

PFN을 이용한 펄스발생기의 연구

이복희, 정관모, 박종순
인하대학교 전기공학과

A Study on the Pulse Generator using PFN

B.H.Lee, K.M.Joung, J.S.Park
Dept. of Electrical Engineering, Inha University

Abstract This paper deals with the pulse generator using PFN(Pulse Forming Network), and its operation characteristics and application. Two kinds of pulse generator were composed of the best appropriate condition circuit. The output current of the one pulse generator has the rise time of 28 ns and the pulse duration of 7 μ s. The other pulse generator has high current of about 2kA. By use of the former generator with rapid rise time, the impulse impedance characteristic of ground electrodes was investigated with measuring the ground potential rise when the pulse current was injected into the ground electrode.

1. 서 론

PFN(Pulse Forming Network: 펄스성형회로)을 이용하면 고전압 대전류 펄스를 발생하기에 용이하고, 소자의 값에 따라 펄스의 상승시간 및 펄스폭 등 펄스의 성형을 임의로 설계하여 양질의 펄스성 고전압·대전류의 파형을 구현할 수 있다. 이를 위해, 펄스발생이론을 고찰하고 시뮬레이션을 통해 펄스발생기를 구성하고 있는 각 소자의 특성을 고찰하였다. 이론적 검토 결과와 PFN이론을 적용하여, 30ns 이하의 상승시간을 갖는 급상승 시간의 펄스발생기를 시뮬레이션하여 설계·제작하고, 이와는 별도로 고전압 대전류용 펄스발생기를 설계하여 역시 시뮬레이션하여 제작하였다. 또한 펄스를 인가할 때 부하의 조건에 따라 파형에 왜곡이 생기는데, 이 왜곡을 보상하기 위한 연구를 수행하였다. 그리고 제작한 펄스발생기를 사용하여 과도접지임피던스 특성을 측정·분석했다.

2. 본 론

2.1 펄스 성형회로

펄스 성형은 케이블이나 대기 중에 수평으로 설치한 선로에서도 진행방향의 단위 길이당 인덕턴스 L과 정전용량 C가 일정하며 손실이 없는 선로라면 파형의 감쇠나 왜곡이 없는 펄스를 발생시키지만 그림1에 나타낸 바와같이 집중정수인 L을 직렬로 C를 병렬로 여러 개 접속한 펄스성형 네트워크(PFN)를 구성하여도 같은 동작원리로 적용할 수 있다. PFN회로에서 각 소자의 영향으로 펄스성형은 각각의 소자 및 선로의 조건에 따라 영향을 받는다. PFN회로의 각 소자에 대한 펄스의 특성은 다음과 같다.

$$\text{펄스폭 } \tau = 2N\sqrt{LC} \quad (1)$$

$$\text{특성임피던스 } Z = \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (2)$$

$$\text{상승시간 } t_r = \frac{\pi}{2\sqrt{\frac{1}{L_1C} - \frac{R}{4L_1^2}}} \quad (3)$$

C: 각 단의 캐패시턴스, L₁: 부하측 제1단의 인덕턴스, R: 부하임피던스, L: 각 단의 인덕턴스, N: 단수

펄스발생회로를 부하에 접속한 경우 부하의 조건에 따라서는 출력 파형의 변형이 발생하는데 이 경우는 각 단의 L 또는 C를 조정해서 부하에 해당하는 만큼 특성임피던스 $\sqrt{L/C}$ 를 조정하면 개선할 수 있으나 부하의 변동에 따라 PFN회로의 특성임피던스를 변화시키는 것은 현실적으로 불가능하다. 따라서 그림 1과 같은 별도의 콘덴서 C', 저항R'를 사용하여 보상회로를 부하에 병렬로 접속하는 방식이 편리하다.

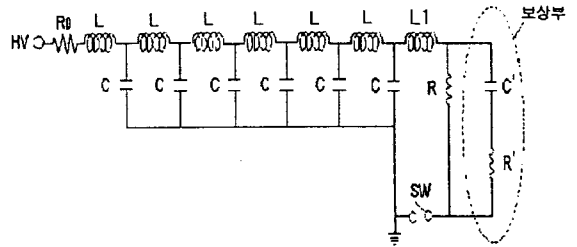


그림 1 PFN의 보상 회로도

Fig. 1 Compensation circuit diagram of pulse forming network

2.2 실험장치 및 방법

2.2.1 PFN을 이용한 펄스발생기의 설계 및 제작

펄스발생기를 설계하기에 앞서 PFN회로의 각 소자의 특성을 고찰하였다. PSPICE를 사용하여 6단인 PFN회로의 부하저항값에 따른 영향, 부하측 제1단 인덕턴스에 의한 영향, 콘덴서 연결부위의 병렬접속 선로의 저항에 의한 영향, 리액턴스 연결부위의 직렬접속 선로의 저항에 의한 영향 등을 검토하였고, PFN회로의 특성임피던스가 1 Ω 일 때 부하저항이 2 Ω 로 비정합된 경우의 보상법을 검토하였다. 시뮬레이션한 결과와 식(1)~(3)을 바탕으로 PFN회로의 규격을 표1과 같이 설계하였다.

표 1 PFN의 주요 규격
Table.1 Main specifications of pulse forming network

항목	규격1	규격2
캐패시턴스(C)	0.11nF	1 μ F
인덕턴스(L)	1.1 μ H	1 μ H
제1단의 인덕턴스(L1)	2.89 μ H	2 μ H
부하저항(R)	가변저항, 최대5k Ω	1 Ω
충전저항(R ₀)	1(k Ω)	10(k Ω)
스위치	수온릴레이	IGBT
단수	306단	6단
상승시간	29ns	2.4 μ s
펄스폭	7 μ s	12 μ s

규격1은 30ns이하의 급상승시간을 가지는 펄스발생기이고, 규격2는 약 2kA의 전류와 수kV의 고전압·대전류용으로 설계하였다.

2.2.2 과도접지임피던스의 측정 실험

제작한 펄스발생기로 과도접지 임피던스를 측정하였다. 과도접지임피던스는 펄스발생기에 의해 펄스전류가 피측정접지극에 유입되면 접지극의 전위는 상승하며, 전류보조극과 별도로 설치한 전위보조극을 사용하여 전위 상승치를 측정할 수 있다. 동일 시간축상에서의 전위 상승치와 유입전류치를 구하면 그것의 비, 즉 V/I 가 과도접지임피던스가 된다. 피측정 접지극으로는 길이 1m의 봉상접지극을 사용하였으며, 병렬로 배치하였을 때 정상 접지저항이 약 60Ω 이었을 때 전류보조극의 위치를 각각 (0° 45° 90° 135° 180°) 이동시키면서 측정하였다. 그림 2와 그림 3은 과도접지임피던스 측정계 및 전류보조극의 위치를 나타내는 그림이다. [5][6]

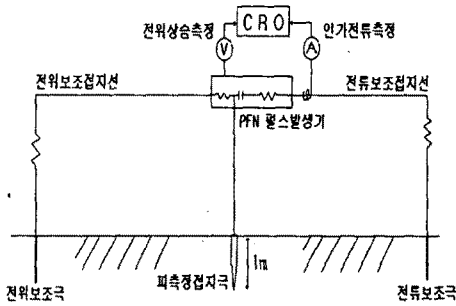


그림 2 과도접지임피던스 측정계의 개략도
Fig. 2 Schematic diagram for measuring system of transient ground impedance

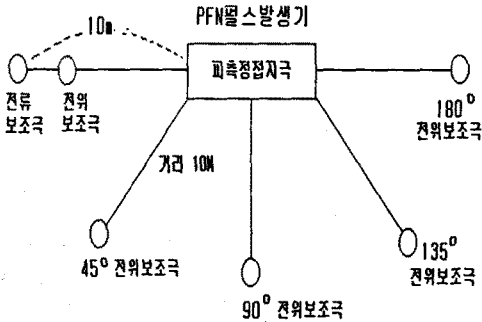


그림 3 전류극보조의 위치
Fig. 3 Position of auxiliary potential electrode

2.3 실험 및 시뮬레이션 결과

2.3.1 PFN회로의 고찰 결과

그림 4.5.6은 PFN 각 소자 값의 영향을 검토한 결과이다. 그림 4는 부하저항 R을 변화시켰을 때의 펄스 파형 변화이다. 특성임피던스보다 부하저항이 큰 경우에는 펄스의 파두부에서 오버슈트가 발생하고, 그와 반대로 작은 경우에는 펄스의 상승시간이 완만해지고 파형은 진동파의 형상을 보인다. 그림 5는 PFN회로의 제1단의 인덕턴스값의 변화에 따른 파형 변화를 나타낸 결과로 L_1 값이 작을 때는 상승부에서 진동하고 있음을 나타내고 있고 L_1 값이 커지면 파형은 양호해지지만 상승시간이 다소 느려지고 있음을 나타내고 있다. 그림 8은 부하

변동으로 비정합시 보상전·후의 펄스파형으로 보상에 의해서 파두부분의 오버슈트를 제거할 수 있으며, 파미부분의 감쇠를 증가시켜 양호한 파형의 성형이 가능하다.

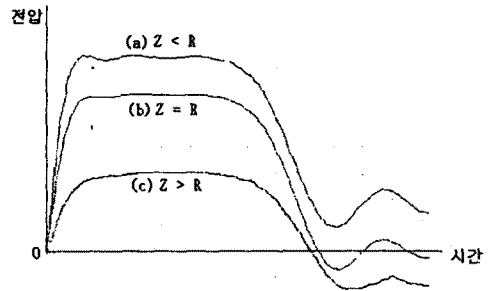
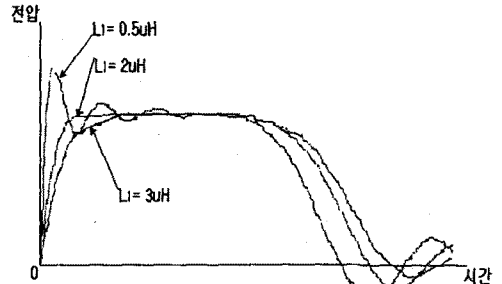


그림 4 펄스파형에 대한 부하저항(R)의 영향
Fig. 4 Effect of load resistance on the pulse waveshape



($L = 1\mu H$)

그림 5 펄스파형에 대한 제1단의 인덕턴스의 영향
Fig. 5 Effect of inductance of the first stage on the pulse waveshape

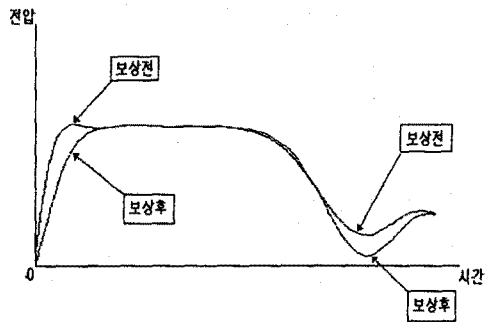


그림 6 보상전·후의 펄스 파형
Fig. 6 Pulse waveshapes before and after compensation

2.3.2 제작한 펄스발생기의 파형

규격1의 파형의 이론치는 상승시간이 29ns, 펄스폭이 $7\mu s$ 이다. 그림 7은 규격1의 전압 파형의 예이다. 결과에서 알 수 있듯이 제작한 펄스발생기는 상승시간 30ns이하, 폭이 $7\mu s$ 인 파형을 발생하였다. 그림 8은 규격2의 전압 파형이다.

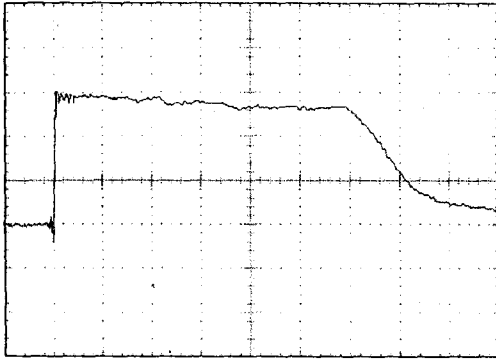


그림 7 규격1의 출력 전압 파형
Fig. 7 Output voltage waveshape based on the specification 1

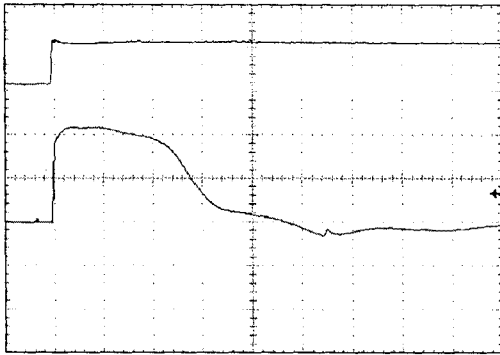
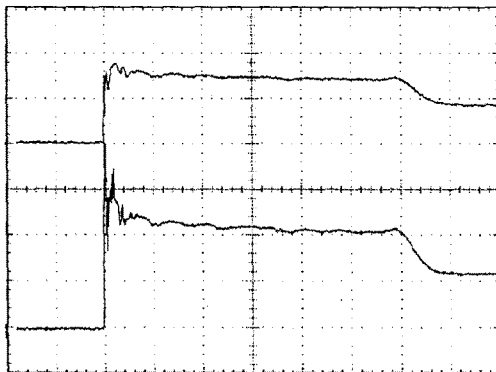


그림 8 규격2의 출력 전압 파형
Fig. 8 Output voltage waveshape based on the specification 2

규격1을 인가 파형으로 한 응용실험의 측정결과 과도 접지임피던스의 특성이 보조전위극의 위치에는 크게 영향을 받지 않는 것으로 나타났다. 그림 9는 응용실험시 피측정 접지극에 펄스전류를 인가했을 때 피측정 접지극을 통하여 흐르는 전류와 그 단자 전압의 파형이다. 그림 10은 전위보조극의 위치가 90° 일 때의 전압·전류 파형을 환산하여 과도접지임피던스를 나타낸 것이다.



위 : 인가전류 (1A/div, 1 μs/div)
아래 : 전위상승 (40V/div, 1 μs/div)

그림 9 인가 펄스전류와 접지전위상승의 파형
Fig. 9 Waveshapes of applied pulse current and ground potential rise

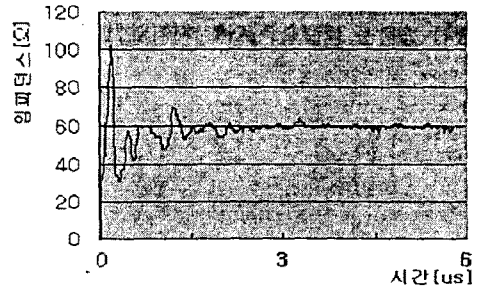


그림 10 키로전류극과 전위보조극이 90° 일 때의 과도 접지임피던스

Fig. 10 Transient ground impedance when the auxiliary potential electrode was vertically installed to current return electrode

파형에서는 400ns 이전에는 유도성 성분을 띠고 1.2 μs까지는 용량성을 나타내고 있는 것이 모든 측정점에서 관측되었다. 즉, 전류가 인가된 후 400ns 이전에는 100Ω까지 접지저항이 상승한 후 1.2μs이후에 정상접지저항인 60Ω으로 회복하였다. 400ns~1.2μs의 부분에서는 어느 정도 용량성 회로부의 시정수의 영향을 받고 있으며, 이것은 미소하지만 용량성 성분도 내포하고 있다는 것을 나타낸다.

3. 결 론

본 연구에서는 PFN회로를 이용하여 급상승시간을 갖는 펄스 및 고전압 대전류 펄스를 발생시키기 위하여 PFN회로의 각 소자의 특성을 고찰하였다. 이를 바탕으로 고전압 대전류 펄스발생기를 제작하고 응용실험을 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

PFN(펄스성형회로)를 적용하여 30ns 이하의 급상승시간을 갖는 펄스발생기를 제작하였다. 수kV, 수kA 정도의 고전압 대전류 펄스발생기를 구현하였다.

제작한 펄스발생기를 사용하여 급상승시간을 갖는 전류를 인가할 경우, 접지임피던스가 약 400ns이전에는 유도성 성분을 나타내고 400ns~1.2μs에서는 용량성 성분을 띠는 것을 확연히 알 수 있었다. 이처럼 PFN(펄스성형회로)를 이용한 펄스발생기는 과도접지임피던스의 측정시스템에 적용하는데 적절함을 알 수 있다.

(참 고 문 헌)

- [1] Yoshihiro Sato, "Generation of Pulsed High Current and System Design of Branched PFN," T.IEE Japan, Vol 116-B, No.2, pp.218-224, 1996.
- [2] 京都ハイパワ-ラフノロジ-研究會編, 펄스베와-工學의基礎と應用, 近代科學社, 1992, pp. 78~84
- [3] 이복희 외 2인, "직각과 전류에 의한 여러 가지 접지극의 과도 접지저항 특성", 대한전기학회 방전 및 고전압 연구회, 춘계학술대회 논문집, P-19, p.139, 1997.
- [4] 이복희 외 2인, 전력통신용 보안장치 적용기술연구, 전력연구원, pp. 359~361, 1997.
- [5] 이복희 외 3인, "펄스발생기에 의한 과도접지저항의 측정과 분석", 대한전기학회 하계학술대회 논문집, Vol. C, PDH-14, pp. 1864-1866, 1996.
- [6] 이복희 외 5인, "봉상접지극의 임펄스 전류에 대한 과도 접지임피던스 특성", 대한전기학회 하계학술대회 논문집, Vol.E, DHO-3, pp.1645-1647, 1997.