技術報告

産業用 로봇트 驅動을 爲한 서어브裝置 設計

卞增男, 宋祥燮

韓國科學院 電氣 및 電子工學科

요 약

몸체부분에 3-자유도와 작업용핸드에 2-자유도를 갖는 원통좌표형 산업용로봇트의 구동용 서어보장치 설계에 관한 연구보고임. 몸체구동을 위한 서어보모터의 제어장치는 속도, 위치 및 전기자전류를 궤환시켜 구성한 피이드백시스템으로 싸이리스터 듀얼 콘버터(Thyristor dual converter)를 이용하여 평균직류전압이 DC 서어보모터의 속도를 제어하도록 구성하였으며 로봇트의 전체적인 동작은 릴레이를 사용하여 구동축을 선택하도록 하였는 바 속도응답특성을 보완하기 위하여 보상회로를 첨가하였음.

1. 서 론

2, 3 년전부터 학술잡지나 신문과 TV 등을 통하여 산업용로봇트가 국내에 소개되기 시작하였다. 실제로, KIST 나 한국과학원등 몇몇 연구소와 학교에서 산업용로봇트에 대한 연구가 진행중이며, 기아산업을 비롯한 중화학기업체에서는 상품화된 산업용로봇트를 도입하여 생산활동에 참가시키고 있는 중이다. 물론, 그 사용범위가 확대일로에 있는 세계적인 추세에 비추어 국내의 연구활동이나 사용실적은 미미한 것에 지나지 않고 당분간 이러한 국내여건은 지속될 것으로 보여진다. 본래, 自動化(automation)란 (i) 生産性 向上, (ii) 技術의 保全 및 (iii) 노동자보호를 통한 人間福祉를 목적으로 고려되고 實現된다. 특히 산업용로봇트는 악취, 고열등으로 인한 악조건의 환경 또는 위험하거나 단순한 작업으로부터 노동자를 보호한다는 人間性 回復에의 意志가 반영된 자동화기계라 볼 때 산업용로봇트에 依한 自動化는 소수 企業人의 결정에 따라 이루어진다기 보다는 人間을 존중하는 社會的여건과 경제적여유를 밑바탕으로 형성될 수 있을 것으로 생각된다.

본 보고서는 머지 않은 장래에 그 수요가 급격히 요청될 것으로 예측하여, 自家生産 必要性에 대비한다는 뜻에서 산업용로봇트의 자체제작 및 제어의 기술을 이해 습득하기 위한 연구에 대한 것이다. 본 연구를 위하여 3-자유도를 갖는 기계 몸체 팔 부분과 2-자유도를 갖는 기계손을 제작부착하여 구성한 원통좌표형 산업용로봇트(카이젬로봇트 1 호라 명명함)를 설계제작하였고, 이를 중심으로 마이크로프로셋서를 이용한 디지탈 제어장치 및 SCR 등을 이용한 모터 구동용 서어보장치를 결합한 후 교시형(教示型) 운전이 가능하도록 소프트웨어를 개발하였다. 본 보고서에서는 디지탈제어부로부터 위치, 속도명령신호를 받아 원하는 속도를 좇아 DC 서어보모터가 구동되도록 하기 위한 서어보제어장치의 설계와 핸드제어기에 관해서 기술하기로 한다. 카이젬로봇트 1 호는 그 용도가 피가공물의 移載用으로 설계하여 PTP 제어방식[1]을 택했고, 따라서 무엇보다도 정밀한 위치정도(位置精度 : position accuracy)를 필요로 한다. 이를 위하여 위치검출장치로서는 큰 정확도를 얻을 수 있는

리졸버를 사용하였고, 속도검출장치로서는 통상 사용되는 타코발전기를 사용하였다. 위치오차검출부, 속도오차검출부 및 보상회로를 포함한 전체의 서어보제어장치를 그림 1－1에 블럭도로 표시하였다.

DC 서어보모터에 동력을 공급해주는 서어보증폭기로서는 싸이리스터를 사용한 dual-converter 방식을 채용하여 속도오차량으로 모타에 전달되는 DC 전압을 제어하고, 정회전, 역회전 및 회생제동이 가능하도록 하였다. 또한 전기자에 흐르는 과도전류 및 과부하전류등으로부터 모타의 권선 및 싸이리스터등을 보호하기 위한 전류제한회로를 첨가하였다.

전술한 바와 같이, 구동될 3대의 모터 중 어느 한대를 제어하기 위한 방법으로서 릴레이를 사용하였는 바, 이때 릴레이의 응답속도등의 차이로 인한 시스템의 오동작을 막기 위하여는 적당한 지연인가 보상회로가 필요하다. 시스템운전면에서 보면 서어보 이외에도, 비상정지기능, over-travel 방지기능, 과부하 또는 과열방지등을 위한 보호장치가 부착되어야 한다.

로봇트의 핸드는 물건을 포획할 수 있고, 회전운동이 가능하도록 설계되었다. 이때 공기식실린더에 가해 줄 압축공기의 방향을 솔레노이드밸브로서 바꾸어주도록 구성하였으며 따라서 핸드에는 공기식동력원인 에어콤프렛서를 사용하였다.

본 보고서의 구성은 다음과 같다. 제2장에서는 서어보제어장치를 기술하고, 제3장에서는 설계된 서어보제어장치의 문제점을 기술하며, 제4장은 결론의 장으로 한다.

2. 서어보제어장치

그림 1－1의 블럭도를 살펴보자. 서어보제어장치의 입력으로서는 교시과정에서 기억된 위치명령신호를 받고, 리졸버를 통해서 검출된 현재의 위치와 위치명령신호(기준입력)를 비교하여 만들어진 위치오차(디지탈신호량)를 D/A변환기를 통해 아날로그량으로 바꾸며, 이 아날로그량이 속도유닛의 입력이 된다. 속도입력신호는 다시 타코발전기를 통해서 검출된 현재의 모타의 속도와 비교되어 속도오차신호가 만들어지며, 이 신호는 적절한 보상회로를 거쳐 싸이리스터로 구성된 서어보증폭기(dual-converter 형)의 제어입력으로 사용된다. 위치제어시스템의 관점에서 볼 때 타코발전기를 통한 負軌環의 효과는 댐핑효과를 주어 대역폭을 늘림으로써 速應性을 증가시키는 것으로 해석할 수도 있다. 서어보증폭기의 출력은 제어입력에 비례하는 평균DC전압으로서, 전술한 릴레이를 통해서 특정한 축의 모타에 공급된다.

2－1. DC 서어보모터

본 카이젬로봇트 1호의 몸체를 구동하는 DC 서어보모터는 Z－축을 구동하는데 필요한 크기의 동일한 3대의 영구자석형으로서[2], 모터의 속도는 전기자에 공급되는 DC전압의 크기로서 제어되며, 전기자의 인덕턴스를 무시할 경우의 전달함수는 다음과 같이 identify 되었다.

$$\frac{\theta(s)}{Ea(s)} = \frac{Km}{s(Tms+1)} = \frac{1.1}{s(7.7\times10^{-3}s+1)}$$

[2] 서어보제어장치는 하나뿐이며 릴레이를 통해서 특정한 모터에 연결되는데, 이렇게 하기 위해서는 모터의 크기가 동일해야 하며, 당연히 가장 큰 출력을 요구하는 Z－축이 선정기준이 된다.

단,

$\theta(s)$; 모터의 축변위

Ea(s) ; 전기자에 인가된 직류전압

Km ; 모터의 이득정수

Tm ; 모터의 시정수

본 모터에는 검출기로서 리졸버와 타코발전기

[1] PTP 제어 : Point-to-Point control

가 내장되어 있는데, 타코발전기의 전압감도는 6V／1,000 rpm 이고, 리졸버의 회전자권선에 인가될 기준압력신호는 주파수가 3 KHz, 전압의 크기는 최대 3 Vrms 인 것이 요구된다.

동력의 제어신호를 이용하여 큰 동력을 동력원으로 부터 인출함으로 큰 평균전력이 모터에 전달되게 하는 역활을 한다. 원리적으로 동력 증폭이 SCR의 스윗치 역활에 의해 가능하다는 과정

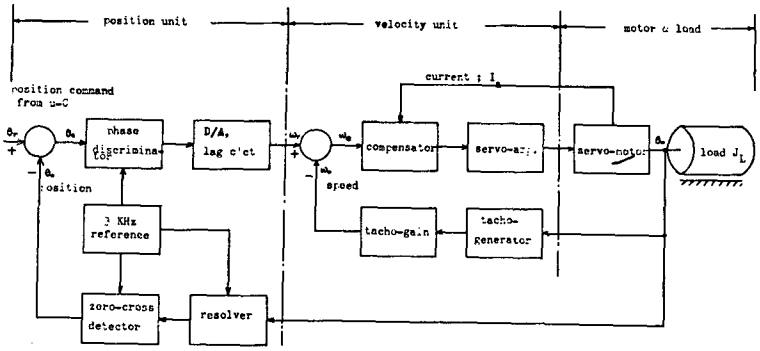


그림 1. 位置제어시스템의 블럭도

2－2. 서어보 증폭장치(Servo Amplifer)

서어보증폭장치는 피제어물인 DC 서어보모터에, 제어신호에 따른 충분한 동력을 전달하는 기능을 갖는 장치로서 본 연구에서는 12개의 SCR을 이용하여 듀얼 콘버터(dual converter)형으로 채택 구성하였다. 잘 알려진 바와 같이 SCR (혹은 Thyristor)는 전자식 스윗치로서 작은 을 그림 2에 보였다.[5]

서어보증폭기는 SCR의 정류작용을 이용하여 SCR 게이트에 계산된 입력에 해당하는 시간지연을 갖는 trigger pulse를 가하여 이루어진다.

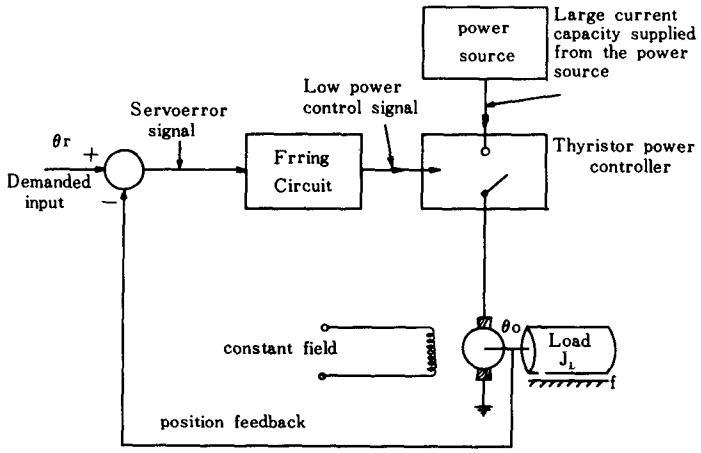


그림 2. Simple thyristor controlled power servo.

계산된 입력은 DC 전압으로 나타나므로, 입력된 전압만큼 trigger pulse의 위치가 바뀌는 메카니즘이 필요하게 되며, 본 서어보장치에서는 이 메카니즘이 그림 3에 보인 바와 같이 velocity

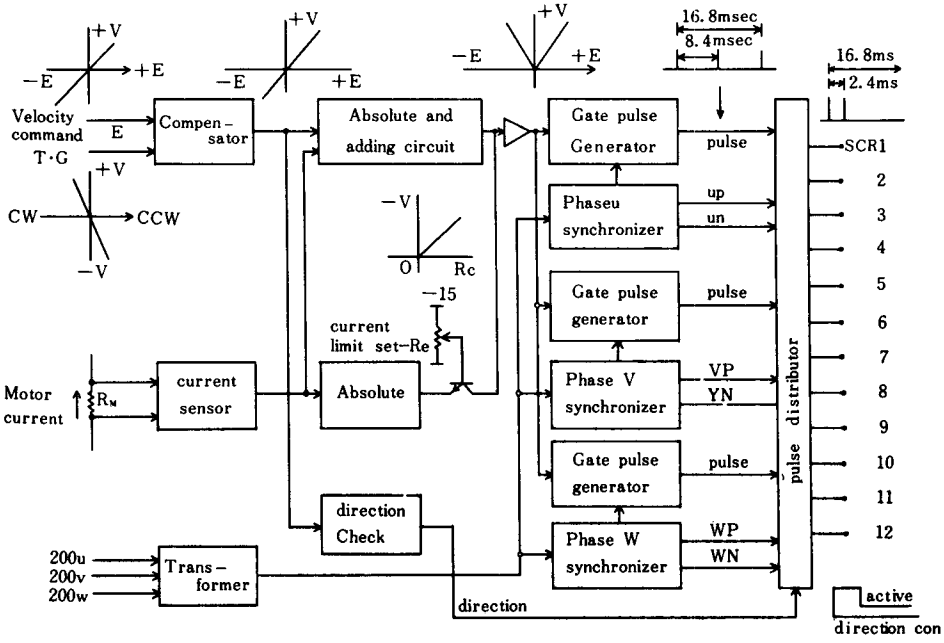
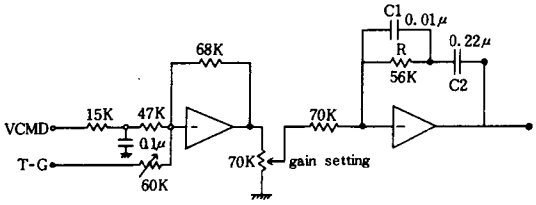


그림 3. Velocity servo - control unit

unit에서 이루어진다. Pulse의 위치에 따라 firing circuit의 gate pulse timing이 조정되므로 결국 Pulse위치가 모터의 속도를 조절하는 것이 된다.

보상회로는 그림 4에 보인 바와 같이 VCMD로 표시된 위치에 비례하는 속도지령과 타코발전기의 궤환전압을 입력으로 하여 SCR의 Firing angle α를 결정하는 신호를 발생한다. 이때 C_1과 C_2 및 56KΩ의 저항으로 구성된 회로는 Steady - state error를 없애기 위한 integration action과 전달함수 $\frac{1}{SC_1R+1}$ 로 대표되는 modified proportional action의 기능을 첨가한다. 후자와 같은 전달함수는 갑작스런 input 변화에 대하여 C_1R의 시정수를 갖는 exponential response를 갖도록 한다.

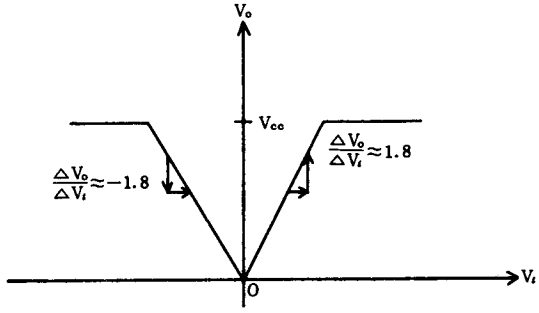


VCMD : Velocity command $|VCMD| \leq 9V$

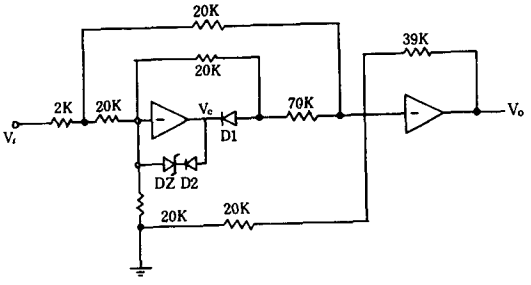
T − G : Tachogenerator : 6V/1,000rpm

그림 4. Compensation network.

SCR을 Trigger 시키는 펄스의 timing은 보상회로 출력의 절대값에 의해 결정되므로 그림 5 (a)에 주어진 특성을 갖는 회로가 필요하며, 이는 그림 5 (b)에 보인 바와 같이 구성하였다.



(a) absolute circuit의 特性曲線



(b) Absolute circuit

그림 5. Absolute circuit 와 그의 特性曲線

아마츄어에 흐르는 전류는 어느 때나 최대허용전류를 초과해서는 안되며, 이를 위하여 전류감지회로 및 제한회로가 필요하다. 이는 그림 6에 주어진 바와 같이 구성하였다.

그림 7 과 같은 회로로 구성되는 dual-converter의 각 SCR의 크기는 모터의 정격전류가 12A이므로 안전인수를 2로 고려해서 25A, 400V정도의 용량을 취했다. 그림 8은 3 ϕ 교류전압을 가변직류전압으로 변환하기 위한, 각 SCR에 공급되는 게이트신호 및 모터의 전류파형 및 SCR의 전류, 전압파형을 도시한 것이다. 그림 8에서 α(전도각)값이 커지면 평균직류전압이 작아지며, α값이 작아지면 커지므로, 전술한 속도오차가 α값을 제어하도록 만들면 속도오차의 크기로서 DC모터의 속도를 제어할 수 있다. 이를 위해서 그림 9와 같이 전원과 정확히 동기

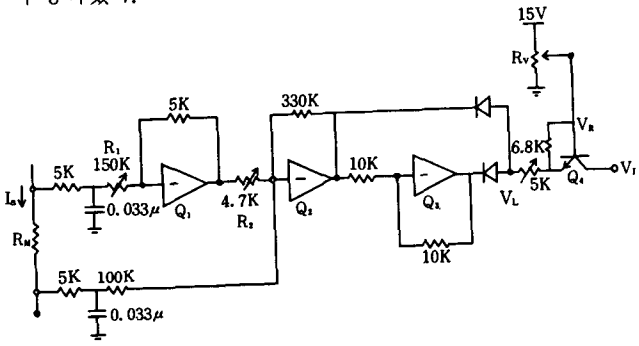


그림 6. Current sensing & limiting circuit.

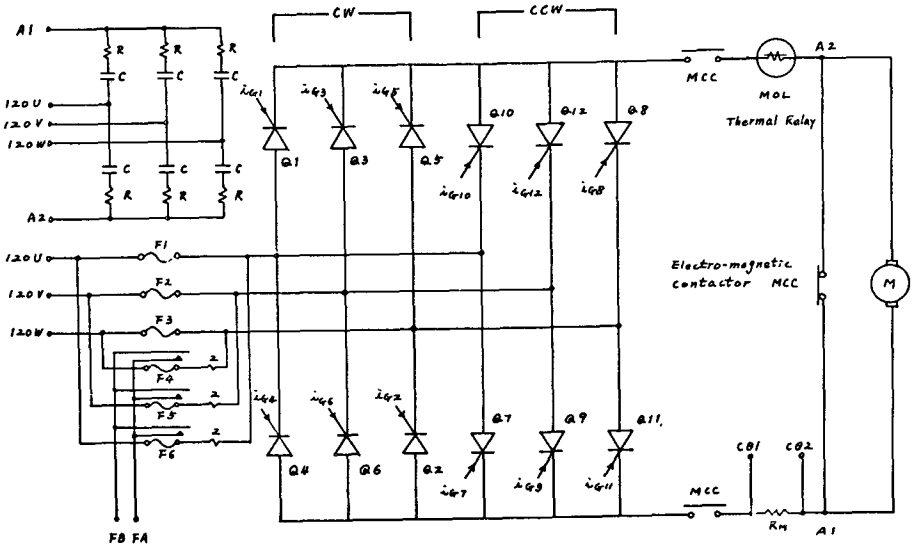


그림 7. Thyristor dual-converter.

(synchronization)되고, 속도오차에 따라 α 값이 비례하도록 하였고 이때 각 부분의 파형을 그림 10에 보였는데, 속도오차(ωe)가 커질 때에 전도각 α가 작아져서 큰 직류전압을 모터에 공급함으로서 속도오차를 줄인다. 그림 9에서 만들어진 신호는 그림 11의 펄스분배회로를 거쳐서

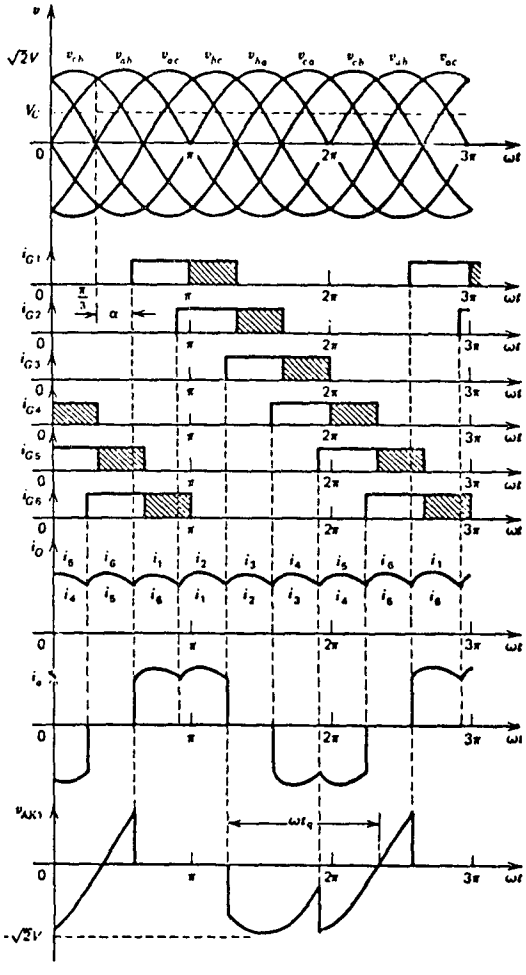


그림 8. 그림 7의 回路에서의 電圧電流의 時間에 따른 變化

각 싸이리스터를 제어한다. 속도오차의 검출 및 보상은 연산증폭기(op-amplifier)를 이용해서 행하고, 이때 주의할 점은 타코발전기의 전압이 부궤환이 되도록 극성에 주의하여야 한다. 위치오차의 검출은 리졸버(resolver)를 이용한다. 전기자전류를 검출하는 방법은 전기자내부저항의 약 0.1배의 저항을 직렬로 전기자회로에 삽입시켜 삽입된 저항의 양단간에 걸리는 전압을 통해서 간접적으로 구한다. 각각의 상세한 실제회로는 참고문헌[3]에 수록되어 있다.

2-3. 릴레이

전술한 바와 같이 특정한 모터의 구동은 서어보증폭기를 릴레이를 통해서 그 모터에 연결해 줌으로서 행해지는데, 이때 릴레이는 DC 서어보모터, 리졸버의 출력, 타코발전기의 출력을 동시에 서어보증폭기에 연결 또는 차단시켜주어야 한다. 이때 모터의 선택용으로서는 대형릴레이가 사용되고, 리졸버와 타코발전기는 소형릴레이를 사용하게 되는데, 각 릴레이의 크기에 따라 상이한 응답 특성을 가지고 있기 때문에 다음과 같은 문제가 발생한다. 즉 Jog-button을 사용하여 모터를 구동하는 경우, 구동시작의 경우에는, 응답속도가 빠른 소형릴레이(타코발전기의 전압을 부궤환시켜줌)가 먼저 OFF 되므로 순간적으로 open-loop시스템으로 동작하여 모터용의 대형릴레이가 OFF 될때까지 큰 직류전압이 모터에 인가되어 모터는 순간적으로 큰 속도로 회전하므로, 위치를 전혀 제어할 수 없게 된다. 따라서 그림 12와 같이 모터용의 릴레이가 완전히 OFF 되었을 때 이 사실을 검출하여 수msec동안 지연(delay)시킨 다음 타코발전기용의 릴레이를 OFF 시키도록 하는 보상회로를 첨가하였다. 또한 모터의 제동을 위해서 그림 12(a)와 같이 릴레이의 N.C.(Normally Closed) 접점을 이용하여 발전제동기능을 하도록 한다.

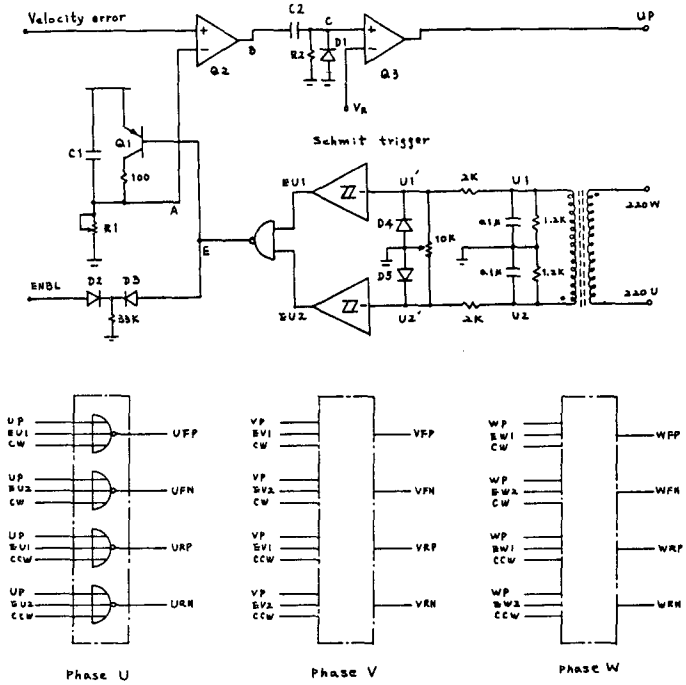


그림 9. 同期能力이 있는 gate pulse의 發生

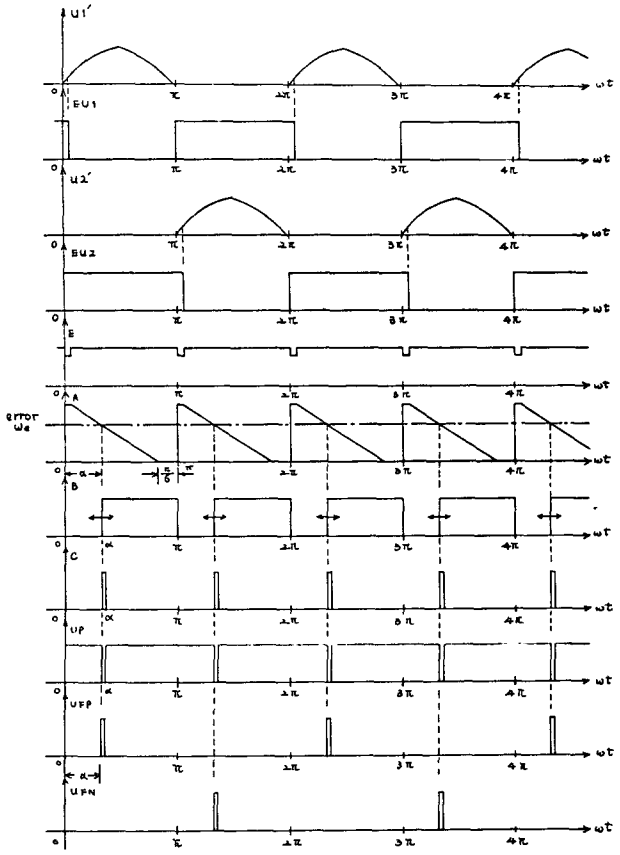


그림 10.

그림 9의 回路에서의 電圧의 時間에 따른 變化

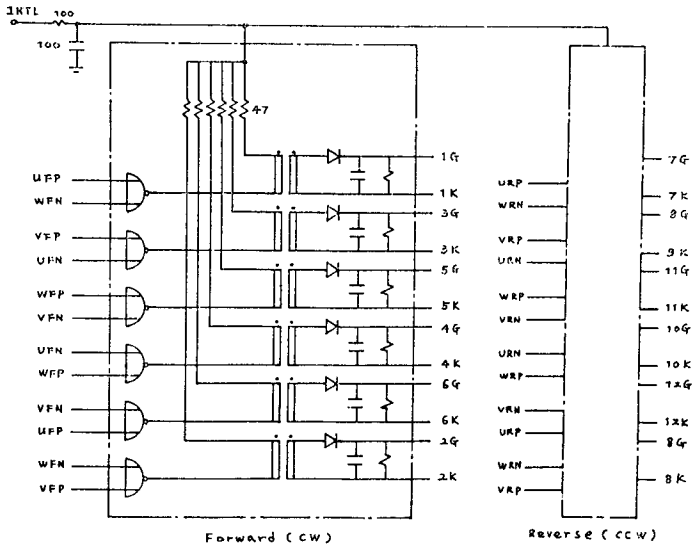
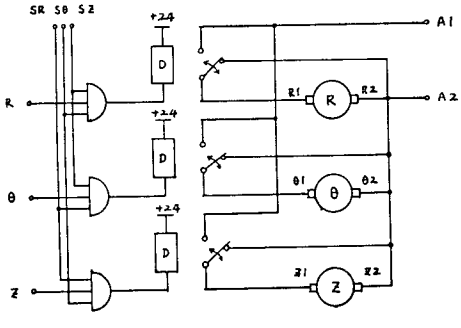


그림 11. Pulse distributor.



(a) Relays for DC motors

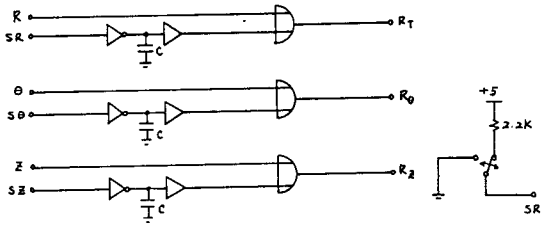


그림 12.(b) Selection of tachogenerator with delay-time compensation.

이때 릴레이는 응답속도가 빠를수록 좋다.

2-4. 핸드 제어장치

카이젤로봇트 1호의 핸드(집게, 손목으로 구성되어 있음)는 전술한 바와 같이, 공기식실린더에 가해주는 압축공기의 방향을 솔레노이드릴레이를 사용하여 바꾸어 줌으로서, 포획운동(집게), 회전운동(손목)이 가능하며 그림 13에서 Grasp (포획)에 "1"이 인가되면 물건을 잡으며, "0"이 인가되면 놓는다. 마찬가지로 Rotate (회전)

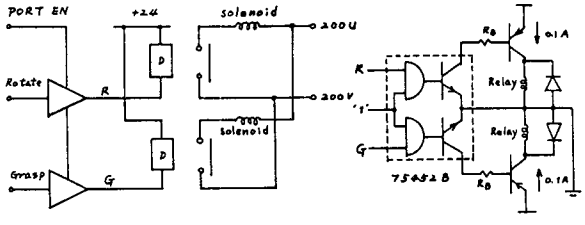


그림 13. Solenoid valve를 사용하는 pneumatic.

에 "1"이 인가되면 90°만큼 오른쪽방향으로 회전하며, "0"이 인가되면 원위치로 복귀한다. 주의할 점은 잡음에 의한 오동작이 절대로 발생되지 않도록 해야 한다. 따라서 실제의 회로에서

는 잡음제거용 저역필터를 각 입력에 부착시켰다.

2-5. 보호장치 및 동력부

로봇트는 기계구조물이 3차원공간에서 운동하므로 주변의 다른 기계장치와 운전자를 보호하기 위한 특별한 배려가 필요하다. 이러한 목적으로, 비상정지기능, overtravel 방지기능을 첨가하였다. 비상정지를 위해서는 제1의 Teach-Box 및 제어반의 control panel에 푸쉬버튼을 두어 눌러진 경우에는 급히 모터를 서어보증폭기로부터 차단시키고 모터양단을 단락시켜 급히 제동시킴과 동시에 μ-computer에 비상정지가 발생했음을 알려 준다. Overtravel을 검출하기 위해서는 기계구조물의 제한코자 하는 위치에 μ-switch를 부착하여 검출한다. 기능은 비상정지와 비슷하지만 teach-box에서만 reset이 가능하다. 이외에 과전류, 과부하등은 열전릴레이(thermal relay)로서 검출하며 과열의 경우는 termo-switch로서 검출한다. 각각의 경우가 검출된 경우에는 언제든지 로봇트를 정지시키고 μ-computer를 통해서 teach-box에 원인을 표시하고 사용자의 판단을 기다린다. 이상의 상세한 회로는 참고문헌[3]에 수록되어 있다.

그림 14에 카이젤로봇트 1호의 동력결선도를 도시하였다. 먼저 브레익스윗치로서 외부전원을 인입시킨 후 제어반의 control panel에서 간단히 푸쉬버튼으로 ON-OFF 할 수 있도록 마그넷스윗치를 거친 후에 모터용변압기(Y-△) 및 동기용변압기(△-△), 그리고 전자부 및 콤퓨터용의 동력용변압기에 공급된다. 주의할 사항은 dual-converter (그림 7 참조)의 출력은 또 하나의 마그넷스윗치를 거치게 하였는데, 이의 목적은 비상정지, overtravel이 발생시에 모터만 속히 정지시키기 위한 것이다.

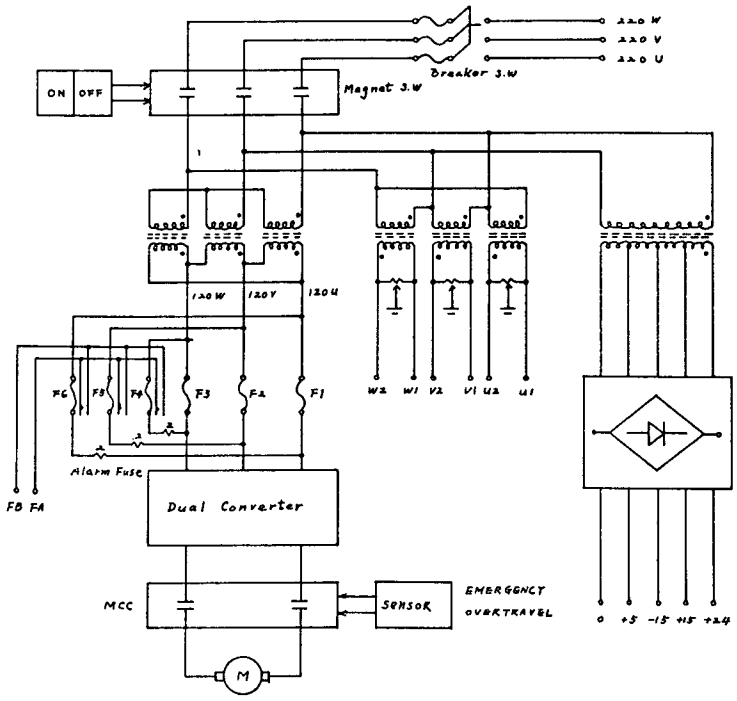


그림 14. Power unit.

3. 문 제 점

본 산업용로봇트의 몸체를 구동하는 DC 서어보모터의 서어보제어장치를 설계제작하여 manual-mode로 시험하였다. 각각의 회로는 대부분 DTL을 사용하여 신호의 크기를 높임으로서 잡음의 영향을 줄였다. 그러나 싸이리스터의 스윗칭, 제어회로에 사용한 릴레이의 단속시에 생기는 잡음, 또한 시스템이 방대해진 결과 Groundnd loop에서 생기는 오차등, compact 하지 못한 데에서 생기는 많은 문제점들이, 디지탈제어장치를 규합시켜 종합된 하나의 시스템으로 만들었을 때 신뢰도의 저조, interface의 오동작등을 야기시켰다.

따라서 본 연구에서 다룬 산업용로봇트의 제어장치는 특히 운전속도 및 Interface면에서 개선의 여지가 많은 문제점을 제시하였다. 물론 본 로봇트의 운전속도에 큰 제한요소로 작용하는 역학적인 불균형을 해소할 새로운 제작이나 개조가 먼저 선행되어야 한다. 특히 기계의 축과 모타의 축이 정확히 일치되지 않아 과중한 부하가 생긴점, Ball screw 대신 lead screw를 사용했으므로 증가된 Friction등이 개선되어야 한다. 그러나 이외에도 최적제어이론의 도입을 통한 개선이 이루어질 수 있다. 상기한 잡음등의 영향을 해소하기 위해서, 전체적으로 작은 크기가 되도록 PCB 기판을 설계제작하고, ground-system의 적절한 설계 및 콤퓨터와의 전기적격리등의 방법을 이용한 재설계를 시도중에 있다.

4. 결 론

산업용로봇트의 이용이 여러 분야에서 차츰 증가함에 따라 이미 선진국에서 많은 연구사례가 발표되고 있고, 점차 실용화되어 가고 있는 지능로봇트는 우수한 감각장치를 갖추고 있어 한층 고급기술자의 수동작업을 대체해 가고 있다. 가까운 일본에서는 각 계의 연구기관이나 학교,산업체에서 활발히 연구가 계속되가고 있어 오늘날 산업용로봇트에 관한 한 세계최고의 기술을 자랑하고 있다. 이러한 세계적인 확대추세에 비추어 한국은 1979년도 말 현재 국내총보유대수 5대미만으로서 아직 도입단계의 시작이고 사용효과에 대한 인식도 부족한 형편인 것 같다.[15]일부 지식인사들이, 産業用로봇트를 아직은 우리 社會의 格에 맞지 않는 사치한 고급장난감 정도로 깊이 오해를 하고 있는 것은 매우 유감스러운 일이다.

산업용로봇트는 생산성향상 및 인간복지향상의 두가지 상충되는 목적을 동시에 해결시켜주는 자동화장치이며 이의 응용범위는 문명과 기술의 발전에 비례하여 무한히 확대될 것이다. 이에 대한 연구는 계속되어야 하며, 기업여건 및 사회인식의 개선과 국가적인 차원에서의 연구지원이 있어야 할 것으로 믿는다.

참 고 문 헌

1. 변증남, "산업용로봇트의 제어", "공업기술 제1권 3호 1979년 2월.
2. 김승필, "μ-P based controller for playback-type Industrial Robot", 한국과학원 석사학위논문, 1980년 1월.
3. 송상섭, "A study on the servo-controller for an Industrial Robot", 한국과학원 석사학위논문, 1980년 1월.
4. 長谷川健介, "工業用ロボジト"
5. Wilson, "Modern practice in servo-design", Pergamon, 1970.
6. S.B.Dewan, A.Straughen, "Power semiconductor circuits", John wiley & Sons, 1975.
7. Fujitsu FANUC, "DC Servo-unit maintenance manual."
8. B.R.Pelly. "Thyristor phase-controlled

converters and cycloconverters", Wiley, 1971.
9. "SCR Manual", General electric company.
10. "7th International symposium on industrial robot", 19, 20, 21, Oct 1977, Tokyo, Japan.
11. "8th International symposium on industrial robot", IPA Stuttgart, West germany.
12. Timothy J. Maloney, Fernando L. Alvarado, "A Digital mothod for DC motor speed control", IEEE Trans. on IECI, Vol. IECI - 23, No. 1, Feb. 1976.
13. T. Krishnan, B. Romaswami, "Speed control of DC motor using thgristor dual converter", IEEE Trans. on IECI, Vol. IECI - 23, No. 4. Nov. 1976.
14. B.I. Lango, R. Krishnan, "Firing circuit for three-phase thyristor-bridge rectifier", IEEE Trans. on IECI, Vol. IECI - 25, No. 1. Feb. 1978.
15. 이봉진, 1978, 12, "로봇트 開發을 위한 基礎調査 硏究", KIST.
16. 박영제, "산업용로봇트 몸체의 설계 및 제작", 한국과학원 석사학위논문, 1980 년 1월.