

제 61 회

발송배전기술사 문제해설 ②

자료제공 : 서울공과대학 TEL. (02)676-1114

웅인송담대 교수 유 상 불/ 공학박사, 기술사

두원공대 교수 김 세 동/ 공학박사, 기술사

본 시험정보는 2000. 5. 28 시행한 국가기술훈자력검정 발송 배전기술사 문제 해설본 약에출제된 1~4교시의 시험문제로서 1교시를 발췌하여 게재합니다.

[교육훈련팀]

풀이 및 해설

2 교시

※ 다음의 문항중 4문항을 택하여 답하시오. (각25점)

[문제1] 순환 유동층 연소(CFB; Circulation Fluidized Bed) 기술의 이점에 대해 설명하시오.

<해설>

1. 유동층 연소 보일러의 기본원리(FBC)

연료를 유동 상태에서 연소시키기 위하여 고체연료(bed material)를 연소床 위에 노재(모래, 석회석 등)와 같이 채우고 밑에서 공기분산판을 통하여 공기를 균일하게 분산시켜 불이 올리면 공기의 속도에 따라 연료가 떠 있는 상태가 된다.

이와 같이 연료가 비산되지 않고 유동상태를 이루는 상태에서 연소시키는 방법을 유동층 연소라 한다.

2. 순환 유동층 연소기술

FBC의 종류에는 유동화 속도에 따라 순환식(circulating type)과 거품식(bubbling type)으로 나누며, 순환식 FBC는 유동층에서 비산된 연료의 미연분을 사이클론으로 분리, 다시 유동층으로 재순환 연소시키는 것이다(속도 8~12 %).

3. 특징

(1) 연소상태가 안정되어 광범위한 연료류 사용

: 유연탄, 저품위석탄, 기타 모든 가연성 물질

(2) 효율이 높다.

: 연소실내의 단계적 연소와 연소가스의 재순환 방식으로 완전연소(효율 98%이상)

(3) 연소온도가 낮아 질소산화물(NOx)의 발생이 거의 없다.

: 연소실내의 온도가 800~900℃로서 기존 연소로에 비해 낮은 연소온도가 유지되므로 NOx의 발생이 거의 없다.

(4) 완전 탈황이 가능하여 환경성이 우수하다.

: 연소과정에서 석회석을 투입하여 유황분을 제거(90% 이상)하고, 별도의 탈황설비가 불필요하며 투자비는 물론 환경적으로도 유리하다.

(5) 보일러 설비를 축소 가능

: 로내의 탈황이 가능하므로 탈황설비가 불필요하고, 석탄 연료를 사용하는 경우 미분이 불필요하여 미분기가 없어도 됨으로 전체 보일러 설비를 축소할 수 있다.

(6) 동력 소모가 적다.

【문제2】 터빈발전기를 지상·진상 운전할 경우 운전상의 제약 요인을 발전기 가능 출력 곡선으로 표시하고 설명하시오.

〈해설〉

터빈 발전기를 구성하는 도체, 절연물 및 기타 구조물에는 정해진 온도 상승한도가 있어, 운전은 이 범위 내에 제한된다. 한편 발전기를 운전하는 경우, (1) 정격 출력 부근에서의 운전, (2) 지상 영역에서의 운전, (3) 진상 영역에서의 운전 등을 고려하지 않으면 안되고, 각기 운전 조건에 대한 발전기에의 열적 영향 개소도 달라진다. 그러므로 각 운전 영역에 있어서의 한계를 종축에 무효분, 횡축에 유효분을 취해서 표시하고, 이것을 가능 출력 곡선이라고 부른다.

(1) 발전기의 출력에 의하여 제한되는 범위
정격 역률 부근의 운전에서는 전기자 전류의 크기에 의한 전기자 권선의 온도 상승이 문제가 된다. 이 온도 상승에 의하여 발전기의 출력이 제한을 받는다. 역률의 범위는 발전기의 정격 역률에서 역률 100[%]의 정격 출력부근을 통하여 진역률 95[%]까지의 범위이며, 곡선 (1)로 나타낸다.

(2) 발전기의 지상 무효출력에 의해 제한되는 범위
발전기의 정격 역률 이하의 지상 영역에서는 계자 전류의 크기가 증가하여 이 때문에 계자 권선의 온도가 상승한다. 이 온도 상승에 의하여 발전기의 지상 무효 출력이 제한을 받는다. 또 계자 전류를 공급하는 여자기의 출력에 의해서도 제한된다. 곡선 (2)로 나타낸 부분이다.

(3) 발전기의 진상 무효 출력에 의하여 제한되는 범위
역률이 95[%]를 넘는 진상 영역에서는 계

자 전류가 감소하기 때문에 고정자 단부(端部)로부터의 누설 자속이 통하는 자로(회전자단락 지지환)의 포화가 없어져서, 누설 자속이 증가한다. 이 누설 자속은 고정자에 대하여 동기 속도로 회전하므로 고정자 단부에 와류손 및 히스테리시스손을 발생하여 이 부분의 온도가 상승한다. 이 온도 상승에 의하여 발전기의 진상 무효 출력이 제한을 받는다. 그러나 이 진상 운전에 대한 제한 범위는 이론적으로 정해지는 것이 아니고, 단부(端部)의 구조 재료 등에 따라 개개의 발전기마다 다르고, 실험적으로 정해지고 있다. 곡선(3)으로 나타낸다.

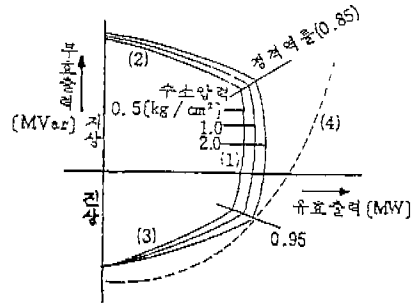


그림. 터빈 발전기의 가능 출력곡선

위의 세 가지 제한 요소는 모두 열적인 것이다. 그러므로 발전기의 냉각 방법에 따라 다르고, 특히 수소 냉각기의 경우는 수소 압력에 따라 냉각 능력이 변하므로 가능 출력범위도 변한다.

【문제3】 전력계통에서 고장 전류 증대에 따른 계통 및 관련 설비에 미치는 문제점 및 대책에 대하여 설명하시오.

〈해설〉

1. 개요

전력계통 규모의 확대와 계통의 광역 연계의 강화에 따라 단락전류가 해마다 증가하고 있는데, 그 경향은 발전소 규모의 증대와 전원입지의 집중화에 따라 더욱 증대되고 있어 계통 안정도와 함께 전력계통의 계획 운용상 중요한 과제가 되고 있다.

여기서는 단락전류 증대의 원인과 이에 수반되는 문제점 및 단락전류 억제기술에 대해서 언급하기로 한다.

2. 단락전류 증대의 요인

전력수요는 해마다 증가 일로에 있다. 또한 눈부신 성장을 계속하는 고도 정보화 사회에 있어서는 전기에의 의존도가 상당히 높아 무정전 공급은 물론이고 전압이나 주파수 변동이 적은 질이 높은 전기에 대한 요구가 한층 높아지고 있다.

전기설비 및 수송설비의 계획 운용에 있어서는 이와 같이 양과 질에 대한 요구에 대응하면서 경제성을 추구한 대응책이 세워지고 있지만 그림1과 같이 결과적으로는 단락전류를 증대시키는 요인이 되고 있다.

(1) 전원설비

① 발전기의 단기용량 증대

열 효율이 높은 대용량 화력, 원자력을 주류로 하여 전원이 개발되어 단기용량이 커지고 있다. 또, 베이스 부하용으로서의 상기 전원을 효과적으로 운전시킬 목적으로 양수 발전소가 건설되었다.

② 전원입지의 집중화

본래 전력 수요의 분포에 맞추어 전원의 과대한 집중을 피하고 적정한 분산 배치가 바람직하지만 지역사회의 환경보전이나 안전성에 대한 의식이 높아져 용지 확보가 곤란해지고 있다. 이 때문에 1개 발전소당의 발전기 설치 대수의 증가와 발전소의 편재화(집중화) 경향으로, 특히 발전소 근방의 단락전류가 증대하고 있다.

(2) 수송설비

① 기간계통의 2회선 2루트화

전원 입지의 집중화에 따라 기간 계통은 전력 수송의 굵은 파이프로서 중요한 역할을 담당하고 있으며, 공급신뢰도, 전원 운용의 효율화면에서 2회선 2루트화에 의한 연계가 추진되었다.

② 광역 연계의 강화

계통 연계의 강화는 전국의 전력계통을 교류

또는 직류 연계한 하나의 큰 계통으로서 운용되고 있다.

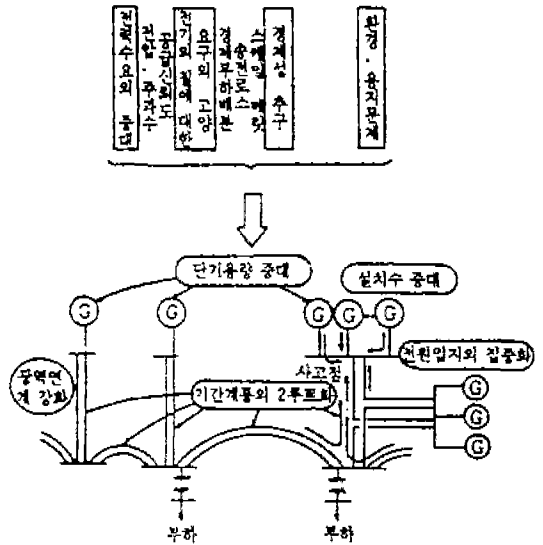


그림1. 단락전류 증대의 요인

3. 단락전류 증대에 수반되는 문제점

(1) 각종 전기기기 및 전기 설비의 열적, 기계적 강도

변압기, 변류기, 송전선로 등의 기기 및 설비가 큰 단락전류에 의한 Joule열로 인하여 열적으로 파손되기 쉬우며, 또한 대전류에 의한 큰 전자기력에 의해서 왜형 또는 파손될 수 있다.

(2) 차단기의 차단 능력

차단기가 대전류를 차단해야 하므로 차단 용량이 커져야 하고, 차단뿐만 아니라 채투입 능력 및 접촉자의 소손등의 문제가 야기된다.

(3) 지락전류의 증대

지락 사고시 지락전류가 증대되어 인근 약전류 전선에 전자유도 장애가 커지고 대지 표면의 전위 경도를 크게 해서 보폭 전압이 커지므로 인체에 위해를 주게 된다.

(4) 고장시 과도 이상전압

고장 전류를 차단하는 경우 큰 재기 전압으로

로 재점호를 일으키기 쉽게 되고, 이에 따른 개폐서지를 발생시킨다.

4. 단락전류 억제 대책

전력계통의 단락전류가 증대하면 상기한 바와 같이 여러 가지 문제가 생기므로 어떠한 적절한 억제 대책이 필요해지는데, 계통 안정도, 공급 신뢰도 등과 밀접한 관계가 있으므로 이것들을 종합적으로 감안한 대책으로 할 필요가 있다. 구체적으로는 아래와 같은 대책이 세워지고 있다.

(1) 고 임피던스 기기의 채택

발전기나 변압기의 임피던스를 높게 하여 단락전류를 억제하는 방법이다. 발전기의 임피던스를 증가시키면 단락비가 작아지고 갭이 좁은 동기계가 된다.

변압기에 대해서는 종래 초고압용으로 10[%], 12[%]의 것이 사용되고 있었으나 이것을 표준값 11[%], 14[%]로 통일하거나 대응량 화력, 원자력, 승압용 주 변압기의 임피던스로서 20%를 이용하는 방법이다.

(2) 변전소 모선 분할 등의 계통구성의 변경
 변전소의 모선 분할 등에 의해 계통을 나누어 운용하여 계통 임피던스를 증가시켜 단락 전류의 경감을 도모하는 것으로서 계통분할 운용과 계통분리 방식의 두 가지 방식이 있다.

(3) 한류리액터의 채택

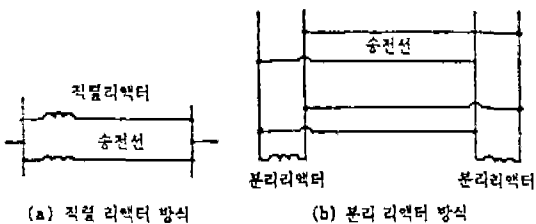


그림2. 한류 리액터에 의한 단락전류의 억제

한류 리액터에 의해 단락전류를 억제하는 방식으로서서는 그림1의 (a)와 같이 송전선에 직렬

로 리액터를 삽입하는 방식과 (b)와 같이 모선을 몇 개로 분할하여 분리 리액터를 삽입하는 방식이 있다.

(4) 상위 전압계급 도입에 의한 계통의 분할
 전술한 (1)~(3)의 대책이 잠정적 내지는 국부적인 효과를 기대하는 것인데 비해 상위 전압계급을 도입하여 종래 계통을 분할하는 방법은 발본적인 대책으로서 가장 효과가 기대되는 것이다.

단락전류 억제만을 위해 상위 전압계급을 도입한다면 건설비가 추가되어 이점이 적지만 그림3과 같이 안정도가 향상되어 송전선의 1루트당의 송전 전력을 비약적으로 증가시킬 수 있기 때문에 계통규모의 확대에 맞추어 단락전류 억제와 계통 안정도의 확보 두 가지를 겨냥한 대책으로서 채택되고 있다.

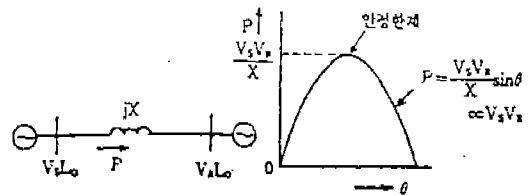


그림3. 송전전압과 계통 안정도

(5) 직류 송전기술의 도입에 의한 계통의 분할
 직류 송전은 유효전력은 공급하지만 무효전력은 전달하지 않는다.

단락전류의 대부분은 무효전력이므로 무효계통 일부에 직류계를 채택하여 계통용량을 증강하면 단락전류의 증가가 없다.

교직 연계계통으로서 교류계 사고시에 직류 전류를 제어함으로써 단락전류 억제 효과를 더욱 높일 수가 있다. 또한 기존의 교류 계통을 얼마만큼의 적정규모를 분할하여 직류 계통으로 연계하면 전체로서의 계통의 용량을 바꾸지 않고 단락전류를 억제할 수가 있다.

5. 결론

우리나라의 경우 765[kV]와 345[kV] 송

전선로를 주간선으로 하고 154(kV)를 연계 송전선로로 사용하고 있다.

이러한 계통에서는 연계선로 분리와 모선을 분리하여 사용하면 안정도와 신뢰도를 크게 손상시키지 않고도 고장전류를 크게 억제할 수 있으며, 특히 앞으로 확대적용이 예상되는 송전선로 자동절체시스템을 감안할 경우 가장 바람직한 방안이 될 것이다.

또한, 현재 건설중인 765(kV) 계통에서의 고임피던스 변압기 채택을 병행하는 방안도 함께 검토되어야 할 것이다.

【문제4】 송전선로의 보호 방식중 반송보호 계전방식에 대하여 설명하시오.

<해설>

반송 계전방식은 표시선 계전방식과 마찬가지로 내부고장을 100% 고속도, 선택차단하는 Pilot 계전장치 중의 하나이며 그 설비비가 송전선 공장에 무관하므로 단거리 송전선 이외의 중요 간선에 널리 쓰이고 있다. 반송 계전방식은 Pilot의 수단으로 반송파(Carrier Wave)를 사용한 것이며 이것을 전력선을 중첩시킨 전력선 반송(Power Line Carrier)과 별도의 통신선을 사용한 통신선 반송이 있으나 일반적으로 전자를 많이 쓴다.

반송 주파수는 30~300kC, 출력은 1~10Watt 정도의 고주파 전류를 송전선에 중첩시켜서 상호 통신수단으로 한다.

1) 종류

- 방향 비교(Directional Comparison)
- 위상비교(Phase Comparison)
- 전송차단(Transfer Tripping)

2) 방향비교방식

방향비교 방식은 그림1과 같이 보호구간의 각 단에 놓여진 방향 과전류 계전기나, 방향거리 계전기 등 방향성을 가진 계전기에 의해 얻어진 정보를 반송신호를 써서 서로 전달하여 고

장점이 보호구간 내부인가 아닌가를 판별하여 동작하는 방식으로 계전기의 동작상태를 상대단에 전송하는 방법에는

- 상시송출 Trip 저지 방식
- 고장시 송출 Trip 저지 방식(그림2 참조) 이 있다.

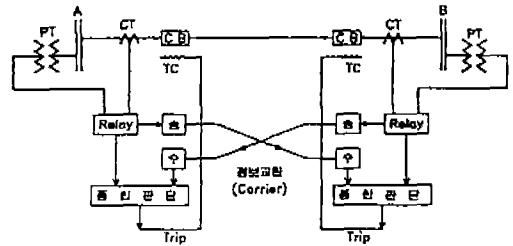


그림1. 방향비교 반송 계전 방식

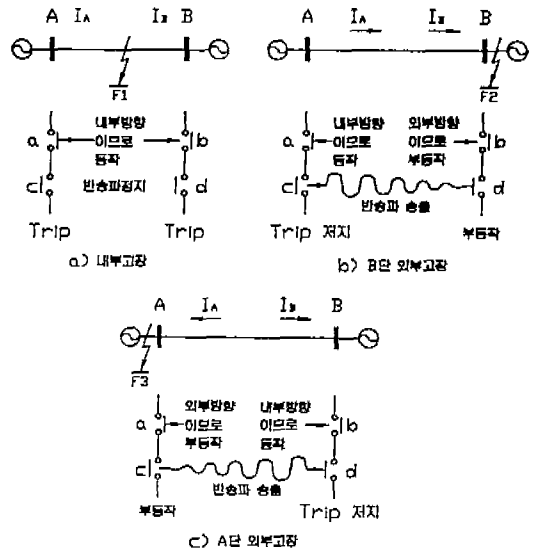


그림2. 고장시 송출 Trip 저지방식의 원리

3) 위상비교 방식

보호구간 양단의 고장전류 위상이 내부고장시에는 동상이고 외부고장시에는 역위상이 되는 것을 이용한 것.

4) 전송차단방식

이 방식은 지령 차단방식이라고도 하며 그

원리는 외부 고장시는 절대로 동작하지 않으며 보호 구간의 일부를 제외한 내부고장 때에만 동작하는 계전기를 피보호구간의 각 단자에 설치하여 이 계전기가 동작한 단자는 그 단자를 차단함과 동시에 타 단자에도 차단지령을 보내어 상대편도 동시 차단하는 방식이다.

【문제5】 경제급전(ELD; Economic Load Dispatching)에 관한 물음에 답하십시오. 단, 각 발전소의 발전비용 함수로서 그리고 송전손실으로 주어진다 가정한다.

a) 경제 급전 문제를 정식화하고 해법에 관해 논하십시오.
 b) Penalty Factor의 정의를 수식으로 보이고, 그 의미하는 바를 설명하십시오.
 c) 통상 발전기 출력은 상·하한이 주어진다. 만약 계산상 수치가 이 범위를 벗어나는 발전기가 존재할 경우 처리방법을 논하십시오.(설명을 간단히 하기 위하여 손실은 무시할 것)

〈해설〉

a) 경제급전문제 정식화

각 발전기 출력 및 발전비용을 P_{Gi} , $C_i(i=1\sim n)$, 이라 하고, 송전손실을 P_{loss} , 부하를 P_R 이라고 하면 우선 수급조건으로서,

$$P_{G1} + P_{G2} \dots + P_{Gn} - P_{loss} = P_R$$

.....(1)가 성립된다.

총연료비는

$$C = C_1 + C_2 + \dots + C_n \dots\dots\dots(2) \text{이며,}$$

발전소의 경제운용 문제는 식(1)의 수급조건하에서 식(2)의 총 연료비를 최소화 하는 각 발전기의 출력 $P_{G1}, P_{G2} \dots P_{Gn}$ 을 구한다는 것으로 된다. 이와 같은 문제의 해법으로서 여러 가지 방법이 고안되고 있지만, 일반적으로는 Lagrange의 미정 계수법이 많이 사용되고 있다. 이 방법에서는 식(1)의 수급조건에 관해서 라는 미정계수를 도입하여 식(2)의 목적 함수와 조합시켜서 다음과 같은 새로운 평가 함수 Φ 를

정의한다.

$$\Phi = C_1 + C_2 + \dots + C_n - \lambda(P_{G1} + P_{G2} \dots + P_{Gn} - P_{loss} - P_R) \dots\dots (3)$$

이와 같은 평가함수를 도입하면 식(3)의 총 연료비를 최소화 하는 조건은 이것을 각 발전기의 출력으로 편미분하면 된다.

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial \Phi}{\partial P_{G1}} = \frac{dC_1}{dP_{G1}} - \lambda \left(1 - \frac{\partial P_{loss}}{\partial P_{G1}}\right) &= 0 \\ \frac{\partial \Phi}{\partial P_{G2}} = \frac{dC_2}{dP_{G2}} - \lambda \left(1 - \frac{\partial P_{loss}}{\partial P_{G2}}\right) &= 0 \\ \vdots \\ \frac{\partial \Phi}{\partial P_{Gn}} = \frac{dC_n}{dP_{Gn}} - \lambda \left(1 - \frac{\partial P_{loss}}{\partial P_{Gn}}\right) &= 0 \end{aligned} \right\} \dots\dots (4)$$

따라서 $\frac{dC_i}{dP_{Gi}} \times \frac{1}{1 - \frac{\partial P_{loss}}{\partial P_{Gi}}} = \lambda \dots\dots (5)$

또는 $\frac{dC_i}{dP_{Gi}} + \lambda \frac{\partial P_{loss}}{\partial P_{Gi}} = \lambda \dots\dots (6)$

인 관계를 얻게 된다. 이와 같은 관계를 만족하는 출력 배분이 이때의 가장 경제적인 출력 배분이 된다.

위의 식을 화력계통의 협조 방정식이라 부른다.



다음호에 계속됩니다 !!