

— 심포지움 發表文 —

LD-KONVERTER의 制御裝置 設計

— (中) —

— 반도체 제어정류기와 제어증폭 회로의 구성 —

Broun Boreri & Sie AG 責任技士 金 周 哲

식(8)과 (9)에서

$$\alpha_{\max} + \mu + r = 180$$

이므로 식(7)은 다음식 (10)과 같이 표현될 수 있습니다.

$$\cos\beta = \cos r - 2d_x$$

그러나 d_x 의 값은 전류와 전압의 변동에 영향을 받으므로 식(10)은 실제 β 값을 계산할려면 다음식 (11)과 같이

$$\cos\beta = \cos r - 2d_x \cdot \frac{T_{gr}}{T_{dN}} \cdot \frac{U_{PN}}{U_p} \quad (11)$$

옮겨 써야된다. 즉 정류회로내의 최대허용전류 (T_{gr})와一次전압의 변동을 고려하여 β 값을 구하게 된다.

지금一次측전압변동을 5%,

$$\text{최대허용전류 } T_{gr} = 2.5T_{dN}$$

절연능력회복시간 (r); 3°el

라고 하면

$$\cos\beta = \cos 3^\circ - 2 \times 0.033 \times 2.5 \times 1.05$$

$$\beta = 34.4 \Rightarrow 34.5$$

$$\underline{\alpha_{\max} = 145.5}$$

최대 点火각도 α_{\max} 는 145.5° 보다 커서는 안된다는 것을 알 수 있게 된다.

c) 부하 (load)

반도체정류기의 부하특성에 관한 규정은 독일 VDE(Verband Deutscher Elektrotechnik)에는 아직 명시되어 있지 않으나 미국 NEMA에 의하면 100% 부하전류로 운전중에

1분동안 200%의 부하전류

2시간동안 125%의 부하전류

의 운전이 아무런 지장이 없이 가능해야 한다는 규정이 있는데 수출용 특히 남부지방에는 이 규정에 따라 정류기의 부하정격치를 정하게 된다.

Konverter의 운전상태를 고려하여 다음과 그림 [Fig. 11]와 같은 부하모형 (load model)을 도시 할 수 있다.

주어진 부하상태중에서 최악의 경우를 고려하여 위의 부하모형을 설정한 후에 유효 Torque (Meff)를 구하게 된다.

$$\begin{aligned} M_{eff} &= \sqrt{\frac{1}{T_{sp}} \int_{t=0}^{T_{ED}} M(t)^2 dt} \\ &= \sqrt{\frac{1}{120} [285^2 \cdot 4 + 192^2 \times 16]} \\ &= 82.5 \text{kpm} \end{aligned} \quad (12)$$

유효전력을 N_{eff} :

$$\begin{aligned} M_{eff} &= \frac{M_{eff} \cdot n}{974} = \frac{82.5 \times 1100}{974} \\ &= 93.5 \text{KW} \end{aligned} \quad (13)$$

Motor 1100rpm 일 때 회전자전압 460V 이므로 유효전류 $T_{eff} = 21.2A$

를 얻게 된다. 따라서 전 유효부하전류는 (4개의 Motor) 850A 가 된다.

제어정류기

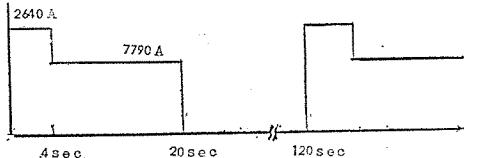
Konverter의 負荷상태가 알려졌으므로 다음에 정류기를 선정할 수 있는데 정류기의 부하특성은 사용되는 정류소자의 최대 허용온도와 냉각체 및 냉풍상태등 기계적 구조에 의한 열발산상태에 따라 결정되는 것으로 특히 Konverter와 같이 不連續運轉을 하는 負荷에 따르는 정류소

자의 온도상태는 그 계산이 번잡하므로 이곳에서 생략하고 다만 다음에 계산기에 의하여 계산된 결과만을 적어 보겠다.

정류회로 : 三相全波反 병렬회로

정류소자 : CS 220-14 io2

부하특성 :



주위온도 : 40°C(최대 냉각공기온도)

정류기형 : THYSERT®

전류형 : 4각형

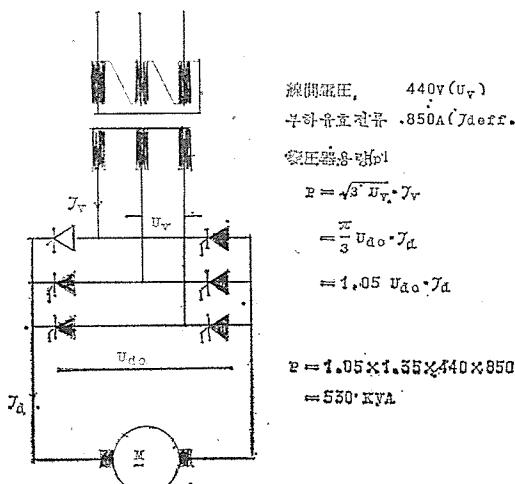
계산치 :

n	T _v M(A)	T _v EFF(A)	max °C	이용도 (%)
6	19.1	82.7	76.2	47.1
5	22.9	98.5	86.2	58.7
4	28.6	123.7	103.1	77.4
3	38.1	164.7	135.8	110.6

위의 계산결과에 따라 4개의 정류소자가 매 위상마다 필요하게 되며 총 정류소자의 수는 48개가 되겠다.

지금까지 정해진 정류회로의 계산치를 요약하면

整流和压器



1) 정류회로 : 三相全波反並列回路

2) 三相線間電壓 : 440V 3ph~60Hz

3) 定格電流 : 1180A

2490A cold 1min

2280A not 1min

4) 整流素子 : 型 CS220-14 io2(BBC)

매위상 4개 병렬(총 48개)

5) 最小点火각도 : $\alpha_{min} = 8^\circ el$

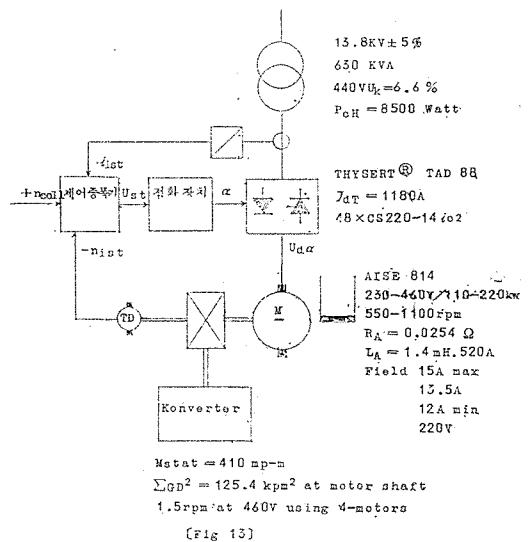
6) 最大点火각도 : $\alpha_{max} = 145^\circ el (U_k = 6.6\%)$

변압기의 용량 630KVA

상태 imp 6.6% Cu—손실 8500Watt } 별압감의 시험치

点火장치

이상으로 Motor, 정류회로 및 정류변압기 즉 동력부분이 정해졌으며 다음에는 제어부분을 구성하는 点火장치의 구성과 동작원리를 설명한 후에 속도제어에 핵심을 이루는 제어증폭기를 구성하고 그의 안전계수를 구해보겠습니다.



위의 그림 [Fig. 13]에서 보는 바와 같이 点火장치는 제어정류기와 제어증폭기를 연결하여 제어신호에 따라 제어정류소자의 点火각도를 변경시켜주는 일을 하는데 주로 다음과 같은 제어기능을 가져야 한다.

a) 제어정류기의 整流電壓(Udx)과 제어증폭기의 제어전압(Ust) 사이에 정비례관계

$$Udx = K \cdot Ust \quad K: \text{Const}$$

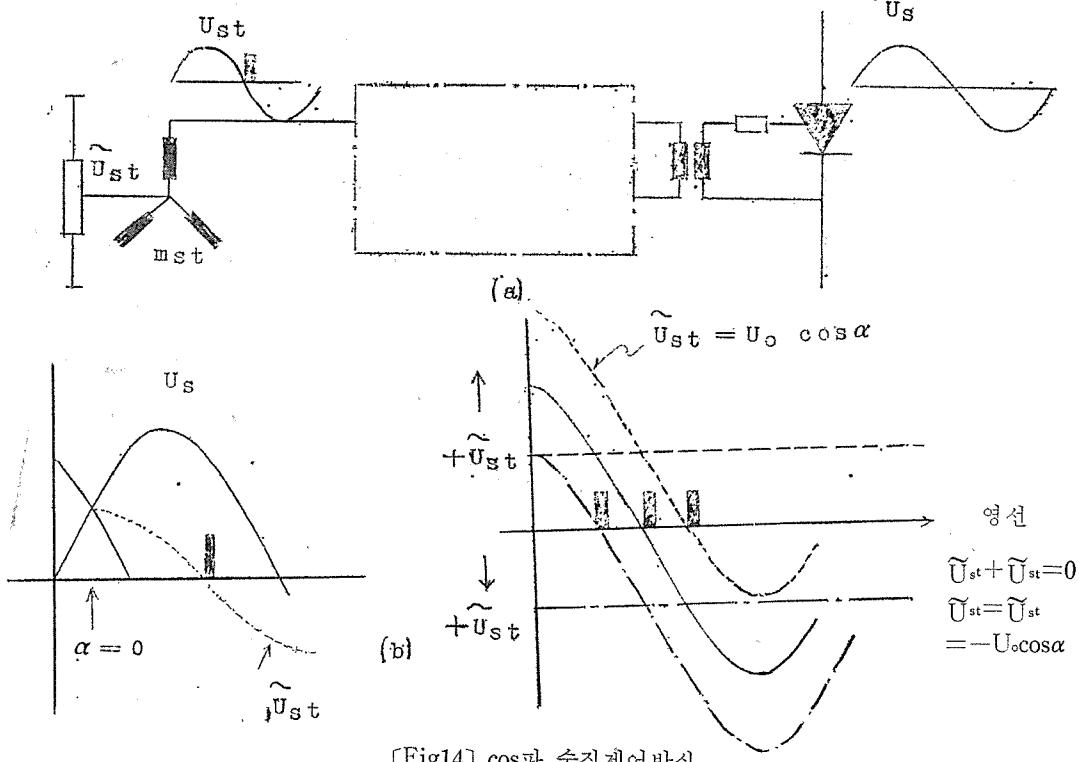
b) dead time이 가능한 적어야 함.

- c) 点火범위(α_{\min} , α_{\max})를 조정 및 제한할 수 있어야 함.
 - d) 제어전압(U_{st})에 관계없이 点火 pulse를 억제 또는 안전위치에 이전할 수 있어야 함.
 - e) 여러개의 제어정류소자들이 병렬 또는 직렬로 연결되었을 경우 운전에 지장 없이 동시에 虛火가 가능해야 함.

이하 설명하려는 点火장치는 BBC에서 일반정류회로에 사용되는 방식으로 “cos과 수직제어방

식”이라고 한다.

다음 그림 10(al)에서 mst는 Polygon-transformer의 二次원선으로 평의상 세원선만 표시했으며 그림과 같이 그 공동점을 제어점입 \tilde{U}_{st} 에 연결하여 주면 U_{st} 의 값에 따라 제어 cos과 \tilde{U}_{st} 는 상하로 움직이게 되며 그에 따라 \tilde{U}_{st} 의 값에 따라 제어 cos과 U_{st} 는 상하로 움직이게 되며 그에 따라 U_{st} 와 영선(Zero-line)과의 교차점이 전후로 움직이게 된다. (그림 [Fig 14] 참조)



[Fig14] cos파 수직제어방식

즉 제어 \cos 파 \tilde{U}_{st} 의 正→負교차점에서 点火 pulse를 만들어 주고 \tilde{U}_{st} 와 제어 반도체 소자에 걸리는 전압(U_s)을 그림 [Fig14b]과 같이 정돈해 준다면 다음식 (16)에서 보는 바와 같이 제어전압 \tilde{U}_{st} 와 제어정류전압 U_{dx} 사이에는 정비례관계가 형성하게 된다.

다음에 点火 Pulse의 제어 범위를 제한하기 위하여 제한 cos파를 다음과 같이 설정하여 준다.

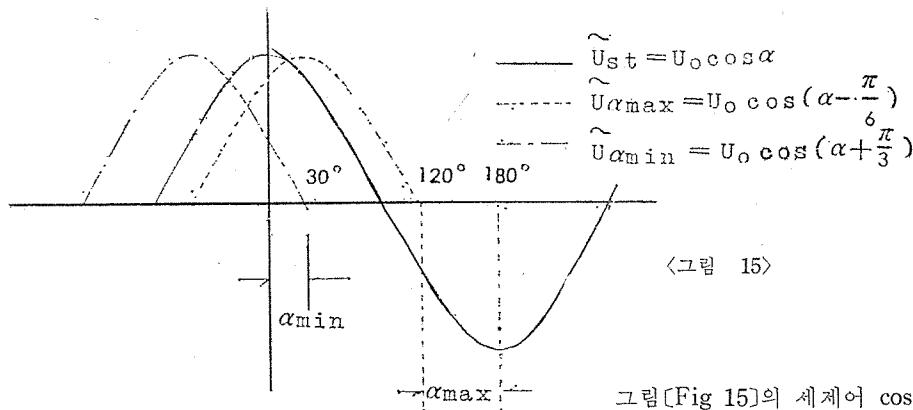
$$\widetilde{U}_{\alpha \min} = U_0 \cos\left(\alpha + \frac{\pi}{3}\right) \dots \dots \dots \quad (17)$$

$$U_{\alpha \max} = U_0 \cos\left(\alpha - \frac{\pi}{6}\right) \dots \dots \dots \quad (18)$$

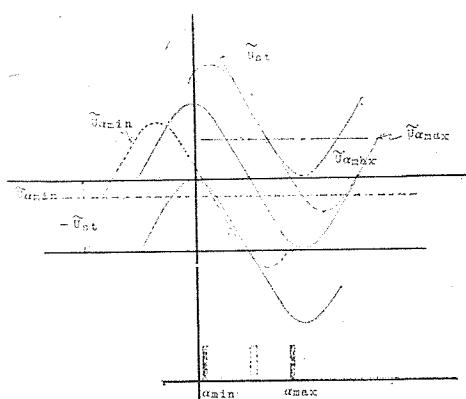
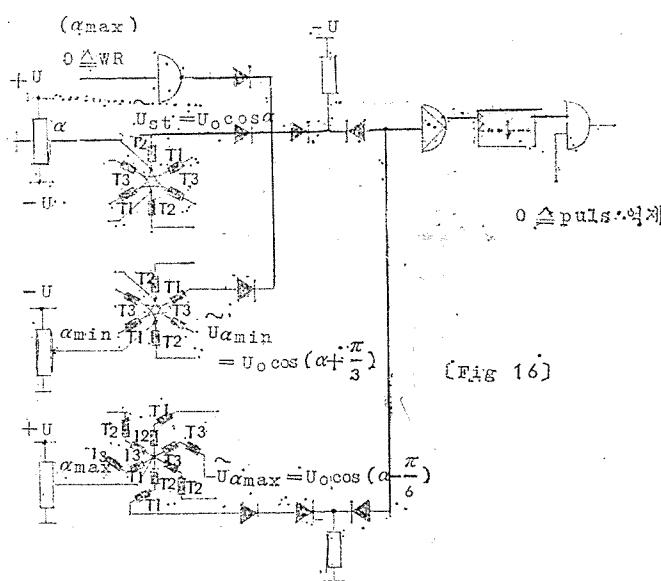
그러면 α_{\min} 의 계한법위는 $0^\circ \sim 30^\circ$ el

α_{\max} 의 제한 범위는 $120^\circ \sim 180^\circ$ el

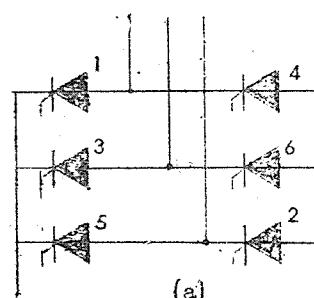
가 되어 경우에 따라 그 제한범위를 조정하여 고정시킬 수 있게 된다.



그림[Fig 15]의 세제어 cos파를 다음 그림[Fig 16]과 같이 연결하여 제어 cos파 (\tilde{U}_{st})의 동작범위를 제한 한다. (그림[Fig 17]참조)

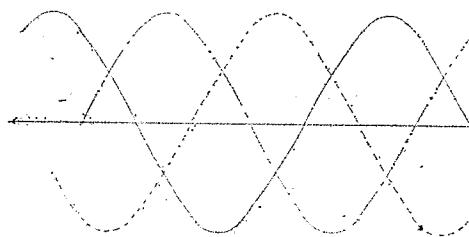


〈그림 17〉



〈그림 18-a〉

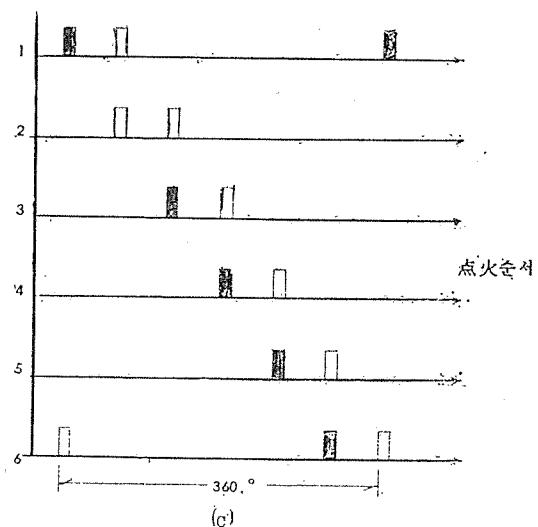
정류준서와 二重点火 pulse



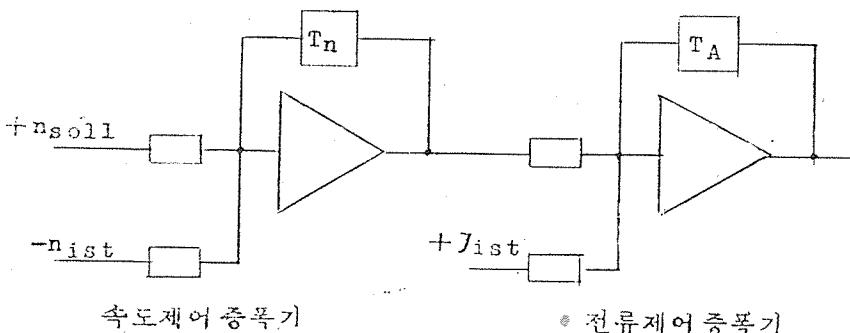
그림[Fig 18]에서 표시한 數字는 位相電壓과 点火 pulse의 예속 및 그 셔열을 표시한다.

제어증폭회로의 구성과 안정계수

전동기의 속도 제어 장치에 사용되는 제어 회로는 속도제어 증폭회로와 전류제어증폭회로로 구분하여 구성되며 전류제어증폭회로는 속도제어증폭회로에 다음 그림[19]과 같이 예속시켜 속도제어증폭회로에 의하여 증폭된 속도 2차분(ERRO R)이 전류제어증폭회로의 바람值(Sollwert. Re-



ference Value)가 되며 회전자를 가속 또는 제동하여 바라는 회전속도를 얻게 된다.



[그림 19] 전류제어증폭회로를 예속하는 속도제어증폭회로

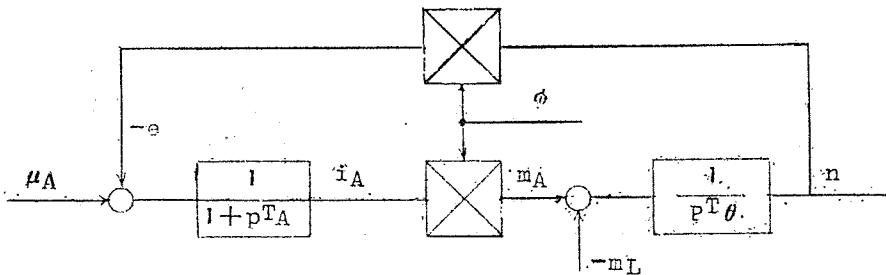
전류제어증폭회로를 이상의 그림[19]과 같이 속도제어증폭회로에 예속시키므로써 회전자 時定數의 영향을 제거할 수 있으며 부하전류를 전동기의 허용치에 제한 할 수 있다. 그러나 이상 회로구성의 한가지 약점은 부하전류에 의한 전압강하 즉 속도약화경향인데 이는 속도제어증폭회로의 증폭계수를 전류증폭회로의 그것보다 크게(경험치 20~30배이상) 해주므로써 전체 제어계통의 속도약화경향을 제거 할 수 있다.

우선 전체 제어계통을 Block-diagram으로 표현하여 개방 loop傳達함수(Open loop transfer function)를 구한 후에 Bolddiagram과 Nichels

Chart에 의하여 제어증폭회로의 종류와 그의 증폭계수 및 시정수를 구해보았다. 이 방법은 제어증폭회로 구성시에 대표적으로 사용되는 방법이라 할 수 있다.

분권타여자 직류전동기를 다음 그림[20]과 같이 Blockdiagram으로 나타낼 수 있으며 각 transfer function은 편의상 相對變數로 취급했다.

정류회로와 点火장치는 제어특성면에서 볼 때는 不動時間(dead time, Tod Zeit)만이 제어특성의 영향을 주게 되므로 그의 不動時間を T_D 라 면 정류회로와 点火장치의 Block-diagram은 그



$$\frac{i_A}{\mu_A - e} = \frac{1}{1 + pT_A}$$

$$e = \phi \cdot n$$

$$T_A = \frac{L_A}{R_A} : \text{회전자 회로 時定數}$$

$$e : \text{emf}$$

ϕ ; 여자 Flux constant

$$m_A = \phi \cdot i_A$$

m_A : motor torque

$$\frac{n}{m_A - m_L} = \frac{1}{p^T \theta}$$

m_L : load torque

$$T_\theta = \frac{M_A}{M_k} \cdot t_a \quad \text{회전 torque 의 시정수}$$

M_k : 최대 가능 torque

$$M_A = M_k \cdot m_A$$

t_a : 가속시간

T_fGL3m sec: 전류실제치의 Filter 시정수

$$V4 = \frac{T_k}{T_{sr}} = 6.7 \quad \text{전류제어 증폭계수}(V_{pi})를 1$$

(0db)이라고 했을 때 회전자의 개방 loop 傳達함수 (Fio)의 증폭계수

이상 주어진치를 Bode-diagram에 도시하여 Gainmargin=-10db과 Phase-margin=60°가 되도록 제어증폭 회로를 구성한다. Bode-diagram에 의하여 다음과 같은 제어증폭회로가 구성된다

전류제어증폭회로: PI회로

시정수 $T_A = 31m \text{ sec}$

증폭계수 $V_{pi} = 0.45$

속도제어증폭회로: PI회로

시정수 1 sec

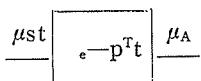
증폭계수 16(24db)

Cross over frequency (W_D)

46 radian/sec

$$T\dot{U} \div \frac{\pi}{WD} = 0.07 \text{ sec (제어시간)}$$

림[21]과 같이 표현된다.



[그림 21]

정류회로의 dead time(T_d)은 Worst case를 참작하여 일반으로

$$T_d = \frac{1}{f_N \cdot p} \quad \dots \dots \dots \quad (19)$$

식(19)에 의하여 구해진다.

전체 제어계통의 Block-diagram은 그림 [22]과 같으며 각 Block의 주어진 時定數는 다음과 같다

$$T_A = \frac{L_A}{R_A} = 31m \text{ sec} \quad \text{회전자 회로 시정수}$$

$$T_\theta = \frac{M_A}{M_k} \cdot t_a = 330m \text{ sec} \quad \text{회전자 기계 시정수}$$

M_A : 시동 Torque

M_k : 최대 가능 Torque

t_a : 시동시간(sec)

$$T_d = 3m \text{ sec} \left(\frac{1}{60 \times 6} = 2.8 \times 10^{-3} \right) \quad \text{不動時間}$$