

전기공학의 현재와 전망

연구편 ③

電力電子의 考察 및 展望

尹 明 重

한국과학기술원 전기 및 전자공학과 부교수

I. 電力電子의 發達過程

電力電子의 歷史는 19世紀初부터 始作되었다. American Institute of Electrical Engineers (AIEE)에서 1950년에 發刊한 Bibliography on Electronic Power Converter 에 依하면 電力電子에 對한 첫 引用은 1903년이었으며 그後 1930년부터 1947年 사이에는 電力電子에 關한 많은 技術論說과 여러種類의 冊들이 發刊되었다. 이것들은 주로 grid-controlled gas filled tube의 應用에 對해서 取扱하였고, mercury arc rectifier와 gas filled thyatron 의 制限性 때문에 몇개의 裝置만 만드는 것에 그쳤다.

1948년에 있었던 bipolar junction transistor(BJT)의 發明은 電力用 半導體素子の 始發이었다. 電力用 半導體다이오드는 1950年 直後에 出現하였고, 電力電子時代가 實際로 열리게된 時期는 1957年末에 General Electric에서 싸이리스터中에 第一 많은 關心을 끌고 있는 SCR의 發明을 宣言했을때 부터이다. 16암페어 素子로 出發한 싸이리스터는 急成長을 거듭했으며 現在는 數百種의 싸이리스터素子が 世界의 여러會社에 依해서 生産되고 있다.

現在 많이 使用하고 있는 電力用 半導體素子中 몇가지를 紹介하면 다음과 같다.

●다이오드 整流器—電力用 다이오드는 交流電力을

直流電力으로 바꾸는 整流役割을 하며, 一般적으로 인버터에서는 漣환이나 free-wheeling機能을 한다.

●싸이리스터—電力變換 및 制御産業界에서 널리 쓰이고 있는 電力用 半導體素子이다.

●TRIAC—相對적으로 容量이 적은 交流電壓制御에 쓰이고 있으며 技能적으로 볼때 한쌍의 位相制御 싸이리스터가 逆並列로 連結되어 있는 電力用 半導體素子로 40 A, 600 V 定格까지 出現했다.

●非對稱SCR(ASCR)—制限된 逆電壓遮斷能力을 갖고 있어 turn-on時間 turn-off時間 및 conduction drop을 줄일수 있고 높은 周波數 運轉이 可能하며 1400 V, 375 A 의 定格까지 出現했다.

●GTO—SCR이 發明된 以來 가장 關心을 끄는 素子로서 싸이리스터와 같이 게이트電流를 利用하여 turn-on이 되고 負의 게이트電流로 turn-off가 되는 素子로서 2500 V, 2000 A 容量까지 生産되고 있다.

●電力用 트랜지스터—電流利得이 낮고, on-state 동안에는 連續的인 base驅動을 要求하지만 強制轉流回路를 必要로 하지 않는 素子로서 低電力이나 中電力範圍의 應用에서 널리 쓰이고 있으며, 600 V, 200 A 容量까지 生産되고 있다.

●電力用 MOSFET—스윗칭 速度가 高速인 것이 特性으로 高周波數 應用에 널리 쓰이고 있으며 500 V, 25 A 容量까지 生産되고 있는데, 이 素子は BJT와는 달리

■ 특집/전기공학의 현재와 전망

電壓으로 制御되는 majority-carrier 素子이다.

●FET-controlled Thyristor—MOSFET와 사이리스터가 並列로 連結되어 있으면서 FET의 入力임피던스와 사이리스터의 conduction drop을 갖는 素子이다.

●Insulated Gate Transistor(IGT)—이 素子는 MOSFET과 같이 入力임피던스가 크고 BJT와 같이 on-state drop이 낮은 特性을 갖고 있다.

이밖에 電力電子를 專攻하는 사람들에게 關心을 끌고 있는 素子들로는, UJT, SUS, SBS, Low cost Phototransistor, LED, Opto-isolator, Zener or Avalanche diode, 그리고 Fast recovery diode 등이 있다.

비록 集積回路가 電力電子回路를 制御하는 데 大部分 사용되고 있으나, 한편으로는 集積回路와 discrete 素子를 結合하여 하나의 完全한 回路機能을 修行하는 hybrid power module도 사용되고 있다. 現在 進行되고 있는 또 하나의 重要한 開發은 電力電子 制御回路에 마이크로프로세서를 사용하여 電子部品들을 代替하는 것이다. 이러한 모든 開發은 電力用 半導體素子를 使用할 수 있는 應用範圍를 빠르게도 크게 伸張시켜 주고 있다.

II. 電力電子의 應用分野

電力電子의 應用分野를 電力用 半導體素子를 使用하는 產業界別로 또 半導體素子の 機能別로 다음과 같이 分類해 볼 수 있다.

먼저 產業界別 應用分野는 飛行機, 레이다, 宇宙船等의 電源裝置와 같은 國防産業系統, 音響機器, 照明裝置, 電動機制御와 같은 家電産業系統, 電動機驅動, 電源供給裝置, 遮斷裝置와 같은 産業電子系統, 勵磁機, 風力發電機, 高電壓 直流送電과 같은 電力産業系統, 電子點火裝置, 電動機驅動, 電壓調整器와 같은 交通運輸産業系統 등으로 分類해 볼 수 있다.

電力用 半導體素子の 機能別 應用分野는 static switching, 交流位相制御, 位相制御整流器 및 인버터, 사이클로콘버터, 周波數 multiplier, 트랜지스터 線型增幅器, 트랜지스터 電壓調整器, 사이리스터 chopper, 인버터 등으로 크게 分類할 수 있다.

III. 電力電子의 열가지 基礎常識

電力電子分野에서 널리 使用되고 있는 反復적으로 甞칭되는 電力回路를 理解하는데 必要한 基本原則들은 電氣를 專攻한 사람들에게는 새로운 것이 아니다. 一 旦 이러한 알려진 原則들을 적용하는데 自信感이 생기면 電力電子라는 새로운 分野에 對한 疑懼心은 사라진다

W.E. Newell 博士는 電力電子를 根本的으로 理解하는데 必要한 열가지 基礎知識을 다음과 같이 整理하였다.

- ① 키르히호프의 電壓法則(KVL)
- ② 키르히호프의 電流法則(KCL)
- ③ 옴의 법칙
- ④ $e_L(t) = L \frac{di_L(t)}{dt}$ 또는 $\Delta i_L = \frac{1}{L} \int e_L(t) dt$
- ⑤ $i_C(t) = C \frac{de_C(t)}{dt}$ 또는 $\Delta e_C = \frac{1}{C} \int i_C(t) dt$
- ⑥ 瞬間電力
- ⑦ $[f(t)]_{\text{평균치}} = \frac{1}{T_2 - T_1} \int_{T_1}^{T_2} f(t) dt$
- ⑧ $[f(t)]_{\text{실효치}} = \left[\frac{1}{T_2 - T_1} \int_{T_1}^{T_2} f^2(t) dt \right]^{1/2}$
- ⑨ $[e_L(t)]_{\text{평균치}} = \frac{1}{T} \int_{T_1}^{T_2} e_L(t) dt = \frac{L}{T} \Delta i_L / T = 0$
; 정상상태
- ⑩ $[i_C(t)]_{\text{평균치}} = \frac{1}{T} \int_{T_1}^{T_2} i_C(t) dt = \frac{C}{T} \Delta e_C / T = 0$
; 정상상태

이러한 簡單한 原則에도 不拘하고, 回路運營에 理解가 不足한 것은 거의 大部分의 境遇, 위에 羅列한 열가지 基礎知識中 하나 또는 몇개의 原則들이 뜻하는 意味를 잘 理解하지 못한 데에서 나온다.

IV. 電力電子分野의 新技術

電力用 半導體素子 分野에서 새로운 技術의 發達이 制御시스템, 設計에 끼치는 影響은 점차 增大하고 있다. 이러한 次世代 電力素子들은 電子부品の 效率이 增加함에 따라 시스템 性能을 向上시킬 수 있는 希望을 주고 있으며, 시스템 設計의 一部分으로써 最尖端 包裝概念을 導入하면 이러한 素子들은 좁은 空間에서도 매우

有用하게 쓰이게 될 것이다. 이節에서는 이러한 두個의 次世代 素子에 對해서 取扱하려고 하며 첫번째 素子は 低電壓 制御器 回路과 高電壓 인버터 사이에 다리를 놓아주는 高電壓集積回路(High Voltage Integrated Circuit)이고, 두번째 素子は MOS와 비슷한 驅動特性을 가지면서 高電壓 스위치와 같은 Insulated Gate Transistor(IGT)이다.

4.1 背景

電力電子業界는 지난 20年 동안에 廣範圍한 素子が 開發되는 것을 보아왔으나, 이 分野에서의 發展은 商業性이 더좋은 低電壓 discrete 線型回路分野의 成就로 인해 過小 平價되었다. 電力素子の 技術은 半導體 製造技術의 發達에 많은 도움을 받았으며 crystal growth와 photolithography 分野에서 쏟은 수많은 獨自의인 研究와 開發은 集積回路 製造過程에 많은 發展을 가져와 큰 die의 生産可能性을 높여 주었고, 電力素子分野에서 큰 die라 함은 高電壓, 高電流의 素子를 意味한다.

아마도 오늘날 電子業界에서 第一 큰 어려운 점은 低電力 回路과 高電力 回路사이의 結合關係이다. 이 두 回路그룹은 市場이 擴大됨에 따라 더욱 사이가 벌어졌으며, 低電壓 集積回路는 電力消費를 極小化 하려고 하고 反面에 電力素子들은 高電壓, 高周波數 應用쪽으로 發展되고 있다.

따라서 次世代 電力素子는 하나의 共通 monolithic위에 低電壓 回路과 高電壓 回路를 함께 使用하면서 analog와 digital 回路를 結合할수 있어야 하며, 過渡現象에 鈍感하고 低損失 特性을 가져야 한다.

4.2 高電壓 集積回路 (HVIC)

HVIC는 高電壓素子和 低電壓素子が 같은 integrated substrate위에 共存하는 集積回路에 적용하는 用語이다. General Electric에서 開發된 概念은 BiMos 製造工程의 使用이며, 이 工程은 bipolar와 complementary MOS特性을 같은 工程에서 갖게할 수 있는 融通性을 提供한다. MOS特性은 低電力 digital과 analog 設計를 可能하게 하고 bipolar 特性은 高電壓 設計를 可能하게 하며, 이 素子の breakdown電壓은 現在 600V 이고 이러한 HVIC工程은 270Vdc 應用까지 現在 가능하다.

低電壓 HVIC 回路는 2.5V에서 20V 電壓範圍에서

動作하며, logic素子設計는 1.5ns 程度의 內部傳播遲延을 갖는 gate를 만들었다. 이 素子は 큰 容量性 負荷에서 運轉하는 것이 可能하며, 그러한 응용으로는 큰 入力 캐퍼시턴스를 갖는 電力用 MOSFET을 驅動시키는 데 使用하는 것이다.

4.3 Insulated Gate Transistor(IGT)

IGT素子は MOS素子の 入力 임피던스와 BJT의 게이트 drive를 結合한 것으로 MOSFET와 bipolar의 좋은 特性을 갖고 있다. 이 素子は 兩方向 電壓遮斷能力을 갖고 있으며 現在 600V, 50A 容量의 素子が 生産되고 있다. 그림 1은 IGT素子和 다른 形態의 電力用 스위치素子 사이의 電流密度를 比較한 것이다.

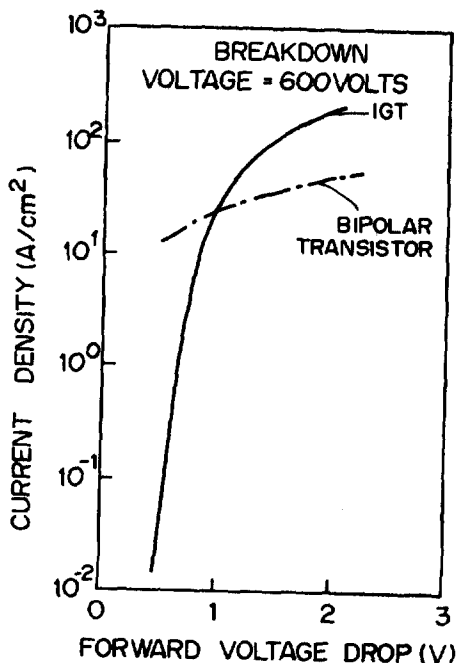


그림 1. 전력스위치 손실 특성

이 그림에서 볼 수 있듯이 같은 電力損失에 對해 比較해 보면 IGT는 bipolar와 MOSFET 電力스위치에 比較해 相當히 큰 電流를 收容할 수 있음을 알 수 있다.

4.4 새로운 包裝(Packaging)技術

電力用 半導體素子에서 革命이 일어나는 동안, 包裝業界는 大端히 어려운 課題를 맞이하게 되었다. 低電力

특집/전기공학의 현재와 전망

고속 monolithic에 대해서 회로가 작아야 된다는 要求는 leadless chip carrier와 pin grid array를 만들어 내고 高電力 素子는 嚴格한 防熱設計를 한 包裝을 要求하고 있다. 모든 集積回路素子들은 特殊한 包裝技術에 依해서 發生되는 parasitic에 依해 影響을 받으며, 이러한 影響을 줄이는 方法과 작은 回路設計를 얻는 方法은 새로운 混合包裝(hybrid packaging)技術의 使用이다.

混合方法은 幾個의 能動回路素子와 受動回路素子를 같은 機械的인 構造안에 結合시키는 것이다. 이러한 包裝方法은 既存의 標準 leaded package나, 프린트回路設計에 比해 더 많은 融通性을 附與하고 있다. 混合方法은 相當한 場所節約을 實現하고 있고, 防熱問題를 取扱하기 위하여 alumina와 beryllia 같은 熱抵抗이 작은 ceramic substrate를 使用하고 있다.

4.5 應用例—Actuation 시스템

電力電子産業의 革命으로 말미암아 利得을 보는 分野中의 하나는 電磁氣的으로 驅動되는 actuator分野이다. 特히 飛行機 actuation시스템에서 電子油壓式 actuator(EHA)와 電子機械式 actuator(EMA)의 應用은 많은 關心을 끌고 있다.

Actuator시스템에 쓰이는 大部分의 電源電壓은 270 V dc 시스템이다. 高電壓 dc를 使用하면 正確한 電壓및 周波數 調節問題를 解決할 수 있고 이것 때문에 效率이 높고 부피가 작은 發電機의 使用이 可能하였다. HVDC의 使用 또한 電動機의 크기를 줄일 수 있고, PM이나 variable reluctance와 같은 電動機技術의 發展은 出力對 부피의 比率를 增加시킨 電動機의 生産을 可能하게 만들

었다.

電動機로 驅動되는 actuator의 概念은 새로운 것이 아니며, 電氣actuation시스템은 油壓actuation시스템과 比較해 볼때 무게에 對한 利점이 없고, 電氣部品들에 對한 信賴度가 낮았다. 電動機制御에 HVIC와 IGT와 같은 技術을 應用하면 이러한 電氣的인 缺點을 解決할 수 있으며, 새로운 電力素子의 出現을 油壓시스템이 掌握하고 있는 actuation市場에 큰 影響을 끼치고 있다.

그림 2는 actuator시스템의 블럭線圖를 나타내며 마이크로 프로세서를 利用한 制御機를 包含하고 있다. 電動機 驅動블럭은 單相에 對해서 表示했고, 每相은 270 V dc 電源으로 부터 作動하는 2個의 IGT電力素子를 使用한 인버터에 依해서 驅動된다. 이 素子는 HVIC에 依해서 調節되고 있고 驅動電動機는 펄스幅 變調方法에 依해 토오크를 調節한다. HVIC는 低電壓 制御信號와 高電壓 스위치를 連結시켜 주고 IGT는 高電力 스위치로써 電動機 捲線에 흐르는 電流의 量을 制御한다. 이러한 두 種類의 電力素子를 使用함으로써 高性能 電動機制御에 障礙를 끼쳐왔던 問題點들이 解決되었고, 電力變換器와 actuator가 함께 位置할 수 있는 利점을 提供하고 있다.

V. 結論

19世紀初부터 始作된 歷史以來, 電力電子는 BJT, SCR等의 發明으로 産業化 時代의 電力回路에 中樞的인 役割을 擔當해 오고 있으며, 電子와 制御 그리고 電

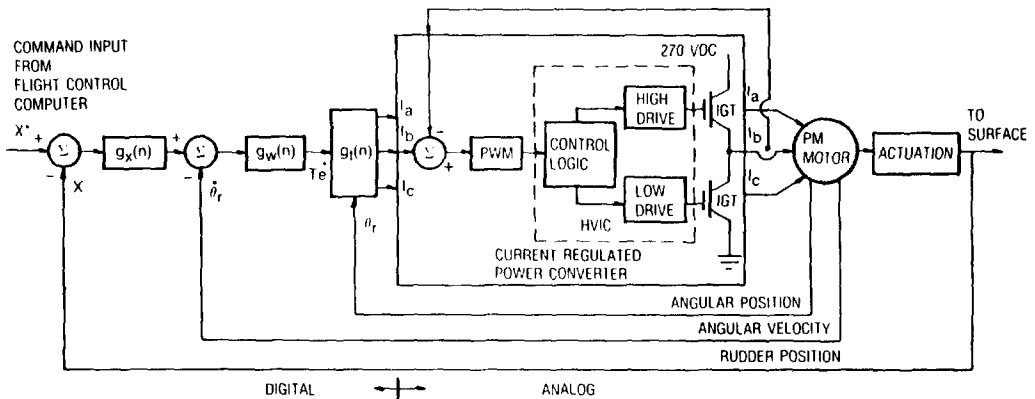


그림 2. 전기 Actuator 블럭 선도

력이 결합된 獨自의인 學問領域을 構築하고 應用分野의 範圍가 날로 伸張되어 가고 있는 趨勢이다.

電力電子分野에서는 크기의 減少와 低廉한 價格및 信賴度 增加를 통한 시스템性能을 向上시키기 爲한 目的으로, 새로운 技術의 發達이 繼續 要求되고 있으며 代表的인 例가 高電力回路와 低電力回路를 結合시킬수 있는 高電壓集積回路와 MOS素子の 入力임피던스와 BJT의 게이트 drive를 結合한 IGT素子및 새로운 包裝技術과 module化이다.

그밖에 現在 進行중인 重要な 開發中の 하나는 電力電子分野에 마이크로프로세서의 應用이다. 이것은 analog回路를 digital로 代替함으로써 시스템性能을 向上시킬 수 있을 뿐만아니라, 벡터制御와 最適制御및 適應制御 等の 現代制御理論을 利用하여 高度의 精密制御를

低廉한 價格으로 實現시킬 수 있는 可能性을 提供하고 있으며, 이러한 모든 開發은 電力電子의 應用範圍를 폭 넓게 開拓해 나가는데 큰 役割을 하고 있다.

참 고 문 헌

- 1) R.G. Hoft, Semiconductor Power Electronics, Van Nostrand Reinhold, 1986.
- 2) B.K. Bose, Power Electronics and AC Drives, Prentice-Hall, 1986.
- 3) J.R. Lyford, "Impact Potential of New Power Electronic Technologies," IEEE AES-M, Vol. 1, No. 12, pp. 20-24, Dec. 1986.