

오토모티브 영역 기반 전력 분배 시스템의 오프보드 정전식 부하에 전원 공급

Dilip Jain
Systems Manager
Power Switches

Rakesh Panguloori
Applications Manager
Power Switches

머리말

차량 아키텍처가 도메인에서 영역 기반으로 전환은 자동차 전력 분배의 상당한 변화를 가져오고 있으며, 반도체 스위치 기반 솔루션(그림 1 참조)은 와이어 하니스 보호에 사용되는 기존의 용융 퓨즈를 대체합니다. 이러한 솔루션은

퓨즈 시간 전류의 변화율 감소와 같은 이점을 제공하여 케이블 직경, 무게 및 와이어 하니스의 비용을 잠재적으로 줄일 수 있습니다. 반도체 스위치도 원격으로 재설정할 수 있습니다. 즉, 퓨즈에 쉽게 액세스할 수 있으므로 설계자가 전원을 공급원에서 부하까지 케이블 길이를 줄일 수 있는 위치에 퓨즈를 배치할 수 있습니다.

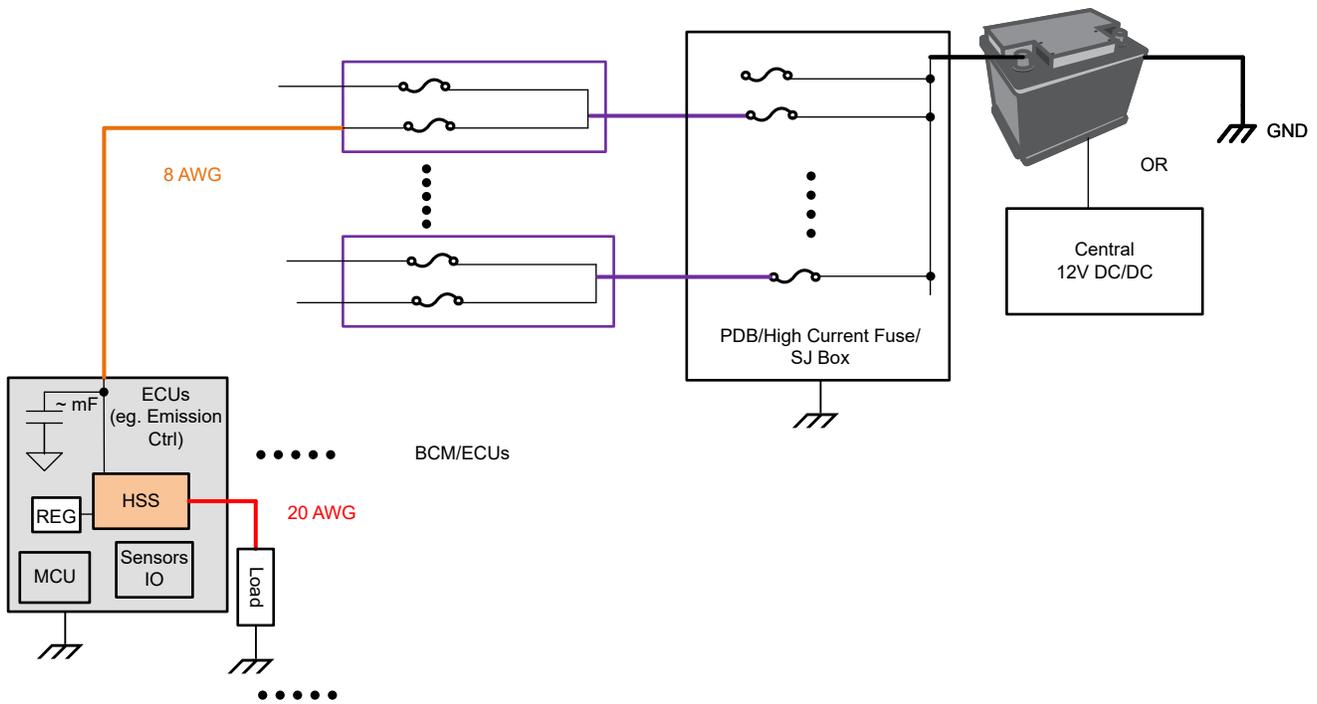


그림 1. 도메인 기반 전력 분배 아키텍처.

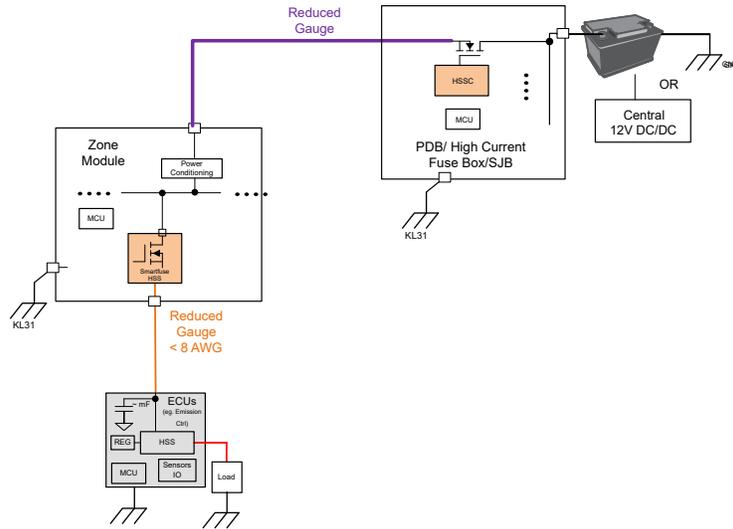


그림2. 영역 기반 전력 분배 아키텍처.

반도체 스위치를 스마트 퓨즈 장치로 사용할 때의 시스템 설계 과제는 스위치가 ON 상태일 때 대기 전류를 낮추고, 일반적으로 부하(전자 제어 장치[ECU] 입력)에서 볼 수 있는 큰 정전식 부하에 전원을 공급하는 출력을 켜는 것입니다. ECU는 47µF에서 5mF까지 입력 커패시턴스와 시작 시간 고려 사항(1ms 미만, 중간 충전 시간 10ms 미만, 충전 시간 50ms 미만)에 따라 ECU 유형과 각 PDB(전력 분배함) 출력에 함께 연결된 ECU 수를 기반으로 합니다. ECU 시작 시간 내에 MOSFET(금속 산화막 반도체 전계 효과 트랜지스터) 스위치를 통해 이러한 ECU 입력 커패시터를 충전하는 것은 영역 기반 아키텍처의 주요 시스템 설계 과제 중 하나입니다.

이 문서에서는 고압측 스위치 컨트롤러를 사용하여 정전식 부하를 구동하는 과제를 해결하는 다양한 기술에 대해 설명합니다.

출력 전압 회전을 제어

이 방법으로 게이트 GND 사이에 커패시터(C)를 배치하면 게이트의 회전율과 출력 전압 사이에 돌입 전류가 제한됩니다. 출력 전압 회전을 제어한 회로 구성은 **그림 3**에 나와 있습니다.

방정식 1 및 **방정식 2**에서는 다음과 같이 시작 시 돌입 전류와 전원 손실을 계산합니다.

$$I_{INR} = C_{OUT} \times \frac{dV_{OUT}}{dt} \tag{1}$$

$$P_D(V_{out} = 0) = V_{IN} \times I_{INR} \tag{2}$$

MOSFET이 포화 영역에서 작동하기 때문에 돌입 전류는 시작 시 안전 작동 영역(SOA) 내에 전력 손실을 유지할 수 있을 만큼 충분히 낮아야 합니다. MOSFET은 전력 손실이 감소하여 더 긴 기간 동안 확산될 때 더 많은 에너지($1/2 C_{OUT}V_{IN}^2$)를 처리할 수 있습니다. 따라서 더 높은 정전식 부하를 지원하기 위해 돌입 간격이 더 길어질 수 있어야 합니다.

이 방법은 느린 충전 요구 사항(예: 5mF 및 50ms)에 적합하지만, 설계에는 항상 C_{OUT} , FET SOA, 충전 시간 및 작동 온도 간의 절충이 포함되어야 합니다. 예를 들어, 5mF~12V의 충전은 TI의 고압측 스위칭 컨트롤러인

TPS1211-Q1을 게이트 드라이버로 사용하면 1.5A의 돌입 전류 제한으로 40ms를 차지합니다. 참조[11]에서는 이 방법을 사용하여 시작하는 동안 FET SOA를 확인하는 절차를 반복하지만 참조[22]는 특정 MOSFET의 SOA 마진을 추정하기 위한 온라인 툴입니다.

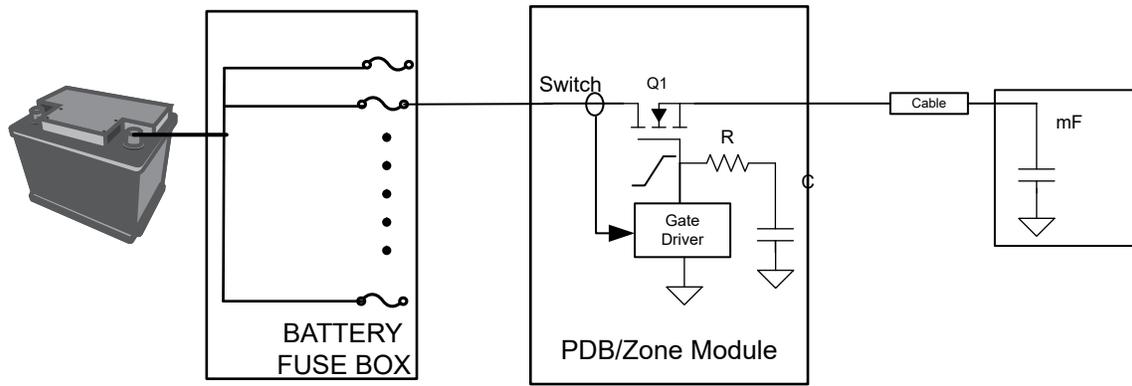


그림3. 출력 전압 회전을 제어 위한 회로.

병렬 사전 충전 경로

이 접근 방식은 그림 4에 나와 있듯이 사전 충전 FET를 구동하기 위해 추가 게이트 드라이버가 필요한 고전류 병렬 FET 기반 설계에서 일반적으로 사용됩니다. 방정식 3을 (를) 사용하여 사전 충전 경로에서 사전 충전 저항(R_{pre-ch})을 선택하여 돌입 전류를 특정 값으로 제한할 수 있습니다.

사전 충전 저항은 시동 중 모든 전력 스트레스를 처리하기 때문에 방정식 4 및 방정식 5로(으) 표시되는 평균 및 최대 전력 손실을 모두 처리할 수 있어야 합니다.

$$P_{avg} = \frac{E_{pre-ch}}{T_{pre-ch}} = \frac{0.5 \times C_{OUT} \times V_{IN}^2}{5 \times R_{pre-ch} \times C_{OUT}} \quad (4)$$

$$P_{peak} = \frac{V_{IN}^2}{R_{pre-ch}} \quad (5)$$

$$R_{pre-ch} = \frac{V_{IN}}{I_{INR}} \quad (3)$$

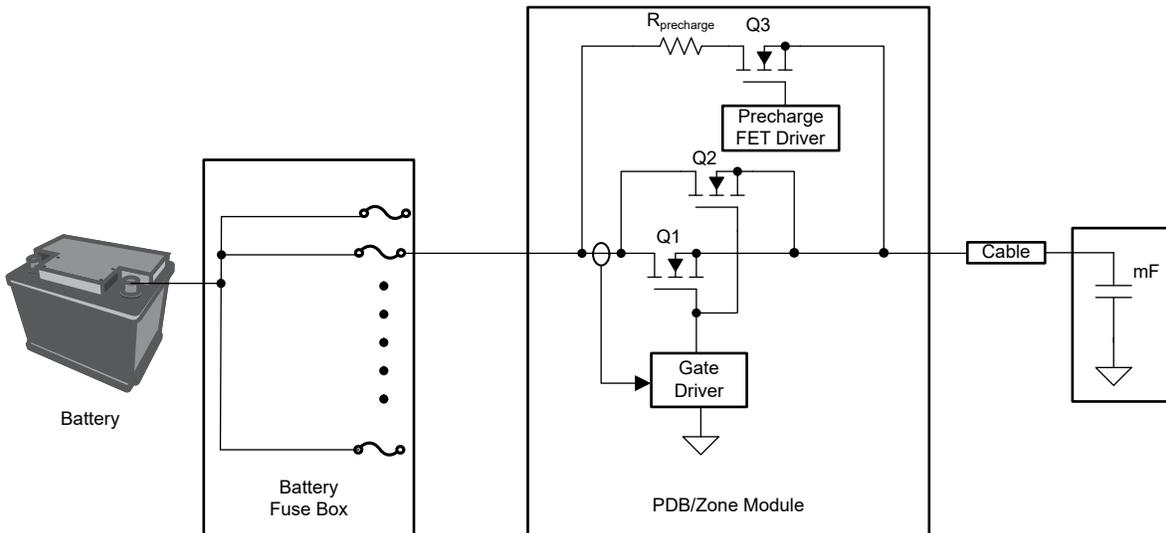


그림4. 병렬 경로에 사전 충전 저항과 FET가 있는 회로.

이 경우 매우 부피가 큰 사전 충전 레지스터 비용에 고속 출력 충전이 가능합니다. 예를 들어 10ms 동안 5mF~12V를 충전하려면 36W 정격의 0.4Ω 사전 충전 저항이 필요하고 최대 전력 처리 용량이 360W에 달하므로 부피가 큰 와이어 권선 저항이 발생합니다. 따라서 동일한 PCB에 채널이 많기 때문에 이 솔루션은 많은 유형의 완제품에 구현할 수 없습니다. 각 채널에는 부피가 큰 저항이 필요하고, 이로 인해 공간 효율성이 떨어집니다.

자동 PWM 기반 커패시터 충전

그림 5에서 보듯이, PCB의 고압측 드라이버 출력은 1m에서 몇 미터까지 다양한 긴 케이블을 통해 원격 ECU에 연결됩니다. 예를 들어, 50A 와이어(8AWG) 하니스는 미터당 2mΩ 및 미터당 1.5μH의 특성을 가지고 있습니다. D1 다

이오드는 케이블 하네스 유도 전류의 프리휠 경로를 허용하는 시스템 설계의 일부입니다. 고압측 드라이버는 단락 (<math><1\mu s</math>)의 턴오프 시간과 병렬로 FET를 구동할 수 있는 강력한 게이트 드라이브 출력을 갖추고 있어 과전류 및 단락 보호 기능을 제공합니다. 케이블 기생, D1 다이오드 및 고압측 MOSFET은 일반적인 벅 레귤레이터 구성을 형성합니다.

시작 시 비충전 출력 커패시터는 돌입 전류를 끌어와 돌입 전류가 단락 보호 임계값(I_{SCP})에 도달하면 단락 이벤트를 트리거합니다. 고압측 드라이버는 전원 경로를 끄고 재시도 기간($T_{AUTO-RETRY}$) 후 다시 시작합니다. 이 프로세스는 그림 6에 나와 있는 것처럼 출력 커패시터가 완전히 충전될 때까지 계속되며, 그 후에는 고압측 드라이버가 정상 작동으로 전환되어 부하를 구동합니다.

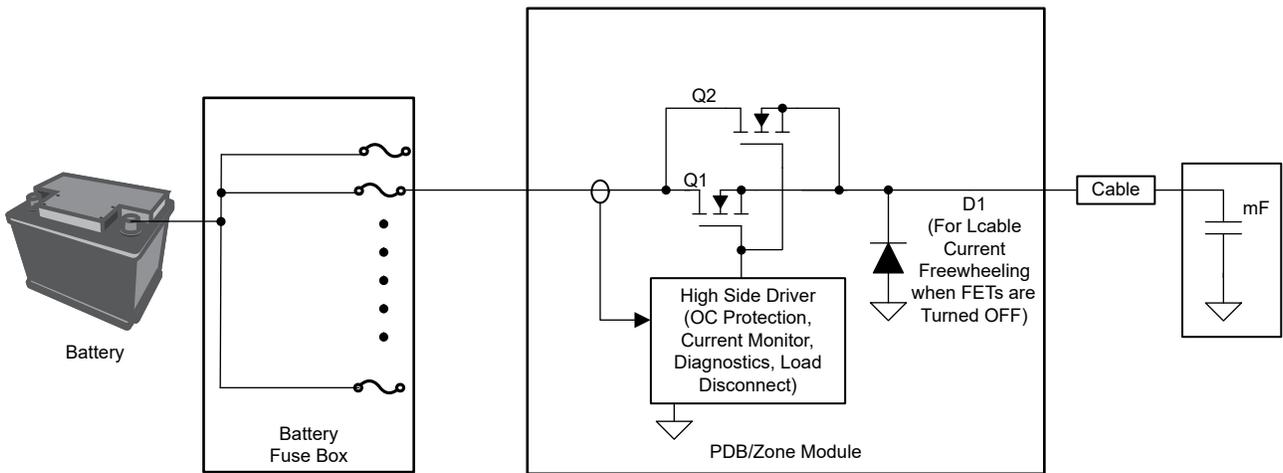


그림 5. 고압측 드라이버를 사용하는 PWM(펄스 폭 변조) 충전에 대한 회로 표현.

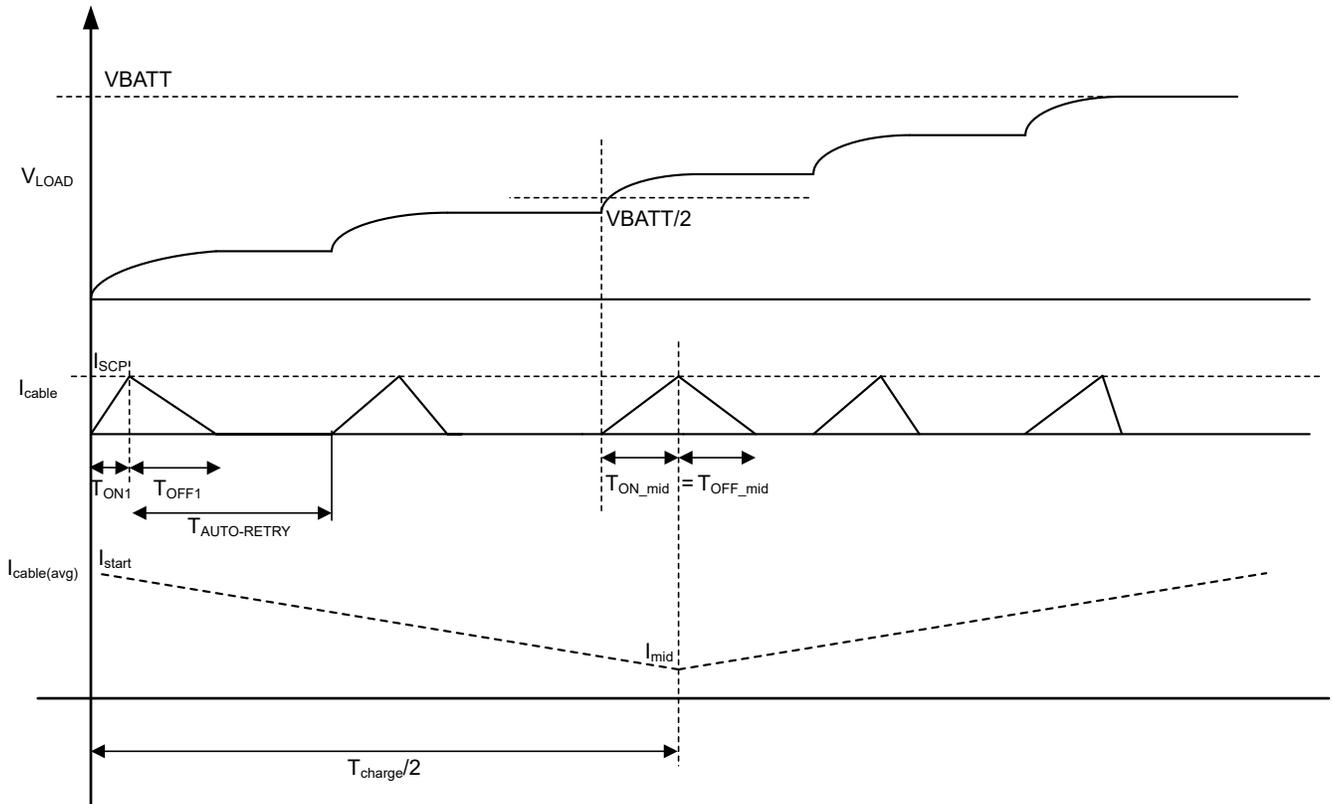


그림 6. 시동 중 PWM 충전 방법 개념 파형

그림 7에서는 제어 작동을 보여 줍니다. 보시다시피 이 접근 방식에는 입력 전압(V_{IN}), 부하 커패시턴스 및 필요한 충전 시간을 기반으로 고압측 드라이버에 대해 설정해야 하는 I_{SCP} 및 $T_{AUTO-RETRY}$ 라는 두 가지 변수가 있습니다. I_{SCP} 임계값 또는 더 짧은 $T_{AUTO-RETRY}$ 지연을 사용하면 출력 충전이 빨라지므로 이 솔루션은 모든 부하 커패시턴스 값에 사용할 수 있습니다.

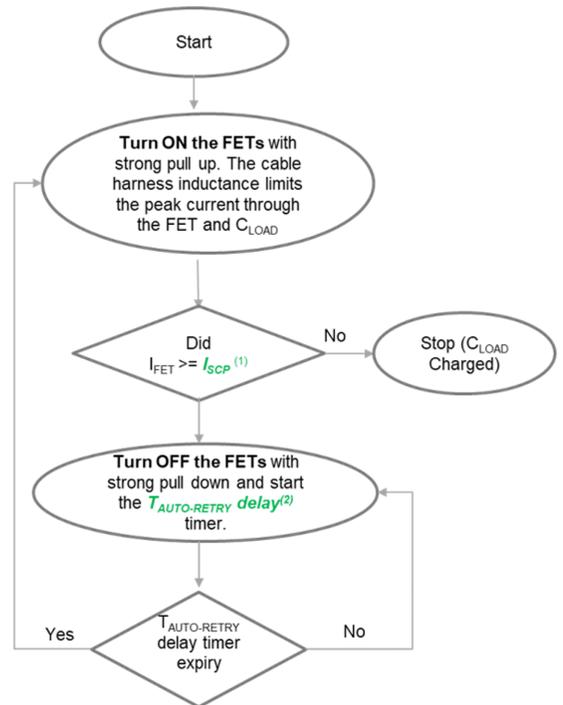


그림 7. PWM 충전 제어 방법의 흐름도

이 솔루션은 일반적인 고압측 드라이버 시스템(케이블 하니스 인덕턴스 및 D1 다이오드)에서 사용 가능한 기존의 물리적 공간을 활용하여 스위칭 모드에서 고압측 MOSFET을 작동함으로써 효율적인 충전 방법을 생성합니다. 기존의 접근 방식과 달리, 제안된 솔루션은 더 이상 FET SOA에 의존하지 않으며 부피가 큰 사전 충전 레지스터나 사전 충전 FET 및 드라이버를 필요로 하지 않습니다. 이 솔루션은 고압측 드라이버의 고유한 단락 보호 기능을 사용하고 외부 제어 신호 또는 복잡한 알고리즘 없이 자율적으로 실행됩니다.

설계 고려 사항 및 테스트 결과

50A 부하를 위한 이 시스템 설계 예를 고려하십시오.

- 배터리 전압(V_{BATT}) = 12V.
- 부하 커패시턴스(C_{LOAD}) = 5mF.
- 고압측 드라이버를 ECU에 연결하는 1.5m 케이블 = 8AWG, $L_{cable} = 2.25\mu H$ 로 연결됩니다.
- 충전 시간(T_{charge}) = 10ms
- 프리휠링 다이오드 강하(V_{D1}) = 0.7V.

설계에는 I_{SCP} 및 $T_{AUTO-RETRY}$ 매개 변수를 선택하는 것이 포함됩니다. 50A 부하 설계의 경우, I_{SCP} 임계값은 일반적으로 최대 부하 전류보다 20% 더 높게 설정되므로, 이 예에서는 $50A \times 1.2 = 60A$ 입니다.

이제 $T_{AUTO-RETRY}$ 를 계산하려면 **그림 6**의 내용을 참조하고 $T_{charge}/2$ 의 중간에서 커패시터의 전류-전압 관계를 사용하여 **방정식 6**을(를) 연습합니다.

$$\frac{(I_{start} + I_{mid})}{3} \times \frac{T_{charge}}{2} = C_{LOAD} \times \frac{V_{BATT}}{2} \quad (6)$$

여기서:

$$I_{start} = \frac{I_{SCP} \times (T_{ON1} + T_{OFF1})}{2 \times (T_{ON1} + T_{AUTO-RETRY})} \quad (7)$$

및

$$I_{mid} = \frac{I_{SCP} \times 2 \times T_{ON_mid}}{2 \times (T_{ON_mid} + T_{AUTO-RETRY})} \quad (8)$$

T_{ON1} , T_{OFF1} 및 T_{ON_mid} 시간 간격은 **방정식 9~방정식 11**을(를) 사용하여 계산할 수 있습니다.

$$T_{ON1} = \frac{L_{cable} \times I_{SCP}}{V_{BATT}} \quad (9)$$

$$T_{OFF1} = \frac{L_{cable} \times I_{SCP}}{V_{D1}} \quad (10)$$

$$T_{ON_mid} = \frac{L_{cable} \times I_{SCP}}{\left(\frac{V_{BATT}}{2}\right)} \quad (11)$$

알려진 매개 변수 V_{BATT} , L_{cable} , I_{SCP} , V_{D1} 및 C_{LOAD} 를 대치하고 $T_{AUTO-RETRY}$ 를 풀면 200 μs 미만의 재시도 지연으로 10ms의 충전 시간을 달성할 수 있습니다.

그림 8 및 **그림 9**에서는 TPS1211-Q1 고압측 드라이버를 사용하여 5mF 부하 커패시턴스를 충전하기 위한 애플리케이션 회로도 및 테스트 설정을 보여줍니다. $T_{AUTO-RETRY}$ 는 180 μs 이며, **그림 10**에 나와 있는 것처럼 충전 시간은 7ms입니다.

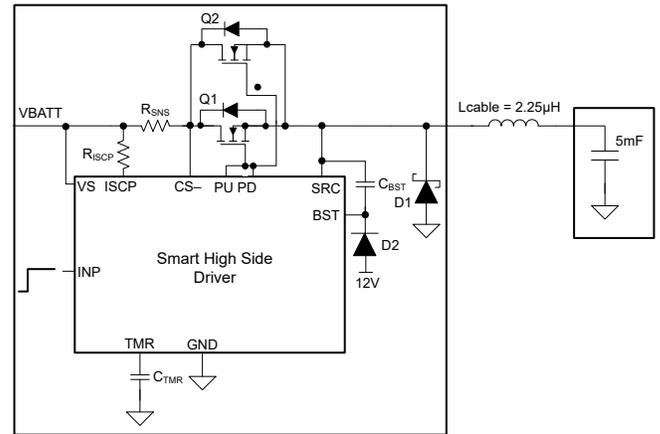


그림 8. 정전식 부하를 구동하기 위한 일반적인 애플리케이션 회로도.

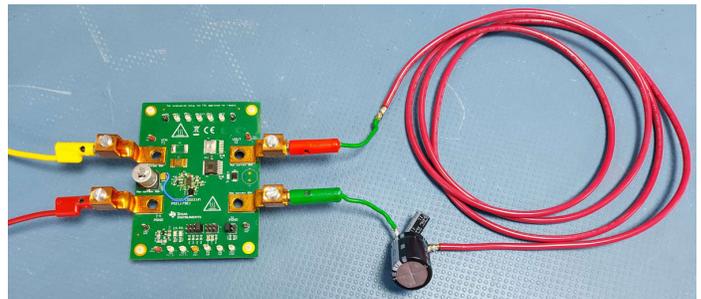


그림 9. 1.5m 케이블 하니스가 있는 TPS1211-Q1 평가 모듈을 사용하여 테스트 설정.

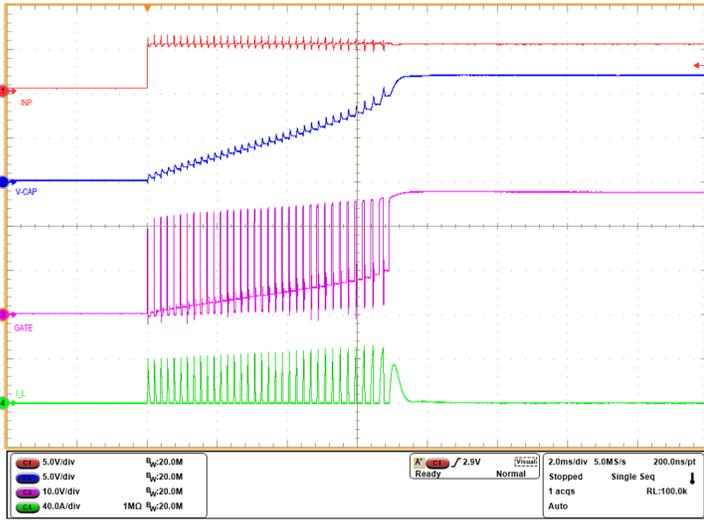


그림 10. 스위칭 모드에서 TPS1211-Q1을 사용하여 5mF 부하 커패시턴스로 시작.

마무리

반도체 기반 스마트 퓨즈 솔루션은 소프트웨어를 통해 퓨즈 시간-전류 특성과 재조정할 수 있게 획기적으로 개선된 오토모티브 전력 분배의 기존 응용 퓨즈보다 인기를 얻고 있습니다. 이러한 장점 덕분에 케이블이 더 얇고 짧기 때문에 전체 케이블 하네스 무게를 줄일 수 있습니다.

반도체 기반 스마트 퓨즈 솔루션의 시스템 설계 문제 중 하나는 커패시터 부하 충전이 시스템 시작 시간 요구 사항을 충족할 수 있는지 여부입니다. TI의 고압측 스위치 컨트롤러 디바이스는 정전식 부하 구동의 과제를 해결하는 다양한 기술을 제공합니다.

참고 자료

1. Rogachev, Artem. 2014. “**견고한 핫 스왑 설계.**” Texas Instruments application report, literature No. SLVA673A, April 2014.
2. **dv/dt 기반 시동을 위한 FET SOA 마진 계산기**

관련 웹사이트

- **TPS1211-Q1**
- **TPS1200-Q1**

중요 알림: 이 문서에 기술된 텍사스 인스트루먼트의 제품과 서비스는 TI의 판매 표준 약관에 의거하여 판매됩니다. TI 제품과 서비스에 대한 최신 정보를 완전히 숙지하신 후 제품을 주문해 주시기 바랍니다. TI는 애플리케이션 지원, 고객의 애플리케이션 또는 제품 설계, 소프트웨어 성능 또는 특허권 침해에 대해 책임을 지지 않습니다. 다른 모든 회사의 제품 또는 서비스에 관한 정보 공개는 TI가 승인, 보증 또는 동의한 것으로 간주되지 않습니다.

모든 상표는 해당 소유권자의 자산입니다.

IMPORTANT NOTICE AND DISCLAIMER

TI PROVIDES TECHNICAL AND RELIABILITY DATA (INCLUDING DATA SHEETS), DESIGN RESOURCES (INCLUDING REFERENCE DESIGNS), APPLICATION OR OTHER DESIGN ADVICE, WEB TOOLS, SAFETY INFORMATION, AND OTHER RESOURCES "AS IS" AND WITH ALL FAULTS, AND DISCLAIMS ALL WARRANTIES, EXPRESS AND IMPLIED, INCLUDING WITHOUT LIMITATION ANY IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY, FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE OR NON-INFRINGEMENT OF THIRD PARTY INTELLECTUAL PROPERTY RIGHTS.

These resources are intended for skilled developers designing with TI products. You are solely responsible for (1) selecting the appropriate TI products for your application, (2) designing, validating and testing your application, and (3) ensuring your application meets applicable standards, and any other safety, security, regulatory or other requirements.

These resources are subject to change without notice. TI grants you permission to use these resources only for development of an application that uses the TI products described in the resource. Other reproduction and display of these resources is prohibited. No license is granted to any other TI intellectual property right or to any third party intellectual property right. TI disclaims responsibility for, and you will fully indemnify TI and its representatives against, any claims, damages, costs, losses, and liabilities arising out of your use of these resources.

TI's products are provided subject to [TI's Terms of Sale](#) or other applicable terms available either on [ti.com](https://www.ti.com) or provided in conjunction with such TI products. TI's provision of these resources does not expand or otherwise alter TI's applicable warranties or warranty disclaimers for TI products.

TI objects to and rejects any additional or different terms you may have proposed.

Mailing Address: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265
Copyright © 2024, Texas Instruments Incorporated