

T 参数模型及其在 S/P 补偿 WPT 系统中的应用

辛平平¹, 周冀松², 丰 骏³, 陈乾宏¹

(1. 南京航空航天大学, 江苏 南京 211106; 2. 南京机电液压工程研究中心, 江苏 南京 211106;
3. 南通江海电容器有限公司, 江苏 南通 226361)

摘要: T 参数模型适合于级联网络的建模和分析, 可以反映寄生参数和分布参数带来的影响, 在高频场合或大系统建模中有良好的应用价值。本文针对 T 参数模型在无线电能传输 (WPT) 系统中的应用开展研究。首先采用 T 参数模型对 WPT 系统建模, 并给出模型中各个参数的获取方法。然后基于 T 参数模型, 推导得到 WPT 系统工作特性的通用表达式和系统实现最大功率传输或最高效率的负载条件。最后, 搭建了测试平台, 将基于 T 参数模型的 S/P 补偿 WPT 系统的理论分析结果与实验测试结果进行对比。测试所得的效率、功率传输曲线和最优负载与理论计算结果吻合较好, 表明了 T 参数模型能够有效地描述 WPT 系统的工作特性, 同时也验证了 T 模型参数获取方法的有效性。

关键词: 无线电能传输; T 参数模型; 最优负载

DOI: 10.12067/ATEEE1705068 **文章编号:** 1003-3076(2018)04-0042-07 **中图分类号:** TM724

1 引言

从 1890 年特斯拉的演示实验^[1]之后, 人们便开始了对无线电能传输 (Wireless Power Transfer, WPT) 技术的不断探索。得益于半导体器件和电力电子技术的发展, 在应用需求的推动下, 无线电能传输技术得到了很大的发展。其应用领域覆盖了长航时飞行器、人体植入设备、传感器网络、便携设备充电器以及电动汽车充电等诸多领域^[2-4]。

根据能量耦合单元的耦合方式的不同, 无线电能传输可以分为四种方式^[5], 即电磁辐射式^[6]、电场耦合式^[7,8]、磁场耦合式^[9,10]和超声波式^[11]。典型的无线电能传输系统结构组成如图 1 所示。

为了研究 WPT 系统的特性, 研究人员给出了多种建模方法。目前常用的 WPT 系统的分析模型主要有耦合模模型^[12]、互感模型^[13,14]以及二/多端口网络模型^[15,16]。文献[12]使用耦合模模型建立得到磁场耦合式 WPT 系统的高阶数学模型, 但是模型的建立过程较为复杂, 且模型不能直接反映系统中

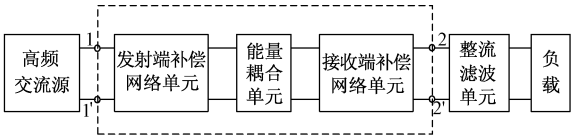


图 1 WPT 系统典型结构
Fig. 1 Typical structure of WPT system

的电参数关系。文献[13]采用理论计算方法计算发射和接收线圈的电路参数, 根据电路的互感模型, 分析磁场耦合式 WPT 系统的特性; 但理论计算不仅较复杂, 同时还常常忽略元件的寄生参数。文献[15]建立了磁场耦合式 WPT 的 T 参数模型, 并通过阻抗匹配技术, 优化了 WPT 系统的功率传输性能, 但并未基于 T 参数模型研究系统的工作特性。

考虑到 WPT 系统可视作由二端口网络级联而成, 而二端口网络模型中 T 参数模型最适用于级联网络系统的建模和分析。因此, 本文采用 T 参数模型对 WPT 系统进行建模和分析, 并对模型参数的获取, 以及如何结合具体变换器进行应用展开研究。最后以串/并 (S/P) 结构的 WPT 系统为例, 进行理

收稿日期: 2017-05-23
基金项目: 国家自然科学基金项目 (51677086)、航空科学基金项目 (2015ZC52037)
作者简介: 辛平平 (1993-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为无线电能传输技术;

陈乾宏 (1974-), 女, 教授, 博士, 主要研究方向为功率电子变换技术、磁集成和无线电能传输技术等 (通讯作者)。

论分析与实验验证。

2 T 参数模型及其参数的获取方法

二端口网络模型通常可以描述一端输入而另一端输出的电路。描述二端口网络的参数模型有 T 参数、Z 参数、Y 参数和 S 参数模型等。其中 T 参数模型以输出端的 U_2 、 I_2 为自变量,输入端的 U_1 、 I_1 为因变量,所以 T 参数模型适用于级联网络的建模和分析^[14,17]。

WPT 系统的二端口网络模型包括了发射端和接收端的补偿单元以及能量耦合单元,如图 2 所示。WPT 系统由这三个网络单元级联而成,故应用 T 参数模型可简化 WPT 系统的建模过程,同时 T 参数模型作为一种端口网络模型,电路中分布参数的影响已经自然体现在模型参数中,是高频电子线路中常用的建模方法。因此本文选取 T 参数模型对 WPT 系统进行分析。

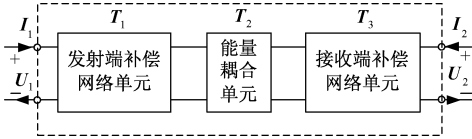


图2 WPT 系统的二端口网络模型

Fig.2 Two-port network model of WPT system

WPT 系统 T 参数模型的获得,一方面可由发射端和接收端的补偿单元网络以及能量耦合单元网络各自的 T 参数模型依次相乘得到,另一方面也可以将三个级联网络视作一个整体,获得其 T 参数模型。图 2 的 WPT 系统采用 T 参数模型可以表示为:

$$\begin{bmatrix} U_1 \\ I_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} T_{11} & T_{12} \\ T_{21} & T_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_2 \\ -I_2 \end{bmatrix} = T_1 T_2 T_3 \begin{bmatrix} U_2 \\ -I_2 \end{bmatrix} \quad (1)$$

WPT 系统 T 参数模型各个参数的获取方法有多种。常用的方法即依据式(2),将三个级联单元视作一个整体,在端口 2 进行开短路测量,再由计算获得模型参数。这种方法需要采用网络分析仪,而且在端口 2 进行短路测量,即令 $U_2 = 0$ 时,可能会使得 I_2 或 I_1 过大,有损坏仪器设备的风险。

$$\begin{cases} T_{11} = \frac{U_1}{U_2} \Big|_{I_2=0}, T_{12} = \frac{U_1}{-I_2} \Big|_{U_2=0} \\ T_{21} = \frac{I_1}{U_2} \Big|_{I_2=0}, T_{22} = \frac{I_1}{-I_2} \Big|_{U_2=0} \end{cases} \quad (2)$$

另一种常用的模型参数获取方法则是从电路理论出发,在已知电路网络拓扑和元器件的参数条件下计算得到模型参数。这种方法不如端口网络参数

获取方法便捷,且高频时,元器件的寄生参数和电路中的分布参数会改变电路的网络拓扑结构,影响模型参数的准确获取。

为了保证模型参数获取的便捷性,并避免短路测试损坏设备,本文采用了特定负载条件下的二端口网络增益特性测试结合理论计算的方法来确定模型参数。下面具体说明其参数的获取方法。

首先,在端口 2 接不同的负载 R_{L1} 、 R_{L2} ,可以测得端口 2 相对端口 1 的电压增益分别为 G_{21} 、 G_{22} , G_{21} 、 G_{22} 与模型参数的关系为:

$$\begin{cases} \frac{1}{G_{21}} = T_{11} + \frac{T_{12}}{R_{L1}} \\ \frac{1}{G_{22}} = T_{11} + \frac{T_{12}}{R_{L2}} \end{cases} \quad (3)$$

同理,在端口 1 接不同的负载 R_{L1} 和 R_{L2} ,可以测得端口 1 对端口 2 的增益分别为 G_{11} 、 G_{12} , G_{11} 、 G_{12} 与模型参数的关系为:

$$\begin{cases} \frac{1}{G_{11}} = \frac{1}{T_{11}T_{22} - T_{12}T_{21}} \left(T_{22} - \frac{T_{12}}{R_{L1}} \right) \\ \frac{1}{G_{12}} = \frac{1}{T_{11}T_{22} - T_{12}T_{21}} \left(T_{22} - \frac{T_{12}}{R_{L2}} \right) \end{cases} \quad (4)$$

联立式(3)和式(4)可以得到:

$$\begin{cases} T_{12} = \frac{1/G_{21} - 1/G_{22}}{1/R_{L1} - 1/R_{L2}} \\ T_{11} = \frac{1}{G_{21}} - \frac{T_{12}}{R_{L1}} \\ T_{22} = \frac{G_{12}/R_{L2} - G_{11}/R_{L1}}{G_{11} - G_{12}} T_{12} \\ T_{21} = \frac{T_{11}T_{22} - G_{11}(T_{22} + T_{12}/R_{L1})}{T_{12}} \end{cases} \quad (5)$$

3 T 参数模型在 S/P 补偿的 WPT 系统中的应用

3.1 系统工作特性分析

WPT 系统发射端或接收端的视在功率为:

$$S = \frac{1}{2} (UI^* + U^*I) \quad (6)$$

式中, S 为端口的视在功率; U 和 I 分别为端口电压和电流。

由此可以得到端口的有功功率 P 为:

$$P = \text{Re}(UI^*) \quad (7)$$

当端口 2 的负载 R_L 为阻性时,根据图 2 的参考方向,端口 2 的电压 U_2 和电流 I_2 关系为:

$$U_2 = -I_2 R_L \quad (8)$$

根据式(4)和式(8),可以得到式(9)和式(10):

$$U_1 I_1^* = \frac{(T_{11} R_L + T_{12})(T_{21} R_L + T_{22})^*}{R_L} U_2 I_2^* \quad (9)$$

$$G_2 = \frac{U_2}{U_1} = \frac{1}{T_{11} + T_{12}/R_L} \quad (10)$$

式中, U_1 和 I_1 分别为端口 1 的电压和电流; G_2 为端口 2 对端口 1 的电压增益。

由式(9)可以得到效率 η 的表达式:

$$\eta = \frac{1}{\operatorname{Re} \left[T_{11} T_{21}^* R_L + \frac{T_{12} T_{22}^*}{R_L} + (T_{11} T_{22}^* + T_{12} T_{21}^*) \right]} \quad (11)$$

对式(11)求极值,可得到最高效率 η_{\max} 及其对应的负载条件,如式(12)和式(13)所示:

$$\eta_{\max} = \frac{1}{2 \sqrt{\operatorname{Re}(T_{11} T_{21}^*) \operatorname{Re}(T_{12} T_{22}^*)} + \operatorname{Re}(T_{11} T_{22}^* + T_{12} T_{21}^*)} \quad (12)$$

$$R_L = \sqrt{\frac{\operatorname{Re}(T_{12} T_{22}^*)}{\operatorname{Re}(T_{11} T_{21}^*)}} \quad (13)$$

由 T 参数模型可变换得到戴维南等效电路,如图 3 所示,并可得到系统的输出功率 P_o :

$$P_o = \frac{U_1^2 R_L}{|T_{12} + T_{11} R_L|^2} \quad (14)$$

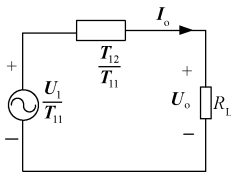


图3 二端口网络的戴维南等效电路图

Fig.3 Thevenin equivalent circuit of two-port network

对式(14)求导,可得到最大输出功率及其对应的负载条件,分别如式(15)和式(16)所示。

$$R_L = \left| \frac{T_{12}}{T_{11}} \right| \quad (15)$$

$$P_{\max} = \frac{U_1^2}{2 |T_{11} T_{12}| + 2 \operatorname{Re}(T_{11} T_{12}^*)} \quad (16)$$

由式(10)~式(16)可以看出,采用 T 参数模型后,WPT 系统的电压增益、传输功率和传输效率有通用的表达式,与补偿拓扑的选择无关。补偿拓扑的不同只是影响 T 参数模型中各个参数的取值。

下面结合 S/P 补偿 WPT 系统开展研究。

3.2 S/P 补偿 WPT 系统的 T 参数模型

S/P 补偿 WPT 系统的基波等效电路如图 4 所示。其中 C_1 、 C_2 分别为发射、接收侧的补偿电容, R_1 、 R_2 和 L_1 、 L_2 分别为发射、接收线圈的内阻及自感, M 为发射、接收线圈之间的互感。发射端补偿单元、接收端补偿单元以及能量耦合单元的 T 参数矩阵如表 1 所示。

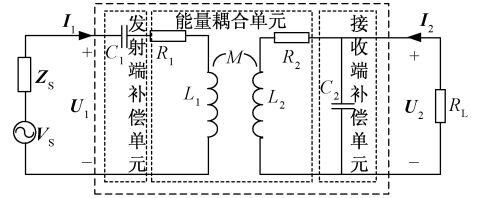


图4 S/P 补偿 WPT 系统

Fig.4 S/P compensated WPT system

表1 WPT 系统各部分的 T 参数矩阵

Tab.1 T parameter matrix of WPT system's each part

单元种类	T 参数矩阵
发射端补偿单元	$\begin{bmatrix} 1 & \frac{1}{j\omega C_1} \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$
能量耦合单元	$\begin{bmatrix} \frac{R_1 + j\omega L_1}{j\omega M} & \frac{(R_1 + j\omega L_1)(R_2 + j\omega L_2) + \omega^2 M^2}{j\omega M} \\ \frac{1}{j\omega M} & \frac{R_2 + j\omega L_2}{j\omega M} \end{bmatrix}$
接收端补偿单元	$\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ j\omega C_2 & 1 \end{bmatrix}$

将表 1 中三个 T 参数矩阵相乘即可得到 WPT 系统的 T 参数模型,如式(17)所示:

$$\begin{bmatrix} U_1 \\ I_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{j\omega C_2 (Z_1 Z_2 + \omega^2 M^2)}{j\omega M} & \frac{Z_1 (R_2 + j\omega L_2) + \omega^2 M^2}{j\omega M} \\ \frac{Z_2 j\omega C_2}{j\omega M} & \frac{R_2 + j\omega L_2}{j\omega M} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_2 \\ -I_2 \end{bmatrix} \quad (17)$$

式中

$$Z_i = R_i + j\omega L_i + \frac{1}{j\omega C_i} \quad i = 1, 2$$

为了实现高效率并使输出增益对负载不敏感,S/P 补偿网络通常工作于调谐模式^[18],即满足式(18),根据式(11)可以求得调谐时 S/P 补偿网络的效率,如式(19)所示:

$$\frac{1}{j\omega C_2} = -j\omega L_2, \quad \frac{1}{j\omega C_1} = -\left(j\omega L_1 + \frac{\omega^2 M^2}{j\omega L_2}\right) \quad (18)$$

$$\eta = \frac{\omega^2 M^2 R_L}{\omega^2 C_2^2 R_2 (R_1 + R_2 + \omega^2 M^2) R_L^2 + (2R_1 R_2 + \omega^2 M^2) R_L + R_1 R_2^2 + \omega^2 L_2^2 R_2 + \omega^2 M^2 R_2} \quad (19)$$

4 实验结果与讨论

为了验证 T 参数模型对于 WPT 系统特性描述的适用性和模型参数获取方法的准确性,本文搭建了 S/P 补偿 WPT 系统的实验装置,其原理图如图 5 所示,实验平台装置如图 6 所示。由实际的负载电阻 R_o 可推得基波等效负载 R_L 为:

$$R_L = \frac{\pi^2}{8} R_o \quad (20)$$

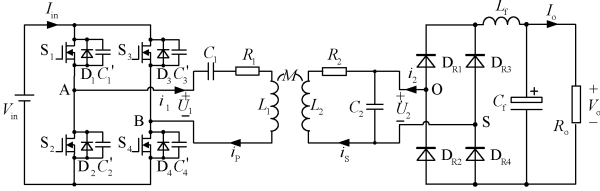


图 5 S/P 补偿 WPT 系统电路原理图

Fig. 5 Schematic diagram of S/P compensated WPT system

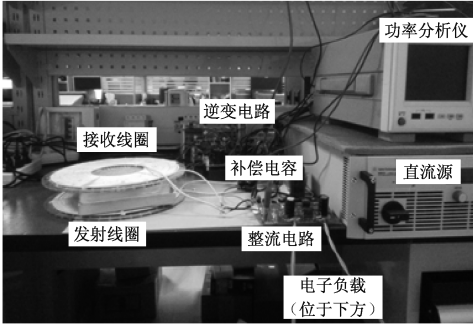


图 6 S/P 补偿 WPT 系统实验样机图

Fig. 6 Prototype of S/P compensated WPT system

利用 LCR 测试仪,在频率为 85kHz 时,可测得发射线圈和接收线圈的自感 L_1 、 L_2 分别为 99.39 μ H、99.75 μ H,互感 M 为 39.9 μ H,补偿电容 $C_1 = 34.0$ nF、 $C_2 = 34.0$ nF。

4.1 S/P 补偿 WPT 系统的 T 参数模型的获取

根据测试得到的元件参数,由式(17)可建立系统的 T 参数模型。具体模型参数的幅频/相频曲线如图 7 所示。

基于二端口网络增益特性测试结果,由式(3)、式(4)也可得到系统的 T 参数模型。令 $R_{L1} = 75\Omega$ 、 $R_{L2} = 15\Omega$,利用网络分析仪 E5061B 可测量得到 4 个电压增益特性曲线,如图 8 所示。将各个电压增益代入式(5),可以得到 WPT 系统 T 参数模型各个参数的幅频和相频特性曲线,如图 9 所示。

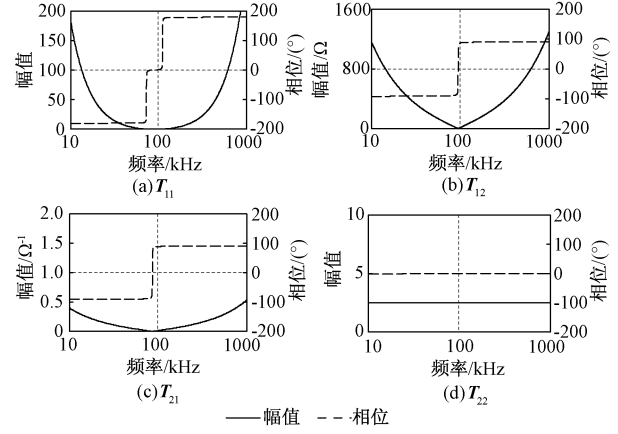


图 7 由式(17)得到的 T 模型参数的幅频/相频曲线

Fig. 7 Amplitude-frequency/phase-frequency curves of T model parameters according to (17)

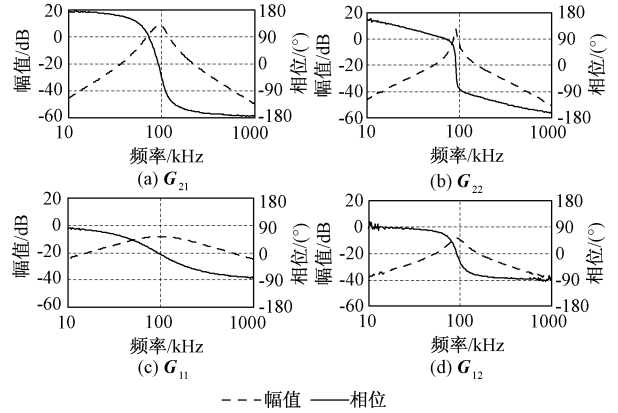


图 8 电压增益波特图

Fig. 8 Bode diagrams of voltage gains

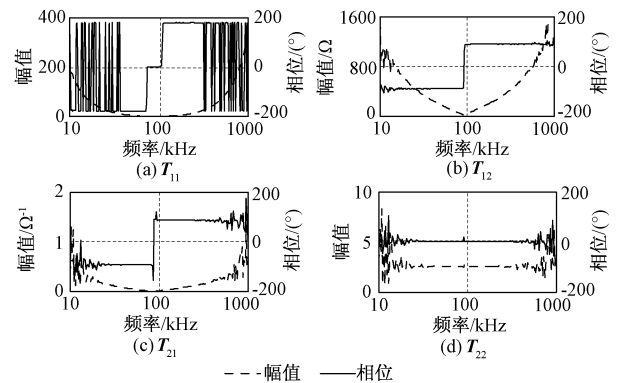


图 9 基于增益测试获得的 T 模型参数的幅频/相频曲线

Fig. 9 Amplitude-frequency/phase-frequency curves of T model parameters based on gain measurement

比较图 7、图 9 可以看出,两种方法得到的具体模型参数的幅相曲线形状相似。图 9 曲线中的毛刺是网络分析仪测试结果的反映。

4.2 工作特性的理论分析与实验结果

下面将使用 4.1 节得到的两种模型参数,结合 3.1 节的分析结果来分析 S/P 系统的工作特性,并与实验结果进行对比。

工作频率为 86.2 kHz 和 100 kHz 时,S/P 系统的输出功率、传输效率随实际负载变化的理论与实验测试结果分别如图 10、图 11 所示。

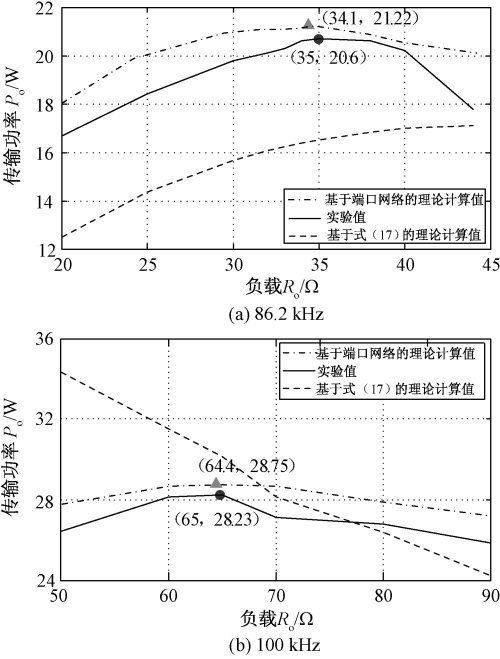


图 10 不同频率时输出功率随负载的变化曲线
Fig. 10 Curves of output power versus load at different operation frequencies

对比两种理论分析结果和实验测试结果,可以看出,基于增益测试所得模型参数的理论分析结果与实验测试结果的变化规律基本相同,除了 86.2 kHz 的效率分析结果误差略大外,与实验测试结果吻合较好。而基于式(17)的理论计算结果与实验值误差较大,这主要有两个原因:①元件测试在特定频率,不能反映频率变化的影响;②由元件参数计算得到模型参数是基于特定的补偿方式和拓扑结构,高频工作时,电路分布参数和元件寄生参数的存在会使得电路的拓扑结构发生一定变化,从而影响模型参数的获取和相关特性的精确分析。

基于增益测试所得模型参数,计算得到的输出功率和系统效率比实际测试结果略高,这是因为增益特性测试是在小信号条件下完成的。实际运行

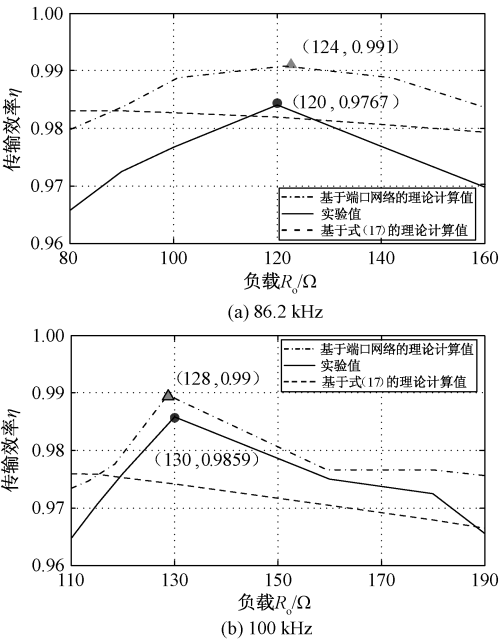


图 11 不同频率时传输效率随负载的变化曲线
Fig. 11 Curves of efficiency versus load at different operation frequencies

时,线圈电阻因发热变大,使得实测值低于理论计算值。

根据式(15)、式(20),采用二端口网络增益测试获得的 T 模型参数,可求出 86.2 kHz 和 100 kHz 时,最大传输功率对应的实际负载电阻分别为 34.1 Ω 和 64.4 Ω。根据图 10 的实验结果,最大输出功率对应的负载阻值为 35 Ω 和 65 Ω。根据式(13)、式(20),可求出当频率为 86.2 kHz 和 100 kHz 时,最高效率对应的阻值分别为 124 Ω 和 128 Ω;而图 11 的实验测试结果为 120 Ω 和 130 Ω。可见,最大输出功率或最高效率对应的最优负载电阻的理论分析结果与实验结果吻合良好,证明了理论分析的正确性。

5 结论

本文采用 T 参数模型对 WPT 系统进行建模,讨论了参数模型的获取方法,并在此基础上分析了 WPT 系统的工作特性,给出其工作特性的通用表达式。然后,通过二端口网络的增益特性测试和元器件参数测试计算的参数获取方法,分别得到了 S/P 补偿 WPT 系统的 T 参数模型。最后,通过对比计算的工作特性结果与实验测试结果,表明基于二端口网络增益测试获得 T 参数模型更为准确,验证了理论分析的正确性和参数获取方法的有效性。本文为采用 T 参数模型研究 WPT 系统的特性提供了参考。

参考文献 (References):

- [1] Barrett J P. Electricity at the Columbian exposition [M]. Charleston: Nabu Press, 2013.
- [2] Kurs A, Karakis A, Moffatt R, et al. Wireless power transmission via strongly coupled magnetic resonances [J]. Science, 2007, 317: 83-86.
- [3] 张巍, 陈乾宏, 曹玲玲 (Zhang Wei, Chen Qianhong, Cao Lingling). 植入式设备非接触电能传输系统的研究进展 (Research review of the transcutaneous contactless power transmission system) [J]. 电源学报 (Journal of Power Supply), 2011, 9 (4): 36-45.
- [4] 曹玲玲, 陈乾宏, 任小永, 等 (Cao Lingling, Chen Qianhong, Ren Xiaoyong, et al.). 电动汽车高效率无线充电技术的研究进展 (Review of the efficient wireless power transmission technique for electric vehicles) [J]. 电工技术学报 (Transactions of China Electrotechnical Society), 2012, 27 (8): 1-13.
- [5] 赵争鸣, 张艺明, 陈凯楠 (Zhao Zhengming, Zhang Yiming, Chen Kainan). 磁耦合谐振式无线电能传输技术新进展 (New progress of magnetically-coupled resonant wireless power transfer technology) [J]. 中国电机工程学报 (Proceedings of the CSEE), 2013, 33 (3): 1-13, 21.
- [6] Brown W C. The history of power transmission by radio-waves [J]. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 1984, 32 (9): 1230-1242.
- [7] Liu C, Hu A P, Nair N K C, et al. 2-D alignment analysis of capacitively coupled contactless power transfer systems [A]. IEEE Energy Conversion Congress and Exposition [C]. Atlanta, USA, 2010. 652-657.
- [8] Yang C, Tsunekawa K. Analysis and performance improvement of independent electric coupled resonance WPT system with impedance transformer [A]. 2014 IEEE Wireless Power Transfer Conference [C]. 2014. 239-242.
- [9] 陈文仙, 陈乾宏, 张惠娟 (Chen Wenxian, Chen Qianhong, Zhang Huijuan). 电磁共振式无线电能传输系统距离特性的分析 (Distance characters analysis of magnetic resonance wireless power transmission system) [J]. 电力系统自动化 (Automation of Electric Power Systems), 2015, 39 (8): 98-104.
- [10] 罗斌, 生茂棠, 吴仕闯, 等 (Luo Bin, Sheng Mao-tang, Wu Shichuang, et al.). 磁谐振耦合式单中继线圈无线功率接力传输系统的建模与分析 (Modeling and analysis of magnetic resonance coupling wireless relay power transfer system with single intermediate coil resonator) [J]. 中国电机工程学报 (Proceedings of the CSEE), 2013, 33 (21): 170-177.
- [11] 邹玉炜, 黄学良, 柏杨, 等 (Zou Yuwei, Huang Xue-liang, Bai Yang, et al.). 基于 PZT 的超声波无接触能量传输系统的研究 (Research on contactless ultrasonic energy transfer system based on PZT) [J]. 电工技术学报 (Transactions of China Electrotechnical Society), 2011, 26 (9): 144-150.
- [12] 张献, 杨庆新, 陈海燕, 等 (Zhang Xian, Yang Qingxin, Chen Haiyan, et al.). 电磁耦合谐振式传能系统的频率分裂特性研究 (Research on characteristics of frequency splitting in electromagnetic coupling resonant power transmission systems) [J]. 中国电机工程学报 (Proceedings of the CSEE), 2012, 32 (9): 167-172.
- [13] Hirayama H, Okuyama Y, Kikuma N, et al. Equivalent circuit of induction fed magnetic resonant WPT system [A]. 2011 IEEE MIT-S International Microwave Workshop Series on Innovative Wireless Power Transmission: Technologies, System, and Application (IMWS) [C]. 2011. 239-242.
- [14] Hou J, Chen Q, Ren X, et al. Steady-state analysis of series/series-parallel compensated contactless resonant converter [A]. 2014 IEEE 79th Vehicular Technology Conference (VTC Spring) [C]. Seoul, Korea, 2014. 1-5.
- [15] 邱利莎, 黄守道, 李中启 (Qiu Lisha, Huang Shoudao, Li Zhongqi). 磁耦合谐振式无线输电系统的阻抗匹配研究 (Research on impedance matching of wireless power transfer via coupled magnetic resonance) [J]. 电力电子技术 (Power Electronics), 2015, 49 (10): 86-88.
- [16] 王浩, 王安娜, 赵强, 等 (Wang Hao, Wang Anna, Zhao Qiang, et al.). 基于散射矩阵的无线电能传输系统电磁耦合效率测量方法的研究 (Research on electromagnetism coupling efficiency of wireless power transmission system based on scattering matrix) [J]. 电工技术学报 (Transactions of China Electrotechnical Society), 2015, 30 (14): 463-469.
- [17] Weber R J. 微波电路引论: 射频与应用设计 (Introduction to microwave circuits radio frequency and design applications) [M]. 朱建清 (Zhu Jianqing) 译. 北京: 电子工业出版社 (Beijing: Publishing House of Electronics Industry), 2005.
- [18] Zhang Y, Chen Q, Ren X, et al. Design of S/P compensated IPT system considering parameter variations in consideration of ZVS achievement [A]. 2016 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE) [C]. 2016. 1-6.

T parameter model and its application in S/P compensated WPT system

XIN Ping-ping¹, ZHOU Ji-song², FENG Jun³, CHEN Qian-hong¹

(1. Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 211106, China;

2. China Aviation Industry Jin Cheng Nanjing Electrical and Hydraulic Engineering Research Center, Nanjing 211106, China; 3. Jianghai Capacitor Co. Ltd., Nantong 226361, China)

Abstract: T parameter model is often applied to modeling and analyzing the cascade network. It can take the influence of parasitic parameters and distributed parameters into consideration. It is of great use in high-frequency field or for the modeling of large scale system. This paper researches the application of T parameter model in wireless power transfer (WPT) system. Firstly, the T parameter model is used to model the WPT system, and the methods to obtain the parameters are given. Then, based on the T parameter model, a general expression of the operating characteristics of the WPT system is derived. The load conditions that the system achieves maximum power transmission or maximum efficiency are also given. Finally, the prototype is built, and the theoretical results of S/P compensation system based on T parameter model are compared with the experimental results of the WPT system. The experimental results of the power transmission curves, and the efficiency curves are in good agreement with the theoretical calculation based on T parameter model. It shows that the model can not only effectively describe the working characteristics of the WPT system, but also verify the effectiveness of the method to obtain the parameters.

Key words: wireless power transfer (WPT); T parameter model; optimal load