

# 소형 PCB 풋프린트로 디지털 제어와 텔레메트리를 통합하고서 높은 전력 제공

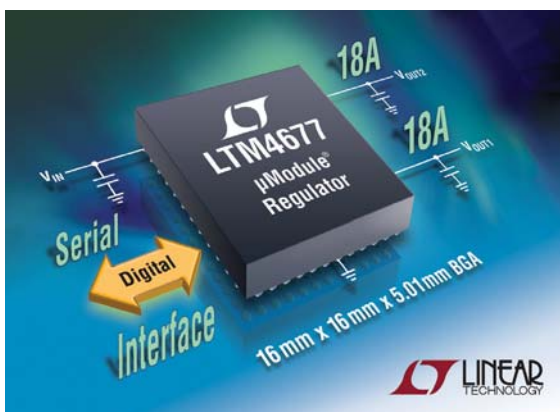
Deliver High Power with Complete Digital Control & Telemetry in Compact PCB Area

오늘날 데이터통신이나 원격통신 시스템으로 DPSM 기능을 갖춤으로써 단 4개의  $\mu$ Module 레귤레이터를 사용해서 첨단 20nm 이하 ASIC과 FPGA의 1.1V 코어 전압으로 180와트 이상의 전력을 공급할 수 있으므로, 시스템 디자이너들을 위한 간편하고도 강력한 솔루션을 제공한다.

글/Tony Armstrong, Director of Product Marketing, Power Products, LTC

## 머리말

통신과 컴퓨터 분야에서 디지털 PSM(DPSM)의 도입은 이들 시스템의 핵심을 이루는 20nm 이하 ASIC이나 FPGA가 필요로 하는 고전류 수준까지 계속 될 것으로 보인다. 예를 들어서 차세대 데이터 센터 스위치 장비에 사용되고 있는 최신 ASIC이라고 하자. 이러한 장비는 좀더 유연한 조합의 인터페이스들을 가능하게 하며 100Mb/s~100Gb/s 이더넷과 32Gb/s 파이버 채널 트래픽을 전송할 수 있는 포트들을 제공한다. 그러므로 단일 랙 유닛으로 고밀도 100G 포트들을 포함할 수 있다. 뿐만 아니라 20nm 이하 프로세스를 적용함으로써 ASIC 자체로 20MB 이상의 메모리를 제공할



## Introduction

It should come as no surprise to anyone that the continuing adoption of Digital Power System Management (DPSM) within the communications and computer industries continues to be driven, in large part, to the high current levels demanded by the sub-20nm ASICs and/or FPGAs that are at the core of their system architecture. By way of example, consider the newest ASICs being used in the next generation data center switches; they enable a more flexible set of interfaces for ports carrying 100Mbit to 100Gbit/second Ethernet and 32Gbit/s fiber channel traffic. This allows higher density of 100G ports to be placed into a single rack unit. Coupled with this, these sub-20nm processes allow 20 plus Mbytes of memory to be placed on the ASIC itself, thereby potentially eliminating the need for external memory, saving board space and cost.

Nevertheless, the system architects of this type of communications equipment are constantly being pushed to increase the data throughput and performance of their systems as well as add functionality and features. Simultaneously, pressure is being applied to decrease the

수 있다. 그러므로 외부 메모리를 제거할 수 있으므로 보드 공간을 절약하고 원가를 낮출 수 있다.

그리는 한편으로 이러한 통신 장비를 설계하는 시스템 디자이너들은 끊임 없이 자사 시스템의 데이터 쓰루풋과 성능을 더 높이고 더 많은 기능을 추가해야 하는 압박을 받고 있다. 그러면서 또한 시스템의 전력 소모를 낮추어야 하는 압박 또한 거세다. 예를 들어서 전력 소모를 낮추기 위해서 작업 플로우 스케줄을 재지정하고 충분히 활용되지 못하는 서버들로 작업을 옮길 수 있다. 또한 사용되지 않는 서버들을 셧다운 할 수 있다. 이렇게 하기 위해서는 최종 사용자 장비의 전력 소모를 알아야 한다. 그러므로 적절하게 설계된 디지털 PSM을 사용해서 사용자에게 전력 소모에 관한 데이터를 제공할 수 있다. 그러면 이 데이터를 가지고서 지능의 에너지 관리 의사결정을 할 수 있다. 바로 이렇게 하는 것이 데이터 센터의 중요한 요구사항이다. 데이터 센터에서는 내부 온도를 통제하기 위해서 HVAC 시스템에 들어가는 전기 요금이 상당하기 때문이다. 실제로 이 비용이 한 달에 수백만 달러까지 이를 수 있다.

### 해결 과제

디지털 전원을 잘 사용하면 장비의 전력 소모를 낮추고, 제품 개발 시간을 단축하고, 우수한 안정성과 트랜션트 응답을 달성하고, 시스템 신뢰성을 높일 수 있다.

DPSM의 가장 중요한 이점은 설계 비용을 낮추고 제품 개발 시간을 단축할 수 있다는 것이다. 직관적인 GUI (graphical user interface)를 제공하는 포괄적인 개발 환경을 사용해서 복잡한 멀티 레일 시스템을 효율적으로 개발할 수 있다. 또한 배선과 솔더링을 다시 하는 것이 아니라 GUI 상에서 간편하게 변경을 할 수 있으므로 회로내 테스트(ICT)나 보드 디버깅을 편리하게 할 수 있다. 또 다른 장점은 실시간 텔레메트리 데이터를 사용할 수 있으므로 전원 시스템 결함을 예측하고 미리 예방 조치를 취할 수 있다는 것이다. 특히 디지털 관리 기능을 통합한 DC/DC 컨버터를 사용하면 POL (point of load), 보드, 랙, 심지어 전체 설비 차원에서까지 에너지 소모를 최소화하면서 목표 성능(연산 속도, 데이터 속

systems overall power consumption. For example, a typical challenge is to reduce overall power consumption by rescheduling the work flow and moving jobs to underutilized servers, thereby enabling shutdown of other servers. To meet these demands, it is essential to know the power consumption of the end-user equipment. Thus, a properly designed digital PSM can provide the user with power consumption data, allowing for smart energy management decisions to be made. This is a key requirement for data centers where the electricity costs for the HVAC systems that keep the internal ambient temperatures under control are significant. In reality, these costs can be in the millions of dollars on a monthly basis.

### System Challenges

When digital power is done correctly, it can reduce equipment power consumption, shorten time to market, have excellent stability and transient response, and increase overall system reliability.

A principal benefit of DPSM is reduced design cost and faster time to market. Complex multi-rail systems can be efficiently developed using a comprehensive development environment with intuitive graphical user interface (GUI). Such systems also simplify in-circuit testing (ICT) and board debug by enabling changes via the GUI instead of soldering in “white wire” fixes. Another benefit is the potential to predict power system failures and enable preventive measures, thanks to the availability of real-time telemetry data. Perhaps most significantly, DC/DC converters with digital management functionality enable designers to develop “green” power systems that meet target performance (compute speed, data rate, etc.) with minimum energy usage at the point of load, board, rack and even installation levels, reducing infrastructure costs and the total cost of ownership over the life of the product.

Many telecom and datacom systems are powered via a 48V backplane. This voltage is normally stepped down to a

도 등)을 달성하는 ‘친환경’ 전원 시스템을 설계할 수 있다. 그러므로 인프라 비용을 절감하고 제품 수명 전반에 걸쳐서 총 유지비용을 절감할 수 있다.

많은 원격통신 및 데이터통신 시스템은 48V 백플레인을 사용해서 구동된다. 이 전압을 시스템 내의 보드 랙을 구동하기 위해서 보통 12V부터 3.3V까지 이르는 중간 버스 전압으로 스텝다운(강압)한다. 그런데 다시 이러한 보드 상의 대부분의 하위 회로나 IC는 1V 이하부터 3.3V까지 이르는 전압과 수십 밀리암페어부터 수백 암페어까지 이르는 전류로 동작해야 한다. 그러므로 중간 버스 전압을 다시 하위 회로나 IC가 요구하는 전압으로 스텝다운하기 위해서 POL DC/DC 컨버터를 필요로 한다. 또한 이들 레일에 대해서 시퀀싱, 전압 정확도, 마지닝, 감시와 관련해서 엄격한 요건을 충족해야 한다.

통신 시스템은 많게는 50개 POL 전압 레일을 포함할 수 있으며, 시스템 디자이너들은 이들 레일의 출력 전압, 시퀀싱, 최대 허용 전류 같은 것을 관리할 수 있는 간편한 수단을 필요로 한다. 어떤 프로세서는 코어 전압에 앞서 I/O 전압이 먼저 상승해야 하고, 또 어떤 ASIC이나 DSP는 I/O에 앞서 코어 전압이 먼저 상승해야 한다. 또한 파워다운 시퀀싱을 해야 한다. 그러므로 디자이너의 설계 작업을 간소화하기 위해서는 시스템 성능을 최적화하기 위해서 변경을 할 수 있고 각 DC/DC 컨버터의 특정한 구성을 저장할 수 있는 간편한 솔루션을 필요로 한다.

또한 비싼 FPGA, ASIC, DSP를 과전압 조건으로부터 보호하기 위해서는 고속 비교기를 사용해서 각 레일의 전압 레벨을 모니터링하고 어떠한 레일이 지정된 안전 동작 구역 한계를 벗어났을 때 즉각 보호 조치를 취할 수 있어야 한다. 디지털 전원 시스템은 결함이 발생했을 때 PMBus 경고 라인을 통해서 호스트로 이를 통보하고 해당 레일을 셧다운함으로써 FPGA 같은 디바이스를 보호할 수 있다. 이와 같은 차원의 보호를 달성하기 위해서는 합리적인 수준의 정확도와 수십 마이크로초 대의 응답 시간을 필요로 한다.

바로 이러한 요구들을 충족하고자 Linear Technology는 PSM 제품 라인으로, 전력 FET 게이트 드라이버와 포괄적인 전원 관리 기능(I<sup>2</sup>C 기반 PMBus를 통해서 액세스)을 통합한 동기 스텝다운 DC/DC 컨트롤러를

lower intermediate bus voltage of typically 12V to 3.3V to power the racks of boards within the system. However, most of the sub-circuits or ICs on these boards are required to operate at voltages ranging from sub-1V to 3.3V at currents ranging from tens of milliamps to hundreds of amps. As a result, point-of-load (PoL) DC/DC converters are necessary to step down from the intermediate bus voltage to the desired voltage required by the sub-circuits or ICs. These rails have strict requirements for sequencing, voltage accuracy, margining and supervision.

There can be as any many as 50 PoL voltage rails in a telecom system and system architects need a simple way to manage these rails with regards to their output voltage, sequencing and maximum allowable current. Certain processors demand that their I/O voltage rise before their core voltage, alternatively certain ASIC and DSPs require their core voltage rise before their I/O. Power down sequencing is also necessary. Designers need an easy way to make changes to optimize system performance and to store a specific configuration for each DC/DC converter in order to simplify the design effort.

Furthermore, in order to protect expensive FPGAs, ASICs and DSPs from the possibility of an over voltage condition, high-speed comparators must monitor the voltage levels of each rail and take immediate protective action if a rail goes out of its specified safe operating limits. In a digital powered system, the host can be notified when a fault occurs via the PMBus alert line and dependent rails can be shut down to protect the powered devices such as an FPGA. Achieving this level of protection requires reasonable accuracy and response times on the order of tens of microseconds.

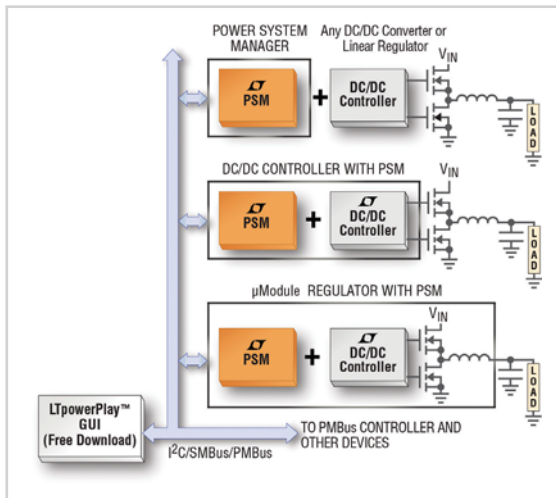
It was because of these challenges that Linear Technology's decided to develop a PSM product line that includes synchronous step-down DC/DC controllers with integrated power FET gate drivers and comprehensive power management features accessed via the I<sup>2</sup>C-based PMBus. These include precision references and

추가하였다. 이들 제품은 정밀 레퍼런스와  $\pm 0.5\%$  DC 정확도의 온도 보정, 아날로그 전류 모드 제어 루프, 동작 조건에 무관하게 캘리브레이션 할 수 있는 편리한 보정, 사이클-대-사이클 전류 제한, '디지털' 제어를 사용한 제품에서 흔히 발견되는 ADC 양자화 오차를 일으키지 않으면서 라인 및 부하 트랜션트에 대해서 전류 공유와 응답이 빠르고 정확하다는 점 등을 특징으로 한다. 또한 일부 제품은 16비트 데이터 포착 시스템을 통합함으로써 입력 및 출력 전압 및 전류, 듀티 사이클, 온도를 디지털로 리드백 할 수 있다. 또한 인터럽트 플래그를 통해서 결합 로그 기능을 제공하며, '블랙박스' 리코더 기능은 결합이 발생하기 바로 직전의 컨버터 동작 상태를 저장할 수 있다. 또한 Linear의 LTpowerPlay® 개발 소프트웨어와 GUI 인터페이스를 사용해서 멀티 레일 시스템을 편리하게 개발할 수 있다.

**복잡한 문제들을 해결하는 간편한 솔루션 제공**

그렇다면 시스템 디자이너가 자신의 최종 제품에 적절하게 디지털 PSM 솔루션을 구성하려면 어떻게 할 것인가? 가장 먼저 할 일은 디지털 통신 버스를 통해서 편리하게 구성 및 모니터링을 할 수 있도록 시스템을 설계하는 것이다. 이를 위해서는 I<sup>2</sup>C, SMBus, PMBus 중의 하나를 사용할 수 있다. 이들 버스는 어느 것이나 온디맨드 텔레메트리 기능을 써서 시스템 내의 어떠한 POL

그림 1. 디지털 PSM 시스템 구성



temperature-compensated analog current-mode control loops offering  $\pm 0.5\%$  DC accuracy, easy compensation that is calibrated to be independent of operating conditions, cycle-by-cycle current limit, and fast and accurate current sharing and response to line and load transients without any of the ADC quantization-related errors found in products utilizing “digital” control. Some of these also incorporate 16-bit data acquisition systems that provide digital read back of input and output voltages and currents, duty cycle and temperature. Also include is a fault logging capability via an interrupt flag along with a “black box” recorder that stores the state of the converter operating conditions just prior to a fault. Finally, multi-rail system development is facilitated though Linear’s LTpowerPlay® development software and GUI interface.

**Simple Solutions for Complex Problems**

OK, so what does the system architect have to do in order to configure a digital power system management solution for their end product? One of the primary objectives will be to design a system so that it can be easily configured and monitored via a digital communications bus. This will be achieved by utilizing one of the following; I<sup>2</sup>C, SMBus or PMBus. Either of these buses can enable on-demand telemetry capability to set, monitor, change and log power parameters of any PoL converter configuration within the system. A simplified snapshot of such a system is shown in Figure 1.

As can be seen in this example, the PoL converters illustrate 3 different topology configurations. At the top of the figure, a power system manager chip is used alongside a conventional DC/DC converter. The DC/DC converter can be of any topology and have any degree of integration since it is the power system manager that will allow it to be interfaced, controlled and monitored via the communication bus. The middle PoL converter demonstrates an increased level of integration, namely, that

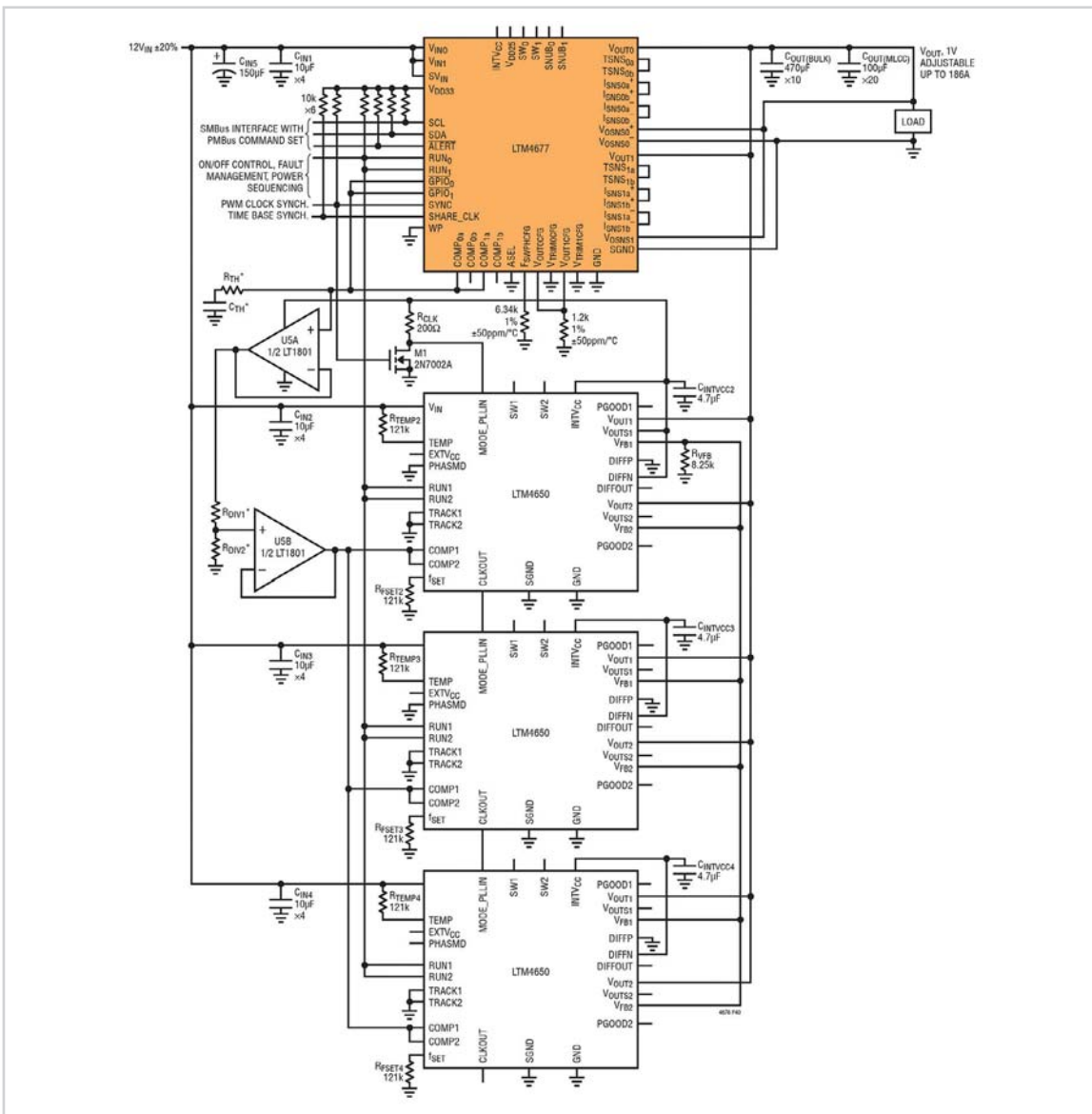
컨버터 구성의 전력 파라미터를 설정하고, 모니터링하고, 변경하고, 기록할 수 있다. 그림 1은 이러한 시스템의 개략도를 보여준다.

이 그림에서는 POL 컨버터로 3가지 토폴로지 구성을 보여준다. 맨 위의 것은 전원 시스템 매니저 칩과 보통 DC/DC 컨버터를 사용하고 있다. 이 DC/DC 컨버터는 어떠한 토폴로지나 될 수 있으며 어느 수준으로나 기능 통합을 할 수 있다. 통신 버스를 통해서 인터페이스하고, 제어하고, 모니터링할 수 있게 하는 것은 전원 시

the DC/DC converter has the power system management built-in (in the same package). And finally, the bottom PoL converter is a compact module which incorporates the power system manager, the DC/DC converter and all its associated external components into a single form factor (Linear calls these a  $\mu$ Module<sup>®</sup> regulator).

Linear's uModule DC/DC regulators can provide a simple and effective way to deliver both high power outputs and DPSM capability. Since many of the  $\mu$ Module

그림 2. 1개 LTM4677 DPSM 모듈과 3개 LTM4650 모듈을 사용해서 공칭 12V 입력으로 1V/186A 제공



스텝 매니저이다. 가운데의 POL 컨버터는 기능 통합을 높인 것이다. 다시 말해서 DC/DC 컨버터로 전원 시스템 관리를 통합한 것이다(동일 패키지). 끝으로 맨 아래 POL 컨버터는 전원 시스템 매니저, DC/DC 컨버터, 모든 부속 외부 소자를 단일 폼팩터로 통합한 콤팩트한 모듈이다(Linear는 이러한 제품을  $\mu$ Module<sup>®</sup> 레귤레이터라고 부른다).

Linear의  $\mu$ Module DC/DC 레귤레이터는 높은 전력 출력을 제공하면서 DPSM 기능까지 제공하는 간편하면서도 효과적인 솔루션을 제공한다. 또한 많은  $\mu$ Module 레귤레이터 제품이 손쉽게 병렬로 연결해서 더 높은 전류를 제공할 수 있으며 서로 공칭 1% 이내로 각 채널 전류 매칭을 함으로써 핫스팟이 발생될 위험성을 낮춘다. 또한 하나의  $\mu$ Module 레귤레이터에만 DPSM 기능이 있으면 되므로 병렬로 연결하는  $\mu$ Module이 DPSM 기능을 통합한 것이 아니더라도 전체 디지털 인터페이스를 제공할 수 있다. **그림 2**는 하나의 LTM4677(36A DPSM  $\mu$ Module)과 3개 LTM4650(50A  $\mu$ Module)을 병렬로 연결한 애플리케이션 예를 보여준다.

### DPSM 제품 용의 LTpowerPlay 범용 GUI

DPSM 제품을 사용해서 시스템을 설계할 때 가장 큰 장점은 적합한 GUI를 사용해서 시스템 내의 각 POL 컨버터와 편리하게 통신할 수 있다는 것이다. 그래서 Linear는 출발 단계에서부터 DPSM 제품 포트폴리오 내의 모든 다양한 제품에 걸쳐서 편리하게 사용할 수 있는 포괄적인 개발 플랫폼으로서 전용 GUI를 개발하기로 결정하였다. 이것이 바로 LTpowerPlay 윈도우즈 기반 개발 환경이다. 이 소프트웨어는 다중의 Linear PMBus 기반 디바이스를 편리하게 동시에 제어 및 모니터링할 수 있을 뿐만 아니라, 각 디바이스의 내부 EEPROM으로 시스템 파라미터를 전송하는 도중에 DC/DC 컨버터 구성을 실시간으로 변경할 수 있다. 그러므로 관련 소자들을 바꿔 끼워가면서 솔더 아이언을 사용해서 보드 배선을 다시 해야 하는 시간 소모의 전통 방식이 아니라 소프트웨어로 시스템 구성을 변경할 수 있으므로 디자인 개발 시간을 단축할 수 있다. 뿐만 아니다. 일단 최종 시스템을 데이터 센터 같은

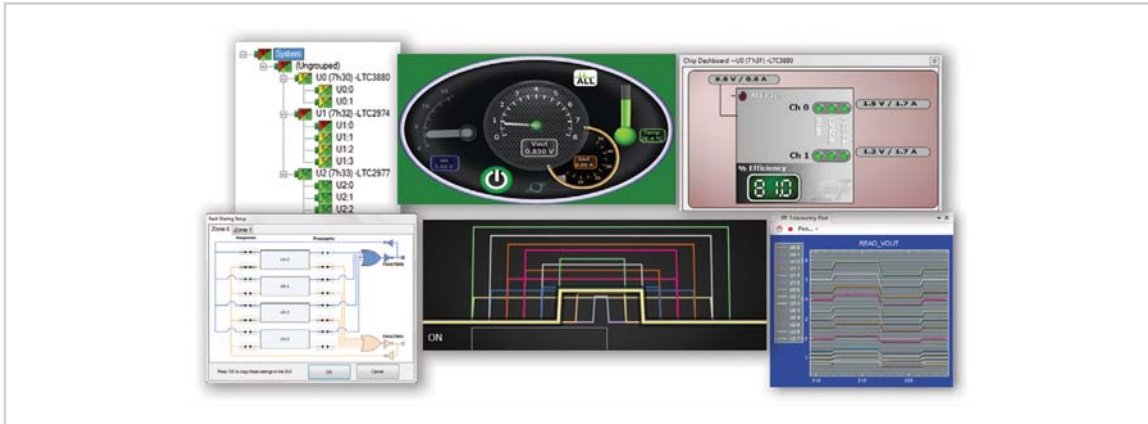
regulators can be easily paralleled for high current outputs with per channel current matching within a nominal 1% of each other, thereby mitigating the potentials for hot spots. Moreover, only one of the  $\mu$ Module regulators needs to contain DPSM capability, since it can supply the complete digital interface even if the  $\mu$ Modules in parallel does not have DPSM inherent within them. **Figure 2** shows an application schematic of one LTM4677 (36A DPSM  $\mu$ Module) in parallel with 3 LTM4650s (50A  $\mu$ Modules).

### LTpowerPlay Universal GUI for DPSM Products

A key advantage of a system architected with DPSM products is that with the right GUI it is easy to communicate with each individual PoL converter within in the system. So, from the onset, Linear decided to develop a GUI that was a complete development platform which could be easily used with all of the different types of products it offered in its DPSM product portfolio – the LTpowerPlay windows based development environment. Not only does this software make is easy to control and monitor multiple Linear PMBus-enabled devices simultaneously, it also allows modification of the DC/DC converters configurations in real time be downloading system parameters to the internal EEPROM of the individual devices. This reduces design development time by allowing system configurations to be adjusted in software rather than resorting to the time honored tradition of swapping out components and rewiring boards with a solder iron! But it doesn't stop there, once an end system has been deployed in the field, such as a data center, then the system can be adjusted real time by an overseer by simple updating operation parameters of the PoL converters via an applicable interface using this GUI. **Figure 3** shows a typical screen shot of Linear's LTpowerPlay dashboard that a user would see when interrogating their system.

All Linear PMBus products are supported by this software development system which can help designers

그림 3. LTpowerPlay GUI의 대쉬보드 화면



현장에 설치하였을 때도, 이 GUI를 사용해서 애플리케이션 인터페이스를 통해서 간단히 POL 컨버터의 동작 파라미터를 업데이트하는 것만으로 관리자가 시스템을 실시간으로 변경할 수 있는 것이다. 그림 3은 Linear의 LTpowerPlay의 대쉬보드 화면을 보여준다. 이 화면에서 사용자가 자신의 시스템과 대화할 수 있다.

### 맺음말

오늘날 데이터통신이나 원격통신 시스템으로 DPSM 기능을 갖추으로써 단 4개의  $\mu$ Module 레귤레이터를 사용해서 첨단 20nm 이하 ASIC과 FPGA의 1.xV 코어 전압으로 180와트 이상의 전력을 공급할 수 있으므로, 시스템 디자이너들을 위한 간편하고도 강력한 솔루션을 제공한다. 그림 2에서처럼 다중위상 구성으로 하나의 LTM4677과 3개 LTM4650을 결합함으로써 비싼 PCB 면적을 절약할 수 있을 뿐만 아니라 전반적인 동작 효율이 우수하므로 필요한 냉각을 줄일 수 있다. 또한 DPSM을 소프트웨어를 통해서 프로그램 할 수 있으므로 보통 이러한 작업을 할 때의 디버깅 시간을 대폭 줄일 수 있다. 그러므로 인프라 비용을 절감하고, 제품 수명 전반에 걸쳐서 총 유지비용을 절감할 수 있다. 그러므로 하드웨어 시스템을 디버깅하기 위해서 전통적인 솔더 아이언을 사용해서 배선을 하는 재미는 없어질지 모르나, 이 솔루션의 간편함과 시간 절약 특성은 결코 무시할 수 없을 것이다. **SN**

quickly debug systems both during initial development and then when they are installed at a user's site. It quickly and easily allows monitoring, control and adjustment of supply voltages, limits and sequencing. Furthermore, production margin testing is easily performed using a couple of standard PMBus commands.

### Conclusion

Having DPSM capability in today's datacom and telecom systems provides a system architect with a simple and powerful way to deliver over 180 Watts of power to the 1.xV core voltages of the newest sub-20nm ASICs and FPGAs with just 4  $\mu$ Module regulators. Utilizing a combination of the LTM4677 and 3 LTM4650s in a multiphase configuration as shown in Figure 2, not only saves expensive PCB real estate, but reduces the amount of required cooling due to its overall operating efficiency. Furthermore, the software programmability of DPSM significantly reduces the debug time normally associated with such endeavors. This reduces infrastructure costs, as well as the total cost of ownership over the life of the product. And while it might take the fun out of the traditional solder iron and rewiring approach to debugging hardware systems, its convenience and time saving attributes are too compelling to be ignored. **SN**