



Lade-Stromversorgung:

Kostenoptimierung kontaktloser Energieübertragungssysteme

Wer die kontaktlose Energieübertragung lediglich nutzt um einen konventionellen Steckverbinder zu ersetzen, steigert zwar die Zuverlässigkeit und den Komfort für den Anwender, verschenkt aber auch einen erheblichen Teil des Potenzials, das die kontaktlose Energieübertragungstechnik bieten kann.

Von Dominik Huwig

Vorteile von kontaktlosen Energieübertragungssystemen gegenüber herkömmlichen Stromversorgungen mit Steckkontakten finden sich schnell. Sowohl Leistungssender als auch Leistungsempfänger eines Wireless-Power-Transfer-Systems (WPT) können hermetisch gekapselt werden, was das Gehäusedesign stark vereinfacht. Es sind keine wartungsintensiven

und störanfällige Kontakte nötig und Undichtigkeiten im Kontaktbereich sind weitestgehend ausgeschlossen. Im medizintechnischen Umfeld ist das Reinigen von Systemen deutlich vereinfacht. In einem WPT-System kann die Energie durch zwei Kunststoffoberflächen übertragen werden, die einfach und mit beliebigen Reinigungsmitteln zu reinigen sind. Auch die thermische Sterilisation ist keine Schwierigkeit. Darüber hinaus besteht die Möglichkeit, medizinische Implantate ohne transkutane Leitungen zu laden oder zu versorgen. Daneben warten viele neue Märkte auf ihre Erschließung. So ist es zum Beispiel mittlerweile möglich, neben Daten auch größere Leistungen in geschlossene oder vergossene Systeme zu übertragen und dort zum Beispiel einen Akku zu laden. Durch den Wegfall leitfähiger Verbindungen kann dabei kein Kontaktfunkte entstehen, wodurch kontaktlose Energieübertragungssysteme auch im explosionsgeschützten Umfeld an Bedeutung gewinnen.

Kostenvergleich Wireless Power zu Steckverbinder

Spätestens jedoch wenn die zuvor aufgeführten Vorteile für das konkrete Produkt nur wenig Mehrwert liefern und lediglich der oft aufgeführte Aspekt des gesteigerten Komforts genannt werden kann, gewinnt auf der anderen Seite die Frage nach den zusätzlichen Kosten an Bedeutung. Aber stimmt die Vermutung, dass ein kontaktloses Energieübertragungssystem deutlich teurer als eine Stromversorgung mit Steckverbinder ist? In vielen Fällen sind die Bauteilkosten eines konventionellen Steckverbinders im Vergleich zu einem kontaktlosen Energieübertragungssystem niedriger. Unter Einbeziehung von Ausfall- und Reparaturkosten durch schadhafte Steckkontakte verbessert sich die Bilanz zugunsten des kontaktlosen Energieübertransfers, jedoch erst die konsequente Optimierung des gesamten Systemkonzeptes zeigt, dass der Einsatz einer kontaktlosen Energieübertragung die Gesamtkosten in Summe sogar reduzieren kann.

Potenzial zur Kostensenkung

Dazu zunächst ein kurzer Blick auf die Funktionsweise der für Wireless Power überwiegend eingesetzten, induktiven Energieübertragungssysteme. Die Energieübertragung erfolgt von einer Sendespule zu einer Empfangsspule mittels

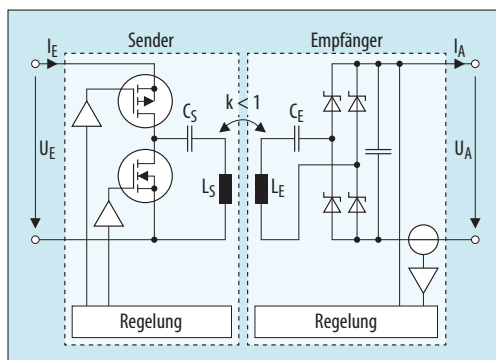


Bild 1. Ein kontaktloses Energieübertragungssystem besteht aus Sender (links) und Empfänger (rechts), die über ein magnetisches Feld gekoppelt sind.

(Quelle: Etatonix)

magnetischem Wechselfeld. Vereinfacht dargestellt wird eingangsseitig eine Gleichspannung durch einen Leistungsverstärker, in Bild 1 beispielsweise eine Halbbrücke, in eine rechteckförmige Wechselspannung hoher Frequenz gewandelt, welche einen Senderresonanzkreis speist. Dieser Resonanzkreis besteht im einfachsten Fall aus einem Resonanzkondensator C_S und einer Sendespule L_S . In Abhängigkeit der oft steuerbaren Schaltfrequenz der Eingangsspannung fließt in dem Resonanzkreis ein Strom, der ein alternierendes Magnetfeld im Nahbereich der Sendespule L_S erzeugt. Dieses Magnetfeld induziert in der magnetisch gekoppelten Empfängerspule L_E eine Wechselspannung, die nach – meist aktiver – Gleichrichtung einem Verbraucher zugeführt wird. Der zusätzliche Resonanzkondensator C_E im Empfänger steigert den Wirkungsgrad. Ausgangsspannung und/oder Ausgangsstrom werden durch eine Anpassung der Schaltfrequenz geregelt. Vereinfacht skizziert erfordert eine große Ausgangsleistung ein großes Magnetfeld und damit verbunden einen großen senderseitigen Strom. Demnach wählt der meist digitale Regelkreis eine Schaltfrequenz nahe der Resonanzfrequenz. Bei kleiner Ausgangsleistung ist dagegen nur ein kleines Magnetfeld und damit ein kleiner Sendestrom nötig. Der Regler wählt eine Schaltfrequenz deutlich abweichend von der Resonanzfrequenz.

Wie zuvor angesprochen, führt der erste Eindruck meist zu der Annahme, dass ein kontaktloses Energieübertragungssystem mit seiner Regelung deutlich teurer als ein Steckverbinder sein muss. Bei diesem Vergleich wird jedoch oft nicht berücksichtigt, dass ein kontaktloses Energieübertragungssystem weit mehr Funktionen als ein Steckverbinder bietet. Zum Beispiel liefert ein WPT-System:

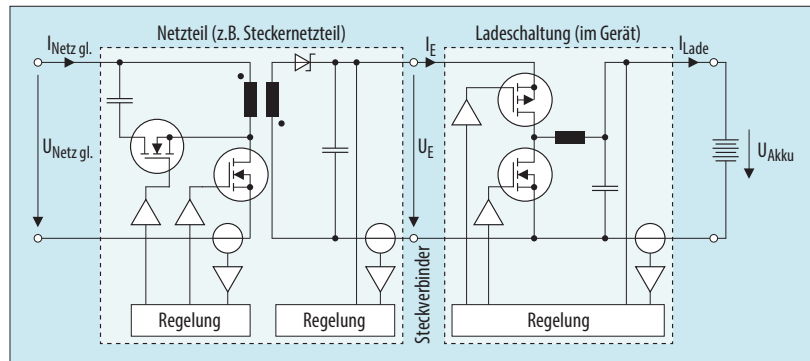


Bild 2. Zum Laden eines Akkus in einem mobilen Endgerät wird üblicherweise ein Schaltnetzteil – z.B. ein Sperrwandler mit aktiver Klemmung (links) – eingesetzt. Es gibt eine niedrige Gleichspannung aus und speist damit den Laderegler, z.B. einen Abwärtswandler (rechts), im mobilen Endgerät. (Quelle: Etatronix)

- Galvanische Trennung zwischen Sender und Empfänger.
- Messung und Überwachung der Eingangsspannung (OVP, UVP), Begrenzung der Eingangsleistung.
- Messung und Überwachung der Ausgangsspannung, Begrenzung der Ausgangsleistung.
- Regelung der Ausgangsgröße. Ein Ladeverfahren für Li-Ionen-Akkus (CC/CV) kann vorgesehen werden.
- Über das Windungsverhältnis der Spulen kann die Ausgangsspannung angepasst werden. Mit einer festen Eingangsspannung für den Sender lassen sich so viele unterschiedliche Ausgangsspannungen realisieren.
- Weitgehend verschleißfreier Betrieb.

Optimierung senkt Kosten

Der Ansatz der Kostenoptimierung kontaktloser Energieübertragungssysteme besteht darin, diese zusätzlich vorhandenen Funktionen zu nutzen und damit die bisher in konventionellen Stromversorgungen benötigten Schaltungsteile einzusparen. Dies reduziert die Gesamtkosten und macht eine kontaktlose Energieübertragung wettbewerbsfähig.

Bild 2 zeigt das Beispiel einer konventionellen Stromversorgung kleiner Leistung für ein mobiles Gerät. Links findet sich ein Netzteil, das die Netzspannung zu einer galvanisch getrennten Gleichspannung U_E wandelt. Diese Spannung, meist eine Schutzkleinspannung, wird mittels Steckverbinder und Kabel dem Gerät zugeführt. Dort steuert ein zusätzlicher Laderegler das Laden des Akkus. Wird die Verbindung zwischen Netzteil und Laderegler lediglich durch das kontaktlose Übertragungssystem aus Bild 1 erweitert, ergibt sich die Anordnung in Bild 3. Die zuvor zweistufige Schaltung wird damit um eine dritte Stufe erweitert. Es kann leicht nachvollzogen werden, dass jede Stufe neben Kosten auch Verluste erzeugt und der erreichbare Gesamtwirkungsgrad durch die dritte Stufe reduziert wird.

Vermeiden von Redundanzen

In Bild 3 fällt auf, dass viele Funktionen mehrfach vorhanden sind. So hat das System zum Beispiel drei Wechselrichter. Sowohl der Sperrwandler, das kontaktlose Energieübertragungssystem als auch der Laderegler schalten eine

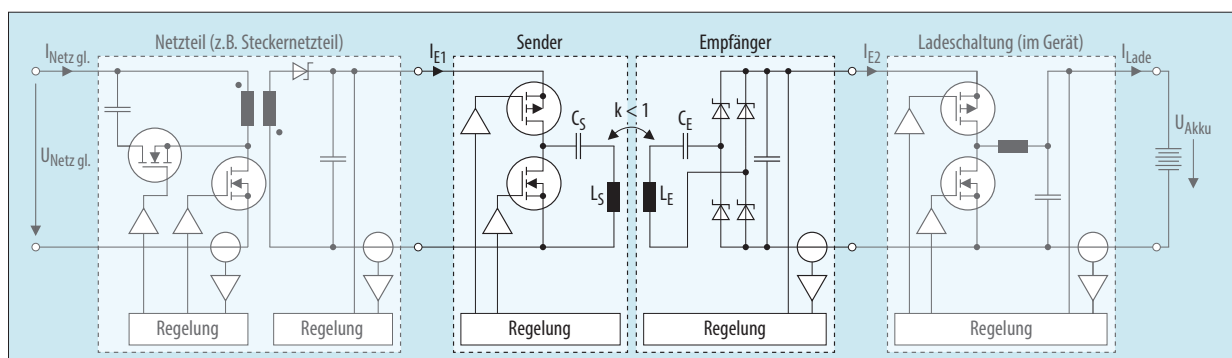


Bild 3. Wird der Steckverbinder in der üblichen Lade-Stromversorgung (Bild 2) durch ein kontaktloses Energieübertragungssystem ersetzt, so wird eine weitere Wandlerstufe eingefügt und die Komplexität der Gesamtschaltung erhöht. (Quelle: Etatronix)

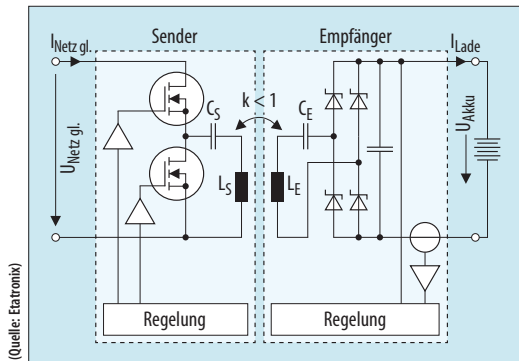


Bild 4. Werden Funktionen der Lade-Stromversorgung mit kontaktloser Energieübertragung aus Bild 3 zusammengefasst, so kann die Schaltung vereinfacht werden – auf die Grundschaltung einer kontaktlosen Energieübertragung.

Gleichspannung und erzeugen am Ausgang eine davon abweichende Spannung. Darüber hinaus sind mehrere Gleichrichter erforderlich.

Eine galvanische Trennung ist zweifach vorhanden. Sowohl der Sperrwandler, als auch das kontaktlose Energieübertragungssystem selbst liefern eine Ausgangsspannung, die von der Eingangsspannung galvanisch getrennt ist. Diese Trennung erfolgt einmal durch den Transformator des Sperrwandlers und ein zweites Mal durch die Kunststoffgehäuse die Sender und Empfänger des kontaktlosen Energieübertragungssystems umschließen und isolieren.

Jede der drei Stufen benötigt einen Regelkreis. Diese drei Regelungen machen die Schaltung komplex und das Zusammenspiel zur Herausforderung.

Vereinfachung spart Kosten

Werden die zuvor aufgeführten, mehrfach vorhandenen Funktionen zusammengefasst, ergibt sich ein deutlich vereinfachtes kontaktloses Energieübertragungssystem zum Laden von Akkus (**Bild 4**). Die gleichgerichtete Eingangsspannung wird unmittelbar dem Leistungsverstärker des Senders zugeführt. Da die spannungsführenden Komponenten des Leistungssenders für den Anwender nicht zugänglich sind und kein Steckverbinder vorhanden ist, kann auf die erste, isolierende Stufe (Sperrwandler in Bild 3) verzichtet werden. Die galvanische Trennung zwischen Ein- und Ausgang wird durch das kontaktlose Energieübertragungssystem selbst und die beiden Gehäuse (Sender und Empfänger) aus Kunststoff erfüllt. Das Windungsverhältnis zwischen Sender- und Empfängerspule kann beliebig

angepasst werden. So ist zum Beispiel trotz einer Speisung aus 400 V eine Ausgangsspannung von 4,2 V mit hohem Wirkungsgrad realisierbar.

Der Ausgang des kontaktlosen Energieübertragungssystems kann, wie zuvor angesprochen, durch Variation der Schaltfrequenz gesteuert werden. Wird nun der Regler des kontaktlosen Energieübertragungssystems so realisiert, dass der Ausgang sowohl eine konstante Stromstärke als auch eine konstante Spannung abgeben kann, ist das unmittelbare Laden eines Li-Ionen-Akkus möglich. Demzufolge kann auch auf den nachgeschalteten Laderegler aus Bild 3 gänzlich verzichtet werden.

Die Gesamtschaltung in Bild 4 kann deutlich kompakter als die dreistufige Schaltung aus Bild 3 realisiert werden. Hierzu ist es allerdings nötig, bereits zum Beginn einer Entwicklung alle Vorteile der kontaktlosen Energieübertragung zu verstehen und die kontaktlose Energieübertragung nicht nur als Ersatz für einen Steckverbinder zu interpretieren. Nur dann lassen sich kontaktlose Energieübertragungssysteme realisieren, die sowohl technisch, als auch wirtschaftlich sinnvoll sind.

Integration weiterer Funktionen

Weiteres Optimierungspotenzial besteht durch eine kundenspezifische Anpassung der Gesamtschaltung. Die Regelung kontaktloser Energieübertragungssysteme erfolgt meist digital durch sende- und empfangsseitige Mikrocontroller. Diese steuern die kontaktlose Energieübertragung, Wechsel- und aktive Gleichrichtung sowie das Lademanagement und können bei Bedarf zusätzliche kundenspezifische Aufgaben übernehmen. Sie können z.B. auch eingesetzt werden, um eine parallele Datenübertragung oder ein Batteriemangement, das den Ladezustand des Akkus ausgibt, zu realisieren. Die Mikrocontroller können ebenfalls die Ein- und Ausgangsgrößen überwachen, sie ermöglichen es Sicherheitsfunktionen zu implementieren und auch die Signalisierung zum Anwender kann meist ohne Mehrkosten bereitgestellt werden.

Kundenspezifische Neuentwicklung oder Anpassungen von bestehenden Schaltungskonzepten sowie Leiterplatten amortisieren sich je nach Komplexität bereits bei vergleichsweise kleinen Stückzahlen. Besonders bei enger Zusammenarbeit mit einem Entwicklungsdienstleister ist es möglich, die Stromversorgung vollständig an den Entwicklungspartner abzugeben und so auch einen Teil der externen Entwicklungskosten durch die Ersparnis eigener Kosten zu kompensieren.

Je nach Umfang der Entwicklungsarbeiten verschiebt sich die kritische Verkaufszahl, die mindestens erreicht werden muss, um eine kundenspezifische Entwicklung wirtschaftlich darzustellen. Wird diese bei einer Neuentwicklung nicht erreicht, können konfigurierbare Standardmodule eine interessante Alternative sein.

Einfache Systemintegration mit Modulen

Ein Beispiel für solche konfigurierbaren Module zur kontaktlosen Energieübertragung ist die Modulserie exm10 der Firma Eatronix (**Bild 5**). Die vorzertifizierten Module mit einer Leistung von 10 W bieten neben der kontaktlosen Energieübertragung eine vollständige Lade- und Leistungsregelung und können kundenspezifisch angepasst werden. Sie unterschreiten die gängigen EMV-Grenzwerte und ermöglichen mit CE-Kennzeichnung sowie FCC-Modulzulassung einen großflächigen Einsatz (**Bild 6**). **Bild 7** zeigt die Blockschaltung der exm10-Module. Sie können am Eingang des Leistungssenders (links) mit einer Gleichspannung, z.B. 12 V oder 24 V, gespeist werden. Je nach Konfiguration erzeugen sie eine geregelte Ausgangsspannung, z.B. 4,2 V, 5 V oder 8,4 V, sowie einen geregelten Ausgangsstrom

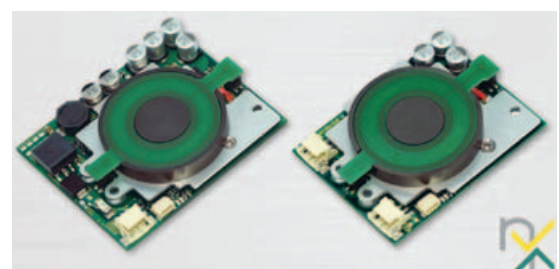


Bild 5. Dank CE-Kennzeichnung und FCC-Modulzulassung lassen sich die exm10-Module (10 W, links Sender, rechts Empfänger) von Eatronix ohne großen Aufwand in Geräte integrieren, um eine kontaktlose Energieübertragung zu realisieren. (Bild: Eatronix)

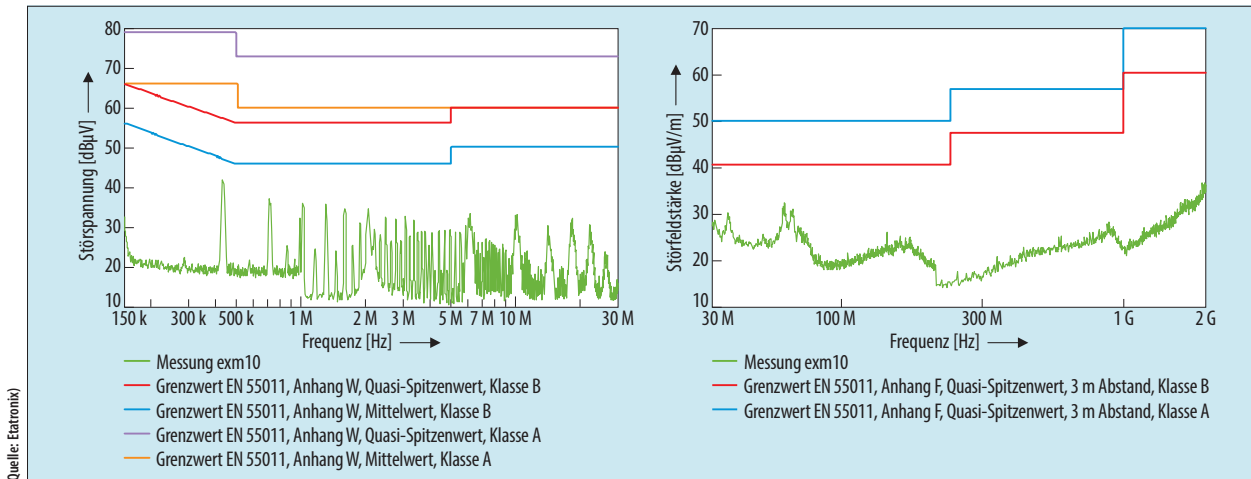


Bild 6. Das leitungsgebundene (links) und das abgestrahlte Störspektrum (rechts) der exm10-Module liegt unterhalb der vorgeschriebenen Grenzwerte.

von bis zu 2,5 A. Darüber hinaus kann optional ein Akku – ein Li-Ionen-Akku mit einer Zelle oder zwei Zellen in Reihenschaltung – direkt geladen werden. Der Gesamtwirkungsgrad der exm10-Module erreicht Werte von bis zu 85 %. Dieser hohe Wirkungsgrad ist nur durch eine konsequente Optimierung aller Schaltungskomponenten möglich. Sowohl EMV-Maßnahmen, Filter, Pufferkondensatoren, Spulen und Resonanzkondensatoren sowie Wechsel- und Gleichrichter sind hinsichtlich Wirkungsgrad optimiert. Beispielsweise wird der Gleichrichter als Synchrongleichrichter mittels vier Leistungs-MOSFETs aktiv gesteuert wodurch sich der Wirkungsgrad um bis zu 10 % steigern lässt. Zum effizienten und sicheren Einsatz kontaktloser Energieübertragungssysteme ist neben einer optimierten Schaltung auch eine Datenübertragung vom Leistungsempfänger zum Leistungssender erforderlich. Diese erlaubt die gegenseitige Erkennung, die Regelung der Ausgangsgrößen sowie die Überwachung der Energieübertragung. Durch ein proprietäres, patentiertes Verfahren ist es mit den exm10-Modulen möglich, parallel neben einer schnellen Regelinformation auch kundenspezifische Informationen zu übertragen. Dies kann zum Beispiel zur Übermittlung von

Statusinformationen genutzt werden. Die Datenübertragung erfolgt wie auch die Energieübertragung im Nahfeld. Hierzu dient ein zweites, gekoppeltes Spulenpaar, das räumlich in die Leistungsinduktivitäten integriert ist und so eine kompakte Anordnung beider Spulen erlaubt. Kundenspezifische Daten können über gängige Protokolle, z.B. I²C oder UART, übertragen werden. In den exm10-Modulen ist eine Fremdobjekterkennung als Sicherheitsfunktion standardmäßig implementiert. Sie unterbricht die Energieübertragung, sobald ein Fremdobjekt zwischen Sendee- und Empfangsspule geschoben wird, und verhindert das Aufheizen metallischer Objekte.

Leistungsstärkere Module

Für höhere Leistungen wurden von Eatronix exm60-Module entwickelt. Sie bieten einen ähnlichen Funktionsumfang, liefern jedoch am Ausgang eine Leistung von bis zu 60 W bei einem Wirkungsgrad größer 92 %. Ein 200-W-System (exm200) wird aktuell entwickelt. Es ist mit seinem Spulendurchmesser von 10 cm vergleichsweise klein und erreicht einen Wirkungsgrad größer 95 %. Da alle exm-Module eine Modulzulassung besitzen, ist die Markteinführung

des finalen Gerätes oder Systems, in das sie integriert werden, vergleichsweise einfach. Ähnlich der Integration eines Funkmoduls sind nur wenige abschließende Messungen, z.B. Nebenausstrahlung, in der finalen Anordnung nötig. Die Module dienen auch als Startpunkt für kundenspezifische Entwicklungen – von einigen mW bis in den kW-Bereich, für den Einsatz in der Medizintechnik oder in der Industrie. So kann das Entwicklungsrisiko durch das Vorhandensein eines Vergleichssystems dramatisch reduziert werden. Sowohl kundenspezifische Entwicklungen, als auch alle exm-Module verfügen über eine proprietäre, digitale Regelung. Sender- und empfängerseitig ist je ein Mikrocontroller vorhanden, der alle zuvor genannten Aspekte adressiert und die Energieübertragung optimiert. Beide steuern die Wechsel- und Gleichrichtung, modulieren und demodulieren sowohl Regel- als auch kundenspezifische Informationen und erfassen aktuelle Statusinformationen. Zusätzlich können auch kundenspezifische Funktionen implementiert werden. *hs*

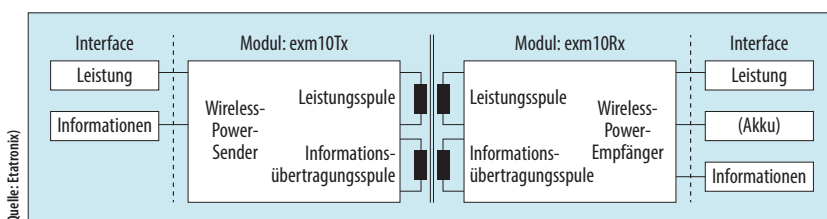


Bild 7. Blockschaltbild der exm10-Module mit separatem Leistungs- (oben) und bidirektionalem Informations-Pfad (unten). Im Empfängermodul kann die Laderegelung direkt implementiert werden.



Dominik Huwig,

ist gebürtiger Saarländer. Er studierte Elektrotechnik in Saarbrücken und Hagen und begann seine berufliche Laufbahn 2006 bei der Firma RRC power solutions. Schwerpunkt seiner dortigen Arbeit war die Entwicklung von Schaltnetzteilen und Resonanzwandlern. Seit 2014 ist Huwig Geschäftsführer bei Eatronix, das Unternehmen hat sich auf die Entwicklung und Fertigung von kundenspezifischen Ladegeräten und Stromversorgungen spezialisiert – mit dem Fokus auf Systemen zur kontaktlosen Energieübertragung mit hohem Wirkungsgrad.

dominik.huwig@etatronix.de