



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102707170 B

(45) 授权公告日 2015. 01. 07

(21) 申请号 201210167237. X

(22) 申请日 2012. 05. 25

(73) 专利权人 北京航空航天大学
地址 100191 北京市海淀区学院路 37 号

(72) 发明人 戴飞 邵鑫磊 包贵浩 苏东林

(74) 专利代理机构 北京永创新实专利事务所
11121

代理人 官汉增

(51) Int. Cl.

G01R 31/00 (2006. 01)

(56) 对比文件

CN 201508393 U, 2010. 06. 16,

CA 2363753 A1, 2000. 09. 08,

陈京平. EMI 自动测试系统的现状与发
展. 《兵工自动化》. 2008, 第 27 卷 (第 12 期),

Zihua Zhao. An Automatic Decision

to Capture Power Amplifier Nonlinear

Features in Electromagnetic Susceptibility Tests. 《2011 International Conference on Electrical and Control Engineering (ICECE)》. 2011,

王宇. 基于虚拟仪器技术的电磁兼容自动测试系统. 《电子测量技术》. 2006, 第 29 卷 (第 6 期),

审查员 周生凯

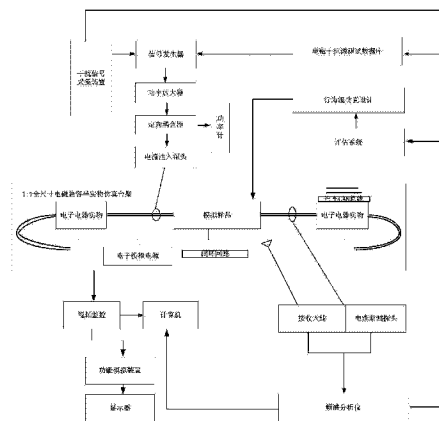
权利要求书2页 说明书5页 附图1页

(54) 发明名称

一种基于半实物仿真的汽车 CAN 总线电磁兼容性能测试方法

(57) 摘要

本发明提出一种基于半实物仿真的汽车 CAN 总线电磁兼容性能测试方法,属于汽车电磁兼容性设计及开发技术领域,包括步骤一、根据汽车电磁兼容实际情况搭建 1 : 1 全尺寸的汽车空壳台架;步骤二、干扰信号的模拟和注入;步骤三、监测汽车 CAN 总线对干扰信号的响应;步骤四、评估系统评估汽车 CAN 总线 EMC 特性;步骤五、实时观测汽车 CAN 总线电磁兼容性能。本发明弥补了传统方法汽车 CAN 总线电磁兼容测试上的不足,基于电磁兼容半实物仿真预测平台,研发人员可以在系统的方案、制样、试样、测试等各个研制阶段实现电磁兼容性设计,从根本上解决传统电磁兼容设计不完备、电磁兼容整改无功效的问题。



1. 一种基于半实物仿真的汽车 CAN 总线电磁兼容性能测试方法,其特征在于:包括以下几个步骤:

步骤一、根据汽车电磁兼容实际情况,搭建 1:1 全尺寸的汽车空壳台架:将车上各类电子电气设备以成品和模拟样品的形式,按照各自在实际车辆中的相应准确位置布置于该汽车空壳台架中,并通过汽车 CAN 总线连接;所述的模拟样品为与汽车 CAN 总线直接相连的电磁敏感体的模拟样品,包括点火系统、ABS 防抱死系统、安全气囊 ECU、多功能数字化仪表和电感式继电器;所述的成品包括去除模拟样品以外的电子电气设备;并通过电子模拟电源为该汽车空壳台架供电;

所述的模拟样品是通过 ADS 软件对车内主要电磁干扰源和电磁敏感体设备进行行为级建模仿真所得,行为级建模仿真,依据电子电气设备的输入输出原理得到电路的传递函数进而构造电路,让仿真模型逼近产品的真实输入输出情况,以点火系统为例首先要建立能够描述点火系统电磁特性的仿真模型,在分析点火系统结构和各元件特性的基础上,建立点火系统内部各元件的等效电路模型结构,并应用三维电磁场数值计算方法计算得到等效电路模型所需的电路参数,从而建立整个点火系统的等效电路模型;

步骤二、干扰信号的模拟和注入:基于电磁干扰源测试数据库和干扰信号采集装置重构汽车 CAN 总线周边的电磁环境,干扰信号采集装置由接收天线和近场监测探头构成,以获取车内电磁环境数据,干扰源测试数据库和干扰信号采集装置为信号发生器提供产生射频干扰信号的具体波形、幅度和频率参数值,信号发生器根据干扰源测试数据库和干扰信号采集装置发出高功率干扰信号,该高功率干扰信号由功率放大器内集成的定向耦合器接入到电流注入探头,电流注入探头将干扰源模拟器产生的电磁干扰信号注入到汽车 CAN 总线之中;功率计经功率探头与定向耦合器连接,用于测量经功率放大器实际发出的电磁干扰信号的强度;所述的信号发生器、功率放大器、定向耦合器、功率计、干扰信号采集装置构成干扰源模拟器,干扰源模拟器产生电磁干扰信号,通过电流注入探头注入至汽车空壳台架的 CAN 总线中;

步骤三、监测汽车 CAN 总线对干扰信号的响应:干扰源模拟器通过电流注入探头对汽车 CAN 总线施加干扰,汽车空壳台架中的实物和模拟样品做出信号响应,并通过监测装置对汽车 CAN 总线的输出响应信号进行实时监测,确定被试汽车 CAN 总线的抗干扰能力;监测装置包括电流监测探头、频谱分析仪和接收天线,接收天线接收车体内部产生的实际电磁辐射,电流监测探头监测 CAN 总线输出响应信号,通过接收天线和电流监测探头将车体内的实际电磁辐射和响应信号发送至频谱分析仪,频谱分析仪采用频率扫描超外差的工作方式,依据被测信号的频谱确定被测设备是否有超过标准规定的干扰发射,确定产生干扰的响应信号频率的大小,将该响应信号的频率大小发送至评估系统,通过对监测到的电磁响应信号进行频谱分析,及时发现汽车 CAN 总线存在的电磁兼容问题,并将分析结果反馈到评估系统进行 CAN 总线电磁兼容测试的综合评估;

步骤四、评估系统评估汽车 CAN 总线 EMC 特性:评估系统通过对监测装置提供的监测数据进行分析,评估汽车 CAN 总线电磁兼容影响因素对 CAN 总线及整车电磁兼容性的影响程度,依据评估结果调整模拟样品的行为级仿真设计参数、汽车 CAN 总线集成收发器设计参数和汽车 CAN 总线在整车系统内部的走线路径方面的电磁兼容影响因素来对汽车 CAN 总线进行电磁兼容综合整改;

步骤五、视频显示系统实时观测汽车 CAN 总线电磁兼容性能：通过视频监控装置对 CAN 总线测试结果进行实时监测，同时将频谱分析仪监测到的被测响应信号频谱一同发送至计算机，经过对 CAN 总线的抗干扰极限值和各电磁敏感设备受扰情况的综合分析，通过计算机记录汽车电子的敏感现象，生成试验报告，分析试验数据，并将分析结果发送至显示器，通过显示器对测试界面上的实时输出信号和汽车电子的敏感状态进行大屏幕显示。

2. 根据权利要求 1 所述的一种基于半实物仿真的汽车 CAN 总线电磁兼容性能测试方法，其特征在于：所述的电磁干扰源测试数据库是在原始汽车 CAN 总线电磁兼容测试数据积累的基础上依据 SQL Server 所建立的测试数据库。

一种基于半实物仿真的汽车 CAN 总线电磁兼容性能测试方法

技术领域

[0001] 本发明属于汽车电磁兼容性设计及开发技术领域,特别涉及一种基于半实物仿真的汽车 CAN 总线电磁兼容性能测试方法。该方法能够更准确地反应汽车 CAN 所处真实的电磁环境,更有利于对汽车 CAN 总线进行电磁兼容整改。

背景技术

[0002] CAN 是 Controller Area Network 的缩写即控制器局域网,属多路传输系统的一种,是德国 Bosch 公司 20 世纪 80 年代为汽车中应用越来越多的控制器而提出的一种网络概念,因其良好的性能价格比和可靠性,近年来得到广泛应用。CAN 数据总线的出现有效的解决了传统汽车中线束数量过多、体积过于庞大,综合控制系统中大量的控制信号不能实时交换等缺陷,被广泛应用于现代汽车产业。

[0003] 对于现代汽车的复杂电磁环境,CAN 总线面临着车内高压点火系统,各种感性负载(如:电机类电器部件),各种开关类部件(如:闪光继电器),各种电子控制单元 ECU,车载电气、无线电设备等电磁干扰源所产生的电磁干扰。而对于电动汽车这个问题则更为突出,因为电动汽车中的电子器件更多,如在驱动电机过程中所采用的变频器、DC/DC, DC/AC 模块,车内高压电源线以及电动机启停时都会产生较大的电磁干扰。

[0004] 鉴于 CAN 数据总线所处复杂的电磁环境,如果 CAN 总线的电磁兼容问题没有得到很好解决,将会导致汽车电子电器协调工作的性能下降,甚至无法正常工作,严重的可能造成事故以及其它不可估量的损失。根据 ISO11898-2 的 7.2.2.2 要求,CAN 总线应满足 ISO7637-3 测试脉冲 3a 和 3b 的测试要求。ISO7637-3 介绍了除电源线外的其他所有连线上电瞬变传导干扰的实验方法,采用电容耦合夹,通过放在电容耦合夹中的 CAN 总线通讯介质之间的分布电容,将干扰耦合到被测设备中,用以评价 CAN 总线抗经由线路分布电容耦合进来的瞬变传导干扰的能力。用以模拟汽车电子系统中各种开关及继电器在开启或关断的过程中,由于电弧所产生的快速脉冲群对 CAN 总线所造成的影响。

[0005] 然而,单纯采用 ISO7637-3 标准测试波形进行试验并不能完全模拟并反应实际汽车 CAN 总线所受的车内电磁干扰状况。通常的汽车 CAN 总线电磁兼容测试都在整车系统开发的后期进行,这给发现汽车 CAN 总线电磁兼容问题后的整改带来了极大的不便,延缓了整个汽车系统的研制时间。

发明内容

[0006] 针对现有技术中存在的问题,本发明提出一种基于半实物仿真的汽车 CAN 总线电磁兼容性能测试方法,该方法引用了半实物仿真的设计理念,通过模拟干扰源的建立将干扰信号以电流注入探头的形式注入到汽车 CAN 总线中,对 CAN 总线及相关电磁敏感器件输出相应信号进行分析,从而为汽车设计初始阶段的 CAN 总线电磁兼容整改提供依据。

[0007] 本发明提出一种基于半实物仿真的汽车 CAN 总线电磁兼容性能测试方法,包括以

下几个步骤：

[0008] 步骤一、根据汽车电磁兼容实际情况，搭建 1：1 全尺寸的汽车空壳台架：将车上各类电子电气设备以成品和模拟样品的形式，按照各自在实际车辆中的相应准确位置布置于该汽车空壳台架中，并通过汽车 CAN 数据总线连接；

[0009] 步骤二、干扰信号的模拟和注入：基于电磁干扰源测试数据库和干扰信号采集装置重构汽车 CAN 总线周边复杂的电磁环境，干扰信号采集装置由接收天线和近场监测探头构成以获取车内电磁环境数据，干扰源测试数据库和干扰信号采集装置为信号发生器提供产生射频干扰信号的具体波形、幅度和频率参数值，信号发生器参考干扰源测试数据库和干扰信号采集装置发出高功率干扰信号，该高功率干扰信号由功率放大器内集成的定向耦合器接入到电流注入探头，电流注入探头将干扰源模拟器产生的电磁干扰信号注入到汽车 CAN 总线之中；功率计经功率探头与定向耦合器连接，用于测量经功率放大器实际发出的电磁干扰信号的强度；所述的信号发生器、功率放大器、定向耦合器、功率计、干扰信号采集装置构成干扰源模拟器，干扰源模拟器产生电磁干扰信号，通过电流注入探头注入至汽车空壳台架的 CAN 总线中；

[0010] 步骤三、监测汽车 CAN 总线对干扰信号的响应：干扰源模拟器通过电流注入探头对汽车 CAN 总线施加干扰时，汽车空壳台架中的实物和模拟样品做出信号响应，并通过监测装置对汽车 CAN 总线的输出响应信号进行实时监测，确定被试汽车 CAN 总线的抗干扰能力；监测装置包括电流监测探头、频谱分析仪和接收天线，接收天线接收车体内部产生的实际电磁辐射，电流监测探头监测 CAN 总线输出响应信号，通过接收天线和电流监测探头将车体内的实际电磁辐射和响应信号发送至频谱分析仪，频谱分析仪采用频率扫描超外差的工作方式，依据被测信号的频谱就能够知道被测设备是否有超过标准规定的干扰发射，以及产生干扰的响应信号频率的大小，并将该响应信号的频率大小发送至评估系统，通过对监测到的电磁响应信号进行频谱分析，及时发现汽车 CAN 总线存在的电磁兼容问题，并将分析结果反馈到评估系统进行 CAN 总线电磁兼容测试的综合评估；

[0011] 步骤四、评估系统评估汽车 CAN 总线 EMC 特性：该评估系统通过对监测装置提供的监测数据进行分析，评估汽车 CAN 总线电磁兼容影响因素对 CAN 总线及整车电磁兼容性的影响程度，依据评估结果调整模拟样品的行为级仿真设计参数、汽车 CAN 总线集成收发器设计参数和汽车 CAN 总线在整车系统内部的走线路径等电磁兼容影响因素来对汽车 CAN 总线进行电磁兼容综合整改；

[0012] 步骤五、视频显示系统实时观测汽车 CAN 总线电磁兼容性能：通过视频监控装置对 CAN 总线测试结果进行实时监测同时将频谱分析仪监测到的被测响应信号频谱一同发送至计算机，经过对 CAN 总线的抗干扰极限值和各电磁敏感设备受扰情况的综合分析，通过计算机记录汽车电子的敏感现象，生成试验报告，分析试验数据，并将分析结果发送至显示器，通过显示器对测试界面上的实时输出信号和汽车电子的敏感状态进行大屏幕显示。

[0013] 本发明的优点在于：

[0014] 1、本发明提出一种基于半实物仿真技术的汽车 CAN 总线电磁兼容性能测试方法，弥补了传统方法汽车 CAN 总线电磁兼容测试上的不足，基于电磁兼容半实物仿真预测平台，研发人员可以在系统的方案、制样、试样、测试等各个研制阶段实现电磁兼容性设计，从根本上解决传统电磁兼容设计不完备、电磁兼容整改无功效的问题。

[0015] 2、本发明提出一种基于半实物仿真的汽车 CAN 总线电磁兼容性能测试方法,该方法通过对电子电器实物、干扰源模拟器、模拟样品以及车内 CAN 总线的真实布放,形成完整的闭环回路,以最大限度模拟实际车辆内的真实电磁环境;使汽车 CAN 总线电磁兼容测试结果更接近实际车辆存在的电磁兼容状况。

[0016] 3、本发明提出一种基于半实物仿真的汽车 CAN 总线电磁兼容性能测试方法,该方法通过干扰信号采集装置有效收集整车内部对汽车 CAN 总线造成较强电磁干扰的电磁干扰源发射数据,同时基于汽车 CAN 总线电磁兼容原始测试数据,对汽车 CAN 总线施加干扰。这就弥补了电磁兼容测试标准中只采用 ISO 7637-3 中 3a 和 3b 测试脉冲进行检测的不全面性。同时研发人员在大屏幕显示器上可以观察测试界面上的实时输出信号和汽车电子的敏感现象进而可以使研发人员能够更清楚地了解汽车 CAN 总线的电磁兼容性能。

[0017] 4、本发明提出一种基于半实物仿真的汽车 CAN 总线电磁兼容性能测试方法,该方法通过实时调整模拟样品的行为级仿真设计参数、汽车 CAN 总线集成收发器设计参数及汽车 CAN 总线在整车系统内部的走线路径等汽车电磁兼容影响因素,逐步完善汽车 CAN 总线的抗干扰能力和整车的电磁兼容性。相比传统电磁兼容测试大大减轻了后期测试阶段的整改工作,还可以替代部分繁琐的系统级电磁兼容测试方法。

附图说明

[0018] 图 1 一种基于半实物仿真技术的汽车 CAN 总线电磁兼容性能测试方法流程图

具体实施方式

[0019] 下面将结合附图对本发明做进一步说明。

[0020] 本发明是一种基于半实物仿真的汽车 CAN 总线电磁兼容性能测试方法,构成干扰源模拟器的仪器有任意波形信号发生器、功率放大器、定向耦合器、功率计和电流注入探头;监测装置的仪器有接收天线、电流监测探头、频谱分析仪;数字仿真系统包括 MATLAB/Simulink、电路仿真工具 ADS、VC、SQL Server、电磁仿真分析软件;所述视频显示系统包括视频监控器、计算机、大屏幕显示器。

[0021] 本发明是一种基于半实物仿真的汽车 CAN 总线电磁兼容性能测试方法,如图 1 所示,包括以下几个步骤:

[0022] 步骤一、根据汽车电磁兼容实际情况,搭建 1:1 全尺寸的汽车空壳台架:将车上各类电子电气设备(去除汽车的动力系统、燃油、座椅等与电子电气特性无关的部件)以成品和模拟样品的形式,按照各自在实际车辆中的相应准确位置布置于该汽车空壳台架中,并通过汽车 CAN 数据总线连接。所述的模拟样品包括车内主要电磁干扰源如点火系统、ABS 防抱死系统、安全气囊 ECU、多功能数字化仪表、电感式继电器等与汽车 CAN 总线直接相连的电磁敏感体的模拟样品,成品包括去除模拟样品以外的电子电气设备,并通过电子模拟电源为该汽车空壳台架供电。以带有三个中央控制单元的 CAN 驱动网络为例,ABS 控制单元与点火系统控制单元、仪表系统通过 CAN 总线直接相连,同时各控制单元连接相应的传感器和执行元件。

[0023] 本发明中的模拟样品是通过 ADS 软件对车内主要电磁干扰源和电磁敏感体设备如点火系统、ABS 防抱死系统、安全气囊 ECU、多功能数字化仪表、电感式继电器等进行行为

级建模仿真所得。行为级建模仿真,依据电子电气设备的输入输出原理得到电路的传递函数进而构造电路,让仿真模型逼近产品的真实输入输出情况,以点火系统为例首先要建立能够描述点火系统电磁特性的仿真模型,在分析点火系统结构和各元件特性的基础上,建立点火系统内部各元件的等效电路模型结构,并应用三维电磁场数值计算方法计算得到等效电路模型所需的电路参数,从而建立整个点火系统的等效电路模型。在建立模拟样品的过程中需要根据仿真的结论进行多次的验证和修正来提高模拟样品的准确度和置信度。在电路仿真准确无误的前提下,模拟样品可以实时反映在电磁干扰注入情况下模拟样品输入输出端口信号的变化情况,同时模拟样品可以通过调整相关电子元器件设计参数改变自身的电磁发射数据。

[0024] 步骤二、干扰信号的模拟和注入:基于电磁干扰源测试数据库和干扰信号采集装置重构汽车 CAN 总线周边复杂的电磁环境,所述干扰源测试数据库是在原始汽车 CAN 总线电磁兼容测试数据积累的基础上依据 SQLServer 所建立的测试数据库。干扰信号采集装置由接收天线和近场监测探头构成以获取车内电磁环境数据。干扰源测试数据库和干扰信号采集装置为信号发生器提供产生射频干扰信号的具体波形、幅度、频率等参数值。信号发生器参考干扰源测试数据库和干扰信号采集装置发出高功率干扰信号,该高功率干扰信号由功率放大器内集成的定向耦合器接入到电流注入探头,电流注入探头将干扰源模拟器产生的电磁干扰信号注入到汽车 CAN 总线之中。功率计经功率探头与定向耦合器连接,用于测量经功率放大器实际发出的电磁干扰信号的强度。

[0025] 所述的信号发生器、功率放大器、定向耦合器、功率计、干扰信号采集装置构成干扰源模拟器,干扰源模拟器产生电磁干扰信号,通过电流注入探头注入至汽车空壳台架的 CAN 总线中。

[0026] 步骤三、监测汽车 CAN 总线对干扰信号的响应:干扰源模拟器通过电流注入探头对汽车 CAN 总线施加干扰时,汽车空壳台架中的实物和模拟样品做出信号响应,并通过监测装置对汽车 CAN 总线的输出响应信号进行实时监测,确定被试线缆(汽车 CAN 总线)的抗干扰能力。监测装置包括电流监测探头、频谱分析仪和接收天线。接收天线接收车体内部产生的实际电磁辐射,电流监测探头监测 CAN 总线输出响应信号,通过接收天线和电流监测探头将车体内的实际电磁辐射和响应信号发送至频谱分析仪,频谱分析仪采用频率扫描超外差的工作方式,依据被测信号的频谱就能够知道被测设备是否有超过标准规定的干扰发射,以及产生干扰的响应信号频率的大小,并将该响应信号的频率大小发送至评估系统。通过对监测到的电磁响应信号进行频谱分析,及时发现汽车 CAN 总线存在的电磁兼容问题,并将分析结果反馈到评估系统进行 CAN 总线电磁兼容测试的综合评估。

[0027] 步骤四、评估系统评估汽车 CAN 总线 EMC 特性:评估系统采用模块化设计的思想,依据电磁兼容测试标准建立汽车 CAN 总线电磁兼容性能评估指标体系,以 DEMATEL(决策试验和评价实验法)为理论基础利用 VC 设计评估软件,该评估系统的设计流程是首先收集监测系统提供的数据信息,剖析汽车 CAN 总线电磁兼容影响因素,同时确定各影响因素间的直接影响程度,分析各影响因素之间有无直接影响关系及影响关系的强弱。然后构建直接影响矩阵,并计算规范化直接影响矩阵(规范化直接影响矩阵即将直接影响矩阵进行规范化处理)。依据规范化直接影响矩阵可以构建综合影响矩阵,由综合影响矩阵可以计算要素的影响度和被影响度、中心度与原因度,在此基础之上得出电磁兼容性能评估指标计算公

式。通过上述计算,可以根据影响度和被影响度判断出因素间的相互影响关系,及各影响因素对汽车 CAN 总线的影响程度;同时根据各影响因素的中心度可判定出各个影响因素对整车系统电磁兼容性的影响程度;根据原因度的大小,确定各影响因素在系统中的所处的位置。该评估系统通过对监测装置提供的监测数据进行分析,评估影响因素对 CAN 总线的影响程度及对整车系统电磁兼容性的影响程度,依据评估结果通过调整模拟样品的行为级仿真设计参数、汽车 CAN 总线集成收发器设计参数和汽车 CAN 总线在整车系统内部的走线路径等影响因素来对汽车 CAN 总线及整车系统进行电磁兼容综合整改。

[0028] 步骤五、视频显示系统实时观测汽车 CAN 总线电磁兼容性能:通过视频监控装置对 CAN 总线测试结果进行实时监测同时将频谱分析仪监测到的被测响应信号频谱一同发送至计算机,经过对 CAN 总线的抗干扰极限值和各电磁敏感设备受扰情况的综合分析,通过计算机记录汽车电子的敏感现象,生成试验报告,分析试验数据,并将分析结果发送至显示器,通过显示器对测试界面上的实时输出信号和汽车电子的敏感状态进行大屏幕显示。

[0029] 本发明最大限度地模拟汽车 CAN 总线内部真实的电磁环境,通过建立模拟干扰源将干扰信号以电流注入探头的形式注入到汽车 CAN 总线中,能够更加准确地预估整车系统内部电子设备对汽车 CAN 总线的电磁干扰问题,同时监测装置能够对汽车 CAN 总线的输出响应信号进行实时监测,确定汽车 CAN 总线的抗干扰能力。监测数据经评估系统进行评估以确定是否需要调整模拟样品行为级仿真的设计参数、汽车 CAN 总线集成收发器设计参数及汽车 CAN 总线在整车系统内部的走线路径等电磁兼容影响因素,以实现汽车 CAN 数据总线电磁兼容性的大幅度提升。

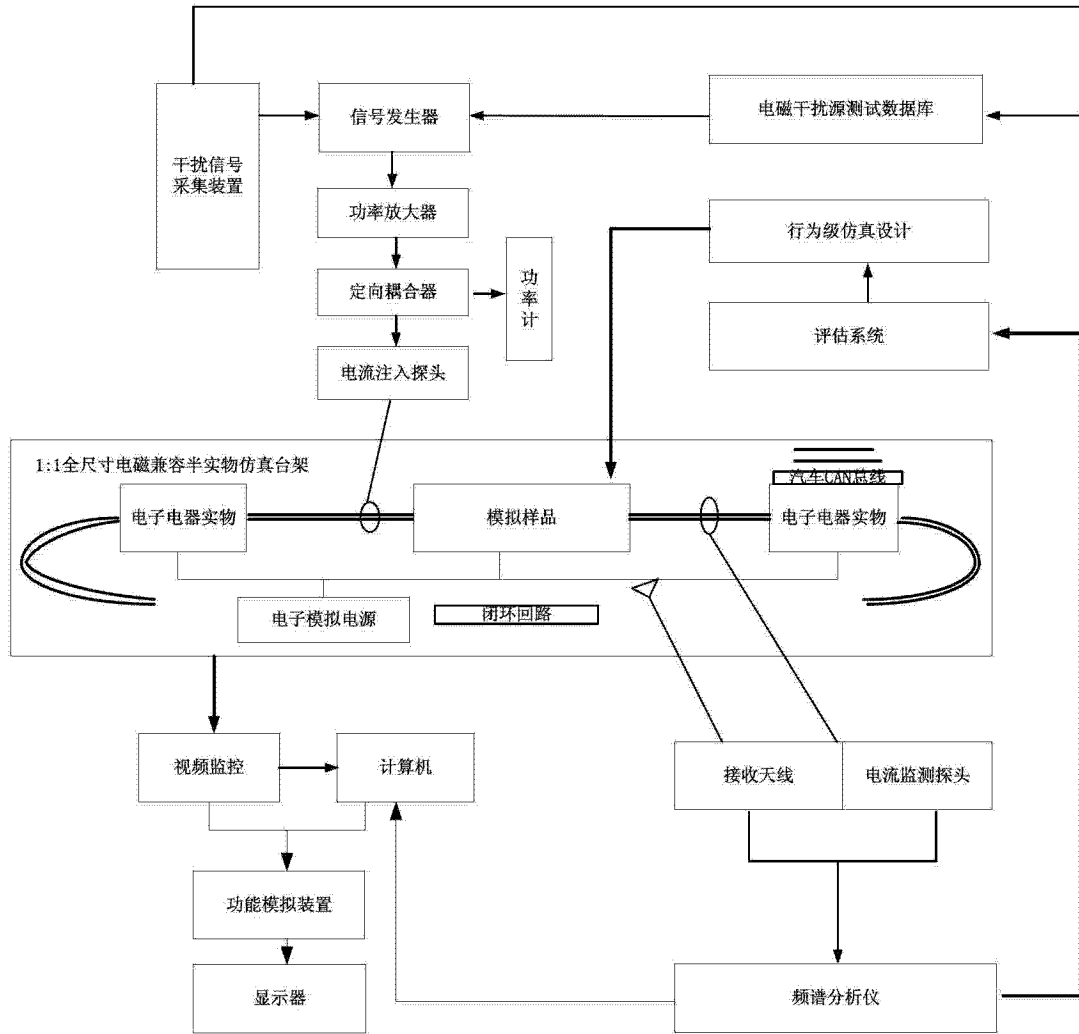


图 1