

CHƯƠNG V
BỘ BIẾN ĐỔI ĐIỆN ÁP MỘT CHIỀU-CHOPPER

Chức năng : Dùng để điều khiển trị trung bình điện áp một chiều ngõ ra với nguồn một chiều ngõ vào không đổi

1. Phân loại :

a. Theo chức năng :

- BBD xung làm giảm điện áp
- BBD xung làm tăng điện áp
- BBD xung điều khiển điện trở

b. Theo phương pháp điều khiển

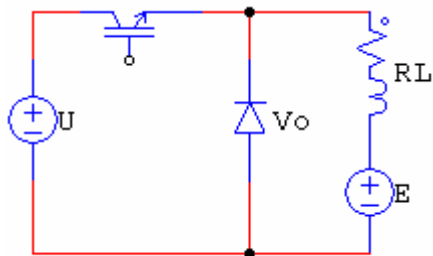
- Tần số đóng ngắt không đổi
- Thời gian đóng ngắt không đổi
- Điều khiển đóng ngắt theo dòng điện

c. Theo trạng thái hoạt động

- Một vùng
- Hai vùng : chế độ đảo dòng hoặc đảo điện áp
- Bốn vùng

BỘ GIẢM ÁP

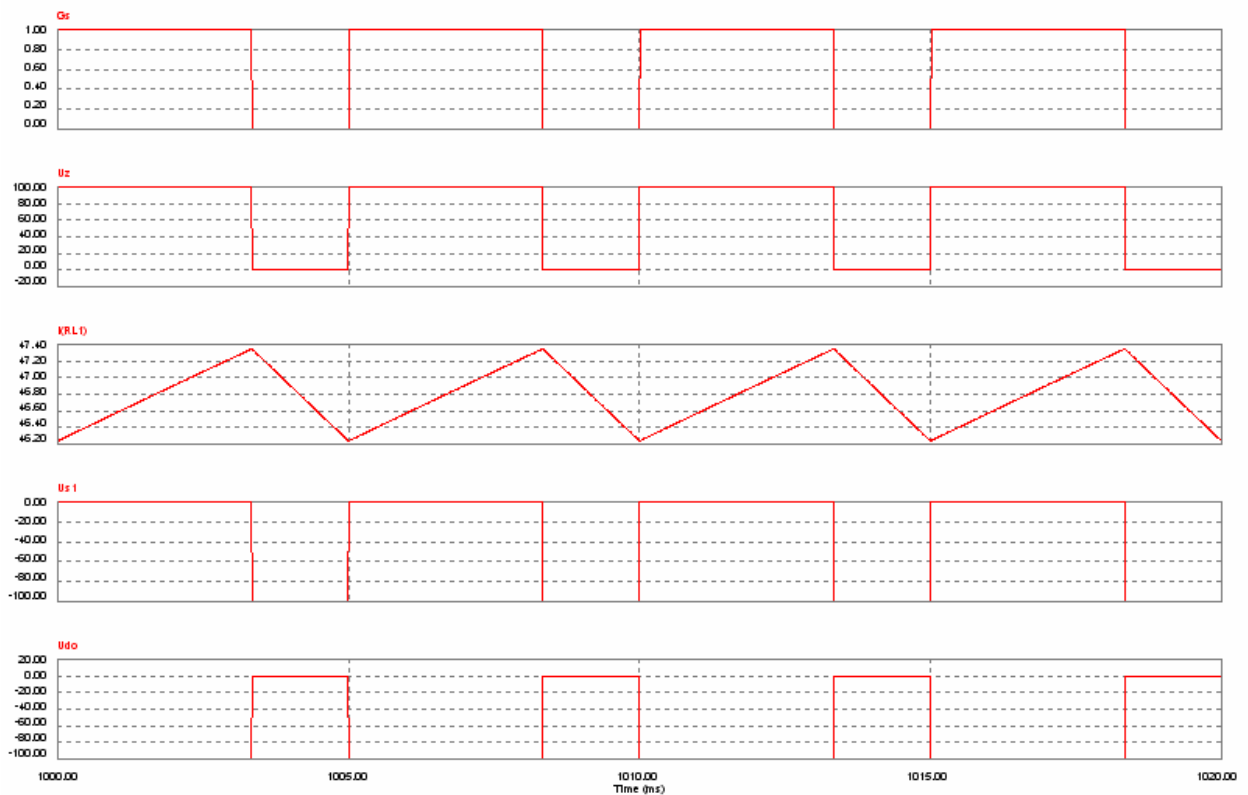
1. Chức năng : Dùng để điều khiển điện áp trên tải U_Z với trị trung bình nhỏ hơn trị trung bình điện áp nguồn
2. Sơ đồ :



- Nguồn một chiều có trị trung bình không đổi U
- Linh kiện S có chức năng điều khiển đóng và ngắt được dòng điện đi qua nó như BJT, MOSFET, IGBT, GTO hoặc SCR với bộ chuyển mạch
- Tải một chiều dạng tổng quát RLE với $E < U$

3. Giả thiết.

- Nguồn lý tưởng, linh kiện lý tưởng U
- Trạng thái làm việc xác lập
- Dòng liên tục
- Tải một chiều, động cơ DC

4. Phân tích

- Gọi T là chu kỳ đóng cắt
- T_1 là thời gian đóng của khoá S: $T_1 = zT$
- T_2 là thời gian ngắt của khoá S: $T_2 = 1 - zT$
- Tỷ số thời gian đóng ngắt $z = \frac{T_1}{T} = \frac{T_1}{T_1 + T_2}$

Hình trang 172	Hình trang 172
$[0 \div T_1]; G_s > 0$	$[T_1 \div T]; G_s < 0$
$u_s = 0; i_s = i_z$ khoá S đóng	$u_s = -U; i_s = 0$ khoá S ngắt

$u_{d0} = -U ; i_{d0} = 0$ Diode bị khoá áp ngược $-U$	$u_{d0} = 0 ; i_{d0} = i_z$ Diode dẫn
$U_z = U ; R i_z + L \frac{d i_z}{d t} + E = U$ Dòng điện tải i_z tăng theo hàm mũ từ chạy theo mạch (U,RLE) $i_z(t=0) = I_1$ và đạt giá trị $I_{z \max}$ khi $t = T_1 = zT$ $I_{z \max} = i_z(t = zT) = I_2$ $i_z(t) = \left[\frac{U-E}{R} - i_z(0) \right] \left(1 - e^{-\frac{t}{L}} \right) + i_z(0)$ Trong đó $t = \frac{L}{R}$ - thời hằng của tải	$U_z = 0 ; R i_z + L \frac{d i_z}{d t} + E = 0$ Dòng điện tải liên tục nhờ tác dụng cảm kháng L, và tiếp tục chạy theo mạch (Do,RLE). Dòng i_z giảm theo hàm mũ từ giá trị $I_{z \max} = i_z(t = zT) = I_2$ đến khi $t = T$ $i_z = i_z(t = T) = I_3$. $i_z(t) = \left[-\frac{E}{R} - i_z(T_1) \right] \left(1 - e^{-\frac{t-T_1}{L}} \right) + i_z(T_1)$

Khi mạch ở trạng thái xác lập thì $I_1 = I_3 = I_{z \min}$. Theo điều kiện này ta có thể tìm ra

$I_{z \min}$ và $I_{z \max}$

$$I_{z \min} = \frac{U}{R} \left(\frac{e^{\frac{zT}{L}} - 1}{e^{\frac{T}{L}} - 1} \right) - \frac{E}{R}$$

$$I_{z \max} = \frac{U}{R} \left(\frac{e^{\frac{zT}{L}} - 1}{e^{\frac{T}{L}} - 1} \right) - \frac{E}{R}$$

Độ nhấp nhô

$$\Delta I_z = I_{z \max} - I_{z \min} = \frac{U}{R} \left(\frac{1 - e^{-\frac{zT}{L}} + e^{-\frac{T}{L}} - e^{-\frac{(1-z)T}{L}}}{1 - e^{-\frac{T}{L}}} \right)$$

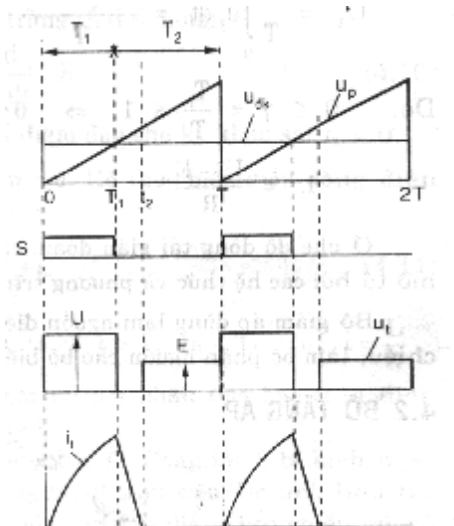
$$\frac{d(\Delta I_z)}{dt} = 0 \text{ khi } e^{-\frac{zT}{L}} - e^{-\frac{(1-z)T}{L}} = 0 \text{ hay } z = 0,5$$

Khi đó :

$$\Delta I_{z \max} = \frac{U}{R} \tanh \frac{R}{4fL}$$

$$\text{Nếu } 4fL \gg R \text{ thì } \Delta I_{z \max} = \frac{U}{4fL}$$

Trong trường hợp dòng không liên tục – hay dòng gián đoạn khi đó $I_1 = 0$ hay



Trong thời gian đóng S dòng tải liên tục được mô tả bởi phương trình

$$i_z(t) = \left[\frac{U-E}{R} - i_z(0) \right] \left(1 - e^{-\frac{t}{T}} \right) + i_z(0)$$

Với điều kiện ban đầu $i_z(t=0) = 0$ do đó

$$i_z(t) = \frac{U-E}{R} \left(1 - e^{-\frac{t}{T}} \right)$$

khí $t = T_1 = zT$ ta có
$$i_z(T_1) = I_2 = \frac{U-E}{R} (1 - e^{-\frac{zT}{T}})$$

Trong thời gian $[T_1 \div t_2]$ ngắt khoá S dòng tải liên tục giảm và được mô tả bởi phương trình

$$i_z(t) = \left[-\frac{E}{R} - i_z(T_1) \right] \left(1 - e^{-\frac{t-T_1}{T}} \right) + i_z(T_1)$$

Và tại thời điểm $t = t_2$; $i_z(t = t_2) = 0$

$$i_z(t = t_2) = \left[-\frac{E}{R} - i_z(T_1) \right] \left(1 - e^{-\frac{t-T_1}{T}} \right) + i_z(T_1) = 0$$

Giải phương trình và kết hợp với các biểu thức trên ta có

$$t_2 = \frac{L}{R} \ln \left[1 + \frac{U-E}{E} (1 - e^{-\frac{zT}{T}}) \right]$$

Trong khoảng $[t_2 \div T]$ dòng tải dần đoạn và điện áp $U_z = E$

Điều kiện để dòng tải liên tục là $I_1 \geq 0$ tức là

$$I_{z\min} = \frac{U}{R} \left(\frac{e^{\frac{zT}{T}} - 1}{e^{\frac{T}{T}} - 1} \right) - \frac{E}{R} \geq 0$$

$$\frac{e^{\frac{zT}{T}} - 1}{e^{\frac{T}{T}} - 1} \geq \frac{E}{U}$$

Hệ quả

1. Áp ngõ ra BBĐ có dạng xung
2. làm việc ở góc phần tư thứ nhất
3. Chu kỳ áp tải T có giá trị bằng chu kỳ đóng cắt khoá S
4. Công suất chỉ có thể truyền từ nguồn đến tải.
5. Trị trung bình áp tải U_z

$$U_z = \frac{1}{T} \int_0^T U \cdot dt = \frac{U \cdot T_1}{T} = \frac{T_1}{T} U = zU$$

$$\text{Vì } 0 \leq z \leq 1 \text{ nên } 0 \leq U_z \leq U$$

6. Trị trung bình dòng tải :

$$I_z = \frac{I_{z\max} + I_{z\min}}{2}$$

$$I_z = \frac{U_z - E}{R} = \frac{zU - E}{R}$$

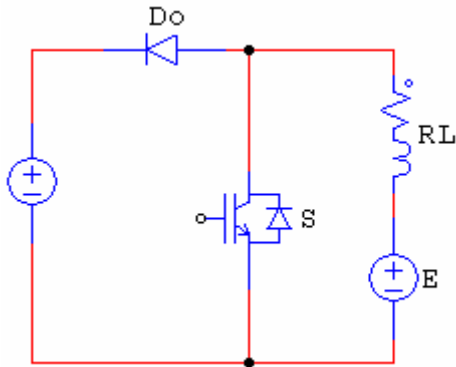
$$\text{Điều kiện dòng liên tục : } zU - E \geq 0 \text{ hay } z > \frac{E}{U}$$

BỘ TĂNG ÁP

1. Chức năng : Dùng để chuyển năng lượng từ nguồn có điện áp thấp sang nguồn có điện áp cao

VD : Khi hãm động cơ một chiều bằng phương pháp trả năng lượng về nguồn

2. Sơ đồ :



- Nguồn một chiều có trị trung bình không đổi U
- Linh kiện S có chức năng điều khiển đóng và ngắt được dòng điện đi qua nó như BJT, MOSFET, IGBT, GTO hoặc SCR với bộ chuyển mạch
- Tải một chiều dạng tổng quát RLE với $E < U$

3. Giả thiết :

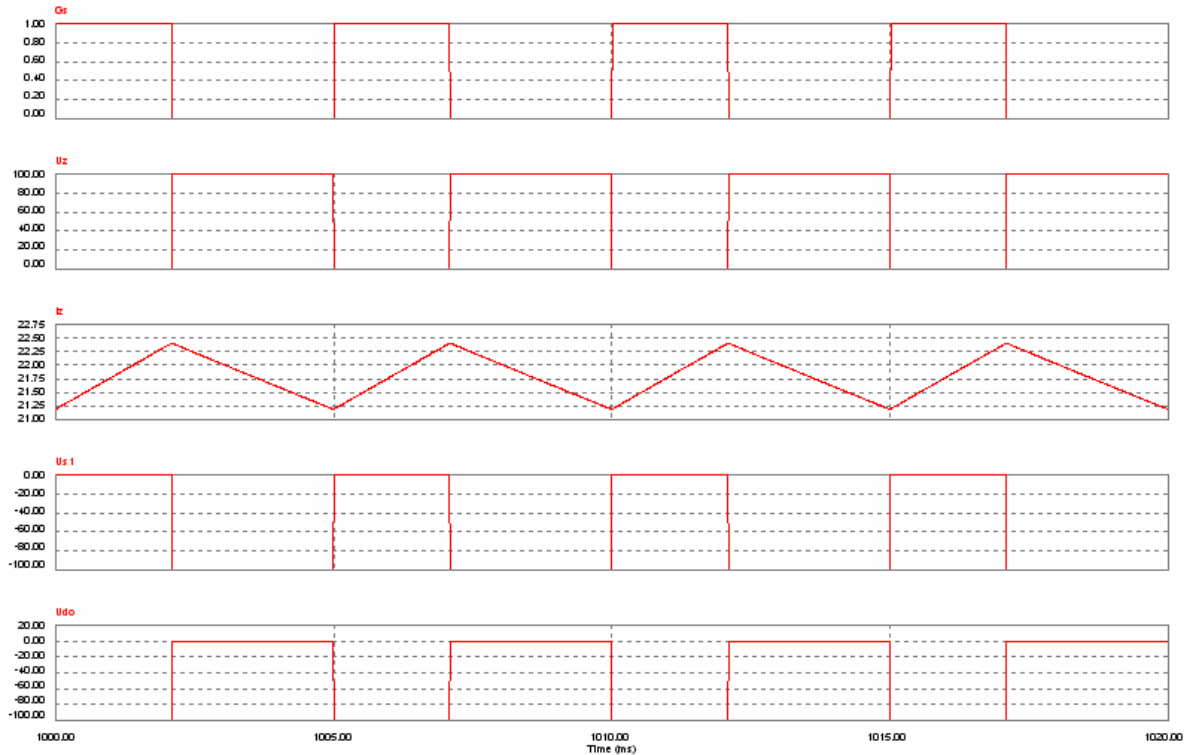
- Nguồn và linh kiện lý tưởng
- Trạng thái làm việc xác lập
- Dòng tải liên tục
- Tải R, L, E có $E < U$
- T_1, T_2, T lần lượt là thời gian đóng, thời gian ngắt và chu kỳ đóng ngắt của khoá S

4. Phân tích :

Hình trang 172	Hình trang 172
$[0 \div T_1]; G_s > 0$	$[T_1 \div T]; G_s < 0$
$u_s = 0; i_s = i_z$ khoá S đóng. Không bị ngắn mạch nhờ diode Do	$u_s = -U; i_s = 0$ khoá S ngắt
$u_{d0} = -U; i_{d0} = 0$ Diode bị khoá áp ngược $-U$	$u_{d0} = 0; i_{d0} = i_z$ Diode dẫn
$U_z = 0; R i_z + L \frac{d i_z}{d t} = E$ Dòng điện tải i_z tăng theo hàm mũ chạy theo mạch (RLE, S) $i_z = i_z(t=0) = I_1$ và đạt giá trị $I_{z \max}$ khi $t = T_1 = zT$ $I_{z \max} = i_z(t = zT) = I_2$ $i_z(t) = \left[\frac{E}{R} - i_z(0) \right] \left(1 - e^{-\frac{t}{T}} \right) + i_z(0)$ Trong đó $t = \frac{L}{R}$ - thời hằng của tải	$U_z = U; R i_z + L \frac{d i_z}{d t} + U = E$ Dòng điện tải liên tục nhờ tác dụng cảm kháng L, và tiếp tục chạy theo chiều cũ theo mạch (RLE, Do, U). Dòng i_z giảm theo hàm mũ từ giá trị $I_{z \max} = i_z(t = zT) = I_2$ đến khi $t = T$ $i_z = i_z(t = T) = I_3$. $i_z(t) = \left[\frac{E - U}{R} - i_z(T_1) \right] \left(1 - e^{-\frac{t - T_1}{T}} \right) + i_z(T_1)$ Cuộn kháng giải phóng năng lượng dự trữ. E ở chế độ phát năng lượng. Một phần năng lượng trả về nguồn, một phần tiêu hao trên tải.

$$I_{z \max} = \frac{E}{R} - \frac{U}{R} \left(\frac{e^{\frac{(1-z)T}{T}} - 1}{e^{\frac{T}{T}} - 1} \right)$$

$$I_{z \min} = \frac{E}{R} - \frac{U}{R} \left(\frac{e^{\frac{(1-z)T}{T}} - 1}{e^{\frac{T}{T}} - 1} \right)$$



Hệ quả :

1. Làm việc ở góc phần tư thứ tư
2. Trị trung bình áp tải :

$$U_z = \frac{1}{T} \int_0^T u(t) dt = \frac{1}{T} \int_{T_1}^T u(t) dt = U \frac{T_2}{T} = U(1-z)$$

Nếu thay đổi vai trò giữa U_v và U_z (U là tải nhận , U_z là nguồn cung cấp) thì điện áp nguồn nhỏ hơn áp tải nên ta gọi là bộ tăng áp

3. Trị trung bình dòng tải :

$$I_z = \frac{I_{z \max} + I_{z \min}}{2}$$

$$I_z = \frac{E - U_z}{R} = \frac{E - (1-z)U}{R}$$

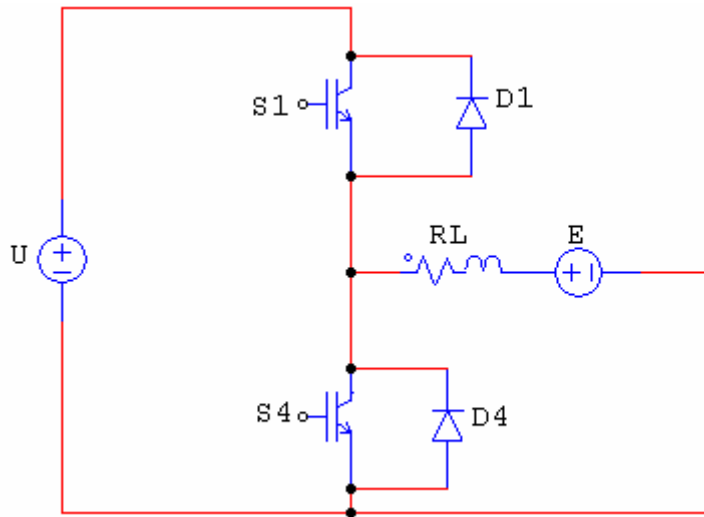
3. Công suất trả về nguồn :

$$P_z = \frac{1}{T} \int_0^T U_z \cdot I_z \cdot dt = \frac{1}{T} \int_{T_1}^T U_z \cdot I_z \cdot dt$$

Điều kiện dòng liên tục : $I_z \geq 0; E \geq (1-z)U \Rightarrow z \geq 1 - \frac{E}{U}$

BỘ ĐẢO DÒNG

1. Sơ đồ



- Nguồn một chiều có trị trung bình không đổi U

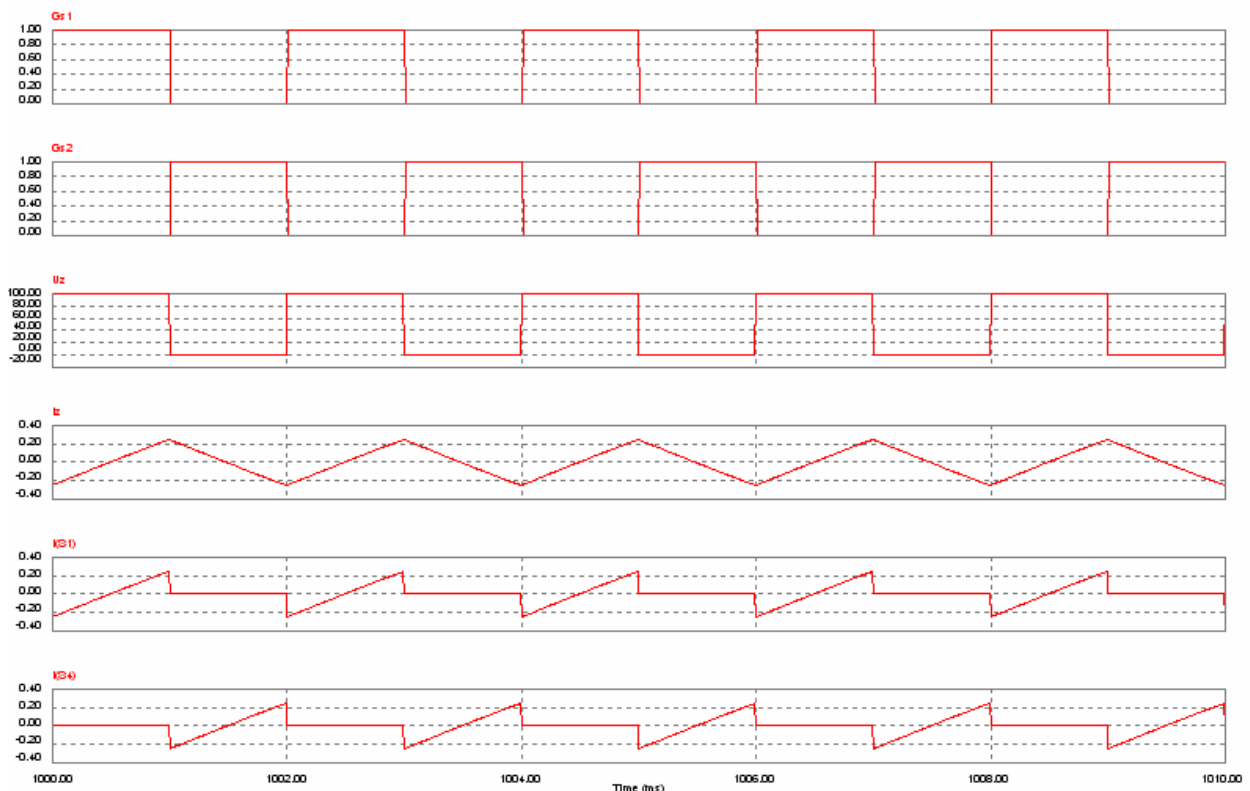
- Linh kiện S1, S4 có chức năng điều khiển đóng và ngắt được dòng điện đi qua nó như BJT, MOSFET, IGBT, GTO hoặc SCR với bộ chuyển mạch. Hai diode công suất D1, D4

- Tải một chiều dạng tổng quát RLE

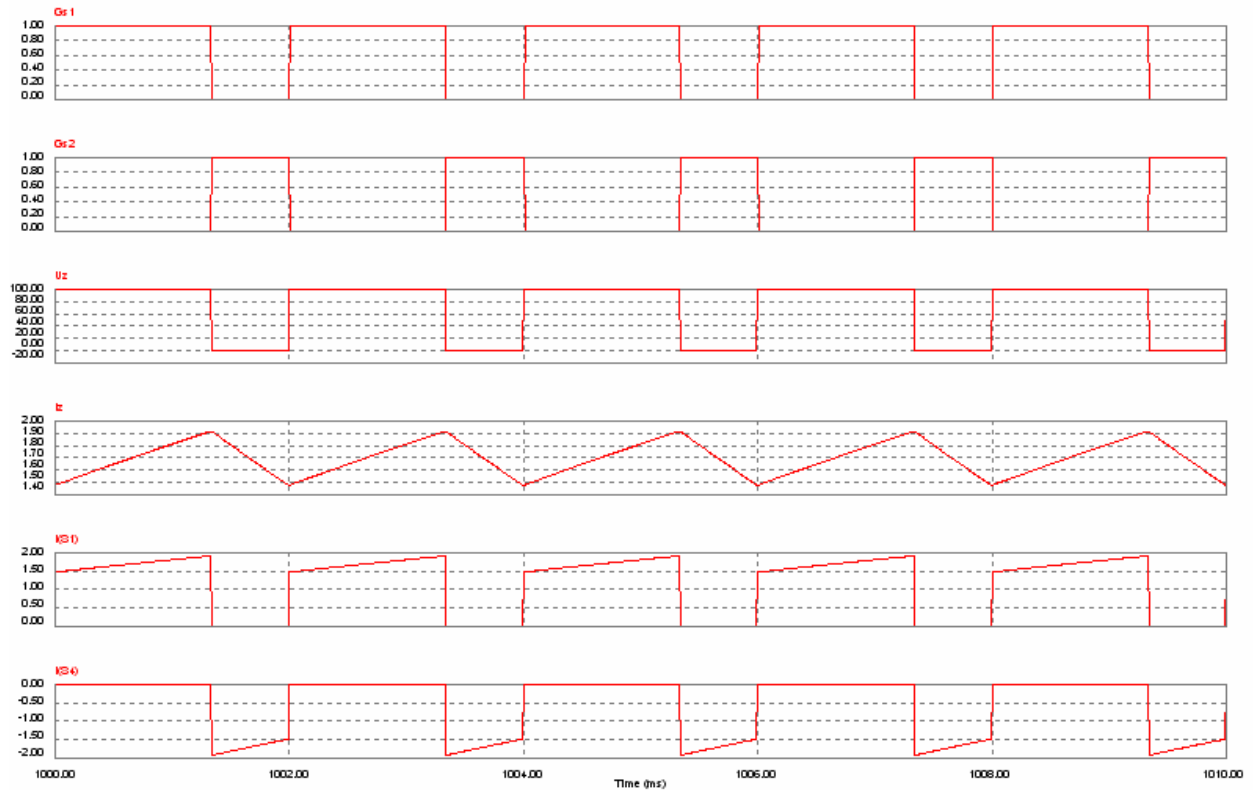
3. Phân tích

$[0 \div T_1] - G_{s1} > 0 ; G_{s4} < 0$	$[T_1 \div T] ; G_{s1} < 0 ; G_{s4} > 0$
$u_{s1} = 0 ; i_{s1} = i_z ; u_{D4} = -U ; i_{D4} = 0 ; u_z = U$	$u_{s4} = 0 ; i_{s4} = i_z ; u_z = 0$
Phương trình giống bộ giảm áp Khi S1 ngắt dòng qua RLE, D4	Dòng tải từ RLE qua D1 trả năng lượng về nguồn

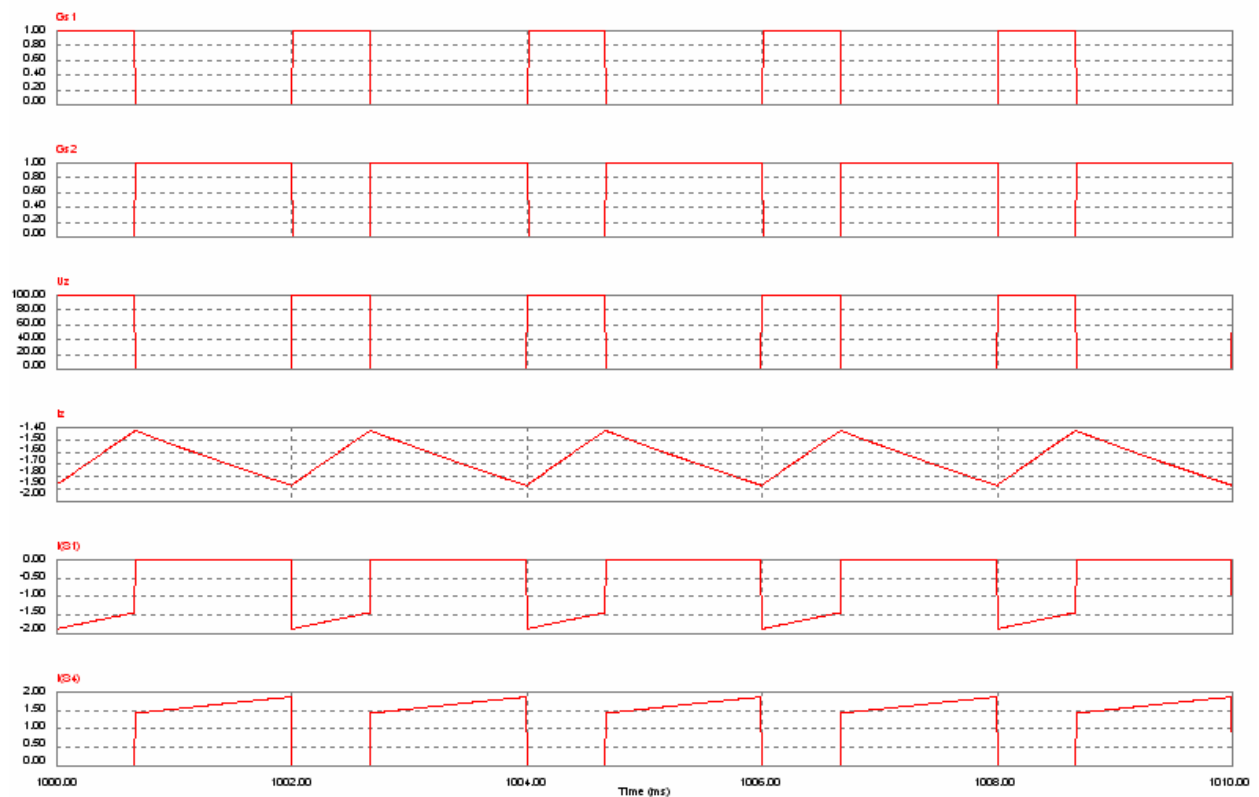
- Bộ đảo dòng được ghép từ hai bộ giảm áp (S1, D4) và bộ tăng áp (S4, D1)
- Linh kiện S1 và S4 được kích đối nghịch.
- Điện áp trên tải thay đổi giữa $+U$ và 0



Khi tỷ số thời gian đóng ngắt khoá S1 $\alpha = 0,5 ; \frac{E}{U} = 0,5$



Khi tỷ số thời gian đóng ngắt khoá S1 $z = 0,67$; $\frac{E}{U} = 0,5$



Khi tỷ số thời gian đóng ngắt khoá S1 $z = 0,33$; $\frac{E}{U} = 0,5$

Hệ quả

- Dòng điện tải có thể đảo chiều bằng cách thay đổi tỷ số thời gian đóng cắt z . Dòng điện tải luôn liên tục.

- Làm việc ở hai góc phần tư I và II

- Trị trung bình áp tải

$$U_z = zU$$

- Trị trung bình dòng tải

$$I_z = \frac{zU - E}{R}$$

Như vậy:

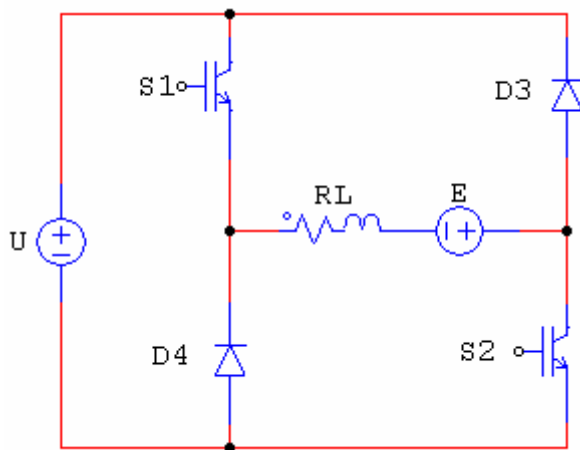
$$- z > \frac{E}{U}; I_z = \frac{zU - E}{R} > 0 \text{ Chế độ động cơ (góc phần tư I)}$$

$$- z < \frac{E}{U}; I_z = \frac{zU - E}{R} < 0 \text{ Chế độ hãm tái sinh (góc phần tư II)}$$

$$- z = \frac{E}{U}; I_z = \frac{zU - E}{R} = 0 \text{ Chế độ không tải}$$

BỘ ĐẢO ÁP

1. Sơ đồ



- Nguồn một chiều có trị trung bình không đổi U

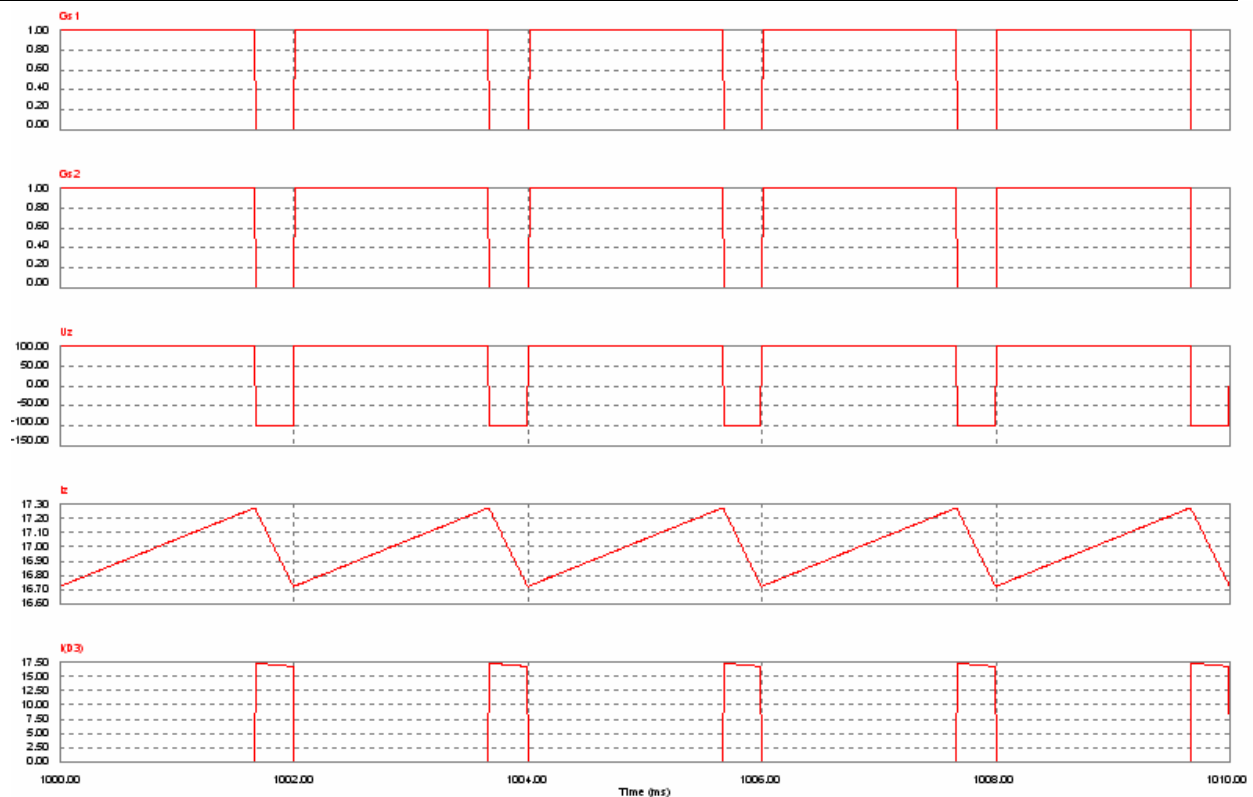
- Linh kiện S1, S2 có chức năng điều khiển đóng và ngắt được dòng điện đi qua nó như BJT, MOSFET, IGBT, GTO hoặc SCR với bộ chuyển mạch. Hai diode công suất D3, D4

- Tải một chiều dạng tổng quát RLE

2. Phân tích

- Khi hai khoá công suất S1 và S2 được kích ngắt đồng thời với tỷ số thời gian đóng ngắt là Z

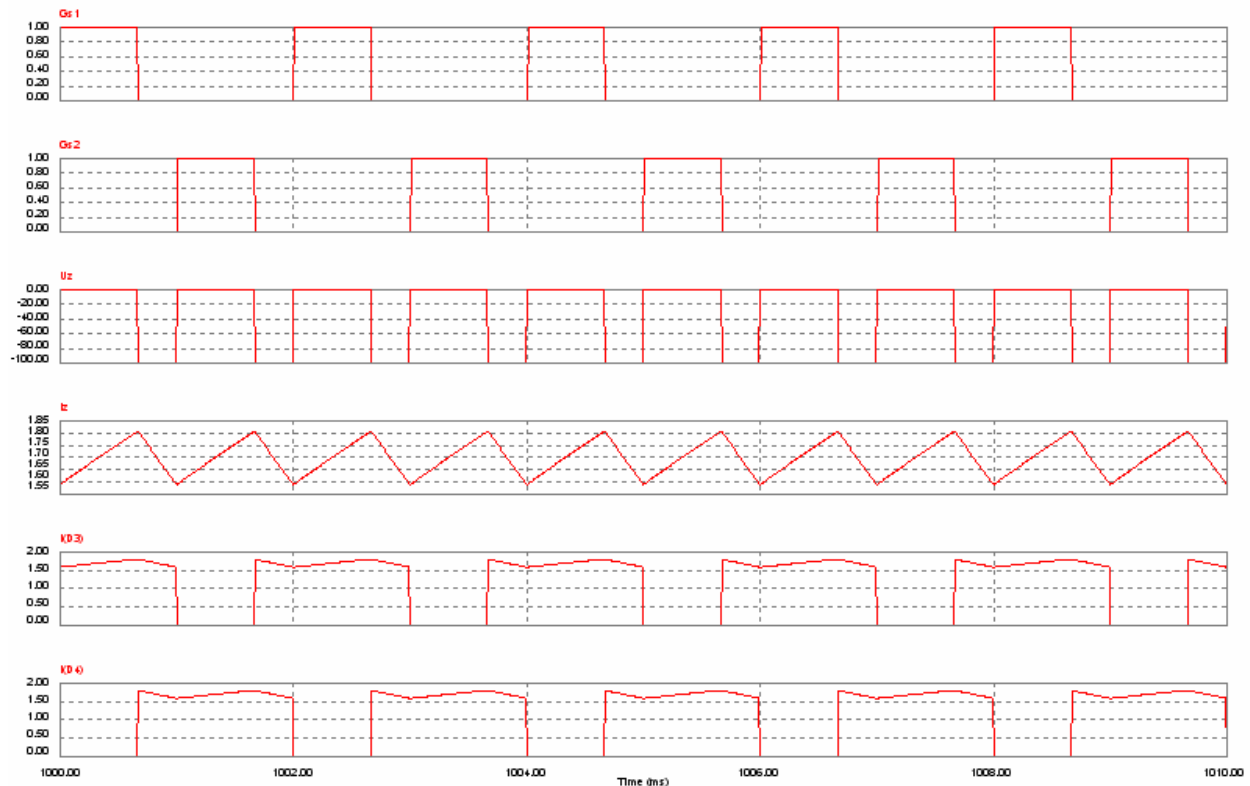
$[0 \div T_1] - G_{s1} > 0 ; G_{s2} > 0$	$[T_1 \div T] ; G_{s1} < 0 ; G_{s4} > 0$
$u_{s1} = 0 ; i_{s1} = i_z ; u_{s2} = 0 ; i_{s2} = i_z ; u_z = U$	$u_{D4} = 0 ; i_{D4} = i_z ; u_z = -U$
Dòng tải chạy theo mạch (U, S1, RLE, S2)	Dòng tải từ RLE qua D3, D4 trả năng lượng về nguồn



- Khi khoá công suất S1, S2 được kích theo chu kỳ $2T$ lệch nhau một góc là T . Khoảng dẫn của từng linh kiện là $2zT$

$[0 \div 2zT] - G_{s1} > 0 ; G_{s2} < 0$	$[2zT \div T] - G_{s1} < 0 ; G_{s2} < 0$
$u_{s1} = 0 ; i_{s1} = i_z ; u_{D3} = 0 ; i_{D3} = i_z ; u_z = 0$	$u_{D3} = 0 ; i_{D3} = i_z ; u_{D4} = 0 ; i_{D4} = i_z ; u_z = -U$
Dòng tải chạy theo mạch (S1,RLE,D3)	Dòng tải từ RLE, D3,D4 trả năng lượng về nguồn
$[T \div T + 2zT] - G_{s1} < 0 ; G_{s2} > 0$	$[2zT + T \div 2T] - G_{s1} < 0 ; G_{s2} < 0$
$u_{s2} = 0 ; i_{s2} = i_z ; u_{D4} = 0 ; i_{D4} = i_z ; u_z = 0$	$u_{D3} = 0 ; i_{D3} = i_z ; u_{D4} = 0 ; i_{D4} = i_z ; u_z = -U$
Dòng tải chạy theo mạch (D4,RLE,S2)	Dòng tải từ RLE qua D3,D4 trả năng lượng về nguồn

-Trường hợp $0 \leq z < 0,5$ S1, S2 không thể dẫn đồng thời. Do đó điện áp ngõ ra của bộ chopper là $-U$ hoặc 0 và điện áp trung bình ngõ ra $U_z < 0$. Bộ chopper làm việc ở góc phần tư thứ IV



$[0 \div 2zT - T] - G_{s1} > 0 ; G_{s2} > 0$	$[2zT - T \div T] - G_{s1} > 0 ; G_{s2} < 0$
$u_{s1} = 0 ; i_{s1} = i_z ; u_{s2} = 0 ; i_{s2} = i_z ; u_z = U$	$u_{s1} = 0 ; i_{s1} = i_z ; u_{D3} = 0 ; i_{D3} = i_z ; u_z = 0$
Dòng tải chạy theo mạch (U,S1,RLE,S2)	Dòng tải theo mạch (RLE, D3)
$[T \div 2zT] - G_{s1} > 0 ; G_{s2} > 0$	$[2zT + T \div 2T] - G_{s1} < 0 ; G_{s2} > 0$
$u_{s1} = 0 ; i_{s1} = i_z ; u_{s2} = 0 ; i_{s2} = i_z ; u_z = U$	$u_{s2} = 0 ; i_{s2} = i_z ; u_{D4} = 0 ; i_{D4} = i_z ; u_z = 0$
Dòng tải chạy theo mạch (U,S1,RLE,S2)	Dòng tải theo mạch (RLE, D3)

Trường hợp $0,5 \leq z < 1$ S1, S2 không thể ngắt đồng thời. Do đó điện áp ngõ ra của bộ chopper là $+U$ hoặc 0 và điện áp trung bình ngõ ra $U_z > 0$. Bộ chopper làm việc ở góc phần tư thứ I



Hệ quả

1. Trị trung bình điện áp tải

$$\text{- Khi } 0,5 \leq z < 1 \quad U_z = \frac{1}{T} \int_T^{2zT} U dt = 2U(z - 0,5)$$

$$\text{- Khi } 0 \leq z < 0,5 \quad U_z = \frac{1}{T} \int_{2zT}^T (-U) dt = 2U(z - 0,5)$$

Như vậy với tất cả các giá trị $0 \leq z \leq 1$ trị trung bình áp tải đwocj tính bằng biểu thức

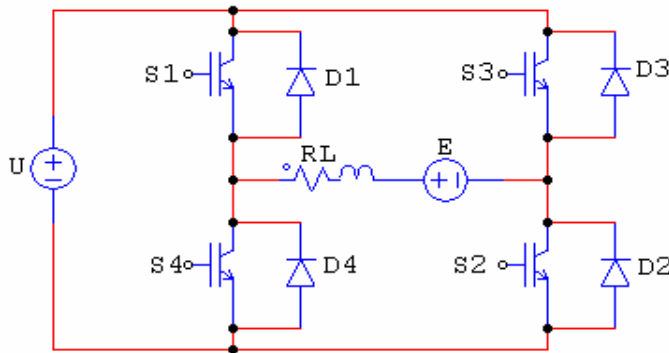
$$U_z = 2U(z - 0,5)$$

2. Trị trung bình dòng tải

$$I_z = \frac{U_z - E}{R} = \frac{2U(z - 0,5) - E}{R}$$

BỘ CHOPPER DẠNG TỔNG QUÁT

1. Sơ đồ



- Nguồn một chiều có trị trung bình không đổi U

- Linh kiện S1, S2, S3, S4 có chức năng điều khiển đóng và ngắt được dòng điện đi qua nó như BJT, MOSFET, IGBT, GTO hoặc SCR với bộ chuyển mạch. Bốn diode công suất D1, D2, D3, D4

- Tải một chiều dạng tổng quát RLE

2. Phân tích

- Bộ chopper có thể làm việc ở 4 góc phần tư. Và được điều khiển bằng một trong những cách sau:

a. Cách 1

Hoạt động ở phần tư I, II.

- Điều khiển sao cho S2 được kích dẫn liên tục, S1-S4 được điều khiển đóng ngắt ngược nhau. S3 ngắt. Khi đó ta được bộ đảo dòng và làm việc ở góc phần tư I,II

Hoạt động ở phần tư III, IV.

- Điều khiển sao cho S3 được kích dẫn liên tục, S1-S4 được điều khiển đóng ngắt ngược nhau. S2 ngắt. Khi đó ta được bộ đảo dòng và làm việc ở góc phần tư III,IV

b. Cách 2

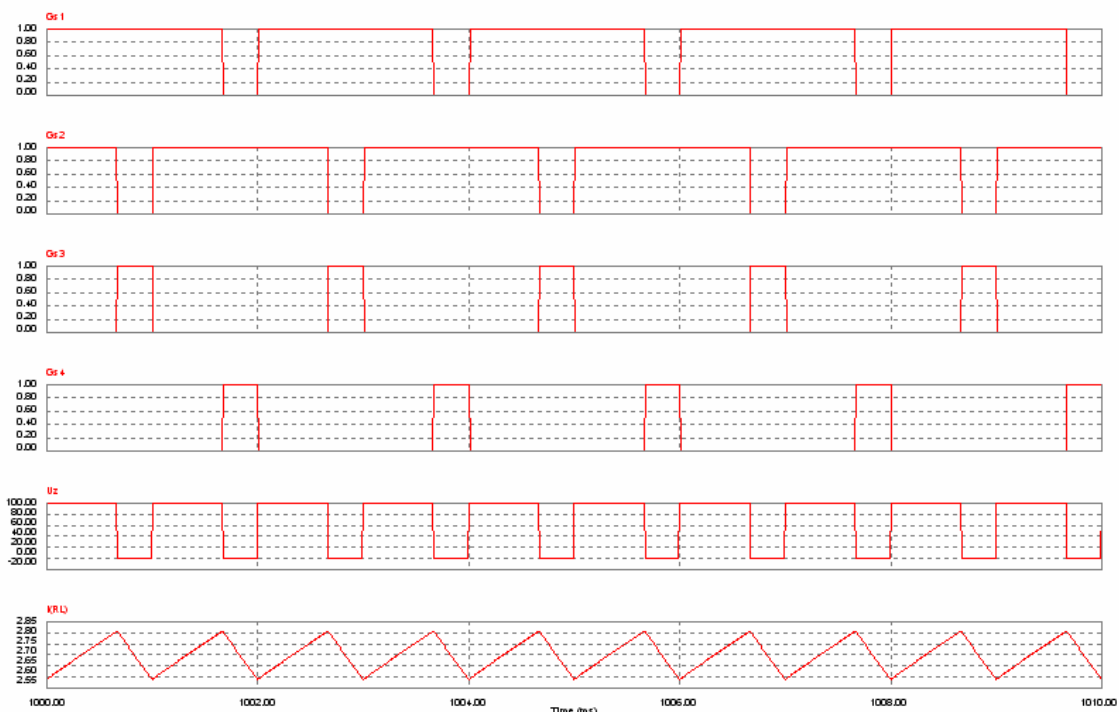
Hoạt động ở phần tư I, IV.

- Khoá S1, S2 và diode D3,D4 tạo thành bộ đảo áp làm việc ở góc phần tư I,IV

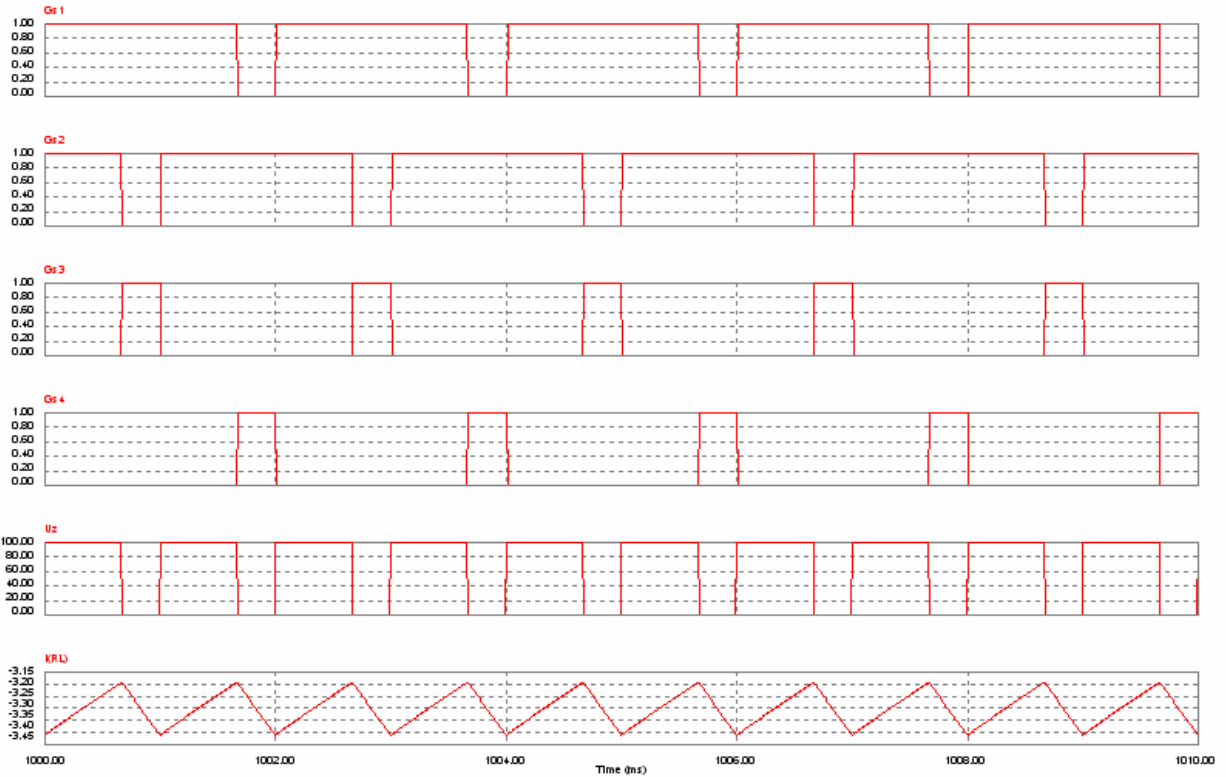
Hoạt động ở phần tư II, III.

- Khoá S3, S4 và diode D1,D2 tạo thành bộ đảo áp làm việc ở góc phần tư II,III.

c. Cách 3



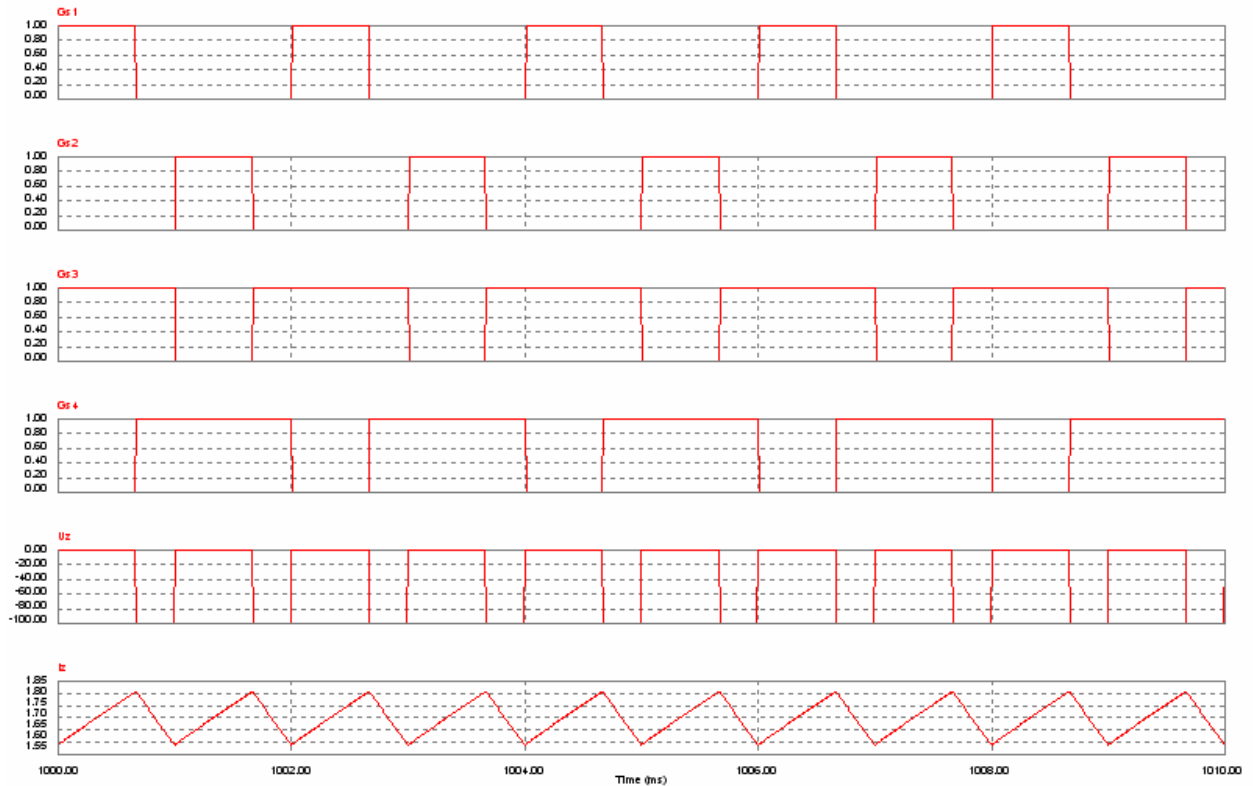
Bộ chopper làm việc ở góc phần tư I khi $0,5 \leq z \leq 1$ và $U_z > E$



Bộ chopper làm việc ở góc phần tư II khi $0,5 \leq z \leq 1$ và $U_z < E$



Bộ chopper làm việc ở góc phần tư III khi $0 \leq z < 0,5$ và $|U_z| < |E|$



Bộ chopper làm việc ở góc phần tư III khi $0 \leq z < 0,5$ và $|U_z| > |E|$

PHƯƠNG PHÁP ĐIỀU KHIỂN BỘ CHOPPER

1. Điều khiển với thời gian đóng khoá công suất T_1 không đổi.

- Để thay đổi trị trung bình điện áp tải ta phải thay đổi tỷ số thời gian đóng ngắt:

$z = \frac{T_1}{T}$ tức là thay đổi tần số đóng ngắt T .

Nhược điểm: vấn đề lọc thành phần xoay chiều của áp ra khó khăn. Nên phương pháp ít được sử dụng trong thực tế

2. Điều khiển tần số đóng ngắt không đổi.

- Tần số đóng ngắt $T = T_1 + T_2$ không đổi. điện áp trung bình của tải được điều khiển thông qua sự phân bố khoảng thời gian đóng T_1 và ngắt T_2 tức là điều khiển đại lượng $z = \frac{T_1}{T}$.

- Kỹ thuật điều khiển tỷ số đóng ngắt được thực hiện dựa vào hai tín hiệu cơ bản: sóng răng cưa và sóng điều khiển. Hai sóng được đưa qua bộ so sánh. Tín hiệu cổng ra đưa vào kích khoá công suất.

- Tần số đóng ngắt của linh kiện không đổi và bằng tần số sóng răng cưa

- Tỷ số đóng ngắt $z = \frac{T_1}{T} = \frac{U_{dk}}{U_{PM}}$

Trong đó U_{dk} - biên độ sóng điều khiển.

U_{PM} - biên độ sóng tam giác

Ưu điểm: do tần số hài cơ bản thành phần xoay chiều của điện áp tải bằng tần số đóng ngắt linh kiện và không đổi nên sóng điện áp dễ lọc.

Minh hoạ

3. Điều khiển theo dòng tải yêu cầu

Trong trường hợp tải là động cơ một chiều:

- Mạch điều khiển sử dụng sóng điều chế và các khâu hiệu chỉnh dòng K
- Mạch điều khiển sử dụng phần tử phi tuyến.

Phân tích

-Tín hiệu $I_z = \frac{I_{z\max} + I_{z\min}}{2}$ được đưa vào khối điều khiển

-Tín hiệu hồi tiếp $I_{z_feedback}$ được so sánh với I_z .

-Nếu gọi ΔI_z là khoảng giới hạn không nhảy – hay ngưỡng đặt thì

$I_{z_feedback} \geq I_z + \frac{\Delta I_z}{2}$ Khoá bị ngắt và dòng tải i_z giảm.

$I_{z_feedback} \leq I_z - \frac{\Delta I_z}{2}$ Khoá được đóng và dòng tải i_z tăng

Giả sử $u_{i1} \sim I_z$ và $u_{i2} \sim I_{z_feedback}$

Nếu $u_{i1} - u_{i2} = u_{dk} > 0$ tín hiệu điều khiển đóng luôn được phát.

Nếu $u_{i1} - u_{i2} = u_{dk} < 0$ tín hiệu điều khiển ngắt luôn được phát.

Khi $I_z < \frac{\Delta I_z}{2}$

Minh hoạ

So sánh các phương pháp

1. Phương pháp 1 tiết kiệm bộ chuyển mạch
2. Phương pháp 2 thường được ứng dụng vì có khả năng khử bỏ các hiện tượng gay gắt
3. Phương pháp 3 cho phép thực hiện chức năng điều khiển dòng, ứng dụng rộng rãi trong điều khiển động cơ.