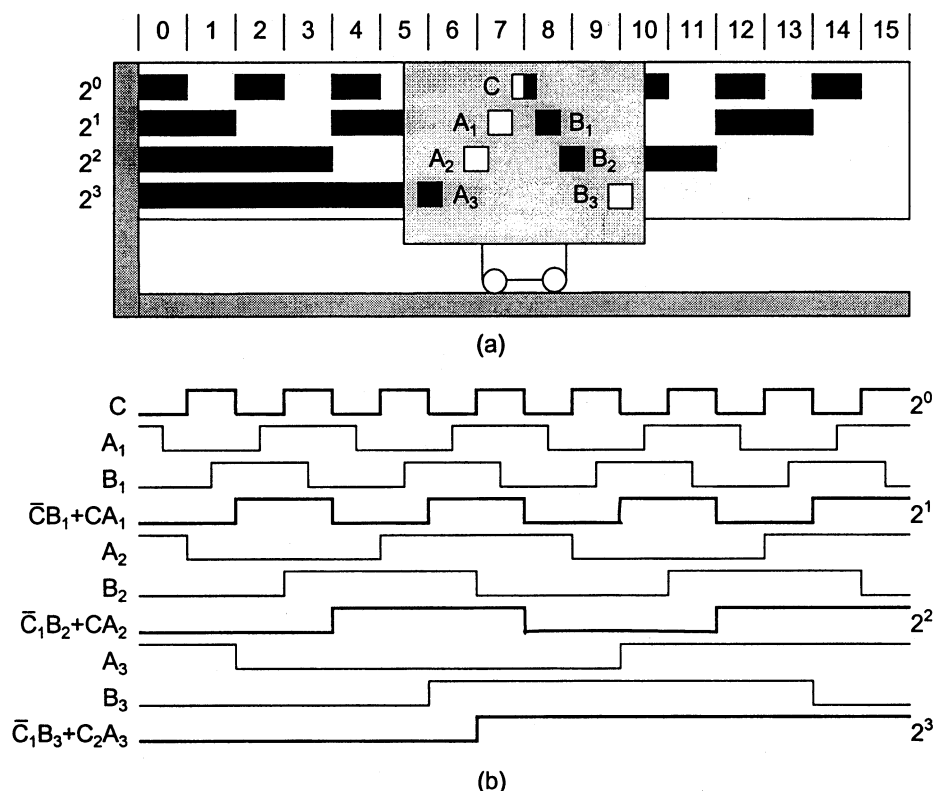


FIGURE 6.68 The vee-scan configuration of reading units in (a) removes the ambiguity associated with a natural binary scale. Simple combinational logic is then used to generate the natural binary readout in (b).

Princip "V" uzorkovanja:

- Temelji se na sljedećem svojstvu binarnog koda:
 - o ako se binarni broj povećava i LSB se mijenja iz 0 u 1 niti jedan drugi bit se ne mijenja
 - o ako se LSB mijenja iz 1 u 0 najmanje još jedan bit se mijenja
 - Postoje po dva osjetila za svaku težinu (2^n) osim za LSB
 - Osjetila su postavljena na razmaku 1x, 2x, 4x, 8x, itd. pri čemu je x širina LSB inkrementa
 - Izbor signala s tih dvaju osjetila određuje osjetilo u susjednom tragu s nižom težinom, npr:
 - o ako je 2⁰ trag u stanju "0" za daljnju obradu se uzima signal desnog osjetila u tragu 2¹
 - o ako je 2⁰ trag u stanju "1" tada se uzima signal lijevog osjetila u tragu 2¹
- ili općenito:
- o "1" u nižoj težini uključuje lijevi kanal više težine
 - o "0" u nižoj težini uključuje desni kanal više težine

INKREMENTALNI ENKODER:

Daje informaciju o pomaku relativno u odnosu na referentnu točku – ako nestane napajanja gubi se informacija o apsolutnom položaju

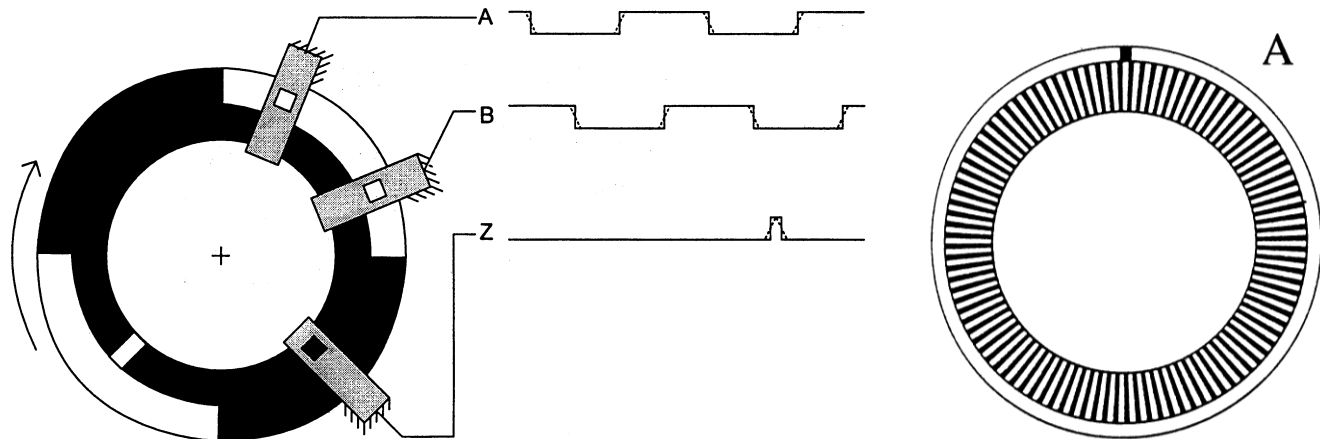


FIGURE 6.71 The lowest possible resolution for a rotary incremental encoder. The outer track provides $n = 2$ cycles of the alternating black and clear records. Two heads A and B displaced by 90° give, after squaring, two square waves in quadrature.

Maska se sastoji od niza naizmjeničnih tamnih i svijetlih područja jednake duljine i jednakog broja.

Tamno i svijetlo područje detektira se pomoću stacionarnih maski A i B razmaknutih za $\frac{1}{4}$ periode ponavljanja tamno-svijetlo.

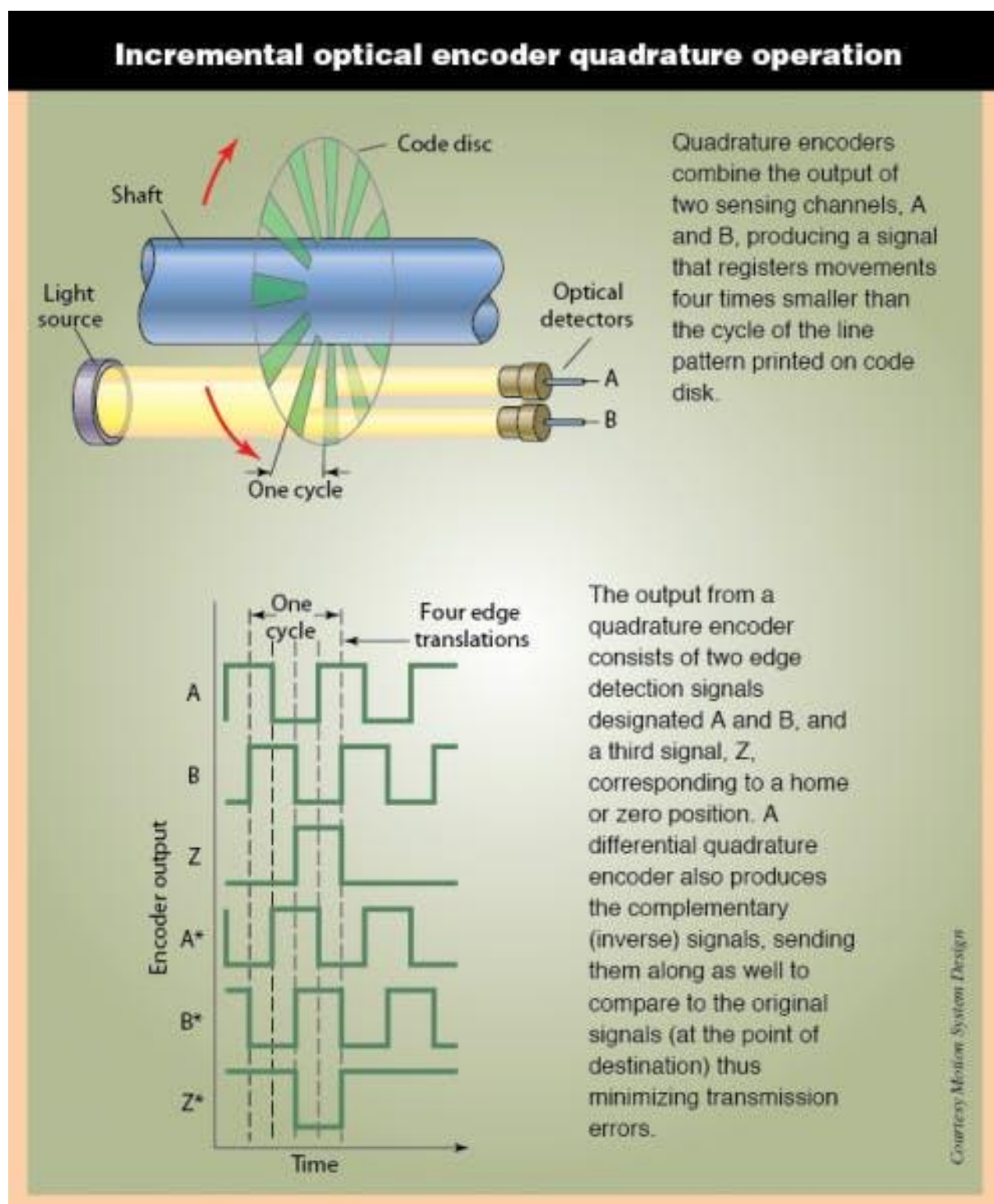
Svijetlo područje daje "1", a tamno "0".

Izlazni signali "A" i "B" su (nakon obrade) pravokutni signali fazno pomaknuti za 90° , tzv. **kvadraturni signal**.

Pomoću dva čitača pomaknuta za 90° moguće je odrediti smjer vrtnje

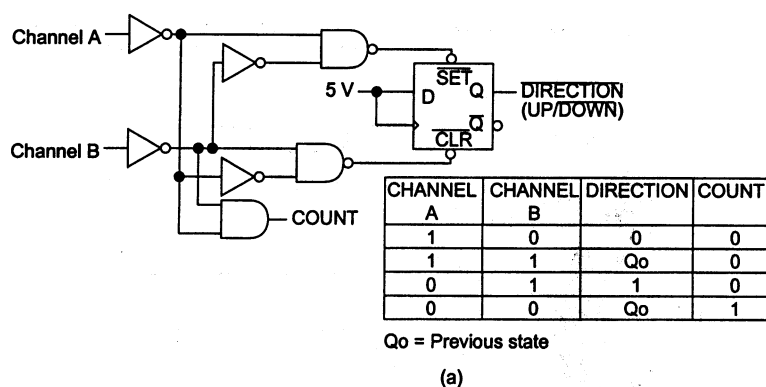
Signali "A" i "B" imaju samo četiri stanja, pa je apsolutno određivanje položaja moguće samo unutar jednog kvadraturnog ciklusa – umjesto toga kvadraturni signal se koristi za inkrement ili dekrement brojila koje daje informaciju o trenutnoj poziciji.

Signal "Z" se koristi za inicijalizaciju brojila (najčešće RESET).

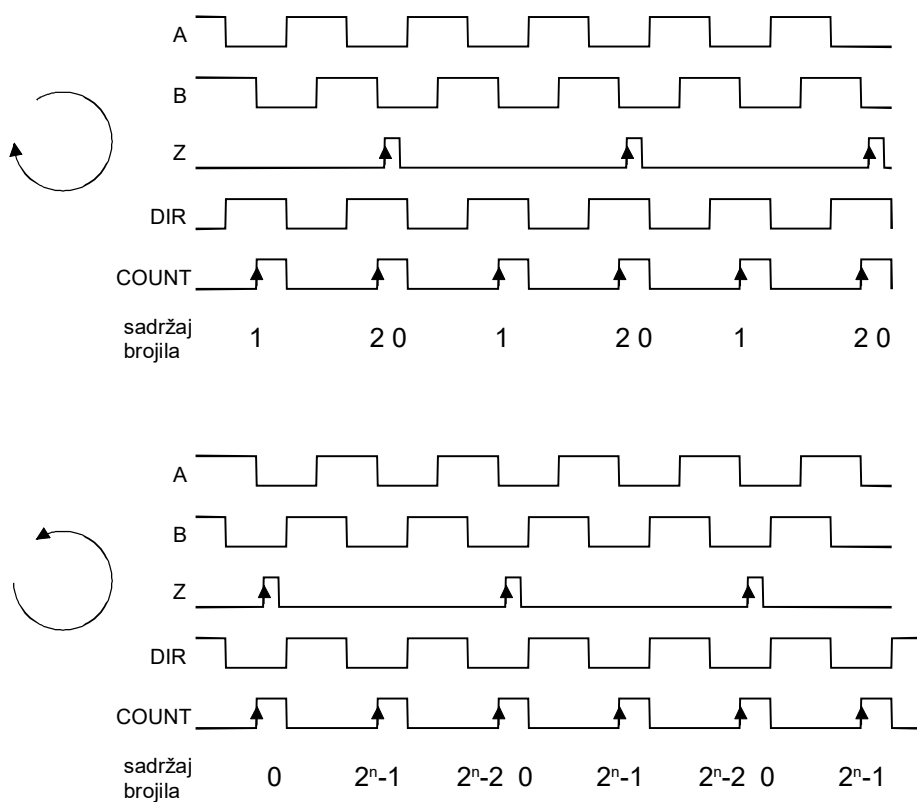


<https://www.machinedesign.com/automation-iiot/sensors/article/21831757/basics-of-rotary-encoders-overview-and-new-technologies>

Sklop za obradu kvadraturnih signala mora imati mogućnost raspoznavanja smjera rotacije:



Vremenski dijagram:



Na prvom je dijagramu COUNT aktivan kada je DIR=1, dok je na drugom COUNT aktivan kada je DIR=0.

INKREMENTALNI ENKODER KOJI KORISTI MOIRÉOVE UZORKE:

Povećavanjem rezolucije enkodera raster postaje sve finiji i sve je teže zadovoljiti traženu točnost.

Svjetlo se propušta na detektor kroz dva međusobno pomaknuta rastera koji čine Moiréove uzorke. Međusobnim pomicanjem ta dva rastera uzorak se mijenja, čime se mijenja i intenzitet svjetla na foto-detektoru. Postavljanjem dva foto-detektora na odgovarajuća mjesta dobije se kvadratrni signal.

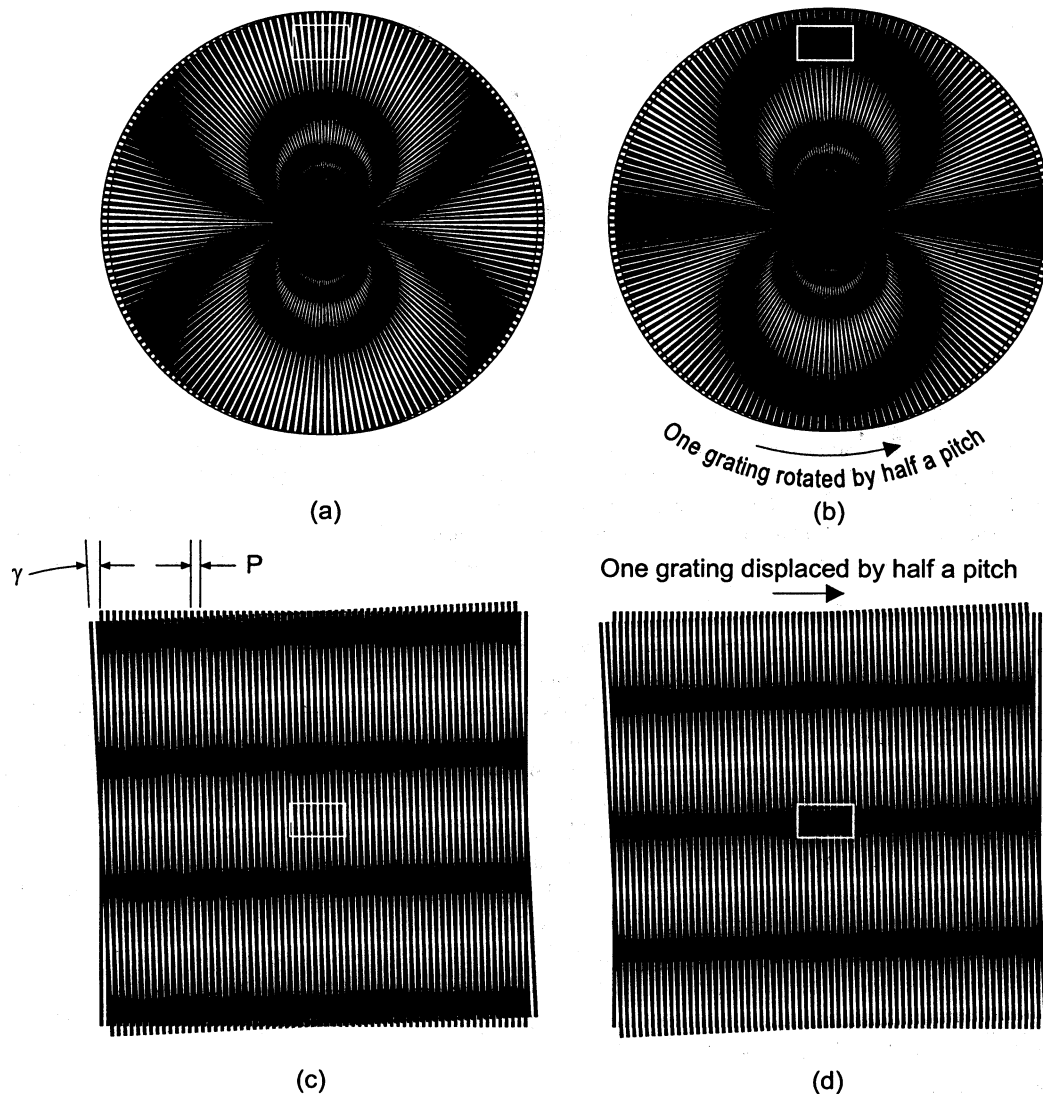


FIGURE 6.77 Moiré fringes produced when two gratings of equal pitch are overlapped. In (a), two radial gratings with 180 cycles have their centers displaced horizontally by approximately half of the grating pitch (as measured on the perimeter). This could be due to encoder assembly errors. Ditchburn [21] explains that the fringes are always circular and pass by the two centers. In (b), the same displacement was followed by a rotation of half a pitch as a result of the normal movement of the encoder disk. This causes a phase change of 180° of the fringe pattern at any fixed observation point, as represented by the rectangular observation region. The width of the fringes depends on the offset displacement between the two grating centers. If they coincide, the whole pattern changes from a dark to a relatively bright fringe. In (c), two linear gratings are rotated by one tenth (in radian) of their grating pitch. This could be due to encoder assembly or mounting errors. As a result, Moiré fringes occur at 90° to the grating and with a period 10 times larger. The normal displacement of one grating by half of the grating pitch causes a phase change of 180° of the Moiré fringe pattern at any fixed observation point, as represented by the rectangular observation region.