



제55회 발송배전기술사 문제 해설 ④

◆ 자료제공 : 서울공과대학원
해설/기술사 용인송담대 교수 유상봉
기술사 두원공대 교수 김세동

본 시험정보는 '98. 9. 20 시행한 국가기술자
격검정 기술사분야에 출제된 1교시 ~ 4교시의
시험문제로서 4교시를 발췌하여 게재합니다.

[회원출판과]

4 교 시

【문제 1】 변압기보호용 계전기의 내부고장전로와
여지들입전류(inrush current)를 구분하여
검출 보호할 수 있는 기법을 설명하시오
(30점).

1. 개요

변압기 사고의 종류는

- (1) 권선의 상간단락 및 층간단락
- (2) 권선과 철심간의 절연파괴에 의한 지락사고
- (3) 고저압 권선의 혼축
- (4) 권선의 단선
- (5) 기타 Bushing Lead의 절연파괴

등이 있으며, 변압기 내부사고 보호용으로는 비
율차동계전기(87)를 가장 널리 사용하고 있다.

2. 비율차동계전방식

비율차동계전방식

비율차동계전기는 그림 1-1과 같이 억제코일
(Restraining coil)을 삽입하여 통과전류로 억제력을
발생시키고, 차전류로 동작력을 발생시키도록 한
방식으로

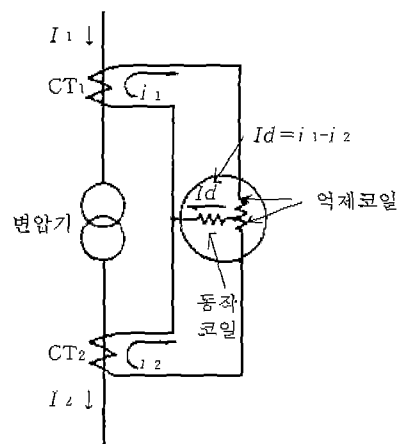


그림 1-1 비율차동계전방식



외부사고시 등의 과대전류가 통과할 때도 큰 차전류가 동작코일로 흐르지 않으면 계전기는 동작하지 않고 또 적은 전류가 통과할 때는 적은 차전류만으로 동작하도록 되어 있다.

이런 억제전류와 동작전류의 일정한 비율관계로 동작하는 까닭에 비율차동계전방식이라 한다.

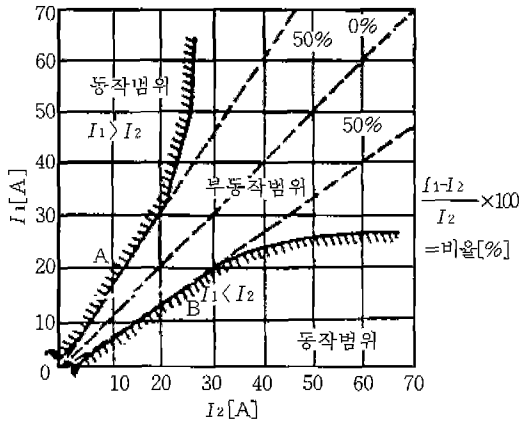


그림 1-2 비율차동특성

위 그림 1-2에서 전전시 및 외부사고시에는 $I_1 = I_2$ 가 되어 OP에 위치하므로 계전기는 동작하지 않는다. 그러나 내부사고시에 $I_1 = I_2$ 에 상당량의 차가 생기거나 위상이 반대로 되면 곡선 AB의 바깥쪽이 되어 계전기는 동작한다.

OA는 계전기의 최소동작 값이며 전류탭치의 30%정도이다.

3. 여자돌입전류 오동작 방지대책

이러한 비율차동계전기는 다음과 같은 문제점이 있다.

- ① 1차, 2차(또는 3차)측에 흐르는 전류 위상이 다르다.
- ② 변압비와 CT의 변류비가 달라 계전기로 유입되는 전류의 크기가 일치하지 않는다.
- ③ 변압기 Tap절환시 변류비 보정을 해야 한다.
- ④ 여자돌입전류로 동작하지 않도록 조치해야

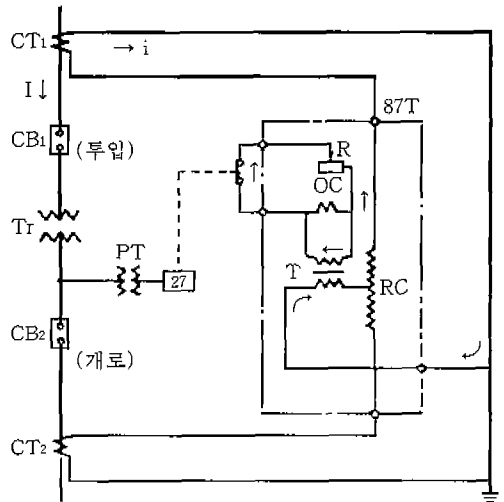
한다.

따라서, 이러한 문제를 해결하기 위해 보조 변류기를 사용하거나, Tap부 권선으로 된 계전기를 사용하며 비율특성의 퍼센트가 큰 것을 사용하여 오동작을 억제한다. 또, 위상각 보정은 Y-Δ 결선의 변압기에는 위상각이 30° 상이하므로 변압기 결선과 상반되게 1차에는 Δ, 2차에는 Y결선으로 동위상으로 만든다.

특히 여자 돌입 전류에 의한 오동작 방지로는 다음과 같은 대책이 사용된다.

(1) 감도저하법

변압기 여자돌입전류는 시간이 경과하면 감소하므로 한시동작계전기(또는 차단기 보조점접)를 사용하여 변압기 투입후 일정시간(약 수초)동안 동작코일을 By pass하여 계전기 동작감도를 대폭 저하시켜 돌입전류에 오동작하지 않도록 하고, 전압계전기 동작으로 By pass점접을 Open하여 감도를 정상으로 한다.



- | | |
|-------------|-------------------|
| R: 분류저항 | OC: 동작코일 |
| T: 변성기 | RC: 억제코일 |
| 27: 부속전압계전기 | I: CB1투입시의 여자돌입전류 |

그림 1-3 투입시 감도 저하방식

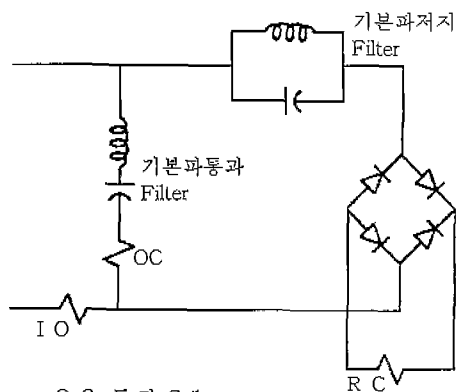
이 방식의 결점은

- (i) 차동계전기가 설정 또는 저감도의 상태에 있는 여자돌입전류의 시기에 내부사고가 발생된 경우 보통 사고제거 시간이 길어지게 되어 사고가 확대되는 점
- (ii) 내부사고시의 전압강하로 차동계전기가 저감도가 되어 (27b 점접개로 않됨) 차동계전기가 검출할 수 있는 감도까지 사고가 발전하지 않는다면 사고를 검출할 수 없기 때문에 보호범위가 좁아지는 점 등을 생각할 수 있다.

(2) 고조파 억제법

여자돌입전류의 파형은 고장전류의 파형과 다르며 고조파분(특히 제2고조파분)이 많이 포함되어 있는 점에 착안 그림 1-4 와 같이 차동전류를 필터회로로 나누어 기본파분으로 동작력을, 고조파분으로 억제력을 발생하도록하여 여자돌입전류로 오동작되지 않도록 한다.

이 방법은 변압기 투입시에도 고감도이며 고속도 동작을 기대할 수 있다.



O C: 동작 Coil
R C: 억제 Coil
I O: 순 시(과전류)동작요소

그림 1-4 고조파 억제방식

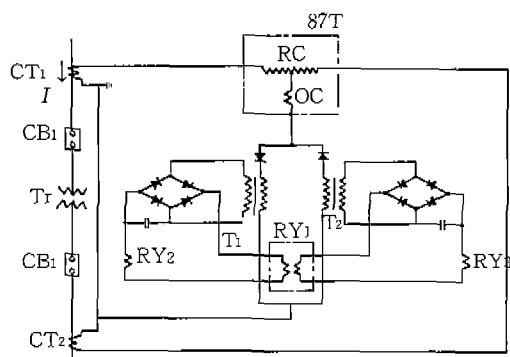
한편, 내부 사고시에도 변류기의 포화로 인하여 고조파분이 발생하여 억제요소 동작으로 계전기가 부동작할 우려가 있으며, 그 대책으로는 여자돌입전류의 최대값에서는 부동작하고 변류기가 포화되는 전류로 동작하는 과전류 동작요소를 설치하여

일정전류치 이상의 전류에서는 파형에 관계없이 동작시킨다.

이러한 차동계전기의 동작특성은 제2고조파분이 기본파분의 15~20%이상이면 동작이 억제되며, 과전류 동작요소는 CT 정격 2차전류의 8~10배 이상에서 동작하도록 되어 있다.

(3) 비대칭파 저지법

여자돌입전류의 가장 큰 특징은 파형에 있으며 단상변압기는 반드시 반파정류파형에 가까운 비대칭파를 발생하며 3상 변압기는 2상이 동일한 파형을 생성하고 있다. 이점에 착안한 것이 본 방식이다.



RY1: 차동요소 RY2, RY3: 과전류요소
87T: 비율차동계전기 I: CB1 투입시의 여자돌입전류
T1, T2: 변성기

그림 1-5 비대칭파 저지방식

여자돌입전류와 같이 비대칭파의 경우에는 변성기의 2차 출력에 차가 발생하고 이것이 2권선식 차동동작의 계전기(RY1)의 감도 이상이 되면 동작한다. 과전류 요소(RY2, RY3)는 각 변성기의 출력전류로서 동작하는 것으로서 정부 각반과전류의 검출을 수행한다.

여자돌입전류와 같은 비대칭파형에서는 3상중 1상 또는 2상의 RY1이 필히 동작하여 트립회로를 설정한다. 사고시에는 RY2, RY3와 함께 동작하고 직류분에 의해서 RY1이 동작하여도 트립회로는 유지된다.



【문제 2】 전력계통 고장시 대칭분 회로 구성 방법을 설명하십시오.

불평형 회로의 해석에는 대칭좌표법이 이용되며 아래와 같이 표현된다.

각 상전압을 V_a, V_b, V_c

각 상의 임피던스는 Z_a, Z_b, Z_c

영상전압, 전류 V_0, I_0

정상전압, 전류 V_1, I_1

역상전압, 전류 V_2, I_2

$$\left. \begin{aligned} V_0 &= \frac{1}{3} (V_a + V_b + V_c) \\ V_1 &= \frac{1}{3} (V_a + aV_b + a^2V_c) \\ V_2 &= \frac{1}{3} (V_a + a^2V_b + aV_c) \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

$$\left. \begin{aligned} I_0 &= \frac{1}{3} (I_a + I_b + I_c) \\ I_1 &= \frac{1}{3} (I_a + aI_b + a^2I_c) \\ I_2 &= \frac{1}{3} (I_a + a^2I_b + aI_c) \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

가 된다.

$$a = \epsilon^{j\frac{2}{3}\pi} = -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}$$

$$a^2 = \epsilon^{j\frac{4}{3}\pi} = -\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}$$

$$a^3 = 1$$

따라서 $1 + a + a^2 = 1 + (-\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2})$

$+ (-\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}) = 0$ 가 된다.

위의 (1) 및 (2)식에서 V_a, V_b, V_c 와 I_a, I_b, I_c 를 구하면

$$\left. \begin{aligned} V_a &= V_0 + V_1 + V_2 \\ V_b &= V_0 + a^2V_1 + aV_2 \\ V_c &= V_0 + aV_1 + a^2V_2 \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

$$\left. \begin{aligned} I_a &= I_0 + I_1 + I_2 \\ I_b &= I_0 + a^2I_1 + aI_2 \\ I_c &= I_0 + aI_1 + a^2I_2 \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

(1)식 및 (2)식을 살펴보면 정상상태(3상평형)에는 영상분, 역상분 전압 전류는 존재하지 않고 정상분은 a상의 전압, 전류 V_a, I_a 와 같게 되는 것을 알 수 있다.

실제의 불평형 3상전류 I_a, I_b, I_c 는 아래에 표시하는 바와 같이 3개의 평행된 전류성분 I_0, I_1, I_2 로 구성되어 있는 것으로 생각할 수 있다.

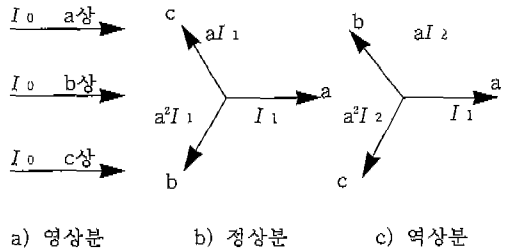


그림 2-1 대칭분 전류

I_0 는 각상에 동일한 위상과 크기를 갖는 평형 단상전류이므로 영상전류라하고 지락고장시 지락 전류에 해당한다.

I_1 은 전원과 동일한 상회전 방향을 가지므로 정상전류라 한다.

I_2 는 전원과 반대인 상회전 방향을 가지므로 역상전류라 한다.

고장의 경우 대칭분 회로를 구성한다.

고장에는 3상단락, 2상단락, 1선지락 고장 등이 있을 수 있겠으나 가장 빈도가 많은 1선지락 고장을 예로 든다.

1선지락 고장

3상 평형 회로에서 중성점을 Z_N 의 임피던스로 접지하였을 때 a상에서 1선지락 사고가 나면

$$I_b = I_c = 0$$

$V_a = 0$ 이므로 대칭분 전압, 전류는

$$I_0 = \frac{1}{3} (I_a + I_b + I_c) = \frac{1}{3} I_a$$

$$I_1 = \frac{1}{3} (I_a + a^2 I_b + a I_c) = \frac{1}{3} I_a$$

$$I_2 = \frac{1}{3} (I_a + a I_b + a^2 I_c) = \frac{1}{3} I_a$$

$$V_0 + V_1 + V_2 = V_a = 0$$

따라서 $I_0 = I_1 = I_2$ 이고, 크기와 방향이 같으므로

발전기의 기본식

$$V_1 = E_a - I_1 Z_1$$

$$V_2 = -I_2 Z_2$$

$$V_0 = -I_0 Z_0 \text{ 는}$$

$$V_1 = E_a - I_0 Z_1$$

$$V_2 = -I_0 Z_2$$

$$V_0 = -I_0 (Z_0 + 3Z_N) \text{로 표시할 수 있고}$$

양변을 더하면

$$V_0 + V_1 + V_2 = E_a - I_0 (Z_0 + Z_1 + Z_2 + 3Z_N) = 0$$

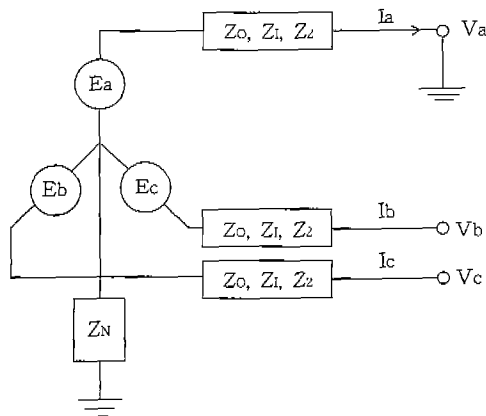
$$\therefore I_0 = \frac{E_a}{Z_0 + Z_1 + Z_2 + 3Z_N}$$

즉 등가회로는 그림 2-2(b)와 같이 된다.

이 등가회로는 대단히 중요하며, 지락전류 계산의 기본이 된다.

여기서 $Z_1 = Z_2 \ll Z_0 + 3Z_N$ 이면

$$\therefore I_0 = \frac{E_a}{Z_0 + 3Z_N} \text{가 된다.}$$



(a) 고장 회로

【문제 3】 전선의 경제적인 굵기를 결정하는 켈빈의 법칙을 설명하시오.

전선에 전류가 흐르면 저항에 의한 발열(전력 손실) 때문에 전선의 온도가 올라간다.

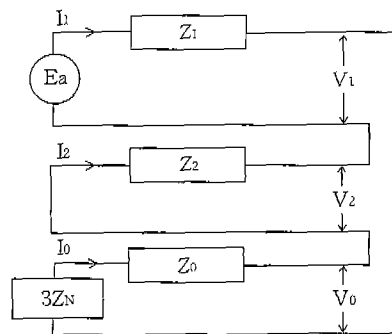
전선의 온도가 어느 한도 이상으로 되면 전선의 기계적인 강도, 기타 여러가지 성능이 저하되기 때문에 상기 한도를 넘지 않게끔 전류량을 어느 수준 이하로 억제하지 않으면 안된다.

이 온도에 대한 한도를 보통 최고허용온도라 하고 이에 대응하는 전류를 전선의 허용전류 또는 안전전류라고 말한다. 물론 허용전류는 전선의 재질, 구조, 표면상태, 주위온도, 일사량, 풍속, 비나 눈, 표고 등에 따라서 크게 좌우되지만 중요한 것은 전선의 최고허용온도를 넘어서는 안된다는 것이다.

전선의 최고허용온도는 여러가지 시험을 실시한 결과 단시간의 과부하에 대해서는 100(°C)로 하고 있으나 장시간 연속 사용할 경우에는 전선 접속 장소의 열화 등을 고려해서 허용온도를 90(°C)로 억제한다는 것을 표준으로 삼고 있다.

따라서, 가공 송전선로의 주위온도가 한여름에는 40(°C)로 되었다면 전선의 온도상승은 50(°C)를 넘지 않는 범위에서 송전하지 않으면 안된다.

허용전류의 계산에는 주위 온도를 40(°C), 일사량을 0.1[W/cm²], 풍속을 0.5[m/s]로 하는 것이 보통이다.



(b) 등가 회로

그림 2-2 1선지락 고장



이렇게 해서 허용전류가 정해지면 단거리 송전선로에서는 이 허용전류로 송전용량이 억제되어 버린다. 그러나, 일반적인 경우에는 직렬 리액턴스가 커서 이것이 송전용량을 좌우하게 되므로, 이 송전용량으로 정해지는 전류라든가 케이블의 법칙에 의한 경제적 전류용량은 그 전선의 허용전류보다 훨씬 더 작은 값으로 된다는 것이 보통이다.

여기서 케이블의 법칙이란 “전선 후에 전선의 단위길이를 기준으로 해서 여기서 1년만에 잃게 되는 손실 전력량의 금액과 전설시 구입한 단위 길이의 전선비에 대한 이자와 상각비를 가산한 년경비가 똑같게 되도록 하는 굵기가 가장 경제적인 전선의 굵기로 된다” 라고 하는 것이다.

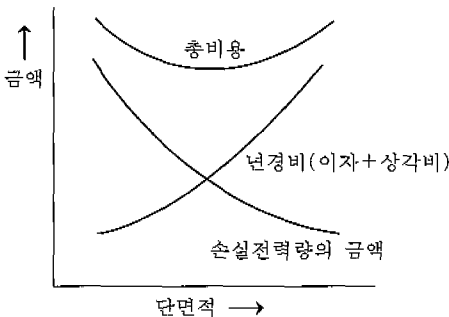


그림 3-1 경제적인 전선의 굵기 선정

여기서,

M: 전선 1[kg]의 가격(원)

N: 1년간 전력량[kW년]의 요금(원)

P: 1년간의 이자와 상각비와의 합계(소수표시)

A: 전선의 굵기[mm]

σ : 가장 경제적인 전류 밀도[A/mm²]

라고 하고, 가령 경동선을 사용한다면 이것의 무게가 8.89×10^{-3} [kg/m·mm²], 저항은 $1/55$ [Ω /m·mm²]이므로

전선 1[m] 내의 손실 전력

$$= (\sigma A)^2 \times \frac{1}{55A} \times 10^{-3} [\text{kW}]$$

전선 1[m]의 중량

$$= 8.89 \times 10^{-3} \times A [\text{kg}] \text{로 된다.}$$

따라서, 케이블의 법칙에 의해서

$$= (\sigma A)^2 \times \frac{1}{55A} \times 10^{-3} \times N = 8.89 \times 10^{-3} \times A \times MP$$

$$\therefore \sigma = \sqrt{\frac{8.89 \times 55 MP}{N}} [A/mm^2] \text{로 된다.}$$

이것으로 가장 경제적인 굵기의 전선을 흐르는 전류밀도가 구해진다. 그러므로 발전소의 출력이 라든가 송전선의 전압이 정해지면 전선에 흘러야 할 전류의 값을 알게 되므로, 이 전류값을 식의 전류밀도 σ 로 나누어 줌으로써 가장 경제적인 굵기를 구할 수 있게 된다.

식에서 알 수 있듯이 전선의 가격 M이 비쌀수록, 은행의 이자라든가 상각비 P가 클수록, 그리고 전력요금 N이 쌀수록 전류밀도 σ 는 커지고 전선의 굵기 A는 그만큼 늘어날 것이다.

[문제 4] 장거리 송전선로의 T형 등가회로를 구하고 일반회로정수 A, B, C, D를 구하시오(20점).

단, · 1선의 직렬 임피던스: $Z = z\ell$

· 1선의 병렬 어드미턴스: $Y = y\ell$

· 전선의 길이: ℓ

· 특성임피던스: $Z_0 = \sqrt{\frac{Z}{y}}$

· 전파정수: $\gamma = \sqrt{Zy}$

T형 회로는 그림 4-1에 나타낸 바와 같이 정전용량(어드미턴스 Y)를 선로의 중앙에 집중시키고 Z를 2등분해서 그 양측에 나누어준 것이다.

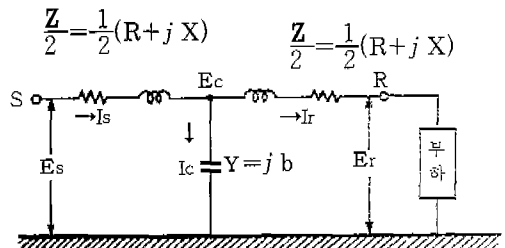


그림 4-1 T형 회로

이 경우 각 부분의 전압, 전류

$$E_c = E_r + \frac{1}{2} Z I_r$$

$$I_c = Y E_c$$

로 되므로 송전단의 전압 및 전류는 다음과 같이 된다.

$$\begin{aligned} E_s &= E_c + \frac{Z}{2} I_s = E_r + \frac{1}{2} Z I_r + \frac{Z}{2} (I_r + Y E_c) \\ &= E_r + Z I_r + \frac{ZY}{2} (E_r + \frac{1}{2} Z I_r) \\ &= E_r + Z I_r + \frac{ZY}{2} E_r + \frac{Z^2 Y}{4} I_r \\ &= (1 + \frac{ZY}{2}) E_r + Z (1 + \frac{ZY}{4}) I_r \end{aligned}$$

$$I_s = I_r + I_c = I_r + Y E_c$$

$$= I_r + Y (E_c + \frac{1}{2} Z I_r)$$

$$= Y E_r + (1 + \frac{ZY}{2}) I_r$$

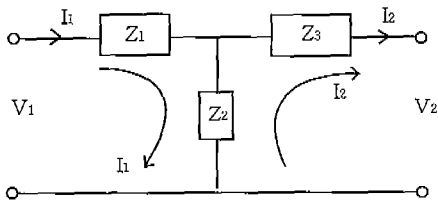
∴ 4단자 정수 A, B, C, D의 값은

$$\begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 + \frac{ZY}{2} & Z(1 + \frac{ZY}{4}) \\ Y & 1 + \frac{ZY}{2} \end{bmatrix}$$

가 된다.

<참고>

상기 방법외에 4단자 정수를 구하는 방법을 추가로 설명하면 다음과 같다.



상기 그림과 같은 회로에서

$$V_1 = A V_2 + B I_2$$

$$I_1 = C V_2 + D I_2$$

(1) 2차 회로 (수전단)을 개방 또는 단락시험에 의하여 구하는 방법

$$\begin{aligned} A &= \frac{V_1}{V_2} \Big|_{I_2=0} = \frac{(Z_1 + Z_2) I_1}{Z_2 I_1} \\ &= \frac{Z_1 + Z_2}{Z_2} = 1 + \frac{Z_1}{Z_2} \end{aligned}$$

$$C = \frac{I_1}{V_2} \Big|_{I_2=0} = \frac{I_1}{Z_2 I_1} = \frac{1}{Z_2}$$

$$\begin{aligned} B &= \frac{V_1}{I_2} \Big|_{V_2=0} = \frac{(Z_1 + \frac{Z_2 Z_3}{Z_2 + Z_3}) I_1}{\frac{Z_2}{Z_2 + Z_3} I_1} \\ &= \frac{\frac{Z_1(Z_2 + Z_3) + Z_2 Z_3}{Z_2 + Z_3}}{\frac{Z_2}{Z_2 + Z_3}} \\ &= \frac{Z_1 Z_2 + Z_2 Z_3 + Z_1 Z_3}{Z_2} \end{aligned}$$

또는

$$= Z_1 + \frac{Z_1 Z_3}{Z_2} + Z_3 = Z_1 + (1 + \frac{Z_1}{Z_2}) Z_3$$

$$\begin{aligned} D &= \frac{I_1}{I_2} \Big|_{V_2=0} = \frac{I_1}{\frac{Z_2}{Z_2 + Z_3} I_1} \\ &= \frac{Z_2 + Z_3}{Z_2} = 1 + \frac{Z_3}{Z_2} \end{aligned}$$

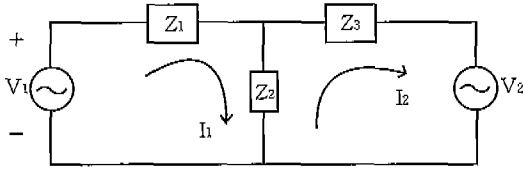
(2) 회로를 나누어(등분하여) 행렬로 구하는 방법

$$\begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & Z_1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ \frac{1}{Z_2} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & Z_3 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} =$$

$$\begin{bmatrix} 1 + \frac{Z_1}{Z_2} & Z_1 \\ \frac{1}{Z_2} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & Z_3 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 + \frac{Z_1}{Z_2} & (1 + \frac{Z_1}{Z_2}) Z_3 + Z_1 \\ \frac{1}{Z_2} & 1 + \frac{Z_3}{Z_2} \end{bmatrix}$$



(3) 키르히호프법칙에 의하여 구하는 방법



$$V_1 = (Z_1 + Z_3) I_1 - Z_2 I_2 \quad \dots \text{① 식}$$

$$V_2 = -(Z_2 + Z_3) I_2 + Z_2 I_1 \quad \dots \text{② 식}$$

② 식에서

$$V_2 + (Z_2 + Z_3) I_2 = Z_2 I_1$$

$$\therefore I_1 = \frac{1}{Z_2} V_2 + \frac{Z_2 + Z_3}{Z_2} I_2 \quad \dots \text{③ 식}$$

③식을 ①식에 대입

$$V_1 = (Z_1 + Z_2) \frac{1}{Z_2} V_2 + (Z_1 + Z_2) \left(\frac{Z_2 + Z_3}{Z_2} \right) I_2$$

$$\begin{aligned} I_2 - Z_2 I_2 &= \frac{Z_1 + Z_2}{Z_2} V_2 \\ &+ \left(\frac{Z_1 Z_2 + Z_1 Z_3}{Z_2} + Z_2 + Z_3 - Z_2 \right) I_2 \\ &= \frac{Z_1 + Z_2}{Z_2} V_2 + \frac{Z_1 Z_2 + Z_2 Z_3 + Z_1 Z_3}{Z_2} I_2 \end{aligned}$$

(4) 검산

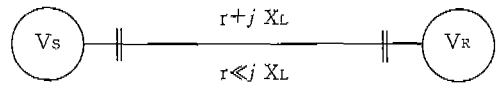
$$\begin{aligned} AD - BC &= \frac{Z_1 + Z_2}{Z_2} \frac{Z_2 + Z_3}{Z_2} \\ &= \frac{Z_1 Z_2 + Z_2 Z_3 + Z_1 Z_3}{Z_2} \frac{1}{Z_2} \\ &= \frac{1}{(Z_2^2)^2} (Z_2^2)^2 = 1 \end{aligned}$$

[문제 5] 유연 송전시스템 (FACTS)의 개념과 적용되는 설비를 설명하시오(20점).

1. FACTS의 개념

유연송전시스템(Flexible AC Transmission System)이란 HVDC를 제외한 전력전자를 응용한 대전력 계통의 설비를 통칭한 것으로 가변교류 송전시스템이라고도 한다. 최근의 많은 전력회사들은 증가하는 전력수요에 대비하기 위해 발송배전설비의 신규건설을 추진하고 있지만 심각한 부지확보문제를 안고 있으며, 지역간 전력유통 및 설비 효율화를 위하여 계통연계, 장거리 송전방식을 채택하고 있으나 안정도의 저하, 병행선로의 두프조류 증가에 의한 계통운용상의 송전 한계에 부딪치고 있다. 따라서 기존의 설비를 하드웨어상으로 용량 한계까지 송전하기 위한 방법으로 전력전자 기술을 이용 고속으로 고전압, 대전류 송변전 설비를 제어하는 방법인 FACTS를 제시하게 된 것이다.

일반적으로 계통을 그림과 같이 표시할 경우 송전전력 P는



$$P = \frac{V_s V_R}{X_L} \sin \delta \text{ [MW]}$$

V_s : 송전단 전압[kV]

V_R : 수전단 전압[kV]

δ : 송전단 전압과 수전단 전압의 상차각

X_L : 선로의 리액턴스[Ω]

이며, 이를 조정함으로써 송전용량을 증대시킬 수 있다.

현재 고려하고 있는 FACTS란 이 제어 변수의 상관 관계 및 응용을 이용한 것으로 그 종류와 원리 및 응용은 표 5-1과 같다.

이러한 FACTS는 종래의 전력시스템 기술의 한계를 극복하고 다음과 같은 효과를 가져올 것으로 예상된다.

- 전력설비의 사고영향 최소화-안정적 전력시스템 운용 실현
- 송전선로의 능동적 전력제어-전력수송설비의 이용률 극대화

표 5-1 대표적인 FACTS의 설비와 응용

종 류	제 어 변 수			원 리	응 용
	V	δ	X_L		
SVC, STATION	○			선로중간 또는 양단에서 연속적인 무효전력 보상	조류제어 안정도 향상
TCSC			○	선로에 직렬로 사이리스터제어 가변 커패시터를 삽입. 리액턴스보상	조류제어 안정도 향상 SSR억제
TCPR		○		전원단에 위상변환기를 설치하여 위상 조정	조류제어 안정도 향상
UPFC	○	○		전원단에 설치된 직렬형 전력변환장치에 의해 전압 위상각 조정	조류제어 안정도 향상 SSR억제

- 전력수송 능력의 극대화-송전선로의 증설 최소화
 - 전압변동 억제 및 신속한 사고 대처능력 향상 -전력품질 및 신뢰도 향상
- 각 설비의 종류와 특성은 다음과 같다.

2. FACTS 적용 설비

(1) TCSC (Thyristor-Controlled Series Capacitor)

전력계통의 조류제어 및 안정도 제어에 가장 효과적인 방법은 선로 임피던스나 위상각을 제어하는 것이다. 송전선의 임피던스는 대부분 유도성이고 저항분은 5~10%에 불과하기 때문에, 직렬콘덴서를 선로에 삽입함으로써 계통의 임피던스를 쉽게 제어할 수 있다.

이 직렬콘덴서가 선로 리액턴스를 보상하는 정도는

$$S = \frac{X_c}{X_L} \quad (0 \leq S < 1) \text{ 이며}$$

여기서, X_L : 선로 임피던스, X_c : 직렬콘덴서 리액턴스

직렬보상후의 선로임피던스는,

$$X = X_L - X_c = X_L(1-S)$$

로 되어, 송전선로의 임피던스를 줄임으로써 송전선로의 전기적 거리를 줄일 수 있다. 이와 같이 직렬콘덴서를 투입함으로써, 정전압 송전계통에서의 송전용량을 증대시키고 조류분포를 적절히 안

배할 수 있다는 효과를 얻을 수 있다. 더욱이 이러한 효과가 자율적, 속응적으로 얻어진다는 점이 가장 큰 특징이라고 할 수 있다. 직렬콘덴서의 장점으로는,

- ① 다른 방식에 비해 설비비가 극히 작고, 공사기간이 짧다.
- ② 기존의 선로에 설치하기가 용이하다.

반면에 단점으로는,

- ① 직렬콘덴서 보상시 이상현상이 발생할 우려가 있다.
- ② 선로고장시 고장전류가 직렬콘덴서에 흐르게 되므로, 이에 대한 보호장치가 필요하며, 보호장치로 사용하는 보호간극이 방전하면 과도안정도가 저하될 수 있다.

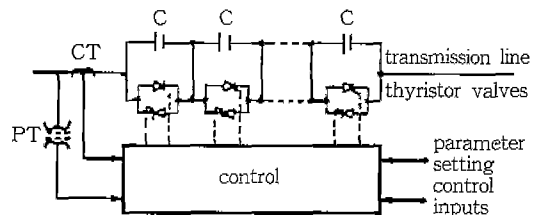


그림 5-1 TCSC의 구조



(2) STATCON(Static Condenser)

교류 송전선로 및 배전선로는 직렬 리액턴스와 병렬 콘덴턴스로 구성되어 있기 때문에, 부하 및 역률의 변동에 따라 송전선로의 전압 분포가 바뀌고 수전단에서 큰 폭의 전압변동을 일으킬 수 있다.

이러한 문제들을 해결하기 위해 대전력 반도체 소자 및 전력전자 기술을 이용하여 고속 정밀한 전압 및 무효전력 제어가 가능하고 보수가 용이한 정지형 무효전력보상장치(SVC: Static Var Compensator)가 실용화 되었다. SVC는 Thyristor를 이용하여 병렬콘덴서나 리액터를 신속하게 접속제어(0.04초)하여 무효전력 및 전압을 제어하는 장치라고 정의할 수 있다.

SVC의 특징은 응답특성이 빠르며 조작에 제한이 거의 없고, 신뢰성이 높으며 유지보수가 간단하고 조작성이 뛰어나다는 것에 있다.

무효전력 보상장치의 방식은 여러가지가 있으나, GTO(Gate Turn Off) Thyristor의 대용량화가 실현됨에 따라, 병렬콘덴서나 리액터를 접속제어하지 않고도, 자력식 인버터를 이용하여 유효전력을 공급할 수 있는 새로운 형식의 정지형 무효전력 보상장치가 개발되었다. 이 장치는 종래의 SVC의 성능을 혁신적으로 개선하여 동기조상기와 비슷한 무효전력의 연속제어성을 갖기 때문에, STATCON(Static Condenser)이라고 부른다.

STATCON은 그림 5-2에서 보이는 것처럼, 기본

적으로는 직류 축전용 콘덴서로 구동되는 3상 인버터로 되어 있으며, 3상 출력 전압은 교류 계통 전압과 위상이 일치하도록 되어 있다.

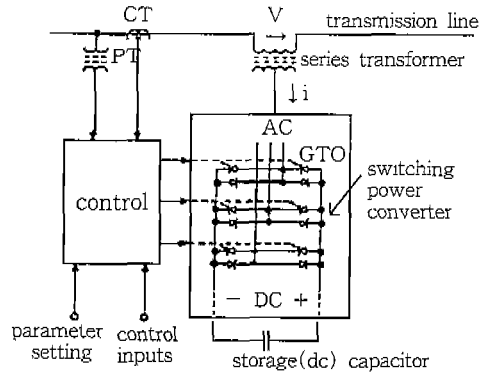


그림 5-2 STATCON의 구조

(3) TCBR (Thyristor-Controlled Braking Resistor)

발전소로부터 수요지까지 대전력 수송하는 전원 송전선에서 단락과 같은 사고가 발생하면, 발전기에 막대한 가속력이 더해져, 최악의 경우 발전기가 탈조를 일으키게 된다. 이러한 가속력에 의한 발전기의 탈조를 방지하고 과도안정도를 향상시키는 유력한 수단 중의 하나로서, 발전기 단자에 병렬로 저항부하를 삼입해서 발전기의 기계적 가속에너지를 전기적에너지로 소비·발산시켜 가속력을 감소시키는 방법이 있다. 이 저항은 제동저항이라

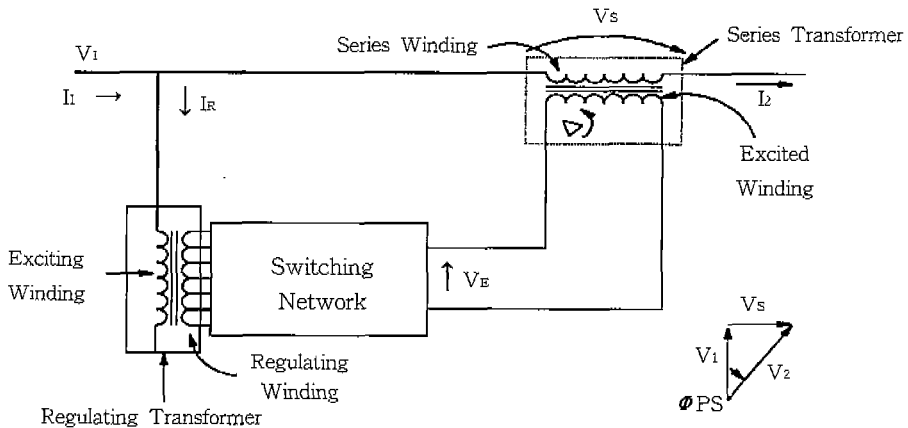


그림 5-4 위상조정변압기의 구조

고 하며, 상차각 동요의 제1과의 과도안정도향상을 주목적으로 하나, 반복적으로 투입하여, 계통동요 및 다른계통소자에 의해 야기되는 저주파동요 현상[Subsynchronous Resonance (SSR)]을 억제하는 역할을 기대할 수 있다.

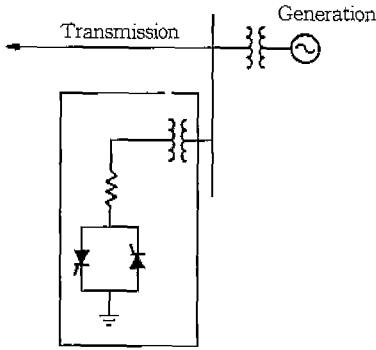


그림 5-3 TCBR의 구조

(4) TCPR (Thyristor- Controlled Phase Angle Regulator)

송전선로의 전력 조류를 제어하는 가장 간단한 방법은 선로 양단 전압의 위상각 차를 조정하는 것으로, 이를 위해 위상조정변압기가 사용되어 왔다. 위상각의 변화는, 그림 5-4에 보이는 것처럼, 선로의 상전압에 직각인 가변의 전압원을 삽입하거나 축출함으로써 얻어진다. 이러한 직각 성분의 전압원은 나머지 2상에 연결한 변압기의 적절한 Y-Y 및 $\Delta-\Delta$ 결합으로부터 얻어진다. 종래의

위상조정변압기에서는, 그림 5-4에 보이는 것처럼, 부하시 탭 변환기(Load-Tap Changing: LTC)장치와 역순 스위치를 이용해서 위상을 조정하였으나, 이러한 장치들은 작동속도가 느리고 사용빈도도 제한되는 단점이 있었다.

(5) UPFC (Unified Power Flow Controller)

전압, 위상각을 제어하는 다른 대안으로, 그림 5-5에 보이는 것처럼 스위칭 콘버터를 이용한 보상장치를 생각할 수 있다. 여기서 인버터 2는, GTO Thyristor를 이용한 전압원 인버터로, 선로에 직렬로 전압원을 투입한다. 이 투입전압원과 계통전압과의 위상관계에 따라, 그림 5-5의 페이지선도에 보이는 것처럼, 다음과 같이 위상각조정이나 전압조정을 할 수 있고 두가지 조정을 동시에 할 수도 있다.

- (a) 단자전압 및 위상각 제어
- (b) 단자전압 조정
- (c) 단자전압 및 선로임피던스 조정
- (d) 단자전압 및 위상각 조정

전압원 인버터는 보상전압 투입에 따라 변동되는 무효전력을 공급 또는 흡수할 수 있고, DC 콘덴서를 통하여 유효전력까지 공급 또는 소비할 수 있다. 이 장치는 송전에 영향을 미치는 3가지 파라미터(위상각, 전압, 선로 임피던스)를 종합적으로 제어할 수 있다는 점에서 종합조류제어기(UPFC)라고 불리며, 궁극적인 송전계통 보상장치라고 할 수 있다. 예를들면, 대상 전력계통의 사고에 보다

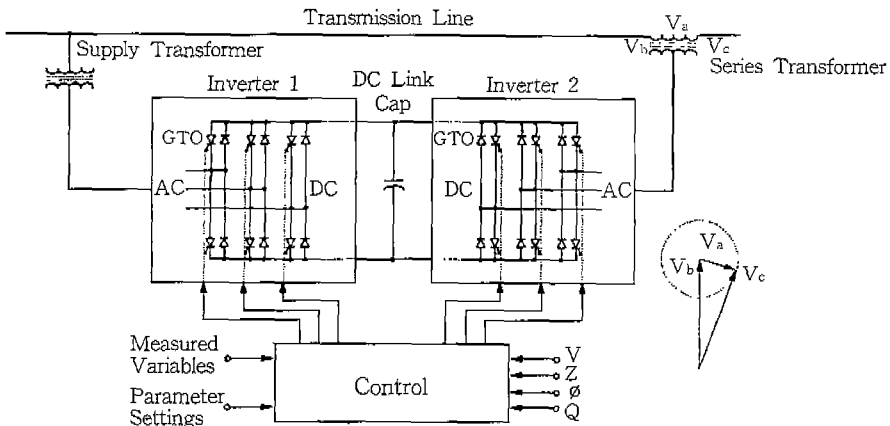


그림 5-5 upfc 구조



효율적으로 대처하기 위해, 계통의 파라미터를 실시간으로 제어할 수 있으며, 송전선로의 다양한 제어요구에 적절히 응할 수 있기 때문에 전력계통 운용의 개념을 혁신시킬 가능성이 있다.

이 장치는, 고속이상기 또는 연속형 위상조정기 (High Speed Phase Shifter: HSPS), 반도체화 고속이상기(Solid State Phase shifter: SSPS)라고 불리기도 한다.

[문제 6] 전력계통의 전압 안정도의 개념과 악화요인을 열거하십시오.

안정도란 계통에 발생한 과도적인 수급 불균형에 대하여 계통이 원래의 운전상태로 되돌아 갈수 있는가를 따지는 것으로 발전기 동기운전의 가부를 논하는 위상각 안정도와 전압붕괴의 유무를 논하는 전압 안정도의 2가지로 나눌 수 있다.

1. 전압 안정도의 개념

(1) 그림 6-1과 같은 계통에서 송전단 전압 E_s 가 일정하다고 할 때 역률을 Parameter로한 유효 전력 P 와 수전단 전압 E_r 의 관계는 그림 6-2와 같이 된다. 그림 6-2의 곡선에서 보면 이론적으로 모든 전력에 대하여 각각의 역률에서 2개의 전압이 정해지고, 또 약간의 부하 변동으로 수전단 전압 E_r 이 크게 변동하는 임계점이 존재함을 알 수 있다.

수전단 전압 E_r 이 임계점의 상부에서 운전되다가 어떤 이유로든 임계점 아래로 내려오게 되면 전압은 붕괴된다.

(2) 실제 계통에서 전압붕괴의 가능성은 부하의 성질에 좌우된다.

부하가 유도전동기와 같이 소비전력이 일정한 것이라면 그 상황은 더욱 악화되며, 반대로 전열기와 같이 전압강하로 소비전력이 감소되는 부하라면 전압붕괴의 위험성은 작아진다.

(3) 특히 대전력 장거리 송전선을 통해 유도 전동기와 같이 거의 일정한 전력을 소비하는

부하에 전력을 공급하는 경우 전압이 내려가면 전류는 증가하고, 증가한 전류로 인해 선로 전압강하가 커져서 E_r 는 더 내려가고... 하는 악순환을 반복하다가 결국은 임계점을 지나 전압은 붕괴된다.

결국 상차각에 의한 계통의 안정도는 충분히 유지되는 경우라도 전압이 붕괴되는 위험성이 있다.

(4) 이상과 같은 상황을 고려하여, 부하의 전압-전력 특성에 따른 수전단 전압의 안정성의 정도를 전압 안정도라고 한다.

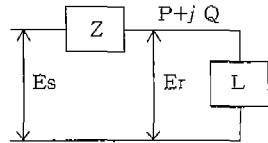


그림 6-1

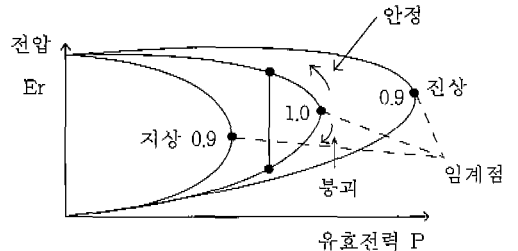


그림 6-2

2. 전압 안정도의 악화 요인

(1) 실제 계통에서 전압붕괴의 가능성은 부하의 성질에 따라 좌우된다. 유도 전동기와 같이 소비전력이 일정한 것이라면 상태는 더욱 악화 될 것이며, 전열기와 같이 전압강하로 소비전력이 감소되면 전압붕괴 현상의 진행은 둔화된다.

(2) 여러 회선, 예컨대, 3회선 병렬 장거리 송전선로중 1회선이 고장으로 제거되었다면, 1회선의 리액턴스를 X , 정전용량을 C 라고 할 때 합성 리액턴스는 $X/3$ 에서 $X/2$ 로 증가하고 역률 개선에 기여하고 있던 정전용량은 $3C$ 에

서 2C로 감소하게 된다. 이 결과로 전압강하와 무효전력 손실 I^2X 는 증가하고 대지정전 용량의 감소로 역률이 나빠져서 전압 불안정의 요인이 된다.

(3) 전부하에서 역률이 나빠지면 전압붕괴를 일으키는 원인이 되므로 송전전력의 역률을 1.0 근처로 유지할 필요가 있다.

3. 전압 안정도의 향상 대책

(1) 송전선로 수송전력의 역률을 1.0 근처로 유지한다. 위의 그림 6-2에서 보듯이 역률이 지상으로 나빠지면 전압붕괴를 방지할 수 있는데 이를 위해서는

- ① 부하의 역률 개선
- ② 부하점에 콘덴서 설치

③ 수전단에 동기 조상기 또는 SVC, STATION 등의 정지형 동기 조상기를 설치해서 필요한 진상 무효 전력을 공급한다.

(2) 송전선로의 임피던스를 작게 한다.

부하전류를 I , 송전선로의 임피던스를 Z_L 이라 할 때 선로의 전압강하는 주로 $e = I \times Z_L$ 에 의한 것이므로 Z_L 을 감소시키면 수전단의 전압강하를 줄일 수 있다. 선로 임피던스를 줄이기 위해서는 다음의 방법들을 사용한다.

- ① 송전선에 복도체를 사용한다.
- ② 1회선 송전보다는 2회선 이상의 다회선으로 송전한다.
- ③ 계통 연계에 의하여 루프 방식으로 송전한다.
- ④ 송전선의 직경을 크게 한다.
- ⑤ 직렬 콘덴서로 선로의 리액턴스를 보상한다.

전기 기술사 소방강좌

• 노동부 • 교육부 • 지자체 지정 교육기관

“전기에 관한 한 최고의 명문임을 자부합니다”

1964년 국내최초로 설립한 이래— 34년간 150,000여명의 전기기술자를 배출한 최고의 명문!!

- 전기공사(산업)기사반 ▶ 강의시간 • 오전반 10:00~12:30 • 과 과정 교대근무자 수강가능
- 전기(산업)기사반 • 야간반 7:00~ 9:30 • 학원 자기발당으로 최고의 시설완비
- 전기기능사반 ▶ 개 강 • 정규반: 매월 10일 • 기초부터 상세히 책임지도
- 소방설비기사(전기&기계)반 • 필기/실기특강: 공단원서접수 첫날 • 최고의 권위를 자랑하는 전임강사진
- 전기철도(산업)기사반

발출배전 건축전기 전기철도 기술사

- 개 강 • 수요일반: 4월 28일 • 일요일반: 5월 2일 • 토요일특강반: 5월 1일
- 강의시간 • 수요일반 19:00~22:00 • 일요일반 10:00~15:00 • 토요일반 16:00~20:00
- 강 사 전: 분야별 과목별로 세분화된 최고의 권위강사진
- 유상빙: Y대교수/국내최대 5종목기술사(발출배전 건축전기 전기안전 전기응용 소방설비)
- 김세영: D대교수/ 기술사/ 한전, 한국건설기술연구원 수석연구원 역임
- 전명수: 기술사/ H콘설현트 전무이사/ 한국전력기술인협회 기술전문위원
- 영철교: 기술사/ 경영지도사/ 동인출판사 서자 차 2인 전기철도 3인 별도

실직자 무료교육

- 모집대상: 전기공사(산업)기사 전기(산업)기사 또는 전기기능사를 취득하고자 하는 실업자 및 실직자
- 모집인원: 000명(지역별 배정) ■ 교육기간 6개월
- 제출서류: 주민등록등본 통장사본(수당 입금용) 사진, 구직표 각 2부
- 특 전: • 수강료, 교재비 등 영체 무료
 - 교육종 교육수당, 교통비, 가족수당 지급(지역별 배정)
 - 노동부전신장을 통한 취업알선 노동부인정 수료증 발급

■ 서신강좌: 지방거주자 및 직접수강이 어려운 대상 • 실시종목: 전기(산업)기사, 전기공사(산업)기사, 소방설비(산업)기사

서울공과학원 676-1113~5

서울 영등포구 당산동1가 455번지 (지하철 2,5호선 영등포구청역 하차 5분출구에서 70m)