

9.1 Điều khiển động cơ điện

TS Nguyễn Hồng Quang



Electrical Engineering

1

9.1 Đối tượng

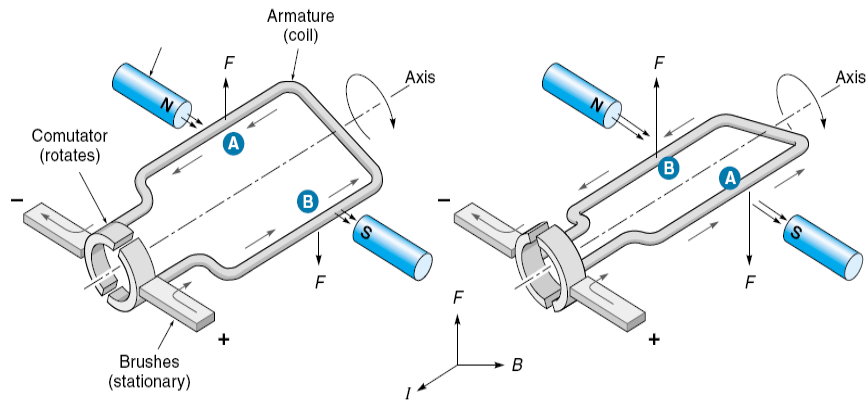
- Động cơ điện 1 chiều loại nam châm vĩnh cửu có chổi than
- Có công suất nhỏ, điện áp $< 24\text{VDC}$ và dòng điện nhỏ hơn 10A
- Động cơ bước (step motor) công suất nhỏ (dòng điện $< 10\text{A}$)
- Sơ lược về động cơ điện 1 chiều không chổi than (brushless DC motor)



Electrical Engineering

2

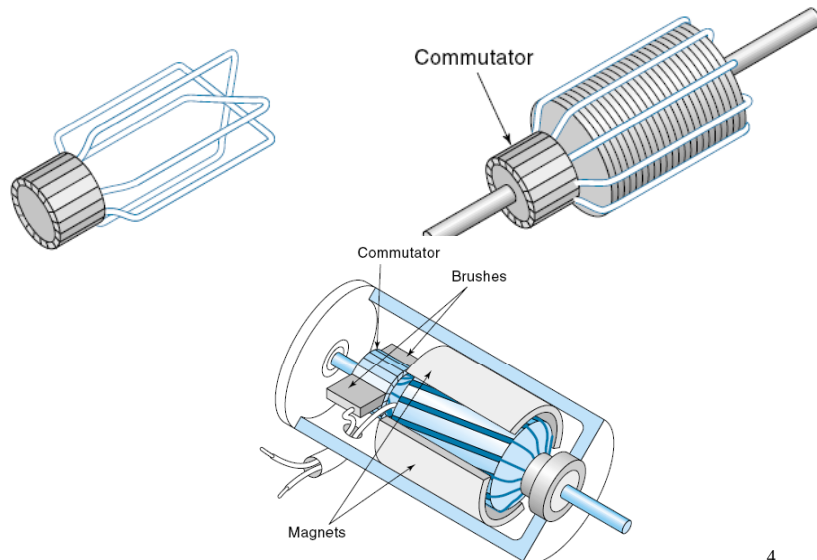
9.1.1 Nguyên lý làm việc DC motor



Electrical Engineering

3

9.1.1 Mạch quấn dây thực tế



Electrical Engineering

4

9.1.1 Phương trình cơ bản

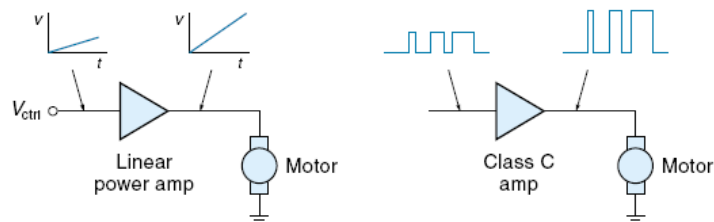
$$T = K_T I_A \phi \qquad I_A = \frac{V_{in} - \text{EMF}}{R_A}$$

$$\text{EMF} = K_E \phi S$$

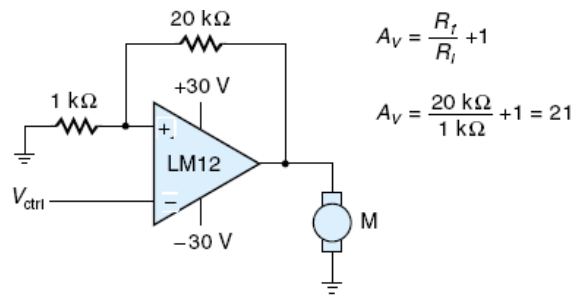


9.1.2 Các mạch điều khiển cơ bản

- Sử dụng mạch tương tự
- Sử dụng mạch số theo PWM



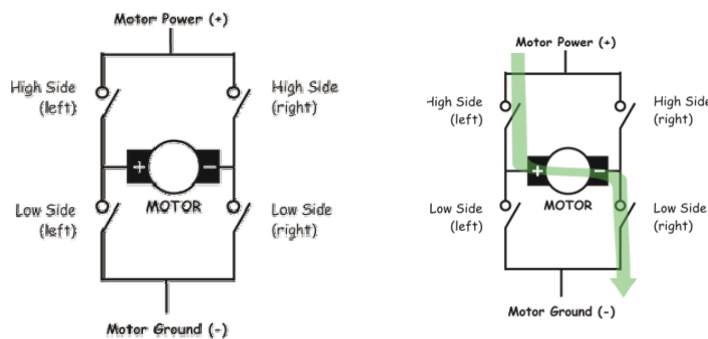
9.1.2 Sử dụng khuếch đại thuật toán công suất



Electrical Engineering

7

9.1.2 Sơ đồ điều khiển cầu chữ H



Electrical Engineering

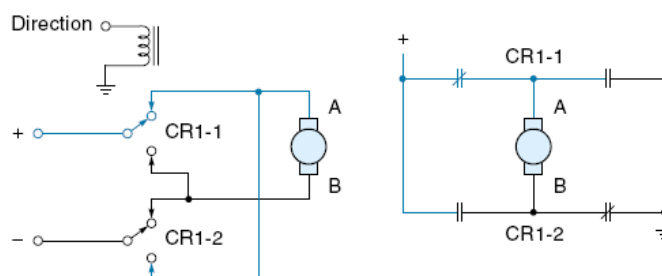
8

9.1.2 Bảng chân lý

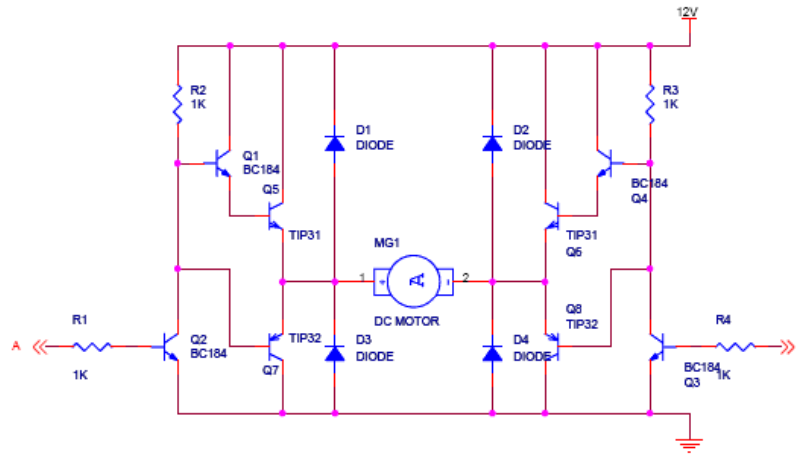
Bảng chân lý				
High Left	High Right	Low Left	Low Right	Mô tả
On	Off	Off	On	Motor chạy thuận
Off	On	On	Off	Motor chạy ngược
On	On	Off	Off	Motor dừng hoặc giảm tốc
Off	Off	On	On	Motor dừng hoặc giảm tốc



9.1.2 Sử dụng relay điều khiển



9.1.2 Ví dụ phần cứng sử dụng BJT



Electrical Engineering

11

9.1.3 Sử dụng L293D

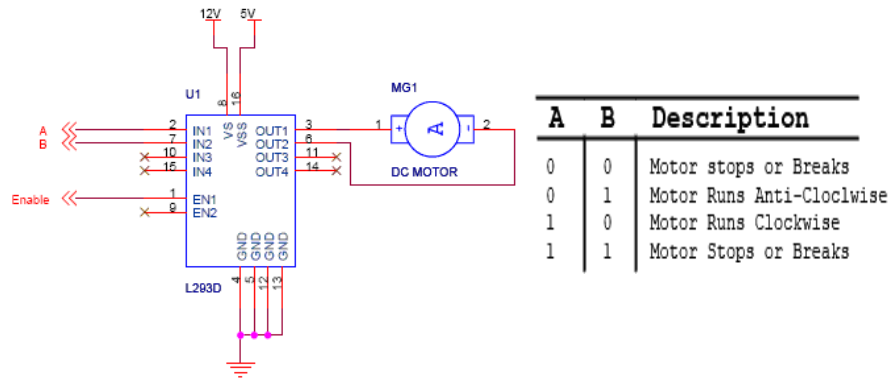
- L293D là mạch cầu H đôi cho điều khiển DC motor
- L293D dòng trung bình 600mA và chịu tải tới 1.2A.
- Diode bảo vệ tích hợp sẵn trong mạch
- Điện áp làm việc từ 4.5V to 36V



Electrical Engineering

12

9.1.3 Sơ đồ mạch



9.1.3 Ví dụ phần mềm

```

L293D_A equ P2.0           ;L293D A - Positive of Motor
L293D_B equ P2.1           ;L293D B - Negative of Motor
L293D_E equ P2.2           ;L293D E - Enable pin of IC

org 0H

Main:
    acall rotate_f          ;Rotate motor forward
    acall delay             ;Let the motor rotate
    acall break            ;Stop the motor
    acall delay            ;Wait for some time
    acall rotate_b         ;Rotate motor backward
    acall delay            ;Let the motor rotate
    acall break            ;Stop the motor
    acall delay            ;Wait for some time
    sjmp Main              ;Do this in loop
    
```



9.1.3 Ví dụ (tiếp)

```

rotate_f:
    setb  L293D_A    ;Make Positive of motor 1
    clr   L293D_B    ;Make negative of motor 0
    setb  L293D_E    ;Enable to run the motor
    ret             ;Return from routine

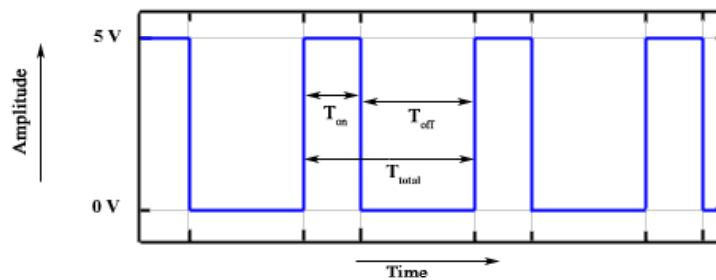
rotate_b:
    clr   L293D_A    ;Make positive of motor 0
    setb  L293D_B    ;Make negative of motor 1
    setb  L293D_E    ;Enable to run the motor
    ret             ;Return from routine

break:
    clr   L293D_A    ;Make Positive of motor 0
    clr   L293D_B    ;Make negative of motor 0
    clr   L293D_E    ;Disable the o/p
    ret             ;Return from routine

delay:
    mov   r7, #20H    ;Some Delay
back:
    mov   r6, #FFH
back1:
    mov   r5, #FFH
here:
    djnz  r5, here
    djnz  r6, back1
    djnz  r7, back
    ret
    
```



9.1.4 Điều khiển tốc độ sử dụng PWM



$$V_{out} = \frac{T_{on}}{T_{total}} \times V_{in}$$



9.1.4 Ví dụ sử dụng 8051

```
PWMPIN EQU P1.0           ; PWM output pin
PWM_SETUP:
    MOV TMOD, #02H         ; Timer0 in Mode 2
    MOV R7, #160           ; Set pulse width control
    SETB EA                ; Enable Interrupts
    SETB ET0               ; Enable Timer 0 Interrupt
    SETB TR0               ; Start Timer
    RET
```

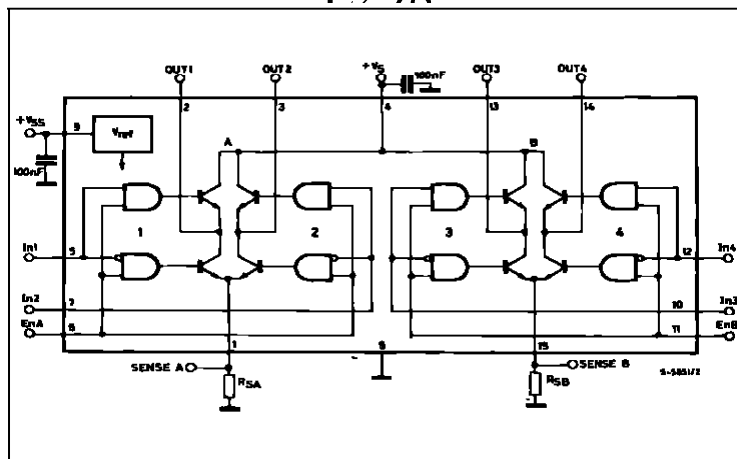


9.1.4 Ví dụ (tiếp)

```
TIMER_0_INTERRUPT:
    JB F0, HIGH_DONE       ;
LOW_DONE:
    SETB F0                ; cycle so Jump to HIGH_DONE
    SETB PWMPIN            ; Make F0=1 to indicate start of high
    MOV TH0, R7            ; Make PWM output pin High
                           ; Load high byte of timer with R7
                           ; (pulse width control value)
    CLR TF0                ; Clear the Timer 0 interrupt flag
    RETI                  ; Return from Interrupt to where
HIGH_DONE:
    CLR F0                 ; Make F0=0 to indicate start of low
    CLR PWMPIN            ; Make PWM output pin low
    MOV A, #0FFH          ; Move FFH (255) to A
    CLR C
    SUBB A, R7             ; Subtract R7 from A. A = 255 - R7.
    MOV TH0, A            ; the value loaded into TH0 + R7 = 255
    CLR TF0               ; Clear the Timer 0 interrupt flag
    RETI
```



9.1.4 Nâng công suất mạch lực dùng L298



Electrical Engineering

19

9.1.4 Nhược điểm L298

- Điện áp rơi trên IC lớn (1W/1A)
- Dòng kèm tản nhiệt lớn



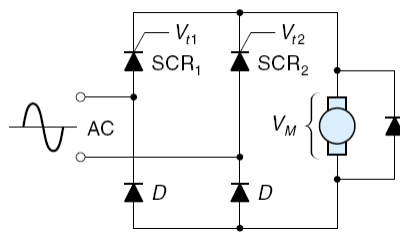
www.HVWTech.com



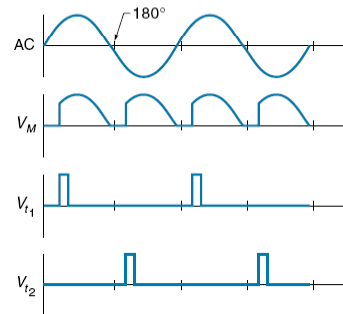
Electrical Engineering

20

9.1.4 Đối với động cơ lớn hơn



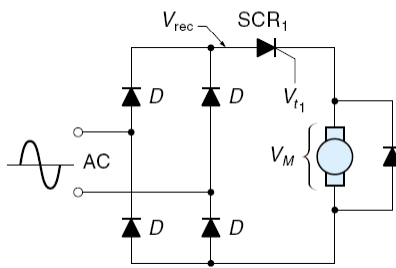
(a) Circuit diagram



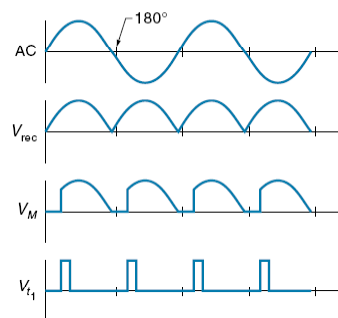
(b) Waveforms



9.1.4 Tiếp sơ đồ khác



(a) Circuit diagram

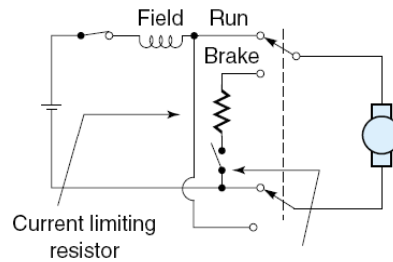
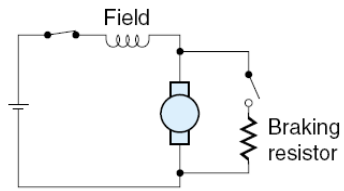


(b) Waveforms



9.1.5 Dừng động cơ DC

- Hãm động năng
- Hãm tái sinh
- Hãm ngược



9.1.6 Các tham số cần đo trong mạch vòng kín

- Dòng điện
- Tốc độ động cơ
- Vị trí động cơ

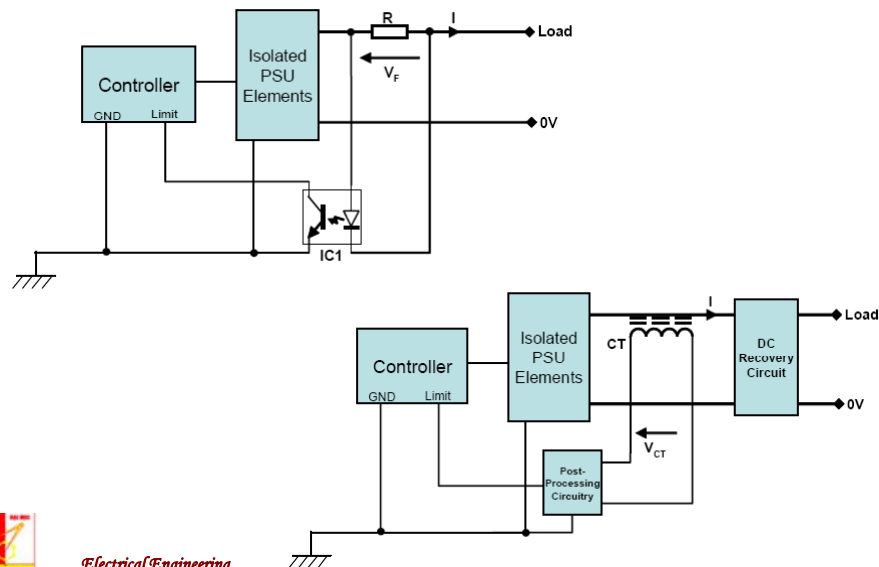


9.1.6 Các phương pháp đo dòng điện DC motor

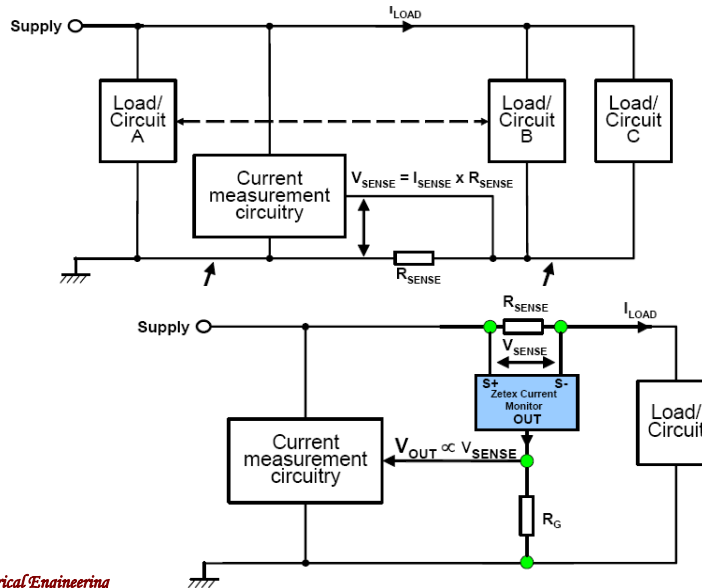
- Đo dùng điện trở shunt
- Đo cách ly sử dụng opto-coupler
- Đo sử dụng hiệu ứng Hall



9.1.6 Đo dòng cách ly



9.1.6 Sử dụng điện trở shunt



Electrical Engineering

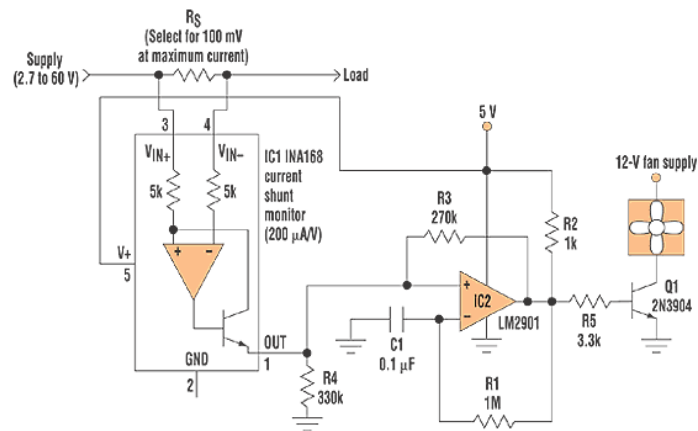
9.1.6 Điện trở shunt



Electrical Engineering

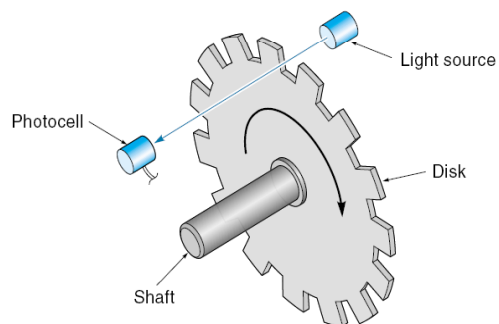
28

9.1.6 Ví dụ mạch shunt

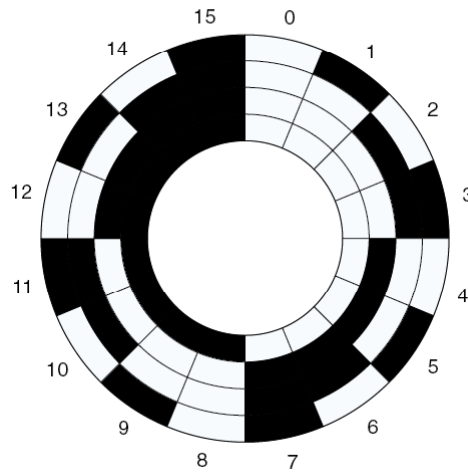


9.1.6 Đo tốc độ

- Sử dụng encoder
 - Absolute encoder (tuyệt đối)
 - Incremental encoder (tương đối)



9.1.6 Absolute encoder



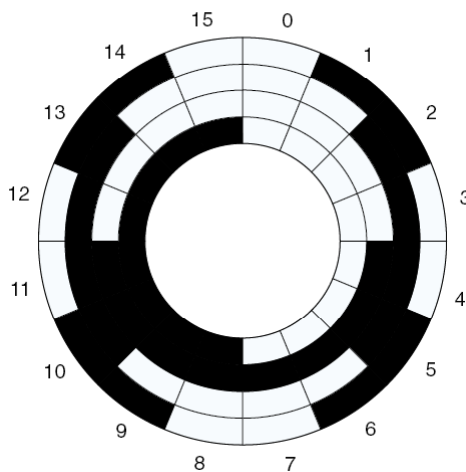
- Độ phân dải là 4 bit, bao gồm 1 đĩa chia thành 15 phần hoặc 4 đĩa
- $360^\circ/16 = 22.5^\circ$
- Độ phân dải có thể lên tới 10bit



Electrical Engineering

31

9.1.6 Sử dụng Grey code



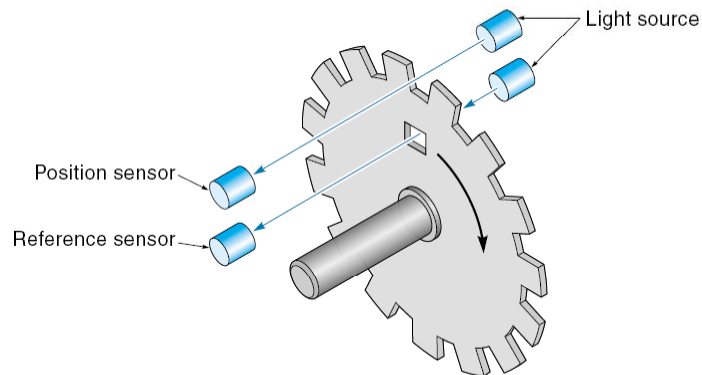
- Giảm thiểu sai số tới 1 bit



Electrical Engineering

32

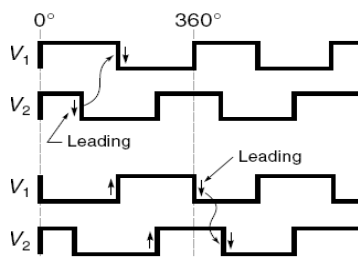
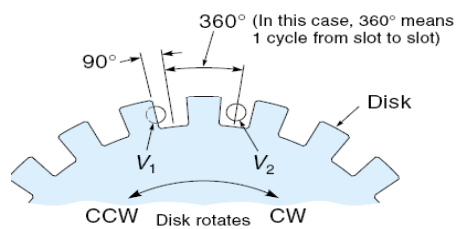
9.1.6 Incremental Encoders



Electrical Engineering

33

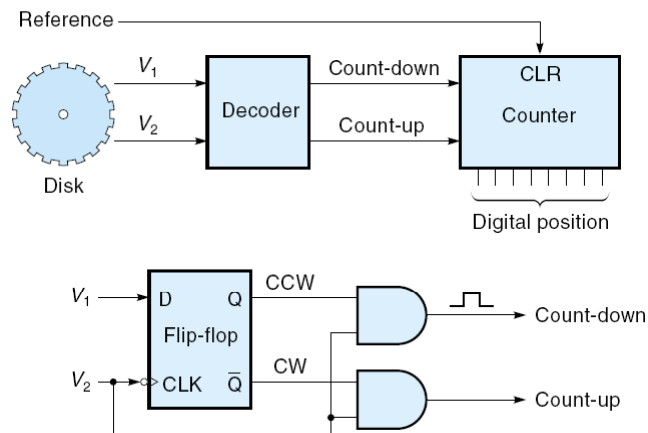
9.1.6 Sử dụng 2 xung



Electrical Engineering

34

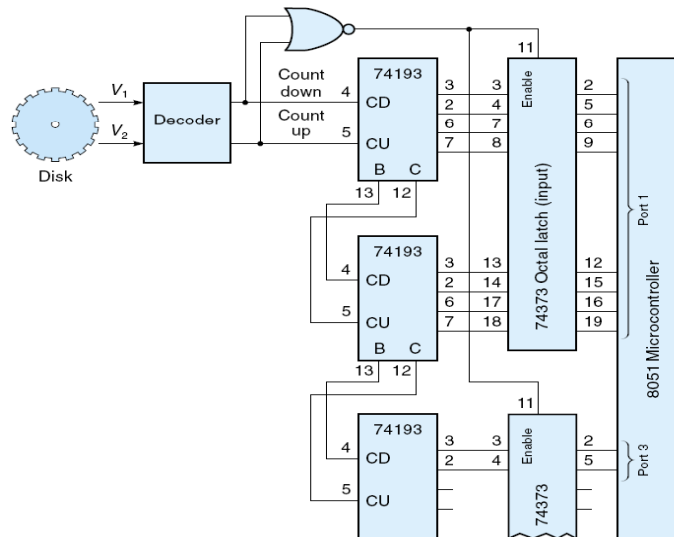
9.1.6 Sơ đồ nối ghép



Electrical Engineering

35

9.1.6 Ghép nối với Vi xử lý

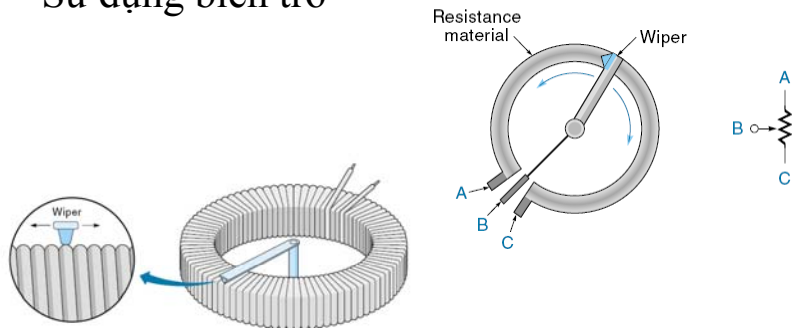


Electrical Engineering

36

9.1.6 Cảm biến vị trí

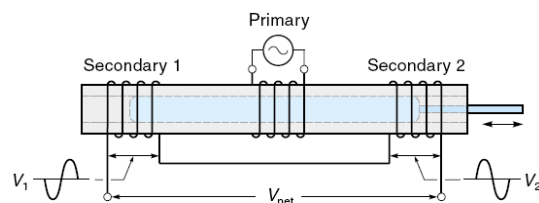
- Sử dụng biến trở



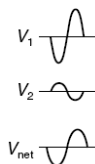
Electrical Engineering

37

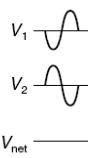
9.1.6 Sử dụng cảm biến vị sai



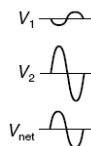
(a) LVDT with shaft centered



(b) Shaft left



(c) Shaft centered



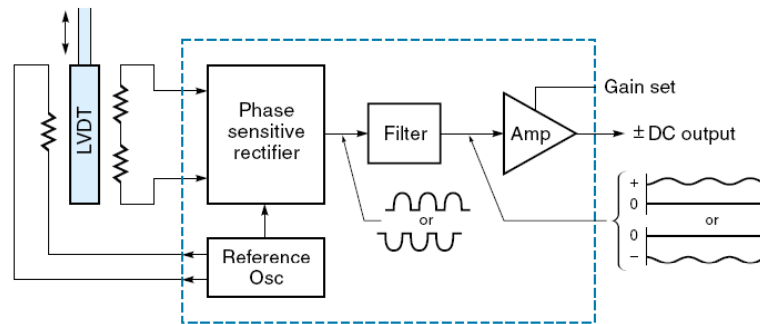
(d) Shaft right



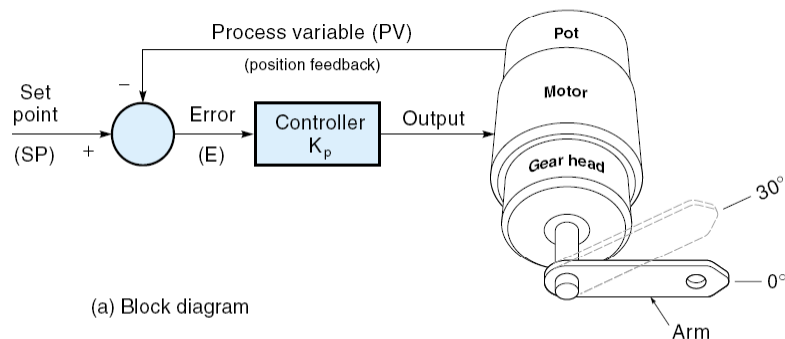
Electrical Engineering

38

9.1.6 Sơ đồ kết nối



9.1.7 Thuật toán điều khiển DC motor



9.1.7 Phương trình đặc tính quá độ

$$J \ddot{\theta} + b \dot{\theta} = K \mathbf{1}$$

$$L \frac{d\mathbf{i}}{dt} + R\mathbf{i} = \mathbf{V} - K \dot{\theta}$$

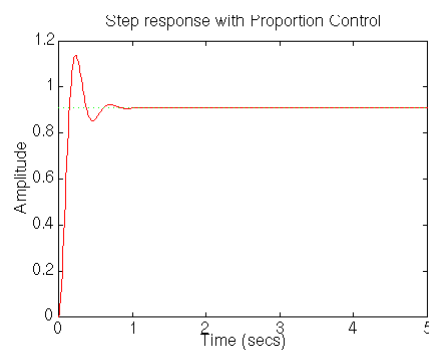
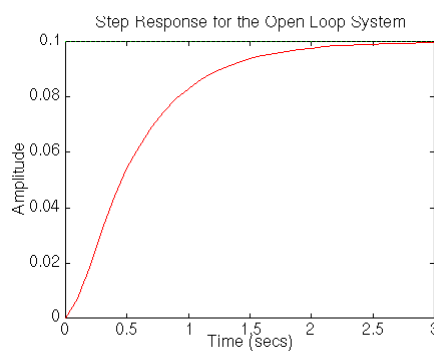
$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \dot{\theta} \\ \mathbf{i} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{b}{J} & \frac{K}{J} \\ -\frac{K}{L} & -\frac{R}{L} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{\theta} \\ \mathbf{i} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{1}{L} \end{bmatrix} \mathbf{V}$$

$$\dot{\theta} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{\theta} \\ \mathbf{i} \end{bmatrix}$$

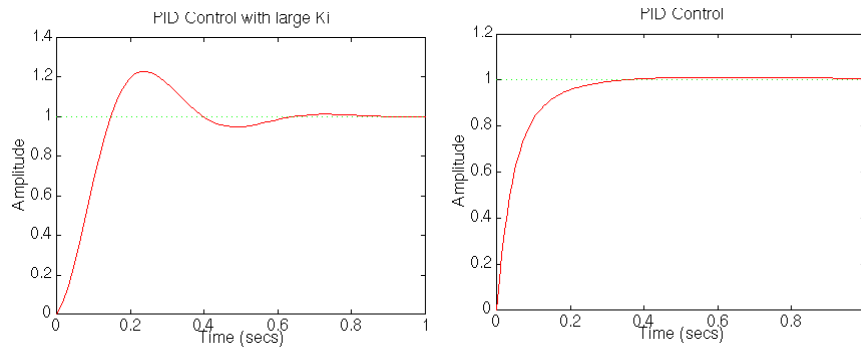
$$\frac{\dot{\theta}}{\mathbf{V}} = \frac{K}{(Js + b)(Ls + R) + K^2}$$



9.1.7 Chế độ mạch vòng hở



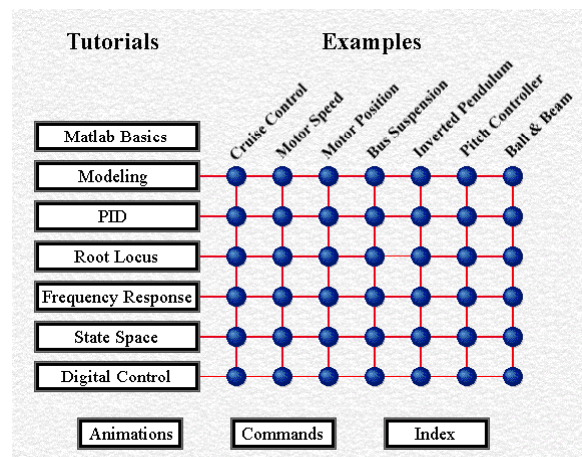
9.1.7 Chế độ mạch vòng kín



Electrical Engineering

43

9.1.7 Phương pháp điều khiển



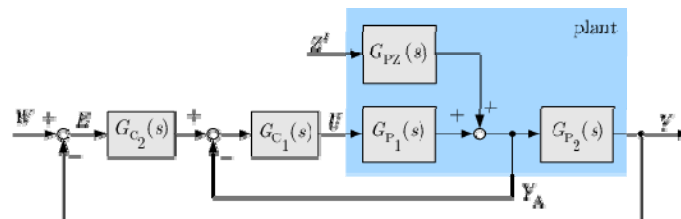
www.engin.umich.edu/group/ctm/index.html



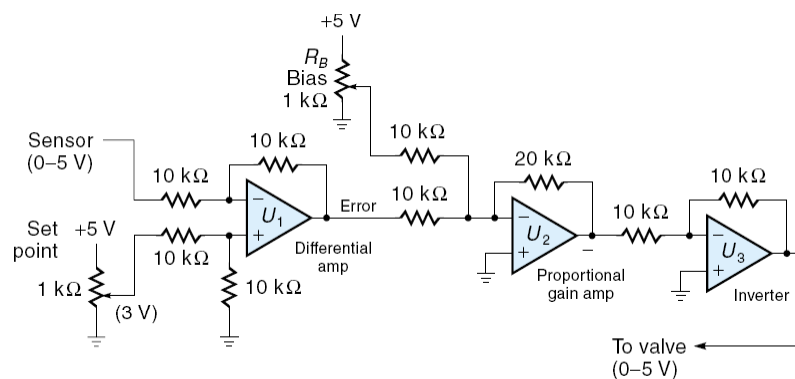
Electrical Engineering

44

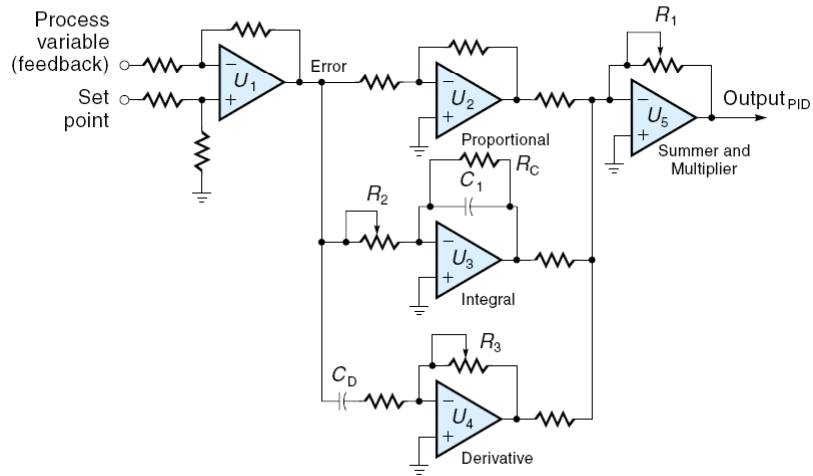
9.1.7 Điều khiển phân tầng



9.1.7 Ví dụ điều khiển tương tự



9.1.7 Mạch PID tương tự



Electrical Engineering

47

9.1.7 Mạch PID số

$$\frac{u}{e}(s) = H(s) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right)$$

$$u(t) = K_p \left(e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(\sigma) d\sigma + T_d \frac{de(t)}{dt} \right)$$

$$\int_0^t e(\sigma) d\sigma \approx T \sum_{k=0}^n e(k) \quad \frac{de(t)}{dt} \approx \frac{e(n) - e(n-1)}{T} \quad t = nT$$

$$u(n) = K_p e(n) + K_i \sum_{k=0}^n e(k) + K_d (e(n) - e(n-1))$$



Electrical Engineering

48