

»모아는 Challenge다«

전기분야의 Legend, 모아전기학원

제 121회 발송배전기술사

[문제풀이집]

교수: 하용일

Legend 모아소방전기학원의 자랑!

모아소방전기학원 2012~2020년

전체수강생의 1/7을 합격시킨, 진정한 Legend!

“실제 수강생 대비 합격률 대한민국 1위”

강의만족도 90%, 강의 평균 재수강률 80%

“8년간의 검증” 모방이 불가능한 커리큘럼

열정적으로 2020년을 시작합니다.

Legend 모아소방전기학원의 최강의 강사진!

황모아 원장 “건축전기 특강반과 기본반, 전기안전 특강반”

하용일 교수 “섬세한 발송배전 기본튼튼 강의”

오부영 교수 “최단기 합격비법 전기안전·전기응용반 강의”



전기 교육전문학원 ———

모아소방전기학원

02) 2068-2851

»모아전기학원 전기기술사반의 Strength!

첫 번째: 대한민국 최고의 강사진!

- ▷ 최고 전문성을 갖춘 검증된 소방기술사 교수진 5명 강의 중

두 번째: 충분한 공부시간 확보!

- ▷ 정규반/심화반 수업(상/하 총 120~160시간 확보)
- ▷ 별도의 스터디를 통한 학습효과 극대화

세 번째: Class Line-up!

- ▷ 건축전기 2개 Class, 발송배전 2개 Class, 전기안전 2개 Class, 전기응용 1개 Class 운영 중! ▷ 총 7개 Class 개강 운영 중!

네 번째: 동영상 혹은 교재 무료제공!

- ▷ 수강 기간 동안 제공되는 복습용 동영상 or 해당 과정 교재 택1 가능
- ▷ 현장강의 수강시 동일과목 동영상강의 무료제공!!

다섯 번째: 스터디 룸 무료제공!

- ▷ 토요일/일요일: 정규반, 심화반 오전/오후 별도의 스터디룸 제공
- ▷ 평일 스터디룸(24시간) 무한 제공!

모아소방전기학원 / 전기기술사 개강일정

건축전기설비기술사 (홍성철/황모아)				
CLASS	개강일정 (11주)			교재
건축전기의 중요핵심 “SGN 기본반”	8월 25일 ~ 11월 03일	일요일 15시 ~ 20시30분	11강	모아건축전기기술사 1권+보충자료
영혼있는 답안작성 “SBR 연구반”	8월 25일 ~ 11월 03일	일요일 10시 ~ 18시	11강	모아건축전기기술사 +Sub note

발송배전기술사 (하용일 교수)				
CLASS	개강일정 (11주)			교재
철저한 기본주의 “토요기본반”	8월 24일 ~ 11월 09일	토요일 15시 ~ 21시	11강	발송기본3권(송길영) 동일출판사
고정관념 제거 “심화연구반”	8월 24일 ~ 11월 09일	토요일 09시 ~ 15시	11강	자체교재

전기안전(응용)기술사 (오부영 교수/ 황모아 원장)				
CLASS	개강일정 (11주)			교재
쓸 수 있는 공부 “SGN기본반”	8월 24일 ~ 11월 09일	토요일 15시-20시	11강	모아전기안전기술사 +보충자료
마무리토론과 모의고사 “SGN연구반”	8월 24일 ~ 11월 09일	토요일 9시-14시30분	11강	모아전기안전기술사 +보충자료

제 121회 발송배전기술사 1차 필기문제 (2020년 5월 9일)

제 1 교시

※ 다음 문제 중 10문제를 선택하여 설명하시오. (각10점)

1. 부유식(Floating) 해상 풍력발전 시스템의 형식을 분류하고, 장, 단점을 설명하시오.
2. 석탄가스 화력발전소에서 연료열량을 Q_0 , 가스터빈 입력열량을 Q_1 , 가스터빈 출구열량을 Q_2 , 증기터빈 입력열량을 Q_3 , 증기터빈 출구열량을 Q_4 라고 할 때, 석탄 가스화계의 효율까지 고려한 전체 열효율을 계산하시오.
3. 입축형 수차발전기의 추력 베어링 설치 위치에 따른 종류를 열거하고 설명하시오.
4. 최근 초전도 현상을 응용한 154kV급 초전도 한류기가 계통에 운용되고 있다. 초전도체가 초전도 상태를 유지하기 위해서 필요한 3가지 임계값을 설명하시오.
5. 기본파에 3고조파가 유입된 경우 고조파에 의한 역률저하 현상을 수식으로 설명하시오. (단, 3고조파전류(I_3)는 기본파 전류(I_1)의 $I_3 = 0.36I_1$ 로 한다.)
6. 전력시장운영규칙에 따른 국내 풍력발전기의 순시전압 저하 시 유지성능에 대하여 설명하시오.
7. 태양광 발전량이 늘어나면서 나타날 수 있는 덕 커브(Duck Curve)현상에 대하여 설명하시오.
8. 고장파급방지장치(SPS : Special Protection System)에 의한 부하차단의 목적을 P-V곡선을 이용하여 간단히 설명하시오.
9. 배전 계통에 사용하는 스포트 네트워크 방식(Spot Network System)에 대하여 간략하게 설명하고, 그 장, 단점에 대하여 설명하시오.
10. 전압강하를 보상하기 위해 배전계통에서 사용하고 있는 전압조정 방법들에 대하여 설명하시오.
11. 단락 전류에 견딜 수 있는 고압케이블의 도체 단면적(최소치)을 구하기 위해 적용해야 할 사항을 설명하시오.
12. 계기용 변류기(Current Transformer)를 이용하여 영상전류를 얻기 위한 방법들의 회로도를 그리고 간략히 설명하시오.
13. 발전기의 여자설비를 제어하는 전력계통 안정화 장치(PSS : Power System Stabilizer)의 설치목적과 동작원리를 설명하시오.

제 2 교시

※ 다음 문제 중 4문제를 선택하여 설명하시오. (각25점)

1. 해수 염도차발전(SGE : Salinity Gradient Energy)에 대하여 설명하시오.
2. 전류형 초고압직류송전방식(HVDC)에서 다음 사항을 설명하시오.
 - 1) Back to Back과 Point to Point 방식 비교
 - 2) 전류실패(Commutation Failure) 현상
 - 3) 필터(Filter) 설치 목적
3. 배전계통에서 사용하는 고압 차단기를 소호 매질에 따라 분류하고, 차단기별 동작 원리와 특징에 대하여 설명하시오.
4. 마이크로그리드의 정의, 특징, 기대효과, 구성요소에 대하여 설명하시오.
5. SSR(Sub Synchronous Resonance)에 대하여 다음 사항을 설명하시오.
 - 1) 개념
 - 2) 원인 및 문제점
 - 3) 대책
 - 4) 국내 발생 가능성
6. 절연레벨에 따른 절연방법을 설명하고, 우리나라 계통에서 저감절연 채택이 가능한 이유에 대하여 피뢰기 제한전압을 중심으로 설명하시오.

제 3 교시

※ 다음 문제 중 4문제를 선택하여 설명하시오. (각25점)

1. 화력발전소의 스위치 야드 송 수전 계통도를 그리고, 스위치 야드의 형식 및 설치되는 변압기 특징을 설명하시오. (단, 송전용 스위치야드는 전압이 345kV 또는 154kV로 구성되고, 수전용 스위치 야드는 154kV로 구성된다.)
2. 수차의 성능이나 특성을 나타내는 비속도(특유속도)에 대하여 다음 사항을 설명하시오
 - 1) 수차 종류에 따른 (비속도 한계값)
 - 2) 비속도와 낙차와의 관계
3. 전력계통에 고장 계산 시 ratio가 나타내는 의미와 그 크기에 따라 보호기기 선정 시 어떠한 영향이 나타나는지 설명하시오.
4. 배전계획은 전력회사가 배전계통 제반 업무와 자원 배분에 대한 최적의 스케줄을 찾아내는 중요한 의사 결정절차라고 할 수 있다. 배전설비의 신설 및 보강 등을 위한 중장기 배전계획의 목적과 절차에 대해서 설명하시오
5. 발전소나 변전소의 주 접지망(Main)설계시 설계 순서를 나열하고 그 내용을 설명하시오
6. 유입 변압기를 보호하기 위한 기계적 보호장치를 설명하고, 동작원리, 동작설정값 및 발생신호(경보, 트립)에 대하여 설명하시오

제 4 교시

※ 다음 문제 중 4문제를 선택하여 설명하시오. (각25점)

4. 다음 그림의 자기유지(Self Holding) 유접점 시퀀스회로를 무접점 논리회로로 바꾸고, 발전소에서 에너지 절약 및 3상 유도전동기 돌입전류를 제한하기 위하여 적용되는 정지형(Soft Starter)제어기와 가변속(VVVF)제어기에 대하여 설명하시오
2. 전력계통의 절연은 이상전압의 크기에 의해 결정된다. 전력계통에서 발생하는 내·외부 이상전압 원인을 열거하고 각각 설명하시오.
3. 고조파가 전력용 변압기에 미치는 영향과 대책에 대하여 설명하시오
4. 배전손실은 배전용 변전소로부터 공급된 전력이 수용지점에 이르는 동안 발생하는 전기적 특성에 의한 손실(Technical Loss)과 전력량 관리상 손실(Non-Technical Loss)로 구분할 수 있다. 각 손실에 대한 발생요소와 해당 배전손실을 줄일 수 있는 방안에 대해 설명하시오.
5. 계통운영시스템(EMS: Energy Management System)의 용어 중 다음 사항에 대하여 설명하시오
 - 1) 조류계산의 목적과 각 모션에서의 기지값, 미지값
 - 2) 상태추정(State Estimation)
 - 3) 안전도제약경제급전(Security Constrained Economic Dispatch)
6. 우리나라 전력계통의 운영의 문제점 중 다음 사항에 대한 원인 및 대책을 각각 설명하시오
 - 1) 고장전류 증가
 - 2) 전압안정도 취약
 - 3) 과도안정도 취약

제 1 교시 문제풀이

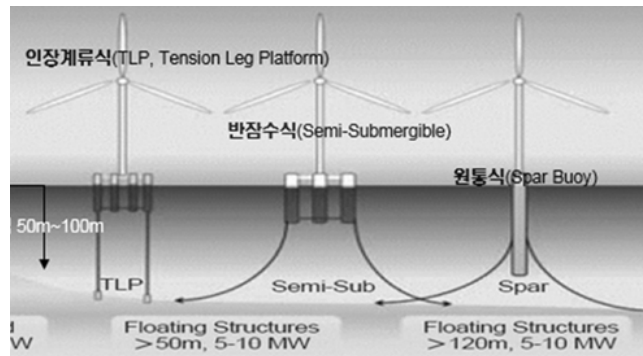
1-1. 부유식(Floating) 해상 풍력발전 시스템의 형식을 분류하고, 장, 단점을 설명하시오.

답)

1. 정의

부유식 해상 풍력은 기존의 파일이나 콘크리트 기초를 이용한 해상풍력 발전이 아닌 풍력 발전설비를 물위에 떠있게 하여 설치비용과 시간을 절감시킨 해상 풍력 발전방식이다.

2. 부유식(Floating) 해상 풍력발전 시스템의 형식을 분류



1) 인장계류 식 (TLP, Tension Leg Platform)

계류용 줄(Mooring Line)의 장력을 이용한 형식

2) 반잠수 식 (Semi-Submersible)

부유체의 부력과 계류시스템을 이용한 형식

- (1) 안정성이 우수한 형태
- (2) 중수심용 풍력발전 시스템의 플랫폼으로 적합
- (3) 경쟁력 있는 표준모델 개발 필요(특히 출원 준비)

3) 원통 식 (Spar Buoy)

흡수(Draft)를 깊게 적용 안정성 확보하는 형식

3. 부유식(Floating) 해상 풍력발전 시스템의 장점

- 1) 부유식 해상풍력발전의 경우 깊은 수심에서도 적용 가능하며, 먼 바다의 고품질 바람자원 활용이 가능함
- 2) 기존 해상풍력 구조물 기초방식에 비해 공기가 짧고 설치가 간단하다.
- 3) 오염물질 배출이 없는 발전방식으로 환경 친화적이다.

- 4) 사업에 따른 일자리 창출이 가능하다.
- 5) 높은 이용률로 육상 또는 해상고정식 해상풍력보다 경제성이 높고, 시민들의 눈에 보이지 않는 먼 바다에서 조성되기 때문에 소음, 저주파, 시각공해 등의 민원 발생이 없다.

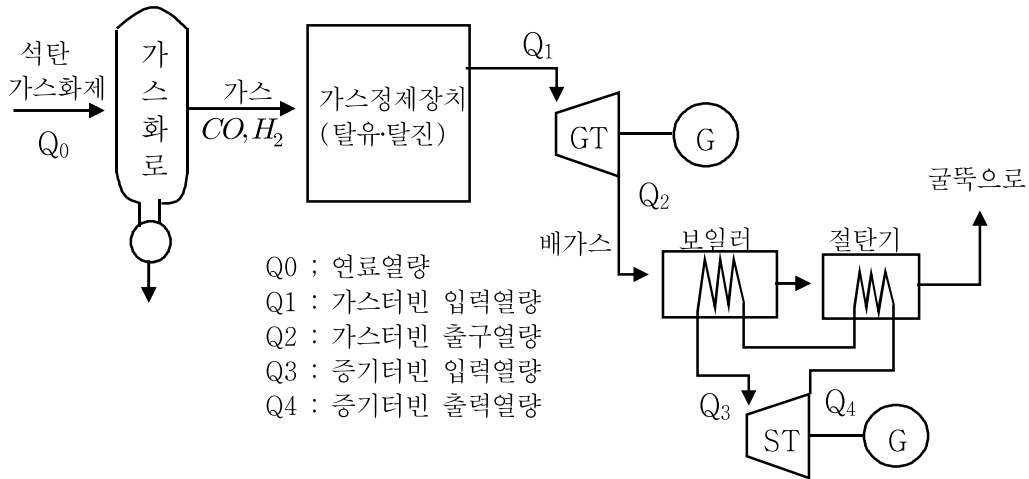
4. 부유식(Floating) 해상 풍력발전 시스템의 단점

- 1) 먼 바다에 위치하기 때문에 높은 유지보수 비용이 든다.
- 2) 조업구역의 축소로 어민들의 어업에 지장을 주며 민원을 야기한다.
- 3) 재난이나 사고가 발생했을 시에 사람의 손길이 즉시 닿을 수 없는 곳에 위치해 있어 안전성에 문제가 생기고 2차 피해도 발생할 수 있다.

1-2. 석탄가스 화력발전소에서 연료열량을 Q_0 , 가스터빈 입력열량을 Q_1 , 가스터빈 출구열량을 Q_2 , 증기터빈 입력열량을 Q_3 , 증기터빈 출구열량을 Q_4 라고 할 때, 석탄 가스화계의 효율까지 고려한 전체 열효율을 계산하시오.

답)

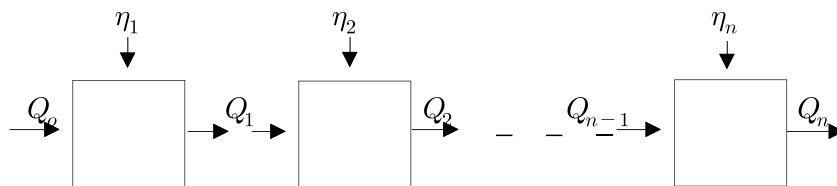
1. 석탄가스화 복합발전(IGCC)



<복합 Cycle 개념도>

2. 열효율

1) 복합발전 열효율 식



$$\text{종합효율} \eta = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - \eta_i)$$

2) 각 공정별 효율

(1) 연료에서 가스로 전환하는 열효율 η_{gas} : $\eta_{gas} = \frac{Q_1}{Q_0}$

(2) 가스터빈 효율 η_{GT} : $\eta_{GT} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$

(3) 증기터빈 효율 η_{ST} : $\eta_{ST} = \frac{Q_3 - Q_4}{Q_3} = 1 - \frac{Q_4}{Q_3}$

3) 터빈계 열효율 η

$$\eta_T = 1 - (1 - \eta_{GT})(1 - \eta_{ST}) = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} \cdot \frac{Q_4}{Q_3}$$

4) 가스계를 포함한 종합효율 η

$$\eta = \eta_{gas} \cdot \eta_T = \frac{Q_1}{Q_o} \left(1 - \frac{Q_2 Q_4}{Q_1 Q_3} \right)$$

1-3. 입축형 수차발전기의 추력 베어링 설치 위치에 따른 종류를 열거하고 설명하시오.

답)

1. 추력 베어링 정의

터빈의 회전부와 정지부의 축방향 간극은 아주 작기 때문에, 운전 중에 발생하는 축방향 힘을 흡수하고 축의 위치를 고정시킬 수 있는 베어링을 추력 베어링이라 한다.

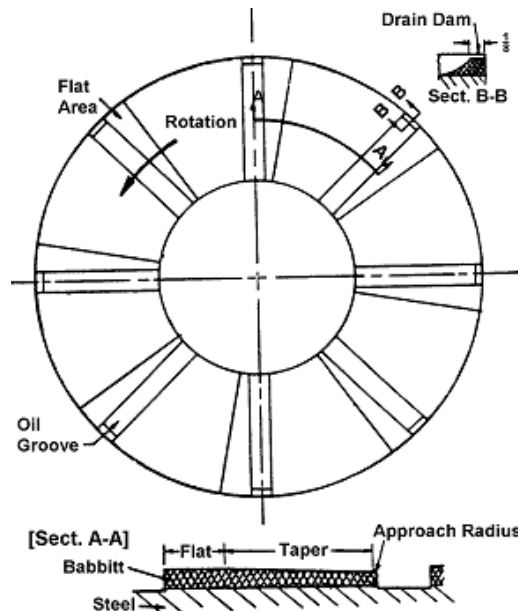
2. 추력 베어링 종류

1) Flat Land Thrust Bearing

- (1) Flat Land 형식은 현존하는 추력 베어링 중에 가장 구조가 간단하고 면이 편평하므로 제작하기 쉽고 값이 싸다. 스리스트 면에 홈을 가공하여 많은 오일이 흐르도록 되어 있으며, 이 홈은 베어링 면을 여러 개의 Land로 나누는 역할도 한다.
- (2) Flat Land 추력 베어링의 부하용량은 극히 낮으며, 추력을 흡수하기 보다는 로터의 위치를 잡아주는 역할을 할 때가 많다.
- (3) 이 형식은 소형 터빈의 Inactive Thrust 면에 사용되며 대형 터빈에는 거의 사용되지 않는다. 보통 $5.3 \sim 7 \text{ kg/cm}^2$ 정도의 부하에 일반적으로 쓰이며, 10.5 kg/cm^2 까지도 사용할 수 있다.

2) Tapered Land Thrust Bearing

- (1) Tapered Land 추력 베어링은 그림과 같이 Flat Land와 비슷한 모양을 갖고 있으나 Land를 테이퍼 가공한 것이 다르며, 신뢰성이 있어 널리 사용되는 추력 베어링 중의 하나이다.

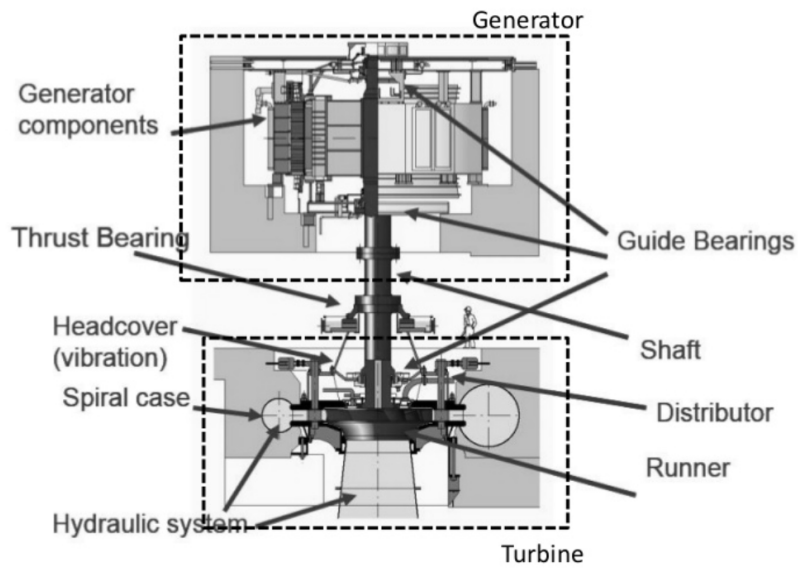


<Tapered Land Thrust Plate>

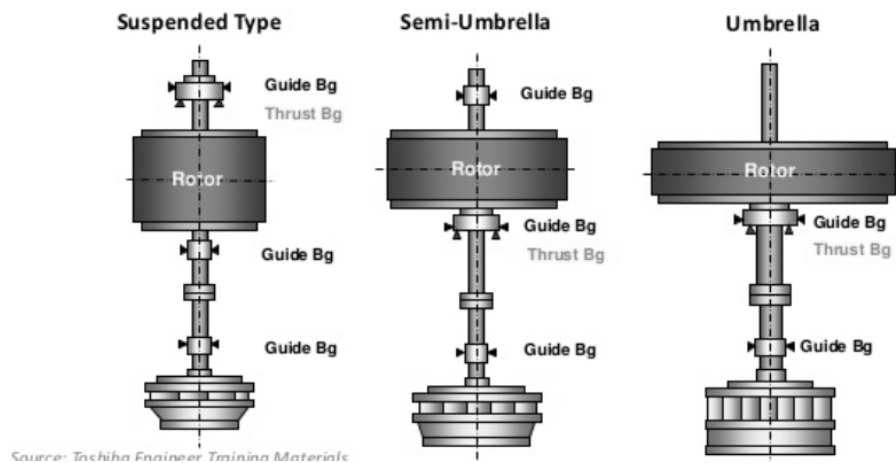
- (2) 베어링 면은 같은 수의 오일 홈으로 분리된 여러 개의 Pad로 구성되어 있고, 각 Pad는 런너가 회전 시 오일을 빼기부위로 밀어 넣어 부하를 지지할 수 있는 유압이 발생토록 반경방향과 원주방향으로 Taper져 있다. 경사각은 외경 부분보다 내경부를 더 크게 함으로써 유량을 같게 하여 오일온도를 동일하게 유지하도록 되어 있다.

- (3) Taper 부분은 보통 패드의 80~90%로 하고 그 나머지만 평면으로 하여 기동, 정지 시 수력학적 유막이 발생되지 않는 저속에서 오일 웅지가 형성되지 못할 때 추력을 흡수하도록 한다.
 - (4) 패드 사이 홈의 크기는 충분한 양의 오일이 흐를 수 있도록 한다. 반경 방향 홈의 바깥쪽 끝에는 턱(Dam)을 만들어 홈으로부터 Plate 밖으로 흘러나가는 오일량을 조절해야 한다. 이 턱은 입구 오일과 출구오일의 온도차가 17℃ 정도가 되도록 만든다.
 - (5) 보통 경사도가 작으면 부하 용량이 증가하고 유막 두께가 두꺼워 진다. 그러나 베어링 냉각을 위해 충분한 오일이 흐를 수 있도록 부하용량에 의해 결정된 값보다 테이퍼량을 더 크게 한다. 패드가 커지면 냉각을 위한 오일량이 더 많아야 하므로 테이퍼량이 더 커져야 한다. Tapered Land Plate의 크기는 유효면적의 단위 면적당 부하나 유막 두께에 의하여 결정된다.
 - (6) 만약 마모가 발생하여 테이퍼진 부분이 감소하면 부하용량이 급감하므로 교체해야 한다.
- 3) 틸팅 패드 推力 베어링 (Tilt Pad Thrust Bearing)
- (1) 틸팅 패드 추력 베어링은 각 패드가 피봇에서 자유롭게 경사되는 독립 세그먼트라는 점에서 Flat 또는 Tapered Land 베어링과 다르다.
 - (2) 오일은 축부근으로 유입되어 반경방향으로 외측으로 흐르는데, 패드사이의 공간이 크기 때문에 Plat형 베어링이나 테이퍼 랜드 베어링보다 더 많은 오일량을 필요로 한다.
 - (3) 상대적으로 부품수가 많고 Leveling Ring과 지지기초링에서 작은 접촉점이 많아 고부하시 변형되기 쉬우며, 패드도 고부하에서 변형되기 쉬워 유막 온도 상승을 야기하며 부하용량이 감소한다. 틸팅 패드 베어링은 보통 14~28 kg/cm²의 부하를 받도록 설계되며, 최고부하는 42~63 kg/cm²이다.
 - (4) 틸팅 패드 베어링에는 크게 나누어 미첼 베어링과 킹스베리 베어링이 있다.

3. 추력베어링의 위치



Generators are categorized by the presence of top guide bearing and position of thrust bearing.



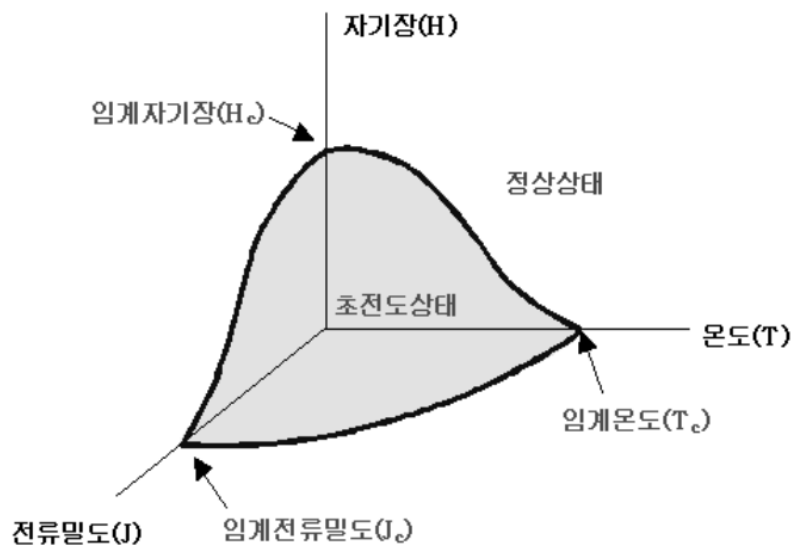
< 발전기 타입에 따른 추력베어링 위치 >

1-4. 최근 초전도 현상을 응용한 154kV급 초전도 한류기가 계통에 운용되고 있다. 초전도체가 초전도 상태를 유지하기 위해서 필요한 3가지 임계값을 설명하시오.

답)

1. 초전도체의 3가지 임계값

초전도체는 중요한 3가지 임계값을 갖는데, 임계전류밀도(critical current density, J_c), 임계자장(critical magnetic field, H_c), 임계온도(critical temperature, T_c)이다. 초전도체는 이 범위 안에 존재해야만 그 특성을 유지할 수 있다. 만약 이 세가지중 하나라도 범위를 넘어서게 되면 초전도체는 상전도체로 상전이하게 되는데 이를 Quench라고 한다.



2. 임계전류 밀도 (critical current density, J_c)

- 1) 도체 내에 전류가 흐를 때 외부 기전력을 제거하면 전류는 곧 사라지는 것이 일반적이지만 초전도체의 경우 내부에 저항이 없기 때문에 순환전류를 흘릴 때 이 순환전류의 감쇄가 일어나지 않는다.
- 2) 초전도체가 어떤 특정 전류이상을 흘리면 저항이 있는 정상상태로 전환하게 되는데 임계전류밀도(J_c)라고 한다.
- 3) 초전도 상태에서 흘릴 수 있는 최대 임계전류밀도는 온도에 따라 다음과 같이 나타낸다.

$$I_c(T) = I_{\infty} \left(1 - \frac{T}{T_c} \right)^{\frac{3}{2}}$$

- 4) 최근 개발된 고온 초전도체의 경우, 자속의 이동이 쉬워서 저항 없이 흘릴 수 있는 전류의 크기가 작은 단점이 있다.
- 5) 고온 초전도체에서는 임계전류 밀도를 높이기 위한 자속 고정 필요성이 매우 높으며 이는 대규모 응용을 위한 선재화에 있어 아주 중요한 문제점으로 남아 있다.

3. 임계 자기장 (critical magnetic field, H_c)

- 1) 임계온도 이하의 초전도체에 자기장을 가하면 초전도체 표면에 외부 자기장을 상쇄하는 방향으로 초전도 전류가 유도되어 초전도체 내부에는 자기장이 0이 되며 초전도체 내부로 자기장이 침투할 수 없게 된다.
- 2) 초전도체 내부의 자기장은 0이기 때문에 초전도체의 자와는 완전 반자성을 나타내어 자석이 공중에 뜨게 되는 현상을 볼 수 있다.
- 3) 외부자기장이 어느 특정 값 이상이 되면 초전도 상태는 사라지고 상전도 상태로 전이하는데 이 한계자기장을 임계 자기장이라 한다.

4. 임계온도(critical temperature, T_c)

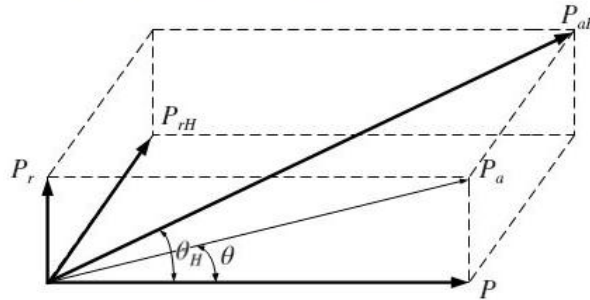
- 1) 금속 물체의 온도를 절대온도(-273°C)까지 낮추면 내부저항이 0에 가까워지는 초전도 상태가 되는데, 초전도 상태와 상전도체 상태의 구분점이 되는 온도를 임계온도라 한다.
- 2) 과거에는 저온 초전도체만이 발견되어 냉각비용의 증가로 경제성이 없었으나 최근에는 $50-60^{\circ}\text{K}$ 에서 초전도 현상이 일어나는 고온 초전도체가 발견됨으로써 초전도체의 산업화가 가속화되고 있다.
- 3) 초전도 모터, 발전기, 케이블, 변압기, 한류기 등 다양한 분야에서 산업화가 진행 중이다.

1-5. 기본파에 3고조파가 유입된 경우 고조파에 의한 역률저하 현상을 수식으로 설명하시오.
(단, 3고조파전류(I_3)는 기본파 전류(I_1)의 $I_3 = 0.36I_1$ 로 한다.)

답)

1. 고조파에 의한 역률저하

고조파가 발생 비선형부하(With Non-linear Loads.)



여기서, P : 유효전력, P_r : 무효전력, P_a : 피상전력, P_{rH} : 고조파 무효전력,
 P_{aH} : 고조파 포함 피상전력, θ : 역률각, θ_H : 고조파 포함 시 역률각

2. 고조파 불포함 시 역률

$$PF = \frac{P[W]}{P_a[VA]}$$

3. 고조파 포함 시 피상전력

$$P_{aH} = \sqrt{P^2 + P_r^2 + P_{rH}^2} [VA-H]$$

4. 고조파 포함 시 역률

$$H-PF = \frac{P[W]}{P_{aH}[VA-H]} = \frac{V_{rms} I_1 \cos\theta}{V_{rms} I} = \frac{I_1 \cos\theta}{\sqrt{I_1^2 + I_2^2 + \dots + I_n^2}} = \frac{\cos\theta}{\sqrt{1 + (I-THD)^2}}$$

$$\text{여기서, } I : \text{고조파 포함 전체 전류, } I_1 : \text{기본파 전류, } I-THD = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{50} I_n^2}}{I_1}$$

5. 3고조파가 유입된 경우 고조파에 의한 역률저하 현상을 수식으로 설명

$$H-PF = \frac{I_1 \cos\theta}{\sqrt{I_1^2 + I_3^2}} = \frac{I_1 \cos\theta}{\sqrt{I_1^2 + 0.36^2 I_1^2}} \approx 0.941 \cos\theta$$

고조파 포함 전 역률에 비하여 94.1%로 감소한다.

1-6. 전력시장운영규칙에 따른 국내 풍력발전기의 순시전압 저하 시 유지성능에 대하여 설명하시오.

답)

1. 국내 풍력발전기 순시전압 저하 시 유지성능

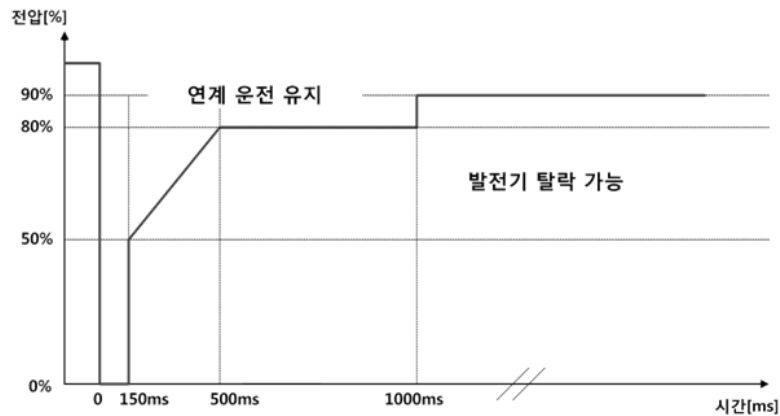
1) 적용범위 : 풍력발전기를 전력계통에 연계하고자 하는 경우 적용

2) 대상

송전용 전기설비 접속기준 중 전력계통 신규 연계하는 설비용량 20MW 이상의 풍력 발전기

3) 순시전압 저하 시 유지성능

신재생 발전기는 계통 사고로 인한 순시전압 강하 시 전력계통의 안정적 복구를 위하여 사고 시와 사고 발생 후 아래의 기준 이상의 연계 운전을 유지할 수 있는 능력을 갖추어야 함.



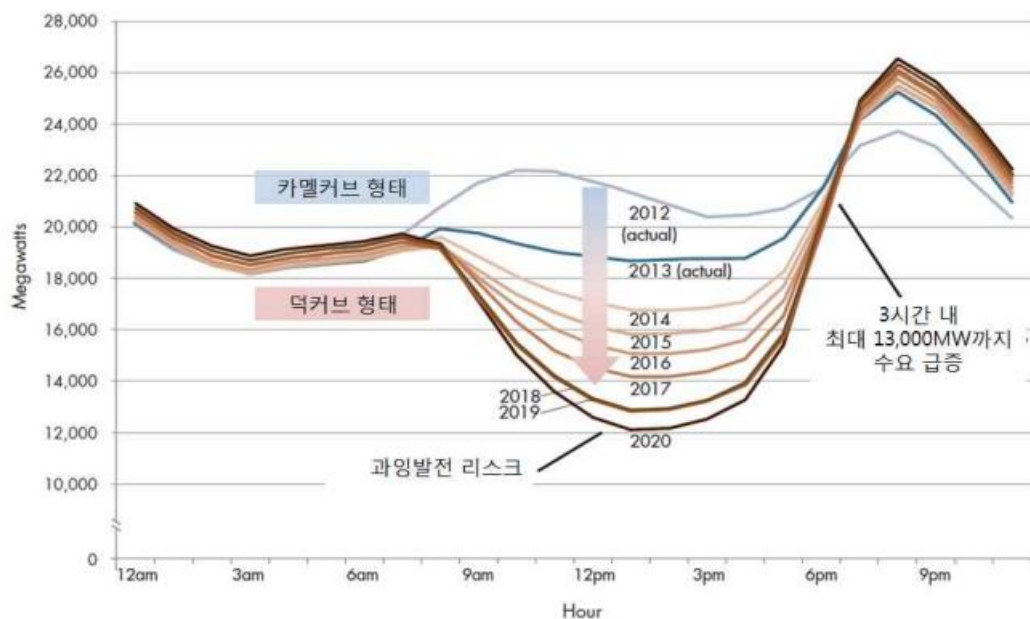
<그림, FRT곡선(Fault Ride Through Curve)>

1-7. 태양광 발전량이 늘어나면서 나타날 수 있는 덕 커브(Duck Curve)현상에 대하여 설명 하시오.

답)

1. 덕 커브(Duck curve) 현상의 정의

태양광 발전량이 증가하면서 일출에서 일몰사이에 순 부하가 급격히 떨어지는 현상으로 아침에 해가 뜨면서 태양광 발전소에서 전기를 생산하게 되면 그 만큼 수요가 줄어 석탄과 원자력발전 등 다른 에너지원의 발전량이 줄어들게 되는 현상을 말한다.



<연도별 캘리포니아 전력부하 현황과 추정>

2. 원인

- 1) 주택용 태양광과 대규모 태양광발전단지, 에너지효율 기술 향상 등
- 2) 덕 커브 현상은 처음 태양광 발전량이 많은 봄철(3월)에 주로 나타났지만 점차 계절에 상관없이 발생하고 있고, 주중보다는 총 부하수준이 낮은 주말에 덕 커브 현상이 심화되고 있는 것으로 나타났다.

3. 영향

- 1) 낮 시간대 과잉발전
 - (1) 출력변동성 심화로 순 부하량 예측 정확성 하락
 - (2) 전력망 운영비용 상승
- 단시간 내 가동이 가능한 가스발전이 예비력으로 증가

2) 해가 진 후 단시간 내 부하 급증

2020년에는 3시간 내 수요 증가량이 13,000MW까지 달할 것으로 예측

- 기저발전원의 운영정지·재가동 반복 등에 따른 운영·유지비용 증가

3) 미국 전력청은 덱 커브 현상의 심화가 전력가격 상승을 초래할 수 있고, 블랙아웃과 같은 상황에 취약하다고 경고

(1) 만일 날씨와 같은 예기치 못한 변수로 낮 시간대 재생에너지 출력량이 급감하게 되면 다른 발전원으로 이를 보완해야 하는데, 이를 빠르게 대처하지 못하면 블랙아웃 상황 우려

(2) 겨울에는 일조량이 줄어 부하 예측은 더욱 어려움을 겪을 것이고, 불안정한 전력망 운영은 전력가격이 상승하는 또 다른 요인으로 작용할 것

(3) 지난해 겨울, 캘리포니아에서 태양광 발전 시스템 전력 보완을 위해 가스발전 수요가 이전 3년 평균치 보다 46% 상승함

4. 대책

1) 전력회사에 ESS(에너지저장시스템) 조달의무를 도입하고, 시간대별 요금제를 적용한다.

2) 신재생에너지 발전에 특화된 전력부하 관리 시스템 도입

(1) 예를 들어 태양광발전은 낮동안 집중되고, 풍력발전은 저녁시간에 풍부하므로 이 둘을 통합하여 전력계통에 연계하면 출력변동성 보완이 가능하다.

(2) 덱 커브 현상은 기존 전력망에 경제성·신뢰성 위기를 야기하는 문제점으로 인식되는 것이 아니라 현대적 전력망으로 거듭나기 위한 혁신의 방향으로 인지되어야 한다.

1-8. 고장파급방지장치(SPS : Special Protection System)에 의한 부하차단의 목적을 P-V 곡선을 이용하여 간단히 설명하시오.

(5)

1. SPS 정의

적기에 설비가 보강되지 못함으로 인해 발생하는 계통 불안정 문제점을 해소하기 위한 운영상의 임시 기술적 조치사항으로, 계통분리, 발전기탈락, 송전선로의 연쇄차단 등 광범위한 고장파급을 방지하기 위한 컴퓨터, 통신전송설비, 보호장치 등 일련의 장치들의 조합된 보호시스템을 말한다. 취약개소에 대한 개별적인 알고리즘이 탑재되어 있다.

2. SPS 부하차단의 목적

- ### 1) 전압불안정 현상 개선

해당지역 전압붕괴를 방지하기 위한 부하 차단

- ## 2) 과부하 해소

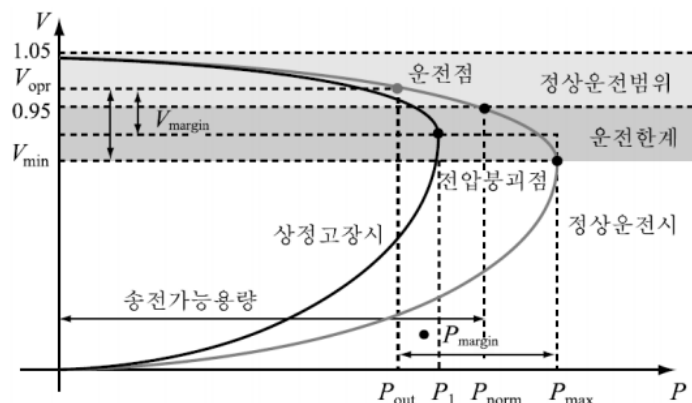
과부하에 의한 발전기 탈락, 전압붕괴 방지

- ### 3) 저주파수 해소

주파수 저하에 따른 안정도 향상

3. SPS에 의한 부하차단의 목적을 P-V곡선을 이용하여 간단히 설명

- ### 1) P-V 곡선의 도시



- 2) 전압 안정도 측면에서 계통 사고 발생 시 전압이 95% 이하로 저하하는 것을 방지하기 위하여 적정한 부하 제한량을 선정하여야 한다. 제한량이 적으면 정상운전범위 아래로 내려가 전압안정도 측면에서 가혹해 진다. 또한 제한량이 많으면 공급 신뢰도 측면에서 문제가 발생한다.
- 3) 현재 운영 중인 SPS의 부하 차단량을 과도하게 선정하지 않기 위해서는 첫 번째, 상정사고 해석 시 조류계산 수렴(즉, 안정화) 조건을 사용해야 하며 두 번째, 계통운전 한계점 결정 시 5% 용통조류 여유량을 감안해야 한다.

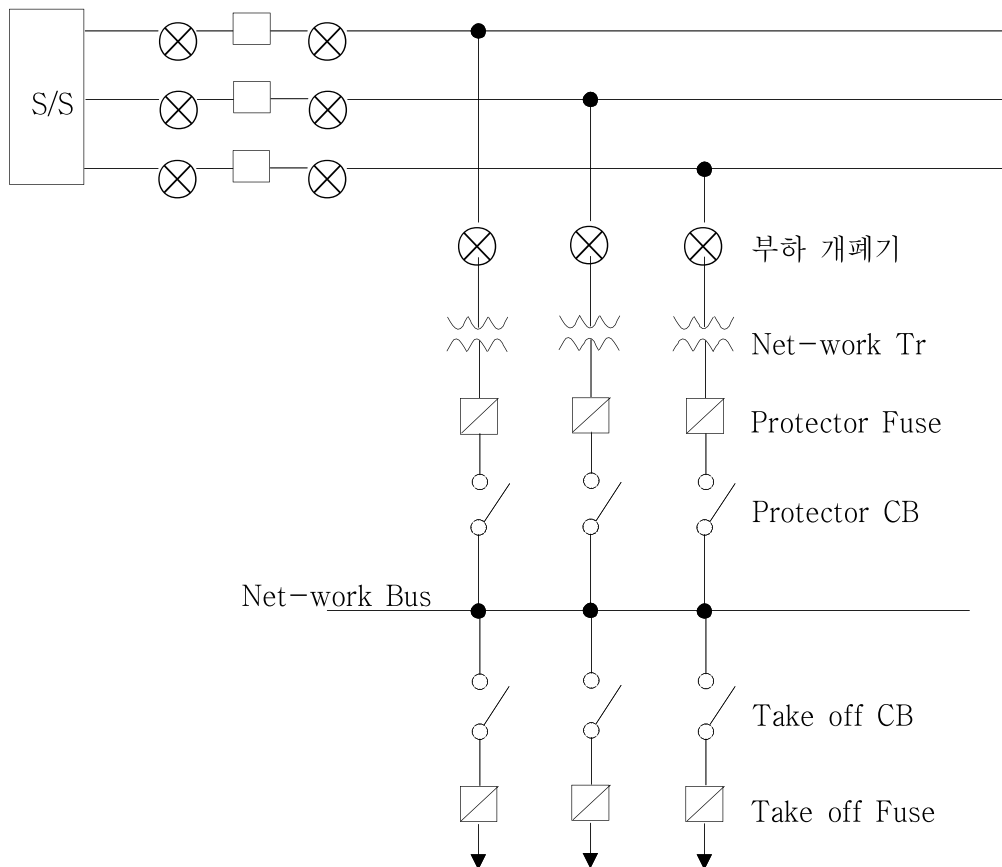
1-9. 배전 계통에 사용하는 스포트 네트워크 방식(Spot Network System)에 대하여 간략하게 설명하고, 그 장, 단점에 대하여 설명하시오.

답)

1. 정의

배전용 변전소로부터 2회선이상의 배전선으로 수전해서 공급하는 방식으로 부하밀도가 높은 곳에 적용되며, 1회선에서 사고가 발생해도 다른 회선에서 자동으로 공급되는 무정전 공급방식이다.

2. 구성도



3. 구성설비

1) 부하개폐기(1차 개폐기)

- (1) Network Tr 1차 측에 설치되고 변압기 2차 지락 시 고장전류 개폐가 가능해야 한다.
- (2) 부하 개폐가 가능해야 하며 SF_6 개폐기, 기중부하 개폐기가 사용된다.

2) Network Tr

- (1) 1회선 정전 시 다른 건전한 회선만으로 최대 부하에 견딜 수 있어야 한다.

(2) 130% 과부하에서 8시간 운전 가능해야 하며 Mold, SF_6 Gas 변압기가 사용 된다.

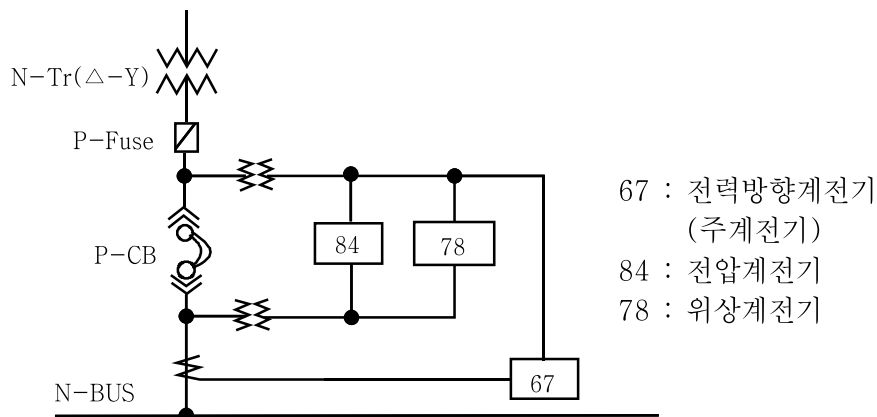
$$(3) \text{ 변압기 용량} = \frac{\text{최대수요전력}}{\text{변압기 대수} - 1} \times \frac{100}{\text{과부하율}} [\text{kVA}]$$

3) Protector Fuse

- (1) 후비 보호용으로서 Tr 2차 이후의 단락사고를 보호한다.
- (2) Tr 1차측 사고 시 P-CB 동작 안하면 후비 보호용으로 역전력 차단한다.

4) Network Protector (N-Bus 와 Protector CB로 구성)

(1) 구성도



(2) 동작특성

① 역전력 차단 (67)

배전선, 변압기 1차측 사고 시 및 전원 측의 정전 시 역전력을 차단하나, 모선 측 사고 시는 차단하지 않는다. 계통의 단락 및 지락전류 유입 시 차단한다.

② 차전압 투입 (78)

1대의 차단기가 개방상태로 있을 때 고장제거로 재송전시 변압기 2차 측 전압이 Network 모선전압보다 높고 위상이 앞설 때 자동 투입한다.

③ 무전압 투입 (84)

네트워크 모선이 무전압 일 때 전원이 공급되면 차단기 자동투입.

5) Take-off CB 및 Fuse

Network Bus에서 분기되는 부하 측 고장 시 동작한다.

3. 장, 단점

1) 장점

- (1) 무정전 공급이 가능하며 신뢰도가 높은 수전 방식이다.
- (2) 리액턴스가 작아 전압 변동률이 적다.
- (3) 부하증가에 대한 적응성이 좋다.

- (4) 기기의 이용률이 향상되고 고효율 운전이 가능하다.
- (5) 변전소의 수를 줄일 수 있다.
- (6) 전력 손실이 감소된다.

2) 단점

- (1) 시설 투자비가 과다하고, 특별한 보호장치가 필요하다.
- (2) 수전보호 방식 및 보호 계전 방식이 복잡하다.
- (3) 오동작 가능성이 있다.

1-10. 전압강하를 보상하기 위해 배전계통에서 사용하고 있는 전압조정 방법들에 대하여 설명하시오.

답)

1. 전압강하를 보상하기 위해 배전계통에서 사용하고 있는 전압조정 방법

1) ULTC를 이용한 송출전압의 조정

(1) LDC(Line Drop Compensator) 법

① 정의

선로 말단 또는 배전선로내의 어느 지점의 전압을 일정하게 유지하기 위해 선로 전압 강하분을 보상하여 변압기 탭을 조정하는 방식.

② 저항성 전압강하성분(U_r), 유도성 전압강하성분(U_x)

이 방식은 전압·전류의 벡터적 보상으로서 U_r , U_x 값이 정확하면 선로 전압강하의 판정이 정확하다.

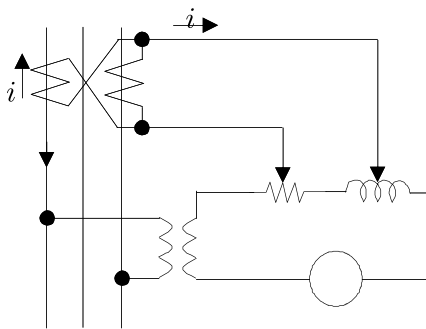
$$U_r = I_n \times \frac{R_{CT}}{R_{PT}} \times r \times \ell, \quad U_x = I_n \times \frac{R_{CT}}{R_{PT}} \times X \times \ell$$

I_n : CT 2차 정격전류, R_{CT} : CT 변류비, R_{PT} : PT 변압비

X : 선로 각 상의 유도성 리액턴스 [Ω/km]

r : 선로 각 상의 저항 [Ω/km], ℓ : 선로의 길이 [km]

③ 결선 예



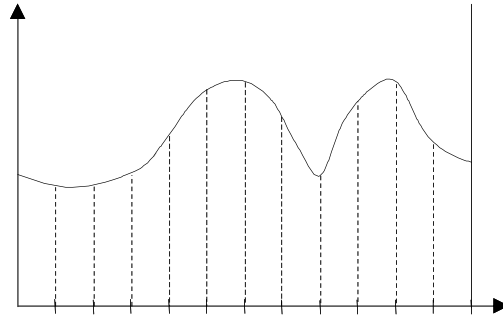
< LDC 접속 예 >

(2) 프로그램 제어법

① 정의

일부하 곡선에 따라 몇 개의 구간으로 나누어 타이머에 의해 Tap을 조정하는 방법

② 개념도



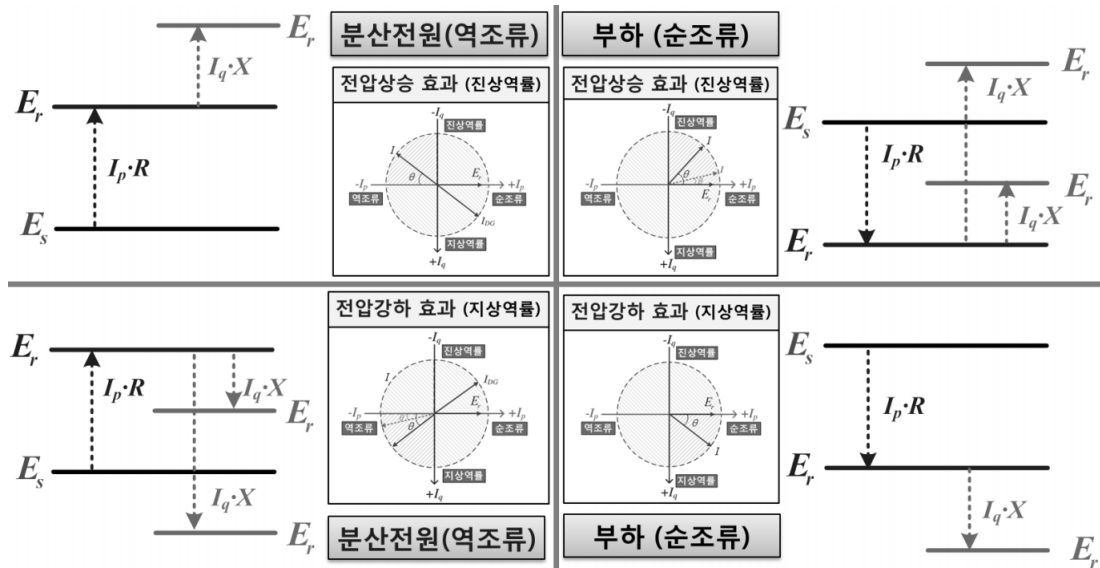
2) 주상변압기의 탭의 변경에 의한 전압조정

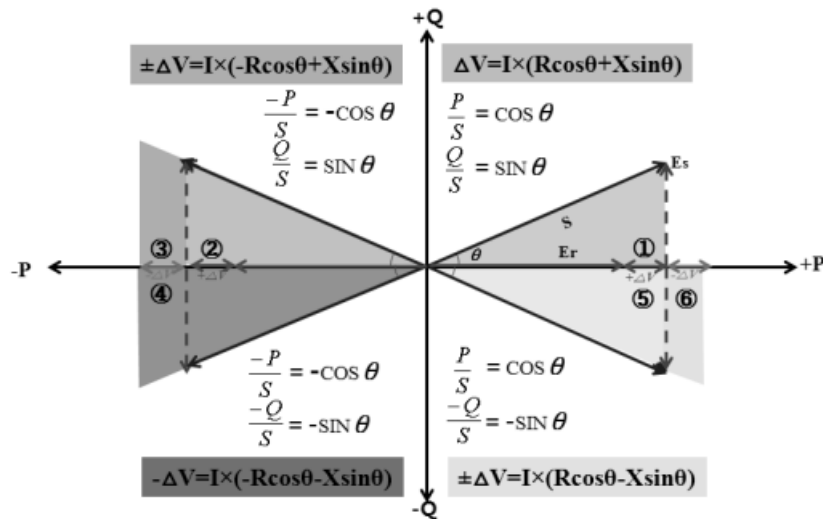
- (1) 주상변압기 탭을 적절히 선정하여 고압선로 및 저압배전선로의 전압강하를 적절하게 조정하여 일정한 범위내로 유지한다.
- (2) 변전소의 인출구로부터 배전선로의 말단까지 수용가 전압을 항상 허용변동 범위 이내로 유지한다.
- (3) 22.9 kV 주상변압기는 $-1\% \sim +4\%$ 내외 Tap 조정이 가능하며 보통 5% 간격의 5개의 탭이 있다.

3) 선로전압조정장치(SVR : Step Voltage Regulator)의 운용

- (1) 선로길이가 긴 경우 등의 전압강하가 큰 고압 배전선에서는 선로 도중에 단권변압기와 탭 전환기구로 구성된 자동전압조정기를 설치하여 선로 말단의 공급전압을 유지하고 있다.
- (2) 부하 측 선로말단의 전압과 통과전류를 감시하여 이들의 수치에 따라 자동적으로 탭을 전환하여 전압을 제어한다.
- (3) 최근 배전 계통의 전압을 적정 범위로 유지하기 위하여 태양광전원이 연계된 장거리 고압 배전선로나 부하변동이 심한 고압 배전선로에 선로전압조정장치(step voltage regulator: SVR)를 도입하여 운용하고 있다.

4) 분산전원을 이용한 전압조정





5) 수전단에 무효전력 공급설비를 이용하여 전압조정

- (1) 전력용 콘덴서의 설치
- (2) 동기조상기의 설치
- (3) SVC, STATCON 등 전력용 반도체 소자를 이용한 무효전력 공급설비의 설치

1-11. 단락 전류에 견딜 수 있는 고압케이블의 도체 단면적(최소치)을 구하기 위해 적용해야 할 사항을 설명하시오.

답)

1. 단락 전류에 견딜 수 있는 고압케이블의 도체 단면적을 구하기 위해 적용해야 할 사항

1) 허용전류 계산식

$$I_s = \frac{0.143 \times A}{\sqrt{t}} \text{로부터 } A = \frac{\sqrt{t}}{0.143} I_s$$

여기서 I_s : 단락전류 [kA], t : 단락통전시간(Sec), A : 도체단면적 [mm^2]

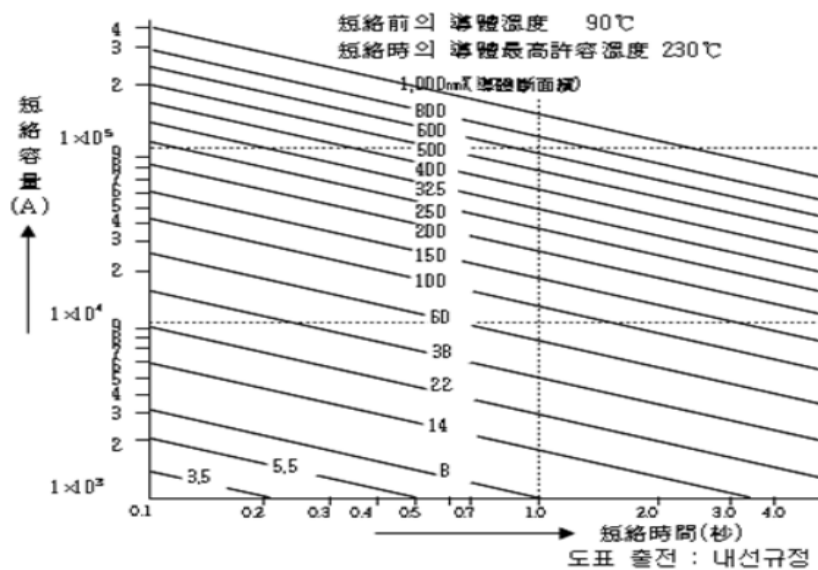
2) 검토기준

(1) 주간선 또는 분기간선

- ① 0.5 Sec를 적용하여 검토한다.
- ② 간선 부분에서 고장 발생 시 보호계전기의 한시요소 동작으로 차단기가 동작하여 단락회선을 제거 할 수 있는 시간이다.
- ③ 특별한 경우 후비보호까지 고려하여 2 Sec를 적용하여 검토하는 경우도 있다.

(2) 부하에 직접 연결되는 Feeder

- ① Steady State Fault Current 또는 5 Cycle Fault Current(0.1 Sec)을 적용하여 검토한다.
- ② 부하 측에 고장 발생 시 보호계전기의 순시요소 동작으로 차단기가 동작하여 단락 회선을 제거 할 수 있는 시간이다.
- ③ 이때에는 Feeder에 반드시 순시요소에 상응하는 보호장치(Relay 순시요소)가 필요하며 Power Fuse에 의하여 보호되는 Feeder는 5Cycle 값(0.1 Sec)을 적용 할 수 있다.



< 단락용량과 단락시간에 따른 Cable의 굵기 >

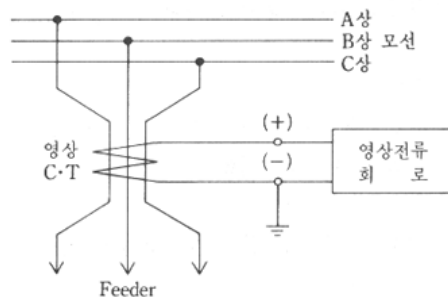
1-12. 계기용 변류기(Current Transformer)를 이용하여 영상전류를 얻기 위한 방법들의 회로도를 그리고 간략히 설명하시오.

답)

1. 계기용 변류기(Current Transformer)를 이용하여 영상전류를 얻기 위한 방법

1) 비접지 계통에서 영상변류기(ZCT)를 이용하는 방법

(1) 접속도



< 영상 변류기 접속도 >

영상 변류기 : 1개의 철심중심에 3상의 도체를 일괄하여 통하게 하고 그 위에 2차 권선을 감아서 자기적으로 평형된 상태로 영상전류를 얻는 변류기.

(2) 접속 방법

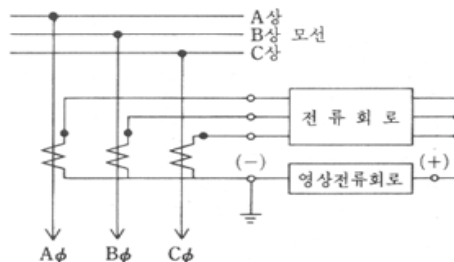
절연이 문제가 되지 않는 계통에서는 3상을 일괄하여 통과시키는 ZCT(영상변류기) 1대를 이용하여 검출하며 ZCT의 정격은 200/1.5 mA로 되어있다.

(3) 주의사항

- ① 선로의 길이가 길 경우(300m) 이상의 경우 양단접지를 하고 짧은 경우 1개소만 접지하는 것이 좋다.
- ② 케이블 전원측에 ZCT를 설치하고 케이블 시이즈를 접지할 경우 ZCT를 관통시켜 접지한다.
- ③ 케이블 부하측에 ZCT를 설치하고 케이블 시이즈를 접지할 경우 ZCT를 관통하지 아니하고 접지한다.

2) Y 결선의 잔류회로 이용법

(1) 접속도



< Y결선의 잔류회로 결선도 >

(2) 결선 방법

선로에 단상 CT 3대를 각 상별로 설치하고 Y결선하여 잔류회로에서 영상전류를 얻는다. 이 경우는 직접접지계통에서 지락전류가 큰 경우에 적용된다.

(3) 저항접지 계통에 적용

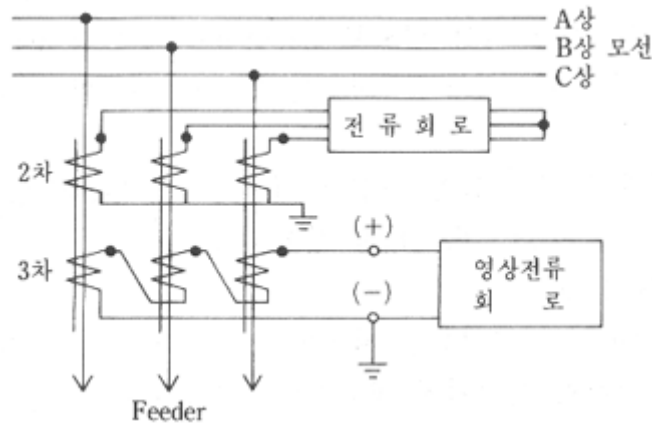
저항접지 계통에서는 CT 비 300/5 이하에서 적용.

저항접지방식에서는 지락전류를 수백A 이하로 억제하기 때문에 변류비에 따라서 지락보호계전기의 탭 선정이 곤란한 경우가 발생할 수 있다. 따라서 유도형(아나로그)의 경우에는 변류비가 클 경우 탭 선정이 곤란하게 되며, 정지형 및 디지털형의 경우에는 탭 선정의 범위가 넓으므로 (800~1000/5A) 잔류회로 이용이 가능하다.

(4) 접지는 계전기 1차측에서 1개소만 접지한다.

3) 3권선 CT 이용법(영상분로방식)

(1) 결선도



< 3권선 CT 결선도 >

(2) 결선 방법

고저항 접지 계통에서는 접지전류가 진상전류(충전전류)에 비해 적기 때문에 잔류회로에는 전류가 적어 별도로 3차 권선을 두어 오픈델타 결선을 하여 영상전류를 얻는다. 이때 2차회로는 잔류회로가 없는 Y 결선으로 하여야 한다.

(3) 3차 회로의 영상전류

$$I_{03} = \frac{I_0 \times N_1}{3N_3}$$

여기서, I_{03} : 3차측 영상전류, I_0 : 1차측 영상전류, N_1 : 1차측 권수비, N_3 : 3차측 권수비

(4) 보통 1차는 1턴, 3차는 30턴 이므로 1차 정격전류의 $\frac{1}{60}$ 이 3차에 나타난다.

(5) 저항접지 계통에서는 CT비가 300/5(일본의 경우 400/5) 이상에 적용

(6) 2차 결선은 Y 결선으로 하고 잔류회로를 만들지 않고 계전기 2차 측 1개소를 접지한다.

(7) 3차 권선은 △권선으로 한다.

(8) 변류비

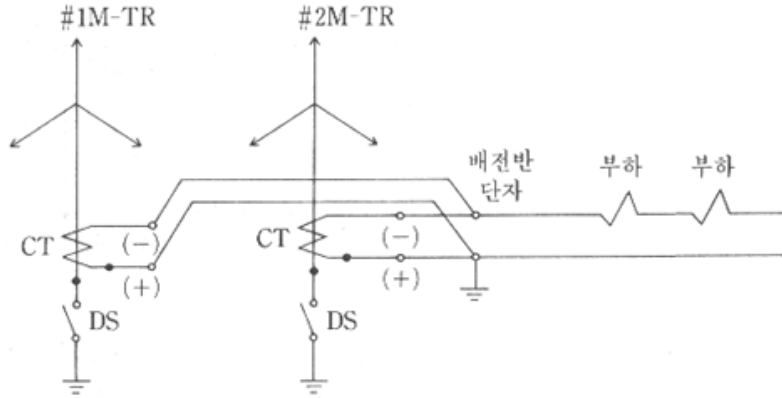
① 1차 : 2차 = n : 5

② 1차 : 3차 = 100 : 5 = 20(정격전류에 관계없이 일정)

(9) 2차 권선은 정상분, 역상분을 3차 권선은 영상분을 검출한다.

4) 중성선 CT에 의한 검출방법

(1) 접속도



< 주변압기 중성선 영상전류 >

(2) 결선 방법

보호대상 전력설비(변압기)의 중성선에 영상 CT 1대를 설치하여 영상전류를 얻는 방법으로 이때 주변압기가 2대 이상일 때에는 영상 CT를 각각의 변압기에 설치하고 영상 CT 회로 2차를 병렬로 결선하고 부하는 직렬로 연결한다.

1-13. 발전기의 여자설비를 제어하는 전력계통 안정화 장치(PSS : Power System Stabilizer)의 설치목적과 동작원리를 설명하시오.

답)

1. 전력계통 안정화 장치(PSS : Power System Stabilizer)의 정의

초속응여자 방식의 제어계통은 발전기 계자에서 자속의 응답의 지연 때문에 기계적인 부제동 현상을 일으키는 부작용이 있는데 이로 인해서 계통의 저주파 동요가 지속적으로 발생할 수가 있다. PSS는 이러한 전력계통의 동요를 감쇄하여 안정도를 향상시키기 위하여 여자조정기(Voltage Regulator)에 추가로 보조 안정화 신호를 보내는 전력계통 안정화장치이며, 초속응여자 방식에서는 PSS附加(부가)를 표준으로 하고 있다.

2. 전력계통 안정화 장치(PSS : Power System Stabilizer)의 설치목적

1) 계통 동요 시 발전기 출력진동 방지

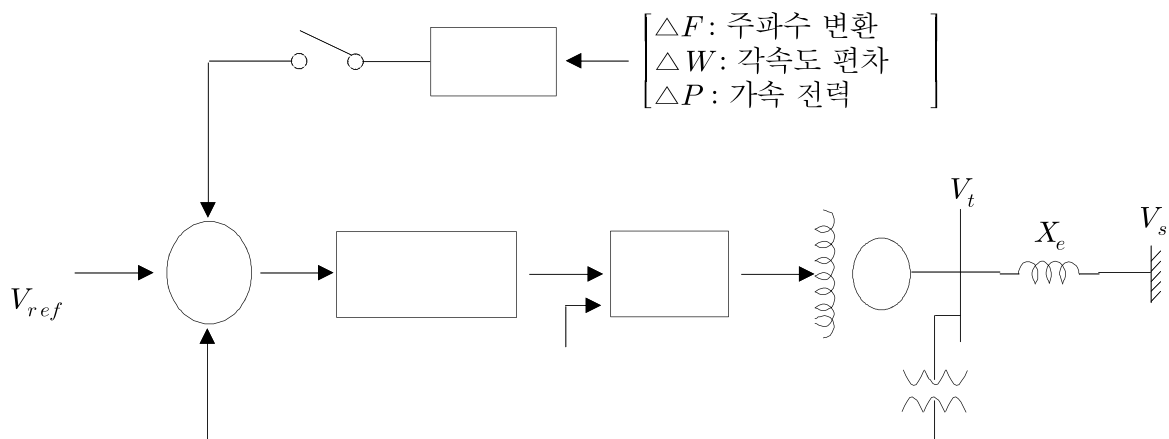
계통 동요 발생 시 발전기 가속력을 계산하여 동요 억제력을 산출하고, AVR에 신호를 주어 발전기 여자전류를 제어함으로써 출력진동 현상을 방지한다.

2) 전력계통의 안정도 향상

부제동 현상을 제거하여 정제동이 되게 함으로써 전력계통을 안정화 시킨다.

3) 특정의 전력계통 운전조건에서 지속적으로 발생하는 0.1~2 Hz 정도의 저주파 동요현상 발생 시 발전기의 제동력을 강화시켜 동요현상 방지한다.

3. 동작원리



< 발전기 계통의 제어 계통도 >

- (1) 초속응 여자기의 경우 계자전압 변경 시 자속의 응답이 지연되어 위상지연이 발생한다.
- (2) 그 결과 진동을 억제하기 위한 제동 토크가 부족하게 되어 전압조정기의 작용력이 불안정 영역에 존재하여 진동이 크게 증가하는 부제동 현상이 발생한다.
- (3) PSS는 각속도 편차, 주파수 편차, 전력편차 등의 보조 안정화 신호는 진상과 지상 회로망에서 위상지

연을 보상하여 동적작용력이 안정영역에 존재하게 한다. 부제동을 정제동으로 되게 한다.

- (4) PSS는 회전자의 속도 변화분과 동상인 전기적 토크를 발생하여 회전자 동요를 감쇠시키기 위하여 발전기의 여자기를 변조하는데 이용된다.
- (5) 이상적인 PSS의 위상 특성은 여자기 및 발전기의 위상 특성과 정확히 반대로 보상이 되도록 위상을 지연하여 모든 진동 주파수에서 진동이 감쇠가 될 수 있도록 하는 것이다.



제 2교시 문제풀이

2-1. 해수 염도차발전(SGE : Salinity Gradient Energy)에 대하여 설명하시오.

답)

1. 정의

- 1) 해양 염분차 발전은 글자 그대로 염분 차이, 정확히 말해 민물과 바닷물의 염분 차이를 활용한 발전 기술이다.
- 2) 화석연료를 전혀 사용하지 않음은 물론 발전 과정에서도 이산화탄소(CO₂)를 포함한 어떤 오염물질도 배출하지 않는다.
- 3) 풍력, 태양광과 달리 시간이나 날씨 같은 환경 조건에 영향을 받지 않으면서 사실상 무한 자원에 가까운 바닷물을 활용해 대량의 전력을 생산할 수 있다는 점에서 학계의 주목을 받고 있다.
- 4) 현재까지 개발된 염분차 발전 중 가장 큰 기술적 성장을 보이고 있는 방법은 압력지연삼투(Pressure-retarded osmosis) 발전, 역전기투석(Reverse electrodialysis) 발전 방식이다.

2. 압연지연삼투(Pressure-retarded osmosis, PRO) 발전

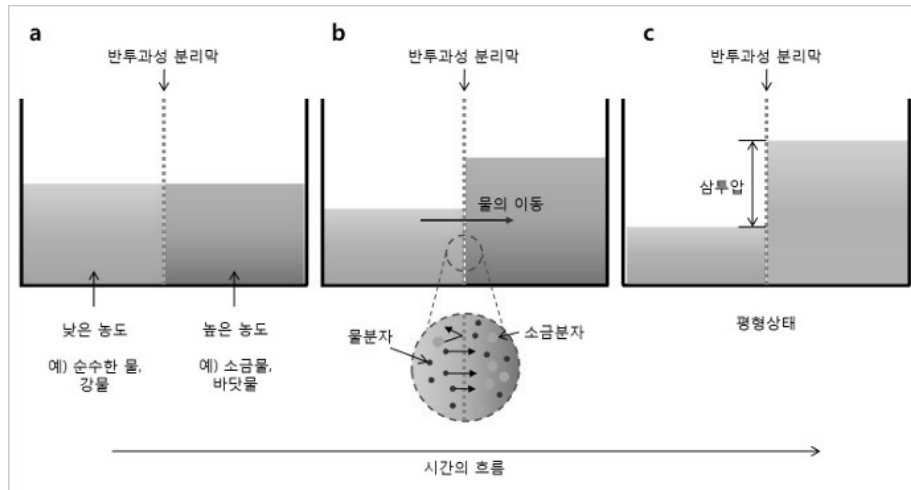
1) 정의

압력지연삼투 발전은 기본적으로 삼투압이라는 물리적 에너지를 이용한다.

2) 삼투압이란?

- (1) 삼투압은 바닷물과 순수한 물처럼 농도가 다른 두 용액이 멤브레인(membrane)이라고 불리는 반투과성 분리막으로 나누어져 있을 때, 농도가 낮은 부분에서 높은 부분으로 물이 이동하는 현상에 의해 발생하는 압력을 말한다.
- (2) 이 반투과성 분리막은 눈에 보이지 않을 정도의 매우 작은 구멍을 가진 유기성 필터로, 물과 같은 작은 분자의 물질만 투과를 시킬 수 있다.
- (3) 김치를 담글 때 배추의 숨을 죽이기 위해 소금물에 배추를 절이는데, 배추를 소금물에 담그면 배추 속의 수분이 염분이 높은 소금물을 만나기 위해 밖으로 빠져 나오기 때문에 배추의 수분이 빠져나가 숨이 죽게 된다.
- (4) 삼투압 개념도 및 해설
 - ① 아래 그림에서 왼쪽과 오른쪽 부분에 농도가 낮고 높은 용액이 각각 담겨 있고 그 사이에 반투과성 분리막이 위치하고 있다.
 - ② (a) 두 용액의 용질의 농도가 다르기에 용매가 반투과성 투과막을 통과하여 왼쪽의 낮은 농도 용액에서 높은 농도의 오른쪽으로 이동하게 된다(b).
 - ③ 이 때 용질은 반투과성 분리막을 통과하지 못하고 용매만 이동 할 수 있다. 시간이 흐르면 평형상태에 이르러 이론적으로 양쪽 부분의 농도가 동일하게 되는데(c), 그 때의 용액 높이의 차

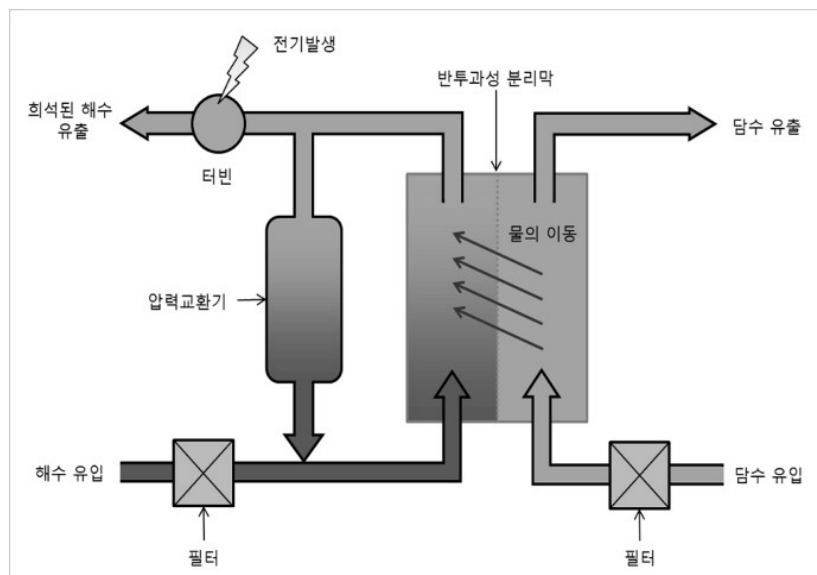
이를 삼투압이라 한다.



< 삼투압 현상이 일어나는 과정 >

3) 압력지연삼투 발전의 원리

(1) 원리도



(2) 원리 설명

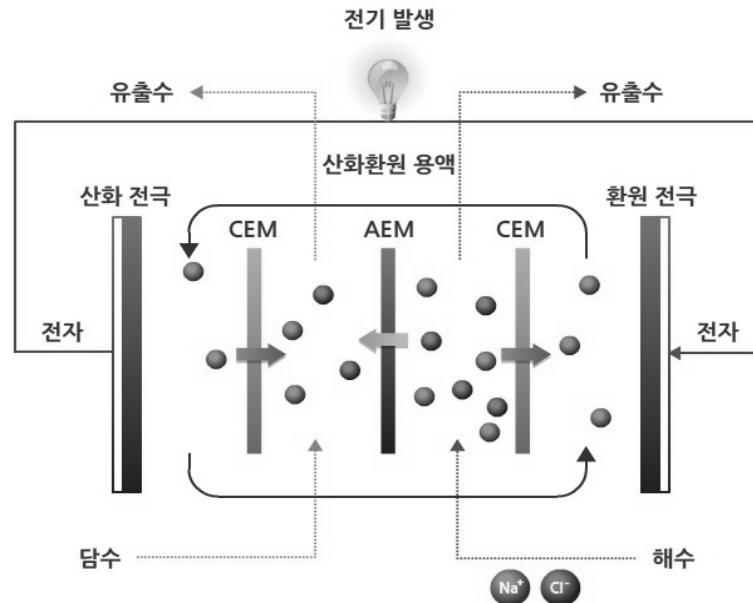
- ① 반투과성 분리막을 통과하는 용매의 양은 왼쪽에 위치한 높은 농도 부분의 초기 용질의 양에 비례하는데, 삼투압의 크기도 이에 비례한다. 일례로 순수한 물과 바닷물을 이용하여 삼투압이 발생했을 때 약 26atm(대기압의 약 26배)의 삼투압이 발생한다.
- ② 이 원리를 이용한 압력지연삼투 발전은 담수가 발전기 내부로 유입될 때, 80-90%의 물이 삼투압에 의해 분리막의 반대편(해수가 흐르는 부분)으로 넘어가는데, 이 현상으로 높아진 해수의 압력과 체적 유량으로 터빈을 돌려 전기를 생산한다.

3. 역전기투석(Reverse electrodialysis, RED) 발전

1) 정의

역전기투석 발전은 전기를 이용해 용액상의 이온을 제거하는 전기투석의 원리를 역으로 이용하여 전기를 생산하는 방식으로 터빈을 생략하고 직접적으로 전기를 생산 할 수 있다.

2) 원리도



<나트륨과 염소 이온이 분리되며 생기는 힘을 전기로 바꾸는 ‘역전기투석’>

3) 원리 설명

- (1) 먼저 가느다란 기공(구멍)이 뚫려 있는 교환막을 사이에 두고 한쪽은 해수를, 다른 한쪽은 담수를 흐르게 하면 농도 차에 의해 해수에 있는 나트륨 이온(Na^+)과 염화 이온(Cl^-)은 교환막의 기공을 통해 담수 쪽으로 확산되려고 한다.
- (2) 이때 농도 차가 클수록 이동하려는 이온의 양은 늘어나는데 양이온 교환막(Cation Exchange Membrane, CEM)의 기공에는 음전하를 지닌 작용기를 여러 개 설치하여 나트륨 이온만을 교환막의 기공으로 끌어들이고, 음이온 교환막(Anion Exchange Membrane, AEM)의 기공에는 양전하를 지닌 작용기를 여러 개 설치하여 염화 이온만을 교환막의 기공으로 끌어들이는다.
- (3) 기공 내에 들어온 이온은 일단 한 작용기에 결합하지만 담수 쪽으로 확산하려는 힘에 의해 다시 떨어졌다가 다음 작용기에 재결합하는 과정을 반복한다.
- (4) 이 과정을 거쳐 양이온인 나트륨 이온은 양이온 교환막을 통하여, 음이온인 염화 이온은 음이온 교환막을 통하여 해수에서 담수로 이동하게 된다.
- (5) 이를 통해 담수에도 양이온과 음이온이 존재하게 되어, 양이온 교환막을 경계로 나트륨 이온의 농도 차가, 음이온 교환막을 경계로 염화 이온의 농도 차가 발생한다.
- (6) 이러한 이온의 농도 차는 전기적 불균형 상태라고 할 수 있으므로 교환막을 사이에 두고 전위차, 즉 전압이 발생하게 된다.
- (7) 이때 양이온 교환막과 음이온 교환막 한 쌍을 셀(cell)이라고 하는데, 두 교환막이 각각 전압을 띠고 있고, 그 사이에는 이온이 이동할 수 있는 전해질이 흐르고 있으므로 셀은 전지와 같은 역할을

하게 된다.

- (8) 따라서 전극 사이에 셀을 여러 장 배열할수록 높은 전압을 얻게 되는데, 이는 전지 여러 개를 직렬로 연결시킨 효과와 같다. 또한 각 셀에서 발생한 전압은 모두 합쳐지게 되므로, 양 끝에 위치한 두 전극 사이에는 높은 전위차가 발생하게 된다.
- (9) 일반적으로 두 전극 사이에 전위차가 발생하면 전자가 이동하게 되는데 배열된 셀들의 양 끝에 위치한 전극에 전위차가 생기더라도 두 극 사이를 이동할 수 있는 전자가 없으므로 전자를 만들어 주어야 한다.
- (10) 이를 위해서는 산화-환원 반응이 일어나야 한다. 교환막에서 염화 이온이 이동하는 방향의 끝에 위치한 전극에서는 산화 반응이, 반대의 전극에서는 환원 반응이 잘 일어나게 된다.
- (11) 따라서 이와 같은 특성을 활용하여 산화 반응이 잘 일어나는 전극에 철 2가(Fe) 이온을 흘려주면 그 이온은 전극에 전자를 넘겨 주고 철 3가(Fe) 이온이 되고, 통로를 통해 반대 전극으로 이동한 후 다시 전자를 넘겨 받아 철 2가(Fe) 이온이 된다. 이와 같이 두 전극을 통해 전자를 넘겨 주고 넘겨 받는 과정이 반복됨으로써 전자는 활발하게 이동하게 되고, 따라서 전류가 발생하게 되는 것이다.

4. 해수 염도차발전(SGE : Salinity Gradient Energy)의 특징

- 1) 화석연료를 사용하지 않으므로 친환경적인 발전 방식이다.
- 2) 해양 에너지를 이용하므로 특별한 연료가 들지 않고 무한정 에너지이다.
- 3) 풍력발전이나 태양광 발전처럼 날씨 등 환경적인 영향을 받지 않는 발전방식이다.
- 4) 해수 담수화 분야 정수 분야와 결합하여 복합적인 효과를 낼 수 있다.
- 5) 자연에서 얻은 해수를 해양 염분차 발전에 사용하기 위해서는 막을 오염시킬 수 있는 바닷물의 성분을 제거하는 전처리 공정이 필수적이다. 바닷물에 함유된 칼슘과 마그네슘 등이 고농도로 농축되거나 알칼리 상태에서 고형화되면 이온 교환막을 오염시켜 공정의 내부 압력 상승을 초래할 수 있기 때문이다.
- 6) 바다와 강이 접해 있는 곳이라면 어디든지 평생 전기를 생산할 수 있고, 댐 같은 별도의 제방 시설을 건설할 필요가 없기 때문에 인간과 해양생물 모두에게 안전한 기술이다.
- 7) 전력저장기능과 침투 공급력으로 활용이 가능하다.
- 8) 농도분극 현상이 발생한다. 농도분극이란 물의 투과가 진행됨에 따라 막의 표면에 용질이 농축되어 발생하는 현상으로서, 농도분극에 의한 수투과량 감소는 곧 생산 전력의 감소로 이어진다.
- 9) 공정의 전처리 과정도 역삼투(RO)나 정삼투(PO) 등의 해수담수화 공정과 비교하여 압력지연삼투 발전은 여과막에서 일어나는 파울링 현상에 비해 덜 민감함에도 불구하고, 유입수의 전처리 과정은 여전히 필요하다.

2-2. 전류형 초고압직류송전방식(HVDC)에서 다음 사항을 설명하시오.

- 1) Back to Back과 Point to Point 방식 비교
- 2) 전류실패(Commutation Failure) 현상
- 3) 필터(Filter) 설치 목적

답)

1. Back to Back과 Point to Point 방식 비교

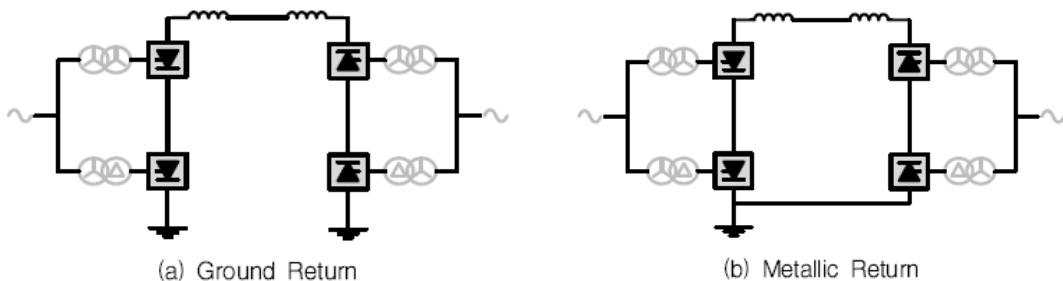
1) Point-to-Point 방식

두 지점 간을 가공선이나 케이블을 사용하여 연결하는 HVDC의 기본적인 구성 방식으로 단극(monopole) 및 양극(bipole)시스템 으로 나누어진다.

(1) 단극(monopole)시스템

- ① 단극시스템은 하나의 송전선과 2개의 변환기로 이루어진다.
- ② 단극 시스템의 경우 전극소를 이용한 대지귀로(Ground Return) 및 해수귀로방식과 전극소를 사용하지 않고 별도 선로를 이용하는 도체귀로(Metallic Return) 방식으로 나누어진다.
- ③ 대지귀로 방식

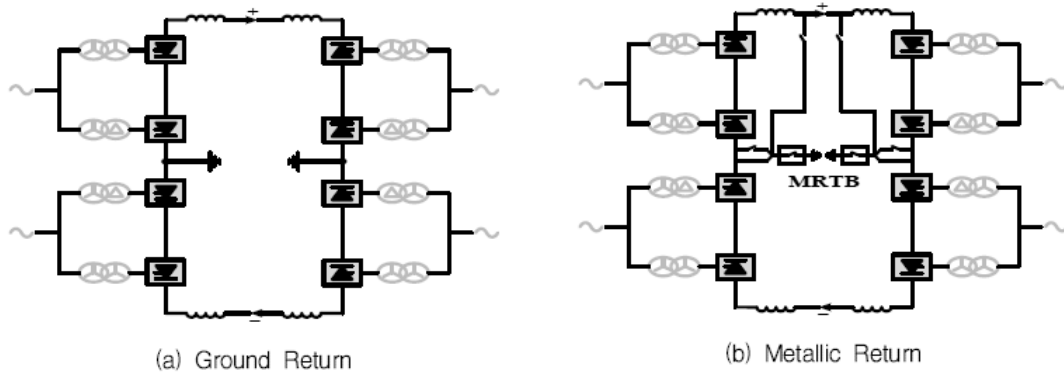
대지귀로 방식의 경우 육지에서는 전식 등의 영향으로 적절한 장소를 찾기 힘들기 때문에 가공 전송방식에는 이용되지 않는 추세이다.



<단극(monopole)시스템>

(2) 양극(bipole)시스템

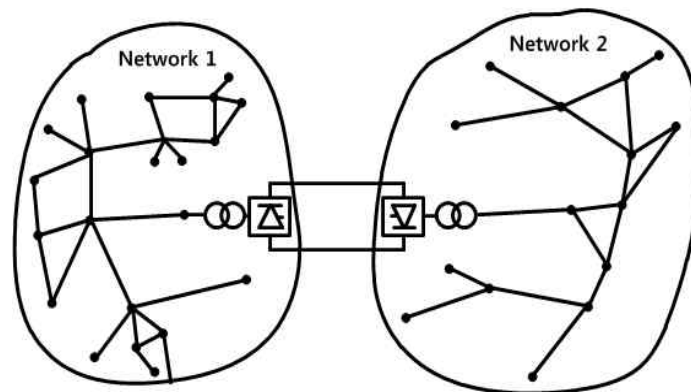
- ① 대부분의 가공선 방식은 양극성(bipole) 구성방식으로 양극(+)과 음극(-)에 각각 1개의 도체를 사용한다.
- ② 이 방식은 2개의 극중 한극에 고장이 발생하더라도 다른 한극만으로 운전이 가능하다는 장점을 갖는다.
- ④ PTP 방식에서 송전전압은 최소의 투자비와 최소의 송전손실에 대하여 최적화된 값으로 결정된다.
- ⑤ 구성도



<양극(bipole)시스템>

2) Back-to-Back 방식

- (1) 2개의 변환기가 동일 장소에 존재하는 BTB(Back-to-Back) 방식은 PTP(Point-to-Point)방식에서 직류 송전선이 없는 시스템으로 볼 수 있다.
- (2) 직류 송전선이 없으므로 PTP에 비해 저전압, 대전류로 설계가 가능하여 절연설계 측면에서 유리한 장점이 있다.
- (3) BTB는 설치장소와 기타 설비의 공유로 인해 PTP방식보다 비용이 15~20% 더 경제적이다.
- (4) 구성도



<Back-to-Back 방식>

2. 전류실패(Commutation Failure) 현상

1) 정의

- (1) 전류 실패 (轉流失敗, Commutation Fail)는 轉流 전압의 극성이 반전되기 전까지 도통될 밸브가 도통되지 못하는 사고이다.

2) 발생 과정

- (1) 사이리스터가 도통상태에서 오프상태로 천이 할 때 내부 PN 접합면 사이에 충전된 캐리어가 원래의 상태로 복귀되어야만 완전한 off 상태로 유지될 수 있다.
- (2) 도통 상태에서 비 도통 상태로 천이 하는데 소요되는 시간을 사이리스터의 턴 오프(Turn-off) 시간이라 한다.

- (3) 소호각 $\gamma = \pi - (\alpha + \mu)$ 은 싸이리스터의 Turn-off 시간보다는 길어야 한다. 그렇지 않을 경우 소호되어야 할 싸이리스터는 $\omega t = \pi$ 에서 정극성의 교류 전압에 의하여 정방향 저지 (forward block) 상태에 있지 못하고 재 도통하게 된다.
- (4) 이때 교류전압 극성은 바뀌었으나 전류방향은 그대로 유지 되어 인버터는 정류모드로 동작하는 전류실패 (轉流失敗, Commutation Fail)가 일어난다.

3) 발생 영향

- (1) 전류실패 (轉流失敗, Commutation Fail)가 일어나면 인버터의 직류전압 극성이 -에서 +로 바뀌게 되고 큰 전류가 흐르게 되며, 직류전류가 교류전류보다 크게 나타나게 되므로 이러한 현상에서 轉流실패 발생을 검출 할 수 있다.
- (2) 전류실패가 일어나면 DC에서 AC로의 전력변환이 이루어지지 않게 된다.
- (3) 정상운전 상태에서 변환기로 흘러들어가는 교류전류와 흘러나가는 직류 전류의 크기는 동일하다. Commutation Fail이 발생하게 되면 직류전류의 크기가 교류전류보다 커지는 현상이 발생한다.
- (4) 일반적으로 전력변환기는 일시적인 轉流실패에 견디도록 설계되며 교류 전원이 수십~수백 msec 이내에 정상으로 회복되면 제거되지만 열용량을 넘어서는 과전류가 흐르게 되면 싸이리스터가 손상 될 수 있기 때문에 이로부터 싸이리스터를 보호할 필요가 있다.

3. 필터(Filter) 설치 목적

1) 변환과정에서 발생하는 고조파를 제거한다.

- (1) 컨버터는 상당한 양의 고조파 전류를 발생시킨다. 필터링을 하지 않으면 고조파 전류는 교류 전압에 왜곡을 만들고 통신 시스템을 방해하게 된다. 고조파 필터는 임피던스가 작은 병렬 선로를 설치하여 고조파 전류가 흘러나가게 함으로써 교류 전압의 왜곡을 수용할 수 있는 범위 이내로 만드는 역할을 한다.
- (2) 12펄스 컨버터의 특성 교류 고조파는 $12n \pm 1$ 성분에 해당 한다. 필터가 필요한 고조파 성분은 11차, 13차, 23차 그리고 25차 성분이다. 그 이상 높은 차수의 고조파 성분은 감쇄되는 고조파 통과 필터에 의해서 감쇄된다. 특별한 동작이 필요할 때나 교류 시스템의 상태에 따라서 3차와 같이 낮은 차수의 고조파 필터가 필요하기도 한다.
- (3) AC필터는 고조파 전류를 바이패스하기 위해 콘덴서와 리액터를 직 · 병렬로 조합시켜 특정차수에 대하여 저 임피던스를 나타내도록 함으로써, 저차형 고조파 저감을 위한 Band-Pass Filter와 고차형의 High-Pass Filter 등으로 구분된다.

2-3. 배전계통에서 사용하는 고압 차단기를 소호 매질에 따라 분류하고, 차단기별 동작 원리와 특징에 대하여 설명하시오.

답)

1. 고압 차단기를 소호 매질에 따라 분류

순번	차단기	소호매질
1	유입차단기(OCB : Oil Circuit Breaker)	절연유
2	자기차단기(MBB) , 기중차단기(ACB)	대기 중에서 전자력에 의해 소호장치 내로 아크를 끌어들임
3	공기차단기(ABB : Air blast Circuit Breaker)	압축 공기
4	진공차단기(VCB : Vacuum Circuit Creaker)	전자의 확산
5	가스차단기(GCB : Gas Circuit Breaker)	SF_6 가스 (불활성 가스)

2. 유입 차단기 (OCB : Oil Circuit Breaker)

1) 원리

- (1) 유입차단기는 절연유를 절연 및 소호매질로 사용하는 차단기를 말한다.
- (2) 탱크형은 대지절연에도 절연유를 사용 하지만 애자형은 대지절연을 지지애자에 의한다.
- (3) 소호매질인 절연유는 아크에 의해 H_2 (수소), CH_4 (메탄), C_2H_2 (아세틸렌), C_2H_4 (에틸) 등의 탄소 화합물로 분해되며 이때 액체→기체화 팽창에 따른 소호실내 압력상승으로 절연유가 치환되며 분해가스 중 70% 정도를 차지하는 수소가스의 열전도 특성에 따라 아크 열을 소호실외로 전달, 냉각 시키면서 아크를 소호시킨다.
- (4) 강력한 소호력을 얻을 수 있는 소호실을 갖춘 것은 23kV이상 차단기에서 많이 사용하였으며 현재는 유지보수의 번거로움과 진공, 가스차단기 개발, 대체로 사용이 점점 줄어들고 있는 추세다.

2) 특징

- (1) 병절형은 소용량에 제한하거나 많은 양의 기름을 충전하여 사용한다. 탱크 내에 있는 기름의 소호력을 이용하여 병렬로 된 두 개의 접점을 동시에 차단하는 형식의 병절형의 경우 대전류 차단 시 아크 에너지에 의해 절연유가 분해되어 많은 양의 가스가 발생된다. 이 때 분해 가스의 압력으로 탱크가 파괴될 우려가 있으며, 충전부와 탱크 사이의 절연이 파괴되어 큰 사고를 일으킬 수 있다.
- (2) 소호실형은 절연유와 절연유 분해 가스의 소호작용을 효과적으로 발휘할 수 있도록 구비된 소호실 내에서 차단하는 형식이다. 소전류 영역에서는 피스톤에 의해 기름을 뽑아서 소호시키고, 대전류 영역에서는 차단 시 발생한 높은 압력의 분해 가스가 차단부에 뽑여지면서 소호된다. 사용 전압이 높고 차단용량이 큰 차단기를 탱크형으로 할 경우 절연유와 철강재가 많이 소요되기 때문에 크기가 대형화되고 설치 면적이 많이 소요된다.
- (3) 애자형 차단기는 대지 절연을 애자로 하고 소호실이 애관 안에 있어 기름이 적게 소요되고 크기도 매우 작다. 소형이므로 점검 정비가 용이하다.

3. 공기차단기(ABB : Air blast Circuit Breaker)

1) 원리

- (1) 공기차단기는 전로의 차단이 압축공기를 매질로 하는 차단기를 말한다. 즉 압축공기를 소호매체로 하는 것으로서 그 특성은 압축공기에 의해서 결정된다.
- (2) 압축공기의 절연내력은 압력이 높아짐에 따라서 증가하고, 약 $7\text{kgf/cm}^2 \cdot \text{G}$ 에서 절연유와 동등 이상으로 된다. 실제로 차단기에서는 소호만이 아니고 조작력에도 압축공기가 사용되며 일반적으로는 15, 30, $50\text{kgf/cm}^2 \cdot \text{G}$ 등의 압력이 사용되고 있다.
- (3) 공기 차단기는 압축공기를 이용한 확산효과, 냉각효과, 치환효과, 가압효과 등이 상승 작용하여 아크를 소호한다.
 - ① 확산효과 : 압축공기로 불어낸 방향으로 아크 이온 및 전자가 확산되어 밀도가 낮아지므로 절연내력이 회복된다.
 - ② 냉각효과 : 압축공기를 불어 넣으면 냉각되어 전자의 이동이 억제된다.
 - ③ 치환효과 : 아크부의 이온전자가 신선한 공기로 치환되므로 절연 회복이 빨라진다.
 - ④ 가압효과 : 공기 압력이 높으면 절연내력이 높고 냉각효과도 커진다.

2) 특징

유입 차단기와 비교할 때 공기 차단기의 특징

- (1) 화재 위험이 없다.
- (2) 전류 크기에 관계없이 소호력이 일정하다.
- (3) 차단 성능이 우수하다.
- (4) 개폐 빈도가 많은 장소에 유리하다.
- (5) 점검 정비가 비교적 용이하다.
- (6) 공기 배출시 소음이 발생한다.
- (7) 압축공기 누설 우려가 있다.
- (8) 공기 저장용 고압용기가 필요하다.

4. 자기차단기 (MBB :Magnetic blast Circuit Breaker)

1) 원리

- (1) 자기차단기는 아크를 아크 슈트와 같은 이온을 소호할 수 있는 자기회로를 갖고 있어 대기 중에서 전로를 차단 할 수 있는 차단기를 말한다. 즉 대기 중에서 전자력에 의해 소호장치 내로 아크를 끌어들이는 것을 말한다.
- (2) 아크 슈트는 V자형의 틈이 있는 내열성 세라믹을 여러 겹 쌓은 것으로 아크 저항을 증대시키고 강력한 냉각작용을 한다.

2) 특징

- (1) 화재, 폭발의 위험이 없다.
- (2) 차단 성능의 저하가 없다.
- (3) 보수가 비교적 쉽다.
- (4) 부상의 측벽부착이 쉬워 수평인출이 가능하며 편리하다.
- (5) 비교적 고전압용의 제작이 곤란하다.

- (6) 제작비가 비교적 비싸다.

5. 기중 차단기(ACB)

1) 원리

- (1) 기중 차단기는 자기차단기와 마찬가지로 대기 중에서 차단이 이루어지고 아크는 열대류 및 차단전류에 의한 자계에 의하여 상부 소호장치(Arc Chute)내로 흡수되면서 소호된다.
- (2) 기중차단기는 전압트립장치나 과전류 트립장치를 내장하고 있으며, 과전류 트립장치에는 동작시간에 의하여, 순시(INST), 단한시(ST), 장한시(LT)로 나누어진다.

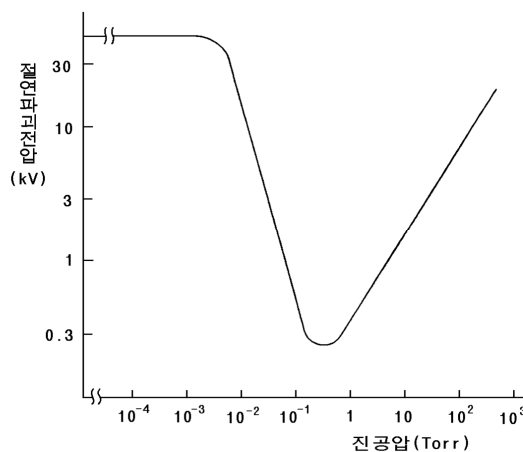
2) 특징

- (1) 차단용량이 크다.
- (2) 현지에서 과전류 트립장치의 정정이 가능하다.
- (3) 접점, 아크슈트 등 간단히 보수 및 교환이 가능하다.

6. 진공차단기(VCB : Vacuum Circuit Creaker)

1) 원리

- (1) 진공차단기는 전로의 차단을 높은 진공 속에서 행하는 차단기를 말한다.
- (2) 즉, 고진공 속에서 소호를 하는 것이다. 높은 진공 중에서의 절연내력은 상당히 높고, 또한 금속증기나 전하입자의 확산에 의한 소호작용이 크기 때문에 이러한 특징을 살려 진공용기 내에서 전로의 개폐를 수행하는 것이 진공차단기이다.
- (3) 대기압의 상태에서 서서히 압력을 내리면 최초에는 절연내력이 낮아지지만 계속 압력을 내리면 절연내력은 다시 상승한다. 그래서 10^{-3} [torr] 이하로 되면 높은 절연내력을 거의 일정하게 얻을 수가 있다. 진공차단기는 이 영역을 이용한 것이다.



< 진공도에 대한 절연파괴전압 >

2) 특징

- (1) 소형이고 무게도 가볍다.
- (2) 차단 성능이 아주 우수하다.
- (3) 전기적 수명이 길다.
- (4) 소음이 없고 화재 발생 우려가 없다.
- (5) 강력한 차단으로 인해 서지 전압이 발생한다.
- (6) 고진공 유지 기술이 필요하다.

7. 가스차단기(GCB : Gas Circuit Breaker)

1) 원리

- (1) 절연내력과 소호력이 뛰어난 SF6 가스를 소호 매체로 사용하는 차단기이다.
- (2) 공기 차단기와는 달리 가스를 대기 중으로 배출시키지 않고 밀폐된 용기 안에서 가스를 전극에 붙여넣어 아크를 소호한다.
- (3) 가스 차단기의 종류를 구조면에서 분류하면 애자형과 탱크형이 있고 차단부 가스 압력 방식에 따라 분류하면 2중 압력형과 단일 압력형이 있다.
- (4) 2중 압력형은 초기에 제작 보급되었던 것으로 구조가 복잡하여 신뢰성이 떨어지고 정비도 어렵다.
- (5) 단일압력형은 정상 상태에서 단일 압력을 유지하고 있다가 개폐 시 실린더 작용으로 SF6 가스를 압축시켜 차단부에 붙여넣어 소호한다.

2) 특징

- (1) 차단 성능이 우수하다.
- (2) 아크 소멸 후 절연 회복이 빨라 고전압 대전류 차단에 적합하다.
- (3) 소음이 작다.
- (4) 소형이고 점검 정비가 용이하다.

2-4. 마이크로그리드의 정의, 특징, 기대효과, 구성요소에 대하여 설명하시오.

답)

1. 정의

- (1) 기존의 광역적 전력시스템으로부터 독립된 분산 전원을 중심으로 한 일부 영역 내의 전력 공급 시스템을 말한다.
- (2) 즉, 소규모 지역에 한정해 자체적으로 전기를 생산하고 소비하는 전력망을 의미하는 것으로 일정 지역 안에서의 수용과 분산 전원 및 신재생 에너지원, 에너지 저장장치를 갖춘 소규모 전력망을 구축하고 외부의 대규모 전력계통에 연계 또는 독립적으로 운전할 수 있도록 하는 소규모 전력망이 바로 마이크로그리드인 것이다.

2. 특징

(1) 양방향 시스템

마이크로 그리드는 양방향(발전소뿐만 아니라 다수의 프로슈머가 전력망의 전력을 생산) 전력시스템과 닮아있다. 발전소에서만 전기를 생산하는 것이 아니라 양방향 송배전을 바탕으로 다수의 프로슈머가 전력망의 전력생산과 소비를 동시에 맡게 되는 구조이다.

(2) 에너지 효율성

전원이 분산되기 때문에 전력 공급은 더욱 안정적인 수 있게 되며 재생 가능한 에너지의 효율적인 이용 또한 가능하다.

(3) 도서 지역에 자립 에너지 구축

독립된 섬 지역에 신재생에너지와 에너지 저장장치(ESS)가 융합된 형태의 자립형 마이크로 그리드를 구축하여 투자해야 하는 디젤 발전기의 사용 비용을 신재생에너지와 ESS에 집중해 경제성을 확보하여 발전비용을 절감한다.

(4) 전력 계통 운영 측면에서 송·배전 손실 저감, 에너지 효율 향상 등의 이익을 제공

(5) 신재생 에너지의 체계적인 관리와 합리적 에너지 사용

현재 분산전원 시스템은 계통에 마구잡이식 연계에 의해 관리에 어려움이 있다.

마이크로 그리드를 구축하여 신재생 에너지를 그리드 하여 계통에 연계하면 체계적인 분산전원의 관리가 이루어지고 합리적인 에너지 사용을 통해 효율을 높일 수 있다.

(6) 신재생에너지 전원의 간헐적 출력특성으로 인해 전력 품질 유지에 어려움이 따른다. 인버터 기반의 분산전원의 활용은 사고 전류의 감소로 인해 사고 시 기존의 인프라만으로는 보호 협조 대응이 어려운 실정이다.

(7) 마이크로 그리드 구축 비용의 증대

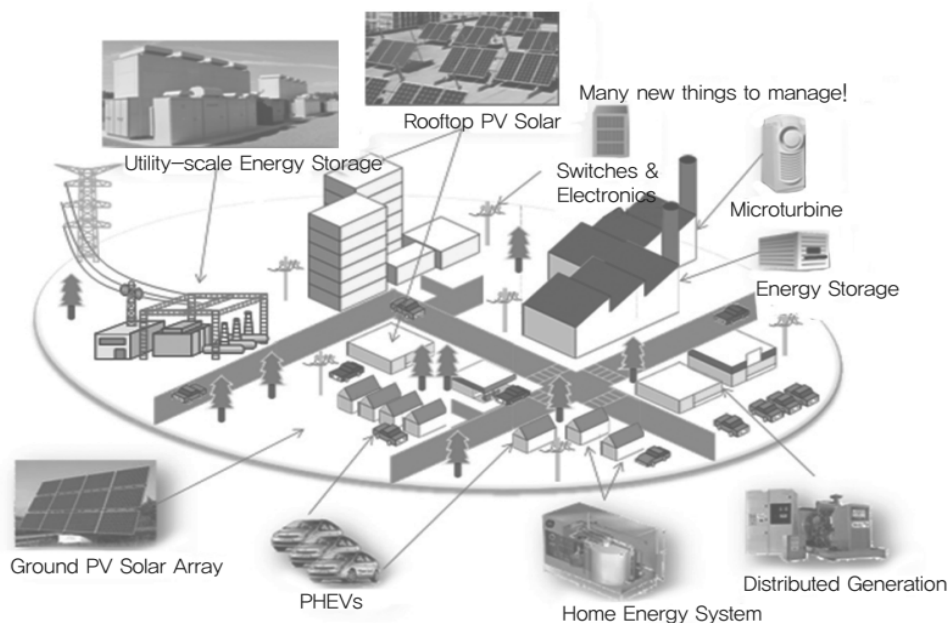
초기 설비 투자비에 막대한 비용이 들어간다. 또한 책임 소재에 따라 구축을 누가 수행할지의 문제 등을 해결해야 한다.

3. 기대효과

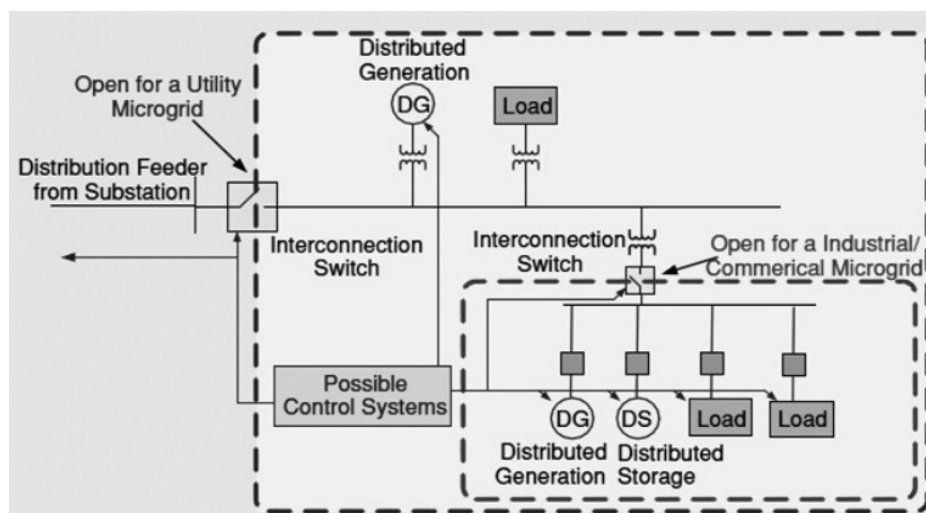
- (1) 발전원의 입지문제, 전력수송을 위한 전력설비의 사회적 수용성 문제, 생산과 소비의 불일치로 인한 지역적 갈등과 보상 문제들을 해결할 수 있는 새로운 전력망으로 기대된다.
- (2) 전세계적으로 기술 표준화된 모델은 존재하지 않는다. 실증 단계만이 있을 뿐이므로 마이크로그리드가 신재생에너지 등 분산전원의 안정적인 계통연계 및 전원공급, 에너지 효율 증대, 필요성 제고, 광역 정전에 대한 해법 제시 등 다양한 요구를 충분히 해소할 수 있기에 향후 전력시장에서의 부각 가능성은 매우 높다.
- (3) 따라서 관련 기술에 대한 연구개발을 활성화하고, 또 상용화를 위한 제도적 개선 등을 하루 빨리 진행해 나감으로써 해외시장으로의 진출 가능성을 높여 나가야 할 것이다.

4. 구성요소

1) 구성도



< 마이크로 그리드 구성 >



< 마이크로 그리드 구성 및 요소기기 >

2) 마이크로그리드 기술 구성

구성요소	주요기능
PCS	<ul style="list-style-type: none"> 유효/무효전력 제어 및 전력품질 보상 원격제어 및 감시기능, 계통연계/단독운전 겸용
STS / IED	<ul style="list-style-type: none"> 단독운전 방지 등의 배전계통 연계 보호기능 배전계통 고장 시 독립운전 절체, 재동기 투입
Network Gateway	<ul style="list-style-type: none"> 범용 통신(직렬통신, 필드버스, 이더넷)과 IEC 61850 변환기능
Micro Grid EMS	<ul style="list-style-type: none"> 부하(전력, 열) 및 신재생에너지 발전량 예측 경제급전, 자동발전제어 및 최적발전계획

2-5. SSR(Sub Synchronous Resonance)에 대하여 다음 사항을 설명하시오.

- 1) 개념
- 2) 원인 및 문제점
- 3) 대책
- 4) 국내 발생 가능성

답)

1. 개념

동기 주파수보다 작은 고유진동 수에서 임의의 한 발전기와 나머지 전력계통이 에너지를 주고받으면서 저 주파로 진동하는 상태, 즉, 저주파 축 비틀림 상태의 공진작용을 말한다.

2. 원인 및 문제점**1) 원인****(1) 수차용 발전기의 차동공진**

수차 발전기 불평형 고장(1선지락, 2선지락, 선간단락)시 전압, 전류 왜형파가 규정파형과 직렬공진이 일어나면 매우 높은 고주파 이상전압이 발생하며 SSR이 발생한다.

(2) 터빈발전기의 차동공진

① 불평형 전류가 흐를 때 고정자에는 역상전류가 흐르게 된다.

② 이 때문에 회전자계와 반대방향의 회전자계가 발생하며, 회전자에는 2배인 주파수를 가진 제동 전류가 통전된다.

③ 이 때 직렬공진이 발생하면 매우 높은 고주파 이상전압이 발생하여 SSR이 발생한다.

(3) 송전선의 직렬 콘덴서에 의한 SSR발생

$X_L = X_C$ 일 때 주파수 동조 현상으로 SSR발생

2) 문제점

(1) 축발기 축 비틀림 현상으로 기기가 파손된다.

(2) $X_L = X_C$ 일 때 매우 큰 전력을 요구하므로 발전기 과부하 현상 발생

(3) 계통안정도 저하

(4) 발전기 난조 현상 발생으로 국부적인 파열

(5) 부제동 현상 발생

(6) 자동 s/w 조작 시 정상 운용한 Capacitor 탈락현상 발생

3. 대책

1) 수차 발전기에서 SSR 대책

- (1) 수차 발전기의 정격속도는 임계속도 이하에서 운전한다.
- (2) 제동권선을 수차 발전기 자극면에 설치한다.

2) 화력 발전기에서 SSR 대책

- (1) 화력발전기의 정격속도는 임계속도를 초과해서 운전한다.
- (2) 불평형 고장전류에 이상전압 발생을 방지하기 위한 대책
 - ① 역상계전기 설치로 설정 값 이상 시 발전기 즉시 계통 분리.
 - ② Slot Key 재질 강화.
 - ③ 제동권선을 설치하여 Slot Key와 지지환의 발열흡수.
 - ④ 임계속도 대책

비상조속기 설치, 보조조속기 설치, 가속조속기 설치, Dash Pot 설치, Trip Anticipator 설치

3) 송전선에 TCSC 설치

4. 국내 발생가능성

1) 국내 TCSC 설치 현황

신영주, 신제천 TCSC 정격, 종류 선정 용역결과 반영(한전)

구 분	정상시 보상	상정고장시 보상 (10초 간)
한울-신영주 TCSC	50% (13.97Ω)	70% (19.56Ω)
동해-신제천 TCSC	50% (14.90Ω)	70% (20.86Ω)

구 분	정격용량
한울-신영주 TCSC	555.28MVar x 2회선
동해-신제천 TCSC	592.3MVar x 2회선

- 2) 국내 동해안에 TCSC 설치로 정상운전 상태에서 SSR 발생가능성은 희박하나 사고에 의한 과대전류 발생 시 전력거래소 검토결과 상정고장 N-4이상 조건에서 일부 발전기의 Mode1 고유주파수대와 공진 개연성 있음. (근거 : 한전용역 ABB사의 SSR 검토 보고서)

2-6. 절연레벨에 따른 절연방법을 설명하고, 우리나라 계통에서 저감절연 채택이 가능한 이유에 대하여 피뢰기 제한전압을 중심으로 설명하시오.

답)

1. 절연레벨에 따른 절연방법

1) 전절연(Full Insulation)

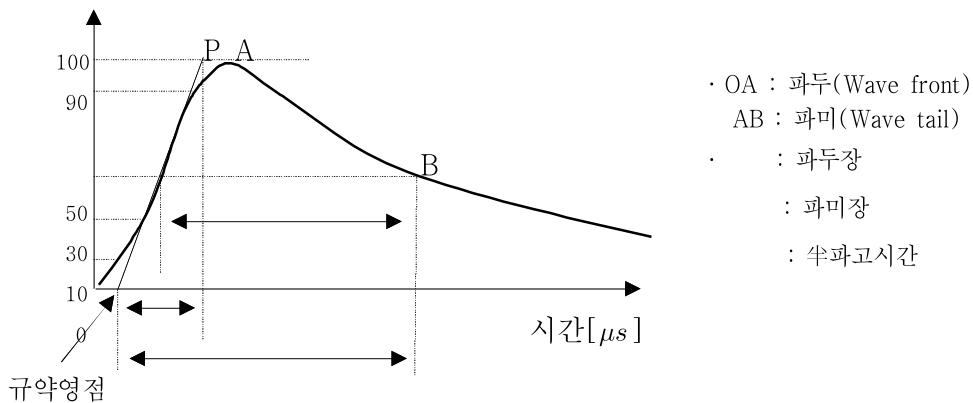
(1) 정의

전력계통에 기기나 선로의 절연을 기준충격절연강도(BIL : Basic Impulse Insulation Level)로 절연한 것

(2) 비유효 접지 계통에 접속되는 권선에 채용

$$BIL = 5E + 50 \text{ [kV]} \quad E : \text{최저전압} \left(\frac{\text{정격전압}}{1.1} \right)$$

뇌 임펄스 내전압 시험 값으로 절연레벨의 기준을 정하는데 기준이 되는 값을 BIL이라 하며 20호 (24kV) 이상 비 유효 접지계통에서 사용한다.



< 기준 충격 파형 >

2) 저감절연

- (1) 유효접지 계통에서 1선 지락 사고 시 건전상의 전위상승이 낮으므로 정격전압이 낮은 피뢰기를 채용 할 수 있다.

$$V = \alpha \beta V_m \quad \alpha : \text{접지 계수 (0.75)} \quad \beta : \text{여유 (1.15)} \quad V_m : \text{계통 최고전압}$$

- (2) 피뢰기 정격전압이 낮으므로 제한전압도 낮아진다.

$$e_a = V(2.6 \sim 3.2) \quad e_a : \text{제한전압} \quad V : \text{피뢰기 정격전압}$$

- (3) 피뢰기 제한전압을 기준으로 기기나 선로의 절연을 BIL보다 낮추어서 절연 하는 것을 저감절연이라 한다.

- (4) 1000[kV] 이하시는 1 단 저감할 때 마다 100[kV]씩 저감

1000[kV] 초과 시는 1 단 저감할 때 마다 250[kV]씩 저감

- (5) 예) 345[kV] BIL : 1550[kV], 피뢰기 제한전압 : 750[kV](뇌충격)

따라서 2 단 저감하여 1050 [kV]로 절연한다.

2. 저감절연 채택이 가능한 이유

- 1) 우리나라 계통은 중성점 직접접지 방식을 채용하고 있다
- 2) 중성점 직접접지 방식은 유효접지 방식의 대표로서 1선 지락 시 건전상의 대지전위 상승이 1.3배 이하로 적으므로 정격전압이 낮은 피뢰기를 채용할 수 있다.
- 3) 피뢰기 제한전압 이상의 이상전압이 침입하면 피뢰기는 방전을 개시하여 정격전압에서 방전이 종료되게 된다.
- 4) 피뢰기 정격전압에 (2.6~3.2)배 한 것이 피뢰기 제한전압이므로 직접접지 계통에서는 피뢰기 제한전압이 낮아진다.
- 5) 변압기(기기) 절연강도의 결정은 아래 식에 따른다.
 변압기 절연강도 > 피뢰기 제한전압 + 피뢰기 접지저항 전압강하
- 6) 변압기의 절연강도가 전절연시 BIL보다 낮으면 피뢰기가 보호해 준다는 전제하에 저감절연이 가능하다.
- 7) 154kV 예를 들어 설명

- (1) 피뢰기 정격전압의 결정

피뢰기 정격전압 $V = \alpha\beta V_m$ α : 접지계수, β : 여유계수, V_m : 계통최고전압

$$\text{ex) } 154 \text{ [kV]} = \frac{154}{1.1} \times 1.15 \times \frac{1.3}{\sqrt{3}} \times 1.15 = 144 \text{ [kV]}$$

- (2) 피뢰기 제한전압의 결정

피뢰기 제한전압은 피뢰기 정격전압 \times (2.6~3.2)

$$\text{ex) } 144 \times 3.2 = 460 \text{ [kV]}, \quad 144 \times 2.6 = 375 \text{ [kV]} \text{ (신형 피뢰기 적용 시)}$$

- (3) 기기의 절연강도 결정

변압기 절연강도 > 피뢰기 제한전압 + 피뢰기 접지저항 전압강하

$$\text{ex) } \text{변압기 절연강도} > 460 + 10 \text{ [kA]} + 10 \text{ [\Omega]} = 560 \text{ [kV]}$$

기기의 절연강도는 560kV 이상만 절연하면 된다.

- (4) 변압기의 BIL

$$\text{BIL} = 5E + 50 = 5 \times 140 + 50 = 750 \text{ [kV]}$$

실제 변압기 BIL은 750[kV]이나 피뢰기 제한전압이 낮으므로 1단 저감하여 650[kV]로 절연한다.

신형피뢰기의 경우는 $375 + 100 \text{ kV} = 475 \text{ kV}$ 이상만 절연하면 이상전압이 내습해도 피뢰기에 의해 기기가 보호되므로 2단저감하여 550[kV]로 절연한다.

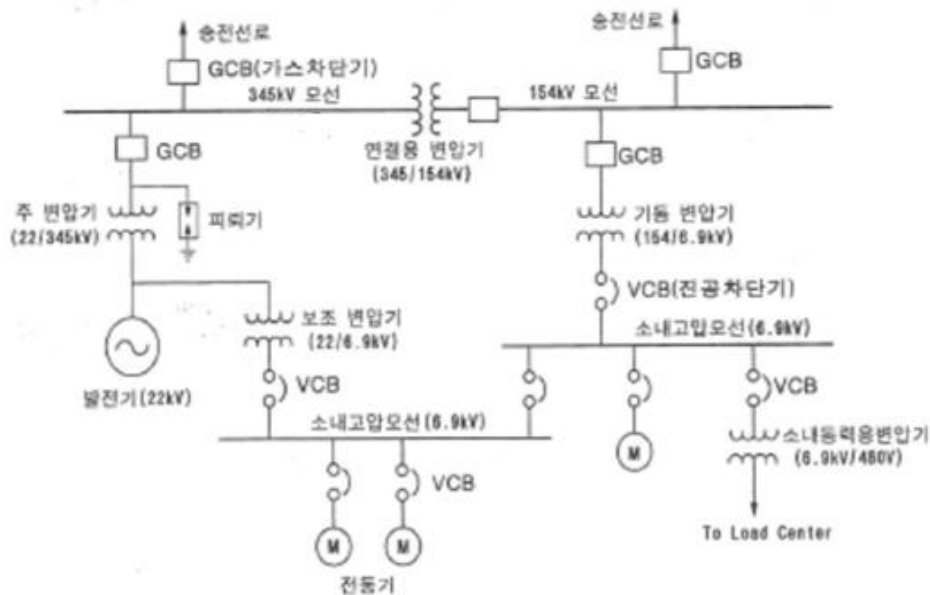
제 3교시 문제풀이

3-1. 화력발전소의 스위치 야드 송 수전 계통도를 그리고, 스위치 야드의 형식 및 설치되는 변압기 특징을 설명하시오.
(단, 송전용 스위치야드는 전압이 345kV 또는 154kV로 구성되고, 수전용 스위치 야드는 154kV로 구성된다.)

답)

1. 스위치 야드 설비

- 여러 호기의 발전기 전력을 모아 여러 송전선로로 공급 또는 필요시 외부로부터 수전하기 위해 설치된 전기설비를 스위치 야드라고 한다.
- 구성: 모선, 차단기, 단로기, 피뢰기, 철 구조물 및 애자, 기타 부대설비



2. 스위치 야드의 형식

- 송전용 스위치야드
주 변압기가 연결되어 발전기에서 생산한 전력을 송전하는 설비
- 수전용 스위치야드
기동 변압기가 연결되어 있어 발전소 기동이나 정지 시에 소내 보조전력을 수전하기 위한 설비
- 일반적으로 송전용 스위치야드는 전압이 345kV 또는 154kV로 구성되고, 수전용 스위치 야드는 154kV로 구성된다.
- 어느 계통에 문제가 발생하더라도 계속 송·수전할 수 있도록 345kV와 154kV 간에 연결용 변압기

(Tie Transformer)를 설치하여 전기적으로 연결시켜 안정성을 확보하는 경우가 많다.

3. 변압기의 특징

1) 주변압기

- (1) 역할: 발전기에서 발생된 전력을 송전전압으로 승압하기 위한 변압기
- (2) 접속: 1차측은 상분리 모선 2차측은 발전기용 차단기 측선로와 연결
- (3) 결선: 1차측은 Δ 결선 2차측은 Y 결선으로 접지
- (4) 절연방식: 단절연
- (5) 냉각방식: 송유풍냉식

2) 소내보조 변압기

- (1) 역할: 정상 운전 중 소내 보조기 동력 전원 공급
- (2) 접속: 발전기 상분리 모선에서 분기하여 공급
- (3) 결선: 일반적으로 $\Delta - Y$ 결선 또는 3권선 변압기 채택
- (4) 냉각방식
 - 30[MVA]이하: 유입 자냉식
 - 30[MVA]초과: 유입 풍냉식 또는 송유 풍냉식

3) 기동 변압기

- (1) 역할: 유닛을 기동할 때 소내 보조기 전원을 수전하기 위한 것으로 계통전압을 소내 고압 전압으로 강압하는 변압기
- (2) 결선: 일반적으로 $Y - Y$ 또는 3권선 변압기 채택
- (3) 냉각방식
 - 자냉식, 풍냉식 또는 송유자냉식, 송유 풍냉식 등의2중 정격으로 채용

4) 저압 동력용 변압기

- (1) 역할: 고압에서 저압으로 강압하여 저압 보조기요 전원을 공급하는 변압기
- (2) 설치대수 및 구성: 발전소 내 여러 대가 필요하며 저압 전원 공급설비인 컨드롤 센터와 함께 설치
- (3) 냉각방식: 주로 몰드형으로 자냉식 또는 풍냉식 적용

5) 특수 변압기

- (1) 계기용 변압기
- (2) 계기용 변류기

6) 기타 변압기

몰드 변압기, 아몰퍼스 변압기

3-2. 수차의 성능이나 특성을 나타내는 비속도(특유속도)에 대하여 다음 사항을 설명하시오

- 1) 수차 종류에 따른 N_s (비속도 한계값)
- 2) 비속도와 낙차와의 관계

답)

1. 개요

1) 비속도(특유속도)의 정의

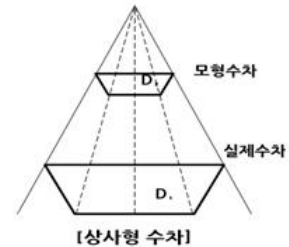
- (1) 기하학적 상사특성을 이용한 유수에 대한 러너의 상대속도로 실제수차와 기하학적으로 닮은 모형 수차를 제작하고 동일한 운전조건에서 단위낙차(1[m])에 단위출력(1[kW])을 내는데 필요한 1분간의 회전수

$$N_s = N \frac{P^{\frac{1}{2}}}{H^{\frac{5}{4}}} [m \cdot kW]$$

N : 정격회전수[rpm]

H : 유효낙차[m]

P : 낙차 H 에서의 정격 출력[kW]



2. 수차별 비속도 한계 값

종류		전용낙차[m]	N_s 한계 값 [$m \cdot kW$]		
충동형	펠톤	250~1,800	$12 \leq N_s \leq 23$		12~23
반동형	프란시스	저속도	$N_s \leq \frac{20,000}{H+20}$	+30	65~350
		중속도			
		고속도			
	사류	40~180		+40	150~250
	프로펠러	5~80		+50	350~800

3. 수차의 N_s 와 낙차와의 관계

1) 저 낙차 발전소

- (1) 유수의 속도가 낮으므로 N_s 큰 형식 적용한다.

- (2) N_s 가 작은 형식의 수차를 적용할 경우 회전수 N 이 작아져서 수차 발전기가 대형화되어 경제성이 저하된다.

$$\therefore N_s \propto N \quad (N = \frac{120f}{P})$$

2) 고 낙차 발전소(동일 출력 인 경우)

- (1) 유수의 속도가 크므로 N_s 가 적어도 경제성에 지장 없다.
- (2) 효율이 높고, 기계적 강도가 우수한 수차 선정이 필요하다.
예) 펠톤 수차

3) 비속도와 경제성

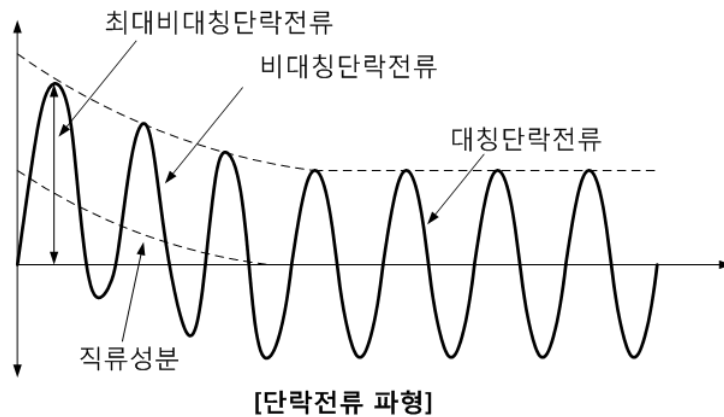
- (1) 주어진 동일낙차에서 N_s 를 증가시킬 경우, 러너 직경을 작게 할 수 있어 발전기가 작아지므로 경제적으로 우수해진다.
- (2) 너무 큰 N_s 를 선택한 경우, 캐비테이션이 발생하여 기기의 진동 발생 및 효율 감소 등 악영향이 발생하므로 적절한 N_s 적용이 중요하다.
- (3) 비속도가 높은 수차 중에서 상대적으로 비속도가 작은 수차를 선정하여야 경제성을 확보할 수 있다.

3-3. 전력계통에 고장 계산 시 X/R ratio가 나타내는 의미와 그 크기에 따라 보호기기 선정 시 어떠한 영향이 나타나는지 설명하시오.

답)

1. 개요

- 1) 단락 전류란 전로의 절연이 파괴된 상태에서 임피던스가 적은 상태에서 흐르는 큰 고장 전류를 단락 전류라 한다.
- 2) 단락 전류는 단락 시 시간에 변화에 따른 임피던스 변동에 따라 비대칭 단락 전류 대칭 단락 전류로 크게 구분한다.



- (1) 최대 비대칭 단락 전류(I_p : Peak short circuit current)
 - ① 초기 1/2 Cycle에 나타나는 단락 전류의 순시 Peak 값
 - ② Cable 선정, 차단기 용량 선정, 직렬기기 열적 - 기계적 강도 검토, 변류기 포화특성, 계전기 순시 협조 정정
- (2) 비대칭 단락 전류(I_K'' : Initial symmetrical short circuit current)
 - ① DC 성분에 의해 단락 전류 비대칭 구간
 - ② X/R Ratio에 따라 단락 감쇄 시간이 결정된다.
- (3) 대칭 단락 전류(I_K : Steady short circuit current)
 - ① 고장 이후에 단락 전류가 감소하여 안정상태에 이르는 대칭분 단락 전류의 실효값
 - ② 계전기 한시 협조 정정

2. X/R ratio가 나타내는 의미

- 1) 회로 단락 시 전원측의 저항 성분과 리액턴스 성분의 비로서 X/R 비에 따라 비대칭 단락 전류의 크기와 감쇄가 결정된다.

2) X/R Ratio특징

X/R Ratio 클 경우	과도형상이 증가
	위상이 늦어져 단락 감쇄시간이 증가
	비대칭계수 K 가 증가

3. X/R Ratio기 보호기기 선정 시 미치는 영향

1) 차단기 용량 선정

X/R Ratio 15 이하	① 대칭 용량이 적절한 차단기는 비대칭 전류에 대해서도 차단용량 충분하여 이런 경우 대칭단락 전류만으로 차단기 용량을 선정한다.
X/R Ratio 15 초과	① 직류분의 감쇄가 늦어져 순시 차단기 책무가 가혹하다. ② 비대칭계수에 대칭 단락전류를 곱하여 차단기 용량을 선정한다.

2) 직결 기기의 열적 강도 검토

- (1) X/R Ratio가 커지면 단락 전류가 증가하여 기기에 가해지는 충격이 증가한다.
- (2) 전선, CT, 직렬기기 등의 열적 강도를 검토해야 한다.

3) 경제성에 미치는 영향

- (1) X/R Ratio는 고장 전류, 차단기 용량 및 각종 전력기기의 절연내력 및 강도 등에 직접적인 영향으로 X/R Ratio가 클 경우 차단기 등의 대형화로 경제성이 낮아진다.

4. 비대칭계수 K

- 1) 직류성분과 교류분이 중첩된 비대칭 고장 전류를 대칭 고장 전류로 환산하기 위한 계수로 전원에서 단락 지점까지 X/R Ratio와 역률에 의해 결정된다.
- 2) X/R Ratio가 15이상인 계통에서는 대칭차단전류에 비대칭 계수를 곱하여 계산한다.

$$3) \text{비대칭 계수 } K = \frac{I''}{I}$$

단 I'' : 비대칭 단락 전류의 실효 값, I : 대칭 단락 전류의 실효 값

4) 비대칭 단락 전류의 적용

구분	단상 비대칭 계수(K_1)	3상 비대칭 계수(K_3)
변압기 전원에 가까운 장소	1.6	1.25
변압기 전원에서 떨어진 장소	1.4	1.4

3-4. 배전계획은 전력회사가 배전계통 제반 업무와 자원 배분에 대한 최적의 스케줄을 찾아내는 중요한 의사 결정절차라고 할 수 있다. 배전설비의 신설 및 보강 등을 위한 중장기 배전계획의 목적과 절차에 대해서 설명하시오

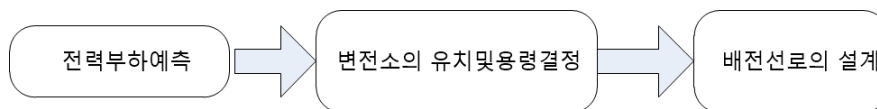
답)

1. 배전계획의 개념

- 1) 안정적인 전력공급과 미래 자원 배분에 대한 최적의 스케줄을 찾아내는 의사결정 절차
- 2) 정해진 신뢰도 수준에 따라 미래 전력수요를 만족시킬 수 있는 전력설비를 경제적인 면도 고려하여 순차적인 확장계획을 수립

2. 중장기 배전계획의 목적

- 1) 안정적인 전력공급을 위한 배전계통의 구축을 위한 계획이 필요
- 2) 향후 5년~10년 앞선 계획 수립이 필요



[배전계획의 기본절차]

3. 중장기 배전계획의 절차

- 1) 부하예측
 - (1) 배전계획 지역에 대한 향후 10년 정도의 부하예측을 시행
 - (2) 부하예측기법
과거 경험 등의 데이터를 바탕으로 트렌드를 예측하여 미래에 대한 증감 곡선을 추이
- 2) 부하 밀도 작성
관리구별로 현재와 미래의 부하밀도 및 부하밀도 지도를 작성한다.
- 3) 부하밀도 분포 조정
 - (1) 거시적인 부하 예측 값과 관리구별 부하밀도의 합계 값을 비교한다.
 - (2) 비교 값이 현저한 차이가 있을 때는 지역 전체를 예측한 거시적 부하 예측 값에 가까운 값으로 관리구별 전력을 조정한다.
- 4) 배전방식 결정
목표연도의 공급력과 신뢰도를 충분히 검토 후 배전방식, 간선선로의 공급구역을 결정한다.

5) 선로 경과지 결정

- (1) 변전소의 이용률 및 신설위치, 배전선로의 손실과 전압강하를 최소화하는 방향으로 할 것
- (2) 경과 가능한 후보지 중 최적의 선로 경과지를 결정한다.

6) 설비계획 수립

- (1) 향후 수요 증감에 대응하여 설비를 확충
- (2) 목표연도의 설비에 이르기까지 단계별 계획을 수립

7) 사업목표 수립 및 예산 배정

시행단계부터 목표연도에 이르기까지 매 연도의 공사내용을 정리하고 예산을 산정한다.

4. 중장기 배전계획의 경향

- 1) 전력공급의 양적인 측면의 요구와 함께 질적 측면(무정전, 고품질, 고신뢰성 등)의 전력품질에 대한 사회적인 요구가 증가
- 2) 수용가의 신뢰도와 전력품질향상을 목표로 배전계획이 중요시되고 있다.

3-5. 발전소나 변전소의 주 접지망(Main)설계시 설계 순서를 나열하고 그 내용을 설명하시오

답)

1. 개요

1) 접지의 분류

- (1) 목적에 따른 분류: 뇌보호 접지, 기기접지, 계통접지, 통신용접지
- (2) 기능적 방법에 따른 분류: 단독접지, 모선접지, 연접접지
- (3) 접지공법별 분류: 접지봉, 접지극, 매설지선, 메쉬접지

2) 접지의 목적

- (1) 기기의 절연파괴 방지한다.
- (2) 접지전위 상승을 억제하여 감전사고와 화재를 방지한다.
- (3) 정전기로 인한 통신기기 보호
- (4) 뇌 방전전류를 대지로 신속히 방전한다.
- (5) 약전류 회로와의 혼촉을 방지한다.
- (6) 확실한 보호계전기의 동작 전류를 확보한다.

2. 접지망 설계 시 설계 순서

1) 토양특성의 검토

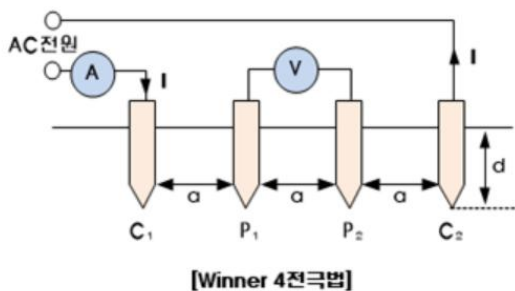
- (1) 토지저항률의 결정 요소(건기와 기온이 낮을 때 시공한다.)

① 토질 ② 수분의 양 ③ 온도 ④ 용해물질의 농도

- (2) 대지 고유저항 측정법

① Winner의 4전극법

4개 전극을 일직선상의 동일 간격으로 배치 C_1 과 C_2 에 교류전원을 공급하여 P_1, P_2 간의 전위차를 측정하는 가장 대표적인 방법이다.



ρ : 대지 고유저항[Ωm]

a : 전극간의거리[m]

($a = 20d$, $\rho = 2\pi a R = 40\pi d R$)

d : 전극의 매설깊이[m]

② 비저항 검출법

$$R = \frac{\rho}{2\pi\alpha}$$

$$\rho = 2\pi\alpha R = 2\pi\alpha \frac{V}{I} \left(d < \frac{a}{20} \right)$$

ρ : 토양의 고유 저항[Ωm]

α : 전극간의 거리[Ωm]

R : 저항값[Ω]

2) 최대 지락전류 결정

(1) 최대 지락 전류는 그 계통의 고장용량을 통해 계산한다.

$$\therefore I_E = 0.6I_g$$

I_E : 최대접지 전류[A]

I_g : 지락전류[A]

3) 소요 접지저항의 결정

(1) 소내 기기의 내전압을 검토한다.

$$\therefore R_o = \frac{V_g}{I_E} = \frac{\text{허용접지 전압 상승값}(1,500 \sim 2,000[V])}{\text{최대 접지 전류}} [\Omega]$$

4) 허용 보폭전압 및 허용접촉전압 검토

(1) 허용보폭전압(E_{step})

발, 변전소 구내에 서 있는 경우 접지전위 상승에 따른 양다리사이 걸리는 전압

$$\therefore E_{step} = (R_b + 2R_f)I_k = (1,000 + 6\rho_s) \frac{0.116}{\sqrt{t}}$$

단, R_b : 인체저항(1,000[Ω])

R_f : 발과 지면접촉 저항($3\rho_s$)

ρ_s : 표토층 고유저항[Ωm]

I_k : 입체허용전류[A]

(2) 허용접촉전압(E_{touch})

인체가 철구 등에 접촉했을 경우 손과 발끝사이 걸리는 전압

$$\therefore E_{step} = \left(R_b + \frac{R_f}{2}\right)I_k = (1,000 + 15\rho_s) \frac{0.116}{\sqrt{t}}$$

단, R_b : 인체저항(1,000[Ω])

R_f : 발과 지면접촉 저항($3\rho_s$)

ρ_s : 표토층 고유저항[Ωm]

I_k : 입체허용전류[A]

(3) 두 조건을 만족하는 소요접지저항(R_o) 결정

$$R_0 \leq E_t \times \frac{\alpha_1}{I_E}$$

$$R_0 \leq E_s \times \frac{\alpha_2}{I_E}$$

I_E : 최대접지전류[A]

α_1, α_2 : 안전율

5) 접지 제원의 결정

(1) 접지도체의 굵기 선정

$$\therefore A = I_c \sqrt{\frac{8.5 \times 10^{-8} \times S}{\log_{10} \left(1 + \frac{T_m - T_a}{234 + T_a} \right)}} [mm^2]$$

I_g : 1선 지락 전류 실효 값[A]

A : 접지도체의 단면적[mm²]

S : 전류 통과시간[s]

T_m : 최고 허용온도[°C]

T_a : 주의온도[°C]

(2) 소요접지도체의 길이

$$E_{mesh} = K_m K_i \rho_s \frac{I_g}{L} = \frac{116 + 0.17 \rho_s}{\sqrt{t}}$$

$$\therefore L = \frac{K_m K_i \rho_s I_g \sqrt{t}}{116 + 0.17 \rho_s} [m]$$

K_m : 접촉계수(0.2~0.4)

K_i : 불규칙계수(2~4)

E_{mesh} : Mesh 중성점간 접촉전자

t : 전류유입시간[s]

6) 전위경도의 계산(메쉬접지 경우)

$$E_{step} = (0.1 \sim 0.15) \rho_s \frac{K I_E}{L}$$

L : 망상전장

ρ_s : 표토 층 저항

$$E_{touch} = (0.6 \sim 0.8) \rho_s \frac{K I_E}{L}$$

K : 수정계수

(보통1 접지 망 주변 1.2~1.3)

7) 소내 인접도체에 대한 대책

(1) 저압회로, 통신회로: 절연 변압기(TR)에 의해 절연한다.

(2) 궤도: 절연 조이트를 사용한다.

(3) 가스관, 수도관: 구내 여러 곳에서 접지한다.

8) 안정성 검토 및 대책

(1) 조작 핸들: 절연재료를 상용한다.

(2) 울타리: 접지계로 포함하여 접지한다.

3-6. 유입 변압기를 보호하기 위한 기계적 보호장치를 설명하고, 동작원리, 동작설정값 및 발생신호(경보, 트립)에 대하여 설명하시오

답)

1. 개요

- 1) 변압기는 교류전력계통의 핵심기기로 사고발생 시 전력공급의 중단 및 화재발생의 위험이 있어 사고가 발생할 경우 완벽한 차단을 위한 고신뢰의 보호방식이 요구된다.
- 2) 변압기 보호방식의 분류
 - (1) 전기적 보호방식
 - (2) 기계적 보호방식

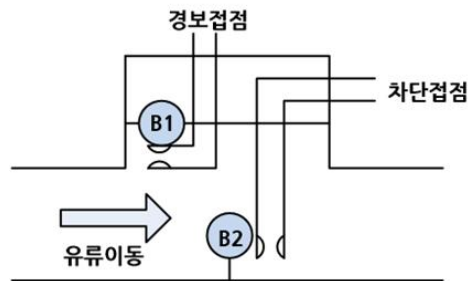
2. 기계적 보호장치

1) 브흐홀쯔 계전기(96B : Buchholz R/Y)

(1) 동작원리

변압기의 주탱크와 콘서베이터 사이에 설치하여 절연유 분해가스 및 절연유의 급격한 이동을 검출하여 내부 사고를 보호한다.

(2) 동작 설정값 및 발생신호



[브흐홀쯔 계전기]

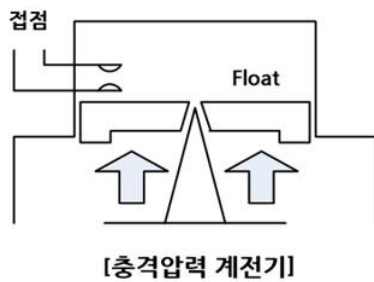
가스축적량 : $325 \pm 25cc$	B_1 : 경보접점(온도 상승을 감지)
절연유 흐름 $1 \pm 0.1m/s$	B_2 : 차단접점(절연유의 급 이동 검출)

2) 충격압력 계전기(96P: Sudden Gas Pressure R/Y)

(1) 동작원리

변압기 내부에 사고가 발생할 경우 분해가스의 급격한 증가에 의한 이상 압력상승을 검출하고 분해가스의 이상 압력에 의해 Float가 상승하여 접점이 동작한다.

(2) 동작 설정값 및 발생신호



- ① 내부가스압력 $0.5 \sim 0.8 [kg_f/cm^2]$ 에서 동작
- ② 과압력이 발생했을 경우 Float상승

3) 방압 장치(96R: Pressure Relief Device)

(1) 동작원리

변압기 내부사자로 내부압력이 어느 일정압력 이상이 되면 절연유를 밖으로 분출 시켜서 변압기 본체 변형이나 폭발사고를 방지한다.

(2) 동작 설정 값 및 발생신호

외함 압력이 정상동작 압력 $10 \pm 1psi$ 초과시 동작

4) 권선 온도계

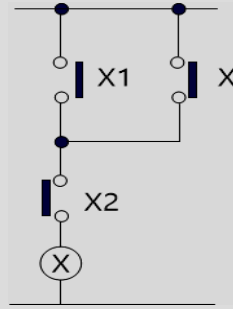
권선의 온도가 상승했을 경우 경보를 발동한다.

5) 유면계

절연유 유면의 저하를 검출한다.

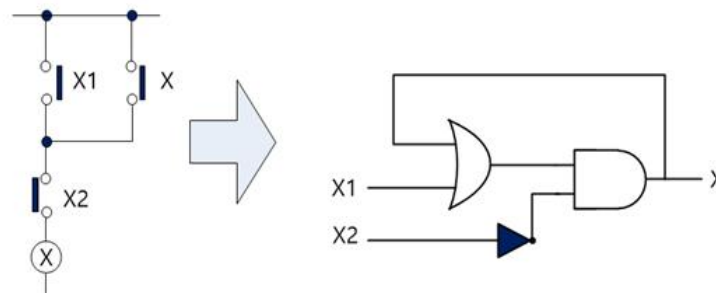
제 4교시 문제풀이

4-1. 다음 그림의 자기유지(Self Holding) 유접점 시퀀스회로를 무접점 논리회로로 바꾸고, 발전소에서 에너지 절약 및 3상 유도전동기 돌입전류를 제한하기 위하여 적용되는 정지형(Soft Starter)제어기와 가변속(VVVF)제어기에 대하여 설명하시오



답)

1. 자기 유지 회로 시퀀스 회로 무 접점회로로 변환



2. 정지형(Soft Starter)제어기

무접점 Soft Starter를 적용하여 기동 토크에 알맞은 저전압부터 정 토크가 발생하는 전 전압까지 서서히 연속적으로 전동기에 입력하여 저 전류로 모터를 기동시킨다.

1) 필요성

- (1) 유도 전동기를 기동할 경우 전 부하의 400%토크와 600~700%의 기동전류가 발생하게 된다.
- (2) 400%의 기동 토크는 전동기의 부착된 기어나 벨트 베어링 등에 마모나 파손의 원인- 유지 보수 비용을 증가시키게 된다.
- (3) 600%이상의 높은 기동 전류는 Magnetic Contactor의 주 접점에 아크를 발생시켜 접점 손상에 의한 결상 등의 원인 및 전압강하를 발생시켜 시설용량을 증대시키는 원인이 된다.

2) 특징

- (1) 다양한 기동과 정지
- (2) 수명이 반영구적이다.
- (3) 설치 시 신뢰도가 우수하다.
- (4) 모니터링이 가능하다.
- (5) 데이터를 간단히 입력가능하고 취부가 편하다.

3. 가변속(VVVF)제어기

상용전원의 주파수와 전압을 변환시켜 전동기에 공급함으로써 전동기의 속도를 제어할 수 있는 장치이며 제어요소의 구분에 따라 전압형과 전류형 인버터로 구분한다.

1) 필요성

필요한 토크를 유지하면서 원하는 대로 가변속하거나 회전수가 낮아지면 부하를 구동시키기 위한 토크도 작아지는 부하로서 부하의 토크특성이 회전수의 제곱에 비례하고 동력은 회전수의 3승에 비례하는 특성을 가지므로 높은 에너지 절약효과를 얻을 수 있다.

2) 특징

- (1) 가변속 전동기에 비해 속도제어가 유리하다
- (2) 다른 방식대비 초기투자비가 많이 들고 고가이다.

4-2. 전력계통의 절연은 이상전압의 크기에 의해 결정된다. 전력계통에서 발생하는 내·외부 이상전압 원인을 열거하고 각각 설명하시오.

답)

1. 내·외부이상전압의 종류



2. 외부이상전압

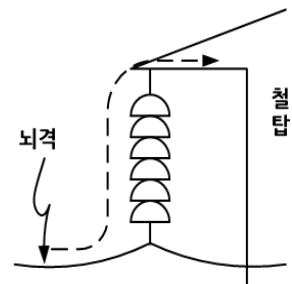
1) 직격뢰

(1) 섬락

- ① 직격뢰가 송전선 가격 시 애자의 절연이 파괴되어 송전선에서 철탑 또는 가공지선 방향으로 Flash-Over를 일으키는 현상

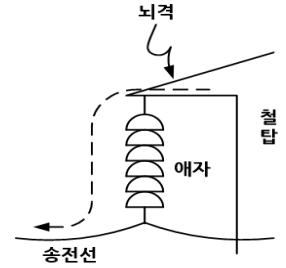
② 대책

뇌 차폐를 하기위해 가공지선을 설치한다.



(2) 역 섬락

- ① 직격뢰가 철탑상부 또는 가공지선에 직격 시 철탑 접지 저항에 의한 전위 상승으로 애자를 통해 선로방향으로 Flash-Over를 일으키는 현상
- ② 대책: 매설지선을 설치 및 Surge 임피던스가 저감하기 위해 침상접지봉 사용하며 매설지선과 병행 할 경우 $1[m]$ 이상 이격한다.



(3) 경간 역섬락

- ① 직격뢰가 가공지선의 중간 부분을 직격 시 가공지선에서 송전선으로 방향으로 직접 Flash-Over를 일으키는 현상
- ② 대책
가공지선과 전선로의 이격거리를 증대하거나 교락편을 설치한다.

2) 유도뢰

- (1) 뇌운 상호간 또는 뇌운과 대지와 사이에 방전이 일어났을 경우 뇌운 밑에 있는 송전선로 상에 이차전압이 발생하는 현상
- (2) 대책
보호율(m)을 50[%]이하로 할 수 있어 유도뢰가 저감된다.

3. 외부이상전압

1) 상용주파이상전압

(1) 페란티 현상

- ① 장거리 선로 무 부하 또는 심야 경부하시 분포 정전용량에 의한 충전전류와 자기인덕턴스에 의한 기전력에 의해 송전단 전압보다 수전단 전압이 높아지는 현상
- ② 대책: 발전기 및 동기 조상기를 저(부족)여자로 운전 및 전력계통의 L성분을 보상한다.

(2) 발전기 자기여자현상

- ① 장거리 무 부하선로의 시 충전 시와 같은 경우 선로의 분포 정전용량에 의한 충전전류에 의해 발전기 전기자 반작용의 증자작용이 발생하여 발전기 단자전압이 이상 상승하는 현상
- ② 대책: 단락비가 큰 발전기로 계통을 충전 및 전력계통의 L성분을 보상한다.

(3) 기타

- ① 수차 발전기부하차단
- ② 1선 지락사고
- ③ 기본파 이상전압, 고조파 이상전압 및 소호리액터 단선사고: 공진 발생

2) 개폐서지

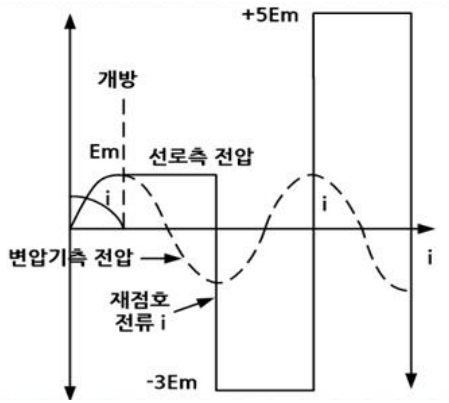
(1) 투입서지

무 부하 선로 차단기를 투입할 경우 전압의 진행파가 선로의 종단에서 정반사하여 발생하는 이상전압

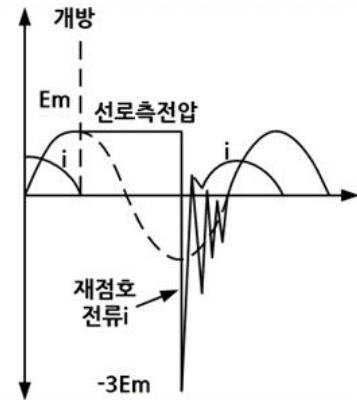
(2) 개방서지

① 무 부하 충전전류의 차단

- ㉠ 선로의 충전전류 I_c 차단 시 회복전압과 아크전압이 동상으로 아크는 전류 0점에서 일단 소멸되나 차단기 양극 간 전위차에 의해 재 점호가 발생하게 되고 L, C 과도진동에 의한 큰 이상전압이 발생한다.



무 제동 시 재점호

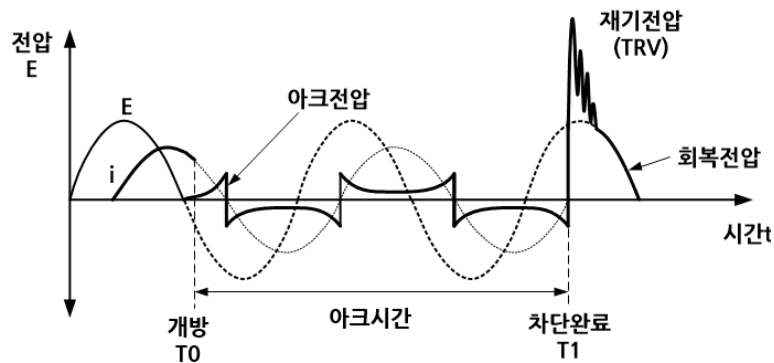


제동 시 재점호

- ㉡ 대책: 고속도 차단방식을 채용, 서지흡수기(SA)를 설치 및 중성점 직접접지채용

② 지상전류 차단

- ㉠ 지상 전류 차단 시 아크 전압과 회복전압의 위상이 반대가 되어 아크가 지속된다. 차단기 양극 간 절연회복지점에서 아크가 소멸되며 L, C 과도진동에 의한 재기전압에 의해 이상전압이 발생한다.



[고장전류차단 재기전압]

㉡ 대책

콘덴서 삽입, 병렬 저항 삽입(R-C소자, R-L소자) 및 서지 흡수기(SA)를 설치한다.

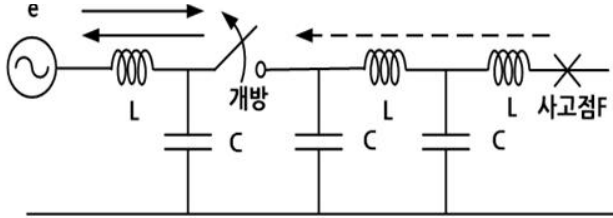
③ 유도성 소전류 차단(무부하 여자전류 차단)

- ㉠ 무 부하 변압기의 여자전류처럼 소량의 지상 전류를 전류 0점 통과 전에 대용량 고속도 차단기로 차단할 경우 전류 재단 현상에 의해 큰 역기전력이 유기되어 이상전압이 발생한다.

- ㉡ 대책: 적은 여자전류는 단로기로 차단, 피뢰기를 설치한다.

④ 근거리선로 고장차단(SLF: Short Line Fault)

- ㉠ 발, 변전소로부터 가까운 수 [Km]이내 선로에서 단락 고장을 차단할 경우 고장 전류가 적음에도 불구하고 재기전압 상승률이 높아 차단기의 차단이 안 되는 현상



[사고 시 등가회로]



[차단Mechanism]

분리된 선로 잔류전압(전진파와 후진파)의 왕복 진동에 따라 삼각파 상의 재기전압을 동반하여 전압상승률이 증가한다.

- ㉡ 대책: 선로 측 단자와 대지 간 사이에 콘덴서를 삽입 및 고속도 차단기를 채용한다.
- ⑤ 고속도 재폐로 차단
- ㉢ 고속도 재폐로 시 선로 측에 잔류전하가 있어 재점호가 일어나며 큰 Surge 발생한다.
- ㉣ 대책: 충분한 소 이온 시간을 후 재투입 및 HSGS 채용
- ⑥ 기타
- ㉤ 탈조차단
- ㉥ 변압기 단자 차단
- ㉦ 직류차단

4-3. 고조파가 전력용 변압기에 미치는 영향과 대책에 대하여 설명하시오

답)

1. 개요

1) 고조파의 정의

기본주파수 성분의 정수배를 갖는 전압, 전류의 왜곡파형으로 일반적으로 50조파 까지를 고조파로 분류한다.

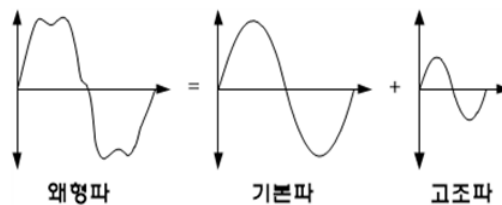
2) 고조파 전류(I_n)의 크기

$$\therefore I_n = \frac{I_1}{n} \times K_n$$

I_1 : 기본파 전류[A]

K_n : 고조파 저감 계수

n : 고조파 차수



2. 고조파가 변압기에 미치는 영향

1) 변압기 과열

- (1) 콘덴서 회로의 임피던스가 클 경우
- (2) 영상분 고조파 순환, 와전류 손실 및 표피 효과 등이 심화된다.
- (3) 변압기의 권선의 온도가 상승된다.

2) 변압기의 동손이 증가된다.

- (1) 기본파 전류에 고조파 전류가 포함되면 코일의 표피효과에 의해 동손이 증가된다
- (2) 동손증가에 따른 손실증가 온도상승, 변압기 용량이 감소된다.

3) 변압기의 고정손인 철손이 증가

- (1) 히스테리시스 손 증가 및 와전류 손 증가
- (2) 철손 증가에 따른 절연유 및 권선의 온도가 상승된다.
- (3) 자왜 현상에 따른 소음 및 진동이 증가된다.

4) 변압기 출력이 감소된다.

- (1) 변압기 고조파 저감계수(THDF: Transformer Harmonics Derating Factor)

$$\therefore THDF = \sqrt{\frac{P_{LL-R}}{PLL}} \times 100[\%] = \sqrt{\frac{1 + P_{ec-R}}{1 + (K-Factor \times P_{ec} - R)}} \times 100[\%]$$

P_{LL-R} : 정격에서의 부하손 P_{LL} : 고조파 전류를 감안한 부하손실 $P_{ec} - R$: 와전류손

(2) 고조파로 인한 와전류손의 증가로 변압기의 출력이 THDF 만큼 감소하게 된다.

4. 대책

1) 변압기 △결선

영상분 고조파를 변압기 결선을 통해 흡수하는 가장 효과적인 방법이다.

2) 변압기 제작 시 K-factor 제작반영

(1) K-Factor 산정식

$$K-Factor - \frac{P_{he}}{P_{fe}} = \frac{\sum_{h=1}^{h_{\max}} I_h^2 h^2}{I_1^2}$$

P_{he} : 기본파와 고조파 전류가 함께 흐를 때의 와류손

P_{fe} : 기본파와 전류만 흐를 때의 와류 손

h : 고조파 차수

I_1 : 기본파 전류[A]

I_h : 고조파 전류[A]

K - Factor	부하특성
1	선형부하
7	3상 중 50% 비 선형부하
13	3상의 비선형 부하
20	단상과 3상의 비선형 부하
30	단상 비선형 부하

(2) K-factor을 제작에 반영하고 변압기의 고조파 내량을 증대시킨다.

(3) THDF의 적용

① △ 권선

표준 변압기의 권선보다 굵게 설계해서, 3고조파가 △ 권선을 순환하더라도 권선이 과열하지 않도록 적용한다.

② Y권선

3고조파에 의한 중성점 접지부의 과열방지를 위해 중성점 접속부의 굵기를 상권선의 300%로 설계에 적용한다.

3) 지그재그 변압기를 채용한다.

4) 고조파 전류의 중첩, 표피효과에 의한 저항 증가를 고려하여 변압기를 크게 제작한다.

4-4. 배전손실은 배전용 변전소로부터 공급된 전력이 수용지점에 이르는 동안 발생하는 전기적 특성에 의한 손실(Technical Loss)과 전력량 관리상 손실(Non-Technical Loss)로 구분할 수 있다. 각 손실에 대한 발생요소와 해당 배전손실을 줄일 수 있는 방안에 대해 설명하시오.

답)

1. 개요

1) 전력계통 손실의 종류는 크게 송변전 손실과 배전손실로 구분할 수 있다.

2) 배전손실의 종류

배전손실은 변전소와 가정에 설치된 계량기 사이의 전력량을 비교·산출하고 있으며 다음과 같이 구분하고 있다.

(1) 전기적 특성에 의한 손실

발전소에서 발전된 전력이 수용가 공급되기까지의 수송 과정에서 필연적으로 발생하는 송배전 선로 저항, 변압기 등에 의한 손실

(2) 전력관리상 손실

도전 등과 같은 전력량 관리 운영상에서 발생하는 손실

2. 배전손실의 발생요소에 따른 경감대책

1) 적정 배전방식의 채택

(1) 국내는 고압, 저압 배전방식을 $3\phi 4w$ 로 통일 운용하여 손실을 줄인다.

(2) 전기 방식별 공급능력

방식	$1\phi 2W$	$3\phi 3W$	$1\phi 3W$	$3\phi 4W$
능력	1(기준)	1.15	1.33	1.5

2) 부하의 평준화

3) 전류밀도 저감

굵은 배전선을 사용하여 손실을 줄인다.

4) 급전선의 이동

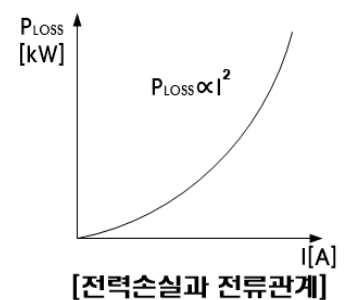
(1) 급전선이 긴 경우 분산 손실이 증가된다.

(2) 급전선의 증설, 변경, 분할 및 변전소 증설 통해 급전선을 부하중심으로 이동시킨다.

5) 저압 배전 선로의 개선

6) 저 손실 변압기의 채용

아몰퍼스 변압기를 채용하여 무 부하 손실을 감소시킨다.



7) 역률개선

$$(1) \text{ 전력손실 } P_{Loss} = 3I^2R = 3\left(\frac{P}{\sqrt{3} V \cos\theta}\right)^2 R = \frac{P^2 R}{V^2 \cos^2\theta} \text{이므로}$$

$$\therefore P_{Loss} \propto \frac{1}{\cos^2\theta}]$$

(2) 전력용 콘덴서를 설치하여 역률을 개선하여 손실을 감소시킨다.

8) 배전전압의 승압

(1) 배전 손실 감소에 가장 효과적인 방법

(2) 배전 전압을 2배로 승압할 경우 전력손실은 75% 감소한다.

4-5. 계통운영시스템(EMS: Energy Management System)의 용어 중 다음 사항에 대하여 설명하시오

- 1) 조류계산의 목적과 각 모선에서의 기지값, 미지값
- 2) 상태추정(State Estimation)
- 3) 안전도제약경제급전(Security Constrained Economic Dispatch)

답)

1. 조류계산의 목적과 각 모선에서의 기지값, 미지값

1) 조류계산의 목적

전력계통 운용방법의 결정 (AC법)	현재의 계통조건에 따른 가장 알맞은 운용방법의 결정
전력계통 확충계획 입안 (DC법)	발·변전소 및 송전선로를 증설할 경우 발·변전소의 전압 및 각 송전선로에 흐르는 전력 조류의 추정
전력계통 사고 예방 (AC법)	상정사고해석을 통한 전력계통의 사고를 예방

2) 각 모선의 기지값, 미지값

(1) 모선의 종류

분류	내용
발전 모선 (Genetator Bus)	① 발전기에 연결된 모선으로 전압제어 모선 또는 $P-V$ 모선으로 표시한다. ② 유효전력은 기계적 입력, 모선 제압은 계자전류에 의해 일정하게 조정되는 모선
부하 모선 (Load Bus)	① 유효, 무효전력은 부하에 따라 정해지는 모선으로 $P-Q$ 모선으로 표시한다. ② 과거의 기록이나 부하예측 또는 측정을 통해 그 값을 결정
기준 모선 (Slack Bus)	① 조류 계산 시 기준이 되는 모선으로 $V-\delta$ 모선으로 표시 ② 모선 전압의 크기와 위상은 기준의 값($1.0\angle 0^\circ$)으로 정해지는 모선

모선의 종류	기지량	미지량
발전 모선	유효전력 P_G 전압의 크기 E_G	무효전력 Q_G ($\underline{Q}_G \leq Q_G \leq \overline{Q}_G$) 전압의 위상각 δ_G
부하 모선	유효전력 P_R 무효전력 Q_R	전압의 크기 E_R 전압의 위상각 δ_R
기준 모선	전압크기 E_S 전압의 위상각 δ_S (기준모선으로 $\delta=0$)	유효전력 P_S 무효전력 Q_S 계통 전손실 P_{Loss}

2) 상태추정 및 상태변수

(1) 상태추정

- ① EMS내에서 수행하는 중요 기능으로 계통 내 여러 측정 점에서 얻어진 측정 Data를 이용하여 계통 전체의 상태변수를 추정하는 역할
- ② 상태변수를 이용해서 현재 계통의 운용상태를 알 수 있으며 이를 토대로 다양한 계통해석 기능을 수행

(2) 상태변수

- ① 모선에 유입되는 유효전력, 무효전력
- ② 선로의 전력 조류
- ③ 모선의 전압, 선로의 전류

3) 안전도 제약 경제급전

- (1) 발전기 제약을 제외한 송전선로 제약 등을 고려하여 발전기 유효출력을 결정하는 기능
- (2) 상태추정(state estimation)과 탈락된 발전기나 송전선 사고 등을 감안해서 경제적으로 출력하는 것

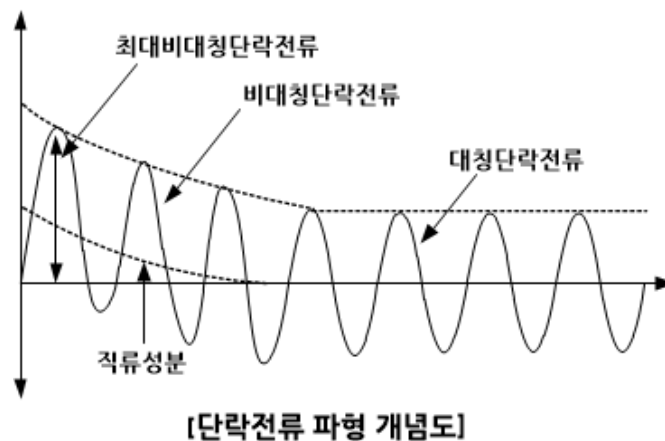
4-6. 우리나라 전력계통의 운영의 문제점 중 다음 사항에 대한 원인 및 대책을 각각 설명하시오

- 1) 고장전류 증가
- 2) 전압안정도 취약
- 3) 과도안정도 취약

답)

1. 고장 전류의 증가

- 1) 계통 규모가 대규모화되면 이와 비례하여 단락용량도 증가하게 되고 단락 사고가 발생했을 경우 기기 손상의 증가 등 2차 피해가 증가하게 된다.
- 2) 단락전류
 - (1) 전로의 절연이 파괴 등의 사고로 인해 임피던스가 적은 상태에서 흐르는 큰 고장 전류를 단락 전류라 한다.
 - (2) 단락 사고 발생 시 시간에 변화에 따른 임피던스 변동에 따라 비대칭 단락 전류와 대칭 단락 전류로 크게 구분한다.



- ① 최대 비대칭 단락 전류(I_p : Peak Short Circuit Current)

Cable의 선정, 직렬기기 등의 열적, 기계적 강도를 검토한다.

- ② 비대칭 단락 전류(I_K'' : Initial Symmetrical Short Circuit Current)

- ③ 대칭 단락 전류(I_K : Steady Short Circuit Current)

차단기, Fuse의 선정 및 계전기 정정에 적용한다.

2) 고장전류 증가 원인

- (1) 전원 입지의 집중화(I_n 증가)

P_n 증가에 따른 I_n 증가

단락 전류 I_s

$$\therefore I_s = \frac{100}{\%Z} \times I_n$$

I_n : 정격 전류[kA]

$\%Z$: 회로의 % 임피던스[%]

I_s : 정격차단 전류[kA]

(2) 발전기 단위기 용량의 증가(P_n 증가)

$$P_n = \sqrt{3} V I_n [kVA] \text{ 이므로 } I_n \text{ 증가 } P_n \text{ 증가}$$

(3) 계통의 연계 강화(Z 감소)

(4) 기간 계통 2회선 2루트화(Z 감소)

3) 고장 전류 대책

(1) 계통 전압의 승압

- ① 가장 실효적인 대책
- ② 동일용량을 송전할 경우

(2) 고 임피던스 기기의 채용

발전소 Step-up TR의 임피던스를 증대한다.(약 3~7%)

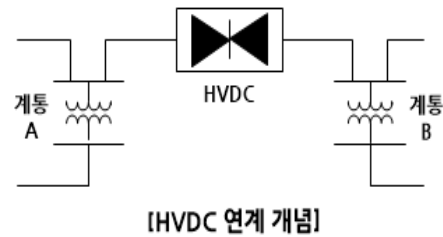
(3) 계통분할방식의 채용

(4) HVDC를 통한 계통의 분할

(5) 고장전류 제한기(SCL)

사이리스터의 고속스위칭 작용을 이용

(6) 한류리액터 채용



2. 전압안정도 취약

1) 전압안정도란 전력의 수송 한계에 따른 전압의 유지능력으로서 전압의 안정성을 의미하는 것으로 모든 모선의 전압을 허용 가능 범위 내 유지할 수 있는 능력을 논하는 것을 말한다.

2) 전압안정도 취약 원인

구분	내용
계통 측	<ul style="list-style-type: none"> ① 장거리 대전력 선로의 증가(전원의 원격화) ② 대용량 부하의 집중화 ③ 수요지 인근 전원의 탈락 ④ 다회선 송전선로의 사고
수용가 측	<ul style="list-style-type: none"> ① 일정 전력 특성 부하의 사용 증가 ② 냉방 부하 증가에 따른 역률저하 ③ 대용량 부하의 급변동

3) 전압 안정도 향상 대책

- (1) 전력계통의 고전압 운전
- (2) 고성능 조상설비의 보강

STATCOM, SVC, FACTS 설비를 도입하여 급격한 전압 동요를 억제한다.

- (3) 직접부하제어 실시

- ① 가변부하를 조성하여 수용가에 직접 부하 제어를 실시한다.
- ② 수요관리를 통한 전력수요를 억제한다.

- (4) $Q-V$ 종합제어 방식의 도입

- (5) 고속도 재폐로 방식을 채용한다.

- (6) 속응 여자 방식 채용한다.

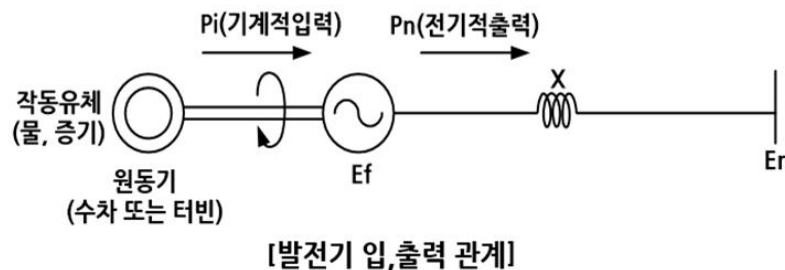
- (7) SPS 통한 송전선로, 부하 차단을 실시한다.

2. 과도 안정도 취약

- 1) 과도안정도란 전력계통에 과도적 수급 불균형이 발생했을 경우 안정을 회복하고 정상운전을 지속할 수 있는 정도를 나타낸다.

- 2) 과도 안정도 취약의 원인

- (1) 전력계통 부하의 급격한 변동
- (2) 사고 발생에 따른 과도적 수급 불균형



$$\begin{aligned} \frac{dw}{dt} &= \frac{d^2\theta}{dt^2} = \frac{w}{M}(P_i - P_n) \\ &= \frac{w}{M}\left(P_i - \frac{E_f E_r}{X} \sin \theta\right) \end{aligned}$$

$\cdot P_i$: 원동기 기계적 입력 (경감)
 $\cdot P_n$: 발전기 전기적 출력 (증대)
 $\cdot M$: 회전체 관성 정수 (증대)

3) 과도안정도 향상대책

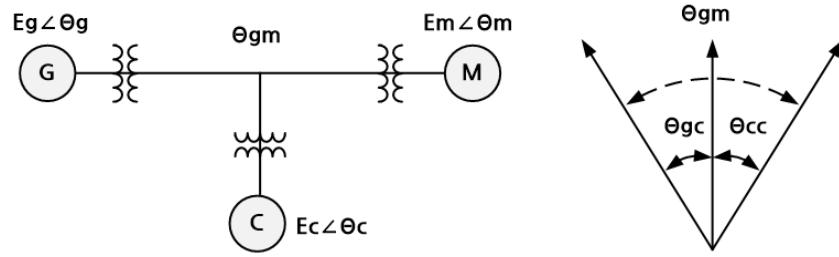
- (1) 계통의 리액턴스 감소

- ① 단락비가 큰 발전기 채용한다.
- ② 단권 변압기 채용한다.
- ③ 선로의 중간에 직렬 Capacitor를 설치한다.

- (2) 계통의 전압변동 억제

- ① 속응 여자방식을 채용한다.

② 중간 조상방식 채용



[중간조상방식 개념도]

③ PSS방식 채용

(3) 계통에 주는 충격의 감소

① 고속도 차단기 및 고속도 보호계전 System을 채용한다.

② 고속도 재폐로 방식 채용

③ 적정 중성점 접지방식 채용

(4) 고장 시 전력 변동의 억제

① 제동저항(TCBR)설치한다.

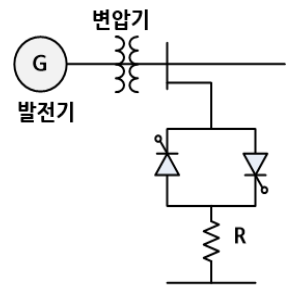
② 초고속 터빈 밸브 제어를 채용한다.

(5) 기타 안정도 향상 대책

① HVDC 송전방식을 채용한다.

② FACTS 설비 채용한다.

③ 전력계통 안정 운영시스템을 채용(SPS: Special Protection System)한다.



[제동저항 개념]