

자동전압조정형 에너지 절약장치 개발

* 구헌희*, 변영복*, 김요희*, 최장훈**
 (* 한국전기연구소, ** 한국에너지산업(주))

A Development of Energy saving System using Voltage Adjustment

* Koo Heun Hoi*, Byon Young Bok*, Kim Yo Hee*, Choi Jang Hoon**
 (* Korea Electrotechnology Research Institute, ** Hankook Energy Industrial Co. LTD)

Abstract

During the last two decades, we experienced a few of the energy shocks and felt the importance of the energy saving seriously. As our energy reliance on other countries is absolute, We must counter these situations nationally.

To save the electric energy, various methods are explored such as the moderation of motor capability, the use of high efficiency system, the supervision of lighting systems, demand monitoring control systems.

In this study, we develop a system for electric power energy saving.

In Case the receiving point voltage is higher than the required voltage, the system reduce the voltage to an allowable level and by doing so it saves energy and protects the equipments from over voltage.

I. 서론

전기에너지는 모든 에너지 중에서 가장 사용이 편리한 에너지로 현대사회에서는 없어서는 안되는 에너지원이다. 이러한 전력에너지를 절약하기 위해서 전동기 용량의 적정화, 고효율기기의 채용, 조명관리의 철저, 축열시스템등 여러 분야에서 전력의 효율적 이용을 위해서 연구가 진행되고 있다.

전기에너지의 소비를 용도별로 살펴보면 전체에너지중 60% 정도가 전동력 설비에 소비되고 있으며, 18% 정도가 조명용으로 사용되고 있다.

전동력 설비에서 손실은 철손·동손·기계손·포유부하손 등이 있으나 기계손과 포유부하손은 외부에서 제어하기가 곤란하나 철손과 동손은 제어가 가능하다. 유도전동기의 경우 철손은 전압의 제곱에 비례하며 동손은 전류의 제곱에 비례하는데 부하 임피던스가 결정된 경우에는 전류가 전압에 비례하므로 전압을 제어함으로써 에너지를 절약할 수 있게 된다. 직류 전동기의 경우도 마찬가지로 해석할 수 있으며, 일반 배선에서도 동손은 전류 즉, 전압에 따라 변화한다.

조명부하의 대표적인 것으로 백열등과 형광등이 있다.

백열등이나 형광등은 인가전압을 낮추면 조도가 떨어진다. 그러나 인가전압을 낮춘것만큼 조도가 떨어지는 것은 아니며, 전압을 낮추어 주면 그만큼 손실이 감소하므로 조

명분야에서도 전압을 낮추어 에너지 절약을 할 수 있다.

수전단의 역률을 제어하기 위하여 진상용 콘덴서를 설치하는 경우 경부하시나 심야에 전압이 상승하게 된다. 전압이 상승하면 기기에 악영향을 미칠뿐만 아니라 손실을 증가시키므로 제어할 필요가 있다.

전력 수용가의 주요 부하설비인 유도부하(전동기), 저항부하 및 조명부하(형광등)에 대해서 각각의 전압과 전력의 관계를 실험에 의해 측정 고찰한 결과 전압과 전력의 상관관계는 그림 1과 같이 되었다.

따라서 수전단의 인입단에 전압을 제어할 수 있는 기기를 설치하여 기기의 성능을 유지할 수 있는 범위내에서 전압을 제어하면 에너지 절약을 도모할 수 있다.

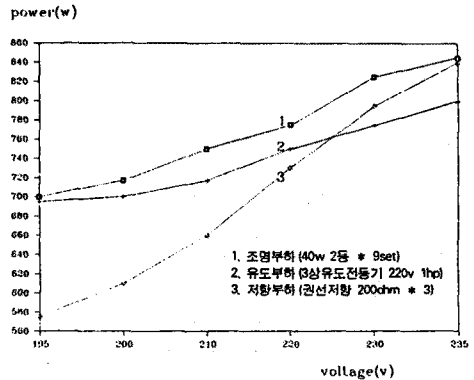


그림 1 부하설비에서 전압-전력 상관관계

II. 설계 및 시작품 제작

1. 장치의 구성

전압조정장치의 단상회로구성은 그림 2와 같으며 출력전압은 입력의 90%~96%(BYPASS시는 100%)의 범위에서 5step으로 하였으며, 탭절환 스위칭소자는 SSR(Solide State Relay)을 사용하였다.

2. 전압의 조정

본 장치에서의 출력 전압의 조정은 그림 2와 같이 반도체 스위치로 변압기 TAP을 절환하여 직렬변압기의 2차측에 유기되는 전압에 의해 부하에 전달되는 전압을 조정하는 방식을 사용하고 있다. 이 방식은 고조파를 발생하지 않고 제어도 간단하며, 변압기 탭절환부의 고속응답, 저보수화가 가능하게 된다.

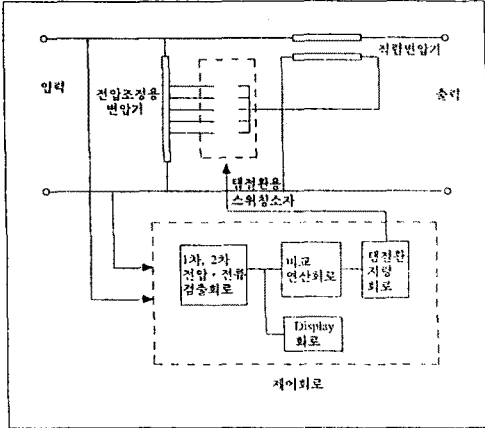


그림 2 전압조정장치의 회로구성

3. 전압조정용 변압기 설계

전압조정장치의 정격 2차전류는, 정격용량과 정격조정전압으로 산출되는 직렬권선의 전류이다.

승압조정범위와 강압조정범위가 다를때는, 조정범위가 큰 쪽의 극한 tap을 기준 tap으로 해서 그 tap에서 정격조정전압 정격용량 및 정격 2차전류를 정한다. 승·강압조정 범위가 같을때에는 지정된 사용조건을 기본으로 해서, 직렬권선 전류가 크게 되는 편의 극한 tap을 기준 tap으로, 기준 tap에서의 정격조정전압·정격용량 및 정격 2차전류를 결정한다.

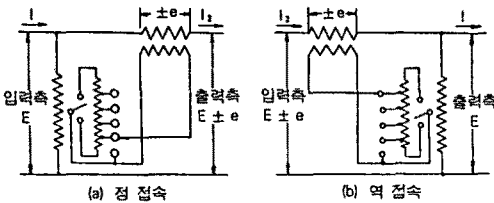


그림 3 변압기 접속 방식

그림 3에서 선로출력이 E로 일정할때, 그림 3(a)의 경우는 최대강압 tap에서, 그림 3(b)에서는 최대 승압 tap에서 I2는 최대로 되며

$$I_2 \max = I \times \frac{E}{E-e} \text{ 이 된다.}$$

따라서 그림 4(a)의 경우는 최대강압 tap, 그림 4(b)는 최대승압 tap이 기준 tap으로 되고 I2 max가 정격 2차전류로 된다. 정격조정전압이 e이므로 정격용량은 다음식과 같이 된다.

$$\text{정격용량} = e \cdot I_2 \max = \frac{E}{E-e} \times EI$$

E를 선로용량, E를 정격회로 전압으로 하면, I는 정격회로 전류이다. 이 경우 정격 2차전류는 정격회로전류와 일치하지 않는다.

승압 및 강압조정범위가 동일할때 2차전류를 항상 일정하게 해도 양극한 tap에서의 전손실은 동일하기 때문에, 소형의 배전용 등에서는 2차전류를 일정하게 정격회로전류 I와 일치시켜 다음과 같이 정격계량사이의 관계가 간단하게 되어 편리하다.

$$\frac{\text{정격용량}}{\text{선로용량}} = \frac{eI}{EI} = \frac{e}{E} = \frac{\text{정격조정전압}}{\text{정격회로전압}}$$

이 경우 그림의 정·역접속에 관계없이, 편의상 최대 승압 tap을 기준 tap으로 정한다.

4. 제어회로 설계

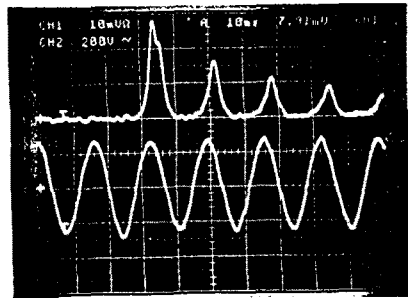
1) 기능

제어장치는 수전단 전압을 검출하여 전기기기에 걸리는 전압을 보조 변압기 Tap을 적절하게 조정하여 소비전력을 저감하는 에너지 절약형 전원장치의 제어부이며 기본적인 기능은 아래와 같다.

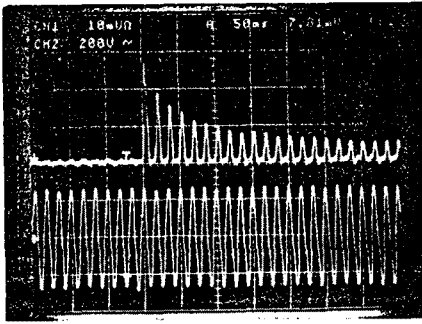
1. System 입·출력 전압 검출
2. System 입력 전류 검출
3. 변압기 Tap 선정 및 해당 스위칭 소자 Drive
4. System 고장·이상시 By Pass
5. Auto 및 Manual Drive
6. Display 기능-입력전압/출력전압/전력/역률
7. By Pass/Auto/Manual Drive Lamp 표시
8. 전력 감시 시스템과 Communication(Serial)
9. 단상/3상 검출 가능

5. 출력파형

출력전압을 조정하기 위하여 변압기 탭절환 순간의 출력파형을 Digital Oscilloscope로 측정한 결과 그림과 같이 되었으며 스위칭 순간의 파형의 변화가 없는 것이 확인되었다.



(a) TAP5 → TAP4 절환시



(b) TAP1 → TAP2 전환시

그림 4 출력파형

6. 에너지 절약 효과

자동전압 조정장치의 부하로서 load bank를 사용하여 공급전압을 저감시켜 부하에 인가했을 경우와 전압조정장치 OFF시 (BYPASS상태)의 소비전력을 측정하여 비교하였다. 실험결과 부하에 공급되는 전압을 제어하면 에너지 절약이 가능한것이 확인되었다.

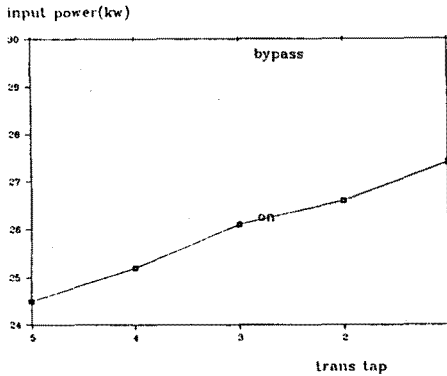


그림 5 전압-소비전력관계

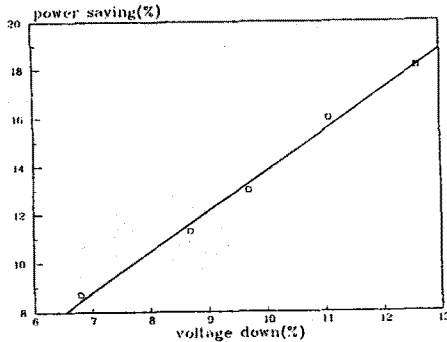


그림 6 시작품의 전력절감율

III. 결론

본연구에서는 여러가지의 전기에너지 절약 방법 중 수전단 전압을 제어하여 전기에너지를 절약하는 기기를 개발하였으며, 개발한 전압조정형 전원공급장치는 일반수요자의 수전단에 설치하여 수전단에 정격전압보다 높은 전압이 공

급될 때 부하설비의 동작에 지장이 없는 적절한 전압으로 낮추어 부하에서 소비되는 전력을 절감하기 위한 목적으로 사용한다.

이를 위하여 전압을 제어할 수 있는 방식에 대한 연구와 전압제어회로형식, 전압제어에 의한 에너지 절약 효과등에 대한 연구를 통하여 반도체 스위칭 소자에 의한 변압기 탭 절환제어방식의 전압조정형 에너지 절약기기를 개발하였으며, 장치의 제어회로는 16bit Microcontroller를 사용하여 출력 전압의 설정등을 program에 의해 제어 가능하도록 하였다.

본 연구개발의 주요결과는 다음과 같다.

- 전압제어에 의한 에너지 절약 기술 연구
- 전압조정방식 및 적용
 - 반도체 스위칭 소자 이용 방식
 - 변압기 탭 절환 방식
- Microprocessor에 의한 Controller 개발
- 전압조정용 변압기 설계 및 제작
- 전압 조정장치의 설계 및 시작품 제작
 - 용량 3φ 220V 100kVA
 - 1φ 220V 100kVA
 - 전압조정범위 : 입력전압의 90~100%
 - 전압조정방식 : 직렬 변압기 방식
 - 출력전압의 제어 : 변압기 탭절환 제어
 - 탭절환용 소자 : SSR
- 시작품 특성시험 및 에너지 절약 효과 분석

참고문헌

1. 한국전기연구소 "에너지 절약형 전원공급장치개발" 과학기술처 특정연구보고서 : 1993
2. 한국전기연구소 "정지형 무효전력보상장치개발" 과학기술처 특정연구보고서 : 1986

* 본연구는 과학기술처의 특정연구개발사업으로 진행된 "에너지절약형 전원공급장치개발"과제 (참여기업 한국에너지산업주식회사)의 일부이다.