

Stromumrichter:
Effiziente Energieumwandlung
durch effizienten TargetLink-Code

Energ



ie aufwerten

Die Energie, die die Sonne täglich liefert, liegt um das 15.000-fache über dem weltweiten Stromverbrauch. Um diese natürliche Energiequelle zu nutzen, muss die Solarenergie effizient in elektrische Energie umgewandelt werden. Zu dieser Aufgabe tragen die Umrichter von Santerno maßgeblich bei.

Solarfelder werden durch intelligente Regler deutlich effizienter.



Umrichter und ihre Anwendungsfelder

Für die Regelung von Industriemaschinen, Solaranlagen, Windturbinen und Hybridantrieben müssen elektrische Antriebe sowie Hochströme und -spannungen gesteuert werden. Integraler Bestandteil dabei ist die Umwandlung von Gleichstrom (DC) in Wechselstrom (AC), eine Aufgabe, die von einem Umrichter übernommen wird. Bei einem modernen Umrichter handelt es sich um einen Regler samt Leistungsendstufen-elektronik. Für die Einsatzbereiche

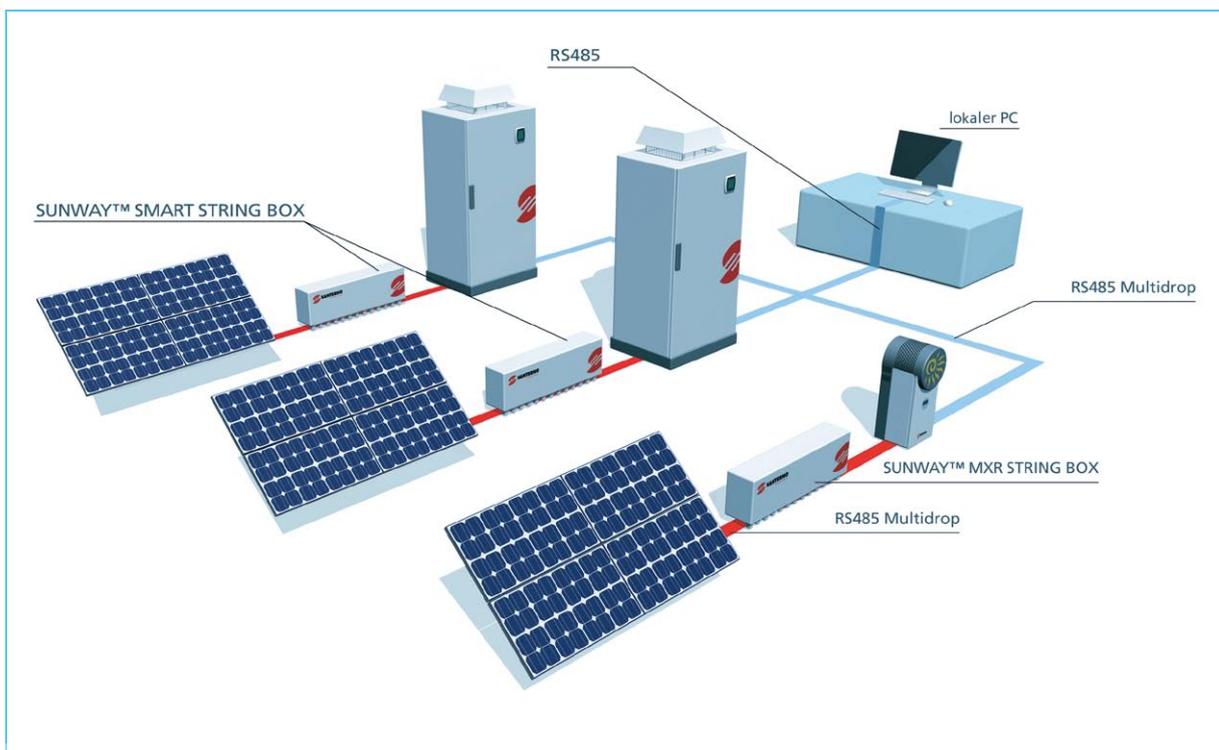
der Santerno-Produkte (siehe unten) müssen Regler in der Lage sein, anwendungsspezifisch unterschiedlich hohe Echtzeitanforderungen und komplexe Tasks zu erfüllen:

■ **Solarfelder**

Ein Photovoltaikfeld (PV) muss hinsichtlich seines optimalen Arbeitspunktes und effizienter Energiekonvertierung gesteuert werden. Dafür zuständig sind MPPT (Maximum Power Point Tracking)-Algorithmen, die je nach Tageszeit und Wetterbedingungen

immer den besten Arbeitspunkt auf dem Photovoltaikfeld ausfindig machen. Um die Energie effizient umzuwandeln, müssen sowohl die Umrichter-Zwischenkreisspannungen als auch der ins Netz eingespeiste Strom reguliert werden. Für die Erfüllung länderspezifischer Zertifizierungsstandards müssen mehrere Diagnose- und Sicherheitsregelfunktionen modelliert werden, um so ein ausreichendes Maß an Effizienz, Oberschwingungsverzerrung (THD) und Sicherheit zu gewährleisten.

Aufbau eines Solarfelds mit Umrichtern und Kontrollraum.





„Durch den Einsatz von TargetLink konnten unsere Stromumrichter planmäßig in Serie gehen und unsere hohen Qualitätsanforderungen erfüllen.“

Fabio Gianstefani, Santerno

■ **Windturbinen**

Damit Windenergie nutzbar ist, müssen optimale Bedingungen für Ausrichtung, Drehzahl und Sicherheit erfüllt sein. Die Prinzipien der Regulierung von Zwischenkreis und netzeingespeistem Strom sind generell dieselben wie für Solaranwendungen.

■ **Industrieautomation**

Enorme Dynamiken, hohe Präzision und akkurate Synchronisation moderner Antriebe und Bewegungssteuerungen müssen geregelt werden können. Ein typisches Beispiel dafür ist ein dreiphasiger Wechselstrommotor mit feldorientierten Regelalgorithmen (FOC), sensorloser Vektorregelung (VTC) und Spannung-Frequenz (U/f)-Algorithmen.

Reglersoftwarestruktur für Umrichter

Die Software für das Umrichtersystem kann funktional in Anwendungsschicht und Plattformsoftware unterteilt werden, bestehend aus einer Hardware-Abstraktionsschicht (HAL), Treibern und Services. Da Services wie Kommunikation, Diagnosen und Applikationsmanagement sowie fixe Echtzeitvoraussetzungen für alle Pro-

dukte mehr oder weniger identisch sind, ist die Plattformsoftware für alle Regler gleich. Lediglich Echtzeit-, Service-Konfigurationen und HAL-Mappings müssen individuell konfiguriert werden, um reglerspezifische Anforderungen zu erfüllen. Die plattformübergreifenden Eigenschaften garantieren höhere Modularität und kürzere Markteinführungszeiten für neue Produkte. Die Anwendungsschicht steuert eine reale Strecke wie eine Photovoltaik-Anlage, eine Windturbine oder ein Fahrzeugsystem und wird für jedes Produkt individuell entwickelt. Die Anwendungsschicht kann weiter in Subsysteme unterteilt werden, z. B. in die Umrichterschicht und die Applikationssteuerungsschicht, und wird mit dSPACE TargetLink® entwickelt.

Entwicklungsprozess der Reglersoftware

Die Applikationsschicht eignet sich für die modellbasierte Entwicklung. Die Werkzeugkette bei Santerno basiert zum einen auf MATLAB®/ Simulink®/Stateflow® für den modellbasierten Entwurf und zum anderen auf TargetLink für den Entwurf, die automatische Seriene-codierung und den Modultest. Diese Werkzeugkette wird auf zwei

unterschiedliche Arten verwendet:

- Optimierungen bestehender Regler werden oft mit TargetLink entwickelt, um den Code für Zusatzfunktionen zu generieren, die anschließend mit dem Legacy-Code des Reglers integriert werden. Diese Implementierungen liegen in Festkomma-Arithmetik vor.
- Neue Reglerentwicklungen werden exklusiv mit Hilfe des modellbasierten Ansatzes und automatischer Seriene-codierung ausgeführt. Das heißt, dass die komplette Applikationsschicht automatisch mit TargetLink generiert wird. Die Reglersoftware umfasst üblicherweise 15.000-20.000 Code-Zeilen. Die jüngsten Projekte werden in Festkomma-Arithmetik entwickelt.

Herausforderungen für die Reglerentwicklung

Im Wesentlichen gab es zwei große Herausforderungen, die die Reglerentwicklung bewältigen musste. Die erste Herausforderung war die Optimierung: Da die Reglersoftware auf einer Task ausgeführt wird, die mit der PWM-Frequenz synchronisiert ist, z. B. 11 kHz, liegt die Periodizität unter 100 Mikrosekunden. Diese anspruchsvollen Anforderungen an die Ausführungszeiten können auf-

Fazit

Die Nutzung natürlicher Energieressourcen erfordert effiziente elektrische Geräte. Teil dieser Aufgabe ist dabei die Umwandlung von Gleichstrom (DC) in Wechselstrom (AC). Umrichter von Santerno sind mit Reglern ausgestattet, die größtmögliche Effizienz gewährleisten. Der Entwicklungsprozess bei Santerno verwendet den modellbasierten Entwurf und die automatische Code-Generierung für alle Regler im Solar- und Windenergiebereich sowie in der Industrieautomation. Die Erfahrung aus vielen Serienprojekten zeigt, dass die Vorteile des Seriene-Code-Generators dSPACE TargetLink dazu beitragen, die hohen Anforderungen an kurze Markteinführungszeiten und Qualität zu erfüllen. Das Ziel der Entwicklungsabteilung ist daher die Ausweitung des modellbasierten Ansatzes auf alle neuen Produktentwicklungen.



Der SUNWAY™ TG 600V und der SUNWAY M sind Umrichter mit Reglersoftware, die mit TargetLink generiert wurde.



grund der Code-Effizienz von TargetLink in Kombination mit dem Einsatz von Modellierungsrichtlinien erreicht werden und nutzen die CPU-Leistung (72 MHz) optimal. Die zweite Herausforderung war die Skalierungstechnik. Da der Seriene-Code unterschiedliche Leistungselektronikgrößen steuern muss, wo Maximalströme und -spannungen stark variieren, war ein Worst-Case-Skalierungsansatz nicht ratsam. Daher mussten alle Strom- und Spannungsmagnituden im Bereich von $[-1 \dots 1]$ mit Hilfe von Division durch das Sensor/Aktor-Maximum normalisiert werden.

Gesammelte Erfahrungen

Modellbasierter Entwurf und automatische Seriene-Code-Generierung haben sich als zuverlässige und überzeugende Methoden für die Entwicklung von Reglersoftware erwiesen. Im Besonderen haben sich Test, Nachverfolgbarkeit und Dokumentation im TargetLink-Ansatz als unverzichtbar für den effizienten Entwicklungsprozess herausgestellt, da sie entscheidend für hohe Produktivität und gute Qualität sind:

■ *Schnelle Back-to-Back-Tests*

Die Ausführung des automatisch generierten Codes auf dem Host-

PC in einem Software-in-the-Loop-Test erlaubt weniger und schnellere Iterationen und sichert qualitativ hochwertigen Code, sobald er einmal auf der realen Zielplattform integriert ist. Software-in-the-Loop-Simulationen unterstützen zudem bei der richtigen Skalierung der Fließkomma-Modelle für die Festkomma-Implementierungen. Das nächste Ziel wird sein, die Testabdeckung vor der realen Integration auf dem Produkt zu erhöhen.

■ *Adäquate Nachverfolgbarkeit*

Die Zusammenarbeit in der Entwicklung profitiert zum einen von den leicht verständlichen Modellen, die im Wesentlichen ein Teil der Spezifikation sind, und zum anderen von der guten Lesbarkeit des Codes, die für Code-Reviews sehr wichtig ist. Die komplette Nachverfolgbarkeit zwischen dem Modell und dem C-Code stellte sich als besonders hilfreich für die Verbesserung der Code-Pflege heraus.

■ *Automatische Dokumentation*

Weiteres Zeiteinsparpotential bietet die automatisch generierte Dokumentation im HTML- oder PDF-



Das Solarfeld im spanischen Fuente Alamo liefert bis zu 26 MW Energie mit Hilfe von Santerno-Umrichtern.

Format. Das Modell dient als ausführbare Spezifikation und die automatisch generierte Dokumentation von Modell und Code kann extrahiert und als Teil des Dokumentationsprozesses in Spezifikations- und Entwurfsdokumenten integriert werden.

Erkenntnisse und Ausblick

Bei Santerno wurden bereits zahlreiche Serienprojekte erfolgreich ausgeführt. In allen Projekten wurden die hohen Ziele für Markteinführungszeiten,

Performance und Qualität erreicht. Das Ziel der Entwicklungsabteilung ist daher die Ausweitung des modellbasierten Ansatzes auf alle neuen Produktentwicklungen. Im Wesentlichen besteht das Ziel darin, mehr und mehr Software automatisch zu generieren und die strengen Anforderungen an Effizienz und Qualität der Santerno-Produkte zu erfüllen. Den Entwicklungsprozess basierend auf den ausgewählten Tools zu verbessern, ist eine der ständigen Herausforderungen.

Ein weiterer Grunde für die Wahl von TargetLink ist der, dass die Zertifizierung des Codes für Solarumrichter (sowohl für Plattform als auch für Anwendungsschicht) in einigen Ländern zukünftig notwendig sein könnte, z. B. gemäß Standard ANSI/UL1998 in den USA. Der modellbasierte Ansatz von TargetLink erleichtert die Erfüllung dieser Anforderungen immens. ■

*Riccardo Morici
Luca Balboni
Fabio Gianstefani, Santerno*

Riccardo Morici

Riccardo Morici ist System Modeling & Control Design Manager für die drei Produktfamilien bei Santerno in Imola, Italien.



Luca Balboni

Luca Balboni ist als Team Leader Model-Based Control Systems verantwortlich für eingebettete Applikationssoftware und Identifikation von Testvektoren bei Santerno in Imola, Italien.



Fabio Gianstefani

Fabio Gianstefani ist als Software Architecture Leader verantwortlich für Software-Spezifikation und -Integration bei Santerno in Imola, Italien.

