



제52회 발송배전기술사 시험문제 모범답안(4)

❖ 자료제공 : 서울공과학원 ❖

【Tel : 02)676 - 1113~5】

※ 다음 6문제 중 5문제를 택하여 답하시오.

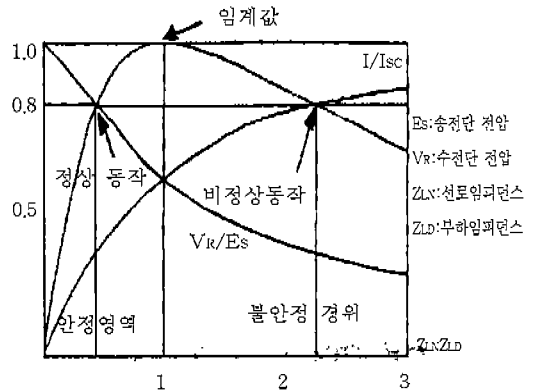
【문제1】 하계온도상승에 따른 냉방부하 등 부하급증으로 인한 전압안정도의 문제점과 이에 대한 대책을 기술하시오(20점).

해설

전압안정도는 계통이 정상운전조건에서나 '외란'이 발생한 후에 모든 모선전압이 허용범위내를 유지할 수 있는 전도이다. 외란, 부하의 증가 또는 계통의 조건변화로 전압이 점차로 제어 불가능하게 떨어질 때를 계통이 전압 불가능 상태라 한다. 불안정한 주요원인은 요구되는 무효전력을 충분히 공급하지 못하는 곳에서 주로 발생한다.

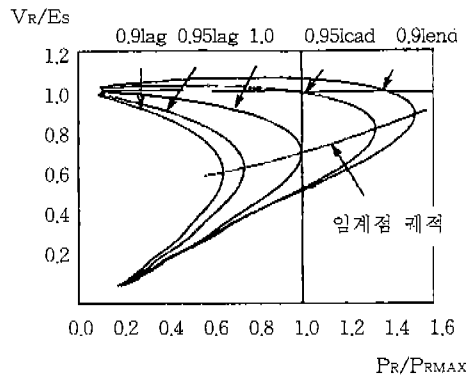
한 송전선로에서 최대 수송전력은 선로의 임피던스와 부하의 임피던스가 같을 때 그 선로는 최대전력을 전송하게 된다. 이 때의 전압은 선로에서 전압강하와 수전단전압과 같게된다. 이보다 더 많은 부하가 연결되면 부하변화에 따른 전력조절이 불가능하여 불안전하게 된다. 즉 부하 임피던스의 감소에 따라 그림 1과 같이 전송전력과 수전단전압은 감소하게 된다.

이와 같이 과부하 상태에서 부하의 변화는 전력제어가 어려움으로 불안정하게 된다. V-P곡선의



<그림 1>

부하 역률



<그림 2>

무릎(knee)부근에서 그림 2와 같이 부하증가에 따라 전압은 급하게 강하되어 전압안정도의 한계에도달하게 된다. 그러므로 계통은 충분한 전력여유를 가지고 있어야 한다. 전압이 점차로 낮아지고 계통이 불안정하게 되는 것은 부하특성에도 달려 있다. 일정 임피던스 정부하 특성에서 계통의 전력은 안정되어도 전압은 더 낮아지게 된다. 전압은 송전선로와 부하의 복합특성에 의하여 결정된다. 냉방부하는 주로 유도전동기 부하이다. 전압이 정격전압의 85~90%에서 유도전동기는 멈추거나 많은 무효전류가 흐른다. 이러한 특성은 전압을 더욱 떨어지게하여 전압안정도에 악영향을 미친다.

이와 같은 전압불안정에 대한 대책으로는 계통이 무효전력과 전압 profile에 적당한 여유를 가지고 운전되어야 한다. 이러한 여유를 유지하지 못하면 전력전송을 제한하고 특정 지역에서 전압을 유지할 수 있는 추가발전기를 가동한다. 적절한 예비 무효전력은 발전기 동작을 안정하게 한다. 전압 붕괴의 원인은 장치들의 보호/제어의 협조 부족에 의하여 발생하므로 적절한 협조가 요구된다.

[문제2] 고전압 전기기기의 절연시험 3가지를 들고 시험 목적과 방법에 대하여 기술하시오(20점).

해설

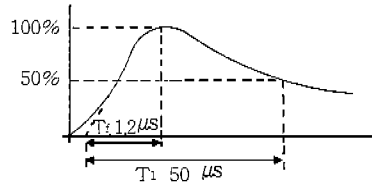
1. 충격전압시험

가. 목적

변압기, 애자 등 고전압 기기의 절연이 그 기기에 가해질 것으로 예상되는 충격전압에 견디는 정도를 측정하기 위해서 충격전압 시험을 행한다. 내충격 전압의 기준으로 기준 충격 절연강도(BIL : Basic Impulse Insulation Level)를 사용하는데 이는 표준 파형의 충격전압으로 표현되는 절연수준을 말하며 모든 설비는 적당한 시험에 의하여 그 절연수준이 주어진 BIL과 같거나 높아야 한다.

나. 방법

그림 3에서 T_f 는 파두장($1.2\mu s$)이고 T_t 는 파미장($50\mu s$)이며 $1.2 \times 50\mu s$ 를 표준 충격전압파형으로 사용한다. 이와 같은 표준 충격전압파형을 가지고 파고치가 해당 기기의 BIL과 같은 크기의 충격파 전압을 충전부와 대지간에 음양 각 3회씩 인가해서 시험한다.



<그림 3>

2. 유전 정점 시험

가. 목적

변압기나 케이블 등의 절연열화 상태를 측정하기 위해서 유전체의 손실각 $\tan \delta$ 를 측정하는 것이다.

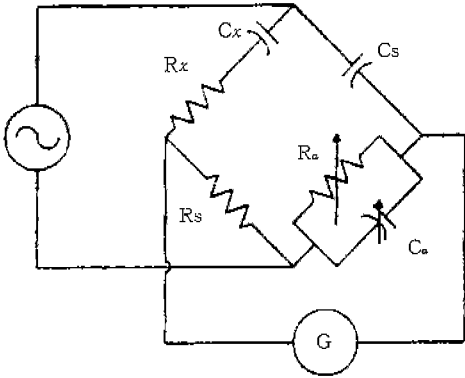
나. 방법

그림과 같은 웨빙 브리지를 이용한 $\tan \delta$ 측정기로 피측정 기기의 $\tan \delta$ 를 측정한다. 절연상태가 양호하면 피측정 기기는 완전한 콘덴서로 되어 전류가 전압보다 위상이 90° 앞서야 한다. 그러나 절연이 열화되어 갈수록 이 위상각은 90° 보다 작은 각으로 변해간다. 예를 들어 전류의 위상이 전압보다 86° 앞선다고 하면 $\angle \delta = 90 - 86 = 4^\circ$ 가 되고 $\tan 4^\circ = 0.07$ 이 되는데 이 값은 일반적으로 [%]로 표시해서 위의 경우라면 7[%]가 된다. 이 $\tan \delta$ 의 값은 온도에 따라 크게 변화한다. 즉 $30^\circ C$ 에서는 $\tan \delta$ 의 값이 변압기의 경우 4[%]까지는 양호하다고 보나 $40^\circ C$ 가 되면 6[%]까지도 양호하다고 본다(그림 4).

3. 부분 방전 시험

가. 목적

전기기기의 절연 파괴는 처음 국부적인 미소 코



<그림 4>

로나로부터 시작하여 절연이 서서히 열화해가고 최종에는 전로방전으로 확대된다. 따라서 상시 운전상태에서는 부분 방전이 없는 상태를 기준으로 설계되므로 미소 코로나를 측정하여 절연의 열화 정도를 예지하는 것이다.

나. 방법

(가) 초음파 검출법

초음파센서를 이용해서 미소 코로나에 의한 초음파를 검출하여 코로나 발생여부를 판단하는 방법으로 초음파센서를 여러개 설치하면 코로나가 발생하는 부위까지도 알 수 있게 된다.

(나) 부분 방전 검출기에 의한 방법

변압기, 발전기, 케이블, 차단기 등에서 절연불안에 포함된 미소 공극(void)내에서 미소 방전(corona)이 일어나면 코로나는 교류전압의 최대치에서 발생하므로 반파마다 코로나가 발생하여 고조파를 발생시키게 된다.

이 고조파(10kHz~300kHz)를 부분 방전검출기(Potential Discharge)로 검출하여 절연열화 정도를 판단하는 것이다. 국부방전 또는 미소 코로나에 의한 고조파를 측정할 때는 전기적인 잡음(Noise)이 있으면 안되므로 이 시험은 일반적으로 Shield Room에서 행해진다. 측정 결과는 PD Detector의 결합 콘덴서(Coupling Condenser)에 충전되는 전하량(C)로 나타낸다. 신폴 차단기라면 이 전하량은 10pC 이하이다.

【문제3】 우리나라의 경제성장에 따른 송배전계통의 전압 및 공급방식 변천현황과 특징에 대하여 기술하시오(20점).

해설

1. 개요

우리나라의 전력계통은 지난 1962년부터 거듭된 경제개발 5개년 계획의 성공적인 달성으로 눈부신 발전을 하였다. 송배전 시설면에서 살펴보면, 154kV 계통의 루프화 및 직접접지방식에의 전환에 따른 신뢰도 향상과 1980년대에는 원자력발전소의 건설과 대단위 발전소의 운전에 따른 지역간의 원활한 전력 용통을 위하여 345kV 초고압 송전선이 수송설비의 근간을 이루는 등 실로 비약적인 발전을 거듭하여 왔다. 최근에는 765kV의 격상 구간이 확정되어 시행되고 있는 중이다.

2. 송배전계통의 전압 및 공급방식 변천현황과 특징

우리나라의 경제성장에 따른 송배전계통의 전압 및 공급방식 변천현황과 특징에 대해서 요약 설명하면 표 1과 같다. 한편, 배전계통에서는 과거의 3.3kV, 6.6kV, 22kV 비접지식과 11.4kV 접지식은 모두 22.9kV 직접 접지식으로 승압되어 가고 있으며, 저압측도 과거의 100V 전등용과 3상 200V 동력용이 모두 3상4선식 380/220V로 대체가 거의 완료되어 가고 있다.

따라서, 우리나라의 향후 송배전계통의 전압은 765kV - 345kV - 154kV - 22.9kV - 380/220V로 통일되게 될 것이다.

3. 앞으로 우리나라의 송변전계통의 확충계획은 다음과 같은 기본 방향으로 전개해 나갈 예정이다.

- 1) 환상 송전계통망의 구성
- 2) 전압계층의 단순화
- 3) 설비 단위의 대형화
- 4) 송배전설비의 지중화 및 옥내화

<표 1>

연대	발전설비용량	송배전계통의 전압	공급 방식	특 징
1960	1961 : 367MW	154kV 송전 계통의 확장	간단한 방사상 계통에서 구간선 계통의 루프화	① 송전선로의 길이가 약 3배로 증가 ② 접지방식 : 소호리액터접지에서 직접접지방식으로 전환 ③ 선로보호방식 : 거리계전방식에서 반송계전방식으로 개선 ④ 계통의 안정도 향상 도모
1970	1971 : 4,809MW	345kV 초고압 송전선 건설	환상망으로 구성	① 발전소의 단위용량이 1000MW로 확대 ② 대전력 수송이 가능 ③ 건설구간 <ul style="list-style-type: none"> • 여수 - 신옥천(1974) • 고리 - 신옥천 - 동서울(1977)
1980	1981 : 9,835MW	345kV 초고압 송전선 건설 확대	환상망으로 구성 완료	① '96. 현재 건설구간 : 약 6,600km ② 변전용량 : 40,000 MVA
최근	1994 : 28,749MW	765kV 송전선로 건설	신안성~신서산 구간과 신태백~신가평구간 착수	<ul style="list-style-type: none"> • 765kV 2회선 최대 송전능력은 200km 약 800만 kW로 345kV 송전선로에 비해 4~5배의 송전능력이 향상
1971~ 최근		154kV 지중 송전선		<ul style="list-style-type: none"> • 도심지구의 원활한 전력공급 도모 • 1992년 현재 지중화율 6%, 약 300km • 지중케이블 : 600mm OF CABLE

[문제4] 발전기의 유효 및 무효출력의 상하한 값이 주어진다. 제한값이 주어지는 요인에 대하여 기술하시오(20점).

해설

1. 개요

발전기의 가능 출력은 근본적으로 발전기 각부의 온도상승 한계에 의해서 제한된다. 또한 발전기는 동일한 출력으로 운전한다해도 운전시의 역률에 따라서 열을 받는 부분이 달라지게 되므로 진상 또는 지상 운전에 따른 출력의 한계 및 계통의 정태 안정도에 의해서도 제한을 받게 된다.

2. 출력 한계를 결정하는 요인들

가. 발전기 출력자체에 의한 제한

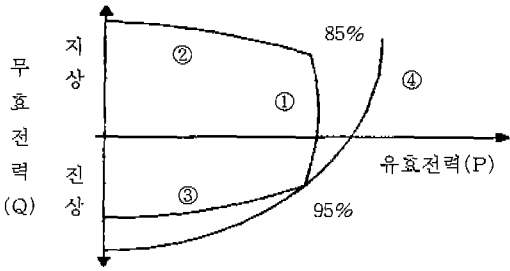
정격 역률 부근(85%~100%~95%진상)에서의 운전은 부하전류에 따른 고정자 권선의 온도 상승에 의해서 발전기의 출력이 제한된다.

나. 지상 무효전력에 의한 제한

발전기가 정격역률 이하의 지상영역에서 운전되면 큰 지상무효전류에 의한 감자작용으로 발전기 전압이 낮아지므로 이를 보상하기 위해서 여자전류를 크게 해줄 필요가 있다. 계자전류가 커지면 계자권선의 온도가 상승하고 또 여자기의 출력에도 한계가 있으므로 계자권선의 온도상승 한계와 여자기의 출력한계에 의해서 발전기의 출력이 제한된다.

다. 진상 무효 출력에 의한 제한

진상 무효 출력에 의한 역률이 95%를 넘는 진상 영역에서는 증자 작용 때문에 계자전류를 감소시켜야 한다. 계자전류가 감소하면 고정자 단부로부터 누설자속이 통하는 자로의 포화가 없어져서



<그림 5>

누설자속이 증가하는데 이 누설자속은 회전자에 대해서는 정지하고 있으나 고정자에 대해서는 동기속도로 회전하므로 고정자 단부에 와류손 및 히스테리시스손을 발생하기 때문에 고정자 단부의 온도 상승 한계에 의해서 출력이 제한된다.

라. 계통의 정태 안정도에 의한 제한

발전기가 연계계통에 병입되어 운전되는 경우 발전기의 동기리액턴스 및 계통의 리액턴스에 의해 정해지는 정태안정도의 한계가 있으므로 이에 의해 출력이 제한된다. 이상의 설명을 그래프로 그려보면 다음과 같다. 그림 5에서

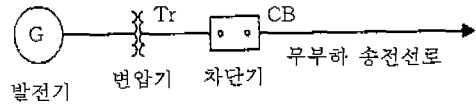
- 1) 발전기 출력에 의한 제한 곡선
- 2) 지상 무효전력에 의한 제한 곡선
- 3) 진상 무효전력에 의한 제한 곡선
- 4) 정태 안정도에 의한 제한 곡선
(송전단 전력원선도)

[문제5] 무부하 송전선로의 개방시 발생하는 이상 전압에 대하여 기술하시오(20점).

해설

1. 개요

그림 6과 같이 발전기로부터 변압기를 거쳐서 무부하 송전선로를 충전하고 있던 중 차단기로 충



<그림 6>

전전류를 차단하면 이는 콘덴서 회로를 차단하는 것과 같아서 계통에 이상전압이 나타나게 되는데 이를 개방 서지라고 한다.

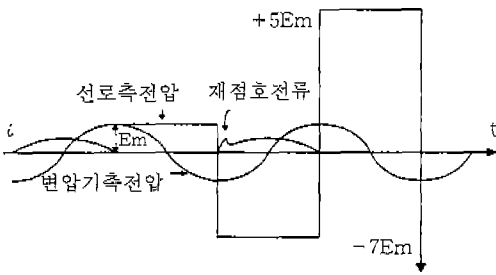
2. 개방 서지가 발생하는 과정

가) 차단기를 개방하기 전에는 전압에 대해서 90° 위상이 앞선 충전전류가 흐르고 있다. 이때 차단기를 개방하면 전류 0점에서 전극간의 아크가 소멸되어 충전전류는 차단된다.

나) 충전전류가 0으로 되는 순간 전압은 최대값 E_m 이므로 누설전하가 없다면 선로측은 E_m 값을 유지한 채 충전되어 있다. 한편 차단기의 변압기측 전압도 차단된 순간에는 E_m 이었으나 반사이클 뒤에는 $-E_m$ 으로 되어 이 순간 차단기의 전극간에는 $2E_m$ 의 전압이 걸리게 되는데 이때 전극간 절연이 $2E_m$ 의 전압에 견디지 못하면 전극간은 다시 아크로 연결되어 버리는데 이것이 재점호이다.

다) 이때 선로측 전압과 전원 측전압은 같아야 하므로 선로측 전압은 E_m 에서 $-E_m$ 으로 급변해야 하는데 이 순간에 계통의 R, L, C에 의한 과도 진동이 일어난다. 즉 $-E_m$ 을 중심으로 $2E_m$ 을 진폭으로 하는 고주파 진동이 일어나서 최대 $-3E_m$ 인 이상 전압이 발생한다.

라) 그러나 진동전류에 의한 손실 때문에 과도 진동은 급속히 감쇄해서 상용주파 0점 전류에서 소호된다. 이 경우 선로측이 $-3E_m$ 으로 충전되어 있는데 다음 반사이클에서 변압기측은 E_m 의 전압으로 되므로 전극간의 전압은 $4E_m$ 으로 되어 절연이 충분치 못하면 또다시 재점호가 일어난다.



<그림 7>

마) 이번에는 +Em을 중심으로 4Em을 진폭으로 하는 고주파 진동이 일어나서 최고 5Em이라는 높은 이상전압이 발생한다. 이와 같은 재점호 현상이 계속 일어난다면 7Em, 9Em의 이상전압이 나타나게 될 것이다. 이상의 과정을 그림으로 그려보면 그림 7과 같다.

바) 그러나 현재의 차단기 성능으로 볼 때 이 같이 연속적인 재점호를 일으킬 염려는 없고 개방서지의 크기는 선로길이, 차단기, 중성점 접지방식에 따라 약간의 차이는 있으나 대부분 상규대지 전압의 3.5~4배 이하이고 그 지속 시간은 상용주파수의 반사이클을 넘지 않는다.

[문제6] 계통운영시 필요한 공급예비력 3가지를 열거하고 그의 정의와 구체적 설비를 기술하시오 (20점).

의 백분율로 나타낸 것을 예비율이라고 한다. 전원설비의 예비력을 표현하는 방법으로는 '설비에비율'과 '공급예비율'이 있다. 이들의 각각을 식으로 표현하면 다음과 같다.

$$\text{설비에비율} = \frac{\text{설비용량} - \text{최대수요}}{\text{최대수요}}$$

: 투자규모, 경영의 효율성 판단

$$\text{공급예비율} = \frac{\text{공급능력} - \text{최대수요}}{\text{최대수요}}$$

: 설비운용, 전력수급의 안정성 판단

2. 예비력의 종류

계통운영 측면에서의 예비력에는 운전예비력과 공급예비력, 설비에비력으로 구분되며, 그 정의와 적용목적, 구체적 설비 등을 들면 표 2와 같다.

3. 1997년도 공급예비율

가. 금년 여름철 공급예비율 목표는 7%로 이는 수급안정에 필요한 최소한의 예비율 수준임 (실제 공급예비율 7.2%)

- 1) 발전소 불시고장 대비 : 3%
- 2) 적정 주파수 유지 : 3%
- 3) 수간 수요변동 대비 : 1%

나. 공급예비율 7%(예비전력량 251만kW)는 원전 2기와 석탄화력 1기를 합한 것에 해당하며, 이에 필요한 투자비는 약 3조 8천억 원에 달함

해설

1. 예비율의 정의

전력계통을 안정하게 운용하는데 필요한 전원설비의 규모는 최대수요전력에 해당하는 발전설비 외에 발전설비의 정기검사, 보수 또는 사고 등을 대비한 발전력과 수요의 증가에 대비한 발전력을 추가로 갖추고 있어야 한다. 이와 같이 최대수요전력을 초과하여 예비로 보유한 발전력을 최대수요

4. 예비력 운영의 향후 전망

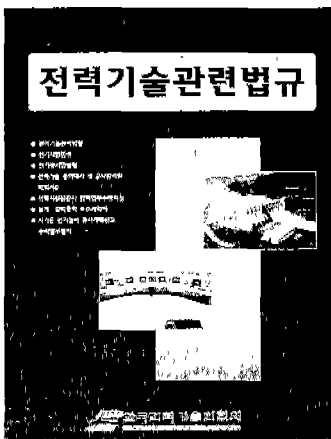
기존발전소에 대한 환경문제 등으로 전원설비의 확충이 어려워질 전망이며 또한 경제성장에 따라 전력수요의 증가가 예측할 수 없을 정도로 급증하고 있어 전력설비 운영의 경제급전, 순동예비력의 경제적 확보 및 정확한 수요예측 등의 대책이 요구되고 있다.

<표 2>

예비력의 종류	정 의	적용목적	구 체 적 설 비
운 전 예 비 력	1)순동예비력(Spinning reserve) : 부하변동 또는 계통운전중인 발전기의 돌발적인 고장발생시 계통에 병입된 발전기의 출력조정을 신속성있게 부하를 감당할 수 있도록 보유하고 있는 예비력 2)비순동예비력 : 계통에 병입되지 않은 발전기중 계통에 순시병입이 가능한 발전기들의 출력	적 정 주파수 유 지 사고발생 대 비	① 계통전체 : 3% ② 화력발전 : 상시 출력의 5% ③ 수력발전 : 그때의 출력에서 최대출력까지, 양수발전 운영 ④ 원자력발전 : 해당없음 ① 보통 10분 이내에 계통병입 가능한 발전기 ② 발전소 불시고장 대비 : 3% ③ 수간 수요변동대비 : 1%
공 급 예 비 력	- 운전예비력과 예측 불가능한 공급력 감소분에 대한 예비력을 합한 것 - 설비의 고장정지, 이상 갈수 등에 대비한 공급력		
설 비 예 비 력	- 공급예비력과 예측 가능한 공급력 감소분을 종합하여 확보하는 예비력 - 발전설비의 정기보수로 인한 정지, 경년 열화 등에 따른 성능 저하까지 포함된 예비력		

전력기술인의 필독서

「전력기술관련법규집」




전기사업법 시행령·시행규칙 중
최근에 개정된 부분을 모두 포함

전력기술인의 전력시설물의 설계·시공·감리·유지보수·안전관리 등 제반 업무에서 필수적으로 참고해야 할 전력기술관리법령·전기사업법령·전기공사사업법령과 전력기술용역대가 및 공사감리원 배치기준·전력시설물공사 감리업무 수행지침·자가용전기설비 공사계획신고 수리업무 절차를 총 망라한 『전력기술관련법규집』이 발간되었습니다. 본 법령집은 법·시행령·시행규칙을 동일 지면에 편집하여 법조항을 쉽게 찾아볼 수 있게 하였으며 현장의 업무에 많은 도움이 될 것입니다.

15,000원(회원은 20% 할인)

출판과 ☎02)875-4473

현재 협회 본부 및 지부에서 판매중입니다.

 한국전력기술인협회