

고전압임펄스형성회로설계에 대한 연구

리영명, 정원철

경애하는 최고령도자 김정은동지께서는 다음과 같이 말씀하시였다.

《과학자, 기술자들은 자기 땅에 발을 붙이고 눈은 세계를 보는 혁신적인 안목을 가지고 두뇌전, 실력전을 벌려 최첨단체신기술과 수단들을 더 많이 연구개발하여야 합니다.》

초광대역통신과 땅속전파탐지를 비롯하여 초광대역임펄스기술의 응용분야가 넓어지는데 따라 최근에 초광대역전자기임펄스복사체계에 대한 연구가 광범히 진행되고있다.

초광대역전자기임펄스복사체계의 고전압임펄스형성회로는 테슬라변압기나 막스발진기를 리용하여 실현하였다.

테슬라변압기는 값비싼 무유도성콘덴샤와 속심재료를 써야 하며 입출구사이의 공진을 보장하기 위한 계산과 교정이 복잡하고 정밀한 측정설비들을 필요로 하므로 원가가 높다.[1, 2]

막스발진기도 값비싼 스위치요소들과 고압콘덴샤들을 리용하여야 할 뿐아니라 그 조종회로구성이 복잡하므로 원가가 높다.[1, 3]

론문에서는 고전압임펄스형성회로실현의 한가지 방법을 론의하였다.

1. 고전압임펄스형성회로설계

그림 1에 우리가 연구한 고전압임펄스형성회로를 제시하였다.

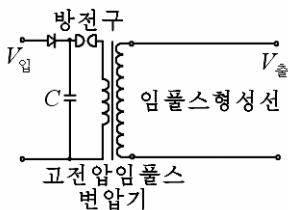


그림 1. 고전압임펄스형성회로

이 회로의 동작과정은 다음과 같다. 앞단출력변압기에서 승압된 전압 $V_{입}$ 에 의하여 콘덴샤 C 에 충전된 전기에너지는 방전구와 고전압임펄스변압기의 1차권선을 통하여 방전된다. 이 방전임펄스의 기본파형은 방전회로의 시상수에 대응되는 지속시간을 가진 단일임펄스이며 임펄스변압기에서 승압되어 임펄스형성선을 충전한다.

이때 임펄스변압기설계문제는 주기적인 절환주파수를 가진 임펄스전압이 가해지는 경우에 대하여 정립된 전통적인 임펄스변압기설계방법에 의하여 해결할수 없으며 단일임펄스전압이 가해질 때의 임펄스변압기설계문제를 새롭게 해결하여야 한다.

임펄스형성회로에서 임펄스변압기의 출구최대전류를 계산하자면 임펄스형성선의 완전저항

$$Z_f = 1/j\omega C_f \quad (1)$$

을 구해야 하며 그러자면 형성선에 가해지는 임펄스전압의 등가조화파주파수를 결정하여야 한다. 임펄스전압의 등가조화파주파수는 임펄스변압기의 1차권선에 가해지는 방전전류

의 등가조화파주파수와 같다.

따라서 임펄스변압기의 1차권선회로에서 방전구가 닫길 때 방전전류의 등가조화파주파수를 계산하여야 하며 그러자면 방전전류의 오름시간을 계산해야 한다.

RLC 방전회로에서 $R_t < 2(L/C)^{1/2}$ 인 경우 방전전류의 오름시간은 근사적으로 다음과 같이 된다.

$$t_r = 2.2/\omega \quad (2)$$

여기서

$$\omega = (1/LC - R_t^2/4L^2)^{1/2} \quad (3)$$

이며 L 은 방전회로의 유도도로서 충전회로의 콘덴사내부유도도와 인출선유도도에 비하여 변압기 1차권선의 유도도가 매우 크므로 1차권선의 유도도로 볼수 있다. 즉

$$L \approx L_1 = \mu\mu_0 N_1^2 S/l. \quad (4)$$

여기서 S 는 자심의 단면적, l 은 자심의 길이, N_1 은 1차권선의 권회수이다.

권회수결정에서 우리는 일반적으로 리용되는 고주파변압기의 1차권선의 1V당 권회수 계산공식

$$n = 104/(4.44 \cdot f \cdot B_w \cdot S) \quad (5)$$

를 적용하였으며 f 로는 리용된 자심의 최대주파수측정값을 대입하였다.

식 (4)에 해당하는 정수값들을 대입하면 $L_1 \approx 2.3 \cdot 10^{-5} \text{H}$ 가 얻어진다.

한편 충전회로의 전체 용량 $C(470\text{pF})$ 를 고려하면 ($R_t \approx 1\Omega$)

$$\omega = 9.6 \cdot 10^6 \text{rad/s}$$

이고 따라서

$$t_r = 2.2/(9.6 \cdot 10^6) \approx 0.23 \cdot 10^{-6} \text{s}$$

이다.

한편 오름시간 t_r 에 대응하는 조화파주파수는

$$f = 0.25/t_r \quad (6)$$

이므로

$$f = 0.25/t_r = 1.091 \cdot 10^6 \text{Hz}$$

이며 이것을 대입하여 임펄스형성선의 용량 C_f 에 해당하는 완전저항 $Z_f (=1/j\omega C_f)$ 를 계산하고 얻으려는 임펄스전압진폭값에 따라 임펄스변압기의 요구되는 출구전류값을 다음과 같이 계산한다.

$$I_{\text{출}} = U_{\text{출}}/Z_f \quad (7)$$

따라서 임펄스변압기에서 필요한 출구출력값은

$$P_{\text{출}} = U_{\text{출}}^2/Z_f \quad (8)$$

이다. 변압기의 입출구전달결수를 최소 0.5정도로 취하면 요구되는 입구출력은 다음과 같다.

$$P_{\text{출}} = 2 \cdot U_{\text{출}}^2/Z_f \quad (9)$$

여기로부터 요구되는 입구전류는 다음식으로 계산되는 값을 만족해야 한다.

$$I_{\text{입}} = 2 \cdot U_{\text{출}}^2/Z_f U_C \quad (10)$$

$C_f = 10\text{pF}$ 로 하였을 때 $Z_f = 14.6\text{k}\Omega$ 이며 $U_{\text{출}} = 60\text{kV}$, $U_C = 10\text{kV}$ 로 하였을 때 $I_{\text{출}} = 4.1\text{A}$, $I_{\text{입}} = 49.3\text{A}$ 이다.

이제 임펄스변압기의 1차권선과 2차권선에서 최대허용전류값을 계산하여 입구와 출구전류에 대한 요구가 만족되는가를 보자.

방전회로를 이루는 변압기 1차권선의 완전저항은

$$Z_1 = 2\pi f L_1 \approx 158\Omega \quad (11)$$

이므로 변압기 1차권선으로 흐를수 있는 방전전류의 최대값은

$$i_1 = U_C / Z_1 \approx 63.3\text{A} \quad (12)$$

로서 이것은 입구전류에 대한 요구를 만족시킨다.

다음으로 임펄스변압기 2차권선으로 흐를수 있는 최대전류를 계산하자.

임펄스변압기 2차권선의 권회수는 30회이므로

$$L_2 = \mu\mu_0 N_2^2 S / l \approx 0.83 \cdot 10^{-3}\text{H} \quad (13)$$

이고

$$Z_2 = 2\pi f L_2 \approx 5.7\text{k}\Omega \quad (14)$$

이다. 따라서 2차권선으로 흐를수 있는 최대전류는

$$i_2 = U_{\text{출}} / Z_2 = 10.5\text{A} \quad (15)$$

이므로 출구전류에 대한 요구를 만족시킨다.

2. 측 정 실 험

그림 2에 우리가 제기한 임펄스형성선에서의 최대전압의 크기를 측정하기 위한 회로 구성도를 보여주었다.

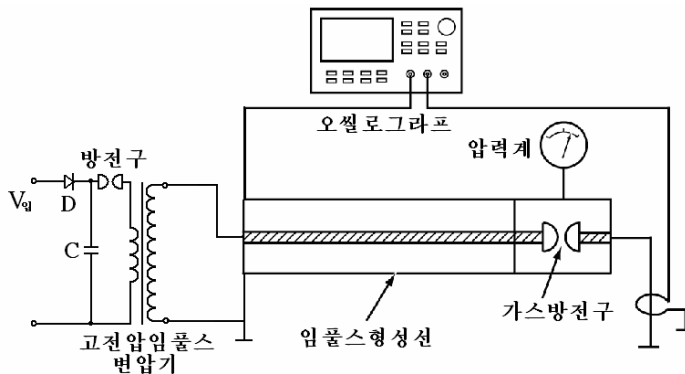


그림 2. 임펄스형성선의 최대충전전압측정구성도

임펄스형성선의 출구에 매우 높은 전압이 형성되어있으므로 직접 측정할수 없는 조건에서 임펄스형성선의 출구에 방전구를 설치하고 가스의 압력에 따라 방전구의 절연과 피전압이 변하는 현상을 리용하여 형성선출구에서 형성되는 최대출구전압을 측정하였다.

측정실험은 방전구간극을 1mm로 설정하고 가스방전구안에 높은 압력으로 가스를 채우고 진행하였다.

최대출구전압은 형성선의 압력을 낮추면서 방전이 일어나기 시작하는 순간의 압력값으로부터 얻어내었다. 출구에는 전류수감부를 설치하여 최대전압이 형성되는 순간을 측정하였다. 표에 간극거리가 $d=1\text{mm}$ 일 때 방전구절연파괴전압과 가스압력사이의 관계를 제시하였다.

표. 방전구간극거리가 $d=1\text{mm}$ 일 때 압력에 따르는 파괴전압

압력/MPa	0.1	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7
$V_{\text{파}}/\text{kV}$	4.56	16.9	31.1	44.8	58.2	71.5	84.7	97.8	110.9	123.9	135.3	149.7	162.6	175.5	188.3

측정결과 가스방전구의 압력이 2MPa일 때 방전이 일어나면서 전류수감부를 연결한 오실로그래프에서 출력신호가 측정되었다. 가스압력과 절연파괴전압대응관계에 따라 방전구간극거리가 1mm이고 가스압력이 2MPa일 때 방전구절연파괴전압이 약 60kV로서 고전압임펄스형성회로가 설계의 요구를 만족시킨다는것을 확증하였다.

맺 는 말

고전압임펄스형성회로의 한가지 구성방법을 제기하고 등가조화파의 개념을 적용하여 그 설계에서 제기되는 문제를 밝혔다. 그리고 측정실험을 통하여 이론적연구의 정확성을 확증하였다.

참 고 문 헌

- [1] John Mankowski et al.; IEEE Trans. Plasma Sci., 28, 1, 102, 2000.
- [2] Partha Sarkar et al.; IEEE Trans. Plasma Sci., 34, 5, 1832, 2006.
- [3] Laurent Pécastaing et al.; IEEE Trans. Plasma Sci., 34, 5, 1822, 2006.

주체106(2017)년 11월 5일 원고접수

Study on Design of High Voltage Pulse Forming Circuit

Ri Yong Myong, Jong Won Chol

In this paper, we suggest a constitution method of high voltage pulse forming circuit and then explain the problem on design of that using concept of equivalent harmonic wave. The exactness of the theoretical study is verified by means of experimental measurement.

Key words: high voltage, pulse forming circuit