



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 114448471 A

(43) 申请公布日 2022. 05. 06

(21) 申请号 202111583685.3

(22) 申请日 2021.12.22

(71) 申请人 海鹰企业集团有限责任公司  
地址 214000 江苏省无锡市新吴区运河西路3000号

(72) 发明人 诸明人

(74) 专利代理机构 无锡派尔特知识产权代理事务所(普通合伙) 32340  
专利代理师 杨强 杨立秋

(51) Int. Cl.

H04B 5/00 (2006.01)

H04B 5/02 (2006.01)

H04B 13/02 (2006.01)

H02J 50/20 (2016.01)

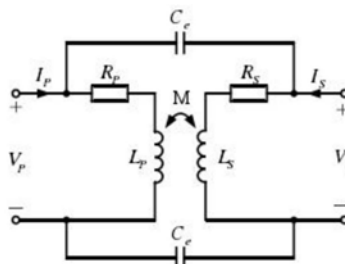
权利要求书1页 说明书5页 附图6页

(54) 发明名称

基于自适应前馈信号抗干扰的水下能源与信号传输系统

(57) 摘要

本发明涉及水声设备设计与制造领域技术领域,具体涉及基于自适应前馈信号抗干扰的水下能源与信号传输系统,包括:基于IUETS原理的无线电能传输单元:采用定向自补偿电磁耦合技术,通过对发射机输出端和接收机输入端的状态监测,对比发射机输入端状态,对收发端做定向补偿,保持能量传输的最佳状态;水下信号传输单元:包括信号发射机与接收机,利用正交频分调制技术OFDM设计分载波多通道水下高速信息传输系统,来实现海水介质中的无线高速数据传输,正交频分调制技术是将信道分成若干正交子信道,电能与信号混合传输单元:为无人水下航行器(UUV)等水下设备提供稳定可靠而又高效的大功率能源补给和数据传输解决方案。



1. 基于自适应前馈信号抗干扰的水下能源与信号传输系统,其特征在于,包括:

基于IUETS原理的无线电能传输单元:采用定向自补偿电磁耦合技术,通过对发射机输出端和接收机输入端的状态监测,对比发射机输入端状态,对收发端做定向补偿,保持能量传输的最佳状态;

水下信号传输单元:包括信号发射机与接收机,利用正交频分调制技术OFDM设计分载波多通道水下高速信息传输系统,来实现海水介质中的无线高速数据传输,正交频分调制技术是将信道分成若干正交子信道,将高速数据信号转换成并行的低速子数据流,调制到每个子信道上进行传输;

电能与信号混合传输单元:包括水下感应耦合电能传输模块,采用在该模块中增加一对信号传输天线,通过电磁感应实现信号的传输。

2. 根据权利要求1所述的基于自适应前馈信号抗干扰的水下能源与信号传输系统,其特征在于:在基于IUETS原理的无线电能传输单元使用时,还包括考虑海水电导特性的水下无线能量传输系统电磁耦合的等效互感模型。

3. 根据权利要求2所述的基于自适应前馈信号抗干扰的水下能源与信号传输系统,其特征在于:系统能量传输效率是收发机间距离的函数;通过选取合适的拓扑结构优化系统参数 $Q$ ,使其有较大的距离误差冗余,从而保证能量的高效率稳定传输。

4. 根据权利要求3所述的基于自适应前馈信号抗干扰的水下能源与信号传输系统,其特征在于:还包括构建的初级并联-次级并联互感电路模型。

5. 根据权利要求4所述的基于自适应前馈信号抗干扰的水下能源与信号传输系统,其特征在于:还包括控制电路模块,其主要功能是产生PWM信号驱动主电路中开关元件进行方波逆变;该电路由PWM电路产生PWM信号,再由驱动电路进行隔离放大,从而驱动主电路中的开关元件。

6. 根据权利要求1所述的基于自适应前馈信号抗干扰的水下能源与信号传输系统,其特征在于:在水下感应耦合电能传输模块使用时,每个线圈与其余三个线圈都存在着耦合关系,其中 $K_{pp}$ 为电能传输的主耦合系数,即电能传输主要是通过此耦合关系实现的, $K_{DD}$ 为信号传输的主耦合系数,即信号传输主要是通过此耦合关系实现的,其余耦合系数为电能传输环节与信号传输环节间的干扰耦合系数;信号线圈 $L_{D1}$ 和 $L_{D2}$ 在电能交变磁场中产生感应电压。

7. 根据权利要求1所述的基于自适应前馈信号抗干扰的水下能源与信号传输系统,其特征在于:若信号线圈 $L_{D1}$ 处于信号发送状态时,信号线圈 $L_{D2}$ 将通过以下五条路径产生感应电压,这五条路径分别为:

路径一: $L_{D1} \rightarrow L_{D2}$ ;

路径二: $L_{D1} \rightarrow LP_1 \rightarrow L_{D2}$ ;

路径三: $L_{D1} \rightarrow LP_2 \rightarrow L_{D2}$ ;

路径四: $L_{D1} \rightarrow LP_1 \rightarrow LP_2 \rightarrow L_{D2}$ ;

路径五: $L_{D1} \rightarrow LP_2 \rightarrow LP_1 \rightarrow L_{D2}$ ;

因此其产生的信号天线间等效耦合系数为:

$$K_E = K_{DD} - K_{P1D1} K_{P1D2} - K_{P2D2} + K_{P1D1} K_{PP} K_{P2D2} + K_{P2D1} + K_{PP} K_{P1D2}。$$

## 基于自适应前馈信号抗干扰的水下能源与信号传输系统

### 技术领域

[0001] 本发明涉及水声设备设计与制造领域技术领域,具体涉及基于自适应前馈信号抗干扰的水下能源与信号传输系统。

### 背景技术

[0002] 由于电磁信号在水下的衰减巨大,所以水下信号传输目前是一片空白。空气中部分电磁波之所以传输受限,主要是由于空气中有水蒸气、氧气、二氧化碳等的吸收频段,水是特殊介质,其分子结构是极化的二元结构,极化的水分子在高频电磁波的作用下,会迅速把电磁能量转化为机械能,使水温迅速上升,同时消耗并吸收了电磁能量,从而使水中的电磁信号传播受到了极大的抑制。在时变水文状态下,有效可靠的传输电能和高速信号传输是一个世界级的挑战。水声通讯的速率目前局限于kbps数量级,而水下信号传输速率Mbps以上的迄今尚无公开报道。

[0003] 目前,水下预置设备大都采用电池供电,一旦电池消耗殆尽即刻自沉自毁,制约其水下长期工作能力的发挥;水下工作的UUV需要定期回收母船上进行充电并导出数据,很不方便,难以满足实际需要。如何解决预置水中设备和UUV在水下直接进行能源补给和海量数据导出问题是发挥这类设备能力的关键。因此,必须开展水下能源与信号传输技术研究,以解决在水下对预置设备和UUV进行较大功率的能源补给和数据信号及命令的传输难题。

### 发明内容

[0004] 针对现有技术的不足,本发明提供了基于自适应前馈信号抗干扰的水下能源与信号传输系统,通过开展基于IUETS原理的海水中非接触能源与信号传输系统技术研究,进行样机试制和湖海相关试验,为无人水下航行器(UUV)等水下设备提供稳定可靠而又高效的大功率能源补给和数据传输解决方案。

[0005] 本发明通过以下技术方案予以实现:

[0006] 基于自适应前馈信号抗干扰的水下能源与信号传输系统,包括:

[0007] 基于IUETS原理的无线电能传输单元:采用定向自补偿电磁耦合技术,通过对发射机输出端和接收机输入端的状态监测,对比发射机输入端状态,对收发端做定向补偿,保持能量传输的最佳状态;

[0008] 水下信号传输单元:包括信号发射机与接收机,利用正交频分调制技术OFDM设计分载波多通道水下高速信息传输系统,来实现海水介质中的无线高速数据传输,正交频分调制技术是将信道分成若干正交子信道,将高速数据信号转换成并行的低速子数据流,调制到每个子信道上进行传输;

[0009] 电能与信号混合传输单元:包括水下感应耦合电能传输模块,采用在该模块中增加一对信号传输天线,通过电磁感应实现信号的传输。

[0010] 优选的,在基于IUETS原理的无线电能传输单元使用时,还包括考虑海水电导特性

的水下无线能量传输系统电磁耦合的等效互感模型。

[0011] 优选的,系统能量传输效率是收发机间距离的函数;通过选取合适的拓扑结构优化系统参数 $Q$ ,使其有较大的距离误差冗余,从而保证能量的高效率稳定传输。

[0012] 优选的,还包括构建的初级并联-次级并联互感电路模型。

[0013] 优选的,还包括控制电路模块,其主要功能是产生PWM信号驱动主电路中开关元件进行方波逆变;该电路由PWM电路产生PWM信号,再由驱动电路进行隔离放大,从而驱动主电路中的开关元件。

[0014] 优选的,在水下感应耦合电能传输模块使用时,每个线圈与其余三个线圈都存在着耦合关系,其中 $K_{pp}$ 为电能传输的主耦合系数,即电能传输主要是通过此耦合关系实现的, $K_{DD}$ 为信号传输的主耦合系数,即信号传输主要是通过此耦合关系实现的,其余耦合系数为电能传输环节与信号传输环节间的干扰耦合系数;信号线圈 $L_{D1}$ 和 $L_{D2}$ 在电能交变磁场中产生感应电压。

[0015] 优选的,若信号线圈 $L_{D1}$ 处于信号发送状态时,信号线圈 $L_{D2}$ 将通过以下五条路径产生感应电压,这五条路径分别为:

[0016] 路径一: $L_{D1} \rightarrow L_{D2}$ ;

[0017] 路径二: $L_{D1} \rightarrow LP_1 \rightarrow L_{D2}$ ;

[0018] 路径三: $L_{D1} \rightarrow LP_2 \rightarrow L_{D2}$ ;

[0019] 路径四: $L_{D1} \rightarrow LP_1 \rightarrow LP_2 \rightarrow L_{D2}$ ;

[0020] 路径五: $L_{D1} \rightarrow LP_2 \rightarrow LP_1 \rightarrow L_{D2}$ ;

[0021] 因此其产生的信号天线间等效耦合系数为:

[0022]  $K_E = K_{DD} - K_{P1D1}K_{P1D2} - K_{P2D2} + K_{P1D1}K_{PP}K_{P2D2} + K_{P2D1} + K_{PP}K_{P1D2}$ 。

[0023] 本发明的有益效果为:

[0024] 本系统利用拓扑补偿结构加强了系统的稳定性,在传输500W功率时测得在海水中相对于空气归一化后的传输效率可达90%。本系统与传统的无线充电技术相比,有以下优点:

[0025] 首先,IUETS没有直接接触式的电气连接,避免了导线接触的弊端,具有较高的安全性;其次,该系统不受工作环境的限制,可以在海水等特殊环境中工作,有很好的灵活性及适应性;再次,IUETS为数据传输和供电变压一体化设计,无需额外配置大体积的变压器,大大缩小了设备体积;最后,IUETS系统传输效率高,电磁泄漏小,不会对人类和海洋生物物造成健康隐患。

## 附图说明

[0026] 为了更清楚地说明本发明实施例或现有技术中的技术方案,下面将对实施例或现有技术描述中所需要使用的附图作简单地介绍,显而易见地,下面描述中的附图仅仅是本发明的一些实施例,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动的前提下,还可以根据这些附图获得其他的附图。

[0027] 图1为本发明考虑海水影响的等效互感模型电路图;

[0028] 图2为本发明系统能量传输效率与收发机间距的关系图;

[0029] 图3为本发明定向自补偿电磁耦合技术原理框图;

- [0030] 图4为本发明初级并联-次级并联互感电路模型电路图；
- [0031] 图5为本发明正交频分调制技术原理图；
- [0032] 图6为本发明水下感应耦合电能传输系统的信号传输原理图；
- [0033] 图7为本发明自适应前馈信号抗干扰技术原理框图；
- [0034] 图8为本发明发送电路波形图；
- [0035] 图9为本发明接收电路波形图；
- [0036] 图10为本发明信号特征提取波形图；
- [0037] 图11为本发明信号复原波形图；
- [0038] 图12为本发明静水压下信号复原波形图；
- [0039] 图13为本发明信号传输系统测试图。
- [0040] 图中:1-聚合物基体、2-圆锥形通孔、3-圆锥形高声阻抗材料嵌块。

### 具体实施方式

[0041] 为使本发明实施例的目的、技术方案和优点更加清楚,下面将结合本发明实施例中的附图,对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有作出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范围。

[0042] 实施例1:

[0043] 请参阅图1~图13所示:本发明实施例提供了基于自适应前馈信号抗干扰的水下能源与信号传输系统的技术方案;通过对水下应用环境的测试及分析,利用新型拓扑结构加强系统的稳定性,使系统在海水中相对于空气归一化后的传输效率高达90%。同时,在非接触传输电能的同时实现信号的同步传输,用于满足特殊场合下对指令传送和海量数据传输的需求。

[0044] 因此,本技术方案无线传输端有三个关键部分的设计,分别为基于IUETS原理的无线电能传输系统的设计,水下信号传输系统的设计,电能与信号混合传输时的干扰分析。

[0045] 1)、基于IUETS原理的无线电能传输系统的设计:目前基于IUETS的无线电能传输技术已较为成熟,但由于空气气隙的存在,使得传输功率与传输效率不太理想,严重抑制了该技术的发展。另外,传统的IUETS系统存在稳定性问题,以至于不能保证系统的最高效率和大功率的输出。海水的电磁特性与空气不同,传统的模型不能完全准确地反映出水下无线能量传输系统的行为特点。为了真实的反映松耦合变压器在海水中的工作情况,在建立模型时需要考虑海水中存在的一些特定因素。海水环境中耦合互感电路的初、次级之间存在分布电容,该分布电容会经线圈进行耦合。由于电容的容抗会随着工作频率的升高而降低,低频时容抗较大相当于断路,对系统影响较小,但在高频工作时分布电容值变小,对耦合器的影响将不可忽略。容抗的大小与导体的形状、导体之间的距离及电介质有关,由于海水具有较高的介电常数,海水中的分布电容比空气中大得多,因此建模时应考虑分布电容的影响。图1为考虑海水电导特性的水下无线能量传输系统电磁耦合的等效互感模型。如图2所示,系统能量传输效率是收发机间距离的函数;通过选取合适的拓扑结构优化系统参数 $Q$ ,可以有较大的距离误差冗余,从而保证能量的高效率稳定传输。

[0046] 鉴于现有的四类无线电力传输技术都有自己的优缺点,采用定向自补偿电磁耦合

技术,通过对发射机输出端和接收机输入端的状态监测,对比发射机输入端状态,对收发端做定向补偿,保持能量传输的最佳状态,图3是定向自补偿电磁耦合技术原理框图。因此设计初级并联-次级并联互感电路模型如图4所示。

[0047] 为使系统在处于动态情况下时始终工作在安全范围内,需设计控制电路模块。其主要功能是产生PWM信号驱动主电路中开关元件进行方波逆变。该电路由PWM电路产生PWM信号,再由驱动电路进行隔离放大,从而驱动主电路中的开关元件。本设计选用TI公司的UCC3895高级相移PWM控制器,这款芯片的特点有可编程软启动、自适应延迟设置、电压模式峰值电流模式或平均电流模式控制、双向振荡同步、0%-100%占空比控作频率可达1MHz。

[0048] 2)、水下信号传输系统的设计:在电能无线传输的同时实现信号的有效传输具有很大的应用前景。水中信号的有效传输具有很大的挑战。本装置设计了信号发射机与接收机,利用正交频分调制技术(OFDM)设计分载波多通道水下高速信息传输系统,来实现海水介质中的无线高速数据传输,正交频分调制技术是将信道分成若干正交子信道,将高速数据信号转换成并行的低速子数据流,调制到每个子信道上进行传输,如图5为其原理框图。

[0049] 3)、电能与信号混合传输的干扰分析:本装置针对水下感应耦合电能传输系统中信号传输问题,采用在机构中增加一对信号传输天线,通过电磁感应实现信号的传输,如图6所示:图中每个线圈与其余三个线圈都存在着耦合关系,其中 $K_{PP}$ 为电能传输的主耦合系数,即电能传输主要是通过此耦合关系实现的, $K_{DD}$ 为信号传输的主耦合系数,即信号传输主要是通过此耦合关系实现的,其余耦合系数可以理解为电能传输环节与信号传输环节间的干扰耦合系数。信号线圈 $L_{D1}$ 和 $L_{D2}$ 在电能交变磁场中产生感应电压(噪声电压),但由于该感应电压在信号线圈上不产生感应电流,因此信号线圈的存在不会影响电能线圈间的耦合强度。同时由于信号线圈中的电流远小于电能线圈中的电流,因此可以忽略信号线圈电流对能量传输的干扰影响。由图6可看出,若信号线圈 $L_{D1}$ 处于信号发送状态时,信号线 $L_{D2}$ 将通过以下五条路径产生感应电压,这五条路径分别为:

[0050] 路径一: $L_{D1} \rightarrow L_{D2}$ ;

[0051] 路径二: $L_{D1} \rightarrow LP_1 \rightarrow L_{D2}$ ;

[0052] 路径三: $L_{D1} \rightarrow LP_2 \rightarrow L_{D2}$ ;

[0053] 路径四: $L_{D1} \rightarrow LP_1 \rightarrow LP_2 \rightarrow L_{D2}$ ;

[0054] 路径五: $L_{D1} \rightarrow LP_2 \rightarrow LP_1 \rightarrow L_{D2}$ ;

[0055] 因此其产生的信号天线间等效耦合系数为:

[0056]  $K_E = K_{DD} - K_{P1D1} K_{P1D2} - K_{P2D2} + K_{P1D1} K_{PP} K_{P2D2} + K_{P2D1} + K_{PP} K_{P1D2}$ 。

[0057] 前馈信号抗干扰技术是一种可抗无线信道中多径传输时延及多普勒频移引起的信号衰落的技术,利用自适应前馈信号抗干扰技术(FFSR)消除干扰其原理如图7所示。

[0058] 4)、试验验证:

[0059] 我们在我单位试验水池内进行了水下能源与信号传输系统静水压下的集成联试,试验过程如下:

[0060] 搭建水下能源与信号传输系统装置后,以LED及串联电阻作为负载,在岸上进行能源与信号传输试验,得到表1中能源传输数据。

[0061] 表1岸上测试数据如下:

	输入 电压/V	输入 电流/A	输出 电压/V	输出 电流/A	输入 功率/W	输出 功率/W	传输 效率	
[0062]	数值	30	18.12	26.25	19.16	543.6	502.95	92.52%

[0063] 如图9为信号发送电路波形,其中通道1所示为待传输的数字信号,通道2所示为编码后的信号,通道3所示为谐振网络电压波形。

[0064] 图10为接收电路波形,其中通道1为电感感应的电压波形,通道2为负载两端电压波形,通道3为接收回路电感电压波形,由负载两端电压波形可看出输入电压平稳,没有受到信号传输的影响。

[0065] 图11所示为信号特征提取波形,其中通道1为包络检波器1的输出波形,通道2为包络检波器2输出波形,通道3为比较器输出的信号即信号特征波形。

[0066] 图12所示为信号复原波形,其中通道3所示为信号特征波形,通道1为反编码输出波形,由图可以看出信号复原波形与信号输入波形基本一致,系统成功完成了信号从发送电路到接收电路的传输。

[0067] 装配好能源与信号传输系统装置,沉入静水池环境中,同样的方法记录能量传输系统输入和输出端的电压与电流,如表2所示,信号传输系统信号复原波形如图12所示。

[0068] 表2静水压下的测试数据如下:

	输入 电压/V	输入 电流/A	输出 电压/V	输出 电流/A	输入 功率/W	输出 功率/W	传输 效率	
[0069]	数值	30	18.14	26.33	19.08	544.2	502.37	92.31%

[0070] 根据上述测试方案,采用示波器对发射端FPGA1提供基带测试数据与接收端FPGA2恢复的基带数据进行时域双综眼图观测,如图13所示。图中上半部分为信号发射端芯片输入的50Mbps的基带测试伪随机非归零码数据,采用FPGA2对信号接收端芯片恢复输出的基带数据进行解扰码操作之后,最终还原的基带数据如图13下半部分所示。

[0071] 通过与信号发射端输入的基带测试数据眼图对比可以看出所设计的接收机正确实现了对射频信号的接收与解调。接收端恢复输出的基带数据相对于发射端输入的基带测试数据而言存在6bit的延迟。

[0072] 采用误码分析仪对本测试无线通信环路的误比特率特性进行测试,在接收-79dBm的3-5GHz、符号速率50Mbps的射频信号时,信号传输系统误比特率低于 $10^{-6}$ ,此时信号传输系统总功耗为42mW。

[0073] 以上实施例仅用以说明本发明的技术方案,而非对其限制;尽管参照前述实施例对本发明进行了详细的说明,本领域的普通技术人员应当理解:其依然可以对前述各实施例所记载的技术方案进行修改,或者对其中部分技术特征进行等同替换;而这些修改或者替换,并不使相应技术方案的本质脱离本发明各实施例技术方案的精神和范围。

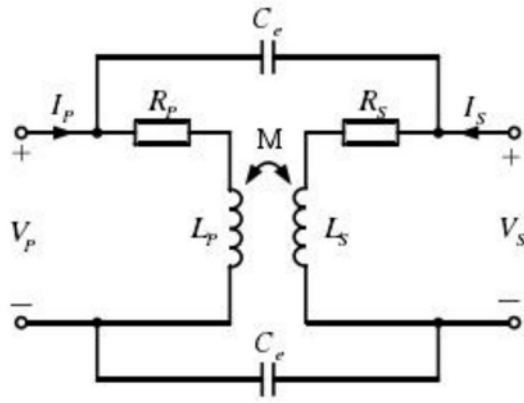


图1

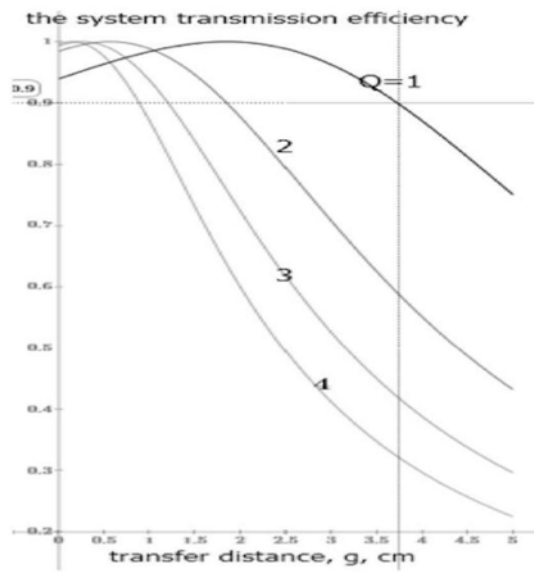


图2



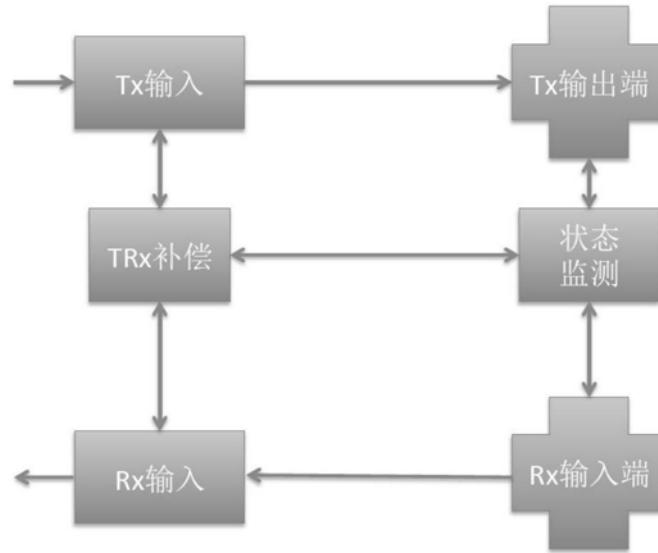


图3

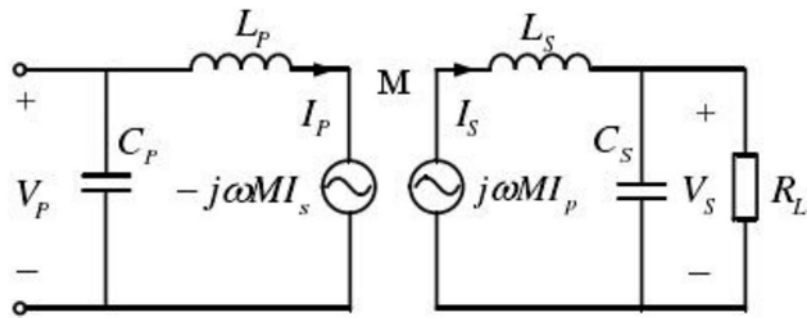


图4

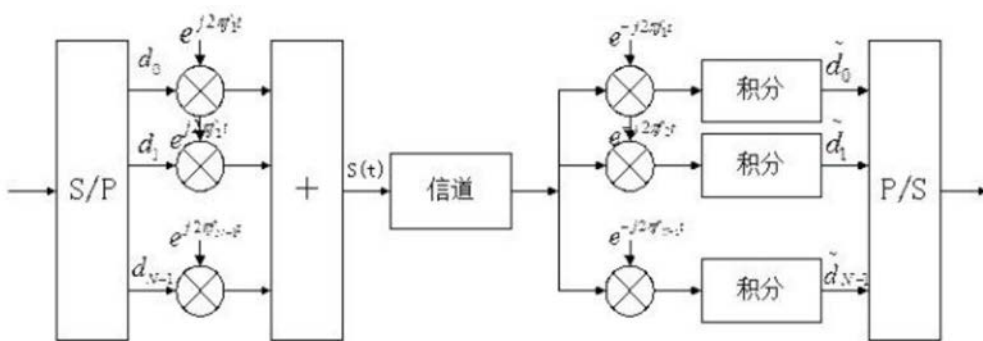


图5

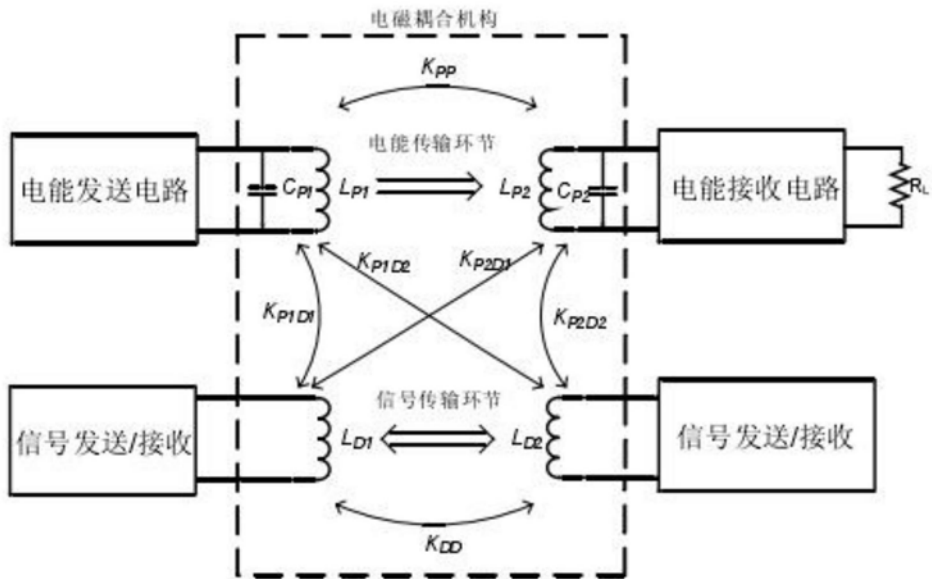


图6

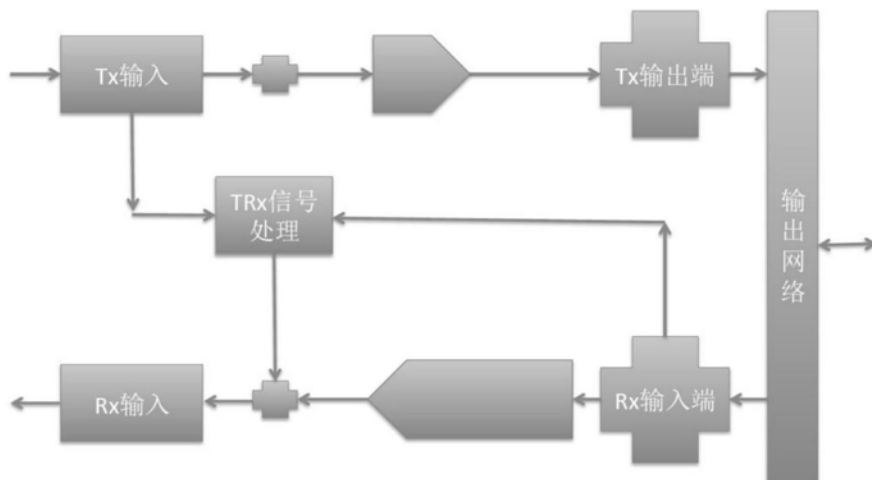


图7

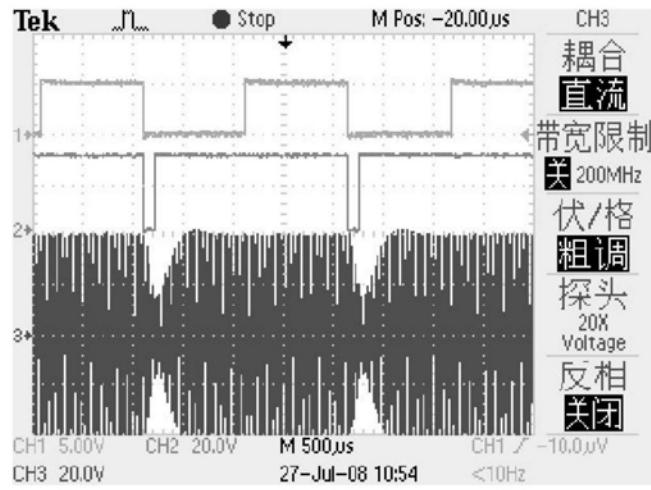


图8

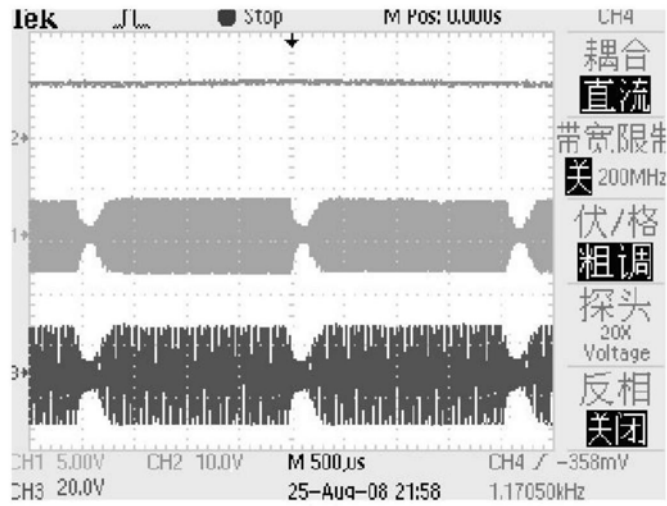


图9

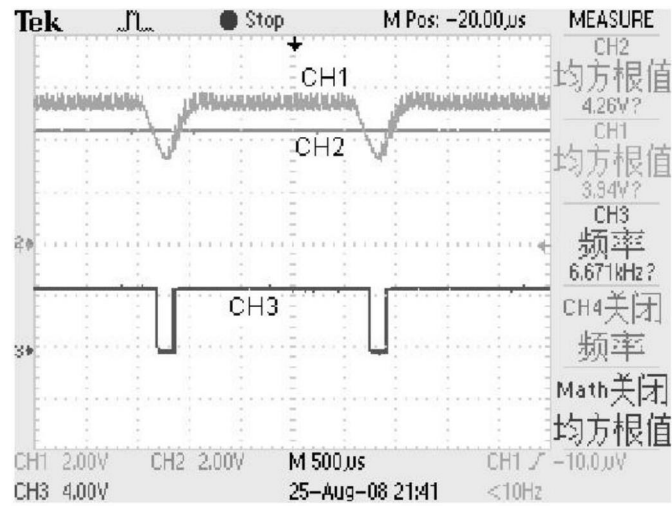


图10

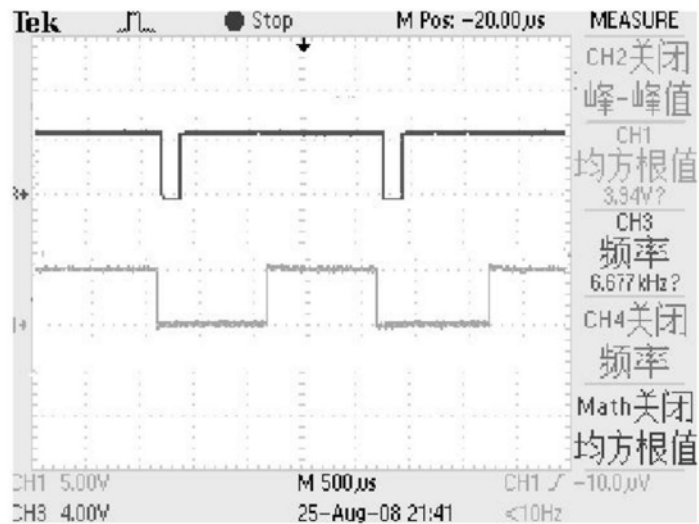


图11

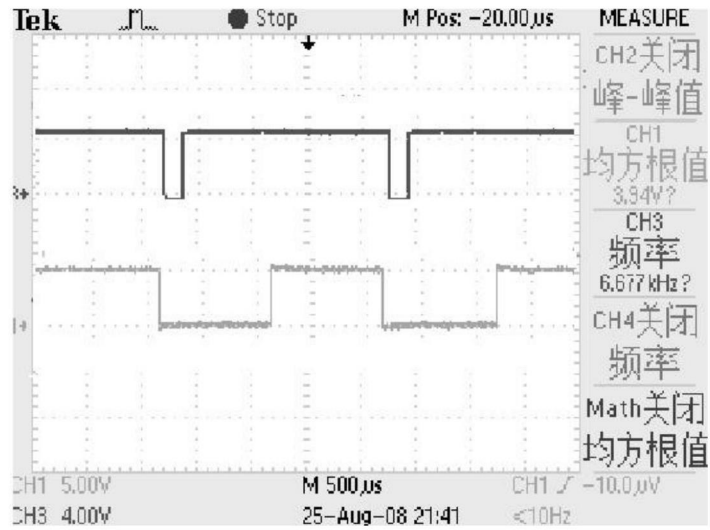


图12

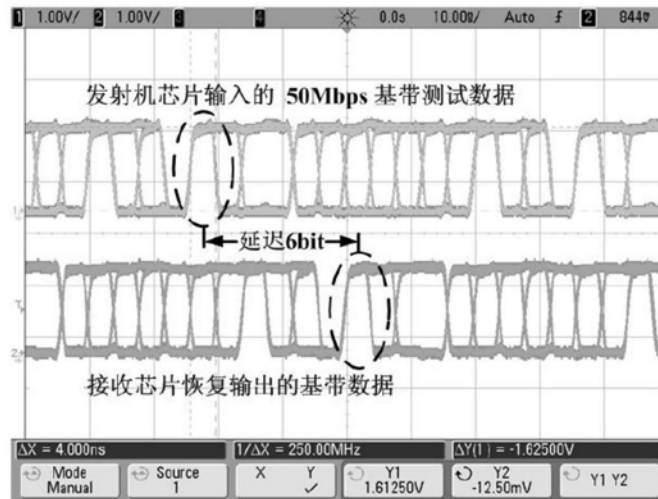


图13