

단상반도체변압기의 효율개선의 고찰

유수업^{**}, 최인원^{*}, 윤희상^{*}

^{**} 디에이치 텔레콤, ^{*} 호서대학교

A study of Efficiency Increase of Solid State Transformer

Yoo Sooyeub^{**}, Choi Inwon^{*}, Yoon Heesang^{*}

^{**}D H Telecom-inc, ^{*}Hoseo University

Abstract - 같은 정격의 자계결합형 단권변압기와, MOSFET로 구성된 반도체 변압기의 효율을 비교하였다. 두 변압기의 생산원가를 비슷한 정도로 맞추고 출력 정격도 같은 규격으로 일치시키고 그 성능을 비교하였다. 기존의 자계결합형 단권변압기와 반도체 변압기의 무부하시와 부하시의 전력을 측정하고 이 두 종류의 변압기의 손실을 분석하였다.

1. 반도체 변압기의 개요

단권형 변압기의 구성은 양방향 반도체 스위치를 구성하여 구성하였다. 이 구성은 자계결합형과 비교하면 그림 1-a와 1-b와 같이 구성을 비교할 수 있다.

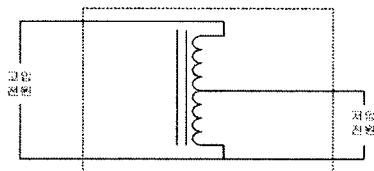


그림 1-a. 자기 결합형 단권변압기의 연결

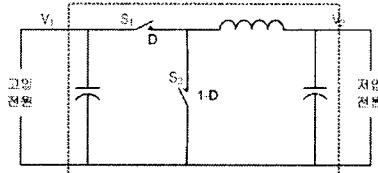


그림 1-b. 반도체로 구성한 단권변압기

이 구성은 자계 결합형이 회로도에서는 간단한 회로구성을 가진 것 같으나, 실제 회로에서는 변압기의 자계회로의 철심과 코일이 크고 무겁고 상시 여자 전류를 흘려줘야 하므로 그 외형은 훨씬 크다. 이에 반하여 반도체 구성회로는 코일의 크기를 매우 작게 만들 수 있으며, 반도체소자의 적절한 선정으로 전자회로를 자계결합형 변압기에 비하여 더 작고, 가볍게 만들 수 있을뿐더러 그 효율도 향상 시킬 수 있다.

2. 변압기의 설계

2.1 Design Constrains

본 연구는 같은 생산비용으로 크기, 무게뿐만 아니라 효율이 높은 제품을 설계하고 구성하여 비교하였다. 효율의 비교는 무부하시와의 전력손실을 비교하였고, 역률이 100%인 저항부하를 정격부하를 인가한 상태에서 그 차이를 비교하기로 하였다. 즉 자기 결합형과 반도체 형의 변압기를 비교하려면 이 두 형태의 세조에 소요

되는 비용이 같아야하고 그 정격이 같은 정도여야 비교 대상이 된다. 즉 반도체 결합형 변압기의 성능은 사용되는 반도체의 선정과 회로 구성의 여러 요소를 사용하기에 따라 그 성능이 향상되고 그 성능도 매우 우수하게 향상이 된다. 이에 비하여 자계 결합형 변압기는 자계 회로에 사용되는 철심의 선정과 전류를 흘리는 동선의 크기를 최적 제어하면 그 성능이 또한 개선 된다.

따라서 본 연구는 그 성능만의 우열을 비교하는 연구에서 실제 실용화 했을 때 각 방식의 우수성을 비교하는 연구이다. 따라서 다음과 같이 몇 가지 설계의 제약을 두고 그 성능을 판단하였다.

- (가) 제품의 원가는 1,000개의 단위로 생산할 때 그 생산원가를 기준으로 하였다.
- (나) 제품의 정격은 실용적인 규격으로 220V, 110V, 2KVA, 단권변압기를 기준으로 하였다.
- (다) 성능의 비교는 부하의 변동에 따른 입출력 전압변동률을 같은 정도로 하고, 이때 효율을 비교하기로 하였다.

이상과 같은 제약을 두지 않은 연구[1]에서는 반도체 변압기의 성능이 월등하게 우수하였다. 이는 반도체 변압기가 앞으로 소자의 개발과 가격하락이 이어지면 그 가격이 저하되는 것을 암시하고 있지만 현재 시장에서 유통되는 부품으로 조립하여 그 성능을 비교하기로 하였다.

2.1.1 자계 결합형 단권변압기의 효율

자계 결합형 단권변압기의 입출력의 전류를 살펴보면 무부하시에 여자 전류가 흐르며 이 전류가 호리내의 동선을 지나면서 생기는 적은 양이지만 동순과 자계회로의 손실이 있다. 이 손실은 부하 전류가 커지면서 점점 그 양이 커진다. 그 손실양은 표1와 같은 형태로 커진다.

표1. 자계결합형 전동기의 부하특성

입력(220V)			부하(110V, 역률1.0)			손실	효율 (%)
전류	전압	역률	전류	전압	전력		
0.06	227	0.588	0	110	0	8	0
2.10	227	0.961	4.09	110	450	9	98
4.09	226	0.988	8.09	110	890	10	98.9
6.78	226	0.988	13.6	110	1,500	14	99.5
9.08	225	0.991	18.2	110	2,000	24	98.8

즉 정격부하가 인가되면 전체 전류의 손실은 늘어난다. 이 손실은 자계순 동순으로 나뉘어 지나 본 실험에서는 전체 손실만 측정하기로 하였다.

이 때 변압기의 온도가 상승되며 변압기의 온도는 자체의 철심과 코일의 자체 열용량이 크므로 서서히 온도가 상승한다.

2.1.1 반도체 변압기의 효율

반도체변압기의 구성은 내부의 제어회로와 전력스위치

부로 나뉜다. 제어 회로부는 전류입출력의 크기와 상관 없이 일정한 양의 전력을 소모한다. 이 제어 회로의 제어신호에 의하여 고속의 ON/OFF의 동작을 하는 반도체 스위치와 이때 전류를 흘려주는 여러 구성요소의 부품에서 손실이 발생한다. 이 손실은 변압기의 발열을 가져오고 이 발열로 인하여 변압기의 온도가 상승하게 된다.

이 손실의 종류는 반도체 스위치의 ON/OFF시에 생기는 천이상태의 스위칭 손실, ON시에 생기는 손실과 Off시에 생기는 전류 누설손실과 함께, 인더터의 자손과 동순, 축전기의 내부의 저항에 의한 손실등이 그 손실의 종류이다. 이 모든 손실의 양이 전체 시스템의 효율을 나타내는 척도이다.

여기에서는 출력력 단자에 전류, 전압, 전력계를 인가하여 변압기의 전류 효율을 자체결합형 변압기와 같은 방법으로 측정하기로 한다. 이 측정 결과는 표2와 같이 정리된다.

표2. 반도체 변압기의 부하특성

입력(220V)			부하(110V, 역률1.0)			손실	효율
전류	전압	역률	전류	전압	전력		
0.05	227	0.9	0	110	0	10.2	0
2.4	227	0.991	4.09	110	450	13	98
4.02	227	0.991	8.09	110	890	15	98.3
6.77	226	0.992	13.6	110	1,500	18	99.5
9.04	225	0.994	18.2	110	2,000	22	98.8

이상과 같은 결과 비교에서와 같이 반도체 변압기의 효율이 나소 높게 나타나고 있다. 이러한 시스템에서 과부하가 인가되었을 경우에 손실을 살펴 보기로 한다.

2.2 정격이상의 변압기의 손실과 보호회로

변압기의 과부하가 인가되면 변압기의 손실이 증가되고 이에 발열로 인한 변압기의 소손이 우려된다. 이러한 상황은 기존의 저항 부하에서는 문제가 되지 않지만 전동기의 잦은 ON/OFF가 있는 기기에서는 ON되는 기간동안 전동기의 과도상태동안에 정격의 몇배의 전류가 흐르기도 한다. 이러한 과도기의 대책이 없이 단순한 과전류만 검지하는 회로만 갖춘 반도체 변압기에서는 전동기와 같이 기동전류가 많이 흐르는 부하를 인가하면, 기동전류에 의하여 보호회로가 동작하여 반도체 변압기가 차단되어 사용할 수 없게 된다.

즉 단상유도 전동기의 기동시에 무부하상태로 기동을 하여도 정격의 최대 6배까지 흐르는 시스템을 발견 할수 있다. 이러한 짧은기간 동안 과부하 상태를 가진 부하를 연결할때 손실을 분석하여 같은 정도의 반도체 변압기의 성능을 만들어 내고자 한다.

본 실험에서는 3초동안 정격의 3배의 전류를 인가하고 이후에 정격의 80%의 부하를 인가하는 상태로 실험하였다. 즉 전동기의 기동에 3초정도의 시간을 할애하고 기동후에 전동기가 변압기의 정격의 80%를 유지하도록 하였다.

이 경우 자체결합형 변압기의 경우 그 실험치가 다음과 같다.

표3. 자체결합형 변압기 과부하 상태의 손실

입력(220V)			부하(110V, 역률1.0)			손실	효율
전류	전압	역률	전류	전압	전력		
27.9	221	0.994	54.5	110	6,000	124	97.9

표4. 반도체변압기 과부하 상태의 손실

입력(220V)			부하(110V, 역률1.0)			손실	효율
전류	전압	역률	전류	전압	전력		
28.3	221	0.999	54.5	110	6,000	240	96.2

이에 반하여 반도체 변압기는 매우 높은 손실을 나타내고 있다. 즉 반도체 변압기의 내부온도가 급상승한다는 것을 의미한다.

2.2.1 손실의 요소분석

자체 결합형 변압기의 손실은 주로 자체의 포화에 의한 손실과 함께 동선의 저항에 의한 손실로 양분되는데 과부하에서는 동선이 급격히 늘어나고 있다. 따라서 부하가 3배로 늘어 나면 거의 손실이 3배로 늘어난다.

이에 반해 반도체 변압기의 손실은 기하급수적으로 증가된다. 이러한 손실의 증가는 반도체 소자의 특성에 기인한다.

즉 스위칭 소자인 MOSFET의 특성이 전류가 증가되면 Drain과 Source간의 전압이 증가된다.

따라서 전류 손실은 기하 급수적으로 증가된다. 가령 그림 2와 같은 소자의 도통 손실은 5A에서는 10W, 10A에서는 30W, 20A의 전류에는 150W가된다.

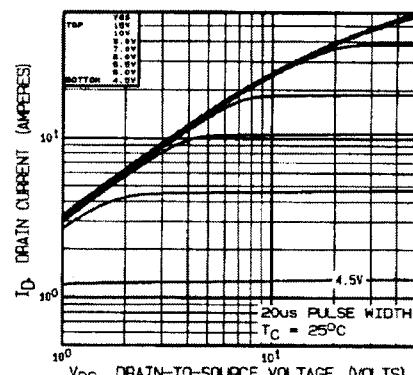


그림2 대표적인 MOSFET전압특성

따라서 MOSFET를 채용하면 경 부하에서는 매우 작은 손실을 가져올 수 있다. 즉 수 A의 부하에서는 반도체 스위치의 단자전압이 1V미만으로 유지되어 시스템의 전력손실이 작게되어 반도체 변압기가 월등하게 유리하지만 과부하에서는 반도체 소자의 손실이 증가하여 불리하다. 이에 대한 대책은 IGBT등을 채택하여 비교적 대전류를 흘려도 도통전압이 수V로 낮출 수 있는 소자를 채택하는 것이 유리한 시스템의 구성이 될 수 있다.

3. 결 론

반도체 변압기의와 자체 결합형 변압기의 성능로 비교하였다. 이 두 시스템의 손실을 정격이하에서의 손실과 정격이상의 상태의 짧은 순간 과부하 인가하고 실험하였다. 이 결과 MOSFET를 사용한 시스템이 정격이하에서는 매우 우수한 성능을 보인반면, 과부하에서는 불리한 결과를 가지고 있음을 인지하였다. 이에 대한 대책으로 IGBT를 채용한 시스템으로 변경하여 과부하에서도 손실이 비례적으로 변해야 할 것으로 사료된다.

본 연구에 사용된 반도체 변압기의 성능은 고가의 AVR(자동전압조절기능)을 가지고 있어, 본 실험에 사용된 수 만원대의 매우 높은 가격의 제품과 견줄 수 있다. 그러나 본 연구에서는 저렴한 가격의 제품을 상대로 하여 비교하였다.

[참 고 문 헌]

[1] 박 종상, 유수엽, “전자식 양방향 변압기의 구성 및 동작에 관한 연구”, 대한전기학회 학제학술대회, 2005년도 7월18일

[2] International Rectifier, “IRF450 DATA SHEET” 2001,1