



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 108023485 A

(43)申请公布日 2018.05.11

(21)申请号 201810021039.X

(22)申请日 2018.01.10

(71)申请人 上海英联电子系统有限公司
地址 201203 上海市浦东新区蔡伦路255号
2号楼3层B座

(72)发明人 王俊舟 杨鑫 李斌 李培永
乔宗标

(51)Int.Cl.
H02M 3/335(2006.01)

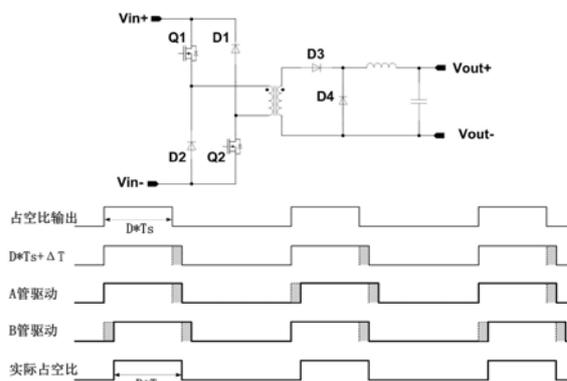
权利要求书2页 说明书5页 附图6页

(54)发明名称

一种开关电源开关器件开关损耗管理的控制算法

(57)摘要

本发明涉及开关电源技术领域,具体涉及一种开关电源开关器件开关损耗管理的控制算法。本发明提出了一种新颖的控制思路,利用数字电源的灵活性,通过一种简单的控制算法,在不增加硬件资源与成本的前提下可将开关器件的开关损耗在不同的开关器件之间进行主动分配,实现对电源电路中各开关器件的损耗管理,达到电源内开关器件温度均衡、消除局部热点的目标,优化了电源的热设计方案。



1. 一种开关电源开关器件开关损耗管理的控制算法, 算法应用于存在两个或多个开关器件同时开通和(或)同时关断的功率变换电路, 该类功率变换电路符合:

特征一: 理论上同时开通的两个或多个开关器件, 令其中一个开关器件先行开通, 则此先行开通的开关器件无开通损耗, 开通损耗集中在除此先行开通开关器件外的另外一个或多个开关器件上;

特征二: 理论上同时关断的两个或多个开关器件, 令其中一个开关器件先行关断, 则关断损耗集中在此先行关断的开关器件上, 除此先行关断的开关器件上不存在关断损耗。

2. 算法通过控制两个或多个开关器件的开通、关断时序, 将理论上同时开通和(或)同时关断的开关器件的开通、关断进行错位控制, 使其中特定的开关器件先开通, 其它开关器件后开通; 使其中特定的开关器件先关断, 其它开关器件后关断, 实现对开关器件的开关损耗的主动分配和管理。

3. 根据权利要求1所述的功率变换电路, 其特征包括:

特征一: 理论上同时开通的两个或多个开关器件, 令其中一个开关器件先行开通, 则此先行开通的开关器件无开通损耗, 开通损耗集中在除此先行开通开关器件外的另外一个或多个开关器件上;

特征二: 理论上同时关断的两个或多个开关器件, 令其中一个开关器件先行关断, 则关断损耗集中在此先行关断的开关器件上, 除此先行关断的开关器件上不存在关断损耗

符合上述特征的功率变换电路包括但不限于: 硬开关全桥电路、双管正激电路、双管反激电路、硬开关三电平或多电平电路、三相六开关升压PFC电路、三相六开关降压PFC电路等等。

4. 根据权利要求1所述的理论上同时开通和(或)同时关断的开关器件的开通、关断的错位控制, 可以采用:

控制策略A: 固定时序控制, 即始终控制特定的开关器件先行开通和(或)先行关断, 其它开关器件延后开通和(或)延后关断;

控制策略B: 交替时序控制, 即首先控制特定的开关器件先行开通和(或)先行关断, 其它开关器件延后开通和(或)延后关断, 一段时间后改变控制策略, 控制其它开关器件先行开通和(或)先行关断, 特定的开关器件延后开通和(或)延后关断, 一段时间后再恢复到原控制策略, 交替控制。

5. 根据权利要求3所述的交替时序控制策略B, 可以采用:

控制策略B.1: 单周期交替控制, 即首开关周期控制特定的开关器件先行开通和(或)先行关断, 其它开关器件延后开通和(或)延后关断, 下开关周期改变控制策略, 控制其它开关器件先行开通和(或)先行关断, 特定的开关器件延后开通和(或)延后关断, 再下周期恢复到原控制策略, 交替控制。

6. 控制策略B.2: 多周期交替控制, 即首先控制N个开关周期控制特定的开关器件先行开通和(或)先行关断, 其它开关器件延后开通和(或)延后关断, 接下来的N个开关周期改变控制策略, 控制其它开关器件先行开通和(或)先行关断, 特定的开关器件延后开通和(或)延后关断, 再下N个开关周期恢复到原控制策略, 交替控制; 其中 $N \geq 1$ 。

7. 根据权利要求4所述的交替时序控制策略B.2, 可以采用:

控制策略B.2.1: 对称多周期交替控制, 即首先控制N1个开关周期控制特定的开关器件

先行开通和(或)先行关断,其它开关器件延后开通和(或)延后关断,接下来的 N_2 个开关周期改变控制策略,控制其它开关器件先行开通和(或)先行关断,特定的开关器件延后开通和(或)延后关断,再下 N_1 个开关周期恢复到原控制策略,交替控制;其中 $N_1, N_2 \geq 1$,且 $N_1 = N_2$ 。

8. 控制策略B.2.2: 不对称多周期交替控制,即首先控制 N_1 个开关周期控制特定的开关器件先行开通和(或)先行关断,其它开关器件延后开通和(或)延后关断,接下来的 N_2 个开关周期改变控制策略,控制其它开关器件先行开通和(或)先行关断,特定的开关器件延后开通和(或)延后关断,再下 N_1 个开关周期恢复到原控制策略,交替控制;其中 $N_1, N_2 \geq 1$,且 $N_1 \neq N_2$ 。

9. 根据权利要求4所述的交替时序控制策略B.2,针对周期交变输入电压的功率变换电路,可以采用:

控制策略B.2.3: 输入同步多周期交替控制,即在首个输入交变周期内控制特定的开关器件先行开通和(或)先行关断,其它开关器件延后开通和(或)延后关断,接下来输入交变周期改变控制策略,控制其它开关器件先行开通和(或)先行关断,特定的开关器件延后开通和(或)延后关断,再下个输入交变周期恢复到原控制策略,交替控制。

10. 根据权利要求6所述的交替时序控制策略B.2.3,针对周期交变输入电压的功率变换电路,可以采用:

控制策略B.2.3.1: 对称输入同步多周期交替控制,即在首 N 个输入交变周期内控制特定的开关器件先行开通和(或)先行关断,其它开关器件延后开通和(或)延后关断,接下来 N 个输入交变周期改变控制策略,控制其它开关器件先行开通和(或)先行关断,特定的开关器件延后开通和(或)延后关断,再下 N 个输入交变周期恢复到原控制策略,交替控制;其中 $N \geq 1$ 。

11. 控制策略B.2.3.2: 非对称输入同步多周期交替控制,即在首 N_1 个输入交变周期内控制特定的开关器件先行开通和(或)先行关断,其它开关器件延后开通和(或)延后关断,接下来 N_2 个输入交变周期改变控制策略,控制其它开关器件先行开通和(或)先行关断,特定的开关器件延后开通和(或)延后关断,再下 N_1 个输入交变周期恢复到原控制策略,交替控制;其中 $N_1, N_2 \geq 1$,且 $N_1 \neq N_2$ 。

一种开关电源开关器件开关损耗管理的控制算法

技术领域

[0001] 本发明涉及开关电源技术领域,具体涉及一种开关电源开关器件开关损耗管理的控制算法。

背景技术

[0002] 开关电源是利用现代电力电子技术,控制开关管开通和关断的时间比率,维持稳定输出电压的一种电源;在各种电子设备中,开关电源是功率处理单元,为设备提供所需功率,是各种电子设备的核心部件。电源的热设计是开关电源设计中的重要组成部分,热设计是否优化、合理,直接影响开关电源的整机性能与可靠性。由于开关电源中的损耗多集中在功率器件,功率器件是电源中主要的发热器件;因此,开关电源的热设计以功率器件的热处理为主要对象。开关器件作为开关电源中重要的功率元件,损耗较为集中,是热设计中需要考虑的重点器件。

[0003] 开关器件的损耗主要包括导通损耗与开关损耗;开关损耗在高电压、高频率的应用中,在损耗中所占比非常高,通常占总损耗的5%~20%;部分硬开关高频、高压电源中,开关损耗占总损耗的30%以上。近几年,随着通讯设备、轨道交通、医疗设备、工业机器人、国防现代化建设等方面快速发展,模块电源得到更广泛的应用;受限于模块电源的尺寸,其开关频率比普通开关电源更高,因此开关损耗在总功耗中的占比更大;同时,高功率密度使模块电源的热处理更具挑战性,其中的开关器件往往是模块电源中的局部热点,成为电源的设计瓶颈。

[0004] 为降低开关器件的温度,消除热点,在模块电源的设计中对开关器件的热设计提出了更高的要求。由于开关器件的开关损耗在电源总损耗中占比较大,通过对开关损耗的管理、分配,可以有效的管理开关电源中开关器件的温度,实现开关电源的性能优化。

[0005] 本发明专利提出了一种新颖的控制思路,利用数字电源的灵活性,通过一种简单的控制算法,在不增加硬件资源与成本的前提下可将开关器件的开关损耗在不同的开关器件之间进行主动分配,实现对电源电路中各开关器件的损耗管理,达到电源内开关器件温度均衡、消除局部热点的目标,优化了电源的热设计方案。

发明内容

[0006] 开关电源中多种常用的拓扑电路通过两个或多个开关同时导通、关断来实现功率变换的电路,常见的电路拓扑如:硬开关全桥电路、双管正激电路、双管反激电路、硬开关三电平或多电平电路、三相六开关升压PFC电路、三相六开关降压PFC电路等等。此类电路为实现功率变换,其电路工作原理要求两个或多个开关需同时导通、关断,存在开关损耗。在理想情况下,理论上需要同时导通与关断的两个或多个开关如果同时开通、关断,其开关管上的电压相互分担,开关损耗在各开关管中平均分配。然而,在实际电路工作时,由于寄生参数的存在,理论上需要同时开通、关断的两个或多个开关管即使控制器发出的控制信号的开通与关断时间相同,开关管的实际开通、关断在时间上仍然存在先后顺序;而且,在批量

生产时,由于器件的参数差异,会导致开关管的开通、关断先后顺序存在不确定性。在此类电路中,先开通的开关器件无电流流过,不存在开通损耗;后关断的开关器件无电流流过,同样不存在关断损耗。由此会造成理论上需要同时开通、关断的两个或多个开关器件出现损耗不均衡,理论上应该由两个或多个开关器件平均分担的开关损耗,在实际工作中由其中一个开关器件承担,造成单个开关器件损耗增大,形成局部热点。

[0007] 为便于理解,此处以双管正激电路为例来阐述损耗不均衡及局部热点产生的原因,并以双管正激电路为例对本发明的内容加以说明。

[0008] 双管正激电路如图1所示。电路由开关管上管Q1、开关管下管Q2、两个复位二极管D1、D2、变压器及副边整流电路、输出滤波电感、输出滤波电容构成;当两开关管Q1、Q2开通时,变压器原边绕组电压为输入电压,变压器点端为正,变压器原边向副边传递能量;两开关管Q1、Q2关断时,变压器激磁电流使两复位二极管D1、D2导通,变压器原边绕组电压为输入电压,点端为负,变压器进行磁复位。若Q1、Q2同时开通与关断,Q1、Q2开通前与关断后两端电压均为输入电压的一半,则Q1、Q2的开通损耗为:

其中,为两开关管的总开通损耗,为电路的开关频率,为正激变换器的输入电压,为正激变换器的输入电流,即为开关管开通后流过的稳态电流,为开关管开通过程中,产生开关损耗的时间;为简化分析,此处假定在开关管两端电压变化时不变。

[0009] 在实际工作中,若电路中一个开关管由于参数差异先于另一个开关管开通,假定Q1先开通;由于Q1开通时Q2未开通,Q1开通时无电流流过,故Q1无开通损耗;Q1开通后,Q2两端电压由 $1/2$ 上升至输入电压,在随后Q2开通时,其开通损耗为:

可见,在实际工作中,若电路中一个开关管先于另一个开关管开通,两开关管总开关损耗不变,但后开通的开关管承担了全部开关损耗。关断损耗的情况与开通损耗相类似,后关断的开关管因其关断时另一开关管已先行关断,其关断时无电流流过,故后关断的开关管无关断损耗,先行关断的开关管将承担全部关断损耗;此处对开关管先后关断时关断损耗的分布不做进一步详细分析。

[0010] 由于寄生参数的存在,及器件参数的不一致性、生产的不一致性始终存在,在实际产品中如不做特殊处理,双管正激电路的上、下开关管在开通、关断时,无法预见上下两开关管的开通、关断时序,也无法准确预估开关损耗是否平均分配在两开关管,或集中在其中的某个开关管;因此,在开关电源初始设计时,此不确定性会增加热设计的难度,造成额外的散热需求。

[0011] 本发明提出了一种新型控制算法,利用数字电路的灵活性,对驱动信号做出适当的调整,使理论上需要同时导通、关断的两个或多个开关管,平均分担开关损耗,实现了各开关器件的热平衡,消除了局部热点,提高了开关电源的整机性能。

附图说明

[0012] 图1为本发明的一种具体实施例的电路图与控制逻辑;

图2为本发明的电路开关时序特征与损耗分布;

图3 为本发明的一种损耗平衡分布的具体实施例流程图;

图4 为本发明的一种具体实施例的驱动波形示意图;

图5 为本发明的一种损耗不平衡分布的具体实施例流程图;

图6 为本发明的一种交流输入的具体实施例流程图。

具体实施方式

[0013] 本发明专利为一种开关电源开关器件开关损耗管理的控制算法。在本发明中,利用数字电路的灵活性,采用适当的算法,对理论上需要同时开通、关断的两个或多个开关管的开通、关断时序进行控制,有目的的分配开关器件的开关损耗,以达到优化开关电源热设计的目的。

[0014] 下面将结合本发明实施例中的附图,对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例仅仅是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有作出创造性劳动的前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范围。

[0015] 需要说明的是,在不冲突的情况下,本发明中的实施例及实施例中的特征可以相互组合。

[0016] 下方结合附图和具体实施例对本发明作进一步说明,但不作为本发明的限定。

[0017] 为便于理解,此处以双管正激电路为例来阐述损耗不均衡及局部热点产生的原因,并以双管正激电路为例对本发明的内容加以说明。

[0018] 双管正激电路如图1所示。电路由开关管上管Q1、开关管下管Q2、两个复位二极管D1、D2、变压器及副边整流电路、输出滤波电感、输出滤波电容构成;当两开关管Q1、Q2开通时,变压器原边绕组电压为输入电压,变压器点端为正,变压器原边向副边传递能量;两开关管Q1、Q2关断时,变压器激磁电流使两复位二极管D1、D2导通,变压器原边绕组电压为输入电压,点端为负,变压器进行磁复位。若Q1、Q2同时开通与关断,Q1、Q2开通前与关断后两端电压均为输入电压的一半,则Q1、Q2的开通损耗为:其中,为两开关管的总开通损耗,为电路的开关频率,为正激变换器的输入电压,为正激变换器的输入电流,即为开关管开通后流过的稳态电流,为开关管开通过程中,产生开关损耗的时间;为简化分析,此处假定在开关管两端电压变化时不变。

[0019] 在实际工作中,若电路中一个开关管由于参数差异先于另一个开关管开通,假定Q1先开通;由于Q1开通时Q2未开通,Q1开通时无电流流过,故Q1无开通损耗;Q1开通后,Q2两端电压由 $1/2$ 上升至输入电压,在随后Q2开通时,其开通损耗为:

可见,在实际工作中,若电路中一个开关管先于另一个开关管开通,两开关管总开关损耗不变,但后开通的开关管承担了全部开关损耗。关断损耗的情况与开通损耗相类似,后关断的开关管因其关断时另一开关管已先行关断,其关断时无电流流过,故后关断的开关管无关断损耗,先行关断的开关管将承担全部关断损耗;此处对开关管先后关断时关断损耗的分布不做进一步详细分析。

[0020] 由于寄生参数的存在,及器件参数的不一致性、生产的不一致性始终存在,在实际产品中如不做特殊处理,双管正激电路的上、下开关管在开通、关断时,无法预见上下两开关管的开通、关断时序,也无法准确预估开关损耗是否平均分配在两开关管,或集中在其中的某个开关管;因此,在开关电源初始设计时,此不确定性会增加热设计的难度,造成额外的散热需求。

[0021] 综上所述,在双管正激变换器中,先开通的开关管无开通损耗,开通损耗集中在后

开通的开关管;后关断的开关管无关断损耗,关断损耗集中在先关断的开关管。

[0022] 实际功率变换电路中,存在许多类似电路,此类功率变换电路存在两个或多个开关器件同时开通和(或)同时关断,并具有以下特征:

特征一:理论上同时开通的两个或多个开关器件,令其中一个开关器件先行开通,则此先行开通的开关器件无开通损耗,开通损耗集中在除此先行开通开关器件外的另外一个或多个开关器件上;

特征二:理论上同时关断的两个或多个开关器件,令其中一个开关器件先行关断,则关断损耗集中在此先行关断的开关器件上,除此先行关断的开关器件上不存在关断损耗

符合上述特征的功率变换电路有很多,包括但不限于:硬开关全桥电路、双管正激电路、双管反激电路、硬开关三电平或多电平电路、三相六开关升压PFC电路、三相六开关降压PFC电路等等。此类电路均存在两个或多个开关器件,符合以上一个或两个特征。针对此类电路,如果在不改变开关管占空比的前提下,改变上管与下管的开通、关断时序,就可改变各开关管的开关损耗分布。

[0023] 此处仍以双管正激电路为例,对本发明具体实施例加以说明。

[0024] 图3为一数字控制双管正激电路的损耗分配控制流程图,数字控制器根据当前电路各输入、输出条件计算出占空比 D 后,调用本损耗分配控制子程序;程序首先对变量进行初始化设定,其中, X 为损耗分配寄存器变量, Y 为交替周期计数器, N 为交替周期设定寄存器。通过对 X 、 Y 的定义,可决定变化器的初始工作状态; N 的定义可决定损耗分配的交替时间。

[0025] 初始化后,读取所需占空比 D ,对导通时间 $D * T_s$ 增加 ΔT ,生成 D' ,即: $D' * T_s = D * T_s + \Delta T$; D' 为控制器实际发送给A(上)管或B(下)管的驱动脉宽为 $D' * T_s$;生成 D' 后,通过判断分配寄存器中的赋值决定将A(上)管或B(下)管做相移处理;将不做相移的开关管定义为超前管,做相移处理的为滞后管。尽管两开关管开通的时间均为 $D * T_s + \Delta T$,但上、下管同时导通的时间却由于相移的存在而改变,故变换器实际占空比为:

因此,经过以上运算后变换器实际占空比未做改变,仍为数字控制器根据当前电路各输入、输出条件计算出的占空比 D 。但经过上述计算后,开关管的开关损耗在每个开关周期分布在确定的开关器件上,并根据计数器的计数周期性的在上、下开关管交替分布。

[0026] 超前管与滞后管的交替可以为每隔一个周期做一次交换,即 $N=1$,也可多周期做一次交换,即 $N \geq 2$ 。若实际设计中两开关管因工作条件存在固有温度偏差,可以将 N 区分为 N_1 、 N_2 ,而 N_1 、 N_2 不等,则可对双管正激电路的上、下管做开关损耗的不对称控制。具体实施可采用流程图5。

[0027] 某些特定电路,如三相六开关升压PFC电路或三相六开关降压PFC电路,如采用 $N=1$ 或 $N \geq 1$ 的方式进行开关损耗控制,会出现交流换相与超前管与滞后管的交替的不同步,造成额外的交流输入电流谐波或开关管开关损耗不均衡。因此,针对输入电压交变的变换器,超前管与滞后管的交替控制应与输入电压交变同步。基本控制算法可按流程图(图6)所示,超前管与滞后管的交替控制不由计数器决定,而由输入电压是否换相来决定,当输入电压换相时,对超前管与滞后管的控制策略进行调整,从而排除了交流换相与超前管与滞后管的交替不同步所带来的问题。

[0028] 结合以上所述,本发明所述开关电源开关器件开关损耗管理的控制算法所包含的

控制策略可概括如下：

控制策略A:固定时序控制,即始终控制特定的开关器件先行开通和(或)先行关断,其它开关器件延后开通和(或)延后关断;

控制策略B:交替时序控制,即首先控制特定的开关器件先行开通和(或)先行关断,其它开关器件延后开通和(或)延后关断,一段时间后改变控制策略,控制其它开关器件先行开通和(或)先行关断,特定的开关器件延后开通和(或)延后关断,一段时间后再恢复到原控制策略,交替控制。

[0029] 控制策略B.1:单周期交替控制,即首开关周期控制特定的开关器件先行开通和(或)先行关断,其它开关器件延后开通和(或)延后关断,下开关周期改变控制策略,控制其它开关器件先行开通和(或)先行关断,特定的开关器件延后开通和(或)延后关断,再下周期恢复到原控制策略,交替控制。

[0030] 控制策略B.2:多周期交替控制,即首先控制N个开关周期控制特定的开关器件先行开通和(或)先行关断,其它开关器件延后开通和(或)延后关断,接下来的N个开关周期改变控制策略,控制其它开关器件先行开通和(或)先行关断,特定的开关器件延后开通和(或)延后关断,再下N个开关周期恢复到原控制策略,交替控制;其中 $N \geq 2$ 。

[0031] 控制策略B.2.1:对称多周期交替控制,即首先控制 N_1 个开关周期控制特定的开关器件先行开通和(或)先行关断,其它开关器件延后开通和(或)延后关断,接下来的 N_2 个开关周期改变控制策略,控制其它开关器件先行开通和(或)先行关断,特定的开关器件延后开通和(或)延后关断,再下 N_1 个开关周期恢复到原控制策略,交替控制;其中 $N_1, N_2 \geq 2$,且 $N_1 = N_2$ 。

[0032] 控制策略B.2.2:不对称多周期交替控制,即首先控制 N_1 个开关周期控制特定的开关器件先行开通和(或)先行关断,其它开关器件延后开通和(或)延后关断,接下来的 N_2 个开关周期改变控制策略,控制其它开关器件先行开通和(或)先行关断,特定的开关器件延后开通和(或)延后关断,再下 N_1 个开关周期恢复到原控制策略,交替控制;其中 $N_1, N_2 \geq 1$,且 $N_1 \neq N_2$ 。

[0033] 控制策略B.2.3:输入同步多周期交替控制,即在首个输入交变周期内控制特定的开关器件先行开通和(或)先行关断,其它开关器件延后开通和(或)延后关断,接下来输入交变周期改变控制策略,控制其它开关器件先行开通和(或)先行关断,特定的开关器件延后开通和(或)延后关断,再下个输入交变周期恢复到原控制策略,交替控制。

[0034] 控制策略B.2.3.1:对称输入同步多周期交替控制,即在首N个输入交变周期内控制特定的开关器件先行开通和(或)先行关断,其它开关器件延后开通和(或)延后关断,接下来N个输入交变周期改变控制策略,控制其它开关器件先行开通和(或)先行关断,特定的开关器件延后开通和(或)延后关断,再下N个输入交变周期恢复到原控制策略,交替控制;其中 $N \geq 1$ 。

[0035] 控制策略B.2.3.2:非对称输入同步多周期交替控制,即在首 N_1 个输入交变周期内控制特定的开关器件先行开通和(或)先行关断,其它开关器件延后开通和(或)延后关断,接下来 N_2 个输入交变周期改变控制策略,控制其它开关器件先行开通和(或)先行关断,特定的开关器件延后开通和(或)延后关断,再下 N_1 个输入交变周期恢复到原控制策略,交替控制;其中 $N_1, N_2 \geq 1$,且 $N_1 \neq N_2$ 。

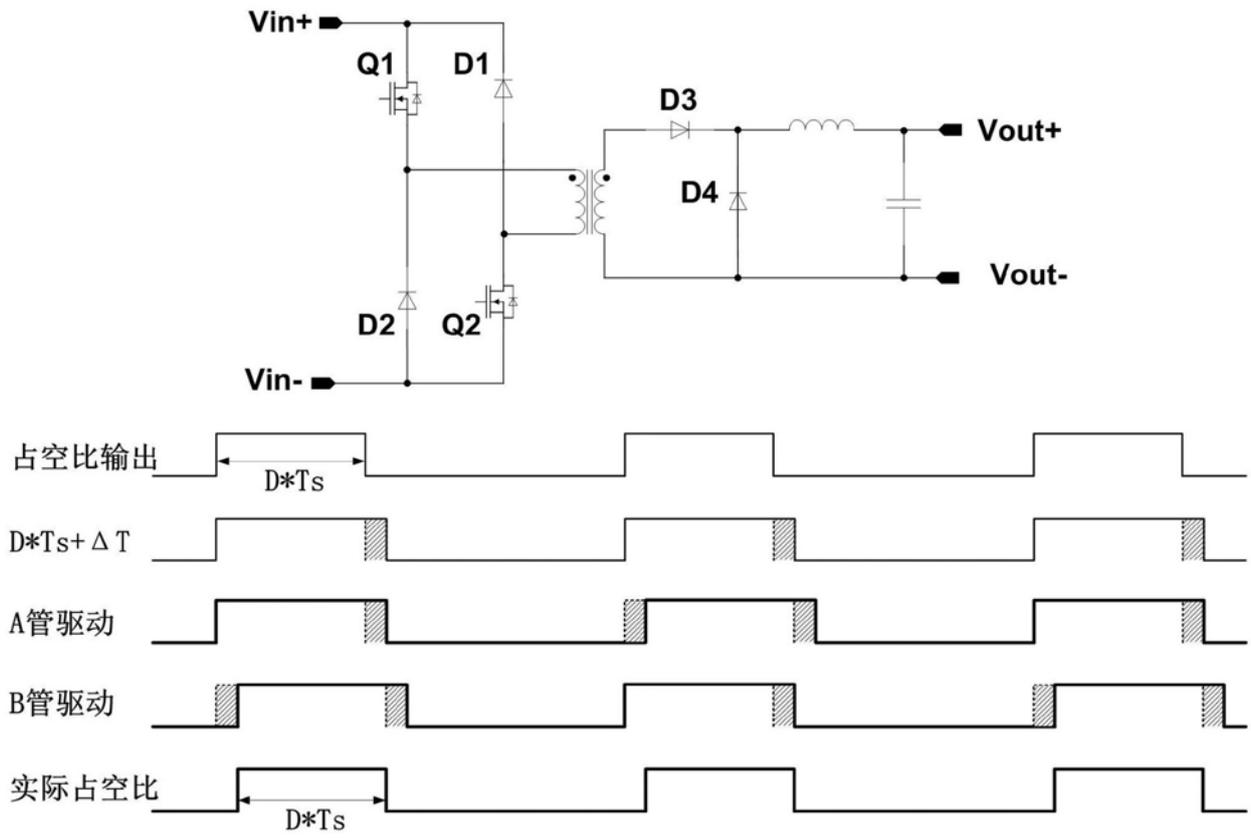
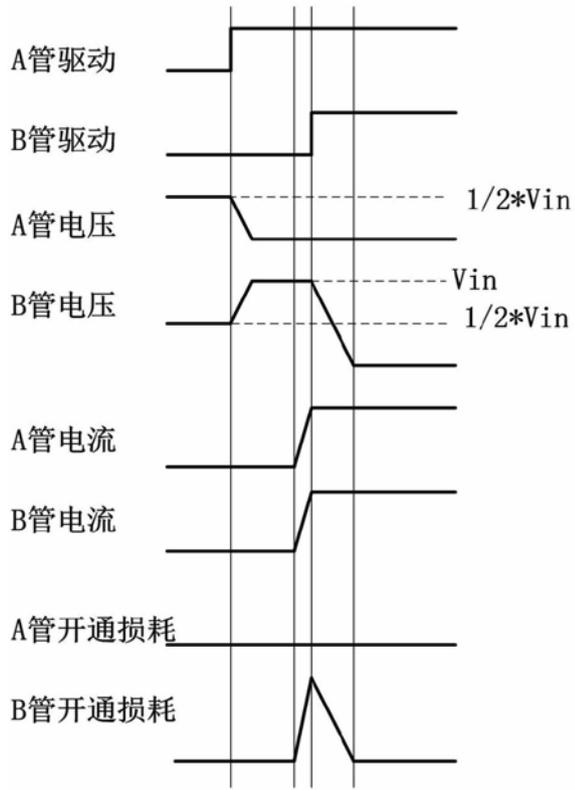
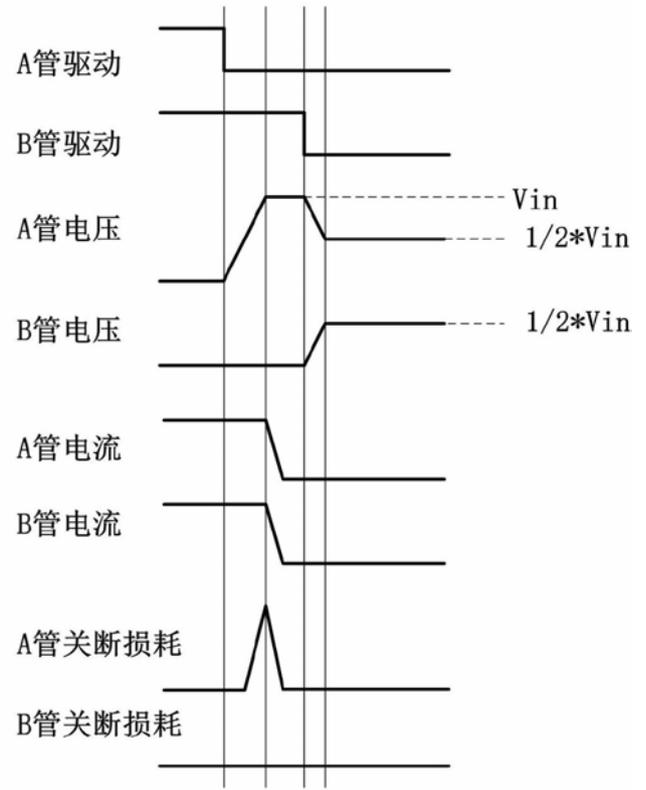


图1



特征一：开通时序与开通损耗关系



特征二：关断时序与关断损耗关系

图2

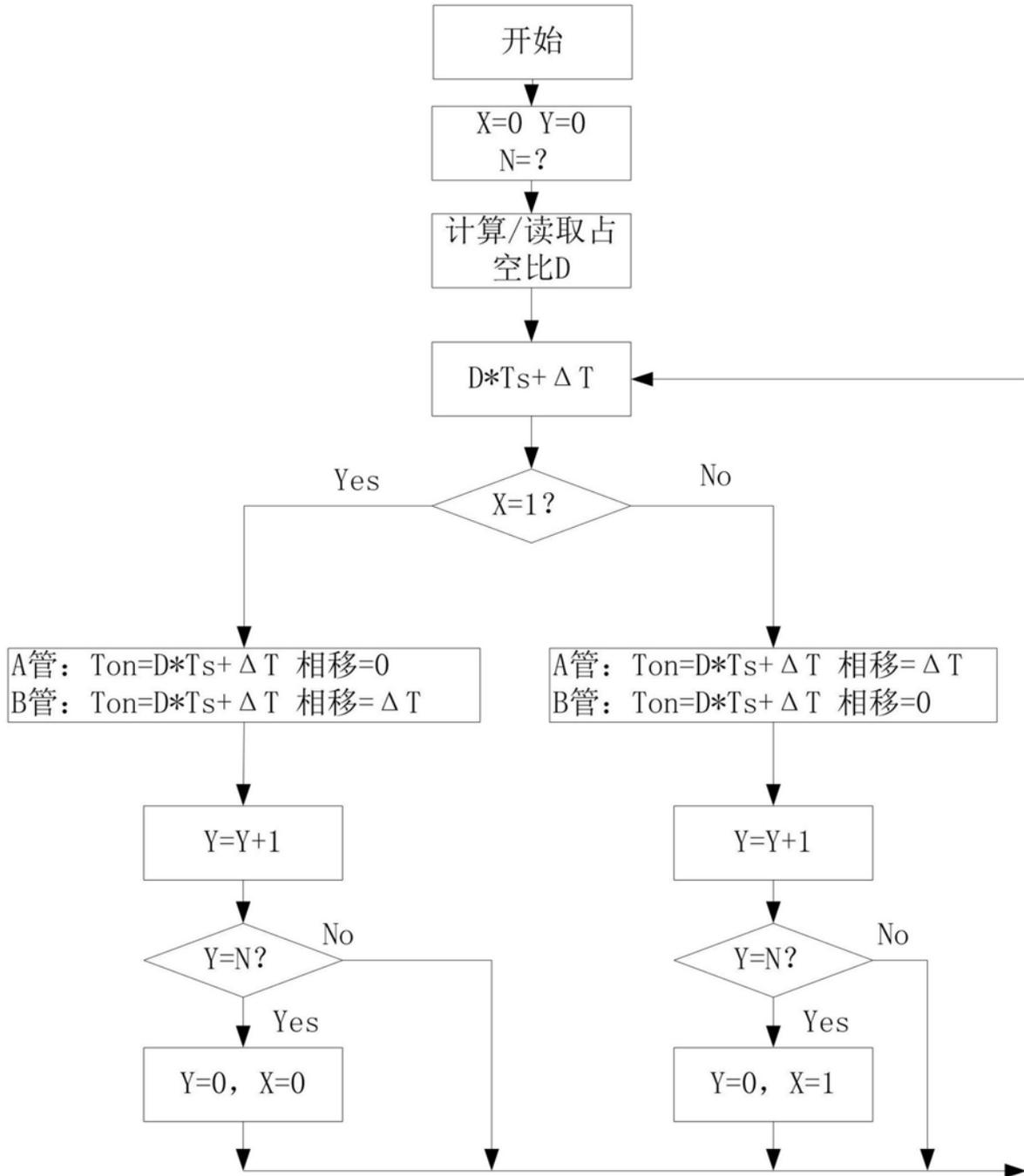


图3

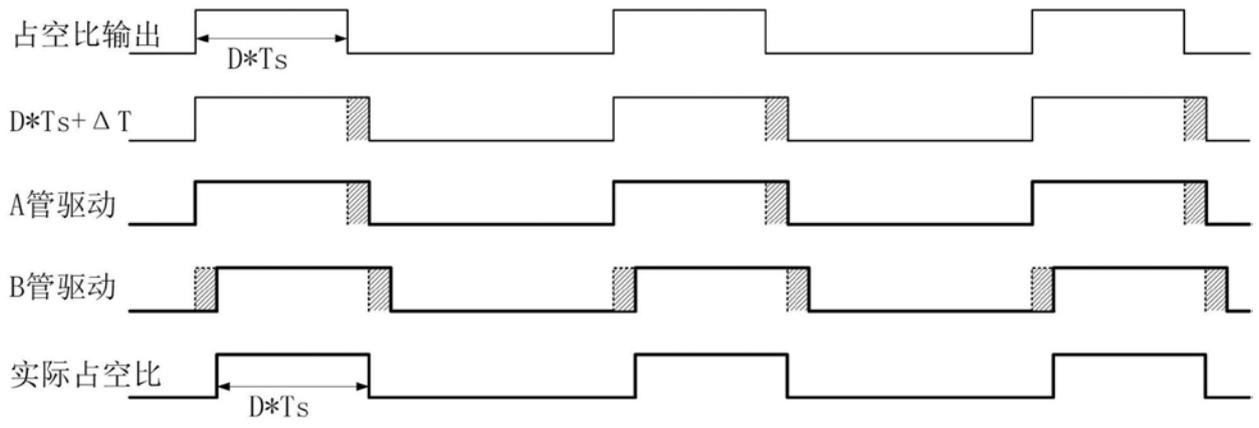


图4

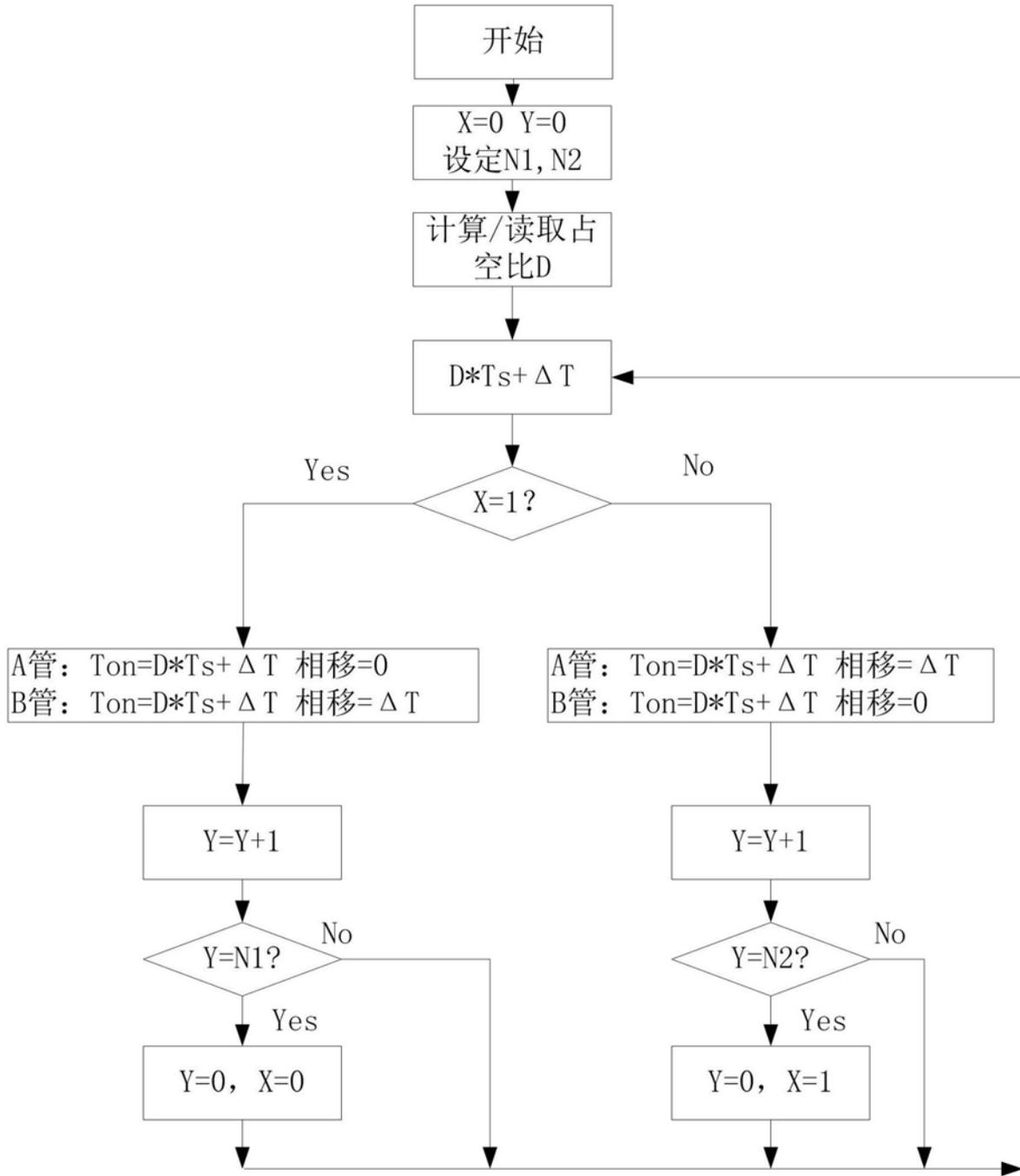


图5

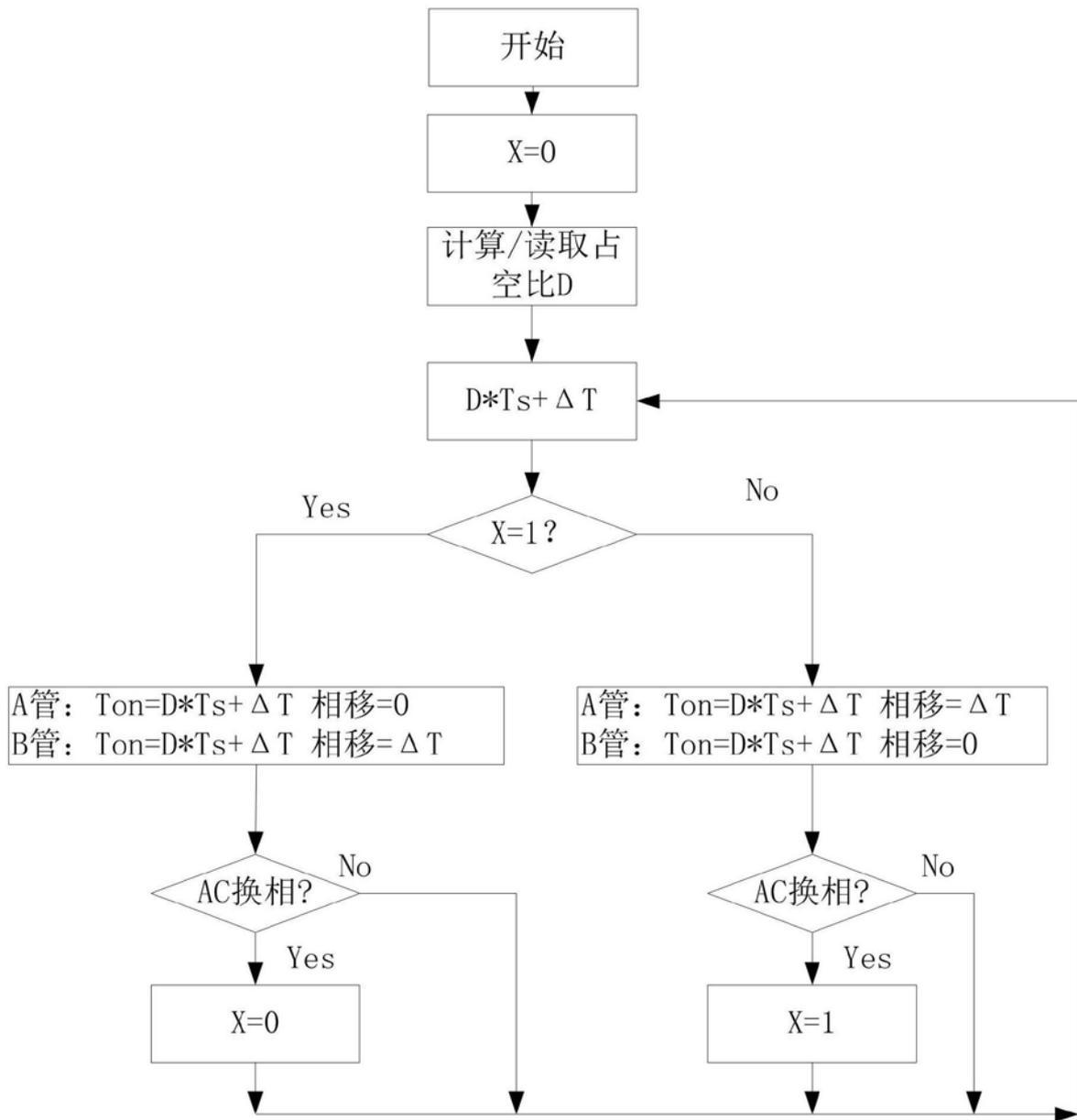


图6