

자동차에서의 전원 모니터링 및 스위칭

Monitoring & Switching Power in Automobiles

어떠한 전자 시스템의 전력 소모를 모니터링하기 위해서는 전류와 전압 둘 다를 지속적으로 측정해야 한다. 전압은 아날로그-디지털 컨버터(ADC)를 사용해서 곧바로 측정할 수 있다. ADC 입력 범위가 모니터링하는 전압보다 낮으면 저항 분할기가 필요할 수 있다.

글/Pinkesh Sachdev/Product Marketing Engineer, Mixed Signal Products, Linear Technology

머리말

첨단 자동차에서는 온열 시트, 에어 컨디셔닝, 내비게이션, 인포테인먼트, 안전성 시스템과 같이 편의성과 전반적인 운전 경험을 향상시키기 위한 많은 기능에 전자장치가 사용되고 있다. 그런데 100년 전에는 가솔린 구동 자동차로 전기 장치를 하나도 쓰지 않았는데 그 때는 어떤 모습이었을까? 자동차의 방향을 바꾸는 것은 수동 크랭크를 사용해서 이루어졌고, 전조등은 아세틸렌 가스를 사용해서 밝혔으며, 보행자에게 경적을 울리는 것은 종을 쳐서 알렸다.

그런데 이제 첨단 자동차는 갈수록 더 적은 수의 기계식 시스템만을 포함하며 인간의 삶에서 가장 크고 가장 비싼 '디지털 기기'가 되어가고 있다. 이러한 전환은 비용 측면이나 환경 측면에서 석유에 대한 의존도를 줄이고 또 한편으로 내연기관 자동차, 하이브리드차, 완전 전기차로 안전성을 향상시키고자 하는 시장의 요구에 의한 것이다.

기계식 시스템을 갈수록 더 전자식 시스템으로 교체하고 있기 때문에 전력 소모와 전압 소모를 모니터링하는 것이 점점 더 중요해지고 있다. 전기차에서 전력 소모를 정확하게 모니터링할 수 있으면 운전자들의 마음의 불안을 덜 수 있다. 완전 전기차를 운전해본 경험이

Introduction

It's easy to appreciate the benefits of the electronics that power the many functions in a modern vehicle, from our heated seats, air conditioning, navigation, infotainment and safety systems designed to increase comfort and our overall driving experience. It's hard to imagine what it must have been like just over 100 years ago when there was not a single electrical component in gasoline-powered automobiles. Turn of the century automobiles were started with hand cranks, headlights were lit with acetylene gas and pedestrians were alerted with a ringing bell.

Now, the modern motorcar is at the cusp of transforming into an electrical system with as few mechanical systems as possible, becoming the biggest and most expensive "digital gadget" in a person's life. This transformation is driven by the market pull to be less reliant on oil, for availability and environmental reasons, as well as to increase safety in combustion, hybrid and all-electric vehicles.

As more mechanical systems are replaced by an electronic equivalent, power consumption and ways to monitor it become increasingly important. Accurately monitoring power consumption in an electric vehicle

있는 운전자라면 주행 거리 때문에 불안했던 경험이 있을 것이다. 자동차 배터리가 목적지에 도착하기 전에 전력이 떨어지면 어쩌나 하는 불안감 말이다. 하이브리드차는 가솔린 구동 엔진을 사용해서 목적지까지 도착할 수 있는 여유가 있으나, 전기차는 꼭 충전소에서 충전을 해야만 한다.

그런데 오늘날 충전소는 숫자도 많지 않고 간격도 뜬 뜬 문뜬 있을 뿐만 아니라 배터리를 충전하는 데 몇시간이나 걸린다. 그러므로 각 전자식 서브시스템의 전력 소모를 지속적으로 정확하게 모니터링해야 한다. 이 정보를 활용함으로써 운전자가 배터리 시간을 절약하고 주행 거리를 늘리는 방법을 모색할 수 있다. 또한 사용되지 않는 모듈들을 전원 버스로부터 차단함으로써 추가적인 전력을 절약할 수 있다.

또한 서브시스템의 전류와 전력을 모니터링함으로써 이상 징후를 미리 포착할 수 있으므로 결함이 발생하기 전에 결함을 예측하고 자동차 정비소를 방문해서 적절한 수리를 받을 수도 있다. 전력과 에너지 모니터링의 이점은 진단 시에도 해당된다. 결함을 기록하고 데이터를 무선으로 액세스할 수 있음으로써 문제를 신속하게 디버깅하고 수리 비용과 자동차를 쓰지 못하는 시간을 줄일 수 있다.

전원 모니터링 및 제어

어떠한 전자 시스템의 전력 소모를 모니터링하기 위해서는 전류와 전압 둘 다를 지속적으로 측정해야 한다. 전압은 아날로그-디지털 컨버터(ADC)를 사용해서 곧바로 측정할 수 있다. ADC 입력 범위가 모니터링하는 전압보다 낮으면 저항 분할기가 필요할 수 있다(그림 1). 전류를 측정하기 위해서는 전원 경로 상에 검출 저항을 배치하고 이의 전압 강하를 측정한다. 그림 1에서 보듯이 트랜스컨덕턴스 증폭기가 하이사이드 검출 전

ultimately provides additional peace of mind to the driver. Anyone who has had the opportunity to drive a fully electric vehicle will probably have experienced range anxiety, the ever-present threat that the car battery will run out of power before reaching the destination.

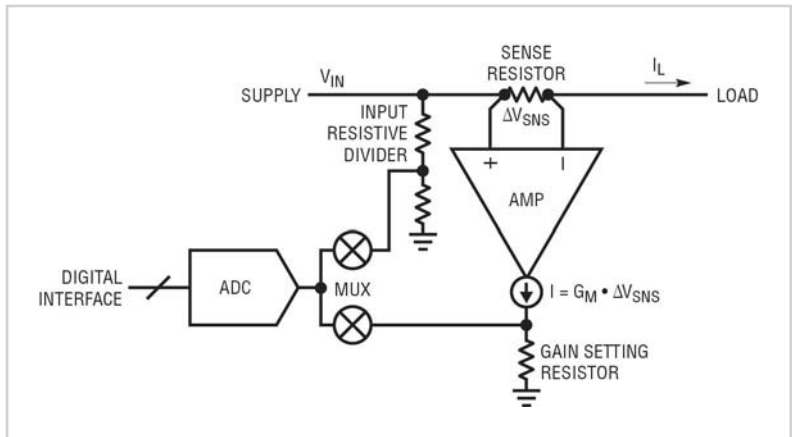
Hybrid vehicle owners have the luxury of the gas-powered engine to get them home but electric vehicles are only recharged at charging stations, which today are few and far between, and take hours to recharge the battery. Therefore, it is important to monitor the power consumption of each electronic sub-system continuously and accurately. This information can also be used to advise the driver on ways to preserve battery life and extend driving range. Further power savings are afforded by disconnecting idle modules from the power bus.

Monitoring sub-system current and power levels may also reveal any abnormal trends in its long-term performance, predicting failure before it occurs and flagging in a service request to the auto repair shop. The benefits of power and energy monitoring extend to diagnostics, where fault logging and wireless access to data can provide rapid debugging and reduced repair costs and downtime.

Methods to Monitor & Control Power

To monitor an electronic system's power consumption,

그림 1. 전원 레일의 입력 전압 및 부하 전류(검출 전압) 측정



압을 전류 출력으로 변환한다. 이 전류 출력이 이득 설정 저항을 거치면서 접지 참조 전압을 형성하는데, 이 전압이 부하 전류에 비례하며 ADC로 제공하기에 적합하다. 전력 손실을 최소화하기 위해서는 풀스케일 검출 전압을 수십 밀리볼트로 제한해야 한다.

그러므로 증폭기 입력 오프셋이 100 μ V보다 우수해야 한다. 전력을 계산하기 위해서는 디지털 인터페이스를 통해서 ADC 데이터를 액세스하는 마이크로컨트롤러나 프로세서에서 전압과 전류 리딩을 곱해야 한다. 에너지 소모를 모니터링하기 위해서는 시간의 경과에 걸쳐서 전력 리딩을 누적(누산)해야 한다.

전원을 스위칭하기 위해서 자동차 회로에 전기기계식 릴레이를 흔히 사용한다. 공간을 절약하기 위해서 릴레이를 N-채널 및 P-채널 MOSFET 같은 솔리드 스테이트(반도체) 스위치로 교체할 수 있다. 그럼으로써 모든 소자들을 동일 보드에 탑재하고 동일한 솔더 리플로우 공정으로 어셈블리 할 수 있는 PCB 디자인이 가능하다. P-채널 MOSFET은 게이트를 로우로 풀링함으로써 턴온 하고 게이트를 입력 전압으로 연결함으로써 턴오프 한다.

N-채널 MOSFET과 비교해서 P-채널 MOSFET은 동일한 온 저항(on resistance)일 때 가격이 더 비싸며 선택폭이 높은 전류로 제한적이다(10A 이상). N-채널 MOSFET은 높은 전류를 취급하기에 뛰어나지만 게이트를 입력 전압보다 높게 끌어올리기 위해서 차지 펌프를 필요로 한다. 예를 들어서 12V 입력이 MOSFET을 열어주기 위해서는 게이트에 22V를 필요로 함으로써 10V가 더 높다. 그림 2는 전원 스위칭 회로를 보여준다.

또한 공통 전원 버스는 어떤 한 카드나 모듈 상에서 발생하는 단락 회로나 과부하 결함에 대해서 보호를 필요로 한다. 회로 차단기를 구현하기 위해서는 그림 1에서 증폭기 출력을 과전류 임계값과 비교해서 그림 2의 게이트 드라이버를 턴오프 한다. 이렇게 함으로써 퓨즈를 대체할 수 있다. 퓨즈는 응답이 느리고, 허용오차가 넓고, 퓨즈가 나갔을 때 퓨즈를 교체해야 한다. 보드 공간을 절약하기 위해서는 자동차 전원 버스 상에서 전원을 스위칭 하고, 보호하고, 모니터링하는 통합적인 솔루션을 사용한다면 바람직할 것이다.

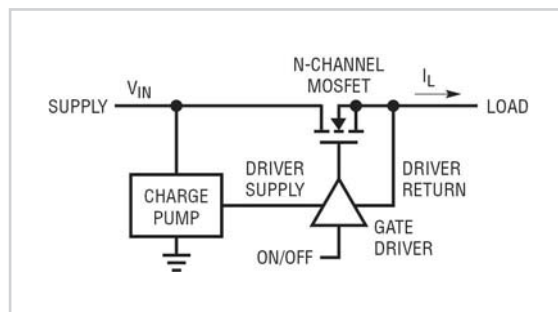
both current and voltage need to be measured continuously. Voltage can be measured directly with an analog-to-digital converter (ADC). A resistive divider may be needed if the ADC input range is lower than the monitored voltage (Figure 1). For measuring current, a sense resistor is placed in the power path and its voltage drop is measured. As shown in Figure 1, a transconductance amplifier converts the high-side sense voltage into a current output that passes through a gain-setting resistor to develop a ground-referenced voltage, proportional to load current and suitable for feeding to an ADC.

To minimize power loss, the full-scale sense voltage is limited to a few tens of millivolts. Hence, the amplifier input offset needs to be better than 100 μ V. To calculate power, the voltage and current readings have to be multiplied by the microcontroller or processor accessing the ADC data through its digital interface. To monitor energy consumption, the power readings are accumulated (added) over time.

To switch power, electromechanical relays are typically used in automotive circuits. To save space, relays are replaced with solid-state switches such as N-channel and P-channel MOSFETs, yielding PCB designs where every component resides on the same board and are assembled by the same solder reflow process. P-channel MOSFETs are turned on by pulling their gates low and turned off by connecting their gates to the input voltage.

As compared to N-channel MOSFETs, P-channel

그림 2. N-채널 MOSFET을 사용한 전원 레일 온/오프 스위칭



전원 제어 및 텔레메트리 용의 통합적인 솔루션

Linear Technology의 LTC4282는 에너지 텔레메트리와 EEPROM을 통합한 핫스왑 컨트롤러이자 회로 차단기 IC로서, 혁신적인 듀얼 전류 경로 기능을 사용해서 고전류 애플리케이션의 요구를 충족한다. 이 컨트롤러는 외부 N-채널 MOSFET을 제어해서 벌크 커패시터를 매끄럽게 파워업함으로써 입력 전원 글리치와 위험한 전류 수준을 방지하므로 2.9V~33V 범위에서 전원 장치를 안전하게 턴온 및 턴오프 할 수 있다.

보드 전원으로의 게이트웨이에 배치되는 LTC4282의 0.7% 정확도 12비트 또는 16비트 ADC가 I²C/SMBus 디지털 인터페이스를 통해서 보드 전압, 전류, 전력, 에너지 소모를 보고한다. 내부 EEPROM은 레지스터 구성 및 결함 로그 데이터를 저장하기 위한 비휘발성 스토리지를 제공하며 개발 및 필드 운영 단계에서 디버깅과 결함 분석을 빠르게 할 수 있도록 한다.

또한 LTC4282는 2% 정확도 전류 제한 전자식 회로 차단기를 포함함으로써 고전력일 때 좀더 중요해지는 과잉설계(overdesign)를 최소화할 수 있다. 과전류 시에는 LTC4282가 전류 한계를 폴드백 해서 조절가능 타임아웃 간격으로 일정한 MOSFET 전력 소산을 유지한다. 이 타이머가 완료되면 회로 차단기가 결함 모듈을 공통 전원 버스로부터 차단한다.

또한 사용되지 않는 모듈을 전원 버스로부터 차단함

MOSFETs cost more for the same on-resistance and their selection narrows at higher current levels (above 10A). N-channel MOSFETs are the best choice for handling high currents but they need a charge pump to raise the gate above the input voltage. For example, a 12V input will need 22V, i.e., 10V higher, on the MOSFET gate. **Figure 2** shows an implementation of a power switching circuit.

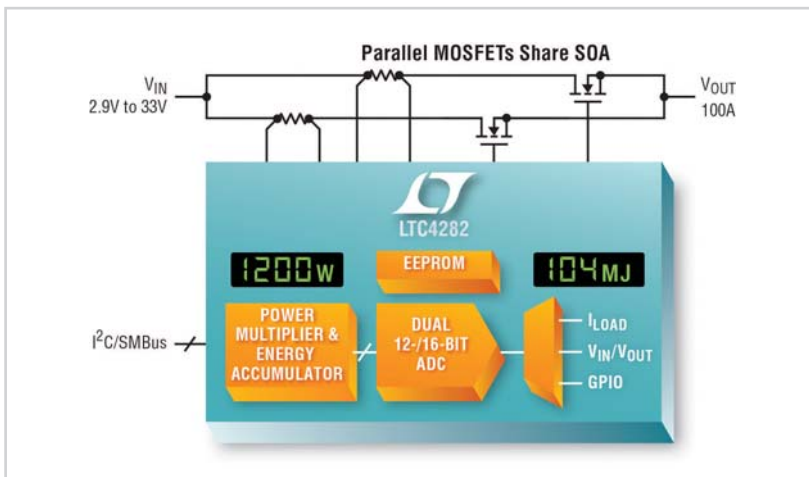
The common supply bus also needs protection from short-circuit and overload faults that may occur on any one card or module. To implement a circuit breaker, the output of the amplifier in Figure 1 can be compared against an overcurrent threshold to turn off the gate driver of Figure 2. This replaces fuses, which respond slowly, have wide tolerance, and need replacement when they blow. To save board space, it is desirable to have an integrated solution for switching, protecting, and monitoring power flow over automotive power buses.

Integrated Solution for Power Control & Telemetry

The LTC4282 is a hot swap controller and circuit breaker with energy telemetry and EEPROM (**Figure 3**), addressing high current applications with an innovative dual current path feature. The controller ensures safe turn-on and turn-off of supplies in the 2.9V to 33V range by controlling external N-channel MOSFETs to gently power up bulk capacitors, avoiding input supply glitches and damaging current levels.

Sitting at the gateway to board power, the LTC4282's 0.7% accurate 12- or 16-bit ADC reports board voltage, current, power, and energy consumption through an I²C/SMBus digital

그림 3. 전원/에너지 텔레메트리 및 EEPROM을 통합한 LTC4282 회로 차단기 IC



으로써 전력을 절약할 수 있다. 또한 회로 차단기 임계값을 디지털로 구성 가능하므로 부하 변화에 따라서 동적으로 조절할 수 있으며 낮은 값의 검출 저항을 선택할 수 있다. 모니터링하는 전기 파라미터에 대해서 최소 및 최대 값을 기록하고 어떤 값이 8비트 조절가능 임계값을 초과하면 경고를 발행한다. 보드로 재난적인 손상이 발생하는 것을 방지하기 위해서 MOSFET에 대해서 낮은 게이트 전압, 드레인-대-소스 단락 회로, 높은 전압 강하 같은 이상 조건들을 지속적으로 모니터링한다.

SOA 공유 경로

LTC4282는 단일 전원을 제어하면서도 부하 전류에 대해서 2개의 병렬 전류 제한 경로를 제공한다. 기존의 단일 경로 컨트롤러를 사용하는 고전류 보드는 온 저항(on resistance)을 낮추기 위해서 다중의 병렬 MOSFET을 사용한다. 그런데 이들 모든 MOSFET이 과전류 결합을 매끄럽게 견뎌내기 위해서 넓은 SOA(safe operating area)를 필요로 한다. 병렬 MOSFET은 전류 제한 시에 전류를 공유할 수 없기 때문이다.

그러므로 MOSFET 선택폭이 높은 전류 수준으로 제한되기 때문에 가격이 높아지는 데다가, SOA는 낮은 $R_{DS(ON)}$ 과 상충적 관계이다. LTC4282는 이 전류를 2개의 정확하게 매칭된 전류 제한 경로로 분할함으로써 2개 बैं크의 MOSFET들이 과부하 조건 시라도 전류를 공유할 수 있다. 100A 애플리케이션의 경우에 기 경로를 50A 전류 한계로 설계함으로써 SOA 요구를 절반으로 낮출 수 있으므로 MOSFET 선택폭을 넓히고 비용을 낮출 수 있다. 이것을 매칭된 병렬 구성(matched parallel configuration)이라고 한다. 양쪽 경로를 비슷한 MOSFET과 검출 저항을 사용해서 설계할 수 있기 때문이다.

LTC4282의 듀얼 전류 경로를 사용함으로써 또한 MOSFET의 SOA 요구를 온 저항과 무관하게 할 수 있다. 스타트업 왜도, 전류 제한, 입력 전압 스텝 같은 스트레스 조건을 처리하기 위해서는 넓은 SOA를 필요로 한다. 낮은 온 저항은 정상 동작 시에 MOSFET 게이트를 완전히 턴온 했을 때 전압 강하와 전력 손실을 낮출 수 있다. 그런데 온 저항을 향상시키면 MOSFET SOA가

interface. Internal EEPROM provides nonvolatile storage for register configuration and fault log data, speeding debug and failure analysis during development and field operation.

The LTC4282 has a 2% accurate current-limited electronic circuit breaker, minimizing overdesign which becomes more important at high power levels. During overcurrent conditions, the LTC4282 folds back its current limit to maintain constant MOSFET power dissipation for an adjustable timeout period. After the timer expires, the circuit breaker disconnects the faulting module from the common supply bus.

An idle module can also be disconnected from the power bus, saving power. Digitally configurable circuit breaker threshold enables dynamic adjustment with load changes and eases selection of low value sense resistors. Minimum and maximum values of the monitored electrical parameters are recorded, with alerts raised when they exceed 8-bit adjustable thresholds. To prevent catastrophic damage to the board, the MOSFETs are continuously monitored for abnormal conditions such as low gate voltage and drain-to-source short-circuit or large voltage drop.

SOA Sharing Paths

Although the LTC4282 controls a single supply, it provides two parallel current-limited paths for the load current. High current boards with conventional single-path controllers employ multiple parallel MOSFETs to reduce on resistance, but all of these MOSFETs require large safe operating area (SOA) to ride through overcurrent faults since parallel MOSFETs cannot be assumed to share current during current limiting.

Also, MOSFET selection narrows at higher current levels, prices go up, and SOA levels do not keep up with reduced $R_{DS(ON)}$. By splitting the current into two precisely-matched current-limited paths, the LTC4282 ensures that

나빠지므로 이 둘은 상충적인 요구이다.

LTC4282는 한 경로에는 스트레스 조건을 처리할 수 있는 MOSFET을 사용할 수 있고 또 다른 경로에는 온 저항이 낮은 MOSFET을 사용할 수 있다. 이것을 단계식 시작(staged-start) 구성이라고 한다. 스타트업, 전류 제한, 입력 전압 스텝 시에는 스트레스 처리 경로는 턴온 하고 $R_{DS(ON)}$ 경로는 턴오프 한다. 정상 동작 시에는 $R_{DS(ON)}$ 경로를 턴온 하고 스트레스 경로는 바이패스함으로써 부하 전류에 대해서 낮은 온 저항을 제공하고 전압 강하와 전력 손실을 낮출 수 있다. 스타트업 시에 MOSFET 스트레스 양에 따라서 두 가지 방식의 단계식 시작 구성이 가능하다. 저 스트레스(그림 4)와 고

the two banks of MOSFETs share current even during an overload condition. For a 100A application, each path is designed with a 50A current limit, halving SOA requirements, widening MOSFET selection, and reducing their cost. This is called a matched or parallel configuration as both paths are designed with similar MOSFETs and sense resistors.

The LTC4282's dual current paths are also used to decouple MOSFET SOA requirements from on-resistance. Large SOA is important for stressful conditions such as startup inrush, current limiting, and input voltage step. Low on-resistance reduces voltage drop and power loss during

normal operation when the MOSFET gate is completely turned on. But these are competing requirements as MOSFET SOA typically worsens with improving on resistance.

The LTC4282 allows using one path with a MOSFET capable of handling stressful conditions and the other path with MOSFETs having low on resistance. This is called a staged-start configuration. In general, the stress-handling path is turned on and the $R_{DS(ON)}$ path is kept off during start-up, current limiting, and input voltage steps. The $R_{DS(ON)}$ path is turned on during normal operation to bypass the stress path, providing a low on-resistance for the load current, reducing voltage drop and power loss. Depending on the amount of MOSFET stress at start-up, there are two types of

그림 4a. 저 스트레스 단계식 시작 구성은 50A 이상인 애플리케이션에서 비용을 최소화할 수 있다.

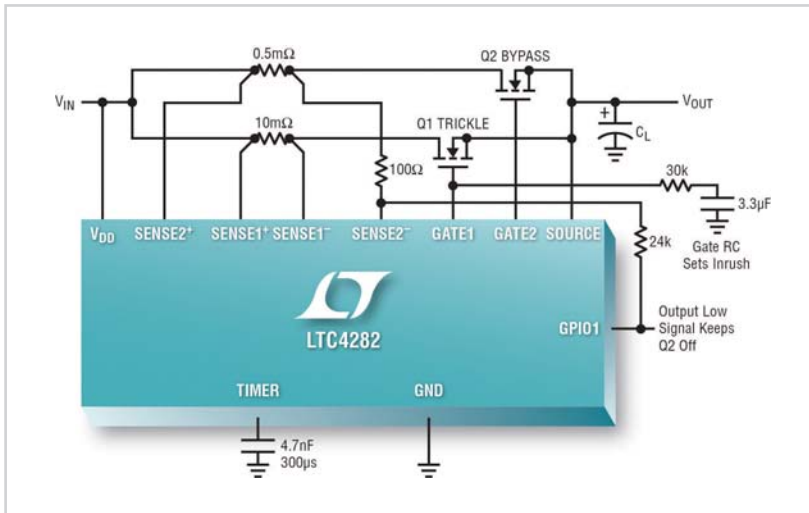
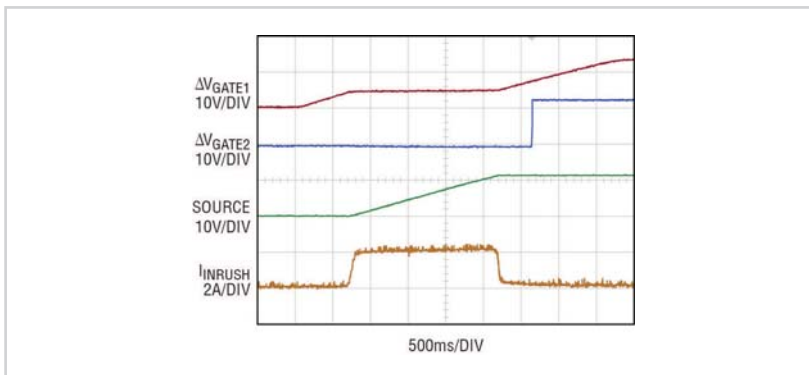


그림 4b. 저 스트레스 단계식 시작 구성을 사용한 스타트업. 먼저 GATE1이 턴온 해서 출력을 낮은 2A 채도 전류로 세류 충전한다. SOURCE(출력)가 powergood 임계값보다 높아지면 GATE2가 턴온 한다.



스트레스이다.

고 스트레스 단계식 시작은 전류 레벨이 50A 아래인 애플리케이션에 권장된다. 병렬 저 스트레스 단계식 시작 구성은 50A 이상인 애플리케이션에 권장된다. 저 스트레스 단계식 시작 구성은 단일 경로 디자인과 비교해서 가장 낮은 MOSFET 비용이 가능하지만, 대신에 트랜시언트 성능이 제한적이고 부하 전류로 스타트업 하지 못한다. 병렬 고 스트레스 단계식 시작 구성은 부하 전류로 스타트업 하고 더 긴 결합 타이머가 가능하며 더 길게 지속되는 과부하 조건과 입력 전압 스텝을 견딜 수 있다.

맺음말

파워 스티어링, ABS 제동, 편의성, 안전성, 엔터테인먼트 기능들에서 보는 것과 같이 지난 20여 년에 걸쳐서 자동차에 채택되는 전자장치 비중이 급속하게 증가하고 있다. 자동차가 갈수록 더 연결되고 자율적이 됨으로써 이러한 추세는 앞으로 더더욱 가속화될 것이다. 그러면 귀중한 배터리 전력에 대한 요구는 점점 더 높아질 것이다. 전력 소모를 신중하게 모니터링하고 사용되지 않는 시스템은 전력을 차단함으로써 배터리 사용의 효율을 높일 수 있다.

Linear Technology의 LTC4282 회로 차단기 IC는 보드 차원의 전기 데이터를 제공하므로 각 서브시스템의 전력과 에너지 소모를 측정할 수 있고 그럼으로써 전체 자동차의 전력과 에너지 소모를 측정하는 작업을 수월하게 한다. 또한 LTC4282는 혁신적인 듀얼 전류 경로 기능을 제공하고 다양한 방식으로 구성 가능하므로 동일한 디자인에서 넓은 SOA와 낮은 온 저항 둘 다를 가능하게 하므로 고전류의 킬로와트대 보드 디자인을 훨씬 더 쉽게 설계할 수 있다. **SN**

staged start configurations—low stress (Figure 4) and high stress.

The high stress staged start is recommended for application current levels below 50A, while the parallel and low stress staged start configurations are recommended for applications above 50A. As compared to a single-path design, lowest MOSFET cost is afforded by the low stress staged start configuration at the expense of limited transient ride-through and not being able to startup with a load current. The parallel and high-stress staged start configurations startup in to a load and afford longer fault timers, riding through longer lasting overload conditions and input voltage steps.

Conclusion

The adoption of electronic content in cars has rapidly increased in the last two decades, driven by functions such as power steering, ABS braking, convenience, safety, and entertainment. The pace is poised to accelerate further as cars head towards being completely connected and autonomous, raising demands on precious battery power. Careful power consumption monitoring along with shutting down idle systems promises to raise the efficiency of battery usage.

By providing board-level electrical data, the LTC4282 circuit breaker eases the task of measuring the power and energy consumption of each sub-system and consequently that of the entire vehicle. With its novel dual current path feature, configurable in multiple ways, the LTC4282 greatly eases high current kilowatt level board designs, enabling both large SOA and low on-resistance in the same design. **SN**

Linear Technology의 LTC4282 회로 차단기 IC는 보드 차원의 전기 데이터를 제공하므로 각 서브시스템의 전력과 에너지 소모를 측정할 수 있고 그럼으로써 전체 자동차의 전력과 에너지 소모를 측정하는 작업을 수월하게 한다.