

STROMVERSORGUNG



Kontaktlose Energieübertragungssysteme entwickeln

Entwickler kontaktloser Energieübertragungssysteme sehen sich mit grundsätzlichen Fragestellungen beim System- und Schaltungsentwurf konfrontiert. Viele Entscheidungen sind zu treffen – über die Art des Übertragungsverfahrens (resonante, kapazitive oder magnetische Kopplung), standardkonform oder proprietär, Effizienz. Letztlich ist die damit verbundene Schaltungstechnik auf Effizienz und EMV hin zu optimieren. Der folgende Überblick fasst die Vor- und Nachteile standardbasierter und proprietärer Übertragungsverfahren zusammen, erläutert die Schaltungstechnik und zeigt, worauf zu achten ist, um einen hohen Wirkungsgrad zu erzielen.

Von Thomas Oderwald und Matthieu Chevrier

Erste Standardisierungsaktivitäten im Bereich der kontaktlosen Energieübertragung begannen im Dezember 2008 durch das Wireless Power Consortium (WPC). Der vom WPC erarbeitete Qi-Standard liegt mittlerweile in der Version 1.1 vor. Das WPC zählt 109 Mitglieder – Telekommunikationsunternehmen, Elektronikgerätehersteller, Automobilzulieferer, Systemintegratoren, Halbleiterhersteller und Hersteller von passiven Bauelementen, Entwicklungsdienstleister sowie Testservice-Anbieter.

Proprietäre Systeme bringen einige Einschränkungen oder sogar Risiken mit sich. In aller Regel bietet nur ein

Hersteller Komponenten für ein solches proprietäres System an; eine Auswahl zwischen verschiedenen Anbietern und ein damit verbundener Preiswettbewerb sind nicht gegeben. Auch die Sicherheit der Versorgung mit solchen speziellen Komponenten ist reduziert gegenüber standardisierten Konstruktionen. Rechtssicherheit in Bezug auf Patente und mögliche Lizenzkosten sind bei proprietären Systemen schwer abschätzbar. Bei standardisierten Systemen hingegen wird die Technik im Rahmen eines Patent-Pools zu transparenten Konditionen zugänglich gemacht und der Wettbewerb stimuliert. So wurden innerhalb des Qi-Standards

seit seiner ersten Verabschiedung mittlerweile 12 neue Senderschaltungen hinzugefügt und es kommen ständig neue Konzepte hinzu. Der Qi-Standard ist primär ein Schnittstellenstandard, der die Kommunikationsschnittstelle sowie die physikalischen Schnittstellenelemente, wie die Senderspulen, beschreibt. Für konkrete Implementierungen speziell auf der Empfangsseite bietet er weitgehende Freiheitsgrade.

Nicht für alle Applikationen ist eine standardisierte, kontaktlose Energieübertragung mit Zertifizierung gemäß dem Qi-Schnittstellenprotokoll sinnvoll. Trotzdem können Standardkomponenten ohne Einschränkung genutzt werden, denn eine Zertifizierung nach Qi ist nicht vorgeschrieben. Die Vorteile eines Standards bleiben gleichwohl: große Auswahl an Zulieferern, Kostenvorteile, Rechtssicherheit, Forschung und Weiterentwicklung erfolgen durch viele Marktteilnehmer.

Sollte an die kontaktlose Energieübertragung eine technische Anforderung gestellt werden, die außerhalb des gegenwärtigen Standards liegt, z.B. eine Leistung >5 W, ist es sinnvoll, ein proprietäres Energieübertragungssystem zu entwickeln. Die grundlegende Technik hierfür ist erforscht und industrielle Implementierungen existieren. Näheres hierzu im folgenden Abschnitt. Da die Standardisierungsaktivitäten im

WPC kontinuierlich fortschreiten, ist es sinnvoll, sich regelmäßig auf dem Laufenden zu halten [1]. So befindet sich die Erweiterung des Qi-Standards auf 30 W gegenwärtig in der fortgeschrittenen Diskussion.

Unterschiedliche Arten der kontaktlosen Energieübertragung

Wie in Bild 1 dargestellt, lässt sich die kontaktlose Energieübertragung prinzipiell aufgrund der Distanz zwischen Sender und Empfänger in eine Übertragung im Nah- oder im Fernfeld unterteilen. Bei der Fernfeldübertragung handelt es sich um elektromagnetische Abstrahlungen im GHz- oder THz-Bereich (Mikrowellen oder Licht). Die kontaktlose Energieübertragung im Nahfeld beruht dagegen zumeist auf magnetischen oder elektrostatischen Feldern. Aufgrund des höheren erzielbaren Wirkungsgrades bei gleichzeitig geringerer Störabstrahlung wird im Folgenden nur auf die elektromagnetischen Induktionsverfahren mit induktiver oder magnetisch-resonanter Kopplung eingegangen. Bei beiden Verfahren ist der Übertragungswirkungsgrad proportional dem Produkt aus Kopplungsfaktor k und der Güte Q des Resonanzkreis ($\eta \sim k \times Q$). Bei der induktiven Energieübertragung wird mit Hilfe eines LC-Resonanzkreises der Kopplungsfaktor zur Wirkungsgradsteigerung genutzt. Bei magnetischer Resonanzkopplung wer-

den hingegen Spulen hoher Güte verwendet, um den Wirkungsgrad zu steigern und den Abstand zwischen Primär- und Sekundärspule zu vergrößern. Energieübertragungssysteme, die auf diesem Prinzip beruhen, befinden sich jedoch im Entwicklungsstadium und sind noch nicht verfügbar. Für den Qi-Standard liegen erste Vorschläge über geeignete Spulen zur magnetischen Resonanzkopplung vor, die gegenwärtig diskutiert werden. Nachfolgend wird nur die Funktionsweise der gegenwärtig am Markt verfügbaren und von offenen Standards unterstützten Techniken dargestellt.

Schaltungstechnik und Grundlagen

Das Prinzipschaltbild eines kontaktlosen Energieübertragungssystems ist in Bild 2 dargestellt. Der Sender wird z.B. aus einem Netzteil oder einem USB-Anschluss mit Gleichspannung versorgt und wandelt die Gleichspannung mit Hilfe einer Halbbrücke in ein Wechselstromsignal im Frequenzbereich von 100 kHz bis 205 kHz (für Qi-kompatible Systeme) um, welches in den LC-Resonanzkreis eingeprägt wird. Die in der sekundärseitigen Spule induzierte Wechselspannung wird von einem Brü-

ckengleichrichter in eine Gleichspannung gewandelt. Ein nachgeschalteter Spannungswandler regelt diese Spannung, so dass am Ausgang eine stabile Spannung zur Verfügung steht.

Das Verhalten vieler kontaktloser Energieübertragungssysteme, die im Nahfeld arbeiten, kann näherungsweise als einfacher Transformator modelliert werden. Ein Transformator hat üblicherweise zwei Windungen, die um

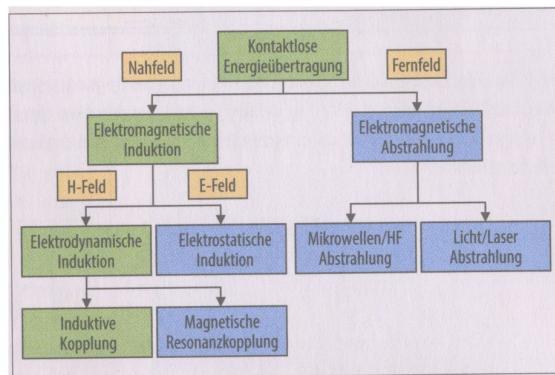


Bild 1. Die verschiedenen Methoden zur kontaktlosen Übertragung von Energie lassen sich in zwei Hauptgruppen unterteilen – je nach der Distanz zwischen Sender und Empfänger, die überbrückt werden soll.

ein Material hoher Permeabilität gewickelt sind. Dieser Kern trägt den magnetischen Fluss. Ein Großteil des Flusses wird aufgrund des hohen Kopplungsfaktors $k \geq 0,95$ in die sekundärseitige Wicklung induziert. Drei Parameter beschreiben diesen Zwei-Spulen-Transformer:

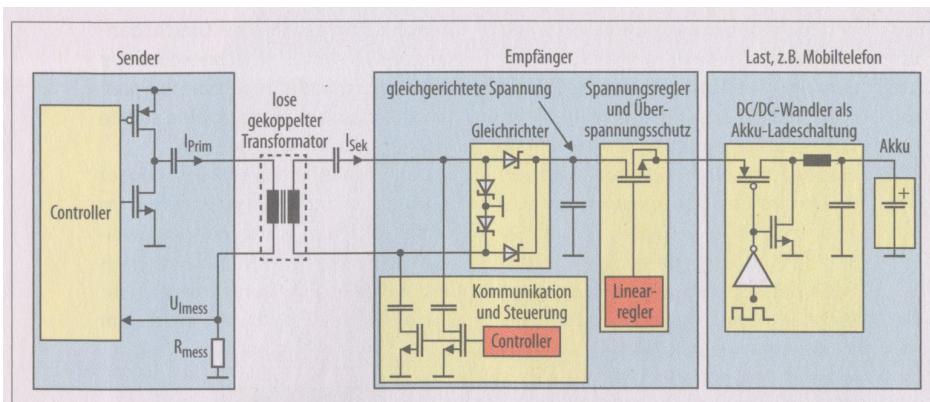


Bild 2. Das Blockschaltbild eines kontaktlosen Energieübertragungssystems – hier das Beispiel induktiver Kopplung, wie es im ersten Qi-Standard (5 W, 5 V / 1 A) definiert wurde, um den Akku eines Mobiltelefons zu laden – zeigt viel Ähnlichkeit mit einem DC/DC-Wandler mit galvanischer Trennung. Die Spulen des Leistungsübertragers befinden sich nur nicht auf einem gemeinsamen Kern.

- L_{11} – Selbstinduktivität der Spule 1
- L_{22} – Selbstinduktivität der Spule 2
- L_{12} – Koppelinduktivität der Spulen 1 und 2

Der Kopplungsfaktor zwischen beiden Spulen kann mit der Gleichung

$$k = \frac{L_{12}}{\sqrt{L_{11} \cdot L_{22}}} \quad (1)$$

beschrieben werden. Der Transformator kann nun mit Hilfe des Modells der gekoppelten Induktivitäten wie in Bild 3 modelliert werden. Die Knotenanalyse dieses aus zwei Spulen bestehenden Transformators unter Berücksichtigung des Zusammenhangs von Strömen und Spannungen an den Induktivitäten ergibt folgende Gleichungen:

$$u_1 = L_{11} \frac{di_1}{dt} + L_{12} \frac{di_2}{dt} \quad (2)$$

$$u_2 = L_{22} \frac{di_2}{dt} + L_{12} \frac{di_1}{dt} \quad (3)$$

Um die physikalischen Zusammenhänge besser zu verstehen, lässt sich das traditionelle Transformatormodell aus Bild 3 dahingehend vereinfachen, dass es nur aus einem idealen Transformator, einer Streuinduktivität und einer Magnetisierungsinduktivität besteht (Bild 4).

Für den idealen Transformator lässt sich nun das Übertragungsverhältnis anhand der Gleichungen

$$N_e = \frac{1}{k} \sqrt{\frac{L_{22}}{L_{11}}} \quad (4)$$

$$L_{mag} = k^2 \cdot L_{11} \quad (5)$$

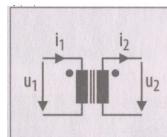


Bild 3. Das traditionelle Transformatormodell dient zur Darstellung eines verlustfreien idealen Transformators.

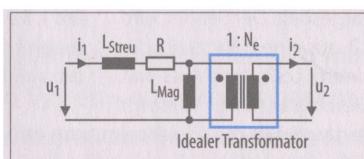


Bild 4. Im vereinfachten Transformatormodell sind die wichtigsten Verluste in drei separaten Komponenten zusammengefasst – Streuinduktivität, Gleichstromwiderstand und Magnetisierungsinduktivität.

bestimmen. Aufgrund hohen Kopplungsgrades oder der Tatsache, dass bei Qi-Systemen die Serienkapazität des Serienresonanzkreises die Streuinduktivität nahe der Resonanz kompensiert, kann die Spannungsübertragung von der primärseitigen zur sekundärseitigen Spule mit folgender Näherung beschrieben werden:

$$\frac{u_2}{u_1} = k \sqrt{\frac{L_{22}}{L_{11}}} \quad (6)$$

Ein auf dem WPC-Standard beruhendes Qi-System besteht aus zwei isolierten Spulen: einer Sendespule im Sender und einer Empfangsspule im Empfänger. Diese stellen ein eng gekoppeltes Spulensystem dar, welches als Zwei-Spu-

len-Transformator mit Luftspalt modelliert werden kann. Entscheidend für einen hohen Kopplungsfaktor sind nun die primär- und sekundärseitig genutzten ferromagnetischen Abschirmungen, welche einen magnetischen Kurzschluss darstellen und den magnetischen Fluss zwischen den beiden Spulen zwingen (Bild 5).

In einem Qi-System bewegt sich der Kopplungsfaktor k zwischen 0,2 und 0,7 und liegt damit deutlich niedriger als in einem normalen Transformator, bei dem 95 % bis 99 % des magnetischen Fluxes in die Sekundärseite ge-

koppelt wird. Den geringeren Kopplungsfaktor gilt es nun durch die Serienresonanzkapazitäten und den Betrieb nahe der Resonanzfrequenz zu kompensieren.

Um die spezifischen Eigenschaften einer Empfangsspule zu bestimmen, ist es zuvor notwendig, die speziellen Eigenschaften einiger Empfängerschaltkreise zu analysieren. So variiert die Spannung an der Gleichrichterkapazität des in Bild 2 gezeigten Empfängerschaltkreises in Abhängigkeit vom Laststrom. Diese Spannung wiederum bestimmt die benötigte Spannungsverstärkung des Übertragers.

Wie in Bild 6 zu sehen, variiert die Gleichrichterspannung je nach Lastfall zwischen 7,5 V und 5 V. Die lastabhängige Gleichrichterregelung dient der Minimierung der Verluste über dem als Linearregler ausgelegten Spannungsregler. Gleichzeitig muss für Lastsprünge ausreichend Spannung am Linearreglereingang (Energie im Gleichrichterkondensator) vorgehalten werden,

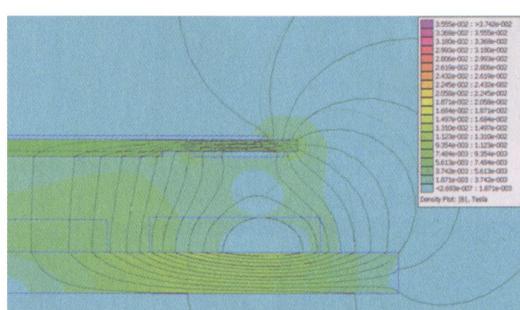


Bild 5. Die Simulation zeigt den Verlauf des magnetischen Flusses zwischen zwei eng gekoppelten Flachspulen, die auf der Rückseite durch je eine ferromagnetische Scheibe abgeschirmt werden – oben die Empfänger-, unten die Senderspule.

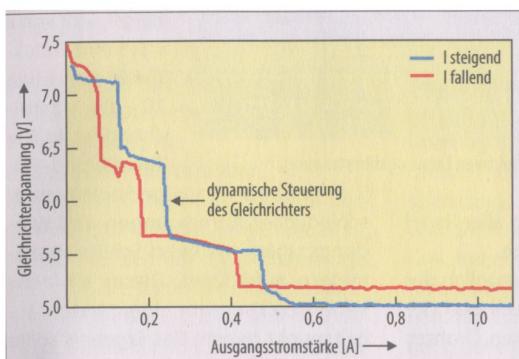


Bild 6. Die Ausgangsspannung des Gleichrichters eines Qi-Empfängers wird vom Sender geregelt und ist abhängig von der Laststromstärke. Für eine präzise Ausgangsspannung sollte ein Linearregler (LDO, siehe Bild 2) nachgeschaltet werden (Eingangsspannung des Senders: 19 V).

um bei einem Lastsprung von z.B. 1 A den Einbruch der Ausgangsspannung zu minimieren. Der Regelkreis des Gesamtsystems aus Primär- und Sekundärseite ist aufgrund seines langsamen Regelverhaltens – und des 2-kbit/s-Kommunikationskanals – dazu nicht in der Lage. Daher ist es wichtig, dass die Empfangsspule eine entsprechend hohe Spannung liefern kann.

Empfangsspulen bezüglich Wirkungsgrad und Abstrahlverhalten optimieren

Bei der Wirkungsgradoptimierung eines kontaktlosen Energieübertragungssystems sind alle Komponenten zu berücksichtigen und wenn möglich zu optimieren. Der Gesamtwirkungsgrad sowie die Wirkungsgrade einzelner Komponenten, eines konkreten kontaktlosen Energieübertragungssystems sind in **Bild 7** dargestellt. Die Senderspulen definiert der Qi-Standard genau. Hier stehen gegenwärtig 12 Senderspulenschaltungen zur Auswahl, wobei die Zahl kontinuierlich wächst. Da der Wirkungsgrad der Sender- und Empfängerschaltung durch den Einsatz von ICs oftmals nicht direkt zu beeinflussen ist, muss sich der Entwickler auf die Optimierung der Empfangsspulen konzentrie-

ren. Hier kann er die magnetische Abschirmung, die Drahtstärke, die Abmessungen (Länge × Breite × Höhe) und die Anzahl der Windungen wählen.

Die magnetische Abschirmung hat hauptsächlich zwei Funktionen. Zum einen bildet sie einen Pfad für den magnetischen Fluss und verhindert das Einkoppeln des Magnetfeldes in benachbarte metallische Objekte. Ein solches Einkoppeln wür-

de zur Induktion von Wirbelströmen führen und ohmsche (thermische) Verluste mit sich bringen. Zum anderen ermöglicht die Abschirmung prinzipiell höhere Induktivitätswerte bei geringerer Windungszahl. Eine geringe Anzahl von Windungen wiederum reduziert den Drahtwiderstand der Empfangsspule und damit ihre Verlustleistung. Eine dickere Abschirmung kann einen größeren magnetischen Fluss leiten (höherer Sättigungsfluss) und verhindert so die übermäßige Erwärmung metallischer Objekte in der Nähe der Empfangsspule, wie z.B. ein Akku. Die unterschiedlichen Materialien zur magnetischen Abschirmung weisen Vor- und Nachteile auf. So haben Ferrite eine höhere Permeabilität als gepresstes Eisenpulver, weisen aber einen niedrigeren Sättigungsfluss auf, wenn die Dicke des Materials reduziert wird. Mittlerweile bietet eine große Anzahl von Herstel-

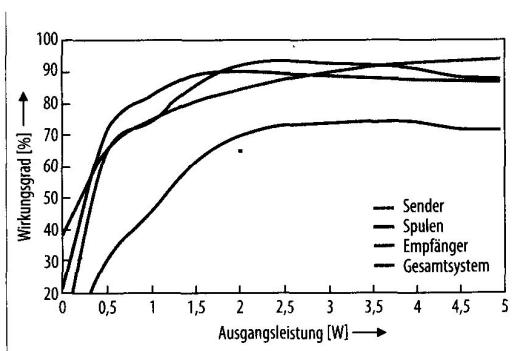


Bild 7. Wirkungsgrad eines kontaktlosen Energieübertragungssystems mit den Wirkungsgraden einzelner Stufen ($U_{E-Sender} = 19 \text{ V}$, $U_{A-Empfänger} = 5 \text{ V}$). Der Gesamtwirkungsgrad wurde für das komplette System berechnet, von der Eingangsspannung der Senderschaltung (19 V) bis zum 5-V-Ausgang des Empfängers.

Abmessungen [mm]	Anzahl der Windungen N	Ausgangsspannung UA [V]	Ausgangsleistung PA [W]	Selbstinduktivität L22 [μH]	Kopplungsfaktor k
48 × 32	15	5	5	12	~0,6
28 × 14	24	5	2,5	33	~0,25
35 × 35	24	7	5	22	~0,5

Tabelle. Beispiele von typischen Empfängerspulen eines Qi-Standard-kompatiblen Systems zur induktiven Leistungsübertragung.

lern, wie z.B. E&E, Elytone, Mingstar, Panasonic, TDK, TOKO und Vishay, Kerne und Abschirmungen für die kontaktlose Energieübertragung und den Qi-Standard an.

Die Auswahl der geeigneten Drahtstärke der Empfangsspule basiert auf einer Abwägung zwischen den Kosten und dem angestrebten elektrischen Verhalten. Geätzte Flachspulen auf der Leiterplatte sind sicherlich die kostengünstigste Bauart, weisen jedoch den höchsten seriellen Widerstand auf. Mit einem dickeren oder doppeladrigem Draht sinkt zwar der Wicklungswider-

stand, aber dafür steigen in aller Regel die Kosten und die Bauhöhe.

Sobald eine Auswahl bezüglich der Abschirmung, der Abmessungen der Spule und des verwendeten Drahtes erfolgt ist, wird über die Anzahl der Windungen die Induktivität der Empfangsspule festgelegt. Wie schon erwähnt, bestimmt diese Induktivität zusammen mit dem Kopplungsfaktor die Spannungsverstärkung und damit die Spannung am Speicher kondensator des Gleichrichters als auch die maximal verfügbare Leistung des Empfängers.

Um den Induktivitätswert der Empfangsspule in erster Näherung zu bestimmen, wird zuerst die Sendespule ausgewählt, z.B. Qi-Standard Typ A1 ($U_E = 19 \text{ V}$) mit einer Induktivität $L_s = 24 \mu\text{H}$. Mit einem Abschirmungsmaterial mit einer Permeabilität >20 und einer Empfangsspule, die ca. 70 % bis 80 % des Sendespulendurchmessers aufweist, kann für planare, ein- oder zweilagig gewickelte Spulen mit einem Kopplungsfaktor von ca. 0,5 gerechnet werden, wenn der z-Abstand zwischen beiden Spulen nicht größer als 5 mm ist – wie im Qi-Standard gefordert. Des Weiteren ist die Spannungsverstärkung anhand der durchschnittlichen Gleichrichterspannung zu bestimmen. Die Werte der Spannungsverstärkung lassen sich aus Bild 6 ablesen. Für eine durchschnittliche Gleichrichter-Ausgangsspannung von z.B. 6 V ergibt sich für die Spannungsverstärkung ein Wert von 0,32 (6 V/19 V).

Leicht umgeformt ergibt sich aus Gleichung 6:

$$u_2 = k \cdot u_1 \sqrt{\frac{L_{22}}{L_{11}}} \quad (7)$$

$$L_{22} \sim N^2 \quad (8)$$

Die sekundärseitige Induktivität ist proportional zum Quadrat der Anzahl der Windungen. Hiermit lässt sich abschätzen, dass für ein 5-W-System (5 V Ausgangsspannung) und einen Kopp-

lungsfaktor von $k = 0,5$ eine Induktivität von etwa $10 \mu\text{H}$ ausreichend ist. In der Tabelle sind einige Spulen unterschiedlicher Abmessungen und Windungszahlen mit ihren Schlüsselparametern aufgelistet. Dieses einfache Verfahren kann nur einen ersten Anhaltspunkt geben. Das Ergebnis sollte

schiedlicher Abmessungen und Windungszahlen mit ihren Schlüsselparametern aufgelistet. Dieses einfache Verfahren kann nur einen ersten Anhaltspunkt geben. Das Ergebnis sollte

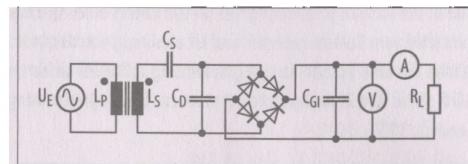


Bild 9. Schaltung zur Analyse des frequenzabhängigen Arbeitspunktes eines Systems zur kontaktlosen Energieübertragung nach dem Qi-Standard.

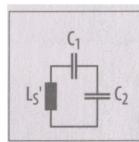


Bild 8. Ersatzschaltbild des Empfänger-Doppelresonanzkreises mit Empfängerspule L_s' .

anhand von Simulationswerkzeugen überprüft und gegebenenfalls angepasst werden.

Im nächsten Schritt erfolgt die messtechnische Überprüfung der Ergebnisse gemäß dem Qi-Standard [1]. Dabei werden auch die Parameter L_s und L_s' ermittelt. Nun kann der sendeseitige Resonanzkreis optimiert werden. Dieser Resonanzkreis besteht aus einem Serien- (C_1) und einem Parallelkondensator (C_2) wie in Bild 8 dargestellt. C_1 lässt sich anhand der Gleichung

$$C_1 = \frac{1}{(100 \text{ kHz} \cdot 2\pi)^2 \cdot L_s'} \quad (9)$$

bei einer Resonanzfrequenz von 100 kHz – das System wird etwas oberhalb dieser Frequenz betrieben – und dem messtechnisch ermittelten Wert von L_s' ermitteln. Für die Bestimmung von C_2 dient die Gleichung

$$C_2 = \frac{1}{(1 \text{ MHz} \cdot 2\pi)^2 \cdot \left(L_s - \frac{1}{C_1} \right)} \quad (10)$$

Für die 2. Resonanzfrequenz wird der Wert 1 MHz eingesetzt. Abschließend wird die Güte Q anhand der Gleichung

$$Q = \frac{(2\pi \cdot 1 \text{ MHz} \cdot L_s)}{R} \quad (11)$$

überprüft. Sie muss größer als 77 sein.

Für einen sicheren Betrieb sind jedoch einige spezielle Arbeitspunkte besonders zu betrachten und die frequenzabhängigen Lastkennlinien ge-

nau zu analysieren. Diese Analyse deckt zwei wichtige Punkte eines Qi-Standard-kompatiblen Systems ab:
 → das Verhalten der Schaltung im Arbeitspunkt und
 → das transiente Verhalten.
 Eine für diese Prüfung geeignete Testschaltung ist in Bild 9 dargestellt. Bei L_p handelt es sich um die primärseitige, bei L_s um die sekundärseitige Spule. C_s stellt die sekundärseitige Serienkapazität (C_1 in Bild 8) und C_D die sekundärseitige Parallelkapazität (C_2 in Bild 8) dar. C_{G1} ist der Stützkondensator des Diodengleichrichters; dieser sollte eine Spannungsfestigkeit von mindestens 25 V und einen Wert von wenigstens 10 μ F aufweisen. Der Diodengleichrichter sollte mit Schottkydioden aufgebaut sein und kann als Halb- oder Vollweggleichrichter ausgelegt sein. Ein Spannungs- und Strommessgerät in Verbindung mit einem der antizipierten Last entsprechenden Lastwiderstand komplettieren den Messaufbau. Die Testprozedur läuft wie folgt ab:

- 1. Auf der Primärseite wird eine Wechselspannung von 19 V mit einer Frequenz von 200 kHz eingespeist.
- 2. Auf der Sekundärseite wird die gleichgerichtete Spannung in Abhängigkeit von der Last gemessen und aufgezeichnet – von Leerlauf bis Vollast.
- 3. Diese Prozedur wird für niedrigere Frequenzen wiederholt – bis 110 kHz.

In Bild 10 sind die in einer solchen Messreihe aufgenommenen Kennlinien dargestellt. Für eine bestimmte Frequenz stellt sich eine laststromabhängige Gleichrichterspannung ein (siehe Bild 6) – z.B. für 1 A eine Gleichrichterspannung von 5,15 V. Konsequenterweise liegt die Arbeitsfrequenz zwischen 150 kHz und 160 kHz, was einem zulässigen Arbeitspunkt gemäß der Qi-Spezifikation (110 kHz – 205 kHz) entspricht.

In Bezug auf die Transientenanalyse sind zwei Punkte von besonderer Bedeutung. Zum einen muss die Gleichrichterspannung, die sich bei der analogen Ping-Frequenz (175 kHz) des Systems ergibt, oberhalb der Abschaltschwelle (U_{min}) des Empfängerbausteins liegen. Das Senden mit kleiner Leistung auf Ping-Frequenz dient dem Aufwecken des Empfängers. Sollte die Gleichrichterspannung unterhalb dieser Schwelle liegen, würde der Empfänger nie aufwachen. Der zweite Punkt, der von Bedeu-

tung ist, ist das Lastsprungverhalten. Für eine feste Frequenz – hier: 140 kHz, blaue Linie in Bild 10 – muss das Energieübertragungssystem aus dem Leerlauf heraus (Gleichrichterspannung: 7 V) den vollen Laststrom von 1 A mit einer Gleichrichterspannung von mindestens 5,15 V liefern können. Nur dann kann am Ausgang eine auf 5 V geregelte Spannung stabil abgegeben werden. Diese Analyse ist notwendig, da ein Qi-System ein langsames Regelverhalten aufweist. Wenn dieses transiente Verhalten aufgrund einer falsch dimensionierten sekundärseitigen Induktivität nicht sichergestellt werden kann, führt ein solcher Lastsprung zu einem Spannungseinbruch. Da die Kopplung zwischen Primär- und Sekundärspule mit zunehmender Dezentrierung der Spulen abnimmt, sollten die Arbeitspunktkenntlinien auch für unterschiedliche Grade der Dezentrierung aufgenommen werden, um einen sicheren Betrieb gewährleisten zu können. hs



Thomas Oderwald

ist als Produkt Marketing Manager bei Texas Instruments für Power-Management-ICs in Europa, Nahost und Afrika zuständig. Er hat mehr als 20 Jahre Erfahrung in der Halbleiter-Industrie gesammelt – in den Bereichen IC-Entwicklung, Produkt-Marketing und Vertrieb – und arbeitet seit sieben Jahren für TI. Seit mehr als drei Jahren liegt sein Fokus auf Power-Management-ICs für mobile Geräte. Thomas Oderwald hat einen Abschluss in Elektrotechnik der Ruhr-Universität Bochum.

epic@ti.com



Matthieu Chevrier

leitet im Marketing von Texas Instruments für Europa, Nahost und Afrika die Entwicklung des Produktspektrums für den Energiemarkt. Er kam 2002 als Applikationsingenieur zu TI

und wechselte später ins Marketing für digitale SoCs und Analog/Mixed-Signal-ICs. Vor seiner Zeit bei TI war Matthieu Chevrier als Basisband-Entwickler und als Wartungs- und Qualitäts-Ingenieur in der Automobil- und der Mobilfunk-Industrie tätig. Seit drei Jahren konzentriert er sich auf Applikationen im Bereich Energy Harvesting und Energiespeicherung. Er hat Elektronik (Master) an der Supélec in Metz, Frankreich, studiert.

epic@ti.com

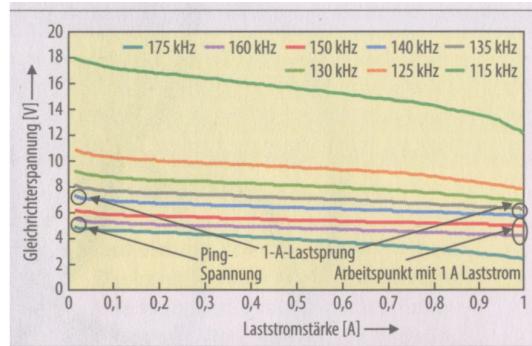


Bild 10. Die Messungen zur Bestimmung der frequenzabhängigen Arbeitspunkte eines Qi-Standard-Systems führen zu einer Kurvenschar. Anhand der für die Empfängerschaltung geforderten Spannung lässt sich daraus die Resonanzfrequenz ablesen.

Literatur

- [1] Wireless Power Specification Part 1, Version 1.1, section 4.2.2.1. www.wirelesspowerconsortium.com/downloads/wireless-power-specification-part-1.html
- [2] Building a Wireless Power Transmitter. Application Report SLUA635, März 2012, www.ti.com/lit/an/slua635/slua635.pdf