

電氣機器에 관한 電壓變動 그 影響과 對策

최근의 電子計算機, 各種 制御裝置 또는 컬러TV 등 電子機器의 보급에 따라 供給電壓의 고도의 安定性, 즉 電力의 質的 向上에 대한 요구는 더욱 높아지고 있다.

한편 電壓變動 發生源인 아크爐, 壓延機 및 熔接機 등은 合理化, 生産性的 向上을 위해 大形化됨에 따라 工場內 뿐만 아니라 일반 電力系統에 電壓變動障害를 야기하는 경우가 많아지고 있다.

이같은 電壓變動은 照明에 플리커가 발생하여 인간의 눈에 不快感을 주거나 각종 電氣機器의 誤動作이나 停止 등을 야기하여 生産, 研究, 의료관계에 惡影響을 미친다.

여기서 電壓變動이 電氣機器에 미치는 영향과 對策에 대하여 해설하기로 한다.

1. 電壓變動이란 ?

電壓變動이란 負荷電流의 변화에 의하여 電壓이 상승, 강하하는 것이며 그 크기나 성질은 負荷의 종류에 따라 다르다. 電壓變動의 크기는 電壓變動率(ΔV)로 定義되며 그림 1의 系統圖에서 (1)式으로 표시되며 近似的으로는 (2)式과 같이 된다. 그림 2에 이 벡터圖를 들었다.

$$\Delta V = \frac{E_s - E_r}{E_r} \times 100 \quad (1)$$

$$\begin{aligned} &\approx \frac{R_s I \cos \theta + X_s I \sin \theta}{E_r} \times 100 \\ &= \%R_s \cdot P + \%X_s \cdot Q \quad [\%] \quad (2) \end{aligned}$$

여기서 E_s : 送電端電壓[V]

E_r : 受電端電壓[V]

R_s : 系統의 抵抗分[Ω]

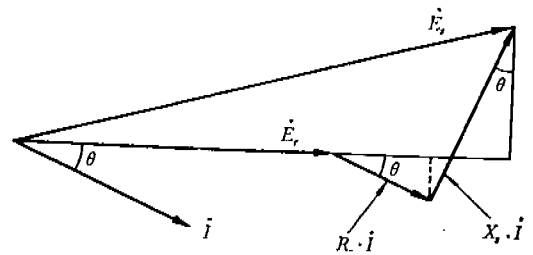
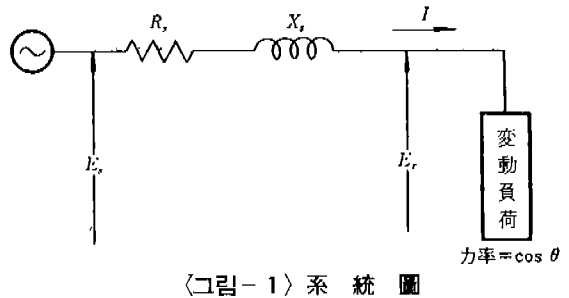
X_s : 系統의 리액턴스分[Ω]

I : 負荷電流[A]

$\cos \theta$: 負荷의 力率

$\sin \theta$: 負荷의 無效率

$\%R_s, \%X_s$: 系統의 %抵抗 및 %리액턴스 [%](10MVA 베이스의 %值)



P, Q : 負荷의 有效電力 및 無效電力(10 MVA 베이스의 PU值)

일반적으로 特高受電의 경우 送電線의 임피던스는 $\%R_s \ll \%X_s$ 이고 또한 負荷의 變動分은 力率在 나쁜 경우가 많기 때문에 ΔV 를 좌우하는 것은 $\%X_s \cdot Q$ 의 순서라고 할 수 있다.

2. 電圧變動의 종류

주요 電圧變動의 종류와 그 양상을 표1에 들었다. 電圧變動은 그 同期에 따라 크게 다음의 3가지로 分類된다.

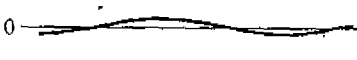
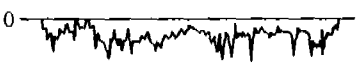
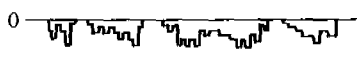

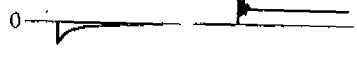
(1) 長周期로 변화하는 電圧變動(數分~段時間 周期)

(2) 短周期 또한 不規則的인 電圧變動(數사이클~數分周期)

(3) 瞬時的 變化나 스텝狀의 電圧變動(瞬時~數사이클)

이밖에도 高調波에 의한 波形일그러짐(電圧 일그러짐)은 廣義로 해석한다면 일종의 電圧變動이라고 할 수 있는데 (1)~(3)의 電圧變動과는 異質的인 것이며 여기서는 생략한다.

(表-1) 電圧變動의 종류와 그 狀態

種 類	變 動 의 要 因	一般의인變動周期	一 般 的 인 變 動 의 樣 相
(1) 長周期	系統電壓의 動搖	數分~數時間	
(2) 短周期	① 아크爐	數사이클~數10사이클	
	② 熔接機·圧接機等	數사이클~數10秒	
	③ 圧延機·交統電氣車等	數秒~數分	
(3) 瞬 時	系統事故時·電力機器投入時等	瞬時~數사이클	

(1) 長周期 電圧變動

이 電圧變動은 電力系統에서 많이 볼 수 있는 數分~數時間 周期의 電圧變動으로 아침, 낮, 夜間의 時間帶나 電力需要의 變化에 따라 발생한다. 이같은 電圧變動은 電力會社의 負荷時 帶의 전환기나 電力用 콘덴서, 分路리액터 등의 調相設備에 의한 調整으로 통상 2~3% 정도이며 직접 電氣機器에의 영향은 적다.

(2) 短周期 또한 不規則的인 電圧變動

이 電圧變動은 그 양상에 따라 다음과 같이 分類된다.

(1) 아크爐에 의한 電圧變動

아크爐는 그 電氣的 特性에 의하여 無效電力의 變化가 크며 또한 不規則的이다. 따라서 아크爐 負荷에 의한 電圧變動은 數사이클~數10사이클의 不規則的이고 또한 急峻한 것으로 가장 대책이 곤란하다. 특히 溶解期에서는 아크가 不安定하기 때문에 電極短絡이 빈번하게 발생하고 격심한 電圧變動이 발생한다.

(2) 熔接機, 圧接機 등에 의한 電圧變動

용접기나 圧接機는 사용하는 재료에 따라 히트타임, 쿨타임이 결정되기 때문에 각 機器에 의한 電圧變動은 數사이클~數10秒의 주기적인 變化를 한다. 그러나 複數臺의 稼動에서는 중복으로 아크爐와 마찬가지로 不規則的이고 또한 急峻한 것이 된다.

(3) 壓延機, 交流電氣車 등에 의한 電壓變動

壓延機나 交流電氣車는 스타트, 스톱間에 定速時間帶를 가지고 電壓變動으로서는 비교적 完만한 數秒~數分 정도의 변동이 된다. 단, 交流電氣車는 起電區間에의 進入이나 脫出時에는 스텝狀의 電壓變動이 발생한다.

(3) 瞬時的 變化나 스텝狀의 電壓變動

이 電壓變動은 系統事故時나 電力機器의 投入時에 발생한다.

(1) 系統事故時의 電壓變動

系統의 地絡事故 등에서 電壓이 급격히 강하하거나 상승하거나 한다. 이같은 경우 電力系統이나 작부하측에서의 保護시스템에 의하여 고속도로 事故回路를 系統에서 切離시키는데 保護시스템의 動作까지의 사이에는 이 電壓變動에서 피할 수가 없다.

電力會社는 電氣의 安定供給을 위해 最高水準의 기술을 구사한 保護시스템을 설치하고 있는데 표 2 정도의 瞬時電壓降下는 피할 수 없다.

〈表-2〉 瞬時電壓降下の 계속時間

事故發生系統	瞬時電壓降下繼續(事故除去)時間[s]
500kV 系	0.07~9.34 0
270kV 系	0.07~0.34
140kV 系	0.1~2
60kV 系	0.1~2
6 kV 系	0.3~2

(2) 電力機器 投入時의 電壓變動

① 變壓器의 投入

變壓器를 投入한 경우 殘留磁束과 投入位相에 의하여 磁氣飽和가 발생하거나 勵磁突入電流가 흘러 스텝狀의 電壓變動이 생긴다. 이 현상은 서서히 減衰되는데 數10사이클에서 긴 것은 數10秒에 이르는 경우가 있다.

② 電力用 콘덴서의 投入

콘덴서의 投入는 電壓의 投入位相에 따라 다른데 큰 充電電流가 흐른다. 일반 콘덴서設備에는 直列 리액터(L=6%)를 가지고 있기 때문에 이 突入電流를 억제하도록 작용하는데 그래도 定格電流의 數倍의 突入電流가 흐른다. 繼續時間은 直列리액터의 크기에 따라 다른데 數사이클 이내에 減衰된다.

3. 電壓變動의 規制

外國의 예를 보면 영국 電力片의 技術勸告 p7/2 에서 아크爐의 電壓變動으로서 132kV 이하의 系統에서 $\Delta V \leq 2\%$, 275kV 이하의 系統에서 $\Delta V \leq 1.6\%$ 라는 기준이 있다. 또한 美國에서는 IEEE-IAS 에서 표 3 과 같이 정하고 있다.

〈表-3〉 美國의 電壓變動 推獎值(IEEE-IAS)

	一般系統		工業系統	
	高 壓	中 壓		低 壓
	115 kV	23~69 kV	2.4~13.8 kV	1 000 V
一般用 變換器用	1% —	5% 8%	5% 8%	5% 10%

4. 電壓變動이 電氣機器에 미치는 影響

電壓變動이 電氣機器에 미치는 영향에 대해서는 다음과 같은 것이 있다.

(1) 螢光燈이나 TV

螢光燈이나 TV는 電壓의 變動에 따라 밝기가 電壓에 따라 變化한다. 電壓變動이 계속되면 이 輝度의 變化가 깜박거리(이른바 플리커)인간에게 不快感을 준다. 이 깜박거림은 電壓變動의 周期가 10Hz 정도인 때가 가장 현저하다.

(2) 컴퓨터

최근에 눈부신 발달을 하고 있는 컴퓨터는 電壓變動에 의하여 演算ミス가 발생하거나 機能이 정지되는 수가 있다.

따라서 최근의 大形 컴퓨터는 安定化 電源이 不可欠의 것으로 되고 있는데 工場内の 프로세스制御에 사용되고 있는 小形 컴퓨터 등에는 安定化 電源이 없는 것이 있다.

(3) 壓延設備

直流通動機의 速度制御를 필요로 하는 壓延設備 등에서는 급속한 加速, 減速이나 逆轉을 필요로 하

며 制御性能面보다 直流電源에 사이리스터를 사용하는 경우가 많아졌다. 또한 制御回路에 컴퓨터를 사용하는 경우도 있다. 이같은 설비에서 電壓變動이 생기면 制御回路가 誤動作을 초래하여 製品不均一이 발생하거나 設備 전체가 정지하는 경우도 있다.

壓延機가 일단 정지하면 製品材料가 壓延롤에 부착된 상태가 되어 再起動에 상당한 시간을 필요로 하며 操業에 큰 영향을 미친다. 따라서 電壓變動이 큰 곳에서는 後述하게 될 對策裝置를 설치하고 있다.

(4) 誘導電動機

펌프, 팬 등에 사용되는 誘導電動機에서는 電壓이 변화하면 토크, 슬립, 全負荷電流 등의 諸特性에 영향을 미쳐 回轉不均一이 생기거나 過負荷 運轉이 되거나 한다.

電壓低下는 全負荷電流를 증대시켜 電動機 加熱을 초래하는데 일반적으로 電磁開閉器, 過電流繼電器에 의하여 보호를 하고 있다. 그러나 電動機의 燒損에 이르지 않는 瞬時電壓低下에 대하여 이같은 保護裝置가 동작하면 설비가 정지하여 再始動에 시간을 쪼하게 된다.

따라서 瞬時電壓低下에 대해서는 動作하지 않는 保護裝置를 선정하여 사용하는 대책을 강구한다.

(5) 産業用 로봇

塗裝로봇이나 NC머신과 같은 産業用 로봇에서는 塗裝不良이 발생하거나 製作精度가 나오지 않는다는 등의 문제가 발생한다.

(6) 試驗設備

集塵器用 直流電源, 自動運轉의 試驗設備, 研究設備 등에서는 高度의 出力精度의 요구가 있는데 入力電壓이 변동하면 이같은 精度를 얻을 수가 없다. 이같은 設備에는 일반적으로 安定化 電源이 사용되고 있다.

(7) 水銀램프

構内 照明에 많이 사용되고 있는 高壓水銀램프는 20~30%의 電壓降下가 0.05~1秒間 계속되면 消燈된다. 일단 消燈되면 再點燈까지 數分~10數分을 요하므로 이 동안에는 생산이 정지되거나 事故로

연결될 위험성이 있다.

水銀램프의 消燈은 構内の 變壓器 投入時의 突入電流에 의한 電壓降下에 의하여 발생하는 수도가 있다.

(8) 力率改善用 콘덴서

力率改善用 콘덴서는 負荷의 力率改善과 함께 그 성질상 電壓을 上昇시키는 작용을 한다.

콘덴서를 많이 設置하고 있는 곳에서는 回路電壓이 負荷稼動時에는 負荷의 電壓降下와 콘덴서에서의 電壓上昇이 적합한데 輕負荷나 無負荷가 되면 電壓上昇이 현저하게 높아지는 경우가 있으며 콘덴서뿐만 아니라 다른 電氣機器의 수명을 단축시키는 등의 영향을 미친다.

通常 이같은 케이스에서는 콘덴서를 負荷狀況에 따라 개폐해야 되는데 遮斷器의 개폐빈도문제나 조작의 번잡성에서 ON상태로 방치하는 수가 있으며 가끔 콘덴서가 파손되는 경우가 있다.

(9) 負荷時 탭轉換器

電力의 安定供給이나 構内の 電壓安定을 위해 負荷時 탭轉換 變壓器나 負荷時 電壓調整器가 사용되고 있다.

電壓變動이 큰 곳에서는 이같은 탭轉換이 빈번해져 轉換器의 수명을 단축시킨다. 또한 탭을 轉換하기 위한 電壓檢出은 일반적으로 數10秒~數分인데 이에 가까운 周期로 變化하는 電壓變動에서는 헌팅이 생겨 電壓을 오히려 조장시키는 수도 있다.

이상 電壓變動이 電氣機器에 미치는 영향에 대하여 列記했는데 이에 의하여 電壓變動이 直接 機器를 파손하는 것은 극히 드물고 그 대부분이 設備停止나 製品不良 등의 操業低下로 연결되는 경우가 많다.

生産工場 이외의 연구소, 병원, 빌딩등에서는 조명이나 컴퓨터, 空調設備 등의 설비가 사용되고 있으며 前述한 바와 같이 照明的 감박거림이나 誤動作의 문제가 있는데 公共性이 강한 것부터 系統의 2重化, 非常電源, 無停電 豫備電源 등으로 대처하고 있다.

이밖에 여기서는 해설하지 않았는데 서지電壓에 의하여 電氣機器의 絶緣劣化가 진행되어 機器의 수명을 단축시키는 것도 간과할 수 없다.

5. 電壓變動對策

電壓變動의 電氣機器에의 영향을 앞에서 설명했는데 이에 대한 주요 對策方法에 대하여 설명한다.

電壓變動對策에는 機器의 電源強化를 目的으로 한 각종 安定化 電源을 사용하는 케이스가 일반적으로 보급되고 있는데 그밖에 保護強調나 機器 그 자체를 개량하여 대처하고 있는 것도 있다. 또한 電壓變動(ΔV)을 크게 좌우하는 것은 $\Delta V \approx \% X_s \cdot Q$ 이므로 電壓變動을 저감시키는 방법으로서 2 가지 방법을 생각할 수 있다.

① $\%Z_s$ 를 작게 한다. 즉 電源임피던스를 작게 하는 방법으로 이중에는 電源測의 임피던스뿐만 아니라 構内の 線路임피던스의 저감이나 構內 電力用 變壓器의 증설 등도 포함된다.

② Q 를 작게 한다. 즉 變動負荷에서 無效電力 Q 가 발생해도 이와 병렬로 설치한 對策裝置에 의하여 無效電力을 소거시키는 방법으로 이른바 無效電力補償에 의한 對策이다.

이같은 對策方法에 대하여 다음에 설명한다.

(1) 無效電力補償에 의한 對策

負荷와 並列로 접속하여 負荷가 발생하는 無效電力을 소거하여 電壓變動을 低減시키는 것으로 종래에는 바파리액터+同期調相器나 飽和리액터 + 並列 콘덴서의 鐵共振形 등이 사용되었는데 保守, 損失, 騒音 등의 문제가 있어 최근에는 사이리스터를 사용한 靜止形이 主流가 되고 있다.

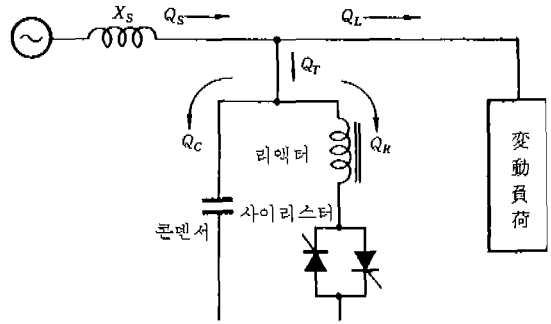
다음에 아크爐, 壓延機, 熔接機 등의 電壓變動對策에 많이 사용되고 있는 사이리스터形 無效電力補償裝置에 대하여 해설한다.

① 사이리스터形 位相制御 리액터 (TCR : Thyristor Controlled Reactor)

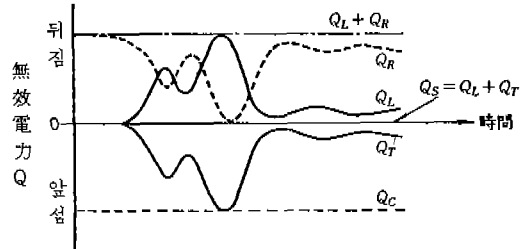
이 장치의 基本構成, 動作原理를 그림 3 및 그림 4에 들었다.

TCR은 變動負荷와 並列로 접속한 리액터의 電流를 사이리스터의 位相制御에 의하여 調整하고 負荷의 無效電力變動 Q_L 과 逆比例의 無效電力 Q_s 를 발생하여 電源에 흐르는 無效電力 Q_s 를 일정하게 함으로써 電壓變動을 低減시킨다. 즉 電壓變動 ΔV 는

$$\Delta V \approx \% X_s \cdot Q_s = \% X_s (Q_L + Q_T)$$



〈그림-3〉 TCR의 基本構成



〈그림-4〉 TCR의 動作原理

$$= \% X_s (Q_L + Q_R + Q_C) \approx \text{一定}$$

이 된다.

이 裝置는 負荷의 無效電力을 리액터의 無效電力으로 補償하기 때문에 力率의 低下를 초래한다. 따라서 통상은 並列로 콘덴서를 설치하여 사용한다.

TCR의 특징은 사이리스터의 位相制御에 의하여 無效電力을 연속적으로 制御할 수 있다든지 應答速度가 극히 빠르다(5ms), 保守가 용이하다는 등을 들 수 있다.

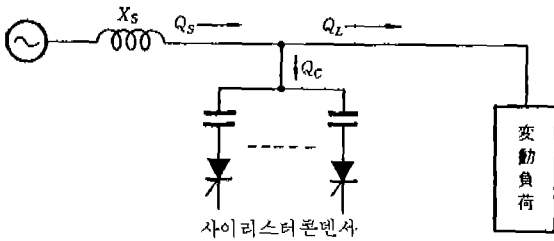
對象負荷로서는 아크爐나 熔接機등의 不規則적이고 急峻한 電壓變動對策을 중심으로 적용되고 있다.

② 사이리스터 開閉콘덴서 (TSC : Thyristor Switched Capacitor)

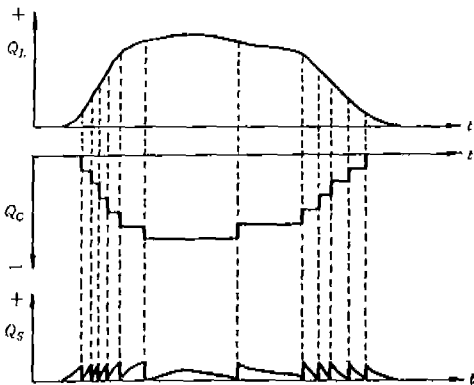
이 장치의 基本構成은 그림 5에 들었다.

TSC는 TCR와 마찬가지로 負荷의 無效電力 Q_L 에 따라 TSC의 無效電力 Q_C 를 흐르게 하여 電源에 흐르는 無效電力 Q_s 를 低減시키는 것인데 TSC의 경우 직접 콘덴서를 사이리스터로 On, Off를 하기 때문에 TCR와 같은 리액터는 필요치 않다.

사이리스터에 의한 콘덴서의 投入은 投入時의 突入電流나 電過壓을 피하기 위해 經해진 投入位相으로 點弧된다. 따라서 TSC에서는 TCR와 같은 位相制御를 할 수 없기 때문에 콘덴서를 數群의 뱅크



〈그림-5〉 TSC의 기본構成



〈그림-6〉 TSC에 의한 無效電力補償

로 나누어 단계적으로 無效電力 補償을 하고 있다. 이 상태를 그림 6에 들었다.

TSC는 콘덴서의 投入位相이 결정되기 때문에 應答性에서 뒤떨어진다. 또한 단계제어이기 때문에 비교적 완만한 電壓變動인 壓延機 등의 대책에 사용되는데 熔接機나 壓接機와 같은 周期的인 電壓變動인 경우에는 負荷와 同期를 취하여 적용하고 있다.

方式	說明
1 直列콘덴서補償 	電源側 리액턴스를 直列콘덴서로 補償한다
2 三相線變壓器 	零位回絡 ($x_1' - x_2'$)
3 相互리액터 	($x_1' - x_m$)

〈그림-7〉 電源임피던스의 低減方法

(2) 電源임피던스의 低減

電源임피던스를 低減시켜 電壓變動을 억제하는 방법으로는 그림 7과 같은 방법을 취하여 비교적 값싸고 좋은데 모두 對策裝置의 임피던스를 電源임피던스와 尙減되도록 하기 때문에 系統變更 등으로 電源임피던스가 變化한 경우에는 補償效果가 떨어진다.

이밖에도 受電電壓의 昇壓이나 回線의 並列受電 등이 있는데 경제적으로 高價로 되는 경우가 많으므로 다른 對策案을 충분히 검토한 후에 결정하는 것이 바람직하다.

(3) 빌딩내나 컴퓨터 등 一般機器에 사용되는 각종 安定化 電源

半導體 部品를 사용하는 電子機器나 컴퓨터, 制御回路 등에는 각종의 安定化 電源을 사용하고 있다.

주요 安定化電源으로서는 다음과 같은 것이 있다.

- ① 鐵共振形
- ② 可飽和리액터形
- ③ 通電時間制御形
- ④ 슬라이드레귤레이터形
- ⑤ CVCF形
- ⑥ 瞬時波形制御形
- ⑦ 發振器, 電力增幅形

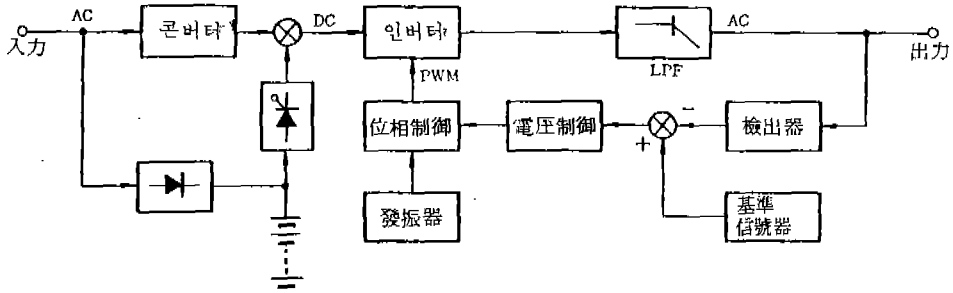
無停電電源으로서 사용할 경우에는 이같은 安定化 電源과 DC電源(배터리)이 併用된다.

安定化 電源의 일례로서 CVCF形 安定化 電源에 대하여 설명한다.

CVCF는 定電壓 定周波裝值(Constant Voltage Constant Frequency)의 略稱으로 交流入力이 變化해도 交流出力의 電壓 周波數가 일정하게 制御되는 장치로 그림 8에 이 制御原理를 들었다.

AC入力は converter에 의하여 平滑하게 된 DC로 變換되고 다시 인버터로 AC로 變換된다. 인버터에서는 AC出力이 一定電壓, 一定周波數가 되도록 PWM制御를 한다. 인버터에서의 出力電壓은 高周波를 포함하고 있으므로 LPF를 통하여 正弦波形이 된다.

한편 AC入力は 整流器를 통하여 배터리에 充電되고 있으며 AC入력이 停電되면 사이리스터스위치가 동작하여 인버터에 DC가 공급되어 CVCF는 전



〈그림-8〉 定電壓 定周波裝置 (CFCF)의 原理圖

전혀 無停電으로 電力을 공급할 수가 있다.

최근의 컴퓨터情報化 社會에서 시스템의 停止는 社會的 影響이 크며 CFCF가 수행하는 역할이 크다고 하겠다.

(4) 기타의 對策

① 保護協調

電壓低下에 따른 電動機의 過負荷를 방지하기 위해 過電流繼電器나 不足電壓繼電器 등을 설치하여 그 보호를 하는데 瞬時電壓低下나 瞬停이 발생해도 반드시 電動機를 回路에서 차단하지 않아도 되는 경우가 있으며 그때마다 보호장치를 동작시키는 것은 좋지 않다.

이같은 경우 電動機의 過負荷耐량을 고려하여 허용되는 한 보호장치의 整定値를 크게 하거나 動作時間을 지연시키는 電磁接觸器種(가령 遲延釋放形 電磁接觸器等)을 선정해야 된다.

② 瞬時再點燈形 水銀램프

高壓水銀램프는 電壓低下에 의하여 일단 消燈되면 再點燈되기까지 5~10분을 要한다. 이것은 水銀램프의 放電開始電壓이 電極間距離와 發光管内 蒸氣壓과의 積의 함수로 결정되며 일단 消燈된 水銀램프에서는 發光管内 蒸氣壓이 높기 때문에 放電

開始電壓이 매우 높아지기 때문이다.

이같은 상태에서는 再點燈시키는데 6000V 이상이 電壓이 필요한데 이것을 L-C의 共振回路에 의하여 발생하는 誘導起電力을 이용하여 실시하려고 하는 것이 瞬時再點燈形 水銀램프이다.

이 水銀램프는 2分 이내의 停電이나 電壓降下가 있어도 50% 이상의 實用光束을 바로 얻을 수가 있다.



최근에 컴퓨터의 보급에 따라 각종 온라인, 플랜트制御, 監視制御시스템, 排務管理 등이 중요한 역할을 수행하고 있다.

生産設備에서는 라인의 오토메이션화, 産業로봇, 사이리스터를 사용한 각종 콘트롤시스템 등 많은 電子機器나 제어장치를 사용하고 있다.

電壓壓動에 의한 이같은 중요한 시스템의 停止는 工場內뿐만 아니라 일반사회에 크게 影響을 미치게 된다. 한편 電壓變動의 發生源이 되는 負荷設備는 合理化에 따라 점차 大形化되고 있으므로 電源의 安定供給에 관심이 높아지고 있다.

따라서 앞으로 더욱 電壓變動對策의 역할은 커질 것으로 전망된다.

*