



(12) 实用新型专利

(10) 授权公告号 CN 201656939 U

(45) 授权公告日 2010. 11. 24

(21) 申请号 201020003889. 6

(22) 申请日 2010. 01. 15

(73) 专利权人 合肥容恩电子科技有限公司

地址 230088 安徽省合肥市高新区科学大道
114 号

(72) 发明人 周军 李运海

(74) 专利代理机构 合肥天明专利事务所 34115

代理人 奚华保

(51) Int. Cl.

H03K 17/60 (2006. 01)

(ESM) 同样的发明创造已同日申请发明专利

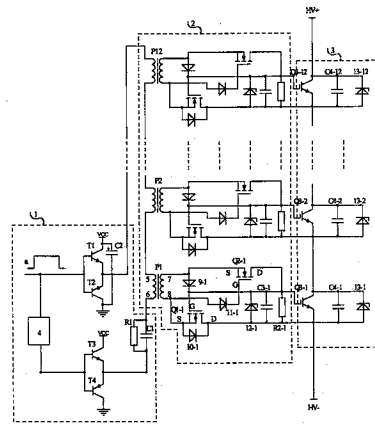
权利要求书 1 页 说明书 5 页 附图 3 页

(54) 实用新型名称

晶体管串联高速高压固态开关

(57) 摘要

本实用新型涉及一种高速高压固态开关, 采用多只晶体管串联和并联当主开关, 包括静态和动态均压网络、互感器式脉冲变压器、晶体管栅极驱动电路、控制电路和主开关管。控制电路对 TTL 电平脉宽信号进行处理, 产生开启和关断脉冲, 送到互感器式脉冲变压器的初级, 在脉冲变压器的次级产生相对应的开启和关断脉冲。在开启脉冲时刻让晶体管栅极电压充到 10V 以上, 在关断脉冲时刻, 让晶体管栅极电压放到 1V 以下。通过控制 TTL 电平脉宽信号就可以达到控制高压固态开关开启时间的目的, 使高压固态开关可以工作在脉冲状态, 也可以工作在连续开启状态。



1. 一种晶体管串联高速高压固态开关,包括控制电路(1)、驱动电路(2)和开关均压电路(3),其特征在于所述驱动电路(2),在脉冲变压器P次级一端(7)接场效应管Q2源极S、通过二极管(9)接场效应管Q1栅极G、Q2漏极D及主开关管Q3的栅极;在脉冲变压器P次级另一端(8)接场效应管Q1源极S,通过二极管(11)接场效应管Q2栅极G;场效应管Q1漏极D接主开关管Q3的源极。

2. 根据权利要求1所述晶体管串联高速高压固态开关,其特征为所述控制电路(1),在脉冲变压器P初级一端(5)接正向脉宽控制电路T1、T2,在脉冲变压器P另一端(6)通过阻容元件R1、C1接反向脉宽控制电路T3、T4。

3. 根据权利要求1所述晶体管串联高速高压固态开关,其特征为开关均压电路(3)中采用静态均压元件(13),静态均压元件(13)的阳极接主开关管Q3的源极、阴极接主开关管Q3的漏极。

晶体管串联高速高压固态开关

技术领域

[0001] 本实用新型涉及现代功率电力电子技术,具体涉及一种高压固态开关,主要是利用新型可控电力电子功率器件(功率绝缘栅场效应管 MOSFET 和绝缘栅双极性晶体管 IGBT)构成的开关,用于各种需要快速开关的高压领域。

背景技术

[0002] 现代功率电子电路中使用的固态开关主要由固态器件经过特定组合而成的组件,常用固态器件有可控硅 SCR、绝缘栅场效应管 MOSFET 和绝缘栅双极性晶体管 IGBT 等半导体器件。随着固态半导体器件的发展和成熟,特别是绝缘栅场效应管 MOSFET 和绝缘栅双极性晶体管 IGBT 在工作电压、电流和开关速度都有了较大的提高,为功率电子领域中需要高电压和大电流固态开关的场合进行多管串联和并联,从而实现高电压大电流可控固态开关成为了可能。单只半导体器件的工作电压通常在 1kV ~ 2kV 之间,工作电流在 1A ~ 500A 之间。绝缘栅场效应管 MOSFET 的流通电流能力较低,但其开启和关断速度较快,可以达到几个 ns,所以在需要高重复频率开启和关断并且流通电流较小的场合通常使用功率 MOSFET 来串联和并联。绝缘栅双极性晶体管 IGBT 流通能力较强,单只器件的流通电流达几百 A,但其开启和关断速度较慢,尤其是关断一般需要几 μ s,所以在开启和关断重复频率较低、流通电流较大的场合使用 IGBT 串联和并联。

[0003] 现有单只固态开关器件耐压低、流通电流有限等缺点。如将多只晶体管串联应用,有多种驱动方式:专用驱动模块、光耦隔离驱动、光纤隔离驱动、变压器隔离驱动、互感器式脉冲变压器驱动等。专用驱动模块、光耦隔离驱动不能用在电压太高的固态开关场合,光纤隔离驱动和变压器隔离驱动由于电路复杂、成本较高,难以推广应用。

[0004] 现用的互感器式脉冲变压器驱动电路(见附图 2),由控制电路产生一定宽度的驱动脉冲信号,经脉冲变压器初级,在互感器式脉冲变压器的次级产生相同宽度的脉冲信号波形,从而驱动晶体管栅极,触发晶体管处于导通状态。当此驱动脉冲结束后,晶体管栅极电压回到零伏,晶体管处于截止状态。此驱动电路的缺点是驱动脉宽有局限,一般在几百 ns 到 100 μ s 之间,如果驱动脉宽大于 100 μ s 后,在互感器式脉冲变压器的设计时,就要选取过大的磁芯。此电路的工作波形如附图 3 所示,t1 为脉冲宽度,t2 为脉冲周期,C 行波形为主开关管工作状态。由图 3 中可见随着脉冲宽度的增加,晶体管栅极电压也相应的减小,小到一定时,晶体管就会进入线性区,从而失去开关功能。

[0005] 由上述现有固态高压开关装置的不足,提出本实用新型。

发明内容

[0006] 针对上述问题,本实用新型的目的是要解决使用互感器式脉冲变压器驱动电路实现脉宽从几百 ns 到连续开启状态的高压固态开关。

[0007] 本实用新型使用的技术方案为驱动电路采用互感器式脉冲变压器为电流型驱动电路,互感器式脉冲变压器选用环形变压器磁芯。控制电路的输出使用一根高压导线,同时

穿过多路串联形式的互感器式环形脉冲变压器的中心。互感器式脉冲变压器的次级连接晶体管栅极驱动电路。

[0008] 本实用新型包括控制电路、驱动电路和开关均压电路，驱动电路为互感器式脉冲变压器。其特征在于所述控制电路，在脉冲变压器初级一端接正向脉宽控制电路 T1、T2，在脉冲变压器另一端通过阻容元件 R1、C1 接反向脉宽控制电路 T3、T4；所述驱动电路，在脉冲变压器次级一端接场效应管 Q2 源级、通过快速二极管接场效应管 Q1 栅极 G、Q2 漏极 D 及主开关管 Q3 的栅极；在脉冲变压器次级另一端接场效应管 Q1 源极 S，通过快速二极管接场效应管 Q2 栅极 G；场效应管 Q1 漏极 D 接主开关管 Q3 的源极。所采用互感器式脉冲变压器为电流型驱动电路，该互感器式脉冲变压器选用环形变压器磁芯。主开关管 Q3 采用多只 N 型绝缘栅场效应管 NMOSFET 或绝缘栅双极性晶体管 IGBT 串联和并联。开关均压电路中含有静态均压网络和动态均压网络。静态均压网络采用静态均压元件，静态均压元件的阳极接主开关管 Q3 的源极、阴极接主开关管 Q3 的漏极。

[0009] 本实用新型晶体管栅极驱动电路（见附图 4）：

[0010] 在控制电路中由正向脉宽控制电路 T1、T2 产生开启脉冲，反向脉宽控制电路 T3、T4 产生关断脉冲，分不同的时刻分别送到互感器式脉冲变压器的初级，在开启脉冲时刻让主开关晶体管导通，在关断脉冲时刻让主开关晶体管截止。

[0011] 在控制电路中，由正向脉宽控制电路 T1、T2 和反向脉宽控制电路 T3、T4 组成两个图腾柱电路结构，提高输出能力和实现良好的驱动脉冲前后沿。在图腾柱输出上串联 R1C1 阻容电路，防止流过图腾柱的电流过大，减小驱动功率，同时采用阻容并联电路，在脉冲开启前沿时刻电流主要从电容上流过，提高在脉冲开启前沿时刻电路的驱动能力。

[0012] 在互感器式脉冲变压器的次级采用检波电路，在开启脉冲时刻，检波电路让晶体管栅极电压充到 15V 以上，开启脉冲宽度只有几百 ns，在几百 ns 之后，检波电路通过阻容并联放电，晶体管栅极电压波形按指数规律下降。在脉冲宽度大于 1ms 时，控制电路再送一个开启脉冲，此开启脉冲让晶体管栅极电压又被充到 15V 电压。只到关断脉冲送来时刻，关断脉冲使晶体管栅极电压放到零伏，晶体管处于截止状态。

[0013] 晶体管静态均压采用瞬态抑制二极管 13(TVS)，动态均压采用并联高压电容 C4。在高压固态开关需要大的导通能力时，可以使用多只晶体管并联，只要提高驱动电路的功率就能实现让多只并联的晶体管同时导通和关断。

[0014] 本实用新型的电路能够适应窄脉冲到连续开启脉宽的工作状态，很好的解决了一种高压固态开关能够适应多种应用场合的问题。同时控制电路只需几 W 的功率，外输入的脉宽控制信号为 TTL 电平，大大的减化了控制电路和减小低压供电功率。

[0015] 本实用新型，高压固态开关体积小、损耗低、电压高、电流大等优点，适用于各种需要快速开关的高压领域。

[0016] 本实用新型的晶体管串联高速高压固态开关有多种应用方式，如当成高压端开关、低压端开关和双开关方式等。

附图说明

[0017] 图 1 为本实用新型的晶体管串联高速高压固态开关装置框图；

[0018] 图 2 为现用互感器式脉冲变压器晶体管驱动电路图；

- [0019] 图 3 为现用互感器式脉冲变压器晶体管驱动电路工作波形图；
- [0020] 图 4 为本实用新型高压固态开关互感器式脉冲变压器晶体管驱动电路图；
- [0021] 图 5 为本实用新型高压固态开关互感器式脉冲变压器晶体管驱动电路工作波形图；
- [0022] 图 6 为本实用新型晶体管串联高速高压固态开关实施例图；

具体实施方式

[0023] 本实用新型的晶体管串联高速高压固态开关总体框图见附图 1 所示。包括控制电路 1、驱动电路 2 和开关均压电路 3。输入信号有 +5V/10W 供电、TTL 电平脉宽控制信号和安全噪声接地线，输出端为两根高压线。由于驱动电路具有高电位隔离功能，使本开关的输出端可以实现高压端开关、低压端开关和双开关等工作方式。

[0024] 下面分析本实用新型的晶体管串联高速高压固态开关电路的详细原理，以一组晶体管电路为例（见附图 4）。多组晶体管串联后电路原理同一组晶体管电路，每一组晶体管电路首尾相连形成串联结构。互感器式脉冲变压器 P 选用环形变压器磁芯。控制电路 1 的输出使用一根高压导线，同时穿过多组串联形式的互感器式环形脉冲变压器的中心。

[0025] 控制电路 1 包括晶体管 T1、T2、T3、T4 和反向器 4，电解电容 C2，阻容元件 R1、C1、驱动电路 2 包括互感器式环形脉冲变压器 P，快速二极管 9、10、11，绝缘栅场效应管 Q1、Q2，稳压管 12，电容 C3，电阻 R2。开关和均压电路 3 包括晶体管 Q3，高压电容 C4，瞬态抑制二极管 13。

[0026] 外输入的 TTL 电平脉宽控制信号经过控制电路的处理，产生附图 4 和图 5 中波形 a 所示的控制脉宽信号。具体的工作波形见附图 5 所示， t_3 为脉冲宽度， t_4 为脉冲周期。在外输入 TTL 电平脉宽控制信号的前沿时刻产生开启脉冲信号（见附图 5 中 b 行波形），经过反向器 4 后在脉宽控制信号的后沿时刻产生关断脉冲信号（见附图 5 中 c 行波形），开启脉冲和关断脉冲信号只有几百 ns 宽度。开启脉冲信号送到晶体管 T1、T2 的基极，晶体管 T1、T2 组成图腾柱结构。关断脉冲信号送到晶体管 T3、T4 组成的图腾柱基极。

[0027] 开启脉冲信号时刻，晶体管 T1、T4 导通，此时电容 C2 上的储能通过晶体管 T1、互感器式脉冲变压器 P 的初级、阻容元件 R1C1、晶体管 T4 再回到电容 C2 的负端，形成开启脉冲电流通路。在关断脉冲时刻，晶体管 T2、T3 导通，此时电容 C2 上的储能通过晶体管 T3、阻容元件 R1C1、互感器式脉冲变压器 P 的初级、晶体管 T2 再回到电容 C2 的负端，形成关断脉冲电流通路。开启脉冲电流和关断脉冲电流在互感器式脉冲变压器的初级产生驱动脉冲波形（见附图 5 中 d 行波形）。当 TTL 电平脉宽控制信号宽度大于 1ms 时，开启脉冲电路每间隔 1ms 输出一个开启脉冲，而关断脉冲只需要一次就可以有效的让晶体管处于截止状态。

[0028] 驱动电路 2 中，开启脉冲通过互感器式环形脉冲变压器 P 的初级，在脉冲变压器 P 的次级产生一定电压和电流的脉冲信号，此脉冲信号使脉冲变压器 P 的 7 脚为高电平，8 脚为低电平。开启脉冲通过二极管 9 让绝缘栅场效应管 Q1 导通，同时开启脉冲对电容 C3 和晶体管 Q3 的栅极电容充电，充电电流回路为绝缘栅场效应管 Q1，回到互感器式脉冲变压器 P 的 8 脚。设计此充电电流较大，达安培级，在 100ns 时间量级内让晶体管栅极电压充到 10V 以上。此后，由于二极管 9 的反向截止，电容 C3 和晶体管 Q3 栅极电容的储能通过电阻 R2 释放，选择此时间常数大于 3ms，保证 1ms 内晶体管 Q3 的栅极电压不低于 10V。

[0029] 关断脉冲通过互感器式脉冲变压器 P 的初级,在脉冲变压器 P 的次级产生一定电压和电流的脉冲信号,此脉冲信号使脉冲变压器 P 的 8 脚为高电平,7 脚为低电平。关断脉冲通过二极管 11 让绝缘栅场效应管 Q2 导通,此时电容 C3 和晶体管 Q3 的栅极电容通过绝缘栅场效应管 Q2、互感器式脉冲变压器 P 次级、二极管 10 放电。此回路为低阻状态,所以电容 C3 和晶体管 Q3 栅极电容上的储能能够在 100ns 内释放到 IV 以下。晶体管的栅极电压波形见附图 5 中 e 行波形,相应的晶体管也随着栅极电压波形处于开启状态或关断状态(见附图 5 中 f 行波形)。稳压管 12 起到限压作用,保证晶体管 Q3 栅极电压不高于 20V,防止晶体管 Q3 栅极电压过高而损坏。

[0030] 晶体管 Q3 可以选择绝缘栅场效应管 NMOSFET 和绝缘栅双极性晶体管 IGBT,同时根据所需高压固态开关电压和电流的大小,选择晶体管串联和并联的数量。选用瞬态抑制二极管 13 完成静态均压,而不用高压电阻均压,使整个固态开关的静态漏电流极小,只有几个 μA 。同时在动态均压时,瞬态抑制二极管也能吸收一定能量的尖峰,动态均压主要由电容 C4 来完成。

[0031] 实施例一

[0032] 本例为电压 10kV、电流 10A、脉冲宽度 $1\mu\text{s} \sim 10\text{ms}$ 连续可调的高压固态开关,电路图见附图 6 所示。包括控制电路 1、驱动电路 2 和开关均压电路 3 组成。

[0033] 主开关管选择为绝缘栅场效应管 NMOSFET,单只开关管的额定电压为 1200V,额定电流为 12A。采用 12 只 NMOSFET 串联,开关管总的耐压为 14.4kV,开关晶体管的编号为 Q3-1、Q3-2 ~ Q3-12。静态均压选用瞬态抑制二极管 13-1、13-2 ~ 13-12,单只开关管两端并联的瞬态抑制二极管电压为 880V。动态均压主要是高压电容 C4-1、C4-2 ~ C4-12。

[0034] 使用 12 只铁氧体环形变压器 P1、P2 ~ P12 当互感器式脉冲驱动变压器,变压器的初级为一匝,次级设计为四匝,利用 1 只环形驱动变压器驱动 1 只主开关晶体管。

[0035] 12 组串联开关管和驱动电路原理相同,下面只分析 1 组的实现原理。

[0036] 外输入的 TTL 电平脉宽控制信号经过控制电路的处理,产生附图 4 中 a 行波形所示的控制脉宽信号,在外输入 TTL 电平脉宽控制信号的前沿时刻产生开启脉冲信号(见 b 行波形),经过反向器 4 后在脉宽控制信号的后沿时刻产生关断脉冲信号(见 c 行波形),开启脉冲和关断脉冲信号只有几百 ns 宽度。开启脉冲信号送到晶体管 T1 和 T2 的基极,晶体管 T1 和 T2 组成图腾柱结构。关断脉冲信号送到晶体管 T3 和 T4 组成的图腾柱基极。

[0037] 开启脉冲信号时刻,晶体管 T1、T4 导通,此时电容 C2 上的储能通过晶体管 T1、互感器式脉冲变压器 P1、P2 ~ P12 的初级、阻容元件 R1C1、晶体管 T4 再回到电容 C2 的负端,形成开启脉冲电流通路。在关断脉冲时刻,晶体管 T2、T3 导通,此时电容 C2 上的储能通过晶体管 T3、阻容元件 R1C1、互感器式脉冲变压器 P1、P2 ~ P12 的初级、晶体管 T2 再回到电容 C2 的负端,形成关断脉冲电流通路。开启脉冲电流和关断脉冲电流在互感器式脉冲变压器的初级产生驱动脉冲波形((见附图 5 中 d 行波形))。当脉冲宽度大于 1ms 时,开启脉冲电路每间隔 1ms 输出一个开启脉冲,而关断脉冲只需要一次就可以有效的让晶体管处于截止状态。

[0038] 驱动电路中,开启脉冲通过互感器式脉冲变压器 P1,在脉冲变压器 P1 的次级产生一定电压和电流的脉冲信号,此脉冲信号使脉冲变压器 P1 的 7 脚为高电平,8 脚为低电平。开启脉冲通过二极管 9-1 让绝缘栅场效应管 Q1-1 导通,同时开启脉冲对电容 C3-1 和晶体

管 Q3-1 栅极电容充电, 充电电流回路为绝缘栅场效应管 Q1-1, 回到互感器式脉冲变压器 P1 的 7 脚。设计此充电电流较大, 达安培级, 在 100ns 时间量级内让晶体管栅极电压充到 10V 以上。此后, 由于二极管 9-1 的反向截止, 电容 C3-1 和晶体管 Q3-1 栅极电容的储能通过电阻 R2-1 释放, 选择此时间常数大于 3ms, 保证 1ms 内晶体管 Q3-1 的栅极电压不低于 10V。

[0039] 关断脉冲通过互感器式脉冲变压器 P1, 在脉冲变压器 P1 的次级产生一定电压和电流的脉冲信号, 此脉冲信号使脉冲变压器 P1 的 8 脚为高电平, 7 脚为低电平。关断脉冲通过二极管 11-1 让绝缘栅场效应管 Q2-1 导通, 此时电容 C3-1 和晶体管 Q3-1 的栅极电容通过绝缘栅场效应管 Q2-1、互感器式脉冲变压器 P1 次级、二极管 10-1 放电。此回路为低阻状态, 所以电容 C3-1 和晶体管 Q3-1 栅极电容上的储能能够在 100ns 内释放到 1V 以下。晶体管的栅极电压波形见附图 5 中 e 行波形, 相应的晶体管也随着栅极电压波形处于开启状态和关断状态 (见附图 5 中 f 行波形)。稳压管 12-1 起到限压作用, 保证晶体管 Q3-1 栅极电压不高于 20V, 防止晶体管 Q3-1 栅极电压过高而损坏。

[0040] 本实用新型利用互感器式脉冲变压器驱动, 电路简单、高压隔离方便、成本低等优点。

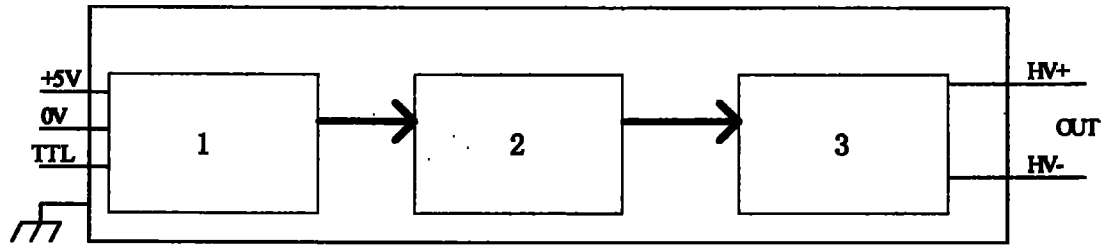


图 1

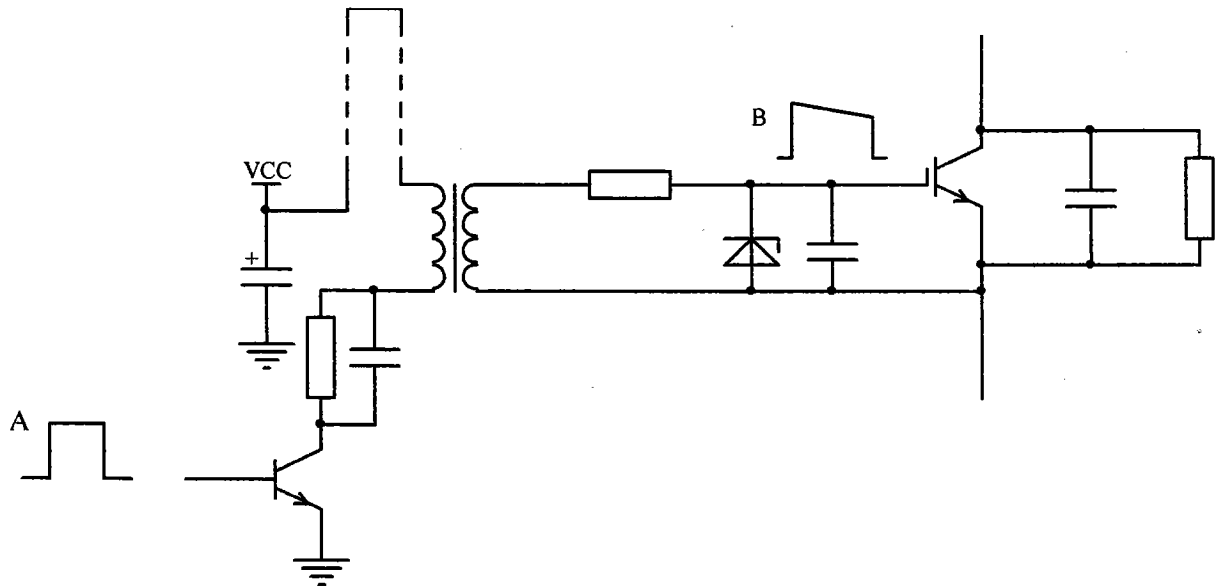


图 2

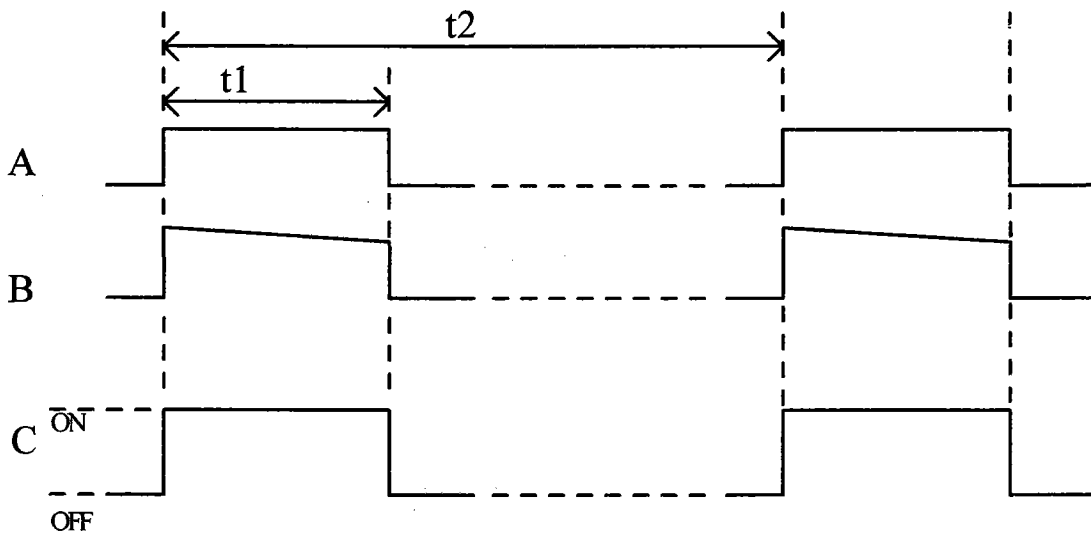


图 3

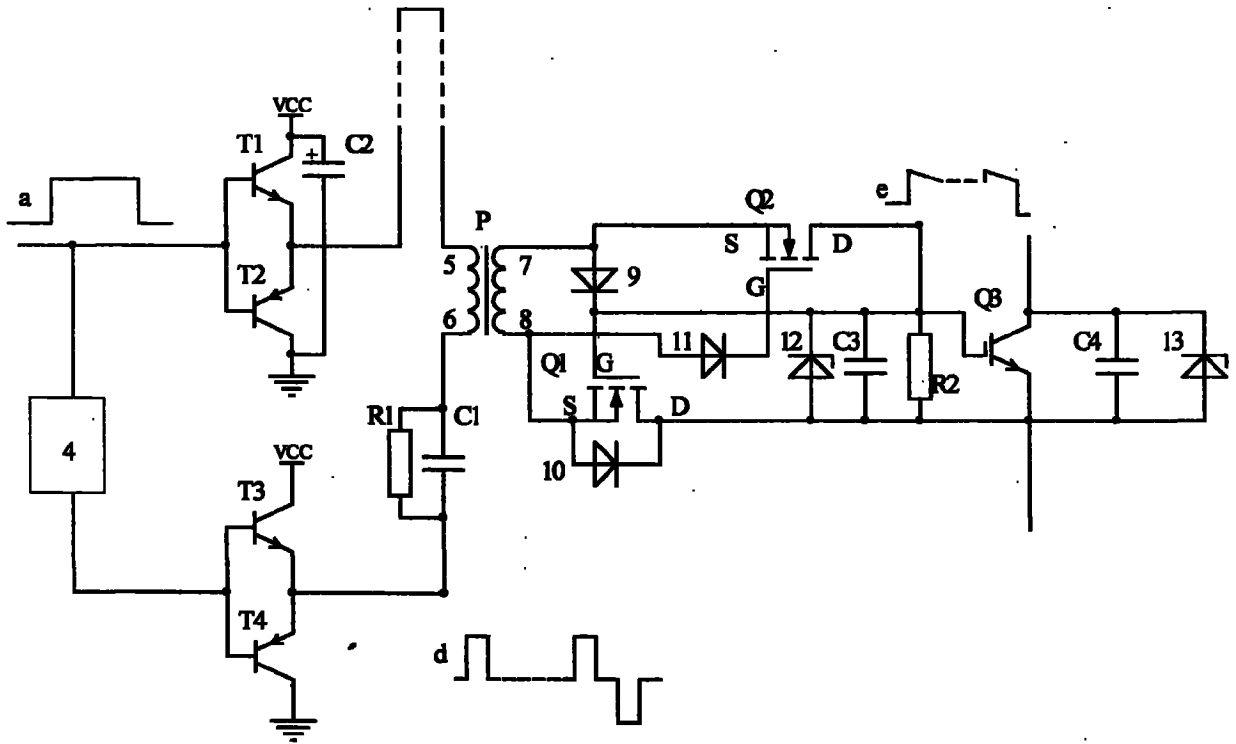


图 4

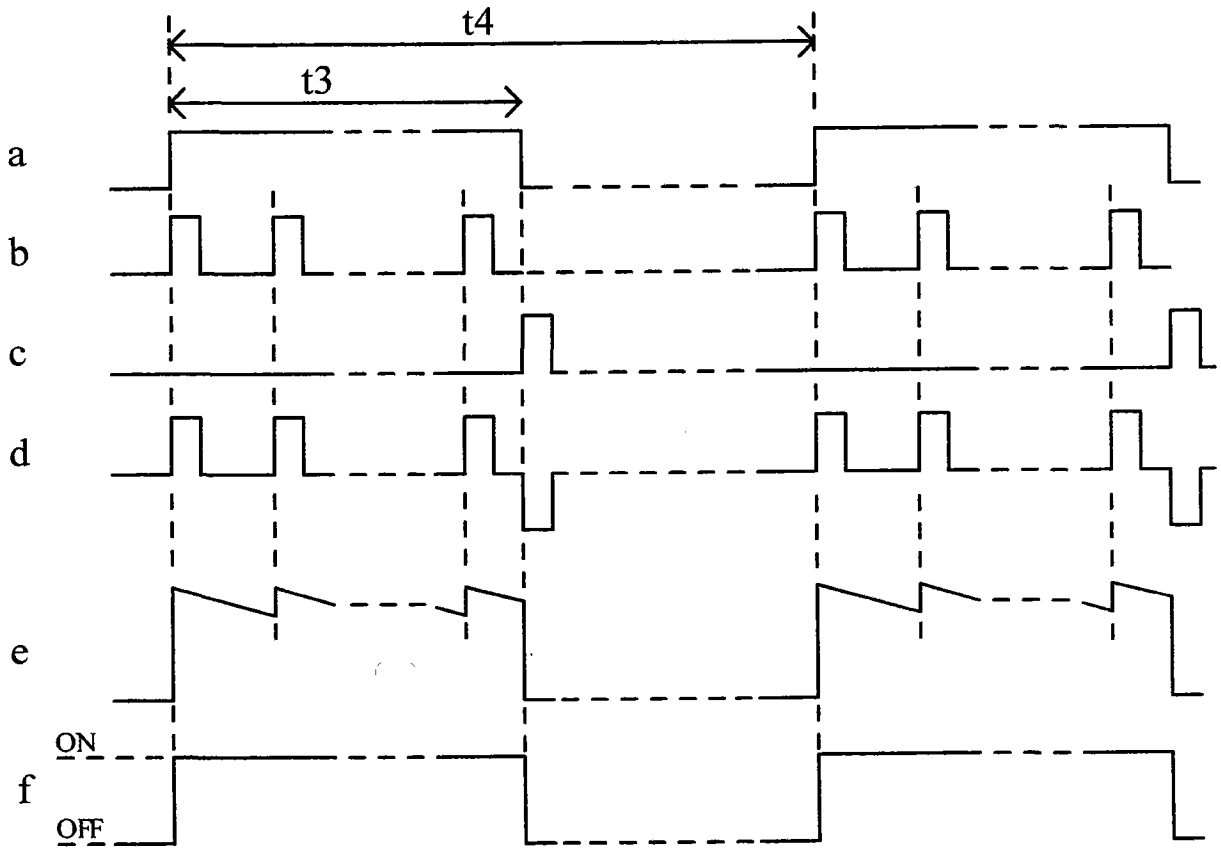


图 5

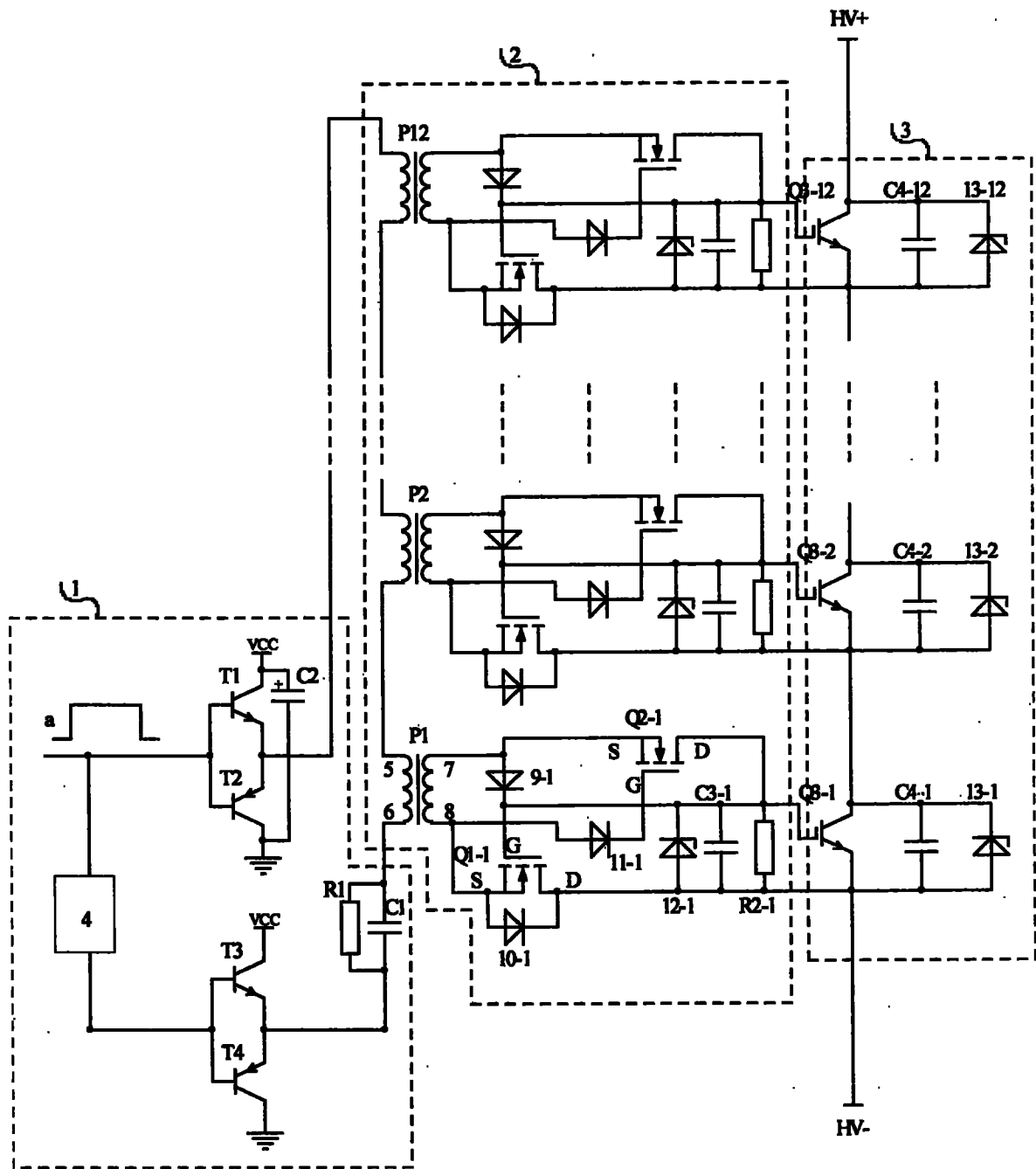


图 6