



제55회 발송배전기술사 문제 해설 D

◆ 자료제공 : 서울공과대학원

[☎ 02)676 · 1113~4]

글/기술사 용인송담대 교수 유상봉

기술사 두원공대 교수 김세동

본 시험정보는 '98. 7. 12 시행한 국가기술자
격검정 기술사분야에 출제된 1교시 ~ 4교시의
시험문제로서 4교시를 발췌하여 게재합니다.

[회원출판과]

4 교 시

【문제 1】 석탄화력발전소 건설을 위한 타당성 검토(Feasibility Study)를 하고자 한다. 타당성 검토를 위한 업무수행에 관한 수순과 검토항목을 열거하고 각 검토 사항에 대하여 기술하시오.

(1) 개발규모

현재 운전되고 있는 용량은 60만 kW급이며, 신설하고자 하는 발전소가 연결될 네트워크의 장래 부하예측을 통하여 개발 규모를 정한다.

(2) 발전시스템의 검토

① 기존설비와의 관계 검토

기 운전중인 또는 건설중인 발전소, 변전소, 송

전선로 등과 신설될 발전소의 연계 방법을 검토한다.

② 사용 연료의 선택

- 무연탄

저열량, 고회분, 전소 불가능 등 일반 화력 발전용 연료로 부적합하다. 또한 우리나라 자원의 한계로 인하여 공급의 안정성 측면에서 불리하다.

- 유연탄

부존측면에서 안정적이나 환경측면에서는 불리하다.

③ 발전사이클 및 연소방법

Steam - Turbine 단일사이클, 복합 사이클 (Combined Cycle), 열병합발전, Topping Cycle, IGCC(Integrated Gasification Combined Cycle) 중에서 적합한 것을 선정하고 또 그에 상응하는 연소 방법을 선택한다.

(3) 건설입지 선정

① 냉각 용수의 취수 및 방수의 용이성

② 사용연료 반입의 용이성 (접안 시설, pipe Line 등)

③ 지진이나 지반 침하 등의 우려가 없는 곳

④ 바닷가면 해일 가능성 여부 검토



- ⑤ 기존 또는 계획상 T/L과의 연결 방법, 비용, 송전 손실 검토
- ⑥ 중량물의 현장에의 반입 용이성 검토
- ⑦ 환경·공해 문제가 없는 곳
- ⑧ 증설 계획상 충분한 여유가 있는 곳

(4) 환경공해 검토

SOx, NOx 등의 대기오염 문제, 냉각수의 대량사용에 따른 온배수 등 주변 환경장애와 공작물의 피해문제가 발생할 수 있고 입지적 특수성으로 화석연료의 양육, 저장문제가 있다. 그러나 환경에 대한 보완책으로 LNG, 석탄가스화 복합발전(IGCC) 등을 고려할 수 있다.

(5) Power Plant Layout 및 개략 설계

- ① 장래 증설 계획, 연료 인입, 냉각수 취수 및 방수, 운전·유지·보수의 편의성 등을 고려하여 발전 설비를 배치한다.
- ② 개략적인 시스템 설계
 - 보일러, 터빈
 - 발전기 및 부속 기기 등
 - 송압 변압기, Switch Gear 등
 - 모선 및 구조물(Structure)
 - 연료 공급 설비
 - 냉각수 취수 및 방수 설비 등

(6) 경제성 검토

발전 원가는 자본비, 연료비, 운전 유지비로 구성되므로 2개 이상의 안을 만들어 각 항목을 연도별로 비교함으로써 최소비용분석법(Least Cost Analysis)에 따라 경제성을 검토한다.

[문제 2] 최근 열병합발전이 각광을 받고 있다. 열병합발전이란 무엇이며 그 장단점에 대하여 기술하십시오. 또 열병합발전소에 사용되는 증기터빈의 종류와 그 특성에 대해 논하십시오.

(1) 열병합 발전의 개요

열병합 시스템(Cogeneration System)은 하나의

에너지원으로부터 전력과 열을 동시에 발생시키는 종합에너지 시스템으로, 발전에 수반하여 발생하는 배열을 회수하여 이용하므로 에너지의 종합 열 이용효율을 높이는 것이 가능하기 때문에 산업체, 민생용 건축물 등의 전력 및 열원으로서 주목 받고 있다.

(2) 열병합 발전의 장단점

① 장 점

- 에너지이용 효율의 증대
 - 효율제고 : 38%(상용발전)→87%(열병합발전)
 - 연료절감 : 약 1/3
 - 원가절하(25~30%)로 국제경쟁력 강화
- 발전단가 저렴
- 송·배전 손실 감소
- 지역난방시 공해방지 및 재해감소에 기여
- 양질의 전기 및 증기 공급으로 생산성 제고

② 단 점

- 기기의 효율 및 신뢰도 향상 대책
- 제어시스템의 개발(전력계통의 병렬운전과 관련)
- 환경기술의 대책
 - NOx (현재 대형 가스터빈 1000ppm, 가스터빈 150ppm 정도임)
- 진동, 소음대책

(3) 열병합 발전소에 사용되는 증기 터빈의 종류와 특성

① 가스엔진 열병합 시스템

- 가스엔진 열병합 시스템의 전형적인 특징은
- 열효율이 높다.
 - 신뢰성, 안전성이 뛰어나다.
 - 가스 연료를 사용하므로 엔진의 수명이 길고, 메인터넌스가 쉽다.
 - 발전규모는 15kW에서 2,000kW 이상의 대용량 수요에도 대처가 가능하다.

그리고 가스엔진은 냉각수로부터 온수를 회수하고, 배기가스로부터는 증기 또는 온수를 회수할 수 있으므로 종합 열효율이 높다.

② 가스터빈 열병합 시스템

- 가스터빈 열병합 시스템의 전형적인 특징은
- 공냉식이므로 냉각수가 필요없다.
 - 운전음의 주체가 고주파이므로 방음이 쉽다.
 - 고온의 배기가스를 이용하여 증기를 회수할 수 있으며 회수된 증기를 프로세스 증기 또는 이중 효율 흡수식 냉동기의 열원으로 사용이 가능하다.
 - 발전 규모는 500kW급 이상의 수용에 대응이 가능하다, 가스터빈열병합 시스템은 가스엔진열병합 시스템에 비하여 열전비가 크기 때문에 열에너지의 수요가 상대적으로 큰 수요처에 적합하다.

③ 증기터빈 열병합 시스템

※ 추기 터빈

- 터빈의 중간단에서 증기의 일부를 추출하여 작업용 증기 또는 열원으로 사용하며, 복수기에서 냉각수에 빼앗기는 열량을 감소시키고, 다음의 특징이 있다.
- 배기량이 감소하므로 복수기가 소형이 된다.
 - 복수기내에서 배기를 냉각하는데 있어 잃는 열손실이 감소한다.
 - 저압 추기에서 습한 증기를 추출하므로 후단 단락의 날개의 길이가 짧아도 좋다.
- 따라서 수분에 의한 날개의 마찰 손실과 날개의 부식을 감소시킬 수 있다.

※ 배압 터빈

터빈을 통해 팽창하여 저압화 하면서, 발전기를 통하여 발전하고 난 저압상태의 증기를 바로 공장용 Process Steam이나 지역 난방 온수가열용으로 쓰인다.

증기사용량에 상당하는 만큼의 전력이 발생하므로, Electric Power 출력이 Steam 사용량에 의해 결정된다.

[문제 3] 양수발전소의 목적과 양수발전소 건설지점 선정에 고려해야 할 사항을 열거 설명하고, 발전전동기 기동방법의 종류를 열거 설명하시오.

(1) 양수발전소의 목적

양수발전소(Pumping-up Power Station)는 낮은 곳에 있는 물을 높은 곳으로 퍼올려, 이 물을 떨어뜨려 발전하는 것이다.

전력의 가치는 전력을 필요로 하는 시간에 따라 달라지고, 사용이 집중하는 peak time 일 때는 잉여전력을 사용해서 양수했다가 이 물을 peak때에 사용해서 발전하면 전력의 단가가 싸지게 된다.

(2) 양수발전소의 건설지점 선정시 고려해야 할 사항

- ① 하천에서 양수하는 경우, 양수시에 하류 발전소의 발전에 영향을 미치지 않을 것
- ② 풍부한 양수용 전력이 쉽게 얻어질 것
- ③ 하류에 일련의 발전소 집단이 있어서 자신의 발전력량이 다시 하류 발전소에 이용되고 전체로서 발전량의 증대를 기할 수 있을 것
- ④ 양수지점의 하천에서 풍수기나 off-peak시에 소정의 양수량이 얻어질 것

(3) 발전 전동기의 기동방법

① 제동권선에 의한 시동법

이 기동방식은 자극면에 장치한 제동권선에 의한 토크를 이용하는 것으로서 유도기동이라 고도 한다.

※ 전전압 인가법

정격 전압, 정격 주파수를 발전전동기에 인가하여 시동시키는 것이다. 발생 시동토크가 크고 정격 회전수에 도달할 때까지의 시간도 짧고, 동기 인입도 용의 하지만, 정격 전압을 인가하기 때문에 시동시의 돌입 전류가 크고, 따라서 시동 kVA가 커지고, 계통에 대한 요란도 커지는 결점이 있다.

※ 반전압 인가법

발전 전동기에 정격 전압보다 낮은 전압을 인가하여 기동시키는 방법이다.

이 경우 계통에 병렬하는 방법으로서는

- 저전압인 채로 여자하여 동기 인입시켜, 동기후 전전압으로 바꾸는 방법과
- 슬립 5[%]정도까지 가속시킨 후 전전압으로



로 바꾸고, 여자를 조정하여 동기 인입시키는 방법 등이 있다. 전자의 방법은 계통에 대한 충격은 작으나, 전압 절환 때의 무전압 시간을 작게할 필요가 있고, 후자는 방법은 간단하지만, 전압 절환시의 돌입 전류가 큰 결점이 있다. 어느 방법이든지 간에 전전압 인가법에 대하여 시동 kVA가 작고, 계통에 주는 요란도 작다.

저전압 전원으로서의 시동용 변압기, 주변 압기의 3차 권선 등이 사용된다. 시동시의 돌입 전류를 억제하기 위하여 기동 회로에 리액터를 설치하는 경우도 있다.

※ 분할 권선 시동법

발전 전동기의 고정자 결선이 2Y 또는 3Y인 경우, 1Y를 기동용으로 사용하여, 발전 전동기의 임피던스를 크게 해서 기동 전류를 제한하여 시동시키고, 동기후에 2Y로 절환하는 방법이다.

※ 변압기 권선 분할 시동법

기동용 변압기의 2차측 결선을 2권선으로 하여, 시동시에는 그 1권선만을 사용하여, 임피던스를 증가시켜 돌입 전류를 작게해서 시동하고, 동기후에 2권선으로 바뀌어서 정상 운전에 들어가게 하는 것이다.

※ 동기 시동법

다른 발전기와 발전 전동기를 정지시에 전기자를 접속해 놓고, 계자는 양기에 다 여자해서 발전기에 의하여 시동하는 방법이다. 발전기가 돌기 시작함과 동시에 발전 전동기도 따라서 돌고, 저속 때부터 양기는 동기 상태가 되며, 동기화력으로 동기 속도가 된다. 이 방법은 계통이나 기기에 아무런 충격을 주는 일이 없고, 또 회전 상승후의 동기 투입의 문제도 없으므로 대용량기에 있어서는 가장 좋은 방법이다.

※ 직결 전동기에 의한 시동법

권선형 기동 유도 전동기를 발전 전동기에 직결하여 기동 가속시켜서 계통에 동기 인입하는 방법이다. 발전 전동기와 동일 축상에 설치하기 때문에, 전몰이 약간 커지고,

동기 인입시의 속도 조정용 기기, 건설비가 증가하는 결점이 있다.

이들 외에 직결 여자기에 의한 방법, 시동용 수차에 의한 방법 등이 있지만, 별로 사용되지 않는다.

[문제 4] 교류 송전계통에서 안정도란 무엇이며 정태안정도(static stability)와 과도안정도(transient stability)에 대해 설명하고 그 개선 방안에 대하여 논하시오.

1. 정태 안정도

전력 계통에서 극히 완만한 부하 변화가 발생하더라도 안정하게 송전할 수 있는 정도를 말한다. 또 이때 안정을 유지할 수 있는 범위 내의 최대 전력을 정태안정 극한전력이라고 한다.

① 고유 정태안정도 : 발전기의 자동 전압조정(AVR)효과 및 조속기(GOV)효과 등을 고려하지 않고 발전기 내부 유기 전압이 일정하다는 조건(계자전류 일정)하에서 고려하는 정태 안정도를 말한다.

② 동적 정태안정도 : 발전기의 자동 전압 조정 효과 및 조속기 효과 등의 영향을 고려하는 정태 안정도를 말한다.

계통에서 전력 상차각 특성을 나타내는 기본식은 다음과 같다.

$$P = \frac{E_s E_r}{X} \sin \delta [MW]$$

이 식에서 E_s , E_r 은 송·수전단의 전압이고 δ 는 E_s , E_r 간의 상차각이며, X 는 계통의 직렬 전달 리액턴스이다. 그런데 $\sin \delta (\delta=90^\circ)$ 일때 최대 값 1이 되므로 정태 안정 극한 전력은 다음과 같이 주어진다.

$$P_m = \frac{E_s E_r}{X} [MW]$$

2. 과도 안정도

전력계통이 어떤 조건하에서 안정하게 송전하고 있을 경우에 급격한 외란(지락, 단락, 단선, 회로 차단, 재폐로, 계통 분리 등)이 일어나도 다시금 안정상태를 회복해서 송전할 수 있는 정도를 말한다. 이때 안정을 유지할 수 있는 범위 내의 최대 전력을 과도안정 극한전력이라고 하는데 이 값은 외란의 종류, 발생 장소, 계속 시간, 계통 구성 등에 따라 달라진다.

① 고유 과도안정도

자동 전압 조정 효과, 조속기 효과 등 발전기의 자동제어 효과를 고려하지 않고 발전기 과도 임피던스(x_d')의 배후 전압 일정이 라는 조건하에서 고려하는 과도 안정도를 말하며 일반적으로는 외란 발생으로부터 1~2 초간 이내의 현상을 대상으로 한다.

② 동적 과도안정도

발전기의 들극성 및 계자 쇄교 자속 변화를 고려하고, 자동 전압 조정효과, 조속기 효과 등의 자동 제어 효과 및 계통 보호 계전기 동작 특성, 부하의 전압, 주파수특성 등을 고려한 경우의 과도 안정도를 말한다.

과도안정 극한전력은 정태안정극한전력에 비해서 상당히 적은 값으로 되는 것이 보통이며, 또 과도 안정도에는 고장전의 부하 상태라든가 계통에서의 외란의 종류, 회전자의 관성 모멘트 외에 고장 차단 시간 및 원동기의 조속기 동작 특성 등의 여러 가지 요소가 영향을 미치게 되어 그 현상은 아주 복잡하게 된다.

종래 과도안정 극한전력은 정태안정 극한전력의 40~50[%] 정도로 잡고 왔었으나 최근에는 고속 계전기라든가, 고속도 차단기가 많이 보급됨으로써 과도안정 극한전력은 정태시의 70~80[%]까지 높게 잡을 수 있게 되었다. 그 밖에 최대 상차각도 조건에 따라 다르겠지만 130~140° 에 달하여도 안정하게 운전되는 경우도 있다.

과도 안정도에서 계통이 안정한가 불안정한가의 판별은 보통 외란 발생후 약 1초 이

내에 결정된다. 이것은 실제의 기기에서 1차의 동요가 안정될 때까지의 주기가 대체로 1 초 정도로 되어 있기 때문이다.

3. 안정도 개선 방안

안정도에 영향을 주는 사항은 대단히 많으며, 따라서 안정도를 증진시키는 방법도 여러 가지로 생각할 수 있겠지만, 여기서는 중요한 것 몇 가지만 설명한다.

(1) 계통직렬 리액턴스의 감소

송전전력 ($P = \frac{V_1 V_2}{X} \sin \delta$)은 전달 리액턴스에 반비례하여 증가하므로, 이의 감소대책은 다음과 같다.

- 병렬회로의 증가
- 병렬회선을 증가하거나, 복도체를 사용하여 계통의 전달 리액턴스를 줄인다.
- 기기의 리액턴스 감소
- 발전기의 리액턴스를 적게하면 단락비가 커지며 따라서 기체가 커져서 가격이 비싸지만 관성 정수도 커지게 되므로, 결국 안정도는 증진된다.

(2) 고장시간, 고장전류의 감소

고장시간과 고장전류를 적게 하면 안정도가 증진되며, 이들을 줄이는 방법은 다음과 같다.

- 고속도 계전기, 고속도 차단기를 사용하여 고장점을 빨리 계통에서 제거시키며 재폐로 방식을 사용하여, 일시적 고장을 복구시킨다.
- 적당한 중성점 접지방식의 사용
- 소호 리액터 접지방식 등을 사용하여 지락 전류를 적게 한다.

(3) 전압변동의 감소

고장시에는 단자전압의 강하가 많아지므로, 이것을 높이는 방법을 강구하면 단락전류는 많아지지만 안정도는 증진된다.

- 속응 여자방식의 채용

정격전압 200[V]의 자여자기의 전압 상승률은 30[V/S]정도이지만 고성능 AVR을 도입하여 속응여자방식을 쓰면 이것을 수 1,000[V/S]



로 올릴 수 있고 정상전압도 1,000[V]정도로 높일 수 있다.

이 결과, 고장발생으로 발전기의 전압이 저하하더라도 즉각 응답하여 발전기 전압을 일정 수준까지 유지시킬 수 있으므로, 그만큼 안정도 증진에 기여하게 된다.

○ 계통의 연계

몇 개의 계통을 부하단 혹은 다른 적당한 곳에서 연계시키면 용량이 커지므로, 과도시에 전압 변동이 감소하며, 계통은 완고하여 지므로 안정도가 높아진다.

이 경우, 고장이 영향을 미치는 범위는 연계에 따라, 훨씬 더 확대된다.

○ 중간조상방식의 채용

이것은 선로 도중에 조상기를 설치하고 이점의 전압을 일정하게 유지함으로써 송전전력을 증가시킬 수 있으므로, 안정도가 증진된다.

(4) 고장시 발전기 입출력차의 감소

발전기의 입출력차가 적으면 발전기가 적어지고, 따라서 안정도가 증진되므로, 이 방식에는,

○ 조속기 동작의 신속화

일반적으로 원동기의 조속기는 부동작시간(dead time)과 동작시간을 합쳐서 2~3초 정도인데, 과도안정도의 관점은 최초의 1초 정도에서 결정되므로, 조속기 동작의 영향은 보통 무시한다. 그러나 조속기의 동작이 빠르면, 그만큼 안정도 증진에 유효하게 될 것이다.

○ 발전기 회로에의 저항투입

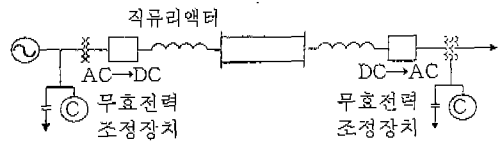
고장발생과 동시에 발전기 회로에 저항을 넣어 줌으로써 입출력의 불평형을 완화시켜 줄 수 있다.

【문제 5】 최근 장거리 송전을 위해 고압직류송전(HVDC)이 주목을 끌고 있다. 직류송전계통의 구성도를 그리고 직류송전의 장단점에 대하여 논하시오.

1. 직류 송전계통의 구성도

직류 송전은 그림과 같이

- ① 교류 계통
- ② 교직 변환소
- ③ 직류 송전선
- ④ 직교 변환소
- ⑤ 교류계통으로 구성되어 있다.



2. 직류 송전 방식의 장점

(1) 전압의 최대치가 낮다.

직류전압은 같은 값의 교류 실효치 보다 최대치가 $1/\sqrt{2}$ 배가 되어 절연의 경제성을 얻을 수 있으며 특히 초고압 이상의 가공 전선로와 전력 케이블에서 이 현상이 현저하다.

(2) 표피 효과가 없다.

직류에서는 도체의 Skin Effect가 없기 때문에 실효 저항의 증대가 없으며 그만큼 도체 단면적의 유효한 이용이 가능하다.

(3) 유전체손이 없다.

직류의 주파수는 영(Zero)이므로, 전력 케이블을 직류 시스템에 사용하면 유전체손이 발생하지 않아서 전력 손실이 감소되고 전선의 온도 상승도 감소 된다.

(4) 정전 용량에 무관하다.

직류 계통은 정전 용량과 무관하므로 충전이 불필요하며 전원용량이 작아도 된다.

(5) 무효전력을 필요로 하지 않는다.

직류 선로에서는 무효 전력을 필요로 하지 않으며 직류 선로 양단의 변환소에서 무효 전력의 공

급 또는 흡수가 필요하나 선로의 길이와는 무관하다(교류 계통에서는 거의 선로의 길이에 비례하는 무효 전력 소비가 이루어진다).

(6) 페란티 효과가 없다.

교류 송전의 경우 경부하 또는 무부하시에 페란티 현상으로 인해서 송전거리가 제한될 수 있으나 직류 계통에서는 이런 현상이 없다.

(7) 계통 안정도에 의한 제한이 없다.

교류에서는 안정도의 문제 때문에 극한 전력의 한계가 있으나 직류 계통에서는 도체의 허용 전류가 그대로 송전 용량이 될 수 있다.

(8) 계통의 안정도 향상

두 교류 계통을 직류로 연결하면 계통의 안정도를 크게 향상시킬 수 있다.

(9) 단락 용량의 억제

두 교류 시스템을 직류로 연계하면 단락 용량의 증가를 상당히 억제할 수 있다.

(10) 비동기 연계

직류로 연계하면 비동기 연계 및 다른 주파수 계통(예를 들어 50~60Hz)도 연계할 수 있다.

(11) 약전선에의 유도장해 경감

교류 계통 비해서 부근 통신선 등의 유도 장해를 현저히 감소시킬 수 있다.

(12) 신속한 조류 제어가 가능하다.

교류 계통의 사고에 의하여 발생하는 주파수변동에 대하여 급속한 직접전력 제어를 행함으로써 신속한 조류 제어가 가능하다.

(13) 귀로 도체의 생략

대지를 귀로로 해서 송전이 가능한 경우는 귀로 도체를 생략할 수 있다.

3. 직류 송전의 단점

(1) 변환 장치의 신뢰성 및 효율

변환 장치는 수은정류기에서 사이리스터 변환기로 교체 되어가고 있는데, 사이리스터 변환기의 ① 과부하 능력 ② 신뢰성 ③ 효율 등의 문제점이 있다.

(2) 직류 차단기

교류에서는 전류 영점에서 소호가 가능하나 직류에서는 전류 영점이 없으므로 차단이 곤란하여 현 단계에서 직류 다단자 회로망의 구성이 곤란하다.

(3) 전압 변성의 자유도 결여

일단 직류로 변성된 뒤에는 교류처럼 자유로이 전압 변성을 할 수가 없다.

(4) 무효전력 공급장치

변환기는 유효전력의 50~60%에 해당하는 무효전력을 소비하므로 이를 보상하기 위한 보상 설비의 비용이 크다.

(5) 고조파 발생

교직 변화 장치에서 P를 Pulse수 라고 할 때 직류 측에 kp차, 교류측에 kp±1차의 고조파를 발생시키므로 이를 억제하기 위한 필터 설비가 필요하다.

[문제 6] 축세륜 효과에 대해 설명 하시오.

$$\tan \theta = \frac{W_r + W_m}{W_g - W_m} \tan \phi$$

1. 개요

정태안정도는 전력계통에서 극히 완만한 부하변화가 발생하더라도 안정하게 송전할 수 있는 정도를 말하는 것으로, 이때 안정을 유지할 수 있는 범위내의 최대전력을 정태안정 극한전력이라고 말한다.

즉, 송전계통이 4단자 정수(A, B, C, D)로 표현될 경우의 송수전 전력 계산식은



$$P_s = \rho \sin(\theta - 90 + \phi) + mE_s^2$$

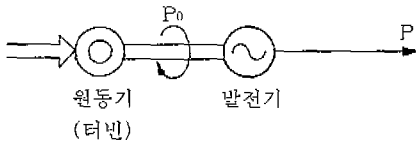
$$P_r = \rho \sin(\theta + 90 - \phi) - mE_r^2$$

로 되는데 이 식에서 알 수 있듯이 P_s 는

$\theta = 180^\circ - \phi$ 에서, P_r 은 $\theta = \phi$ 에서 극대값을 취하게 된다. 이것이 바로 이 경우의 정태안정 극한 전력인 것이다.

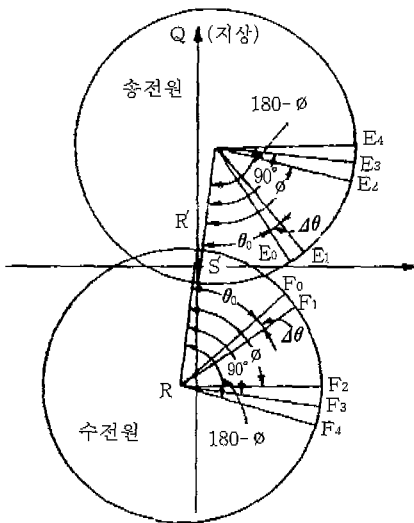
2. 전력-상차각의 특성

일반적으로 정태 안정도는 그림 1의 1기 무한대 계통에 대하여 설명하면 다음과 같다

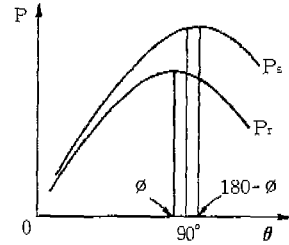


<그림 1> 1기의 무한대 계통의 개념도

실제의 송전선에서는 저항이라던가 정전용량이 있고, 또 그 밖에 송수전단의 동기기는 유한의 용량과 관성이 있기 때문에 이것을 고려한 전력원선도 및 전력-상차각 특성은 그림 2와 그림 3으로 나타낼 수 있다.



<그림 2> 송수전 전력 원선도



<그림 3> 전력-상차각 특성

먼저 그림 3의 원선도에서 송수전 양단에서의 동기기가 그 내부 유도 전압간에서 위상차각 θ_0 로 운전하고 있을 때의 송수전 양단의 상태는 각각 E_0, F_0 의 점으로 표시된다.

이 E_0, F_0 점에서의 운전상태가 안정한가 어떤가를 조사하기 위해서는 위상차각 θ 가 어떤 원인으로 극히 적은 $\Delta\theta$ 만큼 증가 하였을 경우를 생각해 보면 송전원에서는 동작점이 E_0 로부터 E_1 으로, 수전원에서는 F_0 로부터 F_1 으로 옮겨게 된다. 이 상태에서는 송전단의 동기기(발전기)에서는 출력의 증가가 요구되고 수전단의 동기기(전동기)에서는 입력의 증가가 요구되는데 이 짧은 시간 사이에서는 발전기의 기계적 입력(원동기의 출력) 및 전동기의 기계적 출력이 다같이 일정한 값을 유지하는 것으로 가정하면, 발전기는 감속되려 하고 반대로 전동기는 가속되려 할 것이다.

즉, 송수전 양단의 동기기는 다같이 위상차각 θ 의 증가를 방해하려는 작용을 한다.

마찬가지로 위상차각 θ 가 감소하였을 경우에는 모든 현상이 반대로 되어서 위상차각 θ 의 감소를 방해하려고 작용하게 된다. 그러므로 결국 E_0, F_0 의 점은 안정된 동작점이라는 것을 알 수 있다.

수전원의 동작점이 F_2 점(RF_2 는 P축에 평행), 즉 수전전력이 최대의 점($\theta = 0$)까지는 상술한 바와 같이 양기의 내부 유도 전압간의 위상차각에 그 어떤 변동이 생기더라도 언제나 그 변동을 방해하고 원래의 상태로 되돌려주려는 작용을 하게 되어서 계통은 안정 운전을 계속하게 된다.

곧 이때의 θ 와 P와의 관계는

$$\frac{dP}{d\theta} > 0 \text{ 으로 되어있다. 이 } \frac{dP}{d\theta} \text{의 값을 발전기}$$

의 동기화력(synchronizing power)이라고 부르는데,

이 조건을 만족하는 출력 상태(범위)를 안정운전 영역이라고 말할 수 있다.

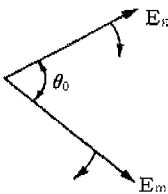
3. 축세륜 효과

한편 송수전원에서 각각 $E_2 \sim E_4$, $F_2 \sim F_4$ 의 범위 ($\theta_1 < \theta_1 < 180 - \theta$)에 있어서는

- θ 의 증가
- G 출력 증가 → 감속
 - E_g 의 위상이 뒤진다.
 - M 입력 감소 → 감속
 - E_m 의 위상이 뒤진다.

따라서 G, M의 감속도의 대소에 따라 안정 또는 불안정으로 된다.

이 경우에는 그림 4의 벡터도로부터 G의 감속도 > M의 감속도 : θ 가 감소, 안정
G의 감속도 < M의 감속도 : θ 가 증대, 불안정으로 되며 이때의 안정 한계는 E_4 , F_4 에 가까운 이들 근방에 있는 것으로 판단된다.



[그림 4] $E_2 \sim E_4$, $F_2 \sim F_4$ 점에서의 안정성 (안정 또는 불안정)

곧 이 범위에서는 발전기와 전동기의 관성의 크기 여하에 따라 안정, 불안정을 판단하게 되는 바 이에 대해서는 다음식에 의한 θ 가 정태안정 극한의 상차각으로 된다.

$$\tan \theta = \frac{W_g + W_m}{W_g - W_m} \tan \phi$$

단, W_g : 발전기의 관성 정수

W_m : 전동기의 관성 정수

ϕ : 송수전 양단의 동기기의 내부 임피던스를 포함한 송전계통의 전임피던스의 위상차각

위의 식에서

(1) $W_g = W_m$ 의 경우

$$\tan \theta = \frac{2W_g}{0} \tan \phi = \infty \therefore \theta = 90^\circ$$

즉, 송수전 양단의 계통이 거의 같을 경우에는 $\theta = 90^\circ$ 가 극한 위상차각으로 된다.

(2) $W_g \gg W_m$ 의 경우

$$\tan \theta = \frac{1 + \frac{W_g}{W_m}}{1 - \frac{W_g}{W_m}} \tan \phi = \tan \phi$$

즉, 송전단측의 계통이 충분히 클 경우에는 $\theta = \phi$ 가 극한 위상차각으로 된다.

(3) $W_g \ll W_m$ 의 경우

$$\tan \theta = \frac{\frac{W_g}{W_m} + 1}{\frac{W_g}{W_m} - 1} \tan \phi = -\tan \phi$$

즉, 수전단측의 계통이 충분히 클 경우에는 $\theta = 180 - \phi$ 가 극한 위상차각으로 된다.

여기서, ϕ 의 값은 80° 부근일 경우가 많으므로 개략적으로 $\theta = \phi$ 가 극한 위상차각이라고 생각하여도 무방하다.

【문제 7】 통신선과 전력선이 접근되어 있는 경우 통신선에 대하여 전압 및 전류를 유도하여 장애를 일으킬 수 있다. 유도장애의 종류를 들고 영향을 주는 3인자를 설명하시오.

1. 개요

유도 장애는 정전유도, 전자유도, 고조파 유도의 3가지가 있는데, 정상 운전시에는 정전유도가 문제이고, 고장시에는 전자유도가 문제가 되며, 고조파에 의한 전파 장애 등도 문제가 된다.



2. 유도장해의 종류

(1) 정전유도(ESI : Electro Static Induction)

그림과 같이 통신선과 각 전력선과의 정전용량을 C_a, C_b, C_c 그리고 통신선과 대지와의 정전용량을 C_s 라 하고, 이에 의한 전류와 각상의 전압을 그림과 같이 정하면

$$I_a + I_b + I_c = I_s \text{ 즉,}$$

$$\omega C_a(E_a - E_s) + \omega C_b(E_b - E_s) + \omega C_c(E_c - E_s) = \omega C_s E_s$$

$$E_s = \frac{C_a E_a + C_b E_b + C_c E_c}{C_a + C_b + C_c + C_s}$$

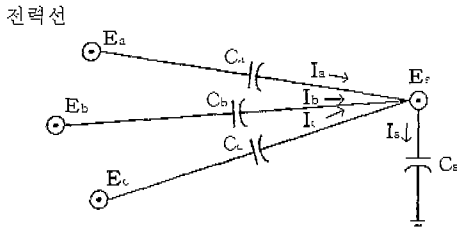
이며, 송전선 전압 3상이 평형일 때,

즉, $E_s = E, E_b = a^2 E, E_c = a E$ 이면

위 식의 절대값은

$$|E_s| = \frac{\sqrt{C_a(C_a - C_b) + C_b(C_b - C_c) + C_c(C_c - C_a)}}{C_a + C_b + C_c + C_s} \times E$$

가 되어 통신선에 위의 식으로 표시되는 정전유도 전압이 유도된다.



(2) 전자 유도(EMI : Electro-magnetic Interference)

전력선에 I_a, I_b, I_c 의 전류가 흐르고 전력선과 인근 통신선 사이의 상호 인덕턴스가 M 이라면 통신선에는 다음 식으로 표시되는 전압이 유도된다.

$$E_m = -j\omega M (I_a + I_b + I_c) = -j\omega M (3I_0) [V]$$

여기서 $3I_0 = 3 \times$ 영상전류 = 지락전류 = 기유도전류이다.

(3) 고조파 유도

여기에도 정전 유도와 전자 유도가 있으나 상용

주파수보다 높은 차수의 고조파 유도에 의한 잡음 장해, 전파 장해 등을 말한다. 특히 코로나에 의한 고조파 장해는 코로나가 전선의 표면에서 전위 정도가 $30kV/cm$ 를 넘을 때만 일어나므로 전압의 반파마다 간헐적으로 나타나서, 선로를 따라 전파되어 근처의 라디오, TV의 수신, 방송 계전기나 방송 통신설비에 잡음 장해를 주게 된다.

3. 유도장해에 영향을 주는 3인자

(1) 작용인자

전력회로에서의 상용주파 및 고주파의 전압·전류이며 평상시에 있어서의 계속적인 것과 고장시의 순간적인 것 2가지

(2) 결합인자

전자회로와 통신회로와의 정전 및 전자결합의 정도를 표시하는 것이며, 주로 양자의 기하학적 배치로 결정된다. 이것에는 연가 및 차폐의 효과도 포함한다.

(3) 수동인자

통신선 회로 그 자체로 정해지는 인자이며 이상상태에 대한 통신회로 및 설비의 특성, 선택도, 통신의 전력레벨, 주파수 특성, 대지에의 평형도 등이 포함

통신회로가 받는 장해의 양상은

- ① 인체의 위험
- ② 통신설비의 소손, 절연파괴
- ③ 통신업무에의 방해 (일시적 또는 영속적 통신두절, 잡음, 음향충격, 오신호)

4. 유도장해의 방지대책

(1) 전력선측의 대책

- ① 결합계수(상호 인덕턴스)를 줄인다.
 - 상호 이격 거리를 크게 한다.
 - 병행거리를 짧게 한다.

- 통신선과 교차할 때는 직각으로 한다.
- 차폐선을 시설한다.
- ② 기유도 전류(영상전류)를 줄인다.
- 전력 계통의 중성점 접지 저항을 크게 하거나 소호 리액터 접지로 한다.
- 연가를 충분히 하여 선로 정수를 평형시켜 잔류 전압을 작게 한다.
- ③ 고속도 지락 보호 계전 방식을 채택하여 고장 회선을 신속하게 차단한다.
- ④ 통신선과의 병행 거리를 가능한 짧게 한다.
- ⑤ 코로나 등에 의한 고조파의 발생을 억제한다.
- ⑥ 전력선에 케이블을 사용한다.
- ⑦ 배전선의 경우에는 지중 배전선으로 한다.

(2) 통신선 측의 대책

- ① 통신선을 교차 시킨다(전력선의 연가에 해당).
- ② 통신선의 중간에 중계 코일(절연 변압기)을 넣어서 구간을 분리하면 병행 길이가 단축된 것과 같은 효과가 있다.
- ③ 유도 전류에는 임피던스가 낮고, 통신전류에는 임피던스가 높은 배류 코일을 사용하여 유도 전류를 대지로 방류 시킨다.
- ④ 피뢰기를 사용해서 유도 전압을 일정 전압 이하의 전압으로 억제한다.
- ⑤ 통신선에 연피 케이블을 사용한다.

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 • 각 과정 교대근무자 수강가능
- 전기(산업)기사반 • 야간반 7:00~ 9:30 • 학원 자기발달으로 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

발송배전 건축전기 전기철도 기술사

- 개 강 • 수요반: 현재접수중 • 일요일반: 1월24일 • 토요일강반: 1월23일
- 강의시간 • 수요반 19:00~22:00 • 일요일반 10:00~15:00 • 토요일반 16:00~20:00
- 강 사 진: 분야별, 과목별로 세분화된 최고의 권위강사진
- 유상봉: Y대교수/국내최대 5종목기술사(역삼배전 건축전기 전기안전 전기응용 소방설비)
- 김재동: D대교수/ 기술사/ 한전, 한국건설기술연구원 수석연구원 역임
- 전명수: 기술사/ H콘선탄토 전무이사/ 한국전력기술인협회 기술전문위원
- 임철교: 기술사/ 경영지도사/ 동일출판사 저자 카 3인

실직자 무료교육

- 모집대상: 전기공사(산업)기사 전기(산업)기사 또는 전기 기능사를 취득하고자 하는 실업자 및 실직자
- 모집인원: 000명(전액 국비지원) ■ 교육기간: 6 개월
- 제출서류: 주민등록등본 통장사본(수당 입금용), 사진, 구직포 2각2부
- 특 전: • 수강료, 교재비 등 일체무료
- 교육종료 교육수당, 교통비, 가족수당 지급(전액국비지원)
- 노동부전신방출 통한 취업알선 노동부인정 수료증 발급

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

서울공과학원 676-1113~5

서울 영등포구 당산동1가 455번지 (지하철2,5호선 영등포구청역 하차, 5번출구에서 70m)