정전압 변압기의 회로정수에 따른 특성 변화에 관한 연구

주형길, 한재원
(주) 엔시스 기술연구소

Study on the Characteristics of Constant Voltage Transformer for the changes of the circuit parameters

Hyeong-Gil Joo and Jae-Won Han
ENSYS co. Ltd.

ABSTRACT

The constant voltage transformer(CVT) is a voltage regulator that has a high reliability, a good short circuit characteristic, a high input power factor, and a relative immunity to lightning strike. Moreover, this has a good line regulation without a voltage feedback control. In this paper, the characteristics of CVT for the changes of input voltage and other circuit parameters are investigated.

1. 서 론

전력전원계통에서 부하의 변동이나 불균등한 분포는 어느 한 수전점에서의 전압변동을 야기시키며, 아울러 공장이나 작업장에서의 과부하나 과대한 돌입전류등에 의해 수전용량을 초과하는 경우에도 순간적인 전압강하가 일어나게 된다. 이러한 전압변동은 사용기기의 수명에 나쁜 영향을 미치며 기기 성능의 저하를 갖어다 주게 되어 결국 생산제품의 품질 저하등 여러 가지 문제점을 발생시킨다. 이에 기기보호와 성능의 안정화를 위하여 전압을 일정하게 유지시켜주는 장치가 필요하게 된다. 이러한 전압조정기능을 갖는 기기는 여러 가지 종류가 있는 데, 본 논문에서는 견고하며 신뢰성이 있으며, 단락특성도 좋은 철공진을 이용한 정전압변압기의 설계와 해석에 관하여 연구하였다.

이에 본 논문에서는 정전압변압기의 설계식 도출과 설계수순을 확립하고 설계된 정전압 변압기의 특성을 해석하므로써 성능을 예측하고자 한다. 이러한 수식적으로 정립된 설계법과 특성해석에 의해 보다 최적화된 정전압 변압기의 설계가 용이하게 될 것이다.

2. 본 문

2.1 정전압 변압기의 동작 원리

정전압 변압기는 변압기에 사용되는 철심의 자기포화현상을 이용하여 출력전압의 궤환에 의한 제어를 이용하지 않고도 안정한 출력전압을 얻을 수 있다. 출력전압을 안정화 시키는 방법에는 임피던스 제어와 자속제어에 의한 방식이 있다.[1] 입력전압이 증가하면 전류가 증가하고, 그에 따라 리액터는 자기적으로 포화되어 리액턴스값은 감소하게 된다. 이 리액터는 커패시터 C와 직렬로 연결되어 있으므로써 전체 리액턴스는 증가하여 전류는 일정하게 제한되는 방식이 임피던스 제어방식이다. 한편, 자속제어 방식은 변압기의 2차측을 포화시키고 2차측에 커패시터를 연결하여, 저전압 인가시에는 커패시터의 리액턴스가 작고, 높은 전압인가시 자기포화에 의해 변압기의 리액턴스가 감소하여 출력전압을 일정하게 유지시키는 방식이다.

2.2 정전압 변압기의 구조와 등가회로

그림 1은 Shunt형 정전압 변압기의 구조이다.

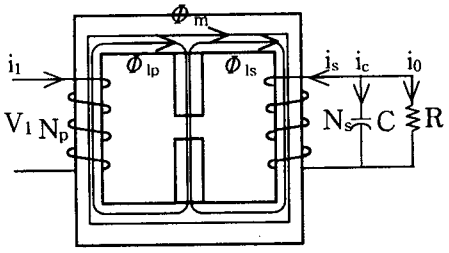

그림 1 정전압 변압기의 구조

변압기의 2차측에는 커패시터 C가 병렬로 연결되어있다. 입력전압이 커졌을 때, 이 커패시터와 변압기의 누설 리액턴스와의 공진에 의해 변압기의 2차측이 포화되고, 그에 따라 변압기의 결합계수가 감소하게 되어 출력전압은 안정하게 유지된다. 이 정전압변압기의 자기 등가회로는 그림 2와 같다.

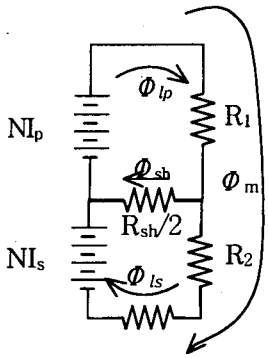

그림 2 자기등가회로

한편, 이 정전압 변압기의 전기적 등가회로는 그림 3과 같다. L은 변압기의 누설리액턴스를 직렬리액터로 표시한 것이고, CVT는 자기적으로 포화 특성을 갖고 있다.

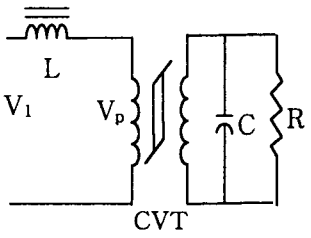

그림 3 정전압 변압기의 등가회로

변압기의 해석시, 일반적으로 등가회로는 아래 그림 4와 같이 T-형 등가회로가 많이 쓰이나, 누설 리액턴스의 값이 크고, 2차가 포화되기 때문에 그림 5와 같은 π-형 등가회로를 사용하는 것이 좋다.

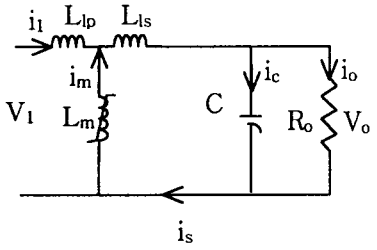

그림 4 T-형 등가회로

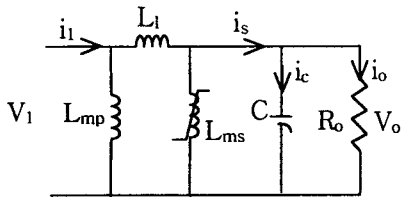

그림 5 π-형 등가회로

2.3 회로상수에 따른 특성값의 변화

그림 5와 같은 등가회로를 이용하여 출력전압 V_o를 구하면 다음과 같이 된다. 변압기 철심의 자기포화 곡선

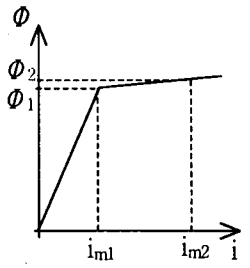

그림 6 자기 특성 곡선

은 그림 6과 같다고 하자. 이 곡선 상의 기울기는 변압기의 2차 자화 인덕턴스 L_{ms}와 같다.

만일 2차 자화 리액턴스 L_{ms}에 흐르는 전류 i_{ms}가 자기포화 전류 i_{ml}보다 작다면, L_{ms}는 일정한 값을 갖으며 출력 전압은 다음과 같이 구해진다.

$$V_o = \frac{X_{ms}//X_c//Z_o}{X_l + X_{ms}//X_c//Z_o} V_1 \quad (1)$$

여기서 $X_{ms} = j\omega L_{ms}$, $X_c = 1/(j\omega C)$, $X_l = j\omega L_l$이고 $Z_o = R_o + j\omega L_o$이다. 식(1)을 정리하면, 다음과 같이 된다.

$$V_o = \frac{X_{ms}X_cZ_o}{X_l(X_{ms}X_c + X_{ms}Z_o + X_cZ_o) + X_{ms}X_cZ_o} V_1 \quad (2)$$

$V_o = kV_1$라 하고, i_{ms}가 i_{ml}보다 작다면 다음과 같은 관계식이 성립된다.

$$i_{ms} = \frac{V_o}{X_{ms}} = \frac{kV_1}{X_{ms}} \le i_{ml} \quad (3)$$

부하는 저항성분만 있다고 하면 다음과 같이 된다.

$$i_{ms} = \frac{R_o}{-\omega^2 L_{ms}L_l + j\omega(L_l - \omega^2 L_lL_{ms}C + L_{ms})R_o} V_1 \quad (4)$$

여기서 $i_{ms} \le i_{ml}$의 조건에서는 철심은 포화되지 않고, L_{ms}은 일정한 값을 갖음을 알 수 있다. 그러나 식(4)에서도 알 수 있듯이 V_1이 증가하거나 다른 회로상수의 변화에 의해, i_{ms}이 증가하면 철심은 포화된다. 철심이 포화될 조건으로는 현재 $i_{ms} = i_{ml}$라 하면, 입력전압 V_1이 증가하거나, Ro가 증가하거나, $(L_l + L_{ms}) - \omega^2 L_lL_{ms}C \ge 0$일 경우에는 C가 증가, 반대의 경우에는 C가 감소하면 된다.

2.4 시뮬레이션 결과

표 1과 같은 회로상수를 갖는 시스템에 대하여 Simulink를 이용하여 시뮬레이션을 행하였다. 각각 입력전압, 부하저항, 커패시터 값을 바꿔가면서 시뮬레이션을 행하였다.

표 1 회로 상수

정격 입력 전압	52[V]	1차권선저항	0.1[ohm]
1차 인덕턴스	345[mH]	누설 인덕턴스	5.7[mH]
2차 권선저항	0.05[ohm]	커패시터	1200[uF]

다음 그림 7~11은 전압의 변동과 부하의 변동, 커패시터 값의 변화에 따른 정현파 입력전압과 출력전압과의 관계를 그린 것이다.

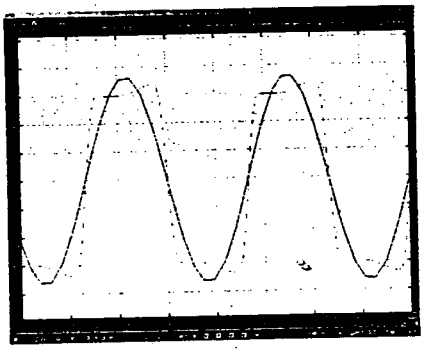

그림 7 V_1=73[V]$_{(peak)}$일 때

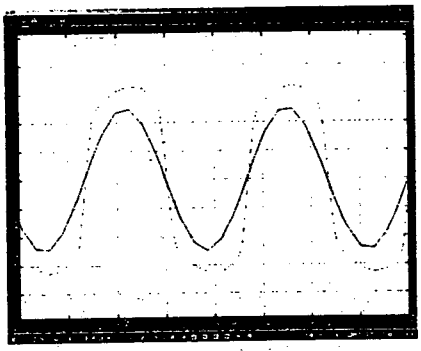

그림 8 V_1=50[V]$_{(peak)}$일 때

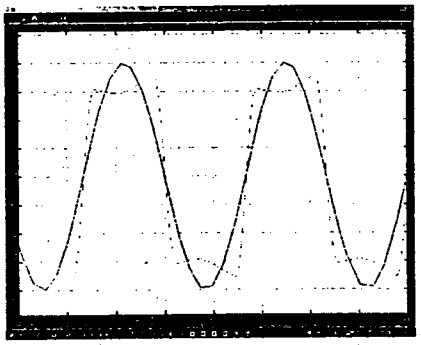

그림 9 V_1=80[V]$_{(peak)}$일 때

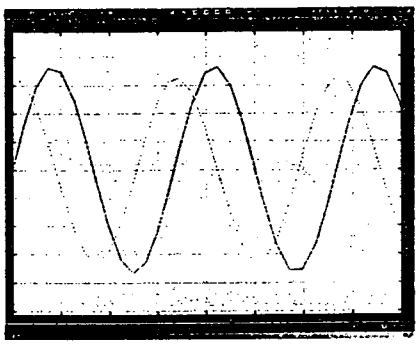

그림 10 R_o=2[ohm]일 때

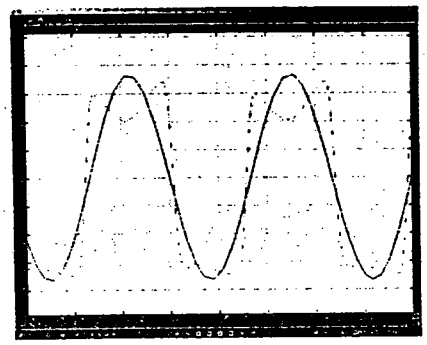

그림 11 C=765[uF]일 때

3. 결 론

철공진을 이용한 정전압 변압기는 별도의 전압제어회로가 없이도 입력전압 변화에 대해서 좋은 전압 안정도를 갖고 있다. 견고하기 때문에 낙뢰가 우려되는 케이블 TV용 전원등에 많이 사용된다. 또한 단락특성이 좋기 때문에 신뢰성이 요구되는 사용환경에 적합하다. 이에 커패시터 및 부하저항 등 회로상수의 변화에 따른 출력특성을 관찰하므로써 정전압 변압기 설계시 도움이 될 것이라 생각한다.

참 고 문 헌

[1] Alexander Husko and Theodore Wroblewski, Computer-Aided Design of Magnetic Circuits, MIT

[2] Colonel Wm. and T. McLyman, Transformer and Inductor Design Handbook, 2nd ed.

[3] R. N. BASU, "A New Approach in the Analysis and Design of a Ferroresonant Transformer", IEEE Trans. Magnetics Vol. 3, No. 1, Mar. No.1, 1967, 43p~49

[4] Harry P. Hart, J. Kakalec, "The derivation and application of Design Equations for Ferroresonant Voltage Regulators and Regulated Rectifiers", IEEE-MAG7, No. 1, Mar., 1971, 205p~211

[5] Thomas H. Sloane, Fereydoun Mekanik, "Effects of Line-Failure Phase Angle in Ferroresonant UPS", APEC '96, pp.716-721, 1996