(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 101807864 A
(43)申请公布日 2010.08.18

(21)申请号 201010131897.3

(22)申请日 2010.03.25

(71)申请人 吉林大学
地址 130012 吉林省长春市前进大街 2699 号

(72)发明人 于生宝 林君 周逢道 齐林 赵阅群

(74)专利代理机构 长春吉大专利代理有限责任公司 22201
代理人 王立文

(51)Int.Cl.
H02M 7/48(2007.01)

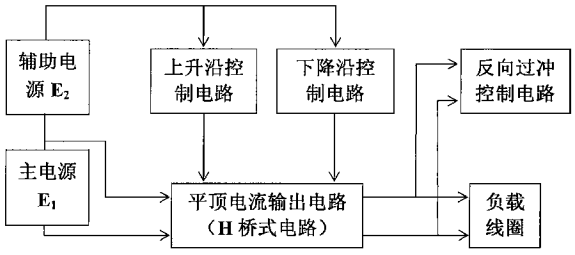
权利要求书 1 页 说明书 4 页 附图 3 页

(54)发明名称

磁性源电磁法发射电流分段控制电路

(57)摘要

本发明涉及一种磁性源电磁法发射电流分段控制电路。磁性源电磁法发射电流分段控制电路采用四段精确控制，是由主电源通过输出平顶电流的H桥式逆变主电路连接负载线圈并联反向过冲控制电路，主电源正端通过辅助电源后，与上升沿控制电路和下降沿控制电路分别并联于H桥式逆变主电路上构成。与现有技术相比采用输出电流分段控制，解决了输出电流平顶段控制与上升沿、下降沿控制方式相互制约的矛盾，减小了平顶电流纹波及电磁干扰，减小了输出电流关断时间，使大磁矩瞬变电磁装置浅层探测结果解释中一次场影响减小。同时，减少了功率器件的开关次数，减小了功率器件的开关损耗，并且简化了的控制电路、节约了成本，提高了效率。



CN 101807864 A

1. 一种磁性源电磁法发射电流分段控制电路，其特征在于，该电路采用四段分段精确控制输出电流，是由主电源 E_1 通过 H 桥式逆变主电路连接负载线圈并联反向过冲吸收电路，主电源 E_1 正端通过辅助电源 E_2 后，与上升沿控制电路和下降沿控制电路分别并联到 H 桥式逆变主电路构成。

2. 按照权利要求 1 所述的磁性源电磁法发射电流分段控制电路，其特征在于，H 桥式逆变电路是由开关器件 V_1、V_2、V_3、V_4 及线圈 L_R 组成，其他部分分别连接到 H 桥式逆变电路上。

3. 按照权利要求 1 所述的磁性源电磁法发射电流分段控制电路，其特征在于，上升沿控制电路由两部分组成，电容 C_3 直接并联到桥式逆变电路的电源与地两端；主电源 E_1 与滤波电容 C_1 并联后再与辅助电源 E_2、限流电阻 R_1、开关 K_1 串联后并联到桥式逆变电路的电源与地两端，由于负载线圈固定，输出电流上升的速率与时间长短由 C_3 的大小和充得的电压决定，由开关 K_1 和电阻 R_1 精确控制电容上的电压就可以精确控制电流上升沿。

4. 按照权利要求 1 所述的磁性源电磁法发射电流分段控制电路，其特征在于，下降沿控制电路分为两个部分，分别控制正向、反向脉冲的下降沿，二极管 D_1、辅助电源 E_2、主电源 E_1、二极管 D_4 串联后，并联到负载线圈 L_R 两端，为负向电流脉冲下降沿控制电路；二极管 D_3、辅助电源 E_2、主电源 E_1、二极管 D_2 串联后，并联到负载线圈 L_R 两端，为正向电流脉冲下降沿控制电路，主电源 E_1 和辅助电源 E_2 的电压大小决定下降沿的长短。

5. 按照权利要求 1 所述的磁性源电磁法发射电流分段控制电路，其特征在于，电流反向过冲控制电路由阻尼电阻 R 与控制开关 K_2 串联组成，再并联到负载线圈 L_R 两端，电流反向过冲大小由开关 K_2 的闭合时刻精确控制。

6. 按照权利要求 1 所述的磁性源电磁法发射电流分段控制电路，其特征在于，输出平顶电流电路由主电源 E_1 并联滤波电容 C_1 再串联二极管 D_5 后，并联到桥式逆变电路的电源与地两端，电流平顶阶段电流值由主电源 E_1 决定，宽度由外同步脉冲精确控制。

磁性源电磁法发射电流分段控制电路

技术领域

[0001] 本发明涉及一种电磁法探测仪器发射电流波形控制电路，尤其是适用于磁性源的多匝线圈发射装置的分段控制电路。

背景技术

[0002] 磁性源电磁法仪器通常采用 H 桥路作为发射装置的功率变换主回路，负载为感性，为减小负载电阻的功率损耗通常采用大电感、小电阻的线圈负载，尤其在航空电磁法、井下电磁法等特殊场合对线圈的尺寸有所限制，实际上大多采用多匝小线圈。因此，对于磁性源电磁法发射机的功率变换电路提出了特殊的要求。

[0003] 由于负载线圈电阻比较小，因此，在输出电流脉冲平顶阶段保持电流稳定在某一固定值时，需要的供电电压较小。但供电电流脉冲上升沿与下降沿的延时时间受供电电压影响特别大，供电电压过小会使上升沿与下降沿大到无法忍受，现在国内外普遍采用提高供电电压，在电流脉冲平顶阶段用 PWM 控制技术和负载线圈的电流记忆效应，实现输出电流的可控，如加拿大的航空电磁探测系统 VTEM 系列等磁性源电磁探测系统。但是这种控制技术增加了功率变换电路产生电磁干扰的强度，并且增大了桥路开关器件的开关损耗；接收信号中带有 PWM 控制信号的基频及谐波干扰，这对于压制噪声、提高信噪比，实现 on-time 采样都有不利影响；而且，由于现有的电路都是采用桥路开关器件并联反向二极管作为续流通路，其下降沿控制电源与供电电源为同一个电源，电压太小，使得关断电流拖尾严重，关断时间长。

[0004] 磁性源电磁法发射电流包括正向输出和负向输出两个极性，常规电路存在固有的缺陷，输出电流上升及下降沿太缓，无法实现所需频率大电流发射；电流关断后反向过冲大，影响接收机数据采集。

发明内容

[0005] 本发明的目的就是针对上述现有技术的不足，提供一种磁性源电磁法发射电流分段控制电路。

[0006] 本发明的目的是通过以下技术方案实现的：

[0007] 磁性源电磁法发射电流分段控制电路采用四段分段精确控制输出电流，是由主电源 E_1 通过 H 桥式逆变主电路连接负载线圈并联反向过冲吸收电路，主电源 E_1 正端通过辅助电源 E_2 后，与上升沿控制电路和下降沿控制电路分别并联到 H 桥式逆变主电路构成。

[0008] 本发明的目的还可以通过以下技术方案实现：

[0009] H 桥式逆变电路是由开关器件 V_1、V_2、V_3、V_4 及线圈 L_R 组成，其他部分分别连接到 H 桥式逆变电路上。上升沿控制电路由两部分组成，电容 C_3 直接并联到桥式逆变电路的电源与地两端；主电源 E_1 与滤波电容 C_1 并联后再与辅助电源 E_2、限流电阻 R_1、开关 K_1 串联后并联到桥式逆变电路的电源与地两端，由于负载线圈固定，输出电流上升的速率与时间长短由 C_3 的大小和充得的电压决定，由开关 K_1 和电阻 R_1 精确控制电容上的电压就可以精确控

制电流上升沿。下降沿控制电路分为两个部分，分别控制正向、反向脉冲的下降沿，二极管 D_1、辅助电源 E_2、主电源 E_1、二极管 D_4 串联后，并联到负载线圈 L_R 两端，为负向电流脉冲下降沿控制电路；二极管 D_3、辅助电源 E_2、主电源 E_1、二极管 D_2 串联后，并联到负载线圈 L_R 两端，为正向电流脉冲下降沿控制电路，主电源 E_1 和辅助电源 E_2 的电压大小决定下降沿的长短。电流反向过冲控制电路由阻尼电阻 R 与控制开关 K_2 串联组成，再并联到负载线圈 L_R 两端，电流反向过冲大小由开关 K_2 的闭合时刻精确控制。输出平顶电流电路由主电源 E_1 并联滤波电容 C_1 再串联二极管 D_5 后，并联到桥式逆变电路的电源与地两端，电流平顶阶段电流值由主电源 E_1 决定，宽度由外同步脉冲精确控制。

[0010] 有益效果：本发明与现有技术相比其优点是：采用输出电流分段控制，解决了输出电流平顶段控制与上升沿、下降沿控制方式相互制约的矛盾，实现了电流上升沿、下降沿可控，使输出平顶电流纹波及由此产生的电磁干扰减小，满足了航空电磁法发射机电流波形控制的要求，还可以应用于解决其他多匝小线圈负载瞬变电磁探测装置中，减小大磁矩瞬变电磁装置中电流关断时间，对减小浅层探测中一次场影响具有重要作用。另外，减少了功率器件的开关次数，简化了的控制电路、节约了成本，提高了效率。

附图说明：

[0011] 附图 1：为磁性源电磁法发射电流分段控制电路框图

[0012] 附图 2：为输出电流上升沿控制电路原理图（实线部分）

[0013] 附图 3：为输出平顶电流控制电路原理图

[0014] 附图 4：为输出电流下降沿控制电路原理图（实线部分）

[0015] 附图 5：为输出电流反向过冲吸收电路原理图（实线部分）

[0016] 附图 6：为磁性源电磁法发射电流分段控制电路原理图

具体实施方式：

[0017] 下面结合附图何时实力作进一步的详细说明：

[0018] 该电路采用四段分段精确控制输出电流，是由主电源 E_1 通过 H 桥式逆变主电路连接负载线圈并联反向过冲吸收电路，主电源 E_1 正端通过辅助电源 E_2 后，与上升沿控制电路和下降沿控制电路分别并联到 H 桥式逆变主电路构成。

[0019] H 桥式逆变电路是由开关器件 V_1、V_2、V_3、V_4 及线圈 L_R 组成，其他部分分别连接到 H 桥式逆变电路上。

[0020] 上升沿控制电路由两部分组成，电容 C_3 直接并联到桥式逆变电路的电源与地两端；主电源 E_1 与滤波电容 C_1 并联后再与辅助电源 E_2、限流电阻 R_1、开关 K_1 串联后并联到桥式逆变电路的电源与地两端，由于负载线圈固定，输出电流上升的速率与时间长短由 C_3 的大小和充得的电压决定，由开关 K_1 和电阻 R_1 精确控制电容上的电压就可以精确控制电流上升沿。

[0021] 下降沿控制电路分为两个部分，分别控制正向、反向脉冲的下降沿，二极管 D_1、辅助电源 E_2、主电源 E_1、二极管 D_4 串联后，并联到负载线圈 L_R 两端，为负向电流脉冲下降沿控制电路；二极管 D_3、辅助电源 E_2、主电源 E_1、二极管 D_2 串联后，并联到负载线圈 L_R 两端，为正向电流脉冲下降沿控制电路，主电源 E_1 和辅助电源 E_2 的电压大小决定下降沿的长短。

[0022] 电流反向过冲控制电路由阻尼电阻 R 与控制开关 K_2 串联组成，再并联到负载线圈 L_R 两端，电流反向过冲大小由开关 K_2 的闭合时刻精确控制。

[0023] 输出平顶电流电路由主电源 E_1 并联滤波电容 C_1 再串联二极管 D_5 后，并联到桥式逆变电路的电源与地两端，电流平顶阶段电流值由主电源 E_1 决定，宽度由外同步脉冲精确控制。

[0024] 分段控制电路的设计思想是采用分段控制输出电流脉冲，即电流上升沿、电流平顶、电流下降沿以及电流反向过冲阶段单独控制，然后组成梯形电流输出脉冲，实现输出电流波形的完全可控。每一控制阶段使用独立的控制电路及控制电压，使各段电流控制条件不同，从而解决了常规磁性源电磁法发射机上升沿、下降沿过缓与脉冲平顶电流幅值控制矛盾。

[0025] 通过对主电源和高压辅助电源的不同时间接入技术，采用 LC 准谐振控制，高压辅助电源提升电流变化率，控制高压辅助电源接入的时间，实现输出电流脉冲上升沿的加速的速率可调，解决了上升沿过缓的问题；在脉冲平顶阶段采用主电源供电，主电源电压相对较低，电流大而且稳定精度高，因此实现了电流脉冲平顶阶段电流精度要求高、功率大并且可调的技术要求；在电流脉冲下降阶段，为减小关断电流的拖尾，把常用电路中续流二极管的负极与主电源断开，接到辅助电源正端，辅助电源电压对负载线圈中积蓄的电流泄放起到钳位作用，减小了电流关断时的拖尾现象，从而减小了电流脉冲的关断时间。但随着电流脉冲关断时间的减小，关断后电流的反向过冲增大，对探测结果影响比较大，一般过冲时间长度在几十微秒左右，因此采用精确控制接入阻尼电阻的方法消除关断后的电流反向过冲。

[0026] 输出电流脉冲上升沿控制电路包括主电源 E_1、高压辅助电源 E_2、开关器件 K_1 及其控制电路、限流电阻 R_1、准谐振电容 C_3；输出电流脉冲平顶控制电路包括主电源 E_1、主电路开关器件 V_1 和 V_3 或 V_2 和 V_4 以及负载线圈 L_R；输出电流脉冲下降沿控制电路包括主电源 E_1、高压辅助电源 E_2、续流二极管 D_1 和 D_4、负载线圈 L_R；输出电流反向过冲吸收电路包括开关器件 K_2 及其控制电路、吸收电阻 R 以及负载线圈 L_R。

[0027] 磁性源电磁法输出电流波形分段控制电路，是由输出电流脉冲上升沿控制电路，平顶电流控制电路，输出电流下降沿控制电路，输出电流反向过冲吸收电路组成（如图 1 所示）。输出电流脉冲上升沿采用 LC 准谐振电路提升电流上升速率，加入谐振电容并与负载线圈形成准谐振状态，谐振电容预先由高压辅助电源充电，其充电电压的大小决定了上升沿加速上升的速率，以正向输出电流为例（如图 2 所示），事先通过 $E_1+E_2 \rightarrow K_1 \rightarrow C_3$ 将所需要的提升电压充到 C_3 上，则输出电流上升沿路径为：$C_3 \rightarrow V_1 \rightarrow L_R \rightarrow V_4 \rightarrow C_3$；在脉冲平顶阶段，由于负载线圈电阻较小，因此采用低电压大电流直流主电源供电，避免了 PWM 控制方法带来的电磁干扰，使 on-time 采样变得容易与简单，平顶电流流过路径：$E_1 \rightarrow D_5 \rightarrow V_1 \rightarrow L_R \rightarrow V_4 \rightarrow E_1$（如图 3 所示）；输出电流下降沿阶段，辅助电源与主电源共同构成高压钳位电源，使原有输出电流脉冲下降沿时间减小（如图 4 所示），下降沿电流流过路径：$L_R \rightarrow D_3 \rightarrow E_1+E_2 \rightarrow D_2 \rightarrow L_R$；由于电流下降沿的减小，其反向过冲将增大。为了减小电流反向过冲，进而减小其对解释结果的影响，采用并联阻尼电阻的方法吸收电流反向过冲，实验验证吸收电阻的阻值一般在几十到一百欧姆效果比较好，但由于电流脉冲输出期间负载电压较大，并联电阻功率就非常大，给仪器系统的功率容量和散热造成很大负担，因此，

本发明采用精确控制接入电阻时刻（如图5所示），在反向电流脉冲过零时刻接入吸收电阻负载，电流反向过冲流通路径：$K_2 \rightarrow L_R \rightarrow R \rightarrow K_2$。

[0028] 磁性源电磁法发射电流分段控制电路，假如要输出频率为50Hz的梯形波，而且梯形波电流脉冲要有一定宽度的平顶时间，这样对电流上升时间、下降时间就要有一定限制，如果线圈电阻为几十毫欧姆，为保证平顶电流的大小供电电压就不能太大，否则在平顶电流期间电流将过大，要限制平顶电流要么采用PWM控制电流，要么降低供电电压，前者造成干扰太大，后者无法实现电流上升沿快速上升，本发明在电流上升之前E_1+E_2通过K_1及R_1向电容C_3充电，当电流上升沿开始时，电容C_3与负载线圈L_R形成准谐振，电流上升时间受电容C_3上的电压控制，以负载线圈正向电流为例，谐振回路为：$C_3 \rightarrow V_1 \rightarrow L_R \rightarrow V_4 \rightarrow C_3$，控制开关$K_1$就可以控制电容$C_3$上的电压，进而控制输出电流的上升时间。

[0029] 当输出电流上升结束时，如果电容C_3上的电压大于平顶电流所需直流电压，则输出电流不可控，因此选择电容C_3的容值使电容放电时间控制在所需时间内，平顶电流由电源E_1向负载线圈供电，供电回路为：$E_1 \rightarrow D_5 \rightarrow V_1 \rightarrow L_R \rightarrow V_4 \rightarrow E_1$，电源$E_1$保持输出电流稳定。当平顶电流脉冲结束后，负载线圈存储的能量要释放出去，线圈放电时间取决于电路参数及加在线圈两端的反向电压，释放回路为：$L_R \rightarrow D_3 \rightarrow E_1+E_2 \rightarrow D_2 \rightarrow L_R$，电源$E_1+E_2$电压保证电流下降时间比单独$E_1$时减小。

[0030] 当线圈中电流过零时，由于线路中开关器件结电容及其他分布电容的存在，与负载线圈形成阻尼振荡，会对接收信号产生很大的影响，因此在电流过零时精确地并入阻尼电阻R，消除震荡现象。

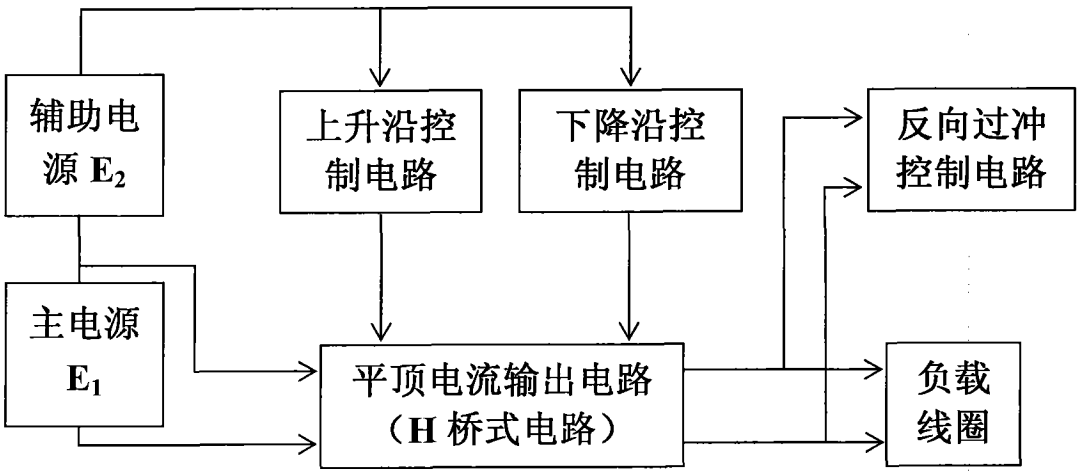

辅助电源 E_2
上升沿控制电路
下降沿控制电路
反向过冲控制电路
主电源 E_1
平顶电流输出电路（H 桥式电路）
负载线圈

图 1

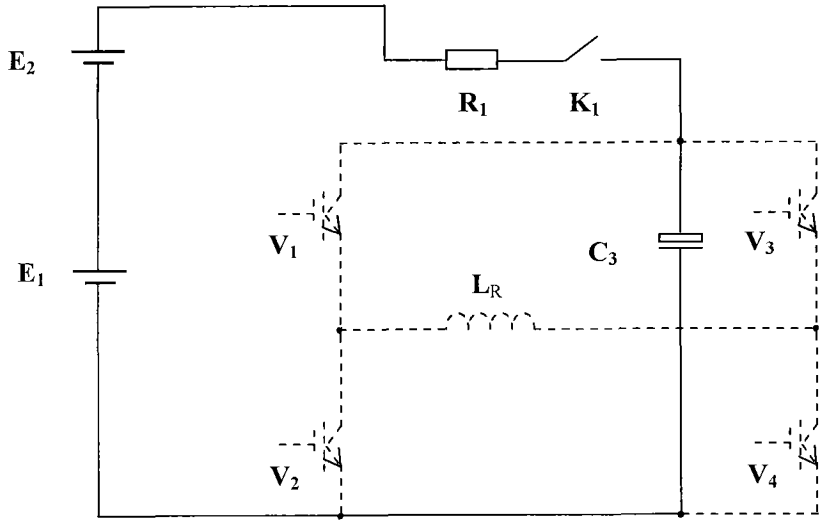

E_2
R_1
K_1
E_1
V_1
C_3
V_3
L_R
V_2
V_4

图 2

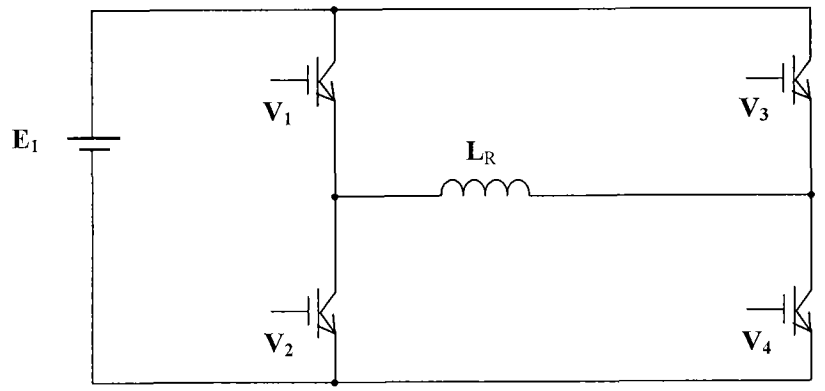

E_1
V_1
V_3
L_R
V_2
V_4

图 3

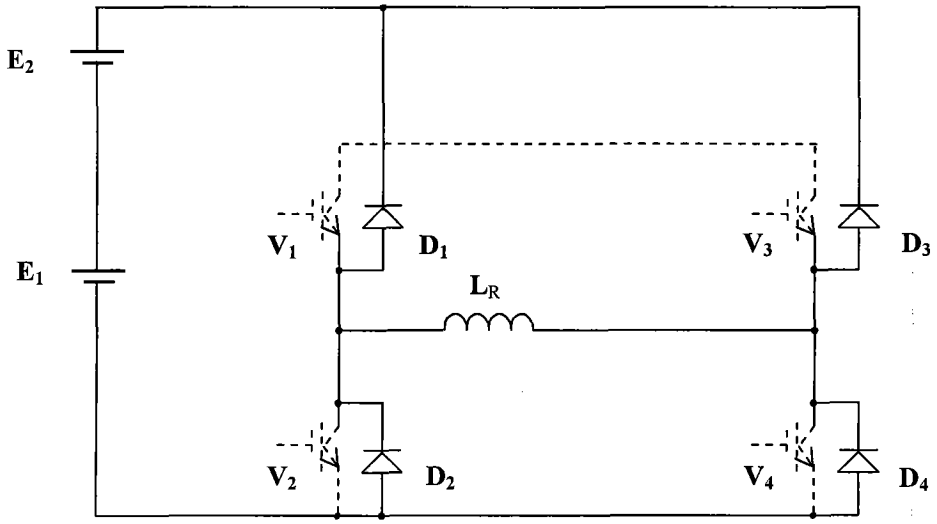


图 4

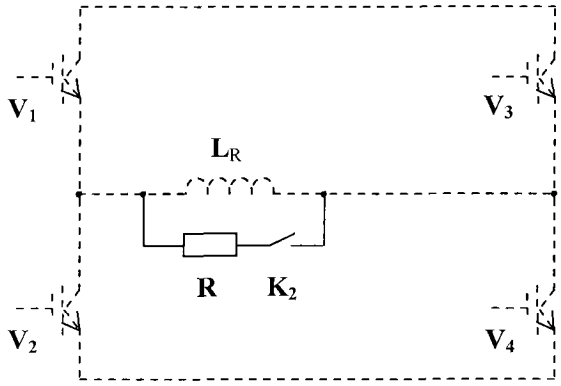


图 5

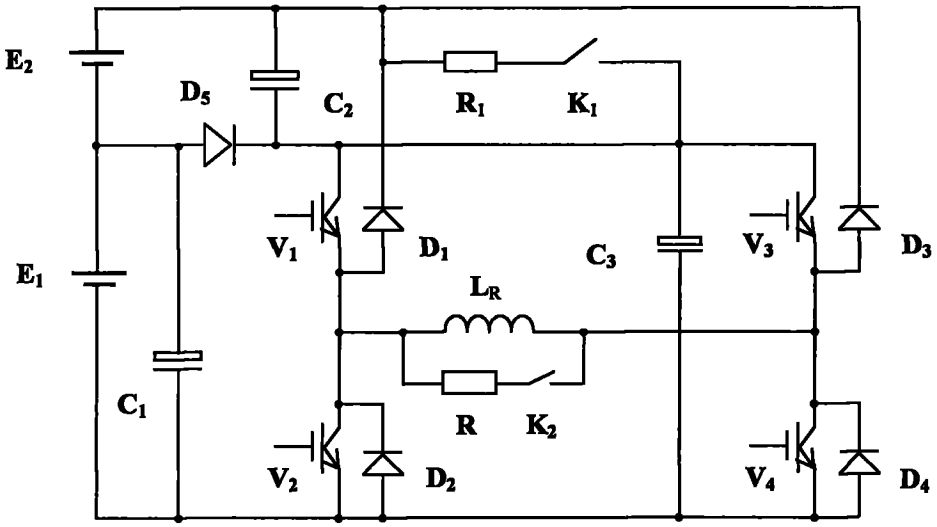


图 6