

IGF-Vorhaben-Nr.	92 EN („Wireless Power Systems“)
Programmvariante:	IGF-CORNET
Durchführende Forschungsstellen:	Fraunhofer-Institut für Zuverlässigkeit und Mikrointegration IZM Berlin, DraMCo Research Group der KU Leuven
Projektaufzeit:	01.05.2013 - 31.12.2014

Zusammenfassung der Projektergebnisse

Im IGF-CORNET-Vorhaben „Wireless Power Systems“ wurde die Realisierung drahtloser Ladeschaltungen für Anwendungen in Mobilgeräten untersucht. Der steigende Energiebedarf von Mobilgeräten aufgrund der vielfältigen Nutzungsmöglichkeiten und der Verwendung leistungsfähigerer ICs hat zur Folge, dass die Akkus der Geräte regelmäßig aufgeladen werden müssen. Hierzu werden üblicherweise Stecker-Netzteile mit einer Vielzahl unterschiedlicher Konnektoren verwendet, was Ressourcenprobleme verursacht, die Akzeptanz bei Endanwendern erschwert und wegen der Gefahr eines Funkenüberschlags in explosionsgefährdeten Umgebungen nicht überall gestattet ist. Die Nutzung der drahtlosen Energieübertragung stellt eine Alternative dar. Die Gründung verschiedener Industriegremien zur Standardisierung (u. a. „Qi“, „A4WP“), mit Vertretern von Elektronikherstellern und Anwendern, zeigt das Interesse der Industrie und ermöglicht die Realisierung universell verwendbarer Ladestationen. Ziel des Projekts war die Erarbeitung und Dokumentation des Know-Hows zur Auslegung entsprechender Ladeschaltungen, insbesondere für kleinere Unternehmen.

Im Projekt wurde als Methode zur drahtlosen Energieübertragung die induktive Kopplung zweier Spulen mit Hilfe eines magnetischen Wechselfelds untersucht. Die Systeme bestehen neben den Spulen aus einer Treiberschaltung zur Erzeugung des magnetischen Feldes aus der zur Verfügung stehenden Primärenergie auf der Sendeseite sowie einer Empfängerschaltung zur Aufbereitung der induzierten Spannung für die Verbraucher. Im

Gegensatz zu den üblicherweise verwendeten Litzdraht-Spulen für die Sende- und Empfangsmodule lag der Schwerpunkt des Projekts in der Verwendung von planaren Spulen in Leiterplattentechnik und den Auswirkungen auf den Systementwurf und die elektrischen Eigenschaften.

Wesentliche physikalische Kenngrößen des Ladesystems sind die Effizienz, mit der die Energie von der Primär- zur Sekundärseite übertragen werden kann und die sich daraus ergebenden Betriebsparameter des Ladesystems, wie z. B. Dauer des Ladevorgangs, Spulengröße. Mit einem Systemmodell wurden verschiedene Schaltungstopologien bewertet und die wesentlichen Einflussfaktoren identifiziert. Als Ergebnis wurde gezeigt, dass resonante Schaltungstopologien eine deutlich höhere Effizienz erreichen können, verglichen mit nicht-resonanten. Um ein effizientes Aufladen zu ermöglichen, sollten daher die Induktivitäten auf die Übertragungsfrequenz abgestimmt sein und die Verluste der verwendeten Spulen minimiert werden.

Die Analyse und Auslegung der Spulen wurde mit Hilfe elektromagnetischer 3D-Feldsimulationen durchgeführt. Auf der Basis eines Versuchsplans wurden die Geometrie- und Materialparameter variiert. Basierend auf aus der Literatur bekannten, elektrischen Modellen für Spulen mit und ohne magnetischen Kern wurden die Modelle für die vorliegenden Fälle weiterentwickelt. Zur Verifikation der simulierten Feldverteilungen wurde ein Messplatz zur Messung der Magnetfelder von Spulen aufgebaut. Der Messplatz ermöglicht eine automatisierte Erfassung der Feldverteilung mit magnetischen Nahfeldsonden und basierend darauf die Berechnung der Kopplung zweier Spulen. Darüber hinaus wurde die Frequenzabhängigkeit der magnetischen Permeabilität von Ferritmaterialien für die Anwendung in Spulen mit magnetischem Kern und als Schirmung untersucht. Die Berücksichtigung der Materialeigenschaften bei der Modellierung der Spulen erlaubt eine erhöhte Genauigkeit beim Entwurf.

Als Ergebnis der Arbeiten konnte gezeigt werden, dass planare Spulen in Bezug auf die erreichbaren Induktivitätswerte vergleichbar sind mit Litzdrahtspulen, die dem aktuellen Stand der Technik entsprechen. Im Vergleich zu den Litzdrahtspulen bieten planare Spulen mehr Spielraum im Hinblick auf die Formgestaltung. Dies konnte am Beispiel großflächiger Ladespulen gezeigt werden, die hinsichtlich der Homogenität der magnetischen Feldverteilung optimiert wurden. Darüber hinaus hat sich gezeigt, dass die ohmschen Verluste in den Leiterbahnen größer sind als in Litzdrahtspulen. Durch die elektrische Parallelschaltung vieler Drähte im Litzdraht wirkt sich die Widerstandserhöhung durch den Skineffekt weniger stark

aus. Das Konzept des Litzdrahts ließ sich aufgrund von Einschränkungen der Herstellungstechnik nicht auf planare Leiterbahnen übertragen. Daraus ergibt sich für Ladestationen mit planaren Spulen ein geringerer Ladeabstand zwischen Sende- und Empfangsteil im Vergleich zu Aufbauten mit Litzdrahtspulen, bzw. eine längere Ladedauer. Für die Treiberschaltungen wurden verschiedene Topologien betrachtet. Klasse E Schaltungen ergaben dabei die höchste Effizienz, insbesondere bei Anwendungen mit geringem Kopplungsfaktor und hoher Schaltfrequenz.

Als Ergebnis wurden Entwurfsmethoden für die elektronischen Sende- und Empfangsschaltungen sowie die planaren Spulen entwickelt. Die Modelle und Methoden wurden in ein Software-Tool zur Entwurfsunterstützung implementiert. Das Programm erlaubt die Auslegung drahtloser Ladesysteme und den Vergleich verschiedener Realisierungen hinsichtlich der erreichbaren Effizienz. Darüber hinaus wurde ein vereinfachter Schaltplan für Treiber- und Empfängerelektronik erstellt.

Die Entwurfsmethoden wurden anhand einer Ladeschaltung für eine drahtlose Computermaus mit zugehöriger Ladestation illustriert. Bei der Maus wurde dazu in das Batteriefach eine Empfangselektronik mit Spule integriert. Die Ladestation wurde so dimensioniert, dass der Einbau in einen Schreibtisch möglich ist. Wird die Maus über die Ladestation bewegt, so wird ein Supercap-Kondensator innerhalb weniger Sekunden geladen, so dass ein kabelloses Arbeiten für ca. zehn Minuten möglich ist.

Die Ergebnisse zeigen, dass die Verwendung planarer Spulen in Ladeschaltungen Potenzial bietet für Anwendungen, die kleine bis mittlere Ladungskapazitäten benötigen oder spezielle Anforderungen hinsichtlich der Abmessungen (z. B. sehr flache Baugruppen) erfüllen müssen.

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Das IGF-Vorhaben 92 EN der Forschungsvereinigung Elektrotechnik wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Der ausführliche Schlussbericht beider Forschungsstellen in englischer Sprache (inkl. Anhang zum deutschen Teilprojekt) kann auf der Website der Forschungsvereinigung Elektrotechnik kostenfrei heruntergeladen werden.

[Schlussbericht IGF-Vorhaben 92 EN \(PDF, englisch\)](#)