

선박발전기용 디지털 AVR 개발

김 태 완, 김 승 환, 이 수 병, 송 석 현, 이 선 재, 김 명 찬, 이 상 등
 현대중공업(주) 기계전기연구소 전력변환연구소

Development of the Digital AVR for Ship Generator

T. W. Kim, S. W. Kim, S. B. Lee, S. H. Song, S. J. Lee, M. C. Kim, S. D. Lee
 Electro-Mechanical Research Institute, Hyundai Heavy Industry, Co., Ltd

Abstract - AVR은 동기발전기의 출력전압을 부하변동에 관계없이 일정하게 제어하며 발전기 및 시스템 보호를 위한 각종 제어 알고리즘을 구비하고 있다. 종래의 아날로그타입 AVR은 제어설정이 불편하고 제어신뢰성이 떨어지기 때문에 점차 디지털 타입으로 교체되고 있다.

본 연구는 선박발전기에 적용하기 위한 디지털 AVR 개발에 관한 것이다. TI사의 TMS320LF2407 CPU를 사용하여 제어 H/W를 개발했으며, 과여자/저여자제어, Droop제어, 무부하/역률제어 등 다양한 제어기능을 S/W로 구비하여 부하에 따른 적용의 유연성을 높였다. 그리고 전력회로는 IGBT를 사용하여 고속 스위칭 제어함으로써 SCR 방식에 비해 제어 속응성을 개선하였다. 개발된 제품은 AVR, 직류전원공급장치 및 부하나 계통의 사고시 보호를 위한 전류부스트(CBS)기능을 포함하고 있다.

1. 서 론

지금까지 산업용 또는 선박용 발전기의 전압조정장치(Automatic Voltage Regulator)는 발전기 출력전압을 Thyristor로 위상제어하여, 여자전류의 크기를 제어하는 아날로그 방식이 대부분이었다. 이 방식은 회로가 간단하고 소형인 것이 장점이나 아날로그회로에 의한 회로설정이 불확실하고 다양한 발전기제어기능을 구현하기에 어려움이 있었다.

본 논문에서 제시하는 디지털 AVR은 마이크로프로세서를 사용하는 제어 H/W와 발전기출력을 정류하여 AVR에 DC 전력을 공급하는 정류기, DC전압을 스위칭하여 여자전류를 발생하는 전력용 반도체로 구성된 전력변환 H/W, 그리고 전압제어, 전류제어, 역률제어 등의 각종 알고리즘을 수행하는 S/W로 구성된다. 여러 가지 제어가 S/W로 처리됨으로써 제어신뢰성이 높고 설정이 간편하며, 동일 H/W에 의한 확장이 가능하다. 또한 PC에 의한 GUI(Graphic User Interface)개발에 의해 각종 파라메타 설정이나 현장에서의 설치, 시운전이 용이하게 되었다. 개발된 시제품은 당사의 회전기 시험실에서 발전기에 적용하여 각 기능을 시험하였다.

2. 본 론

2.1 AVR 시스템 설계

2.1.1 시스템 구성

본 개발품이 적용될 동기발전기의 여자기 구성은 Fig 1과 같다. 그림에서와 같이 회전여자의 여자전류를 AVR이 제어함으로써 발전기의 전압을 제어하게 된다. 이러한 구성은 Brush가 필요 없는 간단한 구조로서 대부분의 디젤발전기가 이러한 방식의 여자시스템으로 설계된다. 그리고 발전기의 초기기동은 발전기의 잔류전압을 이용하여 기동하지만 잔류전압이 없는 경우는 외부 배터리 또는 외부전원에 의하여 고정자 권선을 한번 충전하여 잔류전압이 생기도록 한 후 기동을 하게 된다.

또한 부하단의 사고에 의하여 발전기 출력단이 단락된 경우 보호계전기가 동작하기 위한 시간동안 계속하여 고장전류를 흘려주기 위한 회로가 필요하다. 단락 시는 발전기출력전압이 "0"으로 되어 AVR은 동작하지 못하므로 출력전류를 CT를 통해 여자회로로 흐르도록 하는 CBS(Current Boosting System)가 필요하며 선박에 적용되는 발전기의 경우는 거의 모든 발전기가 이를 장착하게 된다. 그래서 본 개발에서는 CBS기능을 기본으로 하도록 시스템 구성을 하였으며, 디지털 AVR의 전원공급장치인 Power Module도 내장하여 단일 장치로서 전체시스템을 구성토록 설계하였다. 이 구성은 Fig. 2와 같다. 전력용 반도체소자 Q1, Q2, DM1, DM2와 직류평활을 위한 콘덴서 모듈 CM1, CM2, CM3 그리고 제어 PCB, 전력 PCB 및 Operator로 구성된다.

전력회로의 개략적인 형태는 IGBT 구동부, DC/DC 제어전원부, 전류부스터부, 전압 및 전류 센싱부 등으로 구성되어 있다. 전력소자로는 단방향 전원으로 ON-OFF 제어가 가능한 IGBT를 사용하였다. 스위칭 주파수는 여자기 및 발전기의 응답속도에 따라서 가변 조절될 수 있으나, 상용의 발전기 및 여자기 사양으로부터 1kHz의 스위칭 주파수로 동작할 수 있도록 하여 충분한 응답특성을 갖도록 설계되었다.

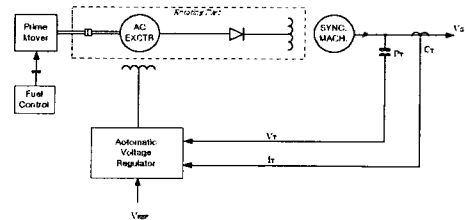


Fig. 1 동기발전기 여자시스템 구성도

2.1.2 시스템 사양

본 개발품은 500kW ~ 5MW급 디젤발전기에 적용하는 것을 목표로 하며 특히 선박에 적용하는 발전기용 CBS를 내장하는 것으로 했다. 개발품의 사양은 일반적인 AVR의 요구사양에 추가적으로 사용자의 요구에 따른 사항을 추가하였으며 Table 1과 같다. Fig. 3에는 개발품의 실물사진을 나타내었다.

2.2 제어 알고리즘

동기발전기의 여자제어기능은 기본적으로 전압제어와 전류제어이며 이 제어기는 PID제어기로 구성하여 발전기의 파라메타에 따른 최적의 상태로 Tuning할 수 있도록 했으며 필요에 따라 적용 가능한 각 기능에 대한 알고리즘을 선별 적용할 수 있도록 설계했다. 전체 제어시스템 구성은 Fig. 4와 같으며, 그림에서 알 수 있듯이 제어기 구성은 전류, 전압제어용 PID제어기가 내부 케환되

어 있고 다른 제어기능들은 전압, 전류제어기의 기준전압 Point에서 합산되도록 하는 외부 계환으로 구성된다.

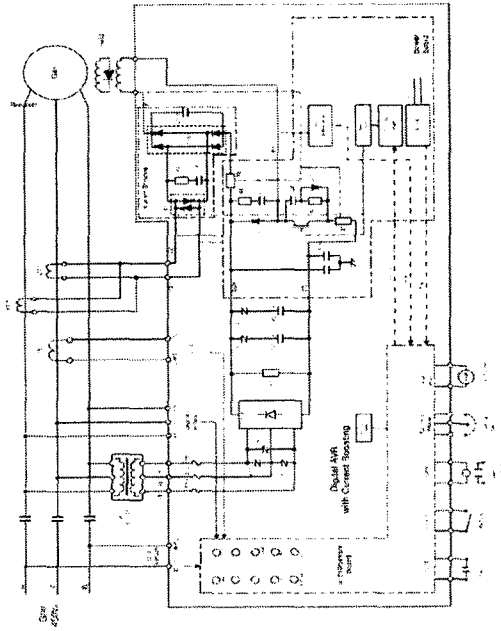


Fig. 2 AVR 시스템 구성도

Table 1 AVR 개발사양

항 목	사 양	
시스템 구성	Power Module, CBS 일체형	
입,출력 정격	입력전압	190 ~ 270Vac, 50 ~ 400Hz
	정격제자전압,전류	150Vdc / 15A
	Forcing 전압/전류	240Vdc / 30A(10s)
	최소제자저항	8.3 ohm
입력검출	전압검출	120 ~ 660V±10%(60Hz)
	전류검출	100 ~ 400V±10%(50Hz)
전압제어 정도	무부하→전부하	±0.25%이내
	40% THD	±0.5%
	최소기동전압	6Vdc
	보호기능	OV, LOS, OE, UF, OT
부가기능	제어기능	UEL, OEL, VAR, PF, Droop
	기타	Vmatch, Softstart, Manual
통신방법	RS232 / RS485	

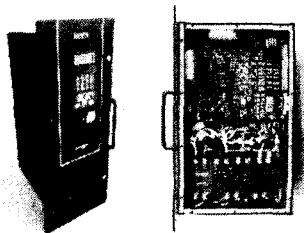


그림 3 디지털 AVR 개발품의 실물사진

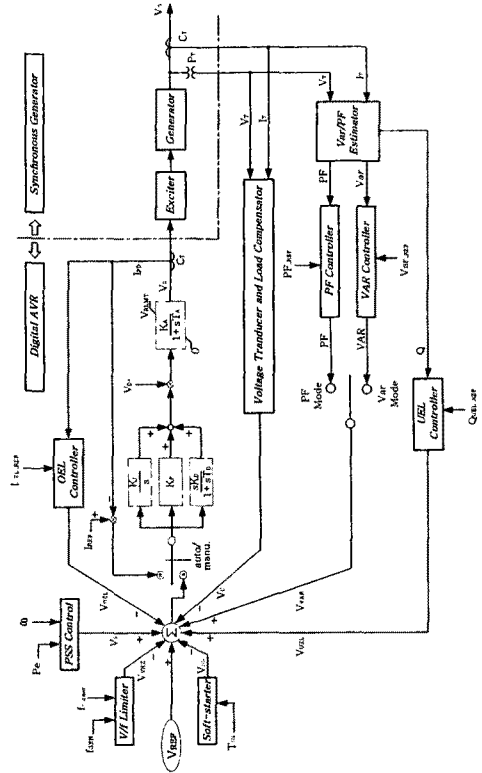


그림 4 AVR 전체 제어블록도

2.2.1 전압검출 및 부하보상제어

이 기능은 제어하고자 하는 발전기 출력전압을 제어기가 피드백신호로 사용하기 위한 전압으로 변환하고, 또한 발전기와 부하간 거리가 멀어 Cable에 의한 전압강하가 크거나 발전기-부하 사이에서 변압기 또는 리액터가 있는 경우 부하전류에 따라 전압강하에 의해 부하에서의 전압이 감소하므로 일정전압을 유지하기 위한 지점을 정하고 부하전류에 따라 발전기단 전압을 보상제어하기 위한 기능을 가진다. 여기서는 부하전류를 벡터로 검출하여 발전기 출력전압을 보상함으로써 제어지점의 전압은 일정하게 유지된다.

2.2.2 Droop 제어

발전기를 병렬 연결하여 운전할 때 발전기여자기에 의해서는 무효전류만 제어가 가능하다. Droop제어기능은 무효전류분담 제어를 위한 기능으로 각 발전기가 동기운전상태에서 여자전류 제어를 의하여 발전전압이 변화하면 발전기간의 전압차와 양 출력간 리액턴스에 따라 발전기 무효전류 분담이 제어되므로 부하전류에 따라 전압지령을 변경함으로써 자동제어 되게 한다.

2.2.3 무효전력제어 및 역률제어

발전기가 계통에 연계되거나 또는 여러 대 병렬로 연결될 경우 해당 발전기가 출력할 무효전력을 제어하거나 발전기의 역률을 제어하기 위한 기능이다. 발전기 출력전류의 무효성분을 검출하고 이를 일정제어하기 위해 발전기 여자전류를 제어한다. 즉, 여자전류에 의해 발전기 출력전압이 변화하면 병렬로 연결된 계통 또는 발전기로 흐르는 무효전류가 제어되어 요구되는 무효전력 또는 역률로 제어가 된다.

2.2.4 V/F 제한기능 및 Soft-Start 기능

V/F 제한기능은 발전기와 출력단 변압기가 저속에서

운전될 때 과여자되는 것을 방지하기 위한 기능이다. 엔진 기동시 또는 엔진의 출력부족 등의 원인으로 속도가 저하된 경우 출력 주파수가 감소하고 이 때 일정전압 제어를 하게 되면 과여자 상태가 될 수 있다. 그러므로 발전기 속도에 따라 출력전압 기준을 감소시켜야 과여자를 방지할 수 있게 된다. 이것은 발전기 출력전압이 자속과 속도의 곱에 비례하므로 일정전압으로 제어하게 되면 여자전류를 과다하게 입력하게 되고 이로 인해 발전기는 과열되기 때문이다.

Soft-start 기능은 발전기 기동시 전압의 급격한 상승을 막기 위한 기능이다. 이 기능을 이용하면 기동시 발전전압이 일정시간을 가지면서 정격전압으로 상승하도록 설정이 가능하다.

2.2.5 여자제한제어(OEL/UEL control)

여자제한기능에는 과여자 제한기능과 부족여자 제한기능이 있다. 먼저 과여자 제한기능은 최대의 Forcing 전압을 인가하면서도 여자회로의 과열을 방지하고 발전기 출력측 단락시 보호계전기가 동작할 수 있도록 여자를 유지하는 목적을 가진다.

일반적인 과여자 제한동작특성은 단시간 과여자 전류제한 패턴에 의해 정해진다. 본 개발품에는 3단계의 과여자 설정이 가능하게 했으므로 발전기의 여자조건에 따라 조정하여 설정이 가능하다. Fig. 6에 제한특성을 도시하였다.

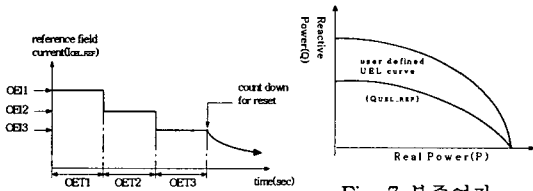


Fig. 6 과여자 제한특성

Fig. 7 부족여자 제한특성

부족여자 제한기능은 동기의 안정도를 위태롭게 하거나 불충분한 여자로 인한 동기화가 깨지는 것을 막기 위함과 동기의 고정자 끝단 코일의 과열을 방지하기 위한 기능이다. Fig. 7에 부족여자 제한특성을 나타내었다.

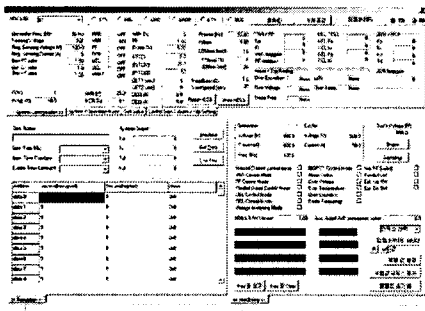


Fig. 10 AVR의 MMI 프로그램 화면

2.4 시험 결과

Fig. 11은 R-L 부하를 이용하여 정격부하 시험을 한 결과로 220V 입력전압에서 정격 계자전류를 흘렸을 때의 전압 및 전류의 파형을 나타내었다. 이 때 R은 7.5Ω L은 15mH이다. Fig. 12는 실제 발전기연계 시험 파형으로 순간 기동시의 발전기 출력전압을 측정된 것이다.

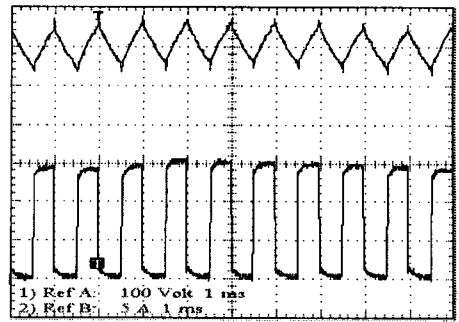


Fig. 11 정격부하(15A)시의 계자전류 및 계자전압

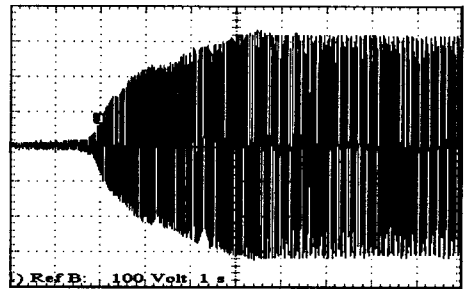


Fig. 12 순간기동시의 발전기 출력전압

3. 결 론

개발된 디지털 AVR은 다음과 같은 특성을 가진다. 첫째, AVR 전원용 Power Module과 CBS를 포함하는 일체형으로 하여 설치가 간편하고 소형화되었다. 둘째, IGBT를 이용하여 여자전류를 제어하므로 제어 속응성이 좋다. 셋째, 마이크로프로세서를 사용하여 제어설정이 간편하고 신뢰성이 우수하며, 통신에 의한 원격 모니터링 또는 제어가 용이하다. 넷째, 다양한 제어기능으로 부하에 따라 선택적용이 가능하다. 다섯째, 전압/주파수제한 기능에 의해 저속시 발전기과열을 방지하도록 했고, Soft-Start기능을 가지고 있어 발전기 기동시 과전압 발생이 억제되게 했다.

선박발전기용 AVR은 수요처가 선박이므로 문제발생시 A/S에 큰 애로가 있으므로 개발품의 신뢰성 확보가 매우 중요하므로 향후 장시간의 현장적용시험을 통해 신뢰성을 확보할 예정이다.

[참고 문헌]

- [1] Basler Electric, "Instruction Manual for Digital Excitation Control System and Current Boost System", 2000.
- [2] The Institute of Electrical and Electronics Engineers, "IEEE Standard 421-1, 2, 3, 4, 5", 1986~1997.
- [3] A. Godhwani and M. J. Basler, "A Digital Excitation Control System for use on Brushless Excited Synchronous Generators", IEEE, Transaction on Energy Conversion, Vol. 11, No. 3, September, 1996.
- [4] Texas Instrument, "TMS320F/C24X DSP Controllers Reference Guide, CPU and Instruction Set", SPRU160C, June, 1999.