

SCOUT 2010

Leitfaden für Elektronik-Entwickler

Chancen und Grenzen der kontaktlosen Energieübertragung:

Der Strom kommt aus der Luft

>> Seite 22

Elektromechanik: Steckverbinder-trends bei USB 3.0 und M12

>> Seite 15

Messtechnik: Mixed-Signal-Oszilloskope im Trend

>> Seite 18

Energiemanagement: Statistik spart Energie

>> Seite 29

Leiterplatten: Thermische Simulation und Kühlung

>> Seite 32

Industriecomputer: Embedded Computing im Atom-Zeitalter

>> Seite 39



INTERVIEW

„Die technischen Grenzen der Strukturverkleinerung werden wir im nächsten Jahrzehnt erreichen.“

>> Seite 6

Software:

Test mit SPICE-konformen Prozess-Assessment-Modellen

>> Seite 36

Embedded Design:

Verteilte Embedded-Systeme – Anforderungen und Risiken

>> Seite 42

Stromversorgung aus dem HF-Feld

Chancen und Grenzen der kontaktlosen Energieübertragung

Die kontaktlose Energieübertragung hat Dank ihrer Vorteile ein weites Anwendungsspektrum. Sie kann einerseits zur Steigerung des Komforts eingesetzt werden und ermöglicht andererseits auch vollkommen neue Anwendungen. Dieser Artikel beschreibt die physikalischen Grundlagen und die technischen Grenzen – und erklärt, warum heute die kontaktlose Energieübertragung nur auf kurze Distanzen effizient und sicher genutzt werden kann.

Von Peter Wambsganß und Prof. Dr.-Ing. Nejila Parspour



Physikalische Grundlage für die kontaktlose Energieübertragung im Nahfeldbereich ist entweder die kapazitive oder die induktive Kopplung. Die Ausgangsbedingungen für die kapazitive Energieübertragung sind wegen des großen Unterschiedes zwischen Permeabilitäts- und Dielektrizitätskonstante wesentlich ungünstiger. Die bei kapazitiver Kopplung benötigten Treiberspannungen und Frequenzen führen bereits bei der Übertragung vergleichsweise niedriger Leistung zu hohen Verlusten. Demgegenüber sind die zu überwindenden

technischen Schwierigkeiten bei induktiver Kopplung weitaus geringer, mit der Folge, dass induktive Energieübertragungssysteme deutlich effizienter sind.

Eine wichtige Kenngröße gekoppelter Spulen ist der Kopplungsfaktor. Der Strom der in Bild 1 dargestellten Spule 1 erzeugt den magnetischen Fluss Φ_1 , wovon der Anteil $\Phi_{21} < \Phi_1$ die zweite Spule durchdringt und darin eine Spannung induziert, die zur Versorgung eines Verbrauchers genutzt werden kann. Die magnetische Kopplung zwischen den Spulen wird

durch das Verhältnis der magnetischen Flüsse Φ_{21} / Φ_1 beschrieben. Der Kopplungsfaktor k ist definiert durch die Gleichung:

$$k = M \times \sqrt{L_1 \times L_2} \quad (1)$$

L_1 und L_2 bezeichnen dabei die Selbstinduktivitäten der Spulen, M ist die Gegeninduktivität zwischen den beiden Spulen. Für einfache Spulensysteme, wie z.B. die Ringspulen aus Bild 1a, kann der Kopplungsfaktor näherungsweise analytisch berechnet werden. Es ergibt sich die Kurvenschar in Bild 1b. Die einzelnen Kurven entsprechen unterschiedlichen vertikalen Abständen. Der Kopplungsfaktor hängt stark vom Versatz der Spulen in x - und z -Richtung ab.

Eine Verbesserung der Kopplung kann durch Einsatz ferromagnetischer Materialien erreicht werden, die z.B. ober- und unterhalb der Spulen angebracht werden und den magnetischen Fluss bündeln. Die Ferrite wirken zusätzlich als Schirm und reduzieren das Induzieren von Störspannungen in benachbarte Schaltungsteile. Eine analytische Berechnung des Kopplungsfaktors und anderer Kenngrößen des Spulensystems ist in diesem Fall jedoch aufwendig oder nicht mehr möglich.

Das elektrische Ersatzschaltbild zweier gekoppelter Spulen mit ver-

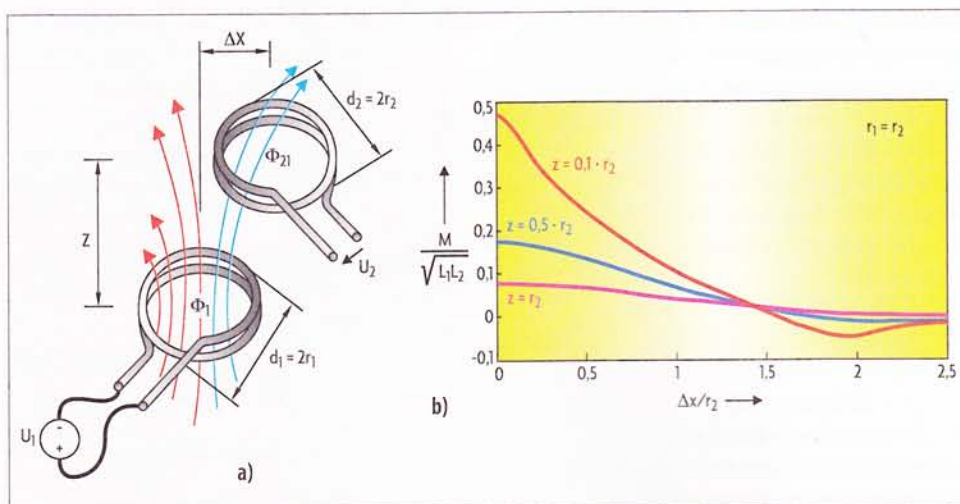


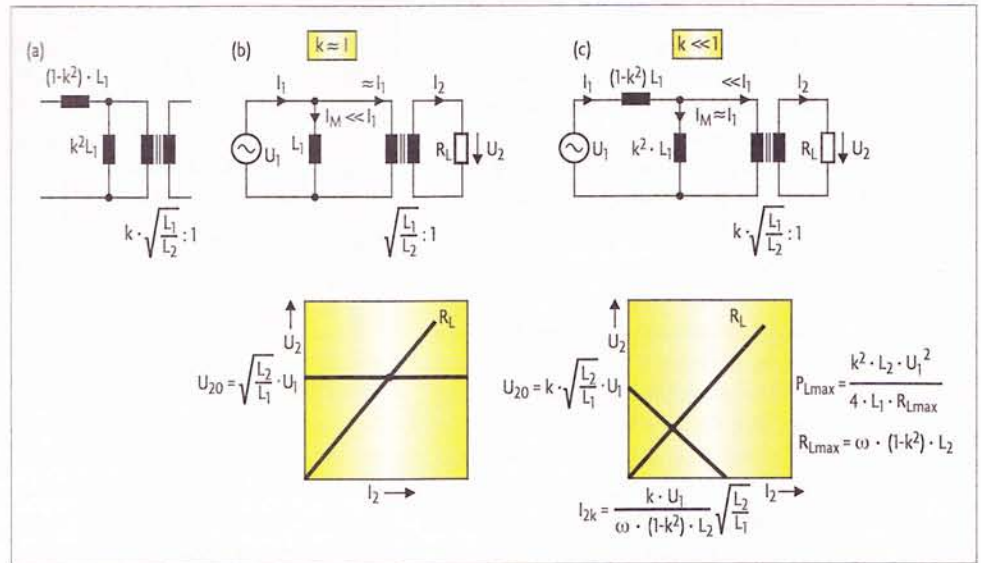
Bild 1. Das Prinzip der induktiven Energieübertragung: Zwei Zylindrische Luftspulen (a) im Abstand z und mit lateralem Versatz Δx sind über einen gemeinsamen magnetischen Fluss Φ_{21} gekoppelt. Die magnetische Kopplung zwischen den beiden Spulen ist abhängig vom Versatz in x - und z -Richtung (b).

nachlässigbaren Verlustwiderständen ist in Bild 2 dargestellt (a). Bei ideal fester Kopplung ($k = 1$) verschwindet die Längsinduktivität im Ersatzschaltbild (Bild 2b). Die Ausgangsspannung hängt nur von der Eingangsspannung und vom Verhältnis der Selbstinduktivitäten ab. Die Ausgangsleistung ist zumindest theoretisch unbegrenzt. Der Magnetisierungsstrom I_M durch die Querinduktivität bewirkt eine Phasenverschiebung zwischen Eingangsstrom und -spannung, d.h., die Anordnung nimmt Blindleistung auf. Der Magnetisierungsstrom lässt sich jedoch z.B. durch Erhöhung der Windungszahl oder der Frequenz so weit reduzieren, dass er gegenüber dem Eingangsstrom vernachlässigt werden kann.

Ganz anders sind die Verhältnisse bei loser Kopplung (Bild 2c). Die Längsinduktivität im Ersatzschaltbild kann hier nicht mehr vernachlässigt werden und bildet mit der Querinduktivität einen Spannungsteiler, wodurch die Leerlaufausgangsspannung U_{20} reduziert wird. Die Längsinduktivität begrenzt außerdem den Kurzschlussstrom I_{2k} . Der Verlauf der Ausgangskennlinie in Bild 2c zeigt eine starke Abhängigkeit der Ausgangsspannung sowohl vom Kopplungsfaktor als auch von der Last. Die maximale Ausgangsleistung ist auf den Wert P_{Lmax} begrenzt. Die niedrige Querinduktivität hat zur Folge, dass ein großer Teil des Eingangsstroms als Magnetisierungsstrom nur im Primärkreis fließt und eine hohe Blindleistungsaufnahme zur Folge hat, die mit sinkendem Kopplungsfaktor stark zunimmt. Dies wirkt sich negativ auf den Wirkungsgrad aus, da der große Magnetisierungsstrom in den parasitären Widerständen der Bauteile im Eingangskreis Verluste generiert.

■ Kompensation der Induktivitäten

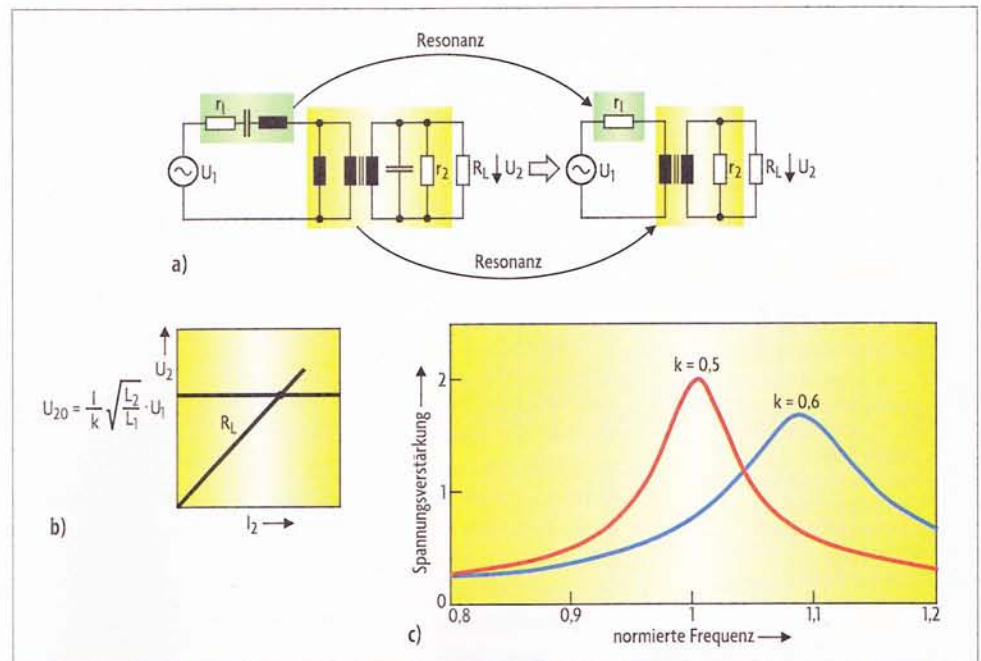
Bei loser Kopplung sind die eingeschränkte Leistungsübertragung und die hohe Eingangsblindleistung auf die Wirkung der Längs- und Querinduktivitäten im Ersatzschaltbild zurückzuführen. Es liegt nahe, diese Induktivitäten durch Reihen- bzw. Parallelschalten von Kapazitäten zu kompensieren. Im Beispiel in Bild 3 wird zur



■ Bild 2. Die Ersatzschaltung eines Transformators (a) lässt sich bei ideal fester Kopplung ($k = 1$) vereinfachen (b). In dieser Betriebsart ist die Ausgangsspannung lastunabhängig und die Eingangsimpedanz induktiv. Bei loser Kopplung ($k \ll 1$) ist die Ausgangsspannung stark von Last und Kopplungsfaktor abhängig (c).

Längsinduktivität ein Kondensator in Reihe geschaltet (a). Es entsteht, unter Berücksichtigung von Verlusten, ein Serienresonanzkreis, dessen Impedanz bei Resonanz gleich dem Verlustwiderstand r_1 ist. Zur Kompensation der Querinduktivität wird eine Kapazität parallel zur Sekundärspule geschaltet. Es entsteht ein Parallelresonanzkreis, dessen Impedanz bei Resonanz gleich dem Verlustwiderstand r_2 ist. Hierbei wurden die Verlustwiderstände der

Spulen und Kapazitäten zu äquivalenten Reihen- bzw. Parallelwiderständen zusammengefasst. Werden die Kapazitätswerte so ausgewählt, dass beide Resonanzkreise bei der Betriebsfrequenz in Resonanz sind, wird die Wirkung der Induktivitäten aufgehoben. Die Ausgangskennlinie in Bild 3b illustriert, dass die Ausgangsspannung unter Vernachlässigung der Verlustwiderstände nicht von der Last abhängt und somit die Ausgangsleistung nicht



■ Bild 3. Durch die Kompensation der Längs- und Querinduktivitäten (a) wird aus dem Übertrager ein Schwingkreis. Bei Resonanzfrequenz verhält sich die Anordnung ähnlich dem Betrieb mit fester Kopplung: Die Ausgangsspannung ist lastunabhängig (b), allerdings verschiebt sich mit der Kopplung die Resonanzfrequenz (c).

begrenzt ist. Da alle induktiven Blindwiderstände durch entsprechende kapazitive Blindwiderstände kompensiert wurden, wird keine Blindleistung aufgenommen.

Durch die Resonanzkreise werden sowohl die Ausgangsspannung als auch die Blindleistungsaufnahme stark frequenzabhängig. Das Diagramm in Bild 3c zeigt den Verlauf der Spannungsverstärkung U_2 / U_1 als Funktion der auf die Resonanzfrequenz normierten Frequenz für verschiedene Kopplungsfaktoren. Es wurde $L_1 = L_2$ angenommen. Entspricht die Betriebsfrequenz der Resonanzfrequenz, ist die Spannungsverstärkung gleich $1/k$. Variiert die Betriebsfrequenz z.B. durch Drift des Oszillators, fällt die Ausgangsspannung stark ab. Gleiches gilt, wenn die Resonanzfrequenz aufgrund von Bauteiltoleranzen vom Sollwert abweicht. Die blaue Kurve in Bild 3c zeigt den Effekt eines variierenden Kopplungsfaktors. Hier wurde der Kopplungsfaktor von 0,5 um 0,1 auf 0,6 erhöht, ein Fall der in induktiven Energieübertragungssystemen aufgrund von Positionierungstoleranzen auftreten kann. Auch hier gilt, dass die Spannungsübertragung sehr empfindlich auf Änderungen des Kopplungsfaktors reagiert.

Die in den Resonanzkreisen zirkulierende Blindleistung ist um so größer, je kleiner der Kopplungsfaktor wird. Die mit dieser Blindleistung verbundenen Resonanzspannungen und -ströme können um ein

Vielfaches höher sein als die Ausgangsspannung oder der Ausgangsstrom. Das Verhältnis zwischen der Resonanzspannung über den Reaktanzen und der Spannung über dem Serienresonanzkreis bzw. dem Resonanzstrom in den Reaktanzen und dem Strom im Parallelresonanzkreis wird als Güte Q bezeichnet. Die Betriebsgüte liegt

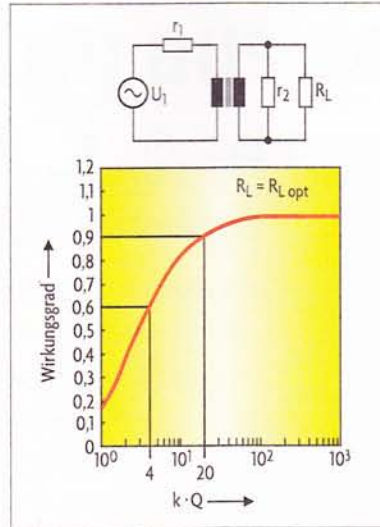


Bild 4. Der Wirkungsgrad – dargestellt als Funktion von $k \times Q$ – ist maximal, wenn der Lastwiderstand gleich $R_{L\text{opt}}$ ist.

typischerweise im Bereich zwischen 5 und 20. Die Bauelemente in den Resonanzkreisen müssen für diese Beanspruchung ausgelegt werden.

Wirkungsgrad – von vielen Faktoren abhängig

Das Ersatzschaltbild des induktiven Energieübertragungssystems bei Resonanz ist in Bild 4 oben wiedergegeben. Die Verluste in den parasitären Widerständen r_1 und r_2 vermindern den Wirkungsgrad des Systems. Der Wirkungsgrad hängt zudem vom Kopplungsfaktor k , vom Lastwiderstand R_L und von den unbelasteten Güten Q_1 und Q_2 der Resonanzkreise ab:

$$\eta = \frac{k^2 \times Q^2}{1 + k^2 \times Q^2 \times \frac{R_L}{R_L + r_2}} \times \frac{r_2 \times R_L}{(R_L + r_2)^2}$$

mit: $Q = \sqrt{Q_1 \times Q_2}$

$$Q_1 = \frac{\omega_0 \times L_1}{\eta} \quad (2)$$

$$Q_2 = \frac{r_2}{\omega_0 \times L_2}$$

Der Wirkungsgrad ist maximal, wenn der Lastwiderstand gleich $R_{L\text{opt}}$ ist:

$$R_{L\text{opt}} = \frac{r_2}{\sqrt{1 + k^2 \times Q^2}} \quad (3)$$

Der maximale Wirkungsgrad als Funktion von $k \times Q$ ist ebenfalls in

Bild 4 dargestellt. Daraus kann entnommen werden, dass für einen Wirkungsgrad von 90 % der Wert $k \times Q$ ca. 20 sein muss. Dies entspricht einer Güte, die bei einem Kopplungsfaktor von 0,4 dem Wert $Q = 50$ entspricht. Ein kleiner Kopplungsfaktor kann zwar durch eine große Güte ausgeglichen werden, bei konstantem Volumen ist eine Steigerung der Güte Q jedoch nur begrenzt möglich. Beispielsweise kann bei einem gegebenen Volumen durch Verkleinern des Drahtdurchmessers die Anzahl der Windungen und somit die Induktivität einer Spule zwar vergrößert werden, jedoch nimmt gleichzeitig der Verlustwiderstand der Spule zu und die Güte der Anordnung bleibt unverändert. Die Spulengüte steigt mit der Frequenz an und erreicht ihr Maximum bei der Selbstresonanzfrequenz der Spule. Die Selbstresonanzfrequenz wird durch die Selbstinduktivität und die parasitäre Wicklungskapazität bestimmt. Bei der Auslegung ist auch die Frequenzabhängigkeit der Verlustwiderstände r_1 und r_2 zu berücksichtigen. Diese nehmen mit steigender Frequenz aufgrund von Wirbelströmen in den Leitern und dielektrischen Verlusten zu [1, 2].

Die jüngste Entwicklung ist die kabellose Übertragung von Energie über Entfernungen von mehreren Metern. Forscher am MIT stellten einen Versuchsaufbau vor, bei dem eine 60-W-Glühlampe über eine Entfernung von 2 m zum Leuchten gebracht wurde [3, 4]. Die verwendeten Spulen hatten einen Durchmesser von etwa 60 cm und lagen auf der gleichen Achse. Der Wirkungsgrad wurde mit 60 %, die Betriebsfrequenz mit 10 MHz angegeben. Der Kopplungsfaktor eines solchen Systems beträgt etwa 0,004. Nach Bild 4 muss $k \times Q$ ca. 4 und demnach Q etwa gleich 1000 sein. Diese Werte sind realistisch. Sollen die Spulen jedoch in mobile Geräte integriert werden, müssen sie stark verkleinert werden, wodurch der Kopplungsfaktor weiter abnimmt. In mobilen Geräten werden Wirkungsgrade von mehr als 90 % erwartet. Wie Komponenten mit derartig geringen Verlustwiderständen bzw. hohen Güten realisiert werden können, ist jedoch noch Gegenstand der Forschung.

www.industrieluefter.de

hivolt.de

- Hochspannungsversorgungen
- Hochspannungsverstärker
- Hochspannungskabel
- Oszilloskope
- Magnetstromversorgungen
- Leistungsverstärker
- Leistungselektronik
- AC-Quellen
- elektronische Lasten
- DC-Netzgeräte

hivolt.de GmbH & Co. KG
 Tarpen 40, Geb. 2, D-22419 Hamburg
 Tel.: +49(0)40-53 71 22-0
 Fax: +49(0)40-53 71 22-99
 info@hivolt.de - www.hivolt.de

■ Schutz vor elektromagnetischen Feldern

Im Zusammenhang mit der kontaktlosen Übertragung von Energie ist die Frage berechtigt, ob von den emittierten elektromagnetischen Feldern eine Gefahr ausgeht. Diese Diskussion ist keineswegs neu, sondern wird seit der flächendeckenden Verbreitung von Radiogeräten geführt. Aus den Ergebnissen von über 20 000 Studien hat die internationale Kommission zum Schutz vor nichtionisierenden Strahlen (ICNIRP [5]) in Zusammenarbeit mit der Weltgesundheitsorganisation (WHO) Grenzwerte zum Schutz der Bevölkerung vor der Einwirkung elektromagnetischer Felder abgeleitet [6]. Die Grenzwertempfehlungen der ICNIRP werden nach und nach von nationalen und internationalen gesetzgeberischen Institutionen aufgegriffen und mit kleinen Abweichungen im eigenen Geltungsbereich eingeführt [7, 8]. Dies erklärt die gute Überein-

stimmung der Grenzwerte in den aufgeführten Standards und Richtlinien. In der EU dürfen Geräte nur dann in Verkehr gebracht werden, wenn sie den Bestimmungen sämtlicher anwendbaren EU-Richtlinien entsprechen. Daher sind bei Geräten mit induktiver Energieübertragung die Grenzwerte nach 1999/519/EG [7] im Rahmen des Konformitätsbewertungsverfahrens heranzuziehen.

Bei den Grenzwerten muss zwischen frequenzabhängigen Basisgrenzwerten und abgeleiteten Grenzwerten (Referenzwerten) unterschieden werden. Über die Basisgrenzwerte besteht unter allen internationalen und nationalen Fachgremien weitgehend Einvernehmen. Basisgröße für die Wirkung von HF-Feldern auf den menschlichen Körper ist die spezifische Absorptionsrate (SAR) in W/kg. Die Basisgrenzwerte liegen mit einem Sicherheitsfaktor bis zu 50 unterhalb der Schwellenwerte, die akute Wirkungen einleiten können. Damit wird der Un-

sicherheit infolge individueller Empfindlichkeit, Umgebungsbedingungen und unterschiedlichen Alters und Gesundheitszustands von Einzelpersonen in der Bevölkerung Rechnung getragen. Eine messtechnische Überprüfung der Basisgrenzwerte ist im Allgemeinen nicht möglich, da bei exponierten Personen nur die Feldstärke in der Luft, also außerhalb des Körpers, gemessen werden kann. Es werden daher abgeleitete Grenzwerte (Referenzgrenzwerte) festgelegt, die in der Umgebung des Körpers messtechnisch ermittelt werden können. Die Referenzwerte werden so abgeleitet, dass die Einhaltung des Referenzwertes in jedem Fall die Einhaltung des entsprechenden Basisgrenzwertes bedeutet. Die Richtlinien [7, 8] enthalten keine Angaben darüber, wie die Konformität nachgewiesen werden kann. Folgende Standards definieren Verfahren zur Bewertung der elektromagnetischen Felder (EMF) in der Umgebung von Geräten einschließlich der Testbedin-



TDK-Lambda

LED-Netzteile LDC / LDV mit höchster Betriebssicherheit für innen und außen:

- Ausgangsleistung von 12 – 18 Watt
- LDC: konstant – strom geregelt
LDV: konstant – spannungsgeregelt
- Spritzwassergeschützt nach IP 66

Unsere LED-Stromversorgungen lassen blendende Ideen strahlende Wirklichkeit werden!

Kontaktieren Sie einen der größten Stromversorgungshersteller weltweit
Tel. +49 (0) 7841 666-0
www.de.tdk-lambda.com

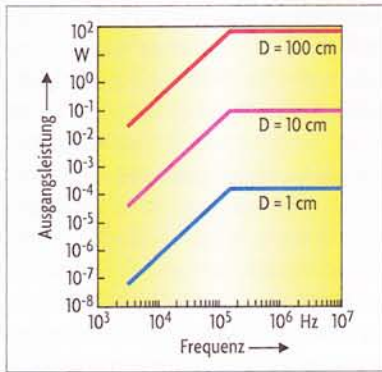


Bild 5. Die ICNIRP-Grenzwerte limitieren die maximale Feldstärke und damit auch die mit einer gegebenen Spulengröße übertragbare Leistung. Will man die Grenzwerte einhalten und hohe Leistungen übertragen, so müssen Spulen mit großem Durchmesser D eingesetzt werden.

gungen, Messentfernungen und Messpositionen:

► DIN EN 62233: Verfahren zur Messung der elektromagnetischen Felder von Haushaltsgeräten und ähnlichen Elektrogeräten im Hinblick auf die Sicherheit von Personen in elektromagnetischen Feldern.

► DIN EN 62311: Bewertung von elektrischen und elektronischen Einrichtungen in Bezug auf Begrenzungen der Exposition von Personen in elektromagnetischen Feldern (0 Hz bis 300 GHz).

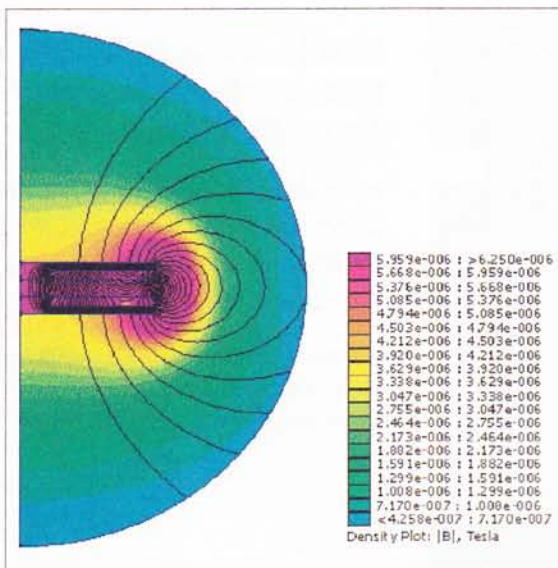


Bild 6. Das magnetische Feld lässt sich durch Ferrit schirmen und bündeln. Nur im Zwischenraum und in der unmittelbaren Umgebung der gekoppelten Spulen herrscht eine für die Energieübertragung ausreichende magnetische Flussdichte. Außerhalb und mit zunehmendem Abstand sinkt die magnetische Flussdichte rasch.

► IEEE Std C95.3: Recommended Practice for Measurements and Computations of Radio Frequency Electromagnetic Fields with Respect to Human Exposure to Such Fields, 100 kHz – 300 GHz.

Energieübertragung über große Distanzen

Die Begeisterung für das vom MIT entwickelte System zur kontaktlosen Energieübertragung ist nachvollziehbar. Dennoch, die öffentlich geführte Diskussion um die gesundheitsschädlichen Wirkungen von Elektromog sorgt für eine gewisse Skepsis vieler Menschen gegenüber dieser Technik. Die Sensibilisierung der Bevölkerung wird dazu führen, dass die kontaktlose Energieübertragung nur dann gesellschaftliche Akzeptanz findet, wenn das Gesundheitsrisiko nachweisbar gering ist. Vor diesem Hintergrund scheint die Einhaltung der ICNIRP-Grenzwerte eine Minimalforderung zu sein. In welcher Größenordnung liegt nun die Leistung, die unter Einhaltung der ICNIRP-Grenzwerte übertragen werden kann? Dazu ein – zugegebenermaßen einfaches – Gedankenexperiment [9]: Angenommen, ein Zimmer ist von einem magnetischen Feld durchsetzt. Dieses wirkt dann permanent auf den gesamten Körper der Personen, die sich darin aufhalten. Daher dürfen die strengen Referenzwerte aus der Tabelle nicht überschritten werden. Wenn die Induktion B genau dem Referenzwert entspricht, dann ruft dieses Feld an einer Empfangsspule die Spannung:

$U_S = N_S \times \omega \times B \times A$ hervor – mit N_S = Windungszahl, ω = Kreisfrequenz der Feldänderung, B = magnetische Flussdichte und A = von der Spule umschlossene Fläche.

Da es sich hierbei nur um eine Abschätzung handelt, wird ferner angenommen, dass das magnetische Feld homogen ist und die Fläche A senkrecht durchdringt. Zur Kompensation des induktiven Blindwiderstandes der Spule wird diese mit einer Kapazität kombiniert und in Resonanz betrieben. In Bild 5 ist für eine Ausgangsspannung von 5 V die verfügbare Ausgangsleistung für verschiedene Spulendurchmesser D dargestellt. Demzufolge müsste für Spulen mit einem

Frequenzbereich	E-Feld [V/m]	H-Feld [A/m]	B-Feld [μ T]	Leistungsdichte [W/m^2]
3 bis 150 kHz	87	5	6,25	–
0,15 bis 1 MHz	87	0,73/f	0,92/f	–
1 bis 10 MHz	87/f	0,73/f	0,92/f	–
10 bis 400 MHz	28	0,073	0,092	2

Abgeleitete Grenzwerte (Referenzwerte) nach ICNIRP bzw. 1999/519/EG in den für die induktive Energieübertragung interessanten Frequenzbereichen

Durchmesser von 10 cm die übertragene Leistung kleiner als 100 mW bleiben, wenn die ICNIRP-Grenzwerte nicht überschritten werden sollen. Eine Leistung, die für die meisten Anwendungen nicht ausreicht. Erst mit einem Spulendurchmesser von einem Meter wäre die Übertragung von etwa 90 W denkbar, einer Leistung, die z.B. zum Betrieb eines Notebooks benötigt wird. Die in der Realität erzielbare Leistung ist eher geringer, da eine homogene Feldverteilung nicht hergestellt werden kann und die Spulenachse nicht mit der Feldrichtung zusammenfällt. Daher steht die geforderte Spulengröße im Widerspruch zu den Anforderungen nach Miniaturisierung und Integration elektronischer Geräte.

Energieübertragung über kurze Distanzen

Die beschriebenen Schwierigkeiten – Effizienz und Begrenzung der Leistung durch ICNIRP-Referenzwerte – bei der Energieübertragung über große Distanzen können umgangen werden, wenn der Abstand zwischen Sender

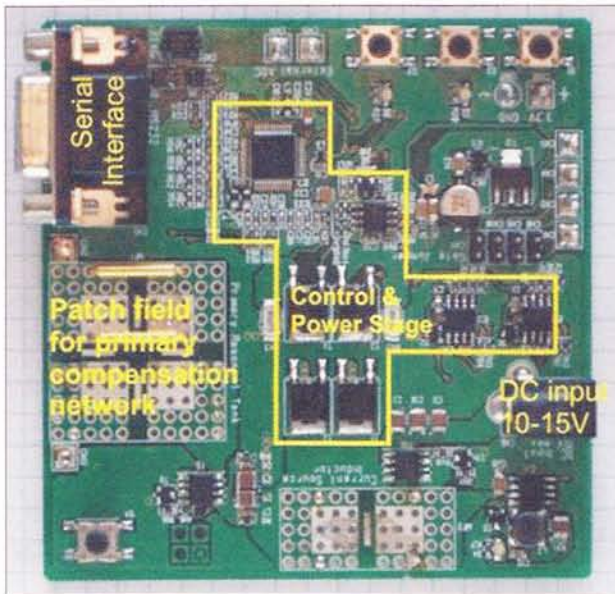


Bild 7. Der von der RRC power solutions GmbH gebaute Demonstrator kann Leistungen bis zu 50 W kontaktlos mit einem Wirkungsgrad bis zu 92 % übertragen. Die Schaltung für die kontaktlose Energieübertragung – gelb eingerahmt – benötigt nur eine Leiterplattenfläche von 8 cm².

und Empfänger auf wenige Millimeter bis Zentimeter reduziert wird. Bei geeigneter konstruktiver Auslegung der Spulensysteme konzentriert sich das Feld im Raum zwischen den Spulen. Hohe Feldstärken treten nur lokal auf, z.B. dort, wo das Feld seitlich aus dem Bereich zwischen den Spulen austritt. In größerer Entfernung ist nur ein vergleichsweise schwaches Streufeld vorhanden, das durch Einsatz von Ferriten noch weiter verringert werden kann. In **Bild 6** ist die Verteilung der magnetischen Flussdichte eines geschirmten Spulensystems dargestellt. In dem dunkelviolett eingefärbten Bereich überschreitet die Induktion B zwar den ICNIRP-Referenzwert für Dauerexposition. Jedoch in einem Abstand, der etwa dem Radius der Spule entspricht, ist B bereits um eine Größenordnung geringer. Da sich die Spulensysteme im Inneren von Geräten befinden, können durch konstruktive Maßnahmen Bereiche, in denen hohe Feldstärken auftreten, während der Energieübertragung unzugänglich gemacht werden. Zudem wirkt in diesem Fall das Feld nur lokal, z.B. beim Anfassen des Gerätes auf Finger und Hände. Bei lokaler Exposition soll nach ICNIRP bei der Bewertung des EMF-Risikos auf die Basisgrenzwerte zurückgegriffen werden. Die Basisgrenzwerte für lokale Exposition sind 25- bis 50-mal höher als die Grenzwerte für Ganzkörperexposition.

■ Schutz und Überwachungsfunktionen

Die Energieübertragung darf erst dann aktiviert werden, wenn der Sekundärteil erkannt und identifiziert wurde. Bei nicht vorhandenem Sekundärteil ist der magnetische Kreis offen, und das Magnetfeld könnte sich unkontrolliert ausbreiten, so dass die Einhaltung von Magnetfeldgrenzwerten nicht gewährleistet wäre. Die sichere und schnelle Identifikation des Sekundärteils ist aber auch wichtig, um den Energietransfer in leitfähige Objekte zu verhindern, die in die Nähe der Primärspule gebracht werden. Durch induzierte Wirbelströme könnten sich diese Ob-

Innovation vom Marktführer:

DT Netzgeräte für weltweiten Einsatz

FRIWO



- Leistung 12, 50, 60, 80 Watt
- Universaleingang 100 bis 240 V AC
- Spannungsgeregelt, strombegrenzt
- Minimale Standby-Verlustleistung
- Einsatzbereiche: Bluetooth/WLAN, Digital-kameras, Mess- und Wiegetechnik, MPEG Player, Laborgeräte, Modems für DSL, ADSL, VDSL



FRIWO Gerätebau GmbH

Von-Liebig-Straße 11
48346 Ostbevern

Tel. + 49 (0) 25 32 / 81-0
Fax + 49 (0) 25 32 / 81-112

sales@friwo.de
www.friwo.de

RM COMPONENTS ELEKTRONISCHE BAUELEMENTE

Mit starken Partnern
zum Erfolg

TAIYO YUDEN

Marktführer bei hochkapazitiven
Keramik-Chipkondensatoren
und Chipinduktivitäten

HolyStone
EUROPE

Spezialist für Hochvolt und
kundenspezifische keramische
Vielschichtkondensatoren

Unsere Kompetenz – Ihr Vorteil

- Partner für alle Fragen rund um Keramik-Chipkondensatoren, Chipinduktivitäten und Filter
- langjährige Erfahrung
- zuverlässiges Logistikkonzept
- punktgenauer Lieferservice
- schnelle und unkomplizierte Bemusterung
- motiviertes Team



www.rm-components.de

Die etwas andere Art der Distribution

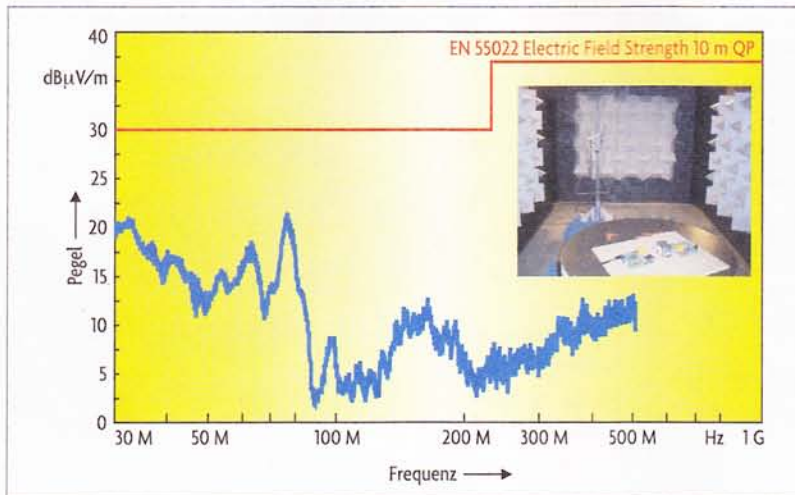


Bild 8. EMV-Messungen der Testbaugruppe aus Bild 7 bestätigen, dass durch die Beschränkung auf kurze Distanzen hohe Leistungen kontaktlos übertragbar sind, ohne die Grenzwerte nach IEC/EN 55022 und ICNIRP zu überschreiten.

jekte so stark aufheizen, dass Brandgefahr bestünde. Die Identifikation kann entweder passiv oder aktiv erfolgen. Zur passiven Identifikation kann die durch die Ferritabschirmung der Sekundärspule hervorgerufene Induktivitätsänderung einer Spule im Primärteil genutzt werden. Durch diese Induktivitätsänderung wird ein Resonanzkreis verstimmt und die resultierende Spannungs- bzw. Stromänderung ausgewertet. Neben der Identifikation kann dieses System auch zur Positionserkennung genutzt werden. Eine sichere Fremdobjekterkennung ist mit passiver Identifikation jedoch schwierig. Zuverlässiger ist die aktive Identifikation, die auf einem Datenaustausch zwischen Primär- und Sekundärteil beruht.

Praktische Umsetzung

Um nachzuweisen, dass bei kleinem Abstand zwischen Primär- und Sekundärteil eine Integration von kontaktlosen Energieübertragungssystemen in mobile Geräte möglich ist, wurde bei RRC power solutions [10] ein Demonstrator entwickelt (Bild 7). Die komplette Steuerung und die Signalgenerierung sind auf einer einseitig bestückten Leiterplatte von weniger als 8 cm² untergebracht (gelb markierte Fläche in Bild 7). Die restlichen Baugruppen werden für die Durchführung von Experimenten benötigt. Um 50 W (15 V, 3,3 A) zu übertragen, hat das Spulensystem einen Durch-

messer von 35 mm und eine Höhe von 8 mm. Der maximale Wirkungsgrad beträgt 92 %. Die Schaltung basiert auf einem digitalen Signalcontroller, dessen Hauptaufgabe die Regelung der Ausgangsspannung ist. Zusätzlich übernimmt er die bidirektionale Übertragung von Daten, Fremdobjekt-, Wegnahme- und Überlasterkennung. Störfeldstärkemessungen ergaben, dass sowohl EMV-Grenzwerte nach IEC/EN 55022 (Bild 8) als auch die oben beschriebenen EMF-Grenzwerte nach ICNIRP eingehalten werden können. Die mit dem Demonstrator erzielten Messergebnisse zeigen, dass die Nutzung der kontaktlosen Energieübertragung in Serienprodukten in Reichweite rückt.

hs



Dipl.-Ing. Peter Wambsganß

studierte in Saarbrücken und Hagen Elektrotechnik. Er leitete ab 1994 die Produktentwicklung bei der RRC power solutions GmbH und ist heute als Mitglied der Geschäftsführung für Forschung und Technologieentwicklung verantwortlich.

peter.wambsganss@rrc-ps.de



Prof. Dr.-Ing. Nejila Parspour

studierte an der TU Berlin Elektrotechnik und promovierte dort auf dem Gebiet der elektrischen Maschinen. Sie ist seit Oktober 2007 Professorin für Elektrische Energiewandlung am Institut für Leistungselektronik und elektrische Antriebe der Universität Stuttgart.

nejila.parspour@ilea.uni-stuttgart.de

Literatur und Links

- [1] Yang, Z.; Liu, W.; Basham, E.: Inductor Modeling in Wireless Links for Implantable Electronics. IEEE Transactions on Magnetics, 43. Jahrgang, Nr. 10, Oktober 2007, S. 3851 – 3860.
- [2] Liu, X.; Ng, W.M.; Lee, C.K; Hui, S.Y.: Optimal Operation of Contactless Transformers with Resonance in Secondary Circuits. Konferenzband Applied Power Electronics Conference and Exhibition (APEC) 2008, 24. – 28. Februar 2008, S. 645 – 650.
- [3] www.elektroniknet.de/home/konsum-elektronik/produkte/produktdetail/d/drahtlose-stromversorgungszukunft
- [4] www.wikipedia.org/wiki/witricity
- [5] www.icnirp.de
- [6] ICNIRP: Guideline for limiting exposure to time-varying electric, magnetic and electromagnetic fields (up to 300 GHz). International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, Health Physics, 74. Jahrgang, Nr. 4, April 1998.
- [7] Empfehlung des Rates vom 12. Juli 1999 zur Begrenzung der Exposition der Bevölkerung gegenüber elektromagnetischen Feldern (0 Hz – 300 GHz), (1999/519/EG). eur-lex.europa.eu/pri/de/obj/dat/1999/l_1999/l_19990730de00590070.pdf
- [8] IEEE Std C95.1. Standard for safety levels with respect to human exposure to radio frequency electromagnetic fields, 3 kHz to 300 GHz. Institute of Electrical and Electronic Engineers, New York.
- [9] Waffenschmidt, E.: Wireless power for mobile devices. Workshop „Kontaktlose Energie- und Datenübertragung für innovative Anwendungen“. Kontenda GmbH, Magdeburg 2008.
- [10] www.rrc-ps.de