

水力發電所 自動化 運轉方案

Automation of Hydro Power Plant Operation

咸 禹 植

韓電(株)發電部 水力課長

1. 序論

近來에 電子技術의 發達이 高度化됨에 따라 電算機를 利用하여 山間僻地에 散在돼 있는 水力發電所의 運轉方式을 改善하여 効率的이고 經濟的으로 運用하는 方案을 自動化 運轉이라고 한다.

外國의 例로서는 僻地勤務員의 苦衷을 解消하는 人道的 見地에서 始作되어 近來에는 經營合理化의 次元으로 推進된다.

自動化的 概念은 發電設備自體의 一次調整裝置의 自動化를 包含, 高度化된 電子制御, 監視 및 記錄技術의 導入 適用으로 無人 또는 極小人力의 運轉方式으로 變換하는 것이나 莫大한 投資가 要求되는데 따른 經濟性을 考慮하여 運轉方式의 選擇 및 設備改造의 限界를 檢討하여야 한다.

2. 對象發電所

一般的으로 經濟性을 考慮하여 同一水系의 發電所를 더 나아가 地域變電所까지 包含 1個發電所에서 集中制御하는 方式과 水力發電所가 水系에 連系되지 않고 1個所 또는 2個所에 不過한 境遇에는 地域變電所의 集中自動化 制御所에서 發電所의 制御裝置를 操作하는 方式이 있다.

우리 韓國의 水力發電所도 낮은 水位에 있으나 自動化 運轉을 計劃하고 있다.

于先 漢江系의 華川, 春川, 衣岩, 淸平, 淸平揚水, 八堂과 昭陽江까지 一括集中制御 하도록 檢討對象으로 삼고 있으며 蟾津江의 雲岩은 七寶에서 遠隔制御가 可能할 것으로 보며 其他 小容量 水力發電所는 無人化하여 變電所에서 制御하는 方式과 水位에 따라 低水位가 되면 自動으로 發電이 停止되고 起動은 手動으로 하는 方式等을 推進中이다.

즉 同一水系에 數個의 發電所가 連系 되었을 때는 集中制御하는 母制御所를 두고 其他 散在된 發電所는 隣近 變電所 自動化 推進時 發電所 運轉도 같이 할 수 있도록 하며 變電所에도 包含시킬 수 없는 發電所는 勤務員을 常駐시켜 簡易自動化로 한다.

3. Computer Net work의 確立

最近과 같이 電算機를 많이 利用하는 時代에 電算機와 電算機의 接續으로 必要한 所期의 目的을 達成하게 하는 Net work를 確立해야 한다.

따라서 우리 韓國에서도 各種 目的에 利用하고 있는 여러 種類의 電算機를 相互 接續함으로써 發電所 自動化 運轉에 有効하게 利用코져 한다.

任意的 電算機에 存在하는 Program을 Net work內的 各所로 부터 利用할 수 있으며 通信機能과는 明確히 分離되는 것으로서 System開發의 容易性 Net work擴張의 柔軟性 등이 豊富하여야 한다.

4. 監視制御方式

發電所를 制御함에는 監視 制御 記錄 등으로 表-1과 같이 區分된다.

〈丑-1〉 監視 制御方式

制御方式		適用區分 (單位機出力)	簡易 自動A	簡易 自動B	一人 制御	
發 常 時 所 監 電 所 從 視 所 從 所	常時監視制御發電所 (常 監)	10,000kW 未滿		○		
		10,000kW 以上			○	
發 電 所 從 常 時 監 視 所 從 所	遠隔常時監視制御發電所(遠 監)	負荷調整을 要하는發電所			○	
		斷續監視制御 發電所(斷監)	500kW 未滿	○		
	隨時監視發電所(隨監)	斷續監視制御 發電所(斷監)	500~10,000kW 未滿		○	
			10,000kW 未滿		○	
		簡易監視發電所	遠隔調整을 할수있 發電所 (隨監)	500kW 未滿	○	
				500~5,000kW 未滿		○

가. 監視 制御方式의 定義

○常時監視(常監)－發電員이 發電所에 常時勤務하며 監視 및 機器操作을 한다.

○遠隔常時監視(遠監)－母制御所에 發電員이 常時勤務하며 被制御發電所(子發電所)의 監視 및 機器操作을 母制御所에서 한다.

○隨時監視制御(隨監)－發電員이 駐在所에 集合待機하다가 必要에 따라 發電所로 出動해서 監視 및 巡視와 機器操作을 行하는 方法과 駐在所로부터 必要에 따라 制御所로 出動하여 發電所의 監視 및 機器操作을 한다.

나. 制御方式의 定義

制御方式의 定義는 다음과 같이 한다.

○簡易自動 A方式

主機의 起動, 並列은 手動操作으로 하고事故時에는 自動 停止된다.

○簡易自動 B方式

主機의 起動 停止는 配電盤의 主制御 開閉器의 操作에 따라 行하고 自動並列을 考慮하는 方式이다. 一人制御方式에 比하여 裝置를 極히 簡素化 시킨 것이다.

○1人制御方式

主機의 運轉에 必要한 補助機等은 配電盤에서 別途 操作을 않으며 水車發電機의 制御와 함께 配電盤의 主制御開閉器를 操作함에 따라 行하여 지는 것이다.

다. 標準 Sequence 制御方式

發電所의 Sequence 制御는 機器의 構造, 容量 및 그 發電所의 運用 監視方式等에 의해 一定한 方式이 統一되어 있지않은 部分도 있으나 表-1의 制御方式과 같이 區分한다.

5. 集中監視 制御

電子制御技術 情報傳送 및 電算機 技術의 發達을 背景으로 發電所群(同一水系 및 同一地域) 및 電力系統의 遠隔 集中制御 方式이 高度로 開發되었으며 다음 表-2와 같이 圖面化로 表示한다.

가. 技能概要

1) 遠方操作

發電所의 各設備의 開閉調整等を 電算機를 利用해서 遠方操作한다.

監視記錄 發電所群 各設備의 運用狀況을 自動監視 記錄한다.

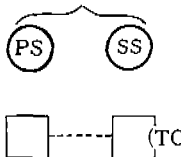
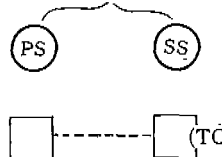
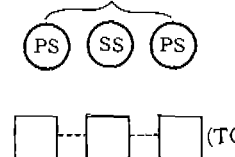
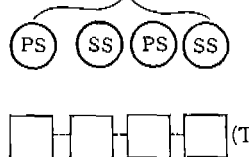
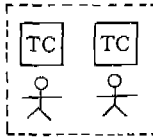
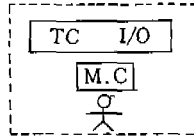
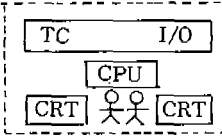
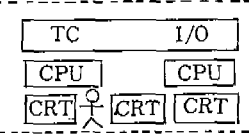
2) 댐 出水豫測

氣象豫報等에 따른 推定諸元等 降雨量의 時間的 分布 및 各 댐의 流入量의 時間的 分布를 計算한다.

3) 水系一括制御

댐運用計劃의 하나로서 流下量을 有效하게 利用함으로써 最大發電量을 가져오는 機能을 考慮함과 同時에 水文情報의 蒐集 記錄 및 댐 運用

〈丑-2〉集中制御方式 綜合

	1:1方式 (制御:被制御)	1:N方式 (小型電算機)	M:N方式 (電算機1)	M:N方式 (電算機2)
被制御所	N個所 	N個 	N個所 	N個所 
制御所				
	<ul style="list-style-type: none"> ○ 2~3個所 以內 發變電所 ○ 各 遠隔盤에서 操作 ○ 電算機 不使用 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 5個程度 發變電所 ○ 集中 MONITOR 盤操作 ○ 小型電算機 使用 ○ 簡單한 記錄自動 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 5個所以上 發變電所 ○ M개의 CRT 使用 ○ 記錄處理 自動化 ○ 水系運用處理可能 ※ 單一系列 電算機使用 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 左同 ※ 2系列 電算機 使用으로 信賴性 向上 ○ 主要 發電所 및 電力系統 綜合 制御

TC:Tele Con
 CPU:Centural Process Unit
 CRT:Cathode Ray tube
 I/O:Inpwt, Out put

狀況의 監視를 한다.

나. 表示項目의 適用基準

發電所 配電盤에 設置하는 集合 表示器 (30s)에 表示하는 項目은 아래 表-3과 같다.

〈丑-3〉集合表示器

表示項目	制御方式			備 考	
	一人 制御	簡易 自動A	簡易 自動B		
主 機	停 止	○	○	×	入口弁 全閉 또는 停止確認裝置의 動作에 依해 表示하고 入口弁이 열리면 消燈된다.
	準 備	○	○	×	起動準備 完了로서 表示하고 入口弁이 열리면 消燈된다.
動 機	入口弁	○	×	×	入口弁 全閉로서 表示하고 並列임으로서 消燈된다.
	起 動	○	×	×	規定回轉 速度의 約80%에서 表示되고 並列되면 消燈된다.

作 表 示	勵 磁	○	×	×	界磁 開閉器의 投入으로 表示되고 並列되면 消燈된다.
	並 列	○	○	×	並列用 遮斷器가 投入되면 表示되고 解列되면 消燈된다.
	負 荷	○	×	×	認定된 負荷에서 表示되고 無負荷로 되면 消燈된다.
補 助 機	壓 力 Pump	○	×	×	常用, 豫備의 運轉을 各各 表示한다.
	潤滑油 Pump	○	×	×	"
	冷 却 Pump	○	×	×	"
其 他 表 示	Pit Pump	○	×	×	
	A.V.R	○	×	×	
	A.F.C	○	×	×	
	水 位 調整器	○	×	×	
其 他					發電所 特殊性을 考慮해서 設置한다.

다. 故障處置之 適用基準

(丑-4) 故障處置之 區分

監視制御 方式	1人制御		簡易 自動 B 方式		簡易自動A方式		
	常時 監視	遠隔常時 監視	常時 監視	繼續 監視	簡易 監視	繼續 監視	簡易 監視
非常停止	○	○	○	○	○	○	○
非常停止 自動再起動	×	×	×	×	○	×	×
急停止	○	○	○	○	○	×	×
無負荷, 無勵磁	(○)	(○)	×	×	×	×	×
緩停止	×	(○)	×	×	×	×	×
輕故障	○	○	○	○	×	○	×

(但) 無負荷 無勵磁 運轉의 機會는 實上 없으나 以後에는
될수 있는限 省略하는 것으로 한다.

라. 保護裝置의 適用基準

保護裝置의 適用에 따른 故障處置之 表示하
는 記號는 다음과 같다.

非常停止 : 86-1

非常停止自動再起動 : 86-1A

急停止 : 86-2

無負荷無勵磁 : 86-3

緩停止 : 86-4

輕故障 : 30FX

마. 無人發電所의 監視制御方式의 適用基準

無人發電所의 制御所에 있어서의 制御, 表示
및 討測項目의 適用基準은 다음 表-5, 6, 7과
같다.

(丑-5) 簡易監視 發電所(監視的인 面에서) 表示
項目

制御·表示· 測定項目	內 容	備 考
表示項目	「停止」「運 轉」「火災」	制御電源 異常時는 發電機並 用 遮斷器를 油壓으로 Trip 함

但, 系統事故等에 依해 單獨으로 分離될 可能
性이 있는 發電所는 停止制御가 될수 있는 方式
으로 한다.

(丑-6) 簡易 監視發電所(隨監制)의 制御, 表示, 計測 項目

制御·表示·計測 項 目	內 容	備 考
主機의 運轉停止	制御所의 主制御開閉器 또는 連絡 送電線 의 活殺에 依한다. 속 自動 再起動 運轉 可能하게 된다.	
補助機의 運轉停止	線路電壓이 있으면 常時運轉이 된다.	
制 御 項 目	「水車 發電機의 運轉 停止」 「送電用 遮斷器의 開閉」 「配電用 遮斷器의 開閉」 「再閉路 裝置 使用 除外」	1. 送電用 遮斷器의 開閉가 必要한 경우 L. S의 開閉도 같이 한다. 2. 再閉路 裝置 使用 除外는 配電線 用 再閉路裝置를 말한다.
表 示 項 目	「直接」「電故障」「配電線故障」「配電線地 絡」「制御電源異常」「火災」「除塵機 故 障」	1. 遠方, 直接 切替는 必要에 따라 主機用과 送配電線用으로 區分하는 경 우도 있다. 2. 除塵機 故障은 必要에 따라 設置 한다.
計 測 項 目	「發電機 並列用 遮斷器」入, 切 「送電線用 遮斷器」入, 切 「配電線用 遮斷器」入, 切	水車, 發電機의 運轉停止는 並列用 遮 斷器의 入, 切로서 表示한다.
計 測 項 目	原則으로 設置 않는다.	

遠制裝置의 制御表示項目	制御項目	「試驗」「表示復歸」「警報復歸」	遠制裝置의 試驗選擇으로 부터 集合表示 裝置에 「試驗」의 表示를 한다.
	表示項目	「制御遲滯」「表示遲滯」「回線斷」	1. 制御遲滯는 選擇制御 信號의 符號 檢定 不良. 2. 表示遲滯는 表示信號의 符號檢定 不良. 3. 搬送波 受信 level의 低下. 4. 左記을 一括해서 「遠隔裝置異常」으로 하여 集合表示 裝置에 表示한다.

〈丑-7〉 遠隔常時監視制御發電所(遠監)의 制御表示·計測項目

制御·表示·計測項目	內 容	備 考	
主機의 運轉停止	制御所의 主制御 開閉器의 操作에 따른다.		
補助機의 運轉停止但	線路電壓이 있으면 常時運轉이 된다. 必要에 따라 制御所의 主制御 開閉器에 따라서 起動, 停止하는 경우도 있다.		
制 御 項 目	「水車, 發電機의 運轉 停止」 「水車의 出力 調整」 「發電機 電壓 또는 無効電力調整」 「無負荷 無勵磁用 閉鎖繼電器의 復歸」 「送電用 遮斷器의 閉閉」 「配電用 遮斷器의 閉閉」 「再閉路 使用 除外」 「AFC 使用 除外」	1. 停止하느냐 全出力運轉을 하느냐에 따라 出力을 調整하는 경우는 出力調整用 制御項目은 不要. 2. 發電機電壓 또는 無効電力調整은 給調運用上 必要한 發電所. 3. 送電用 遮斷器의 閉閉는 必要한 경우 L, S의 閉閉를 같이 한다. 4. 再閉路 使用除外는 配電線用 再閉路裝置를 말한다.	
表 示 項 目	集合表示項目	「直接」「重故障」「無負荷無勵磁」「輕故障」「配電線 故障」「配電線 地絡」「制御電源異常」「火災」「其他」	1. 遠示直接의 切替는 必要에 따라 主機用과 送配電線用과 區別하는 경우가 있다. 2. 其外는 AFC等 特히 必要한 項目으로 한다. 3. 重故障은 86-1, 86-2 動作을 輕故障은 運轉이 可能한 事故를 表示한다
	分散表示項目	「發電機 並列 遮斷器」入, 切 「送電用 遮斷器의 閉閉」入, 切 「配電線用 遮斷器의 閉閉」入, 切	水車, 發電機의 運轉, 停止는 並列用 遮斷器의 入切에 따라 表示한다.
計 測 項 目	發電機 有効電力 發電機 無効電力(無効電力의 調整을 必要로 하는 경우) 發電機 電力量 댐 水位	1. 發電機 有効電力은 總合電力 指示로서 2台以上の 경우 切替計測 可能하게 한다. 2. 發電機 無効電力은 總合 無効電力指示로 2台以上の 경우는 切替計測 可能하게 한다. 3. 發電機 電力量은 總合 電力量 指示로 한다. 4. 댐 水位는 調整池 또는 貯水池式의 發電所에 設置한다.	

制 御 項 目	「試驗」「表示復歸」「警報復歸」	遠制裝置의 試驗選擇에 의해 集合表示 裝置에 「試驗」의 表示를 한다.
表 示 項 目	「制御遲滯」「表示遲滯」「回線斷」	1. 制御遲滯는 選擇制御 信號의 符號 檢定 不良. 2. 表示遲滯는 表示信號의 符號 檢定 不良. 3. 回線斷은 搬送受信 level의 低下. 4. 上記를 一括해서 「遠制裝置異常」으로 하여 集合表示 裝置에 表示한다.

바. 設備改造 및 新設

○ 既存設備의 改造

自動化的 手段으로 人間에 依한 監視 및 制御 機能의 一部를 機器自体에 委任하게 되는 對備로 改造가 要望된다.

改善·事項	對 象 設 備 또 는 措 置
無點檢補修化	○ 勵磁 系統의 停止型化 ○ 活線 變壓器油 여과 裝置 ○ 潤滑油茶 自動화
信賴性 向上	○ 1次 調整 系統의 自動화 ○ 操作壓油 系統 再整備 ○ Sequence의 改善 ○ 主機의 劣化度 調査對策
安全度 向上	○ 各種 保護裝置의 追加 및 改善 ○ 直流 電源 喪失對策 강구 ○ 火災監視 裝置 및 漫水防止
操作의 簡便化	○ 關閉器類의 遠方自動 操作化 ○ 強制並列 方式의 自動復舊
環 境 保 存	○ 漏油 汚染 防止 施設 ○ 野生物(뱀, 쥐 등) 漫入防止策 및 保安 울타리

〈표-8〉 新設 自動화 裝置

機 器 의 裝 置	選定基準 또는 檢討事項
中央電算處理裝置	○ 集中化 規模算定 ○ 遂行 業務, 機能附與 ○ 二重化 및 上位制御所와의 連絡與否
人間機械連結裝置 (MAN MACHINE INTERFACE)	○ 各種 操作 監視, 情報處理의 便利度 ○ 制御操作의 充分한 信賴度 保護機能 ○ 事故時 異常狀態 自動記錄
周 邊 裝 置	○ 水系利用, 發電計劃等 技術能力과 合當性 ○ SYSTEM 規模에 適合한 裝置配當與否
情報 傳送 裝置 (遠隔制御盤包含)	○ 情報 傳送區 및 方式 妥當性 ○ BACK UP 機能 ○ 擴張性 및 柔軟性
SOFT WARE	○ 各種 PROGRAM 配列 및 利用方法 ○ 補修 및 運用의 便利度 및 處理能力 ○ 變更追加 作業의 標準化
信 號 傳 送 路	○ 經濟的이고 合理的인 回線 運用方案 ○ 回線構成의 2 重化 方案

6. 技術上的 留意事項

가. 電氣設備의 一般的 留意事項

- 1) 蓄電池를 設置한 發電所一複式電磁弁를 採用할것.
- 2) 蓄電池를 設置 안한 發電所一
 - 가) 單式 電磁弁를 採用한다.
 - 나) 制御電源은 所內交流 電源을 整流器로서 直流로 變換한 것과 함께 勵磁機의 電源과 並列로 해서 使用한다.
 - 다) 並列用 遮斷器는 制御電源이 없어도 開放되는 方式(油壓)으로 한다.

나) 並列方式의 選定

- 1) 發電機容量 3000KVA 以上の 것은 原側으로 同期 並列方式으로 한다.
- 2) 發電機容量 3000KVA 未滿의 것은 強制並列 方式을 採用한다.
但, 突入時의 電壓變動이 一般 需用家에 惡影響을 미칠 경우는 簡易型 自動 同期並列 方式을 採用한다.

다. 強制並列 採用의 경우 檢討事項

並列時의 突入電流에 의한 機械的 強度, 送配 電 線의 電壓降下等을 같이 檢討하여야 한다.

電壓降下는 突入電流를 定格電流의 3~4 倍 力率은 70%로 計算한다.

一般的으로 電壓降下の 計算이 10% 以下이면 問題없다.

라. 負制動現象의 檢討

制動捲線이 없는 發電機는 絶緣 變壓器를 省略하고 直接 配電線에 接續하는 경우는 配電線의 低抗分때문에 發電機의 電機子 抵抗이 增加해서 同期運轉이 안될때도 있기에 注意를 要한다.

마. 低速度 再閉路裝置 또는 自動復舊 裝置의 設置에 對한 檢討

系統事故處置의 迅速確實化와 運轉員의 業務量의 減少를 가져오기 때문에 必要에 따라 低速度 再閉路 또는 自動復舊裝置의 設置를 檢討한다. 이런 境遇 適用個所의 條件에 따라서 經濟性 또는 運轉 補修面의 檢討를 行함에 어긋는 것인 가를 選定한다.

1) 低速度 再閉路 裝置(單能形)線路의 自斷事故時 定해진 時間과 條件에 따라 自動再閉路를 行한다.

2) 自動復舊 裝置(復能形)

自所內에서 얻어지는 情報를 主로 해서 全停, 永久地絡, 線路의 自斷等의 事故內容을 判別해서 各事故에 따라 定해진 順序로 復舊操作을 行한다.

7. 無人化에 있어서의 留意事項

가. 遠方監視 制御裝置

遠方監視 制御裝置는 監視制御 방식에 따라 下記의 방식을 採用한다.

1) 簡易監視 방식

簡易監視裝置는 周波數式 選別方式을 標準으로 한다.

2) 遠方制御 A 방식

遠方監視制御裝置는 周波數式 選別方式을 標準으로 한다. 즉 制御項目이 많은 境遇는 Pulse cord 방식을 採用한다.

3) 遠方制御 B 방식

遠方監視制御裝置는 Pulse cord 방식을 標準으로 한다.

나. 傳送方式

傳送方式은 通信擔當部署와 協議해서 下記의 방식으로 選定한다.

傳送方式의 選定은 既設傳送設備와의 關聯, 傳送距離, 信賴度, 補修條件等을 考慮해서 尙 經濟的인 방식으로 한다.

1) 簡易監視方式

- 가) 專用 Cable에 依한 直送式
- 나) 通信線 또는 其他에 依한 簡易搬送式.

2) 遠方制御 A 방식

- 가) 專用 Cable에 依한 直送式
- 나) 通信線搬送式 또는 簡易搬送式
- 다) 電力線搬送式

3) 遠方制御 B 방식

- 가) 專用 Cable에 依한 直送式
- 나) 通信線搬送式
- 다) 電力線搬送式
- 라) 無線

나. 計測裝置

發電所의 無人化를 하지 않는 遠隔 常時 監視 制御方式을 適用하는 境遇에 計測項目을 設計하는 것으로서 計測方法은 表-9와 같다.

〈표-9〉 計測項目 및 計測方法

計 測 項 目	計 測 方 法	備 考
發電機有効出力	Analogue (IMW 單位)	總合 電力指示와 2台以上の 경우는 切替計測可能
發電機無効出力	Analogue (IMVAR 單位)	總合 無効電力 指示와 2台以上の 경우는 切替計測 可能
發 電 機 電力量	Digital (IMWH 單位)	總合 電力量을 指示한다.
댐 水 位	Digital 또는 Analogue (ICM 單位)	

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.

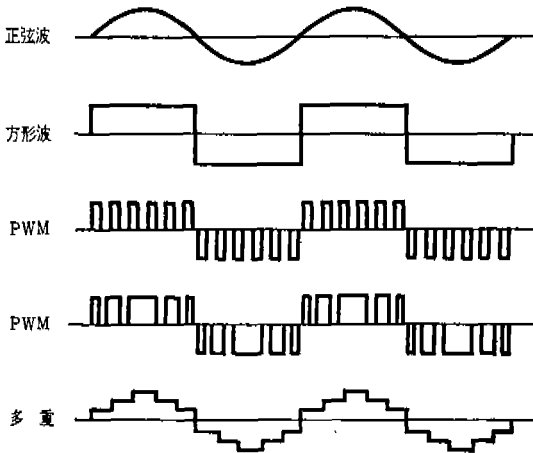
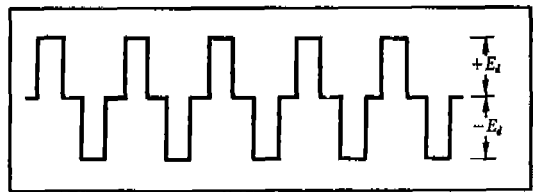
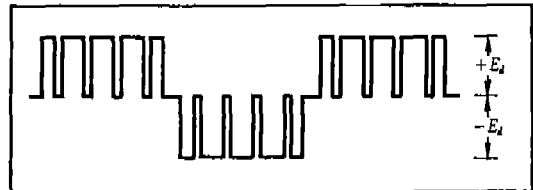


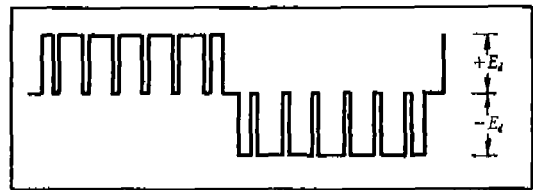
그림 - 6 종제어방식에 의한 출력파형



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