

IGBT full-bridge dc-dc 변환기를 이용한 전동지게차의 주행제어 시스템 개발

○
전승용 박성기
한라중공업(주) 연구소

A Design of the drive speed control system using IGBT full-bridge
dc-dc converter for the battery fork-lift truck.

Soon-Yung Chun Sung-ki Park
Halla Engineering & Heavy Industries Ltd

Abstract

This paper shows enhanced working performance of the battery fork-lift truck by developing the IGBT full bridge dc-dc converter using one-chip micro-processor. The PWM pulse is generated from a 16 bit one-chip micro-processor for the speed control of DC motor. In order to ensure the operation of IGBT and Motor pecewisely, IGBT gate drive circuit was designed by using current limiting IC and hige voltage limit IC. And also it is able to regenerative braking.

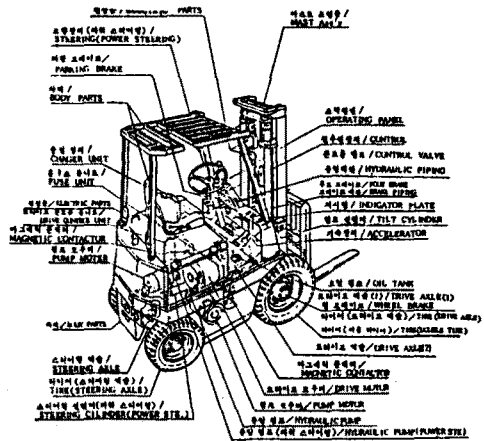
ton 정도의 하중이 기동 모터에 가해 지므로 기동시 매우 큰 토크가 필요하다. 따라서, 현재 까지는 기동 토크가 큰 직류직권형 모터가 주행용으로 많이 사용되어 지고 있으나, 브러시의 維持보수 측면에서 많은 문제점을 안고 있다. 또한 과거에는 電氣制動 방식으로 플러깅(Plugging)을 사용했기 때문에 제동시 주행 모터에 많은 무리가 가해져 모터 소손의 직접적 원인이 되었다. 실제 전동지게차의 주요한 성능을 결정지어 주는 요소로는 연속작업 사용시간을 결정지어 주는 대용량의 밧데리, 주행속도 및 동탄능력을 결정지어 주는 주행모터, 그리고 방향전환 및 속도가변제를 위한 콘트롤 시스템등이 된다.

1. 서 론

오늘날 産業發達의 중요한 役割을 담당해 온 것으로 Excavator, Wheel-loader, Crane, Dozer, . . . 등과 같은 건설 및 산업 重裝備들을 들 수 있다. 이들 중장비 가운데 중량물을 荷役 및 運搬하기 위한 裝備로 지게차(Fork-lift truck)가 있으며, 엔진 지게차는 소음과 공해를 동반하므로 점차 저소음 무공해 장비인 전동지게차(Battery fork lift truck)를 選好하는 추세이다. 최근 마이크로 프로세서의 확대 보급과 응용기술의 향상으로, 전동지게차의 주행속도 및 기타의 작업성능등을 統一的으로 制御, 監査하는 장비들이 시판되게 되었다. 본 연구에서는 16 bit Intel MCS96 계열 MPU를 이용하여 전동지게차의 주행 및 기타 부가적 기능을 통합적으로 제어 했으며, IGBT를 이용한 회생형 4상한 초퍼를 構成하여 스프스한 無接觸의 방향전환이 容易하도록 하였고, 에너지 회생에 의한 밧데리의 전력소모를 최소화 하는 制御器를 設計하였다. IGBT 게이트 구동펄스는 PWM 방식에 의해 소프트웨어적으로 生成시켰으며, 非正常의 인 조건에서 모터 및 소자를 保護하기 위한 保護回路가 설계되어 졌다. 특히 전동지게차의 주행 및 작업 특성은 제어장치의 불휘발성 메모리에 저장된 파라미터를 외부에서 운전자가 가변 할 수 있도록 하여 기존 전동지게차에 비해 편리한 操作性와 經濟的인 작업성능을 발휘하도록 하였다.

2. 전동지게차의 構造 및 機能

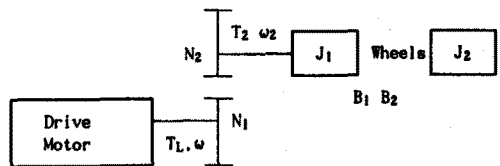
전동지게차는 작업자가 앉아서 運轉을 하는 Counter balance 타입과 서서 운전을 하는 Reach 타입으로 區別되며, 그 構造를 그림1에 나타내었다. 機能別로 나누다면 크게 荷役機能과 走行機能으로 분류 할 수 있으며, 이를 위해 유압모터와 주행용모터 그리고 방향 전환을 위한 조향모터 등이 裝着 되어진다. 실제 2.5ton 급 지게차로 2.5 ton의 부하를 운반할 경우 지게차 自體의 荷重을 고려하면 약 5.5



<그림1> Counter-Balance Type 전동지게차

3. 走行 메카니즘에 대한 모델링

전동지게차의 주행을 위한 구동 메카니즘을 圖示하면 그림 2와 같다.



<그림 2> 전동지게차의 구동 메카니즘

바퀴축에 작용하는 관성 모멘트 : $J = J_1 + J_2$
 드라이브 약정의 기어 감속비 : $M = N_1 / N_2$
 바퀴면에 작용하는 마찰계수 : $B = B_1 + B_2$
 모터 및 바퀴축의 각 가속도 : ω, ω'

드라이브유니트의 기어1과 기어2에서의 일량을 같다고 보면

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{\theta}{\theta_2} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{\omega}{\omega_2} \quad (\theta: \text{angular displacement}) \quad (1)$$

만일, 전동지게차의 最大走行速度 및 동판각의 目標値가 설정되면 그로부터 구동모터의 최대출력토크와 회전수 그리고 드라이브유니트의 기어비가 決定되어야 한다. 이때, 모터의 출력에 작용하는 로오크특성은 구동메카니즘의 J, B 등이 결정되면 얻을 수 있다. (송신, 기타손실은 무시함)

$$T_2 = J(d\omega_2/dt) + B\omega_2$$

$$= J(N_1/N_2)(d\omega/dt) + B(N_1/N_2)\omega$$

$$= (N_1/N_2)(J(d\omega/dt) + B\omega) \quad [N.m] \quad (2)$$

$$T_L = (N_1/N_2)T_2$$

$$= (N_1/N_2)^2(J(d\omega/dt) + B\omega) \quad (3)$$

바퀴축에 작용하는 관성모멘트 J는

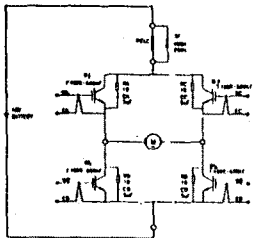
$$J = r^2 dA \approx 1/2(mr^2) \quad (4)$$

단, r은 바퀴의 반지름이고 m은 부하를 포함한 차량의 차중이다. 또 마찰계수 B는 평탄노면에서 0.6 정도로 주어진다.

4. IGBT를 이용한 4상한 초퍼와 제어기의 構成

4-1) 4상한 IGBT 초퍼의 구성

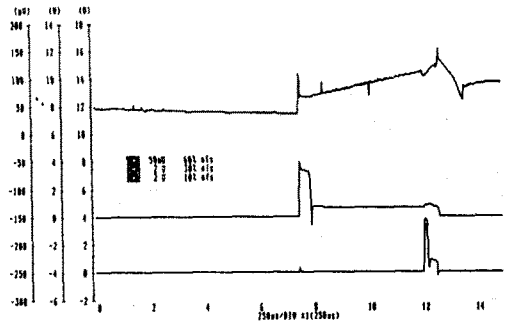
1. 구동 모터 사양
 7.5Kw, DC48V, 200A, 2050rpm, 직류직관식(효율 약75%)
 2. 초핑소자(IGBT) 사양
 연속사용 정격전류 : 360[A]
 과부하전류 : 400[A]에서 10 분간
 순간최대허용전류 : 800[A]에서 1[msec]



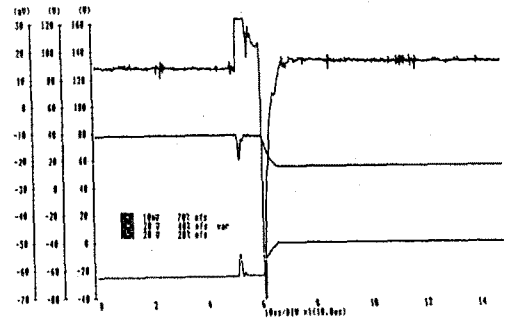
<그림 3> 4상한 IGBT 초퍼 구동회로

그림3 에서 4상한 IGBT의 동작 상태를 보면, 크게 순방향 전역제어모드, 순방향회생모드, 역방향전역제어모드, 역방향 회생모드의 4개 모드로서 動作을 區分할 수 있다. 순방향 전역제어모드는 Q1 과 Q2 가 도통되고 Q3, Q4 는 OFF 되어 질때의 동작 모드로서 전동지게차의 경우 前進 S/W가 ON인 조건에서 Q1 과 Q2의 게이트에 펄스가 인가되어지고, 이때 약세레이터의 상태에 따라 인가되는 도통펄스의 폭이 제어 되어 前進方向의 走行速度를 可變 할 수 있게 한다. 역방향 전역제어모드는 순방향전역제어 모드와는 반대로서 Q3 과 Q4가 導通狀態이고 Q1, Q2 가 OFF된 상태에서 이때 전동지게차는 後進 S/W가 ON되어 있을 때이며, 차량이 약세레이터의 입력 상태에 따라 後進速度가 可變되어 지는 모드이다. 순방향회생모드는 IGBT Q1, Q2, Q3 가 OFF 되어지고 Q4가 도통되어 질때, 아마추어 전류는 상승하고 Q4와 D2를 통해서 흐르게 된다. 이때, Q4를 OFF 시키면 모터는 발전기로서 작용하여 전원축에 에너지를 返還하게 되는 동작모드이다. 역방향 회생모드는 IGBT Q1, Q2, Q4 가 OFF인 상태에서 Q2 가 ON 되어질때 아마추어 전류는 상승하고 Q2와 D4를 통해서 흐르게 되며 이때, Q2를 OFF 시키면 모터가 발전기로서 작동하여 역시 순방향 회생모드에서의 마찬가지로 에너지를

전원축에 返還하게 되는 모드이다. 회생모드에 있어서는 약 세레이터의 입력을 感知하여 입력이 없을때 事前に 결정해 놓은 공회전 속도 이상의 범위내에서 계자전류를 제어함으로써 에너지를 회생 시키는 것이 가능하다. SCR 및 IGBT 초퍼에 의해 구동되는 지게차 주행모터의 구동전류상태와 게이트 인가펄스를 실측하여 그림4 와 5에 보였다.



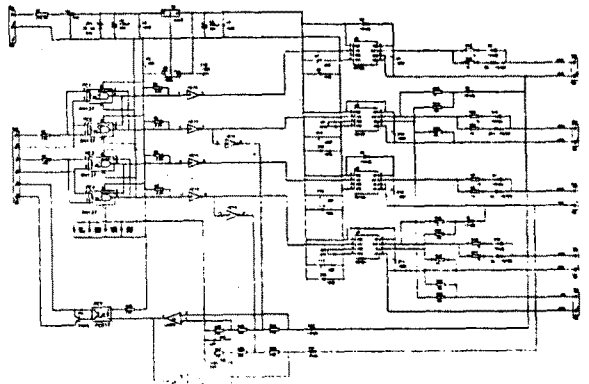
<그림 4> SCR 초퍼에 의해 구동되는 전기자 전류특성



<그림 5> IGBT에 의해 구동되는 전기자전류특성

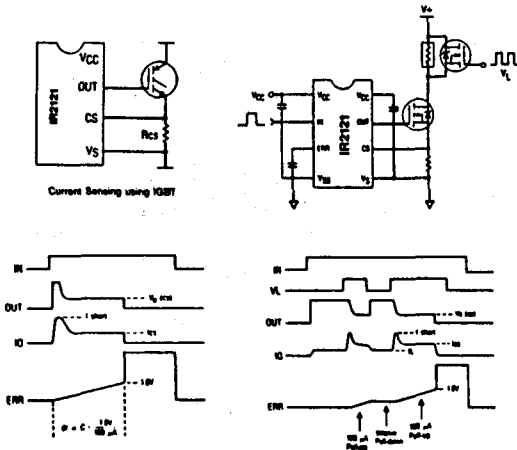
4-2) IGBT 게이트 구동회로 설계

IGBT의 게이트 구동회로를 그림6 에 나타내었다. 프로세서로부터 발생된 PWM 신호는 외부잡음에 의한 영향을 줄이고, 프로세서의 信賴度를 높이기 위해 포토커플러에 의해서 구동회로 입력단에 가해주었다. 모터의 과전류 및 과전압 리미트를 제어하고 IGBT를 保護하기 위하여 IR2121 및 IR2125를 사용하여 보호회로를 구성 하였으며, 프로세서(8097)로부터 생성된 게이트 구동 펄스는 이들 IC의 입력단에 電放된다. 실제 IGBT는 이들 IC의 출력펄스에 의해서 ON, OFF가 제어된다.

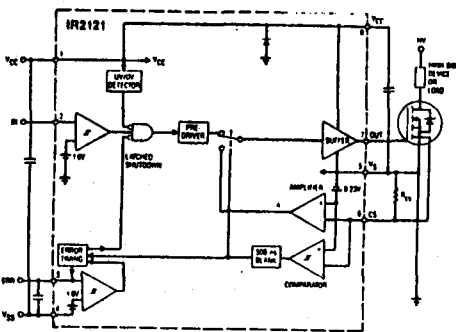


<그림 6> IGBT 게이트 구동회로

과전류리미트 IC의 외부블록과 내부기능도는 그림7과 같다. 과전류 검출을 위해 저항 R_{CS} 를 이용하며, 이 R_{CS} 값에 의해 전류 리미트를 결정해 줄수 있다. 만일 CS단자에 걸리는 전압이 230mV를 넘으면 Amplifier를 통해 Buffer측에 부궤환을 걸어 주므로서 전류가 리미트치 이내로 들어가도록 출력 펄스의 진폭을 제어한다. 또, IGBT가 스위칭 동작을 수행하는 순간에 생기는 불안정한 노이즈 스파크에 의해 CS 트립 비교기가 동작하는 것을 막기위해 500ns의 불링킹 시간이 필요하며, CS ERR 핀에 연결된 콘덴서에 1.8V이상의 한계전압이 충전되어지면 출력펄스는 OFF되어진다.



<그림 7-1> 리미트 IC 외부블록 및 동작과형

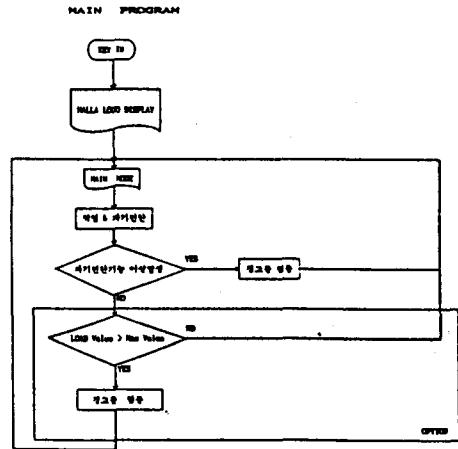


<그림 7-2> 과전류리미트 제어기능도

4-3) 소프트웨어

그림8 에 전동지게차 주행 및 작업기능을 제어하는 플로우 차트를 나타내었다. 운전자가 먼저 마스터 키를 ON 시키면 LCD 모니터는 3초간 깜박이면서, 차량의 이상유무를 체크하여 정상시는 운전모드를 표시한다. 운전모드에는 밧데리 잔존용량을 비롯한 주요 기능품의 작동 상태를 운전자에게 표시하여 주며, 전, 후진 콘트롤러를 넣고 악세레이터를 밟으면 IGBT 게이트에 구동 펄스가 가해져 차량은 주행이 가능하다. 만일 운전중 이상이 발생하면 경고등이 깜박이면서 이상 부분에 대한 메시지를 한글로 출력한다. 또한 차량의 스타트속도나 전기제동거리, 그리고 동란전류제어등 차량의 상태를 운전자의 조건에 맞도록 모니터상에서 세팅이 가능토록 프로그래밍 되어있다. 메인 프로세서는 8097BH PLCC 타입을 사용하였으며 10 Bit의 분해능을 갖는 8 Port의 아나

로그 입력단자에 주행속도 제어를 위한 악세레이터 및 부하 하중을 표시하기 위한 유압센서 입력신호 등이 직접 접속되어 있다. 신호입,출력수단으로는 RS232C 직렬 포트를 이용하였으며, 2개의 EPROM과 1개의 EEPROM에 의해 외부 파라미터 변경이 가능하다.



<그림 8> 전체 Flowchart

5. 결 론

전동지게차의 平均走行電流는 각 別別 적용 모터 용량에 따라 다르나 2.5톤 급의 경우 대개 110 - 150 (A) 정도가 소요되며, 기동시는 약 200 - 300(A), 그리고 동란면에서는 300 - 500(A) 정도의 매우 큰 전류를 필요로 한다. 따라서 이러한 대전류를 제어 하는데는 溫度문제, 소자의 耐久性과 하모닉 성분에 의한 간섭 등등 많은 문제점들이 수반된다. 뿐만아니라, 장비를 운전하는 산업현장의 使用條件이 제각기 다르고 주,야간 연속 작업을 하는 곳이 많기 때문에 이에 대한 적절한 保護回路를 설계하는 문제가 내구성 보장을 위해 매우 중요하다고 할수있다. 특히, 과전류에 의해서 IGBT가 쉽게 소손되어 질수 있으므로 소자 자체를 보호하기 위한 보호회로가 특별히 설계되어지지 않으면 안된다. 본 연구에서는 이러한 문제점들을 해결하고 전동지게차의 작업 용량에 따른 적절한 주행 모터를 설계하고, IGBT를 여러가지 사항에서 안정되게 구동시킬수 4상한 초퍼를 구성하여 전동지게차에 적용하였다. 특히, 마이크로 프로세서를 이용하여 전동지게차의 부가적인 작업기능들을 統一的으로 제어하였다.

* 참고문헌

1. S. B. Dewan, G. R. Slemon, A. Straughen, "Power semiconductor Drives", Wiley Interscience, 1984.
2. M. H. Rashid, "Power electronics circuits, device, and applications", Prentice-Hall International Inc, 1988.
3. S. Sathiakumar, "Microprocessor-based field-oriented control of a CSI-fed Induction motor drive", IEEE Trans. Ind. Elec., Vol. IE-33, No. 1, 1986.
4. R. Belmans, D. Vermeulen, A. Vandenput, and W. Geysen, "Economy of the introduction of adjustable speed drives for pumps, fans and compressors", IEEE, IA, Part1, 1986.