

다이오우드 브릿지형 듀얼 콘버터의 강제전류 모우드의 동작해석

김 철 우 부산대학교  
 황 영 콘 부산대학교

\* 김 광 태 부산전문대학  
 권 순 제 부산공업대학

The Analysis of Forced Commutating Mode by Diode -  
 Bridge Type Dual Converter

C.U.KIM Y.M.HWANG  
 Pusan National University

\* K.T.KIM S.J.KWON  
 P.J.C. P.N.I.T.

ABSTRACT

In this paper, the commutating devices of the forced commutating circuit and the relation between load current and source voltage are theoretically analyzed, by this approach commutating condition is considered.

As a result some basic design methodes of commutating circuit are presented, which commutating loss becomes low and commutating failure is not ocured.

1. 서 론

반도체 기술의 발달과 더불어 제어정류소자는 모든 산업분야에 이용하게 되었다. 그러나 GTO, 트랜지스터 등을 제외한 제어정류소자는 자기소호 능력이 없기 때문에 강제소호를 행하고자 할 때에는 전류회로를 이용하여 순방향 양극전류를 감소시켜 유지전류 이하로 줄이거나 역바이어스 전압을 인가하여 강제로 양극전류를 차단하여야 한다. 싸이리스터인 경우에는 L-C 진동회로를 구성하고 미리 콘덴서 C에 충전전압을 확보하였다가 강제전류 시에 L-C 방전회로를 통하여 소호시켜야 한다.

본 연구에서는 강제전류회로의 전류소자와 부하전류, 전원전압의 관계를 이론적으로 해석하고 이것에 의해 전류조건을 알아본다. 그 결과 전류손실이 적고 전류실패가 일어나지 않는 회로의 설계방법을 알아본다.

2. 전류해석을 위한 기본회로

본 강제전류회로의 전류기구를 설명하기 위해

그림 1과 같이 다이오우드 브릿지, 싸이리스터, 전류 콘덴서, 전류트랜스 권선으로 구성되는 두개의 블록을 생각한다.

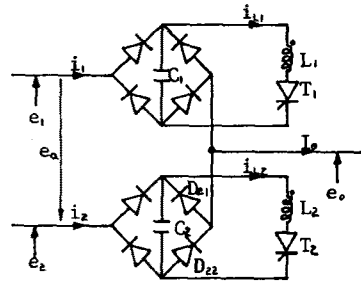


그림 1. 기본회로

그림 1에서, 지금 T<sub>1</sub>이 도통하고 있는 t=0에서 T<sub>2</sub>가 트리거되면 부하전류 I<sub>o</sub>는 e<sub>1</sub> 상에서 e<sub>2</sub> 상으로 전류된다. 이 전류동작은 I<sub>o</sub>의 방향과 e<sub>1</sub>, e<sub>2</sub>의 크기에 따라 그림2와 같이 4경우로 나누어 생각할 수, 있다.

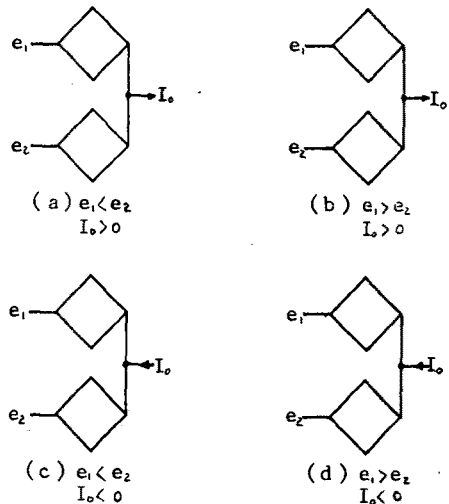


그림 2. 전류 모우드

3. 전류모우드의 분류와 해석

지금  $t = 0$  에서 그림 1의  $T_2$ 가 트리거되면

$$v_{c1} = 0, v_{c2} = v_{20}, i_{L1} = 0, i_{L2} = I_0 \quad (1)$$

단,  $v_{20} \geq (e_2 - e_1 = |e_a|)$

가 되어  $v_{20}$ 가  $L_2$ 에 인가되고 그것이  $L_1$ 에 나타난다.  $v_{c1} = 0$ 이므로  $T_1$ 에  $v_{20}$ 의 역전압이 가해져  $T_1$ 은 소호하고  $I_0$ 은  $C_1$ 을 충전한다. 그 결과  $i_1 = I_0, i_2 = 0$ 의 상태가 되며 이것을 모우드 1이라 한다. 모우드 1이 끝나는 시점에서  $e_1 \geq e_2, I_0 \geq 0$ 에 따라  $i_1 = 0, i_2 = I_0$ 가 되는 경우와  $i_1 \neq 0, i_2 \neq 0$ 가 되는 경우가 있으며 전자를 모우드 2, 후자를 모우드 3라 한다. 또  $v_{c2} = 0$ 가 되면  $i_1 = 0, i_2 = \pm I_0$ 가 되는 것을 모우드 4라 한다.

3-1. 모우드 1의 해석

그림 1의 상단에 대해서는 다음과 같은 관계가 있다.

$$i_1 = I_0, v_{c1} = \frac{1}{C} I_0 t \quad (2)$$

한편 하단에서는  $C_2$ 가  $L_2$ 과  $T_2$ 를 통해 방전하고

$$i_2 = 0, L \frac{di_2}{dt} = v_{c2}, i_{L2} = -C \frac{dv_{c2}}{dt} \quad (3)$$

$$-C \frac{dv_{c2}}{dt} \Big|_{t=0} = I_0, v_{c2} \Big|_{t=0} = v_{20} \quad (4)$$

의 관계식이 성립한다.

여기서 각 변수를 다음과 같이 정규화하면

$$\frac{t}{\sqrt{LC}} = x$$

$$\frac{v_{c1}}{\sqrt{I_0 L/C}} = u_1, \frac{v_{c2}}{\sqrt{I_0 L/C}} = u_2, \frac{e_a}{\sqrt{I_0 L/C}} = u_a, \frac{v_{20}}{\sqrt{I_0 L/C}} = u_{20}$$

$$\frac{i_{L1}}{I_0} = j_1, \frac{i_{L2}}{I_0} = j_2, \frac{i_1}{I_0} = j_1, \frac{i_2}{I_0} = j_2 \quad (5)$$

식(2),(3),(4)는

$$j_1 = 1, u_1 = x \quad (6)$$

$$\frac{dj_2}{dx} = u_2, j_2 = -\frac{du_2}{dx} \quad (7)$$

$$-\frac{du_2}{dx} \Big|_{x=0} = 1, u_2 \Big|_{x=0} = u_{20} \quad (8)$$

으로 간략화된다.

따라서 모우드 1에서  $u_1, u_2, j_2$ 는 식(6),(7),(8)에서

$$\begin{aligned} u_1 &= x \\ u_2 &= -\sin x + u_{20} \cos x \\ j_2 &= \cos x + u_{20} \sin x \end{aligned} \quad (9)$$

로 구할 수 있다.

모우드 1이 끝날 때 그림 2에서와 같이 4경우에 대해 다음에 오는 모우드가 어떻게 되는가

를 알아본다.

(i)  $I_0 > 0, e_2 > e_1$ 의 경우(그림 2-a)

그림 3은 그림 2-a인 경우 각 전압파형을 나타낸 것이다.

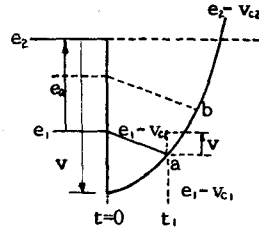


그림 3

이 그림에서  $e_1 - v_{c1}$ 과  $e_2 - v_{c2}$ 의 교점에서 모우드 1이 끝난다. 점 a 이후는  $v_{c1}$  때문에 상단의 다이오드에 의해  $i_1 = 0$ 가 되고  $I_0 = i_2$ 가 되어 모우드 2로 들어간다.

(ii)  $I_0 > 0, e_2 < e_1$ 의 경우(그림 2-b)

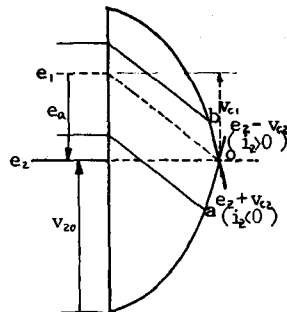


그림 4

그림 4의 점선으로 표시된 점 0에서 모우드 1이 끝나는 임계상태의 경우에는 식(9)에서

$$\begin{aligned} x_1 &= -u_a \\ -\sin x_1 + u_{20} \cos x_1 &= 0 \\ u_a &= -\tan^{-1} u_{20} \end{aligned} \quad (10)$$

이 성립한다.

a점은  $e_a$ 보다  $e_1 - e_2$ 가 작을때 즉  $u_a > -\tan^{-1} u_{20}$ 이면 나타나고 이점 이후에서는  $i_1 = 0, i_2 = I_0$ 가 되어 모우드 2가 된다.  $u_a < -\tan^{-1} u_{20}$  일때 나타나는 b점 이후는  $e_1 - v_{c1} > e_2 + v_{c2}, i_2 < 0$ 이고  $i_1 = I_0 - i_2$ 가 되어 모우드 3이 된다.

(iii)  $I_0 < 0, e_2 > e_1$ 의 경우(그림 2-c)

그림 5의 점 0에서 모우드 1이 끝나고  $u_a < \tan^{-1} u_{20}$  이후는  $e_1 + v_{c1} > e_2 + v_{c2}, i_2 < 0$ 가 되므로  $i_1 = 0, i_2 = -I_0$ 인 모우드 2가 된다. 그러나  $u_a > \tan^{-1} u_{20}$ 이면 모우드 1에서  $i_2 = -i_1 - I_0$ 가 되어 모우드 3이 된다.

(iv)  $I_0 < 0, e_2 < e_1$ 의 경우(그림 2-d)

이 경우는 (i)의 경우와 같이 생각할 수 있

다. 그림 6에서와 같이 모우드 1 이후는  $i_1 = 0$ ,  $i_2 = -I_0$ 가 되어 모우드 3이 된다.

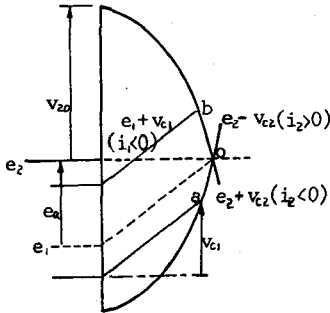


그림 5

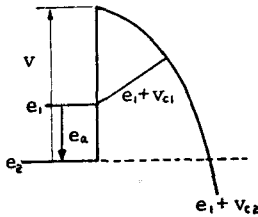


그림 6

3-2. 모우드 2의 해석

모우드 2에서의 회로방정식은 그림 1에서

$$u_1 = x(t_1) - x_1, j_2 = I_0 \quad (11)$$

$$\frac{dj_{L2}}{dx} = u_2, \frac{du_2}{dx} = 1 - j_{L2}$$

이 된다.

식(9)에서 초기조건을 구하고 식(11)을 풀면

$$u_1 = x_1, u_2 = -k_{21} \sin(x-x_1) + k_{22} \cos(x-x_1) \quad (12)$$

$$j_{L2} = 1 + k_{21} \cos(x-x_1) + k_{22} \sin(x-x_1)$$

$$j_1 = 0, j_2 = I_0$$

단,  $k_{21} = \cos x_1 + u_{20} \sin x_1 - 1$   
 $k_{22} = -\sin x_1 + u_{20} \cos x_1$

가 된다.

이 모우드 2는  $S(I_0)u_a = x_1 + u_2$  까지 계속 된다.

모우드 2가 끝나는 점에서

$$S(I_0)u_a = x_1 \quad (13)$$

이 만족되면 모우드 3이 된다.

그러나 식(13)의 관계가 성립하지 않는 경우에는 모우드 2에서  $u_2 = 0$ 가 되어 모우드 4가 된다.

3-3. 모우드 3의 해석

모우드 3은 모우드 1이 끝나고 모우드 3이 되는 경우와 모우드 1, 모우드 2를 거쳐 모우드 3이

되는 2가지 경우가 있다. 전자인 경우의 회로 방정식은

$$|u_a| = u_1 + u_2$$

$$\frac{du_1}{dx} = -j_1$$

$$j_2 = S(I_0) - j_1 \quad (14)$$

$$\frac{dj_{L2}}{dx} = u_2$$

$$\frac{du_2}{dx} = j_2 - j_{L2}$$

가 된다. 따라서  $x = x_1$ 인 경우 식(9)의 초기조건을 이용하여 식(14)를 풀면

$$u_2 = k_{13} \sin \frac{x-x_1}{\sqrt{2}} + k_{22} \cos \frac{x-x_1}{\sqrt{2}}$$

$$u_1 = |u_a| - k_{13} \sin \frac{x-x_1}{\sqrt{2}} - k_{22} \cos \frac{x-x_1}{\sqrt{2}}$$

$$j_1 = \frac{1}{\sqrt{2}} (k_{13} \cos \frac{x-x_1}{\sqrt{2}} - k_{22} \sin \frac{x-x_1}{\sqrt{2}})$$

$$j_2 = S(I_0) - \frac{1}{\sqrt{2}} (k_{13} \cos \frac{x-x_1}{\sqrt{2}} - k_{22} \sin \frac{x-x_1}{\sqrt{2}})$$

$$j_{L2} = S(I_0) + \sqrt{2} (-k_{13} \cos \frac{x-x_1}{\sqrt{2}} + k_{22} \sin \frac{x-x_1}{\sqrt{2}})$$

단,  $k_{13} = \frac{1}{\sqrt{2}} (S(I_0) - \cos x_1 - u_{20} \sin x_1)$  (15)

가 된다.

후자의 경우에는 초기조건을 식(9)에서 구하고 식(14)를 풀면

$$u_2 = k_{23} \sin \frac{x-x_2}{\sqrt{2}} + k_{33} \cos \frac{x-x_2}{\sqrt{2}}$$

$$u_1 = u_a - k_{23} \sin \frac{x-x_2}{\sqrt{2}} - k_{33} \cos \frac{x-x_2}{\sqrt{2}}$$

$$j_{L2} = S(I_0) + \sqrt{2} (-k_{23} \cos \frac{x-x_2}{\sqrt{2}} + k_{33} \sin \frac{x-x_2}{\sqrt{2}})$$

$$j_1 = \frac{1}{\sqrt{2}} (k_{23} \cos \frac{x-x_2}{\sqrt{2}} - k_{33} \sin \frac{x-x_2}{\sqrt{2}})$$

$$j_2 = S(I_0) - \frac{1}{\sqrt{2}} (k_{23} \cos \frac{x-x_2}{\sqrt{2}} - k_{33} \sin \frac{x-x_2}{\sqrt{2}})$$

단,  $k_{23} = \frac{1}{\sqrt{2}} (S(I_0) - 1 - k_{21} \cos x_{21} - k_{22} \sin x_{21})$   
 $k_{33} = -k_{21} \sin x_{21} + k_{22} \cos x_{21}$   
 $x_{21} = x_2 - x_1$  (16)

가 된다.

이 모우드 3 이후에서는  $u_2 = 0$ 가 되어  $i_{L2}$ 가  $L_2 - T_2 - D_{22} - D_{21}$ 를 통해 순환한다. 이것이 모우드 4이고 전류는 모두 끝나게 된다.

4. 결론

SCR을 이용한 강제전류에 있어서 부하전류와 전원전압의 크기 및 방향, 전류소자(L, C),

전류컨덴서의 충전전압의 크기를 고려하여 전류  
모우드를 이론적으로 해석하여 전류실패가 발생  
하지 않는 전류회로의 설계기초를 얻었다.

#### 5. 참고문헌

- 1) B.D.Bedford,R.G.Hoft,"Principles of  
inverter circuit."(New York Wiley,1974)
- 2) L.Gyugyi,"Input Power Factor of AC to  
MC Power Converters",IEEE Trans.Ind.  
Appl.,IA-16,No.4,July/Aug.,1980
- 3) Hoang Le-Huy,K.S.Rajashekara,"A Constant  
Turn-Off Time Controller for Load-Com-  
mutated Inverter Drives",IEEE Ind.Appl.  
Society Annual Meeting