

발전기의 전기보호 ③

글 / 전 민 호
안산공과대학 교수

바 전기도 여타 주요 전기설비와 마찬가지로 다중 보호되도록 하여 안전을 도모하고
리 있으며, 보호방법에 있어서는 유도원판형 등 아날로그 방식에서 디지털 방식으로
발전, 변경되고 있지만 보호의 종류, 보호 목적 등에 있어서는 종전과 다를 바가 없다.

본지에서는 먼저 전체 접속도를 제시하여 발전기 보호계통 전체를 한 눈에 알아볼 수 있도록
한 뒤, 개별 계전기에 대해 보호 목적, 정정 방법, 정정시 고려할 사항 등을 이론보다는
실무 중심으로 쉽게 기술하고자 하였으니 바른 이해 있기 바라며, 많은 참고되길 바란다.

사. 후비 보호계전기(2IG 또는 44G)

- 주 보호계전기가 동작하지 않을시 Back-up 하기 위해 설치
- 계전기 설치점의 전압·전류로부터 고장점까지의 거리를 측정하여 보호구간내 일 때는 동작한다(그림 1).

(1) 결 선(그림 2)

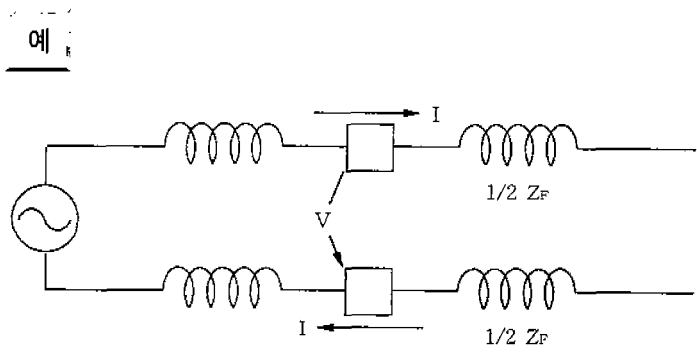
(2) 정정 조건

(가) 거리 계전기로부터 본 전방 임피던스(Z_F)

전방 임피던스는 M.Tr.을 포함하여 송전선 및 다음 구간 송전선 모선까지의 단락 보호를 목적으로 하며, F1점 고장이 동작원 내에 들어오게 정정한다.

$$Z_F = \frac{\sqrt{3}}{2} (Z_T + Z_L)$$

$$\left(\frac{V_L}{V_H}\right)^2 \left(\frac{CT \text{ 비}}{PT \text{ 비}}\right)$$



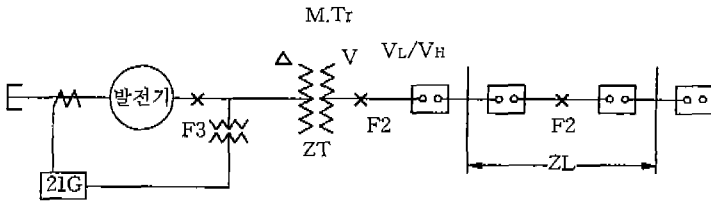
계전기 설치점의 전압 V ,
고장점까지의 왕복 임피던스 Z_F ,
전류를 I 라 하면,
 $V = Z_F \cdot I$

가 되고, 한편 정정 임피던스를 Z_S 라 하고 전류 I 를 흘려 주면 $Z_S \cdot I$ 를 얻을 수 있으며, 이것과 V 를 비교하여 판정한다.

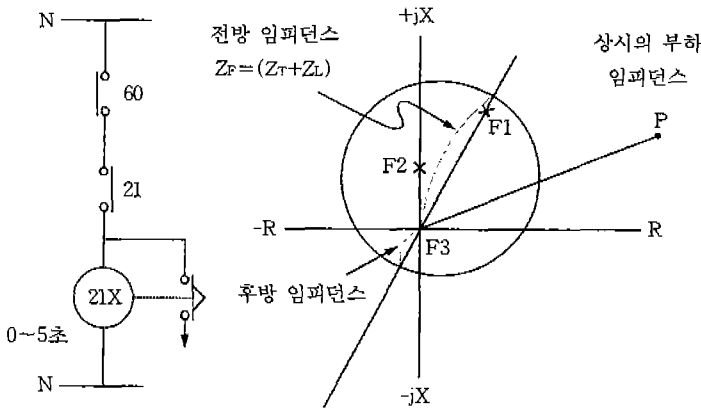
정정점보다 내부 고장시: $Z_F < Z_S$ 로 $Z_S \cdot I$

정정점보다 외부 고장시: $Z_F > Z_S$ 로 $Z_S \cdot I$

* 2IG나 5IV(전압억제부 OCR)는 같은 목적으로 사용되므로 둘 중 1개 계전기만 사용하면 된다.

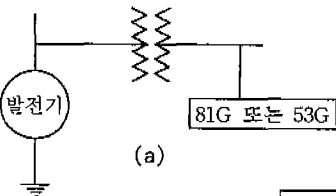


(a) 결선도

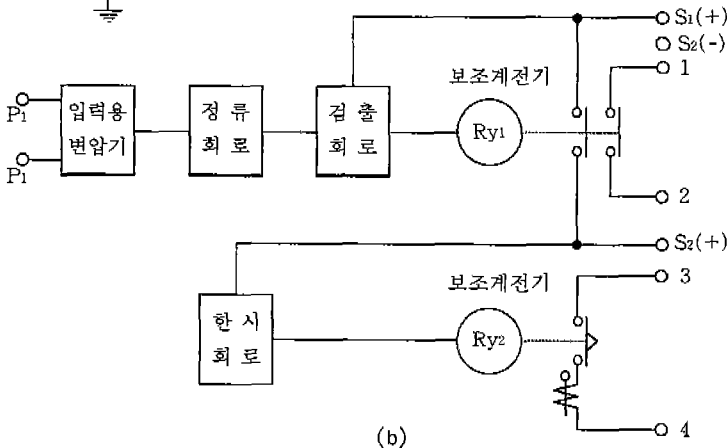


(b) 트립 시퀀스

<그림 2> 거리계전기에 의한 발전기 후비 보호 OCR방식



(a)



(b)

<그림 3> 결선 및 블럭도

주변압기 임피던스

$$Z_r = \frac{\%Z_{MT} \times 10 \times kV^2}{kVA} (\Omega)$$

선로 임피던스

$Z_L = 0 (\Omega)$ 으로 한다.

$\frac{V_L}{V_H}$: 주변압기의 변압비

$$CT \text{ 비} = \frac{\text{변류기 1차 정격전류(A)}}{\text{변류기 2차 정격전류(A)}}$$

$$PT \text{ 비} = \frac{1\text{차 정격전압(kV)}}{2\text{차 정격전압(kV)}}$$

(나) 후방 임피던스(Z_b)

후방 임피던스(Z_b)는 주변압기 저압측 및 발전기 회로의 단락 보호를 목적으로 한다. 이 범위의 단락 고장에서는 전압이 거의 Zero로 된다.

즉, 계전기로부터 본 임피던스는 F3로 되고, 전류 요소만으로 동작한다.

이 전류 요소가 발전기 회로 단락시의 고장 전류에 동작할지 아닐지 감도 협조를 검토하여 off-set 임피던스 량을 정한다.

보호계전기 감도 전류

$$I_n \times \frac{100}{X_d} \times \frac{1}{CT \text{ 비}}$$

I_n : 발전기 정격 전류(A)

X_d : 발전기 정태 동기 리액턴스

아. 저주파 과여자 보호계전기(81G 또는 53G)

○ 발전기, 주변압기, 소내변압기 등의 과여자로 인한 과열 손상 방지가 목적

○ 일반적으로 무부하시 $V/F = 1.20$ 에서 45초 정도로 되어 있으나, 여타 조건을 고려하여 $V/F = 1.18$ 에서 45초로 제

한하며, 그 이상시는 2초 이내에 트립시킨다.

(1) 결선 및 원리(그림 3)

검출 원리는 그림 4와 같은 입력용 변압기 회로에서 R(L로 놓으면 저항에서 나오는 출력 전압 VR1이 V/F에 비례하는 점을 이용한 것이다.

$$V_{R1} = \frac{V}{R + j2\pi fL} \cdot R \text{에서}$$

$R \ll 2\pi fL$ 이라면,

$$V_{R1} = \frac{V}{j2\pi fL} \cdot R = K \cdot \frac{V}{F} \text{가}$$

된다.

자. 고정자 Run Back 계전기(37G)

고속도 과전류 계전기의 일종으로 발전기 냉각 계통에 이상이 발생되어도 운전을 계속하면 고정자 코일이 극부 과열 등으로 위험한 상태에 이르므로 이를 방지하기 위해 Run-back 회로가 동작하는데 보통 정격의 30(%) 이하로되었음을 검출하고 동작을 완료한다.

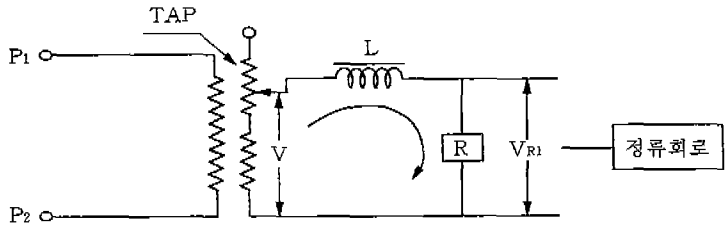
(1) 결 선(그림 6)

(2) 정 정

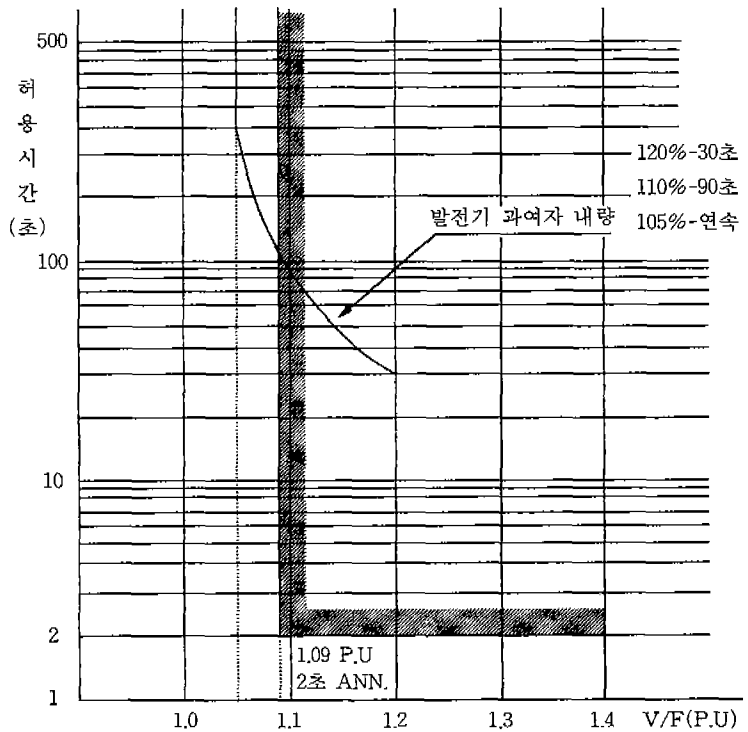
무수 용량시 전류 IGCL(I-GEN. Cooling Loss)이상에서 동작하도록 정정한다.

(3) 정정 계산

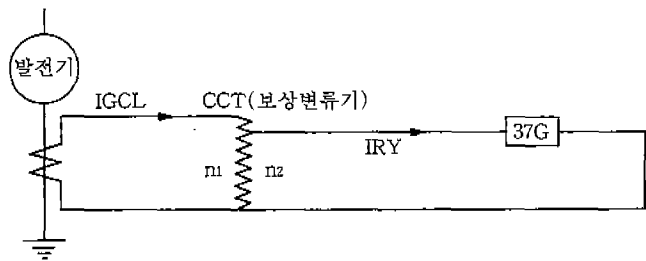
(가) 발전기 정격 2차 전류의 ()%에 상당하는 전류



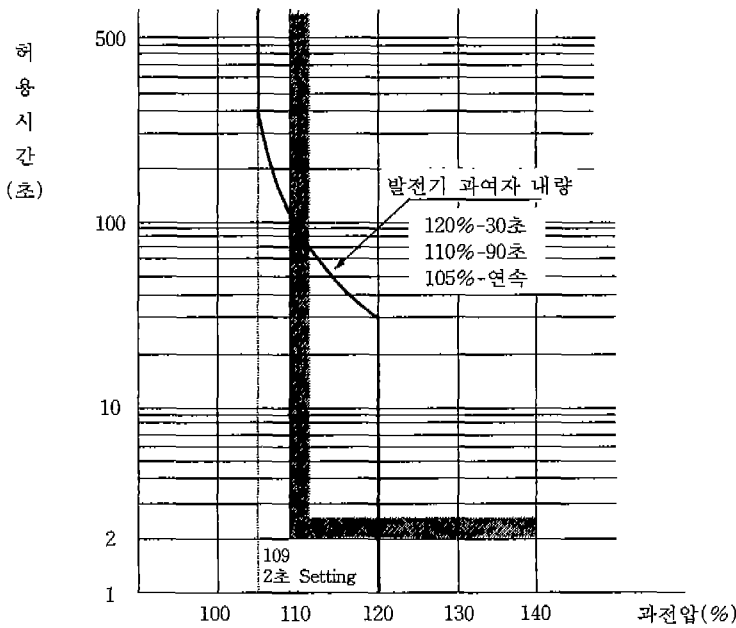
<그림 4>



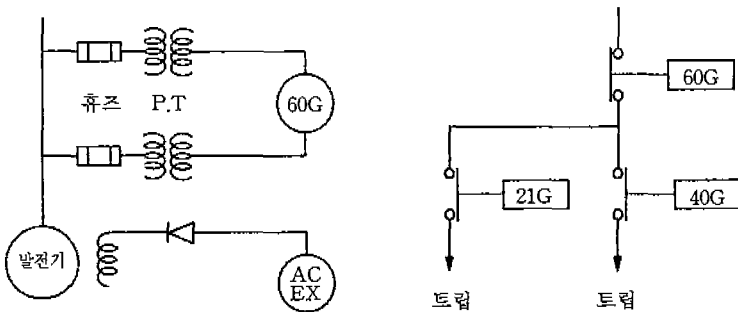
<그림 5> V/F 특성도



<그림 6> GEN. Run Back 계전기 접속도



<그림 7> 발전기 과전압 내량 특성 곡선



<그림 8> 전압 평형계전기 접속도 및 Blocking 결선도

$$IGCL = \frac{\text{발전기 용량(kVA)}}{\sqrt{3} \times \text{정격전압(kV)}} \times CT비 \times \frac{(\quad)\%}{100} = (\quad)(A)$$

계전기 Tap()A로 하고 CCT로 하고 CCT로 보정한다.

$$n_2 = \frac{IGCL(A)}{I RY Tap(A)} \times n_1 = (\quad) \text{ Turns}$$

차. 과전압 보호계전기(59G)

- 발전기, 변압기 등은 일반적으로 ±5%까지 연속 운전 가능(규격화)
- 발전기 전압 상승은 변압기가 먼저 과여자되어 과열 손상될 위험성 있어 이를 고려 과전압 보호 행한다.

(1) 결선

발전기 출구측 PT에서 전압의 상승, 하강을 검출한다.

(2) 정정 조건

- (가) 연속운전 허용 범위(정격전압의 ±5%)내에서 동작하지 말아야 한다.
- (나) 기기의 절연 허용 전압을 보호할 수 있어야 한다.

* 정격 전압의 125(%), 10분간

- (다) 부하 차단시의 전압 상승(Max. 115%, 2초)에서 오동작 말아야 한다.

- (라) 발전기 과전압 내량 곡선 내에서 동작해야 한다.

카. 전압 평형계전기(60G)

- 발전기 출력측에 있는 어느 한 PT 회로의 휴즈 단선시 전압을 공급받고 있는 계전기 및 AVR이 오동작하는 것을 방지하기 위해 설치
- 고장측 PT 전압이 20(V) 이하하는 경우 동작하여 트립회로를 Blocking함과 동시에 경보한다.

(1) 결선 및 Block도(그림 8)

타. AC Ex. 과전류 보호계전기(51E)

교류 여자가 과부하(=과전류)로 인하여 이상 온도상승을 일으켜 절연열화 또는 절연 파괴로 진전되는 것을 방지하기 위해 설치한다.

(1) 결 선(그림 9)

(2) 정정 조건

(가) AC-EX. 전기자 과전류 내량을 보호할 수 있어야 하고,

(나) SR 과전류 내량(전소자 건전시 및 1P 결함의 경우)을 보호할 수 있어야 하며,

(다) AC-EX. 2상, 3상 단락시 동작해야 한다.

(라) 발전기 주회로 및 주변 압기 고압측 2상, 3상 단락시의 이상 계자전류에 오동작하지 말아야 한다.

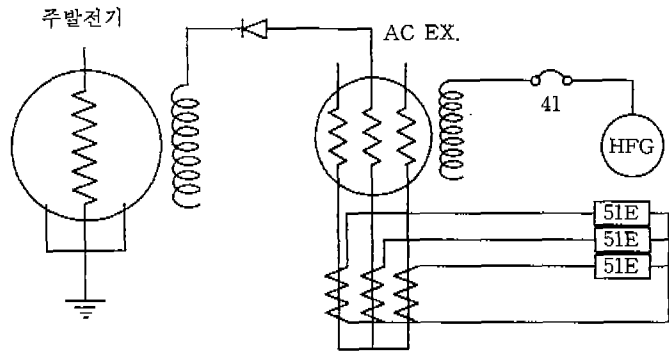
* 이상 계자전류는 발전기 주회로 3상 단락시가 최대, 그러므로 이에 오동작하지 않음을 확인한다.

(3) 정정치(그림 10)

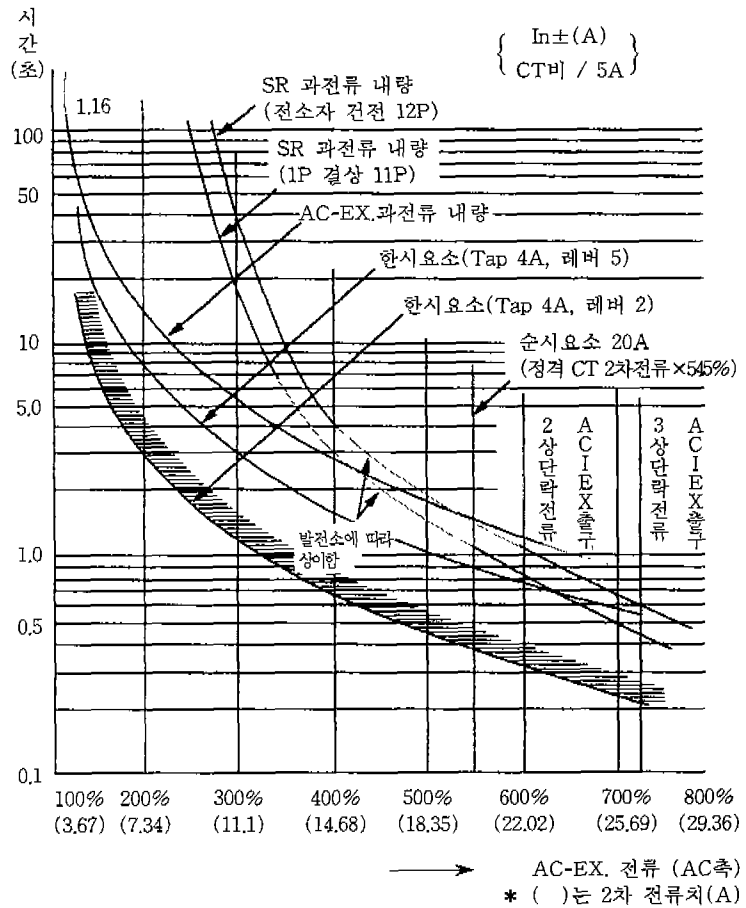
$$IRY > AC-EX. \text{ 정격전류} \times \frac{1}{CT비} (A)$$

파. 계자지락 보호계전기(64F)

계자권선에 2점 지락이 발생하면 고장점 간의 철심에 계자전류가 흘러회전자 철심, 절연물을 소손시키며, 또한 자기적 불평형을 야기시킴으로써 진동을 발생시켜 기계적, 전기적으로도 큰 사고로 파급될 염려가 있으므로 1점 지락을 빨리 검출, 점검 조치하여 큰 사고로의 진전을 방지하기 위해 설치한다.



<그림 9> EX 과전류 보호계전기 접속도



<그림 10> AC-EX 전류-시간 특성곡선

* 삼천포 #4 유닛의 경우 (500MW 표준화력)(그림 13)

여자 전압을 이용한 계자회로 접지검출 방식과 같으나 중성점 부근에서의 불감대를 없애기 위해 그림 13에서와 같이 검출용 전원을 추가시킨 것이 다르다.

* Brushless 형 회전자자의 경우 (울산 #1, 2, 3)(그림 14)

회전자 접지를 검출하기 위해 회전 여자기 중성점과 회전자 몸체 사이에 AC 전압을 별도로 인가하여 접지 여부를 검출하고 있다.

○ (접지 발생 여부 확인은 운전중 Brush Solenoid로 S1 Brush를 계자 코일 중성점에 붙여줄 때 접지되어 있다면 전류가 흘러 정보를 발생하게 된다.

* 울산 #4~6호기의 경우 (그림 15)

- R₇, R₈: 고저항, 각각 22(Ω)
- C_{K1}, C_{K2}: Coupling Capacitor 각각 2(μF)
- C_R: Winding Capacitor로 브릿지 회로 구성됨

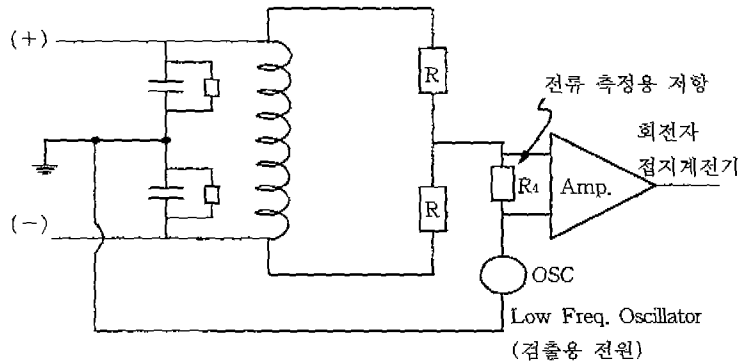
○ C_{K1}, C_{K2} 및 C_R 값의 합

$$C_T = \frac{(C_{K1} + C_{K2}) \cdot C_R}{(C_{K1} + C_{K2}) + C_R}$$

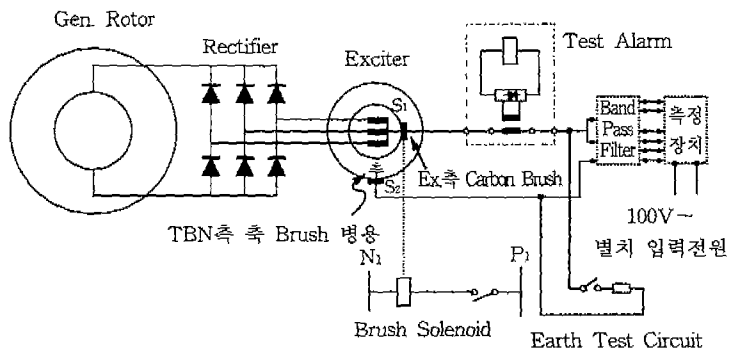
○ R₇, R₈ 이므로,

$$C_X = \frac{(C_{K1} + C_{K2}) \cdot C_R}{C_{K1} + C_{K2} + C_R}$$

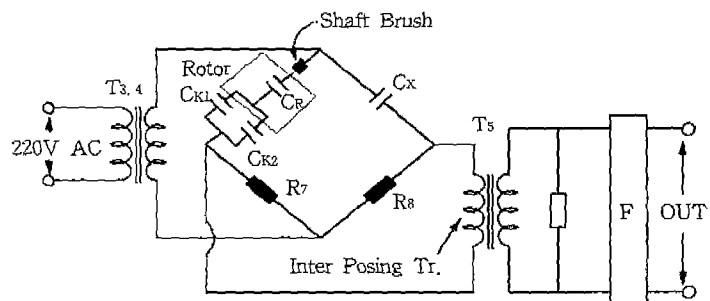
○ 브릿지 회로에서 알 수 있는 바와 같이 정상 운전 중에 C_T · R₈ = C_X · R₇로 평형을 이루고 있다가 Rotor Earth Fault가 발생하면 C_R 값이 저하하여 평형이 깨지므로 계전기가 동작한다.



<그림 13> Rotor Earth Fault 검출 회로



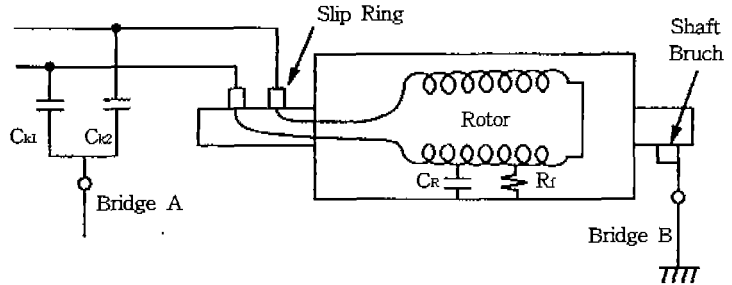
<그림 14> Brushless 회전자형 접지검출 회로(울산 #1, 2, 3)



<그림 15> 회전자 접지검출 회로(울산 #4~6 호기)

○ 실제 구성 회로도(그림 16)

- C_R : Coil과 Rotor Body 사이의 정전용량으로 절연 양호시 C_R 값이 커지고, 불량시는 저하하는 특성을 이용하여 접지 검출하고 있다
- R_r : Rotor Coil의 절연저항으로 절연 상태에 따라 C_R 값이 변한다.
- * 0~5000(Ω) 사이의 접지 검출함.



<그림 16> 실제 구성 회로도

(나) 여자 전압을 이용한 회로 방식

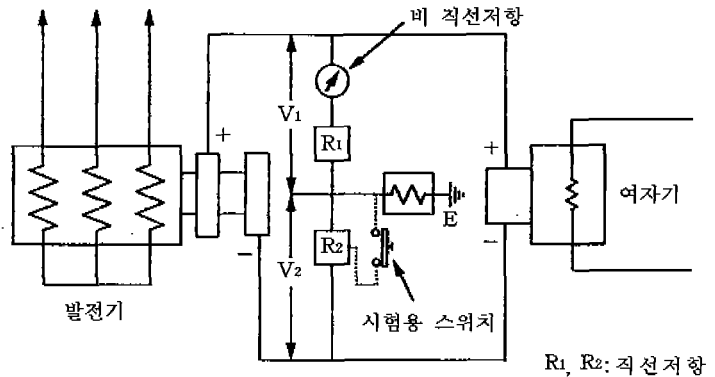
그림 18에서

$$\frac{V}{R+R'} \times R' = 5.3(V)$$

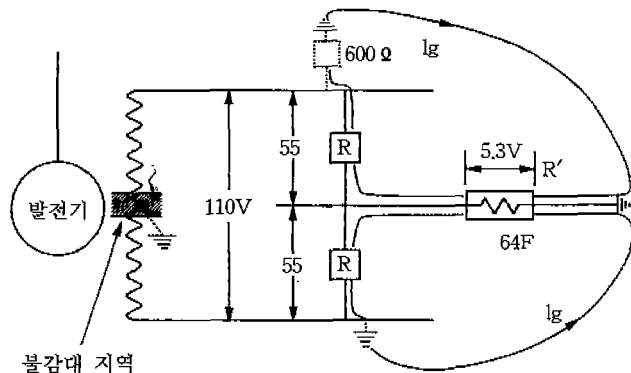
접지저항이 600(Ω)이라면,

$$\frac{55}{600+R+R'} \times R' \geq 5.3(V)$$

- * 전압이 낮은 중성점 부분에 불감대가 생겨 100(%) 접지 검출이 곤란하므로 별치 전원 방식을 많이 채용하고 있다.



<그림 17> 여자전압 이용 방식 계자회로 접지계전기 접속도



<그림 18> 계자 접지계전기 동작 설명도