

교류 발전기용 하이브리드 자동 전압 조정기 개발

Development of Hybrid AVR for Alternator

양근호*
Keun-Ho Yang*

요약

아날로그 AVR은 부하의 변동에 따라 전압이 비정상상태가 되었다가 다시 정상상태로 돌아가는데 걸리는 시간이 빠른 장점이 있다. 하지만 아날로그 AVR은 부하 변동에 따른 전압변동이 크다는 문제가 있다. 디지털 AVR의 전압변동률은 매우 안정적이지만, 불안정상태에서 안정한 정상상태로 회복하는데 걸리는 시간인 시정수가 아날로그 AVR에 비해 매우 길다. 따라서 부하변동이 매우 큰 상황에서 불안정한 출력성능을 나타낸다. 본 논문에서는 두 AVR의 혼합된 형태를 가지며 빠른 시정수와 안정된 전압조정 능력을 갖는 하이브리드 AVR을 제안한다. 개발된 하이브리드 AVR의 경우 부하에 따른 전압 변동이 1[%] 이내로 안정적이며, 전압 안정률도 개선되었다. 또한 아날로그 AVR 수준의 빠른 시정수를 나타내었다. 따라서 본 연구를 통해서 개발된 하이브리드 AVR은 산업현장에서 다양한 용도의 전원공급장치로 활용될 수 있다.

ABSTRACT

An analog AVR has an advantage of short time constant, time to revert again from the abnormal state to a stable one depending on the voltage fluctuations of the load. But the Analog AVR has a disadvantage of large voltage variation according to the load fluctuation. Voltage regulation for digital AVR is very stable, but the time constant is very long compared to that of an analog AVR. Therefore, it indicates that the digital AVR shows unstable output performance in a very large load variations.

In this paper, a mixed form of an analog AVR and a digital AVR is proposed. An implemented hybrid AVR has fast time constant and stable voltage regulation capability. Hybrid AVR voltage variations in the load is stable within 1[%] and the voltage stability is also improved. It also showed fast time constant to the level of the analog AVR. Thus hybrid AVR developed in this paper can be used as a power supply for a variety of uses in industry.

Keywords : AVR, Alternator, Exciter Coil, Field Coil, Sensor Coil, Generator

I. 서론

내연기관을 이용한 10 kVA이하의 소형 휴대용 발전기는 용접기 등 건설용 기계의 전원공급, 소형 사무실, 공장의 비상전원공급, 통신설비의 전원공급, 군 시설과 장비의 전원공급 등 다양한 교류전원공급 등에 사용되고 있으며, 일상생활 및 업무용으로 전기가 필요한 모든 곳에 사용되고 있다.

국내 시장에서도 산업의 성장과 더불어 고효율 및 고성능 소형 휴대용 발전기에 대한 수요가 꾸준히 증가하고 있다. 하지만 관련 업체들의 영세함 등의 이유로 연구개발에 대한 투자가 지속적으로 이루어지지 않으면서, 국내에서는 소형

휴대용 발전기에 사용되는 교류발전기(alternator) 및 자동전압조정기(AVR, Automatic Voltage Regulator) 등에 대한 설계 및 해석 기술에 대한 연구가 매우 부족한 상황이다. 또한 많은 연구자들에 의해 AVR의 성능을 개선하고 발전시키기 위하여 연구가 이루어졌다[1-6].

소형 휴대용 발전기 시장에서 판매량의 대부분을 차지하고 있는 AVR 타입의 교류발전기에 대한 것으로써 내연기관에 의해 발생된 기계적인 동력을 전기에너지로 변환하는 핵심부품인 교류발전기와 AVR의 성능을 개선하기 위한 하이브리드 자동전압조정기를 개발한다.

발전기에 정격 또는 최대출력부하가 인가되었을 때의 전압 변동률, 주파수 변동률 및 고조파 등의 변화과정을 시뮬레이션과 데이터분석뿐만 아니라 시제품을 제작하여 실험한 결과와 함께 비교, 분석한다.

* 한려대학교

투고 일자 : 2015.9.22

수정완료일자 : 2015.11.2

계재확정일자 : 2015.11.8

II. 아날로그 AVR과 디지털 AVR

2.1 아날로그 AVR의 동작원리

그림 1에 아날로그 AVR(Automatic Voltage Regulator)의 구성도를 나타내었다. AVR의 입력으로는 발전기 동체에서 출력되는 센서권선(Sensor Coil : SC) 단자전압과 여자권선(Exciter Coil : EC)에서 출력되는 여자용 전압이 AVR에 입력되며, 발전기의 부하전압을 생성하기 위한 계자권선(Field Coil : FC) 단자에 전류를 인가하기 위한 출력단자가 있다.

센서권선의 전압은 교류발전기에서 부하에 공급되는 전력을 생성하는 주권수의 10[%]로 되어 있으며, 여자용 전압을 얻기 위한 여자권선은 계자권선에 전류를 인가하기 위해 충분한 전류를 얻기 위한 권선수로 제작되어 있다.

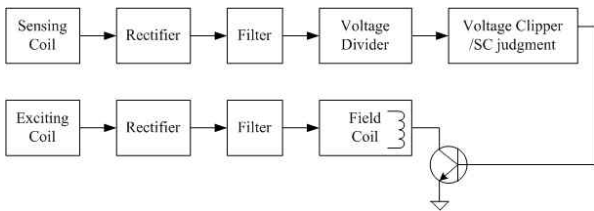


그림 1. 아날로그 AVR의 구성도
Fig. 1. Analog AVR block diagram

여자용 전압을 얻기 위해서는 여자권선의 출력전압을 전파정류하고 평활회로를 이용하여 리플을 제거하여 사용된다. 이때 얻어진 직류용 전압을 파워 트랜지스터(TR)나 전계효과파트랜지스터(FET)와 같은 스위칭 소자를 이용하여 센서권선의 전압 크기에 따라 계자권선에 전류를 제어한다.

출력 전압의 변동을 감지하기 위해서는 부하의 전압을 직접 감지하는 방법도 있지만, 본 발전기에서는 교류발전기 내에 출력 부하전압에 해당되는 전압을 10분의 1로 감소시켜 부하전압의 변동을 감지할 수 있도록 센서용 감지 신호가 권선되어 있다. 따라서 아날로그 AVR에서는 감지용 센서전압을 이용하여 부하 변동에 따른 계자권선의 전류를 제어한다.

센서권선에서 전압을 전파정류하고 이를 필터를 통해서 리플을 제거하여 고조파가 제거된 전압으로 변환한다. 그리고 제너 다이오드를 이용하여 센서 전압을 클리핑(clipping)하여 스위칭 펄스를 생성하여 계자권선에 전류를 인가한다. 이의 예를 그림 2에 나타내었다.

그림 2에서 V_{th} 는 그림 1의 전압 클리퍼/SC판단회로에서 계자권선에 전류를 공급하기 위한 펄스 파형을 발생시키는 기준전압이다. 부하전압이 증가하면 센서전압인 $S_1(t)$ 는 증가하며, 반대로 부하전압이 감소하면 센서전압 $S_2(t)$ 는 상대적으로 감소하는 예를 나타낸 것이다. 부하 전압이 이전 전압보다 증가하는 경우인 $S_1(t)$ 의 경우에는 그림 2의 센서 전압이 $S_1(t)$ 일 때의 파워 스위칭 소자(TR 또는 FET)의 ON/OFF와 같이 펄스폭은 감소하여 계자권선에 전류가 감소

됨으로 부하전압이 감소된다. 그리고 부하 전압이 감소한 경우에는 그림 2의 센서전압이 $S_2(t)$ 일 때의 TR ON/OFF와 같이 펄스폭은 증가하여 계자권선에 전류가 증가하여 부하 전압이 증가한다. 이와 같이 동작하는 것이 아날로그 AVR의 기본적인 동작이다.

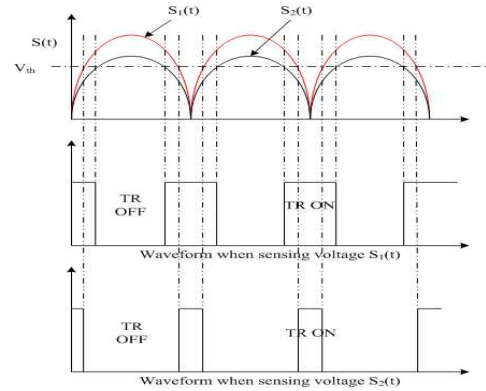


그림 2. 센서 신호 전압에 따른 계자권선 전류 인가 파형
Fig. 2. The field coil current is applied to the waveform of the sensor signal voltage.

그러나 아날로그 AVR은 그림 3과 같이 부하의 증감을 감지하기 위한 센서전압은 부하가 증가함에 따라 왜곡이 발생한다. 즉 정격부하를 인가했을 때는 무부하의 경우와 달리 센서전압에 고조파에 대한 왜곡이 발생하여 계자권선에 인가되는 전류의 양이 감소하여 무부하에서 출력전압보다 정격부하에서 출력전압이 감소한다. 즉, 무부하시에는 부하가 없으므로 동체에서 그림 3(a)와 같이 고조파를 포함하는 정현파를 발생한다. 그러나 부하 인가시에는 동체에서 발생하는 고조파를 부하에서 흡수하므로 고조파는 줄어들지만 정현파의 형태가 그림 3(b)와 같이 왜곡된 형태로 나타난다. 따라서 아날로그 AVR을 장착한 발전기는 부하가 증가함에 따라 출력 전압도 점차 낮아지는 경향이 있다. 표 1은 아날로그 AVR의 점차 부하를 증가시켰을 때 부하에 따른 전압의 변화를 보인 것이다.

표 1. 아날로그 AVR의 부하에 따른 전압변화
Table 1. Voltage change by the load of the analog AVR

Load	0kW	1kW	2kW	3kW	4kW	5kW	6kW
Voltage [V]	234.5	232.2	230.3	228.5	228.1	226.3	224.7

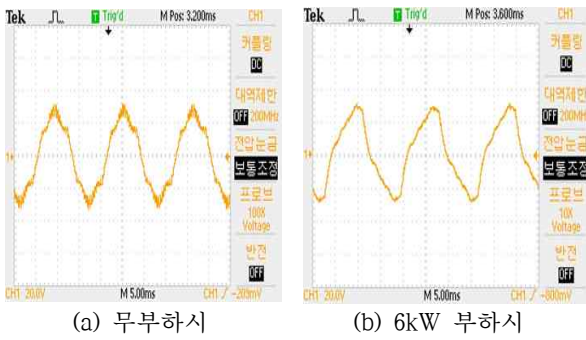


그림 3. 아날로그 AVR의 부하별 센서전압 변화

Fig. 3. Sensor voltage change by the load of the analog AVR

2.2 디지털 AVR의 동작원리 및 문제점

디지털 AVR은 그림 4와 같이 부하의 변동이 없을 때는 전압 변동률이 아날로그 AVR보다 우수하지만 무 부하에서 정격부하로 변환될 때 195[V]까지 강하된 후 약 2초 후에 정격 전압에 도달하는 단점이 있다.

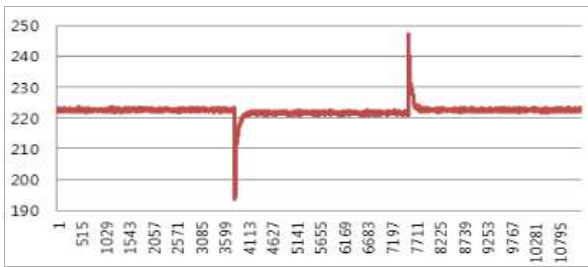


그림 4. 부하를 0kw, 5kw, 0kw로 변화를 주었을 때 디지털 AVR의 전압 변동률

Fig. 4. Voltage regulation of digital AVR when given the varying load 0kw, 5kw, 0kw sequence

부하 전압이 195[V]까지 강하하고, 2초 정도의 지연이 발생한 뒤에 정상전압 220[V]에 도달하므로 디지털 AVR이 장착된 발전기를 용접기와 같은 산업용 기기에 전원을 공급하는 전원공급장치로 이용할 경우 용접기의 기본 성능인 용접의 품질에 상당한 영향을 미친다. 따라서 디지털 AVR이 장착된 발전기를 산업용 전원 공급 장치로 이용할 경우에는 이러한 임펄스와 같은 급격한 전압변동을 고려해야 한다. 따라서 본 논문에서는 부하 변동 시 이를 보완하는 하이브리드 AVR을 개발한다. 아날로그 AVR의 전압변동률이 산업용 전원변동률의 범위 내에 있으며, 시정수가 짧은 장점과 부하의 변동에 전압강하가 발생하는 단점을 보완하는 기능을 가지도록 하였다.

III. 제안된 하이브리드 AVR

아날로그 회로를 이용하지 않고 디지털 제어기를 이용한

하이브리드 AVR(hybrid AVR)은 발전기의 여자전압과 전류를 제어하여 출력전력을 부하에 관계없이 일정한 전압을 발생시킬 수 있도록 하며, 과부하에 대한 발전기의 안정성 확보할 수 있다는 장점이 있다. 개발한 하이브리드 AVR의 내부 구성도는 그림 5와 같다.

먼저 센서권선에서 입력되는 교류전압을 전파 정류하고 이를 다시 저역통과 필터(lowpass filter)를 이용하여 불필요한 고조파를 제거한다. 그리고 저역 통과된 센서신호를 A/D 변환기를 이용하여 디지털로 변환하고, 제어기에서 센서신호의 전압에 대하여 식(1)과 같이 실효값(root mean square)을 계산한다. 실효값은 부하의 변동을 감지하기 위한 부하전압에 해당되는 신호이다.

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T v^2(t) dt} \tag{1}$$

$$= \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T V_p \sin^2(2\pi ft) dt}$$

여기서 $v(t)$ 는 센서전압 신호이며, T 는 센서 전압의 주기이며, V_p 는 센서전압의 최대값이다.

그림 5에 보인 것처럼 계자권선에 전류를 공급하기 위한 여자용 전압은 교류발전기 내의 여자권선에서 출력되는 전압을 전파정류하고, 이를 평활회로를 거쳐서 직류로 변환된다. 직류 여자전압을 스위칭 소자인 파워 Tr를 이용하여 제어기에서 센서전압의 실효값에 따라 계자권선의 전류를 제어하여 부하의 변동에 관계없이 일정한 부하가 공급되도록 제어한다.

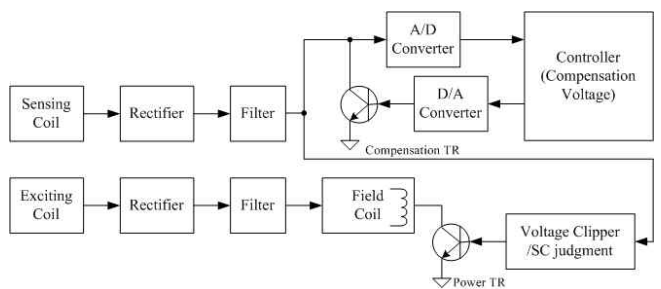


그림 5. 하이브리드 AVR 구성도
Fig. 5. Hybrid AVR block diagram

또 센서권선에서 출력되는 신호전압을 전파정류하여 부하의 변동을 감지하는 전압 클리퍼를 이용하여 파워 스위칭 소자를 구동하도록 한다. 이것은 아날로그 AVR의 제어 방법과 동일하다. 그러나 부하량의 증가에 따라 부하전압이 감소하는 단점을 보완하기 위해서 보상용 Tr를 이용하여 부하가 증가함에 따라 부하전압이 감소하는 것을 보상하도록 제어한다. 이때 보상하는 방법은 다음과 같이 수행한다.

센서전압은 부하가 증가함에 따라 고조파에 의해 왜곡이 발생한다. 발생된 왜곡으로 인해서 부하가 증가함에 따라 센

서전압의 진폭에 변화가 발생하여 정격부하에 적응하는 파워 FET의 정확한 구동이 어려워지는 문제가 발생하며, 부하의 실효값이 감소한다. 따라서 본 논문에서는 센서 전압을 A/D 변환하여 제어기에서 실효값을 계산하도록 하였으며, 식 (1)에 나타난 실효값이 220 V보다 낮거나 높을 경우에 보상용 Tr을 이용하여 센서신호 전압을 증감하고, 이로 인해서 계자권선에 인가되는 펄스폭을 가변하여 부하의 변동에도 일정 전압이 공급되도록 한다.

보상을 위한 방법으로는 PID(Proportional Integral Differential) 제어를 활용하였다[7-10]. 디지털 AVR에서 외부 부하에 적응하는 제어 방법으로 일반적으로 PID제어를 이용한다. PID란 목표값에 대한 오차신호를 비례, 적분 그리고 미분값을 조합하여 제어하는 방식으로 제어기에 의한 PID 제어 알고리즘은 다음 (2)식과 같다.

$$S[n] = S[n-1] + \Delta S[n] \quad (2)$$

$$\text{where } \Delta S[n] = K_p * e[n] + K_i * \sum_{l=0}^n e[l] + K_d * (e[n] - e[n-1])$$

여기서 $S[n]$ 는 제어기 출력이며, K_p , K_i 그리고 K_d 는 비례, 적분 그리고 미분 파라미터이며, 초기값으로 임의의 값을 지정하고, 차분값과 누적 에러값에 따라 적응적으로 최적화되도록 구현하였다. $e[n]$ 는 목표값과 제어기 출력의 오차(error)이며, $e[n] = p[n] - S[n]$ 이며, $p(n)$ 는 목표 값이다.

IV. 실험 및 결과

아날로그 AVR의 단점이 부하에 따른 부하전압의 강하로 야기되는 단점을 보완하고, 디지털 AVR에서 발생하는 부하의 급변에 대한 늦은 시정수의 문제점을 개선하기 위해서 하이브리드형의 AVR을 개발하고 이의 성능을 평가하였다. 성능평가를 위해서 동체는 이미 개발하여 사용하고 있는 교류발전기로 한정하며, 아날로그 AVR과 하이브리드 AVR의 성능을 비교·평가하며, 성능 평가지표로는 전압변동률과 고조파비 그리고 시정수를 이용한다. 여기서 시정수는 부하가 급변할 때에 정상전압에 도달하는 시간을 의미한다.

그림 6은 엔진을 사용한 발전기 실험장치 구성도이다. 먼저 교류발전기와 AVR을 결합하여 부하에 따른 AVR 특성 실험을 하였다. 부하별 전압, 전류 그리고 고조파 등을 측정하기 위하여 전력분석계 등 각종 측정장치를 부하단에 연결하였으며, 이들로부터 측정된 데이터를 컴퓨터에 저장하도록 하였다. 컴퓨터에 저장된 데이터 실험결과를 분석하는데 활용하며, 그림 7은 가솔린 발전기를 사용한 실험장면을 보인 것이다.

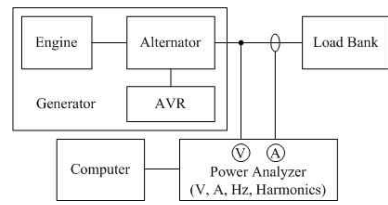


그림 6. 발전기 실험장치 구성도
Fig. 6. Generator experimental device block diagram



그림 7. 발전기 실험 장면
Fig. 7. Generator experimental scene

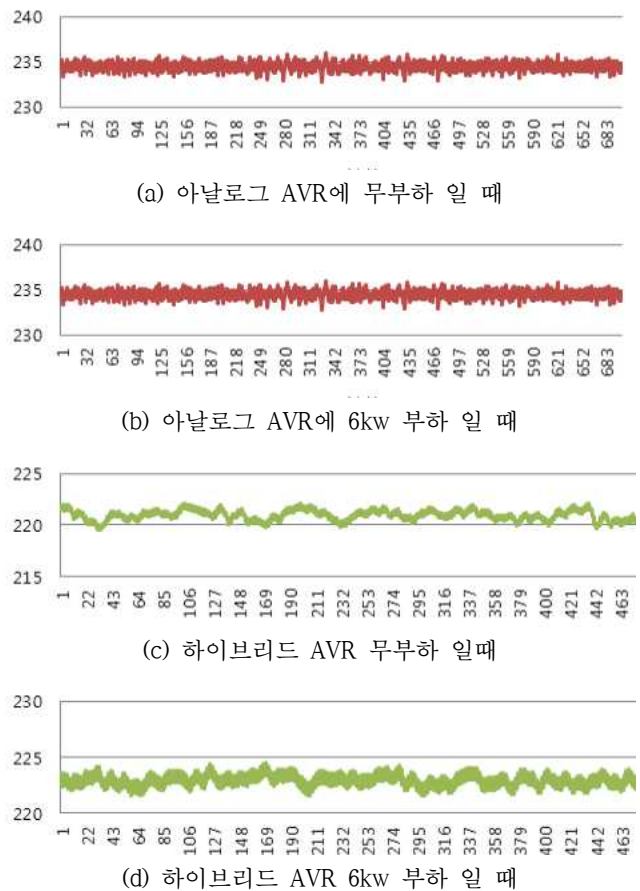


그림 8. 아날로그 AVR과 하이브리드 AVR의 전압변동률 비교
Fig. 8. Compare AVR voltage regulation of analog AVR and hybrid AVR

상용화된 아날로그 AVR과 개발한 하이브리드 AVR을 교류발전기에 연결하여 무부하일 때, 그리고 정격부하 6[kw]를 인가하였을 때 부하에 따른 전압변동률을 그림 8과 그림 9에 나타내었다.

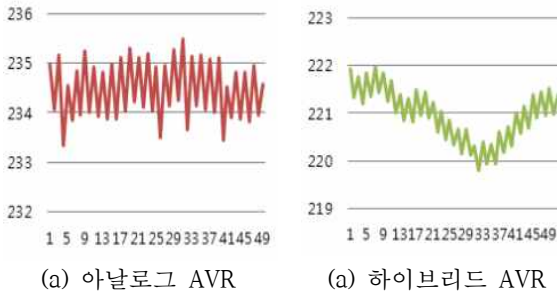


그림 9. 아날로그와 하이브리드 AVR의 무부하시 전압변동률 비교

Fig. 9. Compare no load voltage regulation of analog AVR and hybrid AVR

그림 8의 (a)와 (c)에서 보인 바와 같이 부하 변동이 없을 때의 전압변동률은 아날로그 AVR과 하이브리드 AVR에는 차이가 없음을 확인할 수 있다. 그림 9는 무부하 일 때 전압 변동 상태를 확대하여 보인 것이다. 그림 8의 (b)와 (d)에서 보인 것처럼 아날로그 AVR 보다 하이브리드 AVR의 전압변동률이 목표치에 안정적으로 수렴하고 있음을 보여주고 있다. 특히 그림 8(a)와 (b)는 아날로그 AVR 목표전압으로 수렴하려는 제어가 이루어지지 않음을 보인 것이며, 그림 8(c)와 (d)는 하이브리드 AVR이 목표전압으로 수렴하도록 제어되는 상태를 보인 것이다. 그림 9는 이들을 시간축 상에서 확대하였을 때 상세한 제어상태의 변화를 보인 것으로 전압변동폭이 각각 (a)와 (b)가 최대 2[V] 이내로써 하이브리드 AVR이 고조파가 제거되어 안정적으로 출력됨을 보여주고 있다.

아날로그와 하이브리드 AVR 시정수 비교는 그림 10에서 보인바와 같다. 그림 10(a)는 아날로그 AVR의 무부하에서 정격 6[kw] 부하를 인가할 때의 시정수와 전압변동폭을 보인 것이며, (b)는 6[kw] 부하 인가상태에서 부하를 차단했을 때의 변화를 보인 것이다. 또한 그림 10(c)는 하이브리드 AVR의 무부하에서 부하를 인가할 때의 시정수와 전압변동폭을 보인 것이며, (d)은 6[kw] 부하 인가상태에서 부하를 차단했을 때의 변화를 보인 것이다. 그림 10(c)는 (a)에 비하여 전압 변동폭이 적고, 목표전압에 빠르고 안정적으로 수렴하며, 목표전압에 수렴하는 지연시간, 즉 시정수가 아날로그 AVR에 비하여 하이브리드 AVR이 적게 나타남을 보여주고 있다. 또한 그림 10(d)는 (b)에 비하여 전압의 변동폭이 적고 목표전압에 안정적으로 수렴되고 있음을 보여주고 있다. 따라서 아날로그 AVR에 비하여 제한한 하이브리드 AVR은 그림 10에서 보인 바와 같이 부하의 변화에 대하여 전압변동폭이 적고 빠른 시간 내에 안정적으로 목표전압에 수렴하고 있음을 확인할 수 있었다. 특히 부하 인가상태에서 부하를

차단하였을 때 아날로그 AVR은 그림 10(b)와 같이 목표전압으로 수렴하지 않고 목표전압보다 상승된 결과 전압을 출력하고 있다. 그러나 하이브리드 AVR은 그림 10(d)와 같이 빠른 시간 내에 목표전압에 안정적으로 수렴해 가는 것을 확인할 수 있다.

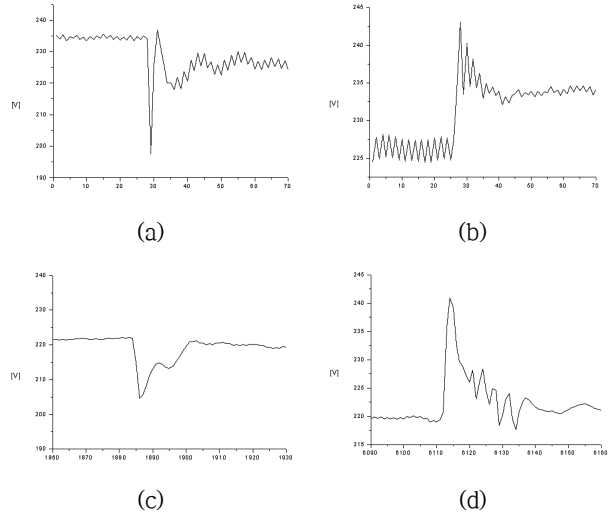
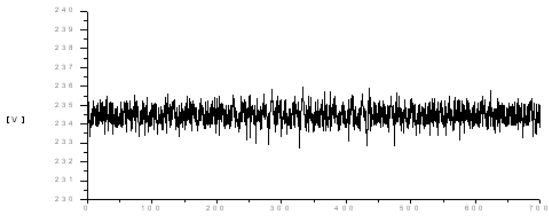


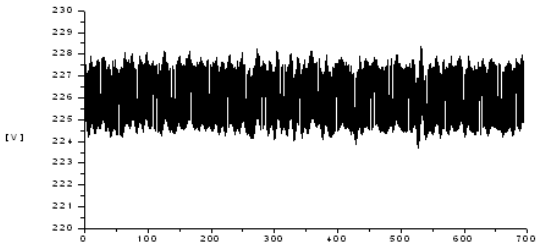
그림10. 아날로그와 하이브리드 AVR 시정수 비교
Fig. 10. Comparison of analog and digital AVR time constant

그림 11(a)와 (b)에 보인 바와 같이 아날로그 AVR의 경우에는 무부하시 보다 부하 인가시에 더 많은 전압변동을 보여주고 있으며, 그림 11(c)와 (d)는 하이브리드 AVR의 무부하시 또는 부하인가시의 전압변동이 거의 차이가 없다. 그러나 아날로그 AVR의 전압변동폭이 2[V] 이내로써 실제 사용 전압에 비하여 ±1[%] 이내로 매우 적다. 또한 하이브리드 AVR의 경우는 전압변동폭이 1[V] 이내로써 사용전압에 비하여 ±0.5[%] 이내로 매우 적다. 따라서 아날로그 AVR에 비하여 하이브리드 AVR이 전압변동율이 2배이상 개선되었다.

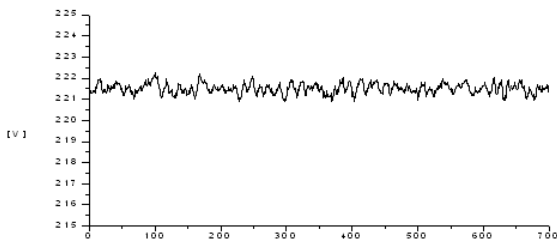
고조파비는 그림 12(a)와 (b)는 각각 무부하일 때의 아날로그와 하이브리드 AVR의 고조파비를 보인 것이며, 그림 12(c)와 (d)는 각각 부하가 인가되어 있을 때 아날로그와 하이브리드 AVR의 고조파비를 보인 것으로 아날로그와 하이브리드 AVR의 차이가 거의 없음을 보여주고 있다. 특히 무부하시에 아날로그 AVR의 경우는 그림 12(a)에 보인바와 같이 고조파 성분이 존재하지만 부하가 인가되었을 때 그림 12(b)처럼 고조파 성분이 저감됨을 보여 주고 있다. 그러나 그림 12(c)와 (d)에서 보인 하이브리드 AVR의 경우는 무부하시 또는 부하 인가시에 고조파 성분이 거의 존재하지 않음을 확인할 수 있다. 즉 아날로그 AVR에 비하여 하이브리드 AVR에서 고조파의 발생이 거의 별생하지 않는 장점을 갖는다.



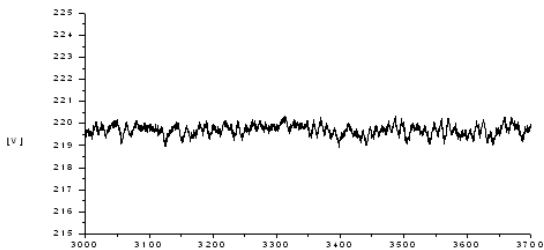
(a) 아날로그 AVR 무부하시



(b) 아날로그 AVR 부하 인가시



(c) 하이브리드 무부하시



(d) 하이브리드 부하 인가시

그림11. 아날로그와 하이브리드 AVR 전압안정율 비교
Fig. 11. Comparison of analog and digital AVR voltage stabilization rate

지금까지 아날로그 AVR과 본 연구에서 제안한 하이브리드 형의 AVR을 교류발전기에 결합하여 시정수와 전압 변동률, 그리고 고조파 비를 성능 평가 지표로 평가했다. 실험 결과 아날로그 AVR의 장점인 시정수가 빠르다는 점, 그러나 부하가 증가할 때에 부하에 따른 출력 전압이 강하하는 단점, 그리고 디지털 AVR의 단점인 시정수가 늦다는 점을 보완한 하이브리드 AVR의 실험결과, 아날로그 AVR의 장점과

디지털 AVR의 장점을 모두 갖추는 특성을 보인 것으로 판단된다. 따라서 개발된 하이브리드 형의 AVR을 교류발전기에 연결하여 산업용 전원발생장치로 활용하는데 적합하다.

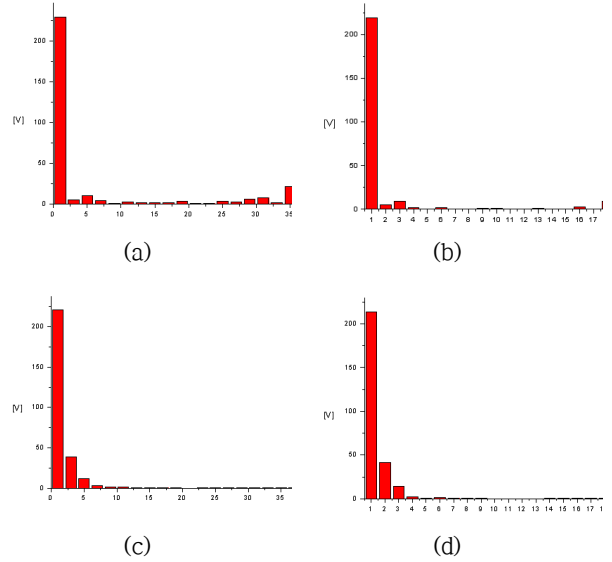


그림12. 아날로그와 하이브리드 AVR 고조파비 비교
Fig. 12. Comparison of analog and digital AVR harmonic ratio

V. 결론

본 논문은 동기식 발전기의 출력 전압을 제어하는 하이브리드 자동전압조정기(AVR)을 제안하였다. 아날로그 AVR은 전압조정 시간은 짧으나 전압변동률이 큰 단점이 있으며, 디지털 AVR의 경우에는 제어 응답이 늦은 위상제어 정류기를 사용하기 때문에 출력전압 제어 성능이 저하되는 단점이 있었다. 제안된 하이브리드 AVR은 아날로그 AVR의 응답특성이 빠른 장점과 디지털 AVR의 안정된 출력전압의 장점을 모두 갖추는 특성을 보였으며, 산업용으로 적용이 가능하다.

참고문헌

- [1] Andrzej M. Trznadlowski, Introduction to Modern Power Electronics, Wiley.
- [2] Kentaro Kawabata, Yuzo Okubo, Nobukazu Iijima, Mototaka Sone, Akinobu Mizutani, "The Automatic Tuning Function for Digital AVR of an Electric Power Generator", Proceedings of the International Conference on Signal Processing Applications & Technology, vol 2, pp. 937~941, Sep. 1998.
- [3] Dong-Hwan Yu, Sang-Hoon Park, Jae-Sung Yo, Sang-Seuk Lee, Sung-Joon Ahn, "Voltage Control of Synchronous Generator for Ships using a PMG Type Digital Automatic Voltage", KIPE, vol. 14, No. 1, pp.

- 38-45, 2009.
- [4] Ibraheem Kasim Ibraheem, "A Digital Optimal AVR Design of Synchronous Generator Exciter Using LQR Technique", Al-Khwarizm Engineering Journal, vol. 7, No. 1, pp. 82-94, 2011.
- [5] Anderson, P. M. and Fouad A. A., "Power System Control and Stability", John Wiley and Sons Inc., 2003.
- [6] Rangnekar S., "Development of state-Space and Study of Performance Characteristics of Digital Based Excitation Control System ST4B with Single Machine Connected to Infinite Bus", IEEE International Conference on Control Applications, Hahala Coast Island of Hawaii, Hawaii, USA, August, 1999.
- [7] A. Godhwani and M. J. Basler, "Design, Test and Simulation Results of a Var/Power Factor Controller Implemented in a Modern Digital Excitation System", IEEE Power Eng. Society Summer Meeting, San Diego, CA, 1998.
- [8] A. Godhwani, M. J. Basler and T. W. Eberly, "Commissioning and Operational Experience with a Modern Digital Excitation system", IEEE Trans. Energy Conversion, Vol. 12, June, 1998.
- [9] Dong-Hee Lee, Tae-Hyoung Kim and Jin-Woo Ahn, "Control of Digital AVR in Stand Alone Generator for Improved Dynamic Characteristics", IEEE pp. 1978-1982, 2008.
- [10] Asama, M., Ukai, H., Sone, M., Nakamura, K, "Comparative studies of digital AVR for use on engine generator between H/sub/spl infinite control and direct design PID control", Proceedings of the Power Conversion Conference - OSAKA, vol. 1, pp. 211-214, April 2002.



양 근 호(Keun-Ho Yang)

正會員

1989년 전북대학교 전자공학과 졸업 (공학사)

1992년 전북대학교 대학원 전자공학과 졸업
(공학석사)

1999년 전북대학교 대학원 전자공학과 졸업
(공학박사)

1995년 - 현재 한려대학교 전기전자공학과교수

※ 주관심분야 : 영상통신, 회로 및 시스템