

EMTDC를 이용한 8.5 MVA급 Magnetic Power Supply의 전력공급 시스템 분석

정용후, 노의철, 김인동, 최정완
부경대학교, 기초과학지원연구원

Analysis of Power Supply System for 8.5 MVA Magnetic Power Supply Using EMTDC

Yong-Hoo Jeong, Eui-Cheol Nho, In-Dong Kim, Jung-Wan Choi
Pukyong National University, Korea Basic Science Institute

Abstract - The characteristics of voltage drop and THD for parallel operating 11 PCR's (Phase Controlled Rectifiers) are analysed. The PCR's are used to drive high current (1.6 kA ~ 3.7 kADC) electromagnetic coils for electromagnets. All the PCR's operate simultaneously in pulsed mode, and the pulse shot occurs every 150 seconds. During the pulse operation the PCR output current ramps up for 4 seconds, and then keeps flat top state for 2 seconds, and finally ramps down for 4 seconds. For the flat top mode a severe voltage drop and distortion appear in the power system because transformers for the PCR's are designed considering pulsed mode operation. It is expected that the analysis method can be applied to improve the system performance including power factor and design of high power pulsed mode operating power supply systems.

[2,3]을 해결하기 위해 PWM 컨버터를 사용하는 경우도 있다 [4]. 본 논문에서는 13대의 PCR로 구성되는 8.5 MVA급 전원 시스템에서 전압파형의 왜곡정도와 전압강하 특성을 분석하고자 한다. 각 PCR은 MPS (Magnetic Power Supply) 용으로 구성되며 MPS는 대형 전자석코일(1.6 kA ~ 3.7 kADC)을 여자하기 위해 사용된다. 이들 MPS는 연속부하로 동작하지 않고 펄스모드로 동작함에 따라 MPS에 전력을 공급하기 위한 전원설비의 변압기 용량이 열적 온도상승 측면에서 정해진다 [5]. 즉, 온도상승 측면에서의 용량과 전기적 출력용량을 동시에 고려하여 변압기 용량이 적절히 정해지기 때문에, 펄스모드 동작시 최대 출력이 전달되는 구간에서는 각 변압기가 과부하 상태로 동작된다. 따라서 전압강하가 심각히 발생하며 SCR 사이리스터의 전류시 발생하는 노치와 더불어 전력공급 계통의 분기점에서의 전압의 품질을 저하시킨다. 총 8.5 MVA 용량에 해당하는 MPS가 동시에 운전중일 때 최악조건에서 분기점에서의 전압강하와 THD (Total Harmonic Distortion)를 PSCAD/EMTDC를 사용하여 분석하여 동일전원을 사용하는 타기기에서 요구하는 전원 공급의 충족조건을 파악하고자 한다.

1. 서 론

SCR 사이리스터로 구성되는 PCR의 입력교류전원의 전압파형은 SCR 사이리스터의 전류(commutation)시 발생하는 노치로 인하여 필연적으로 파형이 왜곡된다. 왜곡의 정도는 PCR의 지연각과 교류입력전원부에 존재하는 인덕턴스 성분의 크기와 부하전류의 크기에 비례한다 [1]. 여러대의 PCR을 동시에 동작시키는 경우에는 각 PCR 입력전압의 노치에 의한 영향이 매우 복잡하게 나타난다. PCR을 사용하는 대용량 전자석코일 구동용 전원장치에서 발생하는 저역률 및 심각한 전압 왜곡

2. MPS 시스템구성 및 동작

그림 1은 전력공급계통에 13개 MPS가 접속된 전체 시스템 구성을 나타낸다. 수전전압은 3상 22.9 kV이며 9 MVA 용량의 변압기에 의해 3.3 kV로 강압된다. 3.3 kV 라인에서 역률보상용 컨덴서 뱅크, MPS시스템, RF P/S, Gyro Klystron 등 기타 장치가 접속된다. 주변압기 T와 MPS용 6개 변압기(T1-T6)의 주요 사양은 표 1과 같다.

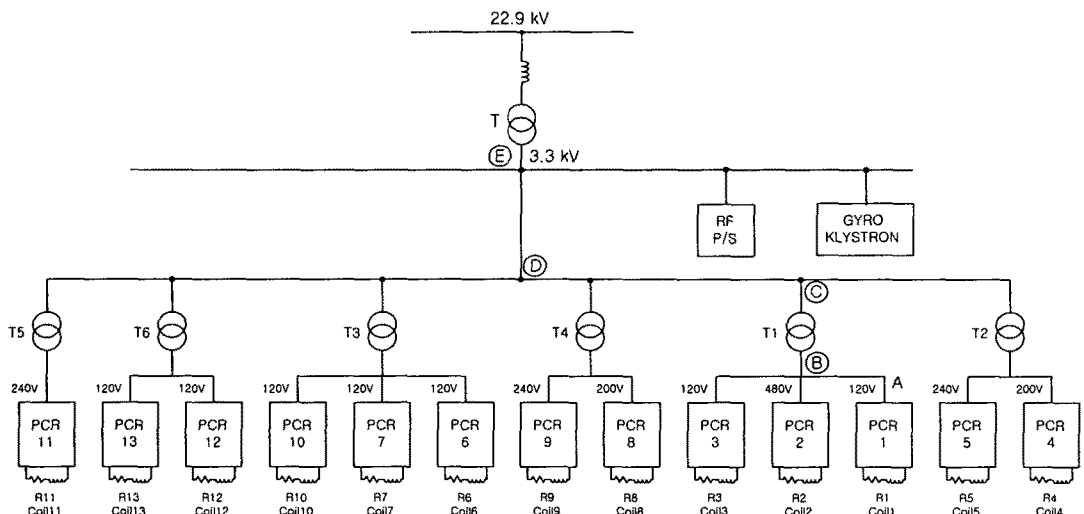


그림 1. MPS 전력공급 시스템 구성도

그림 2는 MPS 시스템을 구성하는 각 PCR의 기본구성을 나타낸다. 각 PCR의 전력변환부는 6개의 SCR 사 이리스터와 1개의 환류다이오드로 구성되고, 전류지령에 추종하는 부하전류를 얻도록 제어된다. 변압기의 2차측 4개 탭 중에서 부하 코일 용량에 적합하도록 선택된 교류전압이 PCR에 인가된다. 전자석 코일이 요구하는 전류는 그림 3에 나타난 바와 같은 펄스형태이다. 펄스는 150 초마다 발생하며 그림 3(b)처럼 사다리꼴로 10초간 지속된다. 그림 3(b)에서 PCR 출력전류는 4초간 선형으로 증가하고 난 후 2초간 최대값을 유지하고 다음 4초간 선형으로 감소한다. 이때 각 PCR 출력전류의 최대값과 각 코일의 저항값은 표 2와 같다.

표 1. 주변압기와 MPS용 변압기 사양

Items	T	T1-T6
Rated power [kVA]	9,000	750
Primary voltage [kV]	22.9	3.3
Secondary voltage [V]	3,300	480/240/200(180)/120
Efficiency [%]	99	98.5
No load current [%]	2.5	2.0
Percent impedance [%]	5.5	2.5
Voltage regulation [%]	1.1	0.8

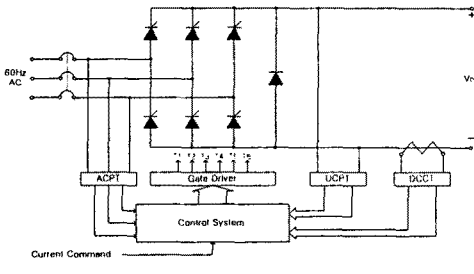


그림 2. MPS용 PCR 기본 구성도

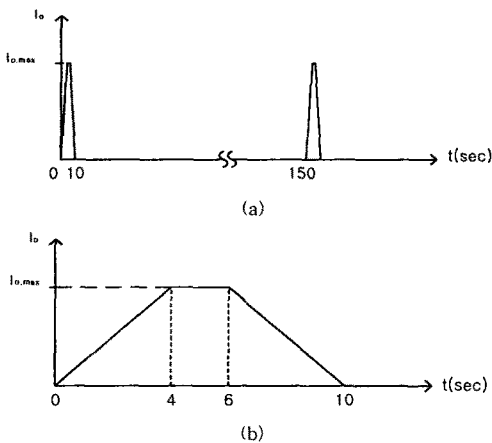


그림 3 PCR 출력전류 파형

표 2. 각 PCR 출력전류 최대값과 각 코일 저항값

PCR #	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
$I_{o,max}$ [kA]	2.0	2.3	1.6	2.0	3.7	0	0	3.5	3.7	1.8	3.7	3.7	2.7
R_o [$m\Omega$]	52	19	52	56	61	-	-	49	61	50	61	28	28

3. THD와 전압강하 특성 분석

3.1 THD 분석

그림 3(b)에서 PCR 출력전류 최대값 $I_{o,max}$ 이 출력되는 구간에서 THD를 해석한다. 그림 4는 PCR1의 입출력 전압과 전류를 PSCAD/EMTDC로 시뮬레이션해서 나타낸 것이다. 그림 4(a)는 13대의 PCR 중에서 PCR1만 단독으로 동작하는 경우이고 4(b)는 13대의 PCR이 모두 동시에 동작하는 경우이다. 그림 4(b)의 경우가 4(a)의 경우보다 PCR 입력전압 파형이 복잡하게 나타남을 알 수 있다. 그림 5는 주변압기 T의 2차측 (3.3 kV) 선간전압과 선전류 파형을 나타낸다. 그림 5(a)와 5(b)의 조건은 각각 그림 4(a)와 4(b)에 해당된다. 표 3에 각 경우의 THD를 나타내었다.

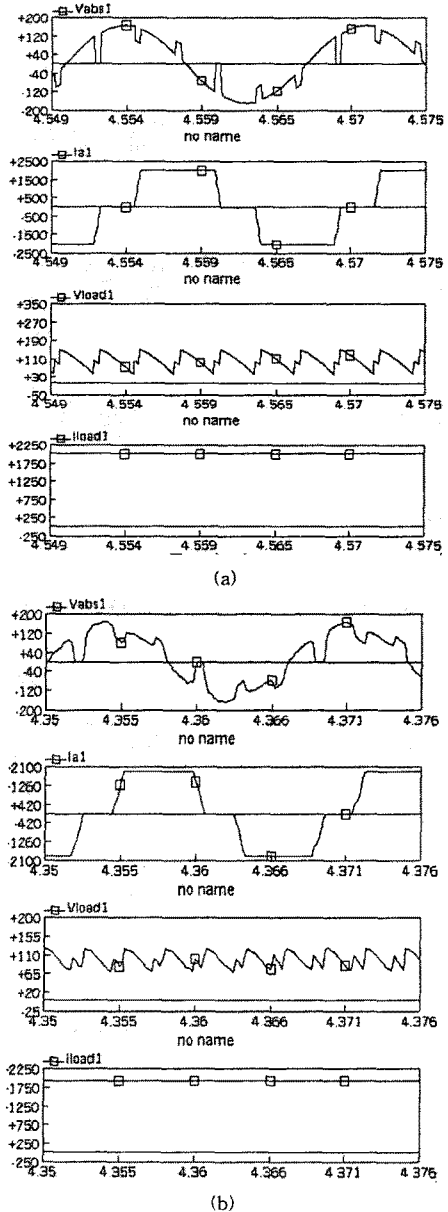


그림 4 PCR1의 V_{IN} , I_{IN} , V_o , I_o 파형
(a) PCR1 단독운전시 (b) 13개 PCR 동시 운전시

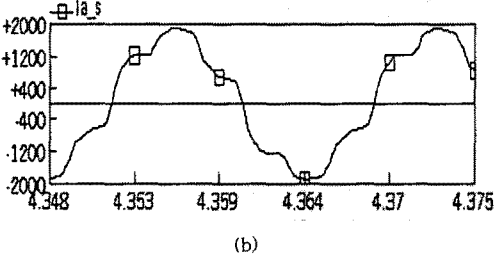
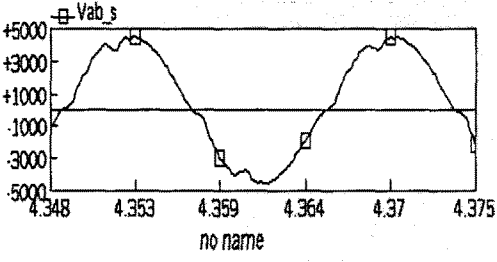
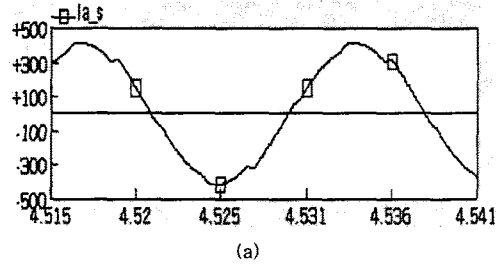
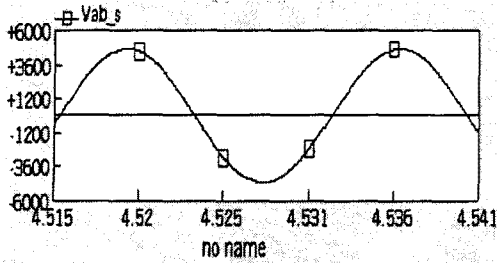


그림 5. 주변압기 T의 2차측 전압과 전류 파형
(a) PCR1 단독운전시
(b) 13개 PCR 동시 운전시

표 3. 각 부분의 전압 THD

Voltage in Fig.	4(a)	4(b)	5(a)	5(b)
THD (%)	28.6	34.2	1.95	6.2

3.2 전압강하 분석

그림 1에서 6개 변압기 (T1~T6)의 정격용량은 750 kVA이지만 이것은 PCR의 펄스모드 동작을 감안하여 정해진 것이다. PCR의 최대 출력전류는 3.7 kA이므로 변압기의 순시전력은 근사적으로 식(1)과 같다.

$$S = \sqrt{3} VI = \sqrt{3} \times 480 \text{ V} \times 3700 \text{ A} \times \sqrt{\frac{2}{3}} \quad (1)$$

$$= 2.5 \text{ MVA}$$

따라서 변압기 정격용량 750 kVA는 PCR 최대 출력의 약 30 % 밖에 안된다. 그러므로 펄스전류의 최대값이 출력되는 구간에서 변압기는 과부하 상태로 동작하게 되어 심각한 전압강하가 발생한다. 그림 4와 5의 각 전압에 대한 실효값을 계산하여 전압강하의 정도를 분석하였다. 전압강하를 정량적으로 나타내기 위하여 식 (2) % 전압강하를 사용하였다.

$$\% \text{ 전압강하} = \frac{V_{\text{부부하}} - V_{\text{전부하}}}{V_{\text{전부하}}} [\%] \quad (2)$$

표 4는 그림 4와 5의 전압에 대한 %전압강하를 나타낸다.

표 4. 각부분 전압의 %전압강하

Voltage in Fig.	4(a)	4(b)	5(a)	5(b)
% Volt Drop [%]	7.2	22.1	3.2	8.9

4. 결 론

PSCAD/EMTDC를 사용하여 펄스모드로 동작하는 8.5 MVA급 MPS 시스템의 THD와 전압강하 특성을 분석하였다. 최악의 부하조건에서 특성을 파악하기 위해 펄스형태인 MPS 출력전류의 최대값 구간에서 분석하였다. 일반적으로 대용량 전원장치의 경우 하드웨어적 제약이 커서 설계변경에 따른 수정 및 증설 등이 용이하지 않다. 따라서 시뮬레이션 결과를 효과적으로 활용하면 설계변경 및 운전조건 변경이 발생하는 막대한 시간적, 경제적 손실을 최소화 할 수 있다. 추후 본 논문에서 시뮬레이션한 결과를 실험 결과와 비교 분석하여 미비점을 보완함으로써 유용하게 활용될 수 있도록 입증하는 것이 필요하다.

(참 고 문 헌)

- [1] Mohan, Underland, and Robbins, "Power Electronics - Converters, Applications, and Design", Wiley, 1995.
- [2] Chikaraish. Ho, Yamada S., Tanahashi S., Kitagawas., Satow T., Yamamoto J., Motojima O., "DC Power System for Superconducting Magnets of LHD", proc. of IPED, pp. 904-909, 1995.
- [3] M. P. J. Gandrean, M. S. Shuster, V. J. Berkman, P. Thomas, "The TARA 24 MVA Magnet System", proc. of the 14th Symp. on Fusion Tech. Vol.2, pp. 1749-1758, 1986.
- [4] Toshifumi Ise, James J. Skiles, Robert L. Kustom, and Ju Wang, "Circuit Configuration of the GTO Converter for Superconducting Magnetic Energy Storage", PESC, pp. 108-115, 1988.
- [5] E. C. Nho, G. B. Joung, Y. J. Kim, and J. W. Choi, "Design Considerations and Characteristics Analysis of a 4.2 MW (600 V, 7 kA) DC Pulsed Power Supply", PESC, Vol.2, pp. 828-834, 1997.