

## 순간전압강하 보상기의 설계와 해석

이택기<sup>○</sup> 현동석      황용하  
한양대학교 전기공학과      (주) 이화전기

### Design and Analysis of Instantaneous Voltage Drop Compensator

Taeck-Kie Lee<sup>○</sup> Dong-Seok Hyun      Yong-Ha Hwang  
Dept. of Electrical Eng. HanYang Univ.      E-HWA Electric Co.

#### ABSTRACT

This paper discusses the principle and structure of instantaneous voltage drop compensator, which protects damage from instantaneous voltage drop in systems such as computer, variable speed drive, high voltage discharge-lamp, magnet switch. When instantaneous voltage drop occurs, control circuits detect it, then produce output voltage the same as normal condition voltage. Instantaneous voltage drop compensator has condenser bank as energy storage component, so system can be made small, light weight compared with UPS. In normal state, utility source transfers power, and in instantaneous voltage drop state, the energy of condenser bank transfers power through inverter, so high efficiency, compact, and especially low cost system can be manufactured.

#### I. 서론

전력계통을 구성하는 송전선에 낙뢰 및 외란에 의해 고장이 발생한 경우 고속으로 고장설비를 검출해서 차단기가 동작하여 고장구간을 전력계통에서부터 제거하는데까지의 시간동안 고장점을 중심으로 전압이 저하하는 현상을 순간전압강하라 칭하고 오펜시간동안의 정전과는 구별이 된다. 우리나라의 전력공급신뢰도는 전력공급설비의 질적 향상과 보수·관리의 노력에 의해 향상이 되어서 정전의 발생빈도는 극히 적어지게 되었다. 그러나 낙뢰 및 외란과 같은 자연재해에 의한 순간전압강하는 피할 수 없는 현상이다.

이 순간전압강하의 영향을 받는 기기는 공장의 생산라인, 사무의 정보관리 시스템등에 널리 쓰이는 컴퓨터 시스템, 전동기 속도를 가변하여 실의 급기를 맞추는 섬유회사의 인버터 장치 혹은 휠라멘트를 제조하는 회사의 전동기 속도 제어 장치, 그리고 계장용 시퀀스를 담당하고 있는 마그네틱 스위치 및 전력비 절감을 위한 고압 방전등으로 언급되고 있다. 이들 기기는 로보트, 프로그램 컨트롤러 등의 장치에 조합되어 또한 이들의 장치를 통합하여 프로세스 제어·정보관리·공조시스템 등이 구성되어 사용되기도 한다. 산업분야에 있어서도 대부분의 장치에 CPU가 조합되어서 정밀도가 높은 시스템이 구성되기 때문에 전원의 품질에 대한 요구가 고도화되기 시작했다. 위의 언급된 모든 시스템에서 순간전압강하가 발생하면 그 피해는 상당히 크게 된다.

이에 따라 UPS(Uninterruptible Power Supply: 무정전전원장치)의 필요성이 제인식되기 시작했다. UPS는 정전까지도

대비해서 전원의 질을 만능적으로 개선하기 위한 장치이다. 급용기관의 온-라인 컴퓨터·항공·교통관계 시스템 등으로 대포되는 것 같은 사회적 안전과 신용을 중시하는 부하에는 순간전압강하시만이 아닌 어떠한 장애도 절대로 허용가능하지 않기 때문에 계산성 보다도 신뢰성이 우선되고 따라서 병렬형 UPS 시스템을 사용하고 장시간 정전에도 대응 가능하도록 발전기를 병설한 것과 같은 대책장치가 설치되고 있다. 그러나 정류기, BATTERY와 CVCF 인버터를 주요구성기로 하는 관계상 UPS는 그 가격과 조작법의 간소화, 운영비(running cost)의 저감에는 한계가 있는 것이 사실이다.

본 연구에서는 경제성이 높고 사용자의 사용의도에도 잘 맞으며 취급하기 쉽고 구조가 간단한 순간전압강하 보상기의 개발을 위해 순간전압강하보상기의 구조와 원리를 제시하고 설계의 기초를 확립하였으며 시뮬레이션을 통해 그 성능을 검증하였다.

#### II. 순간전압강하 보상기의 원리와 구조

먼저 순간전압강하로 인해서 발생하는 영향을 고찰하고 보상기의 원리와 특징을 기술한다.

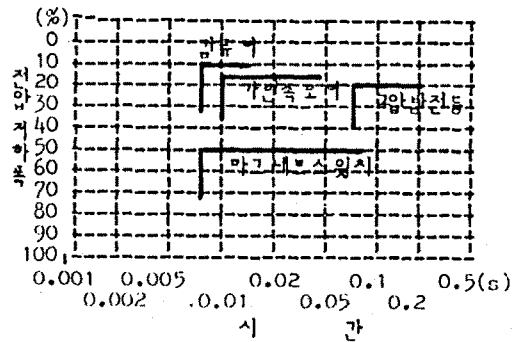


그림 1. 전압저하폭과 시간

그림 1은 순간전압강하로 피해를 받을 수 있는 부하에서 그 전압저하폭과 시간과의 관계를 도시한 것이다. 그림에서 보듯이 컴퓨터는 전압저하폭이 10% 이상으로 된 상태가 약 8msec(약 60Hz의 반주기) 이상이 되면 치명적인 피해를 받게 됨을 보여준다. 이와같은 상황에 대처하기 위한 장치가 필요 한데 그것이 UPS이었다. 그러나 UPS는 대단히 고가(高價)의

장비인데다 실제의 여러 산업체에서는 정전까지 포함한 만능의 대책장치 보다도 생산성의 향상이 우선되기 때문에 저가적·적은 유지비용·폭넓은 대책장치가 필요한 경우가 많다. 본 연구에서 제시한 순간전압강하 보상기(Instantaneous Voltage Drop Compensator)는 그와 같은 필요에 부응하기 위해 개발된 장치로서 다음과 같은 특징을 갖는다.

가. 종래의 UPS는 오랜시간의 정전을 포함한 전압보상을 하는데 비해(3분~1시간) 순간전압강하 보상기는 순간적인 정전을 보상한다.(약2초이내)

나. 에너지 축적장치로서 UPS의 BATTERY대신에 콘덴서를 사용한다.

그림 2는 순간전압강하 보상기의 기본 구성과 동작원리를 표시한다. 정상시는 사이리스터 바이패스 스위치를 통하여 직접상용전원으로 부터 부하에 전력을 공급한다. 한편 이 상태에서 콘덴서는 정류기를 통하여 초기 충전되고 인버터는 "Call Stand-by"의 상태로 된다. 계통고장에 의해 순간전압강하가 발생한 때는 검출회로에서 전압저하를 감지해서 사이리스터 바이패스 스위치를 고속으로 소호하고 인버터는 콘덴서에 축적된 에너지를 이용해서 순간적인 전압강하를 보상하여 부하에는 계통의 무사고시와 거의 동일한 일점의 전압이 인가되도록 제어된다. 체통의 상태가 다시 회복되면 순간전압강하는 없게되어 사이리스터 바이패스 스위치가 투입되고 인버터는 정상시의 "Stand-by"상태로 되돌아 간다. 따라서 순간전압강하 보상방식은 보통 "Standby Power Supply"라 불리는 형태의 전원장치이다. 콘덴서의 에너지 방출시간을 길게하기 위해 부하에는 최소한의 한계치를 공급하는 것으로 제어를 한다. 그림3은 순간전압강하 보상기의 블록선도를 보여준다.

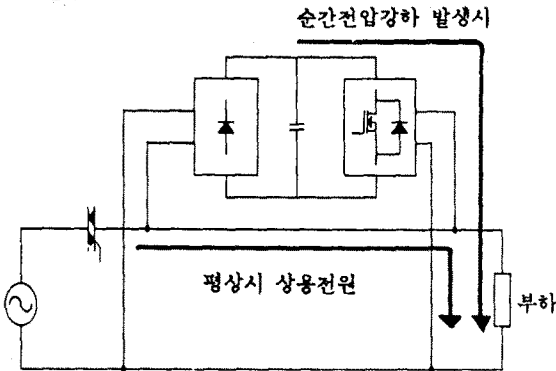


그림 2. 순간전압강하 보상기의 동작원리

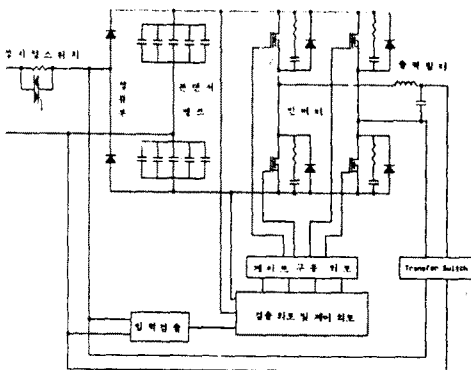


그림 3. 순간전압 강하 보상기의 블록선도

① 정류부

본 연구에서는 정류부는 비전압정류를 하는 다이오드 브리지회로를 채택한다.

② 콘덴서 병크

정류부의 출력인 DC 링크단은 에너지 축적소자로서 콘덴서를 여러개 조합하여 사용하였기 때문에 콘덴서 병크라 칭하기도 한다. 알루미늄 전해콘덴서를 사용하면 BATTERY를 사용할때의 유지·관리의 어려움이 없고 또한 부식성 가스의 발생도 없어서 클린룸(CLEAN ROOM)에 설치할 수도 있게 된다. 콘덴서의 수명에 관하여 고찰해보면 수명에 영향을 미치는 인자는 주위온도, 습도, 기압, 진동 등이있다. 이중 온도가 콘덴서 수명에 가장 큰 영향을 끼친다. 콘덴서의 수명은 콘덴서를 정격동작온도 범위내에서 사용할 경우 ARRHENIUS의 식에 따라서 온도가 10℃ 높아지면 수명은 1/2로 반감하게 된다. 또 사용조건에서 수명에 영향을 끼치는 스트레스로서 리플(RIPPLE) 전류에 의한 열적인 손상이 있다. 콘덴서는 리플전류를 허용치이내로 하고 사용온도를 정격온도내중에서 가급적 낮은 온도에서 사용하면 수명이 길어진다. 콘덴서 병크 충전시에 흐르는 충전전류치를 적정한 값이내로 제한을 시켜주면 충전시에는 별문제가 없게된다. 전체부피면에서도 BATTERY 보다도 훨씬 간소하고 취급하기 용이하여 외관도 축소되는 장점이 있다.

③ 입력전압 검출회로

본 연구에서는 순시전압강하의 경우 정밀도가 높고 검출지연이 없이 전압강하검출을 실현하기 위해 그림4와 같은 회로로 구성된 입력전압검출회로를 사용한다.

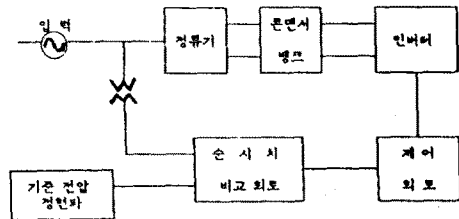


그림 4. 입력전압 검출회로 블록선도

④ 인버터

일반적인 규정상 인버터의 출력에서 필터링이 된 출력전압은 대부분의 부하가 상당한 비선형이더라도 그 출력전압은 매우 적은 고조파 성분만을 포함해야 되는 것이 보통이다. 따라서 순간전압강하 보상기에는 부하의 영향으로 큰 고조파 전류가 흐를 수도 있다. 그러므로 인버터는 출력 교류(AC) 파형의 거의 순시적으로 제어해야만 한다. 출력전압에서 고조파분의 양은 TOTAL HARMONIC DISTORTION(THD)라 불리는 표현으로 규정이 된다. 통상 THD는 5% 이하가 되게 규정이 되며 각 고조파전압은 V1의 비로서 3%이내가 되게 규정이 된다. 인버터출력에서는 고조파 성분을 최소화시키는 것이 중요한 일인데 이는 필터의 크기를 감소시켜 비용절감의 효과 뿐 아니라 부하변화에 따른 보상기의 동특성을 개선시키기 때문이다. 그래서, 본연구에서는 PWM(PULSE WIDTH MODULATION) 인버터를 사용하였다. 정현파 PWM에서 출력전압의 기본파 주파수 성분의 크기는  $m_a$ (변조지수) < 1.0 조건에서  $m_a$ 에 따라 선형적으로 변하게 된다.  $m_a > 1.0$ 인 조건에서는 인버터출력은  $m_a$ 에 따라 선형적으로 변화하지 못한다. 고조파 전압은 필터링하는 것이 비교적 용이하기 때문에 가능한한 스위칭 주파수를 높게 하는 것이 바람직하다. 한 가지의 단점은 인버터에서 스위칭손실은 스위칭 주파수  $f_s$ 에 비례적으로 증가한다는 것이다. 그러므로 스위칭소자가

일정한 동작영역내에서 스위칭 되도록 하는 스위칭주파수를 선택한다. 그림5는 단상 풀-브리지 인버터이며 여기에 단극 전압 스위칭을 갖는 PWM 제어를 이용하여 출력전압을 얻도록 한다. 인버터의 각단 A, B는  $V_{r1}$  와  $V_{ref}$ ,  $-V_{ref}$  이 각각 비교되어서 독립적으로 제어된다. A 단에서 스위치를 제어하는 논리신호는 다음과 같다.

$V_{ref} > V_{r1}$  ; SA+ 온 ; VAN = Vd  
 $V_{ref} < V_{r1}$  ; SA- 온 ; VAN = 0

B 단에서 스위치를 제어하는 것은  $-V_{ref}$  가 똑같은 삼각파와 비교되어서

$-V_{ref} > V_{r1}$  ; SB+ 온 ; VBN = Vd  
 $-V_{ref} < V_{r1}$  ; SB- 온 ; VBN = 0

그림6의 파형은 4개의 스위치 온-상태 조합이 있음을 보여 주며 다음과 같다.

1. SA+ SB- 온 ; VAN = Vd VBN = 0 ; Vo = Vd
2. SA- SB+ 온 ; VAN = 0 VBN = Vd ; Vo = -Vd
3. SA+ SB+ 온 ; VAN = Vd VBN = Vd ; Vo = 0
4. SA- SB- 온 ; VAN = 0 VBN = 0 ; Vo = 0

출력전압의 구성은 반주기동안 한 극성만 나타나므로 단극성 전압 스위칭(UNIPOLAR VOLTAGE SWITCHING)이라 한다. 이 단극성 전압스위칭의 특징은 스위칭주파수가 실질적으로 (EFFECTIVELY) 2 배가 된다는 것이다.

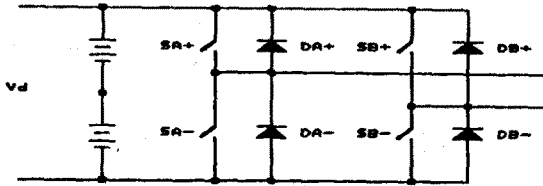


그림 5. 단상 풀-브리지 인버터

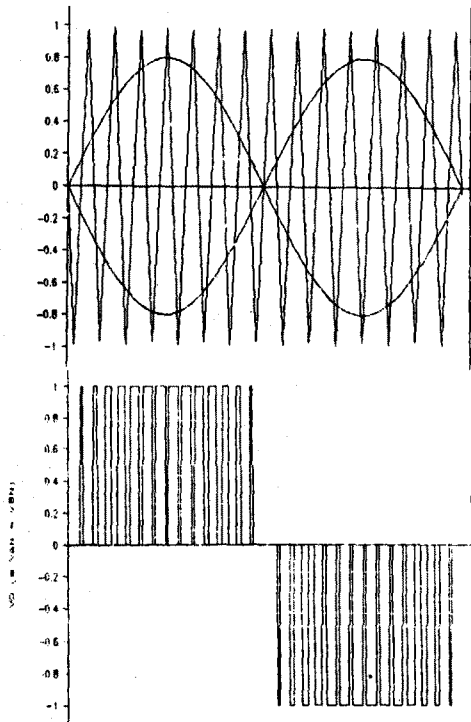


그림 6. 단극성전압 스위칭을 갖는 PWM

III. 순간전압 강하 보상기의 해석

순간전압강하 보상기의 특징으로는 콘덴서를 에너지 축적 소자로서 사용한다는 것이며 이미 2장에서 그 장점을 기술 하였다. 3장에서는 콘덴서 बैं크에 축적된 에너지를 앞서 논의한 PWM 제어로서 일정전압 일정주파수(CVCF)를 얻는 과정을 논의한다. 콘덴서 बैं크의 용량은 부하에 따라 달라지지만 역률인 부하를 기준으로 하여 일정전압지속시간과 콘덴서 용량과의 관계를 산출한다. 콘덴서 बैं크의 전압은 인버터를 통하여 부하에 전력을 공급하는 동안 지수함수적으로 감소하기 때문에 일정한 출력을 얻기 위해서 콘덴서 बैं크의 전압에 비례하여 반송파의 최고치를 감소시켜 콘덴서 बैं크의 직류전압 변동이 출력에 영향을 끼치지 않도록 한다. 기본적인 인버터의 회로는 그림 5이며 출력단에는 저역통과 LC필터가 부착되어 있다. 콘덴서 बैं크의 초기치는 단상 배전압 정류이므로 입력전압의 2배가 된다. 콘덴서 बैं크의 용량은 0.01 F보다 커서 PWM은 단극성 전압 스위칭 방식을 사용한다. 인버터 출력이 일정한 전압과 일정한 주파수로 되게 하기 위해서 2장에서 논의한 PWM방식을 사용하며 그 출력을 얻는 기본적인 식은

$$(V_{AO})_1 = \frac{V_{REF}}{V_{TRI}} \cdot \text{SIN } \omega t \cdot V_{CB}$$

$$= m_a \cdot \text{SIN } \omega t \cdot V_{CB}$$

이다. 이 식은 DC 링크전압이 일정하고  $m_a$ 가 1을 넘지않을 때 성립하는 식이다. 순간전압 강하 보상기는 인버터를 통하여 부하에 전력을 공급하게 되면 콘덴서 बैं크의 전압이 지수함수적으로 감소하므로 위식에서 알수 있는 바와 같이 반송파의 크기를 콘덴서 बैं크의 전압에 비례하여서 감소시킴으로써 일정한 출력을 얻을 수 있을 것이다. 그 방법으로 반송파의 크기를 콘덴서 बैं크의 전압에 따라 지수함수적으로 순시적으로 변화하게 하는 방법을 고찰한다. 반송파의 크기  $V_{TRI}$ 는

$$V_{TRI} = K \cdot V_{CB}$$

(단, K는 비례계수,  $V_{CB}$ 는 콘덴서 बैं크의 전압)으로 함으로써 일정한 출력을 얻게 된다. 기준 정현파의 크기와 주파수는 일정하므로 인버터의 PWM 출력파형은 크기는 지수함수적으로 감소하며 그 폭은 점차로 넓어지는 모양이 될 것이다. 그림7은 반송파의 최고치의 변화를 나타낸 것이다. 계속 순시적으로 변화하는 것을 볼 수 있다. 이렇게 하였을때 인버터 PWM파형을 나타낸 것이 그림8이다. 그림에서 볼 수 있듯이 크기는 지수함수적으로 감소하고 폭은 넓어지는 것을 알 수 있다. 그림9는 필터를 거친 인버터 출력파형이다. 거의 정현파인 출력이 약 75 MSEC동안 얻어지는 것을 볼 수 있다. 그 후에는 출력전압도 상당히 감소하고 파형도 일그러지게 되는데 이는  $V_{CB}$ 가 감소하게 됨에 따라 반송파의 크기도 감소하게 되어  $m_a$ 가 1보다 크게 되는 경우가 생기는데 이때는 출력전압이 기준정현파의 크기에 비례하지 않으며 저차 고조파 성분도 많이 내포하기 때문이다. 단상 1KVA를 대상으로 콘덴서 बैं크의 용량이 0.01 F일때의 조건에서 부하의 한계 전압을 유지하는 보상시간은 표1과 같다.

표 1. 부하전압의 한계치와 보상시간

부하 전압의 한계치	보상 시간
100. %	75 msec
90 %	84 msec
80 %	100 msec
50 %	142 msec

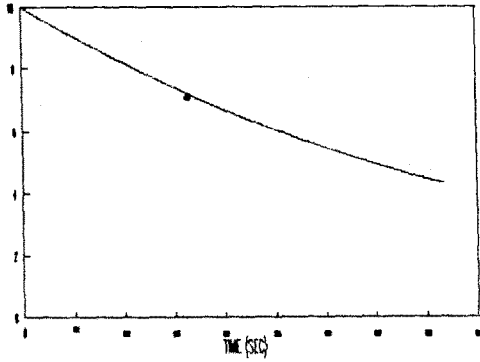


그림 7. 반송파 최고치 변화

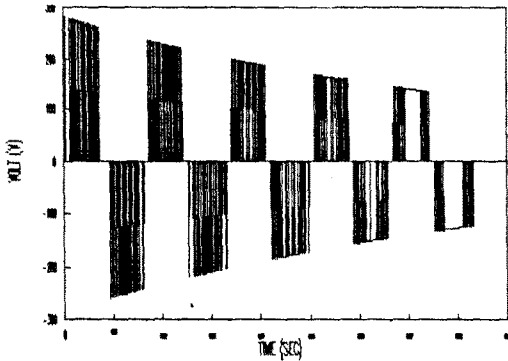


그림 8. 인버터 PWM 파형

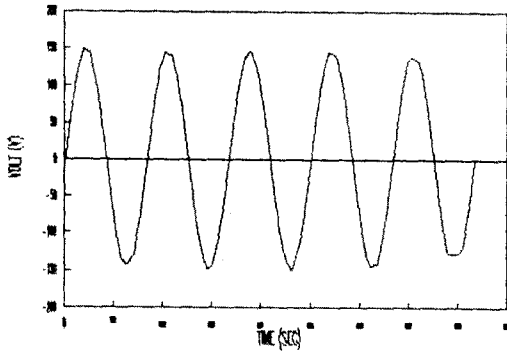


그림 9. 출력 파형

#### IV. 결 론

본 연구에서는 컴퓨터 관련기기, 가변속 전동기 시스템, 고압 방전등, 마그네트 스위치와 같은 장치에서 순간전압강하에 의한 피해를 방지하기 위한 순간전압강하보상기의 원리와 구조를 논의하였다. 순간전압강하 발생시 고속으로 검출하여 전원이상이 없는 것과 같은 전압을 출력하도록 그 제어회로를 설계하였다. 고가인 기존의 UPS 장비에 비해 순간전압강하 보상기는 기존의 UPS에서의 BATTERY를 사용한 단점을 개선하여 에너지 축적소자로서 콘덴서 병크를 설치하여 소형, 경량화할 수 있으며 보수, 관리의 문제가 없게된다. 정상시 상용전원을 급전하고 순간전압강하시 인버터를 통하여 부하에 급전하는 방식이기 때문에 고효율이며 콤팩트한 장비로 제조가 가능하며 특히 가격이 저가인 특징이 있다.

#### 참 고 문 헌

- [1] YONG-HA HWANG "CVCF (CONSTANT VOLTAGE CONSTANT FREQUENCY EQUIPMENT AND UPS (UNINTERRUPTIBLE POWER SUPPLY))" PROC. KOREAN INST. ELECTR. ENG. VOL.38. NO.12 pp9-11 1989
- [2] POTTS, C. "A USER'S GUIDE FOR UPS SYSTEM PROTECTION" IEEE IAS. VOL.2 pp1909-1916 1989
- [3] TOKAHASI I., ITOH Y., ANDOH I. "DEVELOPMENT OF A NEW UNINTERRUPTIBLE POWER SUPPLY USING FLYWHEEL ENERGY STORAGE TECHNIQUES" IEEE IAS. VOL.1 pp711-716 1989
- [4] JEZERNIK K., MILANOVIC M., ZADRAVEC D. "MICROPROCESSOR CONTROLLED INVERTER FOR UPS APPLICATIONS" EPE '89. pp1121-11215 1989
- [5] 山口雅美, 上田 清, 渡邊敏典 "商用並列形UPSの制御特性" SPC-89-38