

## 발전소 직류전압 전선로 접지검출시스템에 관한 연구

°이 형 기°, 김 남 호°, 박 찬 호°, 김 택 수°

\* 부산공업대학교 제어계측공학과, \*\* 한국전력공사 기술연구원 전력연구실

### A Study on Ground Fault Detecting System for DC Voltage Line in the Electric Power Plant

°H. K. Lee°, N. H. Kim°, C. H. Park°, T. S. Kim°

\* Dept. of Control & Instr. Eng. Pusan National Univ. of Tech.

\*\* KEPCO Research Center

#### Abstract

This system can detect a ground fault point or a bad insulated line by measuring a power plant DC feeder insulation resistance at the uninterruptible power status. And when the power plant DC feeder with low frequency AC signal has a ground fault, this measuring system can keep recording of its ground fault current and phase checked by Z.C.T. Therefore the power plant could protect a unexpected service interruption.

#### 1. 서론

발전소의 직류전압 전선로는 전류가 통하는 전로(電路)와 이것을 외부 또는 대지(大地)와 절연하기 위한 절연물로 구성되어 있다. 절연물은 그것이 놓여 있는 장소의 온도, 습도 및 먼지 등에 의한 표면 오손상태 또는 외부의 기계적인 충격에 의하여, 절연물의 성능이 저하된다. 절연열화의 원인은 흡습에 의한 것, 절연물 내부의 보이드(Void)에 의한 크랙(Crack), 경연에 의한 자연열화 등으로 분류할 수 있다[1]. 이와 같은 원인에 의하여 직류전압 전선로는 간헐적으로 지락이 발생하여, (+)측 전선로와 (-)측 전선로가 동시에 지락이 발생하였을 경우에는 발전설비가 불시에 정지사고를 일으키는 것을 미연에 방지하기 위하여 GFD(Ground Fault Detecting) 시스템을 두어서 직류전압 전선로의 절연상태 및 불량갯소를 사전에 검출하여 발전소 직류전선로의 접지사고를 미연에 방지하기 위한 계측시스템이다.

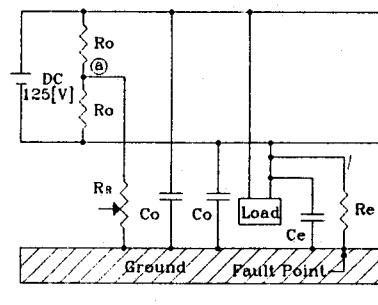
GFD시스템의 종류는 교류용과 직류용이 있다. 교류용일 경우 영상변류기(Z.C.T)를 이용하여 저압전로의 지락전류를 검출하는 방법이 있으며, 누천차단기 등에 널리 이용되고 있다[2]. 직류 GFD시스템은 직류전선로에 낮은 주파수의 교류신호를 인가하여 지락이 발생하였을 경우 영상변류기에 의하여 지락전류 및 위상을 검출하여 지락의 정도를 판단하고 기록하는 시스템이다[3].

본 연구는 직류전선로에 상용주파수 60[Hz] 및 직류에 대하여 영향을 주지 않고 검출이 용이한 11[Hz]의 구형파를 사용

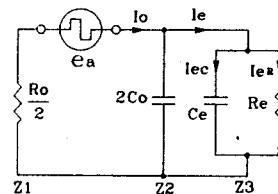
용하였으며, 지락이 발생되었을 경우에만 지락전류의 실효치, 지락전로의 극성 및 동기신호와 지락전류의 위상을 측정하도록 하여 지락의 정도에 따라 경보를 하게 하며, 각 직류전로의 결연상태를 기록하여 직류전로의 지락을 미연에 방지하고자 한다.

#### 2. 동작원리

지락 사고시에 흐르는 지락전류  $I_e$ 는 그림1.(b)의 동가회로와 같이 나타내었다.



(a)



(b)

그림1. 직류전로의 지락시의 동가회로  
Fig.1. Equivalent circuits of ground fault in DC circuits

$R_o$  : 중심점저항[400Ω]

$C_o$  : 직류전로의 합성정전용량

$R_e$  : 지락저항

$C_e$  : 간선(Feeder)의 정전용량

$R_R$  : 접지 가변저항(트랜지스터에 의하여 on-off 동작을 하며 따라서  $R_R = 0$  또는  $\infty$ )

e<sub>s</sub>: R<sub>R</sub>의 변화에 따라 대지와 R<sub>o</sub>의 중심점 ④사이에 걸리는 전압

$$I_o = \frac{e_a}{\frac{Z_2 \cdot Z_3}{Z_2 + Z_3} + Z_1} = \frac{(Z_2 + Z_3) \cdot e_a}{Z_1 \cdot Z_2 + Z_1 \cdot Z_3 + Z_2 \cdot Z_3} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} I_e &= I_o \cdot \frac{Z_2}{Z_2 + Z_3} = \frac{(Z_2 + Z_3)e_a}{Z_1 \cdot Z_2 + Z_1 \cdot Z_3 + Z_2 \cdot Z_3} \cdot \frac{Z_2}{Z_2 + Z_3} \quad (2) \\ &= \frac{Z_2 e_a}{Z_1 \cdot Z_2 + Z_1 \cdot Z_3 + Z_2 \cdot Z_3} \end{aligned}$$

여기서,

$$Z_1 = \frac{R_o}{2}, \quad Z_2 = \frac{1}{j2\omega C_o}, \quad Z_3 = \frac{R_e}{1+j\omega C_o R_e}$$

식(2)에서 지락전류  $I_e$ 는 다음과 같다.

$$I_e = I_{eR} + i I_{ec} \quad (3)$$

식(3)을 벡터도로 표시하면 그림2와 같다.

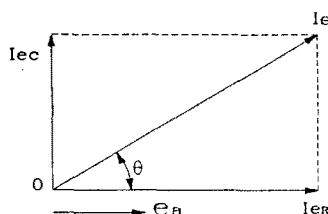


Fig.2. Vector diagram of ground fault current  $I_g$

그림2의 벡터도에서 지락전류  $I_e$ 의 실효치,  $e_a$  및  $I_e$ 의 위상각  $\theta$ 를 측정하면  $I_{ec}$ 와  $I_{er}$ 를 구할 수 있다. 따라서 저항성 지락전류  $I_{eR}$ 의 값의 크기에 따라 직류전로의 질연 저항의 상태 및 지락저항의 크기를 산출할 수 있다.

### 3. 직류전로의 지락전류 겹출기의 구성도

그림3은 직류전로의 저락전류 검출을 하기위한 시스템의 구성도이다. 그림3에서 전체 직류전로에 인가하는 교류신호는 저락이 발생하였을 경우 400[Hz]의 중심선에 연결된  $R_R$ 의 저항이 11[Hz]마다  $R_R=0$ 과  $R_R=\infty$ 로를 스위칭등작용을

함으로써 구형과 형태로 지락점의 지락저항 양단에 가해준다. 만약 #1의 피더선에 지락이 발생되면, #1의 Z.C.T에 의하여 지락전류가 검출되고 중폭되어져서, 아날로그 MUX회로와 대역통과필터(BPF)를 거쳐 지락전류를 얻게 된다. 이 전류는 12Bit A/D변환기를 거쳐 디지털화 된다. 또한 11[Hz] 동기신호와 지락전류를 비교검출하여, 지락점의 극성 및 위상을 측정하여 리모트유니트에 인가된다. 리모트유니트에서

는 일정전류 이상은 Alarm으로 경보하여 주도록 설계되어지며 계측된 모든 Data는 메인유니트로 전송되어 기록 및 표시되어진다.

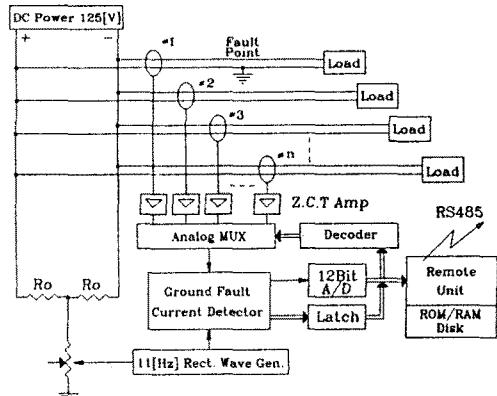


그림3. 지락전류 검출시스템의 블록선도  
Fig.3. Block diagram of ground fault current detecting system

#### 4. 지락전류 측출부

지락전류 검출부는 지락전류, 지락점의 극성 및 위상을 측정한다. 그림4에 지락전류 검출부의 구성도를 나타내었다.

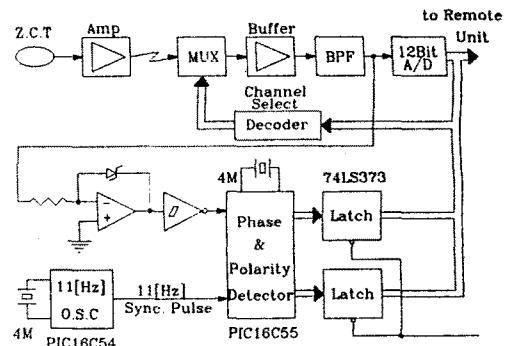


그림4. 지락전류 검출부

위상증정회로는 일반적으로 동기정류회로를 이용하나 본 연구에서는 One-chip μ-controller인 PIC16C55를 이용하여 위상검출 및 금속판별회로를 구성하였다[4].

5 실험 및 고찰

본 연구에서는 그림4와 같이 지락전류 검출시스템을 설계, 제작하였다.

### (1) 지랄저류 검출기

실험에 사용된 지락저류 검출기의 영상변류기는 퍼멀로이

코아와 페라이트 코아를 사용하였다. 퍼멀로이드 환상코아를 사용한 검출기는 퍼멀로이드 환상코아에 0.1Ω의 에나멜코일을 1000회 권선하였고, 페라이트 사각형코아를 사용한 검출기는 보빈에 0.25Ω의 에나멜동선을 800회 감아서 제작하였다. 사진1에 제작된 지락전류 검출기를 나타내었다. (a)는 1차 직류전로에 사용되어질 검출기, (b)는 2차 직류전로에 사용되어질 검출기이다. (a), (b)는 직경이 큰 케이블등을 사용하는 1차 및 2차 직류전로에 사용되어 진다. (c)는 3차 직류전로에 사용하여 (a), (b)는 퍼멀로이센서 (c)는 페라이트센서이다.

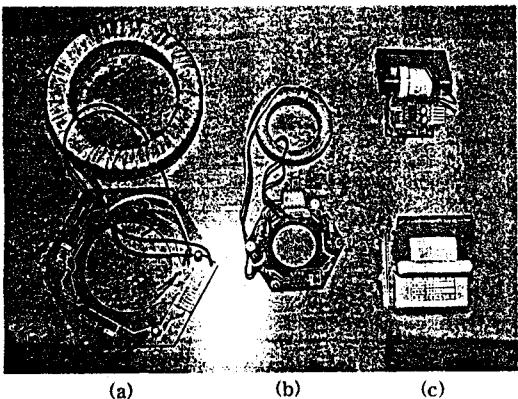
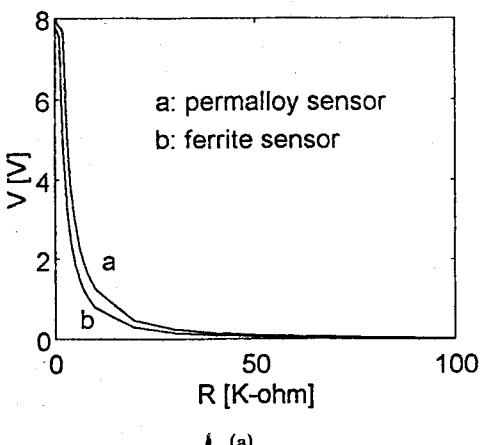


사진1. 지락전류 검출기

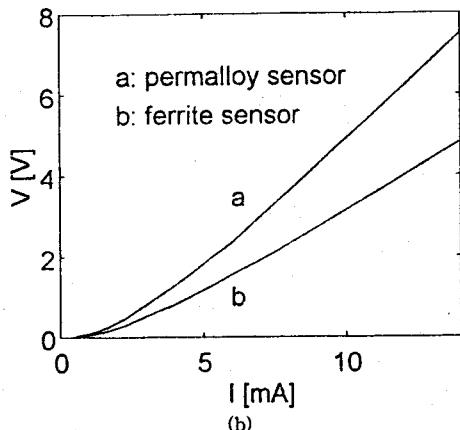
Photo 1. Ground fault detector

그림5는 퍼밀로이 센서와 페라이트 센서의 특성을 측정한 것이다. 여기서 그림5.(a)는 지락저항에 대한 검출기의 출력 전압을 나타낸 것이고, (b)는 지락전류에 대한 검출기의 출력 전압을 나타낸 것이다.

그림5.(b)의 특성에서 지락전류가 적으면, 즉 지락저항이 클 경우에는 검출기의 직선성이 떨어진다. 따라서 센서의 특성이 직선성을 갖지 못하기 때문에 각센서의 특성을 측정, 기록하여 보정할 필요가 있다.



(a)



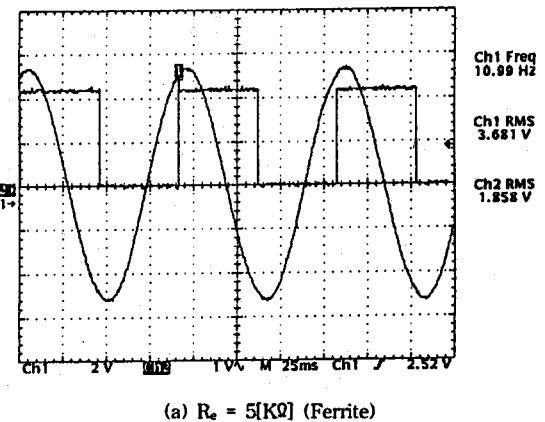
(b)

그림5. 지락전류 검출기의 특성

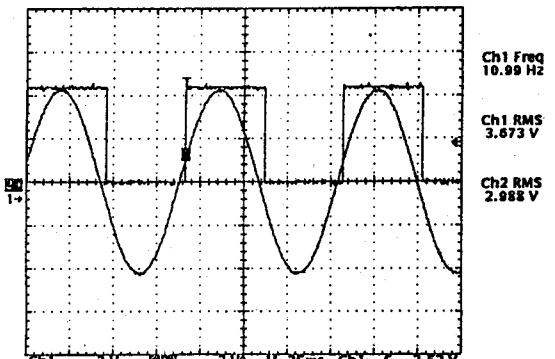
Fig.5. Characteristics of ground fault current detector

## (2) 지락전류 및 위상 측정

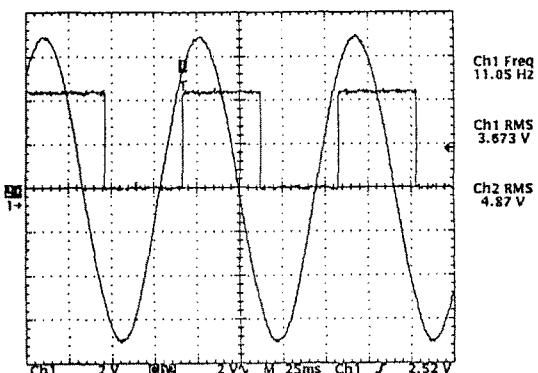
그림6.(a), (b), (c)는 지락시 11[Hz]의 동기펄스와 지락전류를 관측한 것이다. (a)는 지락저항이 5[KΩ]일 경우 페라이트 검출기의 지락전류 출력파형이며, (b)는 퍼밀로이 검출기의 지락전류 출력파형이다. 또한 (c)는 지락저항이 5[KΩ]이고, 대지간 정전용량이 9.4[μF]인 경우 지락전류를 나타낸 것이다.



(a)  $R_e = 5[K\Omega]$  (Ferrite)



(b)  $R_e = 5[K\Omega]$  (Permalloy)



(c)  $R_e = 5[\Omega]$ ,  $C_e = 9.4[\mu F]$  (Permalloy)

그림6. 지락전류의 파형  
Fig.6. Waveform of ground fault current

그림6의 (a)와 (b)에서 볼때 지락전류가 순수 저항성일 때, 동기펄스와 검출기의 지락전류와의 위상이 퍼밀로이 검출기에서의 전류는 동위상이 되지만, 페라이트 검출기에서의 전류는 동기펄스보다 앞선을 볼 수 있다. 따라서 위상검출시에 이와 같은 것을 고려하여야 한다. 그림6.(c)는 저항성과 대지간의 정전용량이 지락이 되었을 경우, 지락전류는 저항성과 용량성이 빼어나게 합성된 것을 나타내고 있다. 그림6.(c)에서 지락전류  $I_e$ 의 값은 4.87[V]이며 위상각  $\theta$ 는 약 52[deg]이다. 그러므로  $I_{eR} = 2.998$ ,  $I_{ec} = 3.84$ 로 계산되어 진다.

여기서 그림6.(b)에서 지락전류  $I_e = 2.988$ 이므로 그림6.(c)에서 계산된 저항성 전류  $I_{eR}$ 과 값이 일치됨을 알 수 있다.

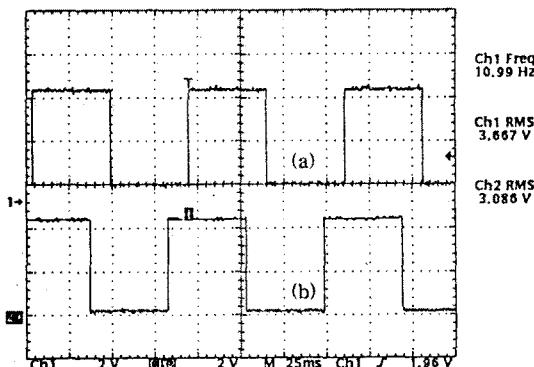


그림7. 위상검출회로의 파형  
Fig.7. Waveform of phase detecting circuit

그림7에서 (a)는 동기신호, (b)는 지락전류를 구형파로 정형한 파형이다. 이 파형에서 동기신호의 positive edge에서 볼때 지락전류의 파형이 positive state에 있다. 따라서 (+)극

이 지락이 되었다는 것을 알 수 있다. 만약 (-)극이 지락이 되면 그림(b)는 반전된다. 또한 동기펄스의 positive edge에서 검출을 하여 동기펄스의 반주기를 45,455등분하여 논리적으로 “1”과 “0”으로 구분하여 위상각을 검출하도록 PIC16C55 마이크로 컨트롤러를 사용하여 프로그램에 의하여 위상각과 극성을 측정하였다. 그러므로 검출된 지락전류, 위상 및 극성을 리모트유니트에서 취합하여 각 직류 전선로에 흐르는 지락전류를 계산하고 이에 대응되는 절연저항을 환산할 수 있다.

## 6. 결론

본 연구는 직류전선로에 상용주파수 60[Hz] 및 직류에 대하여 영향을 주지 않고 검출이 용이한 11[Hz] 동기펄스를 사용하여 지락전류, 지락전로의 극성, 위상을 검출하였다. 특히 지락전로의 극성 및 위상은 One-chip  $\mu$ -controller를 사용하여 11[Hz]와 같이 낮은 주파수의 위상을 측정하였으며, 지락전류는 지락저항이 0.1[M $\Omega$ ]정도에서도 검출할 수 있다. 이와 같은 시스템을 이용하면 직류전선로의 절연저항의 상태를 항상 감시하여 발전소의 사고를 미연에 방지할 수 있다.

## 참고문헌

- [1] 김종훈, 최길수, “漏泄電流 測定에 의한 絶緣 劣化 分析 研究”, 한국전기인천공사, pp.111-113, 1992.
- [2] 금성 누전차단기 기술자료집, 금성제전, pp.12-13, 1994.
- [3] 四郎丸功, “直連電路地絡検出装置の發展と實用化”, 火力原子力發電, Vol.31, No.2, 1980.2.
- [4] Embedded Control Handbook, Microchips, 1992.