

Technical Article

배럴 잭에서 USB Type-C PD로 마이그레이션



Max Wang, Brian King

지난 수 년 동안 PD(Power Delivery)를 지원하는 USB Type-C® 표준이 매우 다양한 전자 제품에서 채택되어 왔습니다. 이는 통합 포트(전자 폐기물 감소), 리버시블 커넥터의 편리성 및 고전력 성능 등의 장점에 의해 촉진되었습니다.

그림 1에 표시된 것처럼 최신 릴리스의 USB PD 3.1은 USB의 전력 성능을 최대 240W까지 높이며, 이는 이전 USB PD 3.0 사양의 가용 전력 100W보다 두 배 이상 큰 수치입니다. 따라서 이제는 USB를 통해 다양하고 새로운 애플리케이션에 전원을 공급할 수 있습니다. 전자 폐기물을 줄이기 위해 유럽 연합과 인도는 2025년부터 개인용 전자 제품에 USB Type-C 사용을 의무화하는 법안을 통과시키기 시작했으며, 이러한 추세는 전동 공구, 스마트 스피커, 진공 청소기, 전기 자전거 충전기 및 네트워킹 등의 다른 분야로 확산될 것으로 예상됩니다. 이러한 추세와 규제로 인해 제조업체는 제품의 전원 커넥터를 배럴 잭에서 USB-C 커넥터로 변환하기 위한 단순하고 저렴한 방식을 모색해야 합니다.

USB Protocol	Nominal Voltage	Maximum Current	Power
USB 2.0	5V	500mA	2.5W
USB 3.1	5V	900mA	4.5W
USB BC1.2	5V	Up to 1.5A	Up to 7.5W
USB Type-C	5V	3A	15W
USB PD 3.0	Configurable up to 20V	5A	Up to 100W
USB PD 3.1	Configurable up to 48V	5A	Up to 240W

그림 1. 최신 USB PD 3.1 릴리스에서 USB의 전력 성능이 최대 240W까지 높아진 USB 전원 표준. 출처: 텍사스 인스트루먼트

이 전원 팁에서는 시스템 전원 고려 사항에 대해 설명하고, 설계의 전력 요구 사항에 대해 적절한 USB PD 계약을 협상하는 전력 관리 회로와 USB-C 커넥터를 빠르고 쉽게 구현하는 방법을 보여줍니다.

USB PD 전력 흐름

또한 USB PD 에코시스템에는 세 가지 유형의 전력 흐름이 있다는 것도 언급할 가치가 있습니다. 즉, 전력을 싱킹만 하는 장치, 전력을 소싱만 하는 장치, 양방향 전력 흐름을 가능하게 하는 장치(이중 역할 전력)가 있습니다. 이 문서에서는 싱킹 전용 애플리케이션을 중점적으로 다룹니다.

USB PD를 이용하는 싱크 장치가 USB PD 전원에서 전력을 받으려면 먼저 전원을 공급받는 장치와 전원 사이에서 일부 핸드셰이킹 및 협상이 진행되어야 합니다. 이는 전원의 전력 성능에 따라 USB PD 전원 버스의 전압이 5V~48V 사이에서 가변적일 수 있기 때문입니다. 15V 입력 소스에서만 작동하도록 설계된 싱크 장치에 48V를 인가해서는 안 된다는 것은 명백합니다. USB PD 싱크 애플리케이션에서는 이 전력 계약 협상을 수행하고 과전류 및 과전압 등으로부터의 보호를 제공하기 위해

포트 컨트롤러라고 하는 전용 장치가 필요합니다. 이전에는 기능이 적절하게 구성된 USB PD 포트 컨트롤러를 추가하기 위해서는 USB 인증에 대한 심층적인 지식과 대량의 펌웨어 개발 작업이 필요했습니다. [그림 2](#)에 표시된 것처럼 전원 아키텍처를 간소화하고 설계 복잡성을 줄이기 위해 사전 프로그래밍된 USB PD 컨트롤러를 사용하면 설계자가 단순한 저항-분할기 설정을 통해 최대 및 최소 전압과 전류 싱크 성능을 구성할 수 있습니다. 이를 통해 외부 EEPROM(전기적 삭제 가능 프로그래머블 읽기 전용 메모리), MCU 또는 모든 유형의 펌웨어 개발 필요성이 제거됩니다.

ADCIN1 Decoded Value	Minimum Voltage Configuration
0	5V
1	9V
2	12V
3	15V
4	20V
ADCIN2 Decoded Value	Maximum Voltage Configuration
1	9V
3	12V
5	15V
7	20V

그림 2. 단순한 저항 분할기 설정을 통해 설계자가 최대 및 최소 전압과 전류 싱크 성능을 구성하도록 해 주는 사전 프로그래밍된 USB PD 컨트롤러의 ADCIN 핀. 출처: 텍사스 인스트루먼트

전력 계약 협상 및 시스템 전력 요구 사항 매칭하기

제품을 USB PD로 변환하기 전에 USB PD 에코시스템의 한계와 요구 사항을 이해하는 것이 중요합니다. 케이블의 소스 측에서 USB PD 전원이 시스템에 전력을 공급하지만, 제품 사용자는 어떤 USB PD 어댑터나 다른 전원이든 연결할 수 있습니다. 따라서 시스템에 최대 전력을 공급하기 위해 필요한 전력 계약을 고려해야 합니다. 또한 어댑터에서 충분하지 않은 전력이 공급될 때의 시스템 작동 방식도 고려해야 합니다.

USB Type-C 케이블을 통한 가용 전류는 20V 미만의 전압에서 3A로 제한되고, 20V 이상의 전압에서 5A로 제한됩니다. 또한 USB PD 전원은 최대 허용 케이블 전류에서 정격 전력을 공급하는 데 필요한 최소 전압만 생성해야 합니다. 예를 들어 45W 어댑터의 경우 45W를 3A로 나누면 15V이므로 일반적으로 15V의 최대 출력 전압을 공급합니다.

시스템이 15V 소스로부터 실행되도록 설계되었지만, 50W의 전력이 필요하다면 어떻게 해야 할까요? 이 경우에는 시스템을 실행하는 데 충분한 전력을 확보하기 위해 포트 컨트롤러가 더 높은 전압 협상(예: 20V)을 수락하도록 구성해야 하며, 또한 시스템이 이 약간 더 높은 입력 전압을 처리할 수 있도록 설계해야 합니다. 이를 위해서는 단지 USB Type-C 커넥터와 포트 컨트롤러를 추가하는 것만이 아니라 제품을 약간 수정해야 합니다. 또한 보통은 전력 성능이 불충분한 USB PD 소스에 연결되어 있을 때 성능 수준이 떨어지더라도 제품이 기능하기를 원합니다.

설계 예

이전에는 15V 배럴 잭을 통해 전원을 공급받던 4S-7S 배터리를 27W로 충전해야 하는 제품이 있다고 가정해 봅시다. 이 예에서는 충전 상태에 따라 배터리 전압이 15V 입력보다 높거나 낮을 수 있으므로 벡-부스트 컨버터가 사용되었습니다. 이 설계를 USB PD 입력으로 변환하려면 [TPS25730](#) 및 벡-부스트 배터리 충전기와 같은 단순한 독립 실행형 USB PD 컨트롤러만 필요합니다. [그림 3](#)에 시스템 아키텍처가 나와 있습니다. 배럴 잭을 USB PD 포트로 변환하는 데는 몇 개의 부품만 필요했음을 확인할 수 있습니다. ADCIN1~ADCIN4 핀에 연결된 단순한 저항을 통해 펌웨어를 개발할 필요 없이 전력 프로파일 설정

됩니다. 이 경우 제품은 가용 전력이 줄어들더라도 5V 전원으로부터 계속해서 충전할 수 있습니다. TPS25730은 작동 전류가 3A로 설정되고 20V의 최대 전압과 5V의 최소 전압에 대해 구성되어 있습니다.

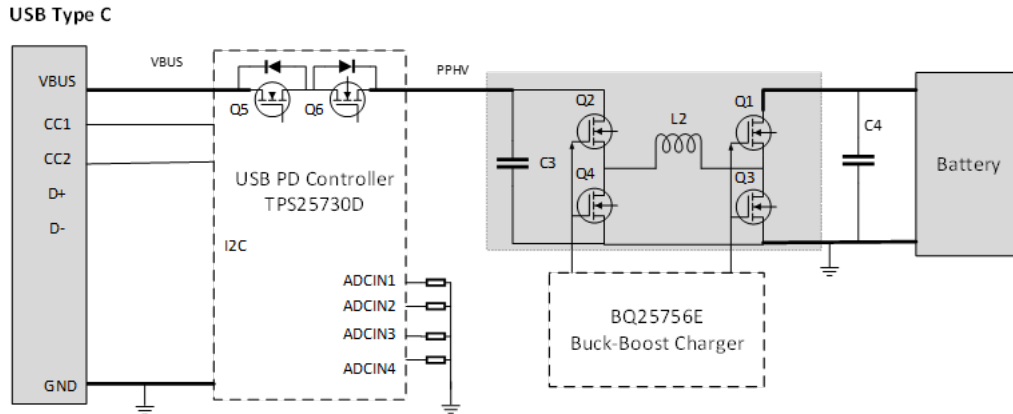


그림 3. 27W USB PD 싱킹 전용 충전기 레퍼런스 설계 블록 다이어그램. 출처: 텍사스 인스트루먼트

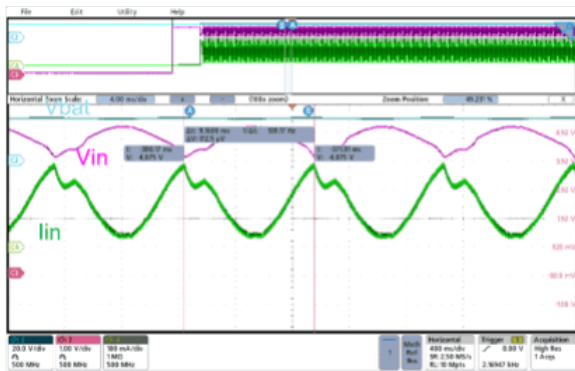
입력 전압 동적 전원 관리

USB PD 소스 입력을 지원하는 것 외에도 설계에서 5V 및 2A와 같은 기존 USB 입력 소스도 지원해야 합니다. 입력 전력이 제한될 때 입력 전압이 붕괴하지 않도록 BQ25756E는 입력 전압 동적 전원 관리 기능을 제공합니다. BQ25756E의 이 기능은 입력 전압이 매개변수 V_{in_dpm} 에 설정된 값으로 떨어지면 충전 전류를 감소시킵니다. V_{in_dpm} 은 입력 전압에서 케이블 및 전원 경로를 통한 전압 강하를 뺀 값보다 약간 더 낮게 설정해야 합니다. 그래야 입력 소스에 과도한 부하를 주거나 입력 버스에서 불안정성을 초래하지 않으면서 배터리 충전 전류를 최대화할 수 있습니다.

그림 4에서는 1m USB 케이블(0.25Ω 저항)을 사용하여 5V, 2A 소스로 충전하는 실험 결과를 보여줍니다. V_{in_dpm} 을 4.75V로 설정하는 경우 입력 충전 전류가 제한되고 불안정해지는 현상을 확인할 수 있습니다(그림 4의 좌측). 저항 강하를 고려하여 V_{in_dpm} 을 4.35V로 설정하여 적절하게 구성하면 입력 전압이 안정적이며 충전 전류가 50% 증가하여 충전 시간을 대폭 줄여줍니다.

$V_{in_dpm}=4.75V, I_{CHG}=0.21A @5V/2A$ Source

$V_{in_dpm}=4.35V, I_{CHG}=0.33A @5V/2A$ Source



unstable and reduced charge current



Stable and increased charge current by 50%

그림 4. 1m USB 케이블을 사용하여 5V, 2A 소스로 충전 시의 입력 동적 전원 관리. 출처: 텍사스 인스트루먼트

USB PD 구현하기

간소화된 USB PD 컨트롤러 및 배터리 충전기 아키텍처를 이용하면 USB PD에 대한 심층적인 지식이 없어도 됩니다. 추가 MCU 및 EEPROM의 필요성이 없어질 뿐만 아니라(펌웨어 개발 작업도 없음), 단순한 저항 분할기를 사용하여 전압 및 전류 싱킹 성능을 구성하고 배럴 잭에서 USB Type-C 입력으로 빠르게 변환할 수 있습니다. 여기에서 설명한 설계 예에 대한 전체 내용은 [4~7셀 배터리용 27W USB PD\(Power Delivery\) 싱크 전용 충전기 레퍼런스 설계](#)를 확인하세요.

관련 콘텐츠

- [Power Tips #129: Driving high voltage silicon FETs in 1000-V flybacks](#)
- [Power Tips #128: Designing a high voltage DC-link capacitor active precharge circuit](#)
- [Power Tips #75: 오토모티브 시스템용 USB 전원 공급](#)
- [USB: Deciphering the signaling, connector, and power delivery differences](#)
- [USB Power Delivery: incompatibility-derived foibles and failures](#)

이전에 EDN.com에 게시되었습니다.

상표

모든 상표는 해당 소유권자의 자산입니다.

중요 알림 및 고지 사항

TI는 기술 및 신뢰성 데이터(데이터시트 포함), 디자인 리소스(레퍼런스 디자인 포함), 애플리케이션 또는 기타 디자인 조언, 웹 도구, 안전 정보 및 기타 리소스를 "있는 그대로" 제공하며 상업성, 특정 목적 적합성 또는 제3자 지적 재산권 비침해에 대한 묵시적 보증을 포함하여(그러나 이에 국한되지 않음) 모든 명시적 또는 묵시적으로 모든 보증을 부인합니다.

이러한 리소스는 TI 제품을 사용하는 숙련된 개발자에게 적합합니다. (1) 애플리케이션에 대해 적절한 TI 제품을 선택하고, (2) 애플리케이션을 설계, 검증, 테스트하고, (3) 애플리케이션이 해당 표준 및 기타 안전, 보안, 규정 또는 기타 요구 사항을 충족하도록 보장하는 것은 전적으로 귀하의 책임입니다.

이러한 리소스는 예고 없이 변경될 수 있습니다. TI는 리소스에 설명된 TI 제품을 사용하는 애플리케이션의 개발에만 이러한 리소스를 사용할 수 있는 권한을 부여합니다. 이러한 리소스의 기타 복제 및 표시는 금지됩니다. 다른 모든 TI 지적 재산권 또는 타사 지적 재산권에 대한 라이선스가 부여되지 않습니다. TI는 이러한 리소스의 사용으로 인해 발생하는 모든 청구, 손해, 비용, 손실 및 책임에 대해 책임을 지지 않으며 귀하는 TI와 그 대리인을 완전히 면책해야 합니다.

TI의 제품은 [ti.com](https://www.ti.com)에서 확인하거나 이러한 TI 제품과 함께 제공되는 [TI의 판매 약관](#) 또는 기타 해당 약관의 적용을 받습니다. TI가 이러한 리소스를 제공한다고 해서 TI 제품에 대한 TI의 해당 보증 또는 보증 부인 정보가 확장 또는 기타의 방법으로 변경되지 않습니다.

TI는 사용자가 제안했을 수 있는 추가 또는 기타 조건을 반대하거나 거부합니다.

주소: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265

Copyright © 2025, Texas Instruments Incorporated

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 © 2025, Texas Instruments Incorporated