

## 고전압 · 대전류 pulsed power의 이용기술

이 형호, 김 영배  
한국전기연구소

### Application Technologies of Pulsed Power with the High Voltage and Current

Hyeong-Ho Lee and Young-Bae Kim  
Korea Electrotechnology Research Institute

**Abstract** - The pulsed power with the high voltage and current can be used to the fields of high speed pulses of energy in different forms such as electric current and voltage, electron beam, ion beam, x-rays, gamma rays, heat, magnetics fields, sound and shock waves. This paper is directed mainly at electrical engineers working on production and practical application of high speed pulsed power with high voltage and current.

#### 1. 서 론

고출력펄스파워기술은 종래의 고전압 · 대전류공학을 기초로 하여 콘덴사, 인덕타 등에 저장된 초기電磁에너지를 時空적으로 成形 · 重疊 · 壓縮하여 짧은 시간(수 ns ~ 수 ms)에 대전력(10TW이상 가능)을 발생시켜 좁은 공간에 에너지를 집중 공급하는 기술로써 종래의 고전압 공학에는 중시되지 않았던 電磁에너지의 성형 · 충전 · 압축기술이 핵심이 되는 신기술이다 [1-4].

본 기술은 비행기, 자동차 등의 정밀부품성형용 전원장치, 핵연료폐기물용기의 안전한 원격密封작업, 바위발파 및 노후건물 폭파작업등의 첨단기술로 이용되고, laser, micro wave, X-ray 및 粒子빔의 발생, 電磁加速, 핵융합등의 연구 및 여러가지 형태의 축적에너지로부터의 대체에너지의 개발에도 이용된다 [5-7].

본고에서는 생산업체용, 환경산업용, 군수산업용 등에서 국제적 첨단기술로 각광받고 있는 고출력펄스파워기술 현황을 분석하여 우리나라도 2000년대에 폭발적으로 증가될 본기술의 응용기술에 대한 종합적 연구의 필요성을 시술한다.

#### 2. 고전압 · 대전류 펄스파워기술

##### 2.1 시스템 구성

Pulse power장치의 기본시스템 구성은 그림1과 같다. 여러종류의 형태로 축적된 에너지는 고속스위치에 의하여 급속히 방출압축된 펄스파워는 전기에너지로부터 에너지 변환되어 입자빔, 전자파, plasma 등에 이용된다.

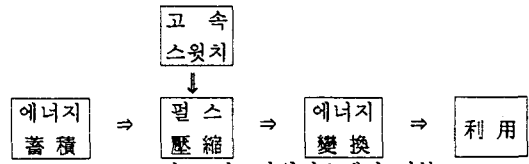


그림 1 펄스파워시스템의 기본

##### 2.2 에너지축적기술

펄스파워장치의 에너지 축적 형태 및 특성의 대표치를 표1에 나타내는 데 정전에너지를 이용한 펄스파워장치가 가장 대중적이다. 다른 축적형태는 스위치소자로서 closing switch에 비하여 개발이 지연되고 있는 opening switch때문에 이용이 적으나, 에너지축적밀도가 높아 compact하고 값싼 펄스파워장치의 구성이 가능하여 그 개발기술이 기대되고 있다.

표1 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 foil	~GJ	100~500	0.1~10s
화학적	화약	100MJ	10,000	0.1ms

##### 2.3 스위칭 기술

펄스파워장치에 사용되는 대표적인 closing switch사의 종류와 현상특성의 대표치를 표2에 나타낸다. 單器容量이 비교적 작은 반도체 스위치 및 thyatron은 그것들을 직병렬로 접속하여 대에너지pulsed power장치의 요구에 응하는 경우가 많다. 磁氣스위치는 飽和磁束밀도가 높고, 고주파 영역에서 高比透磁率, 저손실, 高角形比라는 고성능amorphous磁性재료가 개발되어 펄스파워장치의 長壽命화, 신뢰성 향상을 위하여 수없이 사용되어 오고 있으며 그림2와 같은 多段의 磁氣펄스압축회로로서 사용되어 펄스폭을 순차 압축한다.

표2 Closing switch의 분류

구분	정격	Switch 시간	반복율	통전 콜롬양
Spark gap	~MV, ~MA	~10ns	~1Hz	~數C
Thyratron	~100kV, ~數+kA	~100 ns	~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+ ns	100Hz~1kHz	(大)

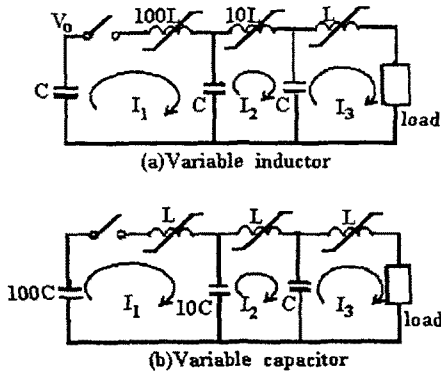


그림 2 자기 펄스압축회로

2.4 에너지 방전회로

유도성에너지의 전형적인 방전회로를 그림3에 나타낸다. 전류 $i_0$ 가 흐르고 있는 개방스위치  $S_1$ 을 열고,  $S_2$ 를 닫음으로써 인덕타 중의 에너지를 부하에 잔송한다. 여기서 부하전류  $i$ , 부하의 최대전력  $P_{peak}$ , 전송에너지  $E$ 를 구한다. 지금 개방스위치가 동작했을 때, 스위치의 저항이 0로부터 부하의 임피던스와 비교하여 충분히 큰 값까지 step상으로 변화한다고 가정한다.

(i) 부하가 저항 R의 경우

$$i = i_0 \exp\left(-\frac{R}{L} t\right)$$

$$P_{peak} = Ri_0^2$$

$$E = \int_0^{\infty} Ri^2 dt = \frac{1}{2} Li_0^2$$

(ii) 부하가 인덕타  $L_1$ 의 경우

$$i = i_0 \frac{L}{L + L_1}$$

$$E = \frac{1}{2} Li_0^2 = \frac{1}{2} Li_0^2 \frac{L_1}{L} \left(1 + \frac{L_1}{L}\right)^2$$

$$E_{max} = \frac{1}{2} Li_0^2 \times \frac{1}{4} \quad (L = L_1 \text{의 경우})$$

부하가 용량성의 경우는 회로의 R이 작기 때문에 LC 진동한다. 부하가 저항의 경우, 부하에 걸리는 출력전압은  $Ri$ 가 되고, R과 함께 증가하나 최대출력전압은 개방스위치의 특성에 의하여 제한된다. 유도성부하로의 수송

효율은  $L = L_1$ 의 경우 최대가 되고 25%이다. 그림3으로써 인덕타에 에너지를 저장하기 위해서는 자체의 에너지가 인덕타의 도체중에 없어지기 보다 빨리 에너지 저장을 행할 필요가 있다. 확산시간은  $\tau = L/R$ 이 되기 때문에 에너지 저장을 위해 필요한 인덕타로의 인가전압  $V$ 는  $V > \frac{Li_0}{\tau}$  이 된다. 그림4에 전류원으로써 capacitor를 사용한 경우를 예로 하여 펄스파워의 형성과정을 나타낸다. 개방스위치로 휴즈를 사용하여 가변저항  $R(t)$ 로 놓고, 단락스위치  $S_2$ 는 spark gap을 사용한다. Capacitor를  $V_0$ 로 충전한 후  $t=0$ 에서 방전하고, 인덕타에 에너지를 전송하며 전에너지 전송시간  $\tau = (\pi/2)\sqrt{LC}$ 로써  $R(t)$ 를 변화시킨다.  $dR(t)/dt$ 를 일정하게 했을 때의 전류  $i_0$ 와 출력전압  $v$ 를 그림5에 나타낸다.  $v/V_0$ 는 전압증폭도로 생각할 수 있다.  $\tau = \pi\sqrt{\frac{LC}{2}}$ 로써 저항을 변화시키기 시작했을 때  $v/V_0$ 는  $L$ 와  $V_0$ 를 변화시켜도 일정하고 또  $dR(t)/dt$  및  $C$ 와 더불어 증가한다. 저항부하일 경우의 전형적인 전류파형을 그림6에 나타낸다. 부하단자전압은  $Ri$ 이기 때문에 부하의 저항이 클수록 부하에 높은 전압을 인가할 수 있다.

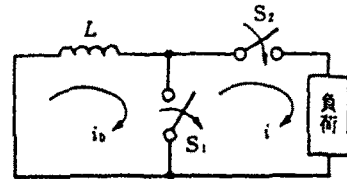
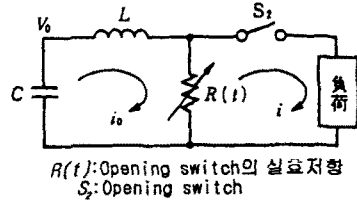


그림 3 유도성 에너지의 방전회로



$R(t)$ : Opening switch의 실효저항  
 $S_2$ : Opening switch

그림 4 유도성에너지 축적방식 펄스파워발생장치의 예

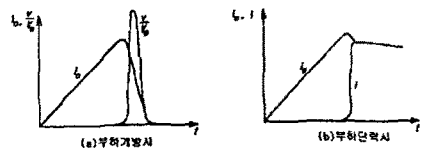


그림 5 전압, 전류파형

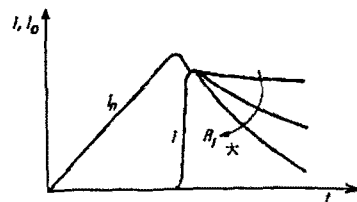


그림6 저항부하 경우의 전류파형

## 2.5 계측기술

### 2.5.1 전압측정

분압기에는 저항분압기, 용량분압기, 제동용량분압기가 이용되며 短펄스전압측정용 분압기는 표3과 같다.

표 3 短펄스전압측정용 분압기의 특징

분압기 종류	특 징		
	장 점	단 점	
용량형	-전력소비가 없음 -2차분압기 불필요 -구조 간단, 소형	-잡음이 잘 들어옴 -저inductance 콘덴사 필요 -큰 분압비로 인한 교정어려움	
저항형	고 체 식	-구조가 간단 -직류부터 단펄스 까지 측정가능	-저항치 잘 바뀜 -잡음이 침입 쉬움 -응답특성이 안좋음
	액 체 식	-내전압, 전류특성 우수 -펄스응답성 좋음 -잡음 혼입이 적음	-구조가 복잡 -저주파 측정불가 -저항치 경년변화
저항· 용량형	-측정주파수범위 넓음 -저항치 크게 가능	-구조가 약간 복잡	

### 2.5.2 전류측정

#### (a) Rogowski coil

Rogowski코일의 원리도를 그림7에 나타내는데 원리적으로 미분형과 적분형이 있다. Rogowski코일은 측정점의 취부가 용이, 신뢰성이 높고, 고주파 측정이 가능한 이점 때문에 펄스대전류의 측정에 가장 폭넓게 이용되고 있고, 원리 및 파도특성에 대한 이론적 해석도 많이 행해지고 있다. 한편 Pick up코일은 원리적으로 로고스키코일과 같으며 아주 소형으로써 좁은 공간에 설치할 수 있는 것이 최대의 이점이고, REB, LIB 등의 펄스자기(전류) 측정에 이용되고 있다.

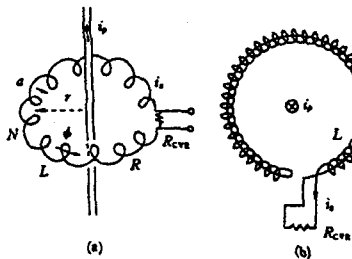


그림 7 Rogowski coil의 원리

#### (b) Fraday cup

Fraday cup은 주로 전자빔 전류의 측정에 이용되며 Collector의 전류는 원통상 스텐레스의 부분을 홀러 그 전압강하가 출력으로서 나온다. 현재 ns정도의 응답특성이 얻어지고 있다. 또 이온빔의 측정에도 Fraday cup이 이용된다.

### 2.5.3 Energy 측정

이온빔을 target에 조사하여 放射化하고, 그것으로부터 발생하는 방사선량을 계측하여 빔에너지 및 전류치를 구

하는 아쿠치베손법 및 전자빔에 대해서는 AI중의 전자의 飛程이 의존하는 것을 이용한 AI판 투과법도 있으나 이것은 주로 에너지의 준급을 붙이는 것에 이용된다. 또 빔에너지를 진공중의 전파시간보다 운동에너지를 구하는 비행시간법도 있다. 빔용카로리메타는 빔을 그래파이트로 받아 열로 변환하고, 열전대에 의하여 온도상승을 측정, 빔에너지를 구하는 것도 있다.

## 3. 고출력 펄스파워기술의 활용분야

본기술은 민원방지등의 환경산업용, 부품성형가공등의 생산업체용, 핵심군수산업기술용으로 다음과 같이 폭넓게 이용된다.

### 3.1 환경산업용

- 공사장 바위 및 노후건물의 발파
- 노후화된 원자력발전소 해체
- 핵연료폐기물 용기의 원격 밀봉작업

### 3.2 생산업체용

- 산업체의 電磁프레스 전원장치
- 자동차연료펌프, 비행기 등의 부품성형가공
- Plasma, Laser, 전자가속기분야등 新에너지 개발
- 동일형 제품의 단시간 반복 제작
- 縮管성형, 擴管성형 및 平板성형에 이용

### 3.3 군수산업용

- 대포, 전자추진기등의 핵심요소기술로 이용

## 4. 결 론

고전압·대전류펄스파워기술은 電磁에너지의 성형·증착·압축기술이 핵심이 되는 국제적 첨단기술로서 각광받고 있는 바, 우리나라에서도 2000년대에 그 수요가 폭발적으로 증가되리라 예상되는 바 본기술의 수요에 대처하기 위한 종합적 연구가 필요하리라 사료된다.

### [참 고 문 헌]

- [1]이형호,김영배,최병주,제환영, "고출력펄스파워의 이용기술에 대한 고찰", 대한전기학회, 방전 및 고전압 연구회, OA-1, pp.7-11, 1997
- [2]Frank B.A Früngel : "High Speed Pulse Technology", Vol I, II, Academic Press, 1965
- [3]Frank B.A Früngel : "Capacitor Discharge Engineering", Vol III, Academic Press, 1975
- [4]Frank B.A Früngel : "Sparks and Laser Pulses", Vol. IV, Academic Press, 1980
- [5]原雅則, 秋山秀典 : "고전압 펄스파워공학", 三北出版株式會社, 1991
- [5]Technical Research Report(II), IEEJ, 228, 1986
- [6]Technical Research Report(II), IEEJ, 247, 1987