

LD-KONVERTER의 制御裝置 設計

—반도체 제어정류기와 제어증폭회로의 구성—

Broun Boreri & Sie AG 責任技士 金 周 哲

LD-KONVERTER의 제어장치설계

현재 부라질에 건설중인 年産 2.4 Mil. ton 제철공장의 시설중에서 LD-Konverter의 제어장치를 한테로서 반도체 제어정류기에 의한 速度 제어장치의 설계과정을 소개하겠다.

상기 제철공장은 용량 200t의 LD-Konverter 2대에 의하여 生産되며 매 Konverter는 4개의 騷動 전동기에 의하여 運轉되고 있다. (Fig. 1)

Konverter는 액체상태에 있는 鐵(Rohoisen)의 움직임 때문에 회전각도에 따라 그의 Torque가 변하여 또 운전년령(또는 "Konverter 여행"이라고도함)에 따라 耐火벽의 변화로 인하여 Torque의 특성이 변하게 되고 不連續運轉을 한다.

Konverter의 年平均 heat(또는 Charge)數를 12,000회로 추산하며 1회 heat에 요하는 시간이 약 35~40分 정도되며 그중에 Konverter의 구동장치가 운전되는 시간은 불과 5~6분에 해당한다. 이는 그의 제어장치가 민첩하고 정확하여야 함을 의미하기도 한다.

驅動전동기로서 분권타여자 직류전동기를 택하였으며 제어 방식으로는 회전자전압제어방식, 그리고 整流回路로서는 三相全波제어정류회로를 사용하였다.

三相교류전동기를 驅動전동기로 사용하는 速度제어방식(Umrichter)이 최근에 개발되어 압연공장의 Rolling Conveyer나 방직공장등에 사용되고 있으며 Konverter의 경우에도 사용될 수 있으나 제어정류회로와 전자제어장치가 아직 반전원주파수(電源周波數)에 의한 정류회로에 비하여 값이 싸서 비록 三相교류전동기값은 직류전동기에 비하여 3:1정도 값이 싸다고해도 전체 값이 약

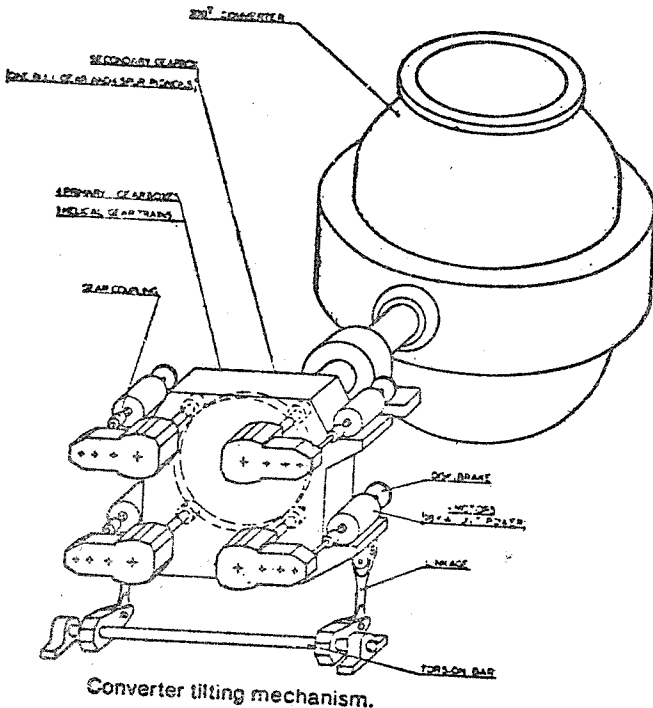
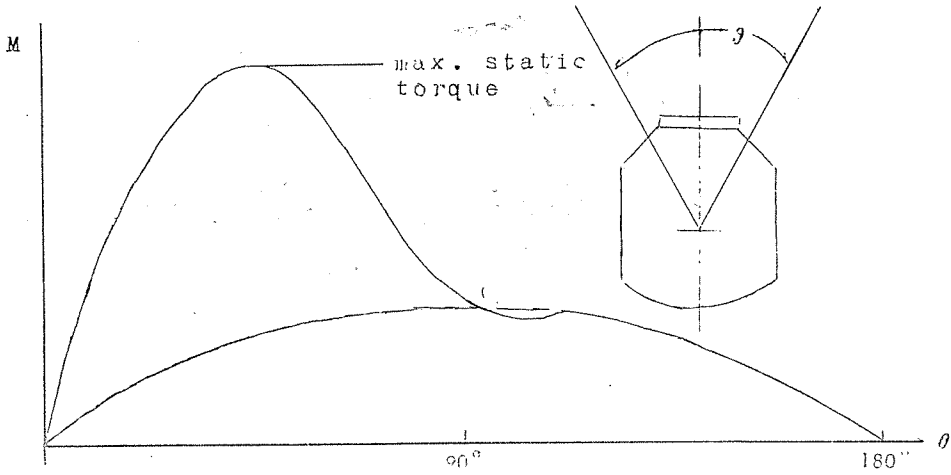


Fig. 1 Konverter의 기계구조



[Fig 2] Konverter의 torque 특성

3:4의 정도로 Umrichter방식이 비싼 관계로 잘 보급이 안되고 있는 형편이나 기술적인 장점과 보수의 용이함을 고려하여 일단 개발 초기의 보급과정을 지난다면 현재의 값의 차도 줄어들것 이 예상된다.

LD-Konverter

Dynamic conditions

- a) max. static tilting torque 410mp-m
- b) max. short time torque 820 mp-m
- c) acceleration time:
 - 1.5 rpm in 4-sec using 4 motors at 460V
 - 1.0 rpm in 4-sec using 3 motors at 460V
 - 0.75 rpm in 4-sec using 2 motors at 460V
- d) torque at motor-shaft
 - max. normal operating torque: 174kp-m
 - max. unbalanced static torque: 192kp-m
 - max. accelerating torque 93kpm
- e) GD² at each motor-shaft using 4-motors

furnace ca:	44kp-m ²
another mech. part:	11kp-m ²
motor:	41kp-m ²
brake:	<u>29.4kp-m²</u>
	125.4kp-m ²

전동기

운전환경을 고려하여 완전폐쇄비냉각형(TEN-V)을 사용하며 (일반으로 Millmotor라고 함) 규

격과 정격치는 AISES-tandard (Association of Iron and Steel Engineers)에 따라 정해진다.

이상 Konverter의 기계적 data와 운전특성에 따라 전동기의 크기를 선정하게 되는데 그 과정은 이곳에서 생략하기로 하고 다만 선정된 전동기의 정격치들을 다음에 적어 보겠다.

d. c motors

Each basic oxygen furnace is driven by a cluster of four (4) d. c mill motors.

The d. c motor is in mill-performance and its frame size is 814 according to AISE.

Armature data:

- voltage: 230V-460V
- speed: 500Vpm-1000Vpm
- power: 100KW-220KW: 520A 60-40min
- Winding resistance: co't total 0.0254ohm hot
- winding inductance: 1.4mH at 520A

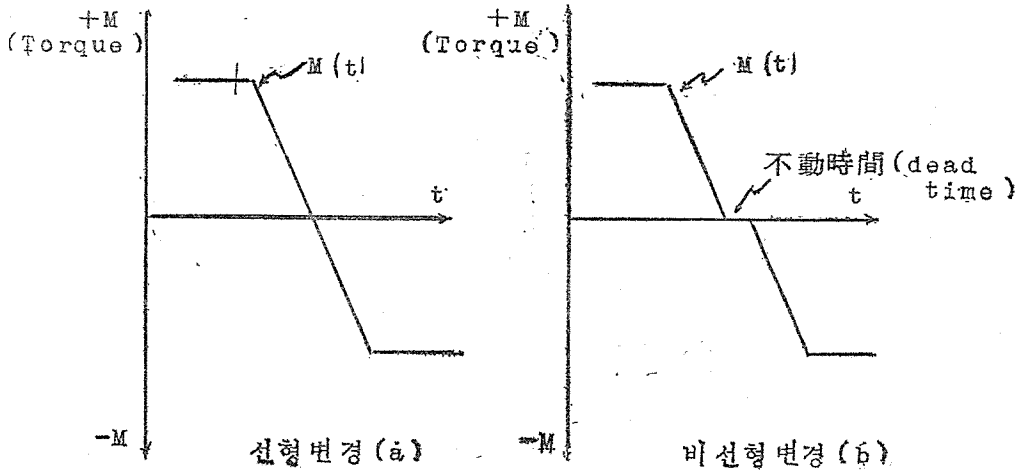
Field data

- Shunt wound field separately exited at 180V
- current max. 15 A
- norm. 13.5 A
- min. 12 A

- Shunt winding resistance: 11.8 Ohm at 20°C
- Shunt winding inductance: 39.3 mH

반도체 제어정류회로는(Thyristor SCR)

LD-Konverter는 四象限運轉, 즉 Torque의 방

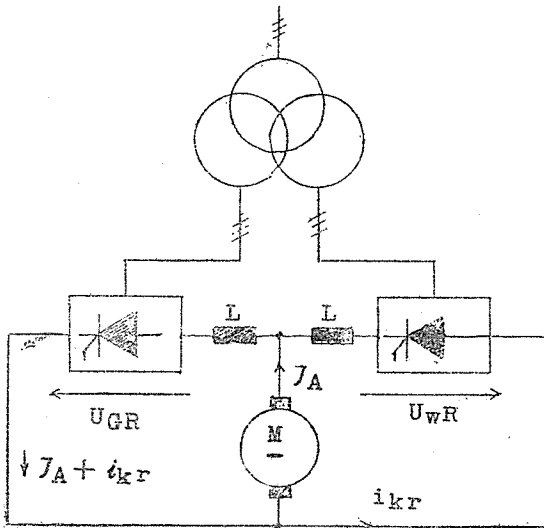


[Fig 3] Torque 의 방향변경곡선

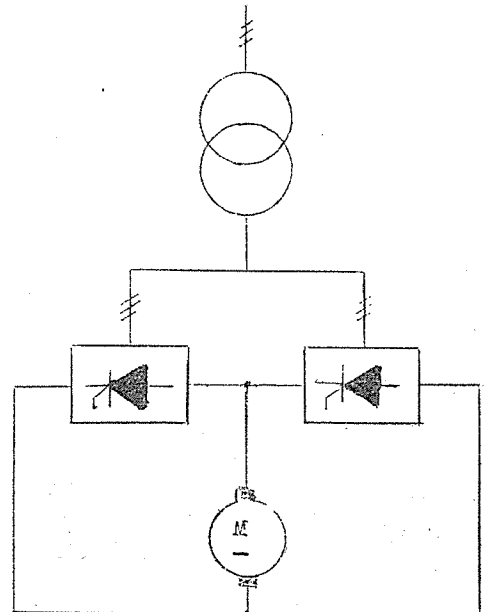
향변경과 전기적인 制動(brake)이 필요하므로 제어정류회로로서 두(2)개 三相全波정류회로를 反병렬(Anti-parallel)로 연결했으며 회전류(Circuit current)를 허용치 않는 방식을 택하였다. 즉 torque의 방향 변경이 선형이 못되고 그림 [Fig. 3]과 이 不動時間(dead time)이 필요하게 되는데 이 不動時間은 전자제어회로의 적절한 구성(예 adaptive circuit 또는 torque 제어회로)을 통하여 5ms~10ms 정도로 줄일 수 있으며

Konverter의 운전에는 별지장을 주지 않았으므로 회로전류를 허용치 않는 방식을 택하였다.

그러나 압연기(rolling mill)의 압연간격 제어 장치(위치제어)같은 경우에는 torque의 선형변경이 필요하므로 두개의 三相全波제어정류회로를 동시에 제어해 주게 된다. 두 정류회로 사이에 흐르는 회로전류는 회로전류제한 Choke(L)에 의하여 정격전류치의 10~20%정도로 제한해 주며 특히 逆變換경계거리(Wechselrichter Respekta



[Fig 4] Torque의 선형변경이 가능한 四象限運轉 反並列 정류회로



[Fig 5] 회로전류가 영인 反並列 정류회로

stand, power inverter distance)를 고려하여 정류회로의 점화범위를 제한해 주어야 한다. (Fig. 4)

反並列정류회로에서 회로전류가 영(Null)인 경우에는 Fig 4가 다음 그림 [Fig. 5]과 같이 간소화되고 한 정류회로만 제어되므로 전자제어장치도 간소화되어 제작비가 적게 들게 되는 이점이 있다.

整流電壓

三相全波 제어정류회로의 직류전압 : $U_d\alpha$

$$U_d\alpha = U_{do} \cos\alpha$$

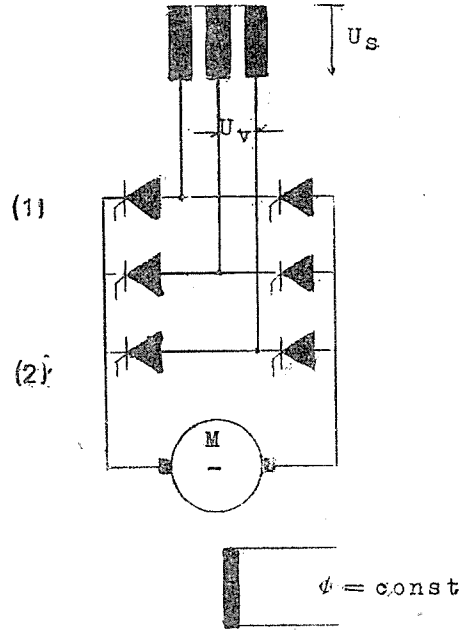
$$U_{do} = \frac{3\sqrt{3}\sqrt{2}}{\pi} U_s$$

$$= \frac{3\sqrt{2}}{\pi} U_v = 1.35U_v$$

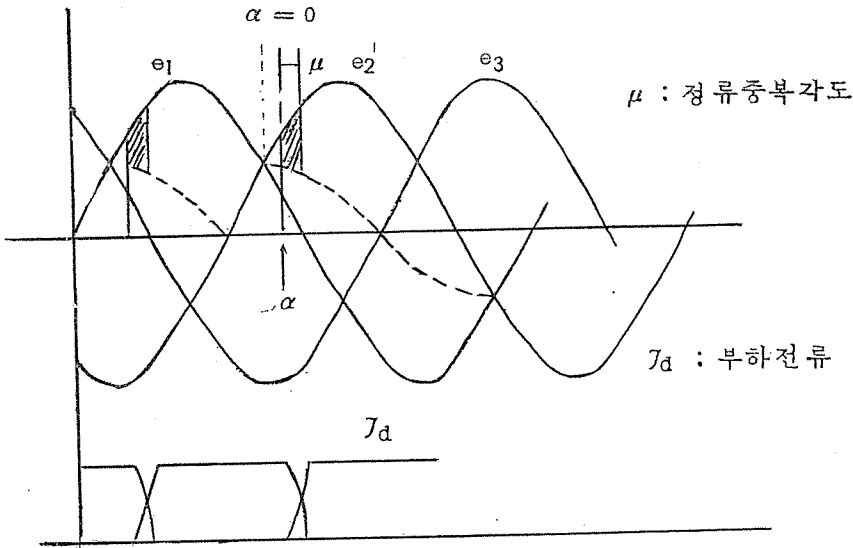
U_{do} : 理想무부하 직류전압

α : 點火각도

Konverter가 1.5rpm으로 회전하려면 전동기의 회전자 전압(U_A)이 460V가 되어야 함으로



(Fig 6) 三相全波 제어정류회로



(Fig 7) 정류중복현상

부하상태에서 上記式(7)은 다음式(3)과 같이 바뀌어 쓸 수가 있다.

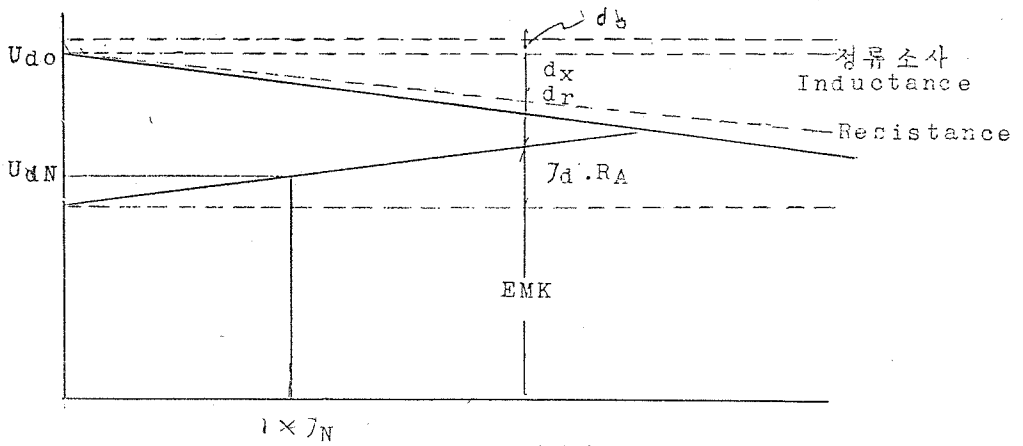
$$U_A = 1.35r \cos \alpha_{min} - \sum_i \Delta U_i \dots \dots (3)$$

$$U_A = 460V$$

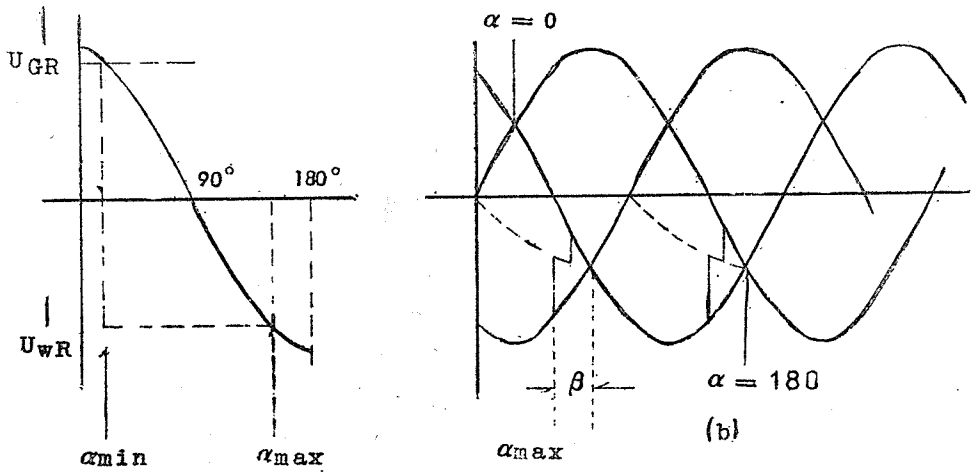
式(3)에서 α_{min} 은 최소點火각도를 나타내며 경험치에 의하면 $5^\circ e_l \sim 10^\circ e_l$ 사이의 값을 갖게 된다. 제어정류素子가 點火될려면 그의 양극과 음

극사이에 소위 가속전압(예 BBC 제어정류素子 type CS 220인 경우 1.5V)이 필요함으로 확실한 整流를 위하여 點火범위를 제한하여 준다.

式(3)에서 $\sum_i \Delta U_i$ 는 부하전류에 의한 회로내의 총 전압강하의 합을 표시하며 특히 정류회로에서 整流重複(Uberlappung)에 의한 전압강하는 최대점화 각도(α_{max})를 정하는데 중요한 구



[Fig 8] 전압강하



[Fig 9]

실을 하게 된다. [Fig. 7]

정류중복에 의한 전압강하 (Dx)는 다음식 (4)과 같이 계산되지만

$$Dx = \frac{6}{2\pi} \cdot \omega L_a \cdot T_d \dots\dots\dots (4)$$

La: 정류회로내의 Inductance(교류측)

일반적으로 많이 사용되는 것은 理想무부하직류전압(Udo)에 대한상대전압강하(dx)이다.

$$dx = \frac{dx}{U_{do}} \cdot 100 [\%] \dots\dots\dots (5)$$

정류변압기의 상대 Impedance를 Uk라고 하고 변압기의 저항치를 무시한다면

$$dx = 0.5 U_k \dots\dots\dots (6)$$

三相全波정류회로의 정류중복에 의한 상대전압 강하는 식 (6)에 의하여 계산된다.

위 그림 (Fig. 7)에서 點火각도 α 에서 정류중복각도를 μ 라하면 다음식 (7)

$$\cos(\alpha + \mu) = \cos\alpha - 2dx \dots\dots\dots (7)$$

에 의하여 정류중복각도 μ 가 계산된다.

$\sum_i \Delta \mu_i$ 의 값은 project 단계에서는 경험치에 의하여 추산되는 것이 보통이다.

$$\frac{\sum_i \Delta U_i}{U_{do}} \times 100 = 15 \sim 30\%$$

작은 값은 일방향정류회로인 경우이며 큰 값은 양방향정류회로인 경우이다.

$$\text{전체 전압강하 } \sum_i \Delta U_i = 0.2 U_{do}$$

최소 점화각도 $\alpha_{Umin}=8^\circ el$
 라하고 460V의 회전자전압을 얻으려면 식(2)에 의하여

$$U_{di} = \frac{460}{\cos 8^\circ - 0.2} = 582V$$

$$U_v = 431V \rightarrow 440V$$

교류유효전압(U_v)을 440V(유효치)로 정했다.
 電源·週波數에 의하여 지배되는 정류회로
 (Netzgeführte Stromrichter)에서 한 整流素子
 (Thyrstor)로부터 다음 整流素子로 電流가 옮겨
 질러면(Commutation) 電流를 옮겨 받는 素子의
 전압이 전류를 넘겨주는 소자의 전압보다 높은
 正전압을 가져야 한다.

그림 [Fig. 9b]에서 보는 바와 같이 $\alpha=180$ 에

서 整流가 완전히 끝날려면 整流重複각도(μ)와
 點火된 반도체가 재정비되어 절연능력을 회복하
 는데 要하는 시간(γ) 이전에 點火되어야만 한
 다. 즉,

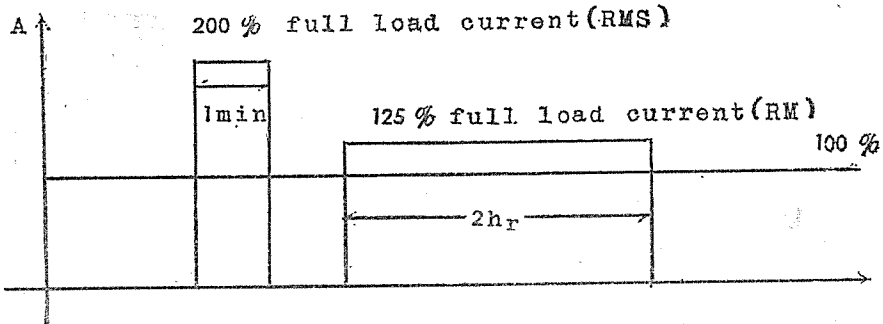
$$\alpha_{max} \leq 180 - (\mu + \gamma) \dots\dots\dots (8)$$

최대 點火각도 α_{max} 가 상기 식(8)을 충족시
 키지 못할 경우 整流가 이루어지지 못하고 지금
 까지 點火되었던 정류소자에 계속 전류가 흐르
 게 되는데 이 현상을 Wechselrichterkippen(逆
 變換단락?)이라 한다.

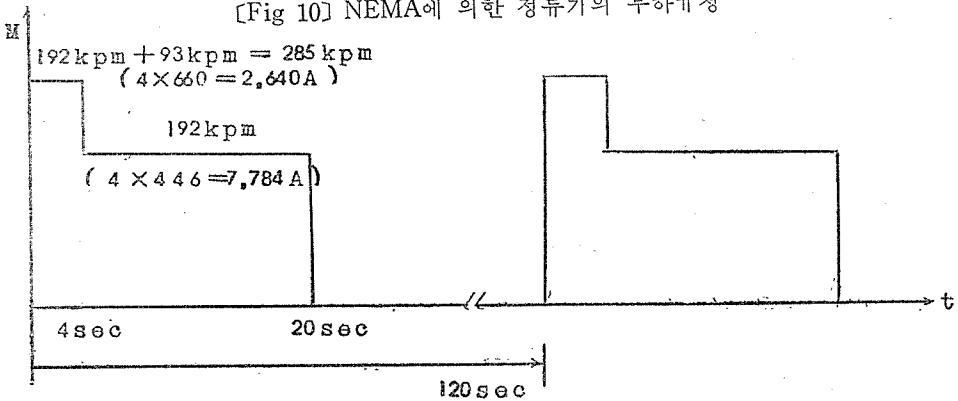
整流重複각도(μ)와 절연능력회복시간(Freiw
 erde Zeit r)의 합을 일반적으로 β 로 나타내며

$$\mu + r = \beta$$

Wechselrichter Respe Ktahstand(逆變換경계겨



[Fig 10] NEMA에 의한 정류기의 부하규정



[Fig 11] Konverter의 부하모형

리?)라 한다.

정류전압기의 상대 Impedance (U_k)를 6.6%라
 하면 최대 整流重複각도(μ_0)는 식(6)과 (7)에
 의하여

$$\mu_0 = \arccos(1 - 2d_x)$$

$$= 20.9^\circ$$

구해지고 절연능력회복시간(r)은 사용되는 반
 도체 정류소자에 따라 정해지는데 일반상용
 200A 정격전류의 반도체정류소자인 경우 약
 100 μ sec ($2^\circ el$)가 된다.