

Power-Module für drehzahlveränderliche Motoren

Evaluierung leicht gemacht

In den letzten Jahren haben verschiedene Halbleiterhersteller immer »intelligenter« Regelungsalgorithmen für drehzahlveränderliche Motoren implementiert. Eine andere bedeutende Hürde liegt jedoch in der Entwicklung und Integration der Leistungsstufe. Doch auch dieser Teil lässt sich nun mit entsprechenden Online-Tools evaluieren.

Ständig nimmt die Nachfrage nach Haushaltsgeräten wie Waschmaschinen, Kühlschränken und Klimaanlage zu, welche die Energieeffizienz zuhause verbessern. 30% Energie könnte die Umstellung von herkömmlichen Motoren mit fester Drehzahl auf einen drehzahlregelmäßigen Betrieb einsparen. Allerdings darf dieser höhere Wirkungsgrad den Endverbraucher nichts oder fast nichts extra kosten. Daher entstanden im Laufe der Zeit zahlreiche Lösungen, welche die Gesichtspunkte des digitalen Designs eines derartigen Projekts erleichtern, doch brauchen die Entwickler darüber hinaus integrierte Module und zugehörige Designwerkzeuge, die ihnen die Entwicklung der Leistungsstufe vereinfachen. Um kostengünstige Regler für drehzahlveränderliche Motoren zu ermöglichen,

waren die Komponentenanbieter bestrebt, die Kosten des Drehzahlreglers, des teuersten Teils des Systems, dadurch zu senken, dass sie das Design vereinfachten und die Komplexität seines Aufbaus verringerten. So entstanden beispielsweise verschiedene DSC-Plattformen (Digital Signal Controller), die DSPs und RISC-Prozessoren mit integrierter Peripherie zur Motorregelung einschließlich PWM-Modulen vereinten. Auf einer solchen programmierbaren Plattform lässt sich ein im eigenen Haus oder von einem Drittanbieter entwickelter Algorithmus zur Motorregelung einsetzen.

Es sind aber auch alternative Lösungen erhältlich, welche den Algorithmus zur Antriebsregelung direkt in Hardware implementieren, was die Schwierigkeiten der Softwareentwicklung und -integration vermeidet und gleichzeitig die Ausführung des Algorithmus zur Drehmoment- und Drehzahlregelung beschleunigt. Ein Beispiel dafür ist die Plattform »iMOTION« von International Rectifier. Sie bietet ein menügeführtes Konfigurationswerkzeug, über das



ein Ingenieur rasch Systemparameter eingeben kann, um seine Entwicklung fertig zu stellen. Egal, welche Lösung man bevorzugt, die hohen Ansprüche einer digitalen Regelung lassen sich mittlerweile recht schnell lösen, selbst von Ingenieuren, die nicht viel Erfahrung im Design von Antriebssteuerungen haben. Eine andere bedeutende Hürde liegt jedoch in der Entwicklung und Integration der Leistungsstufe. Die Konfiguration eines geeigneten Umrichters, einer Gate-Ansteuerung und der zugehörigen Schutzschaltungen setzt eine beträchtliche Erfahrung

im Design von Leistungselektronik voraus.

Integrierte Power-Module

Ein integriertes Power-Modul (IPM) wie die »IRAM«-Familie von International Rectifier (IR), das all diese Elemente in einer einzigen Einheit kombiniert, erleichtert das Design und liefert zusätzliche Vorteile, zu denen auch eine geringere Zahl von erforderlichen externen Bauelementen sowie eine höhere Zuverlässigkeit gehören.

Das IPM enthebt den Entwickler eines Großteils der

Bild 1: Benutzerschnittstelle von »iSine«

Jonah Chen

ist Applications Engineer und

Vijay Bolloju

ist Applications Manager,
beide im Motion & Automotive
Application Centre
von International Rectifier



Arbeit, welche mit der Entwicklung von Anwendungen zur Antriebssteuerung verbunden ist. Zum Beispiel sind die Gate-Impedanzen für eine geringere EMI (Electromagnetic Interference; Störaussendung) und einen geringeren Leistungsverlust voroptimiert; außerdem sind Bootstrap-Dioden sowie Widerstände zur Ansteuerung der High-Side-IGBTs integriert. Auch die Layout-Schwierigkeiten der Ansteuerung wurden angegangen, um Verluste infolge parasitärer Effekte zu minimieren und die thermische Performance möglichst groß zu halten. Darüber hinaus ist ein Schutz gegen Überstrom und Übertemperatur eingebaut. Der Ingenieur braucht lediglich noch das richtige IP-Modul für die beabsichtigte Applikation auszuwählen.

Doch selbst das kann eine entmutigende Aufgabe sein. Die Leistungsfähigkeit eines IPMs in einem System hängt von mehreren, eng mit dem jeweiligen Anwendungsfall zusammenhängenden Parametern ab, beispielsweise der Schaltfrequenz, dem Modulationsindex und der Gehäusetemperatur des Moduls. Datenblätter geben hier gewisse Leitlinien, doch sie beziehen sich normalerweise auf Standardbetriebsbedingungen. Um die Performance in einer spezifischen Anwendung vorherzusagen, benötigen die Entwickler zusätzliche Hilfe. Zu dieser Hilfe gehört auch die Auswahl des am besten geeigneten Moduls, die Abstimmung der wählbaren Parameter einschließlich der Schaltfrequenz sowie die Festlegung der Kühlkörpergröße, damit die Sperrschichttemperatur selbst unter Worst-Case-Betriebsbedingungen innerhalb der vom Hersteller festgelegten Grenzwerte bleibt.

Um das richtige IPM zu wählen, muss der Entwickler Informationen über die Anwendung zusammenstellen. Man denke zum Beispiel an einen Regler für eine Waschmaschine, der für den Betrieb mit einem Phasenstrom bis 3 A und einer Schaltfrequenz von 16 kHz bei einer DC-Busspannung von 320 V gedacht ist. Soll hier eine verbesserte Zuverlässigkeit als Verkaufsargument für das Endprodukt dienen, kann die spezifizierte maximale Sperrschichttemperatur ohne weiteres innerhalb der vom

Modulanbieter empfohlenen Grenzwerte liegen, nehmen wir mal +125 °C an.

Modellier-Tools

Die IPM-Familie »IRAM« von IR ist in einer Reihe von Nennströmen einschließlich 6-A- und 10-A-Modulen erhältlich, die sich beide für diese Anwendung eignen. Freilich wird – weil die Leistungsverluste unter den gegebenen Betriebsbedingungen für jedes Modul verschieden sind – auch der Kühlkörper, den man braucht, um die Sperrschichttemperatur unter +125 °C zu halten, unterschiedlich ausfallen. Die Berechnung des erforderlichen Wärmewiderstands (R_{th}) des Kühlkörpers setzt eine komplizierte Kenntnis des thermischen und elektrischen Verhaltens des IPMs voraus, um Leitungs- und Schaltverluste zu identifizieren und auf Grundlage dieser Daten die

Sperrschichttemperatur vorzusagen. Zwar erfolgt die Modellierung von Bedingungen im eingeschwungenen Zustand verhältnismäßig einfach, doch sind die Leistungsverluste in der Praxis nicht konstant. Im Betrieb fluktuiert die Sperrschichttemperatur über den durchschnittlichen eingeschwungenen Zustand hinaus, weil die Leistungsverluste mit einer Grundfrequenz schwanken, welche der Modulationsfrequenz des Umrichters entspricht. Ein weiterer wichtiger Aspekt ist die gegenseitige Erhitzung, da die mannigfaltigen Wärmequellen innerhalb des IPMs die Pfade vom Gehäuse zur Umgebung gemeinsam nutzen. Diesem Effekt ist Rechnung zu tragen, wenn das Modell des IPMs genau sein soll.

Detaillierte Modelle von integrierten Power-Modulen können für die Identifizierung und Auswahl geeigneter

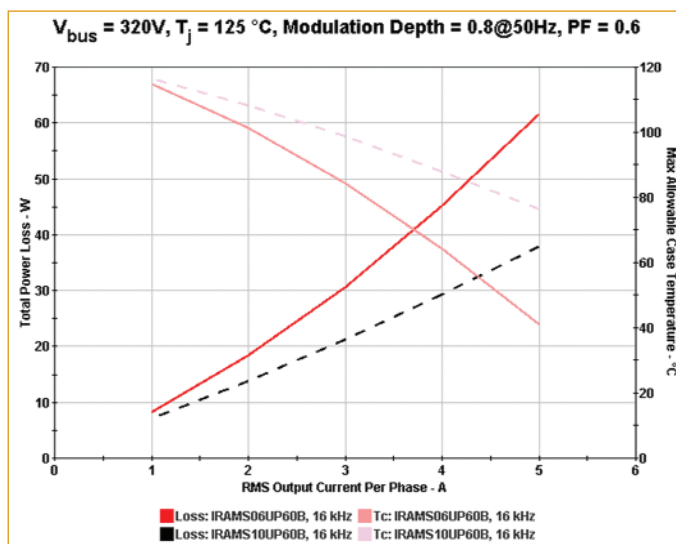


Bild 2: Ergebnisse eines Komponentenvergleichs von 6-A- und 10-A-Modulen mit iSine

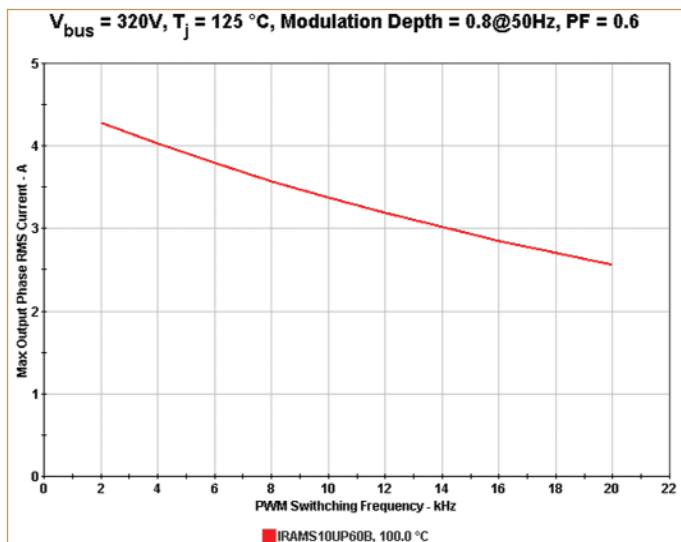


Bild 3: Schaltfrequenzanalyse des 10-A-IPM unter iSine

ter Modelle von großem Vorteil sein. Das Software-Tool »iSine« von International Rectifier beispielsweise enthält elektrische und thermische Modelle für die derzeit lieferbaren Module der IRAM-Serie. Dieses Werkzeug steht online bereit, um Ingenieuren dabei zu helfen, die Modulauswahl zu optimieren und die Auslegung des benötigten Kühlkörpers zu bestimmen.

»iSine« generiert mithilfe der entsprechenden Modelle für das gewählte Modul eine Reihe von Performance-Kurven, welche das IPM-Verhalten unter den vom Anwender eingegebenen Bedingungen beschreiben. Außerdem können die Anwender auch Parameter wie Schaltfrequenz, Leistungsfaktor und Modulationsindex verändern und erhalten so Leistungskurven, die individuell auf die Anwendung abgestimmt sind. Bild 1 zeigt die Anwenderschnittstelle von iSine mit einer menüartigen Eingabe der Anwendungsparameter und der Auswahl der Teilenummer. Sobald der Anwender das Teil auswählt, setzt iSine das entsprechende Modell zur Verlust- und Wärmeberechnung ein und stellt drei Analysewerkzeuge bereit, um dem An-

wender bei der Wahl des optimalen IPMs zu helfen:

- Schaltfrequenzanalyse, zur Berechnung des maximalen Motorstroms bei verschiedenen Schaltfrequenzen.
- Leistungsverlustanalyse, zur Erstellung von Leistungsverlust/Schaltfrequenz-Kurven für bis zu drei Modelle der IRAM-Serie.
- Komponentenvergleich, welcher Kurven für den Leistungsverlust und die Gehäusetemperatur zur Auswahl des Kühlkörpers erzeugt.

Ausgehend von dem bereits oben vorgestellten Designbeispiel lässt sich iSine zur

Berechnung des benötigten Wärmewiderstands des Kühlkörpers einsetzen. Bild 2 zeigt das Ergebnis der Komponentenvergleichsanalyse von iSine. Dargestellt sind sowohl der Leistungsverlust des Umrichters als auch die maximale Kühlkörpertemperatur für diese Anwendung. Bei 3 A betragen die Leistungsverluste 31 W beim 6-A-Modul und 21 W beim 10-A-Modul. Die maximal zulässige Gehäusetemperatur beträgt +84 °C beziehungsweise +99 °C für das 6-A- beziehungsweise das 10-A-Modul. Der benötigte $R_{th(S-A)}$ für den Kühlkörper lässt sich wie folgt berechnen:

$$R_{th(S-A)} = (T_C - T_A) / P - R_{th(C-S)}$$

Dabei steht T_C für die Temperatur des Modulgehäuses (Case), T_A für die Umgebungstemperatur (Ambient) und $R_{th(C-S)}$ für den Wärmewiderstand zwischen Modulgehäuse und Kühlkörper (Sink). Demnach berechnet sich der Wärmewiderstand für das 6-A-Modul zu 1 K/W, für das 10-A-Modul zu 2,2 K/W, wobei von einer Umgebungstemperatur von +50 °C und einem $R_{th(C-S)}$ von 0,1 K/W ausgegangen wurde.

Die Berechnungen weisen darauf hin, dass das kleinere IPM einen größeren Kühl-

körper benötigen wird. Deshalb sollte die endgültige Auswahl darauf hinauslaufen, Kosten und Größe des Gesamtsystems, einschließlich sowohl des IPMs als auch des Kühlkörpers, zu minimieren.

Gesamtkosten im Blick

Dieselbe Methode eignet sich auch zur Auswahl eines IPMs für den Einsatz in einer Klimaanlage. In dieser ist normalerweise ein 400-V-DC-Bus mit einem PFC-Eingangsteil kombiniert. Die Schaltfrequenz liegt niedriger als bei einer Waschmaschinenapplikation, um die Störabstrahlung zu begrenzen. Macht die Applikation einen Strom von 10 A bei 6 kHz Schaltfrequenz erforderlich, kann iSine die Kompromisse zwischen 16-A- und 20-A-IPMs aufzeigen.

Zudem lässt sich das Tool einsetzen, um die Auswirkung von Modulationsindex, Schaltfrequenz, Kühlkörpertemperatur und Leistungsfaktor auf den Nennstrom des Leistungsmoduls zu analysieren. Diese Informationen können den Ingenieuren dabei helfen, die geeigneten Systemparameter für eine optimale Lösung festzulegen. Zum Beispiel stellt die Schaltfrequenz einen wichtigen Designparameter dar. In diesem Fall lässt sich iSine verwenden, um den maximalen Motorstrom und die Leistungsverluste des IPM bei verschiedenen Schaltfrequenzen zu untersuchen (Bilder 3 und 4). Die Auswahl von bis zu drei Teilen in jeder Art von Analyse macht deutlich, dass der Leistungsverlust mit zunehmender Schaltfrequenz ansteigt, während der maximale Strom abnimmt. (rh)

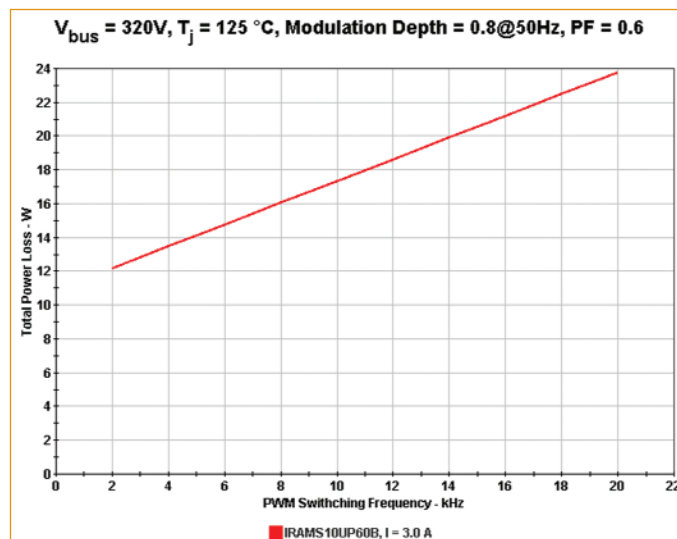


Bild 4: Leistungsverlustanalyse des 10-A-IPM unter iSine