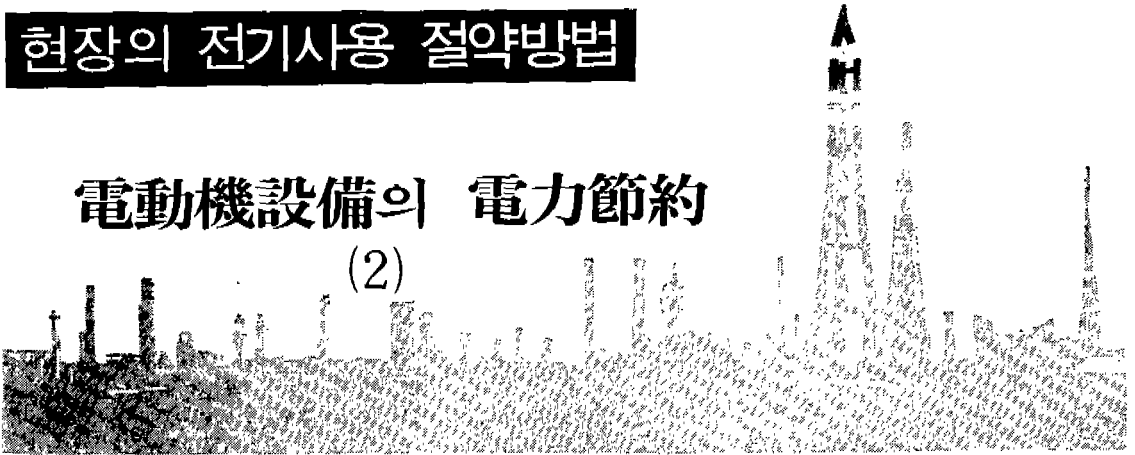


# 技師會員을 爲한 理論과 實務

## 현장의 전기사용 절약방법

### 電動機設備의 電力節約

(2)



製鐵所에서는 多數의 直流電動機가 사용되고있다. 이것은 速度制御의 必要性 때문이지만 최근에서 인버터시스템의 성능향상이 되며 특히 운전비(Running Cost)의 절감목적 때문에 直流機가 交流機化가 되어가고있다. 이번호에는 사이리스타·레오나드 시스템(Thyristor Leonard System)과 誘導機의 인버터 시스템(Inverter System)에 대하여 비교하여본다.)

#### 1. 直流機와 誘導機의 비교

直流機와 誘導機를 비교하는 경우에 일반적으로 直流機는 비교적 안정된 負荷에 사용되는 것이다. 規格에 있어서도 直流機는 과부하 耐量이 규정되어 지고 있지만 誘導機에서는 實用上 그런것이 없다. 최대 토크에 있어서도 誘導機는 直流機에 뒤떨어진다.

한편, 효율로 보면 絶緣의 중별이나 定格回轉數에 따라 다소의 차이는 있으나 效率의 차이는 그림

- 1과 같이 되어 誘導機쪽이 直流機보다 좋다. 부속기기에 대하여 설명하면 명확하게 직류기쪽이 界磁抵抗이나 부러쉬(Brush), 連續定格의 경우에 冷却器 등의 부속기기가 많다.

따라서 보수는 誘導機쪽이 손 쉽다. 기타의 요소를 비교하면 表-1과 같이 되지만 결론적으로는 誘導機는 경제적(효율, 가격, 보수성)으로 싼 값이 되며, 速度制御裝置의 성능만 좋다면 工業용 直流電動機의 분야에는 충분히 진출할 수 있다고 생각되어 진다.

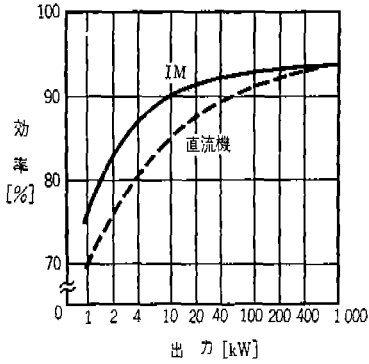


그림-1 直流機와 交流機의 效率例

표-1 直流機와 誘導機의 比較

	直流機	誘導機
過負荷耐量	○	×
最大토크	○	×
運轉性能	○	×
效率	×	○
構造	複雜	單純
寸法	거의 같음 (但 200 kW 以下)	
(同一容量)		
保守性	×	○
價格	×	○

(注) ○, × 은 優劣을 표시한다.

## 2. 싸이리스터 레오나드 씨스텀 과 인버터 씨스텀의 비교.

이제까지는 精度가 좋은 可變制御라고하면 당연히 直流機의 싸이리스터 레오나드 制御였지만 최근에는 인버터제어에서도 PWM제어나 벡터制御 (Vector Control)에 의하여 성능이 향상하고 直流機의 분야에 誘導機가 진출되어져 가고 있다. 直流機수준의 성능으로서는 無整流子 電動機가 있지만 공장에서의 전동기의 태반은 誘導機이어서 그러한 의미에서 인버터制御의 성능향상이 기대된다.

### (1) 원리

#### (1) 直流機

直流電動機의 인가전압을  $V$ , 界磁束을  $\phi$ , 電機子電流를  $I$ , 主回路抵抗을  $R$ , 비례정수를  $K$ 라하면 回轉數  $N$ 는

$$N = K \frac{V - IR}{\phi} = K \frac{E}{\phi} \dots\dots\dots(1)$$

가 된다. (단,  $E$ 는 逆起電壓)

이 경우 토크  $T$ 는 비례정수를  $K'$ 로 하여

$$T = K' \phi I \dots\dots\dots(2)$$

가 된다. (1) (2) 식에서 알 수 있는 바와 같이 直流電動機는 界磁束을 일정으로 하고 단자전압  $V$  (정밀하게 제어하게 하려면 逆起電壓  $E$ )을 제어하면 되며, 토크를 제어하려고하면 電流  $I$ 를 제어하면 된다. 速度特性曲線은 그림-2로 표시된다. 기준速度  $N_0$ 까지는  $V$ 를 상승시켜서  $V$ 가 정격전압이 된 후 界磁을 약화시켜서 속도를 높인다. 電動機의 특성으로는 기준속도까지는  $T$  일정, 즉 定토크특

性(出力電流  $I$ 를 일정으로 한다), 기준速度이상은  $V$  일정, 즉 定出力特性이다.

### (2) 誘導機

유도기의 속도는 極數를  $P$ , 전원의 주파수를  $f$ , 슬립률(Slip)를  $S$ 라하면

$$N = \frac{120f}{p} (1 - S) \dots\dots\dots(3)$$

가 된다. 따라서  $f$ 를 변화시키면 속도는 변화되지만 정밀하게 제어하기 위하여는 負荷에 따라서 슬립률(Slip)가 변화하기 때문에 슬립률의 보정을 필요로 한다. 더우기 誘導機에서는 直流機수준의 定토크 특성을 얻기 위하여  $V/f =$ 일정의 제어를 하고 있다. 이와같이 하면 誘導機의 속도토크 曲線은 그림-3과 같이 된다. 지금 부하토크  $T_L$ 가 일정한 경우  $f$ 를  $f_1, f_2, f_3$ 와 같이 변화시켜가면 속도는  $N_1, N_2, N_3$ 와 같이 되어 定토크특성을 얻을 수 있다.

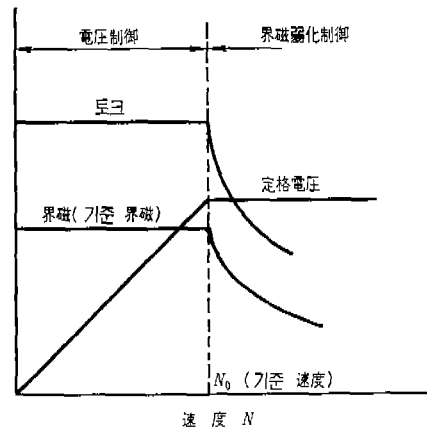


그림-2 直流機의 특성

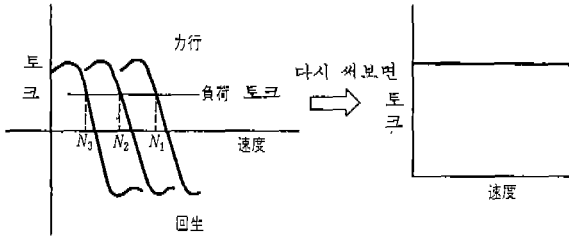


그림-3 誘導電動機의 특성

(2) 構成과 기본제어

(1) 構成 (구성)

싸이리스터 레오나드 시스템 (Thyristor Leonard System)과 인버터 시스템 (Inverter System)의 기본구성을 그림-4에, 각부의 기능과 부품을 표-2에 표시하였다. 기능과 부품은 거의 동일하다. 단, 부품의 사용점수(使用點數)는 구성이나 제어내용에 따라서 약간씩 다르다. 예컨대 제어에 있어서 인버터 시스템으로 벡터 (Vector) 제어를 하고 있는 것은 그만큼 點數가 많아지지만 일반적으로 實구성은 같다고 생각하여도 좋으며 따라서 實機器의 신뢰성도 그이 같다고 생각되어진다.

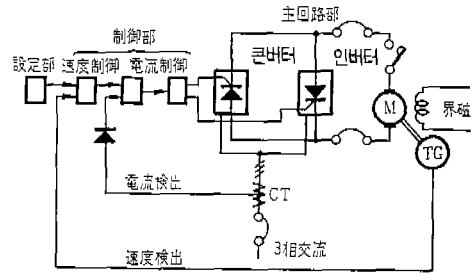
(2) 制御

싸이리스터 시스템의 主루프 (major loop)는 속도 제어이며 마이너 루프 (minor loop)는 電流制御이다. 전류는 토크 (Torque)에 비례하기 때문에 부하 (토크)의 급변을 전류로 수정동작을 하는 것으로 응답성 (應答性)은 좋다. 또한 속도 휘드백 (feed back)을 하고 있어서 속도의 제어정도 (制御精度)도 좋다.

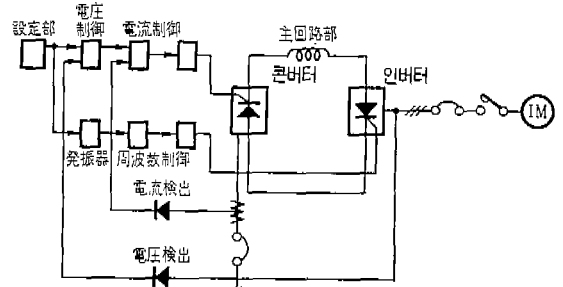
인버터 시스템 (Inverter System)에서는 기본적으로 그림-4에 표시한 바와같이 콘버터 (Converter)로서의 전압제어와 인버터 (Inverter)로의 주파

표-2 각부의 구성

	기능	구성 부품
設定部	속도設定 각종표시 및 경보	VR, 디지털스위치 램프, 아난시에이터 (Annunciator), 계기스위치
	운전정지조작	
제어부	제어, 연산	IC, 프린트, 基板, 제어유닛트
주회로부	교직변환 (交直變換)	싸이리스터, 트랜지스터, 리액틀, 콘덴서
	開閉 保護	開閉器 차단기
검출부	검출	PT, CT, TG



(a) 싸이리스터 레오나드 (可逆)



(b) 電流形 인버터

그림-4 기본 구성도

수제어로 나누어진다. 주파수제어는 오픈루우 (open loop)이며 그 정도 (精度)는 제어系の 精度로 정하여진다. 이주파수로 同期速度가 정하여진다. 전동기의 속도는 (3)식으로 정하여지며 부하 변동에 의한 슬립부분만큼 속도가 변동한다.

그림-4의 콘버터에서의 전압제어는 出力電壓을 주파수에 비례하여 변화하고 있는 만큼 規定토크 특성을 얻기위한 것으로서 속도제어의 기능은 없다. 전류형 인버터에서는 전압제어의 마이너 루프 (minor loop)에 전류제어가 있지만 이것은 과전류방지나 부하급변시의 속도변동 (過渡變動)을 적게 하기 위한 때문이다.

(3) 性能

표-3은 싸이리스터 레오나드·시스템과 인버트 시스템을 비교한 것이다. 이하주된 것의 보충설명을 한다.

(1) 속도제어범위

속도제어범위는 定格回轉數와 最低回轉數의 비율이다. 直流機에서는 電壓을 높으므로 속도제어 범위는 넓다. 인버터에서는 최저 주파수는 3~5Hz이다.

단 트랜지스터·인버트에서는 1Hz까지 가능한 것이다.

속도범위는 최대 주파수와 최저 주파수의 비이지만 최대주파수는 電流形으로 60~150Hz, 電壓形으로 200~1,000Hz, PWM형으로 100~200Hz이다. 표준사양의 최대주파수는 50~100Hz이다. 따라서 속도제어범위는 1 : (5~20)이지만 트랜지스터 인버터로 1 : 100을 실현한 것이다.

(2) 速度制御精度

성격속도가 No.의 경우, 부하를 무부하에서 전부하로한 경우의 속도변화를 ΔN로하면 정도(精度)는 (ΔN/No.)×100[%]로 표시된다. 사이리스터·레오나드에서는 속도 피드백(feed back)제어를 하고 있기 때문에 精度는 그이 速度檢出器의 精度로 決定된다.

인버터에서는 본질적으로 유도기의 슬립률(2~5%)만큼 速度가 변동한다. 그리고 精度를 올리기 위하여는 속도 피드백을 하여 슬립률의 제어나 벡터(Vector)제어를 한다. 이 경우의 精度는 1~0.5%가 된다.

(3) 應答性

응답성은 그림-5에 표시하는 바와같이 미소속도지령(微小速度指令)을 제단식으로 가한 경우 속도가 최종치에 도달하여 안정되기까지의 시간으로 대표되어진다. 전류마이내제어(電流minor制御)가 있는 경우는 전류제한값로 가속되어지기 때문에 가속토크가 크며 應答性이 빠르다. 전류 마이내제어가 없는 경우는 전류는 無制御의 상태에서 전원전압과 역기전압으로 결정되어 응답성이 나쁘다. 따라서 사이리스터·레오나드나 전류형인버터에서는 응답성이 좋으며 전압형인버터에서는 응답성이 나쁘다.

응답성이 문제가 되는 것은 부하급변시의 속도강하율과 회복시간인데 임팩트(impact) 성능은 사이리스터·레오나드에서 0.1~0.25[%·秒], 전류형인버터에서 0.2~0.5[%·秒], 벡터제어 등을 한 것으로서 0.1~0.25[%·秒] 정도이다.

(4) 可逆 운전·회생제동(回生制動) 사이리스터·레오나드에서는 三相부릿지(Bridge)可逆接續에 의하여 可逆運轉, 回生制動, 그리고 力行運動을 더하여진 4象限運動이 행하여진다.

전류형 인버터에서는 電流制御를 하고 있으므로 電流의 相回轉의 변경에 의하여 逆運轉이 인버터와 콘버터를 回生時에 역으로 동작시켜 줄이므로 回生運轉이 가능하지만 電壓形 인버터에서는 전류제어를 하고있지 않기때문에 逆側콘버터를 붙이지 않으면 逆轉과 回生運轉은 불가능하다.

(5) 과부하耐量

연속정격에 대하여 얼마만큼 과부하를 견수 있는 나이지만 사이리스터式 變換裝置는 熱容量이 적기 때문에 표준적인 사양에서는 표-3과 같이 된다.

〈표-3〉 性能比較表

	사이리스터 레오나드	電壓形	電流形	벡터제어 트랜지스터 인버터
速度制御範圍	1 : (10~200)	1 : (5~20)	1 : (5~20)	1 : 100
速度制御精度[%]	±(0.5~0.1)	±(2~5)	±(2~5)	±(1~0.5)
應答性	○	×	△	○
過負荷耐量[%]	(150~250) 1分間	150	同左	同左
可逆運轉	可 (인버터付)	可(回生콘버 터付)	可	可
回生制動	可 (인버터付)	同左	可	可
加減速特性	○	×	△	○
低速에서의高調波 토크	○	△	×	○
變換効率 (그리고 그값)	0.99	0.95	0.95	0.95

(6) 低速에서의 高調波토크(Torque)

交直變換裝置로 變換되는 電壓 또는 電流의 波形은 완전한 正弦波 또는 직류가 아니고 高調波를 포함한다. 전동기회로에 고조파전류가 흘렀을 경우 그 주파수에서 진동하는 高調波토크가 발생한다. 軸系의 고유진동수가 이주파수와 일치하는 경우는 共振상태가 되어 토크가 증폭되어 이상토크가 발생한다.

사이리스터·레오나드·씨스팀(Thyristo Leonard System)에서는 直流측에 흐르는 고조파전류의 주파수는 NP[Hz], P는 整流相數로서 三相 부릿지는 6, N는 整數가 되어 基本波에 대하여 6, 12, 18……의 次數의 고조파전류가 흘러 토크릿플(Torque ripple)이 발생하지만 특별히 문제가 되지는 않는다.

인버터에서도 변환된 波形은 완전한 正弦波가 아니고 많은 고조파를 포함한다. 인버터의 주파수를 fm이라고하면 고조파次數는 相數를 P, N를 정수라하면 NP±1이다. 따라서 6相인버터(3상부릿지결선)에서는 5, 7, 11, 13…… 次의 고조파가 발생한다.

이에 의하여 발생하는 고조파토크는 예컨대 5차, 7차의 高調波는 서로 회전방향이 逆이되어 결과로서 NP次의 고조파토크가 발생한다. 이값은 표-4에 표시한 바와같이 전압형보다 전류형 인버터쪽이 크다. 그 이유를 다음에 표시한다.

전압형에서는 전압파형이 이그러져서 6상 인버터의 경우,

$$v = \sqrt{2} V_1 \left\{ \cos \omega t + \frac{1}{5} \cos 5 \omega t + \frac{1}{7} \cos 7 \omega t + \frac{1}{11} \cos 11 \omega t + \dots \right\} \dots \dots \dots (4)$$

와 같이 전개된다. 그 결과 전류는

$$i = \sqrt{2} V_1 \left\{ \frac{\cos(\omega t - \varphi_1)}{\sqrt{R^2 + \omega^2 L^2}} + \frac{\cos(\omega t - \varphi_5)}{5\sqrt{R^2 + (5\omega L)^2}} + \frac{\cos(\omega t - \varphi_7)}{7\sqrt{R^2 + (7\omega L)^2}} + \dots \right\} \dots \dots \dots (5)$$

전류형에서는 電流波形이 이그러져

$$i = \sqrt{2} I_1 \left[ \cos \omega t + \frac{1}{5} \cos 5 \omega t + \frac{1}{7} \cos 7 \omega t + \frac{1}{11} \cos 11 \omega t + \dots \right] \dots \dots \dots (6)$$

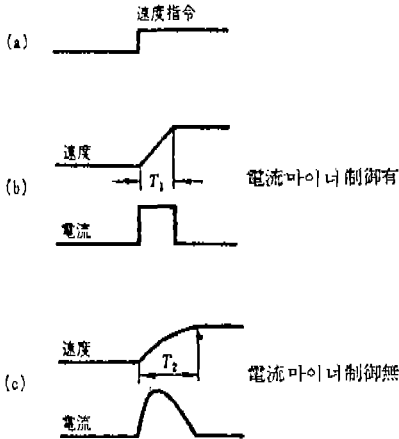


그림-5 應 答 性

표-4 高調波토크含有率의 例

高調波次數	電圧形인버터	電流形인버터
6 次	10%	10%
12 次	1	5
18 次	0.3	3.4
24 次	0.2	2.4

条件 運轉周波數 30 Hz (1/2 速度), 力率角 52 度  
負荷率 40%

그 결과, 예컨대 제 5次調波에서는 전압형의 경우로 基本波에 대한 비율은  $\sqrt{R^2 + \omega^2 L^2} / 5\sqrt{R^2 + (5\omega L)^2}$  전류형에서는 1/5가 되어 전류형쪽이 高調波이그러짐은 많아진다. 단 V<sub>1</sub>는 기본파 전압실효치, I<sub>1</sub>은 기본파전류실효치, Z=R+jωL는 電動機回路의 기본파에 대한 임피던스 (Impedance)이다.

일반적으로 軸系는 몇개의 共振周波數를 가지게 되기 때문에 이주파수와 고조파주파수가 합치하면 공진하여 고조파토크가 증폭되어 이상토크가 생긴다. 대용량 인버터에서는 12相, 18相, 24相 등의 多動形인버터로 하던가 또는 PWM제어를 하여 전압, 전류파형을 正弦波에 접근시킨다.

(7) 効率

交直丙換裝置의 효율은 변환장치의 主回路구성이나 제어방법에 따라서 달라진다. 그러나 싸이리스터·레오나드·시스템의 편이 인버터·시스템보다도 효율이 좋다. 이것은 전자가 콘버터 밖에 가지고 있지않고 (逆轉이나 미生 운전시에 인버터쪽이 동작하지만 콘버터와 인버터가 동시에 동작하는 일은 없다) 있는 것에 대하여 교류기의 인버터구동에서는 콘버터와 인버터가 동시에 동작하여 양자에서 손실이 발생하기 때문이다.

손실로서는 出力變壓器, 平滑리악터, 轉流콘덴서, 주회로 싸이리스터의 저항손이나 轉流時의 損失 등이 있다. 효율의 대충의 값은 싸이리스터방식에서 97~99%, 인버터방식에서 90~96% 정도이다.

### 3. 實際 機械에의 적용에 대한 검토

新設備의 건설에 있어서 종래 工業용직류 電動機를 사용하고 있던 라인(Line)에 유도기의 인버터 구동방식을 적용한 예를 소개한다.

(1) 배 경

설비에서는 싸이리스터 레오나드 시스템을 채용하고 있으나 보수에 잔손이 많이 가며 또한 냉각용송풍기가 필요하여 이를 위한 송풍덕터(Duct), 배관의 공간이 필요하며 더구나 송풍기의 전력비도 연간 3000만원 정도가 요하고 있다. 또 인버터 구동시스템도 년년이 기술수준이 향상하고 있으며 실적도 늘어 가고있다.

즉 초기경비, 운전비의 저감과 신기술의 채용이 목표하는 것이다.

**(2) 요구되는 기능**

可變速제어 시스템에 요구되는 기능은 표-5와 같다. 말할 필요도 없지만 가변속제어 시스템은 여러가지가 있어 經費面이나 성능적으로도 최적의 것을 선정하기 위하여는 먼저 요구되는 기능을 분명하게 하여두어야 한다.

**표-5 어떤設備의 速度制御機能**

項 目	機 能
制御의種類	速度制御 토크制御
速度制御範圍	1:50
速度制御의精度	定格速度에 대해 ±0.5[%]
適用電動機容量	3.7~11[kW]
加減速時間	0~최대 30[秒]
인덕트性能	0.5[%·秒]
回生運轉	有
逆 転	有 (단 制御는 대충하여도 좋다)
運轉 狀況	連續
負荷 特性	定토크

**(3) 기본기능의 선정**

본설비의 경우는 속도제어범위가 1:50으로 넓으며 또한 토크제어를 하기때문에 표준전압형, 전

류형 인버터에서는 적용이 불가능하다. 따라서 대형 트랜지스터를 사용한 트랜지스터·인버터를 채용하기로 하였다. 트랜지스터·인버터는 값이 싸고 또한 單機容量은 22~45KVA이며 11KW의 전동기구동은 가능하다.

**(4) 채용에 있어서의 검토사항**

제일 먼저 표-5의 요구되는 기능을 만족하는 기종을 고르는 것이다. 특히 납일 실적이 없는 것에 대하여는 제작회사의 설명을 충분히 듣고 그 신뢰성을 판단하지 않으면 안된다. 신뢰성과 신기술과는 상반하는 것이지만 신뢰성을 중요시한 나머지 구기술을 채용한 것으로서는 기술적인 구기술을 채용한 것으로서는 기술적인 발전은 없으며 고속라인(line)설비에서는 고조파토크립플(Torque ripple)에 의한 軸系와의 공진이 문제가 되고 있어서 이점의 검토가 필요하다.

표-6은 사이리스터 레오나드방식과 트랜지스터 인버터방식을 비교한 것이다. 특히 경제면에 있어서는 초기투자비는 10%정도 트랜지스터 방식이 높지만 종합효율은 트랜지스터 방식이 4%정도가 좋다. 가격은 인버터방식이 보급됨에 따라 사이리스터 레오나드 방식과 같은 정도가 되는 것으로 생각되며 그 의미로 효율이 좋은 인버터 방식은 유리하게 된다.

**표-6 어떤 設備의 驅動方式檢討時的 比較**

		電 動 機	変 換 装 置	사이리스터變壓器	브록릿플	負荷베런스	總合效率	初期投資費 (總合)
사이리스터 方 레오나드		DC 5.5 kW 1 150 RPM 全負荷效率 80% 過負荷耐量 150% 1 分間	DC 440 V 35 kVA 最高力率 80% 過負荷耐量 150% 1 分間 全負荷效率 97%	40 kVA 400/460 V 全負荷效率 98% 過負荷耐量 150% 1 分間	無視할 수 있다	直列低抗에의 影響에의 特性에 의한다.	全負荷時 76%	100%
트랜지스터 方 인버터		AC 5.5 kW 4 P 全負荷效率 90% 過負荷耐量 130% 1 分間	AC 220 V 30 kVA 力率(全速度範圍) 90% 以上 過負荷耐量 130% 1 分間 全負荷效率 95%	35 kVA 400/200 V 全負荷效率 98% 過負荷耐量 150% 1 分間	PWM 制御 때문에 무시할 수 있다.	電動機의 스릿플에 의함	全負荷時 84%	110%

**4. 용어 해설**

글중에서 \*표의 것에 대한 용어해설을 한다.

**(1) PWM제어**

펄스幅變調(Pulse Width Modulation)를 말한다. 인버터의 출력파형에는 대별하여 그림-6에 표시하는 파형이 있다. PWM제어에서는 인버터로 직류전압을 반사이클 중에 재단(裁斷)하고 가변의 교류전압, 주파수를 얻는다. 이 시스템에서는 전동기

(32p에 계속)

다. 其他

1) 發電所 構内の 施設

가) 外部人의 出入을 統制하는 外柵 및 出入口을 鎖錠할것.

나) 外柵 出入口等 適當한 個所에 危險表示 및 出入禁止의 標識를 할 것.

다) 發電所 本館 및 附屬建物の 出入口에는 鎖錠을 하고 本館의 木製窓枠에는 鐵格子로 適當히 補強할것.

2) 屋內換氣扇의 設置

無人化後의 室內溫度 上昇을 檢討해서 必要하면 換氣口의 增設 또는 換氣扇의 設置等 對策을 講究할 것.

3) 配電設備 및 通信線

配電線 引込方法의 簡素化, 通信電燈 電力設備의 整理 簡素化 等 補修의 合理化

4) 所內浸水 排水對策

(77p에서 계속)

構内 및 發電所의 浸水, 排水對策으로 排水 Pump Route를 二重化하기 爲한 改造를해야할 것 等이다.

8. 結 論

가. 自動化는 水力發電所 僻地勤務者의 苦衷을 Computer를 利用함으로써 人道的 見地에서 解消하는 經營의 合理化라고 할 수 있으며.

나. 給電指令所에서 直接 各 發電所를 統括하던 것을 母制御所만 調整함으로써 復雜해져 가는 電力系統을 簡單히 運轉할 수 있으며.

다. 앞에 論한 諸方法은 先進國에서 施行中에 있는 方式으로서 우리의 實情에 맞도록 老朽設備를 改造하며 經濟的인 運轉을 할수 있도록 年次的으로 進行中에 있다.

에의 교류전압, 전류가 거의 正弦波가 되어 저속에서의 특성(특히 토크립들이 적게된다)이 현저하게 개선된다. 전압, 주파수의 가변방법을 그림-7에 표시한다.

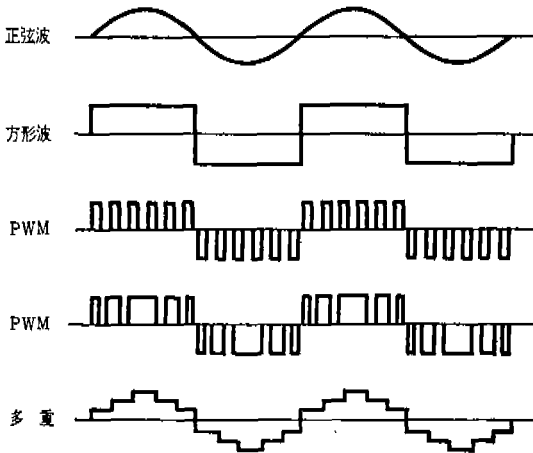
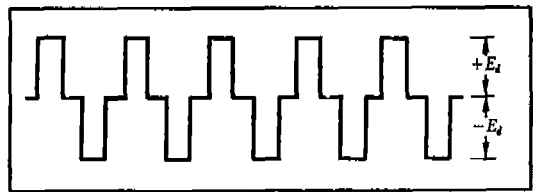
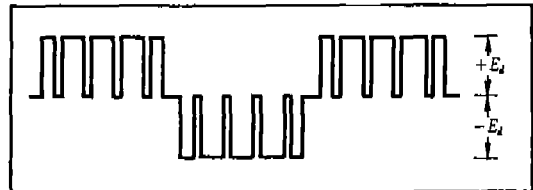


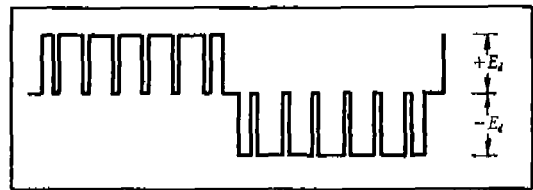
그림 - 6 종제어방식에 의한 출력파형



周波數 "高"  
電壓 "高"



周波數 "中"  
電壓 "中"



周波數 "低"  
電壓 "低"

그림 - 7 PWM형 인버터의 전압·주파수제어