

에너지使用合理化를 위한
交流電動機의 速度制御

VVVF 裝置와 效果的인 使用法

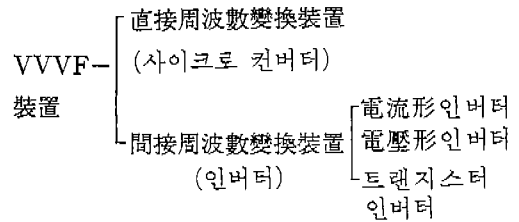
金 善 慶 譯

최근에는 에너지使用合理化의 사회적인 요구에 부응하기 위하여 送風機·펌프의 電力節減을 위한 可變速化가 성행되고 있다. 이제까지는 이들 流體機械에 籠形誘導電動機의 定속구동이 많았으며 이를 可變速化하기 위하여 VVVF 인버터나 電磁커플링·流體커플링이 쓰여졌는데 기설의 送風機·펌프에서는 기존의 설비를 이동시키지 않고 그대로 流用할 수 있고 또 電力節減의 효과가 많기 때문에 VVVF 인버터장치를 도입하는 케이스가 많았다. 여기서는 電力節減을 하기 위한 VVVF 인버터의 최근의 동향과 有效한 사용법을 중심으로 실시예를 들어 소개하고자 한다.

1. 籠形誘導電動機·同期電動機의 可變速驅動方式

籠形電動機나 同期電動機를 速度制御하려면 一次周波數와 電壓을 동시에 可變시킬 수 있는 VVVF裝置에 의하여 실현이 된다.

VVVF裝置는 周波數變換裝置의 총칭으로서



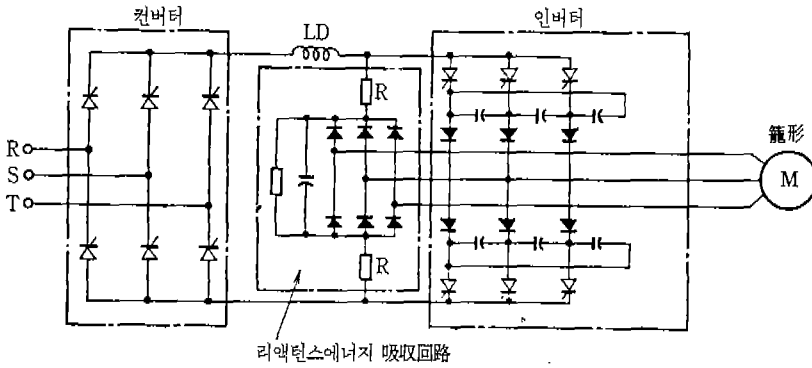
최근에는 특히 파워일렉트로닉스에 의한 사이리스터 인버터장치가 많이 실용화되어 있다.

(1) 電流形 인버터

그림 1에 표시하는 전류형인버터는 電流制御能力이 있는 컨버터부, 周波數를 바꾸는 인버터부, 電流平滑을 위한 直流리액터 L_D , 리액턴스에너지 흡수회로 및 제어회로로 구성되어 인버터부에 轉流裝置를 내장한 自勵式인버터이다.

電流形의 특징은

(i) 順變換部의 位相制御에 의하여 電動機의 운전모드에 다른 4象限드라이브가 가능하다.



<그림 1> 電流形 사이리스터인버터의 基本回路

(ii) 電流制御能力을 본질적으로 가지고 있기 때문에 급격한 加減速運轉에 적합하다. 등 사이리스터 레오나드와 동등한 성능을 낼 수 있는 電力變換裝置이다.

최근에는 電力節減을 위한 電動機驅動裝置나 단순한 可變速裝置로서 뿐만 아니고 벡터제어를 부가한 고성능의 可變速裝置도 실용화되어 앞으로 主流形인버터의 적용 범위가 더욱 넓어질 것으로 기대된다.

(2) 電壓形 인버터

電壓形인버터는 低임피던스의 電壓源이고, 出力電壓의 제어방식에 의하여 다음과 같은 두 가지가 있다.

- (i) PAM(Pulse Amplitude Modulation) 방식
 - (ii) PWM(Pulse Width Modulation) 방식
- 일반적으로 中·大容量에서는 그림 2에 표시

하는 PAM方式이 많이 이용되고 있다.

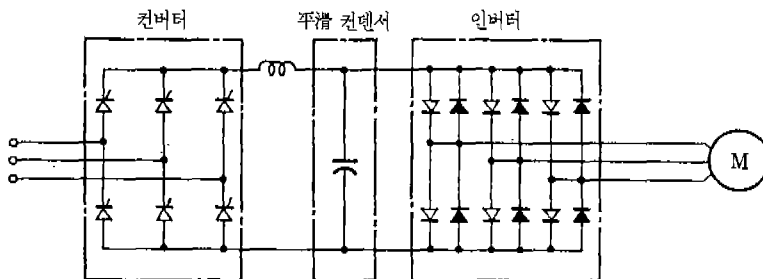
최근 流體機械에서의 응용면에도 多量化技術과 함께 채택되고 있으나,

- (i) 加減速빈도가 높은 용도보다 비교적 완만한 變速에 적합하다.
 - (ii) 轉流서지電壓은 平滑콘덴서의 작용으로 낮게 억제된다.
- 등의 특징이 있다.

(3) 트랜지스터 인버터

근래 파워트랜지스터의 출현으로 電動機드라이브를 위한 트랜지스터 인버터가 급속하게 실용화되어 왔다. 수십 kVA 이하에서는 사이리스터 인버터보다 경제적으로 우위에 있다고 하며,

- (i) 小容量의 汎用可變速驅動
- (ii) 高速電動機의 驅動



<그림 2> 電壓形 사이리스터인버터의 基本回路

(ii) 小容量電動機의 高性能驅動 등, 특징을 살린 驅動시스템에 적용되고 있다.

(4) 사이크로 컨버터

사이리스터 컨버터는 직접 商用電源과 다른 周波數를 얻는 電力變換裝置인데, 대개는 大容量이며 正弦波變調, 低周波變換裝置로서의 용도가 늘어나리라 생각된다.

2. 電力節減을 위한 VVVF 인버터의 동향

(1) 大容量化와 多重인버터

종래의 인버터는 섬유의 실을 감는 기계에서 볼 수 있는 그룹드라이브나 小容量電動機의 單體可變速에 쓰이는 등 대체로 100kVA 이하의 용도에 많이 사용되어 왔으나 최근에는 에너지 節減 의식이 확산됨에 따라 送風機, 펌프용의 中·大形電動機의 可變速化를 촉진시켰고 특히 사이리스터 인버터의 大容量化를 이루게 되었다.

인버터장치는 그 出力波形이 方形波이기 때문에 素子の 並列만으로 大容量化를 하는 것이 아니고 位相을 비켜놓은 多量方式이 채택되었다.

즉 多量인버터는 다음과 같은 이점이 있다.

- (i) 電動機가 발생하는 脈動토크성분이 줄어든다.
 - (ii) 電動機의 高調波損失이 줄어든다.
 - (iii) 轉流리액턴스 電壓이 줄어든다.
- 등이다.

그림 3은 2重化된 電流形 인버터의 두 가지 方式을 표시하고 있다.

그림(a)는 30°位相差가 있는 2組의 出力을 變壓器捲線으로 결합한 방식이다. 高壓電動機를 多重인버터로 驅動할 경우 인버터出力電壓과 電動機의 電壓이 많이 다르므로 이 方式이 채택된다.

그림(b)는 30°位相差가 있는 2組의 出力을 직접 결합시킨 方式이다. 200V나 400V급의 電動機에 이 方式을 적용한다.

다시 多重化한 變壓器結合方式을 그림 4에 표시한다.

24相(4重)方式은 일반적으로 大容量이 되기 때문에 電源에의 高周波外亂을 고려하여 入力 變壓器의 2次捲線을 Y, Δ로 분리한 방법이 채택된다.

여기서 多重數와 토크脈動成分의 관계를 열거하면 다음과 같이 된다. f 는 인버터 出力周波數이다.

6相方式—— $6f, 12f, \dots$

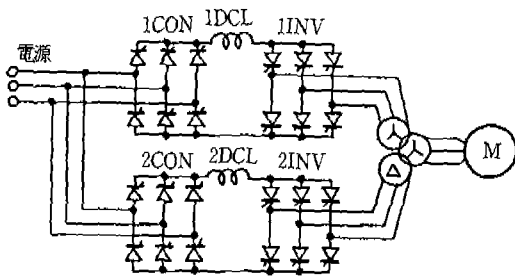
12相(2重)方式—— $12f, 18f, \dots$

18相(3重)方式—— $18f, 24f, \dots$

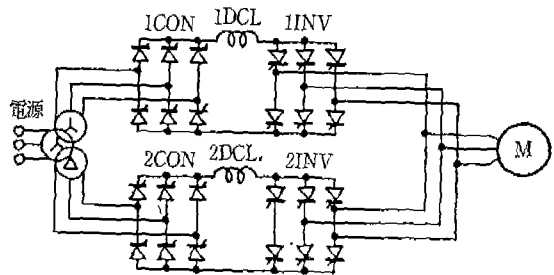
24相(4重)方式—— $24f, 30f, \dots$

이와 같은 多重方式으로 대략 4000~5000 kVA의 인버터장치가 현재 가동하고 있는 예도 있다.

(2) 電力節減驅動시스템에서 파생한 應用制御 流體機械의 電力節減드라이브를 하는데 파생

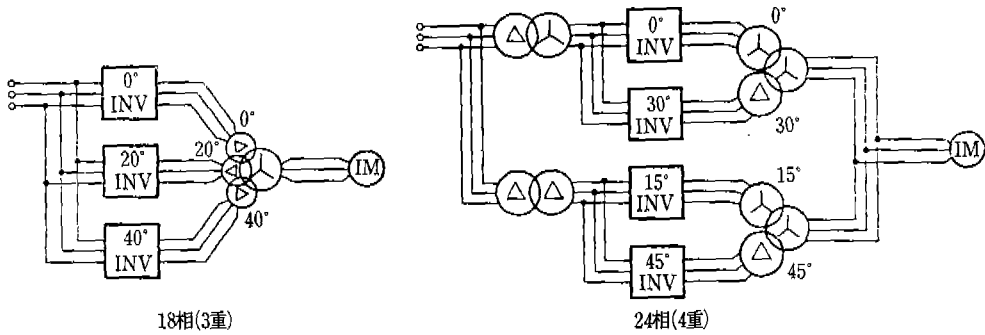


(a) 變壓器結合



(b) 直接結合

<그림 3> 12相(2重)方式



<그림 4> 出力變壓器의 結合方式

되는 인버터驅動 固有의 制御技術에 대하여 기술키로 한다.

(a) 쇼크레스 同期引入制御

送風機의 On-Off 운전과 復數台的 고빈도 起動用으로서 인버터장치를 이용할 때 관성에 의하여 들고 있는 送風機를 다시 가속시키고자 할 경우가 있다. 이때에는 관성으로 도는 回轉數 또는 周波數를 검출하여 인버터 周波數를 同期시켜서 쇼크레스에 인버터驅動을 引入시켜 가속시킨다. 이 검출에는 다음과 같은 세 가지 방법이 있다.

- (i) 回轉計에 의한 검출
- (ii) 電動機의 殘留電壓에서 同期周波數를 검출
- (iii) 인버터의 周波數를 끌어내어 同期周波數 검출

이들의 방법은 용도나 운전패턴 등에 따라 사용이 구분되고 있다.

(b) 同期교체制御

電力節減驅動시스템에서는 인버터운전에서 商用電源으로 교체하는 일이 빈번히 행하여지고 있다.

이 制御方式은 電動機의 誘起電壓과 다음에 투입하는 商用電源의 電壓位相을 맞추어 즉 同期를 잡아 쇼크레스에 電源을 옮기는 방식이다.

이 교체制御는 다음과 같은 경우에 적용된다.

- (i) 可變速패턴중에 商用周波數運轉을 할 때는 商用電源으로 교체하여 綜合效率의 향상을 도모한다.
- (ii) 인버터장치의 용량을 조금이라도 줄이기 위하여 使用周波까지 인버터의 過負荷耐量으로 가속하여 使用電源으로 교체한다.
- (iii) 復數電動機의 加速用으로서 1組의 인버터를 적용하였을 때 등이다.

3. VVVF 인버터 裝置의 効果적인 使用 방법

電力節減의 基本的인 방안으로

(i) 適正出力의 調整

- 空轉시간을 줄이기 위한 On-Off 운전
- 적정출력(예를 들면 流量) 조절을 위한 回轉數制御

(ii) 所要動力의 節減

- 電氣機器의 效率向上
- 設備機械의 效率向上

이 있다.

인버터장치의 効果적인 使用방법으로서 (i)에 대하여 기술한다.

(1) ON-OFF 운전을 위한 驅動裝置로서

誘導電動機의 On-Off 운전에는 기계적인 반 복응력에 의한 피로를 고려하여야 하는데 電氣

的으로는 가속시의 2次損失에 의한 發熱이 큰 문제가 된다. 이 2次에서 소비되는 에너지 W_2 는 다음식으로 표시된다.

$$W_2 = \frac{GD^2}{730} \cdot N^2 \cdot \frac{T_M}{T_M - T_L} (S_i^2 - S_0^2)$$

여기서 GD^2 : 負荷와 電動機의 全 GD^2

[kg·m²]

N : 同期回轉數[rpm]

T_M : 電動機의 軸토크 [$N \cdot m$]

T_L : 負荷토크 [$N \cdot m$]

S_0 : 加速完了時點의 슬립

S_i : 加速開始時의 슬립

$T_M/(T_M - T_L)$ 은 실제의 특성이 복잡하기 때문에 여기서는 근사한 定數 K 에 포함시키기로 한다. 따라서

$$W_2 \approx K \cdot GD^2 \cdot N^2 (S_i^2 - S_0^2)$$

이 된다(그림 5 참조).

(i) 商用電源起動에서는

$$W_2 \approx K \cdot GD^2 \cdot N^2$$

가 되어, GD^2 와 N 의 2乘에 비례한 손실이 된다.

(ii) 1:2의 極數變換電動機에서는

$$W_2 \approx (K/2) \cdot GD^2 \cdot N^2$$

이고 商用電源起動의 1/2이 된다.

(iii) 1/2속도까지 인버터加速, 1/2速度 이상은 商用電源加速일 때

$$W_2 \approx (K/4) \cdot GD^2 \cdot N^2$$

이 된다.

중간속도까지 인버터로 加速하는 방법은 流體機械에서는 小容量의 인버터장치가 적용되기

때문에 잘 쓰이는 驅動法이다.

全加速범위를 인버터만으로 행하면

$$W_2 \approx K \cdot 2S' \cdot GD^2 \cdot N^2$$

이 된다.

加速中の 슬립 S' 는 극히 적으므로 이때의 W_2 는 商用電源 起動時의 약 數%이다.

이와 같이 VVVF 인버터는 送風機와 같은 GD^2 가 큰 負荷의 On-Off운전이나 可變速운전의 驅動裝置로서 有效하게 이용된다. 또 가속시의 電流가 制御되기 때문에 電源의 부담도 적어진다.

(2) 流體機械의 驅動裝置로서

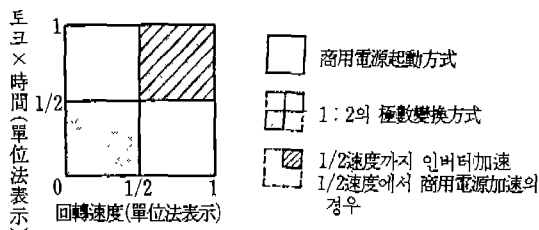
送風機·펌프의 2重체감부하토크인 설비에서는 간헐적으로 전체 부하를 걸 때 可變速을 하면 節電이 많이 된다는 것은 잘 알려져 있다.

그림 6은 이 효과를 단적으로 보여주고 있다.

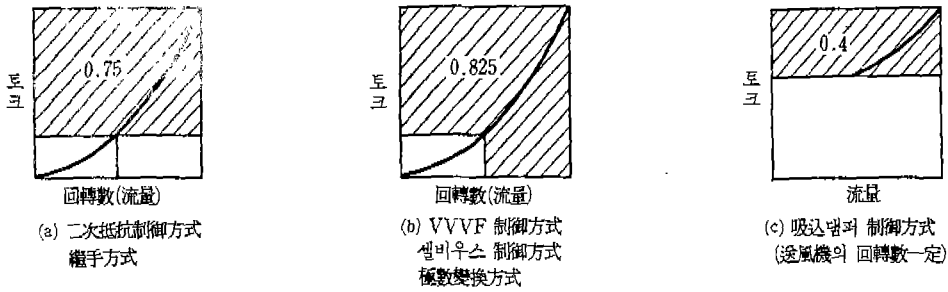
여기서는 所要流量이 꼭 1/2일 때의 節電量을 制御方式別로 표시하고 있다. 2次抵抗制御에 속하는 방식은 속도를 내린 슬립분만큼 2次損失이 생기는 방식으로 原理적으로 12.5%만큼 VVVF 제어에 비하여 節電效果가 줄어든다. VVVF제어에 속하는 방식은 87.5%로 節電效果가 가장 크다.

變速時的 節電效果는 댐퍼제어와의 차로 표시하는 것이 현실적이고 이 그림의 예에서는 VVVF 제어의 節電效果는 42.5%라 할 수 있을 것이다. 이 중에서 셀비우스方式은 捲線形誘導電動機에 적용되는 방식이기 때문에 기설 설비에서는 한정이 되며 또 신설하는 데도 S링 주위의 보수 등 번거로운 문제가 있다.

極數變換方式은 가장 심플한 시스템이지만, 일반적으로 2단계의 變速으로 流量調整의 自由度가 낮고 고빈도 加減速에는 適合치 않다는 制約條件이 따른다. 電力節減을 위한 驅動시스템을 계획할 때 節電效果뿐만이 아니고 設備코스트, 流量制御量, 流量調整패턴, 기설인지 신설인지 등을 고려하여 設備에 맞는 驅動시스템을 채용하여야 한다.



<그림 5> 加速時 2次損失 에너지의 面積表示



<그림 6> 驅動方式과 節電效果

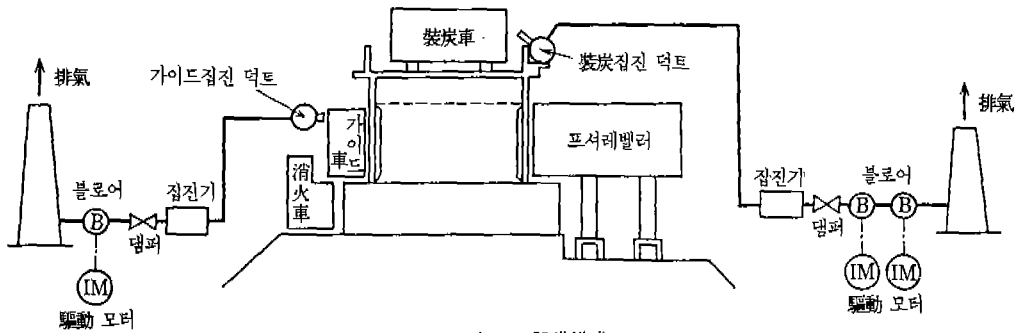
4. 電力節減 驅動에 電流形 인버터를 적용한 실시 예

중전 연속운전을 하고 있던 설비가 필요없게 되었을 때 운전을 정지시킨다는 電力節減의 기본목적이 적용될 수 있는 설비에는 鐵鋼設備 코크스爐의 집진블로어가 있다. 이 코크스爐는 高爐의 전처리설비로서 石炭을 乾溜하여 코크스를 제조하는 설비이다.

이 설비는 裝炭車에서 石炭을 爐에 떨어뜨려 넣을 때 石炭粉末의 분진이 발생한다. 또 코크스를 爐에서 꺼낼 때는 푸셔로 밀어 가이드車を 통하여 消火車에 떨어뜨리는 작업이 실시되고 이때에도 발진이 된다. 집진블로어는 이 분진을 덕트에 흡입시켜 집진기를 통과하도록 하여 분진이 없는 空氣를 排氣시키기 위한 설비이다. 이 발진의 간격은 裝炭 때나 꺼낼 때나

에너지를 절약할 방법은 많습니다 !!

- ≡ 가정에서 보면 손쉽게 에너지를 절약할 수 있는 부문이 많습니다.
- ≡ 차량 소유자는 경제적인 운전방법을 습득해 나가야 합니다.
- ≡ 상가·사무실 등 건물부문에서도 조금만 관심을 가지면 에너지를 10%~20%까지 절약할 수 있습니다.
- ≡ 에너지를 한해 10%만 절약하면 제2경인고속도로 4개 건설이 가능합니다.
- ≡ 산업부문에서도 조금만 노력하면 큰 투자없이 에너지 소비를 줄일 수 있습니다.



<그림 7> 設備構成

대략 8분이며, 발진 3분, 비발진 5분의 패턴이다. 電力節減의 관점에서는 비발진시는 블로어의 운전을 중지하고 발진시만 운전하는 것이 바람직하지만 일반적으로 이와 같이 고빈도의 起動·停止는 電動機의 2次 損失때문에 負荷 GD²가 큰 블로어에서는 불가능하다. 이 때문에 이제까지는 흡입댐퍼의 개폐에 의하여 電力節減을 하고 있었다. 그런데 電流形 인버터를 도입함으로써 이 고빈도가속을 가능케 하고 다시 대폭적인 電力節減효과를 얻을 수 있다(그림 7 참

조).

(1) 驅動 시스템 構成

그림 8에 표시하는 바와 같이 하나의 코크스 爐에 대하여 가이드집진 블로어 1대, 裝炭집진 블로어 2대로 구성되어 있으며 각기의 驅動用 電動機는 籠形으로서 아래와 같은 정격으로 되어 있다.

(i) 가이드집진 블로어

全閉外扇·屋外形 : 230kW, 6극 } 1대
3.3kV

(ii) 裝炭집진 블로어

全閉外扇·옥외형 : 210kW, 4극 } 2대
3.3kV

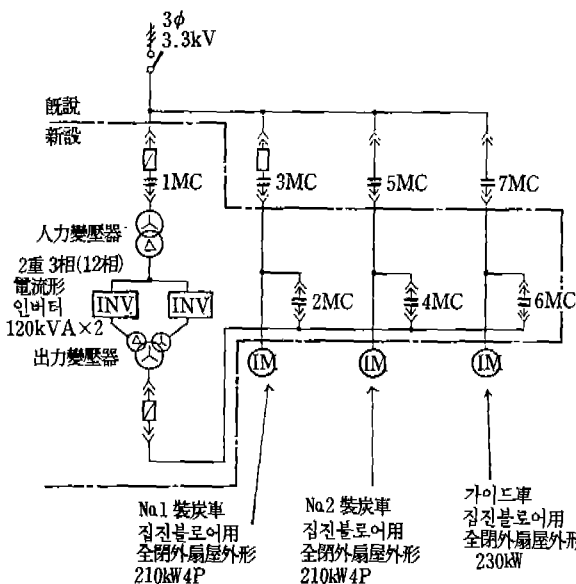
이 3대의 電動機에 대하여 240kVA 1세트의 電流形 인버터를 적용시킴으로써 설비비를 극력 억제한 시스템구성으로 되어 있다.

(2) 運轉方式과 電力節減效果

그림 9는 起動시퀀스의 개요를 표시한다. 블로어起動은 댐퍼를 全閉하고 실시하여 100%속도까지 가속시켜 商用電源으로 교체시킨다. 電源의 교체에는 同期交替制御를 채택하고 있다. 商用電源으로 완전히 교체한 후에 댐퍼를 열어 집진을 한다.

집진시간이 지나면 電源을 끊고 동시에 댐퍼를 닫고 블로어를 관성으로 돌게 한다.

다음에 가속시킬 때의 動力으로서 관성에너



<그림 8> 시스템 構成

지를 최고로 유지하기 위해서는 댐퍼를 달고 감속시키는 편이 바람직하다고 하겠다. 관성으로 돌고 있는 시간 4분 정도에서는 블로어는 저속도로 회전을 계속하고 있는 상태이고, 여기에 再加速指令이 있으면 관성으로 도는 회전수를 검출하여 쇼크레스에 同期引入을 한다. 그로부터 약간의 時限後 가속을 시작하여 On-Off 운전의 1사이클이 완료되기 때문이다.

電力節減效果로서는 그림 9에서 표시하는 운전을 하여 1사이클 8분, 집진시간 4분으로 3대

를 합하여 댐퍼제어시와 비교하면 대략 650 MWh/년이 된다.

(3) 인버터 驅動에 따른 문제점

이 電力節減設備의 특징은 앞서 기술한 바와 같이 고빈도의 On-Off 제어이고 이에 따른 電動機·블로어 자체의 문제와 인버터 驅動에 따른 문제가 담긴 설비라 할 수 있다.

이 설비의 계획단계에서 사전에 검토한 항목을 열거한다.

- 반복되는 遠心應力·加速應力の 검토
- 脈動토크에 의한 軸의 攪임共振의 검토
- 同期引入制御와 同期 교체制御法
- 轉流 리액턴스 電壓의 저감
- 出力變壓器의 過飽和容量의 검토
- 低速運轉에서의 軸의 油膜절단
- 電動機軸電壓의 검토

定速運轉의 사양으로 설계된 기설 電動機나 블로어는 반복응력의 검토가 중요하다.

軸系의 攪임共振周波數는 裝炭에서 15.1Hz, 가이드에서 20.9Hz이고 12相 인버터를 채택함으로써 主軸이 共振하는 電動機回轉數는 각기

$$37.8\text{rpm, 즉 } (120 \times 15.1 / 12) / 4$$

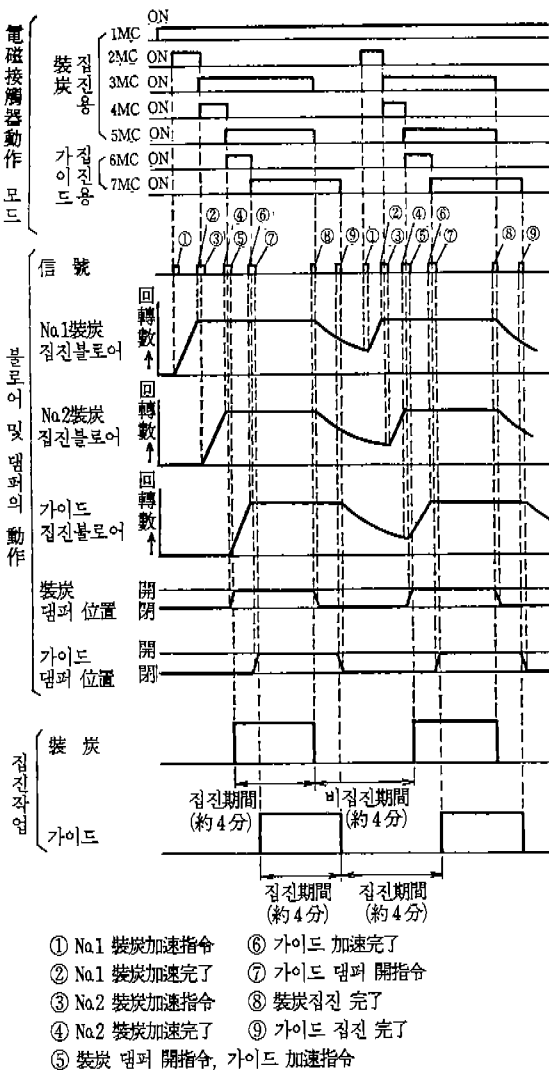
$$34.9\text{rpm, 즉 } (120 \times 20.9 / 12) / 4$$

出力變壓器의 過飽和容量은 電動機의 低周波起動時에 고려되는 문제이고, 配線거리가 수 100m 이상으로 길 때는 주의하여야 한다.

* * *

당초부터 電力節減은 효과가 현저한 中·大容量風水力機械의 可變速化와 送風機 자체의 효율향상을 주로 실시하였다. 앞으로 파워일렉트로닉스 기술의 포플러화와 러닝코스트의 양등으로 인하여 小容量의 분야에도 범용 트랜지스터 인버터 등을 포함한 電力節減을 위하여 可變速드라이브가 더욱더 시장을 넓혀가리라 생각된다.

☞ 다음 호에 계속



<그림 9> 各機器의 動作