

그림 1. 2기 등가 발전기 계통의 등가회로

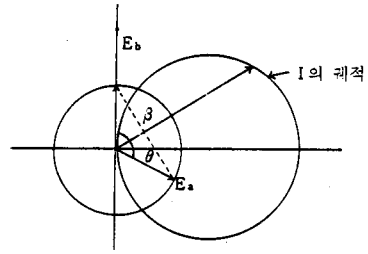


그림 3. 발전기 동요에 따른 전류벡터도

그림 1.에서 보호계전기가 보는 피상임피던스는 대수적으로 표현되며 식 (1) 과 같다.

$$Z = \frac{V}{I} \quad (1)$$

- 여기서 V : 계전기가 설치된 모선전압
- I : 계전기가 보호하는 선로전류
- Z : 계전기가 본 피상 임피던스

B 발전기를 기준으로 정하면 전압 E_a와 E_b의 관계는 식 (2) 와 같이 나타낼수 있다.

$$E_a = n e^{j\theta} E_b \quad (2)$$

여기서 n은 E_a/E_b의 크기이며 θ는 발전기A와 발전기B의 상차각으로 E_a의 위상이 E_b를 앞선다고 가정한다. 이때 계전기 설치점의 전압, 전류 및 피상임피던스는 각각 식 (3), (4), (5)와 같이 된다.

$$V = \frac{-E_b}{Z_a + Z_l + Z_b} (1 - n e^{j\theta}) \quad (3)$$

$$I = \frac{Z_a E_b}{Z_a + Z_l + Z_b} \left(1 + \frac{Z_l + Z_b}{Z_a} \cdot n e^{j\theta} \right) \quad (4)$$

$$Z = (Z_a + Z_l + Z_b) \cdot n \cdot \frac{(n - \cos \theta) - j \sin \theta}{(n - \cos \theta)^2 + \sin^2 \theta} - Z_a \quad (5)$$

이를 그림으로 나타내면 다음과 같다.

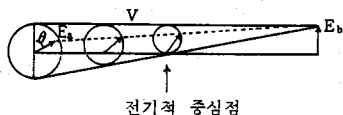


그림 2. 발전기 동요에 따른 각점의 전압벡터도

그림 4. 스윙 임피던스 궤적

그림 2 에서 동기탈조 현상시 발전기 상차각 θ=180° 되는 시점에서 계전기가 본 전압이 0이 되는 지점을 전기적 중심점이라 한다.

그림 3 에서 n=1인 경우 최대전류는 임피던스 중심점 (Z_a = Z₁ + Z_b)에서 식 (6)과 같이 3상 단락 전류와 같게 되어 전력동요시 상차각이 180°일때 마치 이 지점에서 3상 단락이 발생한 것과 같은 전류가 흐른다.

$$I_{max} = \left| \frac{E_b}{Z_a} \right| = I_{3\phi} \quad (6)$$

그림 4 에서 n = 1 인 경우 궤적은 A전원과 B전원 사이의 등가임피던스의 수직 2등분선상을 통과하는 직선 을 나타내며 n ≠ 1 인 경우는 원을 그리고 있다. 그림 4 에서 알수 있듯이 궤적은 임피던스 중심점에서 R-X 선도의 원점을 통과하며 임피던스 중심점에서 멀어질수록 궤적은 원점에서 멀어진다. 이 궤적을 스윙임피던스 궤적이라 한다. 실제 다기계통에서 동기탈조 현상은 대단히 복잡한 양상을 나타내며 또한 해석적 접근이 어려워 일반적으로 안정도 해석 프로그램을 이용한 시간

모의 방법이 사용된다. 이 시간 모의 방법에 의해 스윙 임피던스 분석을 하여 전기적 중심점 파악 및 동기 탈조 보호계전기 동작을 해석 한다.

일반적으로 전력계통에는 이런 동기탈조 현상을 검출 하여 파급효과를 최대한 억제하고 기기를 보호하기 위한 동기탈조 보호계전기(out-of-step relay)가 설치되어 있다. 탈조보호 계전기에는 탈조현상이 발생하면 전체 계통의 안정운전을 유지할 수 있도록 탈조된 발전기를 계통으로 부터 안전하게 분리하기 위한 out-of-step tripping relay 가 있으며, 계통에 사고가 발생하여 swing 발생시 사고 계통분리 지점이 아닌 곳의 거리계전기가 동작을 하지 못하도록 하는 out-of-step blocking relay 가 있다. 이들 계전기 방식은 ohm 계전기와 blinder 계전기를 이용하여 3영역을 만들어 통과경로와 통과시간 조건에 따라 동작하도록 되어있다.

동기탈조 보호계전기에 의해 계통을 분리할 경우는 다음의 3가지 기본적인 사항을 만족하도록 계통 구성과 보호계전 시스템 상호 관계를 검토해야 한다.

- 1) 분리후의 계통이 안정운전을 유지할 수 있을 것
 - 2) 불필요한 계통을 분리하지 않을 것
 - 3) 어떠한 탈조현상에 대해서도 응동할 수 있을 것
3. 동기 탈조 현상분석을 위한 과도안정도 해석

동기 탈조 현상은 전력계통의 과도 안정도와 밀접한 관계가 있으며 계통이 불안정 하게 될때 나타나는 중요한 현상이다. 동기탈조 보호계전기 적용검토를 위한 계통의 안정도 분석은 우선 사고에 대해 안정 여부를 검토한 후 안정한 경우에는 swing impedance locus가 동기탈조 보호계전기 동작 범위에 들어가는 가를 검토하고, 불안정한 경우에 대해서는 동기탈조 현상을 검토한다.

과도안정도 해석은 계통해석 프로그램을 이용하여

발전기 상차각 동요를 분석하고 안정도를 판별하여 안정, 일부 발전기 탈조(plant mode), 발전기 군 사이의 동기탈조(area mode)의 3가지로 분류 해석 한다.

과도안정도 모드는 크게 plant mode와 area mode로 구분하여 해석하는데 이렇게 구분하는데 적용되는 기준은 다음과 같다.

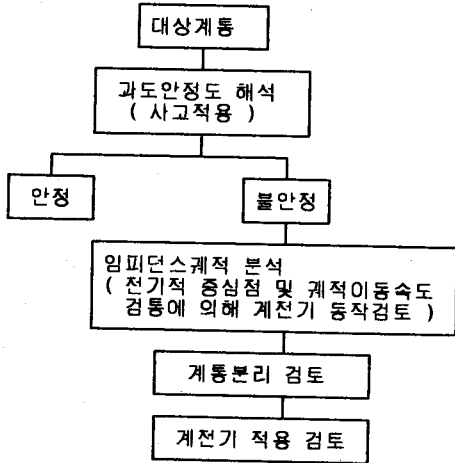
Plant mode는 한 발전소가 나머지 전체 계통에 대해 불안정하게 될 경우를 의미하며, 이는 이 발전소로 부터 계통에 공급되는 발전 level 및 송전 능력과 밀접한 관계가 있다. 따라서 이런 불안정 모드가 예측될 경우에는 송전선로를 보강하여 송전능력을 증가시키거나 송전선로 보강이 단기적으로 어려울 때에는 발전 level을 안정한계 이하로 낮추어 운전 하는 등 안정화 대책을 강구 하여야 한다. 즉 선로 보강은 최대 송전전력을 크게하여 안정도 마진을 증가 시키는 것과 같고 발전 level을 낮추는 것은 최대 swing 각을 증가시켜 안정도 마진을 증가시키는 것과 같은 효과를 가져온다.

Area mode는 두 발전소 이상의 발전기들이 나머지 계통에 대해 불안정하게 될때의 경우를 의미하며 interface 전력 조류흐름과 밀접한 관계가 있다. Interface 전력흐름이란 다수의 발전기가 설치된 전원지역으로 부터 부하지역으로 흐르는 전력조류 중 흐름이 사고에 의해 제한을 받거나 차단될때 계통에 심각한 안정도 문제를 야기시키는 송전선로의 전력조류를 의미한다. 지역별 발전기 군간의 swing은 area mode의 대표적인 예이다.



4. 사례연구

분석대상은 50여기, 400모선 정도의 실계통을 선정하였으며 계통 분석 흐름도는 다음과 같다.



과도안정도 해석은 계통해석 프로그램인 PSS/E package를 이용하여 3상단락 사고를 345kV 모선 부근에 적용 분석하였으며 사고제거를 위한 차단기 동작은 다음과 같다.

- 6초 후 차단 (2회선)
- 6초 후 차단-26초 후 재투입-6초 후 차단(2회선)
- 6초 후 주보호 동작-30초 후 후비보호 동작

계통모델은 발전기는 subtransient 모델을 사용하였으며 부하 모델은 다음과 같이 하였다.

정전력, 정전류, 정임피던스

- 유효전력은 30% 60% 10%
- 무효전력은 0 0 100%

부하수준은 3 경우의 peak 및 off-peak 부하에 대해 300case의 안정도 해석을 하여 검토된 동기탈조 현상 결과는 다음과 같다.

동기 탈조는 후비보호 동작시에 일부사고에 대해 발생하며 탈조 현상을 요약하면 다음과 같다.

- 1) 같은 지점에 부하수준에 따라 사고를

적용하였을 때 탈조 현상은 plant mode와 area mode로 나타날 수 있다.

- 2) plant mode 시 스윙의 속도는 계통구성 및 부하 수준과 발전기 특성에 따라 다르다.

- 3) area mode 시 동기탈조 계전기가 여러 곳에서 동작할 가능성이 있다.

4. 탈조현상 분석 및 계전기 적용 방안

실계통 시뮬레이션에 의해 나타나는 탈조현상에 대해 분석을 하여 동기탈조 보호계전기 적용을 위한 검토를 하였다.

- 1) 발전기와 계통간의 탈조 현상은 부하수준이 탈조 발전기의 발전용량에 비해 상대적으로 낮아 질수록 전기적 중심점은 계통 축으로 이동하여 area mode로 탈조가 확산된다. 따라서 동기탈조 보호계전기 적용은 같은 계통구성 일지라도 운전 가능한 모든 부하수준에 대해 검토할 필요가 있다.

- 2) 발전기가 계통에 radial로 연결되어 plant mode로 탈조하는 경우 계통 부하에 비해 탈조 발전기의 발전 용량이 작을 수록 전기적 중심점이 발전기 쪽으로 이동하며 loop로 연결되어 탈조하는 경우 보다 swing의 속도가 빠르게 진행된다. 따라서 전기적 중심점이 radial로 연결된 선로에 있으면 blinder 방식의 계전기 형태(CEX17E)가, loop로 연결된 계통내에 있으면 3 영역을 이루는 lens 또는 사각형 형태(SLLP51A, TXA2D)의 계전기 형태가, radial로 연결된 발전기 뒷단에 있으면 뒷방향을 검출할수 있는 ohm방식과 blinder 방식의 혼합형이 보다 적절히 탈조현상을 검출할수 있다고 판단된다.

- 3) 장래 발전기 단위 용량이 커지고 일부 지역에 편재화 되면 사고의 영향이 커지고 따라서 계통에 탈조 발생 가능성이 커지며 탈조시 area mode로 발생할 가능성이 커진다. Area mode로 탈조가 발생할 경우에 계통을 분리할 경우는 여러 선로에서 계전기가 동시에 동작해야 하며, 계통분리에 의해 수급불균형이 심하게 될 경우는 계통 분리가 불가능

하므로 이에 대한 계통안정화 장치가 필요하다.

4) 탈조 발생에 의해 계통을 분리할 경우 주파수 저하 현상이 나타나기 때문에 부하차단 등의 계통 안정화 대책이 수반되어야 한다.

5. 결론

실계통 시뮬레이션에 의한 탈조현상에 대해 개념적으로 검토한 결과 동기탈조 계전기 적용을 위해서는 운전 가능한 여러 부하 수준에 따른 가능한 모든 상정사고에 대해 안정도 해석을 통해 검토되어야 하며 계통 구성 및 부하수준에 따라 탈조현상이 다르게 나타나기 때문에 보호 계전기 type과 정정치는 장래의 계통확장 및 부하수준의 증가에 따라 계속 검토되어야 한다.

또한 장래 계통의 확장에 따라 area mode로 탈조 발생가능성 커지게 되므로 이에대한 계통 안정화 장치에 대한 연구가 요구된다.

참고문헌

1. 한국전력공사, " 전력계통에 동기탈조 보호계전 장치 적용에 관한 연구 ", 연구 보고서 1989.6.