

## 100MVA STATCOM IGCT GDU 전원공급장치(HFI) 설계

한영성\*, 정정주\*, 최종윤\*\*, 박용희\*\*, 서인영\*\*, 윤종수\*\*\*, ,  
한양대\*, (주)효성\*\* 한국전력공사 전력연구원\*\*\*

### Design of IGCT GDU Power Supply System(HFI) for 100MVA STATCOM

Youngseong Han\*, Chungchoo Chung\*, Jongyun Choi\*\*, Yonghee Park\*\*, Inyoung Suh\*\*, Jongsoo Yun\*\*\*  
Hanyang University\*, Hyosung Corporation\*\*, KEPRI\*\*\*

**Abstract** - 한전 전력연구원이 주관하고 (주)효성이 참여하는 협동연구 과제로 100MVA STATCOM(Static Compensator)개발이 수행 중에 있다. 100MVA STATCOM의 반도체 스위칭 소자로는 IGCT(Integrated Gate Commutated Thyristor)를 사용하고 있다. 본 논문에서는 IGCT GDU(Gate Drive Unit)전원공급장치인 HFI(High Frequency Inverter) 설계에 대하여 기술하고 있다

#### 1. 서 론

FACTS기술은 전력조류 및 계통안정도와 관련된 파라미터를 고속 정밀하게 제어하여 계통안정도 향상과 전력조류의 효율적 제어를 통해 전력수송능력과 계통 설비 이용률을 향상시킬 수 있는 신기술로서 대용량 전력전자 기술과 제어이론을 전력계통에 유연성을 불어 넣는 새로운 개념의 전력시스템 기술이다. FACTS 기기 중 STATCOM은 병렬보상장치로 실시간으로 무효전력을 제어하여 전압안정도 향상 및 계통의 혼잡 비용 저감 등의 효과를 볼 수 있다[1]. (주)효성과 전력연구원이 개발 중인 345kV 100MVA STATCOM시스템은 IGCT소자 8개를 직렬로 접속하여 하나의 스위치 밸브를 구성하게 된다. 이러한 고압, 대전류 반도체 소자의 게이트 구동 회로는 고압의 주 회로와 절연되지 않은 경우가 일반적이므로, 게이트 구동용 전원은 충분한 절연 내력을 확보하여야 한다. 이러한 문제를 해결하는 방법 중의 하나는 고주파 인버터와 고압 게이트 이블이 관통하는 전류 입력형 변압기를 이용하는 것이다. 본 논문에서는 IGCT GDU 전원공급용 고주파 전류 순환식 인버터(HFI)와 고주파 전류 입력형 변압기의 설계사항을 정리하였다.

#### 2. 본 론

##### 2.1 100MVA STATCOM 인버터 Pole 구성

345kV 100MVA STATCOM은 위상차를 가지는 3-Level NPC 3상 전압원 인버터 2조의 출력전압을 합성하여 최종 24펄스의 인버터 출력 전압을 형성시킨다. 즉 50MVA 3상 인버터 2대를 이용하게 되며 각 Pole의 정격은 16.7MVA가 된다. 3-Level NPC 3상 전압원 인버터는 1Pole에 4개의 스위치 밸브로 구성되며 각 밸브당 8개의 IGCT가 직렬 연결되어 있다. 또한 한 Pole에는 IGCT에 on/off신호를 공급하는 PMS(Pole Management System)이 포함되게 된다. 그러므로 HFI는 고주파 변압기를 통해서 한 폴 당 32개의 IGCT와 1개의 PMS, 총 33개 장치에 전원을 공급해야 한다.

##### 2.2 100MVA STATCOM용 IGCT GDU 정격

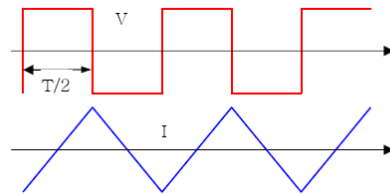
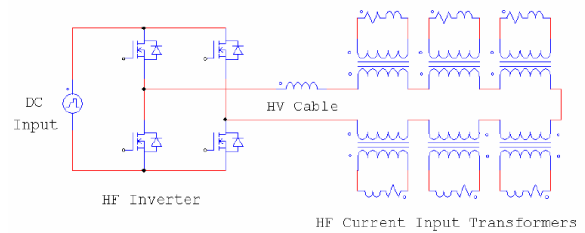
100 MVA STATCOM 에 사용할 IGCT(그림 1)는 ABB - 5SHY 35L4510 로 4.5 kV, 4000 A 급이며, 게이트 구동 전원으로서는 고주파 15 ~ 100 kHz, 28 ~ 40 V<sub>P-P</sub>, 30 ~ 40 W 가 필요하다.



〈그림 1〉 ABB IGCT-5SHY35L4510 (4500V 4000A)

##### 2.3 IGCT GDU 전원공급장치

###### 2.3.1 IGCT GDU 전원공급장치 개요

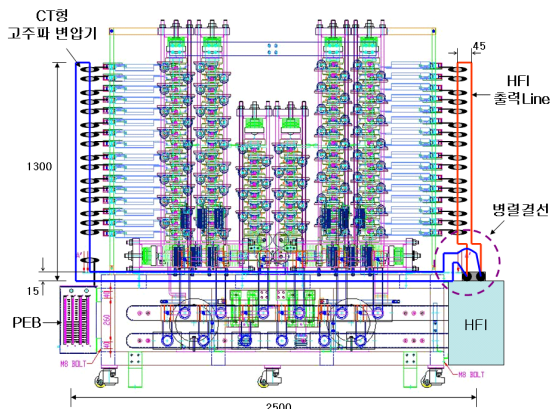


〈그림 2〉 고주파 전원장치 구성도 및 출력전압,전류 파형

IGCT GDU전원공급용 고주파 인버터 전원장치(HFI)의 구성도와 출력 파형이 그림 2에 나타나 있다. HFI는 전압원 인버터로 구성되어 있으며 IGBT소자를 이용해 스위칭한다. 출력전압은 구형파이며 출력전류는 CT형 고주파 변압기와 출력인덕턴스로 인하여 삼각파이다. CT형 고주파 변압기는 HFI의 출력전선에 연결되며 2차측에 구형파 전압을 형성시켜 IGCT GDU의 정격에 맞는 전압을 공급한다.

###### 2.3.2 IGCT GDU 전원공급장치 기본설계

HFI는 15kHz이상의 고주파 전압을 출력하는 단상 인버터이다. HFI는 7.5kVA의 용량으로 설계하며 DC입력전원은 120V이다. 또한 그림 3과 같이 HFI 출력이 병렬로 결선되어 각 출력선에 100A<sub>peak</sub>가 흐르도록 되어 있다.



〈그림 3〉 인버터 폴 설계도 및 HFI 출력결선

주파수는 입력전압과 출력인덕턴스에 의해 결정되므로 GDU 정격 15kHz이상이 되도록 다음과 같이 계산한다.

$$E_1 = L_1 \times \frac{\Delta I_1}{\Delta T} = 4 \cdot L_1 I_{peak} F$$

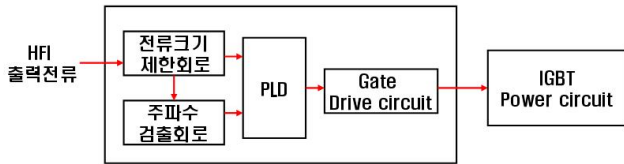
$$E_1 = 120 V, I_{peak} = 100 A, F > 15 kHz \quad (1)$$

$$L_1 \leq 20 \mu H$$

따라서 각 출력라인의 인덕턴스 합이 20uH를 넘지 않도록 설계한다.

### 2.3.3 HFI 제어회로 구성

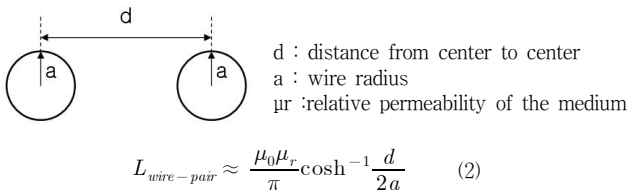
HFI의 제어회로는 크게 전류크기를 200A<sub>peak</sub>(100A<sub>peak</sub> 병렬)로 제한하기 위한 전류제한 회로와 15kHz이하의 저주파 스위칭을 방지하기 위한 보호회로로 구성된다. 그림 4는 제어회로 구성도를 나타낸다.



〈그림 4〉 HFI 제어회로 블록도

### 2.3.4 HFI 출력 인덕턴스 계산

HFI 출력선은 그림 3과 같이 병렬회로로 구성된다. Pole의 구조상 각 병렬출력선의 길이는 다르다. 이에 각 병렬회로의 인덕턴스를 계산하여 그 값이 큰 회로에 인덕턴스를 맞추어야 한다. 그림 3에 각 회로의 길이도 나타나고 있다. 각 회로길이에 따른 인덕턴스는 식 (2)에 의해 결정된다[2].



HFI 출력결선에 사용할 케이블은 도체 직경이 8.5mm이고 외경은 12.5mm이다. 왕복케이블의 도체 중심간격 또한 고주파 변압기 통과부분과 기타부분 각각 45mm와 15mm이다(그림 3참조).또 고주파 변압기 1개의 인덕턴스는 0.44uH이다. 식 (2)와 그림 3의 케이블 길이를 고려하면 HFI 출력케이블이 긴 구간과 짧은 구간의 인덕턴스는 다음과 같이 계산되어진다.

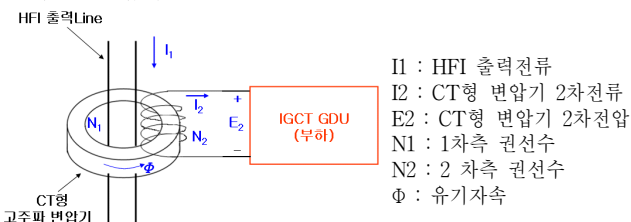
〈표 1〉 HFI 출력회로 별 통합 인덕턴스

항목	케이블 인덕턴스	고주파 변압기 개수	통합인덕턴스
출력 케이블 짧은 구간	1.22 [uH]	16개	8.26 [uH]
출력 케이블 긴 구간	2.389 [uH]	17개	9.869 [uH]

표 1에서 통합인덕턴스를 비교해 보면 각 회로의 통합인덕턴스의 차는 1.609uH로 계산할 수 있다. 고주파 변압기(0.44uH) 약 4개를 짧은 구간에 삽입하면 두 회로사이의 인덕턴스를 맞출 수 있다.

### 2.3.5 CT형 고주파 변압기 설계

CT형 고주파 변압기는 2차측 턴수에 비례하여 HFI 출력전류를 IGCT GDU 전원전압으로 변화시킨다. 고주파 변압기의 2차측 턴수는 식(3)으로 계산할 수 있다.



$$E_2 = N_2 \frac{d\phi}{dt}, \quad \phi = k(N_1 I_1 - N_2 I_2)$$

$$E_2 = k'(N_1 I_1 - N_2 I_2), \quad N_1 = 1$$

$$E_2 = k'(I_1 - N_2 I_2) \quad (3)$$

식 3에서 2차측이 무부하 시에서  $I_2=0$  이 되며 2차전압은  $E_{2NL}=k'I_1$ 으로 표현되고 부하 시에는  $I_2 \neq 0$  이므로 2차전압은  $E_{2L}=k'(I_1 - N_2 I_2)$ 로 표현할 수 있다. 부하변동 시에는 HFI 출력전류  $I_1$ 은 고정이고 2차전압 변동률은  $\Delta E_{2L}=k'N_2 I_2$  으로 나타낼 수 있다. 이를 통해서 무부하 상태와 부하상태사이의 전압변동률은 식(4)와 같이 유도된다.

$$\Delta E_2 = \frac{\Delta E_{2L}}{\Delta E_{2NL}} = \frac{k'(N_2 I_2)}{k' I_1} = \frac{N_2 I_2}{I_1} \quad (4)$$

IGCT GDU 입력전압 범위(28~40V)와 GDU 소모전력(30~50W)이 spec 상 명확하기 때문에 2차측 부하전류  $I_2$ 는 일정한 범위안에서 고정값으로 판단할 수 있다. 따라서 2차측 전압변동률을 줄이기 위해서는  $I_1$ 을 상승시키거나  $N_2$ 를 줄여야 한다. HFI 출력전류  $I_1$ 은 높이는 것은 주파수 문제와 IGBT의 정격, 방열등의 문제가 수반되므로 2차권선수  $N_2$ 를 최대한 낮추어 설계하는 것이 바람직하다.

고주파 변압기 1개에 걸리는 전압은 식 (5)를 통해 계산할 수 있다.

$$E_1 = \left( \frac{L_1}{L_T} \right) V_o \quad (5)$$

$L_1$  : CT 1차 인덕턴스(개당) : 0.44 uH  
 $L_T$  : 회로전체 인덕턴스 : 9.869 uH  
 $V_o$  : HFI 출력전압 : 120 V

위의 식으로CT 1차 무부하 전압을 계산하면 다음과 같다.

$$\frac{0.44}{9.869} \times 120 = 5.35 [V]$$

CT 개당 1차 무부하 전압을 고려하여 2차 권선수를 구하면 다음과 같다.

$$N_2 = \frac{E_2}{E_1} = \frac{40}{5.35} = 7.5 \text{ 회}$$

계산되어진 2차 권선수는 7.5회, 약 8회이나 마진을 고려하여 9회로 선정한다. 마진을 고려하는 이유는 2차 전압이 높을 경우  $L_1$ 과  $V_o$ 가 고정이므로  $L_T$ 를 증가시켜 2차측 무부하전압을 낮출 수는 있지만 실제 하드웨어 상의 오차에 의해 2차측 전압이 낮을 경우  $L_T$ 를 감소시킬 수가 없어 전압을 높일 수 있는 방법이 없기 때문이다

## 3. 결 론

본 논문은 345kV 100MVA STATCOM에 사용되는 전력소자인 IGCT의 GDU전원공급용 HFI시스템에 대한 전반적인 설계사항들에 대해 기술하였다. HFI시스템은 STATCOM 인버터의 가장 중요한 구성요소인 IGCT GDU에 전원을 공급하는 장치이므로 안정적이고 신뢰성이 높도록 설계되어야 한다. 해외 선진사에서는 이미 오래전부터 대용량 인버터를 이용한 FACTS 기술을 보유하고 있으나 국내에서는 아직 기술의 국산화를 이루지 못하였다. 본 논문에서 기술하는 HFI 설계사항들은 한국전력공사 전력연구원과 (주)효성이 함께 개발하는 100MVA STATCOM 시스템에 적용되는데 유용한 자료로 사용될 수 있을 것이라 사료된다.

## [참 고 문 헌]

- [1] N.G. Hingorani, "Flexible AC Transmission", IEEE SPECTRUM, PP 40-45, 1993
- [2] 'Inductance Calculations', F.W. Grover