



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 110401373 B

(45) 授权公告日 2024. 03. 08

(21) 申请号 201910599708.6

(22) 申请日 2019.07.04

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 110401373 A

(43) 申请公布日 2019.11.01

(73) 专利权人 中国科学院上海高等研究院
地址 201210 上海市浦东新区张江高科技
园区海科路99号

(72) 发明人 刘永芳 谷鸣 袁启兵

(74) 专利代理机构 上海智信专利代理有限公司
31002

专利代理师 邓琪

(51) Int. Cl.

H02M 9/04 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 1346234 A, 2002.04.24

CN 202334366 U, 2012.07.11

CN 210167981 U, 2020.03.20

CN 2667386 Y, 2004.12.29

TW 449756 B, 2001.08.11

US 2018286636 A1, 2018.10.04

US 4577118 A, 1986.03.18

K.Fan.等.ferrite property effects on a fast kicker magnet.proceeding of the 10th annual meeting of particle accelerator society of japan.2013,845-847.

池云龙等.CSNS引出冲击磁铁脉冲电源设计界.中国物理C.2008,25-27.

审查员 李桂英

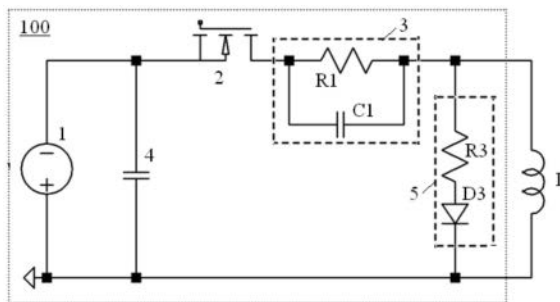
权利要求书1页 说明书5页 附图2页

(54) 发明名称

一种冲击磁铁的脉冲电源

(57) 摘要

本发明提供一种冲击磁铁的脉冲电源,包括与所述冲击磁铁的两端相连且依次串联的稳压电源、开关控制模块和并联波形成形模块,所述开关控制模块包括与稳压电源的一端相连的至少一个MOS开关管,并联波形成形模块包括至少一组彼此并联的主电阻与主电容。本发明的冲击磁铁的脉冲电源基于LRC二阶混联电路,避免了先充电再放电的脉冲电源工作模式,并采用MOS开关管作为电流开关,MOS开关管导通电路形成阶跃响应的同时产生脉冲电流的前沿及平顶,MOSFET开关关断形成脉冲电流后沿,使得该冲击磁铁电源的重复频率可以达到百千赫兹甚至上兆赫兹。



1. 一种冲击磁铁的脉冲电源,其特征在于,包括与所述冲击磁铁(L)的两端相连且依次串联的稳压电源(1)、开关控制模块(2)和并联波形成形模块(3),所述开关控制模块(2)包括与稳压电源(1)的一端相连的至少一个MOS开关管(Q1、Q2、Q3、Q4),所述并联波形成形模块(3)包括至少一组彼此并联的主电阻(R1)与主电容(C1)。

2. 根据权利要求1所述的冲击磁铁的脉冲电源,其特征在于,所述MOS开关管(Q1、Q2、Q3、Q4)的源极和栅极分别通过一触发板(U1、U2、U3、U4)相连。

3. 根据权利要求2所述的冲击磁铁的脉冲电源,其特征在于,每个MOS开关管(Q1、Q2、Q3、Q4)的栅极上分别设有一电流互感器(M1、M2、M3、M4)。

4. 根据权利要求1所述的冲击磁铁的脉冲电源,其特征在于,所述稳压电源(1)为负极性直流稳压电源(CVPS),且所述MOS开关管(Q1、Q2、Q3、Q4)为NMOS管。

5. 根据权利要求1所述的冲击磁铁的脉冲电源,其特征在于,所述MOS开关管(Q1、Q2、Q3、Q4)的数量为多个,所述彼此并联的主电阻(R1)与主电容(C1)的数量等于MOS开关管(Q1、Q2、Q3、Q4)的数量,且每一组彼此并联的主电阻(R1)与主电容(C1)分别与开关控制模块(2)的其中一个MOS开关管(Q1、Q2、Q3、Q4)的漏极相连。

6. 根据权利要求1所述的冲击磁铁的脉冲电源,其特征在于,所述主电阻上(R1)分别并联一个可调电阻(R11),且所述主电容(C1)上分别并联一个可调电容(C11)。

7. 根据权利要求1所述的冲击磁铁的脉冲电源,其特征在于,所述稳压电源(1)与一储能滤波模块(4)并联,储能滤波模块(4)包括彼此并联的一个储能电容(C21)和若干个滤波电容(C22)。

8. 根据权利要求7所述的冲击磁铁的脉冲电源,其特征在于,所述储能滤波模块(4)还与一高压探头(P1)并联。

9. 根据权利要求1所述的冲击磁铁的脉冲电源,其特征在于,还包括与所述冲击磁铁(L)的两端通过高压电缆相连的能量泄放模块(5),所述能量泄放模块(5)包括彼此串联的泄放电阻(R3)和泄放二极管(D3)。

10. 根据权利要求1所述的冲击磁铁的脉冲电源,其特征在于,还包括一共模滤波盒(6),其包括一接地的外壳和与该外壳相连的多个彼此并联的共模滤波器(L2)。

一种冲击磁铁的脉冲电源

技术领域

[0001] 本发明属于粒子加速器脉冲功率技术领域,具体涉及一种冲击磁铁的脉冲电源。

背景技术

[0002] X射线自由电子激光装置(XFEL)由于其具有更高的亮度,更好的相干性等优点,使其成为下一代同步辐射光源的技术方案。自由电子激光主要由直线加速器和波荡器组成。直线加速器生成品质优良的电子束流,电子束流经过波荡器时产生周期性的运动从而生成满足需求的相干光。为了满足不同实验用户的用光需求,一般自由电子激光有若干条波荡器线。电子束流分配到不同的波荡器线是通过束流分配系统实现的,束流分配系统的作用就是将直线加速器的电子束流按时间结构分配输送到多条波荡器线。束流分配系统有效提高了直线加速器束流的利用效率,扩展了实验用户可以使用的光束线站数量,提高了大科学装置的运行效率。

[0003] 现有的束流分配系统往往采用冲击磁铁和切割磁铁的组合方式。其中,切割磁铁提供比冲击磁铁强得多的磁场,可以实现电子束流的大角度偏转,但是切割磁铁磁场的建立时间比较慢,或者是直流磁场。冲击磁铁能提供快上升和下降时间的矩形或半正弦磁场脉冲,但是脉冲磁场都比较弱,因此只能提供小角度的束流偏转。

[0004] 传统的冲击磁铁的脉冲电源常用方案包括:闸流管开关、传输线放电型[池云龙,王玮等,CSNS引出冲击磁铁脉冲电源设计,中国物理C 2008 32]、LC谐振放电型[范学荣,陈志豪等,SSRF储存环注入脉冲电源的设计,核技术,2006 29]以及固态感应叠加型[刘超,尚雷等,感应叠加型固态冲击磁铁脉冲发生器设计与实验,中国物理C,2008 32]。现有的冲击磁铁的脉冲电源在电路形式上都是采用先充电储能然后触发放电电路导通形成脉冲波形的形式,这种电路形式一般采用直流电流源给储能部件充电,因此,脉冲电源在工作的每个周期都包含了充电时间与放电时间,这种设计方案使得脉冲电源的重复频率很难高于数千赫兹。

发明内容

[0005] 本发明专利提出了一种冲击磁铁的脉冲电源,以提高冲击磁铁的脉冲电源的重复频率。

[0006] 为了实现上述目的,本发明提供一种冲击磁铁的脉冲电源,包括与所述冲击磁铁的两端相连且依次串联的稳压电源、开关控制模块和并联波形成形模块,所述开关控制模块包括与稳压电源的一端相连的至少一个MOS开关管,并联波形成形模块包括至少一组彼此并联的主电阻与主电容。

[0007] 所述MOS开关管的源极和栅极分别通过一触发板相连。

[0008] 每个MOS开关管的栅极上分别设有一电流互感器。

[0009] 所述稳压电源为负极性直流稳压电源,且所述MOS开关管为NMOS管。

[0010] 所述MOS开关管的数量为多个,所述彼此并联的主电阻与主电容的数量等于MOS开

关管的数量,且每一组彼此并联的主电阻与主电容分别与开关控制模块的其中一个MOS开关管的漏极相连。

[0011] 所述主电阻上分别并联一个可调电阻,且所述主电容上分别并联一个可调电容。

[0012] 所述稳压电源与一储能滤波模块并联,储能滤波模块包括彼此并联的一个储能电容和若干个滤波电容。

[0013] 所述储能滤波模块还与一高压探头并联。

[0014] 所述冲击磁铁的脉冲电源还包括与所述冲击磁铁的两端通过高压电缆相连的能量泄放模块,所述能量泄放模块包括彼此串联的泄放电阻和泄放二极管。

[0015] 所述冲击磁铁的脉冲电源还包括一共模滤波盒,其包括一接地的外壳和与该外壳相连的多个彼此并联的共模滤波器。

[0016] 本发明的冲击磁铁的脉冲电源基于LRC二阶混联电路,避免了先充电再放电的脉冲电源工作模式,并采用MOS开关管作为电流开关,MOS开关管导通电路形成阶跃响应的同时产生脉冲电流的前沿及平顶,MOSFET开关关断形成脉冲电流后沿,使得该脉冲磁铁电源的重复频率可以达到百千赫兹甚至上兆赫兹。此外,本发明的冲击磁铁的脉冲电源所采用的MOS开关管的数量可以设置为多个,使得与之相连的并联波形成形模块交替导通,进而使得在负载磁铁电感上得到的脉冲电流波形为单个MOSFET开关频率的多倍。

附图说明

[0017] 图1为根据本发明的冲击磁铁的脉冲电源的原理图。

[0018] 图2为通过采用本发明的脉冲电源进行供电的冲击磁铁的励磁脉冲电流的仿真波形示意图。

[0019] 图3为根据本发明的一个实施例的冲击磁铁的脉冲电源的具体电路图。

具体实施方式

[0020] 以下结合具体实施例,对本发明做进一步说明。应理解,以下实施例仅用于说明本发明而非用于限制本发明的范围。

[0021] 如图1所示为根据本发明的一个实施例的冲击磁铁的脉冲电源100的原理图。其中,冲击磁铁L用于X射线自由电子激光装置束流分配系统,其为脉冲电源的负载,可以等效为一电感。冲击磁铁的脉冲电源100包括与所述冲击磁铁L的两端通过高压电缆相连且依次串联的稳压电源1、开关控制模块2和并联波形成形模块3,该稳压电源1与一储能滤波模块4并联。此外,冲击磁铁的脉冲电源100还包括与所述冲击磁铁L的两端通过高压电缆相连的能量泄放模块5,其一方面使得开关控制模块2在关断后靠泄放电阻R3泄放冲击磁铁(即负载电感)中的能量,泄放时间常数为 $L/R3$,另一方面也为开关控制模块2提供了过压保护。

[0022] 开关控制模块2用于控制电路的导通与关断,其包括与稳压电源1的一端相连的至少一个MOS开关管,并联波形成形模块3包括至少一组彼此并联的主电阻R1与主电容C1,由此,主电阻R1与主电容C1并联然后与冲击磁铁L串联组成一混联二阶电路,并用开关控制模块2控制电路的导通与关断在负载冲击磁铁上形成脉冲励磁电流。该混联二阶电路不同于常见的LRC串联电路,其电路响应也与LRC串联谐振不同,MOS开关管导通电路形成阶跃响应的同时产生脉冲电流的前沿及平顶,MOS开关管关断形成脉冲电流后沿,避免了先充电再放

电的脉冲电源工作模式,使得该脉冲磁铁电源的工作频率可以达到百千赫兹甚至上兆赫兹。

[0023] 该混联二阶电路的微分方程如下式所示:

$$[0024] \quad \frac{d^2 i_L}{dt^2} + \frac{1}{RC} \frac{di_L}{dt} + \frac{1}{LC} i_L = \frac{V}{LRC} \quad (1)$$

[0025] 其中, i_L 表示通过冲击磁铁L的电流, t 表示时间, L 表示冲击磁铁L的电感值, R 表示第一电阻R1的阻值, C 表示第一电容C1的容值, V 表示稳压电源V两端的电压。

[0026] 如图2所示,在本发明的开关控制模块2导通的瞬间,上述混联二阶电路形成二阶阶跃响应,以开关导通时刻为时间原点,通过理论计算可得:

[0027] 通过冲击磁铁L的电流 i_L 为:

$$[0028] \quad i_L = \frac{V}{R} \left[1 - \frac{1}{\sqrt{1-\zeta^2}} e^{-\zeta\omega_n t} \sin(\omega_d t + \beta) + \frac{R^* \sqrt{\frac{C}{L}}}{\sqrt{1-\zeta^2}} \sin(\omega_d t) e^{-\zeta\omega_n t} \right] \quad (2)$$

[0029] 通过冲击磁铁L的电流 i_L 取得峰值的时刻为:

$$[0030] \quad t = \frac{\pi - \beta}{\omega_d} = \frac{2(\pi - \beta)}{\sqrt{\frac{4}{LC} - \frac{1}{R^2 C^2}}} \quad (3)$$

[0031] 通过冲击磁铁L的电流 i_L 的最大值为:

$$[0032] \quad i_L = V \sqrt{\frac{C}{L}} * e^{-\frac{\zeta(\pi - \beta)}{\sqrt{1 - \zeta^2}}} + \frac{V}{R} \quad (4)$$

[0033] 上述公式(2) - (4)中, $\zeta = \frac{1}{2R} \sqrt{\frac{L}{C}}$, $\omega_n = \sqrt{\frac{1}{LC}}$, $\omega_d = \omega_n \sqrt{1 - \zeta^2}$,

$\cos\beta = \zeta = \frac{1}{2R} \sqrt{\frac{L}{C}}$, i_L 表示通过冲击磁铁L的电流, t 表示时间, L 表示冲击磁铁L的电感值,

R 表示主电阻R1的阻值, C 表示主电容C1的容值, V 表示稳压电源V两端的电压。

[0034] 因此,为了得到更快的脉冲前沿和峰值电流,该混联二阶电路应工作于欠阻尼状态($R > 0.5\sqrt{L/C}$)。

[0035] 如图3所示,为本发明的一个实施例的冲击磁铁的脉冲电源的具体电路图,其示出了上文所述的脉冲电源的稳压电源1,储能滤波模块4,开关控制模块2,并联波形成形模块3,能量泄放模块5的具体结构,并示出了冲击磁铁L和共模滤波盒6。

[0036] 其中,所述稳压电源1用于为电路提供前端母线电压,该稳压电源1可以采用市场上可购买的负极性直流稳压电源CVPS,其包括输出端HV+和接地端GND,输出端HV+的电压低于接地端GND。稳压电源1的电源输出端设有由两个保护二极管D1、D2与一个保护电阻R4组成的电源保护电路11。

[0037] 所述储能滤波模块4通过连接所述保护电阻R4与所述稳压电源1并联,用于对稳压电源1输出的电压进行滤波,以改善稳压电源1的性能,其包括彼此并联的一个储能电容C21和若干个滤波电容C22。其中,储能电容C21的容值一般取值较大(为1-5mF),在本实施例中

为5mF,其相当于给后面开关电路提供了一个“能量池”,这一方面提高了稳压源CVPS的电能输出能力,另一方面有利于改善稳压源的纹波特性;滤波电容C22的容值为0.1uF,用于提高整机脉冲电源的高频特性。此外,该储能滤波模块4还与一高压探头P1并联,用于监测储能滤波模块4两端的电压。

[0038] 开关控制模块2用于控制电路的导通与关断,其包括与稳压电源1的一端相连的至少一个MOS开关管Q1、Q2、Q3、Q4,该MOS开关管Q1、Q2、Q3、Q4优选为NMOS管。MOS开关管Q1、Q2、Q3、Q4的数量为多个,优选为4个,每个MOS开关管Q1、Q2、Q3、Q4均选择同样的型号,多个MOS开关管Q1、Q2、Q3、Q4交替导通,第一MOS开关管Q1导通时其余三路MOS开关管Q2、Q3、Q4关断,以此类推。第一个周期时,脉冲电源经过第一MOS开关管Q1的支路导通在冲击磁铁L1上形成脉冲电流,第二个周期时,脉冲电源经过Q2支路导通在负载磁铁电感L1上形成脉冲电流,如此循环导通Q1、Q2、Q3、Q4支路。这样在负载磁铁电感上得到的脉冲电流波形为单个MOSFET开关频率的四倍。以此来降低单个MOS开关管的工作频率。每个MOS开关管Q1、Q2、Q3、Q4的源极和栅极分别通过一触发板U1、U2、U3、U4相连,触发板U1、U2、U3、U4用于给MOS开关管Q1、Q2、Q3、Q4提供一个满足相对应的MOSFET型号需求的触发导通脉冲信号。其中,每个触发板U1、U2、U3、U4均具有输入端G、第一输出端GG和第二输出端GS,触发板U1、U2、U3、U4经由其输入端G接收由外部定时输入的触发信号,通过其第一输出端GG与MOS开关管Q1、Q2、Q3、Q4的栅极连接,并通过其第二输出端GS与MOS开关管Q1、Q2、Q3、Q4的源极相连。由于不同的MOS开关管Q1、Q2、Q3、Q4对触发信号的电平幅度、驱动能力、前后沿速度都有要求,因此触发板一般是与MOS开关管Q1、Q2、Q3、Q4配套使用的。此外,每个MOS开关管Q1、Q2、Q3、Q4的栅极上分别设有一电流互感器M1、M2、M3、M4,用于监测四路MOSFET的触发信号。

[0039] 所述并联波形形成模块3包括至少一组彼此并联的主电阻R1与主电容C1。主电阻R1的阻值在10-25欧姆之间,主电容C1的容值在1-10nF之间。具体根据峰值电流的需要结合上文的公式(3)取值。在本实施例中,所述彼此并联的主电阻R1与主电容C1的数量等于MOS开关管Q1、Q2、Q3、Q4的数量,且每一组彼此并联的主电阻R1与主电容C1分别与开关控制模块2的其中一个MOS开关管Q1、Q2、Q3、Q4的漏极相连。结合上文所述,MOS开关管Q1导通时MOS开关管Q2Q3Q4关断,第一个周期时,脉冲电源经过MOS开关管Q1的支路导通,在冲击磁铁L上形成脉冲电流,此时其余三路MOS开关管Q2、Q3、Q4的支路中的主电容C1在上个周期储存的电荷通过并联的电阻泄放。第二个周期时,脉冲电源经过MOS开关管Q2的支路导通,在冲击磁铁L上形成脉冲电流,此时其余三路MOS开关管Q1、Q3、Q4的支路中的主电容C1在上个周期储存的电荷通过并联的电阻R1R5R7泄放。以此类推,如此循环导通Q1、Q2、Q3、Q4支路。这样在负载磁铁电感上得到的脉冲电流波形为单个MOS开关管的频率的多倍。此外,每个主电阻上R1分别并联一个可调电阻R11,且每个主电容C1上分别并联一个可调电容C11,以用于波形的微调,可调电阻R11的阻值为1k Ω ,可调电容C11的容值为1nF。

[0040] 所述能量泄放模块5包括彼此串联的泄放电阻R3和泄放二极管D3。在开关控制模块2关断的瞬间,冲击磁铁L中有电流通过从而存储了磁场形式的能量,而由于能量泄放模块5由泄放电阻R3和泄放二极管D3组成,只能通过单向电流,因此开关关断后冲击磁铁L中的能量通过能量泄放模块5泄放。此外,该能量泄放模块5上还设有一电流互感器M5,用于监测泄放电流的大小。

[0041] 此外,本发明的冲击磁铁的脉冲电源还包括一共模滤波盒6,该共模滤波盒6共模

滤波盒用于隔离脉冲电源的内外交互信号,避免脉冲电源内部的高频电磁干扰泄露出来对周围的电子设备产生影响甚至损坏。该共模滤波盒6包括一个外壳和与该外壳相连的多个彼此并联的共模滤波器L2。其中,共模滤波盒6的共模滤波器L2一端与高压探头P1、触发板U1、U2、U3、U4的输入端G、MOS开关管Q1、Q2、Q3、Q4的栅极上的电流互感器M1、M2、M3、M4、能量泄放模块5上的电流互感器M5相连,因此,内外交互信号包括高压探头P1的输出信号,四路MOS开关管Q1、Q2、Q3、Q4的触发信号及触发信号的监测信号,能量泄放模块5的电流检测信号,且这些内外交互信号均通过该共模滤波盒6被引出以脉冲电源内部关键信号的监测需求,并利用共模滤波盒6内的滤波器L2完成高频干扰隔离。共模滤波盒6的外壳接地,以进一步消除电磁干扰。

[0042] 由此所得到的该脉冲电源的特点如下:其电流波形为类正弦波脉冲电流,其工作频率为0-100kHz,其电流波形底宽在1.5us以内,且运行方式为连续运行。

[0043] 以上所述的,仅为本发明的较佳实施例,并非用以限定本发明的范围,本发明的上述实施例还可以做出各种变化。例如,脉冲电源不仅适用于X射线自由电子激光装置束流分配系统的冲击磁铁上,同样适用于环形粒子加速器的注入引出系统的冲击磁铁上。即凡是依据本发明申请的权利要求书及说明书内容所作的简单、等效变化与修饰,皆落入本发明专利的权利要求保护范围。本发明未详尽描述的均为常规技术内容。

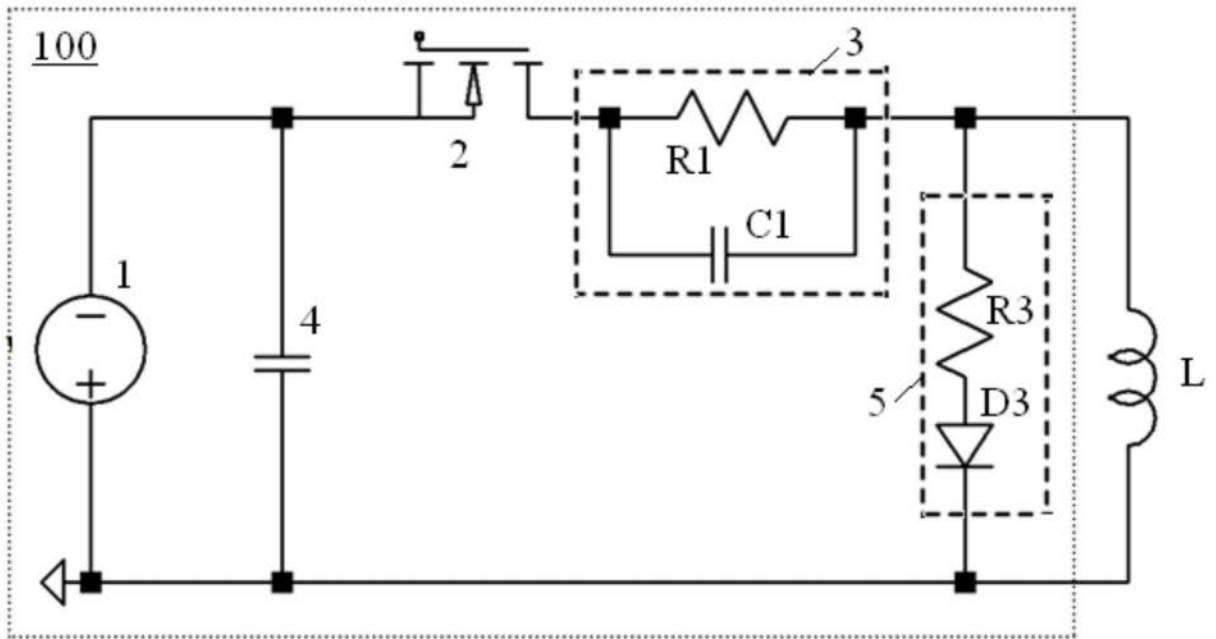


图1

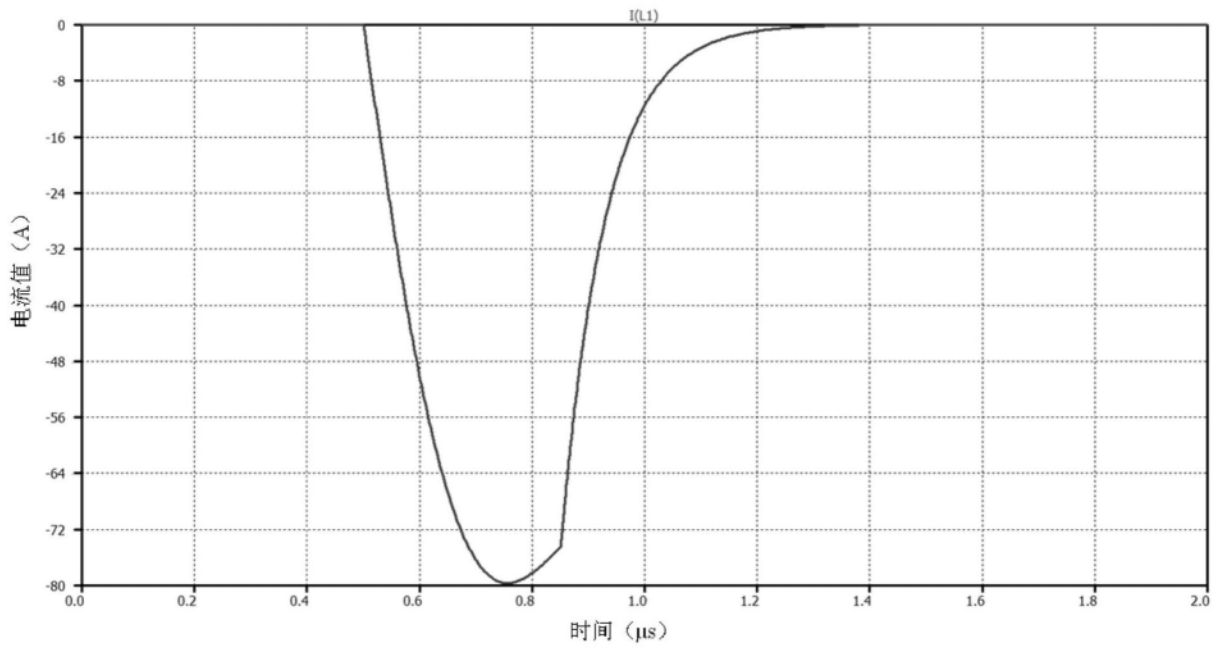


图2

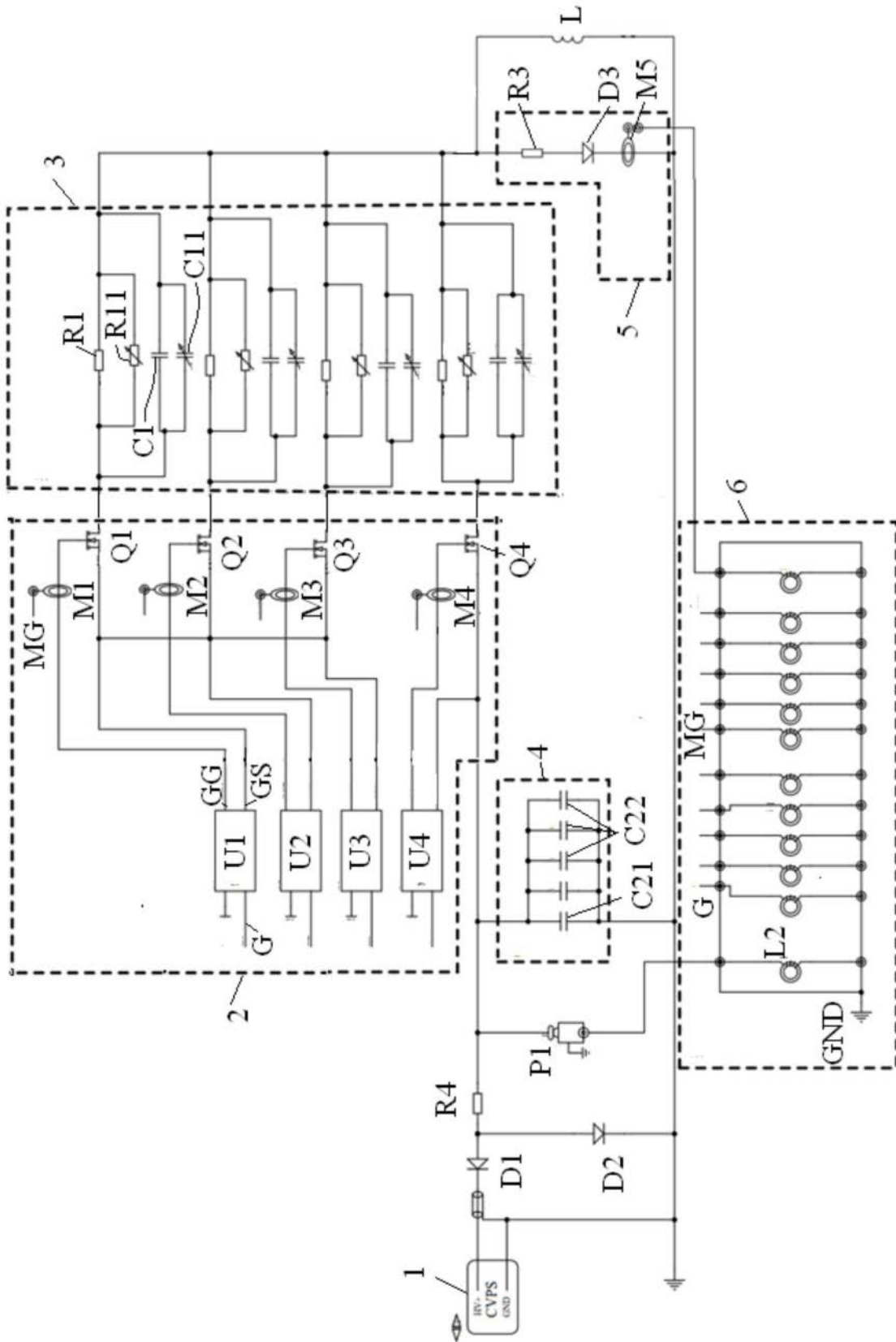


图3