

스마트그리드의 탭 전환 자동 전압 조정기의 다중 스위칭 제어 방법 및 활용 방안에 관한 연구

박 광 윤*, 김 정 룰**, 김 병 기***

A Study on the Utilization and Control Method of Hybrid Switching Tap Based Automatic Voltage Regulator on Smart Grid

Gwang-Yun Park *, Jung-Ryul Kim **, Byung-Gi Kim ***

요 약

본 논문에서는 수용가의 에너지 절감과 최대수요전력 제어를 위하여 마이크로프로세서를 이용한 자동 전압 조정기(AVR)를 제안한다. 제안한 자동 전압 조정기(HS-AVR : Hybrid Switching Automatic Voltage Regulator)는 토로이달 코어에 1개의 직렬 권선과 분리된 4개의 분로 권선으로 구성되어 있는 단권변압기를 사용한다. 변압기의 전압 조정은 직렬 권선과 분로 권선의 연결 방법에 따라 감압/승압이 가능하다. 스위치는 릴레이와 트라이악을 병행하여 사용한다. 스위치의 조작 시 발생하는 권선의 여자돌입전류를 제어하기 위하여 트라이악을 이용하여 연결 상태를 변경하고, 연결 상태 유지 시에는 릴레이를 이용함으로써 스위치 소비 전력을 최소화 한다. 제어 신호는 여자 돌입 전류를 줄이기 위하여 전압 파형에 동기화 하여 제어되며 이를 위하여 소프트웨어 PLL을 사용한다. 소프트웨어 PLL은 전압 파형의 제로크로스, 전압 최고점 등의 동기화에 사용함으로써 스위치와 시스템을 최소화한다. 기존 전압 조절 스위치나 자동 전압 조정기 구조는 여자 돌입 전류로 인한 스위치 접점 손상을 막기 위하여 최대전류를 수용할 수 있는 용량으로 구성함으로써 장치 크기가 매우 커지는 문제점이 있었다. 본 논문은 이런 문제를 해결하여 자동 전압 조정기의 크기를 줄이고 효율을 높이는 방법을 제안하였다.

▶ Keywords : 스마트 그리드, 자동 전압 조정기, 소프트웨어 PLL

Abstract

In this paper, we propose a microprocessor-based automatic voltage regulator(AVR) to reduce consumers' electric energy consumption and to help controlling peak demanding power. Hybrid

• 제1저자 : 박광윤 • 교신저자 : 김병기

• 투고일 : 2012. 10. 31, 심사일 : 2012. 11. 6, 게재확정일 : 2012. 11. 11.

* 숭실대학교 대학원 컴퓨터학과(Department of Computing, Soongsil University)

Switching Automatic Voltage Regulator (HS-AVR) consist of a toroidal core, several tap control switches, display and command control parts. The coil forms an autotransformer which has a serial main winding and four parallel auxiliary windings. It controls the output voltage by changing the combination of the coils and the switches. Relays are adopted as the link switches of the coils to minimize the loss. To make connecting and disconnecting time accurate, relays of the circuit have parallel TRIACs. A software phase locked loop(PLL) has been used to synchronize the timings of the switches to the voltage waveform. The software PLL informs the input voltage zero-crossing and positive/negative peak timing.

The traditional voltage transformers and AVRs have a disadvantage of having a large mandatory capacity to accommodate maximum inrush current to avoid the switch contact damage. But we propose a suitable AVR for every purpose in smart grid with reduced size and increased efficiency.

▶ Keywords : Smart Grid, Automatic Voltage Regulator, Software PLL

I. 서 론

온실가스 감축 의무를 부여한 교토의정서 발효와 고유가 상황이 지속됨에 따라 에너지 절약에 대한 중요성이 크게 부각되고 있다. 이에 따라 국가에서는 저탄소 녹색성장이라는 슬로건을 내세우고 “녹색성장 5개년 계획”을 발표하여 녹색 산업 분야에 대한 국가투자 계획을 밝혔다. 그리고 2020년까지의 중기 온실가스 감축 목표를 발표하였다. 이러한 계획을 달성하기 위하여 스마트그리드가 중요한 이슈로 떠오르고 있으며 그 중 지능형 소비자는 양방향 통신 인프라를 집속하여 소비자에게 다양한 서비스를 제공함으로써 에너지 효율을 향상시키고 소비자의 자발적인 에너지 소비 절감을 유도시키는 기술이다. 즉, 전기 요금에 반응하여 에너지를 절약하는 가전 기기 보급 및 부하 관리를 실현하여 에너지 소비를 절감하도록 유도하는 것이다. 특히, 스마트 미터는 가정에서 전력 사용 패턴 변화를 통하여 에너지 절감에 효과가 있는 것으로 알려져 있다[1, 2].

국내 전력공급의 주를 담당하고 있는 한국전력공사에서는 전기 공급 규정에 따라 AC 207V에서 AC 233V(AC 220V \pm 6%) 내에서 전기를 가정에 공급하고 있으며, 배전도중의 전압 강하를 고려하여 통상 전압을 높여서 송전하고 있다. 공급 전압이 높을 경우 공급과잉으로 불필요한 전력을 낭비하는 요인이 된다. Northwest Energy Efficiency Alliance (NEEA)는 공급 전압 관리를 통한 에너지 절감에 대한 연구 보고서를 발표하였다[3]. 보고서에 따르면 배전 시스템에서

전압을 공급 전압 범위의 낮은 쪽으로 공급할 경우 에너지 절감, 수요 감소, 무효 전력 감소의 장점이 있다고 하였다. 특히, 에너지 절감 측면에서 전체적으로 1~3%의 에너지를 절감할 수 있으며, kW 수요는 2~4%, kvar 수요는 4~10%의 에너지를 절감할 수 있다. 하지만, 배전 시스템에서 전체적으로 전압을 낮은 쪽으로 제어 한다면 각 가정에서는 사용하는 전력량에 따라 허용 전압보다 낮게 들어올 위험성이 있다. 따라서 공급되는 전압을 공급 전압 범위 내에서 낮은 쪽으로 각 사용자가 개별적으로 변경할 수 있다면 안정적인 전압 사용과 함께 2~4% 이상의 상당한 에너지 절감을 가져올 것으로 기대한다.

본 논문에서는 릴레이 스위치와 트라이악(TRIAC) 스위치를 조합함으로써 스위치가 연결 상태에 있을 경우 소비 전력을 최소화 하고 스위치 ON/OFF 동작 시 발생하는 권선의 여자돌입전류를 줄이는 다중 스위칭 방식을 제안한다. 전력은 다른 상품 및 서비스와 달리 소비자들의 사용량에 대한 인지도가 낮고 사용량에 대한 조절이 어렵다는 특성이 있다. 스마트그리드를 추진하는 주요한 목적 중 하나는 동적인 가격제도와 함께 소비자들에게 전력사용에 대한 정보를 제공함으로써, 수요의 반응을 유도하고, 전력 계통의 투자와 운영에 있어 효율을 향상시키는 것이다[6]. 스마트그리드에서 수용가나 스마트빌딩의 소비자 전력 수요의 반응을 적극적으로 이끌어내기 위하여 크기가 작고 효율 높은 다중 스위칭 방식의 자동전압조절장치를 개발함으로써 향후 최대 수요 전력 제어에 기여할 것으로 기대한다.

II. 관련 연구

1. 스마트 미터링 시스템 구성

스마트 미터링 시스템은 단순히 전력의 사용량을 누적하는 기존의 전력량계와는 달리 전력공급자 서버와 통신이 가능하며, 시간별 전력 사용량 추이를 기록함으로써 TOU(Time of Use) 요금제뿐만 아니라 RTP(Real-Time Pricing), CPP(Critical Peak Pricing) 등의 시간 변동 요금제 기능을 지원한다.

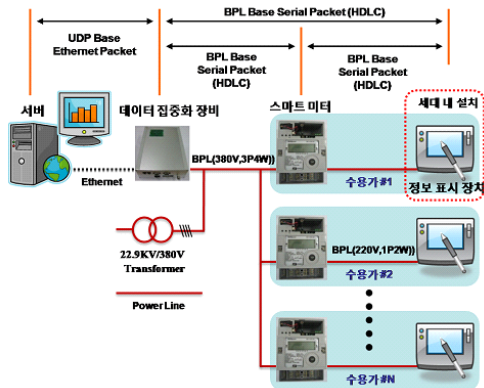


그림 1. 스마트 미터링 시스템의 구성과 통신 방식
Figure 1. Smart Metering System and Network Configuration

이러한 시간 변동형 요금제와 함께 자세한 전력 사용 정보를 소비자에게 제공하여 소비자 스스로 에너지 사용의 통계적인 분석과 비교를 가능하게 함으로써 효율적인 에너지 사용을 유도한다. 그림 1은 이러한 사용자의 효율적 에너지 사용에 관한 실증 연구를 위한 시스템과 통신구성을 나타내고 있으며, 스마트 미터링 시스템과 에너지 정보 표시 장치를 통한 연구결과 약 7-15% 정도의 에너지 절감 효과가 있음을 확인하였다[7].

2. 자동 전압 조정기(AVR)

전압 조정기는 전력 시스템에서 널리 사용되는 장치로서 전압 탭을 복수개로 설치하고 스위치에 의해 선택적으로 탭을 연결하여 전압을 조정하는 방식으로 작동한다. 특히 자동 전압 조정기의 경우 스위치는 릴레이를 사용하는 방법과 트라이악이나 SCR(silicon controlled rectifier), IGBT(Insulated gate

bipolar transistor)와 같은 반도체(solid state) 부품을 사용하는 방법이 있다.

릴레이를 사용한 스위치는 릴레이간의 동작 시간 편차가 있으며 전류가 흐르고 있을 경우 구동하면 접점 손상의 문제가 있다. 반도체를 이용한 스위치는 동작 시간을 제어할 수 있으며 접점 손상에 대한 위험성은 없으나 전류량에 따라 열이 발생하여 효율을 저하시키며 열 방출을 위한 방열장치를 필요로 하는 단점이 있다. 하지만 효율보다는 접점 손상이 없고 동작 시간을 제어할 수 있다는 장점으로 인해 원격제어나 자동제어 기능을 요구하는 시스템에서는 반도체 스위치를 주로 사용한다.

89C51 마이크로컨트롤러와 복권 변압기, 트라이악을 이용한 자동 전압 조절 방식에서는 입력이 220V일 때 트라이악의 조합에 따라 0.5V 간격으로 0V에서 255.5V까지 출력전압을 조절하고 있다. 스위치 제어 신호는 89C51 MCU와 74LS74, 74LS273, 74LS139를 이용하며, MOC3041를 이용하여 전압이 제로 크로싱(zero-crossing)일 때 트라이악 스위치를 구동한다. 장점은 출력 전압의 오차율이 1V 이내이고 출력 전압 변경 시 전압 파형이 정현파에 가깝다는 것이다. 단점으로는 복권 변압기를 사용하여 효율이 떨어진다[4].

또, 다른 하나로 단권변압기와 IGBT를 이용한 전압 조정기 구조에서는 입력 전압과 출력 전압의 차이에 따라 IGBT S1, S2, S3를 제어함으로써 입력 전압이 120V±20% 일 때 출력 전압을 120V±5%로 조정할 수 있고 부하 용량은 300VA이다. 이 구조는 제로 크로싱이 아닌 시점에서 전압 변경이 가능하여 입력 전압 변화에 따른 반응이 빨라서 전압의 반주기 이내의 빠른 반응 속도를 보이며, 효율면에 있어서도 95%에서 97% 정도로 좋다고 할 수 있으나, IGBT의 방열구조를 고려하여야 하는 단점이 있다[5].

III. 스마트그리드를 위한 HS-AVR

1. HS-AVR의 구성

본 논문에서는 스마트그리드의 여러 장치들과 연동하여 시스템을 구성할 수 있는 HS-AVR (Hybrid Switching Automatic Voltage Regulator)을 제안한다. 그림 2에서와 같이 각 가정 내에서는 전력사용 정보표시장치와 연동하여 사용할 수 있도록 시스템을 구성할 수 있으며, 전력표시 장치는 RTP, CPP 등의 시간제 요금정보를 이용하여 프로그램에 따라 HS-AVR에 신호를 전송하여 전압을 조절할 수 있으며,

강압 양에 따라 사용 전력을 줄일 수 있다. 빌딩이나 공장과 같이 전력사용량이 큰 경우는 부하용량 또는 특성에 따라 여러 곳에 분산 설치하여 운영할 수 있으며 통합 모니터링 시스템을 운영하는 경우 이를 이용하여 개별 제어가 가능한 시스템을 운영할 수 있다. 정보표시장치나 통합 모니터링 시스템 등을 별도로 운영하지 않는 경우에는 마이크로 프로세스에 시간별 설정기능을 이용하거나, 기준 전압 AC220V 보다 6% 정도 낮은 쪽 전압으로 유지 하도록 하는 자동 모드로 동작시킴으로써 전압 조절을 통한 전력 사용량 절감을 꾀한다.

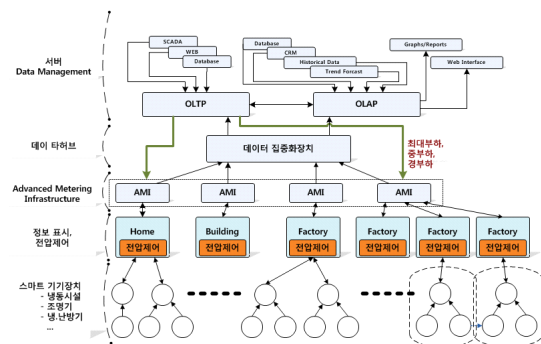


그림 2. 스마트그리드 네트워크의 HS-AVR 구성
Figure 2. HS-AVR Position in Smart Grid Network

2. 단권변압기

단권변압기란 1차와 2차 권선이 독립되어 있지 않고 권선의 일부를 공통회로로 하고 있는 변압기를 말하며 그림 3과 같은 구조이다. ab 단자 부분의 권선을 직렬 권선(series winding), bc 단자와 같은 공통 선로를 분로 권선(shunt winding)이라고 한다. 그리고 ac 권선이 1차 권선, bc 권선이 2차 권선이 된다.

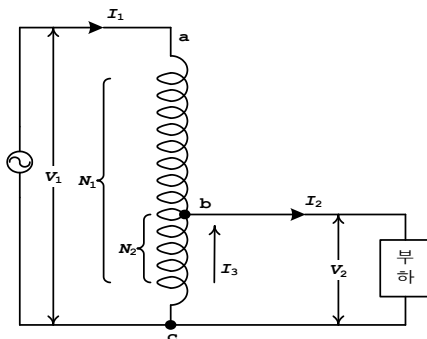


그림 3. 강압 단권변압기
Figure 3. Step-down Autotransformer

여기서 ac 단자 사이의 권회수를 N_1 , bc 단자 사이의 권회수를 N_2 라 하고, 1차에 전압 V_1 을 공급하였을 때, ab, bc 단자 사이에 유기되는 기전력을 각각 E_1, E_2 , 2차 단자 전압을 V_2 라 하면, 권선의 저항과 누설 리액턴스 및 여자 전류를 무시하였을 때, 권선비 즉 전압비 는 (식 1)과 같다.

$$\frac{V_1}{E_2} = \frac{E_1 + E_2}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} = a \quad (1)$$

또, 부하 전류를 I_2 라고 하면 ab 단자 사이의 전류 I_1 에 의한 기자력과 bc 단자 사이의 전류 $I_3 = I_2 - I_1$ 에 의한 기자력은 같고 방향은 반대이며 그 합은 0이 되어야 하므로 I_2, I_1 는 (식 2)와 같은 관계를 갖는다.

$$N_2(I_2 - I_1) = (N_1 - N_2)I_1$$

$$\therefore I_1 N_1 = I_2 N_2 \quad \therefore I_1 = \frac{N_2}{N_1} I_2 = \frac{1}{a} I_2 \quad (2)$$

강압 단권변압기(step-down autotransformer)의 구조는 그림 3과 같으며, 권수비가 > 1 인 경우로서 (식 1)과 같게 되고, 그림 4는 승압 단권변압기로서 권수비는 $a < 1$ 이 된다.

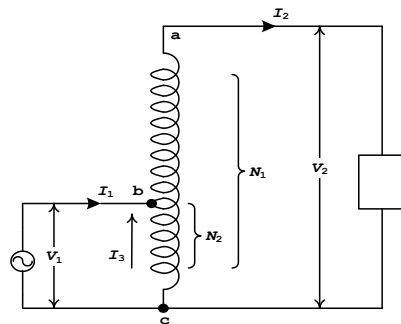


그림 4. 승압 단권변압기 구조
Figure 4. Step-up Autotransformer

고압(V_h)/저압(V_l)에 대한 자기용량(= $V_h - V_l$) 부하용량 의 변화 곡선을 살펴보면 그림 5와 같으며, 고압/저압의 비가 10 이상일 때는 단권변압기의 용량은 거의 부하 용량과 같게 되지만 그 이하에서는 자기 용량이 매우 적게 됨을 알 수 있다. 즉, 전압비가 1에 가까울 경우 경제적이다 할 수 있겠다.

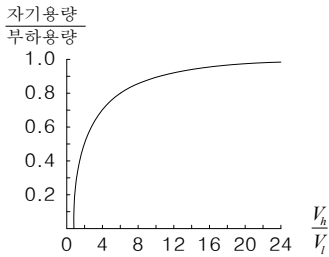


그림 5. 단권변압기의 입출력 전압비에 따른 용량비
Figure 5. In/Out Voltage Ratio vs. Capacitance Ratio of an Autotransformer

단권변압기의 장점과 단점을 살펴보면 아래와 같다.

1. 2차 권선의 전류는 1차 전류와 부하 전류의 차이므로 권선을 가늘게 해도 되며 그에 따라 자료가 단축되므로 부피를 줄일 수 있다.
2. 권수비, 즉 전압비가 1에 가까울수록 동손이 감소되어 효율이 좋다.
3. 2차 권선은 공통신로이므로 누설 자속이 없어 전압 변동률이 작다.
4. 고압측 전압이 높아지면 저압측에도 고전압을 받게 되므로 위험이 크게 따르게 되므로, 저압측에도 고압측과 같이 절연 상태를 유지해야하는 단점이 있다.

3. 전압 조절 방식

자동 전압 조정기는 전력 시스템에서 널리 사용되는 장치로써 부하의 사용량에 따라 전압이 변동되는 것을 보상하는 작용을 한다. 변압기를 이용한 자동 전압 조정기는 전압을 조정하기 위하여 변압기의 권회수비를 변경하여야 한다.

그림 6과 그림 7은 단권변압기에서 전압 탭을 복수개로 설치하고 스위치에 의해 선택적으로 탭을 연결하여 전압을 조정하는 가변 탭 전압 조정기의 기본적인 구조를 보여주고 있다.

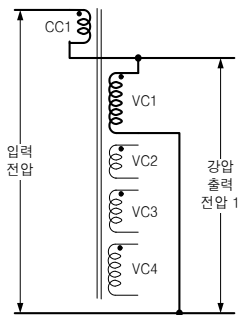


그림 6. HS-AVR 강압출력 전압1의 권선연결
Figure 6. HS-AVR Step-down Winding at Out Voltage1

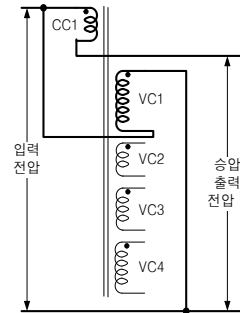


그림 7. HS-AVR 승압출력 전압1의 권선연결
Figure 7. HS-AVR Step-up Winding at Out Voltage1

전압조정권선은 그림 8의 S1~S7의 연결에 따라 각 권선의 연결 순서 및 방향을 구성할 수 있으며, 입력 전압을 승압/감압하여 출력 전압을 발생한다. 높은 효율을 위하여 토로이달(Toroidal) 코어를 사용하였으며 단권변압기 구조로 되어 있다. CC1은 직렬권선(1차측)을 나타내며 VC1~VC4는 분할된 분로권선(2차측)을 나타낸다.

권선스위치는 전압 조정 권선을 연결하는 스위칭회로이다. S1~S7은 릴레이 스위치이고, ST1~ST3는 트라이악 스위치이다.

입력전압 검출회로, 출력전압 검출회로는 입력 전압과 출력 전압을 측정하는 부분이며 입력전압파형 검출 회로는 스위칭을 하기 위한 기준 신호를 생성한다.

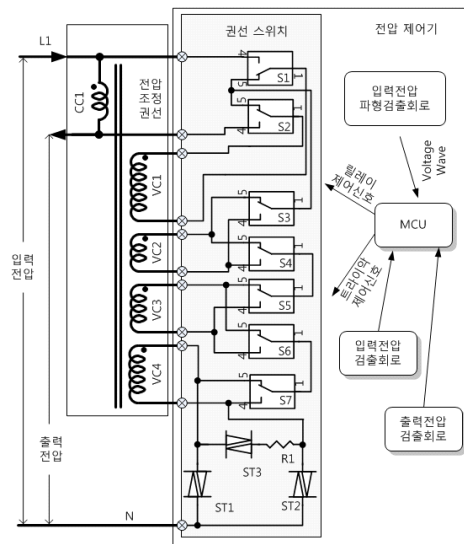


그림 8. HS-AVR 구조
Figure 8. HS-AVR Architecture

IV. 다중 스위칭 전압 제어

1. 분로 권선 변경 타이밍

출력 전압을 조정하기 위하여 분로 권선 연결을 변경할 때 각 릴레이들과 트라이악을 제어하는 신호의 타이밍은 그림 9 와 같다. 그림 9의 (a) 지점에서 분로 권선 연결의 변경을 시작한다. (a)에서 트라이악 ST1, ST2, ST3에 신호가 인가된다. 트라이악은 제어 신호가 1로 인가되면 전압과 전류가 0이 아니면 즉시 스위치가 연결되고 신호가 0으로 인가되면 전압이 0V가 되거나 전류가 0일 때 스위치가 끊어진다. 따라서 트라이악의 동작 특성에 의하여 ST3 트라이악은 (a) 지점에서 즉시 스위치가 연결된다. 그러면 R1 저항이 연결되어 VC4 권선을 연결함으로써 각 분로 권선에 과전압이 발생하는 것을 방지한다. 그리고 ST1과 ST2 트라이악은 전압이 0V가 되는 (b) 지점에서 연결이 끊어진다.

ST1과 ST2 트라이악이 모두 끊어지면 2차 권선은 개방 상태가 되어 전류가 흐르지 않게 된다. 이 상태에서 (c) 시점에 릴레이를 구동시킨다. 2차 권선에는 전류가 흐르지 않기 때문에 릴레이 동작 시 접점 간에는 스파크가 발생하지 않아 접점이 소손되는 것을 방지할 수 있다. 릴레이는 릴레이 내부 코일과 접점의 기계적인 동작에서 의해서 (d) 지점 전후에서 스위치가 on 되거나 off 된다. 동작하는 시간은 릴레이의 동작 테스트를 통해서 얻어진 결과이다. 그리고 마지막으로 (e) 지점에서 ST3 트라이악을 끄는 신호가 인가되고 동시에 ST1이나 ST2 트라이악을 연결하는 신호가 인가된다. 그러면 ST1이나 ST2는 즉시 스위치가 연결되고 2차 권선의 연결이 완성되어 출력 전압이 변화한다. ST3은 전압이 0V가 되는 (f)에서 스위치가 끊어진다.

2차 권선이 연결되는 (e) 지점에서부터 여자돌입전류가 발생하며 전압의 최고점이나 최저점에서 연결되었을 경우 최소 값을 갖는다. 따라서 MCU는 입력 전압 파형에 맞추어서 전압의 최고점에서 2차 권선을 연결한다.

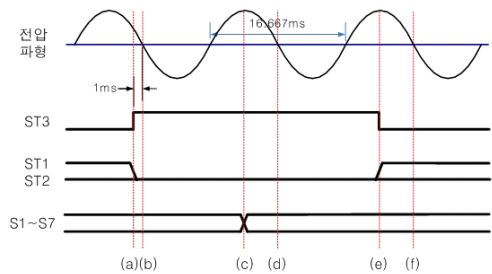


그림 9. 스위치 제어 신호 타이밍도
Figure 9. Timing Diagram of Switch Control Signal

2. 소프트웨어 PLL

MCU는 분로 권선 스위치를 제어하기 위하여 입력 전압 파형의 제로 크로싱 시점과 최고치, 최저치 시점을 알아야 한다. 이를 위하여 MCU는 입력 전압 파형 검출 회로와 외부 인터럽트, 내부 타이머를 이용한 소프트웨어 PLL을 사용한다. 소프트웨어 PLL은 입력 전압의 파형과 동기화한다. 우리나라에서 사용하는 전원은 60Hz 주파수를 가지고 있다. 본 연구에서 사용하는 소프트웨어 PLL은 55Hz ~ 65Hz 까지의 주파수 영역에 대하여 동기화를 수행하도록 하였다.

3. 제어 프로그램

MCU는 자동 전압 조정기의 전체 시스템을 제어하는 역할을 하며 ATMEL사의 ATMEGA32L-8AU를 사용하였다. 제어기의 소비 전력을 줄이기 위하여 3.3V 전압을 이용하였으며, 8MHz clock을 사용하였다.

MCU 제어 프로그램의 간략한 순서도는 그림 10과 같다. 먼저 타이머나 스위치를 제어하기 위한 출력 핀들을 초기화하고 입력 전압을 구한다. 입력 전압에 대하여 전압 조정이 필요한지를 판단한 후 전압 조정이 필요 없으면 입력 전압을 구하는 작업을 반복한다. 만일 전압 조정이 필요하다면 권선 스위치를 변경하기 위한 신호를 출력한다.

단권변압기는 권선의 연결이 잘못되었을 경우 권선 내부에 높은 전압이 발생할 수 있으므로 이를 방지하기 위하여 출력 전압을 측정하여 예상되는 출력 전압을 확인함으로써 권선 연결 상태를 검증한다. 만일 출력 전압이 예상 출력 전압 범위 내의 값이 아니면 권선 스위치에 문제가 있다고 판단하고 권선 스위치를 BYPASS로 조정하고 더 이상 전압 조정을 수행하지 않는다.

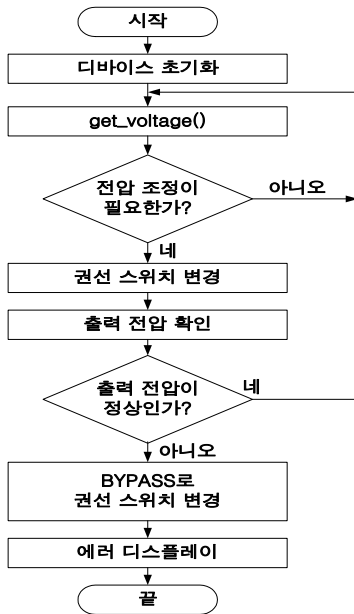


그림 10. MCU 제어 프로그램 순서도
Figure 10. Flowchart of MCU Control Program

부하가 없는 상태에서 입력 전압의 변화에 따른 각 강압출력의 소비 전력을 측정한 결과 그림 11과 같은 결과를 얻었으며, 전류가 코일을 거치지 않고 입력과 출력이 연결(BYPASS)되었을 경우의 소비 전력은 제어가 입출력 전류와 전압 등의 모니터링을 위해 동작하는 사용량을 나타낸다. 그리고 각 강압출력전압과 BYPASS의 소비 전력 차이는 변압기의 소비전력으로 이는 변압기 자체의 전체 손실을 나타낸다.

무부하시의 최대 소비 전력은 그림 12에서 볼 수 있듯이 5W 미만으로 매우 낮음을 확인하였다.

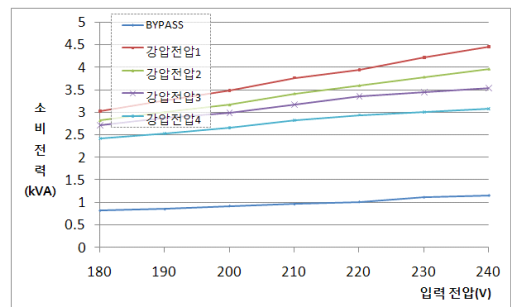


그림 12. 무부하시의 소비전력
Figure 12. Unloaded Power Consumption

V. 성능평가

목표 출력 전압을 210V로 설정하고 입력 전압의 변화에 따른 출력 전압은 그림11과 같은 결과를 얻었다. 입력 전압을 188V에서 233V까지 변화시켰을 경우 출력 전압은 208V에서 215V 사이에서 조절이 이루어짐을 알 수 있다. 본 논문에서 HS-AVR의 출력 전압 조정 목표는 일정한 출력 전압을 유지하는 것이 아니라 전압 공급 규정 내에서 가능한 낮은 전압으로 유지하는 것이므로 목표에 맞게 전압이 조정되고 있음을 확인하였다.

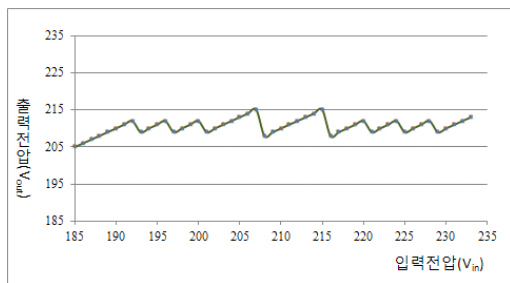


그림 11. 입력 전압에 따른 출력 전압의 변화
Figure 11. Output Voltage according to Input Voltage

HS-AVR의 성능실험을 위하여 6kVA 변압기를 이용하였으며, 실험 결과 전압 조정기에서 사용하는 자체 소비 전력은 최대 1W 정도이며 변압기의 동손 및 철손을 포함한 자체 손실은 최대 4.5W 이다. 입력 전압 188V에서 233V 일 경우 출력 전압은 208V에서 215V로 조정된다. 효율은 변압기 용량 내에서 최소 99.5%로 측정되어서, 자동 전압 조정기의 평균 효율 96.4%나 일반적인 전압 조정기의 최대 효율 97.5%보다[5] 높음을 확인할 수 있었다. 또한 전압 조정 시점을 전압의 최고점에 동기화함으로써 여자돌입전류가 발생하지 않는다는 것을 확인하였다.

HS-AVR에서 실측효율을 살펴보면 그림 13.과 같이 부하 전력에 따라 각 강압출력전압의 실측 효율을 보여주고 있다. 실험에서는 변압기의 최대용량 6kVA로 설계하였으며, 최대 용량 범위 내에서 대부분 99.5% 이상의 효율을 나타내었다.

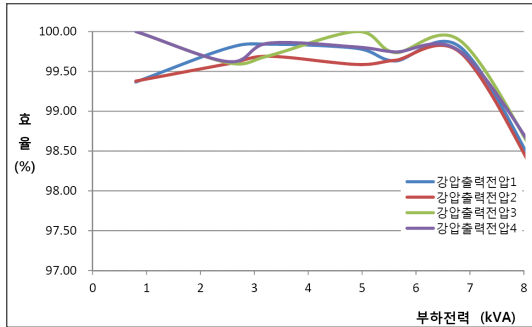


그림 13. 강압출력전압의 실측 효율
Figure 13. Power Efficiency of Step-down

본 논문에서 제안하는 HS-AVR의 효율 비교를 위하여 논문(5)에서 제안한 방식을 살펴보았으며, 그림 14.에 나타난 바와 같이 비교방식(5)에서는 최대 효율이 97.2%이고 평균적으로 96.4%로써 HS-AVR보다 낮은 효율을 나타낸다.

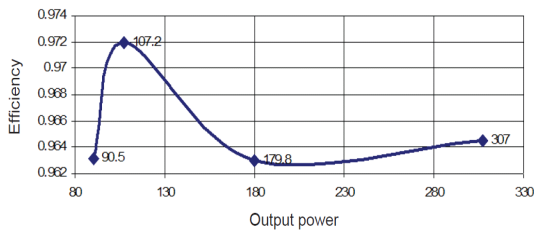


그림 14. 반도체소자 스위치 방식의 전압 조정기의 효율(5)
Figure 14. Power Efficiency using semiconductor switch method at paper(5)

비교 방식에서는 앞의 II.2절에서 살펴본 바와 같이 반도체 소자의 경우 전류가 흐를 경우 소자의 고유저항이 릴레이보다 크므로 근본적으로 HS-AVR보다 효율이 떨어지는 문제점을 가지고 있다.

스마트그리드의 궁극적인 목표는 에너지절감에 있으며, 기기의 효율은 에너지절감에 있어서 중요한 요소로써 본 연구에서 제안하는 HS-AVR는 스마트그리드의 목적에 부합함을 알 수 있다.

VI. 결 론

본 논문에서는 수용가에서 에너지 절감을 위하여 사용할 수 있는 스마트그리드에서의 다중 스위칭 방식의 자동 전압 조절 방법을 연구하였다. 전압 조정기는 마이크로프로세서에

의하여 제어하였으며, 효율 향상과 트랜스의 크기를 줄이기 위하여 토로이달 코어를 이용한 단권변압기를 이용하였다.

각 분로 권선을 연결하기 위한 대부분의 스위치는 소비 전력이 작은 릴레이를 사용하였으며 분로 권선의 연결 시점을 정확하게 제어하기 위하여 마지막 스위치만 트라이악을 사용하였다. 분로 권선 스위치들의 제어 신호는 여자 돌입 전류를 줄이기 위하여 전압 파형에 동기화 하고 전압 파형에 동기화를 위하여 제어기에서는 소프트웨어 PLL을 사용하였다. 소프트웨어 PLL은 전압 파형과 동기화 하여 전압 파형의 제로 크로싱, 전압 최고점 등의 시간을 생성하여 권선 스위치들의 제어 신호 시점을 결정한다.

본 연구에서 제안하는 HS-AVR은 가정이나 스마트 빌딩, 스마트 사업장 등의 스마트그리드에서의 소비자 측에 적용할 경우 사용 전력을 절감할 수 있으며 향후 공급자의 정보통신 기술과 접목하여 최대수요전력 제어에도 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

- [1] David Crossley, Advanced Metering for Energy Supply in Australia, Energy Future Australia Pty Ltd, Australia, Jul. 2007.
- [2] Rob van Gerwen, Saskia Jaarsma and Rob Wilhite, "Smart Metering," KEMA, Netherlands, Jul. 2006.
- [3] R. W. Beck, "Distribution Efficiency Initiative Final Report," Northwest Energy Efficiency Alliance, Dec. 2007.
- [4] Niu Yixia, Song Jijiang and Sui Ruihong, "Design of Regulator Digitally Controlled With 89C51 SCM," International Conference on Electronic Measurement and Instruments, pp. 4-511-4-515, Jul. 2007.
- [5] C. Hernandez, G. Gallegos, N. Vazquez, E. Rodriguez and R. Orosco, "A different AC Voltage Regulator Based on Tapped Transformer," Power Electronics Congress(CIEP, 2010 12th International, pp. 180-184, Aug. 2010.
- [6] Jin Baek Kim, "A Framework for Designing In-Home Display and Home Energy Management Portal for Demand Responses in Smart Grid," Entrug Journal of Information Technology Vol.10

No.1 pp.67-88, 2008.

- [7] Tae-Seop Choi, Kyung-Rok Ko, Seong-Chan Park, Sang-Kug Im, Yong-Tae Yoon, "Analysis of Energy Savings using In-Home Display(IHD)" KIEE Summer Conference, pp. 535-536, Jul. 2009.

저 자 소 개



박 광 운

1998: 숭실대학교 전자계산학과
졸업 (공학사)
2001: 숭실대학교 대학원
전자계산학과 졸업 (공학석사)
현 재: 숭실대학교 대학원
컴퓨터학과 박사수료
관심분야: 무선 이동통신,
센서네트워크, 스마트그리드
Email : parkkyoun@lycos.co.kr



김 정 룰

2001: 숭실대학교 전자계산학과
졸업 (공학사)
2004: 숭실대학교 대학원
전자계산학과 졸업 (공학석사)
현 재: 숭실대학교 대학원
컴퓨터학과 박사수료
관심분야: 무선 이동통신,
센서네트워크, 스마트그리드
Email : bugzigi@daum.net



김 병 기

1977: 서울대학교
전자공학과 졸업 (공학사)
1979: 한국과학기술원
전산학과 졸업 (이학석사)
1997: 한국과학기술원
전산학과 졸업 (공학박사)
1982 - 현재: 숭실대학교
컴퓨터학부 교수
관심분야: 통신 프로토콜,
무선 이동 통신, 센서네트워크
Email : bgkim@ssu.ac.kr

