

Chương 3

BỘ BIẾN ĐỔI ĐIỆN ÁP MỘT CHIỀU

1

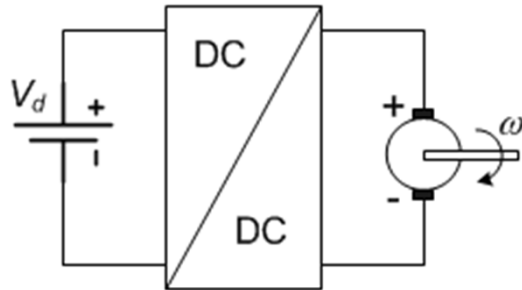
Bộ biến đổi điện áp một chiều

- Dùng để biến đổi nguồn DC có điện áp cố định thành nguồn DC có điện áp thay đổi được.
- Điện áp ngõ ra có thể lớn hơn hoặc nhỏ hơn điện áp ngõ vào,
- Có rất nhiều ứng dụng trong công nghiệp và dân dụng: điều khiển động cơ DC (truyền động cho xe điện, cầu trục, các cơ cấu máy, v.v...), bộ nguồn DC trong các thiết bị điện tử, bộ biến đổi trong các ứng dụng khác (năng lượng mặt trời, năng lượng gió, v.v...)

2

Ví dụ ứng dụng

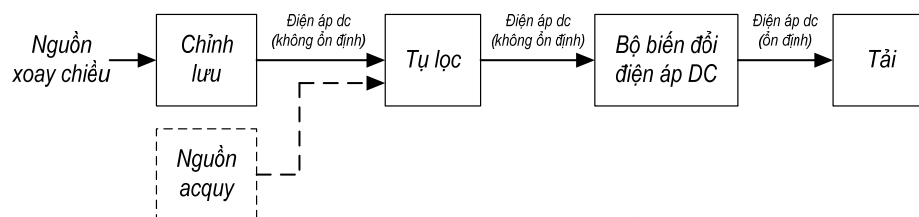
Điều khiển tốc độ động cơ DC



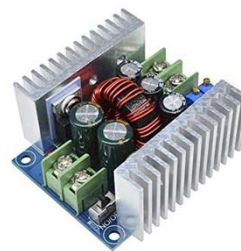
3

Ví dụ ứng dụng

Sơ đồ khối bộ nguồn ổn áp một chiều



AC-DC Power Supply

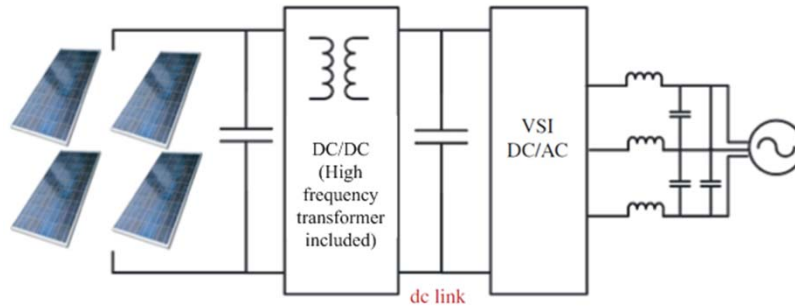


DC-DC Power Supply

4

Ví dụ ứng dụng

Cấu hình một hệ thống điện mặt trời nối lưới



5

Bộ biến đổi điện áp một chiều

Chương này gồm ba phần chính:

Phần 1: khảo sát các bộ biến đổi dc-dc căn bản:

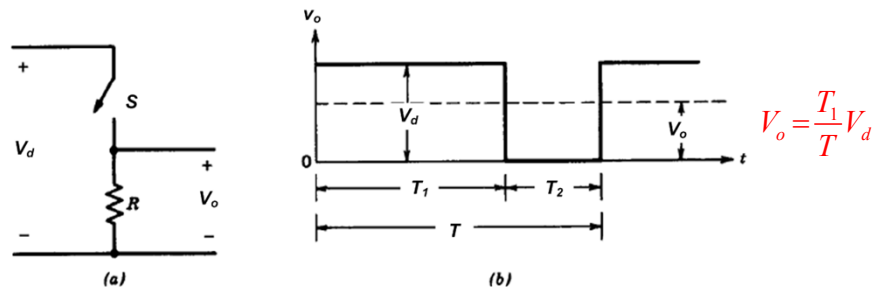
- Bộ biến đổi dc-dc kiểu giảm áp
- Bộ biến đổi dc-dc kiểu tăng áp
- Bộ biến đổi dc-dc kiểu đảo dòng
- Bộ biến đổi dc-dc kiểu tổng quát

Phần 2: Bộ nguồn một chiều kiểu đóng ngắt (SMPS-Switching Mode Power Supplies), loại không cách ly.

Phần 3: Bộ nguồn một chiều kiểu đóng ngắt, loại cách ly.

6

Nguyên lý hoạt động cơ bản

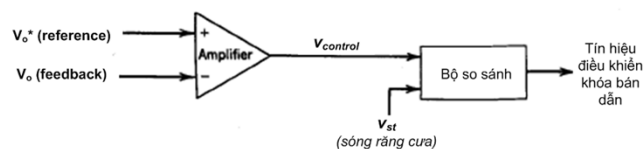


Nguyên lý hoạt động của một bộ biến đổi điện áp một chiều

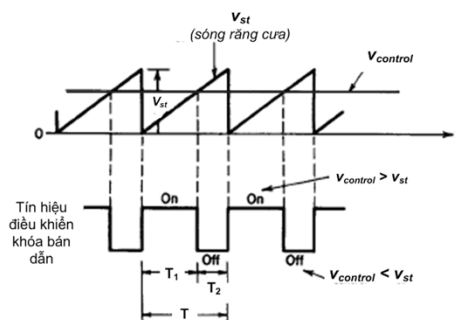
- Điện áp ra v_o có dạng xung tạo thành từ quá trình đóng ngắt liên tục nguồn điện áp một chiều V_d .
- Đóng ngắt khóa S kiểu điều rộng xung (PWM – Pulse Width Modulation): chu kỳ T cố định, T_1 thay đổi.

7

Điều khiển bộ biến đổi điện áp một chiều



a. Nguyên lý mạch tạo tín hiệu PWM



b. Dạng sóng ngõ vào và ngõ ra của bộ so sánh

Nguyên lý mạch điều rộng xung (PWM)

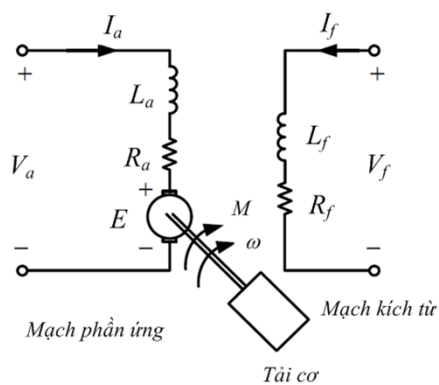
8

Phần 1

CÁC BỘ BIẾN ĐỔI ĐIỆN ÁP MỘT CHIỀU CƠ BẢN

9

Sơ lược về động cơ DC



R_a : điện trở mạch phản ứng động cơ,
 L_a : điện cảm mạch phản ứng động cơ,
 E : sức điện động phản ứng: $E = K\Phi\omega$
 K : hằng số, phụ thuộc cấu trúc động cơ,
 Φ : từ thông động cơ do dòng kích từ sinh ra (Wb)
 R_f : điện trở cuộn kích từ,
 L_f : điện cảm cuộn kích từ,
 M : Momen do động cơ sinh ra (Nm)
 ω : tốc độ góc của động cơ (rad/s)

10

Sơ lược về động cơ DC

Phương trình cơ bản của động cơ DC ở chế độ xác lập:

$$E = K\Phi\omega$$

$$V_a = E + R_a I_a$$

$$M = K\Phi I_a$$

Ở chế độ xác lập, momen M do động cơ sinh ra cân bằng với momen tải $M_{\text{tải}}$ đặt lên trục động cơ:

$$M = M_{\text{tải}}$$

Lưu ý:

- Momen động cơ phụ thuộc chủ yếu vào thành phần trung bình của dòng phản ứng,
- Ở chế độ xác lập, sức điện động E của động cơ có thể xem là không đổi do momen quán tính của động cơ thường khá lớn nên tốc độ của động cơ có thể xem là không đổi (lưu ý: $E = K\Phi\omega$).

11

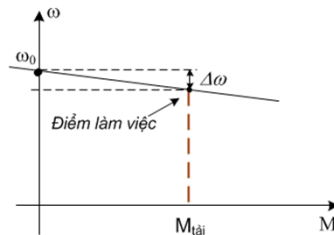
Sơ lược về động cơ DC

Từ các phương trình cơ bản trên suy ra phương trình đặc tính cơ của động cơ DC ở chế độ xác lập:

$$\omega = \frac{V_a}{K\Phi} - \frac{R_a}{(K\Phi)^2} M = \omega_0 - \Delta\omega$$

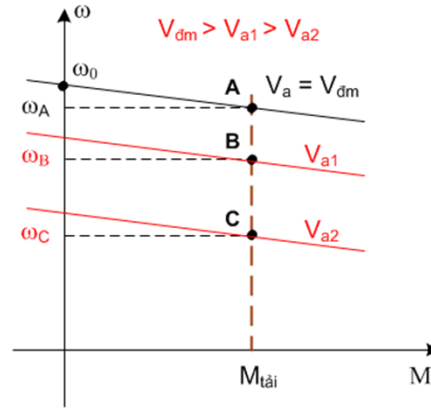
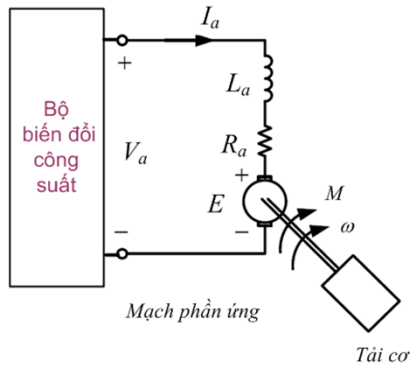
Lưu ý:

- Với động cơ DC kích từ độc lập: $K\Phi = \text{const} \rightarrow$ Đặc tính cơ của động cơ DC kích từ độc lập là đường thẳng.
- Có thể điều chỉnh tốc độ động cơ bằng cách thay đổi điện áp đặt vào phần ứng động cơ V_a .



12

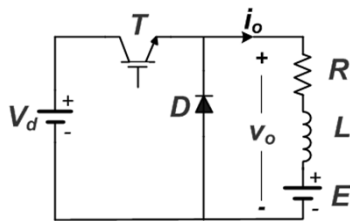
Sơ lược về động cơ DC



Điều khiển tốc độ động cơ bằng cách thay đổi điện áp phản ứng và giữ kích từ động cơ không đổi (và bằng định mức)

13

Bộ giảm áp

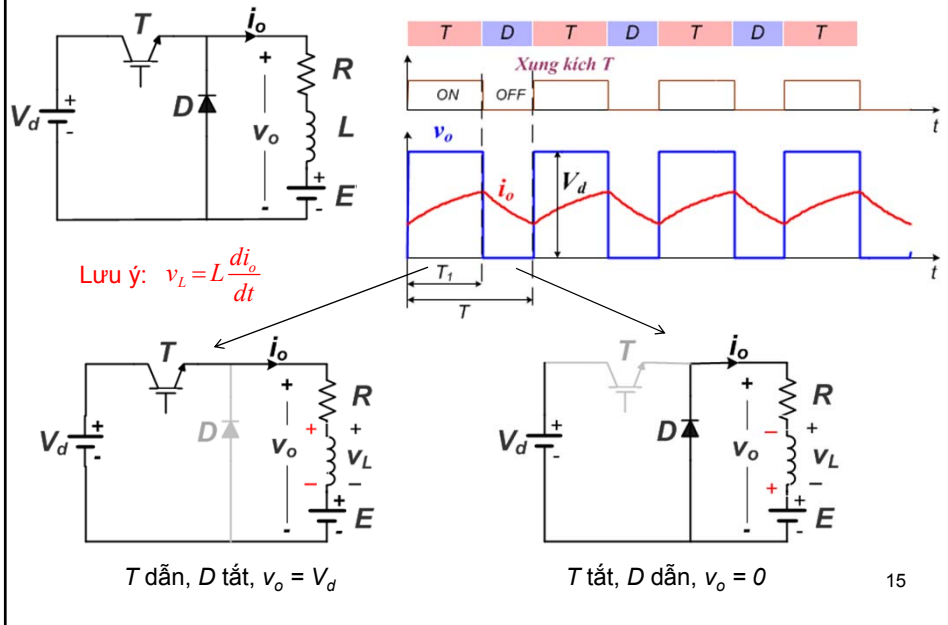


Cấu hình bộ giảm áp

- Mạch bộ giảm áp gồm nguồn điện áp một chiều không đổi V_d mắc nối tiếp với tải qua khóa bán dẫn T . Tải một chiều tổng quát gồm R , L và sức điện động E (ví dụ động cơ một chiều). Diode D mắc đối song với tải.
- Nguồn một chiều V_d có thể lấy từ acquy, pin, hoặc từ nguồn áp xoay chiều qua bộ chỉnh lưu không điều khiển và mạch lọc.
- Khóa T có chức năng điều khiển đóng và ngắt được dòng điện đi qua nó. Do tính năng trên nên T phải là linh kiện điều khiển ON/OFF được, chẳng hạn transistor (MOSFET, IGBT), GTO, hoặc ở dạng kết hợp gồm SCR với bộ chuyển mạch.
- Mạch làm việc ở chế độ đưa năng lượng từ nguồn \rightarrow tải.

14

Bộ giảm áp



Bộ giảm áp

Chế độ dòng liên tục:

- Điện áp ra v_o có dạng xung thay đổi giữa hai giá trị 0 và $+V_d$
- Giá trị trung bình của điện áp ngõ ra:

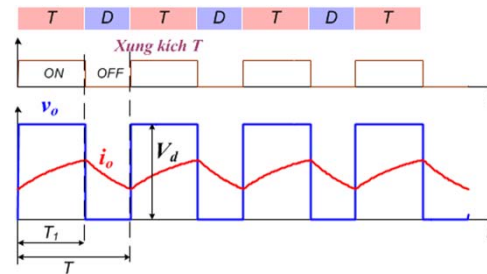
$$V_o = \frac{1}{T} \int_0^T v_o dt = \frac{V_d T_1 + 0 \cdot T_2}{T} = \frac{T_1}{T} V_d = D V_d$$

Trong đó: $D = \frac{T_1}{T}$: tỉ số điều chế (duty cycle)

Do $0 \leq D = \frac{T_1}{T} \leq 1$ nên: $0 \leq V_o \leq V_d$

- Dòng trung bình ngõ ra:

$$I_o = \frac{V_o - E}{R}$$



Bộ giảm áp

Chế độ dòng gián đoạn:

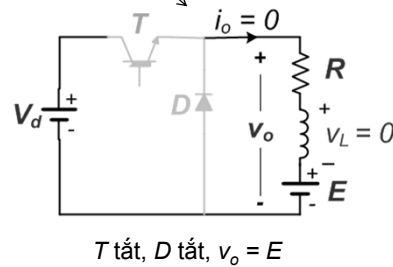
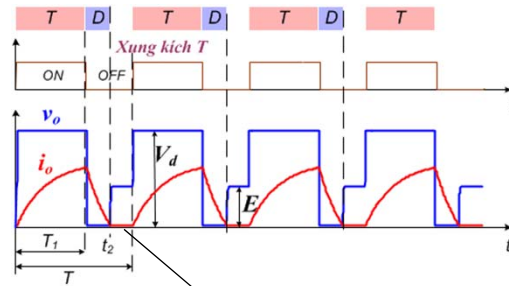
- Tính thời gian khóa T dẫn qua công thức:

$$t_2 = \tau \ln \left[\frac{V_d}{E} \left(e^{\frac{T}{\tau}} - 1 \right) + 1 \right], \quad \tau = \frac{L}{R}$$

- Điện áp trung bình ngõ ra:

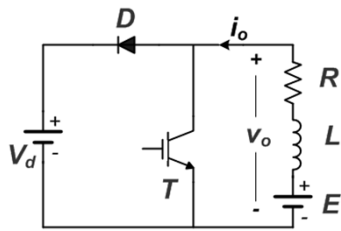
$$V_o = V_d \frac{T_1}{T} + E \frac{T - t_2}{T} = DV_d + E \left(1 - \frac{t_2}{T} \right)$$

Lưu ý: Mạch có V_d , V_o cho trước và thông số tải (R , L , E) cố định, có thể chuyển từ chế độ dòng gián đoạn sang chế độ dòng liên tục bằng cách nào?



17

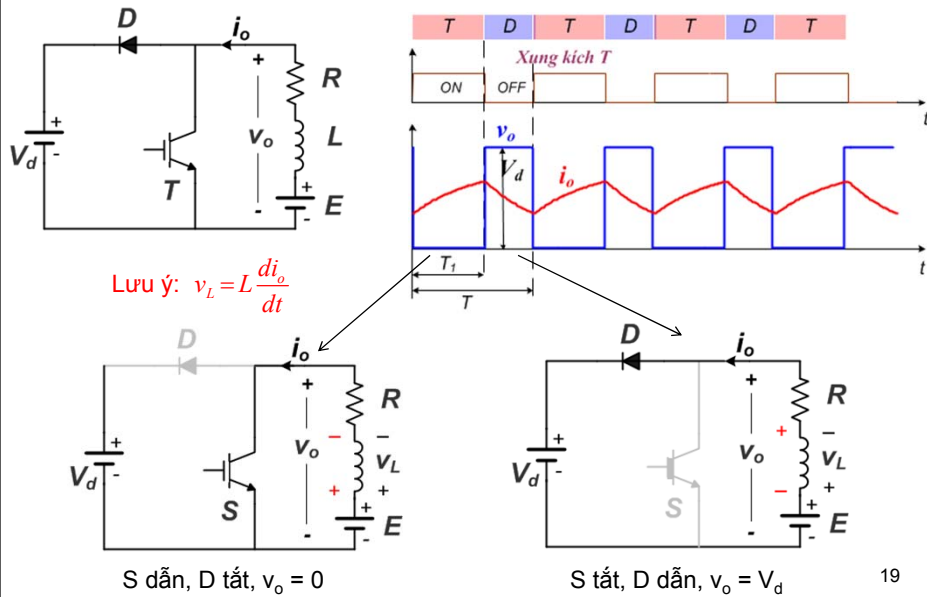
Bộ tăng áp



- Khi thực hiện hãm tái sinh động cơ một chiều, năng lượng từ nguồn điện áp thấp (sức điện động E) được trả lại nguồn điện áp lớn hơn (V_d), điều này có thể thực hiện nhờ hoạt động của bộ tăng áp hình bên.
- Điều kiện để mạch hoạt động là $E < V_d$ và nguồn V_d có khả năng tiếp nhận năng lượng do tải trả về.
- Tải phải có nguồn năng lượng (E) và cảm kháng L .
- Khóa bán dẫn T thuộc dạng có thể điều khiển đóng ngắt được. Diode D cho phép dòng điện dẫn theo chiều từ tải về nguồn và ngăn dòng điện đi theo chiều ngược lại.

18

Bộ tăng áp



Bộ tăng áp

Chế độ dòng liên tục ($i_t \geq 0$):

- Điện áp ra v_o có dạng xung với giá trị trung bình tính theo công thức:

$$V_o = \frac{1}{T} \int_0^T v_o dt = \frac{0 \cdot T_1 + V_d (T - T_1)}{T} = (1 - D) V_d$$

$$D = \frac{T_1}{T} : \text{tỉ số điều chế}$$

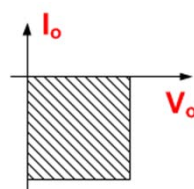
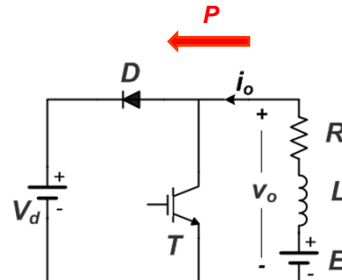
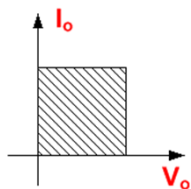
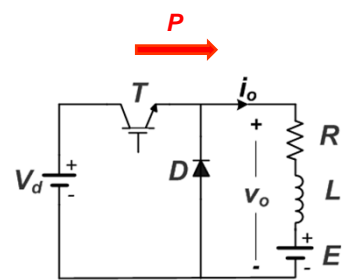
- Nếu xem:

V_o : là điện áp phía nguồn cấp năng lượng

V_d : là điện áp phía tải nhận năng lượng

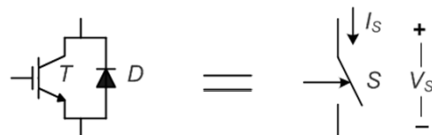
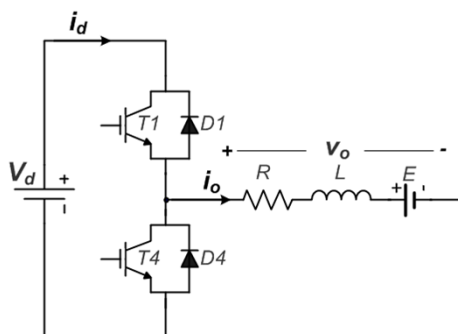
Ta có: $V_d = \frac{V_o}{(1 - D)} \geq V_o$: mạch tăng áp từ $V_o \rightarrow V_d$

Bộ giảm áp và Bộ tăng áp



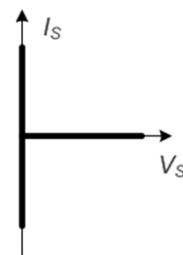
21

Bộ biến đổi kép dạng đảo dòng



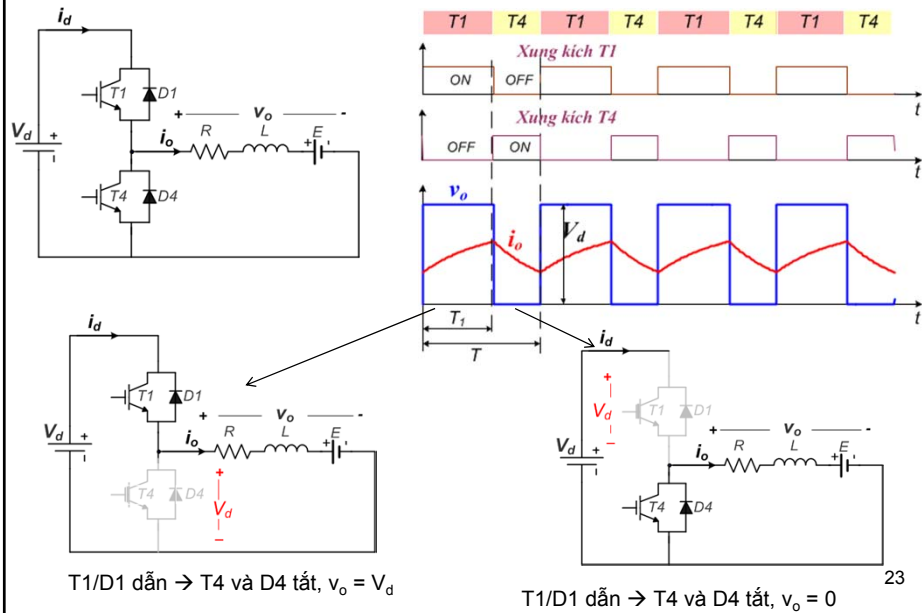
Khi T được kích dẫn, (T+D) tương đương khóa bán dẫn S cho phép dòng chạy qua theo cả 2 chiều.

- Có thể xem là sự kết hợp giữa mạch giảm áp ($T1, D4$) và mạch tăng áp ($T4, D1$).
- Điện áp ngõ ra $v_o > 0$, dòng ngõ ra i_o có thể đảo chiều. Do đó, công suất có thể truyền từ nguồn \rightarrow tải hoặc từ tải \rightarrow nguồn.

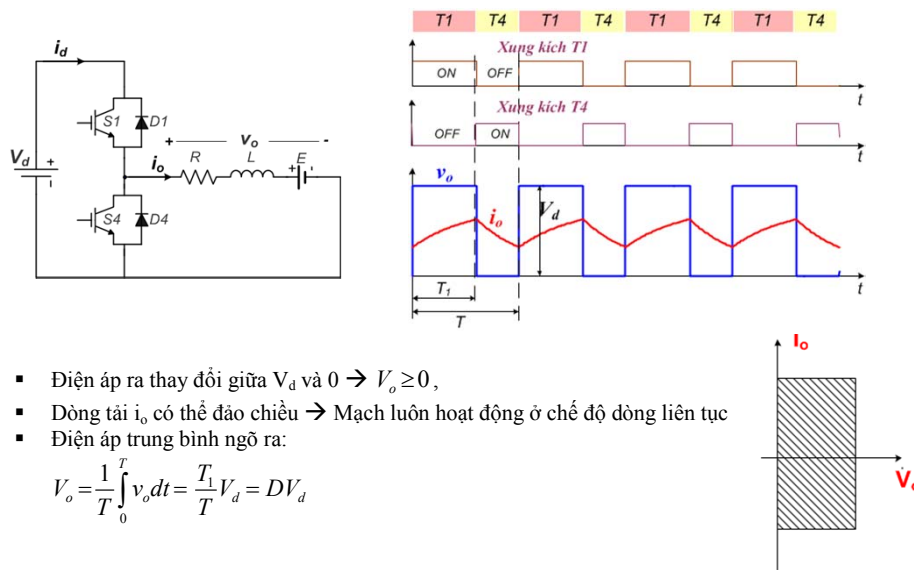


22

Bộ biến đổi kép dạng đảo dòng



Bộ biến đổi kép dạng đảo dòng

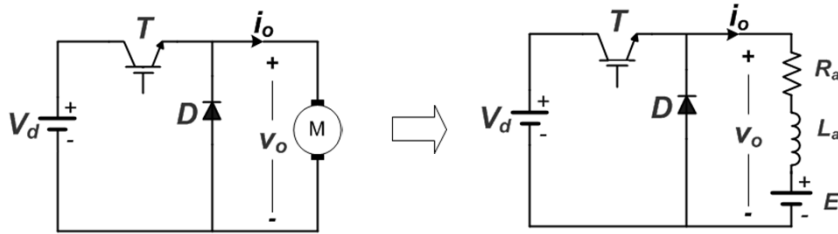


Ví dụ tính toán

Ví dụ 4.1

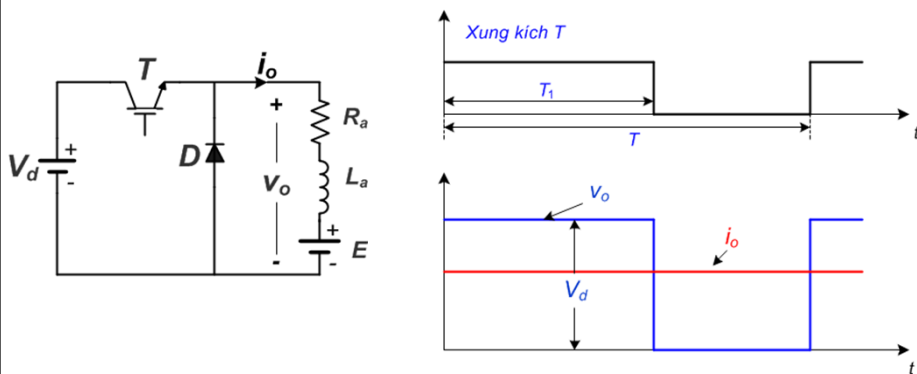
Bộ giảm áp cấp nguồn áp cho phần ứng của động cơ một chiều kích từ độc lập. Nguồn một chiều $V_d = 220\text{V}$, tần số đóng ngắt $f = 500\text{Hz}$. Tải động cơ có $R_a = 2\Omega$. L_a khá lớn và sức điện động $E = 1,253 \cdot \omega$ [V.rad/s]. Moment động cơ luôn bằng định mức, nghĩa là dòng phản ứng $I_a = 11,6\text{[A]}$

- Tính tỉ số T_1/T khi vận tốc động cơ là 1000 vòng/phút
- Tính điện áp tải nhỏ nhất ở chế độ dòng tải liên tục, từ đó xác định thời gian đóng tối thiểu T_1 của chế độ dòng liên tục.



25

Ví dụ tính toán



26

Ví dụ tính toán

Giải:

a. Tính tỉ số T_1/T khi vận tốc động cơ là 1000 vòng/phút

$$\omega = \frac{2\pi \cdot n}{60} = \frac{2\pi \cdot 1000}{60} = 104,72 [\text{rad} / \text{s}]$$

$$E = 1,253 \cdot \omega = 1,253 \cdot 104,72 = 131,21 [\text{V}]$$

Ở chế độ xác lập:

$$V_o = V_a = R_a \cdot I_o + E$$

$$V_o = 2,11,6 + 131,21 = 154,4 [\text{V}]$$

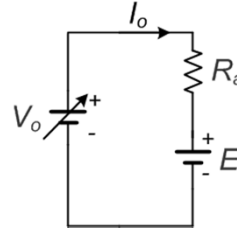
Với dòng tải liên tục $V_o = D V_d = \frac{T_1}{T} \cdot V_d$

Từ đó: $\frac{T_1}{T} = \frac{V_o}{V_d} = \frac{154,4}{220} = 0,7018$

b.- Điện áp tải nhỏ nhất khi $E \rightarrow 0$. Lúc đó:

$$V_{o,\min} = V_{a,\min} = R_a \cdot I_o = 2,11,6 = 23,2 [\text{V}]$$

Từ đó: $T_{1\min} = T \cdot \frac{V_{o\min}}{V_d} = \frac{1}{f} \cdot \frac{V_{o\min}}{V_d} = \frac{1}{500} \cdot \frac{23,2}{220} = 2,1 \cdot 10^{-4} [\text{s}]$



Mạch tương đương của bộ giảm áp và tải với V_o, I_o .

27

Ví dụ tính toán

Ví dụ 4.2

Cho bộ giảm áp cấp nguồn cho động cơ một chiều kích từ độc lập. Nguồn một chiều $V_d = 220\text{V}$. Tải có R_a nhỏ không đáng kể và $L_a = 32,5 \text{ mH}$. Sức điện động $E = 1,253 \cdot \omega$ với ω [rad/s] là vận tốc động cơ. Tần số đóng ngắt bộ giảm áp $f = 500\text{Hz}$. Cho biết dòng tải liên tục và mạch ở xác lập.

1. Tính tỉ số $D = \frac{T_1}{T}$ khi vận tốc động cơ $n = 1500$ v/ph.

2. Gọi $i_{o\min}$ và $i_{o\max}$ là trị nhỏ nhất và lớn nhất của dòng điện qua tải. Tính hiệu $\Delta i_o = i_{o\max} - i_{o\min}$

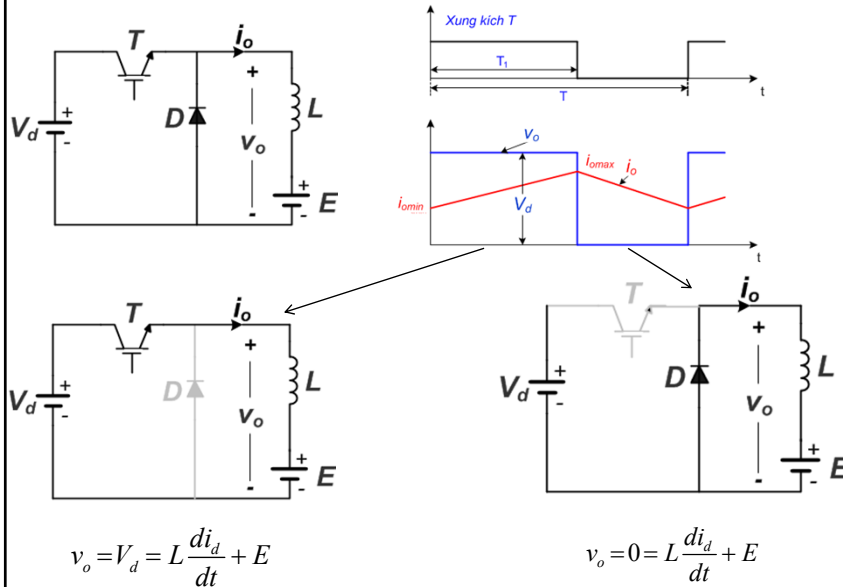
3. Để giảm bớt độ nhấp nhô dòng điện Δi_o sao cho $\Delta i_o < 1\text{A}$ cần phải thêm cảm kháng phụ bằng bao nhiêu.

4. Trong trường hợp không sử dụng thêm cảm kháng phụ, cần phải điều chỉnh tần số đóng ngắt như thế nào để $\Delta i_o < 1\text{A}$.

5. Một cách tổng quát, khi E thay đổi trong khoảng $(0, +V_d)$, tìm điều kiện về f và L để độ nhấp nhô dòng ở xác lập thỏa điều kiện $\Delta i_o < \Delta i_{o\max}$.

28

Ví dụ tính toán



29

Ví dụ tính toán

Giải:

1. Tính tỉ số $D = \frac{T_1}{T}$ khi vận tốc động cơ $n = 1500$ v/ph.

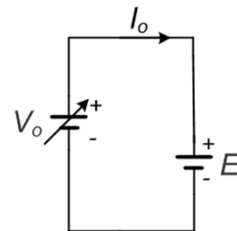
$$\omega = 2\pi \cdot \frac{n}{60} = 2\pi \cdot \frac{1500}{60} = 157 [\text{rad} / \text{s}]$$

Ở chế độ xác lập $V_o = V_a = E = 1,253 \cdot \omega$

$$V_o = 1,253 \cdot 157 = 196,8 [\text{V}]$$

Ở chế độ dòng liên tục $V_o = V_d \cdot \frac{T_1}{T} = V_d \cdot D$

$$\text{Từ đó: } V_o = V_d \cdot D = E \Rightarrow D = \frac{V_o}{V_d} = \frac{196,8}{220} = 0,8946$$



Mạch tương đương của bộ giảm áp và tải với V_o, I_o .

30

Ví dụ tính toán

2. Tính hiệu $\Delta i_o = i_{o\max} - i_{o\min}$

Khi transistor T dẫn:

$$v_o = V_d = L \frac{di_o}{dt} + E \quad \Rightarrow \quad V_d = L \frac{\Delta i_o}{\Delta t} + E$$

$$\text{hay: } \Delta i_o = \frac{V_d - E}{L} \cdot \Delta t,$$

Trong đó L là điện cảm tổng trong mạch, bao gồm L_a và cảm kháng phụ nếu có.

Dòng điện tăng trong khoảng thời gian T_1 tương ứng i_o biến thiên từ $i_{o\min}$ đến $i_{o\max}$, suy ra:

$$\Delta i_o = i_{o\max} - i_{o\min} = \frac{V_d - E}{L} \cdot T_1$$

$$\text{Do } \frac{T_1}{T} = D = T_1 \cdot f \text{ nên:}$$

$$\Delta i_o = \frac{V_d - E}{L} \cdot \frac{D}{f} = \frac{220 - 196,8}{0,0325} \cdot \frac{0,8946}{500} = 1,277[A]$$

31

Ví dụ tính toán

3. Cần phải thêm cảm kháng phụ bằng bao nhiêu để $\Delta i_o < \Delta i_{o\max} = 1A$

Để giảm độ nhấp nhô dòng điện $\Delta i_o < \Delta i_{o\max} = 1A$, ta phải có:

$$\frac{V_d - E}{L} \cdot \frac{D}{f} < \Delta i_{o\max}$$

$$\Rightarrow L > \frac{V_d - E}{\Delta i_{o\max}} \cdot \frac{D}{f}$$

$$\Leftrightarrow L > \frac{220 - 196,8}{1} \cdot \frac{0,8946}{500} = 0,0415[H]$$

Từ đó cảm kháng phụ thêm vào tối thiểu bằng:

$$L_{ph\min} = L - L_a = 0,0415 - 0,0325 = 0,009 [H] = 9 [mH]$$

4. Trong trường hợp giảm độ nhấp nhô dòng điện bằng cách thay đổi tần số đóng ngắt f , ta có:

$$f > \frac{V_d - E}{\Delta i_{o\max} \cdot L_a} \cdot D = \frac{220 - 196,8}{1 \cdot 0,0325} \cdot 0,8946 = 648,5 [Hz]$$

Như vậy tần số f phải lớn hơn 649 Hz

32

Ví dụ tính toán

5. Tìm điều kiện về f và L để độ nhấp nhô dòng ở xác lập thỏa điều kiện $\Delta i_o < \Delta i_{o\max}$.

Ta có:

$$\Delta i_o = \frac{V_d - E}{L} \cdot \frac{D}{f} = \frac{V_d - D \cdot V_d}{L} \cdot \frac{D}{f} = \frac{V_d}{L \cdot f} (1 - D) \cdot D$$

Do hàm $(1 - D)D$ có trị cực đại bằng $\frac{1}{4}$ khi $D = \frac{1}{2}$ nên $\Delta i_o = \frac{V_d}{L \cdot f} \cdot D \cdot (1 - D) \leq \frac{V_d}{L \cdot f} \cdot \frac{1}{4}$

Điều kiện để $\Delta i_o < \Delta i_{o\max}$ cho trường hợp xác lập, ta cần có:

$$\Delta i_o \leq \frac{V_d}{L \cdot f} \cdot \frac{1}{4} < \Delta i_{o\max}$$

$$\text{Từ đó: } f \cdot L > \frac{V_d}{4 \cdot \Delta i_{o\max}} = \frac{220}{4 \cdot 1} = 55 [H \cdot Hz]$$

Việc chọn tần số và cảm kháng phụ tùy ý, thỏa điều kiện $f \cdot L > 55 [H \cdot Hz]$

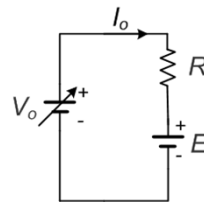
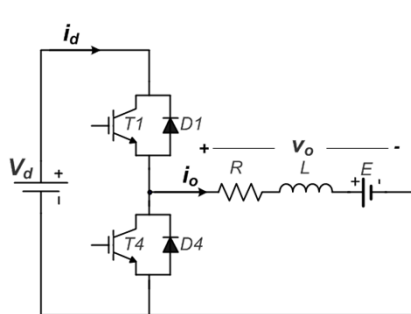
Ghi chú: Do điện trở phản ứng của động cơ một chiều thường rất nhỏ nên cách tính trên (xem điện trở phản ứng động cơ = zero) có thể sử dụng trong thực tế để chọn L hoặc f với sai số chấp nhận được.

33

Ví dụ tính toán

Ví dụ 4.3

Cho bộ biến đổi một chiều kép dạng đảo dòng. Nguồn một chiều $V_d = 230$ V. Tải là động cơ một chiều kích từ độc lập có mạch tương đương là: $R + L + E$, trong đó $R = 0,1 \Omega$. Động cơ đang chạy ở vận tốc định mức thỏa mãn $E = 4,2 \cdot \omega$ với $n_{dm} = 500$ v/ph, ta thực hiện hãm động cơ. Để đạt được moment hãm động cơ bằng định mức dòng qua phần ứng phải có độ lớn là $I_o = -100$ A, khi đó cần thiết lập tỉ số $D = \frac{T_1}{T}$ bằng bao nhiêu ?



Mạch tương đương của bộ biến đổi và tải với V_o, I_o

34

Ví dụ tính toán

Giải:

Ta có điện áp cần thiết cần thiết đặt vào động cơ là:

$$V_o = DV_d = RI_o + E$$

Trong đó, sức điện động cảm ứng E của động cơ là:

$$E = 4,2\omega = 4,2 \cdot \frac{2\pi \cdot n_{dm}}{60} = \frac{4,2 \cdot 2\pi \cdot 500}{60} = 219,9V$$

Và: $I_o = -100A$, $V_d = 230V$

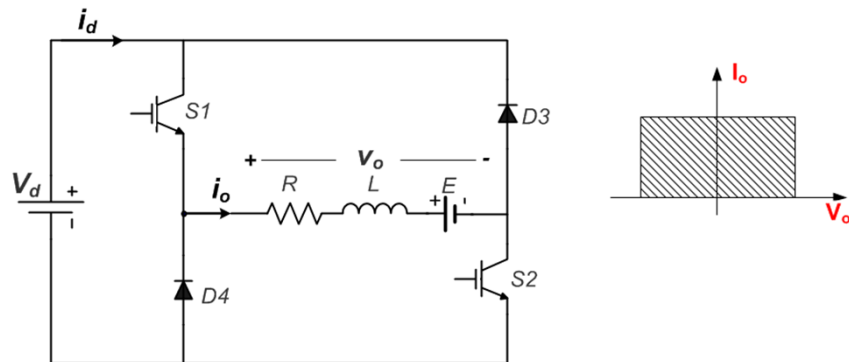
Từ đó:

$$D \cdot 230 = (0,1) \cdot (-100) + 219,91$$

$$\Rightarrow D = \frac{-10 + 219,91}{230} = 0,91$$

35

Bộ biến đổi kép dạng đảo áp

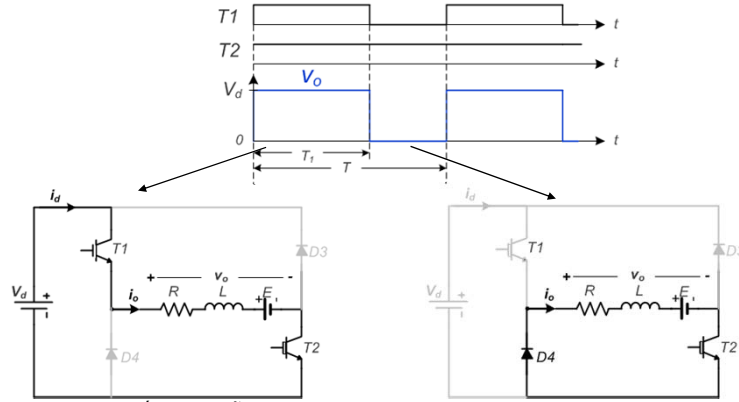


- Tính liên tục hoặc gián đoạn của dòng tải i_o phụ thuộc vào thông số tải (R , L , E) và tỉ số điều chế.
- Áp trên tải v_o có thể đổi dấu, nhưng dòng tải i_o chỉ chạy theo một chiều.

36

Bộ biến đổi kép dạng đảo áp

Giản đồ kích 1 (Giả thiết mạch hoạt động ở chế độ dòng liên tục: $i_o \geq 0$)

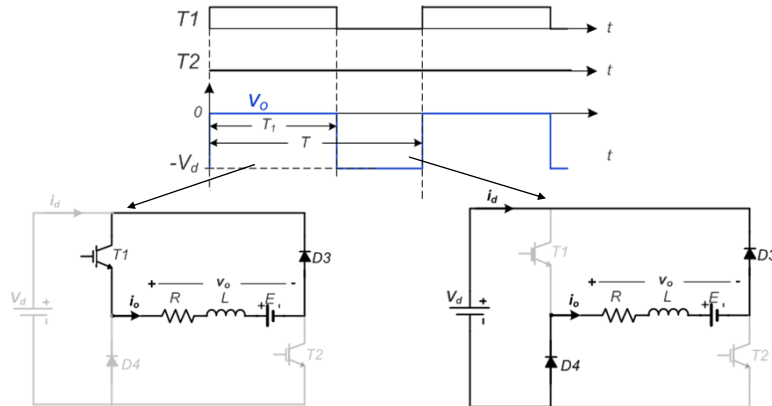


- T1 đóng cắt trong mỗi chu kỳ, $D = T_1/T$ (T_1 : thời gian transistor T1 đóng),
 - T2 dẫn liên tục
 - Điện áp trung bình ngõ ra: $V_o = \frac{T_1}{T} V_d = D V_d \geq 0$
- Tải nhận năng lượng từ nguồn.

37

Bộ biến đổi kép dạng đảo áp

Giản đồ kích 1 (Giả thiết mạch hoạt động ở chế độ dòng liên tục: $i_o \geq 0$)

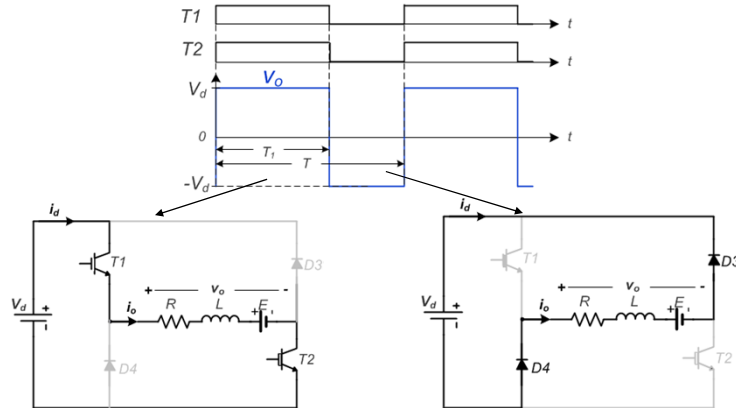


- T1 đóng cắt trong mỗi chu kỳ, $D = T_1/T$
 - S2 tắt liên tục
 - Điện áp trung bình ngõ ra: $V_o = \frac{(T - T_1)}{T} (-V_d) = -V_d(1 - D) \leq 0$
- Tải trả năng lượng về nguồn. Trong trường hợp này, dấu của sức điện động E cần phải như thế nào?

38

Bộ biến đổi kép dạng đảo áp

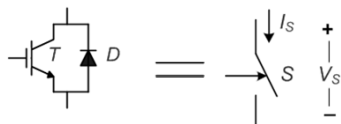
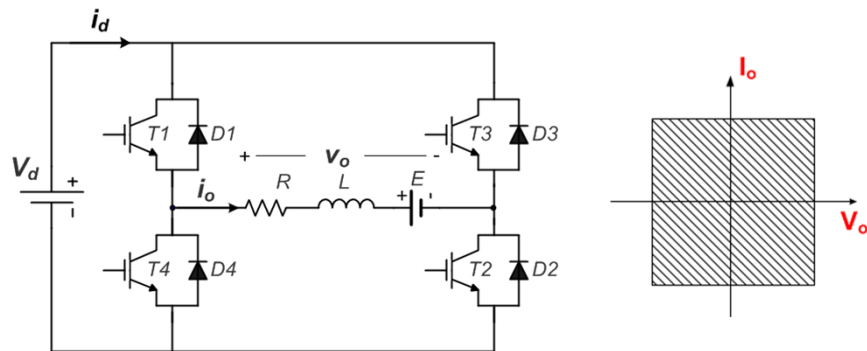
Giải đồ kích 2 (Giả thiết mạch hoạt động ở chế độ dòng liên tục: $i_o \geq 0$)



- T1 và T2 cùng dẫn trong khoảng T_1 và tắt trong khoảng $T-T_1$, **Để tải trả được năng lượng về nguồn:**
- Điện áp trung bình ngõ ra: $V_o = V_d \left(\frac{2T_1}{T} - 1 \right) = V_d (2D - 1)$ **- Giá trị của D trong khoảng nào?**
- Điện áp V_o có thể dương hoặc âm tùy theo giá trị của D **- Dấu của E ra sao?**

39

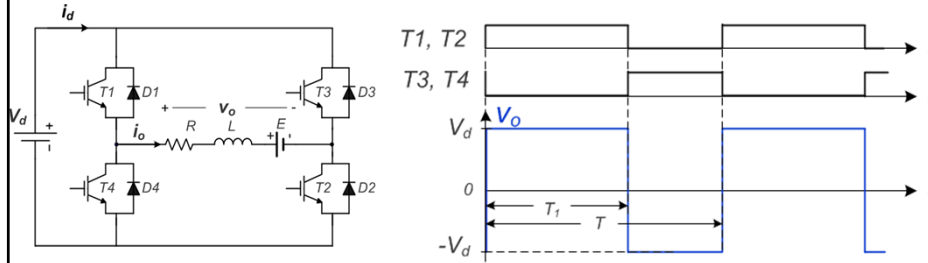
Bộ biến đổi kép dạng tổng quát



Khi T được kích dẫn, (T+D) tương đương khóa bán dẫn S cho phép dòng chạy qua theo cả 2 chiều. Do đó, mạch luôn ở chế độ dòng liên tục

40

Bộ biến đổi kép dạng tổng quát



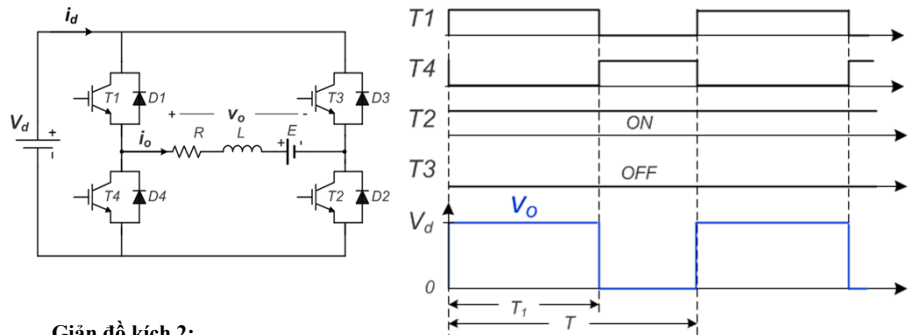
Giải đồ kích 1:

- Kích từng cặp: (T1, T2) và (T3, T4), trong đó (T1, T2) đóng cắt ngược pha với (T3, T4),
- Dòng ngõ ra i_o có thể chạy theo cả 2 chiều,
- Điện áp ngõ ra đóng cắt giữa V_d và $-V_d$,
- Giá trị trung bình của điện áp ngõ ra:

$$V_o = V_d \left(\frac{2T_1}{T} - 1 \right) = V_d (2D - 1), \text{ trong đó } T_1 \text{ là thời gian T1 và T2 ON}$$

41

Bộ biến đổi kép dạng tổng quát



Giải đồ kích 2:

- Để $V_o \geq 0$, có thể đóng cắt như sau:
T2 = ON, T3 = OFF, T1 và T4 đóng cắt ngược pha nhau
- Điện áp trung bình ngõ ra lúc này:

$$V_o = V_d \frac{T_1}{T} = DV_d \geq 0 \text{ (với } T_1 = \text{thời gian T1 ON)}$$

- Để $V_o \leq 0$:

Giải đồ xung kích các khóa bán dẫn lúc này ra sao ?

Công thức tính điện áp trung bình ngõ ra V_o tương ứng?

42