

Điện tử công suất

Mã số: EE3147

Ts. Trần Trọng Minh
Bộ môn Tự động hóa,
Khoa Điện, ĐHBK Hà nội
Hà nội, 9 - 2010

8/28/2014

1

Chương 7 Các bộ biến đổi xung áp một chiều

Cần hiểu được tầm quan trọng của các BBD xung áp một chiều.

Nắm rõ các phạm vi ứng dụng của các loại BBD.

Đặc điểm quan trọng nhất của các BBD xung áp là làm việc với tần số cao. Phân biệt bộ băm xung và các bộ biến đổi nguồn DC-DC.

Thiết kế các BBD DC-DC

8/28/2014

2

7.1 Các bộ biến đổi xung áp một chiều

Khái niệm chung

- Các bộ biến đổi xung áp một chiều có vai trò đặc biệt quan trọng vì phạm vi ứng dụng ngày càng to lớn.
- Nếu điện áp xoay chiều có thể dùng MBA để biến đổi điện áp thì điện áp một chiều bắt buộc phải dùng BBĐ xung áp.
- Các BBĐ xung áp dần loại trừ các loại biến áp tần số thấp trong các bộ nguồn, dẫn đến kích thước các thiết bị điện tử ngày càng nhỏ gọn.
- Hai loại bộ biến đổi xung áp một chiều:
 - 1. Các bộ băm xung áp (Chopper).
 - 2. Các bộ biến đổi nguồn DC-DC.

8/28/2014

3

7.1 Các bộ biến đổi xung áp một chiều

Khái niệm chung

- Ưu điểm cơ bản:
 - 1. Sử dụng các phần tử MOSFET, IGBT, đặc biệt là MOSFET, với tần số đóng cắt cao, vài chục đến vài trăm kHz. Trong tương lai đến 1Mhz.
 - 2. Nhờ tần số đóng cắt cao giảm được độ đập mạch của dòng điện, điện áp một chiều, tiến tới lý tưởng.
 - 3. Kích thước các phần tử phản kháng như điện cảm, tụ điện giảm đáng kể, giảm kích thước BBĐ nói chung đến mức rất nhỏ.
 - 4. Không dùng biến áp nguồn tần số thấp nữa. Giảm tổn hao, tiết kiệm sắt thép.
- Nhược điểm: Phát sinh nhiều vấn đề cần nghiên cứu!!!

8/28/2014

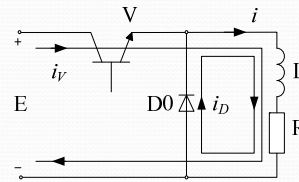
4

7.2 Bộ băm xung áp (Chopper) một chiều nối tiếp

Khái niệm chung

- Phần tử cơ bản là khoá điện tử V, là một van điều khiển hoàn toàn (GTO, IGBT, MOSFET, BJT), được mắc nối tiếp giữa tải và nguồn.
- Điốt D0 có vai trò quan trọng trong sự hoạt động của sơ đồ, gọi là điốt không. Điốt này sẽ dẫn dòng tải khi V khoá.
- Sơ đồ có 2 trạng thái van:
- Khi V thông: $iR + L \frac{di}{dt} = E$
- Khi V khoá: $iR + L \frac{di}{dt} = 0$

- Sơ đồ bộ băm xung áp.



- Trạng thái 1: từ 0 đến t_x , V thông, nối tải vào nguồn, $U_t = E$;
- Trạng thái 2: từ t_x đến T, V khoá lại, tải bị cắt khỏi nguồn. Nếu tải có tính cảm, dòng tải phải tiếp tục duy trì qua điốt D0, $U_t = 0$.

8/28/2014

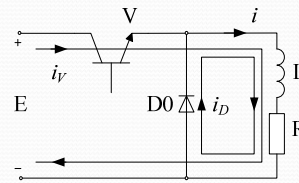
5

7.2 Bộ băm xung áp (Chopper) một chiều nối tiếp

Khái niệm chung

- Ứng dụng:
 - 1. Điều khiển dòng điện một chiều, những chỗ nào trước đây dùng chỉnh lưu thyristor thì nay có thể dùng băm xung. Ví dụ các bộ điều khiển kích từ cho máy phát đồng bộ, cho máy điện một chiều.
 - 2. Đặc biệt thích hợp cho điều khiển các máy điện một chiều công suất nhỏ.
- Xét hai loại tải:
 - 1. Trở cảm (cuộn cảm).
 - 2. Tải có s.p.đ.đ (máy điện).

- Sơ đồ bộ băm xung áp.



- Từ 0 đến t_x : V thông, nối tải vào nguồn, $U_t = E$;
- Từ t_x đến T: V khoá lại, tải bị cắt khỏi nguồn. Nếu tải có tính cảm, dòng tải phải tiếp tục duy trì qua điốt D0, $U_t = 0$.

8/28/2014

6

7.2 Bộ băm xung áp (Chopper) một chiều nối tiếp

7.2.1 Tải trở cảm (Vd: cuộn kích từ của máy điện)

- 1. Chế độ dòng liên tục: dòng qua van, qua điôt và độ đập mạch dòng điện.

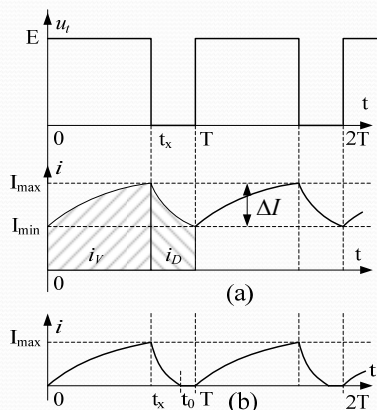
$$i_V = \frac{E}{R} + \frac{E e^{\frac{T-t_x}{Q}} - 1}{1 - e^{\frac{T}{Q}}} e^{\frac{t}{Q}}; i_D = \frac{E}{R} \frac{1 - e^{\frac{t_x}{Q}}}{1 - e^{\frac{T}{Q}}} e^{\frac{t-t_x}{Q}}.$$

$$\Delta I = \frac{E}{R} \frac{e^{\frac{T-t_x}{Q}} - 1}{1 - e^{\frac{T}{Q}}} \left(e^{\frac{t_x}{Q}} - 1 \right)$$

- 2. Chế độ dòng gián đoạn:

$$i_V = \frac{E}{R} \left(1 - e^{\frac{t}{Q}} \right); i_D = \frac{E}{R} \left(1 - e^{\frac{t_x}{Q}} \right) e^{\frac{t-t_x}{Q}}.$$

- Đồ thị dạng dòng điện, điện áp.



(a) Liên tục; (b) Gián đoạn.

8/28/2014

7

7.2 Bộ băm xung áp (Chopper) một chiều nối tiếp

7.2.2 Tải có s.p.đ.đ. (Vd: phản ứng ĐCMC)

- Trạng thái 1: Khi V thông,

$$iR + L \frac{di}{dt} = E - E_d$$

- Trạng thái 2: Khi V không thông,

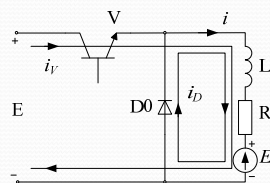
$$iR + L \frac{di}{dt} = -E_d$$

- Chế độ dòng liên tục:

$$i_V = \frac{E - E_d}{R} + \frac{E e^{\frac{T-t_x}{Q}} - 1}{1 - e^{\frac{T}{Q}}} e^{\frac{t}{Q}};$$

$$i_D = -\frac{E}{E_d} + \frac{E}{R} \frac{1 - e^{\frac{t_x}{Q}}}{1 - e^{\frac{T}{Q}}} e^{\frac{t-t_x}{Q}}.$$

- Sơ đồ bộ băm xung khi tải có s.p.đ.đ.



- Độ đập mạch dòng tải không phụ thuộc vào E_d :

$$\Delta I = \frac{E}{R} \frac{e^{\frac{T-t_x}{Q}} - 1}{1 - e^{\frac{T}{Q}}} \left(e^{\frac{t_x}{Q}} - 1 \right)$$

8/28/2014

8

7.2 Bộ băm xung áp (Chopper) một chiều nối tiếp

7.2.2 Tải có s.p.đ.đ.

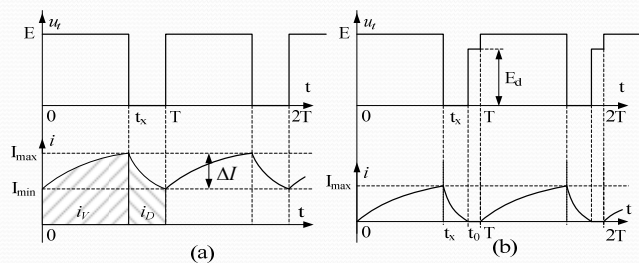
2. Chế độ dòng gián đoạn:

$$i_V = \frac{(E - E_d)}{R} \left(1 - e^{-\frac{t}{Q}} \right);$$

$$i_D = -\frac{E_d}{R} + \left(\frac{E}{R} - \frac{E - E_d}{R} e^{-\frac{t_x}{Q}} \right) e^{-\frac{t - t_x}{Q}}.$$

- 3. Chế độ tới hạn: Dòng sẽ gián đoạn với mọi t_x nhỏ hơn hoặc bằng $t_{x,th}$.

$$t_{x,th} = Q \ln \frac{E - E_d \left(e^{\frac{T}{Q}} - 1 \right)}{E}$$



(a) Dòng liên tục.
(b) Dòng gián đoạn.

8/28/2014

9

7.3 Các bộ biến đổi nguồn DC-DC

Cần hiểu được vai trò quan trọng của các BBĐ nguồn DC-DC.

Nắm được 3 sơ đồ DC-DC cơ bản: 1. Buck Converter; 2. Boost Converter; 3. Buck-Boost Converter.

Thiết kế các BBĐ DC-DC

Các bộ biến đổi DC-DC cách ly.

Các bộ biến đổi cộng hưởng.

8/28/2014

10

7.3 Các bộ biến đổi nguồn DC-DC

Đặc điểm chung

- Dựa trên nguyên lý băm xung áp.
- Đầu ra phải có tụ đủ lớn để san bằng điện áp trên tải.
 - Nếu bộ băm xung áp dùng để điều chỉnh dòng điện một chiều ra tải (nguồn dòng) thì bộ biến đổi nguồn DC-DC dùng để điều chỉnh điện áp ra tải (nguồn áp).
- Có thể coi trong một khoảng thời gian đủ nhỏ, vài chu kỳ cắt mẫu, điện áp ra là không đổi.
- Giả thiết này cho phép đơn giản hóa tối đa quá trình phân tích các sơ đồ DC-DC.
- Các sơ đồ thực tế còn nhiều vấn đề cần xem xét.

8/28/2014

11

7.3 Các bộ biến đổi nguồn DC-DC

Đặc điểm chung

- Các sơ đồ không cách ly: Buck, Boost, Buck-Boost Converter.
 - Trong ba sơ đồ cơ bản mạch van đều chỉ gồm 2 phần tử, van MOSFET và điôt, chỉ có 2 trạng thái đóng cắt ứng với khi van MOSFET mở và khi van khóa.
 - Có thể làm việc ở chế độ dòng liên tục và chế độ dòng gián đoạn.
- Các sơ đồ cách ly: Flyback, Forward, Half-Bridge, Full Bridge.
 - Sử dụng khi hệ số biến đổi lớn và yêu cầu cách ly.
- Sơ đồ cộng hưởng: nối tiếp, song song, LCC, LLC.
 - Cho hiệu suất cao.

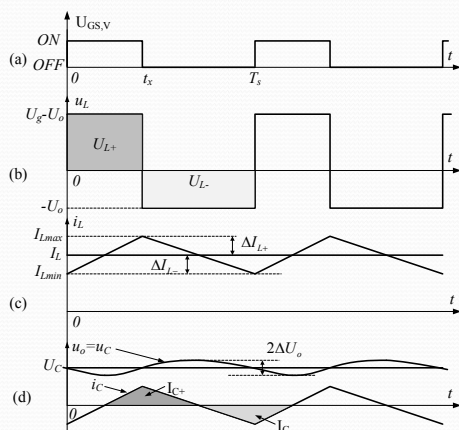
8/28/2014

12

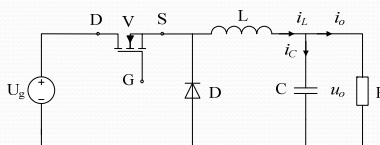
7.3 Các bộ biến đổi nguồn DC-DC

7.3.1 BBD DC-DC giảm áp (Buck Converter)

- Đồ thị dạng dòng điện, điện áp



- Buck Converter. Sơ đồ nguyên lý



- Hai trạng thái đóng cắt của van

- $0 < t < t_x$: Van V thông

$$u_L = L \frac{di_L}{dt} = U_g - U_o$$

- $t_x < t < T_s$: van V khóa, diốt D thông

$$u_L = L \frac{di_L}{dt} = -U_o$$

- Bỏ qua độ đập mạch của điện áp trên tụ C suy ra dòng điện trên cuộn cảm i_L thay đổi tuyến tính.

8/28/2014

13

7.3 Các bộ biến đổi nguồn DC-DC

7.3.1 BBD DC-DC giảm áp (Buck Converter)

- Trong chế độ xác lập dòng qua cuộn cảm ở đầu chu kỳ và cuối chu kỳ T_s phải bằng nhau. Điều này nghĩa là giá trị trung bình của điện áp trên cuộn cảm phải bằng 0. Đây là một quy luật chung.

- Theo đồ thị dạng điện áp trên cuộn cảm:

$$U_L = \frac{1}{T_s} \int_0^{T_s} u_L dt = \frac{1}{T_s} \left[\int_0^{t_x} (U_g - U_o) dt - \int_{t_x}^{T_s} U_o dt \right]$$

$$= \frac{1}{T_s} [(U_g - U_o)t_x - U_o(T_s - t_x)] = 0$$

- Từ đó suy ra:

$$U_o = \frac{t_x}{T_s} U_g$$

- Dòng điện qua cuộn cảm thay đổi tuyến tính nên:

$$I_{\min} + \frac{U_g - U_o}{L} t_x = I_{\max}$$

- Độ đập mạch của dòng điện:

$$\Delta I = I_{\max} - I_{\min} = \frac{U_g - U_o}{L} t_x$$

- Biểu diễn các mối quan hệ qua $D = t_x/T_s$ ($0 < D < 1$), gọi là hệ số lấp đầy xung (Duty Ratio) hay hệ số điều chế:

$$U_o = D U_g,$$

$$\Delta I = \frac{U_g - U_o}{L} D T_s$$

- Với Buck Converter $U_o < U_g$.

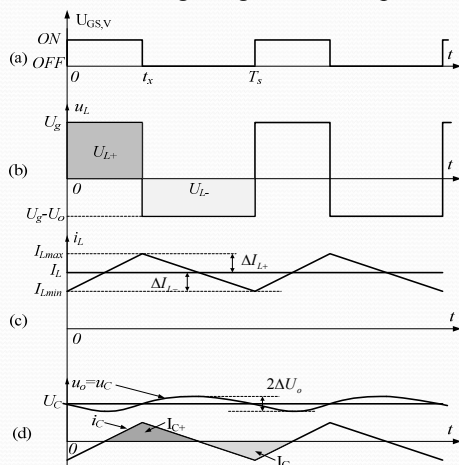
8/28/2014

14

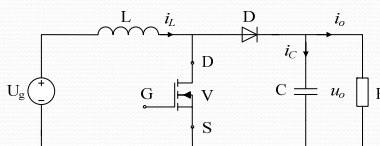
7.3 Các bộ biến đổi nguồn DC-DC

7.3.2 BBD DC-DC tăng áp (Boost Converter)

- Đồ thị dạng dòng điện, điện áp



- Boost Converter. Sơ đồ nguyên lý



- Hai trạng thái đóng cắt của van

- $0 < t < t_x$: Van V thông

$$u_L = L \frac{di_L}{dt} = U_g$$

- $t_x < t < T_s$: van V khóa, điôt D thông

$$u_L = L \frac{di_L}{dt} = U_g - U_o$$

- Bỏ qua độ đập mạch của điện áp trên tụ C suy ra dòng điện trên cuộn cảm i_L thay đổi tuyến tính.

8/28/2014

15

7.3 Các bộ biến đổi nguồn DC-DC

7.3.2 BBD DC-DC tăng áp (Boost Converter)

- Trong chế độ xác lập giá trị trung bình của điện áp trên cuộn cảm phải bằng 0. Phần diện tích bôi đen trên đồ thị dạng điện áp trên cuộn cảm phần dương phải bằng phần âm.

- Theo đồ thị dạng điện áp trên cuộn cảm:

$$U_L = \frac{1}{T_s} \int_0^{T_s} u_L dt = \frac{1}{T_s} \left[\int_0^{t_x} U_g dt + \int_{t_x}^{T_s} (U_g - U_o) dt \right]$$

$$= \frac{1}{T_s} [U_g t_x + (U_g - U_o)(T_s - t_x)] = 0$$

- Từ đó suy ra:

$$U_o = \frac{T_s}{T_s - t_x} U_g$$

- Dòng điện qua cuộn cảm thay đổi tuyến tính nên:

$$I_{\min} + \frac{U_g}{L} t_x = I_{\max}$$

- Độ đập mạch của dòng điện:

$$\Delta I = I_{\max} - I_{\min} = \frac{U_g}{L} t_x$$

- Biểu diễn các mối quan hệ qua $D = t_x/T_s$ ($0 < D < 1$), gọi là hệ số lấp đầy xung (Duty Ratio) hay hệ số điều chế:

$$U_o = \frac{1}{1-D} U_g,$$

$$\Delta I = \frac{U_g}{L} D T_s = \frac{U_o}{L} (1-D) D T_s$$

- Với Boost Converter $U_o > U_g$.

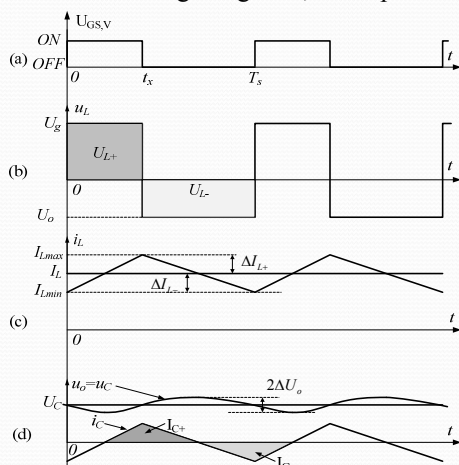
8/28/2014

16

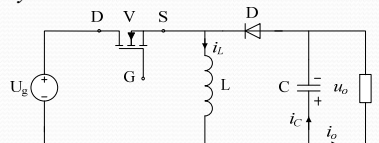
7.3 Các bộ biến đổi nguồn DC-DC

7.3.3 BBD DC-DC tăng-giảm áp (Buck-Boost)

- Đồ thị dạng dòng điện, điện áp



- Buck-Boost Converter. Sơ đồ nguyên lý



- Hai trạng thái đóng cắt của van

- $0 < t < t_x$: Van V thông

$$u_L = L \frac{di_L}{dt} = U_g$$

- $t_x < t < T_s$: van V khóa, điốt D thông

$$u_L = L \frac{di_L}{dt} = -U_o$$

- Bỏ qua độ đập mạch của điện áp trên tụ C suy ra dòng điện trên cuộn cảm i_L thay đổi tuyến tính.

8/28/2014

17

7.3 Các bộ biến đổi nguồn DC-DC

7.3.3 BBD DC-DC tăng-giảm áp (Buck-Boost)

- Trong chế độ xác lập giá trị trung bình của điện áp trên cuộn cảm phải bằng 0. Phần diện tích bôi đen trên đồ thị dạng điện áp trên cuộn cảm phần dương phải bằng phần âm. Lưu ý điện áp đầu ta có cực tính âm so với U_g .

- Theo đồ thị dạng điện áp trên cuộn cảm:

$$\begin{aligned} U_L &= \frac{1}{T_s} \int_0^{T_s} u_L dt = \frac{1}{T_s} \left[\int_0^{t_x} U_g dt - \int_{t_x}^{T_s} U_o dt \right] \\ &= \frac{1}{T_s} [U_g t_x - U_o (T_s - t_x)] = 0 \end{aligned}$$

- Từ đó suy ra: $U_o = \frac{t_x}{T_s - t_x} U_g$

- Dòng điện qua cuộn cảm thay đổi tuyến tính nên:

$$I_{\min} + \frac{U_g}{L} t_x = I_{\max}$$

- Độ đập mạch của dòng điện:

$$\Delta I = I_{\max} - I_{\min} = \frac{U_g}{L} t_x$$

- Biểu diễn các mối quan hệ qua $D = t_x / T_s$ ($0 < D < 1$), gọi là hệ số lấp đầy xung (Duty Ratio) hay hệ số điều chế:

$$U_o = \frac{D}{1-D} U_g,$$

$$\Delta I = \frac{U_g}{L} D T_s = \frac{U_o}{L} (1-D) T_s$$

- Với Buck-Boost Converter $U_o \gg U_g$.

8/28/2014

18

7.4 Tính toán thiết kế BBD DC-DC

7.4.1 Thiết kế Buck Converter

- Hệ số lấp đầy xung (Duty Ratio)

$$D = \frac{t_x}{T_s}$$

- Tần số làm việc $f_s = 1/T_s$. Thông thường f_s cỡ vài chục đến vài trăm kHz. T_s cũng gọi là tần số trích mẫu.
- Thiết kế theo các yêu cầu cho trước:
 - Điện áp đầu vào, đầu ra: U_{in}, U_o .
 - Dòng đầu ra định mức: I_o .
 - Độ đập mạch điện áp đầu ra: Δu_o . Thông thường $\Delta u_o = (0,1 - 1)\% U_o$.
 - Độ đập mạch dòng qua cuộn cảm.

- Thông thường $\Delta i_L = (10 - 30)\% I_L$.

- Nhiệm vụ thiết kế:

- Xác định các tham số của mạch, giá trị điện cảm L, tụ C.
- Xác định dòng đỉnh (I_{peak}) qua van, diốt.
- Xác định dòng trung bình qua van và diốt để tính toán chế độ nhiệt.
- Tính toán hiệu suất của BBD.
- Tính toán giá thành sản phẩm.

- Thiết kế các mạch vòng điều chỉnh dòng điện, điện áp.

- Mô hình hóa BBD.
- Mô hình tín hiệu lớn.
- Mô hình tín hiệu nhỏ.
- Tổng hợp các mạch vòng.

8/28/2014

19

7.4 Tính toán thiết kế BBD DC-DC

7.4.1 Thiết kế Buck Converter

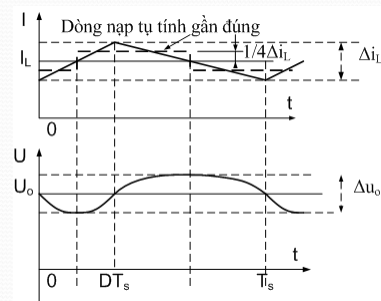
- Hệ số điều chế: $D = \frac{t_x}{T_s} = \frac{t_{on}}{t_{on} + t_{off}}$;
 $t_{on} = DT_s; t_{off} = (1 - D)T_s$

- Điện áp đầu ra: $U_o = \frac{t_x}{T} U_{in} = D U_{in}$
- Độ đập mạch dòng qua cuộn cảm:

$$\begin{aligned} \Delta i_L &= \frac{t_{on}}{L} (U_{in} - U_o) \\ &= \frac{DT_s (U_{in} - U_o)}{L} \end{aligned}$$

- Trong Buck Converter dòng trung bình qua cuộn cảm chính bằng dòng tải yêu cầu $I_L = I_o$

- Đồ thị để tính toán gần đúng độ đập mạch dòng điện và điện áp.



- Khi dòng $i_L > I_L$ tụ được nạp. Khi $i_L < I_L$ tụ phóng điện ra tải. Dòng trung bình nạp cho tụ làm điện áp tụ tăng lên Δu_o trong thời gian $\frac{1}{2}(t_{on} + t_{off})$ chính là $1/4 \Delta i_L$.

8/28/2014

20

7.4 Tính toán thiết kế BBD DC-DC

7.4.1 Thiết kế Buck Converter

- Độ đập mạch của điện áp trên tụ được tính gần đúng bằng:

$$\Delta U_o = \frac{1}{C} \frac{\Delta i_L}{4} \left(\frac{t_{on} + t_{off}}{2} \right) = \frac{T_s}{8C} \Delta i_L$$

- Thay Δi_L vào, ta có:

$$\Delta i_L = \frac{DT_s (U_{in} - U_o)}{L} = \frac{T_s}{L} \left(1 - \frac{U_o}{U_{in}} \right)$$

$$\Delta U_o = \frac{T_s^2}{8LC} \left(1 - \frac{U_o}{U_{in}} \right)$$

- Từ hai biểu thức trên đây chọn trước độ đập mạch dòng Δi_L suy ra biểu thức tính cuộn cảm L và sau đó là tụ C.

- Lựa chọn van bán dẫn, MOSFET và điốt:

- Chọn van theo dòng điện đỉnh qua van $I_{peak} = I_L + \Delta i_L / 2$ và dòng trung bình qua van.
- Dòng trung bình qua MOSFET:
- $I_V = I_L * t_{on} / T_s = D I_L$
- $I_D = I_L * t_{off} / T_s = (1-D) I_L$
- Các yếu tố thực tế phải xem xét:
 - Tần số càng cao thì điện cảm và tụ điện càng nhỏ.
 - Giá trị điện áp ra ảnh hưởng mạnh đến giá trị cuộn cảm và tụ. U_o càng nhỏ so với U_{in} thì cuộn cảm và tụ càng phải lớn.

8/28/2014

21

7.4 Tính toán thiết kế BBD DC-DC

7.4.1 Thiết kế Buck Converter

- Các yếu tố thực tế phải xem xét:

- Khi chọn tụ điện phải tính được giá trị hiệu dụng dòng qua tụ, đó chính là thành phần đập mạch của dòng qua cuộn cảm. Từ dòng hiệu dụng sẽ tính được tổn thất trên điện trở tác dụng nối tiếp với tụ (ESR – Effective Series Resistance). ESR cho bởi nhà sản xuất tụ điện.
- Tụ hóa: R_{ESR} cỡ 20 – 50 mOhm,
- Tụ vỏ nhôm R_{ESR} cỡ 10 – 15 mOhm,
- Tụ gốm R_{ESR} rất nhỏ 5 – 10 mOhm,

- Với dạng dòng hình tam giác qua tụ, trị hiệu dụng bằng:

$$I_C = \frac{\Delta i_L / 2}{\sqrt{3}} = \frac{1}{2\sqrt{3}} \frac{T_s}{L} \left(1 - \frac{U_o}{U_{in}} \right)$$

- Tổn thất trên điện cảm gồm tổn thất trên mạch từ, có thể lấy được từ nhà sản xuất, và tổn thất trên điện trở dây cuốn, thường rất nhỏ. Do đó cũng cần tính toán dòng hiệu dụng qua cuộn cảm. Đó là dòng điện có dạng hình thang vuông, tính toán không có gì khó.

8/28/2014

22

7.4 Tính toán thiết kế BBD DC-DC

7.4.2, 3 Tính toán boost và buck-boost converter

- Đối với Boost converter và Buck-Boost converter phương pháp tính toán rất giống nhau. **(Tại sao ?)**
- Dòng qua cuộn cảm $I_L = \frac{1}{1-D} I_o$

- Độ đập mạch dòng bằng:

$$\Delta I_L = DT_s \frac{U_g}{L}$$

- Giả thiết điện áp đập mạch không đáng kể nên dòng tải hầu như không đổi. Do đó trong khoảng thời gian DT_s Q1 mở, điôt khóa, điện áp trên tụ C sụt đi một lượng bằng:

$$\Delta U_C = \Delta U_o = DT_s \frac{I_o}{C}$$

- Chọn độ đập mạch dòng điện 10-30% I_o , tính ra L.
- Chọn độ đập mạch điện áp 0,5 – 1% U_o , tính ra C.
- Giá trị peak dòng qua van và điôt:

$$I_{V\max} = I_{D\max} = I_L + \frac{\Delta I_L}{2} = I_L + \frac{1}{2} DT_s \frac{U_g}{L}$$

- Dòng trung bình qua van và điôt bằng:

$$I_V = DT_s I_L; I_D = (1-D) T_s I_L$$

8/28/2014

23

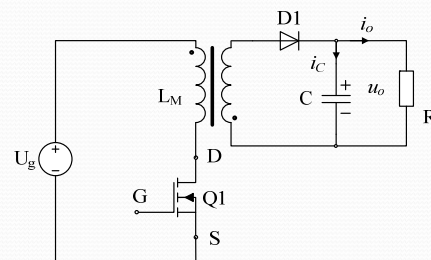
7.5 BBD DC-DC cách ly

7.5.1 Flyback Converter

- Khi hệ số biến đổi điện áp lớn cần sơ đồ có máy biến áp.
- Khi cần cách ly, phải có máy biến áp.
- Flyback là sơ đồ đơn giản nhất, dùng cho dải công suất từ vài wat đến vài chục wat.
- **Về nguyên lý Flyback rất giống sơ đồ Buck-Boost converter.**

- Khi van Q1 thông cuộn sơ cấp nạp năng lượng, D1 khóa

- Sơ đồ nguyên lý



- Khi van Q1 khóa năng lượng chuyển sang phía thứ cấp, D1 mở, truyền năng lượng ra tải.

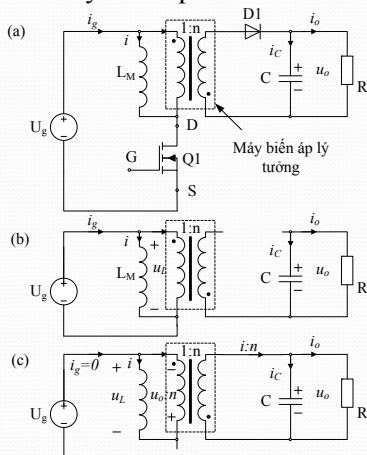
8/28/2014

24

7.5 BBD DC-DC cách ly

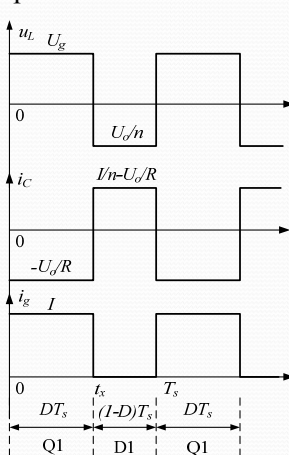
7.5.1 Flyback Converter

- Mạch điện tương đương của máy biến áp.



8/28/2014

- Dạng sóng dòng điện, điện áp.



25

7.5 BBD DC-DC cách ly

7.5.1 Flyback Converter

- Theo mạch điện tương đương, cuộn cảm từ hóa MBA đóng vai trò như cuộn cảm trong Buck-Boost converter. Giá trị trung bình của điện áp trên cuộn cảm này phải bằng 0. Theo dạng sóng ta có:

$$U_L = \frac{1}{T_s} \left[\int_0^{t_x} u_L dt + \int_{t_x}^{T_s} u_L dt \right] = \frac{1}{T_s} \left[t_x U_g - (T_s - t_x) \frac{U_o}{n} \right]$$

$$= D U_g - (1-D) \frac{U_o}{n} = 0$$

- Do đó: $\frac{U_o}{U_g} = n \frac{D}{1-D}$

- giống như buck-boost, thêm hệ số MBA n .

- Nếu cuộn cảm có quy luật về điện áp trung bình bằng 0 trong chế độ xác lập thì với *tụ điện có quy luật về giá trị trung bình của dòng điện phải bằng 0*. Áp dụng cho Flyback converter:

$$I_C = \frac{1}{T_s} \left[\int_0^{t_x} i_C dt + \int_{t_x}^{T_s} i_C dt \right] = \frac{1}{T_s} \left[t_x \left(-\frac{U_o}{R} \right) - (T_s - t_x) \left(-\frac{I}{n} + \frac{U_o}{R} \right) \right]$$

$$= -D \frac{U_o}{R} - (1-D) \left(\frac{I}{n} - \frac{U_o}{R} \right) = 0$$

- Do đó: $I = \frac{U_o}{(1-D)R}$

- I là dòng từ hóa MBA quy đổi về phía sơ cấp.
- Dòng đầu vào: $I_g = DI$

8/28/2014

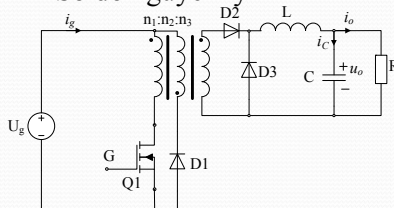
26

7.5 BBD DC-DC cách ly

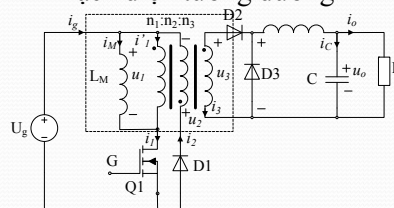
7.5.2 Forward Converter

- **Forward Converter rất giống Buck converter.**
- Trước hết ta thay thế sơ đồ bằng mạch điện tương đương của MBA.
- Khi Q1 thông, do cực tính điện áp trên các cuộn n_1, n_2, n_3 ta thấy D1 bị khóa, D2 thông. Cuộn cảm L bên phía một chiều được nạp điện bằng điện áp u_3 trên cuộn n_3 .
- Khi Q1 khóa lại cực tính điện áp trên các cuộn n_1, n_2, n_3 đổi ngược lại. Do đó D1 thông, D2 khóa. Bên phía tải cuộn cảm L duy trì dòng tải qua điốt D3. Bên sơ cấp dòng qua D1 là giảm dòng từ hóa, đưa mạch từ về điểm ban đầu.

- **Sơ đồ nguyên lý**



- **Mạch điện tương đương**



8/28/2014

27

7.5 BBD DC-DC cách ly

7.5.2 Forward Converter

- Theo đồ thị:

$$U_{LM} = \frac{1}{T_s} \left[\int_0^{t_x} u_{LM} dt + \int_{t_x}^{T_s} u_{LM} dt \right] = \frac{1}{T_s} \left[t_x U_g - (t_1 - t_x) \frac{n_1 U_g}{n_2} \right] = 0$$

$$D_2 = \frac{n_2}{n_1} D$$

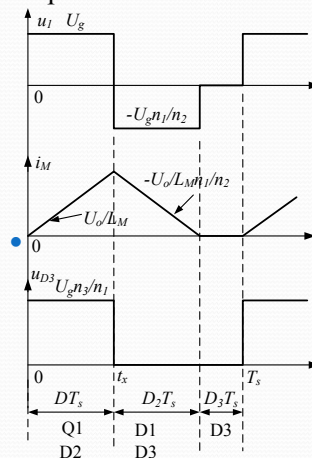
$$D_3 = 1 - (D + D_2) \geq 0$$

- Suy ra quan hệ về điện áp, với điều kiện bắt buộc $D < 0,5$:

$$U_o = \frac{n_3}{n_1} D U_g$$

- Rất giống buck converter, chỉ có thêm hệ số n_3/n_1 .

- **Dạng xung dòng điện, điện áp.**



8/28/2014

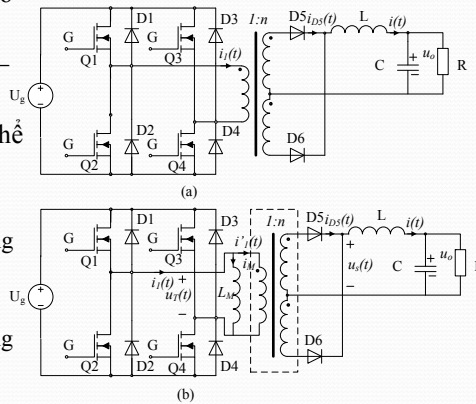
28

7.5 BBD DC-DC cách ly

7.5.3 Full bridge Converter

- Các sơ đồ Flyback, Forward là các sơ đồ một nhịp, chỉ dùng cho công suất nhỏ, dưới 150 W.
- Khi công suất yêu cầu cỡ 1000 – 1500 W phải dùng sơ đồ cầu.
- Dải công suất cỡ 150 – 300 có thể dùng sơ đồ nửa cầu.
- Theo sơ đồ:
 - Từ 0 đến $t_x \leq T_s/2$: Q1 mở cùng Q4,
 - Từ t_x đến $T_s/2$: Q1, Q3 mở
 - Từ $T_s/2$ đến $T_s/2 + t_x$: Q2 mở cùng Q3.
 - Từ $T_s/2 + t_x$ đến T_s : Q2 mở cùng Q4.

Sơ đồ nguyên lý



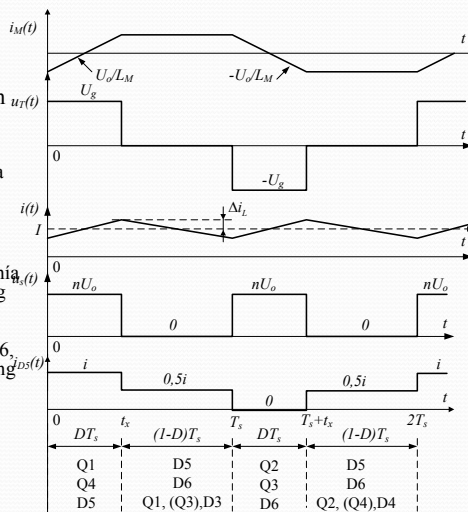
8/28/2014

29

7.5 BBD DC-DC cách ly

7.5.3 Full bridge Converter

- Phương pháp điều khiển đảm bảo dạng điện áp ra bên sơ cấp MBA không phụ thuộc vào tải.
- Điện áp ra tải: $U_o = nDU_g$
- Giống như một buck converter, có thêm hệ số MBA n.
- Dòng điện:
 - Bên phía một chiều điện áp và dòng qua cuộn cảm L rất giống ở sơ đồ buck converter.
 - Bên phía sơ cấp: trong khoảng $0 < t < t_x$ dòng từ hóa $i_M(t)$ thay đổi tuyến tính. Điều đặc biệt là trong khoảng $t_x < t < T_s$ phía sơ cấp bị ngắn mạch, dòng từ hóa không thay đổi. Phía thứ cấp cũng ngắn mạch, $u_2 = u_3 = 0$, vì vậy dòng qua cuộn cảm L chảy qua tải, ngắn mạch qua diốt D5, D6 mỗi diốt sẽ dẫn một nửa dòng $i_1(t)$. Trong thực tế thì dòng sẽ chỉ đi qua D5.
 - Điều tương tự với giai đoạn $T_s - 2T_s$.
- Có thể kiểm chứng bằng mô hình mô phỏng.



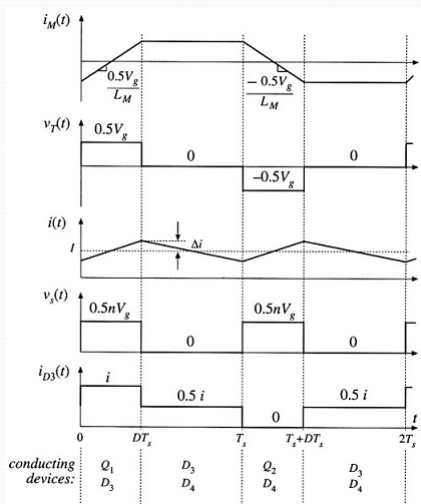
8/28/2014

30

7.5 BBD DC-DC cách ly

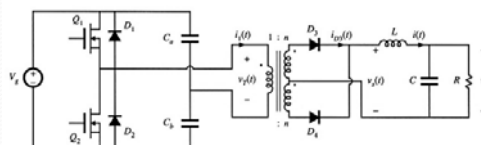
7.5.4 Half bridge Converter

- Dạng xung dòng điện, điện áp.



8/28/2014

Sơ đồ nguyên lý



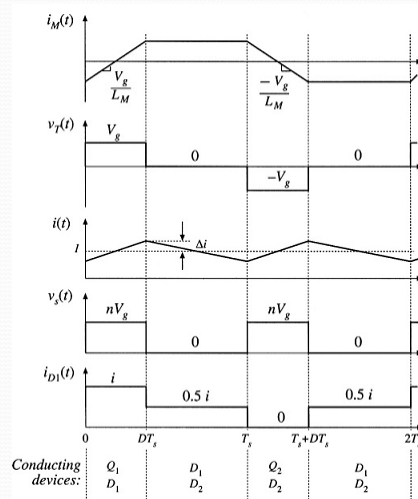
- Phía một chiều có hai tụ C1, C2 đủ lớn để tạo ra điểm giữa của nguồn một chiều.
- Với công suất nhỏ có thể bỏ đi tụ C1, kho tụ C2 đóng vai trò là tụ nối tầng và ngăn dòng một chiều chảy trong cuộn sơ cấp MBA.
 - 0-t_x Q1 mở, điện áp trên cuộn dây sơ cấp bằng $U_g/2$, D3 mở.
 - Từ t_x-T_s/2 Q1 khóa, D3, D4 cùng mở ngăn mạch cuộn dây bên thứ cấp

31

7.5 BBD DC-DC cách ly

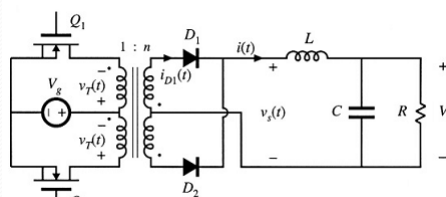
7.5.5 Push-pull converter (Sơ đồ đẩy kéo)

- Dạng sóng dòng điện, điện áp.



8/28/2014

- Sơ đồ nguyên lý.



- Cả phía sơ cấp và thứ cấp biên áp đều có điểm giữa. Phù hợp với công suất nhỏ, vài W.
- Q1, Q2 là MOSFET nên sụt áp trên nó rất nhỏ.
- Phù hợp với ứng dụng điện áp thấp, dòng lớn.

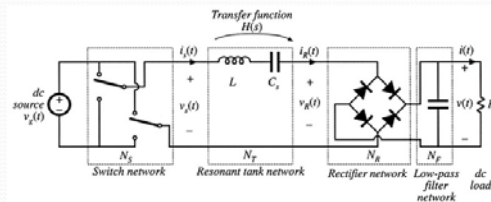
32

7.6 Các BBD cộng hưởng

7.6.1 Sơ đồ nguyên lý chung

- Sơ đồ nguyên lý chung gồm 4 phần:
- 1. Mạch van đóng cắt, biến điện áp một chiều thành điện áp xoay chiều đối xứng, tức là khâu DC-AC.
- 2. Khâu cộng hưởng LC.
- 3. Khâu chỉnh lưu, AC-DC. Thông thường khâu chỉnh lưu bao gồm MBA cách ly và biến đổi mức điện áp.
- 4. Tụ lọc một chiều.
- Nếu van có thể đóng cắt với tần số cao và rất cao (vài trăm kHz đến 1 MHz) kích cỡ BBD sẽ rất nhỏ.

- Sơ đồ nguyên lý chung.



- Sơ đồ cộng hưởng sẽ tạo ra điện áp hoặc dòng điện có dạng sin, từ đó van sẽ chuyển mạch hoặc khi dòng qua 0 (ZCS) hoặc khi áp qua 0 (ZVS), giảm tổn hao đóng cắt, tăng hiệu suất.

8/28/2014

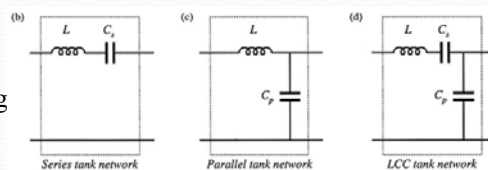
33

7.6 Các BBD cộng hưởng

7.6.1 Sơ đồ nguyên lý chung

- 1. Sơ đồ van: có thể là cầu hoặc nửa cầu.
- 2. Mạch cộng hưởng có thể là nối tiếp, song song, LCC, LLC.
- 3. Chỉnh lưu có thể là chỉnh lưu diôt hoặc chỉnh lưu đồng bộ, trong đó thay diôt bằng MOSFET đóng cắt theo điện áp. Do sụt áp trên mosfet nhỏ hơn nhiều trên diôt nên hiệu suất tăng đáng kể.
- Về điều khiển thường dùng phương pháp điều khiển tần số, không dùng phương pháp thay đổi độ rộng xung (PWM).

- Các mạng mạch cộng hưởng.



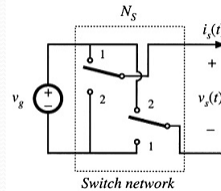
8/28/2014

34

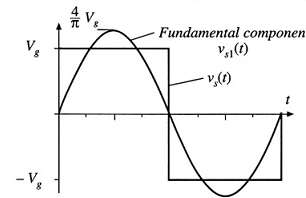
7.6 Các BBD cộng hưởng

7.6.2 Phân tích sóng hài bậc nhất

- 1. Mạch van: biến điện áp một chiều thành điện áp xoay chiều.



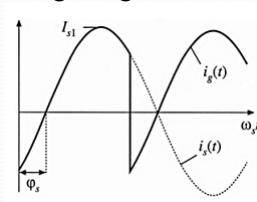
- Dạng điện áp.



- Điện áp đầu ra $u_s(t) = \frac{4U_g}{\pi} \sum_{n=1,3,5,\dots} \sin(n\omega_s t)$

Sóng cơ bản: $u_{s1}(t) = \frac{4U_g}{\pi} \sin \omega_s t = U_{s1} \sin \omega_s t$

- Dạng dòng điện.



- Dòng đầu ra: $i_s(t) = I_s \sin(\omega_s t - \varphi_s)$

- Dòng đầu vào: $I_g = \frac{2}{T_s} \int_0^{T_s/2} i_s dt = \frac{2}{\pi} \int_0^\pi I_{s1} \sin(\theta - \varphi_s) d\theta$

$$= \frac{2}{\pi} I_{s1} \cos \varphi_s$$

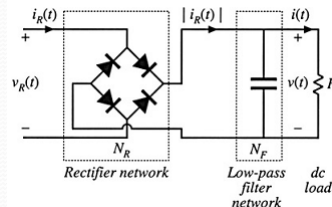
8/28/2014

35

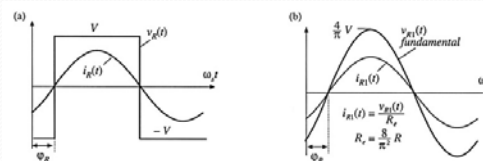
7.6 Các BBD cộng hưởng

7.6.2 Phân tích sóng hài bậc nhất

- 2. Chỉnh lưu: biến điện áp xoay chiều thành điện áp một chiều.



- Dạng điện áp.



- Dòng đầu vào: $i_R(t) = I_R \sin(\omega_s t - \varphi_R)$

- Dòng chỉnh lưu:

$$I = \frac{2}{\pi} \int_0^{\pi + \varphi_R} I_{R1} \sin(\theta - \varphi_R) d\theta = \frac{2}{\pi} I_{R1}$$

- Có thể coi chỉnh lưu là tải tương đương:

$$R_e = \frac{u_{R1}(t)}{i_{R1}(t)} = \frac{8}{\pi^2} \frac{U_o}{I}$$

- Điện áp trên tụ được là phẳng nên có thể coi điện áp vào chỉnh lưu có dạng chữ nhật. Thành phần bậc nhất của nó bằng:

$$u_{R1}(t) = \frac{4U_o}{\pi} \sin(\omega_s t - \varphi_R)$$

8/28/2014

36

7.6 Các BBD cộng hưởng

7.6.2 Phân tích sóng hài bậc nhất

- 3. Mạng cộng hưởng tuyến tính.

- Hàm truyền của mạng cộng hưởng:

$$\frac{U_{R1}(s)}{U_{s1}(s)} = H(s)$$

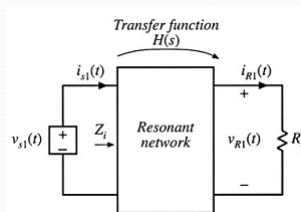
- Nếu biết cấu hình của mạng cộng hưởng có thể xác định được quan hệ điện áp vào ra

$$\frac{U_{R1}}{U_{s1}} = |H(s)|_{s=j\omega_s}$$

- Quan hệ dòng điện:

$$I_{R1} = \frac{U_{R1}}{R_e} = \frac{1}{R_e} |H(s)|_{s=j\omega_s} U_{s1}$$

- Sơ đồ khối.



8/28/2014

37

7.6 Các BBD cộng hưởng

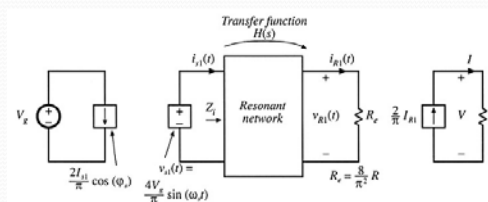
7.6.2 Phân tích sóng hài bậc nhất

- 4. Quan hệ điện áp giữa đầu vào đến đầu ra $M = U_o/U_g$.

$$M = \frac{U_o}{U_g} = |H(s)|_{s=j\omega_s}$$

- Hệ số biến đổi điện áp chỉ phụ thuộc tần số đóng cắt f_s , không phụ thuộc tải. Đây là đặc điểm cơ bản của BBD cộng hưởng.

- Mô hình tương đương sóng hài bậc nhất của BBD cộng hưởng.



8/28/2014

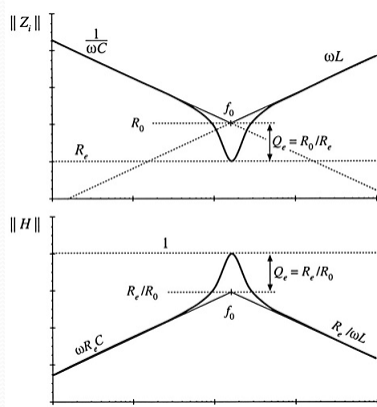
38

7.6 Các BBD cộng hưởng

7.6.3 Sơ đồ cộng hưởng nối tiếp

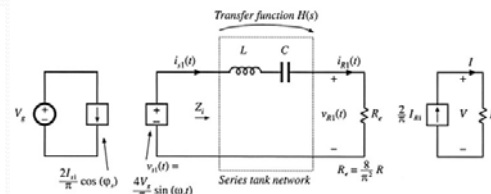
$$M = |H(s)|_{s=j\omega_o} = \frac{1}{\sqrt{1 + Q_e^2 \left(\frac{1}{F} - F \right)^2}}$$

- $F = f/f_o$



8/28/2014

- Mô hình tương đương sóng hài bậc nhất của BBĐ cộng hưởng nối tiếp.



$$H(s) = \frac{R_e}{Z_i(s)} = \frac{R_e}{R_e + sL + \frac{1}{sC}}$$

$$= \frac{s}{Q_e \omega_o \left(1 + \frac{s}{Q_e \omega_o} + \left(\frac{s}{\omega_o} \right)^2 \right)}$$

$$\omega_o = \frac{1}{\sqrt{LC}}; R_o = \sqrt{\frac{L}{C}}; Q_e = \frac{R_o}{R_e}$$

39

7.6 Các BBD cộng hưởng

7.6.3 Sơ đồ cộng hưởng song song

- Trong sơ đồ cộng hưởng song song dòng đầu ra chỉnh lưu có cuộn cảm, coi là được là phẳng. Do đó dòng đầu vào chỉnh lưu có dạng xung vuông.

- Sóng hài bậc nhất dòng đầu vào chỉnh lưu: $i_{R1}(t) = \frac{4I}{\pi} \sin(\omega_s t - \varphi_R)$

- Sóng hài bậc nhất điện áp ra của mạng cộng hưởng:

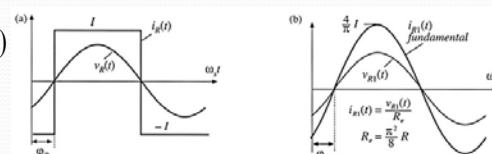
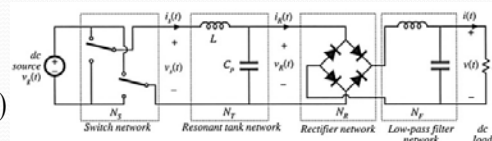
$$u_{R1}(t) = U_{R1} \sin(\omega_s t - \varphi_R)$$

- Điện trở tương đương:

$$R_e = \frac{u_{R1}(t)}{i_{R1}(t)} = \frac{\pi U_{R1}}{4I}$$

$$R_e = \frac{\pi^2}{8} R \approx 1,2337 R$$

- Mô hình tương đương sóng hài bậc nhất của BBĐ cộng hưởng nối tiếp.



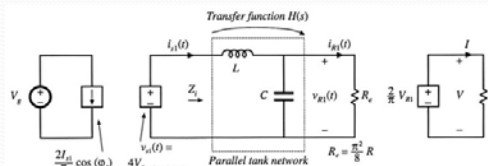
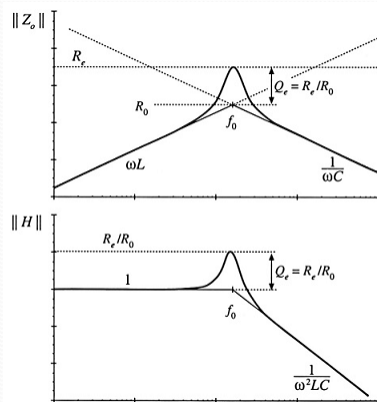
8/28/2014

40

7.6 Các BBD cộng hưởng

7.6.3 Sơ đồ cộng hưởng song song

- Mô hình tương đương của BBD cộng hưởng song song.



$$H(s) = \frac{Z_o(s)}{sL} \quad Z_o(s) = sL \parallel \frac{1}{sC} \parallel R_e$$

$$M = \frac{8}{\pi^2} \left| \frac{Z_o(s)}{sL} \right|_{s=j\omega_0} = \frac{8}{\pi^2} \left| \frac{1}{1 + \frac{s}{Q_e\omega_0} + \left(\frac{s}{\omega_0}\right)^2} \right|_{s=j\omega_0}$$

$$= \frac{8}{\pi^2} \frac{1}{\sqrt{(1-F^2) + \left(\frac{F}{Q_e}\right)^2}}$$

8/28/2014

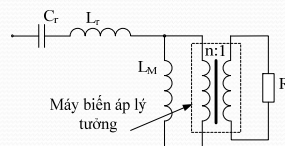
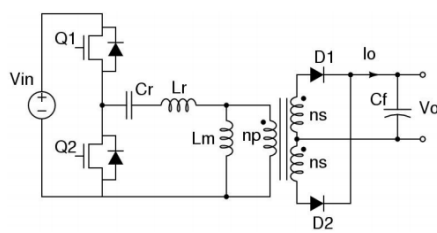
41

7.6 Các BBD cộng hưởng

7.6.4 Sơ đồ cộng hưởng LLC

- Sơ đồ van có thể là nửa cầu, cầu H.
- Mạng cộng hưởng nối tiếp CrLr. Song song với tải có cuộn cảm Lm, có thể chính là điện cảm mạch từ hóa MBA. Chỉ có điều khác là Lm không lớn vô cùng, Lm = 2 đến 10 lần Lr.
- Chỉnh lưu là mạch thông thường.
- Điện trở tương đương: $R_e = \frac{8}{\pi^2} R$
- Thay thế MBA bằng mạch tương đương, suy ra điện trở tương đương: $R_{ac} = n^2 R_e = \frac{8n^2}{\pi^2} R$

- Sơ đồ bộ biến đổi cộng hưởng LLC.



8/28/2014

42

7.6 Các BBD cộng hưởng

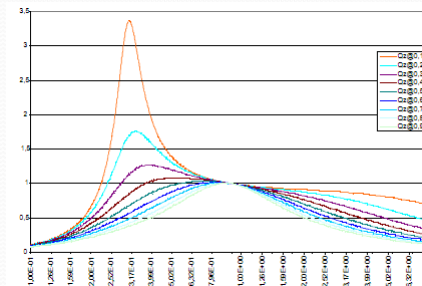
7.6.4 Sơ đồ cộng hưởng LLC

- $\lambda = L_r/L_m$ là tỷ số giữa điện cảm từ hóa so với điện cảm cộng hưởng nối tiếp;
- $Z_o = \sqrt{\frac{L_r}{C_r}}$ là trở kháng đặc trưng của mạch cộng hưởng nối tiếp;
- $Q = \frac{Z_o}{R_g} = \frac{\pi^2 Z_o}{8R}$ là hệ số chất lượng của mạng cộng hưởng.
- Có thể biểu diễn: $M = f(f_s, \lambda, Q)$
- Tại tần số ω_p , $M = M_{max}$.
- Tại $f_s = f_o = \omega_o/2\pi$, $M = 1$

$$\omega_o = \frac{1}{\sqrt{L_r C_r}}; \omega_p = \frac{1}{\sqrt{(L_m + L_r) C_r}}$$

- Quan hệ vào ra $M = U_g/U_o$

$$M = \left| \frac{\omega^2 L_m C_r R_{ac}}{j\omega \left(1 - \frac{\omega^2}{\omega_o^2}\right) L_m + R_{ac} \left(1 - \frac{\omega^2}{\omega_p^2}\right)} \right|$$



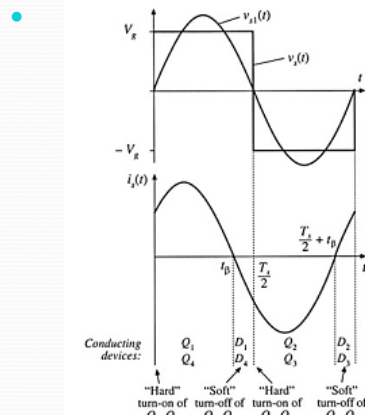
8/28/2014

43

7.6 Các BBD cộng hưởng

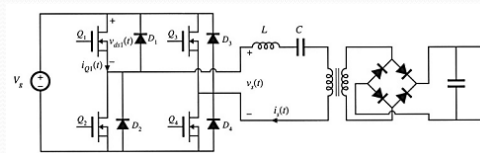
7.6.5 Chuyển mạch mềm

- Chuyển mạch mềm: van chuyển mạch hoặc khi điện áp trên van bằng không (ZVS) hoặc khi dòng điện qua van bằng không (ZCS).



8/28/2014

- Ví dụ xét với sơ đồ CHNT



- Nếu $f_s < f_o$, tải mang tính dung, dòng vượt trước áp.
- Xét: $0 < t < T_s/2$, khi Q1, Q4 dẫn dòng, dòng $i_g(t)$ sẽ về bằng không trước $T_s/2$. Tại thời điểm đó Q1, Q4 sẽ khóa lại. Không có tổn thất khi van khóa vì dòng bằng 0, gọi là chuyển mạch tại dòng bằng 0 (ZCS). Tiếp theo dòng đổi chiều, chạy qua điôt ngược D1, D4.

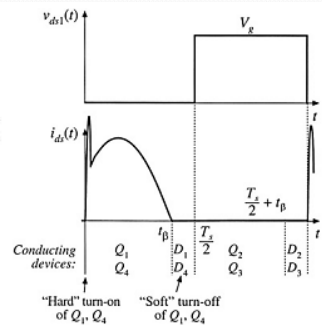
44

7.6 Các BBD cộng hưởng

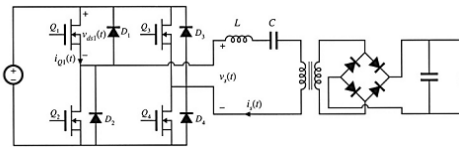
7.6.5 Chuyển mạch mềm

- Chuyển mạch nặng, tổn hao khi mở:

- Trước khi van vào dẫn dòng, dòng chảy qua diốt ngược của van bên dưới.
- Điện áp trên van bằng điện áp nguồn $u_{DS} = U_g$.



8/28/2014



- Khi van mở ra:

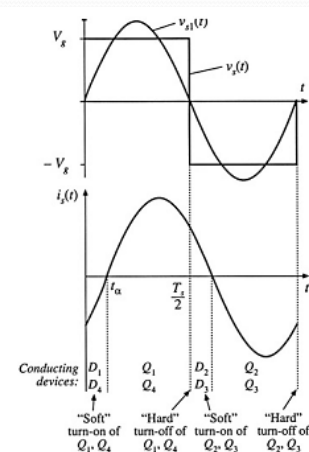
- Tụ ký sinh C_{DS} phóng điện qua D-S.
 - Điốt trước đó dẫn dòng bị khóa lại, có dòng ngược để phục hồi tính chất khóa (nạp điện tích cho tiếp giáp p-n).
- Như vậy tổn hao công suất lớn. Nghĩa là ZCS không mang lại lợi ích gì.

45

7.6 Các BBD cộng hưởng

7.6.5 Chuyển mạch mềm

- Khi $f_s > f_o$ sơ đồ có tính cảm, dòng chậm pha so với điện áp như trên đồ thị.



8/28/2014

- Nếu $f_s > f_o$
- Xét: $0 < t < T_s/2$, khi Q1, Q4 được điều khiển mở, dòng đang chạy chạy qua diốt D1, D4. Đến thời điểm dòng đổi chiều các diốt D1, D4 sẽ tự khóa lại, không có dòng phục hồi vì các điện tích qua diốt đã bằng không. Các van Q1, Q4 sẽ tự động vào dẫn dòng từ giá trị bằng không trở đi. Như vậy chuyển mạch khi van vào dẫn dòng khi điện áp trên nó bằng không không gây nên tổn thất nào, gọi là chuyển mạch ở điện áp bằng không – ZVS, là chế độ làm việc tốt nhất cho các nghịch lưu cộng hưởng.

46

7.6 Kết luận

- Nội dung của chương đề cập đến các bộ biến đổi DC-DC, một lĩnh vực đặc biệt quan trọng của Điện tử công suất vì những ứng dụng vô cùng rộng rãi của các bộ biến đổi loại này.
- Phân tích chế độ xác lập trong hoạt động của các bộ biến đổi có ý nghĩa tiên quyết vì nó xác định các mối quan hệ chủ yếu của quá trình biến đổi năng lượng, chức năng đầu tiên của các bộ biến đổi bán dẫn công suất.
- Đối với các bộ biến đổi cộng hưởng phương pháp gần đúng sóng hài bậc nhất được áp dụng một cách thống nhất để đưa ra các đặc tính quan trọng nhất của sơ đồ. Mặc dù cơ sở của phương pháp dựa trên phân tích Fourier rất đơn giản nhưng có thể thấy qua các sơ đồ cộng hưởng nối tiếp, song song và đặc biệt mạch LLC, việc áp dụng phương pháp phải có tính linh hoạt nhất định, đòi hỏi một số kỹ năng nhất định vì tính đa dạng, phức tạp của quá trình xảy ra trong các bộ biến đổi.
- Đã phân tích ZCS, ZVS. Chỉ có ZVS đưa đến lợi ích rất lớn, giảm tổn hao trên van khi đóng cắt.
- Để có thể ứng dụng các bộ biến đổi trong thực tế cần những nghiên cứu sâu thêm các quá trình tức thời như chuyển mạch, quá trình khởi động, cũng như việc xây dựng các mạch vòng điều chỉnh tự động, đảm bảo sơ đồ đáp ứng trong mọi tình huống như mong muốn.
- Tài liệu tham khảo chương 7.
- *Fundamentals of Power Electronics, Part I Converters in Equilibrium, Part V Resonant Converters*; Robert W. Erickson, Dragan Maksimovic; SECOND EDITION; Kluwer Academic/Plenum Publishers, 2004.
- *DC/DC LLC Reference Design Using the dsPIC® DSC*; AN1336 Microchip; www.microchip.com