

동기발전기용 여자기 전원장치 및 디지털 전압제어 동향

원 중 연 <성균관대학교 전기전자및컴퓨터공학부 교수>
안 정 호 <<주>케이투파워 중앙연구소장>

1. 서 론

일반적으로 수백 kW급 건물의 비상용전원, 군사용 전원, 병원, 낙도용 전원에 안정적인 전력의 공급은 엔진 및 발전기의 제어장치의 성능에 의존한다. 그러나 발전소와 대형 육상용 발전기(620[kW]~2,000[kW]급)는 해외기술에 의존하고 있으며, 중·소용량의 민수용은 국산화가 되고 있다.

특히 대형빌딩, 공장, 아파트 단지등에서 수용가에 신뢰성있는 전원을 공급하기 위하여 비상용 엔진발전기의 수요가 증가되고 있으나, 제어방식은 기계식 엔진장치와 아날로그형 전압제어장치가 대부분이다 [1].

최근에 전력수요의 증가로 피크부하에서 병렬운전시 부하분담, 병렬운전시의 부하 추종성, 고품질의 전력공급에 따른 속응성과 같은 고성능, 고 신뢰성의 제어시스템은 아날로그 제어방식으로는 어려운 실정이다.

동기발전기의 여자제어를 통한 전압제어는 아날로그형 PID 제어가 주로 사용되었으나 최근에 전력계통에 대한 컴퓨터사용이 제어에서 감시수준까지 이루어짐에 따라 디지털 제어가 일반화되고 있다.

본 기술해설에서는 디젤 엔진구동 동기발전기 여자시스템의 종류 및 디지털 제어방식의 개요에 대

하여 기술하고자 한다.

특히 브러쉬리스 자여자식 발전기의 자동전압조정기(Automatic Voltage Regulator : AVR)는 단상 또는 3상의 전압을 일반적으로 다이리스터 제어정류기(Thyristor Control Rectifier : TCR)로 제어하여 발전기의 여자에 공급함으로써 발전기 출력전압을 조정한다[2].

이 방법은 발전기의 전압을 왜곡시키는 부하가 연결될 때 다이리스터 점호각을 정확하게 결정하지 못하여 발전기 전압을 쉽게 제어할 수 없다.

본 기술해설에서는 초퍼형 디지털 AVR에 대하여 몇가지 소개하고자 한다.

2. 여자시스템의 종류 및 디지털 제어 방식

2.1 여자시스템의 종류

동기발전기는 전기에너지원으로서 전력시스템에서 많이 사용된다. 발전기는 prime mover, 즉 디젤엔진으로 구동되고, 여자전류는 여자시스템(excitation system)에 의해 제공된다.

발전기 여자시스템의 기본 기능은 동기기의 제자 권선에 직류전류를 공급하는 것이다.

계자자속을 만드는 N, S자극은 초소형 동기기에서는 영구자석을 사용하나, 그림 1(a)와 같이 소형에서는 브러쉬, 슬립링을 통하여 직류전류를 공급한다. 이와같은 방식의 여자기(exciter)를 브러쉬형 여자기라고 한다.

중형이 되면 그림 1(b)와 같이 동기기의 축단에 직류기 전기자를 연결하고, 직류전류를 공급하는 방법이 사용되어져 왔다. 이와같이 자극을 만들기위한 직류장치를 동기기의 여자기라고 한다.

직류여자시스템은 브러쉬의 정기적인 보수 및 정류시에 불꽃발생에 의한 전류공급의 제한으로 인하여 교류여자시스템으로 대체되고 있다.

간단히 소개하면, 동기기 회전축에 교류여자기 전기자와 정류기와의 조합에 의하여 그림 2와 같이 결선하여 회전하는 회전정류기(rotary rectifier)를 사용하여 브러쉬와 슬립링을 제외하는 소위 브러쉬리스 여자방식(brushless excitation system method)이다 [3].

반면에 정지형 여자시스템(static excitation system)은 고정된 제어 정류기로부터 얻은 직류전압을 슬립링을 통하여 동기발전기 계자에 전류를 공급한다. 이 정류기의 입력은 동기기의 출력을 변압기로 강압하여 사용한다.

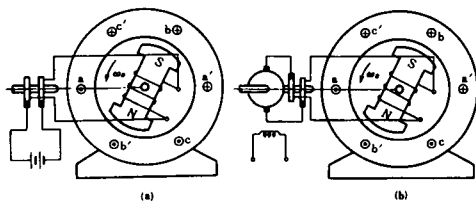


그림 2. DC 전원공급(a)과 직류여자기에 의한 공급(b)

다이오스터 정류기는 발전기 계자에 공급하는 여자전력을 직접 제어할 수 있는 소자로서 다이오드처럼 전류를 한방향으로만 흐르게 하고, 점호각을 조절하여 크기를 제어할 수 있다. 이와같은 TCR형은 산업현장에서 사용시에 아래의 문제가 야기될 수 있다.

첫 번째로 다양한 정류부하가 동기발전기 출력에 연결되고 이로인하여 발전기 출력전압의 왜곡과 다이오스터 제어각을 정확하게 설정하지 못하므로 정확한 출력전압을 제어할 수 없고 오동작을 일으킬 수 있다.

두 번째로는 발전기 출력전압을 빠르게 제어하기 위해서 AVR이 속응성을 가져야하는데, TCR방식은 제어주기가 길어서 빠른응답을 얻을 수 없다[1].

이러한 문제점을 해결하기 위하여 국외에서는 MARATHON 전기회사가 디지털 자동전압조정기 DVR2000 시리즈를 개발하여 생산하고 있으며, Meccalte는 현재 개발계획중에 있다.

2.2 디지털 제어방식

국내에서도 마이크로프로세서와 전력전자기술의 발달로 동기발전기의 여자기 전압제어 방식이 아날로그제어에서 디지털제어로 바뀌고 있다.

본 기술해설에서는 브러쉬리스 동기발전기의 디지털 여자시스템에 대하여 설명하고자 한다. 현재 동기발전기의 여자 전압제어에 디지털 제어방식을 적용하는 것이 세계적인 추세이다.

이러한 디지털 제어시스템은 수력발전소의 자동화와 프로세스 혹은 기계장치의 직접제어의 계층적 레벨까지 담당한다.

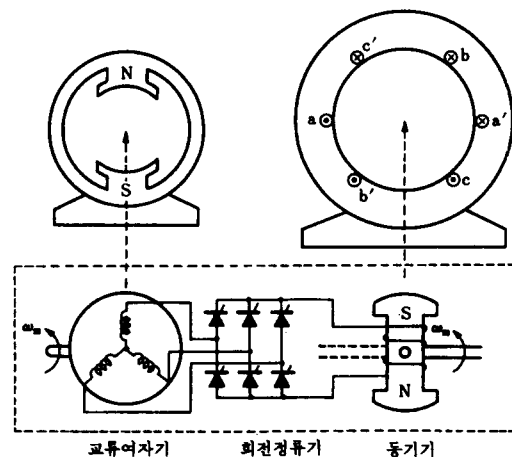


그림 3. 브러쉬리스 여자방식

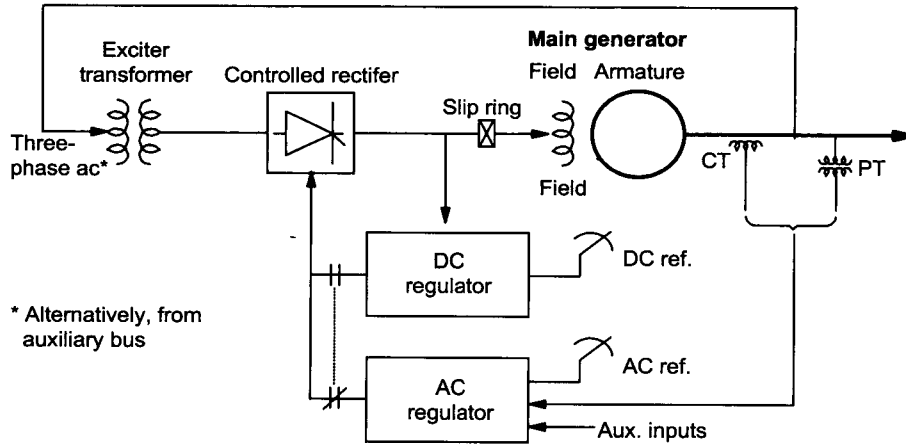


그림 4. 정지형 여자시스템

또한 이러한 시스템은 아날로그 전압제어기의 일과 여자시스템내에 시퀀스제어, 보호, 감독, 신호 및 통신업무까지 포함한다.

아날로그 전압제어기와 비교하여 디지털 전압제어기는 디지털 여자제어시스템의 하드웨어와 소프트웨어의 간략화도 제공한다.

디지털 전압제어기는 구성요소값 변화, 구성요소 경년변화 및 온도 드리프트와 관련된 문제에 상대적으로 영향을 받지 않는다. 복잡하고 많은 제어기능은 동기발전기 디지털제어시스템의 과제이다.

디지털제어시스템은 범위와 복잡성에 의해 아날로그 조절기에 주어진 일을 능가하고, 발전기 전압조정 기능과 시퀀스제어의 일도 그룹화한다.

좁더 폭넓은 의미에서 시퀀스제어는 전압 여자제어시스템의 기동과 정지에 필요한 순차적이고 논리적인 기능, 보호동작상태, 디지털시스템의 자기진단, 자체 디지털시스템내에 통신기능, 그리고 몇 개의 선택적인 기능의 처리를 관할한다[4].

3. 동기발전기 여자방식

3.1 정지형 여자시스템

그림 4의 정지형 여자시스템에서 제어 정류기의 입력은 동기기의 출력을 변압기로 강압하여 사용한다. 고정된 제어 정류기로부터 얻은 직류전압을 슬립링을 통하여 동기발전기 계자에 전류를 공급한다.

이러한 구조는 회전기를 사용하지 않으므로 구성이 간단하지만 발전기의 출력전압을 직접 제어하여 제어특성이 좋지만, 슬립링을 사용하므로 유지보수의 문제가 있다[2].

3.2 교류 여자시스템

그림 4의 교류 여자시스템에서 출력전압을 정류하는 방법에 의하여 그림 4(a)와 4(b)로 구분된다. 그림 4(a)는 슬립링과 여자기 출력전압을 정류하는 전력회로 용량때문에 대형 동기발전기에 적당하다.

그림 4(b)는 산업용과 비상용 발전기에 일반적으로 사용된다. 브리쉬리스형이므로 유지 및 보수가 거의 없으며 넓은 전압조정 범위를 갖는다.

반면에 교류 여자시스템에 계자가 존재하므로 시간지연이 크고 회전기를 사용하므로 고장시에 보수가 용이하지 않다[2].

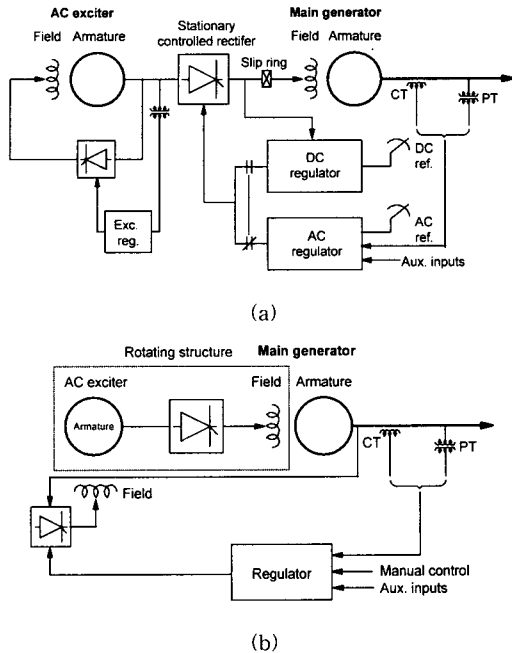


그림 4. AC 여자시스템

3.3 브러쉬리스 동기발전기 디지털 전압제어

산업현장에서 발전기의 95[%] 이상이 AC 여자시스템을 선택하고 있다. 그 이유로서 브러쉬나 슬립링이 없고 유지보수의 간편성과 여자기 시스템이 발전기 내부에 포함되어 있어 외부에 연결되어 발전기의 출력전압을 제어하는 AVR 전력회로 용량이 작아도 되기 때문이다.

브러쉬리스 동기발전기의 디지털 전압제어는 그림 5에 보여진다. 제어시스템은 두 개의 귀환루프를 가진 캐스캐이드(cascade) 구조를 가진다. 즉 발전기 전압(V_G)을 기본으로 한 주귀환루프와 여자기의 여자 전류(I_G)에 근거한 내부 귀환루프이다.

전압제어기의 기준값(V_{GREF})는 운전원 책상위에 설치된 상하 버튼 혹은 수력발전소 컴퓨터에 저장되어 있다.

디지털시스템은 무효 및 유효 전류특성을 근거하여 발전기 전압은 보상하고, 무효전력제어와 역률제어와 같은 좀더 높은 수준의 제어기능을 가진다.

디지털 전압제어시스템은 주루프(V_G)인 전압제어기는 PID특성이고, 내부루프(I_G)는 여자전류제어기인데 P특성을 가진다.

측정 서브시스템에서 발전기의 변수는 고정자의 전압과 전류 둘다의 실제값을 읽어 측정한다.

제어기는 발전기의 전력차트상에 과부하와 안정도 한계내에서 안정 운전점과 정상상태를 유지하면서 과부하가 되거나 불안정해지는 것을 막는다. 이 경우에 과여자 제한기와 부족여자 제한기가 적절한 수준의 여자가 되도록 증가와 감소를 수행한다.

각 제한기는 실제값과 설정점 사이에 차이로부터 생기는 오차신호를 발생한다.

이 제어시스템에서 여자기 여자의 공급은 2상한 컨버터를 사용한다. 발전기가 무부하이거나 보호장치가 동작하는 동안에도 여자기의 여자전류를 약하게 한다[4].

3.4 인버터 출력을 가진 동기발전기제어

동기발전기(그림 6에서 주발전기)는 디젤엔진에 의해 구동되어 ω 의 속도로 회전하면 교류전력을 발생한다. 주발전기 여자는 훨씬 작은 동기기인 여자기에 의해 공급되는데 여자기의 전기자는 주발전기의 계자권선과 함께 회전한다.

회전 다이오드정류기는 여자기의 전기자 교류전압을 직류로 변환하고, 주발전기의 계자전류를 공급한다. 주발전기의 3상 출력은 또다른 정지형 다이오드 정류기에 의해 정류되고, 직류링크 양단에 연결된 커패시터 필터를 걸쳐 인버터에 공급된다.

인버터는 정현파 3상 전압을 부하에 공급한다. 직류링크 전압기준값 V_{dcref} 와 실제의 V_{dc} 값과 비교하여 그 오차값이 0이 되도록 적절한 보상을 설계한다.

그리고 보상기 출력전압 V_c 를 Buck 컨버터에 인가하여 직류출력전압 V_{fd} 를 만들어 계자전류 i_{fd} 를 여자기에 공급한다[5][6].

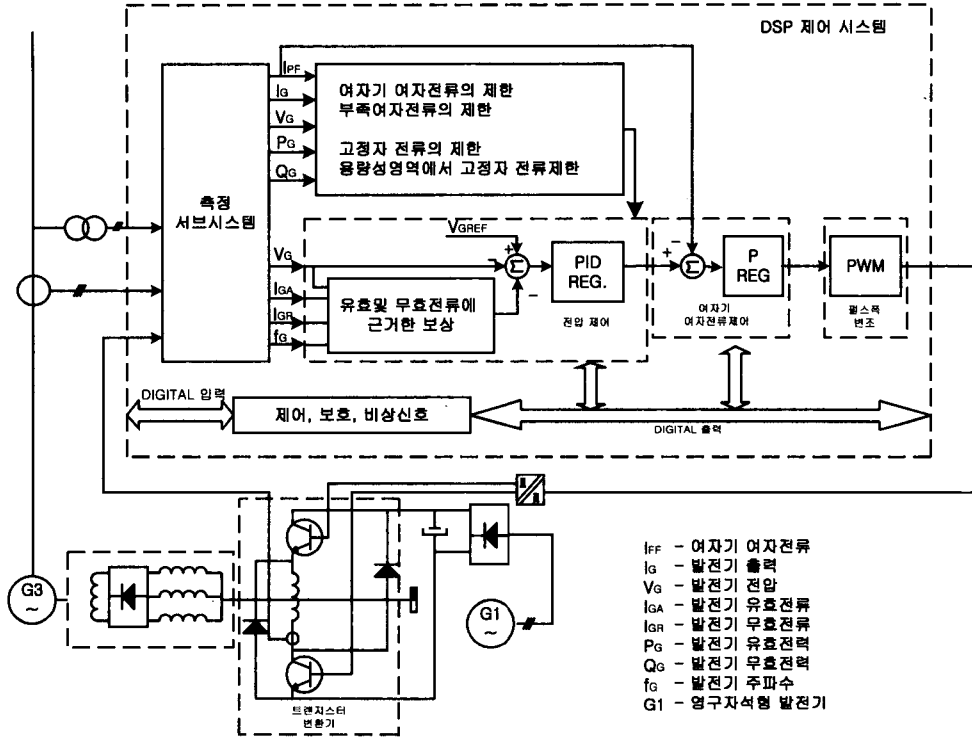


그림 5. 브러시리스 동기발전기의 디지털 여자시스템

3.5 승강압 정지형 여자시스템

그림 7은 승강압 초퍼를 이용한 정지형 여자시스템

템 회로이다.

발전기 계자에는 3상 리액터와 3상 전파정류기를 거친후 강압초퍼의 동작에 의해 발전기 계자에 전류가 공급된다. 따라서 강압초퍼를 제어하여 계자전류를 원하는 크기로 유지하고, 이 결과로서 발전기 단자전압을 제어한다.

만약 발전기 단자전압을 저하하는 계통선로사고로 3상 다이오드 전파정류기만으로는 직류링 크단의 전압을 정상 여자용 입력전압으로 유지할 수 없을 때 승압초퍼의 듀티비를 제어하여 직류링크전압을 승압시켜 정상 상태값이 되도록 한다[7].

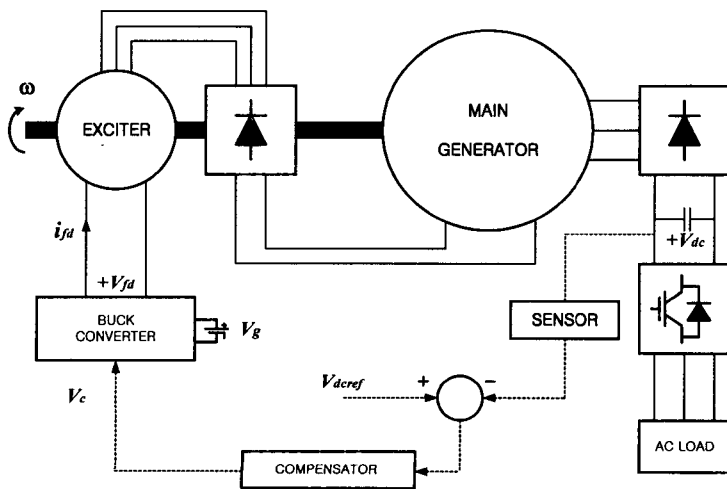


그림 6. 인버터 출력을 가진 동기발전기 제어 블록도

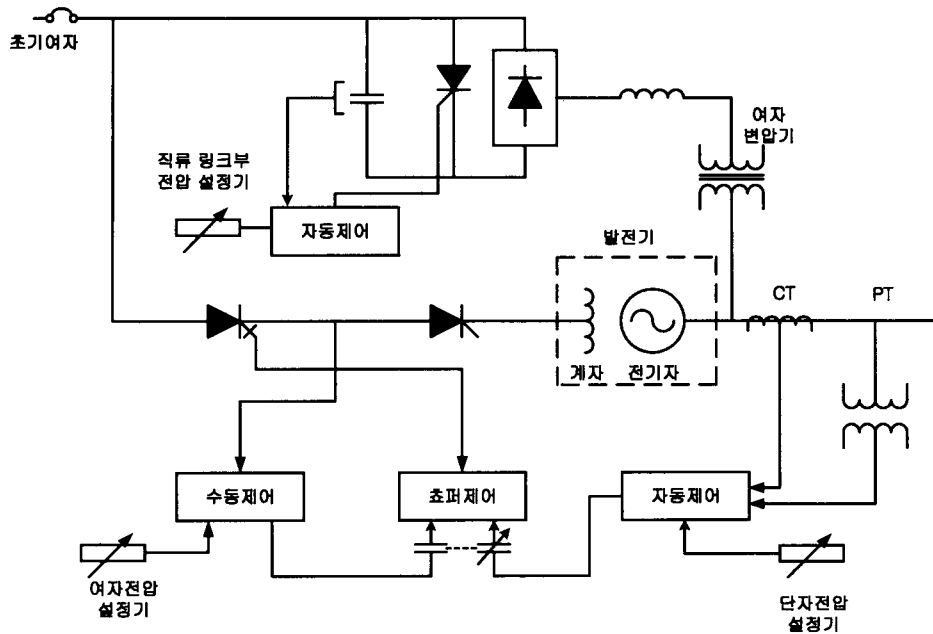


그림 7. 승강압 정지형 여자시스템

4. 결론

본 기술해설은 비상용 발전기로 널리 사용되고 있는 브러쉬리스 동기발전기 여자시스템과 디지털 자동전압조정기의 동향에 대하여 언급하였으며 요약하면 다음과 같다.

1) 동기발전기 여자기 전압제어방법은 아날로그 방식에서 디지털 제어방식으로 변화되고 있으며 디지털 제어방식은 아날로그 전압제어기의 일과 제어, 보호, 관리, 신호 및 통신까지도 담당하는 추세로 발전되고 있다.

2) 발전기 여자시스템의 종류 및 특징, 인버터 출력을 갖는 동기전동기 제어에 대하여 기술하였다.

3) 강압초퍼는 발전기 단자전압을 제어하고, 승압초퍼는 직류링크단의 전압을 일정한 값이 되도록 제어하는 능력을 갖는 승강압 초퍼식 정지형 여자시스템을 소개 하였다.

본 기술내용은 과학기술부 연구성과 지원사업의 지원에 의하여 연구되었음.

참 고 문 헌

- (1) 안종보, 디젤 엔진구동 동기발전기의 자동전압조정기에 관한 연구, 한국과학 기술원 석사학위 논문, 1995.
- (2) 정창용, Chopper형 디지털 AVR, 99년 기술이전품목, 한국전기연구소, 1999.
- (3) 박민호, 전기기기공학, 동명사, 1991.
- (4) Gorislav Erceg, Romina Erceg and Tomislav Idzotic, "Using Digital Signal Processor for Excitation System of Brushless Synchronous Generator", pp.1355~1359, IECON'99 Proceedings, 1999.
- (5) Ivan Jadric, Dusan Borojevic and Richard Zhang, "Control of Synchronous Generator in Generator Sets with Inverter Output", pp.139~ 145, 1998.
- (6) Richard C. Schaefer and Kiyung Kim, "Excitation Control of the Synchronous Generator", IEEE Industry Applications Magazine, pp.37~ pp.43, March/April 2001.

- [7] 유홍우, 동기발전기용 승강압 초퍼식 정지형 여자시스템에 관한 연구, 서울 대학교 대학원 공학박사 논문, 1996.

◇ 著 者 紹 介 ◇



원 중 연(元忠淵)

1955년 5월 10일생. 1978년 성균관대 공대 전기공학과 졸업. 1980년 서울대 공대 대학원 전기공학과(석사). 1987년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1991년 12월~1992년 12월 미국 테네시 주립대학 전기공학과 방문교수. 현재 성균관대 전기전자 및 컴퓨터 공학과 교수. 당 학회 편수위원.



안 정 호

1955년 2월 5일생. 1981년 인하대학교 기계공학과 졸업. 1980~1982.3 삼성중공업 설계팀. 1982.4~1996.12 대우중공업 설계팀. 1997.1~1999.10 대우중공업 개발팀. 1999.11~현재 K₂ Power 중앙연구소장, 부장.