

交流機의 벡터制御方式

鄭 然 澤

目 次

- 1. 序 論
- 2. 벡터制御의 基本原理
- 3. 等價直流機常數에 關하여
- 4. 磁界 오리엔테이션 制御에의 應用
- 5. 스틱周波數制御에의 應用
- 6. 大容量領域에의 展開
- 7. 結 論

1. 序 論

인버터에 의한 交流機 可變速 시스템은 變換器의 발달과 더불어 많은 分野에서 이용되게 되었다. 그 중에서도 籠形誘導電動機의 周波數制御시스템은 그 良好한 保守性 또는 環境性 등이 있기 때문에 確實하게 實用化가 추진되고 있다. 그러나 交流機의 可變速시스템은 아직도 制御性의 點에서 어려움이 있고 이 點을 근본적으로 檢討하지 않으면 直流機의 可變速 領域에는 미치지 못하는 어려움이 있다.

중래 周波數制御를 생각하는 경우, 연속적으로 周波數가 변화하는 것으로 보아 靜인 토크-速度群을 想定하는 것이 일반적이었으나 直流機에 等價인 制御性을 追求하는 경우 周波數라는 平均值的 概念을 버리고 電壓 또는 電流의 時時刻刻의 값에 주목하여 瞬時值制御라는 근본으로 되돌아 가지 않으면 아니된다.

벡터制御方式은 分捲直流機의 토크 發生原理를 基本으로 해서 交流機의 固定子電流의 瞬時值制御에 의해서 分捲直流機에 等價인 토크 發生方式을 追求한 것이다. 直流機의 경우 整流作用에 의해서 磁界의 方向과 電機子電流의 位相이 固定되어 스카라量으로 생각할 수 있으나 交流機의 경우 回轉磁界上에서 생각하지 않으면 아니 되며 그런 뜻에서 벡터制御라고한다.¹⁾

2. 벡터制御의 基本原理

일반적으로 分捲直流機(理想直流機)의 토크 發生機構는 그림 1에서 보는 바와 같이 主磁束 Φ 에 대해서 항상 電機子電流 i_a 가 直交하듯 整流子로 하여금 電流의 方向을 바꾸어 주고 있다. 따라서 發生토크 T_e 는 $T_e \propto i_a \Phi$ 로 되어 主磁束 Φ 가 일정하면 電機子電流 i_a 에 대하여 線型特性을 얻을 수 있다.

이 基本的인 關係를 誘導電動機에 적용하면 Φ 는 回轉子磁束벡터 Φ_2 , i_a 는 回轉子電流벡터 i_2^* 에 對應시킬 수 있다. 그 벡터의 相對關係가 直流機와 等價트 되듯 制御하면 된다.

벡터制御方式은 直流機의 整流機能을 制御의으로 代行해서 磁束벡터와 電流벡터의 直交關係를 保證하는 것으로 發生토크는 다음과 같은 式으로 주어진다.

$$T_e \propto i_a^* \times \Phi_2 = i_2^* \Phi_2 = i_2^* \Phi_m \quad (1)$$

理解를 쉽게 하기 위하여 回轉子(2次)누설 인덕턴스는 무시하였다.

이제 二相電動機를 예로 해서 벡터制御를 하는 경우에 電流指令의 關係를 설명하고자 한다.

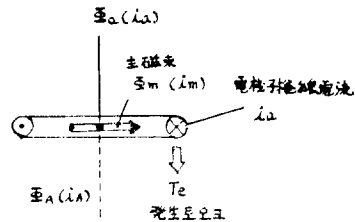


그림 1. 直流機의 토크 發生機構

- Φ_m : 勵磁電流에 의한 主磁束
- Φ_a : 電機子反作用 磁束
- Φ_2 : 補償捲線電流에 의한 磁束

*正會員: 明知大 工大 電氣工學科 教授·工博(當學會總務理事)

그림 2는 主磁束벡터 ϕ_m 의 位相에 一致한 座標系 $\gamma-\delta$ 軸과 固定子靜止系 $\alpha-\beta$ 軸의 相對關係를 나타낸 것이다. 지금 主磁束 ϕ_m 가 固定子靜止系에 대해서 回轉角 ψ 로 回轉하고 있다고 하고 主磁束의 크기를 i_2^* 라 하면 이들은 $\gamma-\delta$ 軸上的 電流指令成分(i_m, i_2)에 의해서 만들어진다. 이때 (1)式的 토오크식은

$$T_e \propto i_2 \phi_m \quad (1)'$$

로 된다.

또한 (i_m, i_2)는 固定子捲線 各相의 電流 $i_{1\alpha}, i_{1\beta}$ 로서 주어지며 그 對應은 座標系의 射影關係로 부터 다음과 같이 된다.

$$\alpha\text{相固定子電流 } i_{1\alpha} = i_m \cos\psi - i_2 \sin\psi \quad (2)$$

$$\beta\text{相固定子電流 } i_{1\beta} = i_m \sin\psi + i_2 \cos\psi \quad (3)$$

단 $i_m = \phi_m / l_m$

l_m : 一相當의 勵磁인덕턴스

(2), (3)式的 關係에서 固定子電流 $i_{1\alpha}, i_{1\beta}$ 를 指令한 경우 (1)'式으로 주어지는 토오크를 발생하기 위한 必要充分條件을 구하면 다음 關係가 얻어진다.

$$\dot{\theta} = \psi - \frac{r_2}{l_m i_m} i_2, \quad l_m \frac{di_m}{dt} = 0 \quad (i_m = \text{一定}) \quad (4)$$

단, $\dot{\psi}$: 主磁束回轉角速度

$\dot{\theta}$: 電動機回轉角速度

r_2 : 回轉子抵抗

이 關係를 다음과 같이 정리하면 分捲電動機의 토오크發生의 式 및 電壓關係를 나타내는 式과 똑 같은 형식으로 된다.

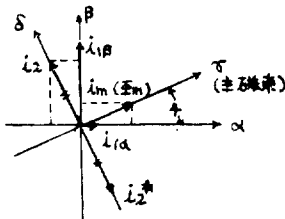


그림 2. 二相電動機의 電流關係

$$\left. \begin{aligned} T_e &= n \phi_m i_2 \quad (\phi_m = l_m i_m) \\ \dot{\psi} \phi_m &= \dot{\theta} \phi_m + r_2 i_2 \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

n : 極對數

이상의 考察에서 主磁束成分電流 i_m 와 이것과 直交하는 토오크電流成分 i_2 를 合成해서 固定子電流로서 指令하면 모든 特性은 直流機에 等價인 것으로 되어 發生토오크의 非線型 및 磁束應答의 影響을 제거할 수 있다.

또한 原理를 쉽게 理解하기 위하여 分捲直流機에서 그 發想을 구하는 것으로 되었는데 i_m 와 i_2 를 獨立으로

制御하면 分捲特性, i_m 와 i_2 를 比例의으로 制御하면 直捲特性, i_m 의 一部를 i_2 에 比例시키면 複捲特性에 對應되는 것은 명백하다. 上記의 關係는 誘導電動機뿐만 아니라 各成分의 對應을 바꾸어 놓으면 同期電動機에도 적용된다. 또한 交流機가 統一的으로 制御됨을 나타낼뿐만 아니라 直流機 및 交流機를 同一 次元에서 比較됨을 나타낸다.

3. 等價直流機常數에 關하여

일반적으로 交流機는 他制의 運轉領域에서 사용되는 경우가 많으며 制御用電動機로서의 特性이 명확하지 않았다. 上記의 解析結果가 나타내는 바와 같이 벡터 制御方式을 적용하면 交流機의 特性은 等價인 直流機로 바꾸어 생각할 수 있으며 各 種의 特性值를 直接 比較할 수 있다. 동시에 交流領域에서의 動作이 直流領域의 어느 動作에 相當하는가도 考察이 가능하게 된다. 이제 이 等價直流機常數에 대하여 간단히 설명코자 한다.

直流機의 토오크 및 電壓·電流의 關係는 잘 알려져 있는 바와 같이 다음 式으로 주어진다.

$$\left. \begin{aligned} T_e &= K_t i_a \\ E_t &= K_e N + r_a i_a + l_a \frac{di_a}{dt} \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

따라서 (5)式과 比較하면 다음의 對應關係가 성립한다.

- i_2 = 等價電機子電流
- $n l_m i_m$ = 等價토오크常數
- $\psi l_m i_m$ = 等價端子電壓
- $\dot{\theta} l_m i_m$ = 等價誘起電壓
- r_2 = 等價電機子抵抗
- r_1 = 等價補償捲線抵抗, 等價勵磁捲線抵抗
- r_1, r_2 : 固定子, 回轉子抵抗
- l_1, l_2 : 固定子, 回轉子누설인덕턴스
- l_m : 勵磁인덕턴스

n : 極對數

$\dot{\theta}/n$: 機械角

三相機에 적용하는 경우에는 一相當으로 환산한 常數에 대하여 3/2을 곱한다.

以上은 基本的인 關係인데 實際의 直流機에서는 完전한 補償捲線이 없으므로 電機子인덕턴스가 존재하고 誘導電動機에서 생각하는 경우 等價電機子인덕턴스는 l_2 에 相當한다. 단 端子에서 보면 補償捲線分도 합하여 抵抗分(r_1+r_2), 인덕턴스分(l_1+l_2)를 각각 r_a, l_a 에 對應시켜야 한다.

4. 磁界오리엔테이션(Field orientation) 制御에의 應用²⁾

前記의 理論에서, i_m 또는 i_2 를 主磁束成分·토크成分으로서 對應시키는 것에 대하여 설명하였는데 그 實現方法에 따라 磁界오리엔테이션制御와 스텝周波數(Slip frequency)制御로 나눌 수 있다. 前者는 主磁束成分에 焦點을 두고 實際의 主磁束을 검출하므로써 위에서 설명한 對應關係를 保證하고 있다.

원리적으로 가장 확실한 制御方式이기는 하나 檢出器의 性能, 또는 取付等 하아드의 면에서 문제가 있다.

그림 3에 磁界오리엔테이션制御方式의 基本構成을 나타낸다. 이 그림에서 勵磁電流成分에 對應시키고자 하는 指令值($i_{m\alpha}, i_{m\beta}$)와 實際의 磁束成分과의 位相差를 비교해서 항상 그 位相差가 0으로 되게끔 磁束의 回轉速度(周波數)를 조정하는 自制루우프가 磁界오리엔테이션制御의 基本루우프로 되어 있다. 또한 電流指令方式에서는 固定子抵抗 및 누설 인덕턴스의 效果가 보상되므로 構成이 간략화 된다.

$$\phi - \hat{\theta} = \left(\frac{r_2}{l_m i_m} \right) i_2 = \omega_2 \quad (7)$$

즉 벡터制御는 토크의 변화에 對應해서 主磁束이 일정하게 되게끔 스텝을 補正하는 일종의 스텝周波數制御라고 할 수 있다. 이 방식에 의하면 磁束成分을 검출하지 않고 分捨直流機의 特性에 필적하는 特性을 얻을 수 있다. 그림 4에 스텝周波數制御方式의 基本構成을 나타낸다. 磁界오리엔테이션制御와의 틀리는 점은 二相正弦波發生器의 制御法뿐이고 磁束을 검출하지 않는다는 점에서 이 방식은 보다 實用的이다.

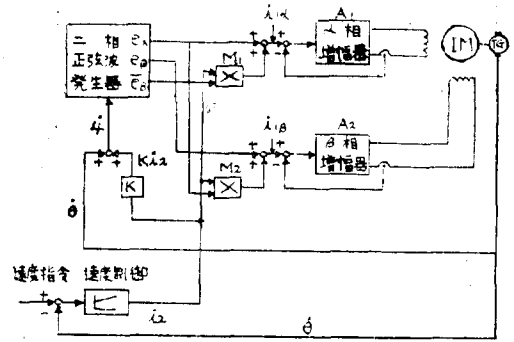


그림 4. 스텝周波數制御方式에 應用한 벡터制御 基本構成圖

6. 大容量領域에의 展開

앞에서 소개한 그림 4는 어디까지나 原理構成이고 實用的으로는 부러시리스, 즉 高精度인 스텝周波數(低스텝電動機에 대해서) 演算方式이 바람직 하다.

이 목적에 적합한 檢出器로서는 PG(디지털方式), 리슬바(아나로그方式)等 어느 것이나 만족스러운 결과를 얻고 있음이 확인 되고 있다.

또한 變換器에 관해서는 小容量領域은 파와트렌지스

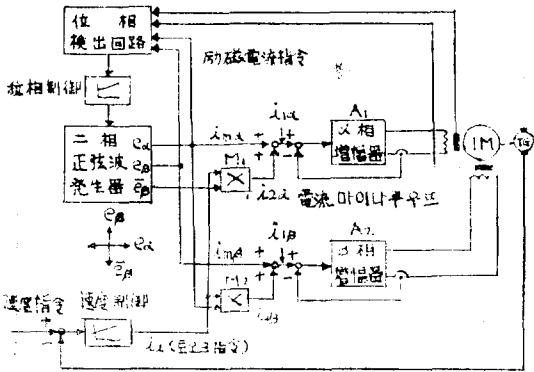


그림 3. 磁界오리엔테이션에 應用한 벡터制御基本構成圖

5. 스텝周波數制御에의 應用

벡터制御를 하아드構成도 포함해서 보다 實用的인 것으로 한것이 스텝周波數制御이다. 이것은 i_m 및 i_2 를 主磁束成分, 토크成分과 對應시키기 위한 必要充分條件條으로서 앞에서 설명한 (4)式을 이용한 것이다. 이것을 周波數制御의 觀點에서 보면 ϕ 는 固定子周波數에 相當하며 다음과 같이 바꾸어 쓰면 ω_2 는 스텝周波數라고 생각할 수 있다.

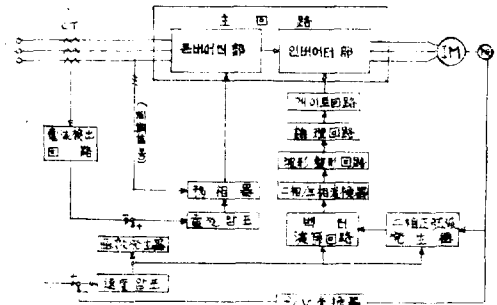


그림 5. 電流矩形波 인버터에 적용한 시스템構成圖

터에 의한 PWM인버터를, 大容量領域은 다이리스터 인버터나 사이크론버터를 이용하게 될것이다 여하튼, 중내의 同期電動機에 의한 無整流子모우터에 대하여 籠型無整流子모우터의 方向으로 발 길을 돌리기 시작했다고 말 할 수 있다.

여기서 大容量領域에의 展開例로서 PG에 의한 디지털 스텝 演算方式을 일반적인 電流矩形波 인버터에 적용한 경우의 構成圖를 그림 5에 소개한다.

7. 結 論

벡터制御方式에 의하면 誘導電動機는 거의 完全한 補償捲線을 갖는 直流機라고 볼 수 있다. 과와트랜지스터를 이용할만한 小容量領域에서는 制御用(사브용) 드라이브 시스템으로서 誘導電動機에 확고한 位置를 굳혀 줄 수가 있다. 물론 電動機·檢出器·콘트롤라가一體로 되어 性能向上이 뒤 따라야 할 것이다.

또한 大容量領域에서는 現狀의 다이리스터 인버터(또는 사이크론버터)를 實用的인 수준에서 多相化 또는 多重化하면 거의 理想的인 交流機 可變速시스템을 얻을 수 있음을 위 설명에서 理解할 수 있을 것이다

本稿에서는 誘導電動機에 대하여서만 설명하였으나 벡터制御는 同期電動機에서도 可能하며 또한 중요함을 付記한다.²⁾

이 벡터制御에 관한 研究는 國內外에서 활발하며 덜지 않은 장래에 可變速制御에 直流電動機 대신 벡터制御를하는 交流機가 많이 이용될 것을 기대하며 간단히 소개하는 바이다.

參 考 文 獻

- (1) 岩金, 甲斐, 浦野 「インバータによる 誘導電動機 드라이브とベクトル制御方式について」 「安川電機」 第38卷 第148號
- (2) Flöter, W.: Ripperger, H.: "Die TRANSVEKTOR-Regelung für den feldorientierten Betrieb einer Asynchronmaschine" Siemens-Z 45 (1971) Heft/0
- (3) Bayer, K.: Waldmann, H.: Weibelzahl, M.: Die TRANSVEKTOR-Regelung für den feldorientierten Betrieb einer Synchronmaschine, Siemens-Z. (1971) S. 765 bis 768.

大韓電氣學會 1980年度 夏季學術會議 및 產學協同심포지움 開催 案内

本學會에서는 年例行事로서 下記와 如히 1980年度 夏季學術會議 및 產學協同 심포지움을 開催할 豫定이오니 會員諸位의 積極的인 參加와 支援을 要請하나이다.

1980年 3月

會長 梁興錫

1. 行 事

- 期間: 1980年 7月 25日~28日
- 場所: 會議—全州市 全北大學校 工科大學(25日~26日)
轉地活動—邊山海水浴場(27日~28日)
- 日程: 產學協同심포지움(25日 10:00~13:00)
分科別學術會議(25日 14:00~17:00)
리셉션(25日 18:00~19:00)
全體學術會議(25日 10:00~16:00)
轉地活動(27日~28日)

2. 發表者募集

- 發表種目: 學術論文, 技術情報, 開發報告, 스테이트 오브 아아츠, 產學協同 및 教育에 關한 提言
- 發表者資格: 本學會會員을 原則으로 함
- 發表方法: 15分間 슬라이드 또는 트랜스패런트에 依함
- 發表要約書: 1980年 6月 25日限 200字 原稿紙 5枚內外의 發表要約書를 本學會에 提出할 것.