

Chương 3

Phần 3

Bộ nguồn đóng ngắt kiểu cách ly

74

Giới thiệu

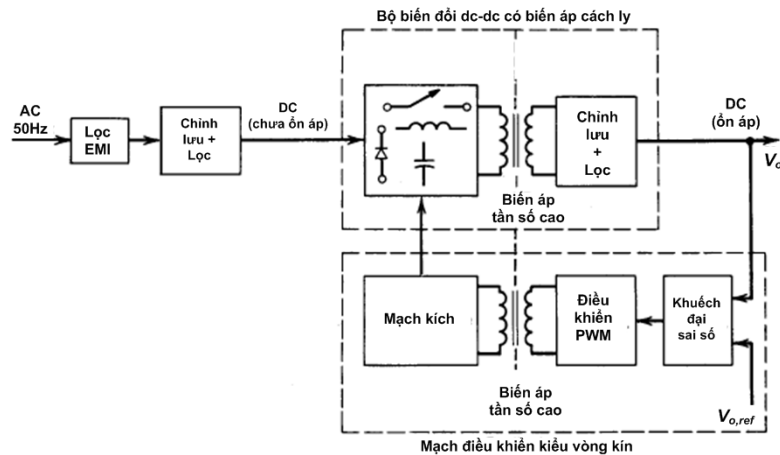
Các bộ nguồn ổn áp được sử dụng rất rộng rãi trong hầu hết các mạch điện tử tương tự (analog) hoặc số (digital) và thường được thiết kế để có các tính năng:

- Ngõ ra ổn định: điện áp ngõ ra của bộ nguồn được giữ ổn định khi điện áp ngõ vào và tải biến thiên trong một phạm vi nào đó.
- Cách ly: Ngõ ra có thể cần cách ly (isolated) về điện với ngõ vào, đặc biệt với các bộ nguồn có ngõ vào là điện áp lưới.
- Nhiều ngõ ra (multiple outputs): một số bộ nguồn cần có các ngõ ra khác nhau về mức điện áp và công suất, và các ngõ ra này có thể cần cách ly với nhau.

75

Giới thiệu

Cấu hình bộ nguồn đóng cắt kiểu cách ly



Sơ đồ khối bộ nguồn ổn áp đóng ngắt loại cách ly

76

Giới thiệu

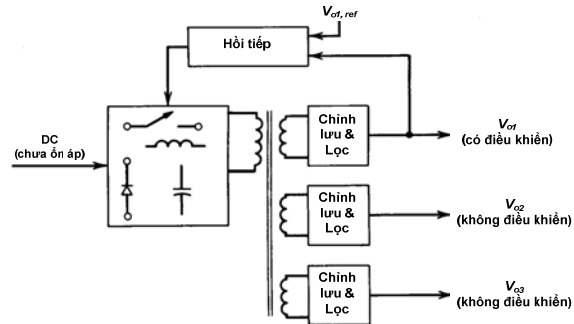
Cấu hình bộ nguồn đóng cắt kiểu cách ly

- Để cách ly giữa ngõ vào và ngõ ra thường sử dụng biến áp cách ly là các biến áp tần số cao với lõi làm bằng vật liệu như ferrite.
- Điện áp xoay chiều ở ngõ ra của biến áp được chỉnh lưu và lọc để tạo thành điện áp DC cần thiết.
- Mạch điều khiển kiểu vòng kín sẽ ổn định điện áp ngõ ra V_o khi điện áp ngõ vào và tải thay đổi, bằng cách so sánh V_o với mức điện áp yêu cầu $V_{o,ref}$ và điều khiển tỉ số điều chế của bộ biến đổi DC-DC theo sai số giữa hai điện áp này.

77

Giới thiệu

Cấu hình bộ nguồn đóng cắt kiểu cách ly với nhiều ngõ ra



- Trong trường hợp bộ nguồn yêu cầu có nhiều ngõ ra với các mức điện áp và công suất khác nhau, chỉ có một ngõ ra chính V_{o1} được điều khiển giữ ổn định, các ngõ ra khác không được điều.
- Nếu các ngõ ra V_{o2} và/hoặc V_{o3} cũng cần duy trì ổn định, có thể sử dụng thêm bộ ổn áp tuyến tính mắc nối tiếp với các ngõ ra này.

78

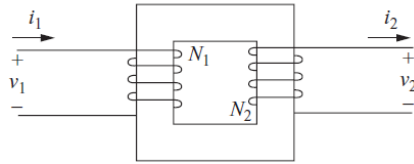
Giới thiệu

Ưu / khuyết điểm của bộ nguồn đóng cắt kiểu cách ly

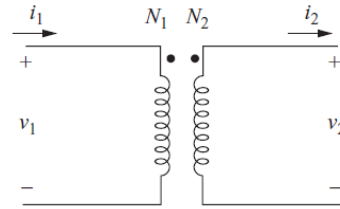
- Các khóa bán dẫn (MOSFET hoặc IGBT) trong bộ nguồn hoạt động ở chế độ đóng ngắt, nên tổn hao trên các khóa này là nhỏ hơn nhiều so khi hoạt động với bộ nguồn kiểu tuyến tính → hiệu suất các bộ nguồn đóng ngắt thường trong khoảng 70 – 90%. Ngoài ra, transistor hoạt động trong chế độ đóng ngắt cũng có khả năng tải công suất cao hơn so với khi hoạt động ở chế độ tuyến tính.
- Biến áp là loại tần số cao, có kích thước và khối lượng nhỏ hơn nhiều so với biến áp sắt từ (hoạt động ở tần số 50/60Hz) trong các bộ nguồn tuyến tính → bộ nguồn có kích thước và khối lượng giảm đi đáng kể.
- **Khuyết điểm:** các bộ nguồn đóng ngắt thường có cấu hình và mạch điều khiển phức tạp, và cần các biện pháp để giảm nhiễu điện từ (EMI – Electro-Magnetic Interference).

79

Biến áp



Cấu hình biến áp 2 cuộn dây



Mạch tương đương của biến áp lý tưởng

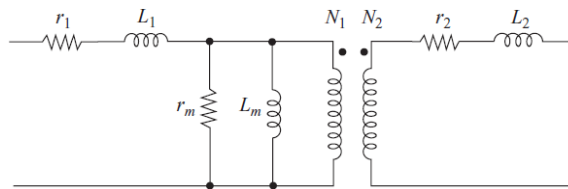
Quan hệ giữa ngõ vào và ngõ ra của biến áp lý tưởng: $\frac{i_1}{i_2} = \frac{N_2}{N_1}$ và $\frac{v_1}{v_2} = \frac{N_1}{N_2}$

Lưu ý là dấu • chỉ cực tính tương đối giữa 2 cuộn dây:

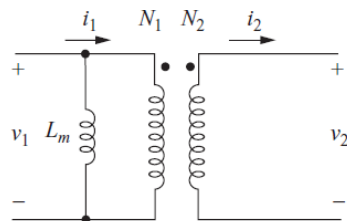
- Khi điện áp tại cực có dấu • của một cuộn là dương, cực có dấu • tại cuộn kia cũng là dương.
- Khi dòng điện đi vào cực có dấu • tại một cuộn, dòng điện sẽ đi ra tại cực có dấu • của cuộn còn lại.

80

Biến áp



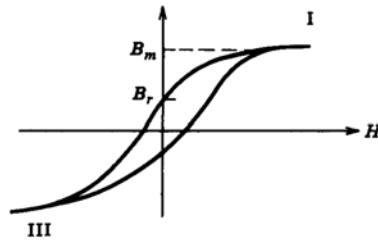
Mạch tương đương đầy đủ của biến áp



Mạch tương đương của biến áp sử dụng trong phân tích điện tử công suất

81

Biến áp



- B_m là mật độ từ thông cực đại (maximum flux density),
- B_r là từ dư (remnant flux density) của lõi

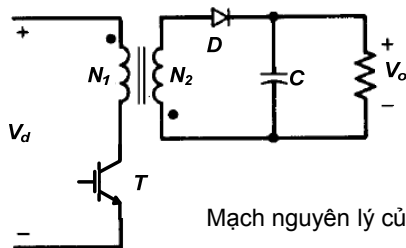
Đặc tính từ hóa của lõi biến áp

Biến áp sử dụng trong các bộ biến đổi dc-dc có thể được từ hóa theo hai kiểu sau:

- Từ hóa một chiều (unidirectional core excitation): biến áp chỉ hoạt động trong góc phần tư I của đặc tính từ hóa. Các bộ biến đổi có biến áp từ hóa kiểu này là: bộ biến đổi kiểu *flyback* và bộ biến đổi kiểu *forward*.
- Từ hóa hai chiều (bidirectional core excitation): biến áp hoạt động ở cả góc phần tư I và III của đặc tính từ hóa. Các bộ biến đổi có biến áp từ hóa kiểu này là: bộ biến đổi kiểu *push-pull*, *half-bridge* và *full-bridge*.

82

Bộ Flyback (Flyback converter)



Mạch nguyên lý của bộ flyback

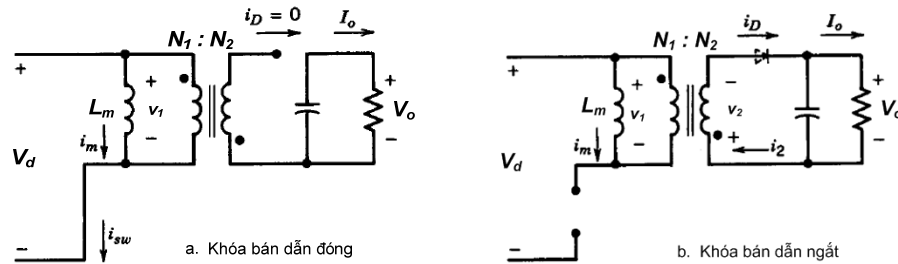
Trong các phân tích sau đây, giả thiết:

- Mạch hoạt động ở chế độ dòng liên tục – nghĩa là dòng qua L_m luôn lớn hơn zero ($i_{Lm} > 0$),
- Tụ C đủ lớn để có thể xem điện áp ngõ ra V_o là không đổi,
- Mạch ở chế độ xác lập, nghĩa là dòng, áp và từ thông biến áp tại thời điểm đầu và cuối của chu kỳ đóng ngắt là như nhau.

83

Bộ Flyback

Mạch hoạt động ở chế độ dòng liên tục

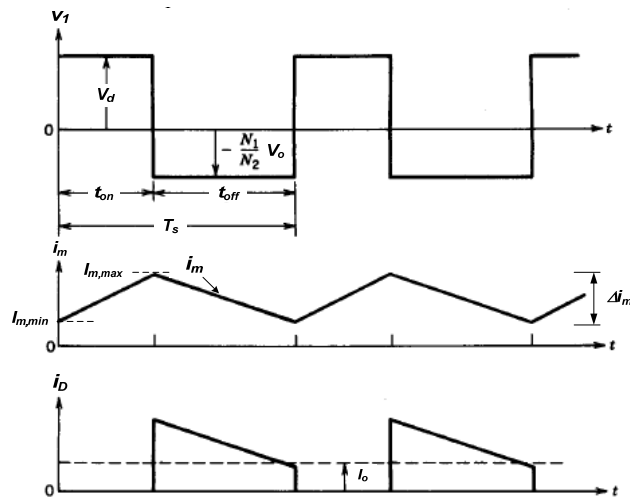


Mạch tương đương của bộ flyback khi khóa bán dẫn T đóng ngắt

84

Bộ Flyback

Mạch hoạt động ở chế độ dòng liên tục



Dạng sóng dòng/áp của bộ flyback

85

Bộ Flyback

Mạch hoạt động ở chế độ dòng liên tục

Khi khóa T đóng:

Mạch tương đương lúc này như hình. Lưu ý là khi T dẫn, do cực tính biến áp như trên hình, diode D sẽ bị phân cực ngược (như chứng minh dưới đây) nên ở trạng thái tắt.

Độ biến thiên dòng điện cuộn sơ cấp biến áp (cũng là độ biến thiên dòng qua L_m):

$$\Delta i_m = \frac{V_d D T_s}{L_m}, \text{ trong đó } D \text{ là tỉ số điều chế (duty cycle): } D = t_{on} / T_s$$

Ở phía thứ cấp (phía tải) của biến áp:

$$v_2 = \frac{N_2}{N_1} v_1 = \frac{N_2}{N_1} V_d$$

Suy ra điện áp đặt trên diode D là:

$$v_D = -V_o - \frac{N_2}{N_1} V_d < 0 \rightarrow \text{Diode D tắt do bị phân cực ngược, và: } i_2 = 0.$$

86

Bộ Flyback

Mạch hoạt động ở chế độ dòng liên tục

Khi khóa T ngắt:

Năng lượng chứa trong lõi biến áp (tương ứng với dòng từ hóa i_m) sinh ra dòng i_2 trong cuộn thứ cấp của biến áp theo chiều trên hình. Lúc này, diode D dẫn nên điện áp trên cuộn thứ cấp và sơ cấp của biến áp lần lượt là:

$$v_2 = -V_o \text{ và } v_1 = -V_o \frac{N_1}{N_2}$$

$$\text{Suy ra độ biến thiên của } i_m \text{ trong khoảng thời gian } t_{off} \text{ là: } \Delta i_m = -\frac{V_o(1-D)T_s}{L_m} \frac{N_1}{N_2}$$

Khi mạch ở chế độ xác lập, tổng độ biến thiên dòng qua L_m trong một chu kỳ bằng zero nên:

$$\frac{V_d D T_s}{L_m} - \frac{V_o(1-D)T_s}{L_m} \frac{N_1}{N_2} = 0$$

$$\text{Từ đây suy ra quan hệ giữa điện áp ngõ ra } V_o \text{ và ngõ vào } V_d \text{ là: } V_o = V_d \frac{D}{1-D} \frac{N_2}{N_1}$$

Quan hệ giữa điện áp ngõ vào và ngõ ra của mạch flyback tương tự như mạch buck-boost.

Điện áp đặt trên khóa bán dẫn T khi khóa này tắt là:

$$V_{sw} = V_d - v_1 = V_d + V_o \frac{N_1}{N_2} \text{ (lớn hơn áp nguồn } V_d)$$

87

Bộ Flyback

Mạch hoạt động ở chế độ dòng liên tục

Giá trị giới hạn của L_m

Bỏ qua tổn hao trên bộ biến đổi, công suất ngõ ra sẽ bằng công suất ngõ vào, nghĩa là $P_d = P_o$, suy ra:

$$V_d I_d = \frac{V_o^2}{R}$$

Ngoài ra, quan hệ giữa giá trị trung bình của dòng từ hóa I_m và dòng nguồn I_d là:

$$I_d = D I_m$$

Từ đó suy ra các biểu thức sau của dòng từ hóa qua L_m :

$$I_m = \frac{V_o^2}{D V_d R} = \frac{V_d D}{(1-D)^2 R} \left(\frac{N_2}{N_1} \right)^2 = \frac{V_o}{(1-D)R} \left(\frac{N_2}{N_1} \right)$$

$$I_{m,\max} = \frac{V_d D}{(1-D)^2 R} \left(\frac{N_2}{N_1} \right)^2 + \frac{V_d D T_s}{L_m}$$

$$I_{m,\min} = \frac{V_d D}{(1-D)^2 R} \left(\frac{N_2}{N_1} \right)^2 - \frac{V_d D T_s}{L_m}$$

88

Bộ Flyback

Mạch hoạt động ở chế độ dòng liên tục

Giá trị giới hạn của L_m (t-t)

Như vậy, nếu muốn thiết kế mạch hoạt động ở chế độ dòng liên tục thì cần thỏa điều kiện:

$I_{m,\min} \geq 0$. Từ đây suy ra biến áp cần thiết kể với điều kiện về giá trị điện cảm từ hóa L_m là:

$$L_m \geq L_{m,\min} = \frac{(1-D)^2 R}{2f_s} \left(\frac{N_2}{N_1} \right)^2$$

Trong trường hợp muốn thiết kế mạch hoạt động ở chế độ dòng gián đoạn thì cần thỏa: $I_{m,\min} \leq 0$

Khi đó điều kiện cần thiết của L_m là:

$$L_m \leq L_{m,\max} = \frac{(1-D)^2 R}{2f_s} \left(\frac{N_2}{N_1} \right)^2$$

89

Bộ Flyback

Mạch hoạt động ở chế độ dòng liên tục

Tính chọn tụ C:

Ngõ ra của mạch flyback giống như ngõ ra của bộ biến đổi buck-boost, do đó tụ C chọn theo điều kiện sau:

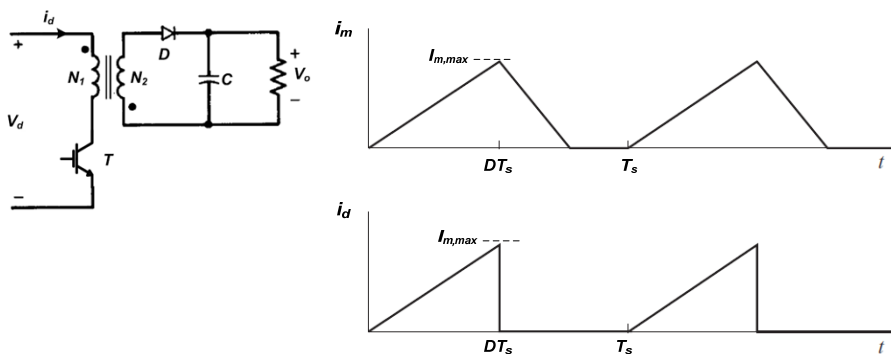
$$\frac{\Delta V_o}{V_o} = \frac{D}{RCf_s}$$

Trong đó: $\frac{\Delta V_o}{V_o}$ là độ dợn sóng điện áp cho phép (thường tính bằng %)

90

Bộ Flyback

Mạch hoạt động ở chế độ dòng gián đoạn



Dạng sóng dòng qua L_m và dòng nguồn của mạch flyback trong chế độ dòng gián đoạn

91

Bộ Flyback

Mạch hoạt động ở chế độ dòng gián đoạn

Trong chế độ dòng gián đoạn, khi khóa T đóng, dòng từ hóa i_m tăng tuyến tính tương tự như trong chế độ dòng liên tục khảo sát ở trên. Tuy nhiên, khi khóa T ngắt, dòng này sẽ giảm về zero trước khi bắt đầu chu kỳ đóng ngắt, như trình bày trên hình trước, suy ra:

$$I_{m,\max} = \frac{V_d D T_s}{L_m}$$

Biểu thức của điện áp ngõ ra trong trường hợp này được tính dựa trên sự *cân bằng công suất giữa ngõ vào – ngõ ra* như sau đây:

$$P_d = P_o \Rightarrow V_d I_d = \frac{V_o^2}{R}$$

92

Bộ Flyback

Mạch hoạt động ở chế độ dòng gián đoạn

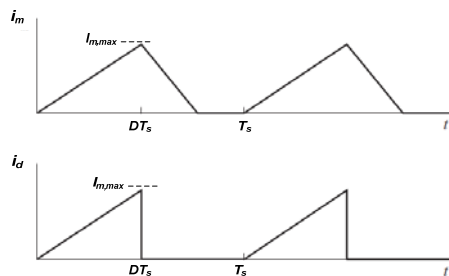
Giá trị trung bình I_d có thể tính ra từ dạng sóng i_d (hình tam giác) như sau:

$$I_d = \frac{1}{2} \frac{V_d D T_s}{L_m} D T_s \frac{1}{T_s} = \frac{V_d D^2 T_s}{2 L_m}$$

$$\text{Suy ra: } P_d = P_o \Rightarrow V_d I_d = \frac{V_o^2}{R} \Rightarrow \frac{V_d^2 D^2 T_s}{2 L_m} = \frac{V_o^2}{R}$$

Từ đây suy ra quan hệ giữa điện áp ngõ ra và ngõ vào của mạch flyback trong chế độ dòng gián

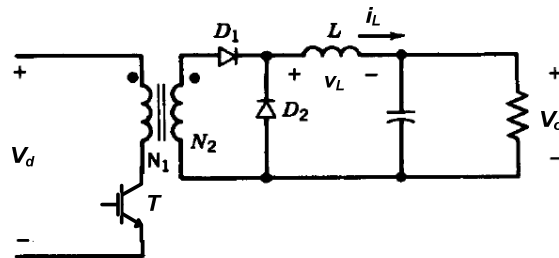
đoạn: $V_o = V_d D \sqrt{\frac{R}{2 L_m f_s}}$



93

Bộ Forward (Forward converter)

Bộ forward lý tưởng



Sơ đồ nguyên lý bộ forward lý tưởng
(xem dòng từ hóa không đáng kể)

- Bộ biến đổi kiểu forward **lý tưởng** có biến áp xem là lý tưởng (dòng từ hóa rất bé).
- Ngoài ra, trong các tính toán ở phần sau, giả thiết tụ C ở ngõ ra đủ lớn để có thể xem điện áp ngõ ra V_o là không đổi.

94

Bộ Forward

Bộ forward lý tưởng

Khi khóa bán dẫn đóng: D_1 dẫn do được phân cực thuận và D_2 tắt do bị phân cực nghịch

Điện áp trên cuộn cảm L: $v_L = \frac{N_2}{N_1} V_d - V_o$ $0 < t < t_{on} \rightarrow$ Điện áp $v_L > 0$ nên dòng i_L tăng.

Khi khóa bán dẫn tắt: D_1 tắt, dòng i_L khép mạch qua diode D_2

Điện áp trên cuộn cảm L: $v_L = -V_o$ $t_{on} < t < T_s \rightarrow$ Điện áp $v_L < 0$ nên dòng i_L giảm.

Lưu ý là điện áp trung bình trên cuộn dây trong một chu kỳ đóng ngắt là zero \rightarrow quan hệ giữa điện áp ngõ vào và ngõ ra của bộ forward như sau:

$$\frac{V_o}{V_d} = \frac{N_2}{N_1} D$$

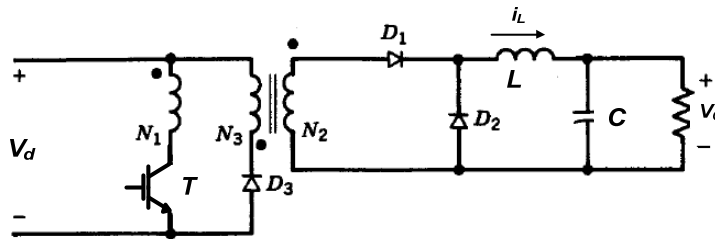
Công thức trên cho thấy quan hệ giữa điện áp ngõ vào và ngõ ra của mạch forward tỉ lệ thuận với tỉ số điều chế D (tương tự như mạch Buck).

95

Bộ Forward

Bộ forward với cuộn dây khử từ

- Trong thực tế, dòng từ hóa i_m của biến áp cần tính đến khi thiết kế mạch, vì dòng này (sinh ra trong khoảng thời gian t_{on}) có thể gây nên hư hỏng trong mạch do bị ngắt đột ngột khi khóa T tắt.
- Để giải quyết vấn đề này, mạch thực tế có thêm cuộn dây N_3 (cuộn khử từ) để trả năng lượng từ hóa về nguồn V_d như hình dưới.

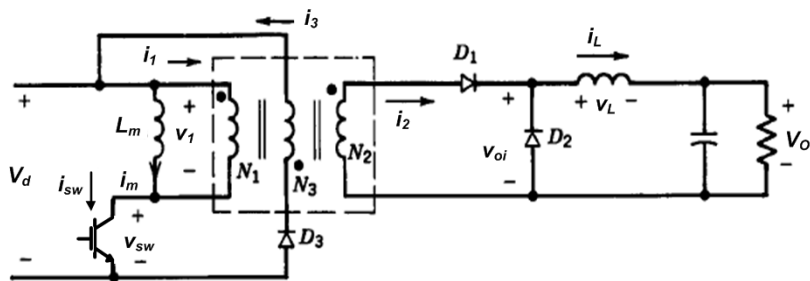


Mạch forward thực tế với cuộn dây khử từ N_3

96

Bộ Forward

Bộ forward với cuộn dây khử từ

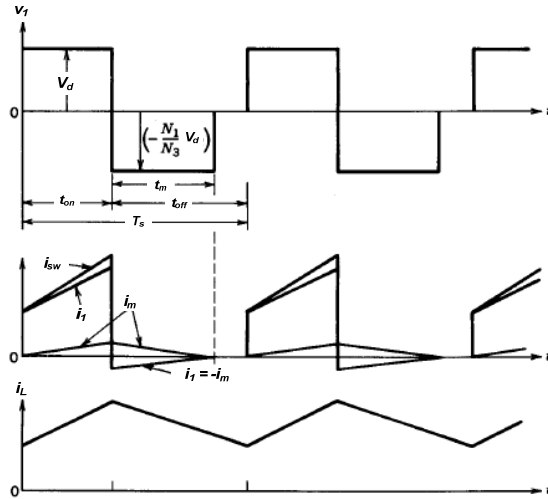


Mạch forward có cuộn khử từ và mô hình tương đương của biến áp

97

Bộ Forward

Bộ forward với cuộn dây khử từ



Dạng sóng bộ biến đổi forward với cuộn dây khử từ

98

Bộ Forward

Bộ forward với cuộn dây khử từ

Khi khóa T đóng, điện áp trên cuộn sơ cấp (cũng là điện áp trên L_m) sẽ là:

$$v_1 = V_d$$

Khi khóa T ngắt, $i_1 = -i_m$. Với chiều dòng điện quy ước như trên hình, lúc này ta có:

$$N_1 i_1 + N_3 i_3 = N_2 i_2$$

Vì khi khóa ngắt, D_1 tắt nên $i_2 = 0$, do đó từ biểu thức trên suy ra: $i_3 = \frac{N_1}{N_3} i_m$

Dòng i_3 chạy qua diode D_3 về nguồn, nên điện áp trên cuộn N_3 sẽ là V_d và điện áp trên cuộn sơ cấp biến áp và điện cảm từ hóa L_m sẽ là:

$$v_1 = -V_d \frac{N_1}{N_3} \quad t_{on} < t < t_{on} + t_m$$

99

Bộ Forward

Bộ forward với cuộn dây khử từ

Sau khoảng thời gian t_m , biến áp đã khử từ hoàn toàn, $i_m = 0$ và $v_l = 0$. Giá trị của t_m có thể tính được nếu lưu ý là tích phân điện áp trên điện cảm từ hóa L_m trong một chu kỳ lúc này sẽ là zero, nghĩa là:

$$V_d t_{on} - \frac{N_3}{N_1} V_d t_m = 0 \Rightarrow \frac{t_m}{T_s} = \frac{N_3}{N_1} D$$

Để biến áp khử từ hoàn toàn trước khi chu kỳ mới bắt đầu, điều kiện là: $t_m \leq (1-D)T_s$. Điều này là cần thiết để tránh biến áp bị bão hòa dẫn đến mạch không hoạt động được. Như vậy, nếu kể đến điều kiện biến áp phải khử từ xong trước khi bắt đầu chu kỳ mới, giá trị lớn nhất mà $\frac{t_m}{T_s}$ có thể đạt được là: $1-D$.

Vậy, với giá trị N_3/N_1 cho trước, giá trị lớn nhất của D để đảm bảo biến áp được khử từ hoàn

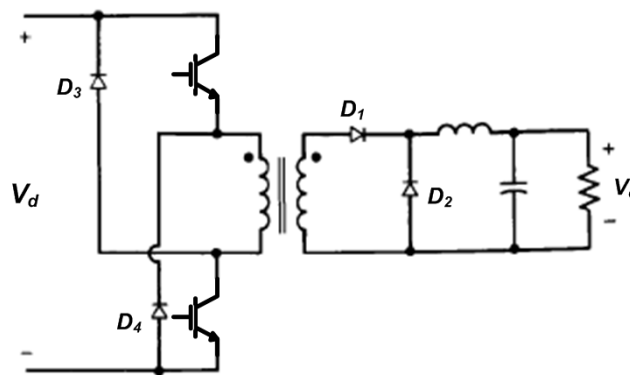
$$\text{toàn là: } (1-D_{\max}) = \frac{N_3}{N_1} D_{\max} \rightarrow D_{\max} = \frac{1}{1+N_3/N_1}$$

Với tỉ số vòng dây $N_3/N_1 = 1$ (thường sử dụng trong thực tế), $D_{\max} = 0.5$.

100

Bộ Forward

Bộ forward với 2 khóa bán dẫn



Bộ forward với 2 khóa bán dẫn

101

Bộ Forward

Bộ forward với 2 khóa bán dẫn

Trong bộ biến đổi này, các khóa bán dẫn được điều khiển đóng ngắt đồng thời.

Khi khóa đóng, điện áp đặt lên cuộn sơ cấp biến áp là V_d và điện áp này được truyền sang tải ở phía thứ cấp. Đồng thời, dòng từ hóa qua điện cảm từ hóa L_m của biến áp tăng lên.

Khi khóa ngắt, năng lượng từ hóa của biến áp được trả về nguồn qua diode D_3 và D_4 .

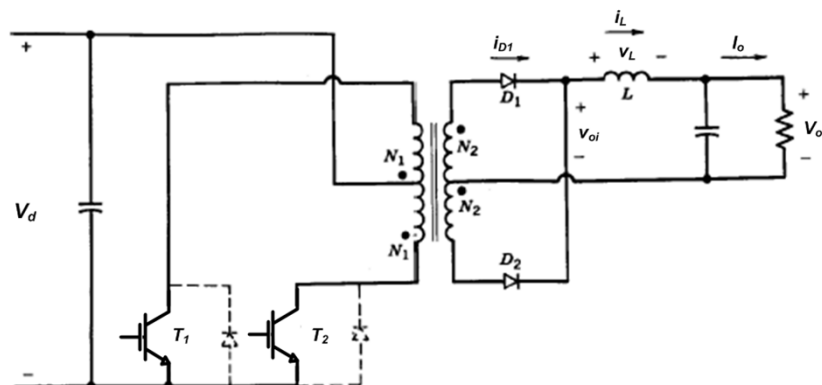
Nếu tỉ số điều chế D của mạch < 0.5 , biến áp sẽ được khử từ hoàn toàn trước khi chu kỳ mới được bắt đầu.

Điện áp ngõ ra của mạch này tương tự như bộ forward với 1 khóa bán dẫn. Ưu điểm của mạch này là các transistor chỉ phải chịu điện áp V_d đặt lên trong quá trình đóng ngắt, thay vì điện áp $V_d(1 + N_1/N_3)$ như bộ forward với 1 khóa bán dẫn.

102

Bộ Push-Pull

Sơ đồ nguyên lý

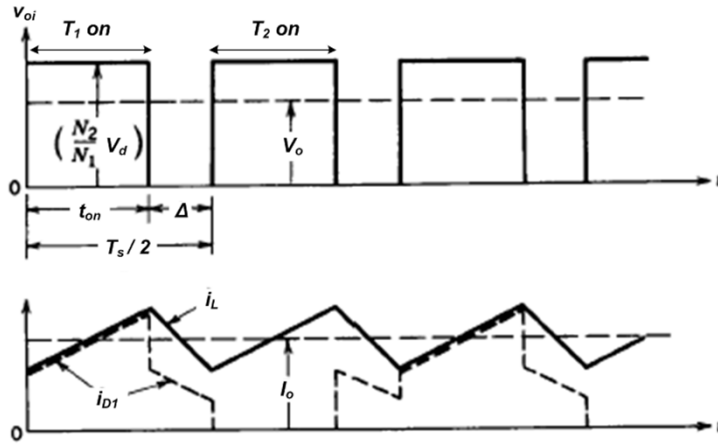


- Giả thiết biến áp là lý tưởng (bỏ qua dòng từ hóa),
- T_1 và T_2 được kích lần lượt trong mỗi nửa chu kỳ $T_s/2$.

103

Bộ Push-Pull

Dạng sóng dòng / áp



104

Bộ Push-Pull

Nguyên lý hoạt động

Khi T_1 dẫn, D_1 sẽ dẫn và D_2 khi đó bị phân cực ngược nên tắt, do đó:

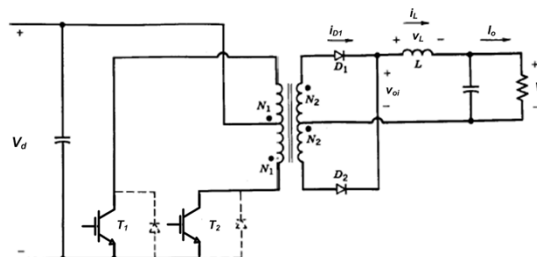
$$v_{o1} = (N_2/N_1)V_d$$

Điện áp trên cuộn cảm L là:

$$v_L = \frac{N_2}{N_1}V_d - V_o > 0 \rightarrow \text{dòng qua cuộn } L \text{ tăng tuyến tính.}$$

Trong khoảng thời gian Δ , hai khóa bán dẫn đều tắt, dòng qua L lúc này chia đều qua 2 cuộn dây thứ cấp biến áp, và $v_{o1} = 0$. Vậy trong khoảng thời gian T_1 và T_2 tắt:

$$v_L = -V_o \quad \text{và} \quad i_{D1} = i_{D2} = \frac{1}{2}i_L$$



105

Bộ Push-Pull

Nguyên lý hoạt động

Ở trạng thái xác lập, quá trình lặp lại mỗi nửa chu kỳ $T_s/2$ và:

$$t_{on} + \Delta = T_s/2$$

Một chu kỳ của điện áp trên cuộn L là $T_s/2$, bao gồm khoảng thời gian T_1 (hoặc T_2) dẫn và khoảng thời gian Δ khi cả 2 khóa bán dẫn cùng tắt.

Do điện áp trung bình trên L bằng zero, ta có:

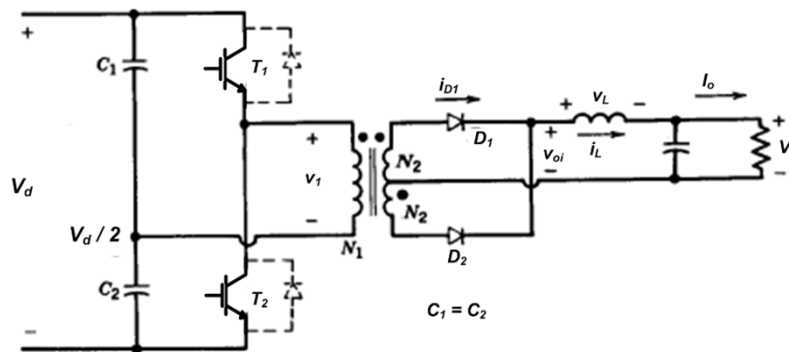
$$\frac{V_o}{V_d} = 2 \frac{N_1}{N_2} D \quad (0 < D < 0.5), \text{ trong đó: } D = t_{on} / T_s \text{ là tỉ số điều chế ứng với mỗi khóa bán dẫn.}$$

Các diode mắc song song ngược với mỗi khóa bán dẫn (đường đứt nét) dùng để tạo đường dẫn cho dòng phản kháng tương ứng với điện kháng tản của cuộn dây sơ cấp biến áp.

106

Bộ biến đổi kiểu bán cầu (Half-bridge converter)

Sơ đồ nguyên lý

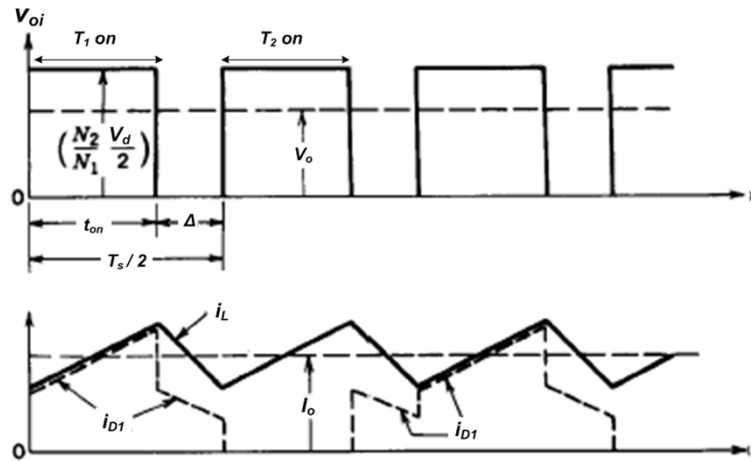


- Giả thiết các tụ C_1 và C_2 đủ lớn để điện áp trên mỗi tụ này được giữ không đổi và bằng trong quá trình đóng cắt mạch.
- Các khóa bán dẫn T_1 và T_2 đóng ngắt luân phiên, mỗi khóa dẫn trong khoảng thời gian t_{on} .

107

Bộ biến đổi kiểu bán cầu

Dạng sóng dòng / áp



108

Bộ biến đổi kiểu bán cầu

Nguyên lý hoạt động

Khi T_1 dẫn, ta có: $v_{oi} = (N_2/N_1)(V_d/2)$,

Do đó điện áp trên cuộn L trong khoảng thời gian t_{on} :

$$v_L = \frac{N_2}{N_1} \frac{V_d}{2} - V_o \quad 0 < t < t_{on}$$

Trong khoảng thời gian Δ , 2 khóa bán dẫn tắt, dòng i_L chia đều trong 2 nửa của cuộn dây thứ cấp. Lúc này cả 2 diode D_1 và D_2 đều dẫn và $v_{oi} = 0$, do đó:

$$v_L = -V_o \quad t_{on} < t < t_{on} + \Delta$$

Ở trạng thái xác lập, quá trình lặp lại mỗi nửa chu kỳ $T_s/2$ và:

$$t_{on} + \Delta = T_s/2$$

109

Bộ biến đổi kiểu bán cầu

Nguyên lý hoạt động

Lưu ý là điện áp trung bình trên cuộn L bằng zero, nên nếu lấy tích phân của v_L trong khoảng thời gian $T_s/2$ và cho tích phân này bằng zero, ta có:

$$\frac{V_o}{V_d} = \frac{N_2}{N_1} D \quad \text{trong đó: } D = t_{on} / T_s \text{ và } 0 < D < 0.5.$$

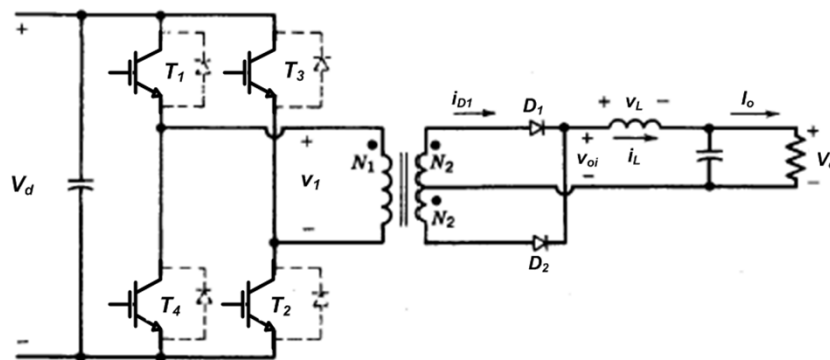
Giá trị trung bình của điện áp v_{oi} là V_o .

Các diode mắc song song ngược với các khóa bán dẫn S_1 và S_2 để tạo đường dẫn cho dòng phản kháng tương ứng với điện kháng tần của cuộn dây sơ cấp biến áp như trong mạch push-pull.

110

Bộ biến đổi kiểu cầu (Full-bridge converter)

Sơ đồ nguyên lý

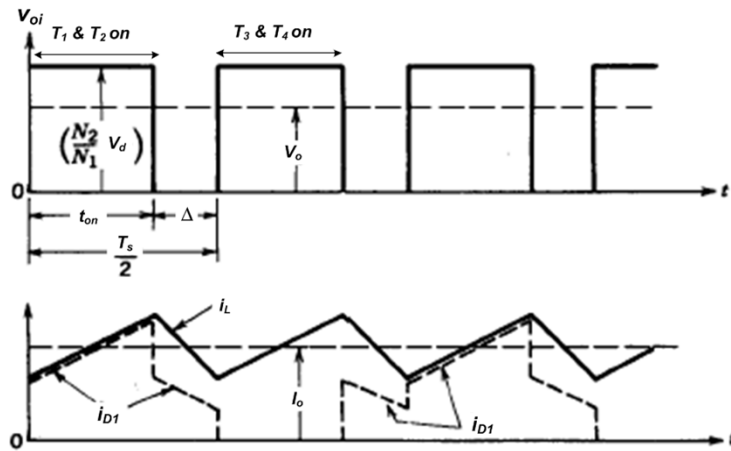


- Các khóa bán dẫn đóng ngắt lần lượt theo từng cặp: (T_1, T_2) và (T_3, T_4) .

111

Bộ biến đổi kiểu cầu

Dạng sóng dòng / áp



112

Bộ biến đổi kiểu cầu

Nguyên lý hoạt động

Khi (T_1, T_2) hoặc (T_3, T_4) dẫn, ta có: $v_{oi} = (N_2/N_1)V_d$, do đó:

$$v_L = \frac{N_2}{N_1}V_d - V_o \quad 0 < t < t_{on}$$

Trong khoảng thời gian 2 cặp khóa bán dẫn đều tắt Δ , dòng i_L chia đều trong 2 nửa của cuộn dây thứ cấp. Lúc này cả 2 diode D_1 và D_2 đều dẫn và $v_{oi} = 0$, do đó:

$$v_L = -V_o \quad t_{on} < t < t_{on} + \Delta$$

Lấy tích phân điện áp trên cuộn dây v_L trong một chu kỳ biến thiên của điện áp này là:

$t_{on} + \Delta = T_s/2$, và lưu ý là tích phân này bằng zero, ta có:

$$\frac{V_o}{V_d} = 2 \frac{N_2}{N_1} D, \text{ trong đó: } D = t_{on} / T_s \text{ và } 0 < D < 0.5.$$

Giá trị trung bình của điện áp v_{oi} là V_o .

Các diode mắc song song ngược với các khóa bán dẫn (vẽ bằng nét đứt) để tạo đường dẫn cho dòng phản kháng tương ứng với điện kháng tản của cuộn dây sơ cấp biến áp như trong mạch push-pull và mạch bán cầu ở trên.

113

So sánh giữa bộ biến đổi kiểu cầu và bán cầu

So sánh bộ biến đổi kiểu cầu với kiểu nửa cầu trong trường hợp cùng điện áp và công suất ngõ ra cũng như cùng điện áp cung cấp ở ngõ vào, ta thấy:

$$(N_2/N_1)_{HB} = 2(N_2/N_1)_{FB}$$

Trong đó chữ HB và FB lần lượt là ký hiệu cho sơ đồ bán cầu (half-bridge) và cầu (full-bridge).

Ta thấy tỉ số biến áp của sơ đồ bán cầu cao gấp đôi tỉ số này của sơ đồ cầu.

Dòng qua mỗi khóa bán dẫn:

$$(I_{SW})_{HB} = 2(I_{SW})_{FB}$$

Vậy mỗi khóa bán dẫn trong sơ đồ bán cầu phải chịu dòng cao gấp đôi khóa bán dẫn trong sơ đồ cầu. Vì vậy, sơ đồ kiểu cầu thường được sử dụng với các bộ biến đổi công suất lớn.