■ 포토 커플러(Photo Coupler)에 대하여

● 포토 커플러(Photo Coupler)란 무엇인가?

Photo Coupler는 입력 전기 신호와 출력 전기 신호를 '빛'으로써 전달하는 역할을 한다.
일반적으로 발광소자와 수광소자를 하나의 Package에 결합하여 입출력간을 전기적으로 절연시켜 광으로 신호를 전달하는 광결합소자로 Photo Isolator, Opto Coupler, Opto Isolator 라고도 한다.

대개 Photo Coupler에 사용되는 발광소자에는 발광효율이 높은 GaAs 적외발광 Diode, High Speed를 요하는 GaAlAs, GaAsP등이 사용되며 수광소자에는 출력 효율이 좋은 Photo Si,Transistor, High Speed용인 Logic-IC, 그 밖에 Photo Diode, Photo Triac, Photo SCR등이 사용된다.

Photo Coupler는 이러한 입출력간의 전기적 절연 특성으로 전위나 Impedance가 다른 회로 사이의 신호전달용으로 사무기기,통신기기,가정용 가전제품등의 전자기기에 광범위하게 응용되고 있다.

● Photo Coupler의 특징

1) Photo Coupler의 일반적 특징

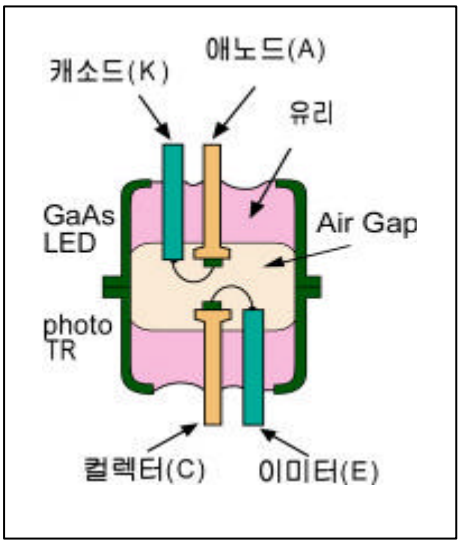
① 입출력간이 전기적으로 완전히 절연되어 있으며 전위차가 다른 두 회로간의 신호전달에 사용 된다.
② 신호전달이 단 방향이므로 출력으로부터 입력에 대한 영향이 없다.
③ 논리소자와의 Interface가 용이하고 응답속도가 빠르다.
(General Purpose用은 수 μs, High Speed用은 수 ns임.)
④ 소형, 경량이므로 실장밀도를 높일수 있다.
⑤ 수명이 반영구적이며, 높은 신뢰성을 갖는다.
⑥ Photo Coupler는 빛을 이용하여 신호전달을 하기 때문에 잡음에 강하다.

2) Photo Coupler의 출력단 형태별 종류및 특징

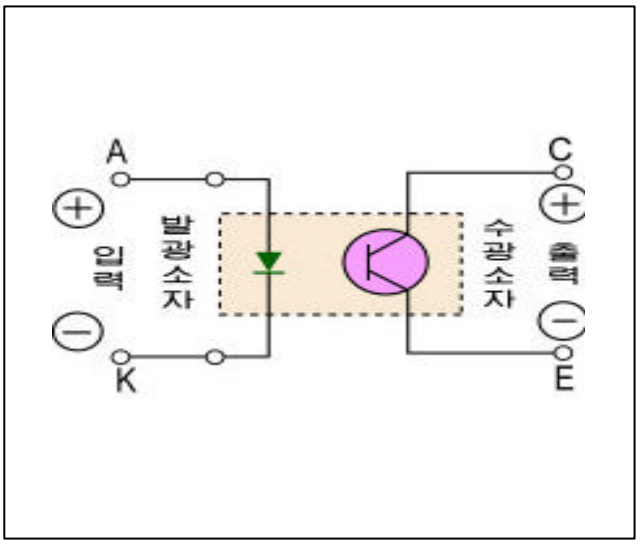
출력단	특징 및 사용상의 차이점
Single TR	-. 범용으로 가장 많이 사용하고 있으며, 전류 전달효율(CTR)에 따라 Rank가 구분된다. -. AC, DC Input type으로 나눠진다.
Darling TR	-. 저전류의 인가로 높은 출력전류를 갖는 Type으로 C-MOS IC와의 Interface가 용이하나 Switching speed가 늦다. -. AC, DC Input type으로 나눠진다.
Logic IC	-. 출력효률은 낮지만 고속의 Switching speed가 요구되는 TTL과의 Interface가 용이하다.

● Photo Coupler의 구조및 기본동작

1) 구조
Photo Coupler는 일반적으로 발광용 소자와 수광용 소자 사이에 고절연물질을 넣어 광학적으로 결합시켜 접지 전위가 다른 회로간의 신호 인터페이스로 사용하는 절연 트랜스나 전자 릴레이를 대체하는 소자이다.



< Photo Coupler 구조 >

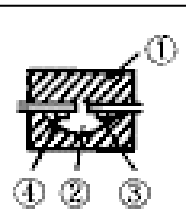
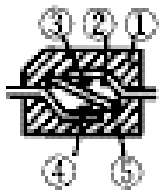
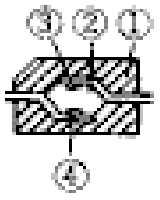
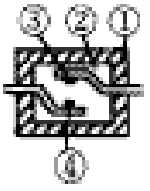
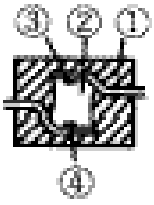


< Photo Coupler 구성 >

Photo Coupler의 구조는 DIP, SOP, CAN SEAL등의 여러 Type의 Package내에 위와 같이 결합 구성하는데 대개 범용으로 Plastic DIP Type이 많이 사용되고 있다.
위의 그림은 DIP Type의 여러 종류의 외부 형태중 하나이며 내부 구조는 발광소자및 수광소자가 대향 배치되어 입출력간의 신호 전달을 광(光)을 매개체로 하는 구조이다.

제조방법은 Infrared Emitting Diode와 Photo TR의 Chip을 독립된 Lead Frame에 실장하고 각 Chip의 전극을 Gold Wire를 사용하여 다른 Lead Frame간을 연결하여 절연성 수지로 모체를 구성한다.

Photo Coupler의 구조는 제조 Maker에 따라 아래와 같이 각기 다른 방식을 채택하고 있으며 AUK社는 "가"의 형태를 취하고 있다.

				
" 가 "	" 나 "	" 다 "	" 라 "	" 마 "

2) 기본 동작
Photo Coupler의 기본동작은 Transistor와 비슷하다.
차이점은 Transistor에서는 Base 전류를 인가하는 반면, Photo Coupler는 IRED광출력을 Photo TR에 신호로 인가한다는데 그 차이점이 있다.

● Photo Coupler 기본 Parameter및 결정법

1) 절대정격(Absolute Maximum Ratings)
절대정격이란 순간이라도 동작중에 넘어서는 안되는 정격치로 두가지 이상으 정격이 설정되어 있을 때도 절대정격을 초과하여 공급되어서는 안된다.

최대정격을 넘어 사용하는 경우 소자의 원특성을 회복하지 못하는 경우가 있으므로 회로 설계에 있어 공급전압의 변동, 전기부품의 특성 편차, 회로조정시의 조건 변화와 주위 온도의 변화, 입력 신호의 변동 등에 유의하여 최대 정격중 하나라도 정격치를 넘어 사용되는 것을 피해야 한다. 아울러 이러한 정격치는 제품 공급시 사양서에 명시되어 있으므로 소자의 선정시 또는 사용할때 충분히 검토가 이루어져야 한다.
주된 항목으로 각 입출력단의 전류, 전압, 전력 손실과 온도조건 등으로 다음에 열거되는 조건들이다.

① Viso(Isolation Voltage)
입력단(IRED)과 출력단(Photo TR)과의 절연 정도를, RH=40 ~ 60%에서 1분간 규정 전압을 인가시 절연이 파괴되지 않고 견딜 수 있는 전압을 나타낸 특성으로 Photo Coupler 선택시 중요한 특성중의 하나이다.
현재 DIP Type은 AC 2,500Vrms, AC 3,750Vrms, AC 5,000Vrms, Mini Flat Type 은 AC 2,500Vrms, AC 3,750Vrms의 제품들이 실용화 되어 있다.
포토 커플러의 입출력간 Floating 용량(Cs)는 대개 작기 때문에 문제가 없다. 그러나 입력 또는 출력측에서 빠르게 상승하는 Surge가 발생시에 다음과 같은 식의 값만큼 입력 또는 출력측에 영향을 끼친다. 이것은 저주파에서는 문제가 되지 않으나 고주파에서는 심각한 문제가 될 수가 있다.
즉 고주파 Surge가 발생하였을 경우에 입출력간 Floating 용량의 작용으로 노이즈가 전달이 된다.

노이즈 전류=Cs*(dv/dt) (A)

예를 들면 100v, 1us의 상승 서지가 인가되었을 경우 전달 노이즈는 100uA가 전달이 된다. 그러므로 이러한 노이즈가 발생하는 회로에는 입력,출력회로에 서지흡수 회로를 내장하는 것이 바람직하다.

② I_F(Continuous Forward Current)
입력단(IRED)의 Anode에 연속적으로 인가할수 있는 최대전류를 IRED의 신뢰성과 밀접한 관계가 있음에 따라 규정된 IF(Max)이상의 전류가 흐르지 않도록 주의하여야 한다.

③ V_R(Reverse Voltage)
입력단(IRED) Anode와 Cathode간의 Breakdown 방지를 위하여 허용할수 있는 최대 역전압으로 GaAs계의 IRED의 경우 통상 4~6V정도로 규정되어 있다.

④ Pc(Power Dissipation)
각 입출력단에서 허용 가능한 최대전력 손실치로 다음과 같다.
SET에 적용시에는 주위온도및 조건변화에 대한 허용가능 손실치를 고려하여야 한다.
각 온도조건에서의 허용가능 손실치는 Derating Factor에 의하여 계산되어 진다.

⑤ V_{CEO}(Collcetor-Emitter Breakdown Voltage)
베이스 단자 개방시의 Collector와 Emitter간 Breakdown을 방지하기 위한 최대 허용 전압치로 규정되어 진다.

⑥ V_{ECO}(Emitter-Collector Voltage)
베이스 단자 개방시의 Emitter와 Collector간에 인가 가능한 최대 허용 전압치로 규정된다.

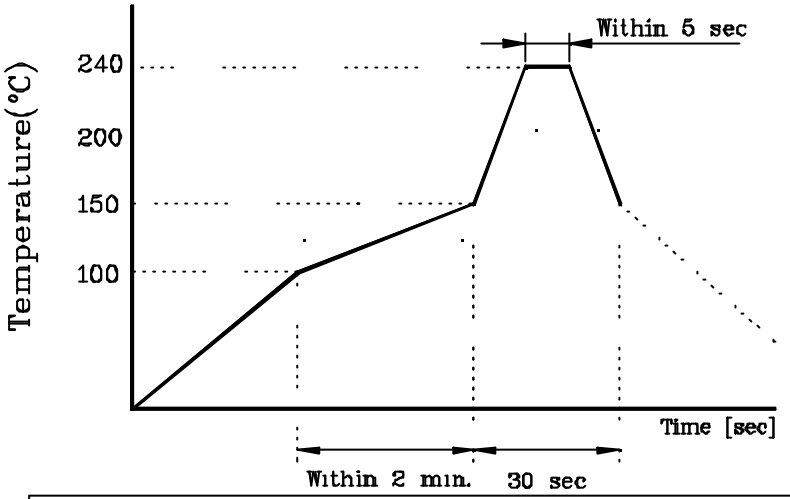
⑦ I_C(Collector Current)
P-TR의 Collector 단자에 흘릴수 있는 최대 허용 전류치로 규정된다.

⑧ 온도조건

-. T_{opr}(Operating Temperature)
Photo Coupler를 정상동작 시킬수 있는 주위의 온도범위로 규정된다.

-. T_{stg}(Storage Temperature)
Photo Coupler의 특성 변화없이 보관 가능한 온도범위로 규정된다.

-. T_{sol}(Soldering Temperature)
Photo Coupler를 PCB에 실장시 Solder 온도의 규정범위로 신뢰성 보증측면에서 다음과 같이 추천한다.



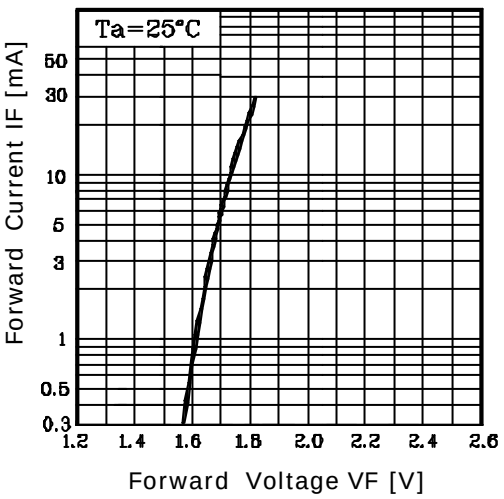
-. Solering 시간은 가능한 최소 시간에 실시
-. Photo Coupler의 Lead를 직접 Solder시 260 ℃(Max)에서 10scc 이내
-. Mold Package에 근접하게 Soler시 240 ℃(Max)에서 10scc 이내에 실시하며
-. Reflow Solder시 아래와 같은 Temperature Profile의 절차에 의해 실시함.

2) 전기적 특성(Electrical Characteristics)

① 입력 특성(I_F vs V_F 특성)

Photo Coupler의 입력단은 Forward Current(I_F)의 증가에 따라 Forward Voltage (V_F)의 증가의 형태를 나태내는 비례 특성을 갖는다.

Application시 Surge가 큰 경우에 사용될때에는 IRED와 병렬로 보호 Diode나 Surge 흡수용 Condensor를 연결하는 등의 설계가 필요하다.



② $V_{CE(sat)}$ (Collector-Emitter 간 포화 전압)

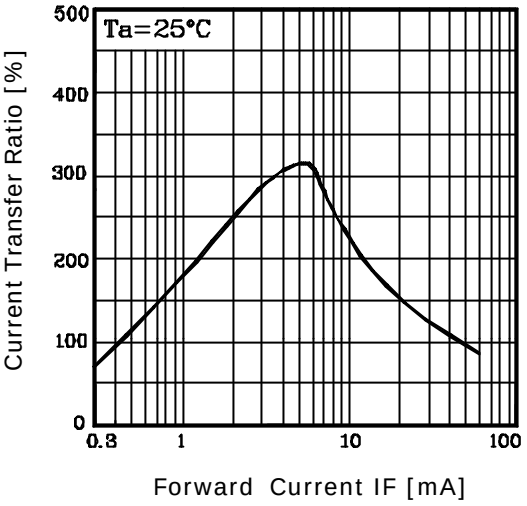
Collector-Emitter간 포화전압은 낮을수록 다음단 회로에 미치는 영향이 적고 전력손실도 적다. 이 $V_{CE(sat)}$ 특성은 Photo TR의 구조에 따라 달라지며 Darlington TR의 경우 Single TR보다 VBE(약 0.6V)만큼 크게 되기 때문에 TTL회로를 직접 구동할수가 없으므로 설계시 주의가 필요하다.

③ CTR(Current Transfer Ratio)

CTR이란 입력측(IRED)에 인가한 전류(IF)에 대한 출력측(Photo TR)의 Collectro전류(I_C)의 비율을 백분율(%)로 나타낸다.

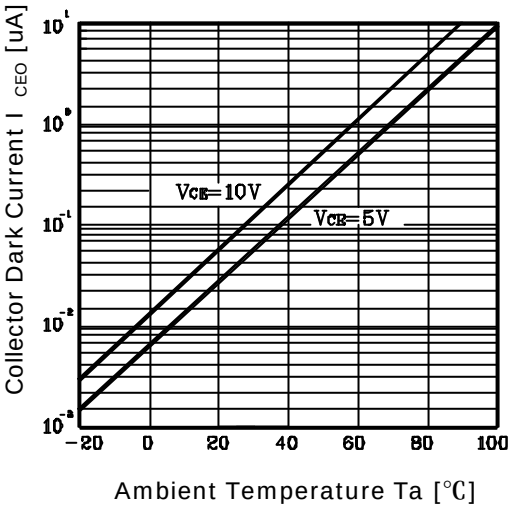
$$CTR[\%] = I_C / I_F \times 100$$

CTR을 결정하는 요인은 여러가지가 있으나 출력측(Photo TR)의 전류 증폭율(hFE)에 따라 가장 크게 결정되며 입력측(IRED)에 인가되는 전류(I_F)에 따라서도 변화된다.



④ I_{CEO}(Collector Dark Current)

Photo Coupler의 입력단을 완전히 차단한 상태에서 출력단에 흐르는 누설전류로 Photo TR출력의 경우 일반적으로 수 nA ~ 수십 nA 수준이며 주위 온도의 상승에 대해 누설전류 증가를 가져온다. I_{CEO}는 또한 V_{CE}의 조건에도 변화한다.

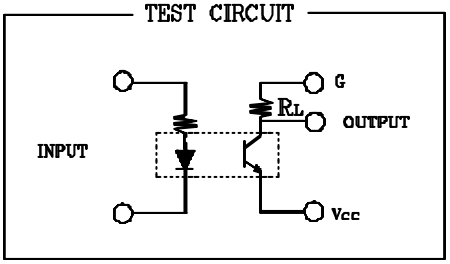


⑤ 응답 속도(Switching Speed)

Photo Coupler에 사용되는 Photo TR은 Collectror와 Base간 접합면적이 넓고 전류 증폭율이 높기 때문에 Collector 의 접합용량도 크게 된다.
따라서 Photo Coupler의 응답속도는 t_f시간이 가장 길어진다. 이 특성은 근사적으로 다음과 같이 계산되어 진다.

$$t_f = 2.2 \times C_{CB} \times h_{FE} \times R_L$$

C_{CB} : C-B간 정전용량
h_{FE} : Photo TR의 전류 증폭율
R_L : 부하 저항



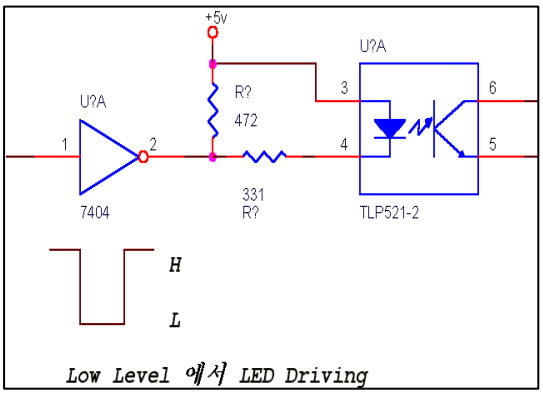
● Photo Coupler Application

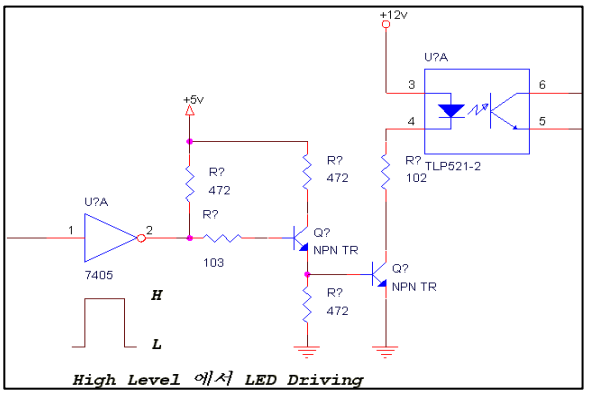
① TTL구동 (Transistor transistor Logic Driving)

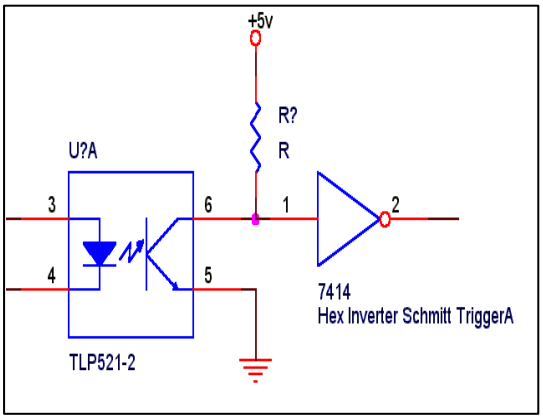
발광다이오드를 TTL로 구동할 경우 High Level의 출력전류는 최대 0.8mA정도로 작기 때문에 직접 발광다이오드를 구동할 수는 없으나 Low Level의 출력전류는 -16mA로 크기 때문에 직접 다이오드를 구동가능하다. 다음은 발광 다이오드의 구동예이다. Photo Coupler 출력을 TTL로 받을 경우에 포토 트랜지스터의 응답속도가 TTL의 응답속도에 비해서 늦고 Logic Level상승시에 과도 특성이 불안정하기 때문에 결국 TTL출력이 진동하는 경우가 발생할수도 있다. 따라서 Schumit Trigger또는 단안정 멀티 바이브레이터로 받아서 파형을 정형한다. 단안정 멀티 바이브레이터의 펄스폭(Tw)는 다음식으로 산출이 된다.

$$Tw=0.33*R_t*C_t*(1+\ln 2/R_t)$$

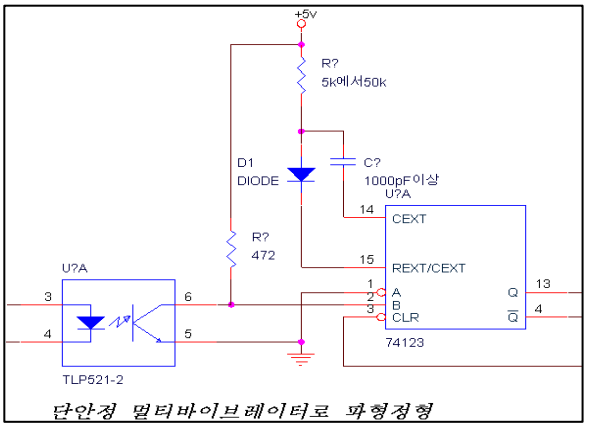
D1은 C_t>1000pF이어야 하며 Clear입력이 필요할 때 필요하다. 또한 R_t는 5kΩ≤R_t<50kΩ의 범위에서 선택한다







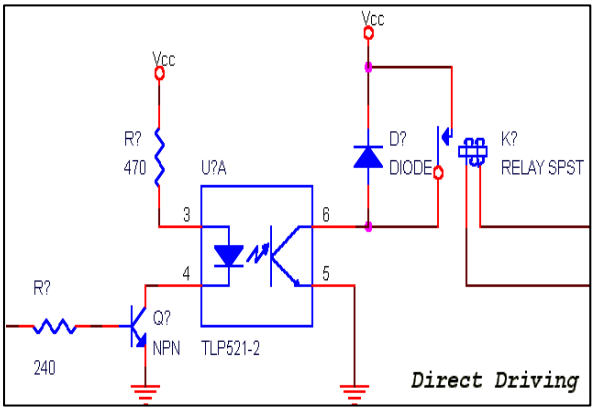
< Schmit Trigger에 의한 파형 정형 >



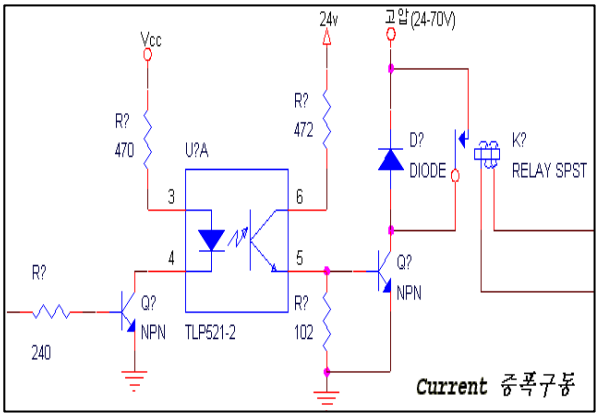
<단안정 멀티 바이브레이터를 이용한 파형정형>

② Relay Solenoid Driving Circuit

Photo Coupler를 이용해서 Relay, Solenoid를 구동할 경우 적은 전류가 소모되는 경우는 직접 Photo Coupler를 이용해서 구동이 가능하지만 큰 출력이 필요한 Electric Relay나 대전류를 소모 하는 Solenoid의 구동의 경우 트랜지스터를 이용하여 전류 증폭을 하여서 구동을 한다. (FET를 사용하기도 한다.) 다음은 예제 회로이다.



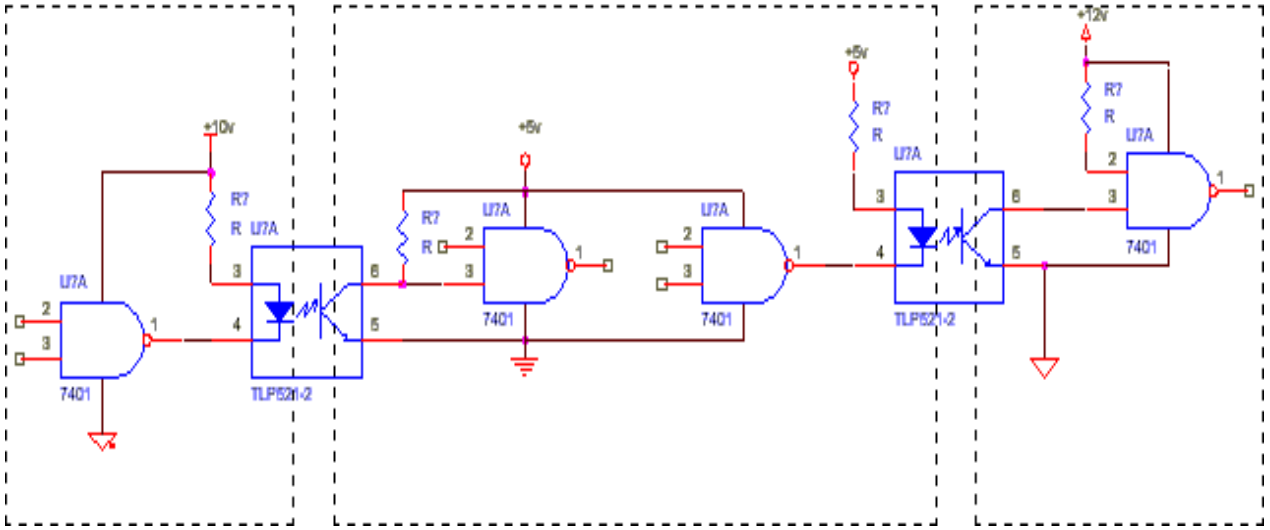
< Photo Coupler를 이용한 직접 구동 회로 >



< Photo Coupler + TR을 이용한 전류 증폭 구동 회로 >

③ TTL과 CMOS 회로간의 인터페이스

+10V 전원 CMOS 회로 +5V 전원 TTL 회로 +12V 전원 CMOS 회로

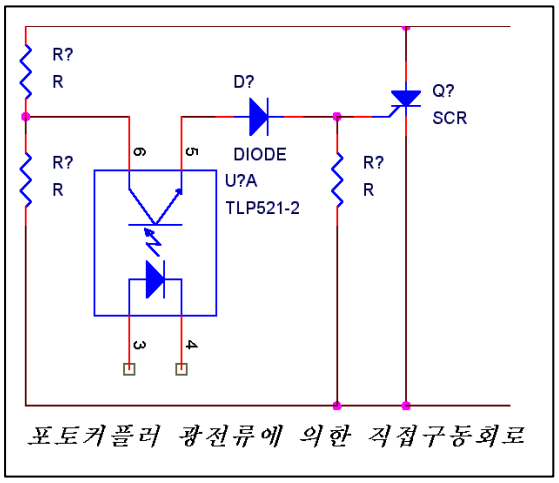


TTL과 CMOS는 Voltage Level이 다르기 때문에 전압 레벨 변환 인터페이스가 필요하다. 그중의 한가지 방법이 포토 커플러를 이용하는 방법이다. 다음은 예제 회로이다

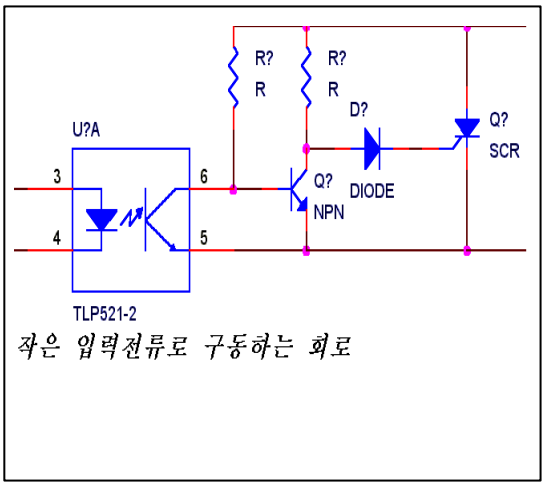
위의 회로에서 입력측이 고전위 전원을 사용하는 소자가 TTL레벨의 회로에 신호가 유입 시에 회로가 오동작하거나 손상이 될 수가 있으며 그라운드의 공용으로인해 노이즈가 TTL Logic에 전달이 되어서 시스템의 안정성을 떨어뜨린다. 즉 포토커플러를 이용해서 인터페이스를 하면 단가상승의 요인이 되지만 시스템의 안정성을 도모할 수가 있다. (노이즈 방지책)

④ Thyristor Driving Circuit

Photo Coupler를 이용하여 Thyristor를 구동하는 회로는 다음과 같다.

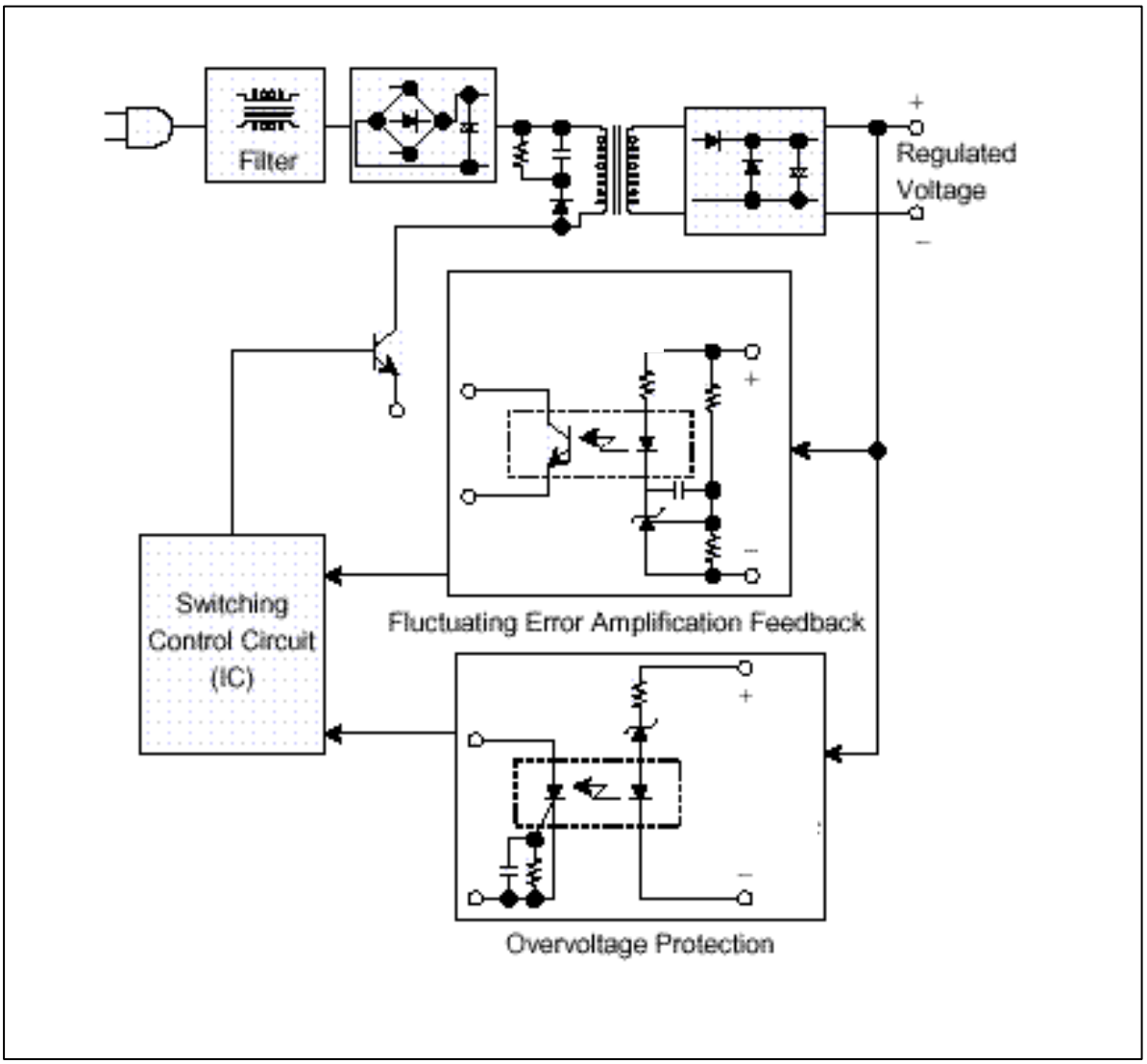


포토커플러 광전류에 의한 직접구동회로



작은 입력전류로 구동하는 회로

⑤ Switching Power Supply Circuit



● Photo Coupler Reliability

1) 신뢰성 항목및 조건

NO	시험 항목	시험 조건	시료수	Referred Standard	측정 장비 Model
1	Steady state operation	PC=150mW T=1000H Temp. 100°C	45	-	TCR7.5S115-1-D-0V
2	High temperature bias	VCE=24V T=1000H Temp. 85°C	45	MIL-STD-292E Method 1039	LC-222
3	High temp. High humidity storage	RH=85% T=1000H Temp. -30°C	45	MIL-STD-292E Method 103B	OS1-ⅡOTH
4	Low temperature Storage	T=1000H Temp. -30°C	45	-	OS1-ⅡOTO
5	Temperature Cycling	(EACH 30MIN) TC=100Cycle Temp. -30/150°C	45	MIL-STD-202E Method 1070	OTE-49
6	Solderability	Temp. 260°C T=10sec	45	MIL-STD-750C Method 2026.4	SOLDER PORT

2) 신뢰성 평가 결과 합/불합격 판정기준

측정 항목	측정 조건	불량 판정기준			
		초기 판정		최종 판정	
		Min	Max	Min	Max
V_F	I_F=50mA	-	1.5V	I.V × 0.8	I.V × 1.2
I_R	V_R=5V	-	10μA	-	10μA
V_{CEO}	I_R=0.5mA	35V	-	LSL × 0.9	-
I_{CEO}	V_{CE}=24V	-	100nA	-	USL × 2
CTR	I_F=5mA,V_{CE}=5V	100%	600%	I.V × 0.7	I.V × 1.3

I.V : 초기값(Initial Value)
USL : 상한값(Upper Spec Limit)
LSL : 하한값(Lower Spec Limit)