

선형 구동 시스템에 적용한 비접촉 전원장치에 관한 연구

황계호*, 이영식*, 문인호*, 조상준*, 이봉섭**, 정도영**, 김동희**
 (주)신성엔지니어링 기술연구소*, 강원대학교 전기제어공학부**, 영남대학교 전기공학과**

A study on the Contactless Power Supply System for Linear Driving System

Gye-Ho Hwang*, Yeung-Sik Lee*, In-Ho Moon*, Sang-Joon Cho*, Bong-Sub Lee**, Do-Young Jung**, Dong-Hee Kim**
 Shinsung ENG Co. Ltd, Institute of Technology*, Kangwon University**, Yeungnam University**

Abstract - 최근 반도체 및 FPD 산업에서 Glass의 사이즈, 무게의 증가함에 따라 물류 이송 장비의 전원장치인 비접촉 전원장치의 크기와 용량이 증가하는 추세이며, 또한, 클린룸의 규모가 커짐에 따라 물류 이송 장비 시스템의 길이가 길어지고 Vehicle의 수가 증가하는 추세이다. 본 논문에서는 여러 대의 Vehicle간 독립제어가 가능하고, 물류 이송 장비의 구조가 직선 부분과 곡선부분이 혼용되어진 구조에서도 사용 가능한 정전류 비접촉 전원장치의 주요 전력변환 토폴로지 별 해로 해석, 제어방법을 제시하였고, 특히 직·병렬 공진 컨버터의 회로해석, 특성평가를 행하였다. 이 특성평가를 바탕으로 정전류 비접촉 전원장치의 시제품을 제작하여 저항성 부하와 선형 구동 시스템에 적용한 Vehicle 2대를 부하로 사용하여 실험을 행하여 실제 적용, 가능성을 보이고자 한다.

가능한 자동물류 반송장비에 사용·가능하다.
 본 논문에서는 직·곡선 구간에서 구동 가능하여야 하고, 여러 대의 Vehicle에 대한 독립제어가 가능한 그림 2인 정전류 시스템을 갖는 비접촉 전원장치에 대한 연구를 진행하고자 한다.
 그림 3은 비접촉 전원장치의 전체 시스템 회로 구성과 각 부분의 전력변환 토폴로지의 정성적인 파형을 보여주고 있다. 그림 3에 보듯이 크게 고정부와 이동부로 나눌 수 있는데, 고정부에는 3상 V_{dc} 을 단상 V_{dc} 로 전력 변환하는 3상 정류기와 V_{dc} 를 고주파수로 구동되는 V_{ac} 로 전력 변환하는 직·병렬 공진 컨버터로 구성되어 있고, 이동부에는 고주파수로 구동되는 단상 V_{ac} 을 V_{dc} 로 전력 변환하는 단상 정류기와 독립제어를 하기 위한 Boost 컨버터, 초퍼 컨버터(Dynamic Break)로 구성되어 있다. 각 전력변환 토폴로지에 대한 해석은 다음과 같다.

1. 서 론

최근, 멀티미디어 환경이 보편화되고, 정보 인프라가 급속도로 확대됨에 따라, 디스플레이(Display) 산업도 급격히 변화하고 있으며, 이에 산업 전반에 걸쳐 생산 자동화의 요구가 증대함에 따라 LCD(Liquid Crystal Display, 액정 디스플레이), PDP(Plasma Display Panel, 플라즈마 디스플레이), OLED(Organic Electro Luminescent Display, 유기EL 디스플레이), TFT-LCD(Thin Film Transistor LCD), FED(Field Emission Display)등의 디스플레이 소자를 포함하는 FPD(Flat Panel Display, 이하 FPD라 칭함)는 기존의 CRT(Cathode Ray Tube, 음극선관) 시장을 빠르게 대체하고 있으며, 특히, 노트북 컴퓨터 디스플레이 장치, PC의 LCD 모니터, 이동단말장치 디스플레이, 대형 벽걸이 TV등을 중심으로 실생활에 급속히 보급되고 있다. 향후에는 휴대폰, 디지털 카메라, PDA(Personal Digital Assistants), 자동차 네비게이션 등 성장성이 무한하다고 전망되고 있어 FPD 제조사들의 생산 효율 증대를 위한 차세대 설비 투자 경쟁이 치열한 상황이다. 이에 FPD 산업 분야에서의 물류장비 국산화는 매우 시급한 실정이며, 또한, 생산측면에서, 효율 증대를 위한 물류장비의 이송속도 등이 중요하다.

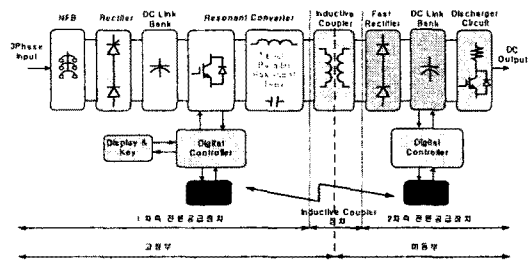
클린룸 내에서 물류이송을 담당하는 시스템은 이송 중 분진 등이 발생할 경우, 하부의 공정장비에 직접적 영향을 미쳐므로 주행시 비접촉 방식의 구동이 요구되고 있다. 이에 비접촉 전원장치에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 또, 클린룸 규모가 커짐에 따라 물류 이송 시스템의 길이(Track rail)가 길어지고 Vehicle의 수가 증가하는 추세이다. 이에 따라 전원을 공급하는 비접촉 전원장치의 크기와 용량이 증가하게 된다. 따라서 본 논문은 여러 대의 Vehicle간 독립제어가 가능하고, 물류이송 시스템의 구조가 직선부분과 곡선부분이 혼용되어진 구조에서도 사용가능한 비접촉 전원장치의 회로해석 및 제어방법, 특성평가, 실험을 통한 적용·가능성에 대한 연구를 행하고자 한다.

2. 비접촉 전원장치의 회로 해석

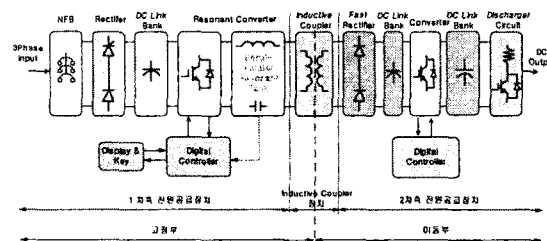
2.1 비접촉 전원장치

그림 1, 2는 비접촉 전원장치의 블록다이어그램을 보여주고 있다. 비접촉 전원장치는 크게 1차측 전원공급장치, 2차측 전원공급장치, Inductive Coupler 장치로 구성되는 것을 알 수 있다. 여기서, 비접촉의 의미는 1차측 전원공급장치와 2차측 전원공급장치 사이에 변압기 원리를 가지는 Inductive Coupler가 air gap으로 물리적인 접촉을 하지 않는 것을 말한다. 또, 비접촉 전원장치는 주로 반도체 생산 공정에 사용되므로, 접촉 전원장치인 트롤리 구동 전원장치에 비해 아주 현저하게 파티클 발생을 줄일 수 있다는 것이다.

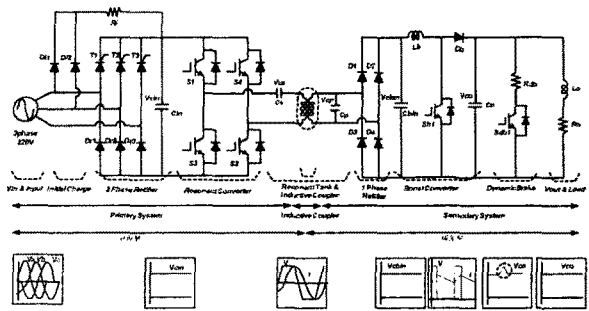
비접촉 전원장치는 크게 그림 1인 정전압 비접촉 전원장치와 그림 2인 정전류 비접촉 전원장치로 나눌 수 있다. 그림 1인 정전압 비접촉 전원장치는 펄스폭을 통하여 2차측 전원공급장치의 출력 전압 변동에 의한 1차측 전원공급장치를 제어하는 구조로 되어 있으며, 그림 2인 정전류 비접촉 전원장치는 2차측 전원공급장치의 출력 전압 변동에 상관 관계가 없으므로 1차측 전원공급장치의 공진전류를 일정하게 제어하는 구조를 갖는 것을 보여주고 있다. 이 두 비접촉 전원장치의 큰 특징은 그림 1인 정전압 비접촉 전원장치는 1차측 전원공급장치와 2차측 전원공급장치가 단독으로 1대만 구동되는 자동물류 반송장비에 사용되며, 그림 2인 정전류 비접촉 전원장치는 1차측 전원공급장치와 2차측 전원공급장치가 여러 대 사용되어도



〈그림 1〉 정전압 비접촉 전원장치의 블록선도



〈그림 2〉 정전류 비접촉 전원장치의 블록선도

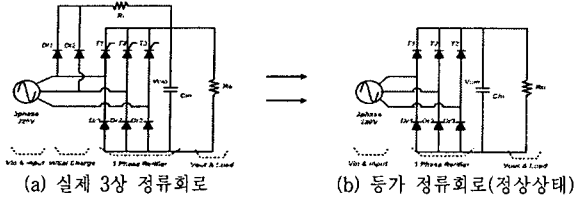


〈그림 3〉 비접촉 전원장치의 전체 시스템 회로 구성

2.2 3상 정류기

그림 4는 1차측 시스템에 구성되어 있는 3상 정류기를 보여주고 있다. 그림 4에서 보듯이 D_{r1} - D_{r3} 와 T_1 - T_3 은 3상 교류전원을 직류전원으로 변환하는 3상 전파정류회로이며 특히, 정류부의 상단 측, T_1 - T_3 을 사이리스터로 구성하여 주전원을 ON/OFF 할 수 있어서 정류소자와 DC 링크단 사이에 직류차단기를 제거하여 회로구성을 간단히 개선한 구조이다. 본 시스템에서는 인버터 동작 시에는 사이리

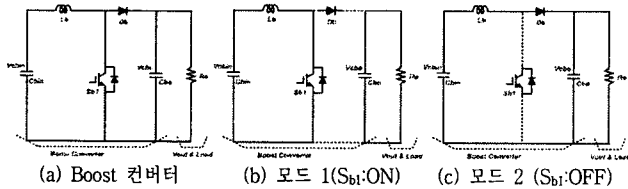
스터의 위상각을 제어하지 않고 항상 위상각 0° 에서 도통시키며, 기동 시, D_{11} , D_{12} 는 초기 전원 입력 시 R_1 을 통해 C_{in} 을 충전하기 위한 초기충전 회로로 구성되어 있으며, 만약 C_{in} 이 방전된 상태에서 T_1 , T_2 , T_3 을 도통(ON)시 순간단락 상태가 되어 돌입전류에 의한 소자의 손상이 발생하므로 일정 전압까지는 D_{11} - D_{12} - R_1 - C_{in} - D_{11} - D_{12} 의 루프를 통해 C_{in} 을 충전한 후 T_1 , T_2 , T_3 을 도통시켜 주전원을 공급한다.



〈그림 4〉 3상 정류 회로

2.3 Boost Converter

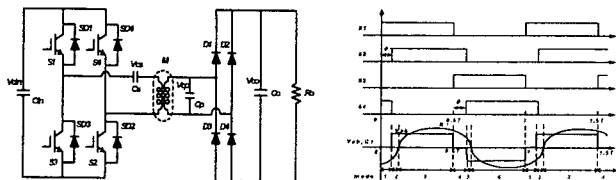
그림 5는 2차측 시스템에서 삽입된 독립제어를 위한 Boost 컨버터 회로를 보여주고 있다. 그림 5에서 보듯이 이 컨버터의 동작모드를 살펴보면 우선 스위치(S_{b1})가 도통일 때 인덕터 전류에 의해서 인덕터(L_b)에 에너지가 축적되고 다이오드(D_b)는 차단된다. 이때 출력 측에서는 출력 필터(C_{b0})의 전하가 부하저항(R_o)을 통하여 방전된다. 다음에 스위치(S_{b1})가 차단되면 인덕터(L_b)에 축적되었던 에너지는 환류다이오드(D_b)를 통하여 출력측으로 전달된다. 이런 모드의 특성으로 본 논문에서는 2차측 시스템에 탑재된 각 Vehicle이 독립적으로 제어를 가능하게 한다. 즉, Duty Control을 이용하여 에너지의 수수 관계에 의해 부하의 변동에 빠른 대응으로 출력전압 및 출력전류를 제어하고 있다. 이에 따라 2차측 시스템은 1차측 시스템과 무관하게 각 Vehicle의 상태(기동(가속), 등속, 감속)에 따라 독립적으로 제어된다.



〈그림 5〉 Boost 컨버터 및 동작모드

2.4 직·병렬 공진 컨버터

그림 6은 풀 브릿지 형태를 갖는 직·병렬 공진 컨버터를 보여 주고 있다. 그림 6에서 보듯이 직·병렬 공진 컨버터의 회로구성은 C_{in} 은 전원이고, S_1 - S_4 는 스위칭 소자로 MOSFET, IGBT, Power SIT 등이 적용 가능하고, C_s , C_p , 및 변압기(M)는 공진 커패시터와 리액터이며, C_o 는 평활용 커패시터로 구성할 수 있으며, D_1 - D_4 는 브리지로 구성된 정류용 다이오드로 역회복 시간이 빠른 고속 다이오드를 사용한다. 본 논문에서 1차측 시스템에 탑재된 직·병렬 공진 컨버터는 2차측 시스템의 부하 변동에 무관하게 독립적으로 한 Track의 페르프에 최대 운행 가능한 Vehicle 수에 맞는 용량을 갖게 특정 주파수로 고정하고, Phase 각(θ)(위상각)을 조정하는 Phase Shift(PS) 제어방법으로 공진 전류를 일정하게 유지하도록 제어하고 있다. 또, 그림 7에 나타난 스위칭 패턴인 Phase Shift 제어방법을 이용하고 있다. 그림 7에서 보듯이 스위치(S_1 , S_3)의 압, 즉 왼쪽 스위치 압을 기준압, 다른 스위치(S_2 , S_4)의 압, 즉 오른쪽 스위치 압을 제어압으로 하여 공진 컨버터를 구동하기 위한 기준압과 제어압에 구동신호의 위상차를 0° 에서 180° 까지 부여함으로써 공진 컨버터의 공진전류를 일정하게 유지하도록 제어하고 있다. 그림 7은 Phase Shift 제어방법을 이용하기 위해 위상각(θ)을 갖는 스위칭 소자(S_1 - S_4)의 구동신호와 기준압과 제어압 사이의 압전압(V_{ab}), Track의 공진전류(i_{Lr})의 파형을 정성적으로 보여주고 있다. 여기서 스위칭 소자(S_1 , S_3)와 스위칭 소자(S_2 , S_4)는 데드타임을 갖고, 상보적으로 구동하도록 스위칭을 하고 있다.



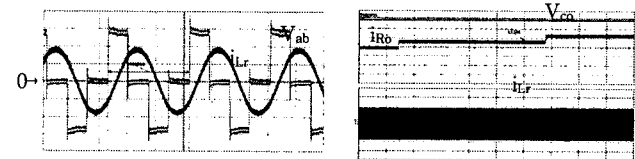
〈그림 6〉 직·병렬 공진 컨버터 〈그림 7〉 스위칭 패턴 및 정성적인 파형

3. 실험

정전류 비접촉 전원장치의 1차측 시스템은 Track의 공진전류를 제어입력으로 받아 일정한 공진전류를 유지하도록 제어하였으며, 2차측 시스템은 Vehicle간의 독립제어를 위하여 각 Vehicle의 출력전압을 제어입력으로 받아 Vehicle의 출력전압을 부하변동에 대하여도 일정하게 유지되도록 Boost 컨버터를 이용하여 제어하도록 제작하였다. 또한, 선형 구동 시스템에 사용되어진 선형 구동 시스템에 적용한 정전류 비접촉 전원장치 시제품의 주요 실험사양을 나타내고 있다. 선형 구동 시스템의 전원은 정전류 비접촉 전원장치를 사용하였으며, Vehicle 1대의 비접촉 전원장치 용량은 normal 2[kW]가 되도록 제작하였다. 또한, 선형 구동 시스템의 이송거리는 직선부 11[m], 곡선부 반경 1[m]이며, 전체 Vehicle의 대수는 2[EA]대를 사용하여 실험을 행하였다. 그림 8은 직·병렬 공진 컨버터의 압당단 전압(V_{AB})과 Track에 흐르는 공진전류(i_{Lr})의 정상상태 실험 파형을 보여주고 있다. 그림 8에서 보듯이 스위칭 주파수는 17.3[kHz]로 동작되고 있으며, 1차측 시스템과 연결된 Track에 흐르는 공진전류의 rms값을 120[A]로 유지되도록 Phase Shift Control을 이용하여 Duty를 제어하는 것을 알 수 있다. 그림 9는 2차측 시스템이 탑재된 Vehicle 1대의 출력전압, 출력전류와 1차측 시스템의 Track에 흐르는 공진전류의 실험파형을 보여주고 있다. 그림 9에서 보듯이 2차측 시스템이 무부하에서 1[kW], 2[kW]로 부하 변동되었을 경우에도 출력전압의 변동과 1차측 시스템의 공진전류가 변화 없이 독립적으로 잘 적응함을 알 수 있다.

〈표 1〉 정전류 비접촉 전원장치의 시제품 주요 실험사양

Item	Symbol	Value/Plant
Track 공진 리액터	L_s	81.7[μ H]
Coupler 공진 리액터	L_p	45.26[μ H]
1차측 공진 커패시터	C_s	1.21[μ F]
2차측 공진 커패시터	C_p	1.1[μ F]
Power Switches	$S_1 \sim S_4$	SKM400GB128D(400[A])
정류 다이오드	$D_1 \sim D_4$	SKKD105F(100[A], trr:0.5[μ s])
Boost IGBT	S_{b1}	SKM75GAL123D(75[A])
공진 주파수	f_r	15.95[kHz]
스위칭 주파수	f_{sw}	17.3[kHz]
Track 길이	Track	38[m]
Vehicle 용량	Power	2[kW]
부 하	R_o	저항부하 or TFLM적용 OHS



〈그림 8〉 V_{AB} , i_{Lr} 의 실험파형 〈그림 9〉 V_{co} , i_{Ro} , i_{Lr} 의 실험파형

4. 결 론

본 논문은 클린룸 내의 자동물류 반송장비중 선형 구동 시스템에 적용하기 위한 전원시스템으로 정전류 비접촉 전원장치의 주요 전력변환 토폴로지 별 해로해석, 제어방법을 제시하였고, 특히 직·병렬 공진 컨버터의 회로해석, 특성평가를 행하였다. 이 특성평가를 바탕으로 정전류 비접촉 전원장치의 시제품을 제작하여 저항성 부하와 선형 구동 시스템에 적용한 Vehicle 2대를 부하로 사용하여 실험을 행하였다. 실험 결과로 정전류 비접촉 전원장치가 직·곡선구간에서 Vehicle 구동이 가능하였고, Vehicle 2대를 이용한 Vehicle간 독립제어가 가능하고, 또한 여러 대의 Vehicle를 증설하여 동시에 구동이 가능함을 알 수 있었다.

[참 고 문 헌]

[1] 한국반도체산업협회, “반도체장비 기술로드맵”, 한국 반도체스플래이장비학회. 공청회 발표자료, 2005.
 [2] 조상준, “차세대 300mm Wafer 반송시스템”, 공기청정기술, Vol. 12, pp.40-59, 2001.
 [3] Gye-Ho Hwang 외 7명, “A study on the Output Voltage Control of Series-Parallel Resonant type DC/DC Converter for Transverse Flux Linear Motor”, KSDet, Vol.4, No.1(10), pp.9-15, 2005.
 [4] (주)신성이엔지, “LCD Fab에서의 자동반송 시스템”, 월간 반도체, No. 195, pp.44-50, 2004. 5.
 [5] Gye-Ho Hwang, 외 6명, “A Characteristic Analysis of the Series-Parallel Resonant type DC/DC Converter for Contactless Power System”, Proce.KIEE Conference 2005(B), pp.1425-1427, 2005.