

경수로 제어봉구동장치제어시스템의 영점위상탐지기 성능개선에 관한 연구

Study for Improvement of Zero-Cross Detector of Control Element Drive Mechanism Control System in PWR

°김 병 문, °이 병 주, °최 근 호, °한 상 준

한국원자력연구소 제어계통분야 (Tel: 042-868-8872; Fax: 861-1388; E-mail:bmkim@nanum.kaeri.re.kr)

Abstract Zero-Cross Detector makes pilot signal to control the power to CEDM(Control Element Drive Mechanism). Existing Zero-Cross Detectors has had a problem which can cause unexpected reactor trip resulted from fluctuating frequency of input signal coming from M/G Set. The existing Zero-Cross Detector can't work properly when power frequency is varing because it was designed to work under stable M/G Set operation, and produces wrong pilot signal and output voltage. In this report the Zero-Cross Detector is improved to resolve voltage fluctuating problem by using new devices such as digital noise filtering circuit, variable cycle compensator and alarm circuit. And through the performance verification it shows that new circuit is better than old one. If suggested detector is applied to plant, it is possible to use it under House Load Operation because stable voltage can be generated by new Zero-Cross Detector.

Keywords Zero-Cross Detector, Voltage Fluctuating, Frequency Fluctuating, Digital Noise Filtering Circuit, Variable Cycle Compensator

1. 서론

제어봉구동장치제어시스템(CEDMCS)은 원자로 기동 및 정상운전중 수동제어 신호나 자동제어 신호에 따라 중성자 흡수 물질인 제어봉을 노심 내로 삽입 또는 인출하여 원자로 출력을 제어하는 역할과 원자로보호시스템의 정지신호에 의한 원자로 정지차단기 개방 시 모든 제어봉을 노심 내로 자유낙하 시켜 원자로를 안전하게 정지시키는 중요한 역할을 수행하고 있다. 그러나 기존의 발전소에서는 제어봉 구동장치 제어시스템의 고장으로 예기치 못한 발전소 불시 정지를 일으키거나 정상운전에 지장을 초래하는 경우가 있다.

특히 시운전 중에 많은 고장을 일으키는 것 중의 하나가 영점위상 탐지기인데 이 탐지기가 정현파의 영점 통과 시점을 결정해 주면 위상동조카드에 있는 타이머회로는 정현파가 영점을 통과한지 얼마 후에 SCR을 점화(Firing)시켜야 하는지 결정해서 점화카드에 점화각을 제공하고 점화카드는 이 신호에 따라 SCR에 점화신호를 보낸다. 또한 점화각에 따라 코일전압이 높은 코일전압(high coil voltage)과 낮은 코일전압 (low coil voltage)으로 결정되며 이 두 코일전압을 적절한 순서로 제어함으로써 제어봉 구동장치를 설정된 순서로 구동시킬 수 있다. 그러나 만약 영점위상 탐지 카드가 오동작 되어 잘못된 펄스를 발생시키면 위상동조 카드도 잘못된 시간에 점화를 시키게 되고 제어봉 구동코일에 적절치 못한 전압을 공급하게 되어 제어봉을 적절히 구동시키지 못하게 된다. 기존 회로에서는 입력 주파수가 5 Hz만 변화해도 40V 고정 출력에 출력전압이 20V 이상 변동하는 문제점을 가지고 있다. 그래서 결국 정상운전을 방해하거나 발전소 불시정지를 일으키게 된다.

본 논문에서는 제어봉 구동장치 제어시스템의 이러한 문제점을 해결하기 위해서 고장을 일으키는 주요인인 중의 하나인 영점위상 탐지기의 알고리즘 및 하드웨어를 새롭게 구현하여 기존 발전소의 제어봉 구동장치 제어시스템에 적용시킴으로서 제어봉 구

동코일에 안정된 전압을 공급하여 고장률을 줄이고 차후에 건설되는 원자력 발전소에도 적용하고자 하였다.

2. 기존의 영점위상 탐지기

제어봉구동장치제어시스템은 제어봉을 구동시키기 위해서 제어봉 구동장치에 적절한 씨이퀸스 전압을 제어봉 코일에 공급하여야 한다. 이 전압은 입력으로 들어오는 교류전원을 SCR을 사용한 전력스위치에 연결하고 적절한 시기에 점화신호를 공급함으로써 얻을 수 있다. 3상 전원의 정상 주파수는 60Hz이며 주파수 변동은 코일에 공급되는 전압에 영향을 주게 된다. 입력 신호가 영점을 지난 지 얼마 후에 전력 스위치를 점화시키느냐에 따라 전압의 크기가 달라지는데 필요에 따라 일정한 전압을 얻기 위해서는 신호가 영점을 통과하는 시점을 정확하게 탐지해야 할 뿐만 아니라 주기변화와 위상변화에 대한 보상을 하여야 한다. 이렇게 영점을 탐지해서 탐지신호를 내보내는 회로가 영점위상 탐지기이다. 그러나 기존의 영점탐지기는 입력 신호에 전동발전기에서 발생하는 노이즈가 섞여 들어오는 경우 노이즈 제거가 원활하지 못하여 필요치 않은 탐지신호를 내보내고 결국 필요한 전압을 얻을 수 없게 된다. 또한 주기 및 위상변화에도 고정된 설정치를 사용하므로 코일에 가해지는 전압변동이 매우 커 코일의 수명을 크게 단축시킨다. 그림 1 은 기존의 영점탐지기의 구성을 나타낸다.

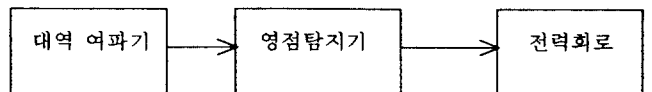


그림 1. 기존의 영점위상 탐지기 구성
Fig. 1. Existing Zero-Cross Detector Block Diagram

기존의 탐지기는 표 1에서와 같이 코일에 공급되는 출력전압의 변동 폭이 매우 커서 전원 주파수가 3Hz만 변하여도 제어불능사고가 발생할 가능성이 있으며, 주파수 변화가 2Hz 이내에서 변한다 해도 불안정한 전압공급으로 인한 제어불능 코일의 열화를 초래하게 될 것이다.

표 1. 주파수 변화에 따른 전압변동

Table 1. Voltage Fluctuation according to Frequency change

주파수(Hz)	58	58.5	59	59.5	60	60.5	61	61.5	62
전압(Volt)	52.1	48.8	46	43.2	40.1	37.5	34.8	32.1	29.4

3. 새 영점위상 탐지기 구현

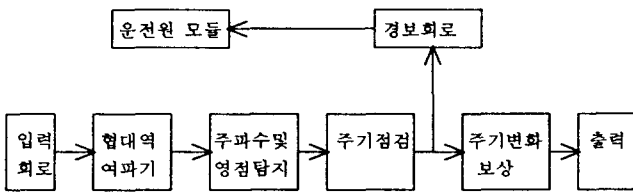


그림 2. 새 영점위상 탐지기 구성도
Fig. 2. Block Diagram of New Zero-Cross Detector

3.1 노이즈 제거용 대역여파기 회로

경수로원자력발전소에서 제어불능 전원으로 전동발전기를 사용하는 데 특성상 영점탐지기는 전동발전기(Motor-Generator Set)에 근접해서 위치하므로 계통 내로 특유의 노이즈가 많이 인입된다. 이런 종류의 노이즈는 진폭이 매우 크고 샤프하므로 구별하기 힘들지만 실제로 영점을 통과하는 경우가 대부분이다. Fig. 3과 4는 발전소에서 취득한 전형적인 노이즈 형태의 하나이다. 그러므로 이런 종류의 노이즈 제거를 위하여 대역이 3Hz인 대역여파기를 사용하였다. 전원의 주파수를 탐지하여 디지털 대역여파기의 중심 주파수는 실시간으로 재설정 되어진다. 중심주파수 탐지는 아날로그 저역통과여파기 및 카운터로 구성되어있다. 입력으로 들어오는 이산신호는 10개의 신호를 합산하고 평균값을 취하여 잡음으로 인한 급격한 신호 변화에 의한 오동작을 방지하도록 하였다.

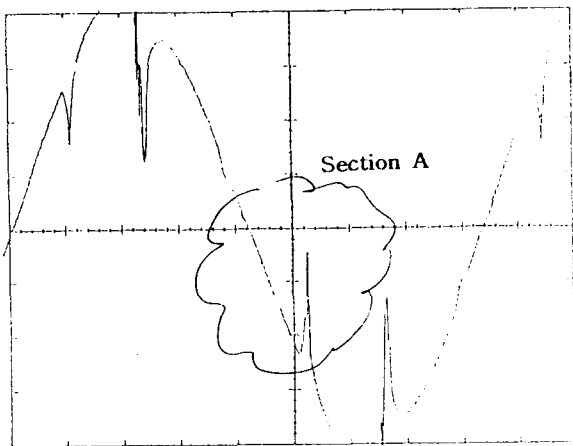


그림 3. 2ms로 플로팅한 노이즈 파형
Fig. 3. Plot of Sign Wave with Noise (2ms)

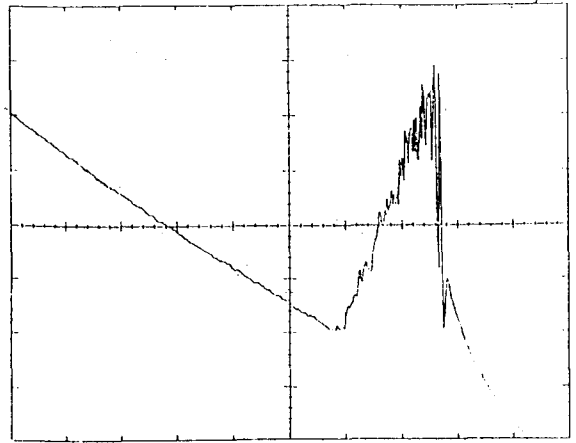


그림 4. 200 μ s로 플로팅한 노이즈 파형(A부분)
Fig. 4. Plot of Section A(200 μ s)

3.2 영점위상 탐지회로

입력으로 들어오는 신호가 영점을 통과할 때마다 출력신호를 내보내게 되어 있는 영점위상 탐지기는 입력신호가 영점을 통과하는 그 시점에 출력신호를 발생시킨다. 기존회로에서는 고정된 시간지연기를 사용하였으므로 입력주파수의 주기가 변화하면 출력에 변화가 생기나 새로 개발된 회로는 주기변화를 감지하여 변동량을 계산한 후 주기변화 보상회로에 의해서 보상되어 전력 스위치로 보내진다.

3.3 주기점검 및 주기변화 보상기

입력신호가 영점을 통과한 후 몇 초 후에 SCR에 점화신호를 주느냐에 따라 얻을 수 있는 전압 값이 달라지는데 입력신호의 주기가 변화할 경우에는 점화신호 타이밍이 이 변화에 부응해서 변화하지 않기 때문에 적절한 전압을 얻을 수 없게 된다. 이것을 해결하기 위해서 주기변화에 부응하는 가변인자를 첨가해서 항상 일정한 전압 범위에서 출력을 얻을 수 있도록 설계하였다. 또한 입력신호의 주기가 일정한 설정치 이상으로 변화하거나 노이즈 제거 회로를 통과한 노이즈에 의해 만들어진 거짓 출력신호가 들어왔을 때에는 경고회로에 신호를 보내서 운전원모듈을 통해 운전원이 알 수 있도록 설계하였다.

3.4 경고회로

입력신호의 주기가 설정치 이상으로 변화했을 경우나 출력이 설정범위를 이탈하였을 경우 탐지기로부터 신호를 받아 운전원모듈에 경고신호를 보낸다.

4. 검증시험 및 결과

MATLAB으로 로직개발 및 시뮬레이션을 수행하고 개발된 로직을 C언어로 변환한 다음 컴파일하여 DSP보드(TI TMS 320 C30)에 장착하여 검증한 결과 표 2와 같이 출력전압의 변동이 거의 없이 안정되었음을 알 수 있었다.

표 2. 새 영점위상 탐지기에 대한 검증 결과
Table 2. Test Result for New Zero-Cross Detector

주파수(Hz)	58	58.5	59	59.5	60	60.5	61	61.5	62
전압 (Volt)	39.74	39.69	39.64	39.59	39.53	39.48	39.43	39.38	39.32

그림 5는 60Hz일 때 저전압용 펄스에 의해 만들어지는 전압을 나타내고 그림 6은 주파수가 50Hz로 변하고 주기변화 보상기가 부착되지 않았을 때 저전압용 펄스에 의해 만들어지는 전압을 나타낸다. 그림 7은 주파수가 50Hz로 변화하고 주기변화 보상기가 부착되었을 때 저전압용 펄스에 의해 만들어진 전압인데 60Hz일 때와 같음을 알 수 있다.

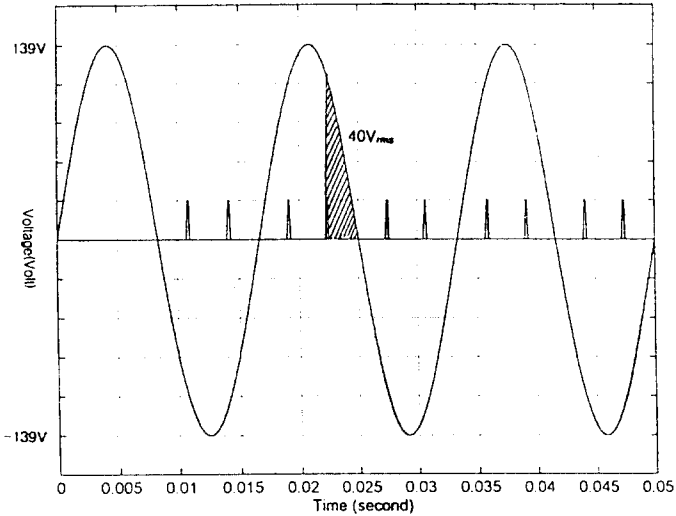


그림 5. 기준 출력파형 (60Hz)
Fig. 5. Standard Output Signal

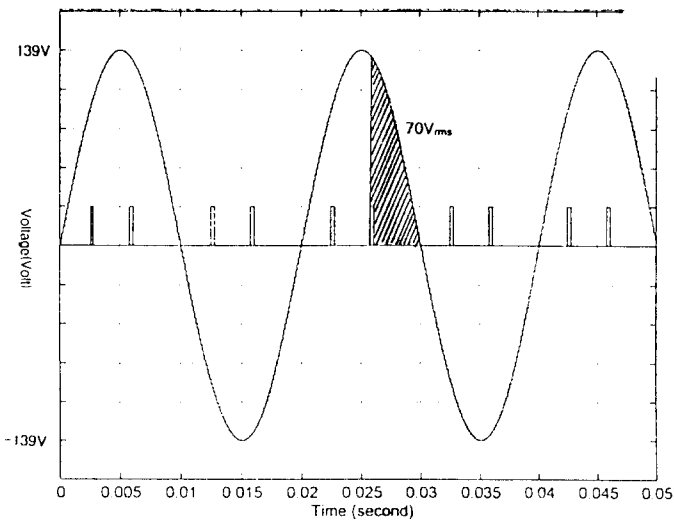


그림 6. 보상회로 부착 전의 출력파형 (50Hz)
Fig. 6. Output Signal of Zero-Cross Detector without Compensator (50Hz)

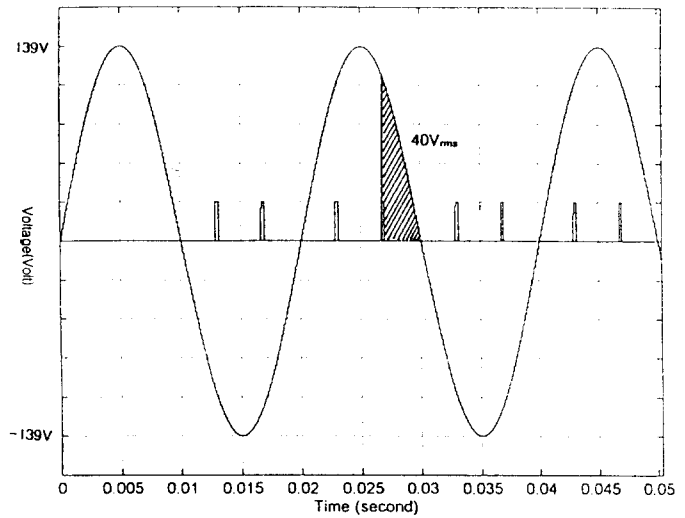


그림 7. 보상회로 부착 후의 출력파형 (50Hz)
Fig. 7. Output Signal of Zero-Cross Detector with Compensator (50Hz)

5. 결론

제어봉 구동장치가 제어신호에 따라 구동전력을 제어하는데 있어 전력제어의 기준이 되는 회로가 영점위상 탐지기이다. 기존의 탐지기는 아날로그 형태의 단순한 대역통과 여파기만을 사용함으로써 입력신호의 주기가 조금만 변화여도 출력전압이 크게 변동하는데, 본 논문에서는 이를 보완한 영점위상 탐지기를 개발하였다. 기존의 회로는 입력주기가 5Hz만 변해도 20V 이상의 전압변동을 초래하는데 비해 새로 개발한 영점위상 탐지기는 검증시험을 통해 입력신호가 40Hz에서 70Hz로 변동하더라도 출력전압이 $40 \pm 1V$ 이내에서 매우 안정되게 작동함을 알 수 있었다.

새로운 영점위상 탐지알고리즘을 기존의 발전소에 적용할 경우 제어봉 구동장치에 안정된 출력을 제공할 뿐만 아니라, 소내 부하운전시나 시운전시 발생하는 큰 폭의 전원 주기변화에 따른 제어봉 낙하사고도 방지할 수 있으며 불규칙한 코일전압으로 인한 제어봉 구동코일의 수명도 연장될 수 있을 것이다.

참고문헌

- [1] 제어봉의 제어계통 (고리 1호기 원자력 발전 교재), 한국전력 주식회사, 1980
- [2] CEDM Model for Double Step Manual, ABB-CE
- [3] Design Specification for CEDMCS for YGN 3&4, ABB-CE/KAERI
- [4] Technical Manual for CEDMCS for YGN 3&4, ABB-EM
- [5] DSP Board Manual, User's Guide, TMS 320C3X, 1995
- [6] MATLAB User's Guide, The MathWorks, Inc.
- [7] SIMULINK User's Guide, The MathWorks, Inc.
- [8] DSP Blockset User's Guide, The MathWorks, Inc.