

White Paper

IoT-Cloud-Systeme mit Strom versorgen

Cloud-Dienste nehmen derzeit exponentiell zu und sorgen für erhebliche Fortschritte in Rechenzentren, Netzwerk- und Telekommunikationsausrüstung. Im Internet der Dinge (IoT) sind bereits mehr Geräte mit IP-Adressen (Internet-Protokoll) mit der Cloud verbunden, als es Menschen auf unserem Planeten gibt. Dieses Wachstum wirkt sich stark auf die Server, Speicher und Netzwerk-Switches aus, die eine ständig wachsende Datenmenge verarbeiten müssen. Die Infrastrukturausrüstung erreicht dabei hinsichtlich der Verarbeitungsleistung und der Bandbreite ihre Grenzen. Für Entwickler von Stromversorgungen besteht die größte Herausforderung darin, diese Ausrüstung effizient mit Strom zu versorgen und zu kühlen, während ein minimaler Stromverbrauch gewährleistet bleibt. Entwickler müssen dabei eine Abwägung zwischen dem Platzbedarf der Stromversorgung auf dem Board und dem Thermal Management vornehmen – gerade bei den heute fortschrittlichen Prozessoren, ASICs und FPGAs.

Dieser Beitrag beschreibt, wie sich Mehrphasenwandler weiterentwickelt haben und vergleicht die verschiedenen Ansteuerungs-/Regelungsarten. Außerdem werden neue Mehrphasen-Controller vorgestellt, die auf einer synthetischen Stromregelung basieren. Diese neue Regelungstechnik ermöglicht der Stromversorgung, einen zyklusweisen Stromausgleich durchzuführen und ein schnelleres Einschwingverhalten zu erzielen, während jeder Phasenstrom ohne Latenz verfolgt wird.

Mehrphasenwandler für die IoT-Stromversorgung

Mit der zunehmenden Funktionsdichte der Endsysteme steigt dementsprechend auch die Rechenleistung, um diese Anforderungen erfüllen zu können. Diese Datenverarbeitungsfähigkeit wird in Rechenzentren bereitgestellt, in denen Highend-CPUs, digitale ASICs und Netzwerkprozessoren den Betrieb von Servern, Massenspeicher und Netzwerkausrüstung gewährleisten. Diese Datenverarbeitungskapazitäten werden über Telekommunikationsausrüstung über das Netzwerk verteilt und am Transaktionspunkt über POS-Einrichtungen (Point of Sale), Desktop-Rechner oder Embedded-Computing-Systeme mit CPUs oder FPGAs umgesetzt.

All diese Geräte vereint, dass deren digitale Datenverarbeitung ein ähnliches Stromverbrauchsprofil aufweist. Bei immer kleineren Prozessorgeometrien und höherer Transistorzahl erfordern Prozessoren heute höhere Ausgangsströme, die je nach ihrer Komplexität 100 bis 400 A oder mehr erreichen können. Während sich dieser Trend seit Jahren fortsetzt, konnte sich die Branche durch die Umsetzung von Stromsparmodi bei digitalen Lasten anpassen. Einrichtungen lassen sich damit im Leerlauf stromsparend betreiben und können dann je nach Bedarf Spitzenleistung bereitstellen. Dies ist für das Stromverbrauchsbudget des Gesamtsystems von Vorteil, stellt aber für Entwickler eine Herausforderung dar. Der volle Laststrom von z.B. über 200 A muss bereitgestellt und thermisch gehandhabt werden. Stromversorgungen müssen dabei heute auf große Lastsprünge von über 100 A in weniger als einer Mikrosekunde reagieren, während der Ausgang innerhalb enger Grenzwerte genau eingehalten werden muss.

In Endsystemen kommt dafür als gängige Lösung ein Mehrphasen-DC/DC-Abwärtswandler zum Einsatz, um die erforderliche Leistungsumwandlung bereitzustellen – meist mit einem 1V-Ausgang von einem 12V-Eingang. Um große Lastströme bereitzustellen, ist es einfacher, eine Mehrphasenlösung umzusetzen, bei der die Last über kleinere Stufen (Phasen) aufgeteilt wird, anstatt zu versuchen, sie über eine einzige Stufe bereitzustellen. Der Versuch, zu viel Strom mit einer Phase zu bewältigen, führt zu Herausforderungen beim Design der Magnetbauteile und FETs sowie beim Wärmemanagement, da $(I^2) \cdot R$ gilt. Eine Mehrphasenlösung bietet einen hohen Wirkungsgrad, eine kleinere Größe und geringere Kosten als eine

einzelne Stufe für hohe Ströme. Dieser Ansatz entspricht der technologischen Entwicklung, die mit den Endlasten einhergeht, da sich Multicore-CPU die Arbeitslast teilen. Bild 1 beschreibt eine Mehrphasenlösung, die vier Phasen verwendet, um 150 A für eine CPU bereitzustellen.

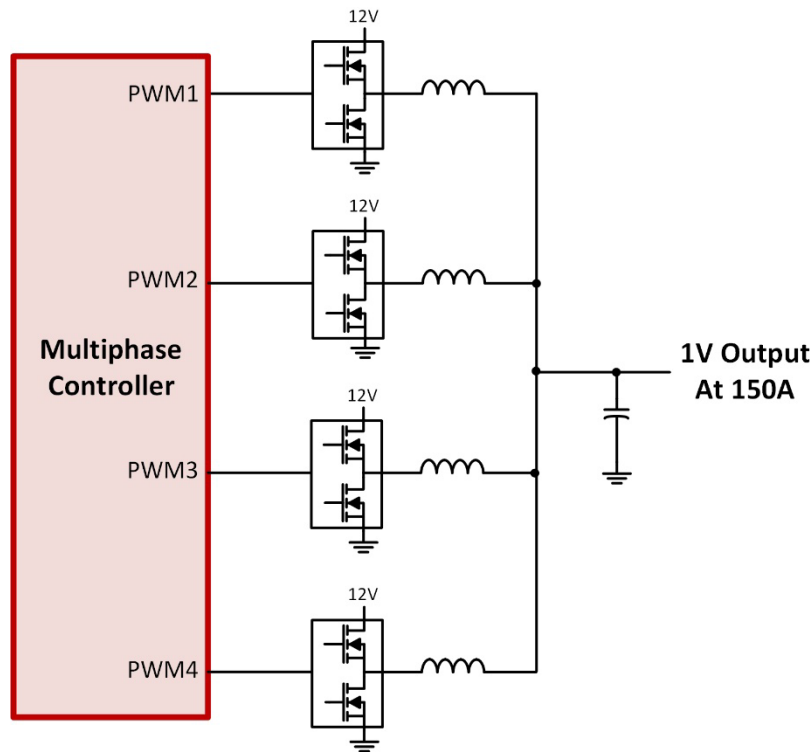


Bild 1: Mehrphasenlösung mit vier Phasen

Das richtige Regelschema

Während Mehrphasenlösungen die beste Stromversorgungsarchitektur bieten, muss deren Umsetzung sehr sorgfältig erfolgen, um mit der neuesten Generation von Prozessoren kompatibel zu sein. Da Endsysteme mit immer mehr Funktionen auf kleinerem Raum ausgestattet werden, muss sich auch das Power Management verbessern. Dies spiegelt sich im Aufbau der Stromversorgungen wider, deren Schaltfrequenzen erhöht werden, um die Baugröße zu verringern und niedrigere Ausgangsspannungen mit höheren Strömen bei Volllast und schnellem Einschwingverhalten bereitzustellen. Diese Trends führen bei der Regelung von Stromversorgungen zu Problemen. Die Regelkreise müssen im Laufe der Zeit weiterentwickelt werden, um auf dem aktuellsten Stand der Technik zu bleiben. Die wesentliche Herausforderung bei einem Mehrphasen-Controller liegt in der Verwaltung des Stroms in jeder Phase, wobei folgende Punkte zu berücksichtigen sind:

- Jeder Phasenstrom muss die Last gleichmäßig teilen. Wenn N Phasen vorhanden sind, sollte der Strom für jede Phase zu allen Zeiten $I_{\text{phase}} = I_{\text{out}}/N$ sein.
- Phasenströme müssen im stationären Zustand und bei Übergängen ausgeglichen sein.

Diese Bedingungen müssen stets eingehalten werden, da die Stromversorgung sonst überdimensioniert wird. So kann ein Ungleichgewicht der Phasenströme während des stationären Zustands zu thermischen Verschiebungen führen. Reagiert bei einem Einschwingvorgang nur eine Phase auf einen Lastschritt, müsste deren Induktivität deutlich überdimensioniert sein, was den ursprünglichen Zweck der Mehrphasenlösung zunichte machen würde.

Um die beiden oben genannten Bedingungen zu erfüllen, kommt es darauf an, dass die Regelschleife jederzeit über die Phasenströme und die Ausgangsspannung informiert ist – ohne Latenz oder Verzögerung bei der Abtastung.

Synthetische Stromregelung integrieren

Ein neuer Ansatz löst das Problem der Stromerfassung und erübrigt die Anstrengungen, die mit der Spannungsregelung einhergehen. Die Lösung von Intersil wurde mittels modernster, digitaler Regelungstechnik möglich: durch die Verlagerung der gesamten Steuerung, Überwachung und Kompensation in den Digitalbereich. Damit ergibt sich ein synthetischer Stromregelkreis, der einen zyklusweisen Phasenstromausgleich mit schnellem Einschwingverhalten ermöglicht.

Das neue Regelschema ergab sich aus folgender Erkenntnis: Da das Highside-Stromsignal im Regelkreis entscheidend ist – eine direkte Messung aber nicht möglich ist, da eine sehr kurze Pulsdauer und Störungen (Rauschen) vorliegen – verwenden die neuen Mehrphasen-Controller von Intersil ein synthetisches Stromsignal, das künstlich erzeugt wird. Dies bietet den Vorteil, dass es störungsfrei ist und keinerlei Latenz aufweist. Das Grundprinzip ist, dass alle Parameter, die bei der Bestimmung des Phasenstroms beteiligt sind, direkt in jedem Zyklus gemessen werden, so dass der Controller den Strom ableiten kann. Bild 2 beschreibt den Verlauf des Stromsignals.

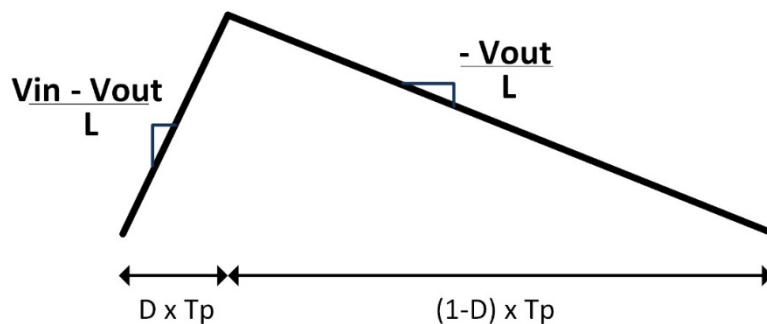


Bild 2: Verlauf des Induktorstroms

Die Steigung des Stromsignals bezieht sich auf die Eingangs-/Ausgangsspannung und die Induktivität. Durch kontinuierliches Messen der Spannung und Berechnung der Induktivität kann ein synthetisches Stromsignal erzeugt werden. Die Kalibrierung über reale Messungen beim Stromabfall ermöglicht es dem Controller, jeglichen Fehler aufgrund des Strom-Offsets oder der Steigung zu eliminieren. Dadurch lassen sich Veränderungen des Systems, z.B. durch Alterung, thermische Zyklen oder induktive Sättigung kompensieren. Zusätzlich zum internen störungsfreien Stromsignal kann der Controller so eingestellt werden, dass er die Regelkreislatenz berücksichtigt. Da die Induktorstromrampen auf die PWM eingestellt sind, die vom Controller ausgegeben wird, kann der digitale Regelkreis alle Laufzeitverzögerungen über Intersils Smart-Power-Stufen berücksichtigen, was die Latenz der internen Stromsignale beseitigt.

Diese Funktion ist nur einer der Vorteile, die durch die gesamte Schleifenregelung im digitalen Bereich mit Strom- und Spannungsinformationen genutzt werden können. Das Blockdiagramm in Bild 3 zeigt, dass die digitale Signalverarbeitung in verschiedenen Bereichen angewendet werden kann, um das Gesamtverhalten zu verbessern. Die Spannungsschleifenkompensation erfolgt mit konventionellen PID-Koeffizienten, die sich über Intersils PowerNavigator™ GUI in Echtzeit einstellen lassen. Liegen sehr enge Spannungsgrenzwerte vor, kann der Einschwingvorgang durch Wechselstromrückkopplung zusätzlich unterstützt werden. Einstellbare Filter und Schwellenwerte sind implementiert, um dynamische Laständerungen direkt in den Regelkreis zu implementieren, was eine schnellere Reaktion proportional zum Lastschritt ermöglicht.

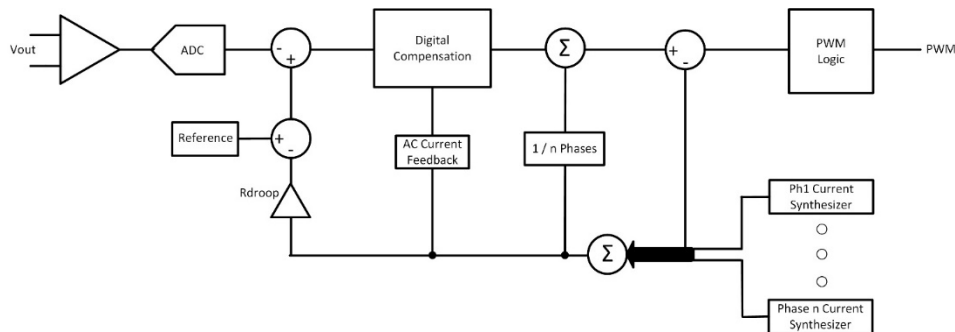


Bild 3: Blockdiagramm des Regelkreises

Vorteile der synthetischen Regelung

Mithilfe einer synthetischen Stromregelung kann eine mehrphasige Stromversorgung nun mit zyklusweisem Stromausgleich und schnellem Einschwingverhalten ausgelegt werden. Der Strom in jeder Phase ist bekannt, womit das System einen stabilen Betrieb bei kontinuierlichen Lastübergängen aufrecht erhält und alle Phasen den Strom gleichmäßig aufteilen. Zusammen mit Null-Latenz im Stromrückkopplungspfad ermöglicht die synthetische Regelung eine schnellere Reaktion bei Laständerungen, wodurch sich die Ausgangskapazität verringert. Auch bei Hochstrom-CPU's ist es nun möglich, durchgehend Keramik-Ausgangskondensatoren zu verwenden. Mit Null-Latenz, voller Bandbreite und digitalen Stromsignalen kann der Regelkreis die Ausgangsspannung genau entsprechend der Lastlinie positionieren und die exakte Reaktion des Lastprofils nachahmen. Dies vermeidet das herkömmliche analoge RC-Abklingen der Ausgangsspannungen, wenn diese auf die neue Zielspannung eingestellt werden.

Fazit

Die Mehrphasen-Regelungsarchitektur hat sich im Digitalbereich etabliert und sorgt somit für eine bessere Versorgung moderner Lasten, die hohe Ströme erfordern. Sie bietet die Möglichkeit, jede Einstellung per Software anzupassen, zu regeln und zu überwachen. Auf hohem Niveau wird damit die Entwicklung und Feineinstellung von Regelkreisen vereinfacht, da Software-Schnittstellen wie die PowerNavigator GUI zum Einsatz kommen, um ein vollständiges Design innerhalb von Minuten zu konfigurieren. Die Vorteile auf Leiterplattebene werden deutlich, wenn Systeme einem Debugging unterzogen werden. Die Möglichkeit, sofort den Status und den Zustand der Stromversorgung zu erkennen, Störungen durch anpassbare Filter zu beseitigen und eine Software-Regelung in Echtzeit umzusetzen erübrigt ein Re-Design der Leiterplatte. Diese immateriellen Vorteile sorgen dafür, dass sich die digitale Regelung sich in immer mehr Stromversorgungen durchsetzt.

Referenzen

- [Weitere Informationen über digital geregelte Mehrphasen-Controller](#)
- [Sehen Sie sich ein zusammenfassendes Video an](#)

Über die Renesas Electronics Corporation

Renesas Electronics Corporation bietet zuverlässige Embedded-Design-Innovationen mit kompletten Halbleiterlösungen, die Milliarden von vernetzten, intelligenten Geräten ermöglichen, die Art und Weise zu verbessern, wie Menschen arbeiten und leben - sicher und sicher. Als weltweit führender Anbieter von Mikrocontrollern, Analog-, Power- und SoC-Produkten bietet Renesas das Know-how, die Qualität und umfassende Lösungen für eine breite Palette von Anwendungen in den Bereichen Automotive, Industrie, Heimelektronik, Büroautomatisierung und Informationskommunikation, um eine grenzenlose Zukunft zu gestalten. Erfahren Sie mehr unter renesas.com

+1 408-432-8888 | © Renesas Elektronik Amerika. Alle Rechte vorbehalten. Renesas (und Design) sind Marken der Renesas Electronics Corporation oder einer ihrer Tochtergesellschaften. Alle anderen genannten Marken sind Eigentum ihrer jeweiligen Inhaber.