

Dimmer 회로에서의 고조파 발생과 저감에 관한 연구

박석훈, 유인근
 창원대학교 전기공학과

A Study on harmonics generation and reduction in Dimmer circuits

Seok-hoon Park, In-keun Yu
 Changwon National University Dept. Electrical Eng.

Abstract - For many years, electric utility has used sustained interruption rates as a reliability index. Today, however, many electricity consumers are adversely affected by more subtle voltage disturbances such as harmonic distortion. This paper deals with observations of events that occur in the Dimmer circuits and phase control which could affect harmonics problem to the commercial power system. In order to reduce the effect of harmonics and design filters, Solid State Relay Dimmer(SCRs or TRIACs) and Noise Filter are described, and the effects of harmonics is also analyzed. IGBT Dimmer which is appropriate method to reduce harmonics and improve efficiency is introduced.

그러나 Dimmer가 일반적으로 사용된 것은 전등이 무대극에 사용된 19세기 중반 이후이며, 그 후 전기전자 기술의 발전에 힘입어, 현재에는 무대극, 각종 공연장, TV studio, 사무실 및 절전이나 보호의 목적으로 널리 사용되고 있다. Dimmer가 사용된 이후로 현재까지 많은 형태로 제작되었으며 크게 전류 조절형, 전압 조절형과 위상제어형으로 나눌 수 있다. 현재 전류 조절형 Dimmer와 전압 조절형 Dimmer는 효율이 낮고 폭 넓은 제어가 불가능하기 때문에 거의 사용되지 않고 있다. 따라서, 본 논문에서는 가장 널리 사용되고 있는 위상제어형 Dimmer에서의 고조파 발생과 저감 대책을 분석하기로 한다.

1. 서 론

조명에 사용되는 에너지는 총 전력수요의 약 20%를 차지하고 있으나 조명 기기를 제작하는 업체가 대부분 중소기업으로서 조명에 관한 기술은 선진국에 비해 상당히 뒤떨어져 있는 실정이다.[1]

또한 국내의 업체에서 에너지 절약을 위한 조명 기기를 생산하고 있으나 절전효과, 경제성, 신뢰도, 소음 및 전력품질에 영향을 미치는 고조파 등의 문제점이 발생하고 있으며, 최근 전력변환장치 및 전동기 드라이버에서 전력용 스위칭 소자와 마이크로 프로세서의 사용 증가와 관련하여 고조파 문제에 대한 관심이 증가하고 있다.[2] 특히 위상제어를 사용하는 분야에서의 고조파 발생이 두드러져 가고 있으며, 유도 가열이나 Dimmer 등을 그 예로 볼 수 있다.[3] 이에 본 논문에서는 조명 기기 중에서도 무대조명 등에 많이 사용되고 있는 Dimmer회로에서의 고조파 발생 현상을 분석하고자 한다.[4][5] 측정은 현재 많이 사용되고 있는 SSR 위상제어형 Dimmer가 설치된 장소에서 하였으며 Dimmer에서 발생한 고조파에 의해 찌그러진 파형이 전원 쪽으로 영향을 주는 것에 대하여 전력품질 측면에서 검토하였다. 외국에서의 Dimmer 고조파에 대한 저감 대책과 국내에서의 상황을 비교 분석하고, 고조파 저감 대책중의 하나인 IGBT Dimmer에 대해서도 살펴보았다.

2. Dimmer

2.1 Dimmer의 개요

Dimmer란 전기조명에 의한 빛의 밝기를 조절하는 장치를 대표하며 일명 「조광기」라고도 한다. Dimmer 기술의 발달은 중세이후의 실내극의 발달과 밀접하게 연관되어져 왔다. 1800년대 초에 GAS등이 사용되기 시작함에 따라 빛의 양을 조절하는 것이 비교적 용이해짐으로써 조광(Dimming)이 극의 효과요소의 일부로서 자리잡게 되었다.

2.2 위상제어형 (SSR) Dimmer

교류에 대한 Thyristor의 Gate trigger에 의한 Switching특성을 이용한 Dimmer로 1960년대 이후 조광기의 주류가 된 것이며, 그 동작원리는 Thyristor의 Gate 단자에 Gate Pulse signal이 입력되면 도통되어 전원의 극성이 반대가 될 때까지 유지되는 특성을 이용하여 교류전원의 위상각을 제어하는 것으로, Gate Trigger시기를 Gate Control회로로 조절하여 원하는 수준의 Level을 조광하게 한 것이다.

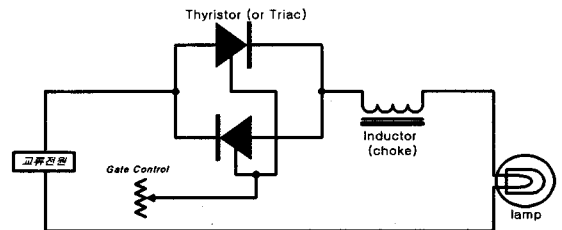


그림 1 위상제어형 조광기의 구조

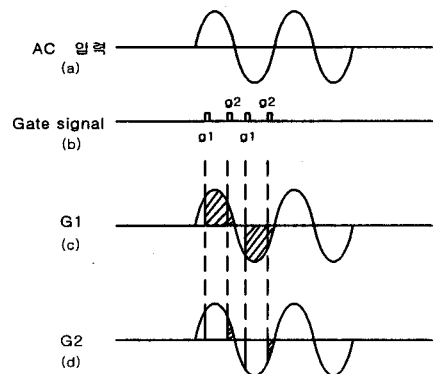


그림 2 Dimmer의 위상 제어 원리

그림 1은 이러한 위상제어형 Dimmer의 구성도를 나타낸 것이며, 그림 2의 a와 같은 교류전원에 b의 Gate Pulse g1, g2가 입력되었을 경우 부하에 흐르는 전류의 파형은 c, d와 같이 되므로 g1의 Gate Pulse가 g2의 경우보다 많은 전력을 부하에 공급하게 되어 더 밝은 조광 조건을 얻게 되며, 이와 같이 Gate Trigger Pulse를 전자회로를 이용하여 임의의 각도에서 출력시킴으로써 조광제어가 가능하게 된다. 이렇게 함으로써 Dimmer의 기계적 동작부분이 전혀 없어지게 되었으며 소형·경량화가 이루어지고, 반복 사용에 따른 오차가 없어지는 등 종래의 전류 및 전압 조정형 조광기의 많은 단점이 개선되었지만 대용량의 경우 전력용 소자문제나 위상 제어에 따르는 고조파의 문제 등이 항상 존재하게 된다.

3. 고조파

3.1 고조파의 개요

고조파라는 것은 「주기적 복합파의 각 성분 중에서 기본파 이외의 것, 제 n조파라는 것은 기본파의 n배 주파수」라고 정의할 수 있다. 예를 들면 방형파는 정현파에 비해서 파형은 전혀 다르지만, 이것도 기본파와 고조파의 합성에 의해서 얻을 수 있다. 파고치 A인 방형파를 푸리에 전개하면

$$F(t) = \frac{4A}{\pi} \left[\sin \omega t + \frac{1}{3} \sin 3\omega t + \frac{1}{5} \sin 5\omega t + \frac{1}{7} \sin 7\omega t + \dots + \frac{1}{2n+1} \sin (2n+1)\omega t \right]$$

이 되며, 파고치가 $4A/\pi$ 인 기본파와 그리고 기본파에 대한 파고치가 $1/3, 1/5, 1/7 \dots$ 인 기수 배의 주파수를 갖는 고조파가 합성된 것임을 알 수 있다. 그림 3에 나타내어져 있는 왜형파는 기본파 (60Hz, 1pu)와 3조파(180Hz, 0.4pu), 5조파(300Hz, 0.3pu)가 중첩되었을 때의 파형을 나타낸 것이다.

우리 나라의 송전계통은 60Hz의 상용주파수로서 운용하고 있으나 실제전압, 전류 파형은 정확한 정현파가 되지 않고 왜형파로 나타나고 있다. 이 같은 파형도 하나의 기본파와 복수의 고조파가 합성된 것이다. 일반적으로 왜형파는 무한개의 고조파를 포함하고 있고, 고차일수록 그 함유율은 감소한다. 전력계통에 있어서 고조파(高調波)의 대상이 되는 주파수 범위는 일반적으로 제 40~50차 (약 3kHz) 정도까지를 말하며 전자회로 등에서 다루는 고주파(高周波)영역(수십kHz 이상)과는 구별하고 있다.

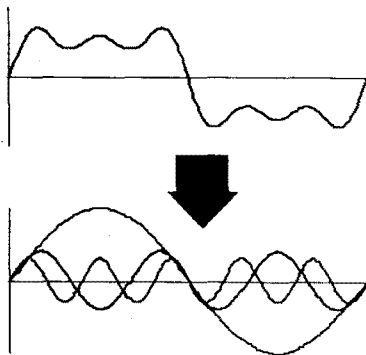


그림 3 기본파 60Hz + 3조파 + 5조파

3.2 고조파의 영향

고조파의 발생이 주위 기기에 상당한 악영향을 미치며

발생원 자체의 내구성도 악화시키게 된다.

표1은 고조파가 기기에 미치는 영향을 형태에 따라 분류한 것이다.

표 1 고조파가 기기에 미치는 영향

| 분 류 | 현 상 | 피해기기 |
|-------------------|-----------------------|--|
| 고조파에 의한 과전류 유입 | 이상음 | 콘덴서 리액터 |
| 고조파 전압의 중첩 | 과열 소손 오차 오제어 | 변압기 회전기 전력케이블 배전용차단기 누전차단기 전력량계 지시계기 |
| 순시파형의 왜형 | 오차 제어불안정 오제어 | 인버터 지시계기 보호계전기 조명기구 위상제어기기 |
| 유도 장애 | 잡음 화상의 일그러짐 | 통신장비 전송장비 |

표 1에 나타낸 영향들 중에서도 제어장치나 전산설비에 서의 오동작이 가장 많이 일어나는 것으로 알려져 있다.

4. 측정방법과 측정결과

4.1 측정 방법

고조파를 많이 발생시키는 발생원을 Dimmer로 간주하고 그 양단을 Quality Analyzer(BMI-3030A)를 사용하여 측정하였다.

조광율에 따라 각각 측정을 하였으며 측정방법이 그림 4에 나타나 있다.

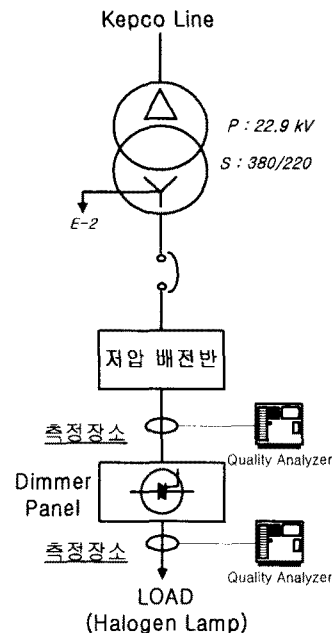


그림 4 측정 계통의 구성도

4.2 측정 결과

Dimmer Panel 양단에서의 순시전력을 측정한 결과를 표 2에, Dimmer 1차 측 고조파전류 측정치를 표 3에 각각 나타내었다.

고조파 전압의 경우에는 문제가 되지 않을 정도의 결과가 나왔기에 본 논문에서는 제외하였다. 50%이하의 조광율에서 발생하는 고조파 전압은 규정치를 5~10%를 상회하는 것으로 나타났다. 심각한 문제를 일으키는 것은 전압 측면보다는 전류 측면이라 할 수 있다.

표 2 Dimmer Panel 양단의 순시 전력

| 조광율 (%) | 양단의 전력(kW) | | Dimmer 손실(kW) |
|---------|------------|-----------|---------------|
| | Dimmer 1차 | Dimmer 2차 | |
| 20 | 209.8 | 118.9 | 90.9 |
| 30 | 337.5 | 197.2 | 140.3 |
| 50 | 580.5 | 332.4 | 248.1 |
| 100 | 817.3 | 446.6 | 370.7 |

표 3 Dimmer 1차 측 고조파 전류

| 부하율 (%) | A상의 고조파 전류 | | | | | | | THD |
|---------|------------|------|-----|-----|------|------|------|------|
| | 3rd | 5th | 7th | 9th | 11th | 13th | 15th | |
| 20 | 55.7 | 13.6 | 3.9 | 2.0 | 1.4 | 1.4 | 0.2 | 57.6 |
| 30 | 42.7 | 2.0 | 5.4 | 1.2 | 1.3 | 0.6 | 1.1 | 43.1 |
| 40 | 31.8 | 4.1 | 4.8 | 1.4 | 0.3 | 1.6 | 1.1 | 32.5 |
| 50 | 23.0 | 6.6 | 1.9 | 0.5 | 1.6 | 1.1 | 0.1 | 24.2 |
| 60 | 13.4 | 4.9 | 2.5 | 1.3 | 0.6 | 0.6 | 0.1 | 14.6 |
| 70 | 8.4 | 4.6 | 0.8 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 10.1 |
| 80 | 5.4 | 3.3 | 1.0 | 0.2 | 0.6 | 0.3 | 0.1 | 6.6 |
| 100 | 2.4 | 0.8 | 0.5 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 2.6 |

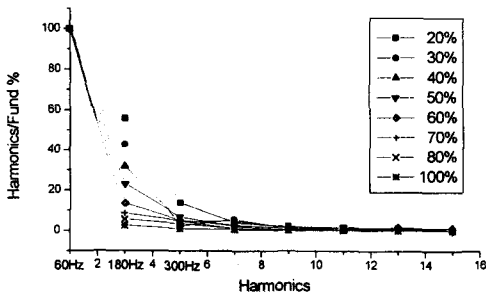


그림 5 Dimmer 1차 측 고조파 전류

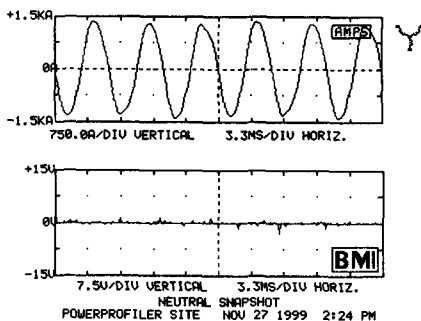


그림 6 20% 부하시의 중성선 전류·전압 파형

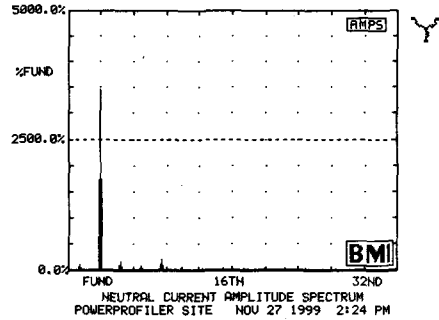


그림 7 20% 부하시의 중성선 전류 스펙트럼

5. 고조파 저감 대책

고조파 저감 방법으로는 필터를 사용하는 방법이 널리 사용되고 있다. 필터에는 수동 필터와 능동 필터가 있으며 주로 경제성이 나은 수동 필터가 많이 설치되고 있다. 하지만 그 또한 대응량일 경우에는 다소 경제적 부담이 커진다는 단점이 있다.

또 다른 대책으로는 전력용 소자의 세대교체가 전력전자 기술의 도입으로 가능하게 되는 IGBT Dimmer를 들 수 있다. 그림 8에 IGBT Dimmer의 구조를 나타내었다.

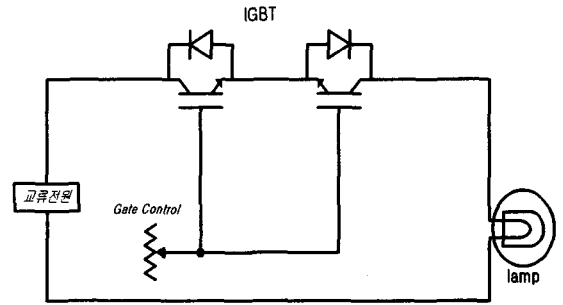


그림 8 IGBT Dimmer의 Block Diagram

6. 결 론

Quality Analyzer(BMI)를 이용하여 고조파를 측정하고 FFT 분석을 한 결과 전원 계통으로의 유입되는 고조파 전류가 상당히 많음을 알 수 있었다. 측정치를 비교해 봤을 때 50%이하의 조광에서 고조파가 많이 나올 수 있었고 80%이상에서는 문제가 없음을 확인되었다. 효율이 50%를 상회하는 것은 정격 출력 조건이 아닌 상태에서의 결과이기 때문으로 사료되며 그걸 감안 하더라도 통상 80~85% 정도이다. IGBT Dimmer에서는 전력 반도체 소자의 특성상 고조파 저감 효과가 매우 클 것으로 보인다.

본 연구는 한국과학재단 지정 창원대학교 공작기계기술 연구센터의 일부지원에 의한 것임

(참 고 문 헌)

- [1] 한국전기연구소 "조명효율향상기술개발 (Ⅱ)", 1987
- [2] 日本電氣協同研究會 "高壓受電設備における高調波問題の現狀と對策", 電氣協同研究, 第54卷 第2号, 1998
- [3] 한국전기안전공사, "전기사용장소에서의 고조파 장해 분석 연구", 1997
- [4] <http://www.rosco-et.com/ipsframe.htm>
- [5] <http://www.strandlighting.com/>