

— 현장 계전기 기술 2 —

역/박 한 중(협회 교육홍보위원)

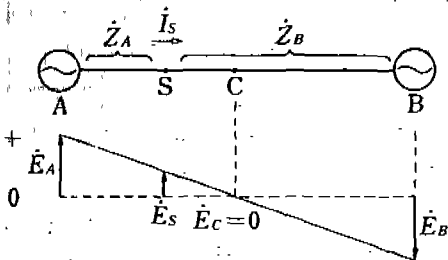
6. 탈조(동기 이탈)시의 현상

여러가지 이상운전중 탈조(脫調: 동기 이탈)는 3상 단락 유사현상을 발생, 계통에의 영향이 크다. 탈조란 동기기 간의 전압 위상의 동기가 깨져 각각의 회전수가 다른 운전이 되어 버리는 것이다.

탈조하면 각 전원의 전압 위상이 동위상 및 역위상을 반복한다. 그림 6·1은 전원 전압 \dot{E}_A 와 \dot{E}_B 가 역위상일 때의 A-B간 각 점의 전압을 2기계통으로 나타낸 것으로, 전기적 중심점 C에서는 전압 \dot{E}_C 의 값이 0으로 되어 있다.

그림 6·2는 탈조 중의 전압 궤적이다. 탈조는 1전원의 전압 \dot{E}_A 의 벡터가 고정하고, 다른 전원전압 \dot{E}_B 의 벡터가 회전하는 현상으로 생각되며, 그림의 1점 궤선(---)의 원이 \dot{E}_B 의 머리 궤적이 된다. 전압 \dot{E}_B 가 그림과 같은 상태에 있다고 하면 θ 가 전압 \dot{E}_B 와 \dot{E}_A 의 위상차, 선분(線分) AB가 AB간의 전압의 차를 나타내는 벡터가 된다.

전원 A 및 B로부터의 임피던스가 Z_A, Z_B 의 중간점 S의 전압 \dot{E}_S 는 선분 AB를 $Z_A : Z_B$ 로 분할하는 점 S

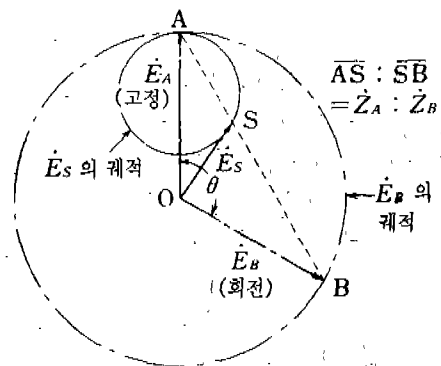


(그림 6·1) 탈조중 역위상이 됐을 때의 전압

가 되고 그림의 실선 원과 같은 형으로 \dot{E}_S 의 궤적이 그려진다. 전류는 $(\dot{E}_A - \dot{E}_B) / (\dot{Z}_A + \dot{Z}_B)$ 이며 전류 벡터는 선분 AB에 비례한다.

이상과 같이 탈조시의 전압 전류는 탈조 전원간의 상차각 θ 의 변화에 따라 변화하며, 상차각이 180° 일 때 전류가 최대, 전압이 최소가 된다. 이 시점에서의 전압 및 전류의 크기는 전기적 중심에서의 3상 사고와 같다. 이 때문에 i지점의 전압 및 전류를 입력으로 하는 계전기는 탈조를 사고로 오인하게 된다. 그러나 탈조시에는 전압 전류가 서서히 변화하고 사고시에는 급변하므로 이 현상을 이용하여 양자를 식별할 수가 있다.

이상은 전력계통의 발전기가 2군으로 나뉘어 탈조하는 이른바 2기 탈조의 경우이다. 이 탈조를 방지하면 발전기군이 3군 이상으로 나뉘는 다기(多機) 탈조가 된다. 3기 탈조시의 전압 전류 벡터는 다른 원상을 회전하는 원주상의 1점의 궤적을 따라간다.



(그림 6·2) 탈조중의 전압 궤적

7. 차동계전기에 의한 사고구간 검출

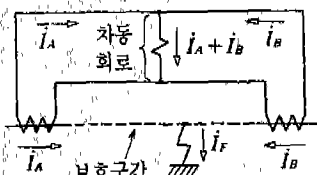
단락 및 지락사고는 다른 이상운전에 비해서 발생 건수나 영향이 상당히 크다. 이 때문에 사고 구간을 선택 차단하기 위한 각종 방법이 개발되어 보호되는 설비의 종류, 중요성 및 경제성 등에 따라 구분 사용되고 있다. 이들 방법중 기본적인 것에 대해서 우선 알아보기로 한다.

차동계전기는 보호 구간에 유입하는 전류와 유출하는 전류의 차(양단에서 유입하는 전류의 합)가 어느 값 이상이 됐을 때 동작하여 내부사고로 판단하는 것이다. 즉, 그림 7.1과 같이 보호 구간 양단에 변류기를 놓고 그림과 같이 접속하면 양단에 유입하는 전류의 합 $I_A + I_B$ 가 차동회로에 흐른다. 이 차동 전류 $I_A + I_B$ 는 보호구간내의 사고, 즉 내부사고시는 사고점 전류 I_F 와 같아지고 다른 경우는 0이 되므로 차동전류가 흐른 것으로 내부사고인 것을 검출할 수 있다.

차동계전기는 사고 구간을 검출하는 방법중 가장 감도가 좋은 것이고, 또 1개의 계전기 동작만으로 내부사고로 판단할 수 있기 때문에 고속도 동작을 얻기 쉽다. 회전기, 변압기 및 모선은 보호구간 전체 단자가 지근거리에서 차동회로를 용이하게 구성할 수 있다. 이 때문에 이들 설비 주보호에는 경제적으로 허용할 수 있는 한 차동계전기가 사용된다.

차동 보호의 원리는 송전선 보호에도 이용된다. 표시선계전기는 십 수 km 이하 정도의 길이의 전용 표시선(파일렛선)을 사용하여 차동전류를 얻고 단거리 송전선의 차동 보호를 하도록 한 것이다. 또한 송전선 단자전류를 주파수 변조(FM)나 펄스 코드 변조(PCM)해서 원반 전기소에 전송하여 차동 보호를 하는 것도 장거리 송전선 보호로 할 수 있게 되었다.

차동 보호에는 보호 대상마다 여러가지 문제가 있으며 각종 대책이 세워지고 있는데, 이것에 대해서는



(그림 7.1) 차동 보호

각 보호대상마다 후술하기로 한다.

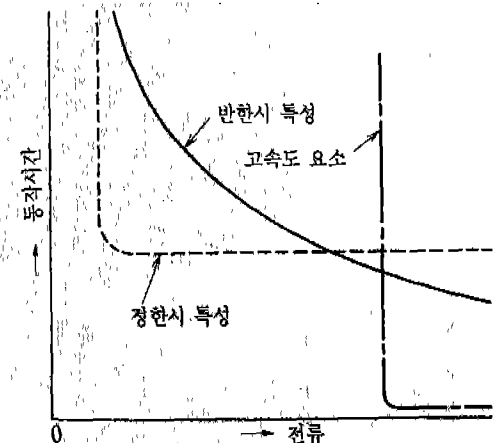
8. 과전류계전기를 사용한 사고구간의 검출

과전류계전기는 입력전류가 일정치 이상일 때 동작하는 계전기로서, 사고에 따라 상전류가 부하전류의 최대치 이상으로 커지거나 영상전류가 흐르거나 하면 동작하도록 하여 사용한다. 한시(限時)라는 용어가 계전기의 동작을 일부러 늦게 하는 경우에 사용되는데, 과전류 계전기의 한시(동작시간)의 차에 의해 사고구간이 검출된다. 그림 8.1은 과전류계전기의 동작시간 특성의 예로서, 한시동작의 것은 그림의 반한시 특성과 정한시 특성의 것으로 대별된다. 반한시 특성은 전류가 커짐에 따라 동작시간이 짧아지는 것이고, 정한시 특성은 전류치가 변화하여도 동작시간이 변화하지 않는다. 전류치가 특히 클 때 고속도 동작을 하는 고속도 요소(순시 요소)도 적당히 병용된다.

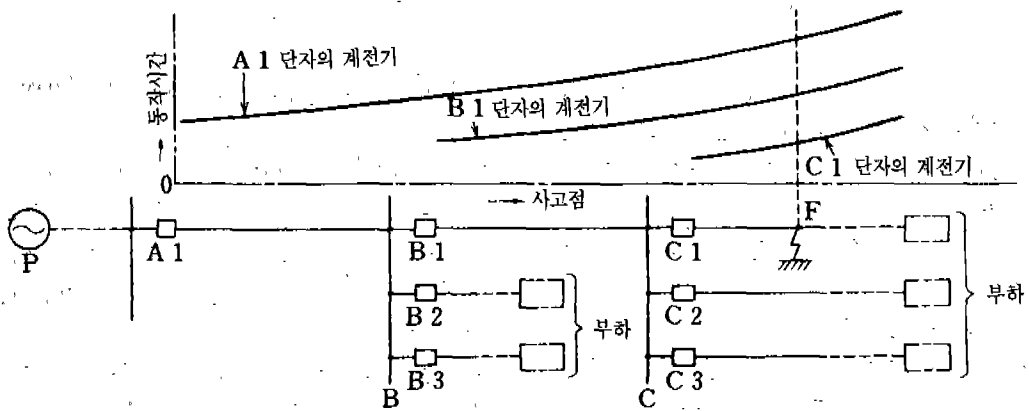
위에 기술한 한시차를 사용해서 사고구간을 선택할 수 있는 것은 다음과 같은 조건의 한가지가 만족되는 계통이다.

- (1) 보호 구간을 흐르는 사고전류의 방향이 1방향만이다.
- (2) 사고점에 가까운 단자일수록 사고전류가 크다.

그림 8.2는 사고전류가 1방향으로만 흐르는 계통의 예로서, 수배전계통에 많다. 전원 P에 연결되는



(그림 8.1) 과전류계전기의 동작시간 특성



〈그림 8-2〉 과전류계전기에 의한 사고 구간의 검출 예

모선 A로부터 방사상으로 전원이 없는 단자로 계통에 연장되고 있으며 말단이 상호 접속되는 일은 없다. 사고전류는 전원 P부터 우측방향으로만 흐른다.

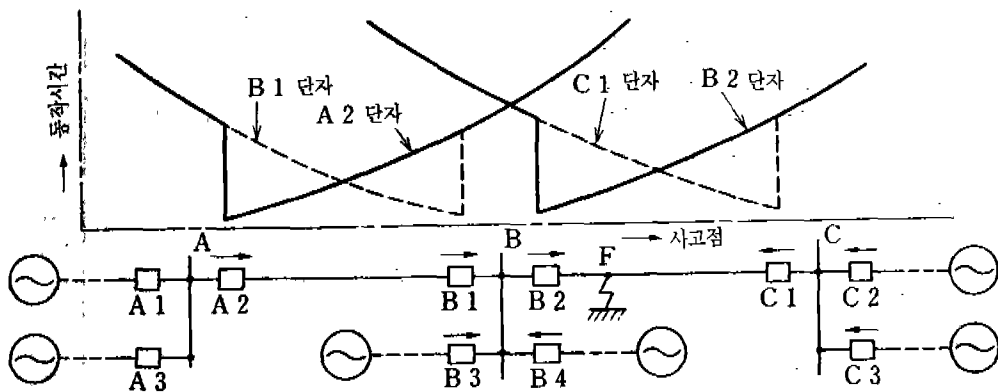
각 단자 A1, B1, C1에 설치하는 과전류계전기 계통 각부의 사고에 대한 동작시간을 그림과 같이 전원에 가까워질 수록 늦어지도록 한다. 그림에서 F점 사고를 생각하면 각 계전기의 동작시간은 F부터 수직인 점선과의 교점으로 표시되며 C1 단자의 계전기가 가장 빨리 동작한다.

이 동작시간으로 C1 단자가 차단되어 사고가 제거되므로 다른 단자에서는 계전기가 복귀하여 차단이 되지 않는다. 이와 같이 사고점에 가장 가까운 계전기가 가장 빨리 동작하도록 하여 사고 구간을 검출한다. F점 사고로 C1 단자가 차단되지 않을 때는

B1 단자의 계전기가 후비 보호를 한다.

그림에서 각 계전기의 동작시간이 원방사고일 수록 늦어지고 있는 것은 반한시 특성의 계전기를 사용했기 때문이며, 원방사고일 수록 사고전류가 작으므로 그림과 같은 동작시간이 된다. 그림 8-2와 같은 계통인 경우 계전기는 정한시 특성 및 반한시 특성 어느 것이라도 된다.

그림 8-3은 사고점에 가까운 단자일 수록 사고전류가 큰 계통의 예이다. 각 모선 A, B, C는 각 개소의 전원에 접속되어 있어 각 전원으로부터의 전류가 모여서 사고점을 향한다. 이와 같은 계통에는 각 단자에 거의 같은 반한시 특성의 계전기를 설치하면 각 사고점에 대한 각 계전기의 동작시간이 그림과 같이 되어 사고 구간의 검출이 가능해진다. 즉, F점



〈그림 8-3〉 과전류승전기에 의한 사고구간 검출의 기타 예

사고에서는 사고전류가 집중하는 B2 및 C1 단자의 전류가 원방단자의 전류보다 크며 양 단자의 계전기가 가장 빨리 동작하여 양 단자만이 차단된다. 이 방법은 사고점에 가까운 단자일 수록 전류치가 크다는 현상이 반드시 생겨야 하고, 또 정한시 특성은 사용되지 못한다.

장거리 선로 등으로 보호 구간의 임피던스가 큰 경우에는 내부 사고로서 특히 사고점까지의 임피던스가 작을 때 외부 사고에서는 흐르는 일이 없는 것 같은 대전류가 흐른다. 이와 같은 경우는 동작치를 특히 크게 한 고속도 요소(순시 요소)를 사용하여 격렬한 사고를 고속도로 보호하게 할 수 있다.

9. 방향계전기에 의한 사고 구간의 검출

보호 구간 양측에 전원이 있는 경우에는 보호 구간을 흐르는 사고전류의 방향은 일정하지 않다. 이와 같은 경우 사고전류가 흐르는 방향을 식별하여 사고 구간을 검출할 필요가 생긴다. 방향계전기는 입력전압을 기준으로 하는 입력전류의 위상관계에 의해 사고전류가 흐르는 방향을 검출한다.

단락보호용의 단락방향계전기는 상간전압을 기준으로 하여 상전류의 위상을 판정하는 것이 많이 사용되며, 통상적인 부하상태에서도 동작한다. 이 때문에 부하상태에서는 부동작의 과전류계전기와 조합해서 사용, 양자가 함께 동작했을 때 보호하도록 하는 경우가 많다.

이 조합은 방향과전류계전기라는 이름으로 불린다. 반한시 특성을 필요로 할 때는 과전류계전기의 반한시 특성을 그대로 사용한다. 지락 보호용의 지락

·방향계전기는 영상전압을 기준으로 해서 영상전류의 위상을 판정하는 것이 많고, 과전류계전기와 조합해서 사용하는 일은 없다.

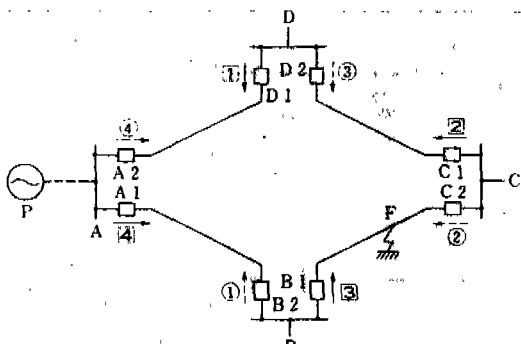
그림 9-1은 루프 수전계통의 경우로서, 전원은 전기소 A의 배후에만 있고 기타에는 없다. 각 단자에 실선 또는 점선 화살표 방향으로 사고전류가 흘렀을 때 동작하는 계전기가 설치되고 각각 ①→②→③→④, ①→②→③→④ 순으로 동작시간이 늦어지도록 한다. 이 동작시간은 동일 방향에서는 전원에 가까워질 수록 늦어지고 있으며 정한시 또는 반한시 특성을 이용하여 사고 구간을 선택할 수가 있다. 그림의 F점 사고에서는 단자 A2, D2, C2, A1, B1의 각 계전기가 동작하려고 하는데, 단자 C2 및 B1의 계전기 동작시간이 점선 및 실선 화살표 방향의 계전기군 중에서 가장 빠르다. 이 때문에 이들 2단자만이 차단되고 다른 단자는 차단되지 않는다.

그림 9-2는 부하변전소 B가 평행 2회선 수전을 하고 있는 경우로서, 전원은 전기소 A의 배후에만 있다.

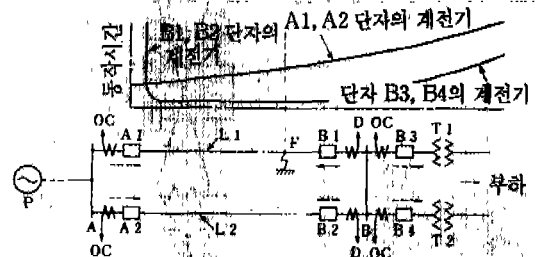
단자 A1, A2, B3, B4에는 과전류계전기 OC가 앞에서 기술한 것과 동일한 방법으로 사용되고, 단자 B1, B2에는 실선 화살표 방향으로 사고전류가 흘렀을 때 동작하는 방향계전기 D가 사용된다.

동작시간은 그림의 예와 같이 부하측 단자 B1~B4보다 전원측에 있는 단자 A1, A2를 늦게 한다. 단자 B1, B2에는 실선 화살표 방향의 사고전류는 송전선 L1 또는 L2의 내부사고시에만 흐른다. 이 때문에 방향계전기 D가 동작했을 때 즉시 차단하도록 하여도 외부사고로 오동작하는 일은 없다.

그림의 F점 사고에서는 B1 단자가 방향계전기 D의 동작으로 즉시 차단되고, A1 단자가 과전류계전기 OC의 한시동작에 의해 늦게 차단된다. 사고가 모



〈그림 9-1〉 루프 수전계에서의 방향 보호



〈그림 9-2〉 평행 2회선 수전에서의 방향 보호

선 B일 때는 A1 및 A2 단자가, 변압기 T1일 때는 B3단자가 차단되고 사고 구간 차단에 최소한의 단자가 차단된다.

그림 9·1 및 9·2의 계통에서 기타에 전원이 있으면 전술한 바와 같은 방법의 사고 구간 검출은 곤란해진다. 그림 9·1에서 다른 모선, 예를 들면 모선 C에도 전원이 있다고 친다. 모선 C의 전원을 대상으로 하여 각 단자의 계전기 동작의 동작시간을 정하면 C1 및 C2 단자를 가장 늦게, B1 및 D2 단자를 가장 빠르게 하게 된다. 이것은 그림의 동작시간 순서와 전혀 모순된다.

그림 9·2에서 모선 B에도 전원이 있다고 하면 이 전원으로부터의 사고전류로 사고 구간을 선택 차단하려면 단자 A1 및 A2를 점선 화살표 방향의 전류에 대해서 즉시 차단으로 하고 B1, B2 단자를 실선 화살표 방향의 전류에 대해서 한시 차단으로 할 필요가 있다. 이 상태는 그림의 모선 A에 전원이 있는 경우의 시간 순서와 반대이다. 이와 같이 계통이 약간 복잡해지면 여러가지 조건을 만족시키는 시간 순서가 얻어지지 않게 되므로 앞에서 기술한 것과 같은 사고점에 가까운 단자의 전류가 먼 단자보다 반드시 커지는 계통을 제외하고 적용이 곤란해진다.

10. 불평형현상을 이용한 사고 구간의 선택 (회선 선택보호와 분상보호)

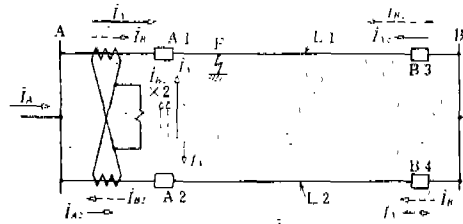
전력계통에는 평행 송전선 등 동일한 구성의 것이 평행해서 설비되어 있는 경우가 많다. 이 평행부분의 전류는 평행부분 어딘가에 사고가 없는 한 거의 같

고 사고가 있으면 불평형이 된다. 이 현상을 이용하여 사고 구간을 검출한다.

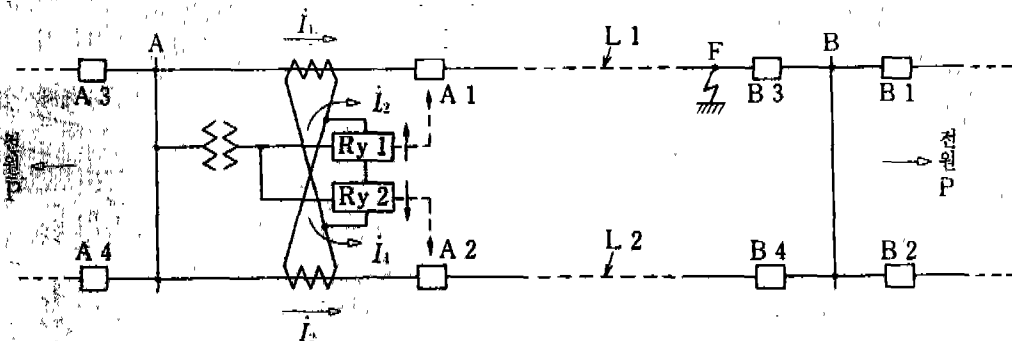
이 원리를 평행 송전선에 적용한 것을 회선선택 계전방식이라고 한다. 그림 10·1은 이 예로서 변류기의 2차회로를 그림과 같이 교차 접속하여 송전선 L1 및 L2의 전류 I_1 와 I_2 의 차를 구하고 이차전류가 흐르는 방향에서 사고회선을 검출한다. 교차회로의 전류방향을 검출하는 계전기 RY1 및 RY2를 설치하고 각각의 화살표 방향 전류시 차단기 A1 또는 A2를 차단한다. 차단기로서는 방향계전기 또는 후술하는 방향거리계전기 어느 것과 과전류계전기가 조합된 것이 사용되며, 양자가 함께 동작했을 때 차단을 지령하도록 한다.

평행 2회선 운전시에 송전선 L1 또는 L2에 내부 사고가 없으면 양 회선의 전류가 같다. 이 때문에 교차회로에는 전류가 흐르지 않아 계전기는 동작하지 않는다. 외부 사고시에는 양 회선의 전류가 커지며 변류기의 오차로 약간의 전류가 흐르지만 과전류계전기는 부동작으로 차단이 지령되지 않는다.

내부사고시의 전류의 예를 그림 10·2에 나타낸다. 모선 A 및 B의 배후에서 유입하는 전류 I_A , I_B 는 직



(그림 10·2) 교차회로의 전류



(그림 10·1) 평행 2회선 송전선의 회선선택 보호

접 사고회선에 유입하는 전류 \dot{I}_{A1} , \dot{I}_{B1} 과 이웃회선을 경유해서 사고회선에 유입하는 전류 \dot{I}_{A2} , \dot{I}_{B2} 로 나뉘어진다. 이 분류의 비는 각 모선으로부터 사고점까지의 직접 및 인접회선 경유의 거리에 반비례한다. A단 교차회로에는 $\dot{I}_{A1} + 2\dot{I}_{B2} - \dot{I}_{A2}$ 의 전류가 송전선 L1에 유입하는 방향으로 흘러 이 전류에 의해 A1 단자를 차단시키는 계전기가 동작한다.

사고점이 모선 B에 가까울 때는 $\dot{I}_{A1} = \dot{I}_{A2}$, 또한 $\dot{I}_{B0} = 0$ 이 되고 A단 교차회로 전류는 0이 된다. 이 경우 B단에서 우선 B3 단자가 열려 A단 교차회로에 전류가 흐르게 되고 A단의 차단이 행하여진다. 이 방식은 1회선 운전시에는 외부사고로 운전회선을 차단하도록 동작한다. 이 때문에 차단기가 양 회선 모두 폐로하고 있는 것을 조건으로 차단을 지령하게 한다.

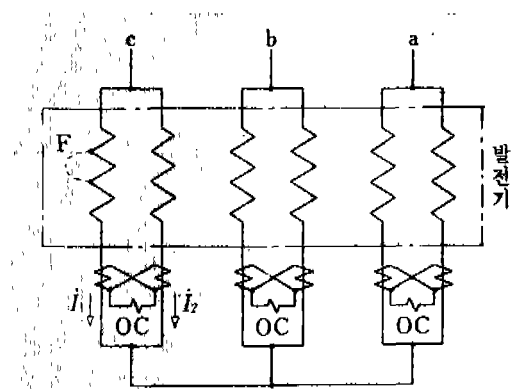
위의 방법은 전력평형형이라고 불리는 것인데, 회선선택 계전방식에는 전류평형형이라고 불리는 것도 있다. 이것은 양 회선 전류의 크기를 비교하는 계전기(전류 평형계전기)를 사용하여 큰 쪽의 회선을 차단하는 것이다. 이 방법은 그림 10·2에서 $\dot{I}_A = 0$ 일 때에는 \dot{I}_{B2} 만 흘러 양 회선의 전류치가 동등해져 부동작이 되기 때문에 최근에는 거의 사용되지 않는다. 이와 같은 경우도 전력평형형은 보호 가능하다.

발전기의 전기자 권선 층간단락 보호에도 분상 보호라고 불리는 동일한 방식의 검출방법이 이따금 사용된다. 그림 10·3은 그 예로서, 그림과 같이 분할된 동일 상의 각 권선의 변류기 2차회로를 교차 접속하고 교차회로에 과전류계전기를 설치한다.

정상시는 그림의 전류 \dot{I}_1 및 \dot{I}_2 와 같지만 그림과 같은 층간 단락 또는 기타의 사고가 생기면 \dot{I}_1 와 \dot{I}_2 에 차가 생겨 과전류계전기가 동작한다. 각 상 교차회로의 합 전류로 1개의 계전기를 동작시키기도 한다.

11. 거리계전기에 의한 사고구간 검출

거리계전기는 전력계통의 전압과 전류를 입력으로 하여(입력전압/입력전류)의 비가 소정 동작범위내일 때 동작한다. 이 비는 계전기가 보는 임피던스라고 불리며, 송전선의 경우는 크기가 사고점까지의 거리에 비례하기 때문에 거리계전기의 명칭이 부여되어



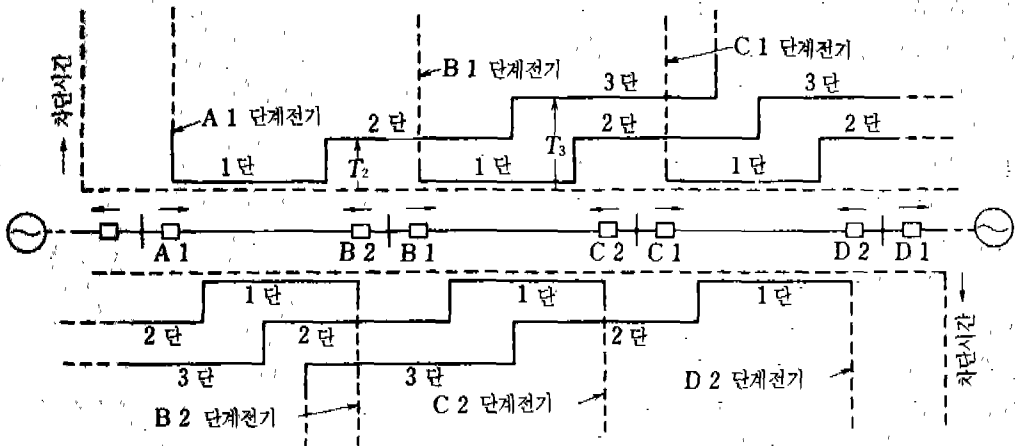
〈그림 10·3〉 발전기 전기자 권선의 층간단락 보호

있다. 또한 계전기에서 본 사고점의 방향이 반대일 때는 비의 각도(입력전압이 입력전류보다 앞선 각도)가 180° 상이하기 때문에 사고점의 방향도 식별할 수 있다.

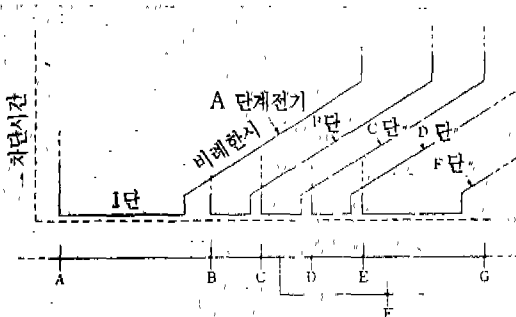
단락보호용의 단락거리계전기는 (사고상간 전압/동일한 2상의 전류차)의 비에 의해 검출하고, 지락거리계전기는 (사고상 대지전압/동일한 상의 전류와 영상전류의 합)의 비에 의해 검출한다. 또, 지락거리계전기는 직접 접지계에만 적용할 수 있으며, 1상 지락사고시의 사고전류가 적은 고저항 접지계나 비접지계 등에 적용하는 것은 곤란하다. 이 때문에 후자의 접지방식 계통에서는 단락거리계전기만을 사용하고 지락보호에는 방향계전기 등 다른 계전기를 사용한다.

일반적으로 사용되는 3단계 거리계전기를 사용한 사고구간 검출원리를 그림 11·1에 나타낸다. 각 단자의 계전기는 그림의 화살표 방향을 보호범위로 하고 1단은 상대단자까지의 거리의 80~90%까지의 사고로 동작하도록 하여 동작하면 즉시 차단기를 트립한다. 2단은 상대단자까지의 사고에서 반드시 동작하도록 상대단자까지의 거리의 120~150%를 동작범위로 하여 시간 T_2 후에 차단시킨다. 3단은 후비 보호용으로, 송전선 구간도 그리고 경우에 따라서는 배후방향도 보호 가능하게 하여 시간 T_3 후에 차단시킨다.

사고가 자체 단자의 보호구간내일 때는 1단이나 2단이 동작한다. 1단이 동작했을 때는 내부사고이므로 즉시 차단한다. 2단이 동작했을 때는 내부사고인



(그림 11-1) 3단계 거리계전기에 의한 사고구간의 검출



(그림 11-2) 비례한시 거리계전기에 의한 사고구간의 검출

가 외부사고인가 모르기 때문에 시간 T_2 후에 차단을 한다. 만일 외부사고면 다음 구간의 1단이 동작, 차단되어 사고가 회복되므로 2단에 의한 차단은 안된다. 외부사고가 차단되지 않을 때는 2단 또는 3단이 후비보호를 한다.

거리계전기로서는 비례한시 거리계전기도 사용된다. 비례한시 거리계전기는 계전기가 보는 임피던스가 커짐에 따라 동작시간이 늦어지는 계전기로서, 그림 11-2는 이것을 사용하여 사고 구간을 검출하는 예이다.

그림에서는 1단을 사용하고 비례한시 거리계전기는 1단의 동작범위외의 사고 범위와 후비 보호를 담당하고 있다. 다음 구간의 1단 또는 비례한시에서 사고가 차단될 때는 비례한시 부분은 동작하지 않는다.

비례한시 거리계전기는 그다지 많이 사용되지 않지만 그림과 같이 장거리 송전선에 단거리 송전선이 인접하거나 3단자 이상의 다단자 송전선으로 분기점으로부터의 거리에 많은 상위가 있을 때는 단계 거리계전기보다 적용하기 쉬운 경우가 있다.

거리계전기에 의한 사고 구간의 검출은 주로 송전선 보호에 사용된다. 또, 모선 보호에 차동계전기가 사용되지 못하는 경우는 상대 단자의 모선 주보호도 담당한다. 과전류계전기나 방향계전기에 의한 보호와 같이 하여 차단 시간이 전원에 가까워짐에 따라 점점 길어지는 일이 없이 비교적 고속도의 보호가 가능하다.

특히 임피던스가 작은 송전선이 연결되지 않는 한 전력계통의 구성이 어떻더라도 송전선이나 모선의 사고 구간 검출이 가능하다. 이 때문에 비교적 중요한 송전선 보호에서는 가장 많이 사용되고 있다.

<다음호에 계속...>

