

테슬라변압기에서 출력신호를 최대로 하기 위한 합리적인 요소값선택방법

정원철, 리영명

위대한 령도자 김정일동지께서는 다음과 같이 교시하시였다.

《전자공학과 자동화공학을 발전시켜야 생산의 종합적기계화와 자동화를 실현할수 있습니다.》(《김정일선집》 증보판 제11권 137~138페이지)

고전압임펄스발생장치는 초광대역전파탐지기의 중요한 구성부분으로서 초광대역전파 기파를 만드는 역할을 수행한다. 또한 기체의 이온화특성, 절연재료의 절연특성 등을 측정하는데 리용된다. 고전압임펄스를 얻는 방법에는 고압변압기를 리용하는 방법, 공진결합회로를 리용하는 방법, 테슬라변압기를 리용하는 방법 등 여러가지가 있다.

그중 장치체적이 작고 절연이 쉬우며 에너지전송효율이 높은것으로 하여 테슬라변압기를 많이 리용한다.[1]

선행연구[2, 3]에서는 테슬라변압기의 결합구조와 각종 회로정수값에서의 출력신호특성들에 대하여 서술하였다. 그러나 선로의 손실저항이나 루실유도도와 같이 출력신호크기에 영향을 줄수 있는 여러가지 영향들을 구체적으로 언급하지 못하였다.

논문에서는 테슬라변압기의 승압비를 높이는데서 제기되는 몇가지 문제들을 논의하였다.

1. 테슬라변압기의 동작원리

그림 1에 테슬라변압기의 등가회로를 보여주었다.[1, 4]

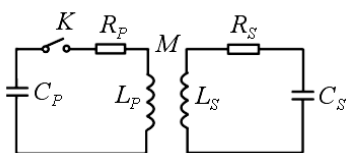


그림 1. 테슬라변압기의
등가회로

그림 1에서 L_P , C_P , R_P 는 1차회로의 유도도와 용량, 손실저항이고 L_S , C_S , R_S 는 2차회로의 유도도와 용량, 손실저항이며 M 은 호상유도도이다.

용량 C_P 는 외부전원에 의하여 V_0 까지 충전된 다음 1차회로를 닫아주어 L_P , C_P 회로의 고유진동이 일어나게 한다. 이 전기진동은 호상유도에 의하여 2차회로를 려기시키며 출구에 높은 전압을 발생시킨다.

한편 키르히호프의 법칙을 리용하여 회로방정식을 다음과 같이 쓸수 있다.

$$\begin{cases} M \frac{d^2 q_s}{dt^2} + L_P \frac{d^2 q_p}{dt^2} + R_P \frac{dq_p}{dt} + \frac{1}{C_P} q_p = 0 \\ M \frac{d^2 q_p}{dt^2} + L_S \frac{d^2 q_s}{dt^2} + R_S \frac{dq_s}{dt} + \frac{1}{C_S} q_s = 0 \end{cases}$$

식에서 q_p 와 q_s 는 각각 C_P 와 C_S 에서의 전하량이다.

1차회로와 2차회로의 공진주파수는 각각 $\omega_p = 1/\sqrt{L_p C_p}$, $\omega_s = 1/\sqrt{L_s C_s}$ 이다.

이상적인 경우 즉 $R_p = R_q = 0$ 이고 $\omega_0 = \omega_p = \omega_q$ 인 경우 초기조건 $q_p = q_0 = C_p V_0$, $q_s = 0$, $dq_p/dt = dq_s/dt = 0$ 에 따라 출구전압을 구하면 다음과 같다.

$$u_s(t) = -nV_0(\cos \omega_1 t + \cos \omega_2 t)/2$$

여기서 $\omega_1 = \omega_0/\sqrt{1-k}$, $\omega_2 = \omega_0/\sqrt{1+k}$ 이고 n 은 변성비, k 는 결합계수이다.

이상적인 경우 출구전압 V_s 의 파형을 그림 2의 ㄱ)에 보여주었다. 이때 $L_p = 1\mu\text{H}$, $L_s = 100\mu\text{H}$, $M = 2\mu\text{H}$, $C_s = 0.1\text{nF}$, $C_p = 10\text{nF}$, $V_0 = 1\text{kV}$ 로 설정하였다.

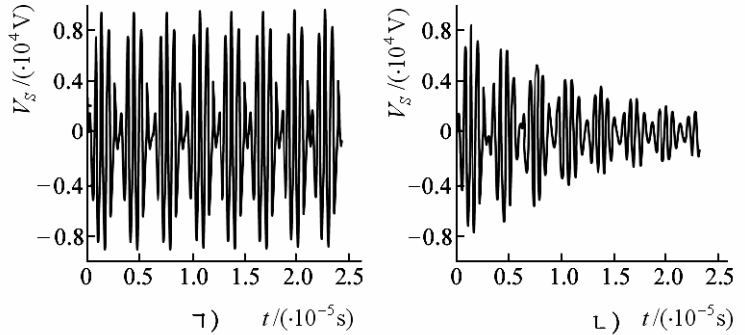


그림 2. 테슬라변압기에서 출구파형
ㄱ) 감쇠가 없을 때, ㄴ) 감쇠가 있을 때

2. 출력진폭에 미치는 주파수탈조와 손실저항의 영향

이상적인 조건에서 승압비는 n 에 관계된다는 것을 알 수 있다.

일반적으로 공진주파수의 불일치와 손실저항에 의한 우량도의 저하로 하여 출력신호의 감쇠가 있게 된다.(그림 2의 ㄴ))

먼저 공진주파수의 탈조에 따르는 출력신호의 변화를 보기로 하자. 이를 위해 L_p , L_s 가 각각 1, 100 μH 이고 $M = 2\mu\text{H}$, $C_s = 0.1\text{nF}$ 일 때 C_p 를 변화시키면서 공진주파수를 탈조시키자. 이때 주파수탈조계수 $\alpha = \omega_q/\omega_p$ 에 따르는 입출력신호의 최대전압진폭비를 그림 3에 보여주었다.

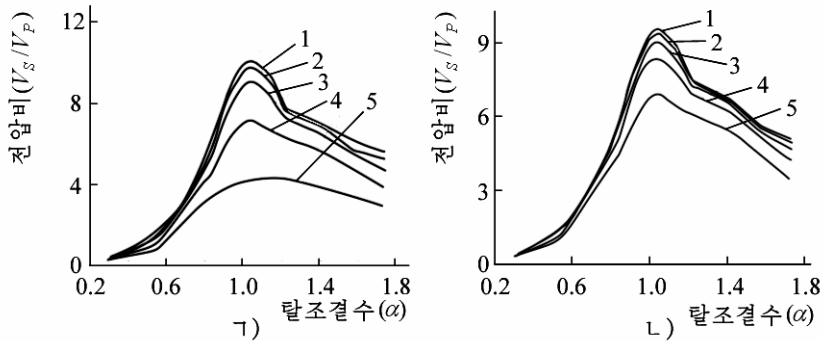


그림 3. 주파수탈조계수에 따르는 입출력신호의 진폭비
ㄱ) 1차회로의 손실저항을 변화시킬 때(1-5는 R_p 가 각각 0, 0.1, 0.3, 40, 3 Ω 일 때), ㄴ) 2차회로의 손실저항을 변화시킬 때(1-5는 R_s 가 각각 5, 10, 20, 1, 100 Ω 일 때)

그림 3에서 보는바와 같이 1차회로와 2차회로의 공진주파수가 일치될 때($\alpha=1$) 전압비가 최대가 되고 주파수가 탈조될수록 그 값이 급격히 떨어진다는것을 알수 있다. 또한 1차회로와 2차회로의 손실저항이 증가할수록 회로의 우량도는 감소되고 전압비가 감소된다. 전압비를 최대값의 90%에 이르게 하자면 1차회로와 2차회로의 우량도를 적어도 50이상으로 보장하여야 한다. 높은 전압비를 얻기 위하여 일반적으로 L_s 를 L_p 에 비하여 매우 크게 설정해주는 조건에서 1차회로와 2차회로의 우량도가 같다고 할 때 2차회로의 손실저항은 1차회로의 손실저항보다 훨씬 크다.(그림 3) 즉 1차회로의 손실저항 R_p 가 약간 변해도 우량도값에 크게 영향을 주므로 R_p 의 값을 최대한으로 작게 하는것이 중요하다.

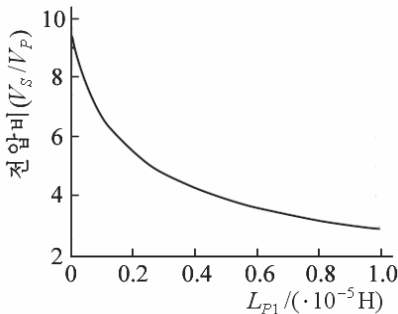


그림 4. 인출선의 루설유도도 L_{p1} 에 따르는 전압비관계

한편 1차회로의 인출선의 유도도 L_{p1} 이 전압비에 주는 영향을 보자.(그림 4)

1차회로의 유도도는 $L_p + L_{p1}$ 로 된다. 이때 C_p 를 조절하여 1차 및 2차회로의 공진주파수를 일치시킨다. 그러면 루설유도도 L_{p1} 의 값이 증가할수록 전압비가 감소한다. 이것은 루설유도도가 증가하면 거기에 가해지는 1차회로진동전압이 증가하면서 상대적으로 선류 L_p 에 걸리는 전압이 감소하기때문이다. 따라서 L_{p1} 이 선류의 유도도 L_p 값의 10%를 넘지 말아야 전압비가 최대값의 90%이상에 도달할수 있다.

맺 는 말

테슬라변압기의 출력과형에 주는 회로정수들의 영향을 논의하였다.

출력신호진폭이 최대로 되자면 1차회로와 2차회로의 공진주파수를 일치시켜야 한다. 또한 1차 및 2차회로의 우량도를 크게(50이상) 하여야 하며 선류의 유도도에 비하여 인출선의 루설유도도가 될수록 작아야 한다.

참 고 문 헌

- [1] P. Sarkar et al.; IEEE Trans. Plasma Sci., 45, 5, 1832, 2006.
- [2] S. W. Bredwood et al.; IEEE Trans. Plasma Sci., 30, 5, 1705, 2002.
- [3] B. Plangklang et al.; International Conference on Power System Technology, 133, 2006.
- [4] 潘亚峰 等; 强激光与粒子束, 19, 10, 1751, 2007.

주체105(2016)년 1월 5일 원고접수

Method of Reasonable Selection of Parameters of Elements for Maximizing the Output Signal in Tesla Transformer

Jong Won Chol, Ri Yong Myong

We considered the effects of circuit parameters of Tesla transformer on its output wave shape.

To keep the amplitude of output signal maximized, resonant frequency of primary circuit should be coincided to the secondary circuit. Moreover, the quality-factors of every circuit should be maintained to be maximized (over 50 percent), and the inductance of outgoing line must be less as possible than that of the coil.

Key words: tesla transformer, high voltage, pulse power