

대전류 고속펄스파워시스템의 구성기술

이형호*, 서길수, 김영배, 조국희
한국전기연구소 고전압연구팀

Composition Technology of Pulsed Power System with High Current

Hyeong-Ho Lee*, Kil-Soo Seo, Young-Bae Kim and Kook-Hee Cho
Korea Electrotechnology Research Institute

Abstract - This paper describes the composition technology of pulsed power system with high current. The capacitor bank, control cabinet, dc charging unit, closing switch and cable system etc. employed with the system components are described. Especially the development of the inverse pinch switch enabled the generation of the very high current.

정전에너지의 축적형태는 에너지축적 밀도가 높아 compact하고 값싼 pulsed power system이 구성할 수 있는 가능성이 있고, 그 기술개발이 기대되고 있다. 당면 구소에서 개발중인 펄스파워시스템의 총 정전용량은 33.2 mF로써 전체구조는 Inductance가 최소화 되도록 설계되어 있다.

1. 서론

대전류 고속펄스파워기술은 콘덴사, 인덕타 등에 저장된 초기電磁에너지를 時空적으로 成形·重疊·壓縮하여 짧은 시간(수ns~수ms)에 고출력을 발생시켜 좁은 공간에 에너지를 집중 공급하는 데 이용된다 [1-5].

이러한 펄스파워기술의 이용은 1940년의 핵융합의 연구가 시초로써 1970년대에 공학으로 체계화하기 시작하여 실질적으로 응용이 된 것은 극히 최근의 일이다. 응용분야로는 직류 및 교류의 전력기술과는 달리 무한히 넓어, 예를 들면 비행기, 자동차, 선박, 배관설비 등 성형용 전원장치로 이용될 뿐만 아니라, 노후 원자력발전소 해체작업, 바위발파 및 노후건물의 폭발작업등의 첨단기술로 각광받고 있다.

따라서 당연구팀에서는 생산업체용, 환경산업용, 군수산업용으로 폭넓게 이용되고 있는 대전류 펄스파워시스템 개발에 관한 일련의 연구를 행하여 주요결과를 발표하였다[6-14]. 이와 관련하여 본보에서는 이 기술의 연속적인 연구와 관련하여 500kA-2,000kJ급의 펄스파워장치를 주축으로 대전류용 펄스파워시스템의 구성기술에 대해서 논한다.

2. 본론

2.1 펄스파워시스템의 기본구성

펄스파워시스템은 기본적으로 그림1에 나타낸 바와 같이 여러 종류의 형태로 축적된 에너지를 고속 투입 스위치를 이용하여 급속히 방출하는 구조로서 각각의 구성 요소에 관하여 이하에 기술한다.

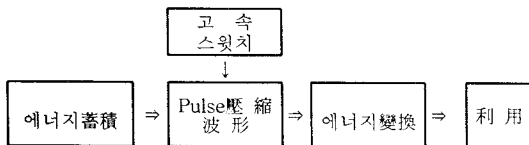


그림 1 펄스파워시스템의 기본 구성

2.2 에너지축적장치

초기에너지 축적 형태 및 현상특성의 대표치를 표1에 나타낸다. 에너지축적 밀도는 열악하지만 사용하기 쉽기 때문에 정전에너지형 펄스파워장치가 가장 대중적이다.

표 1 초기에너지 축적 형태 및 현상특성의 대표치

축적 형태	축적 매체	축적량	축적밀도 (J/cc)	방출시간
정전적	콘덴사	10~100MJ	0.6	0.1~1us
자기적	inductor	10~500MJ	~10	100us~1s
운동적	fly wheel	~GJ	100~500	0.1~10s
화학적	화약	100MJ	10,000	0.1ms

2.3 대전류 투입스위치

표2에 펄스파워장치에 사용되는 대표적인 투입 스위치를 나타내며, 그중 당 연구팀에서 개발중인 Inverse Pinch Switch(IPS)의 개략도를 그림2에 나타낸다. 본 스위치는 Paschen's Curve의 최소치를 나타내는 (PD)_{min} (P:가스압력, D: 전극간 거리)의 좌측 범위를 이용되며, 스위치의 트리거를 위하여 N₂개스 Puffing방식을 이용하고 있다. 본 스위치의 수명은 약 5,000번 이상이 가능토록 설계되어 있다.

표 2 대전류 투입스위치의 분류

구분	정격	Switch 시간	반복율	통전량
Spark gap	~MV, ~MA	~10ns	~1Hz	~數C
Thyratron	~100kV, ~數十kA	~100ns	~kHz	~數C
Ignitron	~50kV, ~100kA	~ms	~100kHz	~100C
반도체 Switch	~數kV, ~數kA	~10us	1~100kHz	大
磁氣 Switch	~MV, ~MA	~數十ns	100Hz~1kHz	(大)

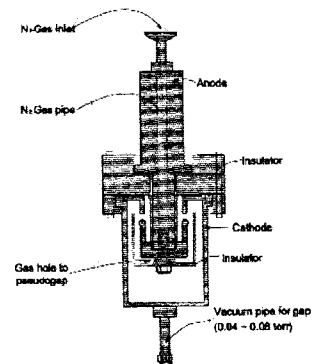


그림 2 가스트리거형 투입스위치 개략도

3. 대전류 펄스파워시스템의 구성

그림 3은 본 연구에서 설계한 펄스파워시스템 회로를 나타낸다. DC 고전압 충전기의 경제성을 위해 변압기의 1차측에서 SCR위상 제어를 통하여 정전류 4.5[A]를 일정하게 흐르도록 하였고, capacitor bank의 전압검출 및 충전전압의 setting, 안전을 위하여 커패시터 잔류전하 방전용 dump switch를 설계하였다.

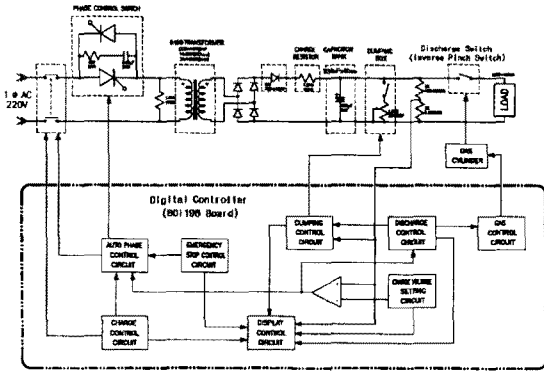


그림 3 설계된 2,000kJ-500kA급 펄스파워시스템

고전압 충전용 변압기는 출력전압은 18[kV]이며, 전류용량은 커패시터 뱅크(총33.2mF)에 10[kV]로 충전할 시 최장 2분 이내에 충전할 수 있도록 결정하였다. 이를 위하여 그림 4의 변압기의 등가회로로 모의하였고, 등가회로의 parameter R_p , winding, R_p core loss, L_p magnetizing, R_s winding, $C_{pri-sec}$ 등의 수치는 OrCAD회로해석 프로그램을 이용하여 선정하였으며, 변압기 용량은 75[kVA]로 결정하였다.

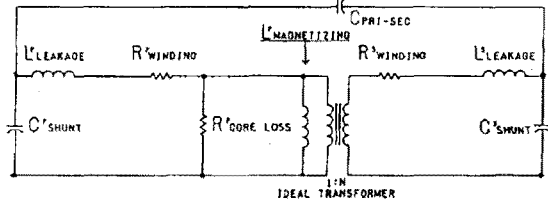


그림 4 변압기의 등가회로

그림 5는 33.2[mF]의 커패시터 뱅크에 전압 10[kV]를 충전하는 걸리는 시간을 변압기 용량별로 나타낸 것으로써 변압기 용량이 클수록 충전시간이 짧아짐을 알 수 있다.

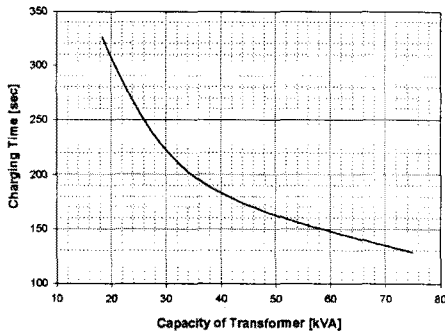
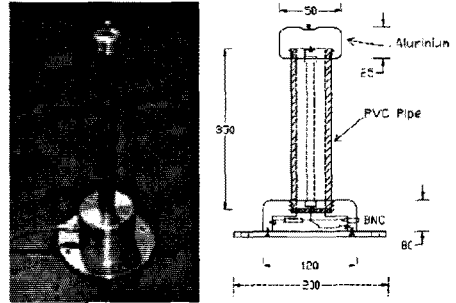


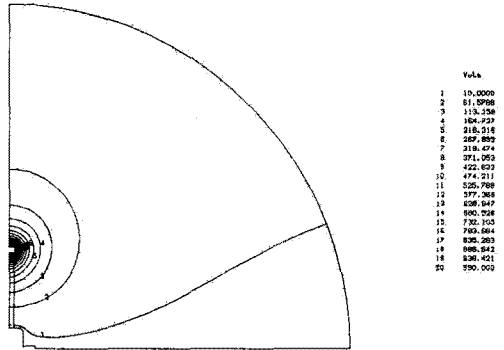
그림 5 충전시간과 변압기용량의 관계

4. 고전압/대전류 펄스파워 측정장치

고출력 펄스파워의 고전압 및 대전류를 측정하는 주요 장치로는 그림 6의 분압기 및 그림 7의 Rogowski 코일이 있다. 분압기로는 저항분압기, 용량분압기, 제동용량 분압기등이 있으며, 그림 6(b)는 분압기의 적재설계를 위하여 전개해석한 결과이다.



(a) 분압기 외형 및 구조



(b) 분압기의 전개해석 결과

그림 6 제작된 고전압측정용 분압기

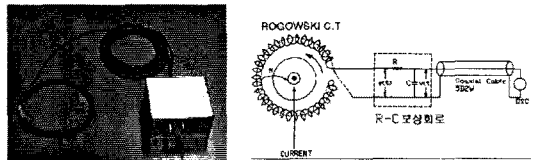


그림 7 제작된 대전류 측정용 Rogowski 코일

대전류 측정장치의 대표적인 예로는 Rogowski코일으로써 전류측정용 Rogowski코일은 미분형과 적분형으로 나뉘며, 前者는 출력전압이 피 측정전류의 미분에 비례하는 것으로써 구조가 간단, 출력이 큰 것 등의 이점이 있으나, 출력을 적분하기 위하여 상승시간이 늦고, 출력이 주파수특성을 가지는 것 등의 결점을 가진다. 後者は 출력전압이 피 측정전류에 비례하는 것으로써 주파수특성이 양호하게 되는 장점이 있다. Rogowski코일은 측정점에서의 취부가 용이, 신뢰성이 높고, 고주파 측정이 가능하기 때문에 pulse대전류의 측정에 가장 폭넓게 이용되고 있다.

5. 결론

본 연구에서는 대전류 펄스파워시스템의 주요 구성기술에 관하여 논했다. 대전류를 얻기 위하여 시스템 구성시 가장 중요한 사항은 회로의 inductance가 최소로 되도록 하여야 하며, 본 연구에서는 장치의 크기결정에 크게 영향을 미치는 커패시터, 충전용 전원장치의 구성이 최적화 되도록 설계하였다. 또한 시스템의 핵심부품인 대전류 투입스위치는 N_2 가스 Puffing trigger방식의 Inverse Pinch Swtch로써 그 수명은 약 5,000번 이상이 가능토록 설계되어 있다. 향후 본 대전류 펄스파워시스템은 향후 생산업체용, 환경산업용, 군수산업용 등으로 폭넓게 이용될 것이다.

참고문헌

- [1]Mac Dougall, F. W., et al, "High Energy Density Pulsed Power Capacitor", Proceedings of the Advanced Pulsed Power Conference, Albuquerque, 1990.
- [2]Frank B.A Früngel: "High Speed Pulse Technology", Vol I, II(1965), "Capacitor Discharge Engineering", Vol III (1975), "Sparks and Laser Pulses", Vol. IV, 1980, Academic Press
- [3]Technical Research Report(II), IEEJ, 228(1986), 247(1987), 292(1989), 426(1992)
- [4]Masanori Hara and Hidenori Akiyama, " High Voltage Pulsed Engineering", 1991
- [5]Hanelin, M., et al, "Hard Rock Fragmentation with Pulsed Power", Proceedings of the 9th IEEE Pulsed Power Conference, Albuquerque, 1993.
- [6]이형호, 김영배, 최병주, 제환영, "고출력 고속펄스파워의 응용기술에 대한 고찰", 방전 및 고전압연구회, OA-1, PP.7-11, 1997
- [7]이형호, 김영배, "고전압대전류 pulsed power의 이용기술", 전기학회 하계학술대회, DHO 14, pp.1678-1680, 1997
- [8]이형호, 제환영, "고전압·대전류 펄스파워기술의 현황과 전망", 대한전기학회지 제46권 8호, pp.53-58, 1997년 8월호
- [9]서길수, 김영배, 이형호, 제환영, "고출력 펄스파워발생용 인덕타설계 및 이용기술", 방전 및 고전압연구회, pp.10-13, '98.5.23
- [10]서길수, 김영배, 이형호, "고전압·대전류 펄스파워를 이용한 암반발파모의기술개발", '98전기학회하계학술대회 DHO 7, pp.1592-1595, 1998
- [11]Hyeong-Ho Lee, Kil-Soo Seo, Yeong-Bae Kim, Ik-Soo Kim, Jae-Gu Choi, "Application of Pulsed Power with the High Voltage & Current for Rock Fragmentation", ICEE, Vol 2. No. PD-3. pp.759-762, 1998
- [12]이형호, 서길수, 제환영, "대전류 Pulsed power system개발 및 응용", 제2차 전열추진기술세미나, 국방과학연구소, 1998
- [13]이형호, 서길수, 김영배, 조국희, "500kA급 펄스파워 시스템 설계기술개발", '99춘계방전 및 고전압연구회, pp.310-313, '99.5.8
- [14]서길수, 김영배, 조국희, 이형호, "전기 트리거형 고전압 대전류 INPIStron 설계기술 개발", '99춘계방전 및 고전압연구회, pp.75-78, '99.5.8