計器用 變压器의 異常現象과 對應

전력계통의 회로현상 중에서 계기용 변압기에 관련된 이상현상에는 이미 오래 전부터 알려져 있는 것, 최근에 새로 경험되고 있는 것등 몇가지의 종류가 있다.

이 이상현상은 모두가 변압기와 콘덴서로 구성되는 회로에서의 철공진현상에 기인하는 것이다.

계기용 변압기에는 콘덴서형 계기용 변압기(이하 PD로 약한다) 및 권선형 계기용 변압기(이하 PT로 약한다)가 있는데 PD는 그것이 콘덴서와 변압기로 구성되기 때문에 본질적으로 철공진이 발생할 요인을 내재하고 있다.

한편 PT도 전력계통에 존재하는 콘덴서나 표유정전용량과의 사이에서 철공진이 발생할 가능성을 내포하고 있으며 가령 중성점 비접지의 3상전력계통에서 접지형 PT와 계통의 정전용량과의 사이에서 발생하는 중성점 불안정현상 또는 중성점 전이현상이라고 하는 것이라든지 차단기의 분압 콘덴서와 PT, 또는 병가송전계통의 표유정전용량과 PT의 사이에서 발생하는 철공진현상 등은 이에 대응된다.

이와 같은 이상현상이 발생하면 계기용 변압기의 2차전압이 비틀려 분수조파 또는 고조파진동 으로 나타나 계기의 지시, 계전기의 동작에 이상을 가져오게 되며 경우에 따라서는 계기, 계전기나 PD, PT의 손상을 초래하여 전력계통의 정상운전에 지장을 가져오게 된다.

따라서 계기용 변압기의 적용에서는 이와 같은 문제가 발생하지 않도록 적절한 방지대책이 요구된다.

다음에 PD 또는 PT의 적용에서 배려해야 될 주요 이상현상 및 그 대응책에 대하여 해설한다.

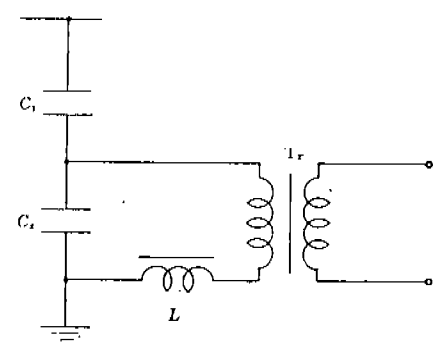
1. PD의 異常現象

1-1 現象의 설명

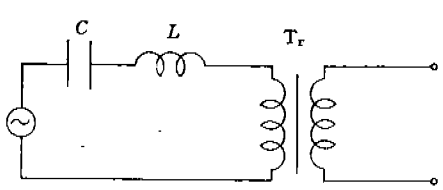
PD는 주로 66KV이상의 고전압 전력계통에서 널리 사용되고 있는 전압변성기이다.

그림1은 PD의 기본회로인데 PD는 콘덴서 분압기와 변압기로 구성되며 변압기와 직렬로 오차보상을 위한 리액터가 접속되어 있는 것이 일반적이다.

그림2는 그림1을 테브넌의 정리에 의하여 변환시킨 PD의 등가회로이며 이 중에서 콘덴서 C는 그림1의 C_1과 C_2의 병렬용량에 대응된다.



〈그림-1〉 PD 基本回路



〈그림-2〉 PD等價回路

리액터 L은 空隙附鐵心을 사용하여 線形 특성을 부여하고 있는데 변압기의 여자 임피던스는 비선형 특성을 가지고 있다.

이같은 회로에서는 변압기의 비선형 인덕턴스와 콘덴서의 상호작용에 의하여 각종의 調波에 대하여 철공진이 발생할 가능성이 있으며 이것을 PD의 이상현상이라고 한다.

단, PD의 회로에서는 C_1과 C_2의 병렬용량 즉 그림 2의 등가회로에서의 콘덴서와 리액터 L은 기본주파수(전력계통주파수)로 공진하도록 되어 있다.

따라서 보통은 변압기가 포화되어도 기본파보다 높은 주파수에 대해서는 공진이 발생하는 것은 생각할 수 없다.

여기서 PD에서 발생할 가능성이 있는 철공진의 주파수는 기본파 보다 주파수가 낮은 分數調波라고 볼 수가 있다.

실제로 PD회로의 실험 등에서 얻어지고 있는 결과에서도 이상의 고찰과 같이 1/3 調波 또는 1/5조파가 대부분이다.

이 이상현상은 통상의 사용상태에서는 발생하지 않는데 다음과 같은 전기적 충격이 PD에 가해지면 발생한다.

ㄱ) 1차전압의 突印 또는 급변

ㄴ) 2차회로 단락의 제거

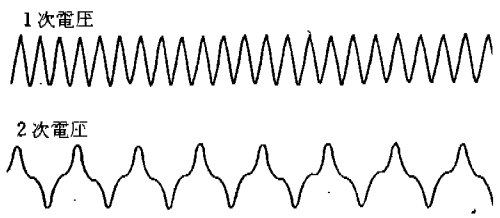
이상현상이 발생했을 때의 PD 2차 전압에 대하여 1/3 및 1/5 분수조파의 예를 그림 3에 들었다.

PD회로의 이상현상의 발생 프로세스를 전기적충격으로서는 가혹한 편이다. ㄴ)의 2차단락의 제거를 예로 하여 정성적으로 설명하면 다음과 같다.

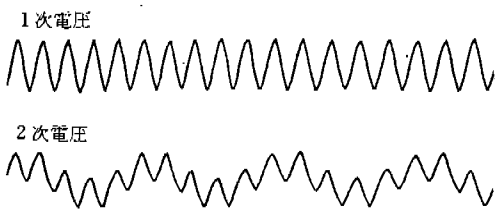
2차단락에 의하여 PD에 과대전류가 흘러 퓨즈의 용단 등으로 2차단락이 제거된다. 이 때 콘덴서에는 직류전압이 남아 있는데 이 때문에 PD의 변압기에 磁氣飽和가 발생하여 큰 여자전류가 흘러 콘덴서가 최초와는 반대 극성에 충전된다.

전원전압이 없으면 이것이 반복되어도 이 진동은 어차피 감쇠소멸 되는데 전원에서 전력이 적절하게 보급되면 이것이 감쇠되지 않고 지속되어 철공진이 된다.

또한 변압기의 자기포화의 반복이 1.5사이클이면



(a) 1/3分數調波振動



(b) 1/5分數調波振動

〈그림－3〉 PD異常現象電圧波形

1/3조파, 2.5사이클이면 1/5조파의 분수조파가 된다.

위와 같은 이상현상이 발생하면 다음과 같은 것이 문제로서 나타난다.

ㄱ) PD 2차회로계기의 전압과대지시

ㄴ) 계전기의 오동작

ㄷ) 3차 오픈델타 단자에의 영상전압의 유기

ㄹ) 계기, 계전기류 또는 PD 2 자체의 손상

이와 같이 PD의 이상현상은 PD 혹은 여기에 연결되는 장치에 악영향을 미쳐 전력계통의 정상운전을 저해할 우려가 있기 때문에 이것을 방지해야 된다.

1－2 PD의 異常現象 抑制對策

철공진이 발생하고 지속되는 조건은 변압기의 포화특성과 회로의 손실에 의존한다.

변압기의 정격자속밀도가 높은 경우에는 약한 전기적 충격에서 철공진이 발생하고 반대로 낮은 경우에는 강한 전기적 충격이 아니면 철공진은 발생하지 않는다.

또한 회로의 손실이 크면 철공진이 기동되어도

감쇠되어 철공진은 존재할 수 없다.

이와같은 특징을 이용하여 철공진에 의한 이상현상을 방지 또는 억제하는 것이 가능하며 구체적인 대책으로서는 다음과 같은 방법을 채택하고 있다.

ㄱ) PD변압기의 정격자속밀도를 0.3~0.4〔T〕정도의 낮은 값으로 한다.

ㄴ) 2차단락전류를 억제하여 2차단락 제거시의 콘덴서 단자전압을 작게하여 전기적 충격을 작게 한다.

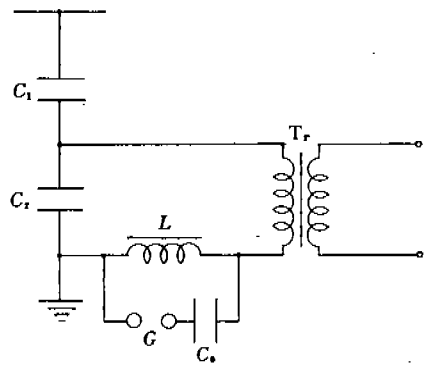
ㄷ) 철공진 억제장치를 PD회로에 부가 시킨다.

ㄴ) 의 구체예로서 공진형 2차단락보호방식을 적용한 PD의 회로를 **그림4**에 들었다.

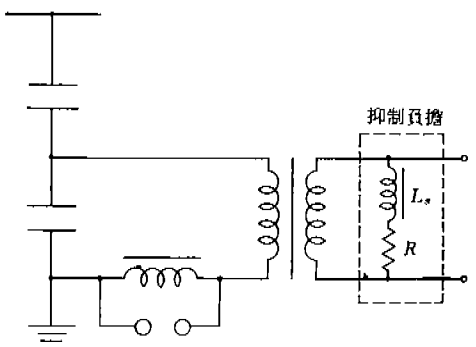
그림4에서 리액터 L과 콘덴서 C_0는 정격주파수에서 공진되도록 조정되어 있다. 여기서 2차단락이 발생하면 단락전류로 리액터 L의 단자전압이 상승하여 갭 G가 방전된다. 그 결과 L과 콘덴서 C_0가 병렬로 연결되어 그 병렬 임피던스에 의하여 단락전류가 억제된다.

ㄷ)의 철공진억제장치는 저항과 리액터를 직렬로 접속한 것으로 억제부담이라고 하는데 **그림5**와 같이 PD의 2차권선에 병렬로 삽입된다. 이 리액터는 **그림6**과 같이 변압기보다도 낮은 전압에서 자기포화를 발생시켜 상시에는 리액터가 높은 임피던스로 저항에는 전류는 흐르지 않으므로 PD의 부담이 되지는 않는데 이상시에는 리액터가 포화되어 저항이 PD의 부담으로서 작용하여 회로의 손실을 증대시켜 철공진을 억제하는 것이다.

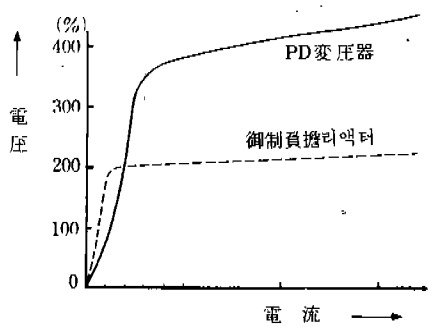
또한 철공진의 억제에는 저항부담을 PD 2차회로에 접속하는 방법도 있는데 PD의 오차특성을 저하시키고 또한 열적으로도 대용량이 되기 때문에 특별한 경우를 제외하고는 채용되지 않는다.



〈그림－4〉 共振形 2次短絡保護裝置附PD



〈그림－5〉 抑制負擔附 PD



〈그림－6〉 抑制負擔 飽和特性

2. PD 2次接續負擔에 기인하는 異常 現象

PD는 이상과 같이 PD 그 자체는 이상현상이 발생하지 않도록 대책이 강구되고 있는데 PD의 외부인 2차회로에 접속되어 있는 부담에 낮은 전압에서 자기포화되는 것이 있으면 PD의 콘덴서와의 사이에서 철공진이 생길 가능성이 있으며 실제로도 경험되고 있다.

이같은 현상의 원인이 되는 부담에는 전압변환용 또는 계전기 내장의 보조변압기가 있다. 이것이 PD

의 억제부담 리액터의 포화보다 빨리 포화되는것이면 억제부담부의 PD라도 2차부담에 의한 철공진을 억제할 수는 없다.

따라서 PD회로에 사용하는 보조변압기의 정격자속 밀도는PD의 변압기의 그것과 같은 정도 이하인 0.3〔T〕보다 낮게 하도록 권장되고 있다.

또한 2차부담 중의 보조변압기 등이 비교적 낮은 전압에서 포화되는 것이라도 용량이 작은 것 등에서 내부 저항이 큰 것은 반드시 이상현상의 요인이 되지는 않는다.

만일 PD 2차부담회로의 보조변압기 등이 원인으로 철공진이 발생한 경우에는 그 원인이 되는 부담을 교체하든지 그것이 곤란할 때에는 저항부담을 추가하여 이같은 2차부담에 의한 이상현상을 방지해야 된다.

저항부담을 가하면 PD의 오차특성에 영향을 미치는데 최대로 전부담이 PD의 정격부담 정도가 되도록 저항부담을 삽입하면 대부분의 경우 대체이가능하며 실질적으로는 오차특성면의 염려는 없을 것이다.

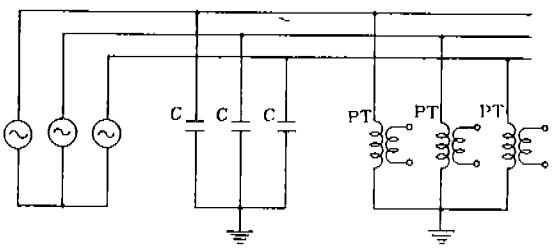
3. 非接地系統의 PT 異常現象

중성점 비접지전력계통에 접지형 PT가 접속되어 있는 경우 그 계통의 對地 정전용량과 PT와의 상호간에 이상현상이 발생하여 전력계통의 중성점 전위를 이상하게 기동시키는 수가 있다.

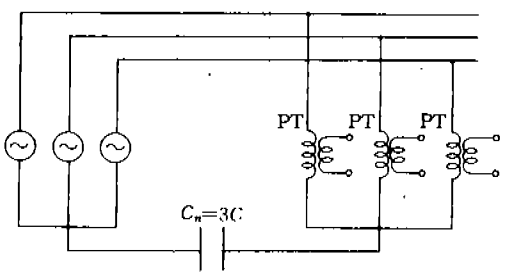
이 현상은 PT의 자기포화에 기인하는 일종의 철공진이며 중성점 불안정현상 또는 중성점 전이현상 등으로 호칭되고 있다.

이와 같은 현상은 정상상태에서는 발생하지 않는데 계통의 전원 돌인 또는 전압 급변 등으로 전기적 충격이 PT에 가해지면 발생하는 수가 있다.

그림7은 중성점 비접지 3상전력계통에 접지 PT가 Y접속된 회로를 들고 그림 중 콘덴서 C는 선로의 對地 정전용량이다. 이 회로를 등가회로로 변환하면 **그림8**과 같이 되는데 이 그림에 의하여 이 이상현상의 발생 프로세스를 기념적으로 설명하면 다음과 같다.



〈그림－7〉 接地 PTY 接續回路



〈그림－8〉 接地 PTY 接續等價回路

계통의 突印으로 어떤 PT가 자기포화가 발생하면 돌입전류가 흘려 C_n가 충전되는데 다른 PT가 포화되어 있지 않는 경우 각 PT의 단자전압은 C_n의 단자전압과 전원전압과의 합이 된다.

잠시 후에 단자전압이 큰 PT가 자기포화되어 C_n는 재충전되는데 이것이 반복되어 계속되면 철공진이 되어 중성점 전위를 진동시킨다.

이 현상에 관계되는 요소로서 전원전압, PT철심특성, 선로의 대지 정전용량, 잔류자기, 돌인 위상 등이 있다. 공진주파수는 분수조파에서 고조파까지 발생의 가능성이 있으며 선로의 대지 정전용량이 비교적 큰 경우에는 공진주파수가 낮아지고 정전용량이 작은 경우에는 그반대로 되는 경향이 있다.

중성점 전위가 불안정해진다는 것은 결국 선로의 대지전압이 불안정해져 선로의 대지전압에 분수조파나 고조파 등의 이상진동으로 나타난다.

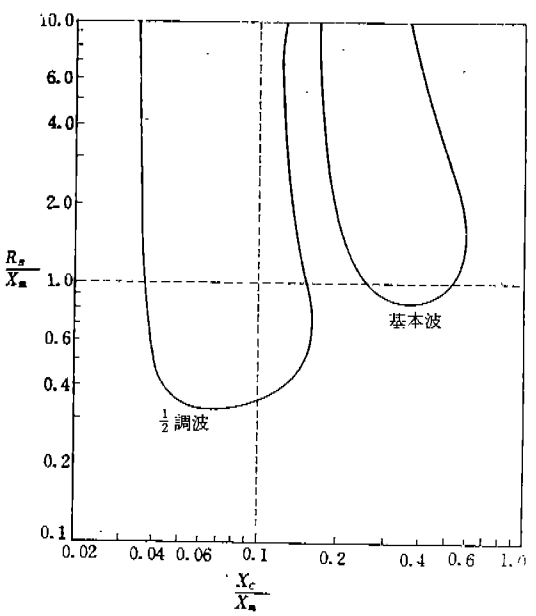
이 이상진동에 의한 선로의 대지전압은 분수조파에서는 비교적 작고 상규전압의 1.3배 전후인데 고조파인 경우에는 상규전압의 3～4배에 달하는 수도 있다.

이상의 현상은 선로의 대지전압을 이상 상승시키

기 때문에 계통에 연결된 기기에 이상 스트레스를 부여하는 동시에 PT의 이상과열, 계기, 계전기의 오동작 또는 손상을 초래할 위험성이 있다.

비접지계통에서의 이 현상에 대해서는 오래 전부터 연구되고 있으며 그 발생 조건 등이 발표되고 있다.

그림 9는 중성점 불안정이 지속될 가능성이 있는 범위를 든 것이다.



〈그림－9〉 中性點 不安定 現象發生限界

가로축은 1선당의 대지용량 리액턴스 X_c와 PT 1상당의 여자 임피던스 X_m와의 比이며 세로축은 부담저항 R_s와 여자 임피던스 X 와의 比에 대응된다.

이 그림은 $X_c/X_m < 0.02$, $R_s/X_m < 0.3$이며 이현이 발생할 가능성이 적은 것을 표시하고 있다.

전원전압도 이 현상의 발생지속에 영향을 받아 전원전압이 낮아지면 **그림 9**의 중성점 불안정의 발생범위가 좁아진다는 것이 확인되고 있다.

이같은 성질을 이용하여 이 현상의 방지가 가능하며 구체적으로는 PT의 2차부담을 크게 하든지 또는 정격자속 밀도가 낮은 PT를 사용하는 등의 방법을 생각할 수 있다.

X_c를 작게 하는 것도 이론적으로는 이 현상의 방지에 유효한데 전력계통의 표유용량을 이 때문에 변화시키는 것은 간단하지 않으며 현실적인 방법은 아니다.

또한 실용되고 있는 PT에서는 정격부담 정도의 부담이 2차회로에 접속되어 있으면 중성점 불안정 현상의 염려는 적은 것이다.

4. 遮斷器 콘덴서와 PT의 鐵共振

최근의 차단기 중에서 多點切의 것은 각 섹션의 전압분담을 균등하게 하기 위해 분압 콘덴서를 가지고 있는 것이 많다. 또한 1點切의 것이라도 차단성능 향상을 위해 극 간에 콘덴서를 가지고 있는 것도 있다.

이와 같이 차단기의 극 간에 병렬로 콘덴서가 있는 경우에는 이 콘덴서와 PT와의 사이에서 철공진이 발생하는 수가 있다.

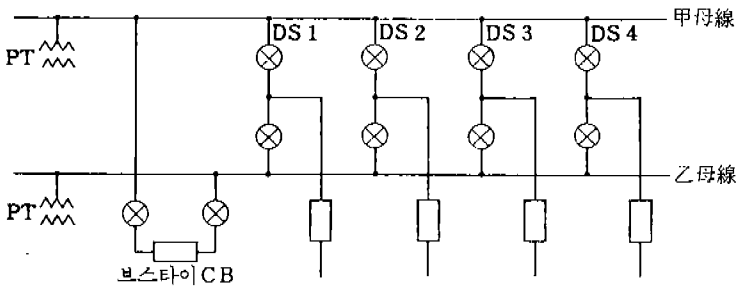
이 현상도 정상상태에서는 발생하자 않는데 모선정지 등으로 차단기를 개방했을 때에 나타난다.

그림 10은 차단기와 모선 PT의 배치도인데 가령 갑모선정지를 위해 DS 1～4를 개방하고 끝으로 브스타이 차단기를 개방했다고 하면 PT는 브스타이 차단기의 콘덴서를 통하여 전원에 접속된 상태가 된다.

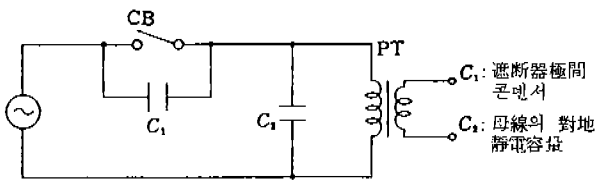
그림 11은 이 상태를 알기 쉽게 표시한 것이다. 이 그림에 의하면 차단기의 콘덴서 C_1과 모선의 대지 정전용량 C_2 및 PT가 마치 PD와 비슷한 회로를 구성하고 있다는 것을 알 수 있는데 차단기 개방시의 현상은 다음과 같다.

여기서 브스타이 차단기를 개방했을 때 직후의 콘덴서 단자전압에 의하여 잠시 후에는 PT가 포화된다. 이어서 이 때의 여자전류에 의하여 콘덴서는 역방향으로 충전된다. 회로조건에 따라서는 이것이 주기적으로 반복되며 PD회로의 경우와 마찬가지로 철공진이 된다. **그림 12**는 분수조파진동의 발생예이다.

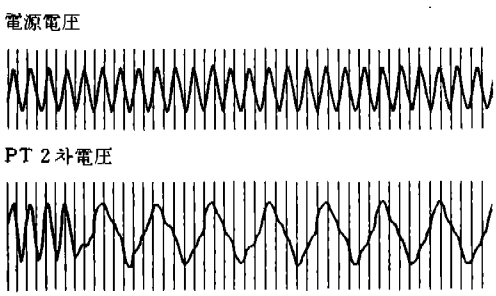
이 경우에는 분수조파 뿐만 아니라 기본파공진이 발생하는 수도 있어 모선을 정지했음에도 불구하고



〈그림－10〉 遮断器, 母線PT配置



〈그림－11〉 等價回路



〈그림－12〉 鐵共振波形

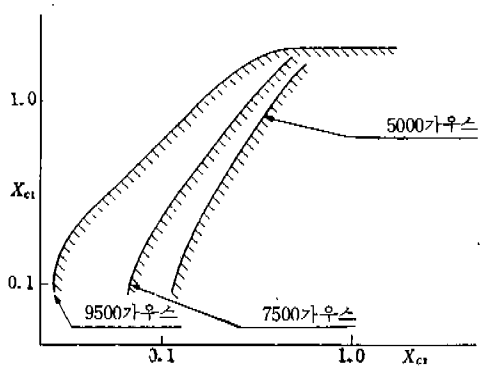
모선 및 PT에 상시전압보다 상당히 높은 전압이 발생하여 그 값은 때로는 수배가 된다.

이 이상현상에 의하여 계전기의 오동작을 초래하는 수도 있으며 또한 PT 또는 계전기의 손상을 가져오기도 한다.

이 현상에 대해서도 실규모의 실험을 포함한 여러 가지의 실험이나 계산에 의하여 그 발생조건이나 방치대책이 연구되고 있다.

그림 13은 차단기의 콘덴서와 모선의 대지용량과의 관계로서 철공진의 발생한계를 PT의 자속밀도를 밸러미터로서 표시한 것인데 자속밀도가 이 현상에 크게 영향을 미치고 있다는 것을 알 수 있다.

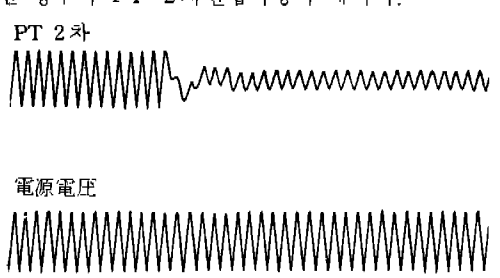
이같은 차단기의 콘덴서에 관련된 PT의 철공진



〈그림－13〉 PT 鐵心의 磁束密度와 鐵共振 發生限界

을 방지하기 위해서는 그림13과 같이 PT의 자속밀도를 내리는 것이 유효한데 이 방법은 PT를 대형으로 한다는 것 또한 완전한 방지대책은 아니기 때문에 PT 2차회로에 저항부담의 삽입 또는 PD 의 경우와 마찬가지로 억제부담의 삽입 등의 방법이 도입되는 수도 있다.

그림 14는 억제부담에 의하여 철공진 현상을 억제한 경우의 PT 2차전압파형의 예이다.



〈그림－14〉 抑制負擔에 의한 鐵共振抑制例

5. 併架送電系統에서의 PT의 鐵共振

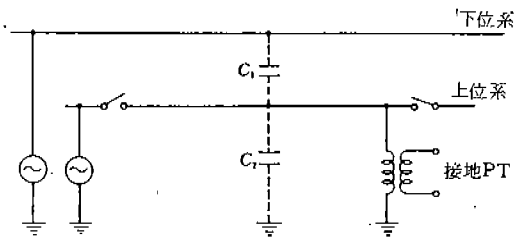
그림15는 異系統의 송전선이 병가되어 있을 경우의 회로를 개념적으로 표시한 것이다.

C_1은 上位系와 하위계의 선로 간의 정전 용량이며 C_2는 하위계의 대지 정전용량이다.

하위 송전선의 양단 차단기를 개방한 경우 하위 송전선에는 차단기 개방시의 잔류전압과 상위 송전선에서의 유도전압이 중첩된다.

유도전압에는 정전유도에 의한 것과 전자유도에 의한 것이 있는데 통상은 정전유도에 의한 것이 지배적이며 전자유도는 무시할 수 있다.

이같은 병가계의 하위 송전선에 접지IT가 그림15와 같이 접속되어 있을 때 하위 송전선 양단차단기 개방시에 잔류전압의 직류분에 의하여 PT 철심이 포화되기 때문에 전항의 경우와 마찬가지로 콘덴서의 充放電이 반복되어 상위계에서의 정전유도전원에 의한 전력의 적절한 보급에 의하여 지속성의 이상진동 즉 철공진이 발생할 가능성이 있다는 것을 알 수 있다.



〈그림－15〉 併架系回路圖

이 회로에서 철공진이 발생하면 하위 송전선에 이상전압이 발생하여 물론 PT에도 이상 스트레스가 가해진다. 또한 하위계통정지에도 불구하고 송전선이 무전압이 되지 않기 때문에 전력계통의 운전에 혼란이 초래될 염려가 있다.

이 이상현상도 전항까지의 현상과 마찬가지로 철공진 그 자체이며 그 방지대책으로서는 PT의 자속밀도의 저감 또는 PT 2차회로에 적당한 부담을 접속하도록 한다. *

● 海外新製品 ● (영국대사관제공)

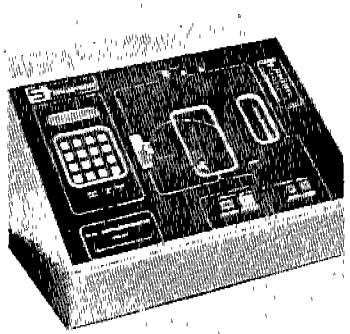
공기純度 분석장치

AIR-PURITY ANALYSER

● 메이커 : The Spantech Group, Africa House, 64-78 Kingsway, London WC2B 6AH. Tel : +441 405 2085, Telex : 27445

각 현장의 작업자가 휴대하고 있는 소형의 금속튜브로 공기의 샘플을 채취하여 이를 농축기에 삽입함으로써 작업현장의 대기환경의 純度를 간단히 분석할 수 있는 장치가 새로 개발되었다. 이 GN Concentrator는 2단계의 熱遊離 방식에 의해 작동된다. 공기샘플을 채취한 튜브가 熱遊離 오븐시스템에 삽입되면 가스의 흐름에 의해 가열되어 샘플 속의 휘발성분이 遊離된다. 이때 휘발성분은 냉각트랩을 통과하면서 농축되고 냉각트랩의 급속한 가열을 유발하면서 2단계의 유리현상을 일으키는 것이다. 이를 통해 완전한 充填주입이 이뤄지고 가열된 移送라인을 통해 가스色層 분석장치 (크로마토그래프)로 투입되어 원래의 샘플에서 얻어진 물질을 분리하게 되는 것이다.

장치는 쉽게 휴대할 수 있으며 어떠한 방식의 표준형 電源에 의해서도 작동될 수 있다. 무게는 14kg, 크기는 387×305×70mm이다. 이 장치의 작동은 마이크로프로세서에 의해 제어되며 사용자의 수동조작과, 不揮発性 기억장치에 저장된 시스템정보 활용방식으로 제어한다. 전체적인 프로세스는 모든 공정 단계에서 분석물질에 따라 매우 다양하게 운용될 수 있다.



장치 내의 온도는 분석되는 물질의 종류에 따라 다양하게 변화시킬 수 있도록 되어있다. 1차 遊離오븐 뒷 냉각트랩의 최대온도는 350℃이며 유리를 파괴한 냉각트랩은 최저 －170℃의 낮은 온도까지 냉각될 수 있다. 이때의 가열속도는 秒當30℃에 달한다. 이 장치는 증기상태의 기체도 효율적으로 분석할 수 있도록 설계되어 있으므로 각종 산업분야의 다양한 목적에 활용할 수 있다. 이밖에도 香의 성분등도 분석할 수 있으며 금속튜브를 이용하여 휘발성분 분석을 위한 固形물질의 샘플도 채취할 수 있다.