

Technical Article

고집적 실시간 제어 MCU로 더 부드럽고, 더 조용한 모터 성능 구현



TI 직원



소비자들은 가전제품이 더 조용하게 작동하고 기계적 및 전기적 내구성이 뛰어나기를 기대합니다. 이는 소형 공구, 세탁기, 팬, 난방, 환기 및 공조(HVAC) 장치와 같은 완제품에서도 마찬가지입니다.

지금까지 음향 성능, 동적 동작 및 시스템 수명을 개선하는 방법은 기계적 설계를 개선하고 신소재를 구현하거나 열 관리 또는 고급 제어 전략을 사용하는 것이었습니다. 이러한 제어 전략의 상당수는 처리용 장치 하나, 감지용 장치 하나, 그리고 신호 컨디셔닝이나 보호를 위한 추가 부품 등 여러 장치에 걸쳐 구현되어야 합니다. 기술적으로는 효과적이지만, 이러한 구현은 하드웨어와 소프트웨어 전반에 걸쳐 긴밀하게 결합된 종속성을 유발하고 지연 시간과 지터를 증가시키며 통합 및 조정에 노력이 필요할 수 있습니다. 결과적으로, 시스템 성능 목표를 달성하는 것에서 시스템 복잡성이나 비용을 증가시키지 않고 목표를 달성하는 것으로 과제가 전환되었습니다.

통합된 처리 환경을 통한 모터 컨트롤 향상

센서리스 FOC(필드 지향 제어)나 진동 보상과 같은 고급 모터 컨트롤 기술을 통합된 처리 환경 내에 구현하면 조정 작업을 최소화하고 타이밍 변동성을 줄이며 보다 예측 가능한 동작을 구현하는 데 도움이 될 수 있습니다. 소프트웨어 관점에서 TI의 **F28E120SC**와 같은 고도로 통합된 실시간 컨트롤 마이크로컨트롤러(MCU)는 설계자가 모터 컨트롤 애플리케이션에서 감지, 컨트롤 및 작동 기능의 구현을 간소화하는 데 사용할 수 있는 통합된 처리 환경을 제공합니다.

이러한 MCU는 센서리스 FOC와 같은 실시간 모터 컨트롤 알고리즘을 지원하여 로터 위치를 추정하기 가장 어려운 저속 영역에서 설계자가 타이밍 예산을 충족할 수 있도록 도와줍니다. 보다 정밀한 모터 컨트롤을 통해 외부 센서나 특수 가속 하드웨어에 의존하지 않고도 더 부드러운 토크 생성, 더 낮은 진동과 더 조용한 작동을 구현할 수 있습니다. **그림 1**은(는) 일반적인 모터 컨트롤 설계에서 **F28E120SC** MCU의 블록 다이어그램을 보여줍니다.

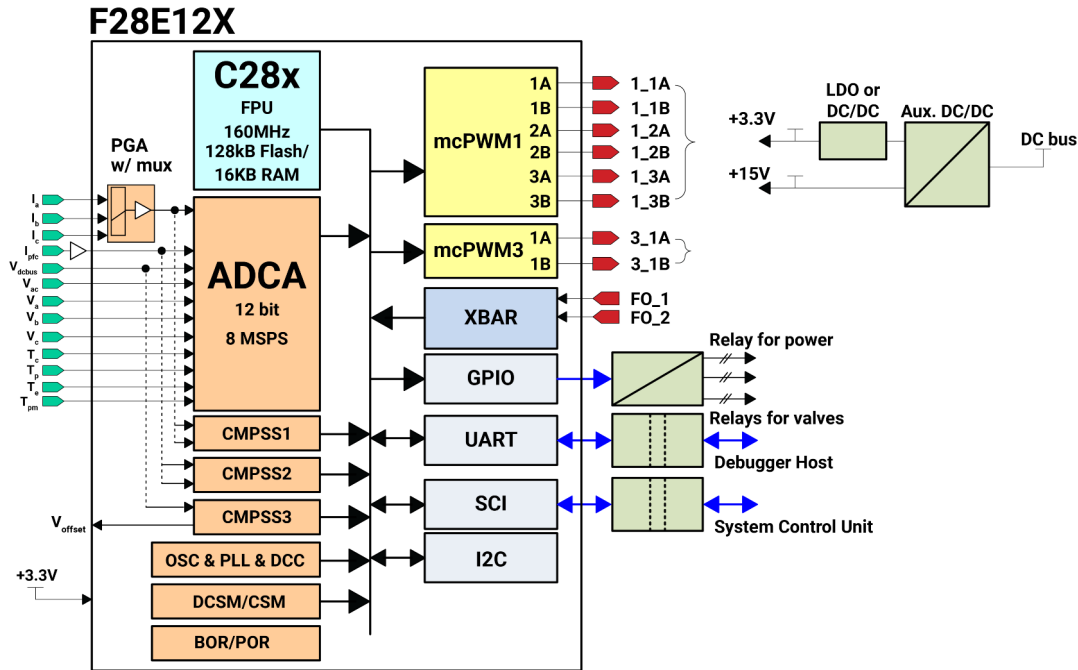


그림 1. 일반적인 모터 컨트롤 설계에서 F28E120x MCU의 간소화된 블록 다이어그램

하드웨어 관점에서 이러한 MCU는 통합 프로그래머블 게인 증폭기 및 아날로그 비교기와 함께 고속 ADC(아날로그-디지털 컨버터)를 포함한 통합 부품을 탑재하고 있습니다. 이러한 통합 부품은 설계자가 시스템의 신호 체인을 단순화하는 데 도움을 주어, 오프 칩 연산 증폭기나 개별 아날로그 통합 회로 없이도 저잡음 전류 피드백을 구현할 수 있게 합니다.

이 통합된 컨트롤 아키텍처는 이산 소자의 타이밍을 수동으로 조정하는 데 의존하지 않으므로 설계자는 시스템 관리에 소요되는 지연 시간과 지터, 시간을 줄일 수 있습니다. 또한 이 아키텍처는 동기화된 PWM(펄스 폭 변조) 및 ADC 트리거링을 통해 시스템 응답을 개선하여 샘플링을 스위칭 이벤트에 정확하게 맞춥니다.

모터 컨트롤을 위한 통합된 처리 환경의 이점을 보여주는 두 가지 예를 살펴보겠습니다.

세탁기의 모터 컨트롤

세탁기에서 모터 컨트롤 알고리즘은 개방형 루프 시동, 탈수 과정 중 갑작스러운 부하 불균형, 세탁 단계 전반에 걸쳐 변화하는 토크 요구, 섬유 관리 및 물 배출을 위한 정밀한 속도와 방향 전환 같은 실제 환경 조건에 적응해야 합니다. 기존의 아키텍처는 이러한 전환을 부드럽고 조용하게 관리하기 위해 종종 외부 센서, 아날로그 프론트 엔드 및 사용자 지정 로직에 의존합니다.

실시간 MCU는 전체 컨트롤 경로를 하나의 장치로 통합합니다. 센서리스 FOC는 위치 센서 없이도 부드럽고 안정적인 시동 및 가속을 가능하게 합니다. 기계적 균형에만 의존하지 않고 소프트웨어 기반 진동 보상을 사용하므로 드럼 불균형과 음향 잡음을 줄일 수 있게 됩니다.

더욱 컴팩트하고 결정론적인 컨트롤 아키텍처 덕분에 세탁기 모터 컨트롤러는 더 조용하게 작동하며 수명이 길고 제조가 용이해집니다.

HVAC 시스템의 모터 컨트롤

HVAC 시스템은 공기 흐름이 제한적이고 보드 공간이 협소하며 유지 보수가 드물게 이루어지는 좁고 열적으로 제한된 환경에서 장시간 모터를 작동해야 합니다. 안정적이고 효율적인 시스템에는 조용한 시동, 안정적인 공기 흐름 컨트롤, 높은 전체 효율성과 같은 모터 컨트롤 기능이 포함되어 있습니다.

HVAC 시스템은 가전제품에 사용되는 것과 동일한 고급 컨트롤 기술을 사용할 수 있지만, 여기에 열 안정성과 긴 듀티 사이클 내성이 추가됩니다. 센서리스 제어 전략은 홀 효과 센서나 인코더의 필요성을 없애 기계적 설계를 간소화하고 장기적인 안정성을 개선합니다. F28E120SC와 같은 MCU는 오류 수정 코드 보호 플래시 메모리와 패리티 보호 정적 임의 액세스 메모리

를 갖추고 있어 긴 듀티 사이클 동안 시스템 성능을 향상합니다. 이러한 MCU의 고대역폭 FOC 작동 및 데드타임 보상은 총 고조파 왜곡을 최대 50%까지 줄여 더욱 부드러운 공기 흐름 컨트롤과 조용한 작동을 가능하게 합니다.

단일 클록 도메인 내에서 PWM 로직과 ADC 샘플링의 긴밀한 동기화는 스위칭 주파수가 증가하거나 열 조건이 변하더라도 일관된 컨트롤 동작을 보장합니다. 그러면 설계자는 압축기와 팬 부하에 더욱 엄격한 루프 컨트롤을 적용하고 스위칭 전환을 조정하여 가청 잡음을 최소화하며, 열이나 진동으로 인해 스트레스를 받는 외부 부품을 사용하지 않아도 됩니다.

결론

다양한 부하 조건에서 컨트롤 동작이 예측 가능하면서도 효율적이어야 하는 모터 구동 애플리케이션을 위해, 실시간 제어 MCU는 설계 비용을 절감하는 동시에 사이클 단위 정밀도로 결정론적인 고성능 실행과 긴밀한 아날로그-디지털 통합을 결합합니다.

상표

모든 상표는 각 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