

Powerelectronics 와 그 동향

Powerelectronics and It's Trends

宮 入 庄 太*

(東京工業大學 教授, 工學博士)

한국의 여러분, 저는 지금 소개받은 Miyairi(宮入)입니다. 이번 한국의 여러분을 방문하여 직접 만나뵙고 말씀드릴 수 있는 기회를 가지게 된것을 무한한 영광으로 생각합니다.

지금부터 여러분께 말씀드리고자 하는것은 "Powerelectronics로서 이것이 어떠한 것인가 하는것은 후에 말씀드리기로 하겠습니다.

1. Thyristor의 진보(Progress in Thyristor)

a) Thyristor란 무엇인가?

IEC (International Electrotechnical Commission)의 정의에 의하면 「Thyristor라는것은 접합(Junction)을 3개이상 가진 半導體群(Semiconductor Device)의 集團名」입니다.

Transistor는 접합이 2개밖에 없으므로 Thyristor는 아닙니다. 이 Thyristor 群中에는 SCR, LASCR, GTO, SSS, TRIAC (이상 상품명) 등이 있습니다. IEC名에 의하면 SCR은 "Reverse Blocking Triode Thyristor" 라고 불러야 하지만, Thyristor 群中 제일 중요하고 제일 進歩된 것이 SCR이므로, 미국이나 일본에서는 SCR을 Thyristor라고 부르는 것이 보통입니다. 따라서 다른 GTO라든지 TRIAC과 같은 것은 특수 Thyristor라 부르며 이상의 각각을 指稱할때는 상품명 GTO라든지, LASCR이라고 부르는것이 보통입니다.

b) Thyristor의 구조와 특성

Thyristor의 구조와 특성을 圖示하면 그림1과 같습니다. 그림 1에서 보시는 바와같이 SCR은 觸電壓이 걸렸을때 Gate에 Pulse를 瞬時的으로 가하여 噴으로서 點弧(Turn On)시킬수 있습니다.

상용명	IEC名	접합	외부 Gate	동작	符號	차이용량	주요특성
SCR	reverse blocking triode thyristor		3			4,080V 600A	Copper Converter Inverter
LASCR	reverse blocking triode thyristor	同上	3			300V 40A	光學回路
GTO (GCS)	gate turn off thyristor	同上	3			500V 50A	Chopper Switch
SSS	bidirectional diode thyristor		2			400V 60A	觸電裝置 AC Switch
TRIAC (FIS) (Triac)	bidirectional triode thyristor		3			400V 20A	觸電裝置 AC Switch

* 本稿는 지난 9월17일 당학회의 주지로 실시한 학술강연회의 발표내용을 수록한 것임

그림 1. Thyristor의 구조와 동작

그러나 消弧(Turn Off)시켜주기 위하여는 陽極과 陰極 사이에 負의 전압을 가하여 주든지 혹은 SCR 전류를 Holding Current 이하로 만들어 주는 방법이 아니면 불가능합니다. Gate에 "+"의 전류를 印加하여 "Turn On"되었으므로 "Turn Off"시킬 때에는 "-"의 전류를 Gate에 흘려주면 되지 않음과 하고 생각하실런지 모르지만, 이것은 불가능 합니다. SCR의 이와같은 성질을 일컬어 「SCR은 自己消弧 능력이 있다」고 말합니다. 그러나 自己消弧能力을 가지고 있는 Thyristor도 있다. 그것이 GTO입니다. 그림1에서 보시는 바와같이 SCR과 동일한 기본구조를 가지고서도 GTO가 消弧能力을 가지고 있는것은 Gate가 있는 P層과 이것을 연결하는 陽極側의 n層이 SCR에 비하여 상당히 얇기 때문입니다. 따라서 GTO는 消弧能力을 가지고 있지만 逆耐電壓은 극히 낮아짐은 물론이며, 또한 10A의 陽極電流를 OFF시키는데 3A정도의 Gate전류를 흘려주지 않으면 안되기 때문에 利得(Gain)이 극히 적다는 결점이 있습니다.

LASCR은 Gate에 전류를 흘려주는 대신에 10,000°A 정도의 波長을 가진 光線을 비추어줌으로서 "TurnOn"시킬수 있습니다. 따라서 LASCR은 Gate 光線(光線)과 주회로사이를 전기적으로나, 기계적으로 완전히 절연시킬수있으므로, SCR에 비하여 특수한 용도에 이용할 수가 있습니다

SSS는 그 端子로서 Gate가 없으므로 陽極과 陰極사이에 걸리는 전압을 순간적으로 Breakover Voltage 이상으로 하여 줌으로서 「Turn On」시켜주는 방법을 쓰고 있습니다.

이 SSS는 주회로와 제어회로(Pulse회로)가 직접로 연결되어 분리시킬수가 없으므로 制御性이 좋지 않습니다. 따라서 정밀을 요하는 제어장치로서는 부적당합니다. 그러나 Bidirectional이며 또한 가격이 싸기 때문에 가정의 調光裝置에 적합합니다.

TRIAC은 성능면에서부터 2개의 SCR을 逆並列(Back to Back Connection)로 접속시킨것으로서, 이것을 한 개로 만들었기 때문에 경제적이지만 動特性(Dynamic Characteristic)의 면에서 본다면 50Hz, 60Hz의 상용주파이상에서는 거의 사용되지 못하고 있습니다.

c) 水銀整流器와의 비교

SCR과 單橋格子付水銀整流器(이하 MR라한다)와 비교하여 보면, 기본동작은 동일하나 그 성능면에 있어서는 표1과 같은 차이가 있습니다. 표1의 차이점은 극히 중요한 것으로서 단지 數値上의 차이라고 등한시 하여서는 안되겠습니다. 예를 들거 보면 No.3의 이점이 있

기 때문에, SCR을 이용하여 數百Hz/Sec의 Chopper회로가 실용화되었으며, 數 KHz 정도의 Inverter도 제작 가능하게 되었으며 후에 설명드리고져 하는 Powerelectronics라 하는 분야도 열리게 되었습니다.

표 1. SCR과 MR의 비교

No	比較項目	SCR	MR
1	Voltage Drop	1.5V	20V
2	Apparatus	固體, 小形,	液體, 大形,
3	制御能回復時間	10~50 μ s	SCR의 10~100倍
4	始動電流	不要	陰極電壓의 生成 勵磁電流의 保持
5	Back Firing	無	有

지는 지금으로부터 약10여년전, SCR이 미국으로 부터 최초로 일본에 수입되었을 당시 저의 대학 대학원 학생에게 SCR을 이용한 Inverter의 연구를 졸업논문 테마로서 준일이 있었습니다. 그 학생은 상당히 착실한 학생으로서 도치관에서 格子付水銀整流器를 이용한 Inverter에 관한 연구논문을 이리저리 비교연구한 후 「이보다 Inverter를 연구할 필요는 없다. SCR이라 할지라도 水銀整流器와 그 동작은 똑같다. 따라서 이러한 연구는 학역도 소용이 없다.」고 심히 不服하는 태도였습니다. 그러나 그 사람은 지금 일본의 電機製造업체에서 그 방면의 연구에 종사하여 뛰어난 업적을 올렸으며 오늘날은 일본에서 흔들리지 않는 기반을 가진 유력한 기술자가 되었습니다.

요즘을 기술자는 기본특성에 주목하여야함은 물론 그 數値에도 주목할줄 알아야 되겠습니다.

또한 No.2의 고체이며 소형이라는 사실도 중요한 점의 하나입니다. SCR은 소위 일종의 Switch입니다. SCR자체가 차단기와 같이 하나의 기기로서 사용되는 것은 특이한 경우이며 어떤 Main기기에 附屬되어, 전력의 變換制御等に 사용되는 경우가 대부분이며, 그 필요성도 압도적으로 많습니다. 이와같이 Main기기에 附屬되어 사용될 때에는 Main기기에 비하여 附屬器는 작아야 할 필요가 있는데, SCR은 이러한 요구에 잘 부합된다고 할수 있습니다.

d) SCR의 直流送電에 이용

최근 선진국에서는 直流送電法이 계획되고 있습니다. Cable 送電일때에는 30km이상, 架空送電일때에는 600km이상이면 直流送電方式이 交流送電方式보다 유리하다고 알려져 있습니다. 최근국토가 좁은 일본에서도, 直流送電의 필요성을느껴, 이번에 直流送電問題가 대형 Project로서 연구개발이 촉진되고 있습니다. 일본은 매년 500만KVA 정도의 발전설비를 신설하지 않

으면 않되는데 공해문제때문에 用地難에 빠져 需要地 인 데도시부근에 이러한 설비를 하기가 어렵게 되었습니다.

그래서, 예를 들면 동경전력(주)같은 곳에서는 장래 구상으로서 福島縣, 新潟縣에 각 800만KVA, 埼玉縣에 같은 정도의 원자력 발전설비를 하여, 수백 내지 1000km거리에 있는 需要地 동쪽으로 送電하려고 하고 있습니다.

直流送電을 할때는 送電端, 受電端에 각각 交直變換裝置가 필요하게 됩니다. 종래의 사고방식으로 생각한

다면 여기에는 마찰리 高壓水銀整流器가 사용되었지만 MR은 Back Firing의 頻度가 잦으며 따라서 送電의 신뢰성을 확보하기가 어렵게 됩니다.

지금 直流送電이 실시되고 있는 Newzealand에서는 211회/년의 Back Firing이 이어나고 있습니다. 여기에 SCR을 이용한 交直變換裝置를 등장시키고자 하는 이유가 있는 것입니다. 표2는 현재 각국에서 진행하고 있는 SCR交直變換裝置의 연구개발 狀況을 나타내고 있습니다.

표 2. SCR을 사용한 交直變換裝置의 試作狀況

년	제 작 회 사	직 류 전 압 (KV)	전 류 (A)	素 子 構 成		비 고
				素子 階 層	直 列 數	
1966	W.H	5	600	1.0KV	16	200KV의 DC Bias
1967	G.E	20	1800	1.8KV	32	三相 Bridge B-B
"	"	200	1800	1.8	320	
"	ASEA	50	200	2.8	55	水銀整流器와 混合 實用
"	日 立	10	80	1.0	24	三相 Bridge
1958	"	25 (59)*	40**	2.5	64	三相半波(*三相 Bridge換算 **素子の 定格은 400A)
1968	東 芝	12	300*	1.3	20	*素子定格 三相 Bridge
1968	日 立	60	25*	1.3	20	三相 Bridge *素子定格
1968	AEG	50	-	1.6	100	
1968	BBC	100	-	1.3	192	

이프로시 아실수 있는바와 같이 SCR은 비약한 전류만을 취급하는 Device가 아니고 強電分野의 Device로도 등장하게 되었습니다.

e) 일본의 Thyristor 進歩

일본에서의 Thyristor의 規格上進歩는 표 3에서 보는 바와 같이 눈부신 발전을 거듭하였습니다.

표 3. 일본의 SCR 進歩現況

1959年	400V(PIV)	30A
1965年	1200V	250A
1967年	2500V	400A
1969年	4000V	600A

지금 시작품으로서는 10KV의 P.I.V를 가진 것까지 성공하였다고 알려진 제작회사도 있습니다.

이와같은 SCR의 進歩에 의하여, MR을 요즈음 표 2에의 보실수 있는바와 마찬가지로 완전히 각취를 감춘 것이 있습니다.

그림2는 이러한 사실을 실증하여주는 東芝의 자료입니다. 일본에서는 1960년경부터 尙성리 設備投資가 령하여, Rolling mill motor용의 전원으로, MR이 사

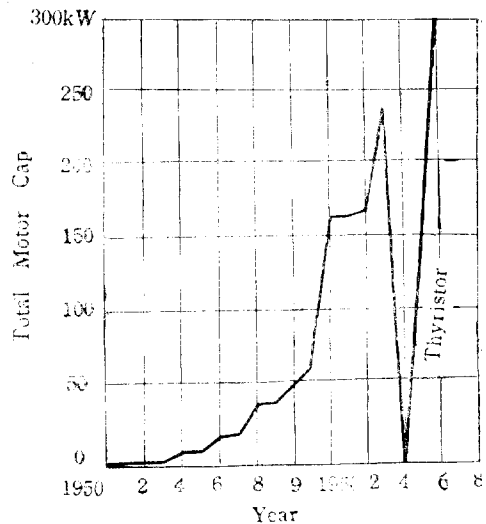


그림 2. Record of thyristor equipment supplied by Toshiba

용되었습니다. 그러나 6년후인 1966년경 부터는 MR가 완전히 SCR로 교체되어 사용되고 있습니다. 옛날에 回轉變流器의 자리를 대앗은 MR이지만, 지금은 SCR에게 그 자리를 양보하지 않을 수 없는 지지가 되고만 것입니다.

SCR에는 구조상 그림 3과 같이 Flat Type와 Stud Type의 2종류가 있습니다. 소용량의 것은 주로 후자이며, 대용량의 것은 전자입니다. 이것은 냉각판에 부착시켜줄때의 Space 절약, 素子 自體의 냉각면적이 커지는 등의 장점이 있기 때문입니다.

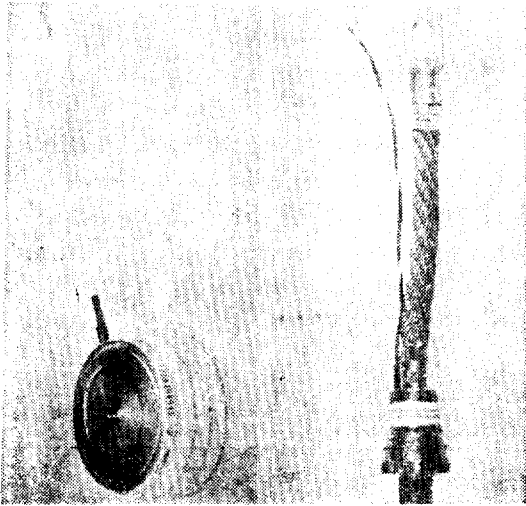


그림 3. 전력용 SCR의 외관

2. Powerelectronics의 定義와 Powerelectronics의 전기공학에서의 地位

a). Powerelectronics란 무엇인가?

최근 IEEE의 Spectrum誌에 Powerelectronics를 다음과같이 定義하고 있습니다.

The field of conversion and control implemented by Solid-state power ckevice is generally referred to as powerelectronics

즉 미국에서는 일반적으로 Solid-state device(Thyristor, Transistor, Silicon Diode等)를 이용하여 Power를 變換 및 制御하는 분야를 Powerelectronics라고 부릅니다. 일본에서도 수년전부터 점진적으로 Powerelectronics라는 말을 사용하기 시작하였습니다.

여하튼 이러한 분야가 열렸것은 SCR의 출현과 그 進歩가 있었기 때문입니다. 이미 말씀드린 바와같이 SCR은 이미 水銀整流器의 응용분야를 크게 浸蝕하고 있으나 여기에 만족하지않고, SCR특자의 분야를 개척

하고 있습니다. SCR과 같은 Thyristor는 전자공학의 큰 성과로서 탄생한 것이지만 그 素子의 성능향상에 따라서 그 응용분야가 당초의 상식을 넘어 Power의 분야에까지 진출하여, 여기 Powerelectronics의 분야가 열리게 된 것입니다.

b) 어떻게 SCR이 Powerelectronics의 분야를 열어놓았는가?

Thyristor의 본질적동작은 無接點 Switch로서, Gate에 Pulse를 가하여 주면 ON이되어 導通狀態가 되지만, 自己消弧能力이 없으므로, 타회로의 힘을 빌려 消弧시켜 off상태가 됩니다. 이와같이 단순한 on-off가 어떻게 하여 전력의 變換制御에 그와같이 중요한 역할을 할가? 이러한 문제를 다음에 생각하여 보고자 합니다.

진공관이나 Transistor등의 증폭회로에서는, 그 素子內의 전압 강하를 가감하여 부하전력을 조정합니다.

대전력을 이와같은 방법으로 制御한다는 것은 전력 경제상 도저히 불가능하며 또한 素子內에 발생하는 損失熱에 견딜 수 있는 素子를 만든다는것 자체가 현재로서는 불가능 합니다. 따라서 대전력의 制御방법은 on-off 방식에 비하여 좋지 못하기 때문에 이러한 일을 훌륭히 할수있는 素子로서 Thyristor가 등장하게 된 것입니다

또 한편 현대기술의 傾向으로서, ① 小形輕量化, ② Maintenance free를 위한 無接點化, ③ 품질의 향상과 작업능률향상에 없어서는 안될 自動制御化를 들 수 있을것입니다. 이상 세가지 요구를 만족시켜 줄수 있는 素子가 Thyristor로서 이러한 시대적 요구에 응하여 Thyristor는 進歩하고, 또한 SCR 자신이 이러한 시대적 요구를 불러일으켰다고도 말할수 있을것입니다.

가실, Thyristor의 출현은 전동기의 速度制御, 電氣爐의 온도조절, 關光裝置, Relay의 無接點化, 交通變換裝置등에 큰 기술적변화와 進歩를 가져온것을 비롯하여, 소위 공업기기, 가정전화제품에 응용되어 Powerelectronics는 크게 발전하게 되었습니다.

c) 強電과 弱電과의 결합

Thyristor가 널리 사용되고 있는 현재 전기기술자의 교육면이나, 전기기술자의 심리면에도 많은 영향을 주고 있습니다.

중대 전기기술자는 「나는 強電계통이므로 弱電은 몰라」라고 말할수가 있었습니다. 그러나 Thyristor가 強電分野에 점차로 많이 사용되게 된 오늘날 그러한 말은 이미 참다운 기술자로서는 할수가 없게 되었습니다. Thyristor를 이용하여 전력을 變換制御할때는, 任意量을 검출, 증폭하여 遲滯없이 하나의 Thyristor를 on, 또하나의 Thyristor는 off가 되도록 Gate Pulse를 가

하여줄 필요가 있습니다. 이 Gate Pulse회로는 인간의 神經系에 상당하는 것으로서, 이 指令에 따라서 Thyristor가 동작하는 것입니다. Gate회로는 전자회로이므로, 소위말하는 弱電知識이 없다면 우수한 Thyristor를 사용하기 어려우며 또한 制御系의 동작을 이해할수 없습니다. 이와같이 Thyristor는 弱電과 強電을 연결시켜주며, 다스려가는 神과 같은 역할을 하고 있습니다.

d) 전력기술에 있어서의 周波數變換裝置의 意義

직류를 任意周波數의 교류로 變換시키는 장치를 Inverter 주파수, f_1 의 교류를 직접 주파수 f_2 의 교류로 變換시키는 장치를 Cycle Converter라고 합니다. 이러한 Inverter와 Cycle Converter의 연구는, 모두 格子付水銀整流器가 발명된 이래 시작되었지만, 그 신뢰성, 경제성이 비약적으로 進歩한 것은 Thyristor의 발명이후입니다.

이것은 Thyristor가 水銀整流器에 비하여 이미 말씀드린바와 마찬가지로, 여러가지 이점을 갖고있으며, 回路의 연구가 진행되고 있기 때문이며 또한 최근 集積回路(IC)의 기술이 진보되어 장래 Thyristor의 Gate회로가 보다 소형, 경량, 염가로 된다면 Inverter나 Cycle Converter는 보다 널리 사용되게 될 것입니다.

Inverter나 Cycle Converter와 같은 주파수 變換裝置의 進歩는 전력의 變換이나 制御에 큰 영향을 주었습니다. 그 이유로서 다음과 같은 사항을 들을수 있습니다.

즉 전력의 姿態에는 전압, 전류, 주파수의 셋입니다. 소위 弱電分野에서는 이러한 세가지를 자유로 사용하여 다양한 기술을 전개시키고 있습니다. 強電分野에서는 직류와 商用周波數인 50Hz, 60Hz의 고정된 주파수만을 가지고서 전력기술을 전개시켜왔습니다. 이러한 사실은 대전력의 周波數變換이 경제적으로 곤란하기 때문이었습니다. 이러한 곤란성은 예를 들어 Thyristor가 출현하였다고 하여 간단히 解消될문제라고 생각되지 않습니다만은 경제적으로 신뢰성이 높은 周波數變換器가 탄생된다면 주파수를 고정된 상태에서 개발되어온 電力變換制御의 종래기술에 혁명적인 진보를 가져올 수 있으리라고 생각합니다.

예를 들어 유도전동기, 동기전동기의 速度制御는 전원의 周波數制御로서 간단히 할수 있게되어 종래의 極數變換방식, Krämer, Scherbius방식과 같은 것은 無用之物이 될런지도 모르겠습니다. 또한 종래에 일정주

파수에서 동기전동기를 시동시키는 방법에도 상당한 무리가 있었습니다. 이러한것을 低周波에서 始動시켜서서히 주파수를 올려주면, 同期機의 시동은 극히 용이하게 될 것입니다.

또한 직류기, 交流整流子機와 같이 整流子를 가지고 있는 기계는 速度制御가 용이하다는 것은 여러분도 이미 알고계실것입니다. 왜 이와같이 速度制御가 용이하게 되는가를 말씀드리자면 이러한 기계는 整流子라고 하는 일종의 周波數變換機를 갖고 있기 때문입니다. 그러나 이러한 整流子는 아시는 바와같이 保守面에서 본다면 일종의 癌의 존재인 것입니다. 그래서 이러한 整流子를 Thyristor Inverter로서 대체할 수 없을까 하는 것을 생각하게 되었습니다. 이와같은 착상하에 연구를 시작하여, 최근 드디어 실용화된 것이 無整流子電動機입니다.

이와같이 Thyristor는 周波數變換器의 중요한 素子로서 새로운 전기기계를 만들기도 하고, 종래의 機種을 개량하기도 하며, 駭動法에 新機軸을 세우기도 하였습니다.

표4는 Powerelectronics분야에서의 최근기술의 傾向을 나타내주고 있습니다.

표 4. 최근의 技術傾向

對象量 혹은 裝置	從來의 方式	今後의 方式
直流의 廣範圍速度 制御	Ward Leonard System	Static Leonard System
周波數 變換	MG方式	Inverter 혹은 Cycloconverter
先周波定電壓 裝置 (電子計算機用電源)	Krämer 방식에 의한 同期發電機 駭動	Inverter
直流電壓	MG方式	SCR을 利用한 Chopper 方式
高周波의 發生 (20KHz 程度까지)	高周波 發電機	時分割方式의 Inverter
交流電壓의 加減 (調光裝置)	誘導電壓調整器	SSS를 利用한 點弧位相制御

SCR의 구체적인 응용예를 이 기회에 말씀드리고 싶지만 지면관계상 다음기회로 미루겠습니다.

요는 비교적 진보가 느리며 고전적 기술이라고 생각되는 強電分野에도 Thyristor의 출현에 의하여 그 기술적 내용이 현저히 진보하여 現狀의 기술을 20년전의 기술과 비교하여 본다면 隔世의 감이 있습니다.