

열분포측정에 의한 정류회로 고장예측

박 호 철
한전기공(주)

Trouble prediction of Thyristor Rectifiers by the method of heat distribution survey.

Park, ho - cheul
Korea Power Plant Service Co., LTD

In the three phase full-wave thyristor rectifier, heat radiation concentrated at a few thyristor(s), while equipment's output is normal.

That is very important on the predictive maintenance or checking including replacement of parts(or modules).

Therefore, this report explains the method of effective diagnosis and the reason that firing control modules have to be adjusted accurately on each phase.

1. 개요.

교류전력을 직류로 변환하는 전력전자 설비가 최근 많이 사용되고 있다.

이들설비의 주된 소자는 다이오드와 사이리스타인데 다이오드는 인가된 전압을 그대로 정류하게 되므로 정해진 출력전압만 낼수 있어 직류 정전압전원용이나 부하제어용 전원에는 부적당하다. 따라서 용량이 커지고, 부하제어 목적의 전원에는 사이리스타 회로가 대부분 사용되고 있는 실정이다.

사이리스타는 요구출력전압에 대응하도록 점화각을 제어하여 출력파형 크기를 변환하는 방식으로 출력을 제어한다.

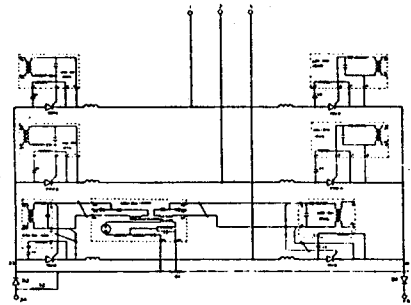
보통 대용량 직류전원장치로는 3상전파정류 회로가 적용되며 이때 정류소자는 각 상당 2개씩 모두 6개의 소자가 설치되는데 이것들이 결국 하나의 직류 부하에 유기적으로 정류전력을 공급하게 된다.

이때, 각각의 사이리스타는 독립된 게이트 회로로부터 점화각이 제어되는데, 본 고에서는 이러한 정류회로 운전시 흔히 나타나고 있는 점화각오차로 발생

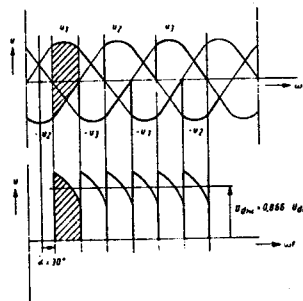
되는 열 집중현상과 그 진단방법, 그리고 이에 따른 제어모듈 조정의 필요성을 제시하고자 한다.

2. 정류회로의 파형.

3상전파정류회로에서 6개의 정류소자는 브리지회로를 구성한다. <그림-1>은 3상전파 정류회로의 한 예이다. 이 예에서 보는바와 같이 각각의 사이리스타는 별개의 펄스트랜스에서 전달되는 펄스 트리거 신호에 의해 점호된다.



<그림-1> 3상 전파정류회로 예



<그림-2> 정류파형(점화각 30°)

전류 중복과 같은 점호시의 과도현상을 무시하면 <그림-2> 와 같이 계산상 직류부하를 부담하는 구간은 6 개의 정류소자가 규칙적으로 분담하며, 한개의 소자가 1/3씩 턴-온되어 한 상이 1/6에 해당하는 구간을 두번씩 한 주기동안 분담할 것이다.

그러므로 한 구간 동안의 평균직류 전압의 크기는 다음식과 같이 계산된다.

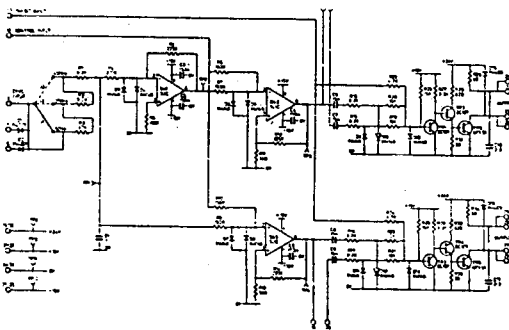
$$E_{da} = \frac{1}{\pi/3} \int_{\pi/6+a}^{\pi/2+a} (V_{m1} \sin \theta - V_{m2} \sin(\theta - 2\pi/3)) d\theta \quad (1)$$

전원전압이 3상평형일 때는 $\sqrt{2}V = V_{m1} = V_{m2} = V_{m3}$ 의 크기를 갖게 된다. 그러므로 식 (1)은

$$\begin{aligned} E_{da} &= \frac{3}{\pi} \int_{\pi/6+a}^{\pi/2+a} (V_{m1} \sin \theta - V_{m2} \sin(\theta - 2\pi/3)) d\theta \\ &= \frac{3\sqrt{2}}{\pi} V \left[-\cos \theta + \cos(\theta - 2\pi/3) \right]_{\pi/6+a}^{\pi/2+a} \\ &= \frac{3\sqrt{2}}{\pi} V [-\cos(a + \pi/2) + \cos(a - \pi/6) \\ &\quad + \cos(a + \pi/6) - \cos(a - \pi/2)] \\ &= \frac{3\sqrt{3}\sqrt{2}}{\pi} V \cos a \end{aligned} \quad (2)$$

결국 식(3)과 같이 출력파형은 점호각 α 의 함수가 되고 α 에 따라서 직류평균 전압이 제어된다.

각 사이리스타는 주어진 점호각 α 에 대해 전원 전압의 파형에 동기되는데 3상에서는 각 상별로 점호각 제어 모듈이 있어서 각각 2개의 사이리스타를 구동하는데 그 예는 <그림-3>과 같다. 이 회로의 펄스출력이 <그림-1>의 펄스트랜스 입력이 된다.



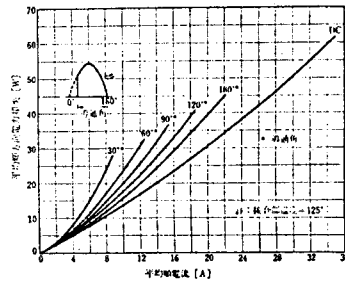
<그림-3> 점호각 제어모듈의 예

3. 정류소자의 열발생.

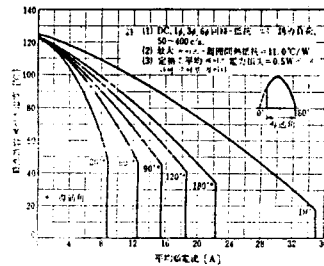
사이리스타의 동작에서 일반적인 PN접합부의 전력 손실발생은 다음과 같다.

- 통전에 의한 것.
- Turn-on switching.
- Turn-off(또는 轉流).
- Triger 신호.
- 순방향 및 역방향 비도통시 저지전류.

보통 Duty cycle 이나 상용주파수에서는 순방향의 도통전류에 의한 손실이 접합부 가열의 주요 열원이 되고 있다. <그림-4>는 순방향 전력손실의 예를 나타낸 그래프이며, <그림-5>는 소자 케이스 온도에 대한 평균전류정격의 예를 제시하는 그래프이다.



<그림-4> 평균 순방향 전력손실 예



<그림-5> SCR의 평균 전류정격 예

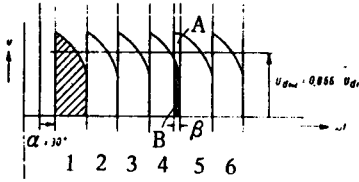
정류소자는 온도가 상승하면 <그림-5>와 같이 허용되는 전류가 적어지기 때문에 온도상승을 억제하기 위해서 Heat sink를 설치하고 또 fan으로 강제냉각하는 구조를 갖는다.

통전에 의한 온도상승은 도통각과 직접 관계가 있는데 결국 점호각의 크기 이다. 점호각 제어모듈이 <그림-3>과 같이 여러부품으로 구성되므로 앞단모듈에서 가해지는 신호에 대해 각 상별로 설치된 펄스 발생제어 모듈이 오차를 가질 수 있다. 그것은 부품(특히 저항 같은 것)오차나 사이리스타의 동작특성으로 부터 기인될 수 있다.

각 모듈의 오차와 소자의 특성오차는 해당소자가 부하전류 분담을 변화시키게 되어 장치가 정격출력 범위내일 경우에도 상태온도에 따른 전류정격을 넘

을 수 있다.

사이리스타 트리거시 과도현상을 무시하고 점호각 오차가 발생될 때 불균형은 다음과 같다.



<그림-6> 직류출력전압 파형 ($\alpha = 30^\circ$)

파형 5가 β 만큼 α 보다 앞서서 트리거될 때 5는 (A+B)만큼 가중되고 4는 상대적으로 (B)만큼 감소된다. 따라서,

$$\begin{aligned} \text{㉑ 정상파형} &: = \frac{3\sqrt{2}}{\pi} v \left[-\cos\theta + \cos(\theta - 2\pi/3) \right] \frac{\pi/2 + \alpha}{\pi/6 + \alpha} \\ \text{㉒ 5번 파형} &: = \frac{3\sqrt{2}}{\pi} v \left[-\cos\theta + \cos(\theta - 2\pi/3) \right] \frac{\pi/2 + \alpha}{\pi/6 + \alpha - \beta} \\ \text{㉓ 4번 파형} &: = \frac{3\sqrt{2}}{\pi} v \left[-\cos\theta + \cos(\theta - 2\pi/3) \right] \frac{\pi/2 + \alpha - \beta}{\pi/6 + \alpha} \end{aligned}$$

가 된다. 점호각 $\alpha = 30^\circ$ 일때 출력전압은 최대전압의 86.6 [%]가 되는데 만일 5[%]의 오차이면,

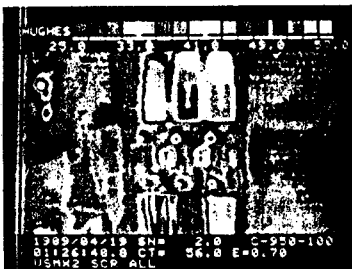
$$\text{㉑}:\text{㉒}:\text{㉓} = 1 : 1.030 : 0.984$$

이 된다. 이 변화는 점호각이 커지면 더욱 큰 변화가 나타난다.

4. 전류불균형의 진단.

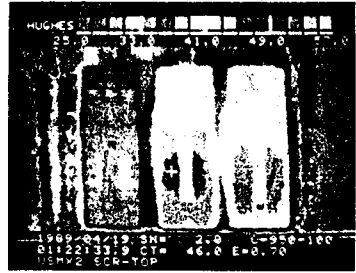
각 상의 사이리스타가 정상적으로 일정하게 부하전류를 분담하면 소자에서 발생하는 열도 동일할 것이다. 그러나 소자온도가 전류불균형에 따라 달라진다. 많은 장치들이 이런 불균형 상태에서 운전되고 있다.

정상운전 중 열발생이 많은 소자는 온도-전류허용 범위를 벗어나지 않더라도 과부하등 이상 발생시 다른 소자보다 먼저 소손될 확율이 높다.

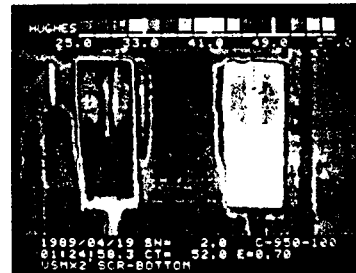


<사진-1>

<사진-1>은 사이리스타 정류회로의 Heat sink를 적외선 열화상으로 촬영한 것으로 불평형 운전되고 있는 상태를 쉽게 진단할 수 있다. <사진-2>와 <사진-3>은 상부 및 하부 3개씩을 근접 촬영한 것이다.



<사진-2>



<사진-3>

이 정류장치는 상부 2개의 소자온도가 높으며 하부 좌측 소자는 온도가 특히 높아 하부중앙 소자의 분담전류를 가중한 상태이다. 실제로 많은 정류장치가 이러한 상태로 운전된다. 이러한 불평형의 정정은 펄스 발생 제어모듈에서 쉽게 행할 수 있다.

5. 결론.

정류회로에서 각 사이리스타는 해당 펄스발생장치와 일체화 되어 출력파형을 낸다. 그런데 펄스발생모듈의 구성부품특성이나 사이리스타 자체의 특성오차 등 여러 원인에 의해 점호각 오차가 발생한다. 특히 부품이나 모듈교체가 수반되는 정비 후에는 반드시 이러한 불균형이 있다. 이러한 상태의 운전은 또다른 고장이 예견된 상태의 운전이라고 볼 수 있다.

그러므로 열화상 사진에 의한 열분포 분석방법으로 정상운전으로 도전 상태인 장치를 쉽게 진단하고 적절히 조치 한다면 출력파형 개선은 물론 장치의 수명연장이 기대될 수 있을 것이다.