

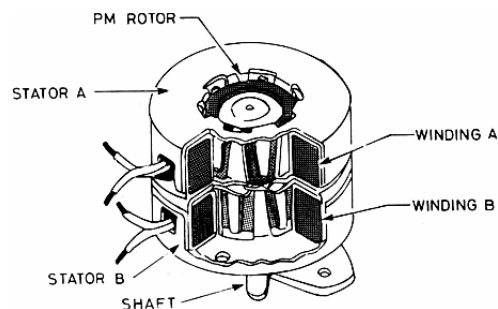
## 9.7 NAPAJANJE IN KRMILJENJE KORAČNIH MOTORJEV

### 9.7.1 SPLOŠNO O KORAČNIH MOTORJIH

Koračni motorji so elektro-mehanske naprave, ki omogočajo pretvarjanje digitalnega podatka v proporcionalni mehanski premik. Pri vzbujanju po programiranem zaporedju, se rotor v diskretnih korakih ustrezno premika oz. zavrti v željeno smer, za predviden kot. Koračni motorji se večinoma uporabljajo kot izvršilni členi pri krmiljenju z digitalnimi vezji. Njihova izrazita prednost v preciznem in hitrem pozicioniranju jim zagotavlja široko uporabnost in številne režime delovanja.

Nekatera značilnejša področja vgradnje so:

- pogon papirnih, magnetnih trakov in drugih trakov
- nastavitve ostrine in transport traku pri kamerah
- koordinatni pogoni pri industrijskih strojih (X,Y,Z)
- pri tiskalnikih in risalnikih
- pri medicinskih in merilnih napravah
- za impulzne izvršilne člene na tehnoloških linijah
- na napravah za avtomatsko tehtanje in označevanje
- za mehansko digitalno- analognu pretvorbo
- pri daljinskem upravljanju naprav za pozicioniranje
- za dovajanje goriva in krmiljenje ventilov in črpalk s spremenljivo hitrostjo



Za vse te naprave je skupno nadzorovano gibanje. Kjerkoli je potrebno zagotoviti nadzorovano gibanje in/ali pozicioniranje brez kumulativne napake, je uporaba koračnega motorja prava rešitev, ker zagotavlja, da je sistem hiter, prilagodljiv in točen.

Iz mehanskega vidika je koračni motor enostavna, zanesljiva in precizna mehanska komponenta, ki ne potrebuje posebnega vzdrževanja. V preteklosti so enostavne rešitve z mehansko delujočimi končnimi stikali pogosto zagotavljale zadovoljivo rešitev za mnoge sisteme pozicioniranja, toda povečane zahteve vsiljujejo tudi izboljšane pogonske sisteme. Prednost sistemov s koračnimi motorji je tudi v enostavnosti uporabe krmilnih vezij, ki so večinoma v integrirani obliki. Kombinacija prednosti v hitrosti, visoki moči, nizki ceni, visokem izkoristku končnih stopenj in v enostavni uporabi koračnih motorjev odpira široke možnosti uporabe.

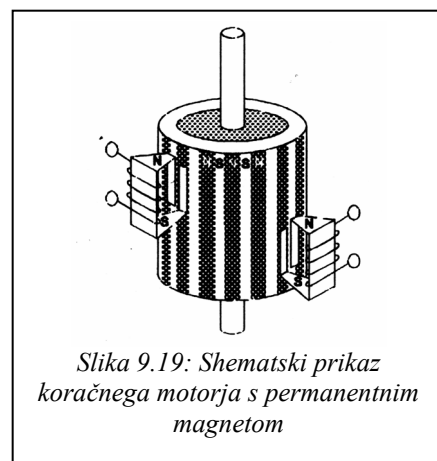
Vse to je lahko v prid koračnim motorjem samo, če so pravilno priključeni in navitja ustrezno krmiljena. To vključuje način napajanja, elektronska stikala in izvor krmilnih impulzov (digitalna informacija). Enosmerna napetost je priključena na motor preko mreže močnostnih elektronskih stikal. Učinek tega je, da se za vsak impulz na izhodni stopnji rotor premakne za en korak. Kot, ki pripada enemu koraku zavisi od tipa motorja in je lahko od 1.8 do 15 kotnih stopinj. Torej, če pride 24 impulzov na krmilno vezje, se bo os motorja s korakom 15° zavrtela za cel krog. Čas v katerem bo opravljen zasuk, je določen s frekvenco impulzov oz. hitrostjo korakov. Impulze za krmilno vezje lahko posreduje generator z nastavljivo frekvenco, namenski IC ali pa mikroprocesorski sistem.

Glede na konstrukcijo delimo koračne motorje na tri tipe:

- koračni motor s permanentnim magnetom,
- koračni motor s spremenljivo »reluktanco«,
- hibridni koračni motor.

#### 9.7.1.1 Koračni motor s permanentnim magnetom

Kot, ki pripada enemu koraku pri koračnem motorju s permanentnim magnetom je odvisen od razmerja števila magnetnih polov na statorju in števila magnetnih polov na rotorju. Zaradi cilindrične oblike permanentnega magneta so poli fiksni in številčno omejeni, kar je odvisno od karakteristike magnetnega materiala.



Povečanje premera, zaradi večjega števila polov, povzroči drastično povečanje vztrajnosti rotorja. To posledično povzroči zmanjšanje startnih sposobnosti, kar je nesprejemljivo za praktično uporabo. V praksi je možno s to izvedbo doseči le korake z relativno velikim kotom. Kakorkoli, možno je doseči tudi manjše korake vendar tako, da se namesti vzdolž rotorja še en stator, ki je za polovični kot koraka zamaknjen glede na prvega.

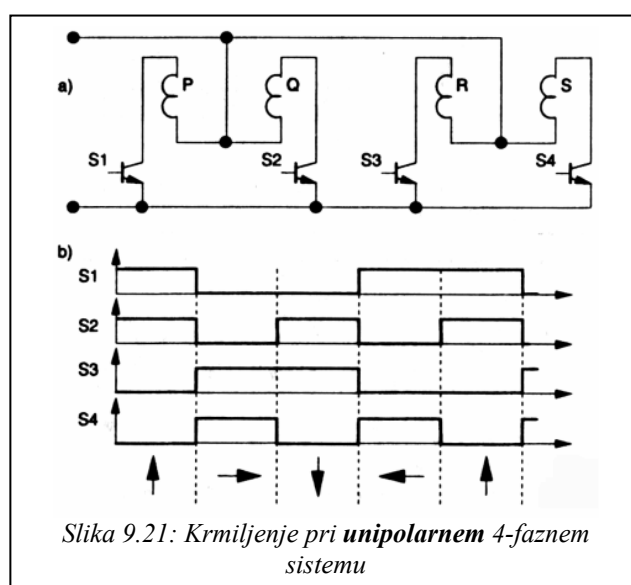
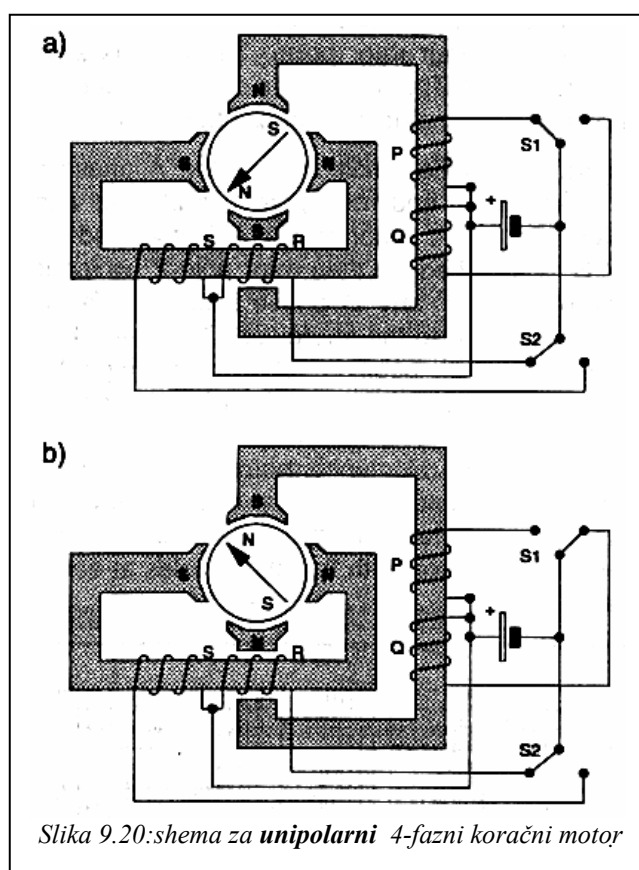
Statorski sestav obsega dva ali več statorjev in tok v vsakem navitju povzroči ustrezno razmaknjeno magnetno polje. Pri menjavi smeri toka skozi navitje se razvije premik severnega in južnega pola. Menjavanje smeri toka skozi zaporedno razmeščena statorska navitja povzroči rotirajoče magnetno polje, kateremu rotor (permanentni magnet) sledi. Hitrost vrtenja je pogojena s frekvenco s katero so statorska navitja (in posledično magnetni poli) vzbujana, smer pa je določena z izbranim zaporedjem preklapljanja navitij.

Menjavo smeri toka skozi navitja lahko glede na izvedbo navitij izvajamo na enega izmed dveh načinov in glede na to razvrščamo koračne motorje še v dve skupini: unipolarne in bipolarne. Za enostavnejše razumevanje je shematsko prikazan motor za primer rotorja z dvema poloma. Koračni motor ima lahko v smislu zmanjšanja kota koraka tudi do 24 polov, vendar je način delovanja enak.

### 9.7.1.2 Unipolarni koračni motor

Vsako izmed dveh ali več statorskih navitij unipolarnega motorja ima izveden sredinski odcep, ki je spojen na enega od priključkov napajalnega izvora (npr.+). Smer toka skozi navitje je odvisna od tega, kateri od obeh koncev navitja je trenutno »spojen« preko pripadajočega stikalnega transistorja na drugi potencial napajalnega izvora (npr. -). Menjava smeri toka med obema koncema navitja, posledično povzroči menjavo magnetnih polov na pripadajočem statorskem jedru.

Slika 9.20a shematsko ponazarja 4-fazni koračni motor pri katerem sta fazi P in R vzbujeni. Severna pola P in R povzročita označeno usmerjenost rotorja. V primeru, da se stikalo S1 preklopi, se fazi Q in R vzbudita, statorsko polje spremeni smer in kakor prikazuje slika 9.22b se rotor zavrti za 90° tako, da se rotorjeva magnetna os poravna s statorskim magnetnim poljem. Od sekvence preklpov stikal S1 in S2 je odvisno kako se bo rotor premikal naprej v eno oziroma drugo smer.

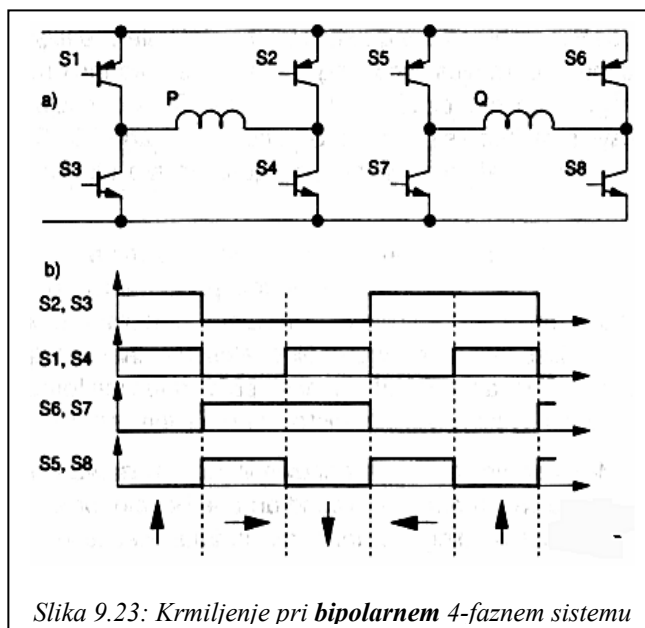
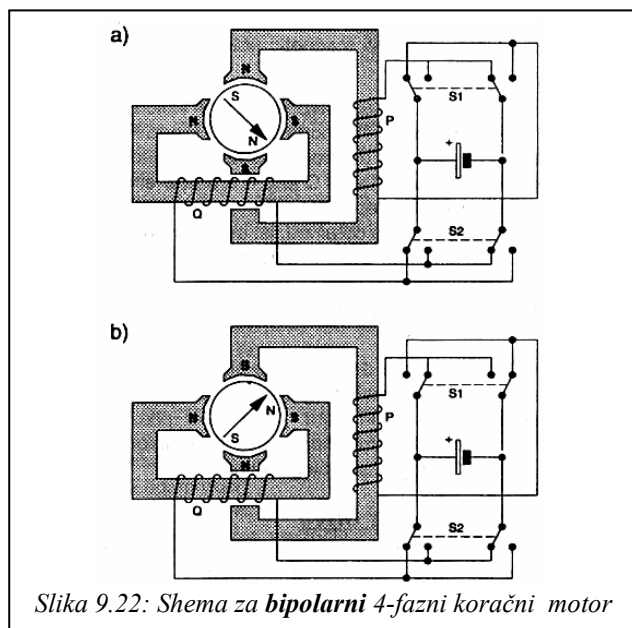


Slika 9.21a prikazuje poenostavljeno izvedbo krmilja za 4-polni unipolarni motor. Sekvenco preklpov posameznih stikal prikazuje slika 9.21b. V vsaki sekvenci sta v tem primeru istočasno vzbujeni dve fazi motorja, kar usmeri magnetno polje in rotor v vmesni položaj, ter poveča moment.

### 9.7.1.3 Bipolarni koračni motor

Za razliko od unipolarne izvedbe, statorska navitja bipolarnega koračnega motorja nimajo sredinskega odcepa na posameznem statorskem navitju. Namesto izmenljivega vzbujanja ene ali druge polovice navitja za doseganje reverzne smeri toka (posledično smeri magnetnega polja), je pri tej izvedbi to mogoče le s spremembo napetostnih potencialov na obeh straneh navitja. Delovanje motorja na bipolarno vzbujanje je povsem enako kot pri unipolarnem motorju, kar je razvidno s slike 9.22. Ko se smer toka v fazi P obrne zaradi preklopa stikal S1 (slika 9.22a), statorsko magnetno polje spremeni smer in za ustrezen kot (v tem primeru za  $90^\circ$  levo) premakne rotor.

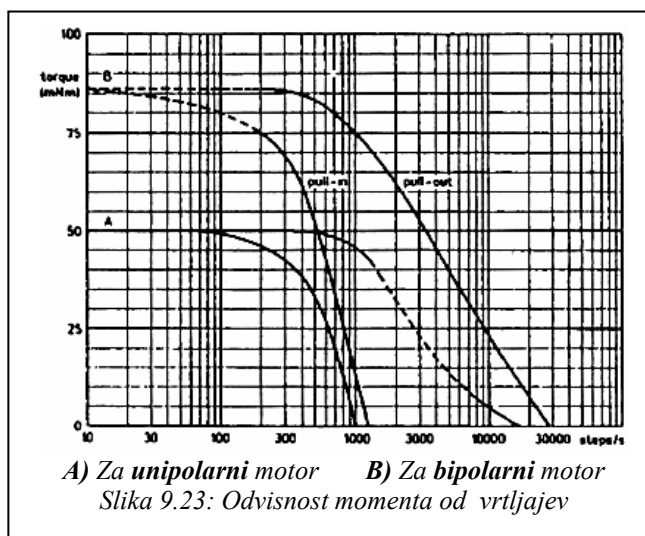
Slika 9.23a prikazuje poenostavljeno izvedbo krmiljenja za 4-fazni bipolarni motor. Stikala morajo biti krmiljena vedno v parih kot npr.: S1, S4 skupaj in S2, S3 skupaj. Časovni diagram sekvence preklopov predstavlja slika 9.23b. Prednosti motorjev z bipolarnim vzbujanjem so prikazane na sliki 9.23, kjer je primerjava momentov unipolarnega motorja z enakovrednim bipolarnim. Bipolarni motorji razvijejo pri nižjih hitrostih večji moment (debelejša žica) v primerjavi z unipolarnimi, pri višjih hitrostih pa se moment skoraj izenači.



#### Primerjava lastnosti koračnih motorjev

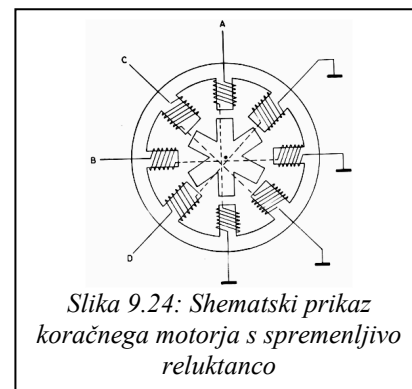
Unipolarni 4-fazni koračni motor (slika 1) ima v bistvu po fazi dve navitji, ki sta nameščeni na jedru vsakega statorja (bifilarno navitje) kar pomeni, da so skupno štiri navitja. Ker je za dve navitji pri unipolarnem na razpolago isti prostor kot ga ima eno navitje pri bipolarnem, mora biti žica tanjša in je zato upornost navitja večja. Bipolarni motorji imajo na jedru statorja samo eno navitje (zato debelejša žica) kar pomeni, da ima sicer enak motor z dvema statorjema le 2 navitji oz. motor s štirimi statorji 4 navitja. Prednost unipolarnih je v enostavnejšem krmilnem vezju s samo štirimi tranzistorji.

Za krmiljenje bipolarnega koračnega motorja je potrebno osem tranzistorjev, vendar so stikalne zahteve ugodnejše. Pri bipolarnem vzbujanju je treba biti pozoren, da je med impulzi zagotovljeno dovolj časa, da ne pride do odprtja tranzistorjev v isti vertikali. Odprtje tranzistorjev v isti vertikali bi povzročilo kratek stik za napajalnik in posledično uničenje tranzistorjev. Pravilno delovanje bipolarnih navitij zagotavlja optimalne lastnosti motorja od nižjih do srednjih hitrosti vrtenja.

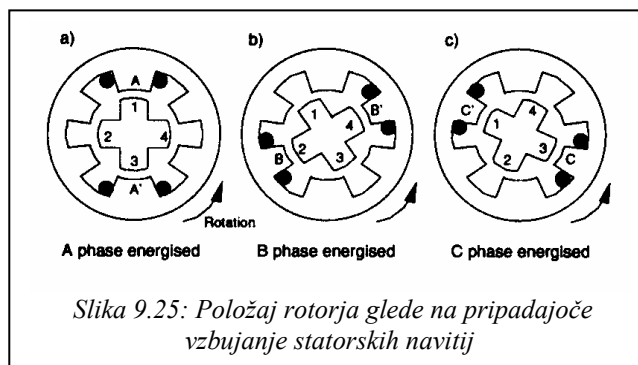


### 9.7.1.4 Koračni motor s spremenljivo reluktanco

Pri koračnem motorju s spremenljivo reluktanco nastane moment zaradi sile, katera nastane med magnetizirano komponento (na statorskem polu kot posledica toka skozi navitje) in pasivno komponento iz železa ( pol ozobljenega rotorja). Zaporedno vzbujanje statorskih polov povzroči magnetno silo na najmanj razmaknjene zobe med rotorjem in statorjem, ki pritegne rotor (zavrti) in rotorjeve zobe »poravna« s statorjevimi na vzbujenem jedru. Slika 9.24 prikazuje poenostavljeno izvedbo motorja s spremenljivo reluktanco s šestimi statorskimi in štirimi rotorskimi poli. Rotor je ozobljen železni valj, stator pa je navit tako, da ima vsak statorski pol svoje navitje.



Slika 9.25 prikazuje stanje ko je **faza A** motorja vzbujena in je rotorjev pol **1** poravnana s polom vzbujanega navitja. V primeru, da se navitje v **fazi A** izključi in vključi navitje **faze B**, kateri je nasproti najbližji **pol 2**, bo nastala magnetna sila in pritegnila **pol 2** in ga poravnala s polom **B**. Rotor se bo premaknil naprej v položaj kot ga prikazuje slika 9.25b. V naslednji sekvenci se vzbudi faza **C**, ki podobno povzroči nadaljni premik -slika 9.25c.

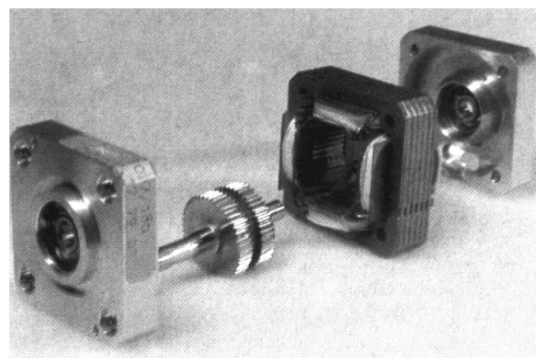


Kot enega koraka lahko pri koračnem motorju s spremenljivo reluktanco še zmanjšamo, če naredimo več kot en set premaknjenih polov na rotorju, ki so nameščeni po dolžini stroja. Med sabo različno premaknjeni poli rotorja se postopoma poravnava s statorjevimi v vsaki poziciji.

### 9.7.1.5 Hibridni koračni motor

V uporabi je pogosta izvedba hibridnega koračnega motorja, kjer moment ustvarjata sili po metodi permanentnega magneta in spremenljive reluktance. To zagotavlja boljše lastnosti pri manjšem volumnu in posledično manjšo vztrajnost, ter omogoča male korake.

Rotor hibridnega koračnega motorja je sestavljen iz aksialno orientiranega magneta in dveh zobatih diskov na vsaki strani kot prikazuje slika 9.26. Zobje na diskih, zaradi drugačnega števila kot je število zob na statorju, niso vsi poravnani z nasprotnimi na statorju, ampak se ustrezno po statorskem polu poravnava, glede na vzbujanje posameznih tuljav. Podobno kot je pri motorju s spremenljivo reluktanco. Permanentni magnet na rotorju predstavlja dodatno polariteto, ko se rotorjevi zobje poravnava s statorjevimi poli. Sestavljen niz magnetov in ozobljenih diskov (multi-stack) omogoča manjši kot koraka.



Nekatere izvedbe imajo lahko permanentni magnet na statorju, vendar je delovanje identično.

## 9.7.2 POJMI V SISTEMIH S KORAČNIMI MOTORJI

Skrbna izbira ustreznega koračnega motorja zahteva absolutno poznavanje karakteristik koračnih motorjev in krmilnega vezja. Sistem s koračnim motorjem sestavlja koračni motor, napajalnik, krmilna logika in močnostni ojačevalnik. Značilnosti in zahteve posameznega člena, ter parametri, ki vplivajo na zanesljivost delovanja so opisane v nadaljevanju.

### Izbira vrste koračnega motorja

Standardne izvedbe po številu korakov so razvrščene v tabeli.

Za neobremenjen motor je natančnost koraka specificirana za vsak tip motorja. Npr. za motor s kotom koraka  $7,5^\circ$  je tipična natančnost pozicioniranja  $20'$  (5%), ne glede na to ali bo opravil premik za 1 korak ali 1000 korakov. Napaka koraka ni kumulativna in se v povprečju izniči na vsake štiri korake.

KOT( $^\circ$ )	Število korakov za $360^\circ$
0,9	400
1,8	200
3,6	100
3,7	96
5	48
7,5	24

Vsake štiri korake se rotor vrne v »isto« pozicijo v smislu magnetne polaritete in poti fluksa. V primeru potrebe po natančnejšem pozicioniranju je priporočljivo deliti zahtevani premik na mnogokratnik štirih korakov. To imenujemo 4-koračni način delovanja (*4-step mode of operation*).

### Momenti koračnega motorja

Za definiranje lastnosti motorja uporabljamo tri vrste momentov:

#### **Držalni moment (holding torque)**

Držalni moment je moment, ki v mirujočem stanju rotorja in pri vzbujenem navitju, deluje preko osi in rotor premakne za en korak. Ta moment se imenuje držalni moment (holding torque). V primeru, da je zunanji moment na os večji od dražalnega se bo rotor vrtel kontinuirano. Normalno je držalni moment večji kot delovni moment in deluje kot močna zavora v smislu držanja bremena v določeni poziciji.

#### **Pridržalni moment (detent torque)**

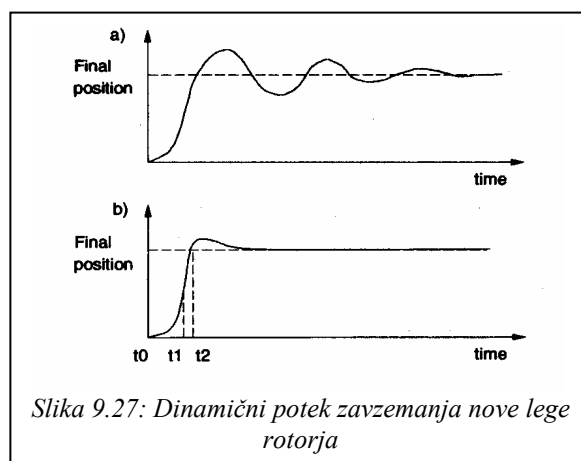
Zaradi prisotnosti magnetov pri hibridnih koračnih motorjih in koračnih motorjih s permanentnim magnetom nastopijo zavorne lastnosti tudi, če navitje motorja ni vzbujano. Zunanji moment, ki je potreben, da se os zavrti imenujemo pridržalni moment.

#### **Delovni (dinamični) moment**

Dinamično karakteristiko koračnega motorja opisujejo momentne krivulje v odvisnosti od hitrosti premikanja. Tipične krivulje so prikazane na sliki 9.23. Krivulja označena s »pull-in« ponazarja obremenitev pri kateri lahko motor starta brez izgube kateregakoli koraka in pri izbrani hitrosti. Krivulja »pull-out« ponazarja razpoložljivi moment motorja pri postopnem pospeševanju oz. zniževanju vrtljajev na delovno hitrost. Področje med obema krivuljama imenujemo »slew range«. Momentne karakteristike uporabljamo za definiranje pravilne izbire koračnega motorja.

### Prenihaj koraka (overshoot)

Po zaključku vsakega posameznega koraka rotor izvede določen prenihaj in zaniha okoli končne pozicije kot ponazarja slika 9.27a. To je normalni odziv vsakega dinamičnega sistema na impulzno vzbujanje. Dejanski odziv je odvisen od obremenitve in od vhodne moči pri vzbujanju. Odziv lahko spremenimo z povečanjem trenja pri premikanju bremena ali pa z dodajanjem dušenja. Seveda, mehanske dušilne komponente kot npr. torni diski (zavora) ali vrteča se kolesa v tekočini povečujejo ceno in kompleksnost in se zato večinoma poslužujemo elektronske izvedbe dušenja.



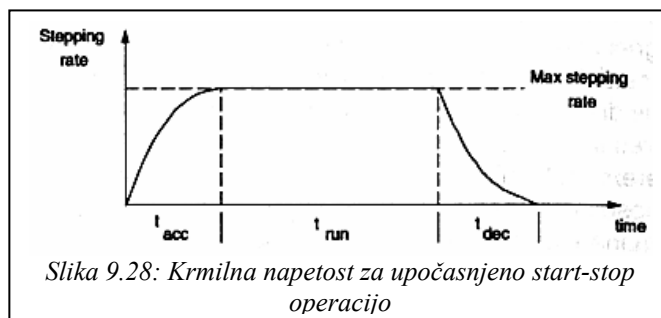
Slika 9.27: Dinamični potek zavzemanja nove lege rotorja

Večinoma se uporabljata dve metodi dušenja v elektronski izvedbi – enostavnejša je zakasnitev zadnjega impulza v nizu inkrementalnih impulzov, kar povzroči zmanjšanje efektivne dolžine zadnjega koraka. Druga izvedba je delitev vsakega impulza, tudi zadnjega v 3-etape (kot prikazuje slika 9.27b). Pri tej metodi dušenja je prvi impulz za naprej v času  $t_0$ , v času  $t_1$  nastopi impulz za reverzno smer v smislu upočasnitve rotorja in končno v času  $t_2$  drugi impulz za naprej, ki zagotovi, da rotor preide preostali del koraka in zavzame končno pozicijo. Pospeševalni moment, ki ga razvije zadnji impulz je manjši kot pri enojnem impulzu (full step) in je zato prenihaj rotorja občutno manjši.

### Zaporedje korakov (multiple stepping)

Pogosto je v rabi več alternativ za doseganje ustreznega inkrementalnega premika. Na primer rotacijo  $90^\circ$  lahko dosežemo s 6 koraki pri  $15^\circ$  motorju, 12 koraki pri  $7,5^\circ$  motorju ali s 50 koraki pri motorju s korakom  $1,8^\circ$ . V splošnem velja, da ima premik izveden z večjim številom manjših korakov tudi manjši prenehaj, kar je bolj zahtevano in tudi bolj točno kot pri izvedbi z manjšim številom večjih korakov. Pri motorju z majhnimi koraki je tudi več možnosti za krmiljenje hitrosti, v smislu upočasnjenega starta, pospešitve na polno hitrost in zatem upočasnitev vrtljajev do zaustavitve z minimalnimi oscilacijami okrog končne pozicije.

Pogosto sta VCO in kondenzator, ki se polni po eksponencialni krivulji uporabljena za pospeševanje oz. zaustavljanje motorja. RC časovna konstanta v tem primeru definira različne vrednosti rampe. Slika 9.28 prikazuje tipično časovno karakteristiko hitrosti korakov za inkrementalni premik z enakim časom naraščanja in upadanja vrtljajev.



Slika 9.28: Krmilna napetost za upočasnjeno start-stop operacijo

### Resonanca

Koračni motor, ki obratuje brez obremenitve višje od lastne notranje frekvence bo izrazil resonančne točke, ki jih je možno slišati ali zaznati s pomočjo senzorjev za vibracijo. Kakršenkoli nezaželen efekt je potrebno na primeren način odstraniti. V praksi se v tem primeru uporabi »mehkejš« vzbujanje ali pa se na os še namesti masa za dodatno vztrajnost oz. sistem dodatnega dušenja.

## 9.7.3 METODE VZBUJANJA KORAČNIH MOTORJEV

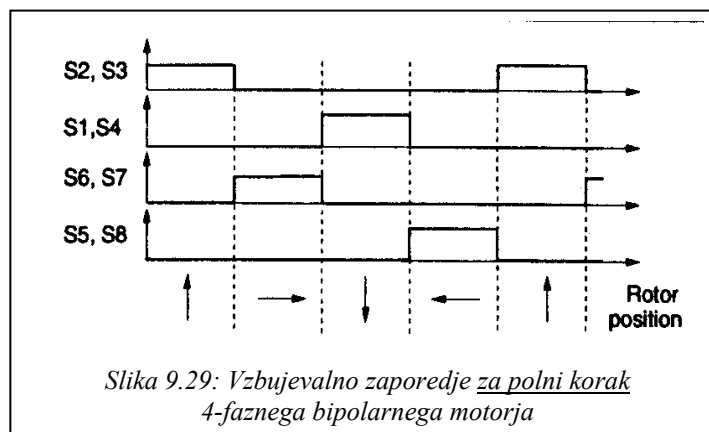
Običajna metoda vzbujanja je 4-koračna sekvenca. Druge metode uporabljamo odvisno od izvedbe navitja in zahtevanega vzorca logičnega zaporedja impulzov, ki krmilijo »stikala«.

### Valovno vzbujanje (wave drive)

Istočasno napajanje enega samega navitja, imenovano tudi valovno vzbujanje povzroči enak inkrement pozicije v 4-koračnem zaporedju - sekvenci. Slika 9.29 prikazuje sekvenco korakov za bipolarni 4-fazni motor, ki je bil obrazložen v predhodnem delu in prikazan na sliki 4.

Zaradi istočasnega vzbujanja samo enega navitja se držalni in delovni moment zmanjšata za 30%. To lahko v okviru omejitev nadomestimo s povišanjem napajalne napetosti.

Prednost te oblike vzbujanja je v večjem izkoristku, toda za ceno zmanjšane natančnosti koraka.

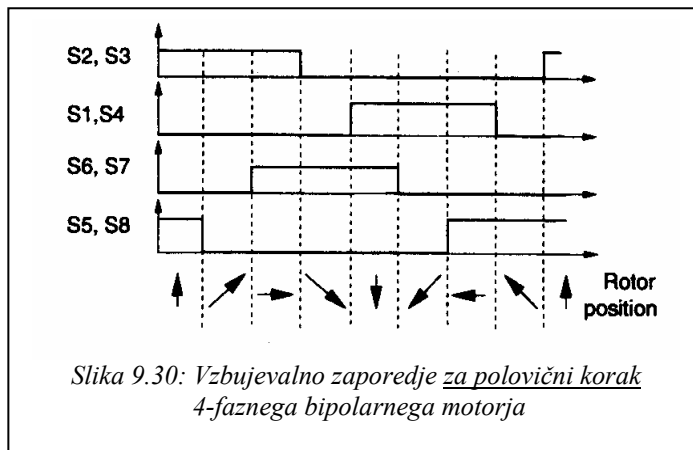


Slika 9.29: Vzbujevalno zaporedje za polni korak 4-faznega bipolarnega motorja

### Vzbujanje s polovičnim korakom (half-step mode)

Na ta način je mogoče vzbujati motor v zaporedju polovičnih korakov. To pomeni, da lahko na primer motor s korakom  $7,5^\circ$ , opravlja premike po  $3,75^\circ$ . Slaba stran tega načina je, da se držalni moment izmenoma spreminja med močnejšim in slabšim, kar lahko v nekaterih primerih povzroča težave. To je posledica tega, da je pri »full step« vzbujano samo eno navitje, pri »half step« pa dve navitji istočasno. Zaradi različnih poti magnetnega fluksa se spreminja tudi natančnost koraka, ki je seveda slabša pri »full step« premiku.

Časovni diagram na sliki 9.30, ponazarja stikalno zaporedje (sekvenco) za 4-fazni bipolarni motor.



Slika 9.30: Vzbujevalno zaporedje za polovični korak 4-faznega bipolarnega motorja

### 9.7.4 ZAHTEVE ZA NAPAVALNIK

Kadar je koračni motor napaján s konstantno nazivno napetostjo mu delovni moment upada glede na večanje hitrosti korakov. Vzrok je naraščajoča elektromagnetna sila nazaj in omejitev toka zaradi časa vzpona (časovna konstanta zaradi induktivnosti navitja), kar pomeni manj dovedene energije v navitje v primeru krajšega impulza. Ta neželen učinek je določen s časovno konstanto motorja ( $L/R$ ). zaradi višje upornosti navitja pa imajo unipolarni motorji boljše  $L/R$  razmerje kot ekvivalentni bipolarni. Ta učinek lahko kompenziramo z enim od dveh načinov:

Prvi način zahteva naraščanje napajalne napetosti zaradi ohranjanja konstantnega toka glede na povečanje hitrosti korakov.

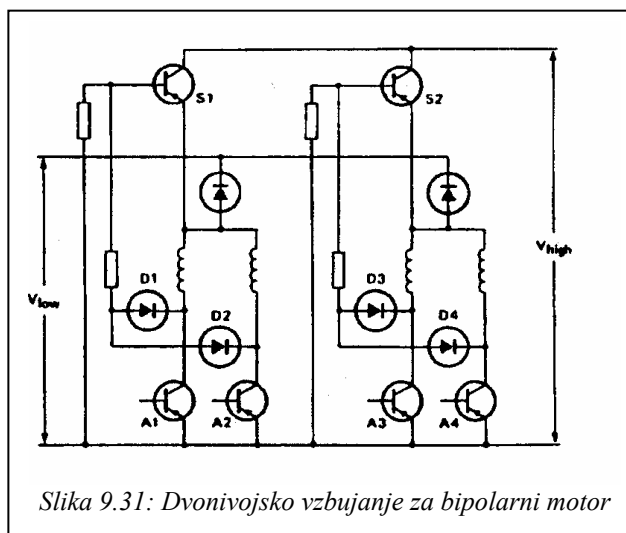
Drugi način zahteva povečano napajalno napetost (od nazivne za določeno vrednost) in dodatno zaporedno navitju vezane močnostne upore.

Z dodatkom zaporedno vezanih uporov v vzbujalnem vezju lahko izboljšamo delovanje motorja pri višjih hitrostih korakov z zmanjšanjem  $L/R$  razmerja. Na primer z dodatno vezanimi upori, s 3-kratno ohmsko upornostjo navitja dobimo modificirano razmerje  $L/4R$ . Da se ohrani nazivni tok motorja je potrebno v tem primeru napajalno napetost povečati na 4-kratno vrednost nazivne. Dodatni zaporedno vezani upori pomembno zmanjšujejo zmogljivost (izkoristek) vzbujalnega vezja.

V primeru, da je poraba moči kritična je bolje izbrati drugo metodo vzbujanja kot je npr. uporaba dvonivojske napajalne napetosti ali choperskega napajanja.

### Vzbujanje z dvonivojsko napajalno napetostjo (Bi-level drive)

Pri napajanju z dvonivojsko napajalno napetostjo vzbujalnega vezja, je motor priključen na nižjo napetost (nižja od nazivne) kadar se ne premika (zero step) in na višjo napetost (nad nazivno) kadar se premika. Za fiksne hitrosti korakov je to najbolj učinkovit način. Višji nivo napetosti je mogoče vključiti preko uporov za zaznavanje (merjenje) toka skozi navitje ali kot prikazuje slika 9.31 z učinkom pri izklopu navitja induktivno generiranih tokovnih konic. V slučaju mirujočega rotorja se navitja napajajo iz nižje napetosti. V primeru vzbujanja po 4- koračnem zaporedju, diode  $D_1$ ,  $D_2$ ,  $D_3$  in  $D_4$  odpirajo transistorja  $S_1$  in  $S_2$ , ki priključujeta koračni motor na višjo napetost napajalnika.



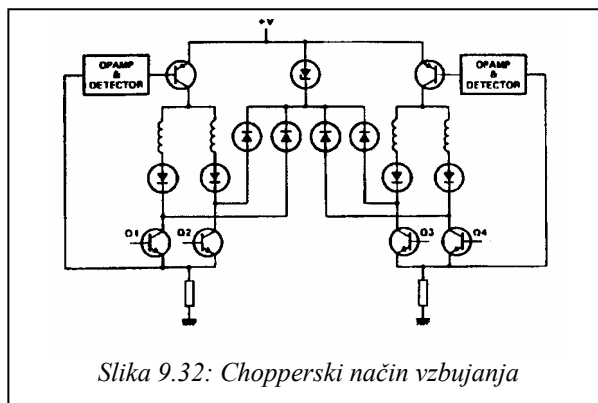
Slika 9.31: Dvonivojsko vzbujanje za bipolarni motor

### Impulzni način vzbujanja (Chopper drive)

Chopperski način vzbujanja vzdržuje tok na povprečni vrednosti s »sekanjem« napajalne napetosti. Napetost je na navitje priključena tako dolgo, dokler tok ne doseže željenega nivoja in potem se takoj izključi, ter ostane izključena dokler tok ne doseže spodnjega nivoja. Procedura se ponavlja dokler traja impulz koraka.

Za hitro pospeševanje in spremenljivo frekvenco korakov je ta način najbolj primeren. Je tudi bolj učinkovit, kot način z analognim napajalnikom s konstantnim tokom.

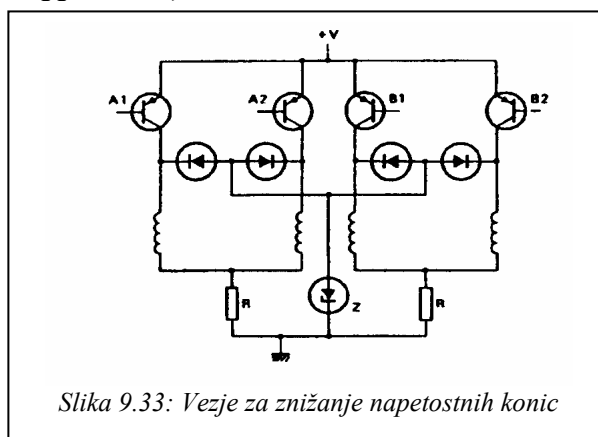
Pri izvedbi Chopper-skega vezja na sliki 9.32, je napajalna napetost  $V^+$  tipično 5 do 10-krat višja od nazivne napetosti motorja (npr. motor je za 5V DC; napajanje je 50V).



Slika 9.32: Chopperski način vzbujanja

### 9.7.5 ZNIŽANJE NAPETOSTNIH KONIC (spike suppression)

Pri izključitvi navitja od napajanja, se inducirajo visoke napetostne konice, ki lahko uničijo krmilno vezje, če niso omejene po amplitudi. Pogosto je ta omejitev izvedena s pomočjo antiparalelnih diod vzporedno z vsakim navitjem. Slabost tega načina je, da je moment motorja oslavljen dokler napetost na tranzistorjih ne doseže nivoja, ki je dvakratnik napajalne napetosti. Višji je nivo omejitve napetosti, krajše je območje indukcije, hitrejši je prehodni pojav in delovanje je zaradi tega boljše. V ta namen je pogosto dodana zener dioda ali pa zaporedno vezani upor kot na sliki 9.33.



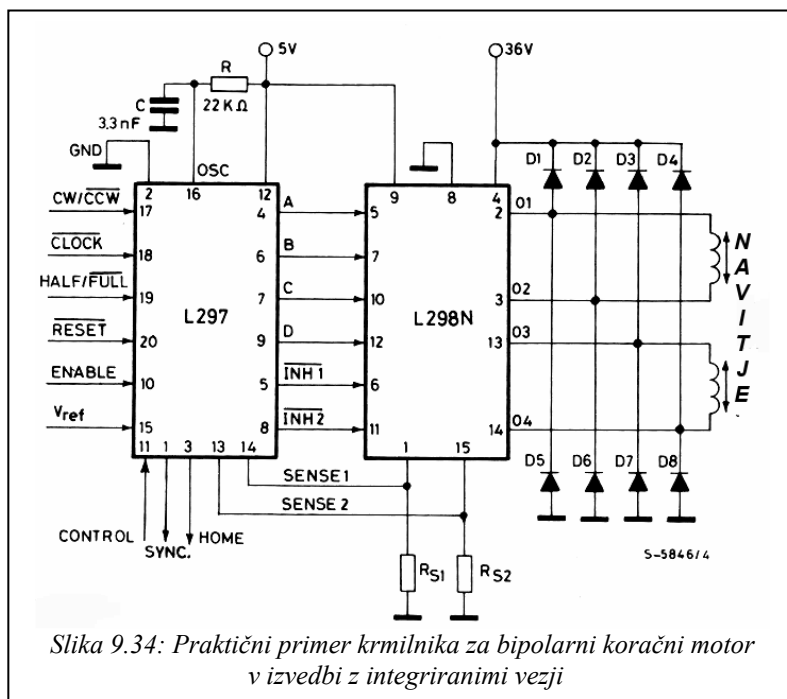
Slika 9.33: Vezje za znižanje napetostnih konic

### 9.7.6 ZMOGLJIVOST KORAČNEGA MOTORJA

V mirujočem stanju ali pri nizkih hitrostih korakov, povzroči povečana napajalna napetost sorazmerno višji moment, dokler motor ne pride v magnetno zasičenje. Blizu točke zasičenja postane motor slabše zmogljiv tako, da povečevanje moči ni smiselno.

Največja hitrost korakov koračnega motorja je omejena z induktivnostjo in vrtničnimi tokovnimi izgubami.

Pri dovolj visoki hitrosti korakov postane efekt segrevanja zaradi teh izgub na meji dovoljenega, zato je vsak nadaljni poizkus, da bi dobili višjo hitrost ali večji moment iz koračnega motorja težji.



Slika 9.34: Praktični primer krmilnika za bipolarni koračni motor v izvedbi z integriranimi vezji