

Entwicklung eines Messaufbaus zur Charakterisierung der WPT-Systemkomponenten nach CISPR 25 und CISPR 11

Referent: Dr.-Ing. Christof Ziegler, EPCOS AG, EMV- Labor, Regensburg,
Co-Autor: Dipl.Ing. Fabian Beck, EPCOS Schweiz GmbH, Solothurn

1 Einleitung

Das Laden mittels drahtloser Energieübertragung (wireless power transfer, WPT) findet in immer mehr Mobilgeräten wie Smartphones Anwendung. Der Komfort, das Gerät durch einfaches Ablegen auf den Tisch laden zu können, hat ein großes Marktpotenzial. Aus diesem Grund rüsten die meisten Smartphone-Hersteller ihre neuen Geräte mit dieser Technik aus.

Die Technologie des WPT soll nun auf die Anwendung im Elektrofahrzeug übertragen werden. Dabei wird die vermeintlich einfache Bedienung des Ladevorgangs als eine der möglichen Schlüsseltechnologien gesehen, um den Elektrofahrzeugen zum Durchbruch zu verhelfen. Die Idee, das Fahrzeug durch einfaches Überfahren einer Ladeplatte zu laden, ohne ein Ladekabel mit komplexem Stecker bedienen zu müssen, bietet einen bislang nicht da gewesenen Komfortgewinn für den Anwender. Allerdings ist die ungestörte Koexistenz des Systems mit den am Fahrzeug vorhandenen Systemen, z. B. dem schlüssellosen Komfortzugang (PEPS), für die Akzeptanz des Anwenders notwendig. Der elektromagnetischen Verträglichkeit (EMV), d. h. der Einhaltung der geforderten Grenzwerte für Störemission, kommt daher eine ebenso zentrale Rolle zu, wie der Diskussion der energetischen Effizienz.

Die Energie wird im WPT-System über die Distanz von einigen Zentimetern drahtlos von der Ladestation zum Fahrzeug übertragen. Die dabei auftretenden Streufelder beeinflussen die Umgebung. Daher ist die Messung der auftretenden Feldstärken und Störspektren im Umfeld dieser WPT-Ladestationen essentiell für die Bewertung des Systems gemäß den Grenzwerten für elektromagnetische Felder (EMF) und der EMV. Durch den offenen Aufbau der Koppelstrecke bietet das System eine große Anzahl an Variationsmöglichkeiten in der Konfiguration, z.B. durch den räumlichen Versatz des Fahrzeugs zur Bodeneinheit. Dies bedingt die Definition eines einheitlichen Messaufbaus, um vergleichbare Messergebnisse zu erhalten.

In diesem Artikel werden die typischen System-Konfigurationen und Variablen eines WPT-Systems für die Anwendung in Elektrofahrzeugen in einer Übersicht zusammengefasst. Die Angaben beruhen dabei auf den Normentwürfen des IEC 61980 und des SAE J2954. Für die EMV-Charakterisierung der WPT-Komponenten wird ein Aufbau für Messung der Störspannung (CE) und der abgestrahlten Störfeldstärke (RE) erläutert, welcher die Anforderungen der CISPR 11 und der CISPR 25 berücksichtigt. Anhand von Messungen werden die Einflüsse typischer Variationen im WPT-System auf die EMV-Ergebnisse diskutiert.

2 Beschreibung des WPT-Systems

2.1 Aufbau und Komponenten eines typischen WPT - Systems

Das Blockschaltbild in Abbildung 1 zeigt den grundsätzlichen Aufbau eines WPT-Systems. Die Energie wird dabei von der Netzseite (Ground Assembly, Primary Device) induktiv per Magnetfeld auf die Fahrzeugseite (Vehicle Assembly, Secondary Device) übertragen.

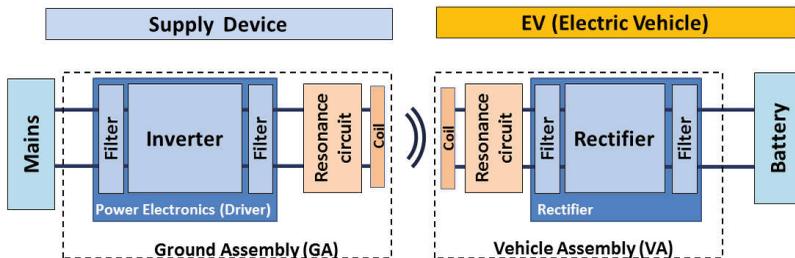


Abbildung 1: Topologie eines WPT-Systems mit den Komponenten der Versorgungsseite (Primärkreis) sowie am Fahrzeug (Sekundärkreis)

Beim WPT-System bilden die beiden Spulen zwei gekoppelte Resonanzkreise. Befinden sich beide Kreise in Resonanz, so ist die Energieübertragung mit hohem Wirkungsgrad auch über einen größeren Luftspalt möglich. Dieser kann mehrere Zentimeter betragen (typ. 5 – 21cm).

Die Kopplung und damit der Wirkungsgrad hängen wesentlich von der Resonanzfrequenz und der Lastimpedanz auf der Sekundärseite ab. Die Last wirkt auf die Resonanz des Primärkreises zurück und verstimmt diesen. Es ist die Aufgabe der Elektronik im Inverter, die Systemarbeitsfrequenz entsprechend des optimalen Arbeitspunktes einzustellen. In Abhängigkeit des Batteriezustandes, welcher sich in der Lastimpedanz widerspiegelt, ist der Arbeitspunkt während des Ladevorganges nachzuregeln. Je nach Auslegung der Elektronik nimmt das WPT-System also verschiedene Arbeitspunkte während eines Ladevorganges ein.

Das hochfrequente Nutzsignal des WPT-Systems, welches die Energie zwischen den Spulen überträgt, wird im Inverter mittels schneller Schaltprozesse erzeugt. Die steilen Schaltflanken verursachen ein breites Störspektrum. Die in Abbildung 1 gezeigten Filter sind notwendig, um die Pegel der Störemissionen zu reduzieren. Sie stellen somit sicher, dass das System die geforderten EMV-Grenzwerte einhält.

Öffentliche Ladeinfrastruktur erfordert Interoperabilität zwischen den WPT-Systemen verschiedener Hersteller. Aktuell gibt es Bemühungen in den Arbeitskreisen zur IEC 61980 und der SAE J2954, Referenzsysteme zu definieren, mit denen die herstellereigenen Komponenten im Zusammenspiel getestet werden. Die Vielzahl an Systemtopologien, z. B. die Art und Anordnung der Spulen und des Resonanzkreises, erschwert die Definition eines Referenzsystems. Das Thema Interoperabilität fokussiert sich aktuell auf das Zusammenspiel der Komponenten und den Einfluss auf die erzielbare Systemleistung. Da das EMV-Verhalten für den schlechtesten Fall zu charakterisieren ist, müssen hierzu die verschiedenen Kombinationen evaluiert werden. Die Möglichkeit, verschiedene Komponenten messen und vergleichen zu können, stellt eine Anforderung an den Messaufbau dar.

2.2 Parameter des WPT-Systems

Das Besondere an dem WPT-System ist die hohe Anzahl an Freiheitsgraden für den Systembetrieb. Diese müssen sich im Messaufbau abbilden lassen. Sind beispielsweise die beiden Spulen nicht optimal zueinander positioniert, so ändert sich die Kopplung der Resonanzkreise und die Verhältnisse von Strom und Spannung auf Primär- und Sekundärseite verschieben sich. Entsprechend ist ein Einfluss auf die Ergebnisse der EMV-Messung zu erwarten.

Parameter	IEC 61980 - 3 Part 3: Magnetic Field-WPT (MF-WPT)		SAE J2954 (V.33)	
Power class	MF-WPT 1	P < 3,7 kW	WPT 1	< 3,7 kW
	MF-WPT 2	3,7 < P < 7,7 kW	WPT 2	< 7,7 kW
	MF-WPT 3	7,7 < P < 22 kW	WPT 3	< 22 kW
	MF-WPT 4	P > 22 kW	WPT 4	> 22 kW
System frequency	Class F., (t.b.d.)	20 kHz		
	Class F., (t.b.d.)	60 kHz		
	Class F., (t.b.d.)	85 kHz ±3 kHz		
	Class F., (t.b.d.)	85 kHz ±0,5 kHz		
	Class F., (t.b.d.)	81.38 ... 90 kHz		81.38 ... 90 kHz nominal freq: 85 kHz
	Class F., (t.b.d.)	140 kHz		
z-Gap classes	Z1	50 ... 110 mm	Z1	50 ... 110 mm
	Z2	100 ... 160 mm	Z2	100 ... 170 mm
	Z3	130 ... 210 mm	Z3	130 ... 210 mm
System efficiency	Nominal	> 85 %	Min. Efficiency	> 85 %
	for all ver. + hor. Offset	> 80 %		n.a.
Test offset	dx (depends on system)	±75 mm	dx	±75 mm
	dy (depends on system)	±100 mm	dy	±100 mm
	dz (depends on system)	50 ... 210 mm	dz	depends on z-class

Tabelle 1: Zusammenfassung der wesentlichen Parameter für WPT-Systeme gemäß der Normentwürfe IEC 61980 und SAE J2954.

In der Normung werden WPT-Systeme durch die IEC 61980 und die SAE J2954 beschrieben. Die wesentlichen Parameter der beiden Dokumente sind in der Tabelle 1 für magnetfeldbasierende WPT-Systeme (IEC 61980- Teil 3) zusammengefasst. Es werden grundsätzlich vier Leistungsklassen von 3,7 kW bis zu Systemen größer 22 kW definiert. Für die Systemfrequenz, d. h. die Frequenz, auf welche die Resonanzkreise abgestimmt sind und bei der die Energieübertragung stattfindet, werden vier Frequenzbereiche identifiziert. Wobei der Frequenzbereich um 85 kHz von den meisten Systemen der unteren Leistungsklassen verwendet wird. Systeme der hohen Leistungsklasse über 20 kW nutzen aktuell die niedrigen Frequenzen von 20 kHz und 60 kHz. Die Parameter in Tabelle 1 werden aktuell noch in den Gremien diskutiert und sind daher nur vorläufige Werte.

Für die Entwicklung eines Messaufbaus sind in Tabelle 1 die mechanischen Abmessungen relevant. So muss der Aufbau eine horizontale Verschiebung zwischen Primär- und Sekundärspule in x-Richtung (in Fahrtrichtung) um ±75 mm und in y-Richtung (quer zur Fahrtrichtung) um ±100 mm ermöglichen. Der Luftspalt kann je nach z-Klasse zwischen 50 und 210 mm betragen.

3 Messaufbau für EMV-Messungen am WPT-System

Bei einem WPT-System für Elektrofahrzeuge treffen zwei CISPR-Normen zusammen. CISPR 11 behandelt die Primärseite, d. h. die im Allgemeinen fest installierten Teile der Netzversorgung, CISPR 25 ist die relevante Norm für die Komponenten am Fahrzeug. Die enge Verkopplung von Primär- und Sekundärkreis verhindert eine getrennte Vermessung der einzelnen Teile, weshalb das System im Gesamtaufbau zu charakterisieren ist. Dies bedingt eine Kombination der Anforderungen aus beiden Normen.

Die für die EMV-Charakterisierung eines WPT-Systems notwendigen Messungen der leitungsgebundenen (CE) und abgestrahlten (RE) Störemissionen sind in Tabelle 2 zusammengefasst. Die Messung der Störspannung auf der Netzleitung

erfolgt nach den Vorgaben der CISPR 11, auf den DC-Leitungen der Sekundärseite gemäß CISPR 25. Nach CISPR 25 werden zusätzlich die Störungen mit einer Stromzange gemessen.

Während die CISPR 25 den zu messenden Frequenzbereich bis 108 MHz nach oben erweitert, geben beide Normen keine Grenzwerte für die niedrigen Frequenzen von 9 kHz bis 150 kHz vor. Da aufgrund der Betriebsfrequenz in diesem Bereich mit erhöhten Störpegeln zu rechnen ist, wird dieser in die Messungen mit einbezogen.

Die Messungen der abgestrahlten Störemission erfolgen für das magnetische und das elektrische Feld. Das E-Feld wird entsprechend der Vorgaben aus der CISPR 25 und der CISPR 11 gemessen. Da CISPR 25 eine Messung in 1 m Abstand vorsieht, ist aufgrund der Systemabmessungen eine zusätzliche Anwendung der CISPR 11 mit 10 m Messabstand notwendig.

Das magnetische H-Feld wird im Frequenzbereich von 9 kHz bis 30 MHz mit einer Rahmenantenne gemessen. Gemäß der CISPR 11 [4] sind die Grenzwerte bei den Frequenzen von 9 kHz bis 150 kHz nur für Induktionskochgeräte anzuwenden. Die für das WPT-System gültigen Grenzwerte sind noch zu definieren. Für den Bereich von 150 kHz bis 30 MHz gibt die CISPR 11 Grenzwerte für Gruppe B, Klasse 2 Geräte vor. Allerdings enthält die CISPR 16-2-3 [7] aktuell keine genaue Beschreibung der Anwendung der Rahmenantenne am Messplatz. Sie beschreibt lediglich die Messung am Aufstellungsort. Die Anwendung im Freifeld oder in der Halbsorberröhre befindet sich noch in der Diskussion.

Die Messung des H-Felds wird daher in zwei Messungen unterteilt. Eine Messung erfolgt mit der Rahmenantenne mit 60 cm Durchmesser (z.B. Rohde&Schwarz, Typ: HFH2-Z2) bei einer Messentfernung von 10 m. Sie charakterisiert die Emission des Gesamtsystems. Um die Feldstärkepegel im direkten Nahfeld der Spulen bei 1 m

Type	Parameter	Unit	Frequency range	Measured at	Equipment	Limits			
CE	Disturbance Voltage	dB μ V	9 kHz ... 150 kHz	AC mains lines	V-AMN (acc. CISPR 16-1-2)	t.b.d.			
				DC lines	LISN (acc. CISPR 16-1-2, CISPR 25)	t.b.d.			
			150 kHz ... 30 MHz	AC mains lines	V-AMN (acc. CISPR 16-1-2)	CISPR 11 class B group 2			
				DC lines	LISN (acc. CISPR 16-1-2, CISPR 25)	CISPR 25, class 5			
	Disturbance Current	dB μ A	30 MHz ... 108 MHz	9 kHz ... 150 kHz	DC lines	Current Probe (acc. CISPR 16-1-2)	t.b.d.		
				150 kHz ... 30 MHz			CISPR 25, class 5		
30 MHz ... 108 MHz				CISPR 25, class 5					
RE	H-field	dB μ A/ m	9 kHz ... 150 kHz	1 m distance x , y , z -direction	133 mm Loop Antenna (acc. Def. Std. 59-411 Part 3)	t.b.d.			
				10 m distance x , y , z -direction	60 cm Loop Antenna (acc. CISPR 16-1-4)	t.b.d.			
				150 kHz ... 30 MHz	1 m distance x , y , z -direction	133 mm Loop Antenna (acc. Def. Std. 59-411 Part 3)	t.b.d.		
			150 kHz ... 30 MHz	10 m distance x , y , z -direction	60 cm Loop Antenna (acc. CISPR 16-1-4)	t.b.d.			
				E-field	dB μ V/ m	150 kHz ... 30 MHz	1 m distance V-polarization	Monopole (acc. CISPR 16-1-4, CISPR 25)	CISPR 25, class 5
						30 MHz ... 300 MHz	1 m distance V- / H-polarization	Biconical antenna (acc. CISPR 16-1-4, CISPR 25)	CISPR 25, class 5
	300 MHz ... 1000 MHz	30 MHz ... 1000 MHz	10 m distance V- / H-polarization	Log. Periodic Antenna (acc. CISPR 16-1-4, CISPR 25)	CISPR 25, class 5				
			10 m distance V- / H-polarization	Log. Periodic Antenna (acc. CISPR 16-1-4)	CISPR 11 class B group 2				
			1 GHz ... 3 GHz	1 m distance V- / H-polarization	Log. periodic Antenna or Horn antenna (acc. CISPR 16-1-4, CISPR 25)	CISPR 25, class 5			

Tabelle 2: Übersicht über die notwendigen Messungen und Messgrößen zur Charakterisierung der leitungsgebundenen und abgestrahlten Störemission eines WPT-Systems.

Abstand zu ermitteln, wird in einer zweiten Messung eine kleinere, passive Rahmenantenne verwendet, wie sie z.B. in [8] definiert ist (z. B. Rohde & Schwarz, Typ: HZ-10, Durchmesser: 133 mm).

Wie sich zeigte, übersteuert bei dem geringen Abstand zu den WPT-Spulen der eingebaute Vorverstärker der Antenne aufgrund der hohen Feldstärkepegel bei der Arbeitsfrequenz. Der Dynamikbereich des verwendeten Antennenverstärkers ist bei der Vermessung von WPT-Systemen besonders zu berücksichtigen, da dieses Übersteuern normalerweise nicht am Empfänger angezeigt wird. Die hohe Feldstärke bei der Arbeitsfrequenz sowie die Anforderung der Detektion von niedrigen Störpegeln erfordern einen hohen Dynamikbereich des Messsystems.

Ergänzend zu dem in der CISPR 11 angeführten Messverfahren mit der 60 cm Rahmenantenne bei Induktionskochgeräten, bei dem die Antenne nur vertikal aufgestellt ist, wird hier auch die z-Komponente des Magnetfeldes mittels horizontal liegender Antenne betrachtet.

In Abbildung 2 ist der entwickelte Messaufbau für das WPT-Gesamtsystem skizziert. Er ermöglicht die kombinierte Messung des Gesamtsystems nach den Normen CISPR 25 und CISPR 11.

Die Primäreinheit mit der Spule und dem Ferritkern liegt dabei über einer Metallplatte, welche als Massereferenz für die Primärseite dient. Sie ist durch eine 10 cm starke, isolierende Schicht von dieser getrennt. Im Fall der Störspannungsmessung auf der Netzzuleitung erfolgt die Versorgung über eine Netznachbildung. Für Messungen der abgestrahlten Feldstärke kann diese entfallen.

Die Sekundärspule ist kopfüber oberhalb der Primärspule positioniert. Sie wird durch ein äußeres Gestell oder durch nichtmagnetische Distanzplatten, z. B. trockenes Holz, in der Höhe justiert. Auf der Rückseite lassen sich verschiedene Metallplatten anbringen, welche den Einfluss des Fahrzeugs simulieren. Messungen zeigten einen deutlichen Einfluss der Metallplatte auf das Systemverhalten und den Wirkungsgrad der Energieübertragung. Durch den in Abbildung 2 gezeigten offenen Aufbau lässt sich die Platte schnell wechseln, so dass auch der Einfluss anderer Materialien getestet werden kann, z. B. Aluminium, Aluminium-Stahl-Verbund oder CFK.

Über einen Blechwinkel, welcher sich über die gesamte Breite der Messanordnung erstreckt, sind die Sekundäreinheit und das Fahrzeugblech mit der Referenzmasse des Fahrzeugsystems verbunden. Die geschirmten Verbindungskabel zwischen Sekundäreinheit und Gleichrichter bzw. Filter sind durch eine Bohrung im Winkelblech geführt. Um die Koppelkapazität zwischen der Referenzmasse der Primärseite und dem Winkelblech gering zu halten, beträgt der Abstand in diesem Aufbau mindestens 40 cm.

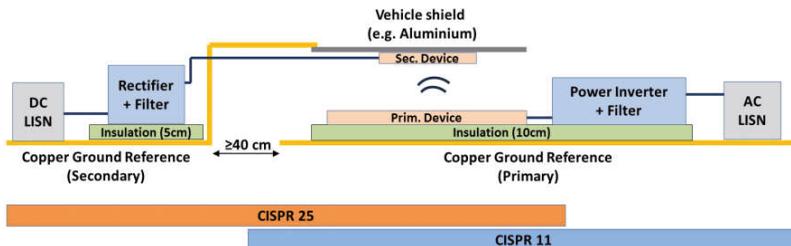


Abbildung 2: Messaufbau für Komponentenmessung nach CISPR25 und CISPR11 unter Berücksichtigung der Vorgaben durch die Normentwürfe IEC 61980 und SAE J2954. (Die Abstände zwischen den Komponenten sind nicht maßstäblich gezeichnet)

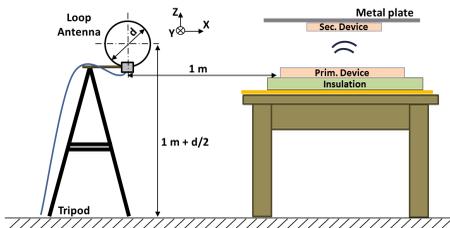


Abbildung 3: Anwendung des in Abbildung 2 skizzierten Messaufbaus für die Messung der abgestrahlten Feldstärke zwischen 9 kHz und 30 MHz mit der magnetischen Rahmenantenne

Die Sekundärseite ist mittels DC-Netznachbildungen an die DC-Last angeschlossen. Für die Messungen wurde eine elektronische Last mit einstellbarem Widerstand verwendet, um verschiedene Betriebszustände simulieren zu können.

4 Messungen der Störemission

Mit dem im vorangegangenen Abschnitt dargestellten Messaufbau wurden Untersuchungen der Feldstärke im Frequenzbereich von 9 kHz bis 30 MHz durchgeführt. Ziel war es, die Einflüsse der Variation im WPT-System, z. B. der Last- oder Frequenzänderung, auf den Pegel der magnetischen Feldstärke darzustellen. Dabei ging es weniger um die Messung der absoluten Pegel als um die Untersuchung der Auswirkungen von Änderungen der Systemkonfiguration. Für die Messungen wurde der Aufbau wie in Abbildung 3 gezeigt auf einem Tisch realisiert. Somit befand sich das WPT-System auf gleicher Höhe mit der Rahmenantenne.

4.1 Messung der magnetischen Feldstärke von 9 kHz bis 30 MHz

Da es sich bei der Topologie des untersuchten WPT-Systems um horizontal gewickelte Spiralspulen handelte, war eine Hauptausrichtung des magnetischen Feldes in z-Richtung, d.h. senkrecht zur Tischebene zu erwarten. Dies ließ sich mittels horizontal liegender Rahmenantenne bestätigen. Die Antennenhöhe wurde mittels des Stativs zwischen der z-Ausrichtung und der Messung der x- bzw. y-Feldkomponente angepasst, d.h. der Mittelpunkt der Antenne befand sich stets am gleichen Ort.

Die magnetische Feldstärke variierte mit der übertragenen Leistung, dem Wirkungsgrad und der Lastimpedanz. Zunächst wurde der Luftspalt zwischen den Spulen auf 16 cm justiert und die Arbeitsfrequenz auf 81,4 kHz eingestellt. Die Spulen waren dabei zueinander zentriert.

Vergleicht man die Feldkomponenten in x- und y-Richtung mit der z-Komponente, siehe Abbildung 4, so wird der dominante z-Anteil bei der Arbeitsfrequenz deutlich.

Bis zu einer Frequenz von etwa 2 MHz liegen die Pegel in x- und y-Ausrichtung signifikant unter der z-Komponente. Allerdings gibt es im Spektrum Intervalle mit erhöhtem x- oder y-Anteil (in Abbildung 4 durch grüne Kreise markiert).

Nach Gleichung (1) aus CISPR 16-2-3 (Messung am Aufstellungsort) werden für die Bewertung durch einen Grenzwert alle drei Feldkomponenten verknüpft:

$$H_{Sum} = \sqrt{H_x^2 + H_y^2 + H_z^2} \quad (1)$$

Die unterschiedliche Ausprägung des Feldes in x-, y- und z-Richtung wird somit berücksichtigt.

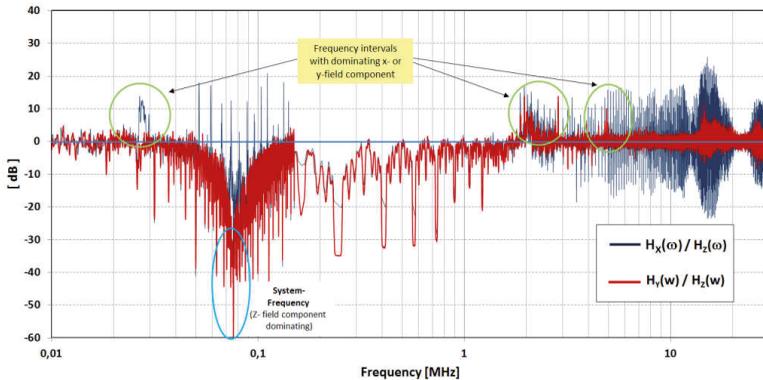


Abbildung 4: Magnetische Feldstärke in x- und y-Richtung im Verhältnis zur z-Komponente über der Frequenz. Obwohl die z-Komponente dominiert (negative Werte), gibt es Intervalle mit signifikant höherem Feldanteil in x- oder y-Ausrichtung.

4.2 Abhängigkeit der Emission bei der Systemfrequenz vom Betriebszustand

Verändert man die übertragene Leistung des WPT-Systems, so erwartet man eine proportionale Änderung der zu messenden magnetischen Feldstärke bei der Betriebsfrequenz. Den Zusammenhang zeigt das Diagramm in Abbildung 5.1. Bei der Messung blieb die Lastimpedanz konstant bei 25 Ohm und es wurde die Arbeitsfrequenz variiert. Mit abnehmender Frequenz nähert sich das System dem optimalen Arbeitspunkt und somit steigen die übertragene Leistung und der Wirkungsgrad an. Eine Verdoppelung der Leistung hatte dabei einen Anstieg der Feldstärke um 5,3 dB zur Folge, was nahe an dem theoretisch zu erwartenden Anstieg von 6 dB liegt. Der Wirkungsgrad stieg dabei um 4,2 %.

In einer weiteren Messung wurde die Systemfrequenz bei 85 kHz fixiert und die Lastimpedanz auf der DC-Seite verändert. Die gemessenen Werte der magnetischen Feldstärke zeigten dabei in Abbildung 5.2 ein auffällig entgegengesetztes Verhalten. Trotz ansteigender übertragener Leistung und steigendem Wirkungsgrad nimmt die gemessene magnetische Feldstärke ab. Der Wirkungsgrad stieg mit abnehmender Impedanz um 7 %. Das Verhalten scheint der bisherigen Aussage zu widersprechen, dass die magnetische Feldstärke mit der übertragenen Leistung zunimmt. Dabei wurde jedoch nur der Anteil der Wirkleistung berücksichtigt. Bei der Energieübertragung über den Luftspalt nimmt das System im Spulenkreis einen hohen Anteil Blindleistung auf. Während im ersten Fall in Abbildung 5.1 die Scheinleistung kontinuierlich mit zunehmender Wirkleistung ansteigt, nimmt in der Konfiguration in Abbildung 5.2 die Scheinleistung ab. Die hohen Feldstärken werden dabei von dem Anteil der Blindleistung erzeugt. Da dieser im letztgenannten Fall mit steigender Wirkleistung abnimmt, reduziert sich auch der Pegel der Feldstärke.

Bezogen auf die EMV-Charakterisierung des WPT-Systems zeigen die Ergebnisse, dass die Pegel der magnetischen Feldstärke nicht zwangsläufig bei der höchsten Wirkleistung auftreten müssen.

Vielmehr haben die Einstellungen der Systemparameter, sowie der Lastimpedanz, Einfluss auf die Feldstärke. Bei der Suche nach dem höchsten Pegel sind daher auch die Verhältnisse der Ströme und Spannungen und der Anteil der Blindleistung zu berücksichtigen.

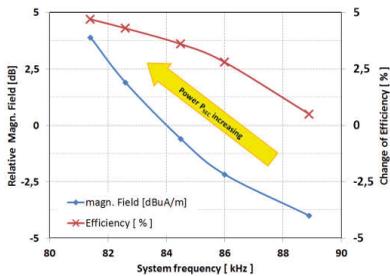


Abbildung 5.1: Verlauf der magn. Feldstärke und Wirkungsgrad über der Systemfrequenz bei konstanter Lastimpedanz ($Z = 25 \text{ Ohm}$)

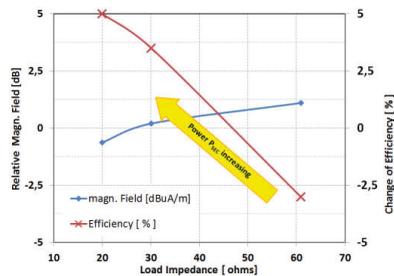


Abbildung 5.2: Verlauf der magn. Feldstärke und Wirkungsgrad über der Lastimpedanz bei konstanter Systemfrequenz ($f = 85 \text{ kHz}$)

5 Zusammenfassung

Das WPT-System besitzt viele variable Parameter, welche das Systemverhalten und den Wirkungsgrad der Energieübertragung beeinflussen. Weiterhin besteht eine deutliche Rückwirkung durch den Messaufbau, z. B. Messung mit oder ohne Metallplatte.

Für die EMV-Messtechnik ergibt sich daher die Fragestellung nach einem Messaufbau, welcher es erlaubt, ein WPT-System in verschiedenen Konfigurationen zu vermessen. Neben der Zusammenfassung der wesentlichen Parameter eines WPT-Systems wurden die für die Charakterisierung der Störemission notwendigen Messungen in einer Übersicht dargestellt. Dabei wurden auch die sich aus den Normen CISPR 11 und CISPR 25 ergebenden Grenzwerte aufgeführt.

Für die praktische Anwendung der Emissionsmessungen wurde ein EMV-gerechter Messaufbau für ein WPT-System dargestellt und erläutert. Die Messungen der abgestrahlten magnetischen Feldstärke im Frequenzbereich von 9 kHz bis 30 MHz mit dem beschriebenen Messaufbau zeigten, dass bei der Suche nach dem maximalen Störpegel die Feldkomponenten aller drei Raumrichtungen zu bewerten sind.

Weiterhin zeigte sich ein Einfluss der Systemkonfiguration auf die abgestrahlten Signale. Es wurde dargestellt, dass die Bewertung des Systemarbeitspunktes nach der Wirkleistung und dem Wirkungsgrad für die EMV-Charakterisierung nicht ausreichend ist. Der Anteil der Blindleistung ist bei der Konfiguration des Systems für die EMV-Messung der abgestrahlten Störpegel zu berücksichtigen. Bei ungünstiger Abstimmung des Systems können sich trotz niedriger Wirkleistung hohe Feldstärken ergeben.

Literatur

- [1] Norm IEC 61980-1 Ed. 1.0
- [2] Technical Specification IEC 61980-3 TS Ed. 1.0
- [3] Technical Information Report SAE J2954 Draft V.33
- [4] CISPR 11 (Deutsche Fassung: DIN EN 55011:2009 + A1:2010)
- [5] CISPR 12 (Deutsche Fassung: DIN EN 55012:2007 + A1:2009)
- [6] CISPR 25 (Deutsche Fassung: DIN EN 55025:2008)
- [7] CISPR 16-2-3 (Deutsche Fassung: EN 55016-2-3:2010 + A1:2010 + AC:2013 + A2:2014)
- [8] Defence Standard 59-411, Part 3, Ministry of Defence 2008
- [9] Arbeitsanweisung WPT EMC Setup, Fabian Beck, 27.03.2015