

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局

(43) 国际公布日
2023 年 10 月 12 日 (12.10.2023)



(10) 国际公布号
WO 2023/193371 A1

(51) 国际专利分类号:

H02J 50/10 (2016.01) **H04L 27/14** (2006.01)
H02J 50/12 (2016.01) **H04L 27/20** (2006.01)
H02J 50/80 (2016.01) **H04L 27/22** (2006.01)
H04L 27/12 (2006.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2022/107334

(22) 国际申请日: 2022 年 7 月 22 日 (22.07.2022)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:

202210354741.4 2022 年 4 月 6 日 (06.04.2022) CN

(71) 申请人: 浙江大学(ZHEJIANG UNIVERSITY) [CN/CN]; 中国浙江省杭州市西湖区余杭塘路 866 号, Zhejiang 310058 (CN)。

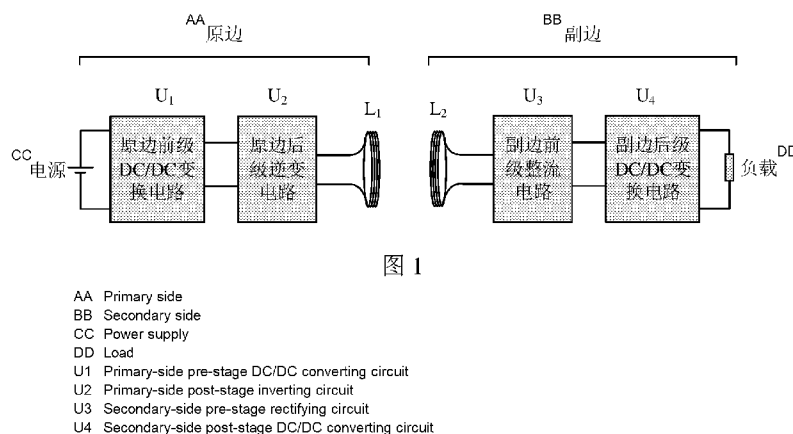
(72) 发明人: 何湘宁(HE, Xiangning); 中国浙江省杭州市西湖区浙大路 38 号, Zhejiang 310027 (CN)。 刘胜(LIU, Sheng); 中国浙江省杭州市西湖区浙大路 38 号, Zhejiang 310027 (CN)。 冯跃(FENG, Yue); 中国浙江省杭州市西湖区浙大路 38 号, Zhejiang 310027 (CN)。 吴建德(WU, Jiande); 中国浙江省杭州市西湖区浙大路 38 号, Zhejiang 310027 (CN)。

(74) 代理人: 杭州天勤知识产权代理有限公司(HANGZHOU TIANQIN INTELLECTUAL PROPERTY AGENCY CO., LTD.); 中国浙江省杭州市西湖区竞舟路 1 号筑品金座 501 室, Zhejiang 310013 (CN)。

(81) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU,

(54) Title: SIMULTANEOUS WIRELESS POWER AND DATA TRANSFER SYSTEM AND DATA MODULATION METHOD

(54) 发明名称: 一种无线电能与数据同步传输系统及数据调制方法



(57) Abstract: A simultaneous wireless power and data transfer system and a data modulation method. In the method, power/information complex modulation is performed on a primary-side pre-stage converter and a secondary-side post-stage converter, and an output power/information flow can be transmitted across a wireless power transfer circuit, thus realizing communication between a primary side and a secondary side. A digital frequency band signal is modulated to a DC bus; the spectrum of a modulated digital signal is shifted to the vicinity of a power transfer frequency by using a frequency mixing effect of an inversion/rectification circuit, and the digital signal is transmitted to a different-side circuit; the different-side circuit demodulates the signal to obtain a baseband signal. The method has wide applicability, can be used for various wireless power transfer systems, and is particularly suitable for a high-frequency system.

(57) 摘要: 一种无线电能与数据同步传输系统及数据调制方法, 其对原边前级变换器与副边后级变换器进行功率/信息复合调制, 输出的功率/信息流可以跨无线电能传输电路传输, 从而实现原边与副边之间的通信。通过将数字频带信号调制于直流母线, 利用逆变/整流电路的混频效应, 将调制的数字信号频谱迁移至功率传输频率附近, 并传输至异侧电路, 异侧电路对该信号解调得到基带信号。适用性广, 可用于各种无线电能传输系统, 尤其适合于高频系统。

CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW。

(84) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布:

— 包括国际检索报告 (条约第21条(3))。

一种无线电能与数据同步传输系统及数据调制方法

技术领域

本发明属于电力电子、无线电能传输及载波通信技术领域，具体涉及一种无线电能与数据同步传输系统及数据调制方法。

背景技术

无线电能传输技术作为一种新型的电能传输方式，在许多领域得到越来越多的应用。无线电能传输包括容性耦合式电能传输(Capacitively Coupled Power Transfer, CCPT)和感性耦合式电能传输(Inductively Coupled Power Transfer, ICPT)，感性耦合式电能传输又分为磁感应式无线电能传输和磁谐振式无线电能传输。目前，磁感应式无线电能传输系统的输出功率较大、传输效率高，但是信号频率较低、传输距离较近；磁谐振式无线电能传输系统的信号频率较高、传输距离较远，但是输出功率较小、传输效率较低。

无线电能传输系统在实际应用中，除了需要具有高效的电能转换电路外，还需具备反馈控制、状态监控、线圈定位、异物检测等功能，因此需要在供电侧(原边)与受电侧(副边)之间实现单向或双向数据通信。利用功率耦合线圈实现原副边之间的通信，具有安装方便、安全性好的优点，目前主要有以下几类方法：

(1) 通信与无线电能传输使用公共耦合线圈，但信号与能量采用时分复用方式传输。如公开号为 CN102318136A 的中国专利采用了该方式，这种方式不断切换工作方式，通常存在较长的过渡过程，影响传输功率和效率，因此不适用于较大功率传输，且通信速率也较低。

(2) 通信与无线电能传输共用耦合电感线圈并公用一个频段，采用负载调制方法从副边向原边传输数据。典型的负载调制方法包括 Qi 标准采用的通信方式，即在副边增加额外开关，通过切换负载阻抗实现反向通信；如公开号为 CN106787244A 的中国专利在副边采用可控整流电路，通过调整开通角的方法实

现副边向原边的数据传输，但是这类负载调制技术造成较大的功率损耗，降低了无线能量传输系统的能量传输效率，难以适用于较大功率传输场合。

(3) 信息与电能传输共用耦合线圈，但功率与信号采用不同的传输频率。如公开号为 CN103595145A 的中国专利提出了一种基于公共电感耦合实现高速通讯和无线能量传输的方法，但该方法要求通信载波频率远大于功率传输频率，因此适合于较低频率的无线电能传输(如 85kHz)，而在一些采用较高频率(如 6.78MHz)的无线电能传输系统中，该方法无法适用。

(4) 此外，公开号为 CN113013999A 的中国专利提出了一种通过直流侧串联调制信号实现无线电能与数据同传的方法和电路，但是该方法需要额外增加一组信号耦合电路。

传统的无线电能传输系统包括原边逆变电路(含补偿电路)、原边线圈、副边线圈和副边整流电路(含补偿电路)。但是，为了提高无线电能传输系统的传输效率，副边整流电路将电能转换为直流能量后，输出端通常还需再经过一级变换器，通过调节阻抗以实现高效率的功率传输。此外，为了调节输出功率，原边还经常采用独立的前级变换器，对逆变电路的输入电压以及功率进行调节。

发明内容

针对存在前级/后级变换电路的高频大功率无线电能传输应用场景，本发明提供了一种无线电能与数据同步传输系统及数据调制方法，其采用功率/信息复合调制技术通过对电力电子变换器内部的功率 PWM 信号进行信息调制，从而将数字信号直接调制于变换器的输入或输出端口，而不需要额外的信号调制电路，具有结构简单、可靠性高的优点。

一种无线电能与数据同步传输系统，包括原边和副边两部分，原边部分由直流电源、原边前级 DC/DC 变换电路 U_1 、原边后级逆变电路 U_2 以及原边线圈 L_1 依次连接构成，副边部分由副边线圈 L_2 、副边前级整流电路 U_3 、副边后级 DC/DC 变换电路 U_4 以及负载依次连接构成，原边和副边两部分通过原边线圈 L_1 与副边线圈 L_2 耦合实现电能与数据无线同步传输；

当原边向副边发送数据时，系统的数据调制方法为：原边前级 DC/DC 变换电路 U_1 采用功率与信息复合调制方法将数据信号叠加于 U_1 的直流输出端，经原

边后级逆变电路 U_2 二次调制后, 数据信号的主频带搬迁至无线电能传输的工作频率附近并伴随无线电能传输的功率载波经原边线圈 L_1 与副边线圈 L_2 传递至副边, 进而对副边前级整流电路 U_3 的输出电压纹波或输出电流纹波进行信号解调, 即可接收到原边所发送的数据;

当副边向原边发送数据时, 系统的数据调制方法为: 副边后级 DC/DC 变换电路 U_4 采用功率与信息复合调制方法将数据信号叠加于 U_4 的直流输入端, 经副边前级整流电路 U_3 二次调制后, 数据信号的主频带搬迁至无线电能传输的工作频率附近并经副边线圈 L_2 与原边线圈 L_1 传递至原边, 进而对原边前级 DC/DC 变换电路 U_1 的输出电压纹波或输出电流纹波进行信号解调, 即可接收到副边所发送的数据。

进一步地, 所述二次调制为利用原边后级逆变电路 U_2 或副边前级整流电路 U_3 的混频调制过程, 即原边后级逆变电路 U_2 或副边前级整流电路 U_3 的高频开关过程等效于对直流侧低频数据信号进行方波调制, 在频域上将低频数据信号搬移到线圈工作频率附近的过程。

进一步地, 所述原边前级 DC/DC 变换电路 U_1 和副边后级 DC/DC 变换电路 U_4 采用的功率与信息复合调制方法可通过以下两种方式实现:

方式 1: 使 PWM 载波的频率和相位固定不变, 将经基带或频带调制后的数据信号叠加至 U_1 或 U_4 的功率控制环中;

方式 2: 将数据调制于 U_1 或 U_4 的 PWM 载波中, 其载波调制方法可采用 FSK 或 PSK。

进一步地, 所述数据调制方法适用于感性耦合式电能传输系统和容性耦合式电能传输系统, 感性耦合式电能传输系统包括磁感应式无线电能传输系统和磁谐振式无线电能传输系统, 系统中的线圈可以是单线圈结构或多线圈结构。

进一步地, 所述原边前级 DC/DC 变换电路 U_1 和副边后级 DC/DC 变换电路 U_4 可采用 Buck、Boost、Buck-Boost、LLC、半桥、全桥等电路拓扑结构。

进一步地, 所述原边后级逆变电路 U_2 可采用全桥逆变、半桥逆变、Class-E 逆变等电路拓扑结构, 所述副边前级整流电路 U_3 可采用全桥整流、半桥整流、Class-E 整流等电路拓扑结构。

进一步地, 所述数据调制方法适用于工作频率从 1kHz~100MHz 的无线电能

传输系统。

进一步地，当所述数据调制方法应用于原边向副边传输数据的单向通信系统时，可取消系统中的副边后级 DC/DC 变换电路 U_4 。

进一步地，当所述数据调制方法应用于副边向原边传输数据的单向通信系统时，可取消系统中的原边前级 DC/DC 变换电路 U_1 。

无线能量信息同传系统是基于正弦载波的模拟通信方式，传统的载波调制中，载波功率分量极大地消耗接收机能量；在本发明中，载波正是无线能量传输的载波功率，可以用于驱动负载，因此本发明不仅不会额外消耗解调装置的功率，还可以为信息传输提供载体；而系统中的逆变器和整流器作为方波调制器，充当了信息传输过程中的模拟信号调制器和解调器的功能，为电力电子开关器件赋予了信息调制的新功能。

此外，本发明利用前级/后级变换电路的功率/信息复合调制技术，实现了供电侧(原边)与受电侧(副边)之间的通信，这种原副边通信包括正向通信(原边向副边发送数据)和反向通信(副边向原边发送数据)，因此本发明系统及方法既可以用于反向通信，也可以用于正向通信。

附图说明

图 1 为具有前后级变换器的无线电能传输系统结构示意图。

图 2 为正向无线能量与数据同传系统的架构示意图。

图 3 为反向无线能量与数据同传系统的架构示意图。

图 4 为利用前后级变换器数据传输的频带调制原理示意图。

图 5 为利用前后级变换器数据传输的 PSK/FSK 调制原理示意图。

图 6 为无线信息能量融合传输系统的信号频谱切片示意图。

图 7(a)为基于能量与数据同传系统的无线能量传输原理示意图。

图 7(b)为基于能量与数据同传系统的无线信息传输原理示意图。

图 8 为基于变流器纹波调制的无线能量与数据同传系统示例图。

具体实施方式

为了更为具体地描述本发明，下面结合附图及具体实施方式对本发明的技

术方案进行详细说明。

如图 1 所示, 本发明无线电能与数据同传系统包含了原边与副边部分, 原边部分由直流电源、原边前级 DC/DC 变换电路 U_1 、原边后级逆变电路 U_2 (包含补偿电路) 以及原边线圈 L_1 构成; 副边部分由副边线圈 L_2 、副边前级整流电路 U_3 (包含补偿电路) 以及副边后级 DC/DC 变换电路 U_4 、负载组成。

如图 2 所示, 原边向副边发送数据时, 原边前级 DC/DC 变换电路 U_1 采用功率与信息复合调制方法, 将数据信号叠加于直流输出端, 该信号经原边后级逆变电路 U_2 的二次调制后, 数据信号的主频带搬迁至无线电能传输的工作频率附近, 并伴随无线电能传输的功率载波, 经无线电能传输线圈传递到副边; 进而对副边前级整流电路 U_3 的输出端电压或输出电流纹波进行信号解调, 接收原边发送的数据。

如图 3 所示, 副边向原边发送数据时, 副边后级 DC/DC 变换电路 U_4 采用功率与信息复合调制方法, 将数据信号叠加在直流输入端, 该信号经副边前级整流电路 U_3 的二次调制过程, 数据信号的主频带搬迁至无线电能传输的工作频率附近, 经无线电能传输线圈传递至原边; 进而对原边前级 DC/DC 变换电路 U_1 的输出端电压或输出电流纹波进行信号解调, 接收副边发送的数据。

原边前级 DC/DC 变换电路 U_1 和副边后级 DC/DC 变换电路 U_4 采用以下两种方法实现功率/信息调制:

① PWM 载波的频率和相位固定不变, 将基带或频带调制后的数据信号叠加到 U_1 和 U_4 的功率控制环, 如图 4 所示。

② 将数据调制于 U_1 和 U_4 的 PWM 载波, 包括载波的 FSK 调制和 PSK 调制, 如图 5 所示。

以下我们通过图 6 来说明无线能量信息同传系统中能量与信息在传输过程的异同。在①处输入的能量定义为 e_1 , 交流信号定义为 v_1 , 由于输入的能量为直流量, 输入的交流信号复指数信号, 且 $E_1 > |V_1|$, 记为:

$$e_1 + v_1 = E_1 + V_1 \cos(\omega_1 t + \theta_1)$$

在给出的频谱图中, 图 6 中的 b_1 和 d_1 分别对应上式中的能量与信息信号, 为简化分析, $\theta_1 = 0$ 。

图 6 中 a 给出的基带信号为一个窄带信号, 信号带宽为 B , 信号带宽满足

$B \ll \omega_0/2\pi$ (ω_0 为载波频率), 因此信息的幅值和相位相对于开关频率 ω_0 都是“慢变化”的时间函数。假设电力电子开关均由理想元件组成, 因此可以将逆变器和整流器视为方波调制器(或者正弦波调制器), 且调制器输出电压幅值取决于输入电压幅值以及门极 PWM 控制信号的占空比, 假设为 50%。因此, 调制器输出电压的傅里叶展开形式记为:

$$U_0 = \sum_n \frac{4mU_0}{n\pi} \cos(n\omega_0 t), \quad m = \begin{cases} 1, \text{全桥 } n = 1, 3, 5, \dots \\ 0.5, \text{半桥 } n = 1, 2, 3, \dots \end{cases}$$

图 6 中的 c_1 和 c_3 给出了上式中方波调制器的频域模型(以全桥逆变器为例), 在调制器输出电压的频谱分量中, 基波分量占据主要成分。此外, 利用频域卷积定理有助于说明调制的基本原理, 例如将窄带信号频谱平移到 ω_0 处, 只需要将窄带信号乘以载波信号 $\cos(\omega_0 t)$, 因此②处输出的信号时域以及频域分量可以记为:

$$\begin{cases} V_{iE} = A_1 \cos(\omega_0 t) \\ V_{iM} = B_1 \cos(\omega_1 t) \cos(\omega_0 t) \end{cases} \leftrightarrow \begin{cases} A_1 \delta(\omega \pm \omega_0)/2 \\ B_1 F(\omega \pm \omega_0)/2 \end{cases}$$

图 6 中的 b_2 和 d_2 对应为上式的频谱切片, 图谱显示无论是能量还是信息, 均被搬移到以 ω_0 为中心的频域范围内, 通信中称之为带通调制信号, 因此具备了在高频信道传播的基础。在无线能量传输模型中, 中间级谐振腔通常以电容电感串并联构成, 具有选频的功能, 主要是为了提高系统在特定频段的 Q 值, 用来提升能量传递的距离以及效率。我们将其抽象为一个线性相位的带通滤波器, 其频率图谱切片如图 6 中 c_2 所示。滤波器系统可以将②处输入信号处理为③处输出信号, 其特性可以通过脉冲响应 $h(t)$ 或者傅里叶变换 $H(j\omega)$ 来表征:

$$H(j\omega) = |H(j\omega)| e^{-j(\omega - \omega_0)\tau}$$

带通滤波器的带宽 $2\omega_m$ 且基带信号满足 $\omega_1 < \omega_m$, 信号在 $\omega_0 \pm \omega_1$ 处的频谱增益记为 $H_0(j\omega)$ 。因此, 带通传播过程可以用输入信号与滤波器的频域乘积表示, 换言之是对输入频谱进行了修改或者过滤, ③处的能量和信息的幅值记为:

$$\begin{aligned} V_{oE} + V_{oM} &= (V_{iE} + V_{iM}) * h(t) \leftrightarrow \\ \mathcal{F}(V_{iE} + V_{iM})|H(j\omega)| &= |H(j\omega_0)|A_2\delta(\omega \pm \omega_0) + |H(j\omega_{01})|B_2F(\omega \pm \omega_0) \end{aligned}$$

带通调制信号经过滤波器后如图 6 中 b_3 和 d_3 所示, 从频域看, 带通滤波器滤去了甚高频的分量, 保留了基波分量以及其附近的信号分量。考虑到无线电

能传输系统的对称性，因此整流电路也可视为与逆变器相似的方波调制器，与①处所不同的是，由于理想带通滤波器的选频特性，能量和信息幅值可表示为：

$$e_2 + v_2 = (V_{oE} + V_{oM})\cos(\omega_0 t) \leftrightarrow A_3 \left[\frac{1}{2} + \frac{1}{4} \delta(\omega \pm 2\omega_0) \right] + B_3 \left[\frac{1}{4} \delta(\omega \pm \omega_1) + \frac{1}{8} F(\omega \pm 2\omega_0) \right]$$

e_2 以及 v_2 对应的频谱输出如图 6 中的 b_4 和 d_4 所示，且能量与信息的恢复过程有所差异。先分析能量的恢复过程，能量信号通过整流器并联一个合适的大电容即可输出为直流信号为负载进行供能，该过程与包络检波的过程类似；而对于信息解调的过程，由于无需保留其二倍频的分量，因此选择一个截止频率为 $\pm\omega_{m2}$ 的低通滤波电路($\omega_1 < \omega_{m2} \ll \omega_0$)或者选频网络进行滤波即可恢复信号信息，记为：

$$\begin{cases} e_2 = A_4 E_1 \\ v_2 = B_4 V_1 \cos(\omega_1 t - \varphi_1) \end{cases}$$

实施例 1

在本实施例中，“无线能量与数据同传线圈”是指发射装置与接收装置之间的线圈无电气接触，仅通过磁场进行能量与数据的传输。因此，除本实施例中的 Mhz 无线充电中，其他频率下同样可以实现本发明提出的无线能量与数据同传方法。

从电路结构上看，无线能量与无线信息传输过程非常相似；图 7(a)所示为无线能量传输方法的实施例程，图 7(b)所示为无线信息传输方法的实施例程。

(1) 直流能量通过滤波电路、逆变器、无线能量与数据同传线圈、整流器、输出滤波系统以及负载构成能量传输回路。

图 7(a)中，直流能量 E_1 的一端并联稳压电容 C_{d1} 以及串联电感 L_{s1} 以及逆变器输入端，另一端并联稳压电容 C_{d1} 以及逆变器输入的另一端构成直流能量回路；逆变器输出的一端连接无线能量传输系统的一端，通过串并联补偿电路组成的发射侧线圈以及逆变器输出连接的另一端构成能量发射极回路；接收侧感应线圈的一端通过串并联补偿电路连接整流器输入端，感应线圈的另一端与整流器输入另一端相连构成能量接收极回路；整流器输出侧一端串联电感 L_{s2} 以及并联电容 C_{d2} 以及负载 R_L 的一端，整流器的另一端并联电容以及负载的另一端

构成直流能量供电回路。

(2) 正向信息传输过程中, 信源通过选频网络构成的数字解调网络串联逆变器、无线能量与数据同传线圈系统、整流器以及数字选频网络构成的信息解调电路构成正向信息传输回路。

图 7(b)中, 信息源 v_1 一端通过串联电容 C_{d1} 以及逆变器输入侧的一端, 另一端通过串联一组基于并联 RLC 的选频网络 Z_{s0} 以及逆变器构成信息加载回路; 逆变器输出的一端连接无线信息传输系统的一端, 通过串并联组成的发射侧线圈以及逆变器输出连接的另一端构成信息发射极回路; 接收侧感应线圈的一端通过串并联补偿电路连接整流器输入端, 感应线圈的另一端与整流器输入另一端相连构成信息接收极回路; 整流器输出一端串联一组并联的选频网络 Z_{l0} 以及串联电容 C_{d2} , 另一端串联电容 C_{d2} 构成信息恢复通路; 通过检测 R_2 上的电压, 通过数字解调电路, 可以恢复 v_1 中的信息信号。

(3) 反向信息传输过程中, 信源通过选频网络构成的数字解调网络串联整流器、无线能量与数据同传线圈、逆变器以及选频网络构成的信息解调电路构成反向信息传输回路。

图 7(b)中, 信息源 v_2 一端通过串联电容 C_{d2} 以及整流器输出侧的一端, 另一端通过串联一组基于并联 RLC 的选频网络 Z_{l0} 以及整流器构成信息加载回路; 整流器输入的一端连接无线信息传输系统的一端, 通过串并联补偿电路组成的发射侧线圈, 以及逆变器输出连接的另一端构成信息发射极回路; 接收侧感应线圈的一段通过串并联补偿电路连接逆变器输出端, 感应线圈的另一端与逆变器输出另一端相连构成信息接收极回路; 逆变器输入一端串联一组基于并联 RLC 的选频网络 Z_{s0} 以及电容 C_{d1} , 另一端串联电容 C_{d1} 构成信息恢复通路; 通过检测 R_1 上的电压, 通过数字解调电路, 可以恢复 v_2 中的信息信号。

本实施例中的谐振式无线能量与数据同传系统包括了直流电源、高频逆变器、信息接收与解调电路、充电感应线圈与补偿电容、整流器、直流转换电路、负载。高频逆变器将输入直流电源能量输出为高频交流电源, 通过发送与接收感应线圈谐振/耦合传输高频交流电能, 经过整流器以及直流转换电路向负载供电。信息传输过程则通过电力电子开关加载到逆变器或整流器前后的直流能量中, 首先通过逆变器/整流器调制为高频交流信号, 再通过能量与数据同传信道,

最后经过接收侧的整流器/逆变器解调恢复至低频段，最后通过数字接收与解调电路恢复为数字信号。

实施例 2

图 8 所示为基于变流器纹波调制的无线能量和数据同传系统示例，系统构成包括：直流电源、Boost 直流变换器、发射极解调电路、Class-E 逆变器、无线充电谐振腔、整流器、接收极解调电路、buck 直流转换器以及负载。

本实例中能量与数据的同传工作原理：Boost/Buck 直流变换器通过将直流电源/接收侧输入直流电压调理为合适的供电电压，保证系统工作在最优效率点；信息通过直流变换器的占空比扰动或者频率扰动，注入低频信号(1k~200k)到直流能量通路中；通过逆变器/整流器的调制到高频载波频段，经过具有带通功能的无线能量与数据传输线圈(信道)，再经过整流器/逆变器解调至低频模拟信号，最后通过采样与数字解调模块恢复至数字信号。

能量与数据发射单元包括直流电源、Boost 直流转换电路、Class-E 逆变器和发射线圈充电回路，能量与数据接收单元包括接收线圈充电回路、整流器、Buck 直流转换电路和直流负载，无线能量与数据同传线圈包括发射侧激励线圈自感参数为 L_1 、电阻参数为 R_{p1} 、发射侧线圈 L_2 、电阻参数为 R_{p2} 、接收侧线圈 L_3 、电阻参数为 R_{p3} 以及负载线圈自感参数 L_4 、电阻参数为 R_{p4} ，谐振线圈之间的互感耦合系数参数为 k_{12} 、 k_{23} 、 k_{34} ，线圈之间的互感 M_{12} 、 M_{23} 、 M_{34} 由下式确定：

$$\begin{cases} M_{12} = k_{12}\sqrt{L_1L_2} \\ M_{23} = k_{23}\sqrt{L_2L_3} \\ M_{34} = k_{34}\sqrt{L_3L_4} \end{cases}$$

无线场在本实例中为“近场”与“中远距离”，近场存在与激励与发射线圈激发的电磁场区域内，从而将能量与数据发送出去，其对应的波长大约一个波长或者分数范围内。中远距离则是有别于电动汽车以及消费电子使用场景中使用的几毫米或者几十厘米，应当达到本实例中的距离(一米以上)，通过适当调整，同样适用于几毫米或者几十厘米的无线充电。

谐振式线圈包括与谐振电容 C_1 、 C_2 、 C_3 、 C_4 串联，或者由线圈自谐振设计

获取。虽然当前谐振式无线充电方式多选择自谐振方式，但容易造成无法大批量生产，可大规模生产方式为 PCB 设计或者骨架设计等。补偿谐振电容参数由下式确定：

$$C_i = \frac{1}{\omega_0^2 L_i} (i = 1, 2, 3, 4)$$

式中： ω_0 为无线能量传输系统的谐振角频率，通常为 6.78Mhz 或者 13.56Mhz。

Class-E 逆变器电路包括滤波电感 L_x 、滤波电容 C_x 以及电力电子开关 L_p 、开关电容 C_{p2} 、扼流电感 L_p ，该逆变器可以由半桥或者全桥等 DC-AC 方波逆变器替代， C_x 的补偿电容参数由下式确定：

$$C_x = \frac{1}{\omega_0^2 L_x}$$

在能量传输模式时，逆变器电路将直流能量转化为高频交流方波，通过逆变器输出至激励线圈。在无线通信模式下，低频的通信信号通过逆变器加载到高频载波频段附近，其原理类似与混频器，因此逆变器功能为方波调制电路或者是正弦波调制电路。

数字解调电路包括变压器回路 L_{s1} 、 L_{l1} 、并联选频电容 C_{s1} 、 C_{l1} 以及接收电阻 R_{s1} 、 R_{l1} ，除了本实例外，还可以选择其他滤波电路作为接收回路。由于接收回路中存在电力电子开关纹波以及逆变器谐波干扰，需要通过选频网络加以滤除，同时避免选频网络对功率电路产生干扰，选频电容以及电阻参数由下式确定：

$$\begin{cases} C_{s1} = \frac{1}{\omega_1^2 L_{s1}} \\ C_{l1} = \frac{1}{\omega_1^2 L_{l1}} \\ R_{s1} = Q_1 \sqrt{\frac{L_{s1}}{C_{s1}}} \\ R_{l1} = Q_2 \sqrt{\frac{L_{l1}}{C_{l1}}} \end{cases}$$

式中： ω_1 为选频网络的截止频率谐振角频率， Q_1 和 Q_2 为选频网络的品质因素，

一般取 10 以内，该 Q 值与无线传输系统线圈 Q 值有所不同，解调接收装置的 Q 值是为了调整接收电路信号的增益，一般较小，而发射与接收线圈则是为提高功率电路的增益，一般较大，需要加以区分。

整流器由肖特基二极管 $d_1 \sim d_4$ 构成，负载等效内阻 R_L 采用电池负载，整流器还可采用 Class-E 整流、半桥、全波整流电路替代；Boost 直流转换器电路由储能电感 L_{d1} 、滤波电容 C_{d1} 、 C_{p1} 以及电力电子开关 S_{d11} 、 S_{d12} 构成；Buck 直流转换器电路由滤波电感 L_{d2} 、滤波电容 C_{d2} 、 C_s 以及电力电子开关 S_{d21} 、 S_{d22} 构成。

上述直流变换电路还可以使用其他合适的电路替代，例如 Buck-Boost、Cuk 等电路。在能量传输过程中，直流转换电路充当功率调节器，在发电侧充当调节最大功率追踪、能量供应等功能，在接收及维持负载功率恒定或者电压电流恒定等功能，起到电池管理的作用。在信息传输过程中，通过电力电子开关的占空比扰动或者频率扰动，充当信源的作用，通过直流转换电路实现能量与数据的同传功能。

上述对实施例的描述是为便于本技术领域的普通技术人员能理解和应用本发明。熟悉本领域技术的人员显然可以容易地对上述实施例做出各种修改，并把在此说明的一般原理应用到其他实施例中而不必经过创造性的劳动。因此，本发明不限于上述实施例，本领域技术人员根据本发明的揭示，对于本发明做出的改进和修改都应该在本发明的保护范围之内。

权 利 要 求 书

1. 一种无线电能与数据同步传输系统，包括原边和副边两部分，其特征在于：原边部分由直流电源、原边前级 DC/DC 变换电路 U_1 、原边后级逆变电路 U_2 以及原边线圈 L_1 依次连接构成，副边部分由副边线圈 L_2 、副边前级整流电路 U_3 、副边后级 DC/DC 变换电路 U_4 以及负载依次连接构成，原边和副边两部分通过原边线圈 L_1 与副边线圈 L_2 耦合实现电能与数据无线同步传输；

当原边向副边发送数据时，系统的数据调制方法为：原边前级 DC/DC 变换电路 U_1 采用功率与信息复合调制方法将数据信号叠加于 U_1 的直流输出端，经原边后级逆变电路 U_2 二次调制后，数据信号的主频带搬迁至无线电能传输的工作频率附近并伴随无线电能传输的功率载波经原边线圈 L_1 与副边线圈 L_2 传递至副边，进而对副边前级整流电路 U_3 的输出电压纹波或输出电流纹波进行信号解调，即可接收到原边所发送的数据；

当副边向原边发送数据时，系统的数据调制方法为：副边后级 DC/DC 变换电路 U_4 采用功率与信息复合调制方法将数据信号叠加于 U_4 的直流输入端，经副边前级整流电路 U_3 二次调制后，数据信号的主频带搬迁至无线电能传输的工作频率附近并经副边线圈 L_2 与原边线圈 L_1 传递至原边，进而对原边前级 DC/DC 变换电路 U_1 的输出电压纹波或输出电流纹波进行信号解调，即可接收到副边所发送的数据。

2. 根据权利要求 1 所述的无线电能与数据同步传输系统，其特征在于：所述二次调制为利用原边后级逆变电路 U_2 或副边前级整流电路 U_3 的混频调制过程，即原边后级逆变电路 U_2 或副边前级整流电路 U_3 的高频开关过程等效于对直流侧低频数据信号进行方波调制，在频域上将低频数据信号搬移到线圈工作频率附近的过程。

3. 根据权利要求 1 所述的无线电能与数据同步传输系统，其特征在于：所述原边前级 DC/DC 变换电路 U_1 和副边后级 DC/DC 变换电路 U_4 采用的功率与信息复合调制方法可通过以下两种方式实现：

方式 1：使 PWM 载波的频率和相位固定不变，将经基带或频带调制后的数据信号叠加至 U_1 或 U_4 的功率控制环中；

方式 2: 将数据调制于 U_1 或 U_4 的 PWM 载波中, 其载波调制方法可采用 FSK 或 PSK。

4. 根据权利要求 1 所述的无线电能与数据同步传输系统, 其特征在于: 所述数据调制方法适用于感性耦合式电能传输系统和容性耦合式电能传输系统, 感性耦合式电能传输系统包括磁感应式无线电能传输系统和磁谐振式无线电能传输系统, 系统中的线圈可以是单线圈结构或多线圈结构。

5. 根据权利要求 1 所述的无线电能与数据同步传输系统, 其特征在于: 所述原边前级 DC/DC 变换电路 U_1 和副边后级 DC/DC 变换电路 U_4 可采用 Buck、Boost、Buck-Boost、LLC、半桥、全桥等电路拓扑结构。

6. 根据权利要求 1 所述的无线电能与数据同步传输系统, 其特征在于: 所述原边后级逆变电路 U_2 可采用全桥逆变、半桥逆变、Class-E 逆变等电路拓扑结构, 所述副边前级整流电路 U_3 可采用全桥整流、半桥整流、Class-E 整流等电路拓扑结构。

7. 根据权利要求 1 所述的无线电能与数据同步传输系统, 其特征在于: 所述数据调制方法适用于工作频率从 1kHz~100MHz 的无线电能传输系统。

8. 根据权利要求 1 所述的无线电能与数据同步传输系统, 其特征在于: 当所述数据调制方法应用于原边向副边传输数据的单向通信系统时, 可取消系统中的副边后级 DC/DC 变换电路 U_4 。

9. 根据权利要求 1 所述的无线电能与数据同步传输系统, 其特征在于: 当所述数据调制方法应用于副边向原边传输数据的单向通信系统时, 可取消系统中的原边前级 DC/DC 变换电路 U_1 。

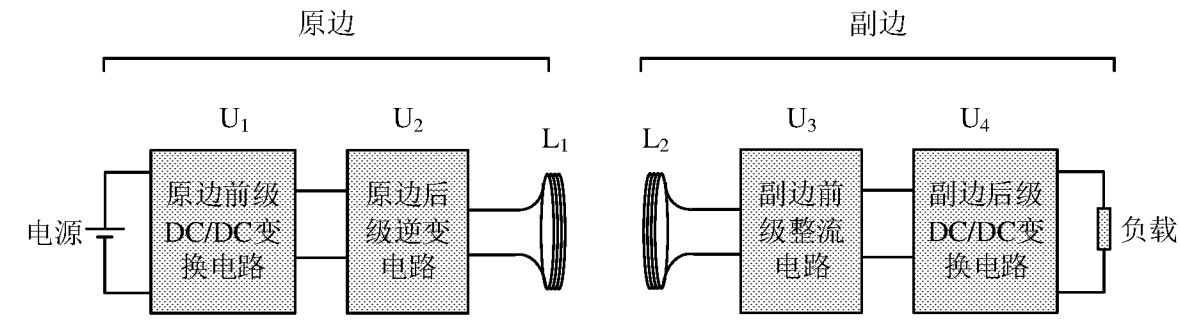


图 1

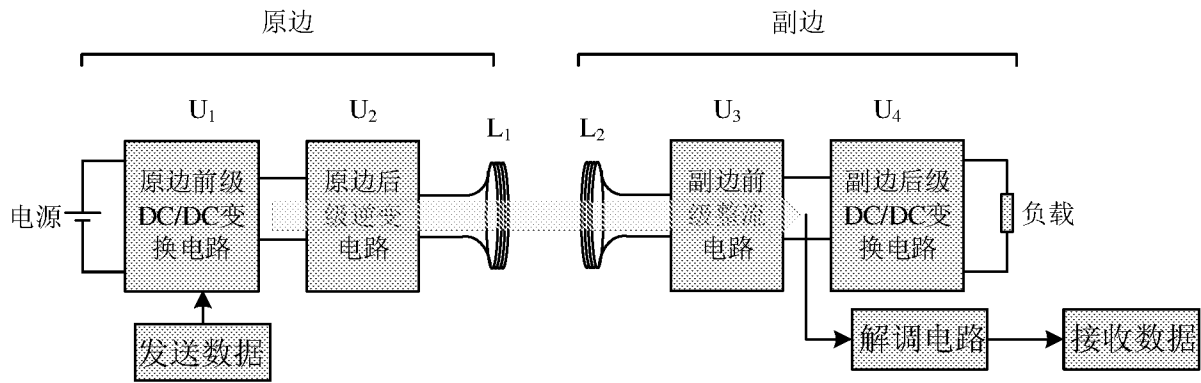


图 2

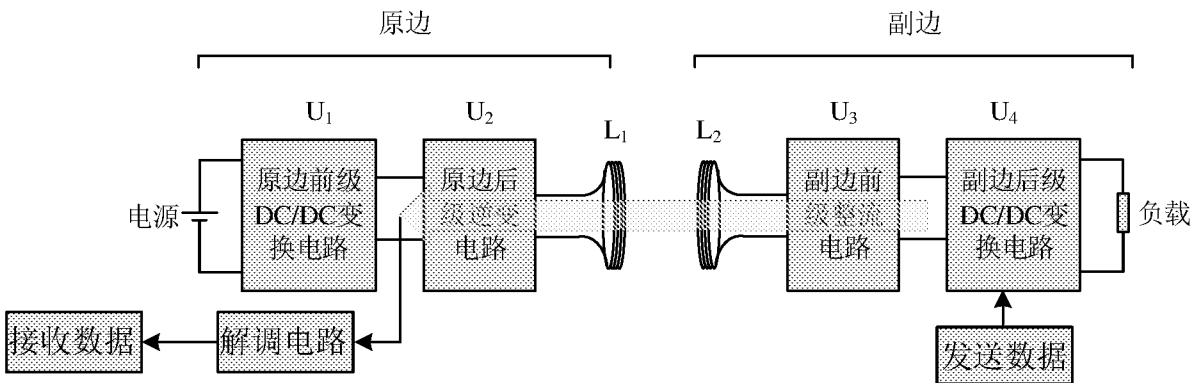


图 3

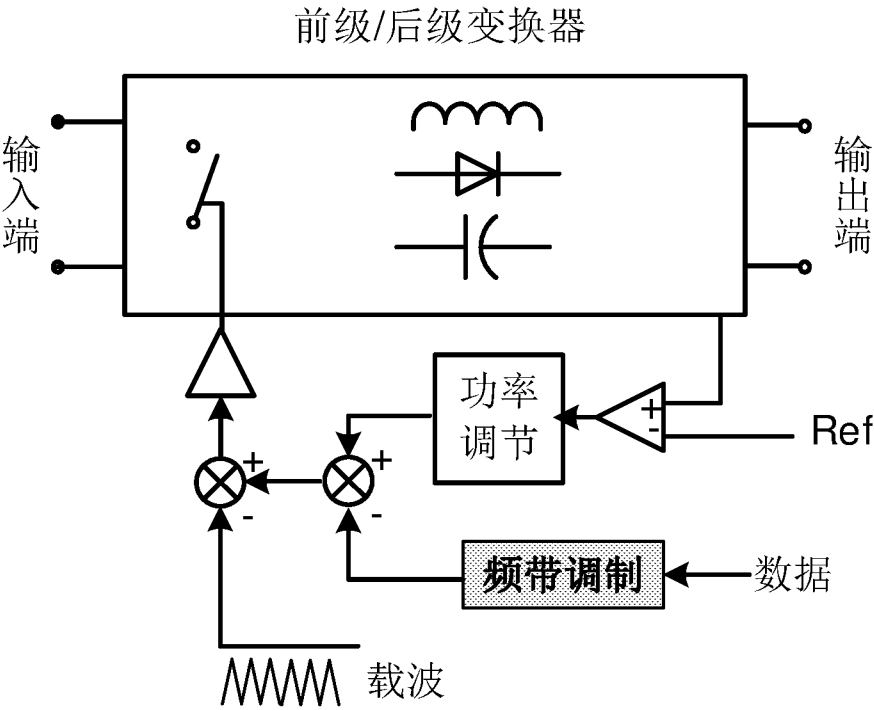


图 4

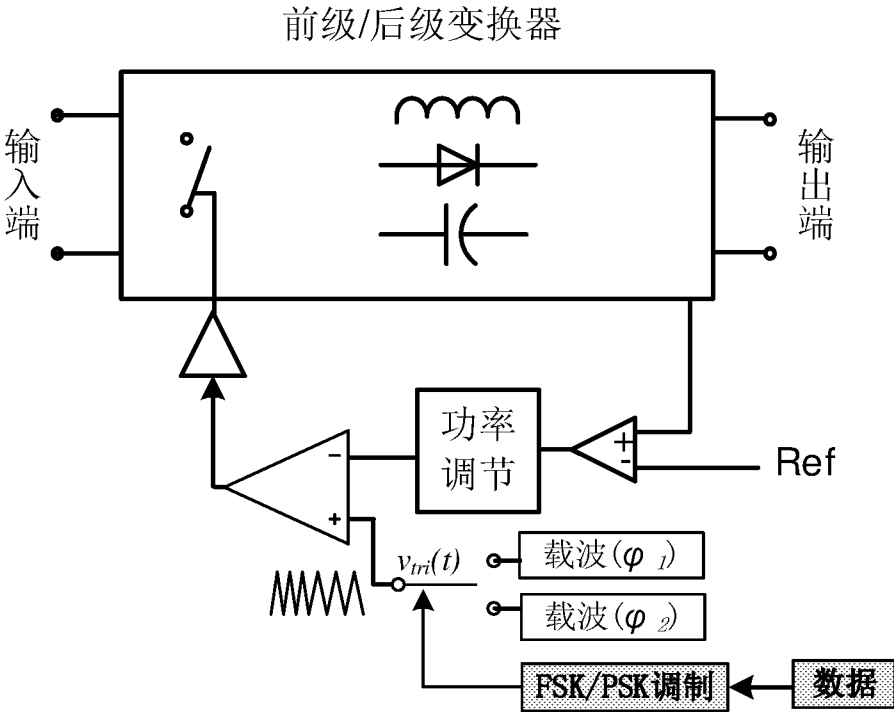


图 5

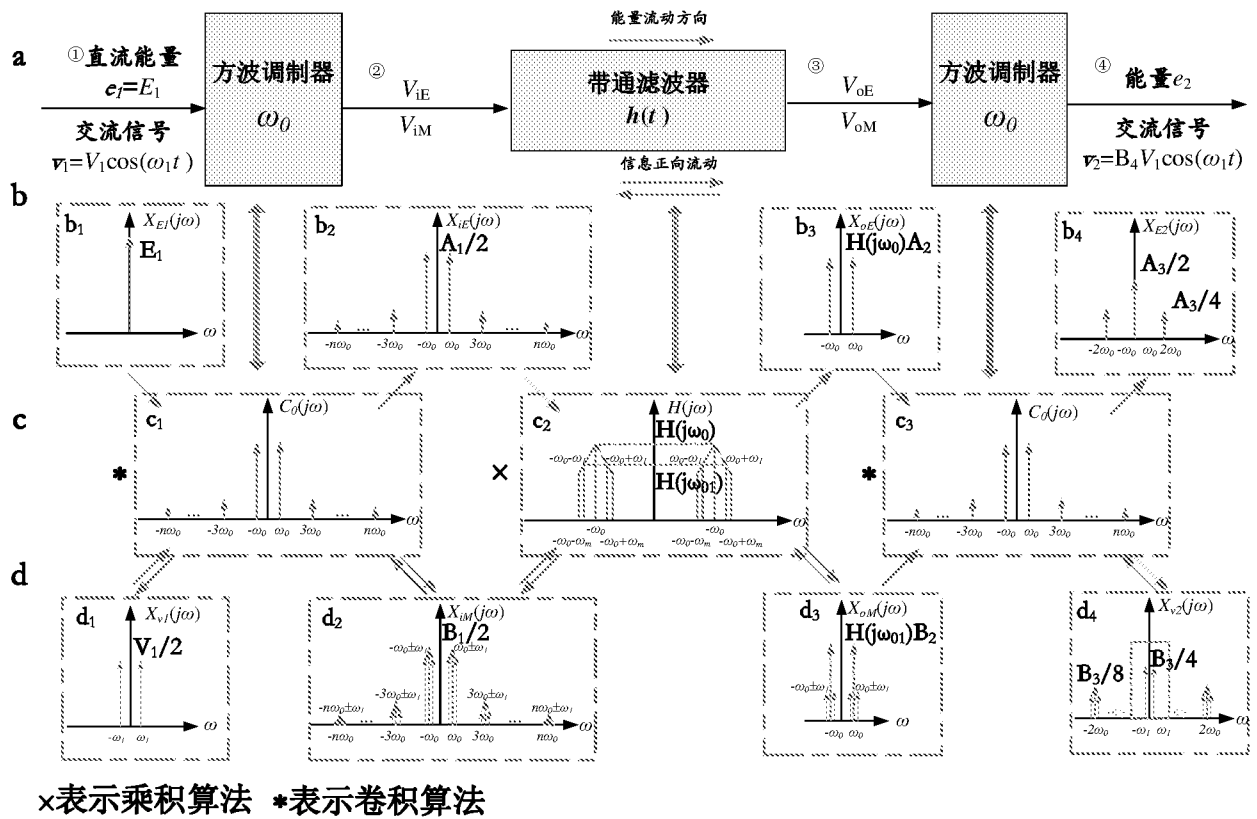


图 6

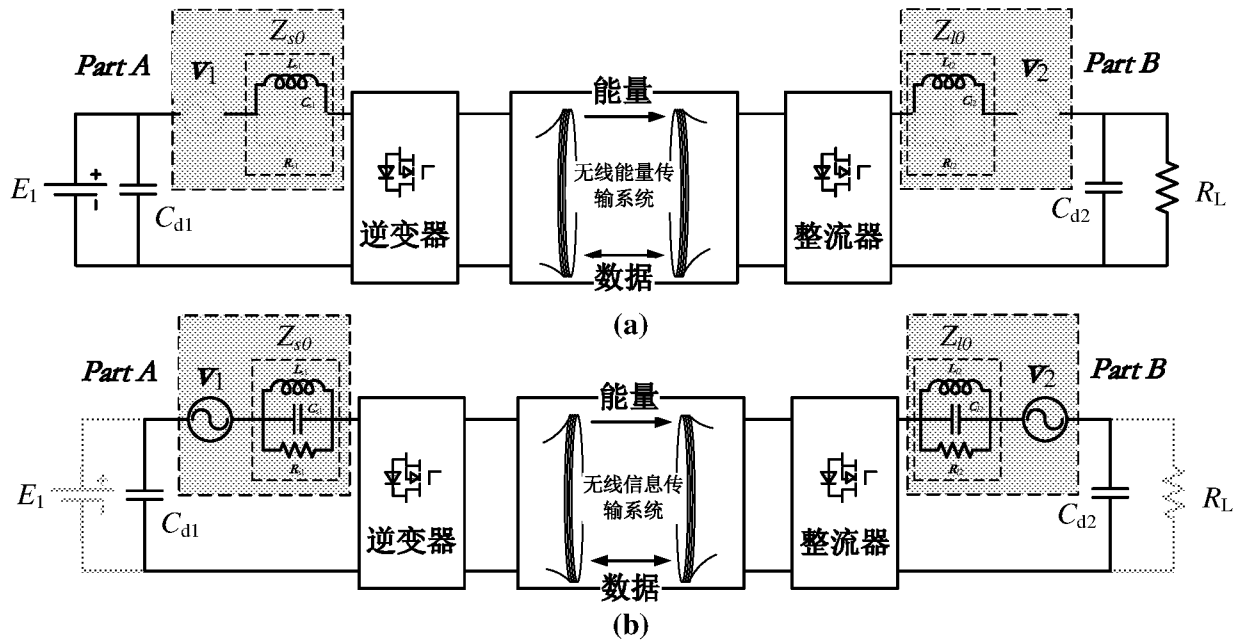


图 7

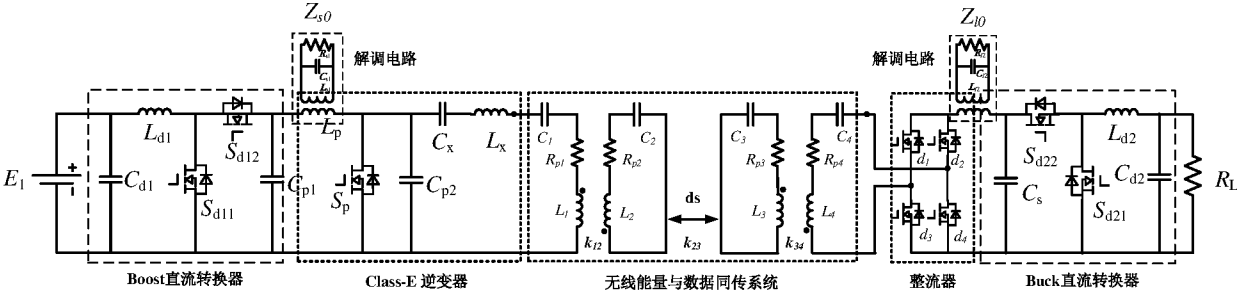


图 8

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2022/107334

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H02J 50/10(2016.01)i; H02J 50/12(2016.01)i; H02J 50/80(2016.01)i; H04L 27/12(2006.01)i; H04L 27/14(2006.01)i;
H04L 27/20(2006.01)i; H04L 27/22(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H02J H04L

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

WPI, EPODOC, CNPAT, CNKI: 无线, 非接触, 电能, 功率, 能量, 信号, 数据, 通信, 同步, 并行, 复合, 复用, 直流, 变换, 转换, 叠加, 混频, wireless, non, contact+, power, data, communicat+, DC, step+, up, down, boost, buck, frequency

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	CN 113013999 A (ZHEJIANG UNIVERSITY) 22 June 2021 (2021-06-22) description, paragraphs [0037]-[0047], and figures 1-8	1-9
Y	CN 104065336 A (ZHEJIANG UNIVERSITY) 24 September 2014 (2014-09-24) description, paragraphs [0049]-[0051], and figures 5-6	1-9
A	CN 114243942 A (ZHEJIANG UNIVERSITY) 25 March 2022 (2022-03-25) entire document	1-9
A	CN 111901052 A (CHINA UNIVERSITY OF MINING AND TECHNOLOGY) 06 November 2020 (2020-11-06) entire document	1-9
A	GB 2585440 A (APPLE INC.) 13 January 2021 (2021-01-13) entire document	1-9

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date
“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

02 December 2022

Date of mailing of the international search report

15 December 2022

Name and mailing address of the ISA/CN

**China National Intellectual Property Administration (ISA/
CN)
No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao, Haidian District, Beijing
100088, China**

Authorized officer

Facsimile No. (86-10)62019451

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2022/107334

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
CN	113013999	A	22 June 2021	None			
CN	104065336	A	24 September 2014	None			
CN	114243942	A	25 March 2022	None			
CN	111901052	A	06 November 2020	None			
GB	2585440	A	13 January 2021	GB	202005248	D0	20 May 2020
				DE	102020109640	A1	15 October 2020
				US	2020328630	A1	15 October 2020
				US	10998776	B2	04 May 2021
				CN	111817447	A	23 October 2020

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2022/107334

A. 主题的分类

H02J 50/10(2016.01)i; H02J 50/12(2016.01)i; H02J 50/80(2016.01)i; H04L 27/12(2006.01)i; H04L 27/14(2006.01)i; H04L 27/20(2006.01)i; H04L 27/22(2006.01)i

按照国际专利分类(IPC)或者同时按照国家分类和IPC两种分类

B. 检索领域

检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号)

H02J H04L

包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献

在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称, 和使用的检索词(如使用))

WPI, EPDOC, CNPAT, CNKI:无线, 非接触, 电能, 功率, 能量, 信号, 数据, 通信, 同步, 并行, 复合, 复用, 直流, 变换, 转换, 叠加, 混频, wireless, non, contact+, power, data, communicat+, DC, step+, up, down, boost, buck, frequency

C. 相关文件

类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求
Y	CN 113013999 A (浙江大学) 2021年6月22日 (2021 - 06 - 22) 说明书第[0037]-[0047]段、附图1-8	1-9
Y	CN 104065336 A (浙江大学) 2014年9月24日 (2014 - 09 - 24) 说明书第[0049]-[0051]段、附图5-6	1-9
A	CN 114243942 A (浙江大学) 2022年3月25日 (2022 - 03 - 25) 全文	1-9
A	CN 111901052 A (中国矿业大学) 2020年11月6日 (2020 - 11 - 06) 全文	1-9
A	GB 2585440 A (APPLE INC.) 2021年1月13日 (2021 - 01 - 13) 全文	1-9

☐ 其余文件在C栏的续页中列出。

☒ 见同族专利附件。

* 引用文件的具体类型:

“A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件

“E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利

“L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件(如具体说明的)

“O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件

“P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件

“T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件

“X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性

“Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性

“&” 同族专利的文件

国际检索实际完成的日期

2022年12月2日

国际检索报告邮寄日期

2022年12月15日

ISA/CN的名称和邮寄地址

中国国家知识产权局(ISA/CN)

中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088

传真号 (86-10)62019451

授权官员

方蕾

电话号码 86-(10)-53961493

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2022/107334

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利			公布日 (年/月/日)
CN	113013999	A	2021年6月22日	无			
CN	104065336	A	2014年9月24日	无			
CN	114243942	A	2022年3月25日	无			
CN	111901052	A	2020年11月6日	无			
GB	2585440	A	2021年1月13日	GB	202005248	D0	2020年5月20日
				DE	102020109640	A1	2020年10月15日
				US	2020328630	A1	2020年10月15日
				US	10998776	B2	2021年5月4日
				CN	111817447	A	2020年10月23日