

汽车轮胎压力监测系统动态天线研究*

李青侠, 张宏侠, 冷毅

(华中科技大学电子与信息工程系, 武汉 430074)

[摘要] 由于汽车轮胎压力监测系统(TPMS)中的无线温度压力传感器安装在轮毂上,金属的轮毂、车身以及轮毂的转动对无线传感器天线的性能影响很大,使 TPMS 的性能下降。针对该问题提出将无线传感器天线、轮毂、车身看作一个动态天线,建立动态天线的三维电磁场仿真模型,并将仿真得到的动态天线参数用于无线传感器天线的匹配电路设计。道路试验显示:设计的 TPMS 系统安装在汽车轮毂上且处于运动状态时,性能良好,说明动态天线的三维电磁场仿真模型可用于 TPMS 的优化设计。

关键词: 轮胎压力监测系统(TPMS);动态天线;无线传感器

A Study on Dynamic Antenna in Tyre Pressure Monitor System of Vehicles

Li Qingxia, Zhang Hongxia & Leng Yi

Department of Electronics and Information, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074

[Abstract] As the wireless sensor in tyre pressure monitor system (TPMS) is mounted on the wheel, the metal parts of the wheels and vehicle body and the rotation of wheel strongly affect the performance of the antenna with wireless sensor and hence degrade the performance of TPMS. To solve the problem, a concept of dynamic antenna is introduced, which comprises the antenna with wireless sensor, wheels, and vehicle body. A 3D electromagnetic simulation model for the dynamic antenna is built and a simulation is performed. The parameters of dynamic antenna obtained by the simulation are then used in the design of matching circuit of base antenna. The results of field test show that the TPMS with new design of antenna has a good performance even when the vehicle is moving at high speed. This indicates that the concept of dynamic antenna and its electromagnetic simulation model are feasible and conducive to the rational design of the antenna for TPMS.

Keywords: TPMS; Dynamic antenna; Wireless sensor

前言

据统计^[1],在高速公路上发生的交通事故有 70%~80%是由于爆胎引起的,防止爆胎是安全驾驶的一个重要课题。汽车轮胎压力监测系统(TPMS)用于在汽车行驶时对轮胎气压进行自动监测,对轮胎漏气和低气压进行报警,是驾驶安全的预警系统。美国交通部国家高速公路交通安全管理署(NHTSA)最近要求,自 2007 年起,所有美国出售的汽车都必须装配 TPMS 系统。TPMS 系统由 4 个无

线温度压力传感器(简称无线传感器)和一个接收机组成,每个轮毂气门嘴位置安装一个无线传感器,接收机放置在驾驶室仪表台上。

对某公司试验用 TPMS 系统的测试表明:实验室调试良好的无线传感器,接收机可在 35m 距离内稳定接收信号,接收数据的帧正确率为 100%;但装车后有时出现接收不到信号的情况,接收数据的帧正确率下降到 61.4%。

出现上述问题的原因是 TPMS 中的无线传感器安装在轮毂上,金属的轮毂、车身对无线传感器天线的性能影响很大^[2],且轮毂的转动使无线传感器天

* 上海飞恩微电子(FINEMEMS)有限公司(201203)项目、2004 年国家 863 计划项目(2004AA04270)资助。

原稿收到日期为 2006 年 4 月 17 日,修改稿收到日期为 2006 年 9 月 1 日。

线处于运动状态,进一步影响天线的性能,从而使 TPMS 的无线传输性能下降。

作者针对该问题提出将汽车轮毂、车身作为发射天线的一部分,三者组成一个动态天线,同时建立动态天线的三维电磁仿真模型,利用该模型仿真动态天线的参数,并将得到的参数用于天线匹配电路的设计。

1 动态天线的仿真模型

TPMS 动态天线由无线传感器天线、轮毂和车身组成,其三维电磁仿真模型以某公司的 SQR 7160 轿车为原型构造,该车实际外形尺寸约为 4.3m(长)×1.7m(宽)×1.4m(高),4 个轮毂直径约 60cm,厚度约 18cm。

动态天线的三维电磁仿真模型如图 1 所示,该动态天线模型中的车身部分采用简化的理想导体平面来构造,没有考虑挡风玻璃和车内部件的影响;轮毂部分采用厂家提供的 CAD 图形构造,以理想导体对待,没有考虑橡胶轮胎的影响;无线传感器天线部分由电路板模型和气门嘴模型两部分组成。无线传感器安装在轮毂上,气门嘴与轮毂面夹角为 15°。除轮毂和车身对传感器天线影响外,由于天线离地面高度小于一个波长,地面的影响也不可忽略^[3],模型中以无限大理想导体面来代替实际地面。动态天线中轮毂离地面 12cm。由于天线附近物体对其影响较大^[4],为了充分考虑这种影响,在仿真时特别对无线传感器天线附近部分增加了有限元网格划分数。为了更好地保证仿真的精确性,采用 PML 吸收边界。分析频率为 433.92MHz。有限元网格划分数为 80 106 个。在 HFSS 中利用该模型对动态天线的性能进行仿真。

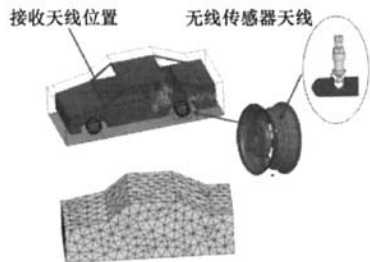


图 1 动态天线三维电磁仿真模型及其网格划分

2 仿真结果与分析

2.1 轮毂及车身对天线性能的影响

万方数据

取 $\theta = 90^\circ$, $\varphi = 0^\circ \sim 360^\circ$ 的水平面分析理想空间中单个静态无线传感器天线(简称单天线)和动态天线的方向特性和极化特性。方向特性采用功率方向图来描述,极化特性采用圆极化比 ρ 来描述。

$$\rho = E_R / E_L$$

式中 E_R 为右旋圆极化波的幅度, E_L 为左旋圆极化波的幅度; $\rho = 0$, 表示左旋圆极化; $0 < \rho < 1$, 表示左旋椭圆极化; $\rho = 1$, 表示线极化; $1 < \rho < \infty$, 表示右旋椭圆极化; $\rho = \infty$, 表示右旋圆极化。图 2 给出了两种天线的仿真结果,其中动态天线中的无线传感器在左后轮 0° 位置(见图 3)。

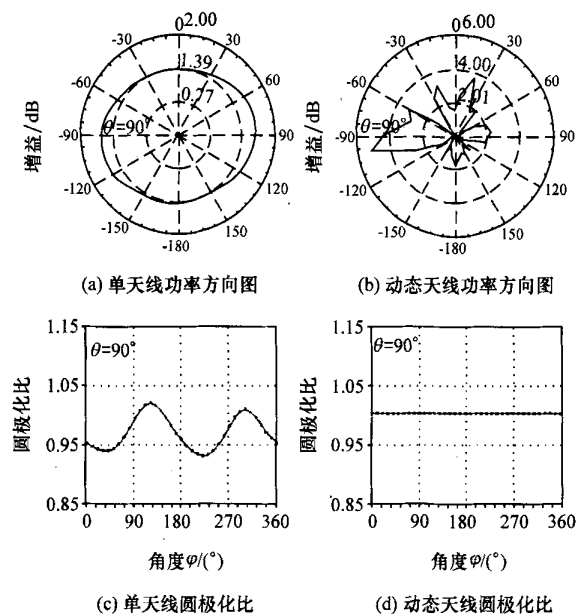


图 2 两种天线特性的比较

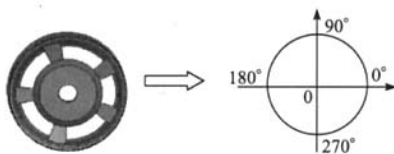


图 3 无线传感器位置示意图

从图 2 可以看出,单天线方向特性基本保持全向,而动态天线在不同方向的辐射能力有很大差异,这表明车身、轮毂及地面对天线的方向性影响很大;单天线圆极化比在 1 附近起伏波动,而动态天线圆极化比基本保持为 1,这表明车身、轮毂及地面对无线传感器天线的极化特性有影响,这种对极化特性的影响主要是车身、轮毂表面及地面的感应电流引起的。

2.2 轮毂转动对天线性能的影响

随着无线传感器位置的变化,动态天线的特性也将变化。这里取左后轮的如图3所示的 0° 、 90° 、 180° 、 270° 4个位置来分析,这既考虑了无线传感器天线距离地面高低的情况,也考虑了距离车身远近的情况。图4给出了4个位置的动态天线三维功率方向图。从图4可以看出,随着轮胎的转动,天线方向特性变化明显,说明轮毂的转动对天线方向性能的影响很大。

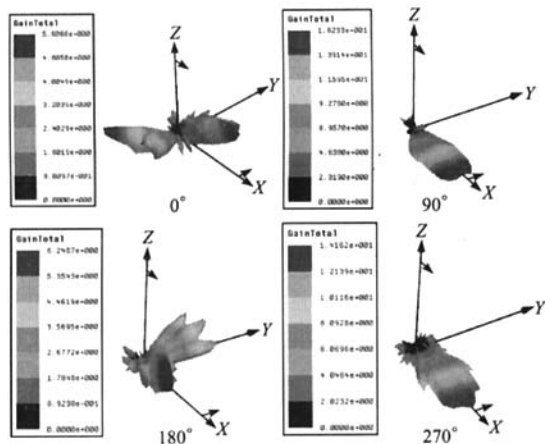


图4 左后轮不同位置动态天线功率方向图

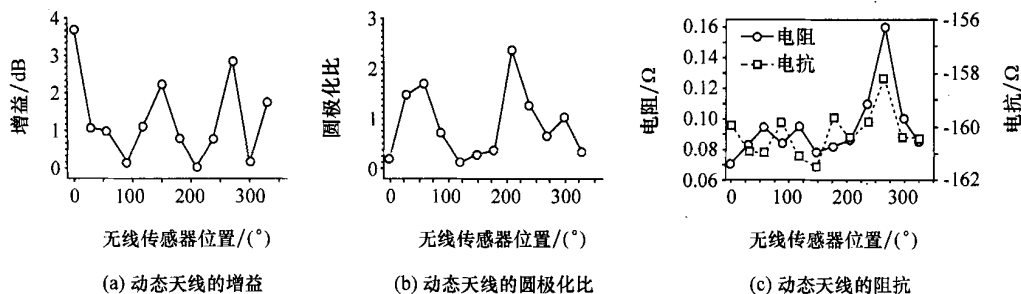


图5 不同位置动态天线参数值

功率和数据传输性能对比测试。

(1) 信号功率传输测试

无线传感器射频功率设为 3dBm ,发射 433.92MHz 的连续正弦波;接收机位于汽车仪表板上中间位置,接收机的天线采用 $1/4$ 波长单振子天线,后接频谱仪;转动车轮记录12个点的接收功率,进行2种对比测试:无线传感器采用动态天线匹配,记录接收机接收到的功率;无线传感器采用静态的单天线匹配,记录接收机接收到的功率。两种测试结果的对比见图6。

由图6可见,采用动态天线匹配的无线传感器,其传输功率增加了 $20\sim 30\text{dB}$ 。

万方数据

为了比较完整地体现动态天线的特性随车轮转动的变化,每隔 30° 取一个点,共取12个点进行仿真。图5给出了这12个位置的仿真结果。动态天线指向接收机天线方向的增益变化范围是 $0.035\sim 3.69\text{dB}$,圆极化比的变化范围是 $0.33\sim 2.41$;动态天线输入阻抗的电阻的变化范围是 $0.071\sim 0.16\Omega$ 、电抗的变化范围是 $-161.5\sim -158.16\Omega$ 。仿真结果说明轮毂的转动使天线的参数处于变化之中,而天线参数的变化将影响天线的性能。

3 实验及结果分析

动态天线阻抗的动态变化给匹配电路的设计带来了一定的困难,但由图5(c)可以看出,动态天线输入阻抗的电抗部分相对变化不大,而电阻部分相对变化较大的部分主要集中在 $240^\circ\sim 300^\circ$ 之间,即无线传感器天线运转到接近地面的区间。为了合理兼顾各个点的情况,这里取 240° 点来进行阻抗匹配设计。根据动态天线的这种阻抗匹配设计,重新制作了无线传感器,与原接收机组成新的TPMS系统。

为了验证新的TPMS的性能,进行了以下信号

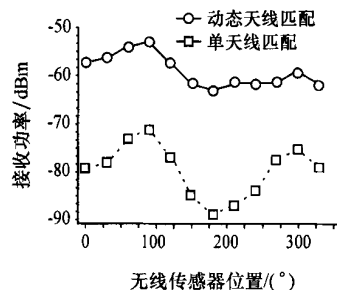


图6 接收功率测试结果对比

(2) 数据传输性能测试

采用某公司的试验用TPMS系统及新的TPMS系统进行实际车载对比测试。设定无线传感器每

10s 发射一次数据帧,连续测试时间 2h,共 720 帧。测试时,汽车在高速路面行驶,速度为 100km/h。进行 2 种对比测试:无线传感器采用动态天线匹配,记录接收机接收到的数据帧;无线传感器采用静态的单天线匹配,记录接收机接收到的数据帧。两种测试所得的数据传输性能对比见表 1。

表 1 数据传输性能的对比

	正确接收的数据帧个数	数据帧正确率
动态天线匹配	704	97.8%
单天线匹配	442	61.4%

由表 1 可见,采用动态天线匹配后的 TPMS 的数据帧传输的正确率远高于静止的单天线匹配的数据帧传输的正确率。

4 结论

将无线传感器天线、轮毂、车身一起看作是一个动态天线,建立动态天线的三维电磁场仿真模型,并将仿真得到的动态天线参数用于 TPMS 的无线传感器的匹配电路设计。道路试验显示:采用动态天线

匹配的 TPMS 系统安装在车上且处于运动状态时,其信号功率传输效率和数据帧传输的正确率都得到很大的改善。结果表明采用动态天线匹配设计的 TPMS 系统的数据传输性能得到了大幅度的提高,说明提出的动态天线的三维电磁场仿真模型可用于 TPMS 系统的优化设计。

该动态天线的三维电磁场仿真模型已用于某公司轿车的 TPMS 系统的优化设计,在使 TPMS 性能提高的同时,也使设计的时间缩短,设计和测试的成本降低。

参考文献

[1] 朱由锋,王泽鹏,薛风先. 智能轮胎监测技术的发展现状及前景[J]. 橡胶工业,2005,52(2):114-117.

[2] Wiese Richard, Song H J, Hsu Hui-Pin. RF Link Budget Analysis of a 315 MHz Wireless Link for Automotive Tire Pressure Monitoring System[C]. SAE Paper 2005-01-1532.

[3] 康行健. 天线原理与设计[M]. 北京:北京理工大学出版社,1992.

[4] Abou-Jaoude R, Walton E K. Numerical Modeling of On-glass Conformal Automobile Antennas[J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation,1998,46(6):845-852.

(上接第 464 页)

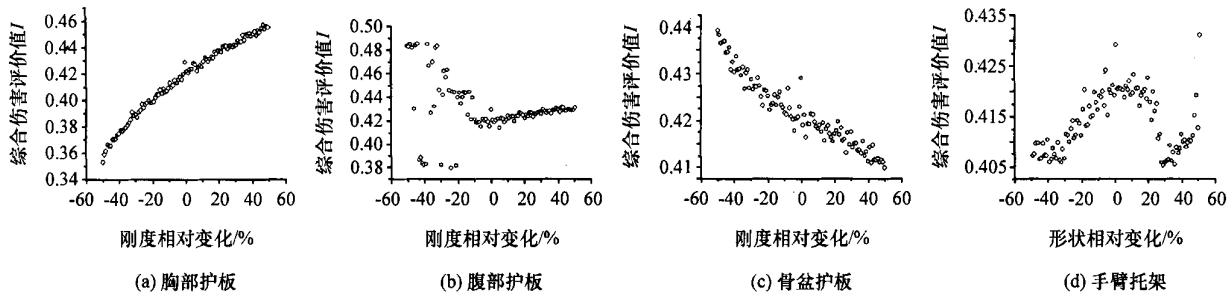


图 8 刚度参数与综合伤害评价的相关图

参考文献

[1] David Nelson and Laurie Sparke. Improved Side Protection; Design Optimization for Minimum Harm[C]. SAE Paper 2002-01-0167.

[2] Abdullatif K, Ana Maria, Kennerly H. Occupant Injury Patterns in Side Crashes[C]. SAE Paper 2001-01-0723.

[3] 张敏,张君媛,刘静岩. 基于 MADYMO 的汽车侧面碰撞乘员约束系统模型建立与验证//汽车安全技术[M]. 北京:人民交通出版社,2004.

[4] 汽车工程手册(试验篇)[M]. 北京:机械工业出版社,2000.

[5] Pavel Dvorak. Stochastic Design Space Exploration of Side Impact Problem Using MADYMO[C]. 10th International MADYMO Users Meeting,2004.

[6] 冯力. 回归分析方法原理及 SPSS 实际操作[M]. 北京:中国金融出版社,2004.

[7] 张君媛,丁如芳,等. 汽车侧面碰撞乘员约束系统的多目标优化[J]. 汽车技术,2005(11).

如何学习天线设计

天线设计理论晦涩高深, 让许多工程师望而却步, 然而实际工程或实际工作中在设计天线时却很少用到这些高深晦涩的理论。实际上, 我们只需要懂得最基本的天线和射频基础知识, 借助于 HFSS、CST 软件或者测试仪器就可以设计出工作性能良好的各类天线。

易迪拓培训(www.edatop.com)专注于微波射频和天线设计人才的培养, 推出了一系列天线设计培训视频课程。我们的视频培训课程, 化繁为简, 直观易学, 可以帮助您快速学习掌握天线设计的真谛, 让天线设计不再难...



HFSS 天线设计培训课程套装

套装包含 6 门视频课程和 1 本图书, 课程从基础讲起, 内容由浅入深, 理论介绍和实际操作讲解相结合, 全面系统的讲解了 HFSS 天线设计的全过程。是国内最全面、最专业的 HFSS 天线设计课程, 可以帮助你快速学习掌握如何使用 HFSS 软件进行天线设计, 让天线设计不再难...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/122.html>

CST 天线设计视频培训课程套装

套装包含 5 门视频培训课程, 由经验丰富的专家授课, 旨在帮助您从零开始, 全面系统地学习掌握 CST 微波工作室的功能应用和使用 CST 微波工作室进行天线设计实际过程和具体操作。视频课程, 边操作边讲解, 直观易学; 购买套装同时赠送 3 个月在线答疑, 帮您解答学习中遇到的问题, 让您学习无忧。

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/cst/127.html>



13.56MHz NFC/RFID 线圈天线设计培训课程套装

套装包含 4 门视频培训课程, 培训将 13.56MHz 线圈天线设计原理和仿真设计实践相结合, 全面系统地讲解了 13.56MHz 线圈天线的工作原理、设计方法、设计考量以及使用 HFSS 和 CST 仿真分析线圈天线的具体操作, 同时还介绍了 13.56MHz 线圈天线匹配电路的设计和调试。通过该套课程的学习, 可以帮助您快速学习掌握 13.56MHz 线圈天线及其匹配电路的原理、设计和调试...

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/116.html>



关于易迪拓培训：

易迪拓培训(www.edatop.com)由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立，一直致力和专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养；后于 2006 年整合合并微波 EDA 网(www.mweda.com)，现已发展成为国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地，成功推出多套微波射频以及天线设计经典培训课程和 ADS、HFSS 等专业软件使用培训课程，广受客户好评；并先后与人民邮电出版社、电子工业出版社合作出版了多本专业图书，帮助数万名工程师提升了专业技术能力。客户遍布中兴通讯、研通高频、埃威航电、国人通信等多家国内知名公司，以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

我们的课程优势：

- ※ 成立于 2004 年，10 多年丰富的行业经验
- ※ 一直专注于微波射频和天线设计工程师的培养，更了解该行业对人才的要求
- ※ 视频课程、既能达到了现场培训的效果，又能免除您舟车劳顿的辛苦，学习工作两不误
- ※ 经验丰富的一线资深工程师主讲，结合实际工程案例，直观、实用、易学

联系我们：

- ※ 易迪拓培训官网：<http://www.edatop.com>
- ※ 微波 EDA 网：<http://www.mweda.com>
- ※ 官方淘宝店：<http://shop36920890.taobao.com>