

# 다위상 전류 모드 컨트롤러를 사용한 첨단 20나노미터 FPGA 구동

## Multiphase Current Mode Controllers Power the Latest Generation 20 Nanometer FPGAs

LTC3877은 전류 모드 제어 아키텍처에 밀리움 이하 DCR 인덕터를 사용함으로써 고전류 애플리케이션으로 효율을 향상시킨다. 전류 모드 컨트롤러는 전압 모드 컨트롤러에 비해서 많은 이점들을 가지고 있다.

글/Bruce Haug, Senior Product Marketing Engineer, Linear Technology

현재 시장에 나와 있는 28나노미터 이하 FPGA (Field Programmable Gate Array)는 업계 최초로 최대 1,500GFLOPs 부동소수점 연산 속도에 이르는 하드 부동소수점 DSP(digital signal processing) 블록을 포함하고 있다. 28nm 이하 프로세스 기술을 사용한 이들 FPGA는 원거리 백플레인으로 최대 17.4Gbps를 지원하며 최대 28.3Gbps의 데이터 레이트를 제공하므로 높은 대역폭 성능을 제공한다.

이러한 첨단 FPGA는 코어를 구동하기 위해서 최대 105A를 필요로 하며, VID(Voltage Identification) 6비트 인터페이스를 사용해서 동작 전압을 10mV 간격으로 엄밀하게 제어해서 최상의 성능을 달성하도록 한다. 이처럼 고전류일 때는 전류 검출 소자의 저항을 되도록 낮게 해서 전원 전도 손실을 최소화해야 한다. 하지만 저항이 낮은 전류 검출 소자를 사용하면 경사 전압(ramp voltage)이 낮으므로 전류 모드 컨트롤러를 사용했을 때 전도성이 떨어져서 안정적인 동작을 하지 못할 수 있다. 경사 전압이 낮으면 전류 모드 제어 스위칭 전원은 지터가 심해지고 불안정해질 수 있다. 이러한 이유 때문에 성능 상의 결점과 신뢰성 문제가 있을 수 있음에도 불구하고 흔히 전압 모드 컨트롤러를 선호한다.

하지만 전류 모드 제어 스위칭 전원은 전압 모드 제어에 대해서 다음과 같은 여러 가지 이점들이 있다:

The sub-28 nanometer Field Programmable Gate Arrays (FPGAs) now available feature the industry's only hard floating-point digital signal processing (DSP) blocks with speeds up to 1,500 Gbps floating-point operations. Built on sub-28 nm process technology, these FPGAs provide up to 17.4 Gbps for long-reach backplane support and with data rates up to 28.3 Gbps to bring high-end bandwidth performance into midrange devices.

These new FPGAs require up to 105A to power their cores and use VID (Voltage Identification) 6-bit interface to tightly control its operating voltage in 10mV steps for optimum performance. For such high currents it is critical to minimize power supply conduction losses by making the resistance of the current sense element as low as possible. However, a low resistance current sensing element produces a lower ramp voltage which is not conducive for stable operation when using a current mode controller. Low ramp voltages causes a current mode controlled switching power supply to have significant jitter and it may become unstable. Accordingly, a voltage mode controller is routinely used instead, even though it has performance deficiencies and potential reliability concerns.

Nevertheless, a current mode controlled switching

1. 신속한 'cycle-by-cycle' 전류 검출로 출력 단락 회로 및 과부하 보호를 할 수 있으므로 더 높은 신뢰성을 달성한다.
2. 피드백 루프 보정이 간단하다.
3. 고전류 다위상 디자인으로 정확한 전류 공유를 할 수 있다.
4. 트랜센트 응답이 신속하다.

그런데 위상당 20A가 넘는 고전류 출력을 구현할 때 높은 효율을 달성하기 위해서 1밀리옴 이하 DCR 페라이트 인덕터를 필요로 한다. 그런데 이러한 인덕터는 전류 모드 컨트롤러가 모든 동작 조건으로 안정적으로 동작할 수 있도록 충분한 경사 전압을 발생시키지 못한다. 그러므로 전압 모드 솔루션을 선호해왔다. 지금까지는 그랬다.

Linear Technology가 최근에 출시한 전류 모드 듀얼 위상 DC/DC 스텝다운 컨트롤러 제품인 LTC3877은 극히 낮은 경사 전압을 검출할 수 있으며 뛰어난 안정성을 유지한다. 이 IC는 진정한 전류 모드 제어로 동작하며, 전류 검출 신호의 신호대 잡음비를 향상시키는 새로운 검출 방식을 적용함으로써 0.3mΩ에 이르는 극히 낮은 DC 저항(DCR) 전력 인덕터를 사용할 수 있게 되었다. 이러한 검출 기법을 사용함으로써 낮은 DCR 저항을 사용하는 애플리케이션에 통상적으로 따르는 스위칭 지터를 현저히 낮출 수 있으며, 또한 LTC3877은 검출 전압을 10mV부터 30mV까지로 조절할 수 있으므로 전류 한계를 좀더 정밀하게 조절함으로써 전력 손실을 최소화할 수 있다. 이러한 낮은 인덕터 DCR에 의해서 인덕터 전력 손실을 낮추고 낮은 경사 전압을 검출할 수 있으므로 최대 출력 전류가 위상당 최대 30A에 이를 수 있다. 그러므로 4위상 디자인으로 120A 부하를 지원할 수 있다.

LTC3877은 6비트 VID 제어를 포함함으로써 출력 전압을 10mV 간격으로 설정할 수 있다. 이 기능은 입력 전압 허용오차가 극히 엄밀한 FPGA 및 ASIC을 구동할 때 필요한 기능이다. 최대 12개 위상을 병렬로 연결하고 이위상(out-of-phase)으로 클로킹할 수 있으므로 입력 및 출력 필터링을 최소화한다. Linear Technology

power supply has several advantages over a voltage mode alternative. These are as follows:

1. Higher reliability with fast, cycle-by-cycle current sensing for output short circuit and overload protection.
2. Simpler feedback loop compensation
3. Accurate current sharing in high current multiphase designs.
4. Faster Transient Response

However, for high current outputs, typically greater than 20A per phase, sub-milliohm DCR ferrite inductors are required for high efficiency. However, these inductors will not produce enough of a voltage ramp signal for a current mode controller to be stable under all operating conditions. And so, a voltage mode solution becomes more attractive. That is, until now.

The recently released current mode dual phase DC/DC step-down controller, LTC3877, has the ability to sense very low ramp voltages and maintain excellent stability. It operates with true current mode control and can be used with very low DC resistance (DCR) power inductors down to 0.3mΩ, due to its novel sensing scheme that enhances the signal-to-noise ratio of the current sense signal. This sensing scheme dramatically reduces the switching jitter normally associated with low DCR resistance applications and the LTC3877's adjustable current limit can be configured for very low sense voltages from 10mV to 30mV to minimize power loss. This lower inductor DCR allows the maximum output current to be as high as 30A per phase due to the reduced inductor power loss and the ability to sense a lower ramp voltage. As a result, a 4-phase design is able to support a 120A load.

The LTC3877 also incorporates 6-bit VID control that enables 10mV step resolution of the output voltage, a necessary feature when powering FPGAs and ASICs with very tight input voltage tolerances. Up to 12-Phases can be

의 낮은 DCR 피크 전류 모드 컨트롤러와 함께 이용할 수 있는 제품으로 LTC3874 위상 확장기를 함께 사용함으로써 많은 수의 위상이 가능하다. LTC3874 위상 확장기는 안정 상태와 동적 부하 모두로 정확한 위상-대-위상 전류 공유를 비롯해서 다위상 슬레이브 디자인에 필요한 모든 기능들을 제공한다. 출력들을 병렬로 연결했을 때 LTC3877은 위상들 간에 전류 불일치를  $\pm 2.5\%$  이내로 유지하므로 최대 300A에 이르는 고전류를 필요로 하는 애플리케이션에 사용하기에 적합하다.

LTC3877은  $-40^{\circ}\text{C}\sim 125^{\circ}\text{C}$ 의 동작 온도 범위에 걸쳐서  $\pm 1\%$  출력 전압 정확도를 유지한다(내부 저항 및 차동 원격 검출 증폭기 오차 포함). 듀얼 온보드 차동 증폭기를 포함함으로써 양쪽 출력에 대해서 원격 출력 전압 검출이 가능하다. 또한 40ns 최소 온-시간은 높은 동작 주파수로 높은 스텝다운 비율을 가능하게 한다. 또한 LTC3877은 고정 동작 주파수를 250kHz~1MHz로 선택할 수 있으며, 외부 클록으로 동기화할 수도 있다. 강력한 온보드 완전 N-채널 게이트 드라이버는 MOSFET 스위칭 손실을 최소화하고, DCR 온도 보정은 넓은 온도 범위에 걸쳐서 일정한 전류 한계 임계값을 유지한다. 그 밖의 특징으로서 조절가능 소프트 스타트 또는 전압 트래킹, 폴드백 전류 한계, 단락 회로 소프트웨어 복구, 출력 과전압 보호, 2개 power good 출력 전압 신호를 포함한다. LTC3877은 44리드 7mm x 7mm QFN 패키지로 제공된다.

그러므로 LTC3877 및 LTC3874 콤비네이션을 사용함으로써 6비트 VID 인터페이스를 사용해서 코어 레일로 전력을 공급하고 FPGA의 정적 및 동적 전력 소모를 낮출 수 있다.

### VID를 사용한 120A 전류 솔루션

그림 1의 회로도에서는 LTC3877에 LTC3874 듀얼 채널 위상 확장기를 함께 사용하고 있다. 그러므로 결과적인 4위상 디자인으로 0.6V~1.23V의 VID 제어 출력 전압으로 최대 120A를 공급할 수 있다. 각각의 위상을 이위상으로 클로킹함으로써 출력 리플을 낮추고 부하

paralleled and clocked out-of-phase to minimize input and output filtering. The LTC3874 phase extender can also be used for high phase count applications which complements Linear Technology's low DCR peak current mode controllers and provides all the necessary functions for multiphase slave designs, including accurate phase-to-phase current sharing for steady state and dynamic loads. When outputs are paralleled, the LTC3877 maintains better than  $\pm 2.5\%$  current mismatch between phases, making it ideal for very high current requirements up to 300A.

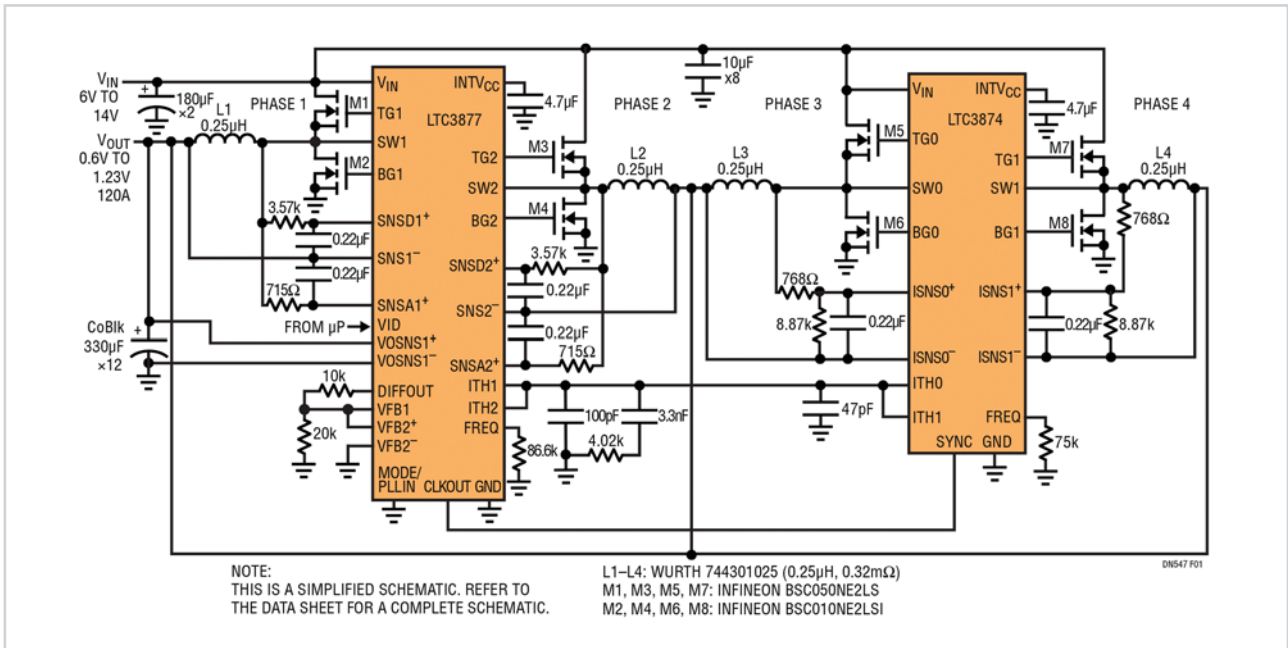
The LTC3877 maintains  $\pm 1\%$  output voltage accuracy (including internal resistor divider and differential remote sense amplifier errors) over a  $-40^{\circ}\text{C}$  to  $125^{\circ}\text{C}$  operating temperature range. Dual onboard differential amplifiers enable remote output voltage sensing for both outputs. High step-down ratios at high operating frequencies are possible due to its 40ns minimum on-time. The LTC3877 has a selectable fixed operating frequency from 250kHz to 1MHz or it can be synchronized to an external clock. Its powerful onboard all N-channel gate drivers minimize MOSFET switching losses while its DCR temperature compensation maintains a constant current limit threshold over a broad temperature range. Additional features include adjustable soft-start or tracking, foldback current limit, short-circuit soft recovery, output overvoltage protection and two power good output voltage signals. The LTC3877 is housed in a 44-lead 7mm x 7mm QFN package.

As a result, the LTC3877 and LTC3874 combination can be used to provide power for the Core rail by taking advantage of the 6-bit VID interfaces to reduce the FPGA's static and dynamic power consumption.

### 120A Current Solution with VID

The simplified schematic in **Figure 1** shows the LTC3877 being used in conjunction with the LTC3874 dual channel phase extender. The resultant 4 phase design is able to produce up to 120A with the VID controlled output

Figure 1. The LTC3877/LTC3874 Schematic for low Voltage 120A Output



스텝 트랜션트 응답이 신속하다.

그림 2에서 보듯이 1.2V 출력으로 120A를 제공할 때 풀 부하 효율이 88.8%이며, 피크 효율은 60A일 때 92%이다. 이렇게 높은 효율을 달성할 수 있는 것은 강력한 온보드 게이트 드라이버, 2개 컨트롤러 IC의 짧은 데드 타임, MOSFET 선택, 낮은 DCR 페라이트 인덕터에 의한 것이다.

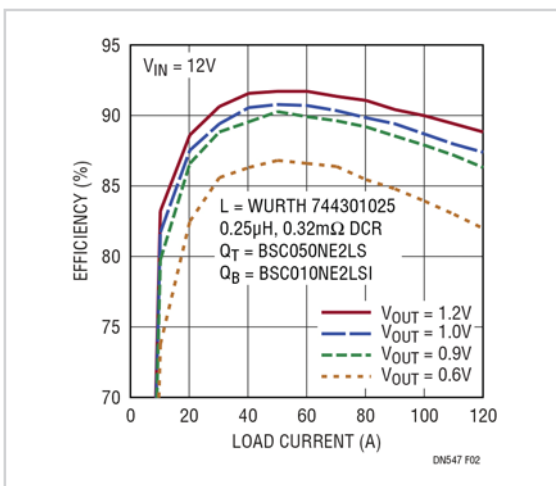
이 디자인에 사용된 인덕터는 와이어 저항이 0.32m

voltage ranging from 0.6V to 1.23V. Each phase is clocked out-of-phase resulting in lower output ripple and faster load step transient response.

The full load efficiency for a 1.2V output at 120 amps is 88.8% and peaks to 92% at 60A as shown in Figure 2. This high efficiency is a result of the strong onboard gate drivers, short dead times of the two controller ICs, MOSFET selection and low DCR ferrite inductors.

The inductors used in this design have a wire resistance of 0.32 mΩ, resulting in the four inductors having a combined DCR power loss of  $(120A/4)^2 \times 0.00032 \times 4 = 1.2$  watts, using the equation  $P_{LOSS} (DCR) = I^2 \times DCR \times \#$  of phases. A normal current mode controller, without the sub-milliohm DCR sensing feature would need an inductor resistance of at least 1mΩ, which results in a higher power loss of  $(120A/4)^2 \times 0.0010 \times 4 = 3.6$  watts. This lower resistance inductor design reduces the power loss by 2.4 watts and increases the full load efficiency by 1.3% when using it with a 1.2V output.

Figure 2. Efficiency of 4-Phase 120A VID Converter



Ω으로서, 4개 인덕티이므로 결합적인 DCR 전력 손실이  $(120A/4)^2 \times 0.00032 \times 4 = 1.2$ 와트이다(공식  $P_{loss}(DCR) = I^2 \times DCR \times$  위상 수에 따라서). 밀리옴 이하 DCR 검출 기능이 없는 보통의 전류 모드 컨트롤러는 최소한 1mΩ의 인덕터 저항이 필요할 것이다. 그러면 전력 손실이  $(120A/4)^2 \times 0.0010 \times 4 = 3.6$ 와트로 높아진다. 그러므로 낮은 저항 인덕터를 사용한 디자인은 전력 손실을 2.4와트 줄일 수 있으며 1.2V 출력일 때 풀 부하 효율을 1.3% 향상시킨다.

LTC3877은 2개 전류 검출 핀(SNSD+와 SNSA+)을 사용해서 인덕터 경사 전압 신호를 포착 및 처리하고 저전압 검출 신호로 14dB만큼 신호대 잡음비를 향상시킨다. 전류 한계 임계값은 인덕터 피크 전류와 DCR 값의 합수로서 10mV부터 30mV까지 5mV 간격으로 정확하게 설정할 수 있다. 소자-대-소자 전류 한계 오차가 전체적인 온도 범위에 걸쳐서 1mV에 불과하므로 뛰어난 정확도를 달성한다. 또한 LTC3877은 원격 검출을 필요로 하는 애플리케이션을 위해서 2개의 차동 증폭기를 포함한다. 부하를 차동적으로 검출함으로써 고전류 저전압 애플리케이션의 레귤레이션에 매우 유용하다. 이러한 애플리케이션에서는 보드 인터커넥션 손실이 총 오차 범위 내에서 상당한 비중을 차지할 수 있다. LTC3877은 정주파수 피크 전류 모드 제어 아키텍처를 사용해서 ‘cycle-by-cycle’ 피크 전류 한계와 전원 위상 간의 뛰어난 전류 공유가 가능하다. 또한 고유의 아키텍처를 사용해서 전류 검출 회로의 신호대 잡음비를 향상시킴으로써 특히 저전압 고전류 전원에 사용하기에 적합하다. 향상된 신호대 잡음비는 스위칭 잡음으로 인한 지터를 최소화한다. 이러한 지터는 신호를 손상시킬 수 있다.

LTC3877과 LTC3874 모두 밀리옴 이하 DCR 검출에 사용하기 위한 고유의 DCR 전류 검출 아키텍처를 사용함으로써 전류 공유와 전류 한계를 엄밀하게 제어

and processes it to provide a 14dB signal-to-noise ratio improvement to the low voltage sense signals. The current limit threshold is a function of the inductor peak current and its DCR value and can be accurately set from 10mV to 30mV in a 5mV steps. The part-to-part current limit error is only 1mV over the full temperature range assuring excellent accuracy.

In addition, the LTC3877 includes two differential amplifiers for applications that require remote sensing. Differentially sensing the load greatly benefits regulation in high current, low voltage applications, where board interconnection losses can be a significant portion of the total error budget. The LTC3877 uses a constant frequency peak current mode control architecture, it guarantees cycle-by-cycle peak current limit and excellent current sharing between power supplies phases. It is especially well suited to low voltage, high current supplies because of a unique architecture that enhances the signal-to-noise ratio of the current sense circuit. The improved signal to noise ratio minimizes jitter due to switching noise, which could potentially corrupt the signal.

Both the LTC3877 and LTC3874 use a proprietary DCR current sensing architecture designed for sub-milliohm DCR sensing which allows for tight control of the current sharing and current limit. **Figure 3** shows the current sharing performance of the 4-phase converter in Figure 1. The current sharing error is less than a 1mV between phases when sensing the voltage drop across the output inductors.

### Conclusion

The LTC3877 allows the use of sub-milliohm DCR inductors in conjunction with its current mode control architecture for increased efficiency in high current applications. A current mode controller provides several benefits over a voltage mode controller of higher reliability with fast cycle-by-cycle current sensing, accurate current sharing between phases, simple feedback loop

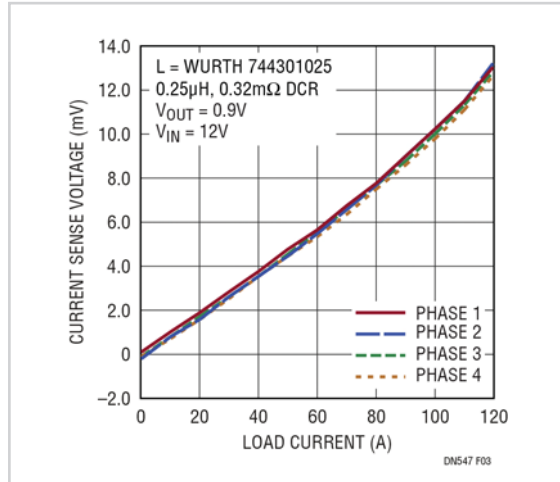
LTC3877은 정주파수 피크 전류 모드 제어 아키텍처를 사용해서 ‘cycle-by-cycle’ 피크 전류 한계와 전원 위상 간의 뛰어난 전류 공유가 가능하다.

할 수 있다. 그림 3은 그림 1의 4위상 컨버터의 전류 공유 성능을 보여준다. 출력 인덕터 상의 전압 강하를 검출할 때 위상들 간에 전류 공유 오차가 1mV 미만이라는 것을 알 수 있다.

**맺음말**

LTC3877은 전류 모드 제어 아키텍처에 밀리엄 이하 DCR 인덕터를 사용함으로써 고전류 애플리케이션으로 효율을 향상시킨다. 전류 모드 컨트롤러는 전압 모드 컨트롤러에 비해서 많은 이점들을 가지고 있다. 그러한 이점들로는, 신속한 ‘cycle-by-cycle’ 전류 검출로 신뢰성이 뛰어나고, 위상들 간에 전류 공유가 정확하고, 피드백 루프 보정이 간단하고, 트랜센트 응답이 빠르다는 점 등을 포함한다. LTC3877은 특히 첨단 FPGA에 사용되는 것과 같은 고전류 POL (point-of-load) VID 애플리케이션에 사용하기에 적합하며 손쉽게 위상당 최대 30A(총 60A)를 제공할 수 있다. 더 높은 전력을 위해서는 LTC3874 위상 확장기를 추가함으로써 위상당 30A를 추가할 수 있으므로 총 120A가 가능하다. 또한 효율을 향상시킴으로써 전력 손실을 낮추므로 열 설계를 최소화할 수 있다. **SN**

Figure 3. Current Sharing of the 4 Phases with the LTC3877 & LTC3874



compensation and faster transient response. The LTC3877 is ideal for high current point-of-load VID applications, typically found in the latest generation of FPGAs, and can easily support up to 30A/phase (total 60A). For higher power applications, adding the LTC3874 phase extender allows for an additional 30A/phase, for a total of 120A. Furthermore, the added efficiency gain minimizes the thermal design due to the reduced power loss of this converter combination. **SN**

**WebcastLink.com**

- ▶ 웹캐스트 채널
- ▶ 웹캐스트 세미나
- ▶ 웹캐스트 이벤트
- ▶ PDF 이벤트
- ▶ 마이크로사이트

웹캐스트링크 **리뉴얼** 오픈

[www.webcastlink.com](http://www.webcastlink.com)