

# **AUTOMOTIVE MANUFACTURING** *&Technology*

자동차 제조기술

기획 시리즈 | KUKA 로봇의 자동차 생산라인 적용사례



maxon drives in fuel pumps.

**More than one motor  
decides the winner.**

**maxon**  
maxon motor Korea

**maxon motor**  
driven by precision

## 탁월한 유연성 보장하는 MOSFET과 프리 드라이버의 호환

자동차 애플리케이션에서는 전기 로드의 숫자와 형태가 다양하므로 이 로드를 구동하고 제어하는 경우 한 방에 모두 해결할 방법이 없다. 어떤 로드는 고전력을, 다른 로드는 저전력을 필요로 하는 등 내성·유도성·용량성 같은 요구되는 특징이 다양하기 때문이다. 정확한 제어가 필수인 경우도 있지만 어떤 경우 단순히 PWM(pulse width modulation) 또는 온오프 제어만으로 충분하기도 하다. 그러나 어떠한 경우에도 로드와 드라이버를 보호하며 마이크로컨트롤러에 진단 정보를 제공하는 것은 필수이다.

자료제공 온세미컨덕터 [www.onsemi.com](http://www.onsemi.com)

다양한 로드 범위와 조건을 맞추기 위한 방법으로는 규격품의 MOSFET과 필수적인 보호·진단 성능을 갖춘 프리 드라이버(전치 구동기)를 사용하는 것이 있다. 이 방식은 매우 유연할 뿐 아니라 회사의 재고 목록에 있는, 품질이 보증된 MOSFET을 사용하는 장점이 있다. 그러나 이 솔루션 대부분을 활용하기 위해서는 MOSFET과 프리 드라이버가 서로 호환되어야 한다.

## 프리 드라이버의 필수 요소

그림 1은 제어·보호·진단 기능을 제공하는 프리 드라이버의 필

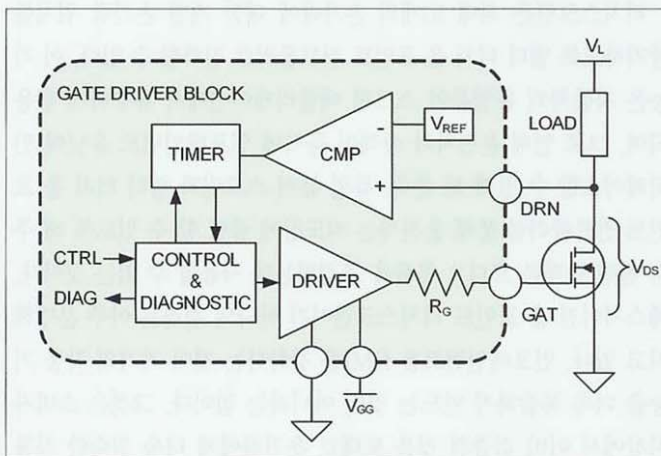


그림 1. 단순화된 프리 드라이버 블록 다이어그램

수 요소를 예로 보여준 것. 턴온(turn-on)되어 있는 동안 블랭킹 타이머가 시작되는데 그 동안 게이트 전하는 드라이버 출력 저항( $R_G$ )을 통해 드라이버 파워 서플라이( $V_{GG}$ )에서 MOSFET으로 공급된다. 그 동안 CMP(comparator)는 MOSFET의 드레인-소스 전압( $V_{DS}$ )을 감지해 이것을 레퍼런스 전압( $V_{REF}$ )과 비교한다. 만약 MOSFET의  $V_{DS}$ 이 턴온 블랭킹 시간 마지막에서  $V_{REF}$ 보다 크면 발생 가능한 로드 단락(short)이 감지된다. 그러면 MOSFET은 이를 보호하기 위해 자동으로 꺼지며 이때 로드 전압 서플라이( $V_L$ ) 진단 상태의 쇼트가 기록된다.

턴오프 동안에 블랭킹 타이머(blanking timer)가 시작되면 그 사이 저장된 게이트 전하는 MOSFET에서  $R_G$ 를 거쳐 그라운드로 제거된다. 이 시간 동안 CMP는 MOSFET의  $V_{DS}$ 를 감지해 다른  $V_{REF}$ 와 비교한다. 만약 MOSFET의  $V_{DS}$ 가 턴오프 블랭킹 타임 마지막에  $V_{REF}$  보다 적으면 발생 가능한 그라운드 쇼트가 감지된다. 이 경우 로드 전류는 계속 흐르지만 그라운드 진단 상태의 쇼트는 기록된다.

## MOSFET의 필수 요소

MOSFET은 오랫동안 사용되면서 그 특징이 잘 문서화되어 왔다. 그럼에도 불구하고 몇 가지 기본 특징의 검토 및 데이터 시트의 정보는 주요 성능 지침에 대한 가이드 역할을 하게된다. 하나의 예로 온세미컨덕터의 NTD3055L 로직 레벨 MOSFET 데이터 시트를 사용해보자.



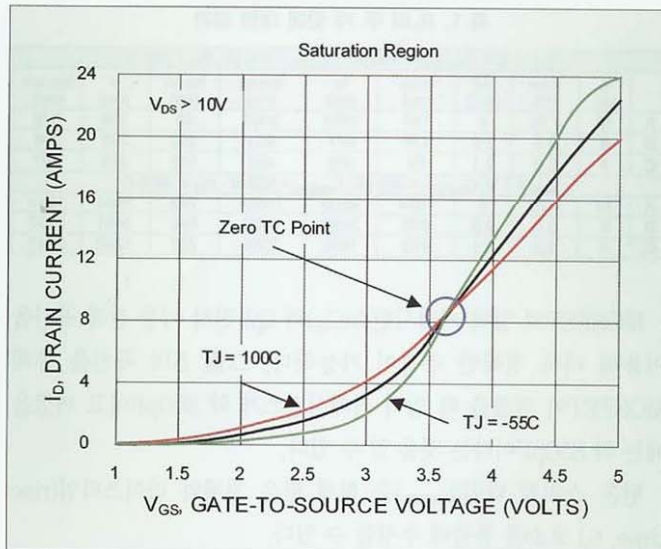


그림 2. NTD3055L104의 이동 특징

MOSFET 데이터 시트에서 발견된 전형적인 곡선들 중 하나는 그림 2와 같은 이동 특징을 갖고 있다. 10V보다 큰 일부 전압에서  $V_{DS}$ 가 지속되는 포화 구역에서  $V_{GS}$ 가 급속히 확산되기 때문에 이 곡선은 드레인 전류를 나타낸다. 일반적으로 3가지 온도에서 그려진 이 곡선은 아래 그림처럼 -55°C는 녹색, 25°C는 검은색, 100°C는 빨간색으로 표시한다.

대부분의 MOSFET은 제로 TC(temperature coefficient) 포인트 반응을 보이는데 NTD3055L용 포인트는  $V_{GS} \approx 3.6V$ 에서 발생된다. 특정  $V_{GS}$ 에 있어서 드레인(drain) 전류는 이 지점 이상의 온도에서 감소되며 그 이하에서는 증가된다. 대부분의 애플리케이션에서 MOSFET은 스위치로 사용 가능하며 옴(Ohm) 구역 그리고  $V_{GS} = 5V$ 를 기반으로 한 TC 제로 이상에서 작동된다. 게이트 역치 전압( $V_{Gsth}$ )에 적합한 데이터 시트 계수 테이블 입력이 주로 마이너스 온도 계수를 제공하는 동안 추가 성능을 나타내는 곡선을 검토하는 일은 필수적이다.

또 다른 전형적인 곡선 형태는 그림 3과 같은 구역별 곡선이다.  $V_{GS}$ 이 몇 개의 값을 단계적으로 거치는 동안  $V_{DS}$ 가 급속히 확산되므로 이 곡선은 드레인 전류를 나타낸다. 이 곡선은 주로 25°C에서 형성되지만 추가 곡선을 만들기 위해 그림 2를 사용할 수 있다. 높고 낮은 온도의 경우 그림 2의 3V 및 4.5V  $V_{GS}$  작동 지점에서 드레인 전류를 포착하는 것으로 이것을 그림 3에서 직접 전환할 수 있다. 아래 그림에서 보여지는 새로운 곡선은 -55°C를 녹색, 25°C를 검정색, 100°C를 빨간색으로 표시하고 있다. 이 곡선들은 제로 TC 지점 이하의 작동 지점에 대한 드레인 전류 대 온도의 변

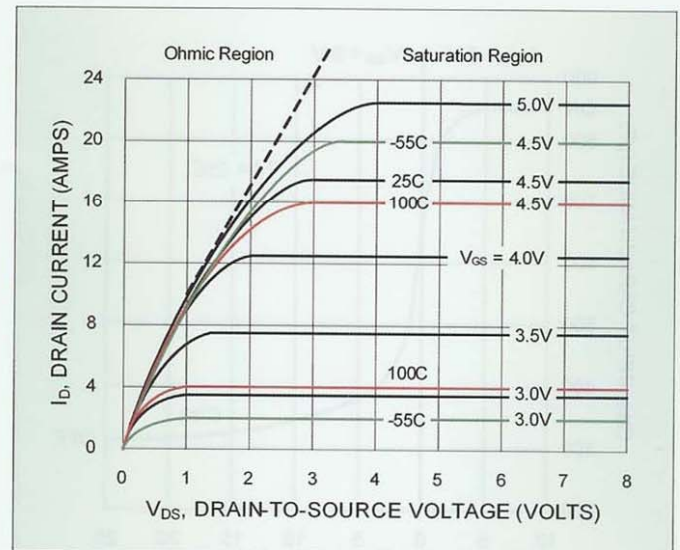


그림 3. NTD3055L104의 구역별 특징

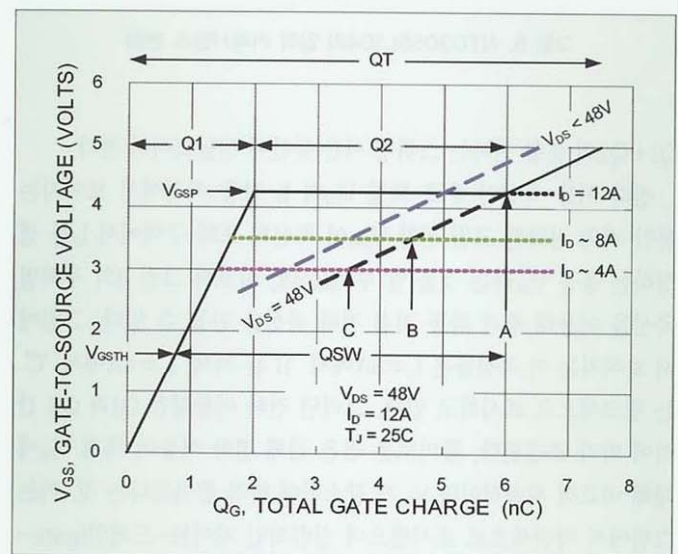


그림 4. NTD3055L104의 VGS 대 게이트 전하

화를 보여준다.

매우 유용한 세 번째 전형적인 곡선은 그림 4의 토털 게이트 전하 곡선이다. 이 곡선은 게이트 전하가 이동됨에 따라  $V_{GS}$ 의 이상적인 변화를 설명한다. 곡선은 보통 1mA의 지속 전류를 게이트에 적용시켜 특별한 작동 지점인(그림에서 'A' 지점) 25°C에서 형성된다. 곡선은 게이트소스(gate-to-source, Q1), 게이트드레인(gate-to-drain, Q2) 및 전체 전하(QT)의 전환 간격을 보여준다. 스위칭 전하(QSW)는 드레인 전압이 그 초기 값의 10%까지 떨어진 역치 전압  $V_{Gsth}$ 과 고원 전압  $V_{GSP}$  사이에서 전달된다. 그러나



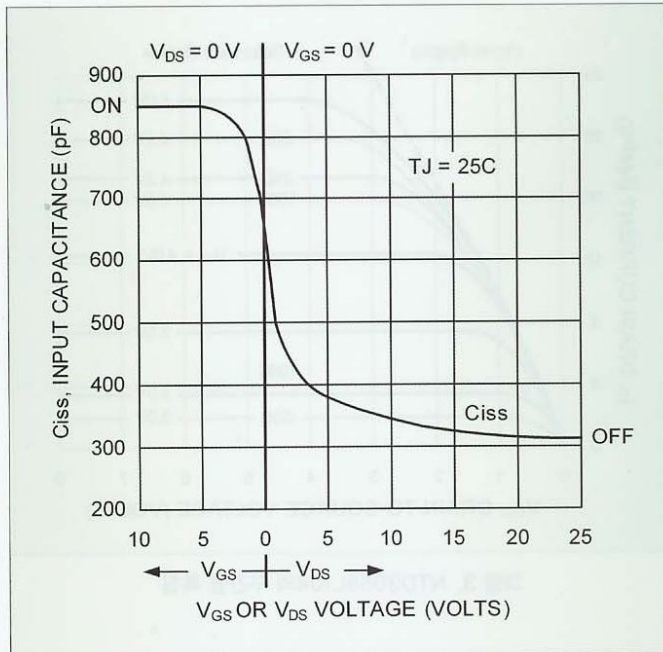


그림 5. NTD3055L104의 입력 커패시턴스 변화

Q1+Q2의 통합 전하는 스위칭 시간 동안에 전달되어야 한다.

전하 이동 곡선이 주로 특정  $V_{DS}$ 와  $I_D$  작동 지점에서 보여지는 동안 거의 정확한 고원 전압  $V_{GSP}$ 이 곡선의 포화 구역에서  $I_D$ 를 생성하는 응용  $V_{GS}$ 라는 것을 알 수 있는데, 이로써 그림 3의 구역별 곡선을 이용해 추가 작동 지점 전하 곡선을 만들 수 있다. 그림에서 보여지는 이 곡선들은  $I_D \approx 8A$ 에서 'B'는 녹색,  $I_D \approx 4A$ 에서 'C'는 핑크색으로 표시하고 있다. 그러면 전하 이동량은 Q1과 Q2 간격에 따라 조절된다. 흥미로운 점은 전체 전하 이동이 특정  $V_{DS}$ 에 대해 비교적 지속적이며  $V_{DS}$ 가 감소함에 따라 줄어든다는 것. 이는 그림에서 파란색으로 표시했으며 실질적인 게이트-드레인(gate-to-drain, 'Miller') 캐패시턴스가 전압 게인  $dV_{DS}/dV_{GS}$ 과 함께 달라지기 때문에 발생된다.

## 스위칭 시간 추정하기

스위칭 시간의 첫 번째 추정은 게이트 전하 QT와 게이트 드라이브 전류( $I_{G(AV)}$ )의 평균값을 사용해 이루어진다.

$$t_{SW} \approx \frac{QT}{I_{G(AV)}} \approx \frac{1}{2} \times \frac{QT \times R_G}{V_{GG}} \dots \text{등식 1}$$

표 1.  $R_G$ 의 두 개 값에 대한 결과

$V_{GG} = 5V, C_{iss(OFF)} = 300pF, C_{iss(ON)} = 850pF, R_G = 350\Omega$								
	$I_D$ (A)	$V_{GSP}$ (V)	Q2 (nC)	$t_{D(ON)}$ (ns)	$t_R$ (ns)	$t_{SW(ON)}$ (ns)	$t_{D(OFF)}$ (ns)	$t_F$ (ns)
A	12	4.25	4	199	1867	2066	48	329
B	8	3.5	2.9	126	677	803	106	290
C	4	3.0	2.1	96	368	464	152	245
$V_{GG} = 5V, C_{iss(OFF)} = 300pF, C_{iss(ON)} = 850pF, R_G = 1800\Omega$								
A	12	4.25	4	1024	9600	10624	249	1964
B	8	3.5	2.9	650	3480	4130	546	1491
C	4	3.0	2.1	495	1890	2385	782	1260

MOSFET의 입력 커패시턴스( $C_{iss}$ )와 Q2 전하 이동 간격 곡선을 이용해 더욱 정확한 추정이 가능하다. 그림 5의 곡선을 통해 MOSFET이 꺼졌을 때 입력 커패시턴스가 약 300pF이고 꺼졌을 때는 약 850pF이라는 것을 알 수 있다.

턴온 스위칭 타임( $t_{SW(ON)}$ )은 현재 턴온 지체와 라이즈타임(rise time,  $t_R$ ) 요소를 통합해 추정할 수 있다.

$$t_{SW(ON)} \approx t_{D(ON)} + t_R \approx \left[ R_G \times C_{iss(OFF)} \times \ln \left( \frac{V_{GG}}{(V_{GG} - V_{GSP})} \right) \right] + \left[ \frac{Q2 \times R_G}{(V_{GG} - V_{GSP})} \right] \dots \text{등식 2}$$

마찬가지로 턴오프 스위칭 타임( $t_{SW(OFF)}$ )은 턴오프 지체( $t_{D(OFF)}$ )와 폴타임( $t_F$ ) 요소를 통합해 추정이 가능하다.

$$t_{SW(OFF)} \approx t_{D(OFF)} + t_F \approx \left[ R_G \times C_{iss(ON)} \times \ln \left( \frac{V_{GG}}{V_{GSP}} \right) \right] + \left[ \frac{Q2 \times R_G}{V_{GSP}} \right] \dots \text{등식 3}$$

이와 같은 등식과 몇 가지 주요 전치-구동기, MOSFET 특징은 적절한 호환을 결정하는 데서 필수이다. 작동 지점 A/B/C에 해당되는 등식 2와 등식 3의 결과는  $R_G$ 의 두 개 값에 대해 표 1과 같이 보여준다.

## 결합

파트너들이 정식으로 소개되면 그들이 과연 결혼으로 이어질 수 있을지에 대해 관심이 쏠리게 마련이다. 마찬가지로, 프리 드라이버와 MOSFET의 결합의 예를 주목해보자. 온세미컨덕터의 NCV7513과 NCV7517 헥스(hex) 프리 드라이버는 프리 드라이버



표 2. 주요 매개 변수

Typical Characteristics -  $V_{CC2} = V_{GG} = 5V$

	Turn-on Timer ( $\mu s$ )	Turn-off Timer ( $\mu s$ )	Output Resistance ( $\Omega$ )	Average Total Gate Charge (nC)
Product	$t_{BL(ON)}$	$t_{BL(OFF)}$	$R_G$	$Q_{TAV}$
NCV7513	45	120	1800	62.5
NCV7517	21	120	350	150

의 기본 조건으로 언급된 사항을 만족시킨다. 이러한 제품들은 일반적으로 더 낮은 게이트 역치와 작동 지점에 따라 더 낮은 고원 전압을 가진 N-채널 로직 레벨 MOSFETs를 구동하도록 설계됐다. 이 제품의 주요 매개 변수는 표 2로 요약된다.


표 2의 처음 3가지 매개 변수는 제품 데이터 시트에서 바로 확보되지만 4번째 매개 변수는  $t_{BL(ON)}$ ,  $V_{GG}$ ,  $R_G$ 에서 계산된다:

$$Q_{TAV} = \frac{t_{BL(ON)} \times \frac{1}{2} V_{GG}}{R_G} \dots\dots\dots \text{등식 4}$$

턴온 시 적절한 작동을 위해 MOSFET의  $V_{DS}$ 는  $t_{BL(ON)}$  마지막 순간 전에  $V_{REF}$  보다 더 낮아야 하며 턴온 진단은 '잘못된' 결점 조건

도 감지해 MOSFET을 턴오프해야 한다. 등식 4에서 얻은  $Q_{TAV}$  값을 MOSFET이 MOSFET의 데이터 시트  $Q_T$  값과 비교하면 충분히 빠르게 턴온될 수 있는지를 신속히 체크하는데 도움이 된다. 일단 이 비교가 완료되면 등식 2와 등식 3를 호환성 입증에 활용할 수 있다.

프리 드라이버 제품은 NTD3055L과 잘 매치되지만 PWM 작동을 최종적으로 고려해야 한다. 자동차 PWM 애플리케이션의 스위칭 주파수는 보통 2kHz인 500 $\mu s$  시간 보다 높지 않다. 정확한 턴오프 진단 작동을 위해 턴오프 타이머는 최대 듀티 사이클을 제한한다. 2kHz 경우 이 수치는 1 - 120/500 또는 76%가 된다. 이와 마찬가지로 정확한 턴온 진단 작동을 위해 턴온 타이머는 NCV7513에 45/200 또는 22.5%, NCV7512에는 21/500 또는 4.2%로 최소 듀티 사이클을 제한한다.

MOSFET의 주요 매개 변수와 프리 드라이버를 이해하면 이와 매치되는 적절한 제품을 채택하는 작업은 쉽고 간단하며 이때 MOSFET과 프리 드라이버 솔루션의 이점들을 잘 활용하게 된다. 

## 2010년 출시된 차가 2011년형? 디자인 · 옵션 등에 따라 모델이여 달라

'2010년형 에어컨' '2010년형 자동차'처럼 이름에 연도를 붙이는 경우가 있다. 품질이 개선된 가전기기?자동차 등에 적용되는 게 대표적이다. 이의 일환으로 벌써부터 '2011년형'으로 출시된 신모델도 있다. 2011년형 쏘나타와 투싼x가 바로 그 예.

이처럼 상품명 앞에 붙는 연도를 모델이여(Model Year)라고 하며, 그것은 연단위로 수행되는 신제품 생산 및 판매계획 단위를 말한다. 모델이여가 되면 자동차는 그릴이나 램프 형태 등 외관이 소폭 바뀌고, 각종 편의사양이 추가된다. 하반기 출시하여 다음해까지 판매하기 때문에 미리 다음 연도로 모델이여가 표시되는 것.

일찌감치 2011을 달고 나온 투싼x와 YF쏘나타는 나란히 지난해 9월에 출시된 신모델. 모델이여로 따지면 2010년형이지만 물체인 지 모델일 뿐 아니라 올 해 뉴SM5와 스포티지R 등 경쟁신차가 새롭게 출시되자, 이에 맞서 일부 개선사항을 적용한 2차 신모델을 내놓았고 그래서 앞서 2011년형 모델이여가 적용된 경우이다.

2011년형 투싼x는 스포티지R과 거의 동일한 수준으로 연비를



개선시켰다. 차체 자세제어장치와 함께 사시 통합제어시스템을 전 모델에 적용하며 안전성과 주행성을 강화했고, 가격 또한 10~90만원 인상됐다. YF쏘나타 역시 기존모델에서는 선택사양이었던 사이드&커튼에어백을 장애인용 차량에까지 기본 적용하며 안정성을 강화했고, 가격 또한 30만원 가량 인상됐다.

대부분의 모델이여는 외관상 차이가 거의 없어 소비자들도 정확히 인식하지 못하는 경우가 많다. 자동차를 구입할 때 주의가 요구되는 이유이다.