



KR9700074

KAERI/TR-689/95

경수로 제어봉구동장치 제어계통의 영점위상 탐지 기술

Zero-Cross Detecting Technology in Control Element Drive
Mechanism Control System of PWR

한 국 원 자 력 연 구 소

KAERI/TR-689/95

**경수로 제어봉구동장치 제어계통의
영점위상 탐지 기술**

Zero-Cross Detecting Technology in Control Element Drive
Mechanism Control System of PWR

한 국 원 자 력 연 구 소

제출문

한국원자력연구소장 귀하

본 보고서를 "영점위상 탐지기"에 대한 기술보고서로 제출합니다.

1996년 6월

연구책임자 : 김 병 문

연 구 자 : 이 병 주

장 의 호

정 호 창

이 중 섭

감수위원 : 한 재 복

요 약

제어봉 구동장치 제어계통(CEDMCS)은 원자로 출력을 조정하거나 정지신호 발생시 원자로를 안전하게 정지시키는 중요한 역할을 하고 있다. 그러나 현재 가동중인 발전소에서는 CEDMCS의 고장으로 예기치 못한 발전소 불시정지를 일으키거나 정상운전에 지장을 초래하는 경우가 많았다. 이러한 문제점을 방지하기 위하여 제어로직을 개선하는 것이 필요하다.

기존의 영점위상 탐지기는 Motor Generator Set에서 공급되는 전력의 주파수가 변동이 심할 경우에는 예기치 못한 원자로 정지를 일으킬 수 있는 문제를 가지고 있으며, 현재의 영점위상 탐지기는 아날로그 기술로 설계되어 있어서 주파수 변동에 의한 출력전압 변동을 방지하는데 어려움이 있었다.

본 보고서에서는 영점위상 탐지기의 출력전압변동 문제를 해결할 수 있도록 노이즈 제거회로, 주기변화 보상기 및 경보회로를 이용하여 영점위상 탐지기를 설계개선하였다. 또한 성능검증을 통해 기존의 아날로그 형태의 회로에 비하여 그 성능이 우수함을 보였다. 여기서 제안된 영점위상 탐지기를 발전소에 적용할 경우 새 영점위상 탐지기에 의해 안정된 전력을 제어봉 구동장치에 공급할 수 있기 때문에 소내부하운전 중에도 사용할 수 있을 것이다.

Abstract

Control Element Drive Mechanism Control System(CEDMCS) plays a decisive role in regulating the reactor power and shutting down the reactor in the trip condition. But, due to the failure of CEDMCS, the operating plants have had many experiences such as unexpected reactor trip or interruption during normal plant operation. To prevent those kinds of problems, it is required to improve control logic.

Zero cross detection cards in CEDMCS could be made trouble which cause unexpected reactor trip resulted from fluctuating frequency of input signal coming from M/G Set. Some of the problems have been solved by modifying zero cross detection card circuit, but the other problems, such as output voltage variation resulted from input frequency change. Because current zero-cross detector was designed by analog technology, it was difficult to resolve output voltage variation problem.

In this report the zero cross detector was 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 output voltage can be generated by new zero-cross detector.

목 차

제1장 서론	-----	1
제2장 본론	-----	3
제1절 제어봉 구동장치 제어계통	-----	3
1. 제어봉 구동장치 제어계통의 개요	-----	3
2. 제어봉 구동장치 제어계통 논리회로	-----	7
3. 자동 제어봉 구동장치 타이밍모듈 및 전력회로	---	9
제2절 제안된 영점위상 탐지기 구현	-----	15
1. 기존의 영점위상 탐지기	-----	15
2. 제안된 영점위상 탐지기	-----	16
제3절 검증시험 및 결과	-----	21
제3장 결론	-----	31
참고문헌	-----	32
부록	-----	33

표 목 차

표 1 : Coil Voltage Readings for Mod-1	-----	16
표 2 : Coil Voltage Readings for Mod-2	-----	16
표 3 : 새 영점위상 탐지기를 사용할 때의 코일전압 변동	-----	21

그림 목차

그림 1 : 제어봉 구동장치 제어시스템의 구성	-----	4
그림 2 : 제어봉 구동코일 및 삽입,인출 전압공급 파형	-----	5
그림 3 : 논리회로의 신호 흐름도	-----	7
그림 4 : 전력회로의 주요 구성	-----	9
그림 5 : Insertion Timing Sequence	-----	10
그림 6 : Withdrawal Timing Sequence	-----	10
그림 7 : SCR에 의한 제어봉 구동코일 구동용 전압 구현	-----	13
그림 8 : 영점위상 탐지기 구성	-----	15
그림 9 : 새 영점위상 탐지기 구성도	-----	16
그림10 : 노이즈 제거회로 및 신호검증 결과	-----	17
그림11 : 영점위상 탐지회로 및 실험 결과	-----	18
그림12 : 주기점검회로, 주기변화 보상기 및 경보회로	-----	20
그림13 : 영점위상 탐지기 회로	-----	22

그림14 : 보상회로 부착 전의 60Hz 파형	-----	23
그림15 : 보상회로 부착 전의 70Hz 파형	-----	24
그림16 : 보상회로 부착 전의 50Hz 파형	-----	25
그림17 : 보상회로 부착 전의 40Hz 파형	-----	26
그림18 : 보상회로 부착 후의 60Hz 파형	-----	27
그림19 : 보상회로 부착 후의 70Hz 파형	-----	28
그림20 : 보상회로 부착 후의 50Hz 파형	-----	29
그림21 : 보상회로 부착 후의 40Hz 파형	-----	30

제1장 서론

제어봉 구동장치 제어계통(CEDMCS)은 원자로 기동 및 정상운전 중 수동 제어 신호나 자동제어 신호에 따라 중성자 흡수 물질인 제어봉을 노심 내로 삽입 또는 인출하여 원자로 출력을 제어하는 역할과 원자로보호계통의 정지신호에 의한 원자로 정지차단기 개방시 모든 제어봉을 노심 내로 자유낙하 시켜 원자로를 안전하게 정지시키는 중요한 역할을 수행하고 있다. 그러나 기존의 발전소에서는 제어봉 구동장치 제어계통의 고장으로 예기치 못한 발전소 불시 정지를 일으키거나 정상운전에 지장을 초래하는 경우가 많다.

영광 3,4호기의 시운전(Start-up Test)중에 찾은 고장을 일으킨 것 중의 하나가 영점위상 탐지 카드(Zero Cross Detector Card)인데, 이 카드가 정현파의 영점 통과 시점을 결정해 주면 위상동조 카드에 있는 타이머 회로는 정현파가 영점을 통과한지 얼마 후에 점화(Firing)시켜야 하는지 결정해서 점화카드에 제공하고 점화카드는 이 신호에 따라 SCR에 점화신호를 보낸다. 또한 점화위상에 따라 코일전압이 고전압(high coil voltage)과 저전압(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 출력에 출력 전압이 20V 이상 변동하는 문제점을 가지고 있다. 그래서 결국 정상운전을 방해 하거나 발전소 불시정지를 일으키게 된다.

본 보고서에서는 제어봉 구동장치 제어시스템의 고장을 일으키는 주요원인 중의 하나인 영점위상 탐지기의 알고리즘을 새롭게 하여 기존의 회로에 비해 우수한 성능의 영점위상 탐지기를 구현하고자 했다.

제2장 본 론

제1절 제어봉 구동장치 제어계통

1. 제어봉 구동장치 제어계통의 개요

제어봉 구동장치 제어계통(CEDMCS)은 원자로 기동 및 정상운전 중 수동 제어 신호나 자동제어 신호에 따라 중성자 흡수 물질인 제어봉을 노심 내로 삽입 또는 인출하여 원자로 출력을 제어하는 역할과 원자로보호계통의 정지신호에 의한 원자로 정지차단기 개방시 모든 제어봉을 노심 내로 자유낙하 시켜 원자로를 안전하게 정지시키는 중요한 역할을 수행하고 있다. 원자로를 적절하게 제어하거나 안전하게 정지시키기 위해서는 많은 제어봉이 필요하다. 울진 3,4호기의 경우 73개의 제어봉이 있는데 4개의 제어봉이 하나의 부그룹을 형성하여 18개의 부그룹으로 구성되어 있다. 이들 부그룹 1-4개를 모아 제어그룹(Control Group)을 형성하는데 2개의 정지(Shutdown)그룹과 5개의 조절(Regulating)그룹, 그리고 1개의 부분장(Part Strength)그룹이 있다.

제어봉 구동장치 제어계통의 주요 구성품을 살펴보면 다음과 같다.

가. 제어봉 구동장치 제어계통의 구성

제어봉 구동장치를 구동시키기 위한 제어봉 구동장치 제어계통의 기본 구성을 간략하게 나타내면 그림 1과 같다.

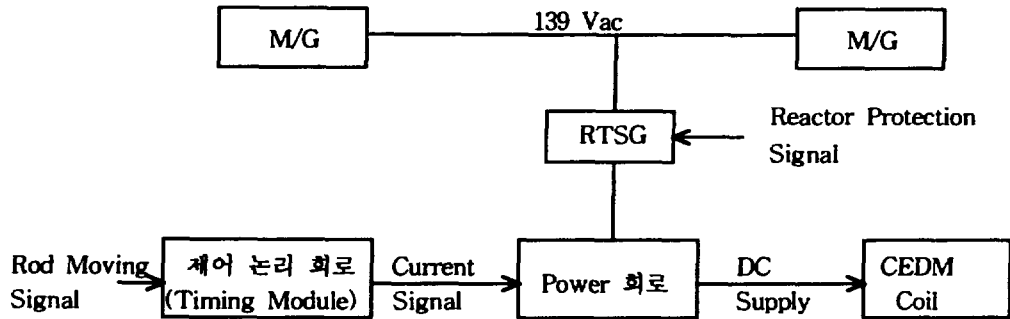


그림 1 제어봉 구동장치 제어시스템의 구성

(1) 전동기 발전기 세트(Motor Generator Set) 와 원자로 정지 스위치 기어 (Reactor Trip Switch Gear)

2 대의 전동기 발전기 세트는 139 Vdc 전원을 원자로 정지 스위치 기어를 통해 전력회로로 보낸다. 원자로 보호신호에 의해 정지 스위치 기어가 개방되면 제어봉의 인출, 정지, 삽입에 필요한 전동기 발전기 세트의 전원이 차단되므로 모든 제어봉이 중력에 의해 노심 내로 자유 낙하하여 원자로를 안전하게 정지시킨다.

(2) 제어봉 구동장치 제어시스템 논리 회로

논리 회로에는 12개의 부순서지시기와 2개의 주순서지시기가 설치되어 있다. 이 회로는 원자로 수동 또는 자동제어 신호에 따라 73개의 제어봉 중 어느 제어봉을 삽입 또는 인출할 것인가를 결정하여, 정해진 순서에 따라 제어봉을 스텝으로 동작시키기 위해 필요한 신호를 해당 전력회로에 공급한다.

(3) 제어봉 구동장치 제어계통 전력 회로

전력 회로는 각종 전자 카드와 전력 제어 소자 등으로 구성되며, 전동기 발 전기 세트에서 공급되는 전원을 논리 회로에서 보내 온 명령에 따라 직류 전류 값으로 변환시켜 해당 제어봉의 상부이동(Upper Lift), 상부집게(Upper Gripper), 하부이동(Lower Lift), 그리고 하부집게(Lower Gripper) 코일에 공급함으로써 제어봉을 인출, 정지, 삽입 시킨다.

(4) 제어봉 구동코일 (CEDM Coil)

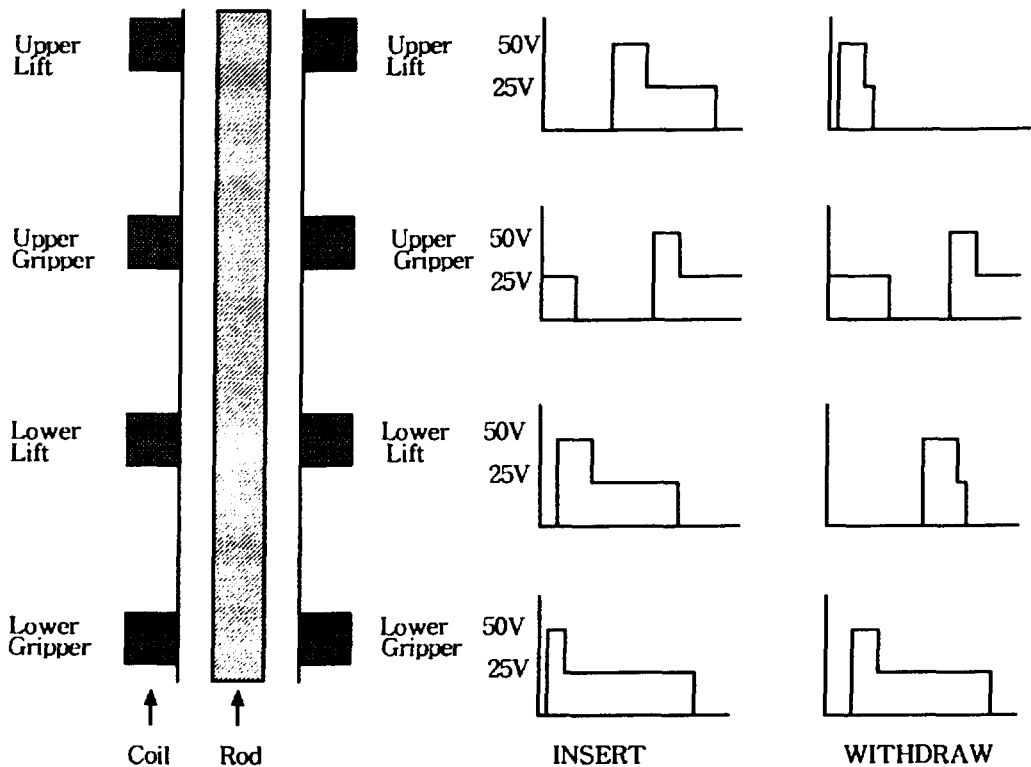


그림 2 제어봉 구동코일 및 삽입, 인출 전압 공급 파형

각 제어봉의 구동코일은 상부이동, 상부집계, 하부이동 그리고 하부집계 코일스택(Stack)으로 구성되어 있다. 제어봉의 삽입 또는 인출 시 논리 회로의 신호에 따라 전력회로로부터 공급된 직류 전류를 받아, 여자 또는 비 여자 됨으로써 제어봉을 삽입 또는 인출시키고, 제어봉 움직임이 없을 때에는 항상 집계 코일에 저전압이 공급되어 제어봉이 현재 위치에서 정지 상태를 유지하도록 한다. (그림 2 참조.)

(5) Hold Bus

전력회로의 고장으로 인하여 전자 카드나 퓨즈, 또는 다른 전기 및 전자 부품의 교체가 필요할 경우 해당 부그룹에 대한 전력을 외부에서 공급하여 보수 중에 제어봉이 낙하되는 것을 막아야 한다. Hold Bus Power Supply 가 이 전원을 공급해 주는데, Hold Bus Logic Circuit 은 전원 공급기를 해당 부그룹에 연결시켜 주고 Hold Bus 전압 조정회로는 집계코일이 제어봉을 잡고 있기에 충분한 전력을 받을 수 있도록 한다.

나. 제어봉 구동장치 제어시스템의 작동

(1) 원자로 시동 (Start-up)

2 개의 정지(Shutdown) 그룹은 수동으로 완전히 인출되어 있어야 하고 출력제어 그룹은 미리 설정된 순서에 따라 수동으로 완전히 인출된다. 15% 이상의 출력에서는 자동운전이 가능하며 이때 제어봉 동작은 원자로 냉각재 평균온도 (T_{avg}) 에 의해 제어된다.

(2) 제어봉의 구동속도

제어봉 구동장치 제어계통은 제어봉의 구동속도를 제어할 수 있는데 고속 (High Rate)일 때는 30 Inch/Min의 속도로, 그리고 저속(Low Rate)일 때는 고속 설정값의 1/10, 즉 3 Inch/Min의 속도로 제어할 수 있다.

(3) 제어봉 뱅크(Bank)의 그룹별 순차제어

반응도의 급격한 변화를 막기 위해서 각 제어봉 뱅크는 그룹으로 나누어져 서로 한 스텝씩 엇갈리면서 동작하도록 설계되어 있다. 엇갈리면서 작동하는 동작은 주순차제어기(Master Sequencer)에 의해서 자동 제어되고 정지(Shutdown) 뱅크 역시 주순차제어기에 의해 각 해당 뱅크 안에서 순차적으로 동작한다.

2. 제어봉 구동장치 제어계통 논리회로

논리회로에는 전력회로에 각각 대응하는 부순차제어기(Slave Sequencer)가 있고 이 부순차제어기는 전력회로에 명령을 주어 해당 제어봉 구동장치가 구동 되도록 한다. 전력회로는 각 제어봉을 30 IPM의 속도로 움직이게 하는데, 속도는 주순차제어기와 부순차제어기에서의 신호에 의하여 결정된다. 이와 관련한 신호의 경로는 그림 3에 나타나 있다.

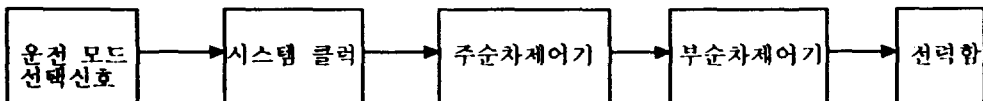


그림 3 논리회로의 신호 흐름도

가. 시스템 클럭 (System Clock)

논리회로에는 100Hz 주파수 발생기가 시스템 클럭용으로 사용 되는데 이것은 제어봉 구동장치 제어계통에 필요한 모든 시스템 타이밍 기능을 제공한다. 또한 이 시스템 클럭이 고장 났을 경우에 대치될 수 있는 대기용 시스템 클럭이 있어서 지속적으로 시스템 타이밍을 제공할 수 있도록 되어 있다.

나. 주순차제어기 (Master Sequencer)

주순차제어기는 출력 제어그룹용으로 한 개와 부분장 그룹용으로 한 개가 있다. 주순차제어기는 일련의 부 그룹 선택 신호를 부순차제어기로 보낸다. 수동 순차(Manual Sequential) 및 자동 순차(Automatic Sequential) 모드에서의 출력 제어그룹의 구동속도는 출력 제어그룹용 주순차제어기에 의해서 조절된다. 구동 속도는 주로 30 IPM이지만 자동 순차 모드에서 제어봉을 인출할 때는 저속, 즉 고속의 1/10의 속도로 구동 되도록 프로그램 되어 있다. 또한 주순차제어기에는 바로 이전에 구동되었던 부 그룹과 구동방향을 기억할 수 있는 기억회로가 있어서 한 스텝 이상의 이격이 발생되지 않는다.

다. 부순차제어기 (Slave Sequencer)

부순차제어기는 모든 제어그룹에 한 개씩 있으며 부순차제어기는 수동 그룹 모드시에 각 그룹의 부 그룹들이 동시에 구동되지 않도록 시간 간격을 주어 급격한 출력변화를 방지한다. 부순차제어기는 기본적으로 주순차제어기와 같은 기능을 가지고 있다.

3. 자동 제어봉 구동장치 타이밍 모듈 및 전력 회로

제어봉 구동장치를 구동시키는 원리를 나타내는 기본 구성을 그림으로 나타내면 그림 4와 같다.

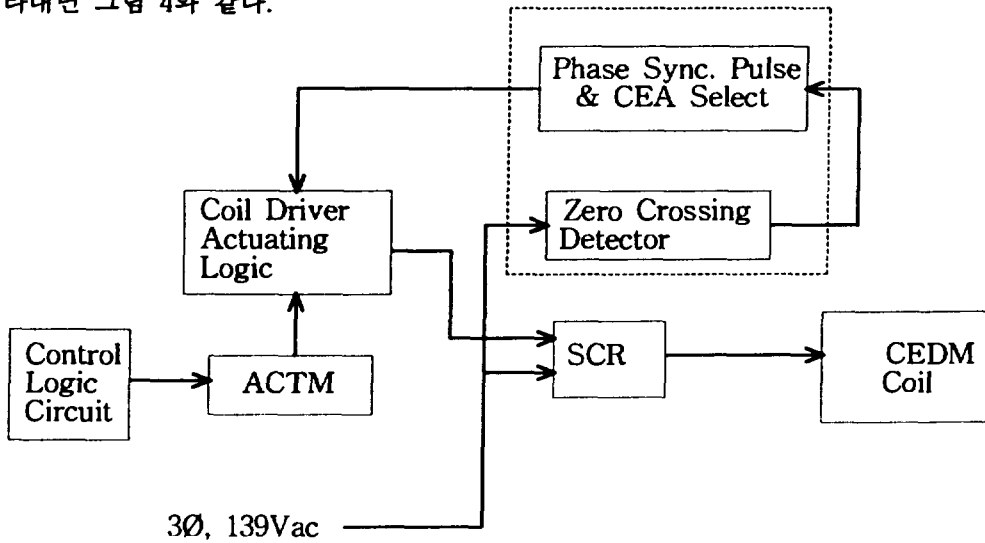


그림 4 전력 회로의 주요 구성

가. 자동 제어봉 구동장치 타이밍 모듈 (Automatic CEDM Timing Module)

(1) 자동 제어봉 구동장치 타이밍 모듈의 주요 기능

(가) 제어봉을 구동시키기 위해서는 제어봉 구동코일에 적절한 순서로 고, 저, 영 전압을 공급해야 하는데, 이 전압을 제어하기 위한 타이밍 펄스를 발생시킨다.

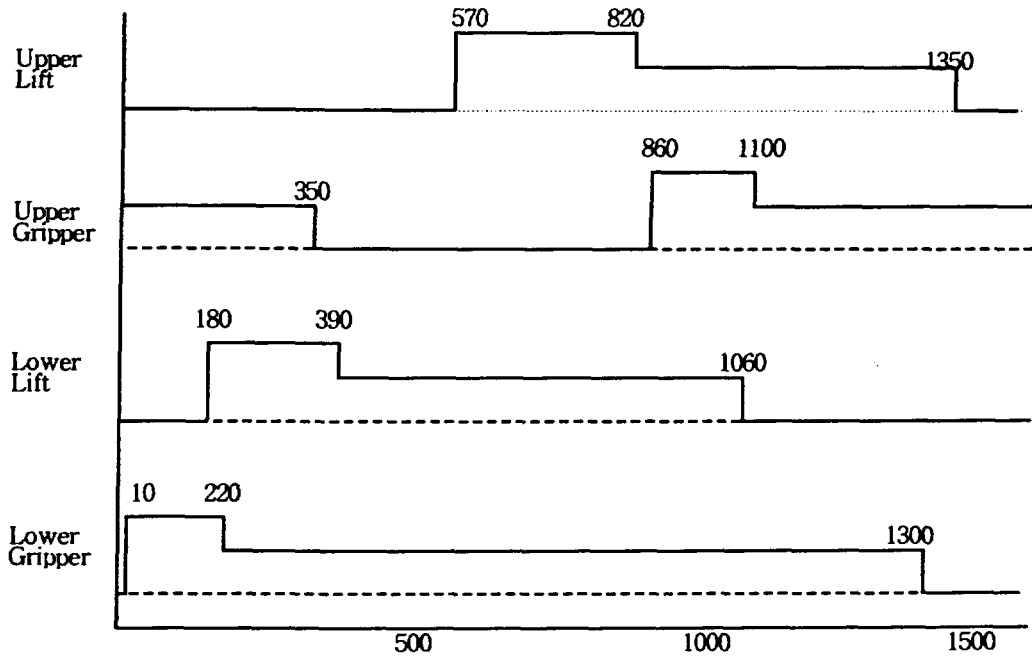


그림 5 Insertion Timing Sequence

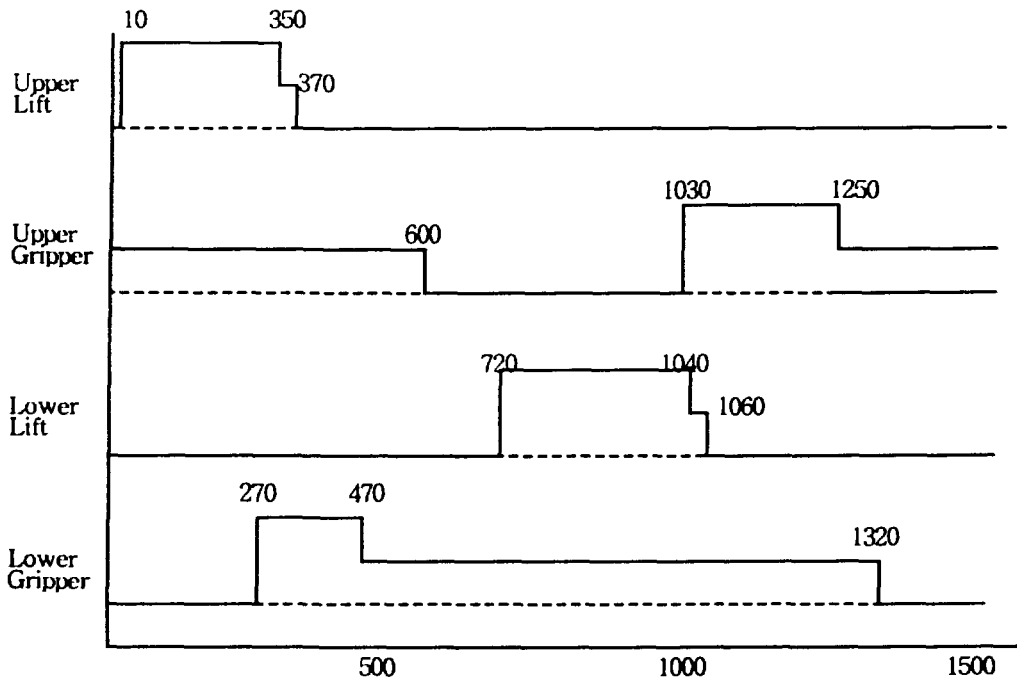


그림 6 Withdrawal Timing Sequence

(나) 제어봉을 구동시키는 속도는 주로 30 IPM으로 고정하여 사용하며 속도설정 스위치를 사용하여 구동속도를 조절할 수 있다.

(다) 자동 제어봉 구동장치 타이밍 모듈이 고장났을 경우 발전소 정보기에 고장 정보를 보내고 집게(gripper)에 지지전압이 공급되도록 한다.

(라) 제어봉의 동작 횟수 결정을 위한 MP(Motion Pulse) 신호를 발생시킨다.
MP는 제어봉이 제어봉 인출 가능 신호나 제어봉 삽입 가능 신호에 응답할 때마다 발생한다.

(마) 자동 제어봉 구동장치 타이밍 모듈 코일 전류 센서를 이용해서 페루프 제어를 할 수 있다.

(2) 제어봉 구동장치 구동을 위한 전압 공급 순서

제어봉이 구동하기 위해서는 제어봉 구동코일에 적절한 순서로 전압(전류)을 공급해 주어야 한다. 그림 5와 6은 삽입 및 인출 시 4 개의 코일(UL, UG, LL, LG)로의 전압공급 순서를 나타낸다.

나. 위상동조 펄스 및 제어봉 선택 회로

각 부 그룹에는 2 개의 위상동조 카드가 있어서 한 카드는 상부이동과 상부집게 코일용으로 고전압 발생 위상 및 저전압 발생 위상 펄스를 공급하고, 다른 한 카드는 하부이동 및 하부집게 코일용으로 두 가지 펄스를 공급한다. 위상동조 카드는 전력 스위치에 있는 영점위상 탐지 카드로부터 위상이 영점을 지나

는 시점을 입력으로 받아 두 가지 펄스를 만드는데 고전압 발생 위상 펄스는 110 - 153 Vdc의 전압을, 저전압 발생 위상펄스는 50 -85 Vdc의 생성할 수 있게한다. 또한 위상동조 카드는 MI(Manual Individual) 운전 중에 운전원 모듈에서 선택된 제어봉에 할당된 자동 제어봉 구동장치 타이밍 모듈을 가용하게 한다.

다. 코일 드라이버 기동 논리카드

각 부 그룹에는 두 개의 코일 드라이버 논리카드(코일 드라이버)가 있는데 이 카드는 다음과 같은 기능을 가지고 있다.

- (1) 위상동조 카드로부터 입력을 받아 전력스위치 SCR(Silicon Control Rectifier)에 게이트 신호를 제공한다.
- (2) 해당 자동 제어봉 구동장치 타이밍 모듈 2개를 항상 감시하고 있다가 고장이 발견되면 상부집게 코일에 집게지지 전압을 공급할 수 있는 신호를 제공한다.
- (3) 제어봉 삽입 또는 인출 명령이 없는 경우와 저전압 탐지 회로로부터 저전압 상황이 발견되었을 때 이동 코일의 동작을 금지시킨다.
- (4) Reactor Power Cutback(RPC) 신호가 입력되면 예약된 부 그룹 내의 모든 제어봉 구동코일의 전압을 제거하여 제어봉이 떨어지게 한다.
- (5) 논리회로 전원상실시 상부집게 코일에 집게 지지 전압을 공급할 수 있는 신호를 제공한다.

라. 전력스위치 어셈블리 (Power Switch Assembly)

(1) SCR (Silicon Control Rectifier)

코일 드라이버로 부터 게이트 신호를 받아 AC 전압을 DC로 변환하여 제어봉 구동코일에 공급하는 정류기로서 다음과 같은 원리로 작동된다.

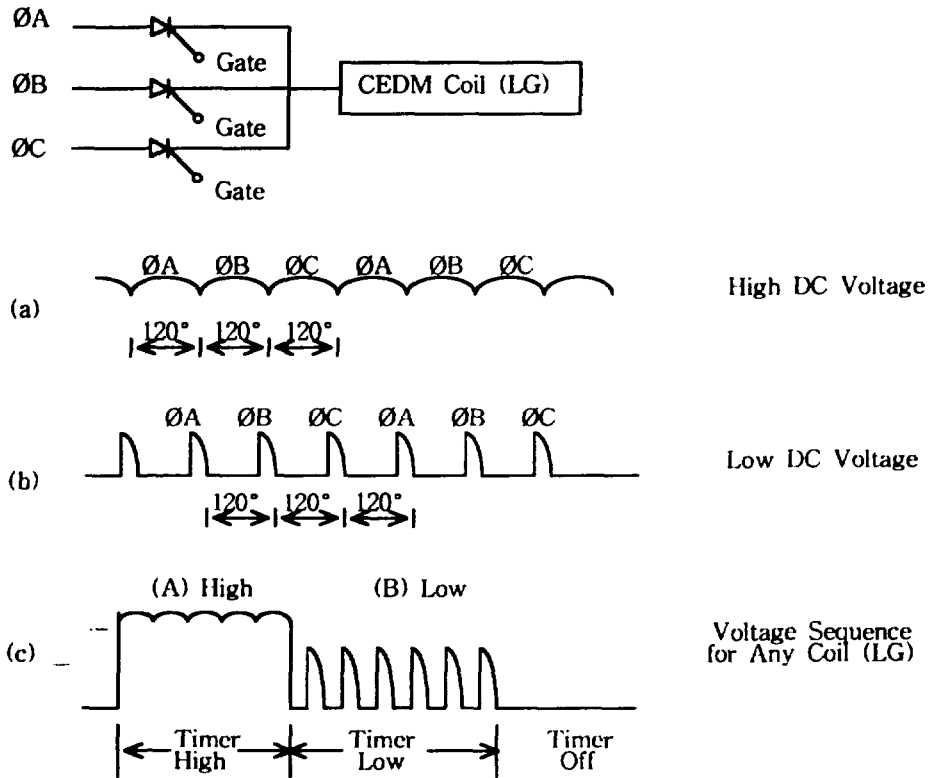


그림 7 SCR에 의한 제어봉 구동장치 구동용 전압 구현

AC 전원의 3상(위상A, B, C)에 각각 SCR이 연결되어 코일 드라이버로부터 게이트 신호를 받으면 점화되게 되어 있는데, 점화각에 따라 각기 다른 전압

을 얻을 수 있다. 그림 7에서 보듯이 파형의 반 사이클 중 많은 부분이 SCR 을 통과할수록 고전압을 얻을 수 있고 적을수록 저전압을 얻는다. 위상 A, B, C가 SCR을 통과한 것을 합하면 점화각에 따라 그림 7의 파형 (a)와 (b)처럼 나온다.

결국 제어봉 구동코일은 자동 제어봉 구동장치 타이밍 모듈로부터의 순차 전압에 따라 그림 7의 (c)파형처럼 전압을 제공받는다.

(2) 영점위상 탐지 카드 (Zero Cross Detector Card)

입력 전압이 영점을 통과하는 점을 탐지하여 위상 A, B, C에 대한 동기 펄스(Sync Pulse)를 위상동조 카드에 보내서 고전압 발생 위상펄스(Phase High Pulse)와 저전압 발생 위상펄스(Phase Low Pulse)를 만들기 위한 기준신호가 된다.

제2절 새로운 영점위상 탐지기 구현

1. 기존의 영점위상 탐지기

제어봉 구동장치 제어계통은 제어봉을 구동시키기 위해서 제어봉 구동장치에 적절한 순서로 전압을 공급하는 역할을 한다. 이 전압은 입력으로 들어오는 전원을 전력 스위치(SCR)에 연결하고 적절한 시기에 게이트신호를 공급함으로써 얻을 수 있다. 3상 전원의 주파수는 60Hz이며 주기변동은 출력전압에 영향을 주게 된다. 이 전압파형을 입력신호로 사용한다. 입력신호가 영점을 지난 지 얼마 후에 전력스위치를 점화시키느냐에 따라 전압의 크기가 달라지는 데 필요에 따라 일정한 전압을 얻기 위해서는 신호가 영점을 통과하는 시점을 정확하게 탐지해야 한다. 이렇게 영점을 탐지해서 탐지신호를 내보내는 회로가 영점위상 탐지기이다. 그러나 입력신호에 노이즈가 섞여 들어오면 어떤 경우에는 노이즈에 의하여 필요치 않은 탐지신호를 내보내고 결국 필요한 전압을 얻을 수 없게 된다. 따라서 영점 위상 탐지기 앞에 노이즈를 제거하기 위한 대역필터가 필요 하다. (그림 8)

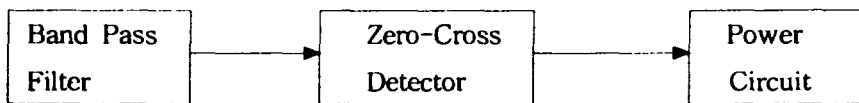


그림 8 영점위상 탐지기 구성

그러나 대역 필터를 사용하여 노이즈는 제거되었지만 필터 사용으로 인한 위상지연이 생겨서 불안정한 전압을 얻게 된다. 표 1에서 알 수 있듯이 이러한 위상지연이 심한 경우에는 부(-)전압까지도 생기게 된다. 이 전압이 30V 이하이면 제어봉 집게코일의 래치기능이 약화되어 제어봉 낙하사고와 연결된다. 이 문제를 해결하기 위해서 설계변경을 통해 대역필터의 대역을 적절히 조절하여 제어봉 구동코일이 전될 수 있을 정도로 사용하고 있다(표 2). 그러나 이렇게 사용했을 경우에도 출력을 원하는 범위 이내로 맞추기가 매우 어렵고 제어봉 구동코일의 수명에도 영향을 줄 수 있다.

	55 Hz	60 Hz	63 Hz	65 Hz	Remarks
Mod-1	83.9	40	20.9	-89.0	Phase shift results in a switch over to the negative part of the sine wave.

표 1 Coil Voltage Readings for Mod-1

	58Hz	58.5Hz	59Hz	59.5Hz	60Hz	60.5Hz	61Hz	61.5Hz	62Hz
Mod-2	52.1	48.8	46	43.2	40.1	37.5	34.8	32.1	29.4

표 2 Coil Voltage Readings for Mod-2

2. 새 영점위상 탐지기

새로 구현해본 영점위상 탐지기는 노이즈 제거회로, 영점 탐지회로, 주기점 검출회로, 주기변화 보상기, 그리고 경보회로로 구성된다.(그림 9)

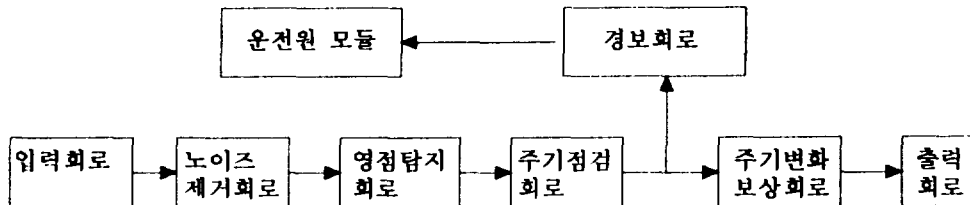
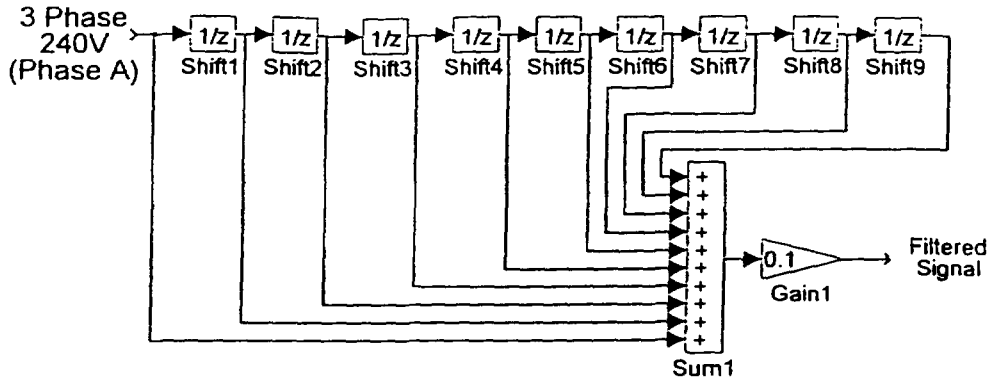


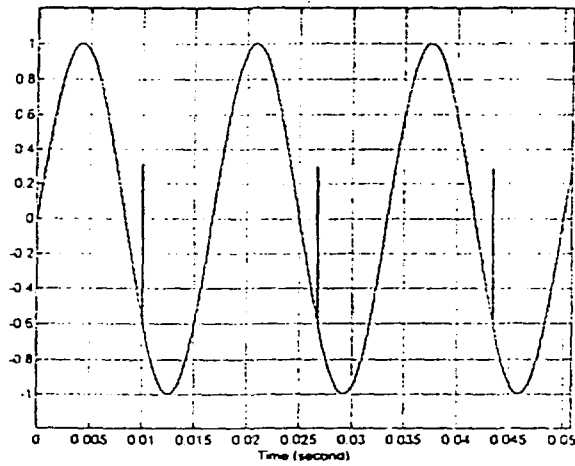
그림 9 새 영점위상 탐지기 구성도

가. 노이즈 제거 회로의 구현

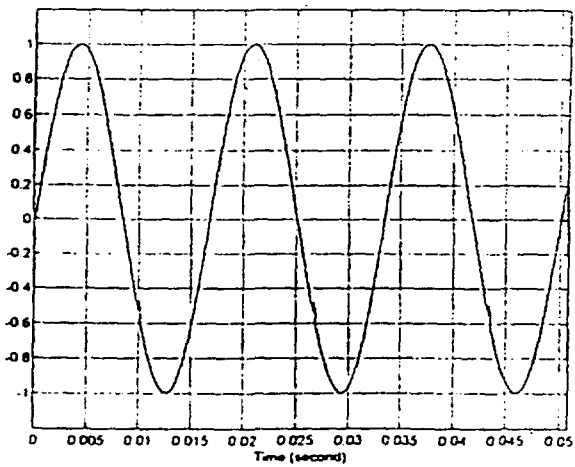
영점위상 탐지회로에서는 신호가 영점을 통과하는 시점이 중요하고 그 외의 신호는 영향을 미치지 않는다. 그러므로 입력으로 들어오는 신호를 이산 신호화 하여 일정한 수만큼의 신호를 더해서 평균값을 취하면 잡음으로 인한 급격한 신호 변화가 완만해져서 대부분의 경우에 노이즈는 제거된다. 그림 10에는 노이즈 제거 회로(a)와 신호변화를 검증한 결과(b)가 도식되어 있다.



(a) 실험회로



(b) 입력신호



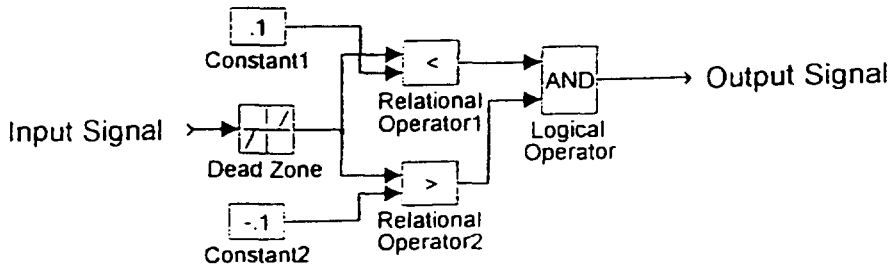
(c) 출력신호

(b) 실험결과 (상-입력신호, 하-출력신호)

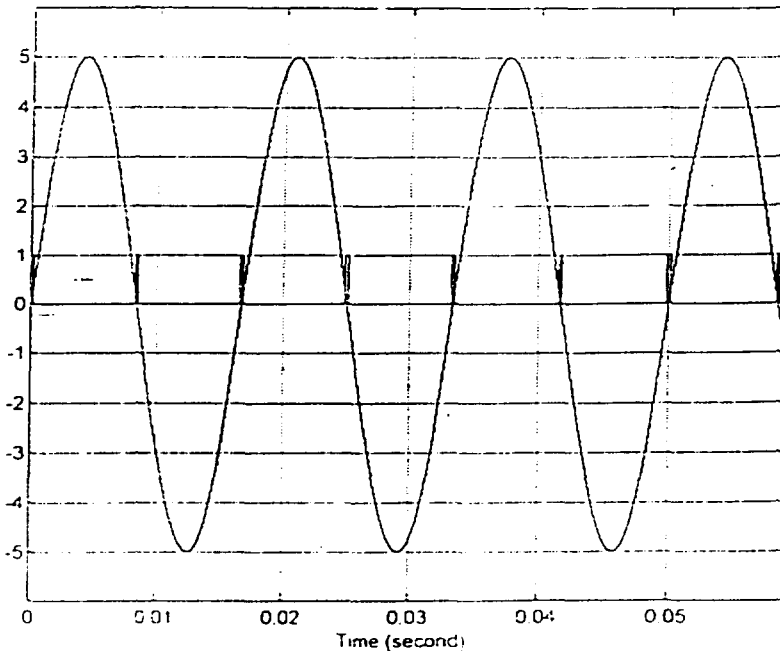
그림 10 노이즈 제거 회로 및 신호검증 결과

나. 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 전력스위치로 보내진다. 그림 11은 입력 신호가 영점을 통과할 때 1개의 펄스 신호를 발생시키도록 한 영점위상 탐지 회로와 실험결과이다.



(a) 실험회로



(b) 실험결과

그림 11 영점위상 탐지회로 및 실험결과

다. 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 가변 인자를 첨가해서 항상 일정한 전압 범위에서 출력을 얻을 수 있도록 설계하였다. 또한 입력신호의 주기가 일정한 설정치 이상으로 변화하거나 노이즈 제거회로를 통과한 노이즈에 의해 만들어진 거짓 출력신호가 들어왔을 때에는 경보회로에 신호를 보내서 운전원모듈을 통해 운전원이 알 수 있도록 설계하였다. 그림 12는 주기점검 회로, 주기변화 보상기 및 경보회로를 블록다이어그램으로 나타낸 것이다.

라. 경보회로

입력신호의 주기가 설정치 이상으로 변화했을 경우에 대역이탈 탐지기로부터 신호를 받아 운전원모듈에 경보신호를 보낸다. 이때는 운전원이 수동으로 전환하여 디지털 대역통과 여파기(FIR)를 사용할 수 있다. 그러나 디지털 대역통과 여파기는 주기변화에 따라 위상지연이 선형적으로 변화하므로 주파수 변화에 따른 보정치를 결정한 다음 사용하여야 한다. (그림 12)

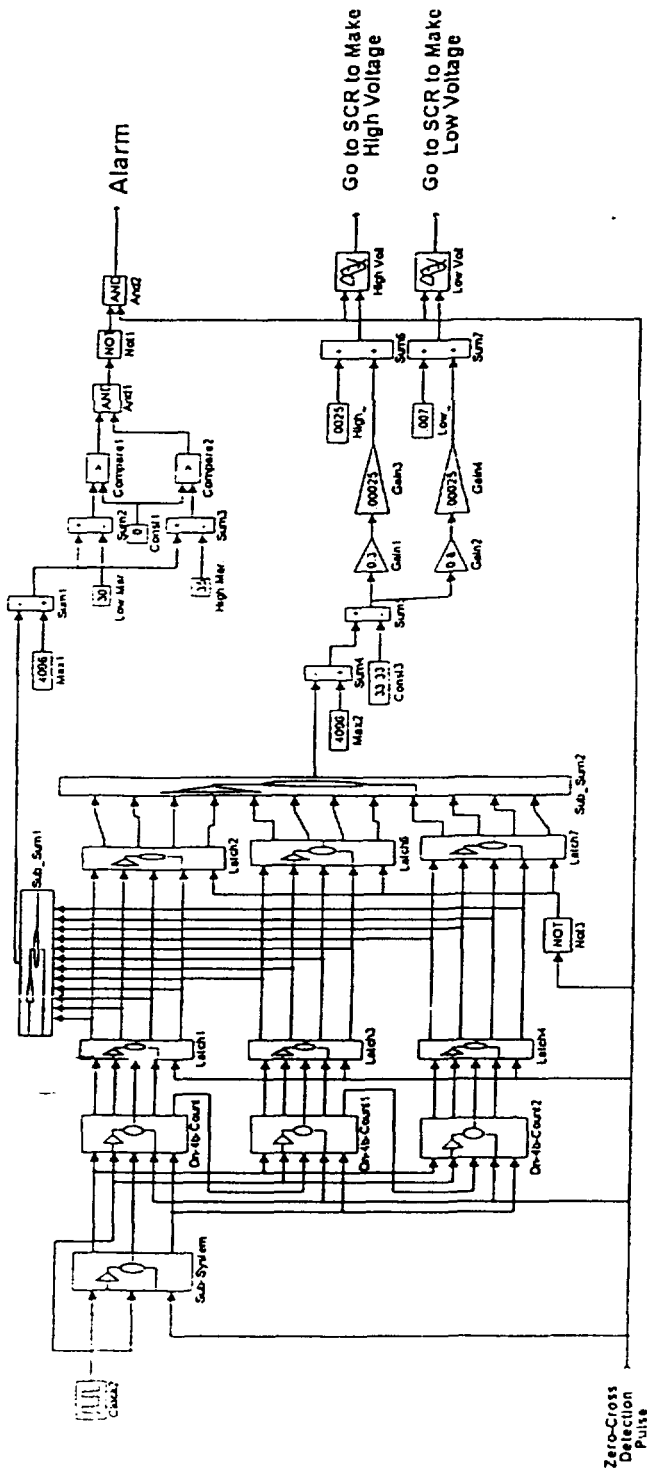


그림 12 주기점각 회로, 주기변화 보상기 및 경보회로

제4절 검증시험 및 결과

MATLAB으로 로직을 개발하고 시뮬레이션을 수행하여 다음 기능을 검증하였다. 그림 13은 새 영점위상 탐지기의 블록 다이어그램이다.

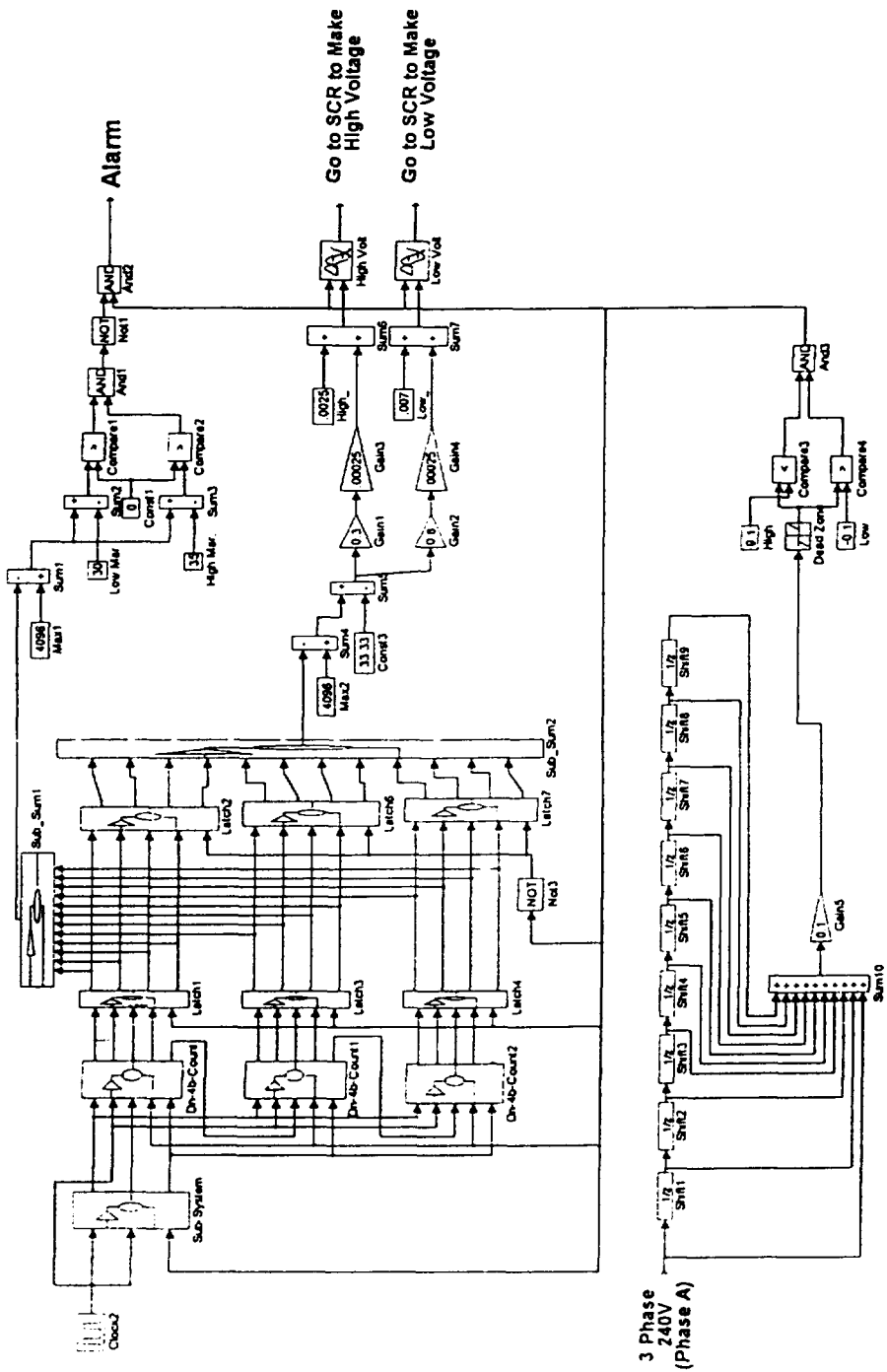
주기변화 보상기를 설치하기 이전의 점화신호 발생 시점과 설치후의 시점을 비교하기 위해 기준 주파수인 60Hz를 기준으로 70Hz, 50Hz, 40Hz에서 시험했다.

그림 14, 15, 16 및 17은 보상기를 설치하기 이전의 각 주파수에 대한 시험 결과이며 그림 18, 19, 20 및 21은 보상기를 설치한 후의 결과인데 주기변화 보상기를 설치함으로써 점화신호 발생 시점이 훨씬 안정되었음을 알 수 있다.

표 3은 시뮬레이션한 결과를 근거로 산출한 전압값이다. 고전압의 경우는 거의 전압변동이 없으며, 저전압의 경우에도 $40 \pm 2V$ 내에서 전압이 변동됨을 알 수 있다.

	40 Hz	50Hz	60Hz	70Hz
High Voltage	148 V	148 V	148 V	148 V
Low Voltage	42.14 V	41.34 V	40.45 V	39.73 V

표 3 새 영점위상 탐지기를 사용 할 때의 코일전압 변동



Zero Cross Detection

그림 13 새 영점위상 탐지기 회로

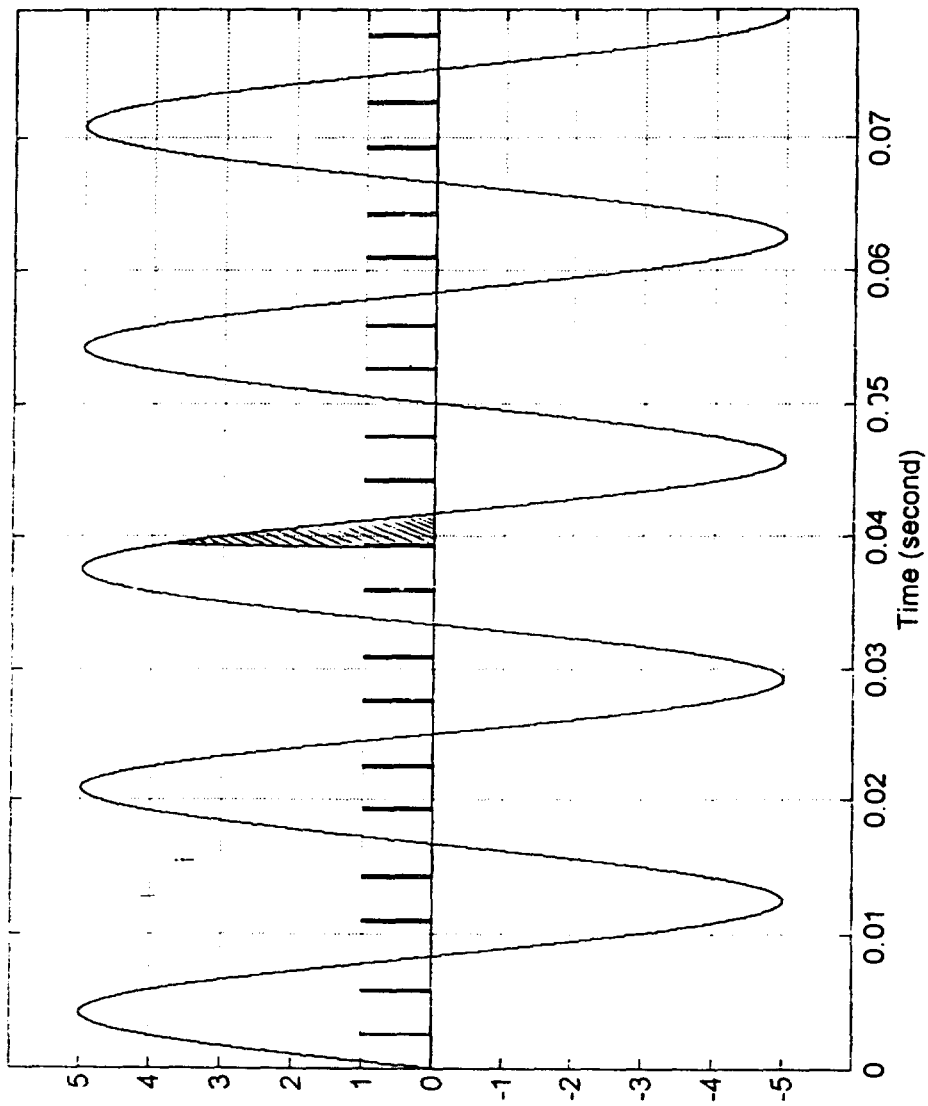


그림 14 보상회로 부작진의 60Hz 파형

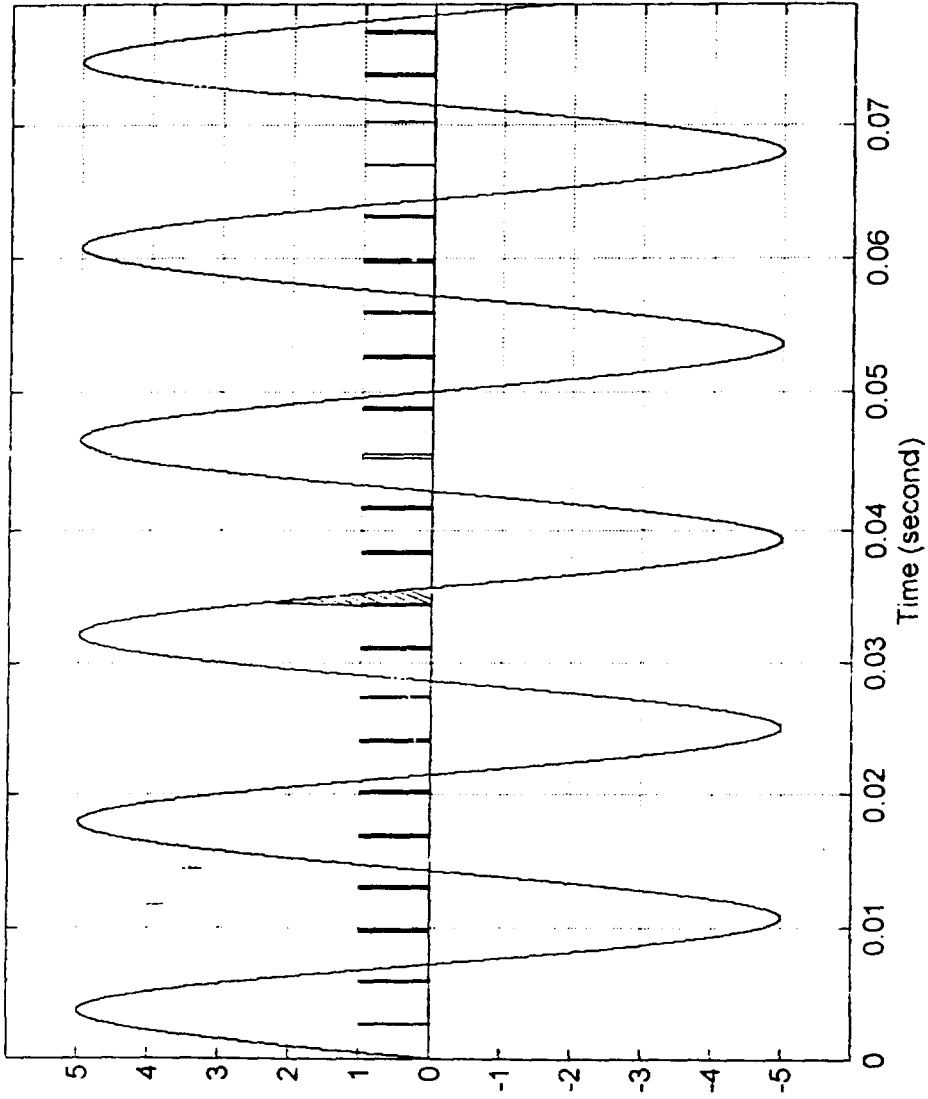


그림 15 보상회로 부차 전의 70Hz 파형

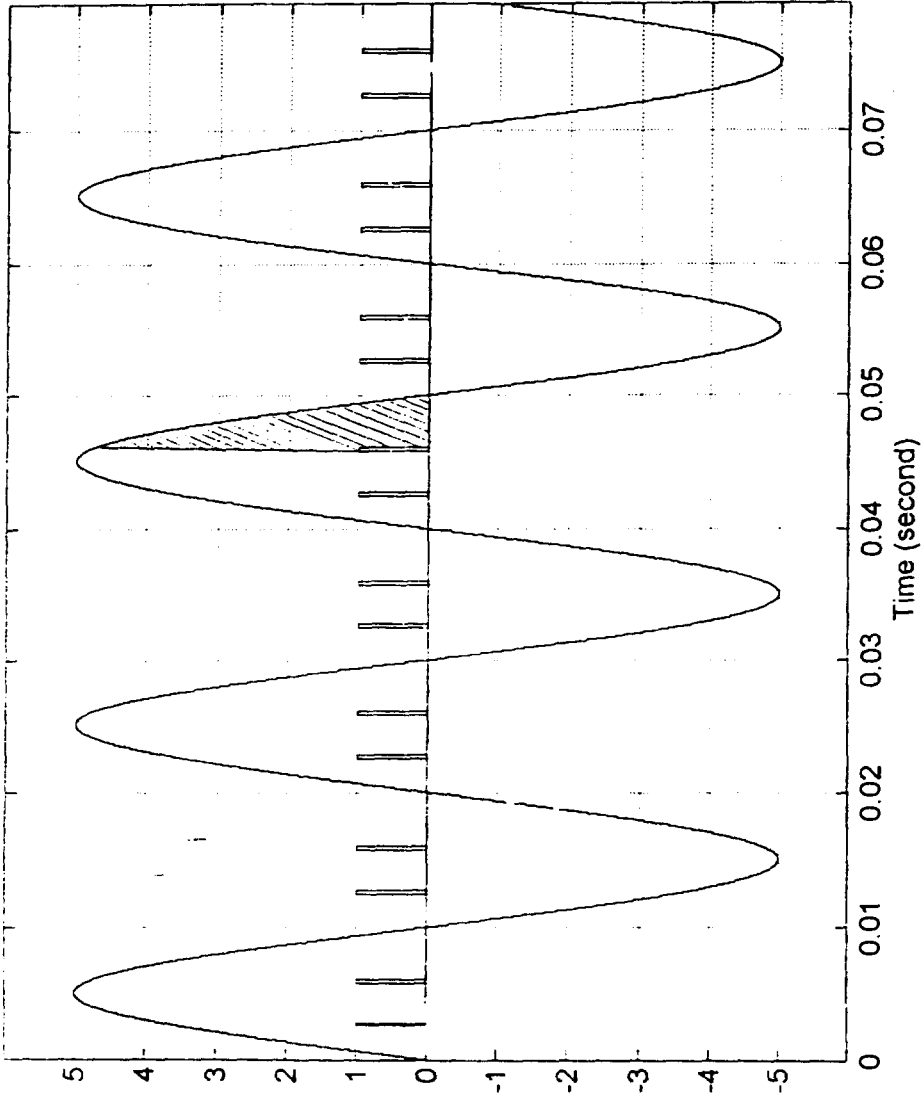


그림 15 보상회로 부확진의 50Hz 파형

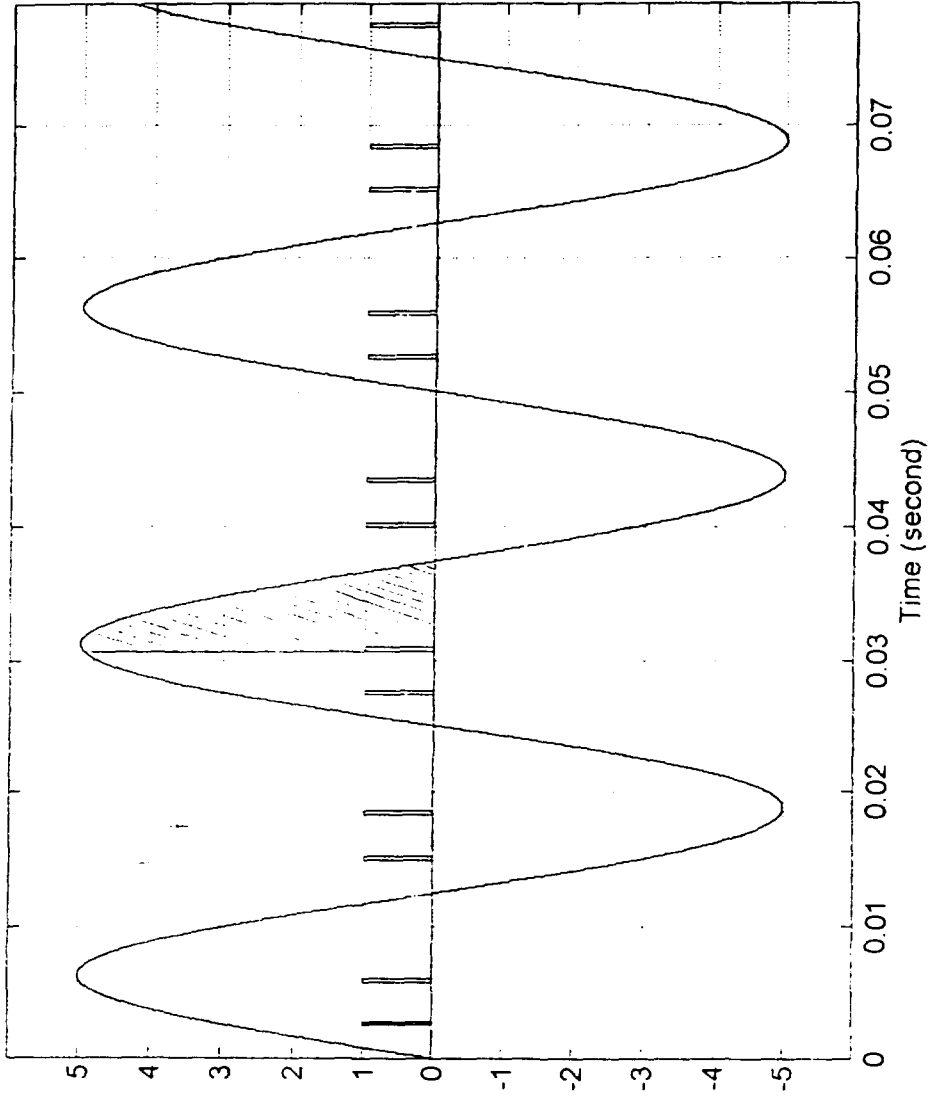


그림 17 보상회로 부차 진의 101% 파형

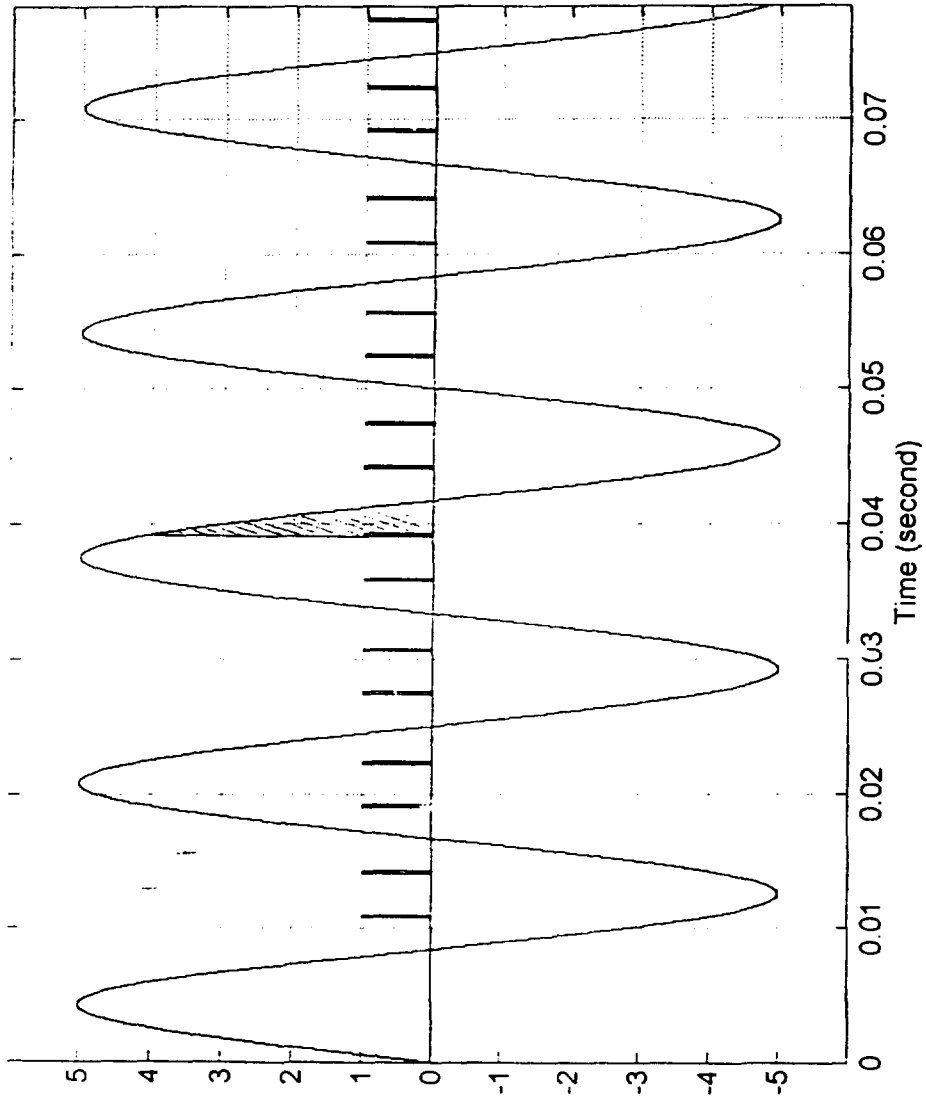


그림 18 보상회로 부차 후의 (X)1/2 파형

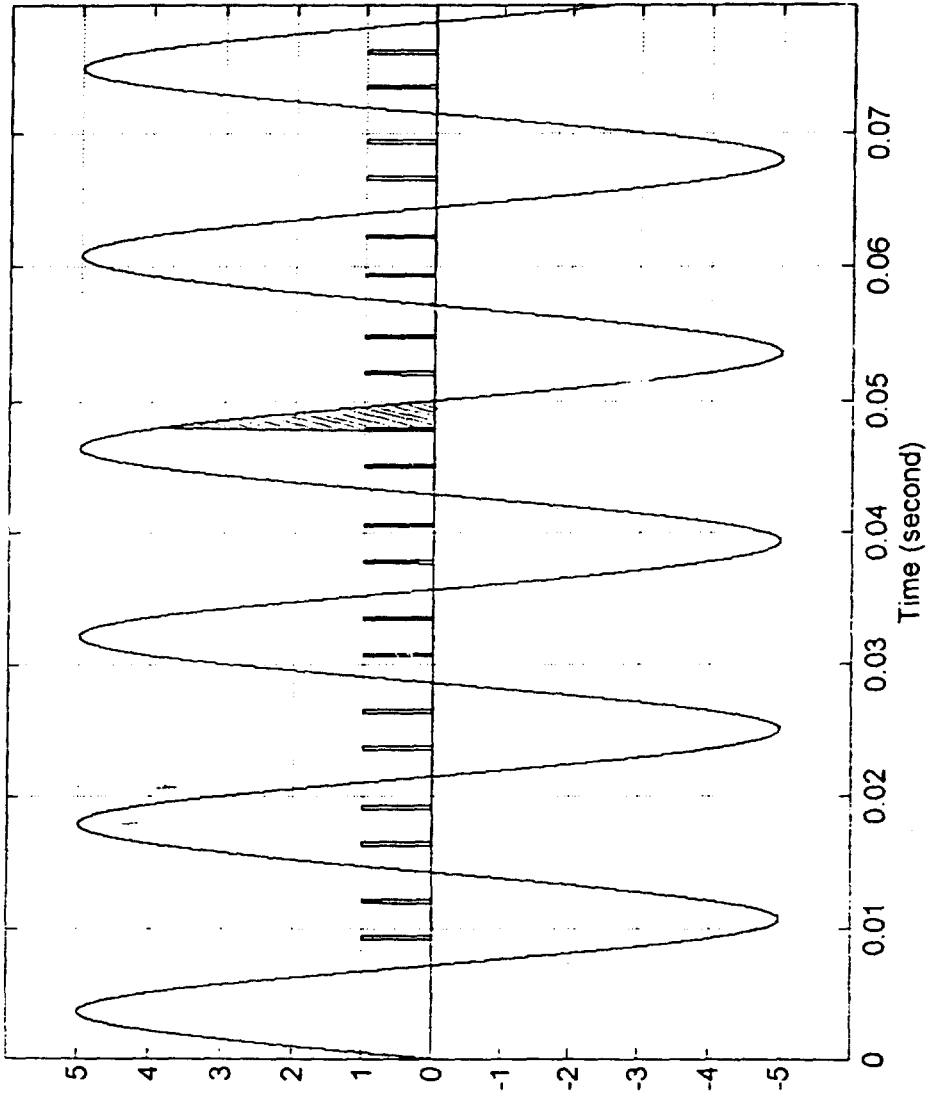


그림 19 보상회로 부착 후의 70Hz 파형

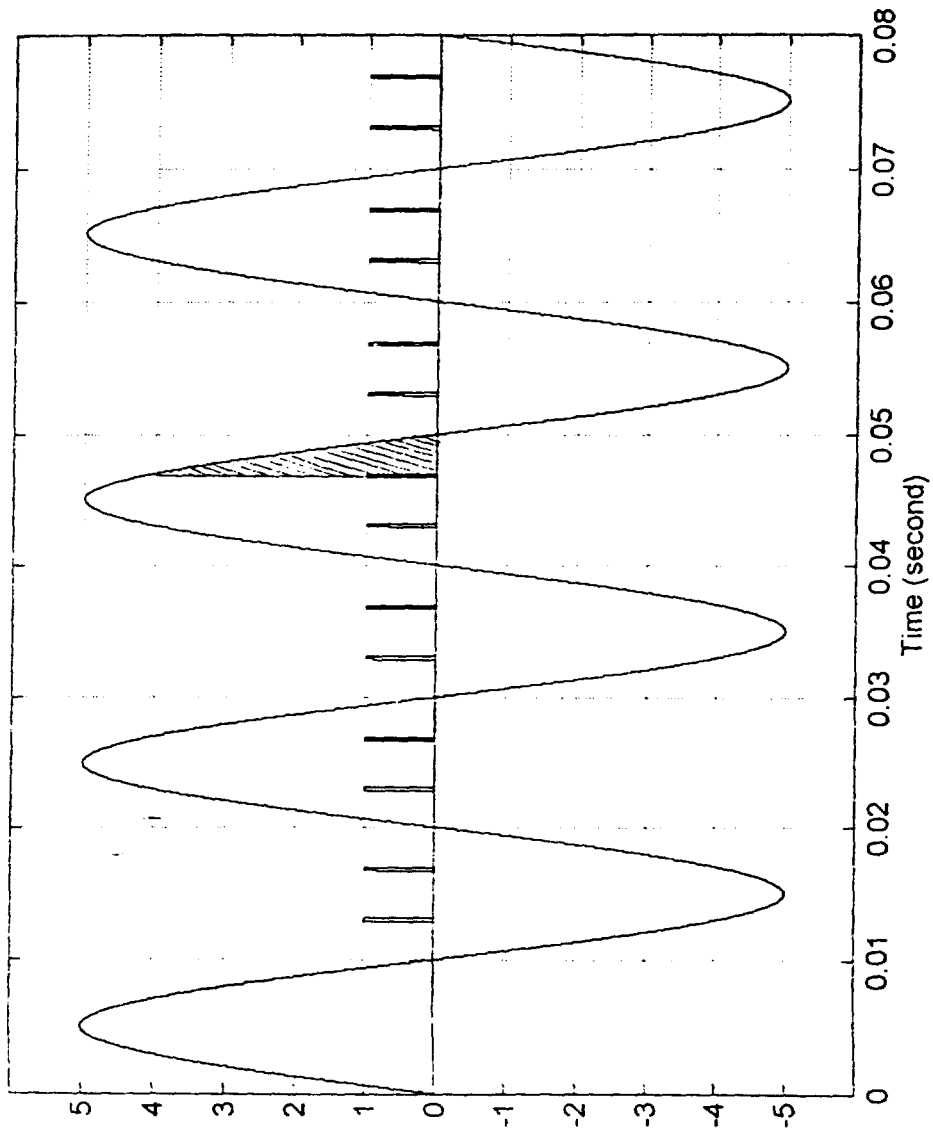


그림 20 보상회로 부차 후의 5011z 파형

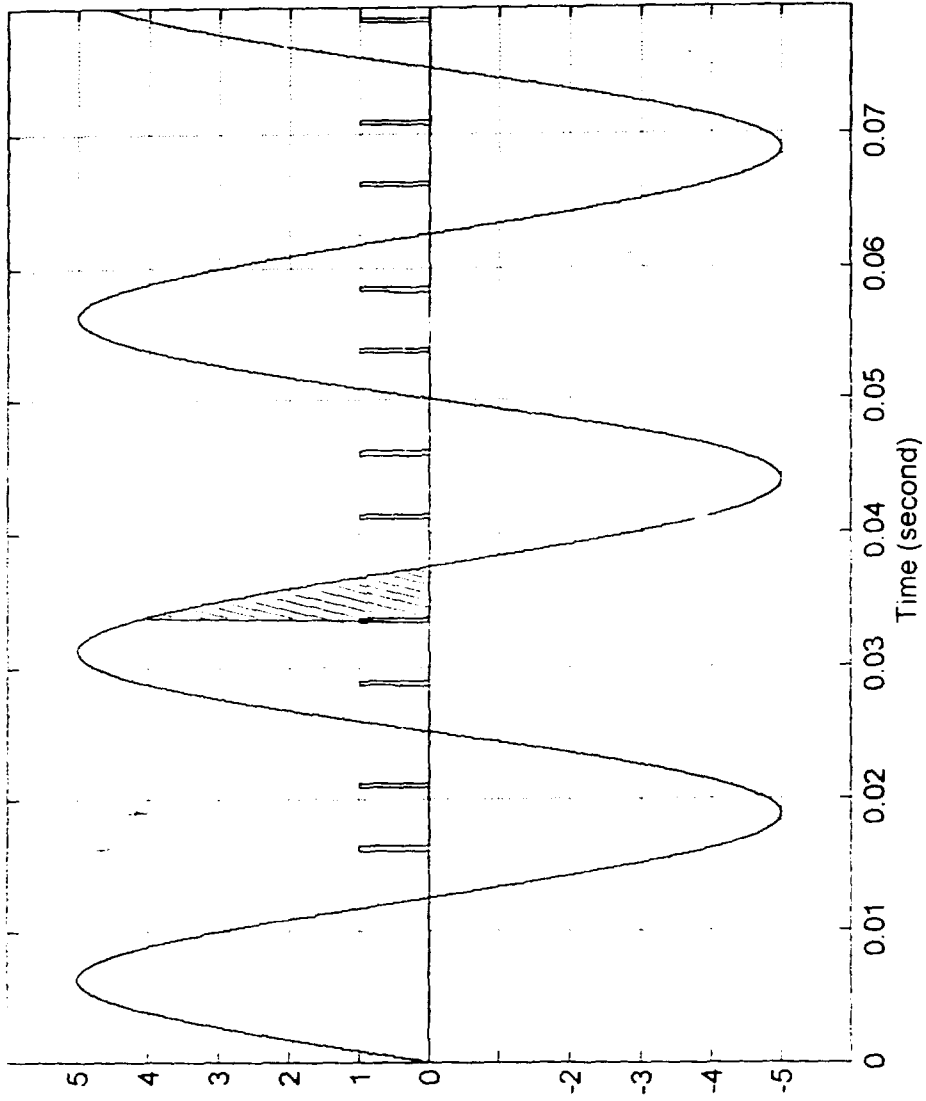


그림 21 보상회로 부위 후의 401Hz 파형

제3장 결 론

제어봉 구동장치가 제어신호에 따라 구동전력을 제어하는 데 있어 전력제어의 기준이 되는 회로가 영점위상 탐지기이다. 기존의 탐지기는 아날로그 형태의 대역통과 여파기를 사용함으로써 입력신호의 주기가 조금만 변하여도 출력전압이 크게 변동하는데, 본 보고서에서는 이를 보완한 영점위상 탐지기를 구현 하였다.

기존의 회로는 입력주기가 5Hz만 변해도 20V 이상의 전압변동을 초래하는데 비해 새로 구현한 영점위상 탐지기는 검증시험을 통해 입력신호가 40Hz에서 70Hz로 변동되더라도 출력전압이 $\pm 2V$ 이내로 변동되어 매우 안정되게 작동함을 알수 있었다.

제안된 영점위상 탐지기를 기존의 발전소에 적용할 경우 제어봉 구동장치에 안정된 출력을 제공할 뿐만 아니라, 입력전원의 주기변화에 따른 제어봉 낙하사고도 방지할 수 있으며 불규칙한 코일전압으로 인한 제어봉 구동코일의 수명도 연장될 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

- [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.

부 록

부록 1. 불필요한 제어봉 낙하에 의한 불시 정지 사례

가. 국내 원전 불시 정지 사례

- (1) 1979. 3. 26 (고리 1호기) : 정지뱅크 B 정지권선 점화카드 핀 접촉 불량으로 관련 제어봉 낙하
- (2) 1984. 1. 25 (고리 2호기) : G-3 제어봉 정지권선 전류제한 다이오드 소손으로 제어봉 낙하
- (3) 1984. 10. 13(고리 1호기) : G-7 제어봉 정지권선 연결핀 단락으로 제어봉 낙하
- (4) 1988. 2. 7.(영광 1호기) : K-12 제어봉 정지권선 보호용 휴즈 용단으로 제어봉 낙하
- (5) 1991. 5. 21 (고리 1호기) : 전력함 2AC 조절 카드 고장으로 제어봉 낙하
- (6) 1991. 5. 22 (고리 1호기) : 전력함 1AC 상제어 카드 고장으로 제어봉 낙하
- (7) 1991. 11. 11 (고리 1호기) : 전력함 1BD 조절 카드 고장으로 제어봉 낙하

나. 동일한 제어봉 제어계통을 사용하는 미국내 원전 불시 정지 사례

- (1) 1985. 5 (SALEM 2) : 정지권선 케이블 커넥터 접촉불량으로 관련 제어봉 낙하
- (2) 1986. 9 (SURRY 1) : 위와 같음
- (3) 1988. 9 (TURKEY POINT 4) : 위와 같음
- (4) 1989. 10 (VOGTLE 2) : K-2 제어봉 차단 다이오드 소손으로 제어봉 낙하
- (5) 1989. 10 (SOUTH TEXAS 2) : F-8 제어봉 차단 다이오드 소손으로 제어봉 낙하
- (6) 1990. 12 (GINNA) : 정지권선 SCR 캐패시터 고장으로 제어봉 낙하

- (7) 1991. 7 (BEAVER VALLY 1) : 정지권선 보호용 퓨즈 용단으로 제어봉 낙하
- (8) 1991. 8 (PRAIRIE IS. 1) : 전력함 2AC 점화카드 고장으로 제어봉 낙하
- (9) 1991. 11 (MCGUIRE 2) : 전력함 SCD 전자 카드 고장으로 제어봉 낙하
- (10) 1992. 1 (SOUTH TEXAS 2) : H-6 제어봉 차단 다이오드 소손으로 제어봉 낙하

서 지 정 보 양 식

수행기관보고서번호	위탁기관보고서번호	표준보고서번호	INIS 주제코드
KAERI/TR-689/95			

제목/부제	경수로 제어봉 구동장치 제어시스템의 영점위상 탐지 기술
--------------	--------------------------------

연구책임자 및 부서명 (TR, AR인 경우 주저자)	김 병문 (제어계통분야)
연구자 및 부서명	이 병주, 장 익호, 정 호창 (제어계통분야) 이 중섭 (안전계통분야)

출판지	대전	발행기관	한국원자력연구소	발행년	1996년 6월
페이지	34 p.	도표	있음(O), 없음()	크기	26 Cm.

참고사항	
-------------	--

비밀여부	공개(), 대외비(O), _ 급비밀	보고서종류	기술보고서
-------------	------------------------	--------------	-------

연구위탁기관		계약 번호
---------------	--	--------------

초록 (15-20줄내외)	
----------------------	--

제어봉 구동장치 제어계통(CEDMCS)은 원자로 출력을 조정하거나 정지신호 발생시 원자로를 안전하게 정지시키는 중요한 역할을 하고 있다. 그러나 현재 가동중인 발전소에서는 CEDMCS의 고장으로 예기치 못한 발전소 불시정지를 일으키거나 정상운전에 지장을 초래하는 경우가 많았다. 이런 문제점을 방지하기 위하여 제어로직을 개선하는 것이 필요하다. 기존의 영점위상 탐지기는 Motor Generator Set 에서 공급되는 전력의 주파수가 변동이 심할 경우에는 예기치 못한 원자로 정지를 일으킬 수 있는 문제를 가지고 있으며, 현재의 영점위상 탐지기는 아날로그 기술로 설계되어 있어서 주파수 변동에 의한 출력전압 변동을 방지하는데 어려움이 있었다.

본 보고서에서는 영점위상 탐지기의 출력전압변동 문제를 해결할 수 있도록 노이즈 제거회로, 주기변화 보상기 및 경보회로를 이용하여 영점위상 탐지기를 설계개선하였다. 또한 성능검증을 통해 기존의 아날로그 형태의 회로에 비하여 그 성능이 우수함을 보였다. 여기서 제안된 영점위상 탐지기를 발전소에 적용할 경우 새 영점위상 탐지기에 의해 안정된 전력을 제어봉 구동장치에 공급할 수 있기 때문에 소내부하운전 중에도 사용할 수 있을 것이다.

주제명키워드 (10단어내외)	영점위상 탐지기, 제어봉구동장치 제어계통, 노이즈제거회로, 주기변화 보상회로, 경보회로, 제어봉 구동코일
----------------------------	---

BIBLIOGRAPHIC INFORMATION SHEET

Performing Org. Report No.	Sponsoring Org. Report No.	Standard Report No.	INIS Subject Code
KAERI/TR-689/95			
Title/ Subtitle	Zero-Cross Detecting Technology in CEDMCS of PWR		
Project Manager and Department	Kim, Byeong Moon (Control & Protection System Eng. Dept.)		
Researcher and Department	Lee, Byeong Joo / Chang, Ik Ho / Jung, Ho Chang (Control & Protection System Eng. Dept.) Lee, Joong Sup (Safety & Process Dep't.)		
Publication Place	Taejon	Publisher	KAERI
		Publication Date	June 1996
Page	34 p.	Ill. & Tab.	Yes(O), No ()
		Size	26 Cm.
Note			
Classified	Open(), Restricted(O), ___ Class Document	Report Type	TR
Sponsoring Org.		Contract No.	
Abstract (15-20 Lines)	<p>Control Element Drive Mechanism Control System(CEDMCS) plays a decisive role in regulating the reactor power and shutting down the reactor in the trip condition. But, due to the failure of CEDMCS, the operating plants have had many experiences such as unexpected reactor trip or interruption during normal plant operation. To prevent those kinds of problems, it is required to improve control logic. Zero cross detection cards in CEDMCS could be made trouble which cause unexpected reactor trip resulted from fluctuating frequency of input signal coming from M/G Set. Some of the problems have been solved by modifying zero cross detection card circuit, but the other problems, such as output voltage variation resulted from input frequency change. Because current zero-cross detector was designed by analog technology, it was difficult to resolve output voltage variation problem. In this report the zero cross detector was 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 output voltage can be generated by new zero-cross detector.</p>		
Subject Keywords (About 10 words)	Zero-Crossing Detector, CEDMCS, Noise Filtering Circuit, Variable Cycle Compensator, Alarm Circuit, CEDM Coil		