



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 117937974 A

(43) 申请公布日 2024. 04. 26

(21) 申请号 202410067069.X

H02M 1/00 (2007.01)

(22) 申请日 2024.01.17

H02M 1/088 (2006.01)

(71) 申请人 中国科学院合肥物质科学研究院
地址 230031 安徽省合肥市庐阳区三十岗乡古城路181号
申请人 山东理工大学

(72) 发明人 代天立 李海涛 秦经刚 赵博
高鹏 周超 吴亚楠 卢晶 金环
刘剑 关晓晖

(74) 专利代理机构 北京科迪生专利代理有限责
任公司 11251
专利代理师 孔伟

(51) Int. Cl.
H02M 9/06 (2006.01)
H02M 3/04 (2006.01)

权利要求书2页 说明书4页 附图9页

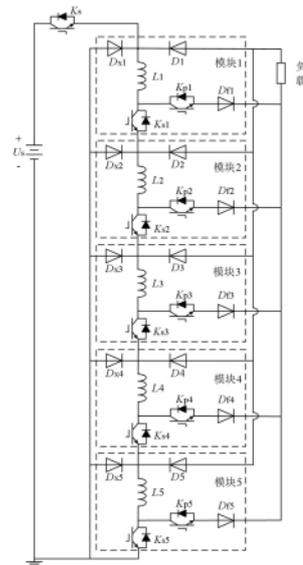
(54) 发明名称

一种可延时并联放电的多模块超导电感串联充电并联放电电路

(57) 摘要

一种可延时并联放电的多模块超导电感串联充电并联放电电路,包括:初级电源、电源开关、超导储能电感、串联开关、并联放电开关、并联放电二极管、续流二极管、防逆流二极管和负载。充电时,超导储能电感通过串联开关和电源开关串联连接于初级电源两端;放电时,超导储能电感通过并联放电开关、和并联放电二极管并联连接于负载两端;放电时,闭合并联放电开关后,同时关断串联开关可使超导储能电感同步对负载并联放电,延时依次关断串联开关可使超导储能电感延时对负载并联放电。通过本发明可对串联充电的多模块超导电感储能脉冲电源输出脉冲进行调控,满足不同负载对脉冲波形的要求。

CN 117937974 A



1. 一种可延时并联放电的多模块超导电感串联充电并联放电电路,其特征在于:包括初级充电电源 U_s 、电源开关 K_s 、负载以及依次串联的多组超导储能电感单元模块 M_1-M_n ,单元模块 M_1-M_n 中分别包括超导储能电感 $L_1 \sim L_n$ 、串联开关 $K_{s1} \sim K_{sn}$ 、并联放电开关 $K_{p1} \sim K_{pn}$ 、并联放电二极管 $D_1 \sim D_n$ 、续流二极管 $D_{x1} \sim D_{xn}$ 、防逆流二极管 $D_{f1} \sim D_{fn}$;所述电源开关、串联开关、并联放电开关均由IGBT反向并联一个二极管组成;所述初级充电电源 U_s 的正、负极依次串联 n 组单元模块形成回路, n 组单元模块并联在负载两侧;所述电源开关 K_s 的集电极与电源 U_s 正极连接,发射极与模块 M_n 的超导储能电感连接。

2. 根据权利要求1所述的一种可延时并联放电的多模块超导电感串联充电并联放电电路,其特征在于,所述续流二极管 $D_{x1} \sim D_{xn}$ 的阳极与电源 U_s 的负极连接,阴极与超导储能电感 $L_1 \sim L_n$ 依次连接;所述超导储能电感 $L_1 \sim L_n$ 与串联开关 $K_{s1} \sim K_{sn}$ 依次串联连接在电源两侧;每一个单元模块中,超导储能电感、并联放电开关、防逆流二极管、并联放电二极管依次串联连接形成放电回路。

3. 根据权利要求1所述的一种可延时并联放电的多模块超导电感串联充电并联放电电路,其特征在于,通过控制串联开关 $K_{s1} \sim K_{sn}$ 的通断,调节并联充电的模块数,调制输出脉冲的宽度。

4. 根据权利要求3所述的一种可延时并联放电的多模块超导电感串联充电并联放电电路,其特征在于,当单元模块为5个时,所述电路的同步并联放电模式工作过程为:

阶段a,触发导通电源开关 K_s 、串联开关 $K_{s1} \sim K_{s5}$,以使初级电源 U_s 为所述超导储能电感 $L_1 \sim L_5$ 充电,初级电源 U_s 的正极依次通过电源开关 K_s -超导储能电感 L_1 -串联开关 K_{s1} -超导储能电感 L_2 -串联开关 K_{s2} -超导储能电感 L_3 -串联开关 K_{s3} -超导储能电感 L_4 -串联开关 K_{s4} -超导储能电感 L_5 -串联开关 K_{s5} 与初级充电电源 U_s 的负极之间形成充电回路;

阶段b,关断电源开关 K_s ,导通并联放电开关 $K_{p1} \sim K_{p5}$,同时关断串联开关 $K_{s1} \sim K_{s5}$,各模块中超导储能电感-并联放电开关-负载-并联放电二极管依次串联形成放电回路;

分组延时并联放电模式工作过程如下,模块M1和M2为一组,其余模块各自为一组:

阶段a,触发导通电源开关 K_s 、串联开关 $K_{s1} \sim K_{s5}$,以使初级电源 U_s 为所述超导储能电感 $L_1 \sim L_5$ 充电,初级电源 U_s 的正极依次通过电源开关 K_s -超导储能电感 L_1 -串联开关 K_{s1} -超导储能电感 L_2 -串联开关 K_{s2} -超导储能电感 L_3 -串联开关 K_{s3} -超导储能电感 L_4 -串联开关 K_{s4} -超导储能电感 L_5 -串联开关 K_{s5} 与初级充电电源 U_s 的负极之间形成充电回路;

阶段b,关断电源开关 K_s ,导通并联放电开关 $K_{p1} \sim K_{p5}$,关断串联开关 $K_{s1} \sim K_{s2}$,模块M1、M2并联在负载两侧放电,模块内超导储能电感-并联放电开关-负载-并联放电二极管依次串联形成放电回路;串联开关 $K_{s3} \sim K_{s5}$ 保持导通,超导储能电感 L_3 -串联开关 K_{s3} -超导储能电感 L_4 -串联开关 K_{s4} -超导储能电感 L_5 -串联开关 K_{s5} -续流二极管 D_{x3} 依次串联形成续流回路,延迟2ms后,进入阶段c;

阶段c,控制关断串联开关 K_{s3} ,模块M1、M2、M3并联在负载两侧对负载放电,串联开关 $K_{s4} \sim K_{s5}$ 保持导通,超导储能电感 L_4 -串联开关 K_{s4} -超导储能电感 L_5 -串联开关 K_{s5} -续流二极管 D_{x3} 依次串联形成续流回路,延迟2ms后,进入阶段d;

阶段d,控制关断串联开关 K_{s4} ,模块M1、M2、M3、M4并联在负载两侧对负载放电,串联开关 K_{s5} 保持导通,超导储能电感 L_5 -串联开关 K_{s5} -续流二极管 D_{x3} 依次串联形成续流回路,延迟1.5ms后,进入阶段e;

阶段e,控制关断串联开关 K_{s5} ,模块M1、M2、M3、M4、M5并联在负载两侧对负载放电。

一种可延时并联放电的多模块超导电感串联充电并联放电电路

技术领域

[0001] 一种可延时并联放电的多模块超导电感串联充电并联放电电路,属于脉冲功率技术领域。

背景技术

[0002] 脉冲功率技术是上世纪六十年代后迅速发展的一门新兴学科,其主要研究内容是如何低成本、高效率地储存能量,然后经过时间压缩和空间压缩环节,将大功率、高幅值、陡前沿的脉冲快速有效地传输到负载上。它具有高能量密度、强磁场环境、大输出脉冲的特点,涉及初级电源技术、开关技术、脉冲压缩技术、脉冲成形技术等。由于脉冲功率技术应用场景的多样化,输出脉冲上升时间、脉冲幅值、脉冲宽度、稳定性等方面的要求不断提高,使得脉冲功率技术面临着许多新的挑战。

[0003] 脉冲功率技术中的储能方式主要有有电容储能、电感储能和机械储能等。相比电容储能,电感储能的能量密度要高一个数量级;相比机械储能,电感储能以静止磁场形式进行储能,易于冷却且只需要存储单次所需能量,这些优势使电感储能型的脉冲电源具有广泛的发展前景。

[0004] 但是电感储能也有一些不足,例如由于线圈损耗,电感不能长时间储能、脉冲宽度较窄等。对于线圈损耗,超导电感具有零电阻特性,很好地解决了普通超导电感无法长期储能和续流的问题。而多模块超导电感储能串联充电并联放电模式,主要是以超导储能电感模块的简单叠加来实现输出脉冲电流幅值的增大。但是,对于实际复杂工况下负载对输出脉冲宽度的不同需求,简单并联的多模块脉冲电源电路无法进行有效调制。

[0005] 围绕着多模块电感串联充电并联放电电路,充分发挥其多方面的优势,当前文献中提出了几种研究方法:

[0006] 文献Dedie P, Brommer V, Scharnholz S. Experimental realization of an eight-stage XRAM generator based on ICCOS semiconductor opening switches, fed by a magnetodynamic storage system[J]. IEEE Transactions on Magnetics, 2009, 45(1): 266-271. 提出的ICCO换流的XRAM拓扑结构。该电路基于XRAM电路模式,引入晶闸管逆流关断技术,可关断更大电流和耐受更大电压,但放电时储能电感只能同步放电,放电波形不可调节。

[0007] 专利申请号201010225070.9公布的一种超导储能脉冲功率电源,采用初级电源对超导电感先串联充电再并联放电来实现放大输出电流脉冲,该模式下的电能只能即充即放,无法续流以等待放电指令,此外,该模式只能实现同步放电,实现输出大电流脉冲,不能调制脉冲宽度。

发明内容

[0008] 本发明要解决的技术问题是:克服现有技术的不足,对已有的脉冲电源的电路进

行改进,提供一种可延时并联放电的多模块超导电感串联充电并联放电电路,实现对输出脉冲幅值大小和宽度的调制。在串联充电时,当单元模块数量为5个时,所述电源开关 K_s 导通,串联开关 $K_{s1} \sim K_{s5}$ 导通,初级电源 U_s 、电源开关 K_s 、串联开关 $K_{s1} \sim K_{s5}$ 和五组单模块脉冲电源串联形成充电回路;同步并联放电时,并联放电开关 $K_{p1} \sim K_{p5}$ 导通,电源开关 K_s 、串联开关 $K_{s1} \sim K_{s5}$ 关断,每组模块中的超导储能电感通过并联放电开关、防逆流二极管、并联放电二极管依次串联连接负载形成放电回路;延时并联放电时,并联放电开关 $K_{p1} \sim K_{p5}$ 导通,电源开关 K_s 关断,各模块串联开关 $K_{s1} \sim K_{s5}$ 依次延时关断,各模块中的超导储能电感依次延时通过并联放电开关、防逆流二极管、并联放电二极管依次串联连接负载形成放电回路。放电过程中,串联开关未关断的模块中的超导储能电感串联,经续流二极管形成续流回路。该放电模式可以调制输出脉冲的幅值大小和宽度,满足不同负载对不同脉冲波形的要求。

[0009] 本发明提出的一种可延时并联放电的多模块超导电感串联充电并联放电电路,包括初级充电电源 U_s 、电源开关 K_s 、负载以及依次串联的多组超导储能电感单元模块 $M_1 \sim M_n$,单元模块 $M_1 \sim M_n$ 中分别包括超导储能电感 $L_1 \sim L_n$ 、串联开关 $K_{s1} \sim K_{sn}$ 、并联放电开关 $K_{p1} \sim K_{pn}$ 、并联放电二极管、续流二极管 $D_{x1} \sim D_{xn}$ 、防逆流二极管;所述电源开关、串联开关、并联放电开关由IGBT反向并联一个二极管组成;所述初级充电电源 U_s 的正、负极依次串联 n 组单元模块形成回路, n 组单元模块并联在负载两侧;所述电源开关 K_s 的集电极与电源 U_s 正极连接,发射极与模块 M_n 的超导储能电感连接。

[0010] 进一步,所述续流二极管 $D_{x1} \sim D_{xn}$ 的阳极与电源 U_s 的负极连接,阴极与超导储能电感 $L_1 \sim L_n$ 依次连接;所述超导储能电感 $L_1 \sim L_n$ 与串联开关 $K_{s1} \sim K_{sn}$ 依次串联连接在电源两侧;每一个单元模块中,超导储能电感、并联放电开关、防逆流二极管、并联放电二极管依次串联连接形成放电回路。

[0011] 进一步,通过控制串联开关 $K_{s1} \sim K_{sn}$ 的通断,调节并联充电的模块数,调制输出脉冲的宽度。

[0012] 进一步,当单元模块为5个时,所述电路的同步并联放电模式工作过程为:

[0013] 阶段a,触发导通电源开关 K_s 、串联开关 $K_{s1} \sim K_{s5}$,以使初级电源 U_s 为所述超导储能电感 $L_1 \sim L_5$ 充电,初级电源 U_s 的正极依次通过电源开关 K_s -超导储能电感 L_1 -串联开关 K_{s1} -超导储能电感 L_2 -串联开关 K_{s2} -超导储能电感 L_3 -串联开关 K_{s3} -超导储能电感 L_4 -串联开关 K_{s4} -超导储能电感 L_5 -串联开关 K_{s5} 与初级充电电源 U_s 的负极之间形成充电回路;

[0014] 阶段b,关断电源开关 K_s ,导通并联放电开关 $K_{p1} \sim K_{p5}$,同时关断串联开关 $K_{s1} \sim K_{s5}$,各模块中超导储能电感-并联放电开关-负载-并联放电二极管依次串联形成放电回路;

[0015] 分组延时并联放电模式工作过程如下,模块M1和M2为一组,其余模块各自为一组:

[0016] 阶段a,触发导通电源开关 K_s 、串联开关 $K_{s1} \sim K_{s5}$,以使初级电源 U_s 为所述超导储能电感 $L_1 \sim L_5$ 充电,初级电源 U_s 的正极依次通过电源开关 K_s -超导储能电感 L_1 -串联开关 K_{s1} -超导储能电感 L_2 -串联开关 K_{s2} -超导储能电感 L_3 -串联开关 K_{s3} -超导储能电感 L_4 -串联开关 K_{s4} -超导储能电感 L_5 -串联开关 K_{s5} 与初级充电电源 U_s 的负极之间形成充电回路;

[0017] 阶段b,关断电源开关 K_s ,导通并联放电开关 $K_{p1} \sim K_{p5}$,关断串联开关 $K_{s1} \sim K_{s2}$,模块M1、M2并联在负载两侧放电,模块内超导储能电感-并联放电开关-负载-并联放电二极管依次串联形成放电回路;串联开关 $K_{s3} \sim K_{s5}$ 保持导通,超导储能电感 L_3 -串联开关 K_{s3} -超导储能电感 L_4 -串联开关 K_{s4} -超导储能电感 L_5 -串联开关 K_{s5} -续流二极管 D_{x3} 依次串联形成续流回路,

延迟2ms后,进入阶段c;

[0018] 阶段c,控制关断串联开关 K_{s3} ,模块M1、M2、M3并联在负载两侧对负载放电,串联开关 $K_{s4} \sim K_{s5}$ 保持导通,超导储能电感 L_4 -串联开关 K_{s4} -超导储能电感 L_5 -串联开关 K_{s5} -续流二极管 D_{x3} 依次串联形成续流回路,延迟2ms后,进入阶段d;

[0019] 阶段d,控制关断串联开关 K_{s4} ,模块M1、M2、M3、M4并联在负载两侧对负载放电,串联开关 K_{s5} 保持导通,超导储能电感 L_5 -串联开关 K_{s5} -续流二极管 D_{x3} 依次串联形成续流回路,延迟1.5ms后,进入阶段e;

[0020] 阶段e,控制关断串联开关 K_{s5} ,模块M1、M2、M3、M4、M5并联在负载两侧对负载放电。

[0021] 本发明提出的一种可延时并联放电的多模块超导电感串联充电并联放电电路,通过控制电源开关 K_s 、串联开关 $K_{s1} \sim K_{sn}$ 和并联放电开关 $K_{p1} \sim K_{pn}$ 的通断实现串联充电和并联放电,可实现对输出脉冲峰值和脉冲宽度的调节。

附图说明

[0022] 图1为本发明脉冲电源电路原理图。

[0023] 图2为本发明脉冲电源电路充电阶段示意图。

[0024] 图3为本发明脉冲电源电路同步并联放电阶段示意图。

[0025] 图4为本发明脉冲电源电路同步并联放电输出负载电流示意图。

[0026] 图5为本发明脉冲电源电路两模块并联放电阶段示意图。

[0027] 图6为本发明脉冲电源电路三模块并联放电阶段示意图。

[0028] 图7为本发明脉冲电源电路四模块并联放电阶段示意图。

[0029] 图8为本发明脉冲电源电路五模块并联放电阶段示意图。

[0030] 图9为本发明脉冲电源电路三模块延时并联放电输出负载电流示意图;

具体实施方式

[0031] 为了使本发明的发明目的、技术方案及技术效果更加清楚明白,以下结合附图1对本发明做进一步说明。应当理解,此处所描述的具体实施例仅仅用以解释本发明,并不限定本发明。

[0032] 请参见图1,本发明提供一种可延时并联放电的多模块超导电感串联充电并联放电电路,包括初级电源 U_s 、电源开关 K_s 、负载以及依次串联的多组超导储能电感单元模块,数量优选5个。以下内容基于单元模块选为5个。

[0033] 所述电源开关 K_s 、串联开关 $K_{s1} \sim K_{s5}$ 、并联放电开关 $K_{p1} \sim K_{p5}$ 由IGBT反向并联一个二极管组成;所述初级电源 U_s 的正、负极依次串联五组超导储能电感模块形成回路,五组模块并联在负载两侧;所述电源开关 K_s 中IGBT的集电极与电源正极连接,发射极与超导储能电感连接。

[0034] 所述超导储能电感模块由超导储能电感 $L_1 \sim L_5$ 、串联开关 $K_{s1} \sim K_{s5}$ 、并联放电开关 $K_{p1} \sim K_{p5}$ 、并联放电二极管 $D_1 \sim D_5$ 、续流二极管 $D_{x1} \sim D_{x5}$ 、防逆流二极管 $D_{f1} \sim D_{f5}$ 组成;所述续流二极管 $D_{x1} \sim D_{x5}$ 的阳极与电源 U_s 的负极连接,阴极与超导储能电感 $L_1 \sim L_5$ 依次连接;所述超导储能电感 $L_1 \sim L_5$ 与串联开关 $K_{s1} \sim K_{s5}$ 依次串联连接在电源两侧;每组模块中,超导储能电感、并联放电开关、防逆流二极管、并联放电二极管依次串联连接负载形成放电回路。

[0035] 以下结合附图1,详细介绍本发明提出的可延时并联放电的多模块超导电感串联充电并联放电电路工作过程,由于放电模式不同,可分为同步并联放电模式和延迟并联放电模式:

[0036] 同步并联放电模式工作过程:

[0037] 阶段a,如图2所示,触发导通电源开关 K_s 、串联开关 $K_{s1} \sim K_{s5}$,以使初级电源 U_s 为所述超导储能电感 $L_1 \sim L_5$ 充电,初级电源 U_s 的正极依次通过电源开关 K_s -超导储能电感 L_1 -串联开关 K_{s1} -超导储能电感 L_2 -串联开关 K_{s2} -超导储能电感 L_3 -串联开关 K_{s3} -超导储能电感 L_4 -串联开关 K_{s4} -超导储能电感 L_5 -串联开关 K_{s5} 与初级充电电源 U_s 的负极之间形成充电回路;

[0038] 阶段b,如图3所示,关断电源开关 K_s ,导通并联放电开关 $K_{p1} \sim K_{p5}$,同时关断串联开关 $K_{s1} \sim K_{s5}$,各模块中超导储能电感-并联放电开关-负载-并联放电二极管依次串联形成放电回路,放电波形如图4所示;

[0039] 延时并联放电模式工作过程(以分组延时并联放电为例,模块M1和M2为一组,其余模块各自为一组):

[0040] 阶段a,如图2所示,触发导通电源开关 K_s 、串联开关 $K_{s1} \sim K_{s5}$,以使初级电源 U_s 为所述超导储能电感 $L_1 \sim L_5$ 充电,初级电源 U_s 的正极依次通过电源开关 K_s -超导储能电感 L_1 -串联开关 K_{s1} -超导储能电感 L_2 -串联开关 K_{s2} -超导储能电感 L_3 -串联开关 K_{s3} -超导储能电感 L_4 -串联开关 K_{s4} -超导储能电感 L_5 -串联开关 K_{s5} 与初级充电电源 U_s 的负极之间形成充电回路;

[0041] 阶段b,如图5所示,关断电源开关 K_s ,导通并联放电开关 $K_{p1} \sim K_{p5}$,关断串联开关 $K_{s1} \sim K_{s2}$,模块M1、M2并联在负载两侧放电,模块内超导储能电感-并联放电开关-负载-并联放电二极管依次串联形成放电回路;串联开关 $K_{s3} \sim K_{s5}$ 保持导通,超导储能电感 L_3 -串联开关 K_{s3} -超导储能电感 L_4 -串联开关 K_{s4} -超导储能电感 L_5 -串联开关 K_{s5} -续流二极管 D_{x3} 依次串联形成续流回路,延迟2ms后,进入阶段c;

[0042] 阶段c,如图6所示,控制关断串联开关 K_{s3} ,模块M1、M2、M3并联在负载两侧对负载放电,串联开关 $K_{s4} \sim K_{s5}$ 保持导通,超导储能电感 L_4 -串联开关 K_{s4} -超导储能电感 L_5 -串联开关 K_{s5} -续流二极管 D_{x3} 依次串联形成续流回路,延迟2ms后,进入阶段d;

[0043] 阶段d,如图7所示,控制关断串联开关 K_{s4} ,模块M1、M2、M3、M4并联在负载两侧对负载放电,串联开关 K_{s5} 保持导通,超导储能电感 L_5 -串联开关 K_{s5} -续流二极管 D_{x3} 依次串联形成续流回路,延迟1.5ms后,进入阶段e;

[0044] 阶段e,如图8所示,控制关断串联开关 K_{s5} ,模块M1、M2、M3、M4、M5并联在负载两侧对负载放电。

[0045] 延时并联放电模式的放电波形如图9所示。

[0046] 以上所述,仅是本发明的较佳实施例而已,并非是对本发明作其它形式的限制,任何熟悉本专业的技术人员可能利用上述揭示的技术内容加以变更或改型为等同变化的等效实施例。但是凡是未脱离本发明技术方案内容,依据本发明的技术实质对以上实施例所作的任何简单修改、等同变化与改型,仍属于本发明技术方案的保护范围。

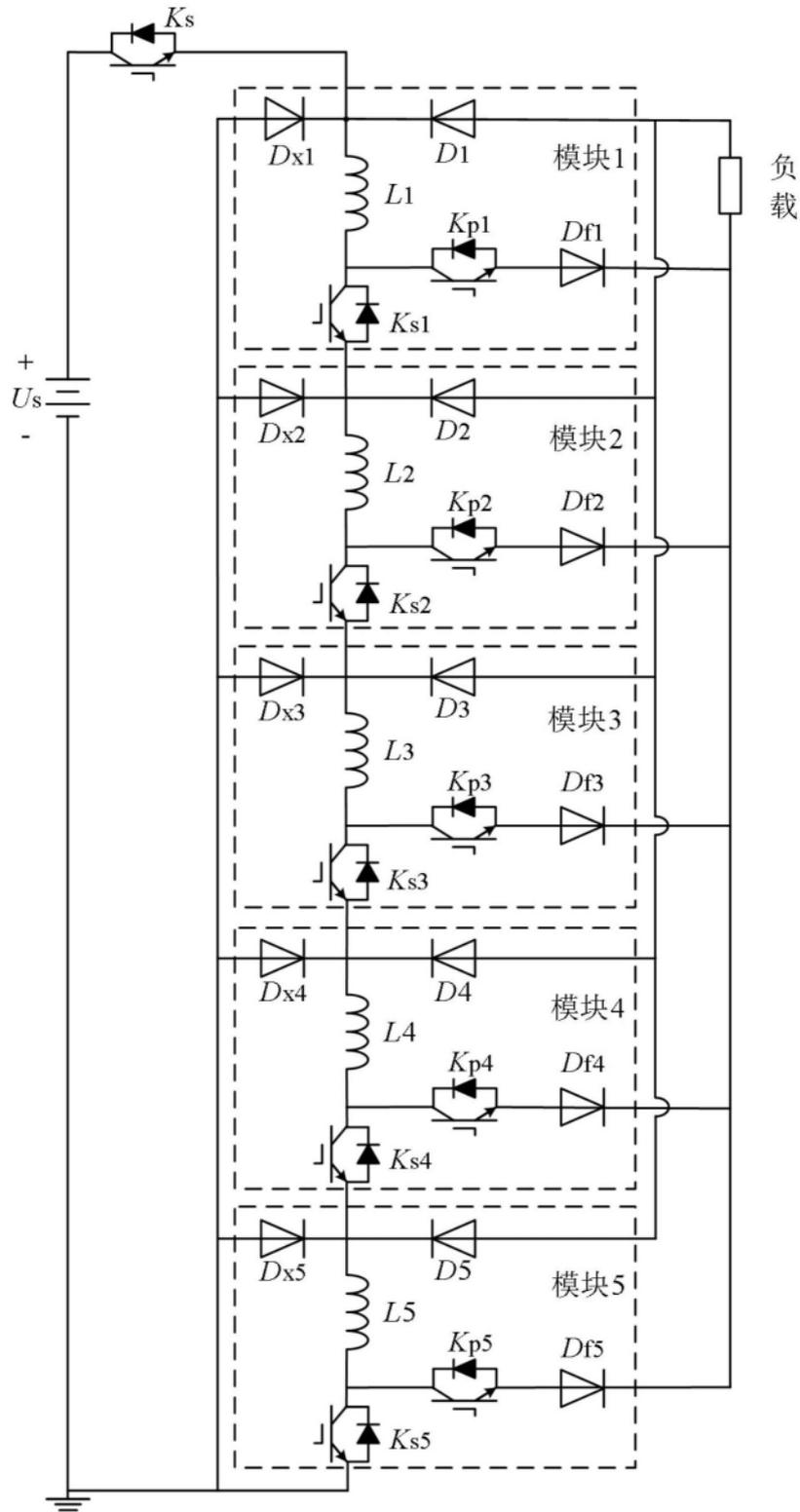


图1

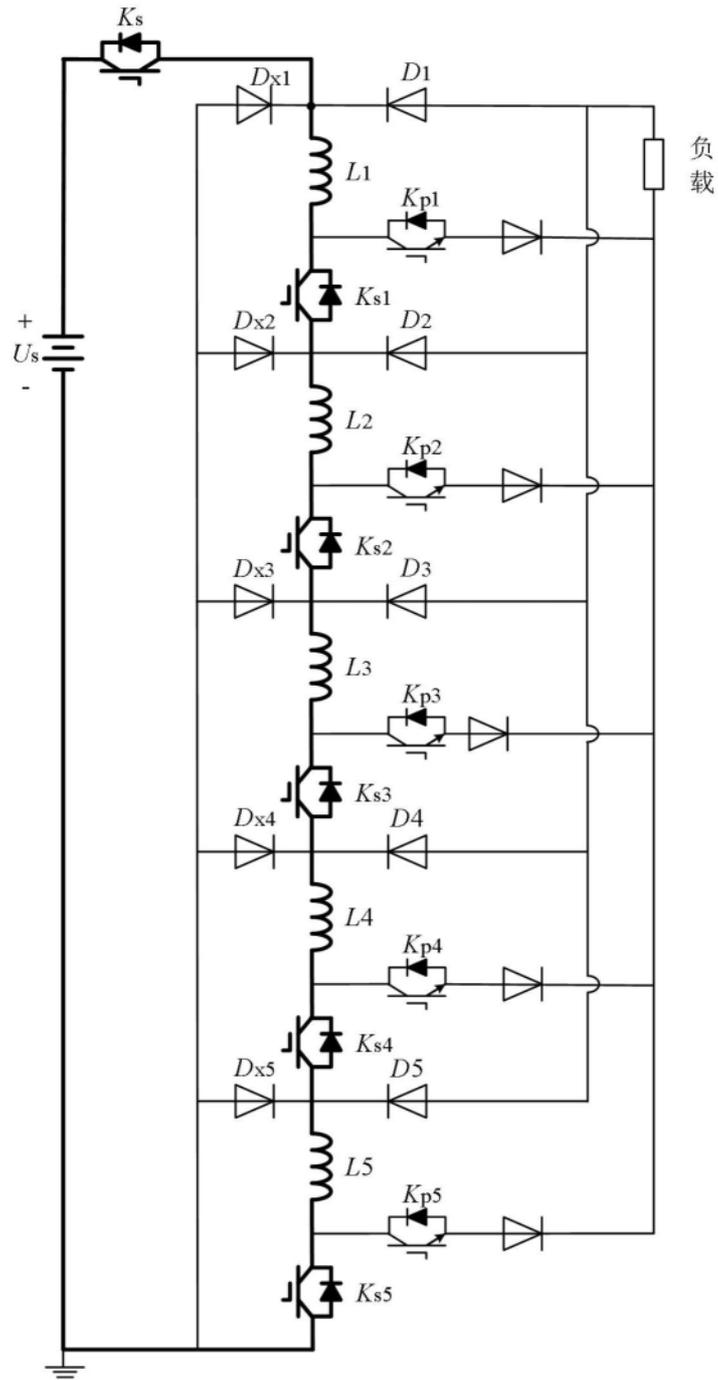


图2

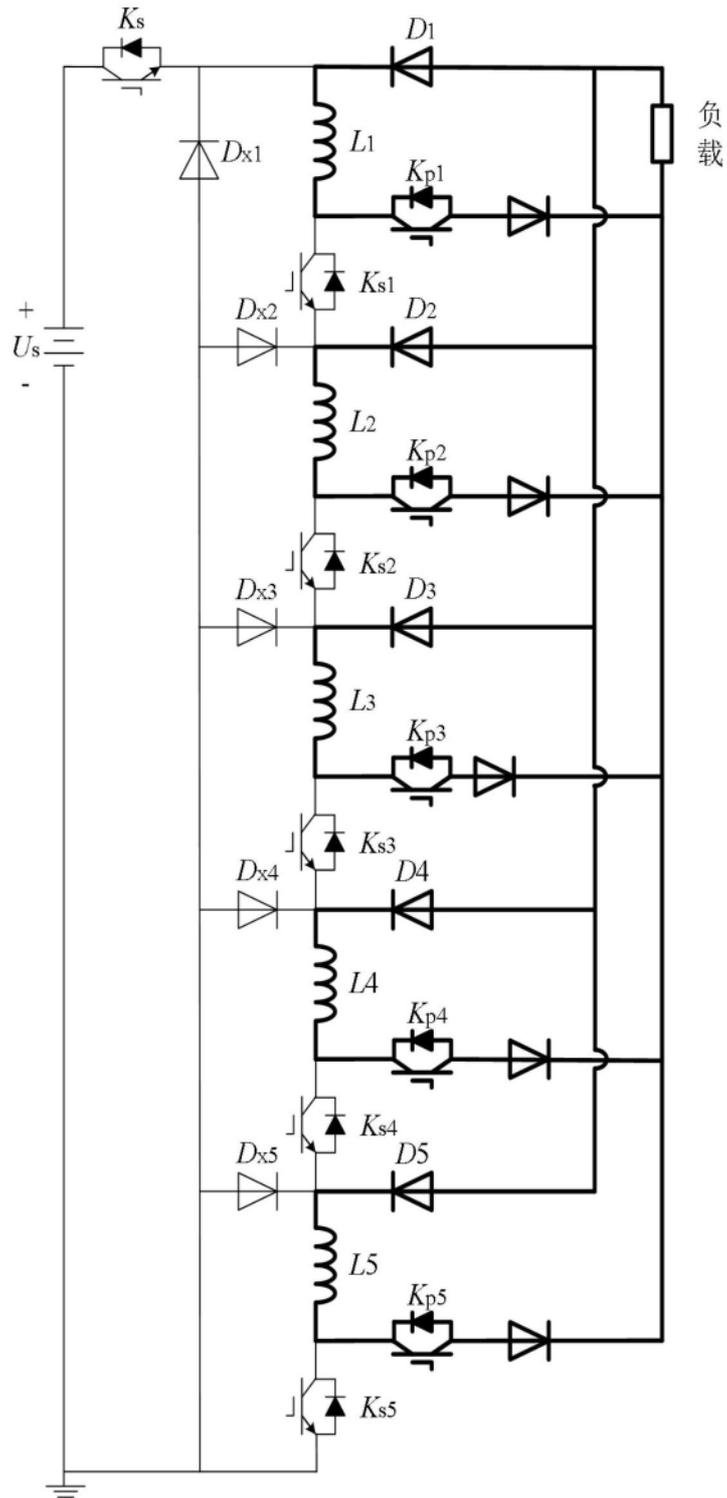


图3

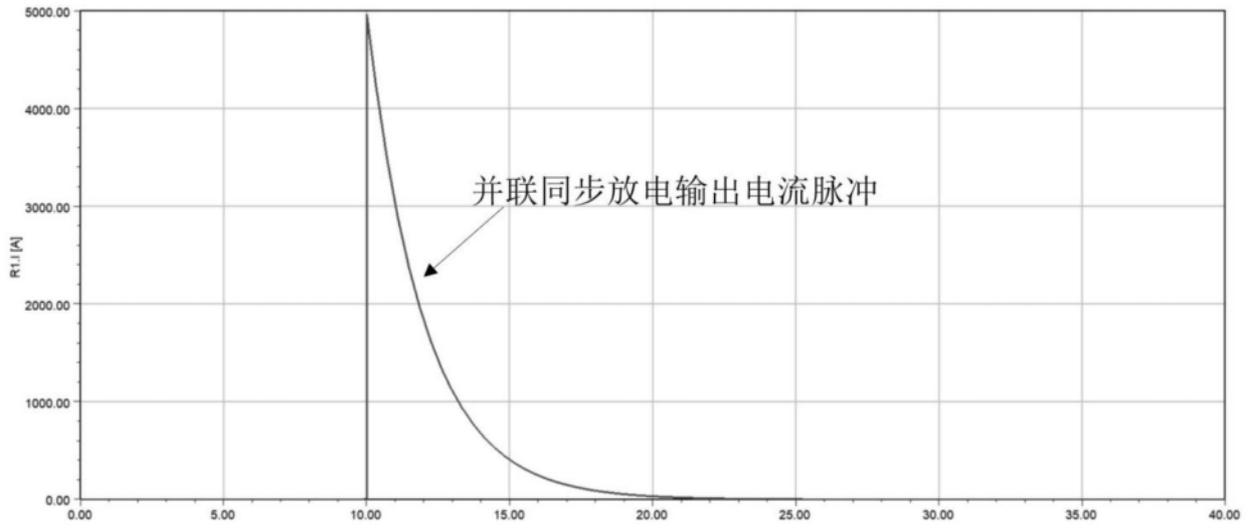


图4

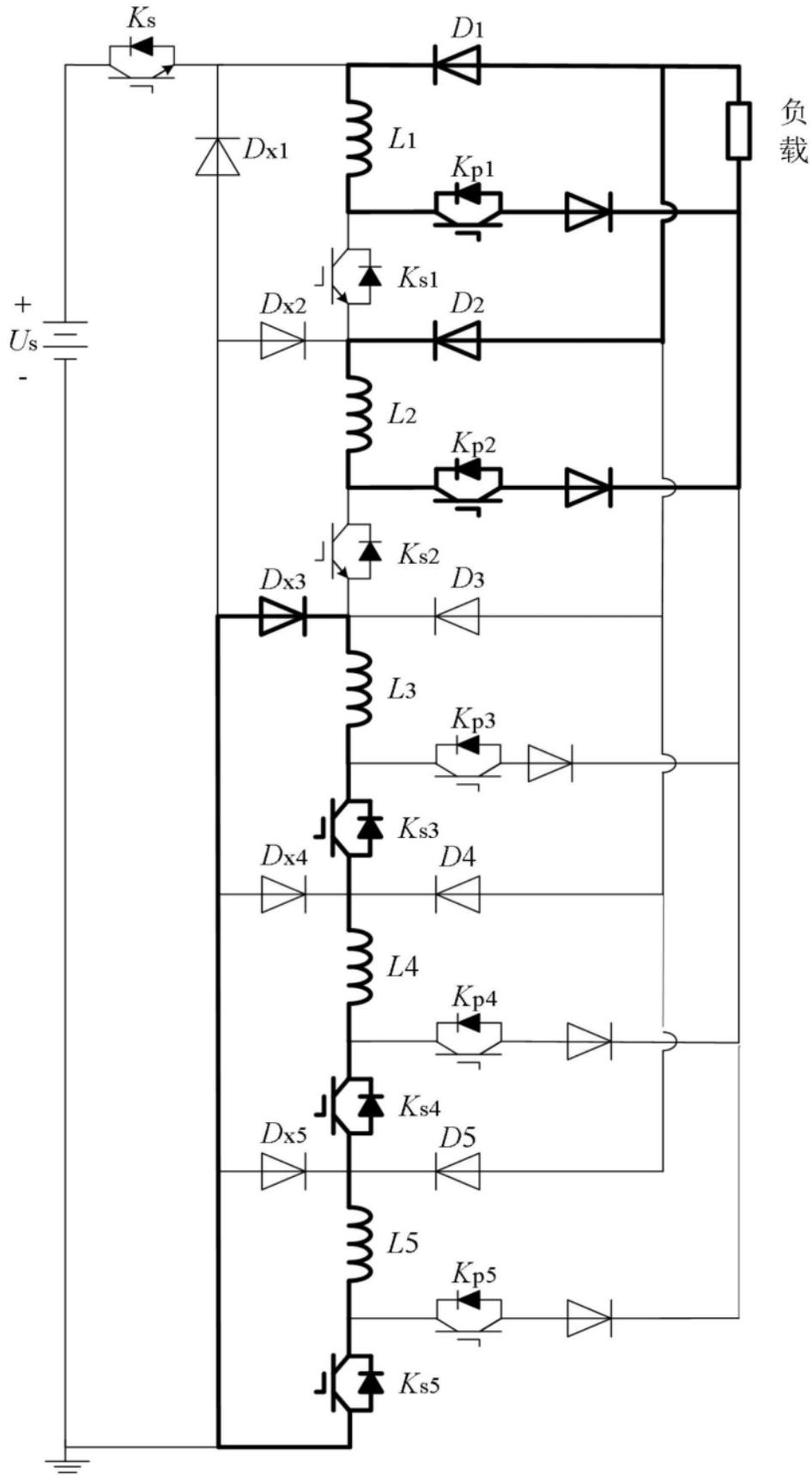


图5

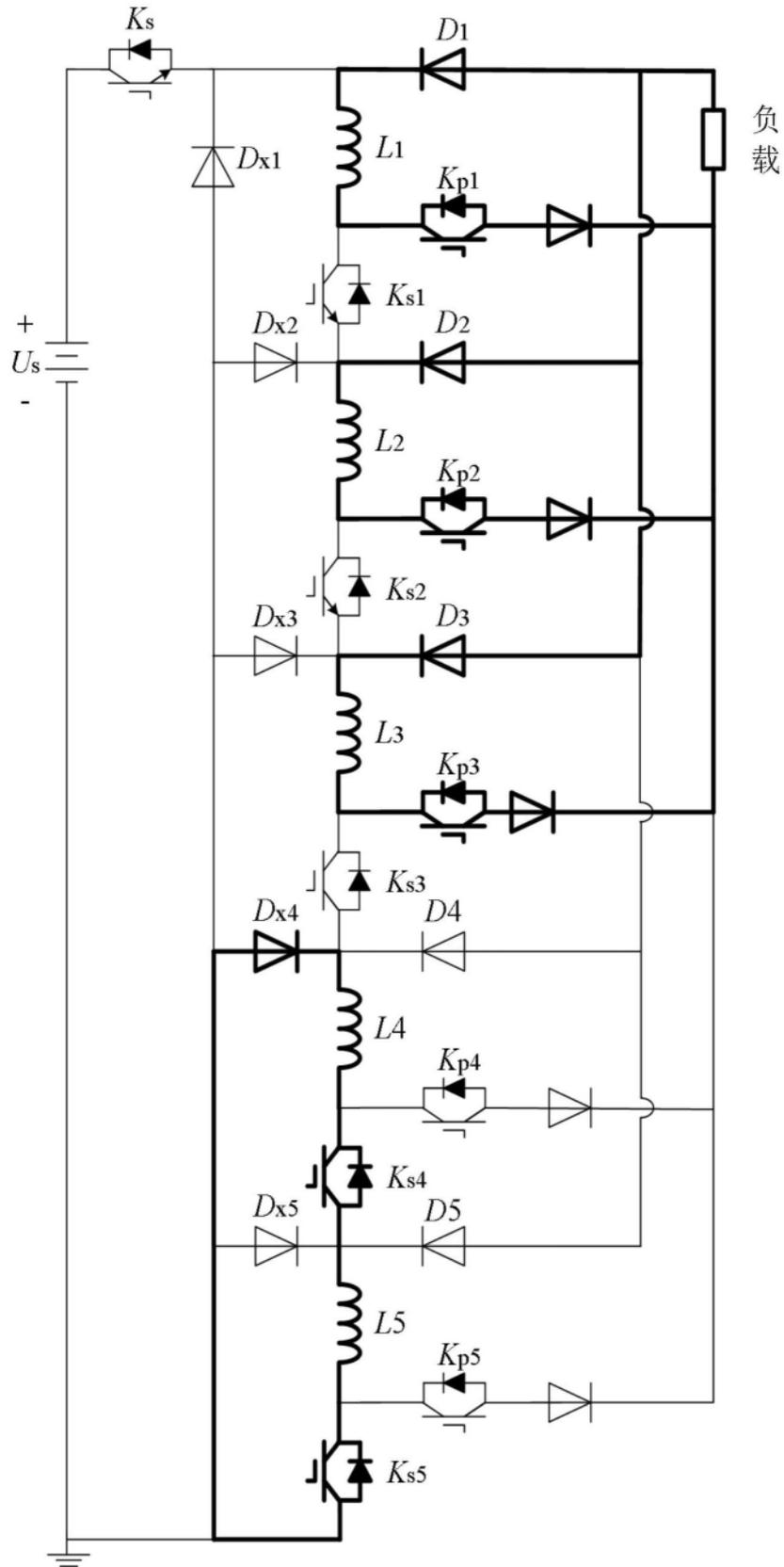


图6

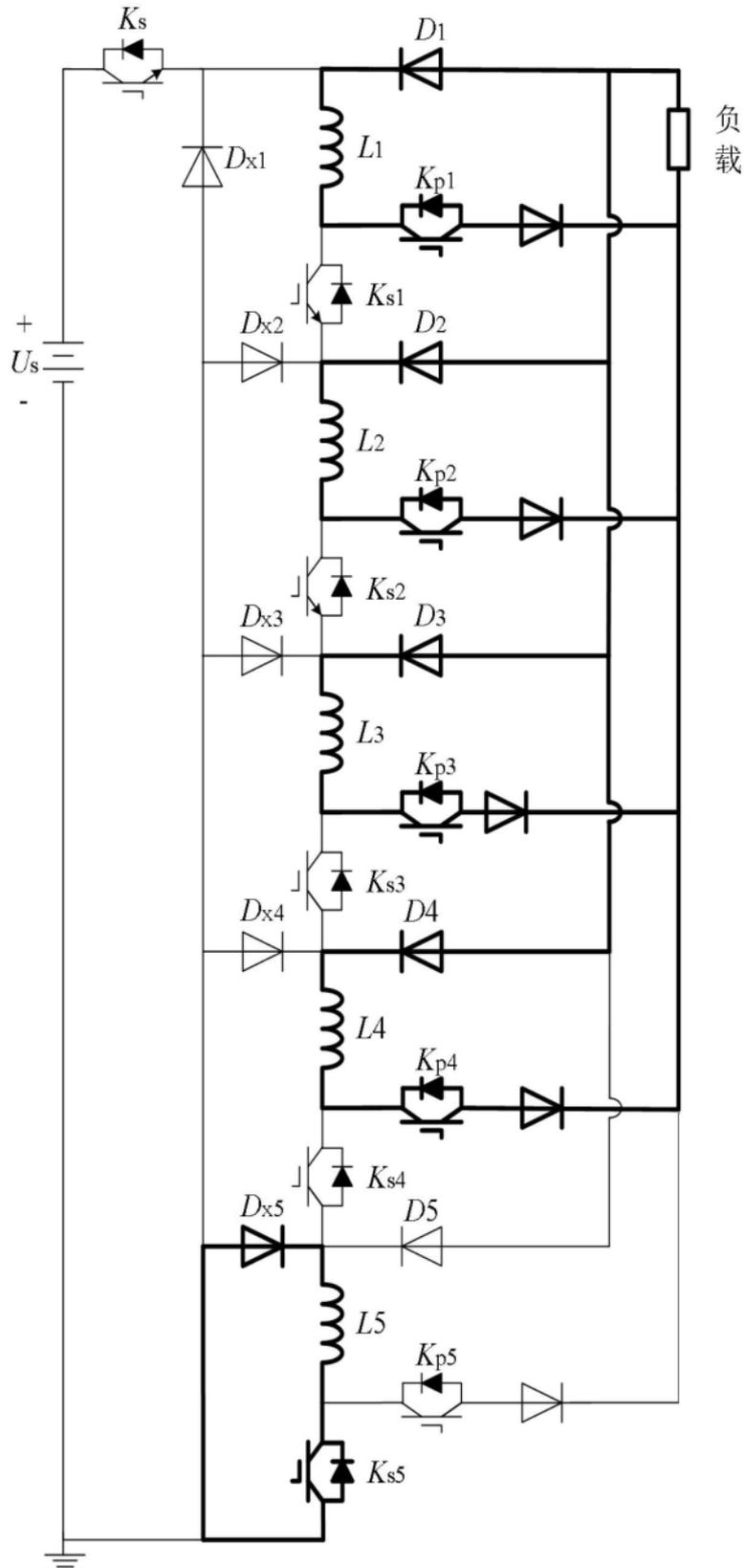


图7

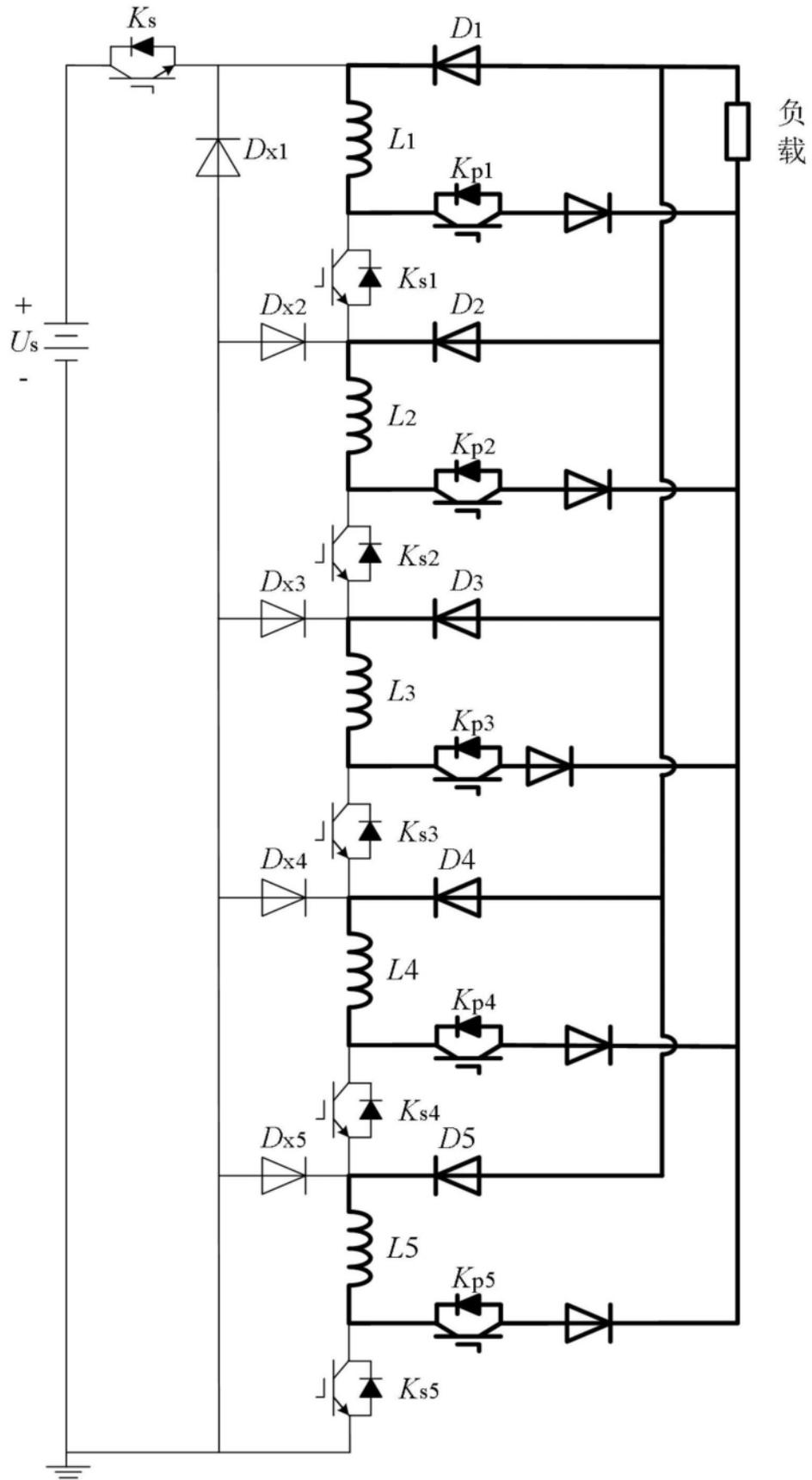


图8

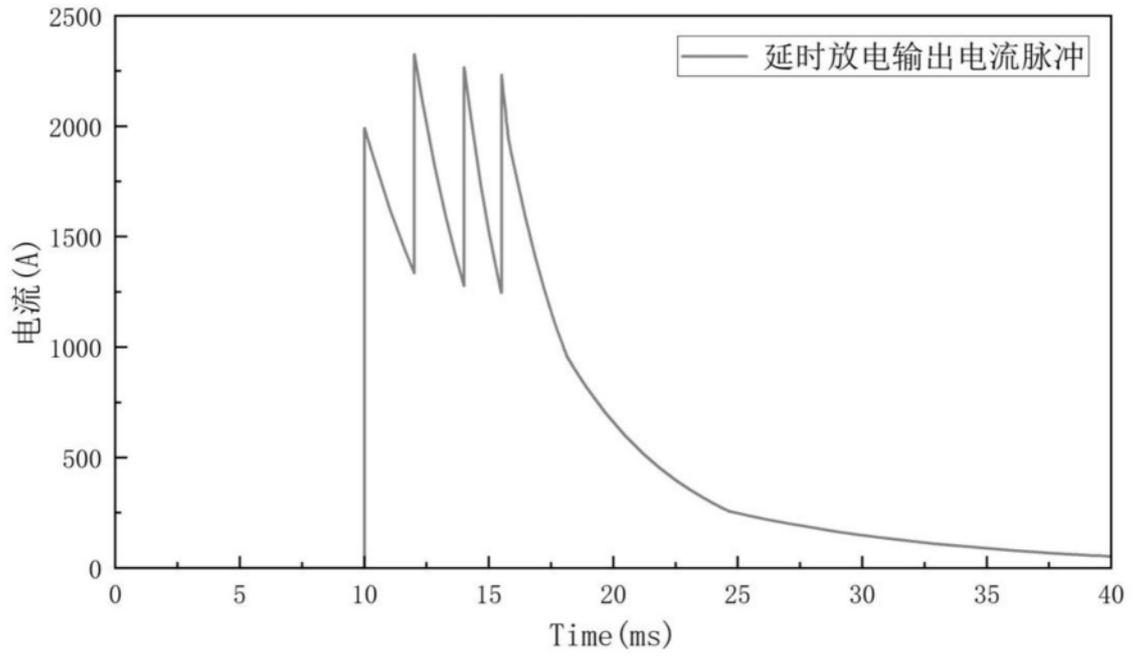


图9