

해남-제주 HVDC 계통의 제어 계층 구조 분석

곽 주 식
한국전력공사 전력연구원

Control Hierarchy Analysis of Haenam-Cheju HVDC system

Joo Sik Kwak
Korea Electric Research Power Institute of KEPCO

Abstract - In this paper control hierarchy of Haenam-Cheju HVDC link are analyzed and their functional specifications are summarized related to their level. The control functions for the submarine DC transmission are implemented by software programs on 16-bit parallel processor-based machines which are composed of subunits hierarchically linked each other

1. 서 론

직류 송전 계통에서 "제어"는 그 영향의 정도가 크거나 작을 수 있지만 계통 현상에 반드시 포함되며 특히 외란이 작용하는 과도상태에서의 성능과 안정도에 매우 중요한 인자로 작용한다. AC/DC 연계 시스템 자체가 시정수에 따라 다층 구조로 분류될 수 있으며 HVDC 제어계도 서로 다른 몇 가지 종류의 제어계층(control level)이 존재할 수 있다. 전력량, 계통 주파수, AC 전압, 회전기기의 신호등이 모여서 AC 계통의 구속조건을 형성하게되며 AC/DC 연계 계통의 안정도 유지를 위하여 각각 해당되는 제어 계층에 의하여 적절히 협조제어 되어야 한다.⁽¹⁾ 시정수의 크기는 제어 계층에 따라 다르다. 싸이리스터의 점호와 관련된 Valve Electronics 부분이 가장 짧고(수 msec이하) 제어대상이 계통 주파수와 같이 AC 계통쪽으로 근접해 갈수록 시정수는 수초 ~ 수십초 정도로 길어진다.

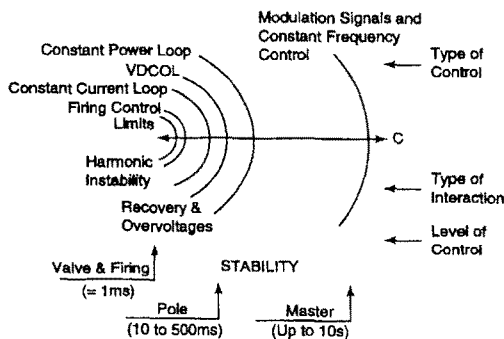


그림 1. 일반적인 HVDC 다층 제어 구조

1. Thyristor and Valve control level
싸이리스터 밸브의 점호펄스 생성과 전송 및 상태 감시와 관련된다.
2. Converter and Basic Control level
상위 제어계층으로부터의 전압이나 전류지령값을 만족 하도록 밸브의 점호 시점을 결정하며 점호펄스의 최소와

최대 값 제어기능이 포함된다.

3. Pole Control Level

하나의 폴(Pole)에는 복수의 변환기가 직렬 혹은 병렬로 연결될 수 있으며 직렬의 경우는 각 변환기가 동일한 전류를 제어하게 되며 동일한 전류제어기를 공통으로 사용하게 된다. 이 제어계층은 대부분의 시스템에서 유사한 형태와 구조를 갖으며 gain이나 시정수만이 시스템에 따라 변형된다.

4. Pole Master Control Level

Power control, 변환소간 전류 지령값의 전송, 전류 지령값의 제한, Power order의 ramp control이나 Power Modulation 기능이 포함된다.

5. Bipole Control Level

이 계층에는 제어나 protection 기능이 가능한한 배제된다. 이 레벨에서의 보호동작은 바이폴의 동시 정지로 연결될 수 있기 때문이다. 시스템 전체의 전력량의 결정, 연계계통의 주파수 제어동작등은 최상위 계층에서 이루어지는 사항들이다.

본문에서는 해남-제주 HVDC 계통의 제어계층구조와 계층별 기능을 분석하였다.

2. 본 론

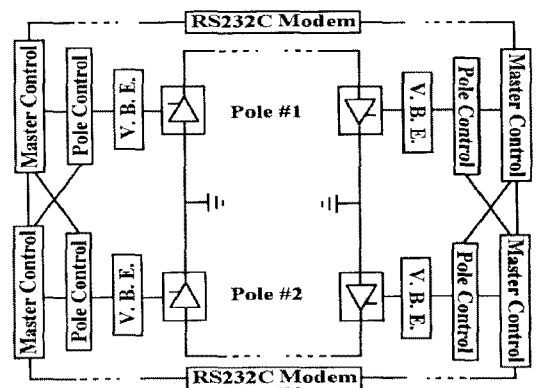


그림 2. 제어 계층 구조

그림 2와 같이 해남-제주 계통의 제어계는 최상위로 제어기로 Master Control 이 있고 그 하부에 Pole Control Command System과 Phase Control로 구성되는 Pole Control이 있으며 최하위에 Valve Base Electronics의 계층구조로 이루어져 있다. 이러한 계층은 12펄스 변환기에 대하여 하나의 독립적 제어계층을 형성한다. Master와 Pole control 기능의 대부분은 16 bit 병렬처리 프로세서(Transputer-25 MHz)를

근간으로 하는 소프트웨어로 구현되어 있다. 제어 S/W는 Master와 Pole Control용으로 나뉘어 있으며 각각 Flash-ROM에 기록된다. 각 Master Control과 Pole Control은 RS485 광통신으로 연결되며 상대 변환소와는 RS232(모뎀)을 통하여 유기적으로 연결된다.

2.1. Master Control

Master control은 시스템의 최상위 제어기로서 Control Desk를 매개로 운전원과 HVDC 시스템과의 인터페이스를 제공하며 하위의 Pole Control에 전류와 전압 지령값을 전달한다. 해남과 제주 변환소에는 회선 단 2개씩 총 4개의 동일한 Master Controller가 있으며 이중 1개만이 활성화되어 바이폴 시스템을 제어하고 나머지 3대는 대기 상태로 데이터를 공유하며 운전중인 Master의 기능 이상시 제어를 넘겨받아 수행하게 되어 있다. Master Control은 크게 다음의 기능을 한다.

◎1. Operator Control

가. Select Auto/Manual Mode

운전원이 시스템을 자동 혹은 수동 모드로 설정한다.

나. Determine Active Control Desk

바이폴 시스템에는 4개의 Control Desk가 존재하면 이 중에서 한 개의 Control Desk만이 활성화되며 이 활성화된 것을 Active Control Desk라 한다. 이 활성화된 Desk를 통하여 시스템의 운전상태가 운전원에 의하여 결정될 수 있다.

다. Set Operating Mode

Separate Mode에서는 각 pole이 개별적으로 제어되며 Joint Mode에서는 두 개의 pole 마치 하나의 폴처럼 운전된다. Joint mode에서는 두 개의 폴이 동일한 전력과 전류를 분담하게 된다.

라. Set Control Mode

정주파수, 정전력, 정전류의 세 개의 제어모드가 존재한다.

마. Set Demand

다음의 운전 요구값이 운전원에 의하여 설정되어진다.

표 1. Master Control 설정값

항목	설정 범위
Power	-150 ~ 150 MW
dP/dt	0.1 ~ 9.9 MW/sec
Current	-850 ~ 850 A
di/dt	1 ~ 99 A/sec
Frquency	59.5 ~ 60.5 Hz
Frequency Slope	0 ~ 1 %

바. Set Direction of Power Flow

전력 전송의 방향을 설정한다. 자신의 위치에서 전력 이 AC => DC 방향으로 유입되면 Export, AC <=> DC 이면 Import로 설정된다.

사. Initiate Start-up & Shutdown Sequence

◎2. Constant Power Control :

요구되는 전력을 현재의 직류전압으로 나누어 전류 지령값을 생성하여 직류전압의 변동에 따라 일정전력을 전송한다.

◎3. Constant Current Control :

직류전압과 AC 전압 및 주파수와 무관하게 직류 전류를 설정값으로 일정하게 운전한다.

◎4. Enable Frequency Control :

Pole Control의 주파수 제어를 활성화시킨다. 연계 계통의 주파수를 일정하게 유지하도록 전력 전송량을 가감 제어한다.

◎5. Start-up/Shutdown Sequencing :

시스템의 기동과 정지에 필요한 각 기기의 순서 제어를 담당한다

◎6. Telecommunication :

각각 Master Control은 나머지 Master와의 광통신 링크를 갖고 있으며 변환소간은 모뎀을 통하여 이루어진다. 변환소간 지령값과 상태 정보를 모뎀을 통하여 통신한다.

◎7. Filter Control :

고조파 필터와 커패시터 뱅크, 리액터의 온/오프를 제어한다.

그림 3은 제어기의 핵심 하드웨어인 Processor Board의 기본 구조를 보여준다. Master Control의 H/W 패널은 Programmable Logic Controller이며 16bit 병렬 프로세서를 기반으로 한다.

-Master Processor : Transputer 프로세서

-Digital Processor : Transputer 프로세서, 메모리, 제어 S/W의 구동

-Analog Processor : 1개의 Transputer 프로세서, 64 KB memory, 제어 S/W에서 필요한 Analog 입력 출력 신호를 처리하거나 생성해내는 용도의 카드.

-Power Supply

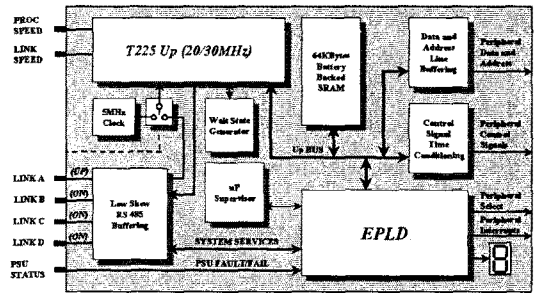


그림 3. Transputer-Based Processor Board

2.2. Pole control

HVDC 시스템의 실제적인 제어 및 보호기능을 수행하는 부분으로 Master Control에서 지령한 운전, 제어 모드에 따라 생성된 전압과 전류 지령값을 만족하도록 점호 펄스를 생성하여 VBE로 전송한다. Pole Control은 PCCS와 Phase Control의 두 부분으로 구성되어 있다.

2.2.1 Pole Control Command System

PCCS는 Master Control과 같이 Transputer 프로세서를 기반으로 하는 소프트웨어로 구현되어 있다.

◎1. Frequency Control

제주 계통의 주파수를 일정하게 유지하기 위한 전류값을 생성한다. Fslope% 은 0 ~ 1 %범위로 설정 가능하다.

$$F_{order}(Hz) = F_{demand}(Hz) - \frac{0.6}{150} P_{dc} F_{Slope\%}$$

◎2. Voltage Order Control

직류 전압 지령치를 생성한다. 해남의 전압 지령은 1.0227 p.u. 제주 인버터는 1.2 p.u.의 값이 된다. 1.0 [p.u.] 이상의 과전류가 발생하면 6%의 기울기로 전압 지령치를 감소시킨다.

◎3. Current Order Control

전력조류의 방향에 관계없이 전류제어는 제주에서 담당하며 PCCS에서 생성된 전류 지령값 Idc 는 Phase control 내의 루프 콘트롤부로 전달된다. 해남의 정류기에서의 전류지령은 전류 제한값(1.3 [p.u.])과 같으며 과전류 제한기로서 동작한다. 직류전압이 0.5 p.u. 이하로 강하하면 VDCOL(Voltage Dependant Current Order Limit)기능에 따라 전류 지령값을 제한한다.

◎4. Current Balancing Control

Pole #1과 #2가 동일한 전류를 분담하여 중성선로에 전류가 흐르지 않도록 점호신호를 미세 조정한다.

◎5. Auto Tap Control

밸브측의 AC 전압이 제한값 이내로 유지되도록 변압기 1 차측의 탭을 조절한다. 탭 제어는 변환소 연결점에서의 무효전력 소비를 최소화하는 방향으로 이루어진다.

◎6. Blocking Control

Master Control과 Control Desk 그리고 Protection에서 발생하는 명령에 따라 Blocking과 Deblocking 동작 수순을 제어한다.

◎7. Loop Control

Phase Control 내의 Loop Control부로 다음의 신호들이 전달된다.

- Auxiliary Loop Control Signals
- Gamma Loop Disable
- Inverter Loop Disable
- Alpha Min Order
- Line winding Voltage
- Alpha response
- Gamma response
- Interface Signals

◎8. Switch Position Monitor

변환기가 2회선이상의 송전라인에 연결될 때 어느 Bus에 연결되어 있는지 Switch의 상태 감시한다.

2.2.2 Phase Control

PCCS가 전달하는 지령값과 측정값으로부터 전압, 전류, 감마제어루프의 피드백 제어루프가 동작되어 밸브 점호신호를 최종적으로 발생시켜 광신호로 V.B.E로 전송한다. 이 부분은 하드웨어만으로 구현되어 있다.

◎1. Loop Control :

HVDC 시스템의 주제어기능을 수행한다.

- 전압제어루프 : 직류전압제어(정류기)
- 전류제어루프 : 직류전류제어(인버터)
- 감마제어루프 :
- Alpha Max 루프 : 162°
- Alpha Min 루프 : 2°

◎2. AC Voltage Measurement

◎3. Oscillator

◎4. Ring Counter :

Oscillator의 응답에 따라 점호신호의 Start와 Stop Pulse를 생성한다. Normal, Bypass, Block의 세 가지 동작모드가 있다.

◎5. Firing Monitor :

싸이리스터 gate에 인가되는 것과 동일한 Start/Stop 펄스 Latch를 VBE로부터 수신하여 밸브의 온/오프 동작을 감시한다.

◎6. Gamma Balancing :

AC 계통 발생하는 불평형은 컨버터의 동작에도 불평형을 유발하여 각 밸브간의 소호간격을 달라지게 함으로써 전류실패확률이 증가될 수 있다. 따라서 이러한 경우 Gamma를 변조하여 밸브간 소호시간이 등간격이 되도록 점호신호를 변조한다.

◎7. 3rd Harmonic Balancing

변환기에 의한 정상분 3 고조파 발생을 억제하기 위하여 점호신호를 변조한다. 정상분 3 고조파는 기본파 역상분에 의하여 발생하는 경향이 있다.

◎8. Alpha Balancing

점호 신호를 변조하여 변환기 동작에 의한 2차 고조파 발생을 억제하는 기능을 한다. 2차 고조파의 영향(변압기 포화)

◎9. Phase Limit :

AC 전압과 동기된 Phase Locked Oscillator의 신호가 Alpha_min과 Alpha_max 사이에 있도록 한다.

2.3. Valve Base Electronics

Phase Control에서 생성된 점호 신호가 광케이블을 통하여 전달되면 gate driving을 위한 신호를 발생하고 밸브의 상태를 모니터링한다. Gate Unit에 필요한 전원은 싸이리스터 양단의 전압으로부터 얻어진다. Break Over Diode는 싸이리스터 Anode와 Cathode 사이에 이상전압이 발생하면 gate 점호신호를 발생시킨다. Thyristor Fault Monitor는 개별 싸이리스터의 상태를 감시한다.

2.4. Monitoring

제어 및 보호체계는 컴퓨터화 되어 있으며 운전원이 소프트웨어의 각 상태값을 감시할 수 있도록 하는 Event logging 시스템이 제공되며 Master Processor Monitor, Digital Fault Recorder, Sequence of Event Recorder, Thyristor Fault Monitor들이 이러한 장비들이다. MPM은 Pole Control을 통하여 시스템 전체의 상태를 감시 제어한다.

2.5 Protection

해남-제주 시스템의 보호영역은 는 통상적인 AC 계통, 직류계통(Pole Protection), 중성선로 계통의 세 개의 영역으로 나뉘어져 있다. 보호체계는 이중 채널로 구성되어 있으며 각기 별도의 독립된 전원을 갖는다. 모든 보호동작은 1개 혹은 복수 신호의 크기를 비교하거나 신호들의 차이를 검출하여 이루어진다. 모든 보호동작상황은 Pole과 Master Controller에 의하여 감시 통제되어지고 Monitoring 장비에 의해 분류되어 기된다. 다음은 주요 기능에 대한 요약이다.

◎Asymmetry

: 직류선로에 유입하는 AC성분을 검출하여 동작

◎Abnormal Firing Angle

: 상대편 변환소에서의 Commutation fail 이나 AC 계통의 사고가 원인

◎AC/DC Differential

: 직류전류와 교류전류의 입출력전류를 비교하여 그 차이가 설정값 이상으로 발생하면 보호동작이 행하여진다.

-AC > DC : Valve Winding Flashover

-AC < DC : Commutation Failure

◎AC Overvoltage

◎Tap Limit

◎Low AC voltage

◎DC Overcurrent

◎DC Overvoltage

◎Measurement Transducer Fault

◎Electrode Line Protection : 임피던스를 감시하여 중성선로의 지락이나 단선을 감지한다.

3. 결 론

해남-제주 직류송전계통의 제어계층구조를 분석하고 기능을 살펴보았다. 제어시스템은 기능에 따라 모듈화되어 있어 시스템의 확장이나 재구성에 유연성 있는 구조로 되어있다. 시스템의 모든 동작은 Master와 Pole Control 소프트웨어에 의하여 제어 감시된다. Pole 과 중성선로, 교류계통의 Protection 기능은 제어체계와 독립적이나 상호 밀접한 관계를 갖고 있다.

[참 고 문 헌]

- [1] IEEE Std. 1204-1997 : IEEE Guide for Planning DC Links Terminating at AC Locations Having Low short-Circuit Capacities, 1997
- [2] Haenam and Cheju Operations Maintenance & Instruction Manual GEC-Alsthom
- [3] Users Guide for IMS 225 Transputer, SGS-Thomson Microelectronics 1995