

電力系統用 파워일렉트로닉스 機器

최근 전력설비 운용상의 여러 가지 과제에 대한 유망한 해결책으로서 파워일렉트로닉스 기기를 사용한 FACTS (Flexible AC Transmission System)가 주목을 받고 있다. 그중에서도 자력식(自動式) 변환기를 사용한 FACTS 기기는 계통의 유효전력·무효전력을 계통의 상태에 의존하지 않고 자유롭게 제어할 수 있어, 계통운용의 유연성을 비약적으로 확대할 수 있는 가능성이 있다.

미쓰비시電機는 전력기간계통에서의 자력식 변환기 응용의 파이어니어로서 1991년에 간사이電力(株) 犬山開閉所에 80Mvar SVG(정지형 무효전력발생장치)를 납품하였으며 또한 資源에너지廳의 “연계강화기술개발(連系強化技術開發)” 보조사업으로 도쿄電力(株)을 비롯하여 전력회사 각사, 電源開發(株)와 (財)電力中央研究所의 지도하에 3단자 BTB(Back to Back) 실증시스템용으로 세계 최초의 6인치 GTO(Gate Turn-off Thyristor)를 사용한 53MVA의 자력식변환기를 제작납품하여 수백MVA 클래스의 자력식변환기 제작기술을 확립하였다.

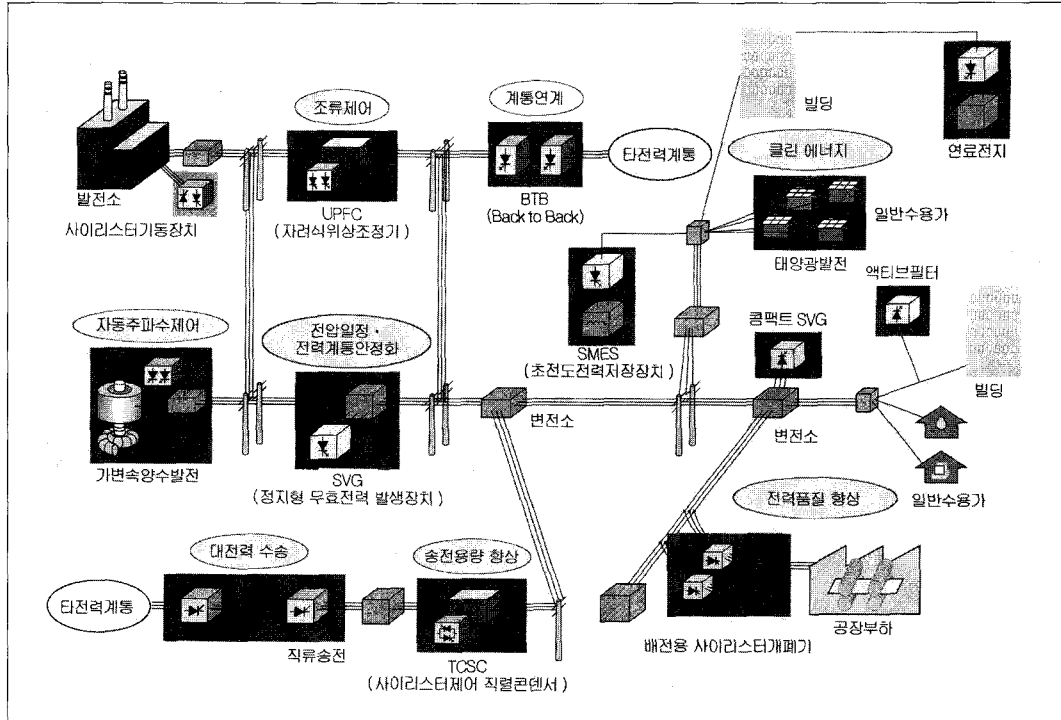
또한 최근에는 동사가 개발한 신소자 GCT(Gate Commutated Turn-off Thyristor)는 지금까지 대용량 자력식 변환기의 커다란 과제였던 운전손실을 반감할 수 있을 것으로 기대되고 있다.

한편 배전분야에서는 전압변동, 고조파, 순간전압강하 등의 과제가 증가하고 있어, 미쓰비시電機는 이에 응할 수 있는 파워일렉트로닉스 기기로서 콤팩트 SVG(Static Var Generator), SSTS (Solid-state Transfer Switch), 액티브필터를 다수 납품하여 전력품질문제 해결에 공헌하고 있다.

1. 머리말

21세기를 눈앞에 두고 전력계통은 해외에서나 일본에서나 경쟁원리 도입에 따른 효율화와 저(低)코스트화, 송전선 신설 등 설비증강의 어려움, 환경부하가 적은 발송배전시스템의 실현 등 여러 가지 당면과제에 직면하고 있다. 이와 같은 문제를 해결하는 유망한 대책의 하나로서 파워일렉트로닉스 기기(이하 “파워일렉트로 기기”라 한다)가 주목을 받고 있다. 전력분야에서의 파워일렉트로 기기의 응용은 예로부터 직류송전과 발

전기의 사이리스터 여자 등에서 추진되어 왔으나, 1980년대에 들어 사이리스터의 고속스위칭기능을 살린 정지형 무효전력보상장치(Static Var Compensator : SVC) 등 새로운 기기의 도입이 시작되면서 기대가 높아지고 있다. 이것은 정보분야에서의 반도체 개발에 따라 전력용 반도체소자의 제조기술도 발전하여, 정격 6kV에 6kA라는 대용량이며서도 잘 파괴되지 않는 사이리스터와 GTO소자가 출현하게 된 것과 마이크로프로세서와 DSP(Digital Signal Processor) 등의 출현으로 파워일렉트로 기기의 심장부인 제어회로가 고



〈전력계통에서의 파워일렉트로닉스기기의 적용분야〉

자기소호형 반도체소자의 급속한 진보로 전력계통에 적용가능한 대용량 자력식변환기가 실용단계에 들어섰다. 이들 파워일렉트로닉스기기는 전력계통의 발전·송전·배전의 여러 곳에 적용 가능하여 계통의 보다 유연한 운용 및 전력품질의 향상을 가능하게 한다.

속·고기능화됨과 동시에 그때까지 사용되던 반(盤) 1면 정도의 크기에서 손바닥에 놓을 수 있을 만큼의 크기로 소형화되었으며 또한 값이 싸졌다는 점 등을 들 수 있다.

발전과 송전부분의 분리와 경쟁원리의 도입을 세계에 앞서 실시한 영국에서는 발전지점의 급격한 변화로 북부에서 남부으로의 조류증가로 인한 안정도문제, 남부부하지대의 전압 유지에 공헌하고 있던 노후화력의 폐지에 따른 전압문제 등 규제완화로 인해 송전망에의 부담은 오히려 증가하였다. 이 때문에 송전망의 증강이 필요하게 되었는데, 그러나 수요만큼 급속히 증강하기는 어려웠다. 그래서 SVC나 SVG(유럽, 미국에서는

STATCOM(Static var Compensator)라고 불리우며 일본에서는 자력식 SVC라고 불리우기도 한다)이 다수 도입되었다. 이것들은 송전선이 선적확대(線的擴大)에 의한 대책인데 대하여 변전소에 설치하면 되는 대책(1지점에 집약한 대책)으로서 용지취득이나 송전선부설권 획득을 위한 코스트 및 기동성면에서 유리하다는 점이 영국의 니즈에 부합된 것으로 생각된다.

이와 같은 파워일렉트로 기기에 대하여 미국의 전력 연구소 EPRI(Electric Power Research Institute)의 Hingorani 씨는 유연한 교류송전이란 의미인 FACTS라는 개념을 제창하고 있다. FACTS에는 4단계가 있다고 한다. 즉 제1단계가 사이리스터제어 직렬

콘덴서(Thyristor Controlled Series Compensator : TCSC) 제2단계가 SVG, 제3단계가 자려식이상기(Unified Power Flow Controller : UPFC), 제4단계가 자려식 BTB(Back to Back 직류연계)이다.

이 중에서는 자려식변환기가 중요한 요소가 되고 있다. 자려식변환기는, GTO 등 자기소호능력을 갖는 소자로 구성된 변환기로 공업분야·전철분야에서 널리 이용되고 있는데, 소자능력의 향상으로 전력분야에서 다루는 것과 같은 큰 전력의 변환이 가능해져 1991년에 SVG에 이용된 것을 필두로 이용이 확대되고 있다.

특히 최근에는 배전분야에서의 파워일렉트로 기기 응용이 증가하고 있다. 이것은 송전선 증강 등의 본격적인 대책은 아니고 저코스트로 전력품질을 유지향상시키는 것을 목적으로 하고 있으며 부하변동에 의한 전압변동을 억제하는 콤팩트 SVG(유럽, 미국에서는 D-STATCOM), 반도체공장에 무정전전원을 공급하는 SSTS(사이리스터 스위치로 상용/예비의 배전선을 순시에 전환하는 장치), 콤팩트한 장치이며 또한 부차적인 공진현상을 염려하지 않고 고조파를 억제할 수 있는 액티브필터 등이 주목받고 있다.

이하에 자려식변환기를 이용한 전력용 파워일렉트로 기기의 개발현황과 최근에 주목받고 있는 배전분야에서의 파워일렉트로 기기(Custom Power)에 대하여 기술한다.

2. 自勵式變換器와 電力系統에의 적용

가. 自勵式變換器의 특징

타려식(他勵式) 변환기가 사이리스터나 다이오드 등 'On' 상태에서 'Off' 상태로의 이행을 자유롭게 제어할 수 없는 소자를 사용하고 있는데 대하여, 자려식변환기는 GTO와 IGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor)로 대표되는 자기소호형 소자를 사용함으로써 On/Off 상태를 자유롭게 제어할 수 있다. 그 결과 타려식인 경우와 같이 교류계통의 전압위상에 의존함이 없이 운전위상을 임의로 설정할 수 있어, 계통가운데 제어가 가능한 이상전압원(理想電壓源)을 주입할 수가 있다. 또 이 전압원은 반도체 스위칭소자의 고속제어로 전압위상과 전압진폭을 수 μ s로 제어할 수 있다. 이러한 우수한 제어성은 전력계통의 고속이며 유연한 운용을 가능케 하여 그 설비효율을 비약적으로 향상시키는 FACTS 기기로서 활용될 수 있다.

표 1에 자려식변환기와 타려식변환기의 특징을 비교하여 나타내었다.

자려식변환기에 사용되는 자기소호형 소자는 요사이 수년내에 비약적인 진보를 이루어 대용량의 것을 얻을 수 있게 됨으로써 현재는 송전계통에 충분히 적용 가능한 용량(수십MVA~수백MVA)의 변환장치가 제작 가능하게 되었다.

〈표 1〉 타려식변환기와 자려식변환기의 특징 비교

비교항목	타려식변환기	자려식변환기
무효전력제어	유효전력에 의존하여 발생무효전력이 결정된다. 무효전력 제어에는 조상설비가 필요하게 된다.	유효전력과 무효전력을 독립적으로 제어할 수 있다. 변환기로 무효전력 제어를 할 수 있다.
운전조건	안정된 스위칭 동작을 위해서는 계통전압이 안정되어야 할 필요가 있고 전원이 없는 경우에는 운전할 수 없다.	스위칭 동작이 계통전압에 의존하지 않기 때문에 전원의 교란에 강하고 전원이 없는 경우에도 운전이 가능하다.
고 조 파	고조파 발생량이 회로구성에 따라 결정되며 억제에는 필터가 필요하다.	다(多)펄스 PWM제어로 고조파전류를 억제할 수 있어 필터가 작아진다.
손 실	소자의 스위칭로스, 스나버의 손실 공히 작다.	소자의 스위칭로스 스나버의 손실이 크다.

나. 電力系統에의 적용 예

자려식변환기를 전력계통에 적용함으로써 계통의 무효전력·유효전력을 자유롭게 제어할 수 있게 되어, 계통운용의 자유도가 비약적으로 증가한다. 자려식변환기를 사용한 FACTS 기기의 특징은 다음의 2가지이다.

- 계통의 상태에 의존하지 않고 조류나 전압을 제어할 수 있다.
- 고속(ms 오더)으로 또한 연속적으로 상태를 변화시킬 수 있다.

표 2에 자려식변환기를 사용한 FACTS 기기의 종류와 그 도입상황을 표시하였다.

미쓰비시電機는 '75년경부터 자려식변환기를 전력계통에 접속하기 시작했으며 간사이電力과 공동연구로 20MVA의 SVG 프로토타입을 제작하였고 '80년에 세계에 앞서서 실계통에서의 필드시험을 실시하였다.

세계에서 최초로 자려식변환기가 전력계통에 도입된 것은 '91년이다. 동사와 간사이電力과의 공동개발에 의한 80MVA의 GTO-SVG가 犬山開閉所에 설치된 것이 최초로 이 SVG는 현재까지 8년간, 계통운용에 사

용되어 오고 있다.

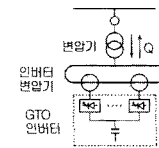
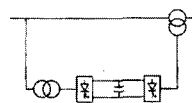
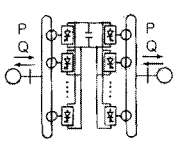
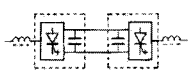
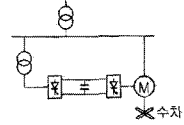
그후 동사는 '98년에 홋카이도電力 高見發電所의 가변속 양수발전시스템에 2차여자장치로서는 세계에서 처음으로 자려식변환기를 적용하고 있다.

다. 自勵式 BTB의 實證試驗

자려식변환기를 전력계통에 도입하기 위하여 최근 資源에너지廳의 보조사업 계획에 따라 전력 9개사, 電源開發(株) 및 (財)電力中央研究所가 참가하여 차후 300MW급의 자려식 직류송전에 사용할 것을 목표로 GTO 변환기를 개발하고 있다. 구체적으로는 6인치 웨이퍼의 대구경(大口經) GTO(6kV, 6kA)를 사용한 53MVA의 자려식변환기를 3대 제작하여 현재 도쿄電力의 新信濃變電所에서 3단자 BTB로서 필드시험을 실시하고 있다.

미쓰비시電機는 이 개발의 일부를 위탁받아 1단자분의 설비를 제작하여 납품하였다. 표 3에 변환기 1단자의 개요를, 그림 1에 변환기 구성을 표시하였다. 변환기는 4단 다중구성(多重構成)이며 1단은 3상 브리지로

〈표 2〉 자려식변환기에 의한 FACTS 기기와 도입 상황

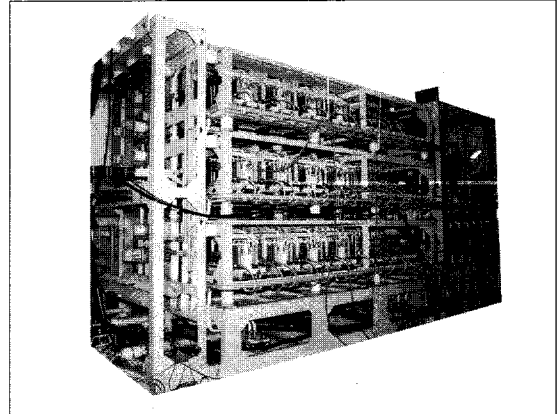
기계명	SVG	UPFC	자려식 BTB	HVDC-Light	가변속양수
목적	안정도 향상·전압제어	조류제어·안정도 향상	조류제어·안정도 향상 이(異)주파/비동기연계 단락용량억제·계통분리	이도(離島)에의 케이블 송전 약소계통의 전압안정화	부하평준화·피크컷 펄스수차호출 향상 주파수 조정·안정도 향상
구성					
원리	발생전압의 진폭을 가변시켜 계통에 공급하는 무효전력을 제어한다.	계통에 직렬로 전압원을 삽입하여 진폭과 위상을 가변시킴으로써 조류, 임피던스를 제어한다.	발생전압의 위상과 진폭을 가변하여 유효전력과 각 단자의 무효전력을 독립적으로 제어한다.	유효·무효전력의 독립제어로 일단(一端)에서 직렬전압을 다단(多端)에서 조류를 제어함과 동시에 교류전압을 안정화한다.	발전계 2차측을 가변주파수의 교류로 여자하여 회전자의 속도를 가변시킨다.
적용예	1991년 간사이電力 80MVA 1996년 TVA 100MVA	1998년 AEP 160MVA	1998년 資源에너지廳 연계강화기술개발 53MVA	1999년계획 GEAB 50MW	1993년 홋카이도電力 28MVA 1997년 전원개발 31.5MVA

〈표 3〉 53MVA 변환기의 개요

변환기 용량	53MVA
교류단자전압	4.623V
직류 전압	10.6kV
주회로 구성	2레벨 3상 브리지 인버터 4단 다중
소자 구성	GTO소자(6kV, 6kA) 4S×1P×6A×4단
PWM 펄스 수	동기식 9펄스 변조(450Hz)
냉각 방식	순수순환 수냉방식

구성하고 브리지의 각 Arm은 GTO를 4개 직렬접속(4S)하고 있다. 변환기 1단의 외관을 그림 2에 표시하였다.

대전류의 차단을 실현하기 위해서는 GTO Off시에 배선 Bus Bar의 기생(寄生)인덕턴스가 소자 AK 간에 발생시키는 스파이크전압을 억제하는 것이 중요하다. 특히 대구경 소자가 되면 필수록 구조가 커져서 배선이 길어지기 때문에 기생인덕턴스도 커지는 경향이 있다. 그림 3에 표시하는 1S분의 GTO 유닛에서는 스나버 다이오드, 스나버 콘덴서를 평행도체로 최단배선함으로써 스나버회로의 인덕턴스(Ls)를 극한까지 저감시키는 구조를 취하고 있다. 또 직류콘덴서와 PN

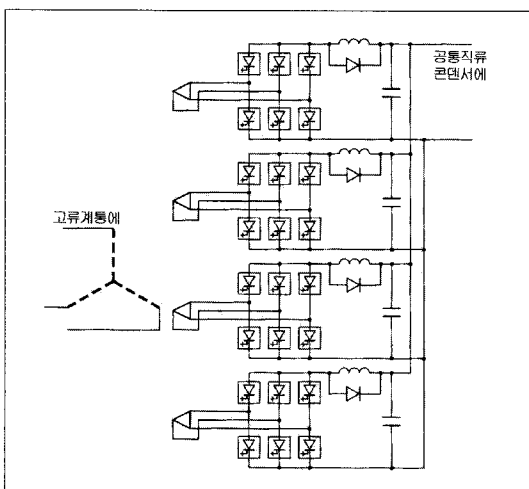


〈그림 2〉 GTO 변환기의 외관

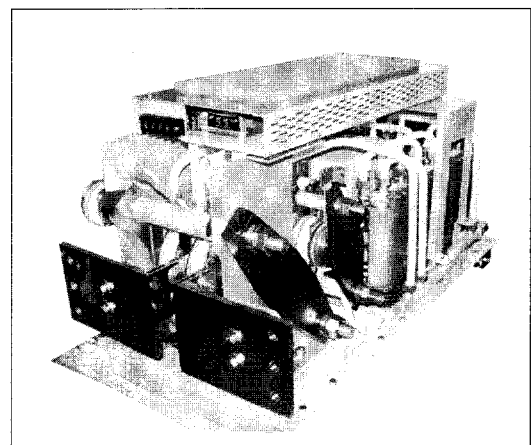
Arm 간의 전류(轉流)인덕턴스를 최소화하기 위하여 1상분의 4S모듈의 P측 Arm과 N측 Arm을 등을 맞대는 배치로 함과 동시에 폭넓은 평행왕복도체를 사용하고 있다.

이러한 구조에 의해 직류전압 10.6kV로 부하전류피크 5.0kA를 차단하였을 때의 스파이크전압의 파형을 그림 4에 표시한다. V_{DSP} 는 0.6kV, V_{DRM} 은 4.8kV로 억제되고 있다.

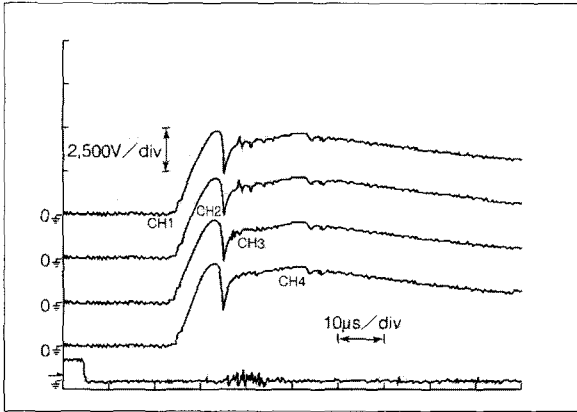
6인치 GTO를 사용한 300MVA급의 변환기를 제작하는 기술은 거의 확립되었다고 생각된다. 앞으로 新信



〈그림 1〉 GTO 변환기의 구성



〈그림 3〉 GTO 유닛



〈그림 4〉 GTO의 턴오프시의 AK간 전압

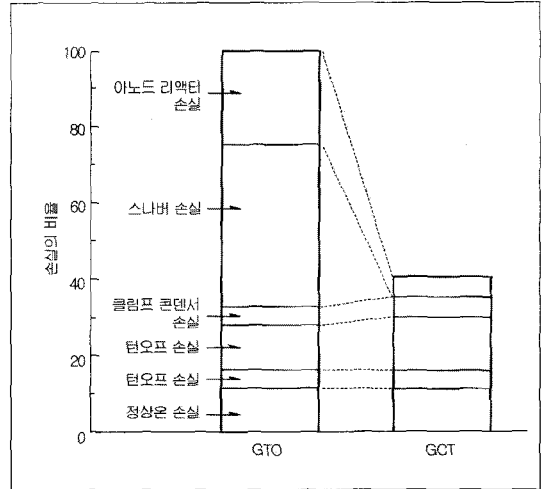
濃에서의 필드시험으로 전력계통에의 적용가능성이 검증되어 실용화를 향하여 크게 진전될 것으로 기대된다.

라. 自勵式變換器의 장래기술

여기서 장래기술에 대하여 기술한다. 자려식변환기는 타려식에 비하여 많은 이점을 갖고 있으며 FACTS 기기로서 실계통에 도입되고 있다. 그러나 타려식에 비하여 운전손실이 크다는 문제가 있었다. 이에 대하여 최근 동사에서 개발한 새로운 자기소호형 소자 GCT는 자려식변환기의 과제였던 손실을 대폭 저감시킬 수 있는 가능성을 갖고 있어, 장래 자려식변환기의 FACTS기기에의 적용 확대에 크게 기대되고 있다.

GCT는 GTO의 게이트구조를 개량하여 모든 주전류(主電流)를 게이트에 전류(轉流)시킴으로써 고속 스위칭을 가능케 한 소자로, 지금까지 소자의 스위칭동작을 안정되게 하는데 필요했던 스나버회로는 불필요하게 되었다. 그 결과 스나버회로의 손실이 없어지고 변환기의 전체손실이 현재의 GTO(스나버에너지 회생 없음)의 약 1/2로 된다. 또한 스나버 주변의 부품수가 감소되기 때문에 기기의 신뢰성이 향상되고 치수도 작게 할 수 있다는 이점이 있다.

그림 5에 단상 풀 브리지의 2레벨 인버터로 GTO와



〈그림 5〉 GTO 변환기와 GCT 변환기의 손실 비교

GCT의 손실을 비교하여 표시하였다.

GCT의 이점을 최대한으로 살리기 위해서는 그림 6과 같이 1Arm당 소자의 직렬접속을 없애고 소자마다의 스나버회로를 완전히 생략하는 것이 바람직하다.

또 탁상검토단계이지만 GCT로 변환기를 제작한 경우 설비효율에서는 거의 타려식과 동등하게 되어 AC 필터, 조상설비가 불필요하게 되기 때문에 설치면적에서는 약 1/2로 된다는 결과가 보고되고 있다.

3. 配電系統에 있어서의 파워일렉트로닉스

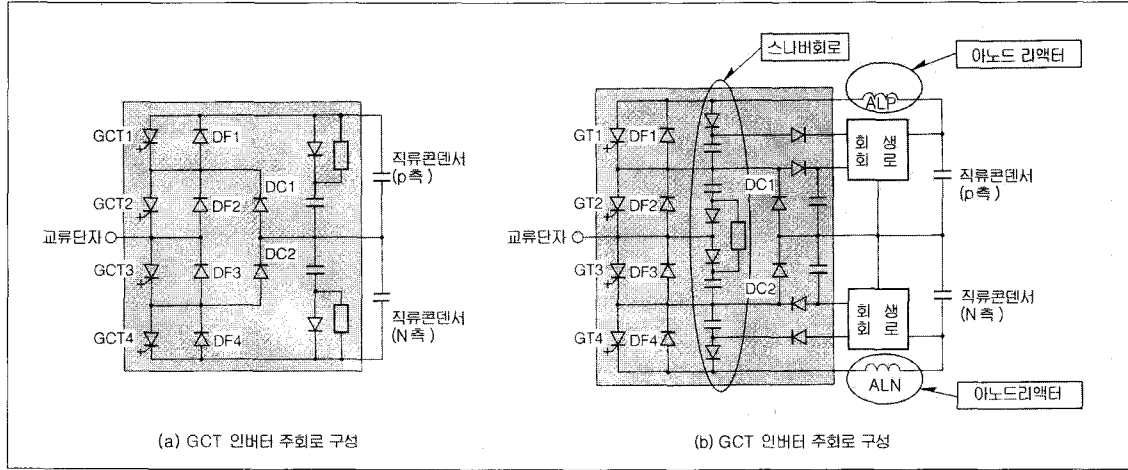
가. 配電用 파워일렉트로機器의 개요

배전용 파워일렉트로 기기는 주로 배전계통의 전력품질 향상과 클린에너지 전원을 목적으로 도입되고 있다.

이것들은 CP(Custom Power)라고 불리며 여러 가지 기기가 실용화되었거나 또는 실용화 연구단계에 있다.

전력품질 향상을 목적으로 하는 기기에서는 표 4의 기기가 이미 실용화되어 있다.

또 클린에너지 전원기기로서는 표 5의 기기가 이미



〈그림 6〉 GTO 인버터와 GCT 인버터의 회로 비교

〈표 4〉 전력품질 향상을 목적으로 한 배전용기기

No	적용 기기	적용 목적
1	배전용 사이리스터 개폐기	주요 공장전원의 고속전환
2	컴팩트 SVG	플리커 전압변동 억제
3	액티브 필터	고조파 억제

〈표 5〉 클린에너지 전원용 기기

No	적용 기기	적용 목적
1	태양광발전	태양전지에 의한 발전
2	연료전지	인산형 등 연료전지발전
3	초전도전력저장장치	에너지 저장(연구단계)

실용화 또는 연구단계에 있다. 이중 파워일렉트로 기기는 발전장치 및 에너지저장장치(주로 직류전원)와 배전계통(교류전원)을 접속하는 교직변환장치로서 사용되며 클린에너지의 유효이용을 위해 특히 변환기의 고효율화가 요구되고 있다.

이들 CP기기는 배전계통에 사용되는 성격상 중소용량의 변환기가 많고 또 2의 가에서 기술한 변환기의 특성에서 전력용반도체로서 주로 IGBT, IPM, 4인치 GTO(GCT)를 사용한 자력식변환기가 적용된다.

이와 같이 현재 실용화되어 있는 배전용 파워일렉트

로기기의 용도는 전력품질 향상용과 클린에너지 전원용으로 대별되는데 앞으로 기기의 기술개발과 배전계통의 고도화에 따라 이들 2계열의 용도가 융합되어 더욱 발전해 나갈 것으로 생각된다.

아래에는 주로 전력품질 향상을 목적으로 하는 배전용 사이리스터개폐기, 컴팩트 SVG, 액티브필터에 대하여 소개한다.

나. 배전용 사이리스터 개폐기

빌딩과 공장 등의 전기기기에는 엘리베이터, 공조기 등의 모터기기, 이것들을 제어하는 인버터, 컴퓨터, 통신기기 등 그 종류의 다양화와 함께 전원의 교란(擾亂; 정전이나 순시전압 강하)에 의한 기기의 오동작/정지가 기업활동과 시민생활에 미치는 영향이 큰 기기가 증가하고 있다.

이에 대하여 각 수용가에서도 2회선 수전, 자가발전설비 및 무정전전원장치의 설치 등으로 주요부하에 대한 전력의 안정화 공급을 위하여 노력을 기울이고 있다.

그러나 현재 수용가배전설비에서 사고 계통의 개방이나 건전계통의 투입에 사용되고 있는 개폐기기는 일

반적으로 50ms 이상의 개폐시간을 필요로 하기 때문에, 경우에 따라서는 운전정지/오동작이 되는 부하기도 있어 보다 고속의 개폐기능이 요구되고 있었다.

이에 대하여 동사에서는 개극시간 1ms 이하의 기계식 고속스위치를 개발하여 사이리스터 스위치와 병렬 접속하는 구성으로 차단시간 1사이클 미만, 투입시간 순시로 또한 정상통전손실을 거의 제로(Zero)로 할 수 있는 하이브리드형 사이리스터 고속차단기를 제품화하였으며 표 6에 이 제품의 표준사양을 표시하였다.

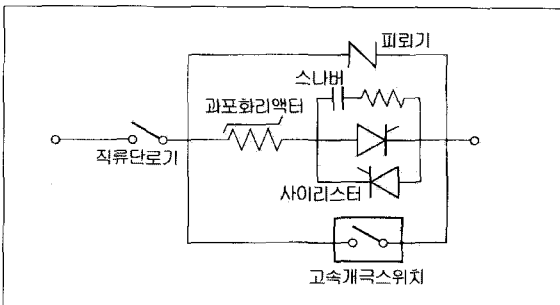
이 장치에는 12kV 초고내압 사이리스터를 사용하고 있으며 정격전압 7.2kV의 장치에서는 소자의 직렬접속을 필요로 하지 않는 등 콤팩트한 구성이 가능하게 되고 있다.

그림 7에 회로구성(1상분), 그림 8에 장치의 외관을 표시한다.

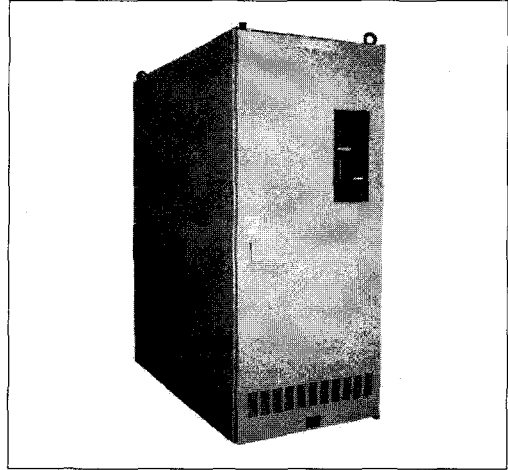
이 하이브리드형 사이리스터차단기를 그림 9 (a)의 상용예비 2회선 전환(SSTS), 그림9 (b)의 자가발전계통과 수전계통의 연계에 적용함으로써 계통 교란시의

〈표 6〉 하이브리드형 사이리스터 차단기의 표준사양

정격전압	7.2kV/15kV			
정격전류	200A	400A	600A	1,200A
주 파 수	50/60Hz			
상 수	3상			
차단전류	12.5kA(1사이클)		25kA	
차단시간	1사이클 미만			
냉각방식	自冷			

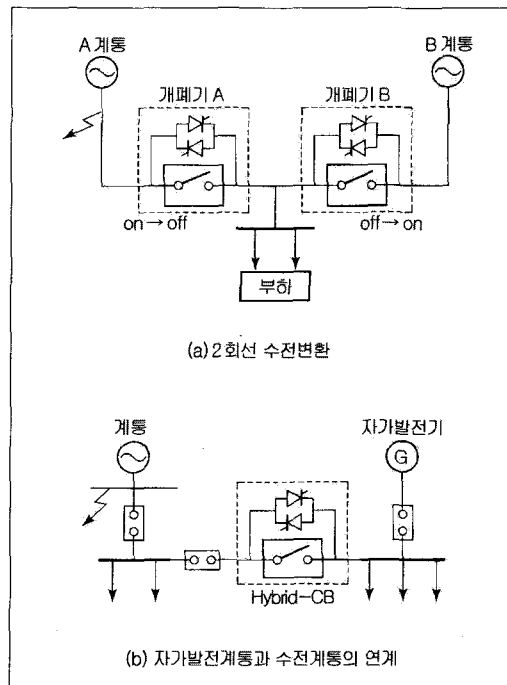


〈그림 7〉 하이브리드형 사이리스터 차단기회로 구성(1相分)

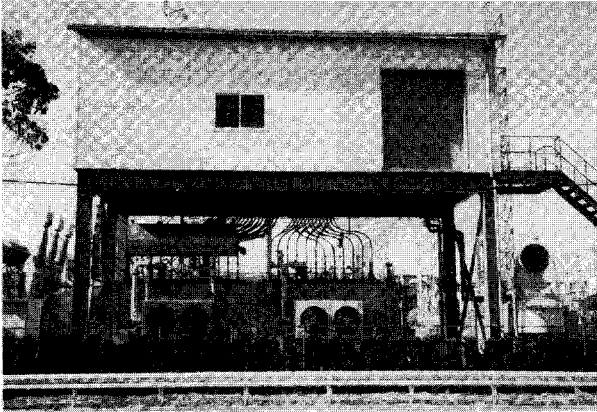


〈그림 8〉 하이브리드형 사이리스터 차단기의 외관

수전계통 고속전환(1/4 사이클)과 수전계통 사고시의 자가발전계의 고속분리가 가능하게 되어 부하기기에의 전력공급신뢰도를 비약적으로 향상시킬 수가 있다.



〈그림 9〉 배전계통에의 적용 예



〈그림 10〉 20 MVA 콤팩트 SVG 설치 예

다. 콤팩트 SVG(D-STATCOM)

배전계통에서 SVG는 아크로(爐) Flicker 억제장치, 대형전동기 기동시의 전원전압강하 억제 및 교류궤전(饋電)의 전기철도 등 대형 단상부하에 의한 3상불평형 보상에 적용되는 일이 많고 그 용량은 수십MVA 정도의 것이 많다.

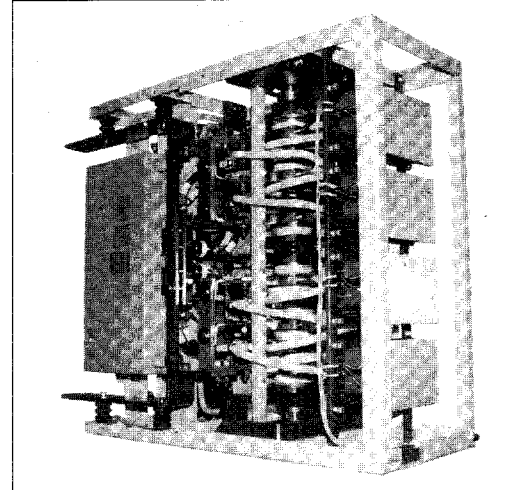
동사는 고성능 GTO 소자와 소자능력을 최대한으로 활용할 수 있는 신회로방식의 채용으로 설치면적 1/3, 체적 1/4(동사 종래대비)의 대폭적인 콤팩트화를 실현한 콤팩트 SVG를 제품화하였다. 이 SVG는 소형경량화에 의하여 설치장소의 제약이 적어질 뿐만 아니라 이 설이 용이한 Relocatable SVG의 제작도 가능하다.

그림 10은 20MVA의 콤팩트 SVG의 설치 예로서 설치면적은 70m²이다.

그림 11에는 GTO 인버터유닛의 외관을 표시하였다.

라. 액티브 필터

액티브 필터는 정류기부하 등이 발생하는 고조파의 보상, 진상콘덴서에 대신하는 역률보상 외에 대형전동기 기동시의 전압강하 보상용도에 쓰이게 된다.



〈그림 11〉 GTO 인버터 유닛의 외관

동사에서는 주회로를 구성하는 반도체 소자로서 대용량 IGBT를 적용한 변환기의 대용량화와 고속스위칭을 가능케 하여 고조파 보상범위로서는 2차~25차를 대상으로, 용량범위로는 50kVA~5,000kVA를 시리즈화하고 있다.

4. 맺음말

이상 전력계통용 파워일렉트로기기의 동향에 대하여 간단하게 설명하였다. 파워일렉트로기기는 고속제어성과 콤팩트성 등 다른 전력기기에 없는 특징이 있으나 코스트면 등의 문제로 도입 예는 많지 않다. 그러나 SSTS 등 순간정전을 꺼리는 반도체공장 등 유저의 니즈에 맞는 것은 착실하게 증가하고 있다. 앞으로는 수용현장에 보다 가까이 다가가 파워일렉트로기기의 인지도를 높임과 동시에 니즈에 정확하게 응답하는 고가치의 제품개발에 더욱 진력하고자 한다. ■

이 원고는 일본 三菱電機技報에서 번역, 전재한 것입니다. 본 고의 저작권은 三菱電機(株)에 있고 번역책임은 대한전기협회에 있습니다.