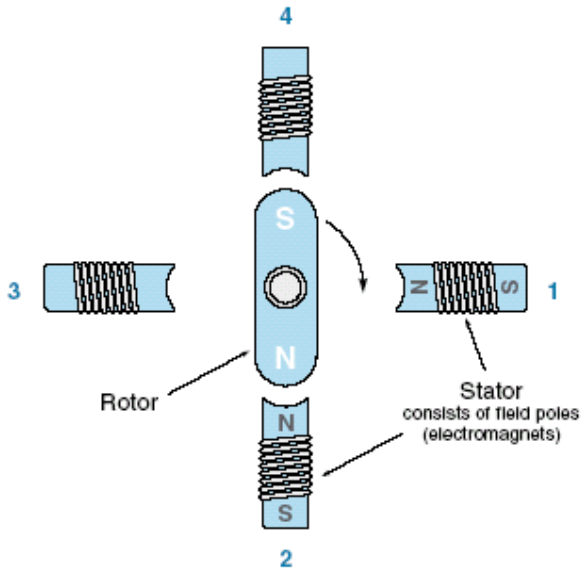
Bab VI

Motor Stepper

6.1. Pendahuluan

Motor stepper adalah motor DC yang khusus berputar dalam suatu derajat yang tetap yang disebut step (langkah). Satu step antara 0,9 sampai 90°. Motor stepper terdiri dari rotor dan stator. Rotor adalah permanen maget sedangkan stator adalah elektromagnet. Rotor akan bergerak jika stator diberi aliran listrik. Aliran listrik ini membangkitkan medan magnet dan membuat rotor menyesuaikan dengan kutub magnet yang dimilikinya.

Motor stepper digunakan khusus menentukan posisi batang motor tanpat harus mempergunakan sensor posisi. Hal ini dapat dilakukan dengan cara menghitung jumlah step yang harus diberikan dari posisi acuan. Ukuran dari step ditentukan oleh jumlah rotor dan kutub stator. Tidak ada kesalahan kumulatif yaitu kesalahan sudut tidak terus bertambahan dengan meningkatnya step.



Gambar 6.1. Motor Stepper

Motor stepper bekerja secara lup terbuka, yaitu pengatur mengirimkan sejumlah step ke motor untuk menggerakkan rotor ke posisi yang diinginkan. Sebagai contoh motor stepper pada floppy disk drive. Motor stepper memiliki kecepatan yang rendah dan sering digunakan tanpa reduksi gigi gerigi (gear reduction). Suatu jenis motor stepper dengan 500 pulsa/detik akan berputar 150 rpm. Tetapi motor stepper dapat dibuat berputar 1 rpm atau kurang dengan akurasi yang tinggi. Terdapat tiga jenis motor stepper yaitu magnet permanen, variable reluctance dan hibrid.

6.2. Permanent Magnet Stepper Motor

Permanent Magnet (PM) Stepper Motor menggunakan magnet permanen sebagai rotornya. Pada gambar 6.1 adalah jenis PM Motor Stepper dengan 4 medan (stator). Jika kumparan medan 1 diberi energi listrik maka kutub selatan rotor akan tertarik menuju kumparan ini. Jika kumparan 1 tidak diberi energi dan kumparan 2 diberi energi maka rotor akan berputar dan menuju kumparan 2. Jadi rotor memiliki step 90° untuk setiap kali pemberian energi ini.

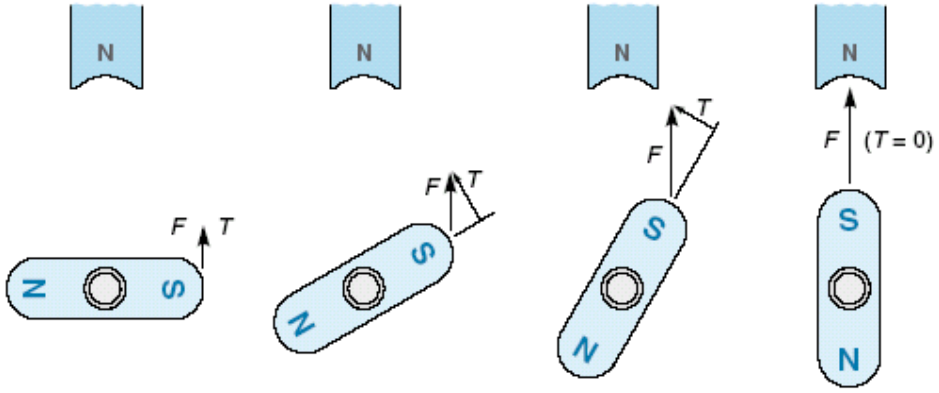
Salah satu sifat motor stepper yang diinginkan adalah rotor akan mengarah kepada kutub yang terdekat meski tidak dialiri listrik. Anda akan merasakan

hentakan magnet ini jika memutar motor stepper dengan tangan. Gejala ini disebut detent torque atau residual torque (torsi sisa). Torsi residu ini sangat diperlukan karena membuat motor berhenti pada step terakhir yang diperintahkan.

6.2.1. Efek Pembebanan Pada Motor Stepper

Dalam pengerjaan lup terbuka seharusnya motor stepper harus bergerak satu step setiap kali diperintah tetapi jika bebanya terlalu berlebihan motor stepper memiliki torsi untuk membuat satu step. Mungkin rotor akan berputar sedikit kemudian kembali ke posisi semula tanpa mencapai satu step. Ini yang disebut dengan stalled. Jika pengatur tidak memiliki umpan balik maka pengatur tidak akan pernah tahu kalau tidak tercapai sebuah step.

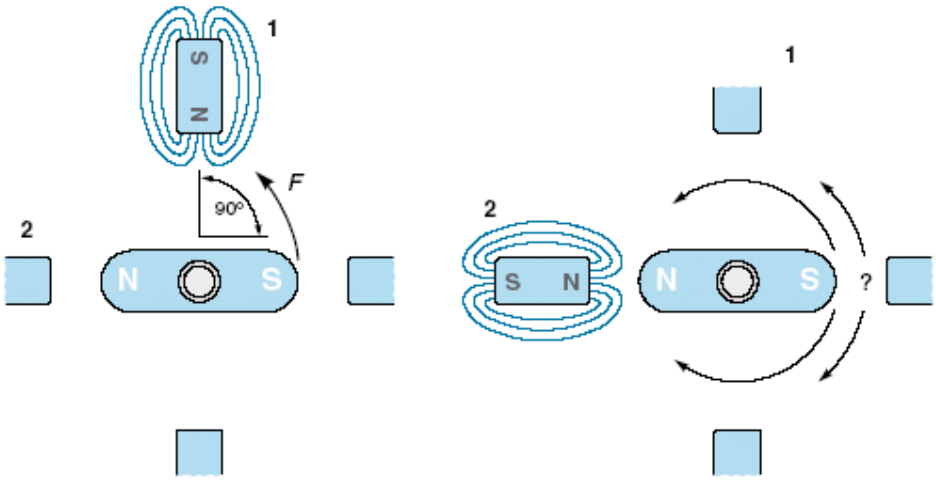
Pada saat rotor tepat pada kutub stator torsinya adalah nol, torsi hanya terjadi pada saat rotor tepat pada kutub stator. Kejadian ini digambarkan pada gambar 6.2. Saat stator dialiri listrik terjadi gaya pada kutub utara rotor untuk bergerak menuju kutub selatan stator. Terjadi torsi yang memutar rotor dan gaya tarik semakin bertambah. Pada saat rotor tepat di depan stator (gambar terakhir di Gambar 6.2) terjadi gaya tarik yang paling besar tetapi torsinya tidak ada. Pada prakteknya rotor akan berhenti sebelum tepat di depan stator saat torsi step yang melemah ini sama dengan torsi beban.



Gambar 6.2. Perubahan gaya dan torsi saat Rotor menuju stator

Misal rotor diinginkan berputar berlawanan arah jarum jam. Jika rotor tertinggal satu step (langkah) dari stator yaitu pada saat rotor baru mau bergerak kumparan kedua sudah dialiri (Gambar 6.3). Hal ini menyebabkan rotor bisa berputar berlawanan arah jarum jam tetapi bisa juga searah jarum jam dalam mengejar kutub utara stator.

Karena itu dibatasi agar rotor tidak tertingal lebih dari setengah step. Pada saat ini torsi yang dimiliki motor akan cukup untuk memutar rotor sampai ke arah yang diinginkan tanpa harus stall. Pada saat motor berputar dengan cepat, step dari motor akan tetap dengan adanya kelembaban dari rotor.

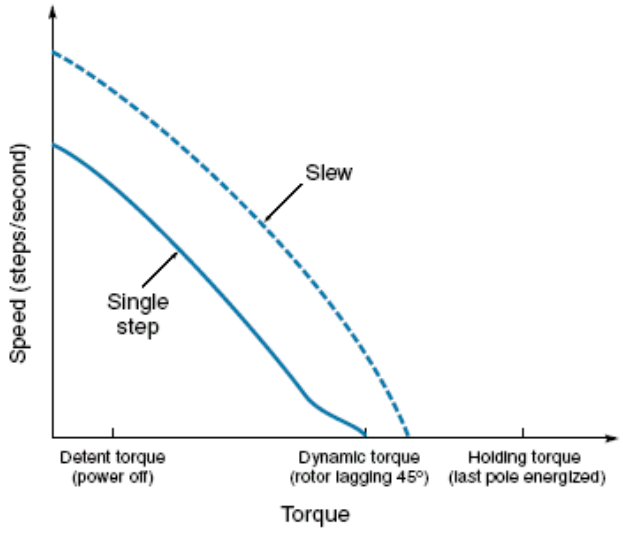


Gambar 6.3. Rotor tertunda satu step

6.2.2. Mode Operasi

Motor stepper memiliki dua mode operasi yaitu single step dan slew. Pada mode single step atau mode dua arah motor berputar dengan frekuensi yang rendah dan masih memungkinkan rotor untuk berhenti sesaat saat sampai kutub stator. Untuk setiap step sudutnya terlampaui sesaat kemudian berhenti atau berosilasi sebelum diam. Mode single step ini memiliki keuntungan setiap step tidak tergantung pada step yang lain sehingga motor bisa langsung stop atau langsung berganti arah. Kelemahannya adalah lambat dan tersendat-sendat. Misal kecepatan mode single step adalah 5 step per detik maka akan membuat putaran 15 rpm menjadi 15° per step.

Pada mode slew atau mode arah tunggal frekuensi rotor cukup tinggi sehingga rotor tidak punya waktu untuk berhenti. Pada mode ini motor berputar dengan torsi terus menerus secara kontinu seperti putaran motor DC. Pada mode slew ini motor tidak dapat berhenti tiba-tiba atau berganti arah tiba-tiba. Jika dipaksakan berhenti maka rotor akan berputar beberapa step lebih jauh baru berhenti. Sehingga perhitungan step menjadi tidak tepat. Untuk mengatasinya pengatur harus tahu kapan mode slew akan berakhir dan harus menurunkan kecepatannya saat akan berakhir.



Gambar 6.4. Kurva Torsi – kecepatan pada single mode dan slew mode

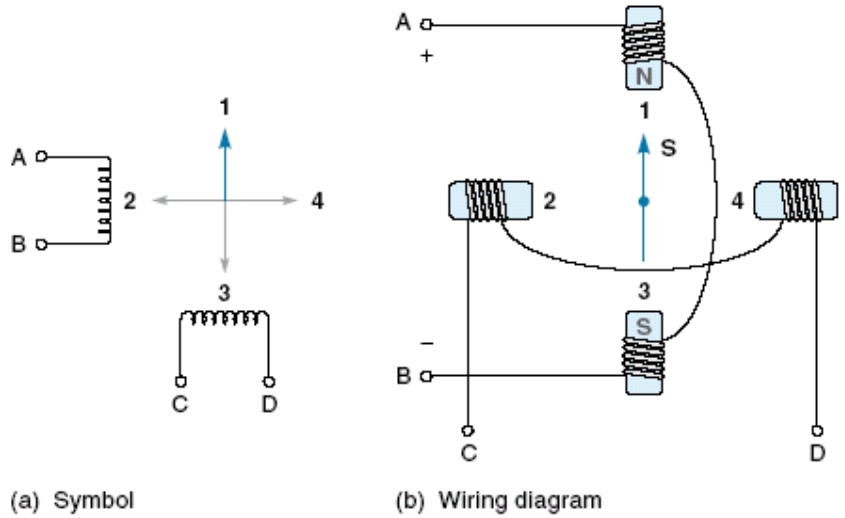
Kurva antara torsi dan kecepatan diperlihatkan pada gambar 6.4. Detent Torque adalah torsi yang diperlukan untuk membangkitkan gaya pada magnet permanen (rotor) diawal pemberian daya. Yaitu hentakan kecil saat anda memutar motor secara manual saat motor tidak diberi daya. Dynamic Torque adalah torsi putar maksimum saat rotor tertinggal setengah step terhadap kutub medan. Holding torque adalah torsi stall terbesar saat motor sudah berhenti tetapi medan terakhir masih diberi energi.

6.2.3. Mode Eksitasi untuk PM Motor Stepper

Motor stepper memiliki beberapa kombinasi lilitan dan rotor. Terdapat beberapa urutan energi pada lilitan medan yang menentukan jumlah lilitan yang terpisah, yang dinyatakan dengan phase

6.2.3.1. Two Phase (Bipolar) Stepper Motor

Two-Phase (bipolar) stepper motor memiliki dua rangkaian lilitan dengan 4 kutub medan. (Gambar 6.5)



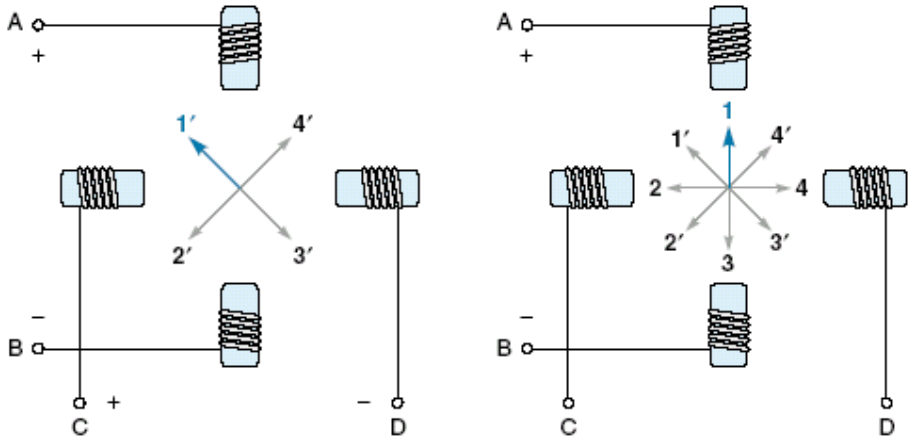
Gambar 6.5. Two-Phase (Bipolar) Stepper Motor

Disebut bipolar karena arus yang mengalir pada lilitan bisa sewaktu-waktu berubah polaritas. Lilitan AB jadi satu pada saat A positif dan B negatif maka rotor akan ada pada posisi 1. Jika diinginkan motor berputar berlawanan arah jarum jam maka setelah AB diberi energi, aliran AB dihentikan dan lilitan CD diberi energi dengan polaritas C positif dan D negatif sehingga rotor ada pada posisi 2 untuk memutar ke posisi 3 maka lilitan CD alirannya diberhentikan dan lilitan AB diberi energi lagi tapi sekarang dengan polaritas yang berlawanan. Untuk berputar berlawanan arah jarum jam maka susunan eksitasi single mode adalah sebagai berikut:

Circuit	Position
A+ B–	1
C+ D–	2
A– B+	3
C– D+	4

Cara yang lain adalah dengan memberi aliran pada kedua rangkaian AB dan CD secara bersamaan sehingga rotor berada pada posisi diantara kutub-kutub. Urutan eksitasi dual mode ini adalah sebagai berikut:

Circuits	Position
A+ B– and C+ D–	1′
A– B+ and C+ D–	2′
A– B+ and C– D+	3′
A+ B– and C– D+	4′



(a) Dual excitation (energized for position 1)

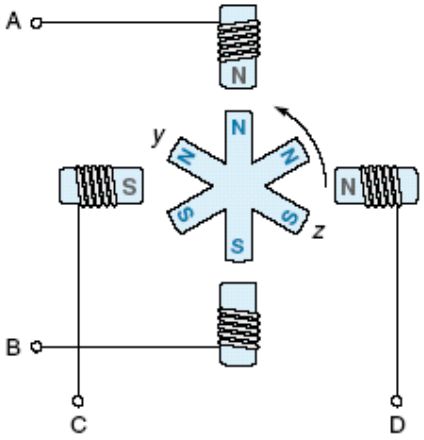
(b) Eight-step drive using "half-steps"

Gambar 6.6. Mode Operasi tambahan

Kedua cara single mode dan dual mode ini memberikan 4 step. Memberikan arus listrik sekaligus pada kedua rangkaian menyebabkan torsinya lebih kuat daripada single mode tetapi lebih banyak energi yang dikonsumsi.

Cara lain dengan memberikan setengah step maka akan diperoleh 8 step (Gambar 6.6). Posisi 1, 2, 3 dan 4 diperoleh dari single mode sedangkan posisi 1', 2', 3' dan 4' diperoleh dari dual mode.

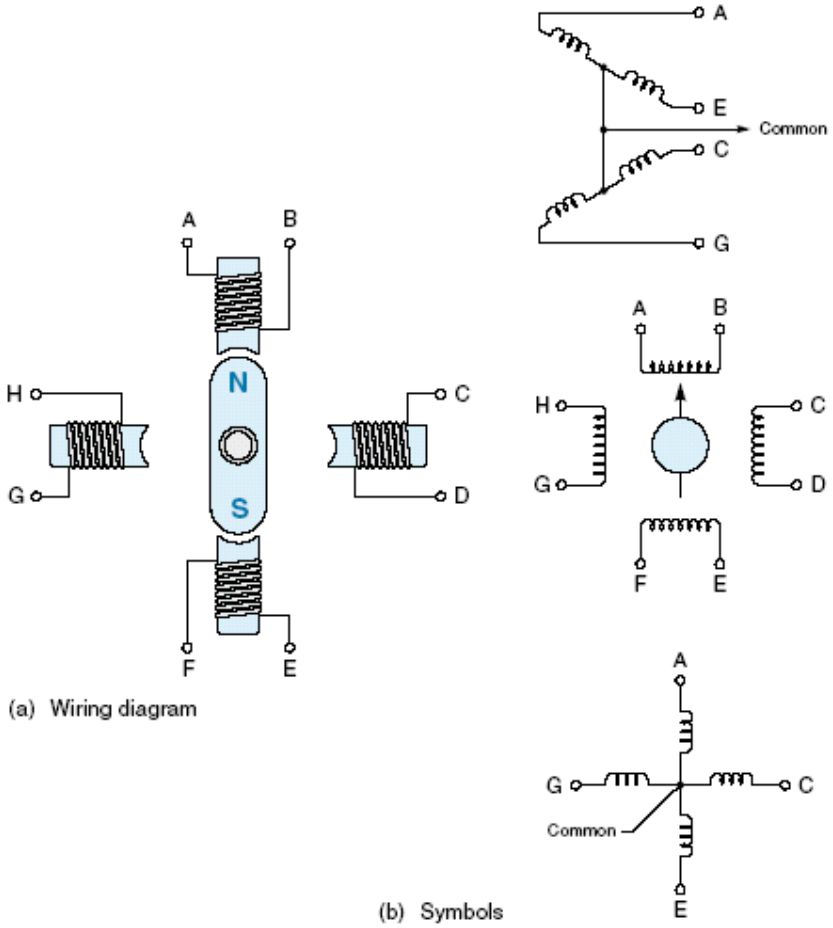
Pada rotor yang jumlah kutubnya lebih banyak akan diperoleh ukuran step yang lebih kecil. Misal motor stepper dengan 6 rotor akan menghasilkan step sebesar 30°.



Gambar 6.7. Motor 30° dengan 6 kutub rotor

6.2.3.2. Four Phase (Unipolar) Stepper Motor

Jenis ini paling sering digunakan, kata four phase berarti motor stepper ini mempunyai 4 lilitan dan kata unipolar berarti arah arus pada setiap lilitan selalu sama polaritasnya tidak pernah berubah.

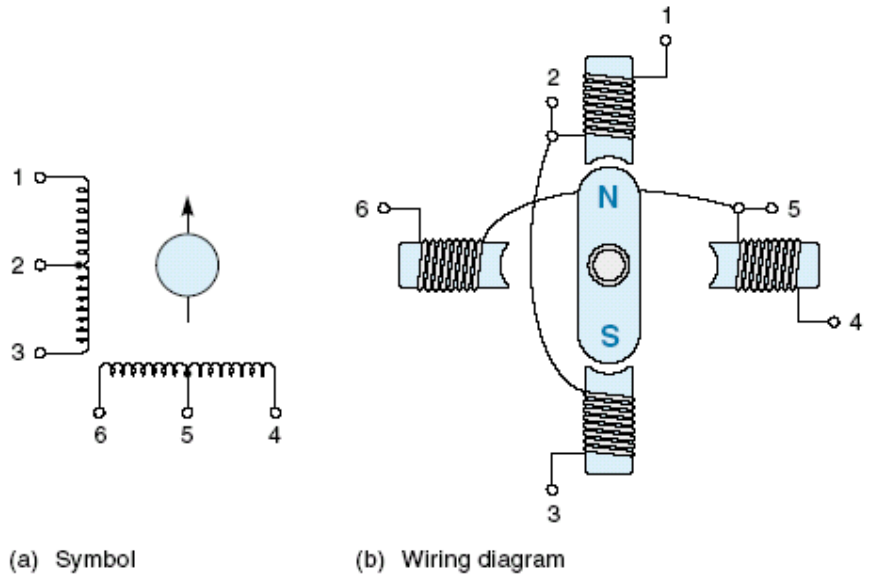


Gambar 6.8. Four Phase (Unipolar) Stepper Motor

Untuk memutar Four-Phase Stepper Motor pada arah searah jarum jam urutan stepnya adalah

A B
C D
E F
G H

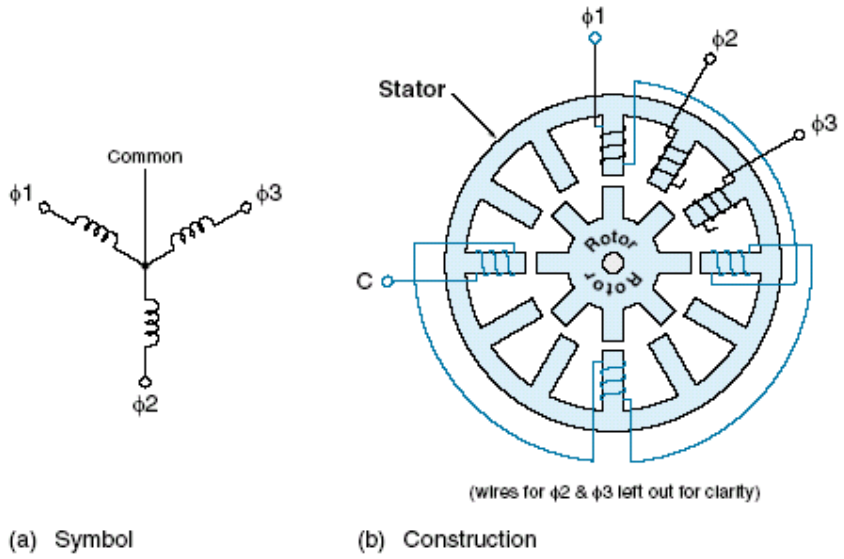
Biasanya suatu Four-phase stepper motor dapat dioperasikan sebagai two phase sekaligus menggunakan perangkat center tap (Gambar 6.9). Saat ingin dibuat two phase, center tap (terminal 2 dan 5) tidak dihubungkan sedangkan saat ingin dibuat menjadi four-phase terminal 2 dan 5 dihubungkan dengan ground.



Gambar 6.9. Four-Phase Stepper Motor

6.3. Variable-Reluctance Stepper Motor

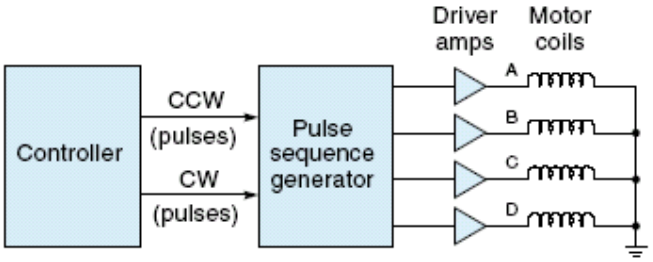
Variable-Reluctance (VR) Stepper Motor pada rotornya tidak menggunakan magnet tetapi sebagai gantinya digunakan roda beri bergerigi (Gambar 6.10b)



Gambar 6.10 Variable-Reluctance Stepper Motor

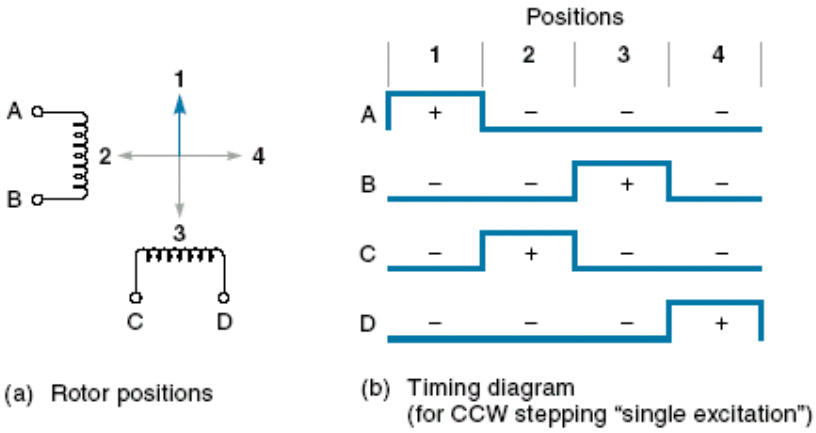
6.4. Rangkaian Penggerak Pengontrol Motor Stepper

Rangkaian penggerak terdiri dari sebuah pengatur (controller) yang menentukan jumlah dan arah dari step (CCW=Counter Clock wise, CW=clock wise). Sedangkan Generator pulsa membangkitkan pulsa yang sesuai untuk masing-masing lilitan sesuai dengan arah dan besar step yang diinginkan. Motor stepper tidak memerlukan operasional amplifier karena hanya biasanya digunakan secara digital yaitu penyalaan on/off saja.



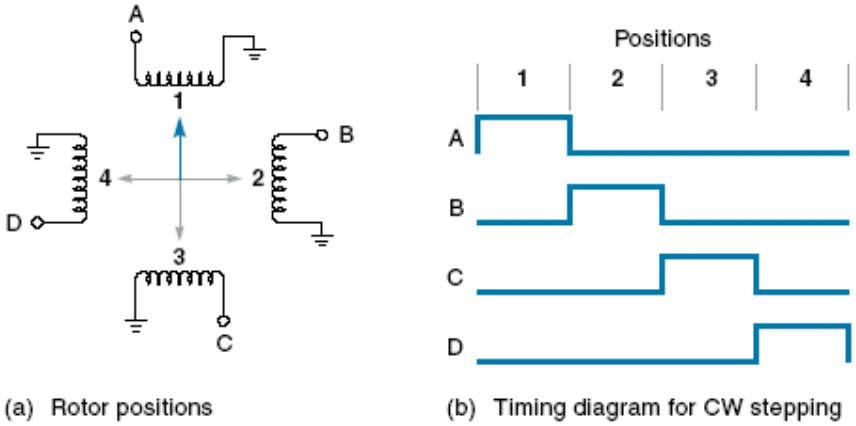
Gambar 6.11. Penggerak Motor Stepper

Untuk menggerakkan two phase (bipolar) stepper motor berlawanan arah jarum jam (CCW) digunakan timing diagram pada gambar 6.12. Misal untuk posisi rotor di 1 maka kutub A diberi polaritas positif dan kutub B negatif sehingga mengalir arus sedangkan kutub C dan D diberi polaritas negatif atau rangkaiannya menjadi off.



Gambar 6.12 Posisi rotor dan timing diagram two phase stepper motor

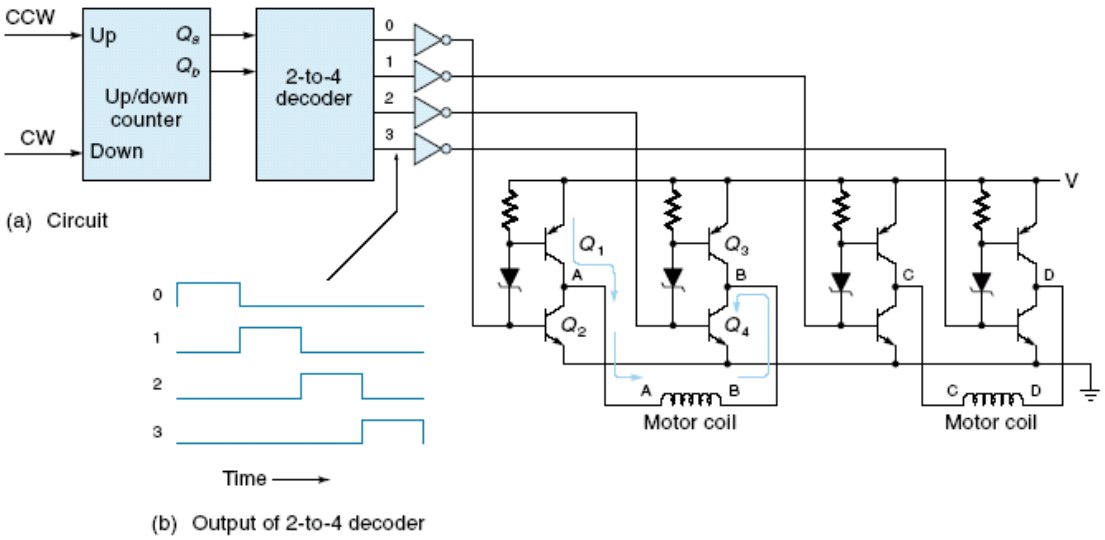
Sedangkan timing diagram untuk four-phase dapat dilihat pada gambar 6.13.



Gambar 6.13. Posisi rotor dan timing diagram four-phase stepper motor

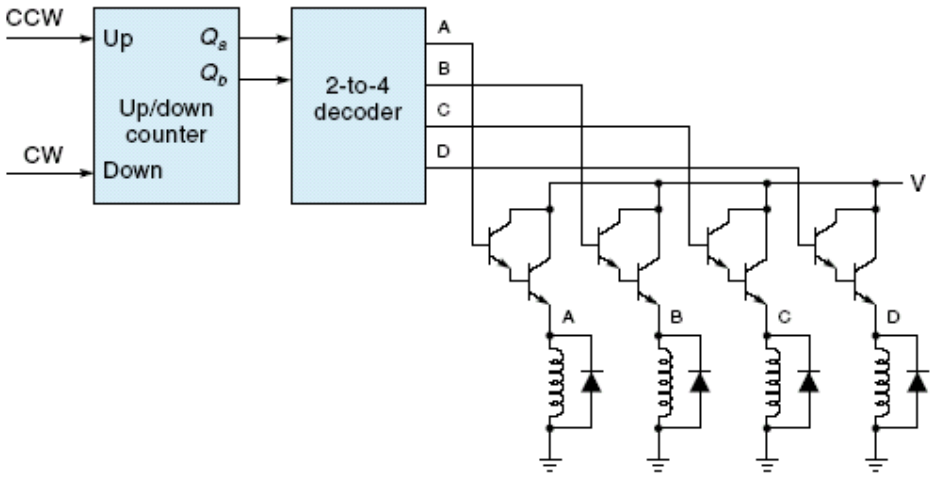
Untuk membuat timing diagram seperti pada gambar 6.12 dapat dilakukan dengan menggunakan rangkaian digital (Gambar 6.14) yang menghasikan posisi naik (UP) dan posisi pulsa turun (DOWN). Setiap timing diagram ini dinyatakan dengan pulsa digital menggunakan 2 to 4 decoder yang

menghasilkan keempat timing diagram dinyatakan dengan salah satu dari nilai 00, 01, 10, 10 dan 11. Output dari decoder harus diinverting dan dihubungkan ke rangkaian transistor simetri. Resistor dan zener membuat transistor UP menjadi on pada saat keluaran OFF dan sebaliknya



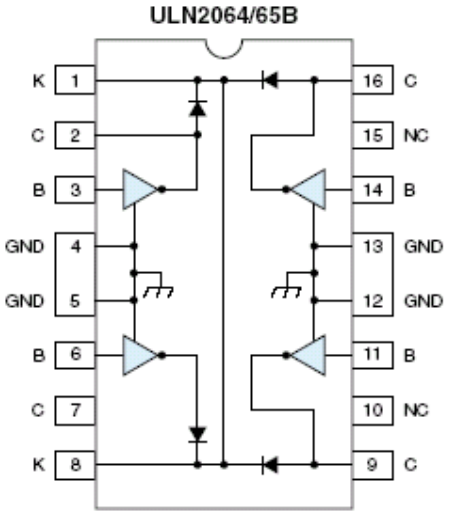
Gambar 6.14. Rangkaian lengkap penggerak two-phase stepper motor

Rangkaian untuk four-phase stepper motor mirip dengan gambar 6.14 tetapi pada keluaran decoder tidak perlu ditambahkan inverting lagi. Keluaran dari decoder dihubungkan ke 4 penguatan darlington.



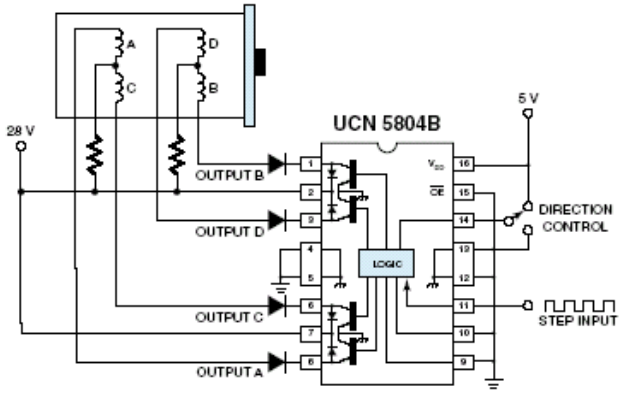
Gambar 6.15 Rangkaian lengkap penggerak four-phase stepper motor

Biasanya keempat penguat Darlington sudah tersedia di dalam IC Allegro ULN-2064/65B. Penguat ini dapat disuplai sampai 1,5 A dan dan digerakkan langsung dari TTL 5V logika. Dioda sebagai tempat pembuangan arus saat transistor off.



Gambar 6.16. IC Allegro ULN-2064/65B

Contoh lain adalah Allegro UCN-5894B yang memiliki tiga mode pengoperasian.



(a) Driver circuit

WAVE-DRIVE SEQUENCE

Half Step = L, One Phase = H

Step	A	B	C	D
POR	ON	OFF	OFF	OFF
1	ON	OFF	OFF	OFF
2	OFF	ON	OFF	OFF
3	OFF	OFF	ON	OFF
4	OFF	OFF	OFF	ON

↓ DIRECTION = L ↑ DIRECTION = H

TWO-PHASE DRIVE SEQUENCE

Half Step = L, One Phase = L

Step	A	B	C	D
POR	ON	OFF	OFF	ON
1	ON	OFF	OFF	ON
2	ON	ON	OFF	OFF
3	OFF	ON	ON	OFF
4	OFF	OFF	ON	ON

↓ DIRECTION = L ↑ DIRECTION = H

HALF-STEP DRIVE SEQUENCE

Half Step = H, One Phase = L

Step	A	B	C	D
POR	ON	OFF	OFF	OFF
1	ON	OFF	OFF	OFF
2	ON	ON	OFF	OFF
3	OFF	ON	OFF	OFF
4	OFF	ON	ON	OFF
5	OFF	OFF	ON	OFF
6	OFF	OFF	ON	ON
7	OFF	OFF	OFF	ON
8	ON	OFF	OFF	ON

↓ DIRECTION = L ↑ DIRECTION = H

(b) Modes of operation

Gambar 6.17. Rangkaian UNC-5894B Penggerak Unipolar Stepper Motor