

# RGBW LED로 매트릭스 LED 디머를 사용한 정확한 색 제어 및 패턴 생성

## Matrix LED Dimmer Enables Accurate Color Control and Pattern Production in RGBW LEDs

LT3965 매트릭스 LED 디머와 LT3952 부스트-벅 컨버터를 결합해서 색 정확성이 뛰어난 RGBW LED 색 혼합 시스템을 구현할 수 있다. 이들 디바이스를 사용해서 6V~20V 입력으로 350kHz 스위칭 주파수를 사용해서 2개 RGBW LED를 500mA로 구동할 수 있다.

글/Keith Szolusha, Applications Engineering Section Leader, Power Products, Linear Technology

프로젝터, 건축 조명, 디스플레이, 무대 조명, 자동차 조명 같이 높은 효율과 밝기를 필요로 하는 시스템에 RGB LED가 널리 사용되고 있다. RGB LED를 사용해서 색을 정확하게 표현하려면 구성 LED(적색, 녹색, 청색) 각각을 개별적으로 정확하게 디밍 제어를 해야 한다. 하이엔드 시스템은 광 피드백 루프를 사용해서 마이크로컨트롤러로 하여금 LED를 조절하도록 해서 정확한 색을 생성할 수 있다. RGB LED에 백색 LED를 추가해서 RGBW LED를 만들면 색 시스템으로 가능한 색조, 채도, 명도를 확대할 수 있다. 하나의 RGBW LED는 4개 구성 LED를 정확하게 디밍 할 수 있어야 한다. 그러므로 2개 RGBW LED이면 8개 '채널'을 필요로 한다.

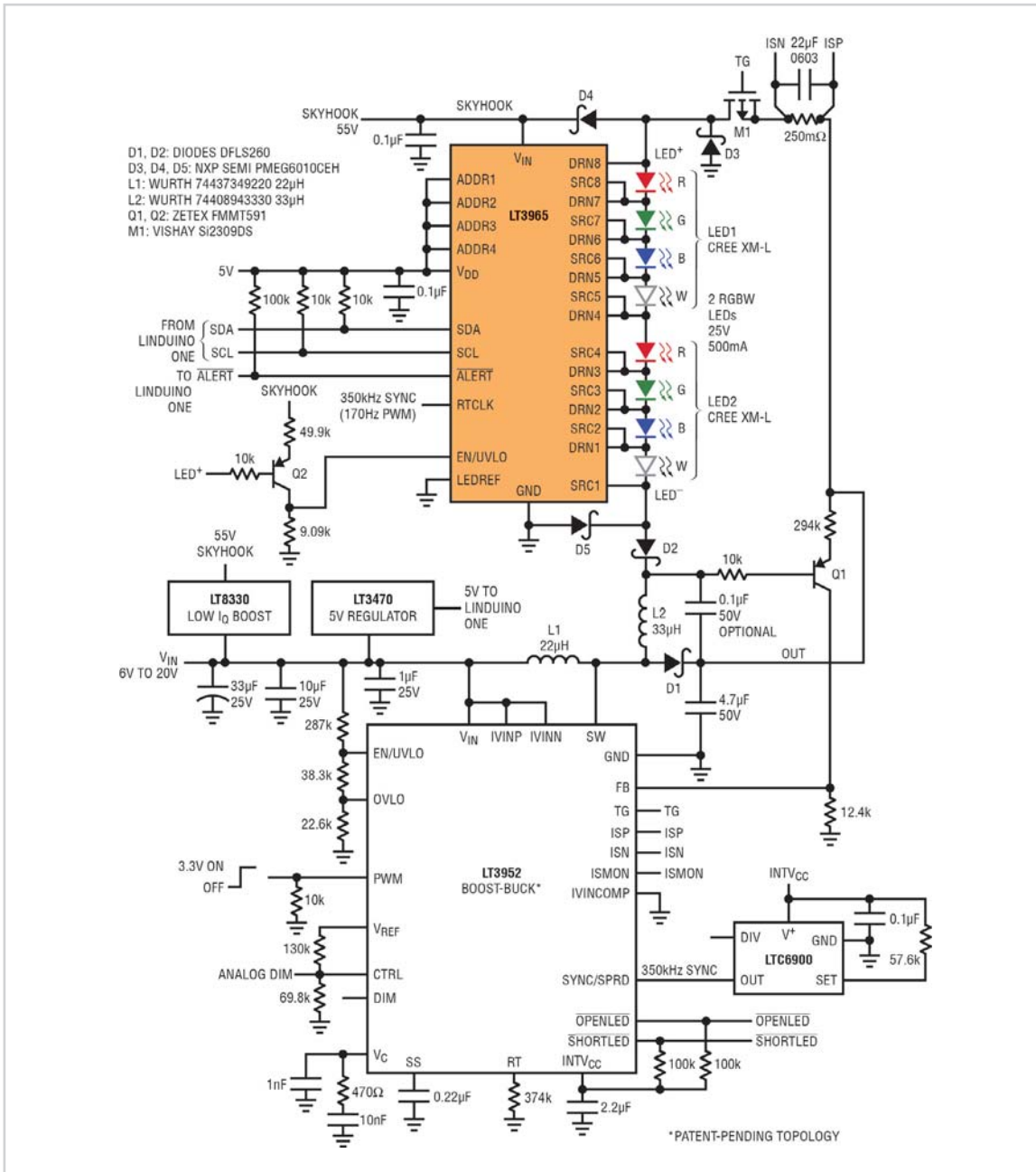
RGBW LED를 구동하고 디밍 하는 한 가지 방법은 각 색상(R, G, B, W)에 하나씩 4개 LED 드라이버를 사용하는 것이다. 각 개별 LED 또는 스트링의 LED 전류 또는 PWM 디밍을 각 별도의 드라이버와 제어 신호를 사용해서 구동하는 것이다. 그러므로 이러한 솔루션은 RGBW LED 수가 늘어나는 것에 따라서 LED 드라이버의 수가 급격하게 증가한다. 그러므로 RGBW LED의 수가 다수인 조명 시스템이라면 상당한 수의 드라이버를 필요로 하고 이들 모든 드라이버의 제어 신호를 동기화해야 할 것이다.

RGB LEDs are used in projector, architectural, display, stage and automotive lighting systems that require efficient, bright output. To produce predictable colors from an RGB LED, each of its component LEDs (red, green and blue) requires individual, accurate dimming control. High end systems can use an optical feedback loop to allow a microcontroller to adjust the LEDs for color accuracy. Adding a white LED to an RGB LED to produce an RGBW LED extends the hue, saturation and brightness values available in the color system. Each RGBW LED requires accurate dimming of four component LEDs. Two RGBW LEDs require eight "channels."

One way to drive and dim RGBW LEDs is to use four separate LED drivers, one for each color (R, G, B and W). In such a system, the LED current, or PWM dimming, of each individual LED or string is driven by separate drivers and control signals. In this solution, though, the number of LED drivers increases quickly with the number of RGBW LEDs. Any lighting system with a significant number of RGBW LEDs requires a substantial number of drivers and synchronization of the control signals to those drivers.

A much simpler (and more elegant) approach is to drive all of the LEDs with a single driver/converter at a fixed

그림 1. LT3952 부스트-벅 LED 드라이버와 LT3965 매트릭스 LED 디머를 사용해서 2개 500mA RGBW LED의 구성 LED들을 개별적으로 제어하고 패턴을 생성할 수 있다.



이보다 훨씬 더 간결한 방법은, 모든 LED를 단일 드라이버/컨버터를 사용해서 정전류로 구동하고 전력 MOSFET 매트릭스를 사용해서 개별 LED들을 PWM 디밍을 해서 밝기 제어를 하는 것이다. 또한 단일 통신 버스를 사용해서 매트릭스 LED의 디밍을 제어할 수 있

current, while using a matrix of shunting power MOSFETs to PWM dim the individual LEDs for brightness control. Furthermore, a single communications bus to control the dimming matrix LED makes RGBW color-mixing LED systems relatively easy to produce.

다면 RGBW 색 혼합 LED 시스템을 훨씬 더 손쉽게 구현할 수 있다.

LT3965 매트릭스 LED 디머를 사용함으로써 바로 그러한 디자인을 구현할 수 있다(그림 1). 하나의 LT3965 8스위치 매트릭스 디머로 2개의 RGBW LED를 연결하고 개별 LED의 밝기를 0부터 100% 밝기까지 1/256의 PWM 스텝으로 제어할 수 있다. 2와이어 I<sup>2</sup>C 직렬 통신 명령을 사용해서 색과 밝기 둘 다 제어할 수 있다. LT3965로 주어지는 I<sup>2</sup>C 직렬 데이터가 모든 8개 LED의 밝기 상태를 결정하며 결함 시의 개방 및 단락 LED를 검출할 수 있다.

### LT3952 부스트-벅을 사용한 매트릭스 LED 색 혼합 디자인

표준 전압 12V ±10%, 9V~16V(자동차), 6V~8.4V(리튬이온) 같은 다양한 입력을 사용해서 8개 LED로 이루어진 스트링을 구동하려면 매트릭스 디머와 함께 적합한 LED 드라이버를 필요로 한다. 그러한 솔루션이 바로 LT3952 부스트-벅 LED 드라이버이다. LT3952는 입력-대-LED 전압을 스텝업 한 다음에 스텝다운 할 수 있으며 리플이 낮은 입력 및 출력 전류를 제공한다. 또한 부동 출력 토폴로지로 출력 커패시터를 거의 또는 전혀 사용하지 않고서, 개별 LED들을 온 및 오프로 PWM 디밍을 할 때의 LED 전압 변화에 빠르게 응답한다(그림 2).

그림 1에서는 LT3952 500mA 부스트-벅 LED 드

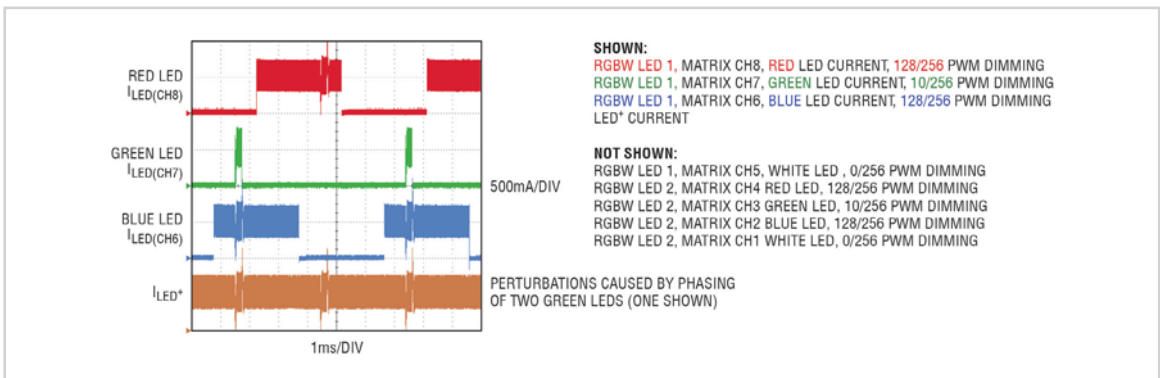
The LT3965 matrix LED dimmer enables such a design, as shown in **Figure 1**. Each LT3965 8-switch matrix dimmer can pair with exactly two RGBW LEDs, allowing control of the individual brightness of each LED (red, green, blue and white) in PWM steps of 1/256 between zero and 100% brightness. Two-wire I<sup>2</sup>C serial commands provide both color and brightness control. I<sup>2</sup>C serial data to the LT3965 determines the brightness state of all eight LEDs and can check for open and short LEDs in case of a fault.

### MATRIX LED COLOR MIXER WITH LT3952 BOOST-BUCK

The matrix dimmer requires a suitable LED driver to power the string of eight LEDs from a variety of inputs: standard 12V ±10%, 9V~16V (auto) or 6V~8.4V (Li-ion). One such solution is the LT3952 boost-buck1 LED driver, which steps up and steps down input-to-LED voltage, while providing low ripple input and output current. With little or no output capacitor in its floating output topology, it can react quickly to changes in LED voltage as the individual LEDs are PWM-dimmed on and off (**Figure 2**).

The LT3952 500mA boost-buck LED driver shown in Figure 1 pairs with the LT3965 8-switch matrix LED dimmer and two RGBW 500mA LEDs. This new topology gracefully operates over the entire range of zero-to-eight LEDs in series, with a voltage of 0V to 25V. The instantaneous series LED

그림 2. LT3965 매트릭스 디머가 RGBW 500mA LED 전류를 PWM 디밍과 페이싱(phasing)을 해서 색과 패턴을 생성한다. LT3952 부스트-벅 컨버터/LED 드라이버는 개별 LED들을 PWM 디밍할 때의 LED 전압 변화에 재빨리 응답한다.



라이버와 LT3965 8스위치 매트릭스 LED 디머를 사용해서 2개 RGBW 500mA LED를 연결하고 있다. 새로운 토폴로지는 직렬로 0~8개 LED에 이르는 전체적인 범위에 걸쳐서 0V~25V 전압으로 매끄럽게 동작할 수 있다. 특정 시점에 매트릭스 디머가 얼마나 많은 LED를 작동하느냐에 따라서 순간적인 직렬 LED 전압 변화가 결정된다. 이 컨버터/토폴로지의 60V OUT 전압( $V_{IN}$ 과  $V_{LED}$ 를 합친 것)과 컨버터 듀티 사이클은 6V~20V의 입력 범위와 500mA로 0V~25V의 출력 범위(LED 직렬 전압)를 지원한다.

이 부스트-백 부동 출력 토폴로지는 LT3965 매트릭스 디머와 잘 맞는다. 이 매트릭스 디머는 전력 MOSFET을 LED와 병렬 연결하여 컨트롤 함으로써 LED 밝기를 제어한다. LED들을 접지로 연결할 필요가 없다. LT3965의  $V_{IN}$  핀이 SKYHOOK 전압으로 연결되어 있는 한(SKYHOOK 전압은 LED+보다 최소한 7.1V 높음) 모든 전력 MOSFET이 적절히 동작한다. SKYHOOK 전압은 스위칭 컨버터로부터 차지 펌프를 사용해서 제공하거나 또는 레귤레이트 된 소스를 사용해서 제공할 수 있다. SKYHOOK 전압을 제공하기 위해서는 3mm x 2mm DFN의 소형 크기의 LT8330 부스트 컨버터를 사용할 수도 있다.

선택적인 외부 클로킹 디바이스를 사용해서 이 시스템을 350kHz로 동기화할 수 있다. 350kHz는 자동차 환경에 적합하고, 상대적으로 효율적이며, 작은 크기의 소자를 사용할 수 있다. 이 시스템은 2MHz(AM 대역 위)로도 잘 작동할 수 있으나, 350kHz(AM 대역 아래)를 사용하면 매트릭스 디머에 의해서 모든 LED가 단락되고 LED 스트링 전압이  $330\text{m}\Omega \cdot 500\text{mA} \cdot 8 = 1.3\text{V}$ 로 떨어질 때 이 부스트-백 컨버터가 펄스 스킵핑을 사용하지 않고서 레귤레이트 할 수 있다. 또한 이 주파수를 사용하면 가시적인 LED 깜빡임을 일으키지 않으면서 높은 디밍 비율이 가능하다.

각 RGBW LED는 싱글 포인트 소스(single point source)로 설계됨으로써, 적색, 녹색, 청색, 백색을 혼합하고 채도, 색조, 명도 제어를 해서 다양한 색을 생성한다. 각 LED를 0(1/256)부터 100%(256/256)까지 1/256 스텝으로 조절할 수 있다.

voltage changes, determined by which, and how many LEDs are enabled by the matrix dimmer at any given moment. The 60V OUT voltage of this converter/topology (a sum of  $V_{IN}$  and  $V_{LED}$ ), and the converter duty cycle, are rated for the full input range of 6V to 20V and output range (LED series voltage) of 0V to 25V at 500mA.

This boost-buck floating output topology works well with the LT3965 matrix dimmer. The matrix dimmer controls LED brightness by shunting the LEDs with parallel power MOSFETs. The LEDs do not need to be connected to ground. As long as the  $V_{IN}$  pin of the LT3965 is connected to SKYHOOK, which is at least 7.1V above LED+, all of the shunt MOSFETs work properly. SKYHOOK can be created with a charge pump from the switching converter or it can be supplied with a regulated source. The tiny LT8330 boost converter in a 3mm × 2mm DFN is a good choice to generate SKYHOOK.

An optional external clocking device is used to synchronize the system at 350kHz, which is suitable for automotive environments, relatively efficient and allows the use of compact components. Although this system could just as well run at 2MHz (above the AM band), 350kHz (below the AM band) enables this boost-buck converter to regulate without pulse-skipping when all LEDs are shorted by the matrix dimmer and the LED string voltage drops to  $330\text{m}\Omega \cdot 500\text{mA} \cdot 8 = 1.3\text{V}$ . This frequency also supports high dimming ratios without visible LED flicker.

Since each RGBW LED is designed as a single point source, the red, green, blue, and white light combine to produce color variety, with saturation, hue, and brightness control. Each LED can be set in 1/256 steps between zero (0/256) and 100% (256/256).

## ACCURATE 0~256 RGBW COLOR AND BRIGHTNESS CONTROL

RGBW LEDs can produce accurate color and brightness with PWM dimming of the individual component red,

**정확한 0~256 스텝 RGBW 색 및 밝기 제어**

RGBW LED는 개별적인 적색, 녹색, 청색, 백색 LED를 PWM 디밍을 함으로써 정확한 색과 밝기를 만들어낼 수 있다. 개별 PWM 밝기 제어는 256:1 또는 그 이상의 디밍 비율이 가능하다. PWM 디밍의 대안으로는 단순히 각 LED의 구동 전류를 낮추는 방법을 쓸 수 있다. 하지만 이 방법은 10:1 디밍 비율만 가능하므로 정확성이 떨어지고 LED 자체로 색 편차를 일으킬 수 있다. PWM 디밍을 사용한 매트릭스 디밍 기법이 색 및 밝기 정확도에 있어서 구동 전류 방법보다 훨씬 더 뛰어나다.

LED 드라이버의 대역폭과 변화 응답이 색 정확도에 영향을 미친다. 10kHz 크로스오버 주파수에다 출력 커패시터를 거의 또는 전혀 사용하지 않고서 이 컴팩트한 부스트-백 컨버터는 매트릭스 디머가 스위치를 턴온하고 턴오프 할 때 구동 LED 수가 변동되는 것에 따라서 재빨리 응답한다.

이 점이 정확도에 있어서 얼마나 중요한지 살펴보기 위해서 적색, 녹색, 청색 LED를 따로따로 실행하고 RGB 광 센서를 사용해서 광 출력을 측정하였다. 그림 3의 결과는 4/256부터 256/256까지는 각 색의 기울기가 거의 일치하고 그 아래에서는 다소 차이가 있다는 것을 알 수 있다. 물론 적색, 녹색, 청색 LED는 색상이 완벽하지 않아서 한 색만 구동하는데도 다른 대역으로부터의 색이 흘러 들어 온다는 것을 알 수 있다. 하지만 전반적으로는 아주 정확한 시스템이라고 할 수 있다.

LT3952 LED 드라이버의 초고대역폭(>40kHz) 백 컨버터 제품을 사용하면 1/256까지 정확도를 향상시킬 수 있다. 하지만 그러려면 30V 이상의 레귤레이트 출력 전압을 제공하기 위해서 또 다른 스텝업 컨버터를 추가하거나 아니면 30V 이상의 입력 전압 소스를 사용해야 한다. 그러므로 경부하로 높은 수준의 정확도가 필요하

green, blue and white LEDs. Individual PWM brightness control can support 256-to-1 or higher dimming ratios. An alternative to PWM dimming is to simply reduce the drive current for each LED, but accuracy suffers in this method, allowing only 10-to-1 dimming ratios, and incurring color drift in the LEDs themselves. A matrix dimming approach using PWM dimming outperforms drive-current schemes in accuracy of color and brightness.

The bandwidth and transient response of the LED driver affects the color accuracy. With over 10kHz crossover frequency and little or no output capacitor, the compact boost-buck converter reacts quickly to changes in the number of driven LEDs as the matrix dimmer turns its switches on and off.

To illustrate how important this is to accuracy, red, green and blue LEDs are run separately at different PWM duty cycles and measured for light output with an RGB optical sensor. The results in Figure 3 show uniform slopes of each color from 4/256 to 256/256, with a slight change in slope below that. Of course, red, green and blue LEDs are not perfect in their color, so some color from other bands sneaks out even when only one is driven. Overall, this is a highly accurate system.

Accuracy can be improved down to 1/256 using a very high bandwidth (>40kHz) buck converter version of the LT3952 LED driver, but that involves either the expense of adding another step-up converter to create a regulated, greater than 30V output voltage, or having an input voltage source above 30V. Unless a high level of accuracy at low light is necessary, there is little reason to forgo the boost-buck's versatility, simplicity and compact size by adding an extra converter.

The 256-level dimming scheme of the LT3965 easily translates to typical RGB paint programs and common color-mixing algorithms. For instance, if you open a standard PC paint program, you will see that colors are mixed using a 256-value RGB system. The LED current waveforms in Figure 2 produce purple light from an RGBW matrix LED system controlled by a basic PC-based

LT3952 LED 드라이버의 초고대역폭(>40kHz) 백 컨버터 제품을 사용하면 1/256까지 정확도를 향상시킬 수 있다.

지 않다면 굳이 또 다른 컨버터를 추가하면서 부스트-벅의 범용성, 단순성, 컴팩트한 크기를 포기할 이유가 없다.

또한 LT3965의 256레벨 디밍은 통상적인 RGB 페인트 프로그램이나 주요 컬러 믹싱 알고리즘들과 잘 맞는다. 예를 들어서 널리 사용되는 PC 페인트 프로그램을 열어보면 256값 RGB 시스템을 사용해서 색을 혼합하는 것을 볼 수 있다. 그림 2의 LED 전류 파형은 기본적인 형태의 PC 기반 페인트 프로그램을 사용해서 RGBW 매트릭스 LED 시스템으로부터 보라색 빛을 발생시키는 것이다. 이 글에서 설명하는 디자인은 정확한 전류 구동 및 PWM 제어가

가능하므로 구성 LED의 듀티 사이클을 조절하는 것으로 RGBW LED를 예측 가능하게 색상 보정을 할 수 있다. 그러므로 근원적인 LED 밝기의 변동성을 손쉽게 조정할 수 있다.

**맺음말**


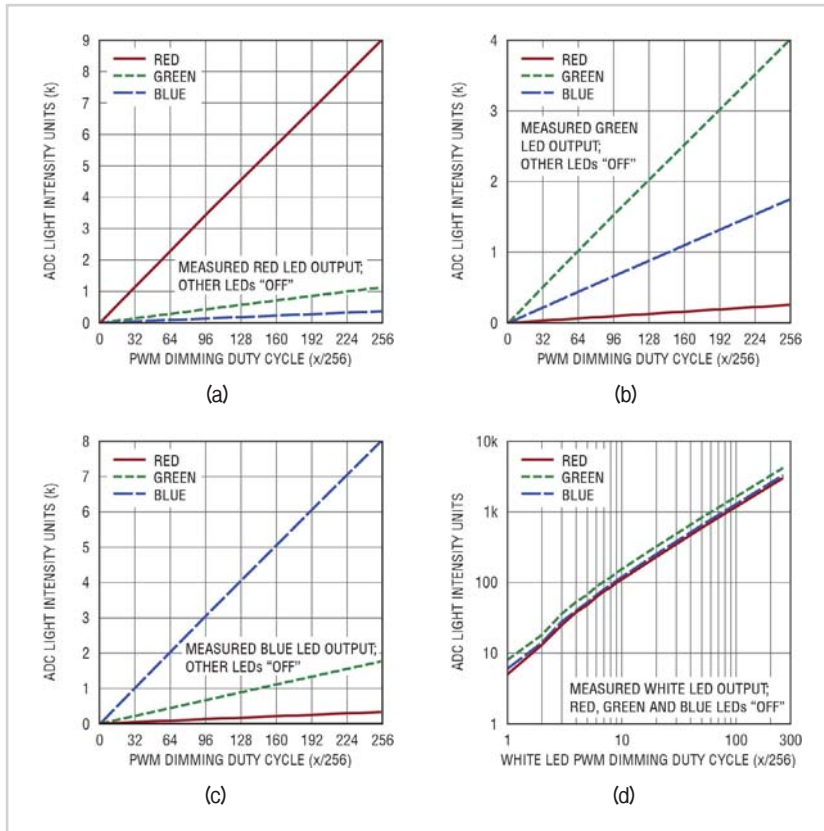
LT3965 매트릭스 LED 디머와 LT3952 부스트-벅 컨버터를 결합해서 색 정확성이 뛰어난 RGBW LED 색 혼합 시스템을 구현할 수 있다. 이들 디바이스를 사용해서 6V~20V 입력으로 350kHz 스위칭 주파수를 사용해서 2개 RGBW LED를 500mA로 구동할 수 있다. 특히 출원 부스트-벅 LED 드라이버 토폴로지의 빠른 변화 응답에 힘입어서 높은 색 정확도를 달성한다. 256:1의 I<sup>2</sup>C 제어 매트릭스 시스템을 통해서 예측 가능한 디밍 제어를 달성한다. 

그림 3. 그림 1에서 매트릭스 LED 디머와 LT3952 부스트-벅 LED 드라이버를 사용한 디자인으로 적색, 녹색, 청색, 백색의 0~256 PWM 디밍 듀티 사이클에 따른 밝기 제어



paint program. Because the design described in this article produces accurate current drive and PWM control, RGBW LEDs can be predictably color-calibrated by adjusting the duty cycles of the component LEDs, easily accounting for inherent variations in LED brightness.

**CONCLUSION**

The LT3965 matrix LED dimmer can be paired with the LT3952 boost-buck converter to form an accurate-color RGBW LED color mixer system. It can be used to drive two RGBW LEDs at 500mA with 350kHz switching frequency from a 6V to 20V input. High color accuracy results from the fast transient response of the patent-pending boost-buck LED driver topology and predictable dimming control via the 256:1, I<sup>2</sup>C-controlled matrix system. 