

几种开关电源拓扑结构的性能比较

The Properties Comparison of Some SMPS Topology Structure

圣力 编译

摘要：文章分析了反激式开关电源、正激式开关电源、推挽式开关电源、半桥式开关电源以及全桥式开关电源等的拓扑结构，并对其性能进行了阐述与比较，为电子设备选用开关电源提供参考。

关键词：开关电源 (SMPS)，拓扑结构，性能比较

中图分类号：TN86 文献标识码：A 文章编号：1606-7517(2015)12-4-138

1 引言

表征开关电源各种电压或电流波形的好坏，通常都采用电压或电流的幅值、平均值、有效值、一次谐波等参数进行相互比较。在开关电源的这些参数中，电压或电流的幅值和平均值最为直观，因此，人们常用电压或电流的幅值与平均值之比——被称为脉动系数 S ；也有人用电压或电流的有效值与其平均值之比——被称为波形系数 K 来判别波形好坏。所以，电压的脉动系数 S_v ，电流的脉动系数 S_i 以及电压的波形系数 K_v 、电流的波形系数 K_i 分别表示为：

$$S_v = U_p / U_a \text{ (电压脉动系数)} \quad (1)$$

$$S_i = I_m / I_a \text{ (电流脉动系数)} \quad (2)$$

$$K_v = U_d / U_a \text{ (电压波形系数)} \quad (3)$$

$$K_i = I_d / I_a \text{ (电流波形系数)} \quad (4)$$

由以上 4 式可见， S_v 、 S_i 、 K_v 、 K_i 分别表示电压和电流的脉动系数 S ，以及电压和电流的波形系数 K 。在通常能够分清情况的表达式中，都只用大写字母 S 或 K 。脉动系数 S 和波形系数 K 都是表征电压或电流波形好坏的指标， S 值和 K 值越小，表示波形越好；也即 S 值或 K 值越小，表示输出电压或输出电流越稳定，也就是电压和电流的纹波也越小。

2 反激式开关电源的优缺点

2.1 反激式开关电源的电压和电流的输出特性要比正激式开关电源的输出特性差些。

反激式开关电源在控制开关接通期间不向负载提供功率输出，只在控制开关断开期间才把存储的能量转化为反电动

势向负载提供功率输出，但控制开关的占空比为 0.5 时，变压器次级线圈输出电压的平均值约等于电压最大值的二分之一，而流过负载的电流正好等于变压器次级线圈中最大电流的四分之一，即电压脉动系数 $S_v=2$ ，电流脉动系数 $S_i=4$ 。反激式开关电源的电压脉动系数 S_v 和正激式开关电源的电压脉动系数 S_v 基本相同，但是，反激式开关电源的电流脉动系数 S_i 是正激式开关电源的电流脉动系数的两倍。由此可见，反激式开关电源的电压和电流的输出特性要比正激式开关电源的差些。尤其是反激式开关电源使用的时候，为了防止电源开关管过压击穿，其占空比一般都小于 0.5，此时流过变压器次级线圈的电流会出现断续，电压和电流的脉动系数都会增加，那么，其电压和电流的输出特性将会变得更差。

2.2 反激式开关电源的瞬态控制特性相对较差。

由于反激式开关电源只在开关关断期间才向负载提供能量输出，故当负载电流出现变化时，开关电源不能立即对输出电压或电流的变化产生反应，而要等到下一个周期时，通过输出电压取样和调宽控制电路的作用，开关电源才开始对已经过去了一个周期的状况作出反应，即改变占空比，由此可知，反激式开关电源的瞬态控制特性相对而言就比较差。并且，当负载电流变化的频率和相位与取样，调宽控制电路输出的电压延时特性在相位保持一致的情况时，反激式开关电源输出电压可能会产生抖动。这种情况在电视机的开关电源中最容易发生。

2.3 反激式开关电源变压器初级线圈和次级线圈的漏感都比较大，故这种开关电源变压器的工作效率较低。

反激式开关电源变压器的铁芯通常需要开出一一定宽度

的气隙，这一方面是为了防止变压器铁芯因流过变压器初级线圈的电流过大而产生磁饱和；另一方面是因为变压器的输出功率小，需要用调整变压器的气隙宽度和初级线圈的匝数来调整变压器初级线圈电感量的大小。因此造成反激式开关电源变压器初级和次级线圈的漏感都比较大，从而降低了开关电源变压器的工作效率。而且，漏感还会产生反电动势，将容易造成开关管被击穿损坏。

2.4 反激式开关电源的优点是其电路比较简单、产品的体积比较小。反激式开关电源输出电压受占空比的调制幅度相对于正激式开关电源而言要高很多。

说反激式开关电源的优点是电路比较简单，那是相对于正激式开关电源少用了一个大容量的储能滤波电感器以及一个续流二极管，因此，反激式开关电源的体积要比正激式开关电源的体积小，且成本较低。此外，反激式开关电源的输出电压受占空比的调制幅度影响，相对于正激式开关电源则要高很多；因此，反激式开关电源要求调控占空比的误差信号幅度要比较低，误差信号放大器的增益和动态范围也要比较小。由于具有这些优点，目前，反激式开关电源在家用电器领域存在广泛的应用市场。

2.5 反激式开关电源大多用于功率较小的电子电器设备和要求多路输出的场合。

2.6 反激式开关电源变压器不需要加磁复位绕组。反激式开关电源在开关管切断时，反激变换器的变压器储存的能量向负载释放，磁芯将自然复位，不需要增加磁复位措施。

2.7 在反激式开关电源中的变压器，既具有储能的功能，又具有变换电压和隔离的功能。

3 正激式开关电源的优点和缺点

3.1 正激式开关电源的输出电压瞬态控制特性相对比较好。

正激式变压器开关电源正好是在变压器的初级线圈被直流电压激励时，变压器的次级线圈向负载提供功率输出，并且，输出电压的幅值是基本稳定的，尽管此时的输出功率在不停地变化，但输出电压的幅值基本还是不变的，这就说明正激式变压器开关电源输出电压的瞬态控制特性相对较好。它们只是在控制开关处于断开状态期间，功率输出才会全部由储能电感和储能电容两者同时提供。此时的输出电压虽然受负载电流的影响，但如果储能电容器的容量取值比较大，则负载电流对输出电压的影响也是很小的。

3.2 正激式变压器开关电源的负载能力相对比较强。

由于正激式变压器开关电源通常都是选取变压器输出电压一周的平均值，储能电感在控制开关接通或断开期间都向负载提供电流输出，因此，正激式变压器开关电源的负载能力相对比较强，输出电压的纹波继续比较小。如果要求正激式变压器开关电源的输出电压有较大的调整率，则在正常负载的情况下，控制开关的占空比最好取在 0.5 左右，或稍大于 0.5，此时流过储能滤波电感的电流是连续电流。当流过储能滤波电感的电流为连续电流时，负载能力在对比较强。

3.3 正激式变压器开关电源的电压和电流输出特性要比反激式变压器开关电源好很多。

当电源的控制开关的占空比为 0.5 时，正激式变压器开关电源输出电压 U_o 的幅值正好等于电压平均值 U_a 的两倍，流过滤波储能电感的电流最大值 I_m 也正好是平均电流 I_o （输出电流）的两倍，因此，正激式变压器开关电源的电压和电流的脉动系数 S 都约等于 2，而与反激式变压器开关电源的电压与电流之脉冲系数 S 相比，则大约小一倍，这说明正激式变压器开关电源的电压和电流输出特性要比反激式变压器开关电源好很多。

3.4 正激式变压器开关电源比反激式变压器开关电源多用了一个大容量的储能滤波电感器以及一个续流二极管。这是正激式开关电源电路明显的缺点。此外，正激式变压器开关电源的输出电压受占空比的调制幅度的影响，相对于反激式变压器开关电源来说要低很多。因此，正激式变压器开关电源要求调控占空比的误差信号幅度比较高，误差信号放大器的增益和动态范围也比较大。

3.5 正激式变压器开关电源的体积比较大。

正激式变压器开关电源为了减小变压器的励磁电流，提高工作效率，变压器的伏秒容量通常都取得较大（伏秒容量——以 US 表示——等于输入脉冲电压幅值与脉冲宽度的乘积），并且，为了防止变压器初级线圈产生的反电动势把开关管击穿，正激式变压器开关电源的变压器要比反激式变压器开关电源的变压器多一个反电动势吸收绕组，因此，正激式变压器开关电源的变压器要比反激式变压器开关电源变压器的体积大一些。

3.6 正激式开关电源的变压器初级线圈产生的反电动势电压要比反激式变压器开关电源产生的反电动势电压高。

正激式变压器开关电源的另一个更大缺点是控制开关在断开时，变压器初级线圈产生的反电动势电压要比反激

式变压器开关电源产生的反电动势电压高。因为一般正激式变压器开关电源工作时,控制开关的占空比都取0.5左右,而反激式变压器开关电源控制开关的占空比都取得比较小。

3.7 双管正激式变换器可以应用于较高电压输入,较大功率输出的设备。

4 推挽式开关电源的优缺点

4.1 推挽式开关电源除了电流瞬态响应速度很高,电压输出特性优异。推挽式开关电源是所有开关电源中电压利用率最高的开关电源。

由于推挽式开关电源中的两个控制开关轮流交替工作,其输出电压波形非常对称,并且,开关电源在整个周期之内都向负载提供功率的输出,因此,其输出电流的瞬态响应速度很高,电压输出特性很好。推挽式开关电源是所有开关电源中电压利用率最高的。它们在输入电压很低的情况下,仍然能够维持很大的输出功率,所以推挽式开关电源被广泛的应用于低输入电压的DC/AC逆变器或DC/DC变换器中。

4.2 推挽式开关电源是输出电压特性很好的开关电源。

推挽式开关电源经桥式整流或全波整流后,其输出电压脉动系数和电流脉动系数都很小,因此,仅需要一个很小量值的储能滤波电容或储能滤波电感就可以得到一个电压纹波和电流纹波很小的输出电压。由此可见,推挽式开关电源是一种输出电压特性很好的开关电源。

4.3 推挽式开关电源变压器的漏感以及铜阻损耗都比单极性磁化变压器小很多,开关电源的工作效率很高。

推挽式开关电源的变压器属于双极性磁化,磁感应变化范围是单极性磁化的两倍多,并且,变压器铁芯不需要气隙,因此,推挽式开关电源变压器铁芯的磁导率比单极磁化的正激式反激开关电源的变压器铁芯的磁导率高出很多倍。这样,推挽式开关电源变压器的初级、次级的线圈匝数可以比单极性磁化变化器初级、次级的线圈匝数少一倍以上。所以,推挽式开关电源变压器的漏感以及铜损都比单极性磁化变压器小很多,所以,该开关电源的工作效率很高。

4.4 推挽式开关电源的驱动电路比较简单

推挽式开关电源的两个开关器件有一个公共接地端,相对于半桥式或全桥式开关电源而言,其驱动电路简单得多。

4.5 推挽式开关电源不会像半桥式、全桥式开关电源那样出现两个控制开关同时串通的可能性。

4.6 推挽式开关电源的主要缺点是两个开关器件需要很

高的耐压值。这两个开关器件的耐压必须大于工作电压的两倍。因此,推挽式开关电源在220V交流供电设备中很少使用。此外,直流输出电压可调式推挽式开关电源之输出电压的调整范围比反激式开关电源之输出电压的调整范围比反激式开关电源输出电压的调整范围小很多,并且需要一个储能滤波电感,因此,推挽式开关电源不宜用于要求负载电压变化范围太大的场合,特别是负载很轻或经常开路的场合。

4.7 推挽式开关电源的变压器有两组初级线圈,这对于小功率输出的推挽式开关电源是个缺点,而这对于大功率输出的推挽式开关电源则是个优点。因为大功率变压器的线圈一般都是用多股线绕制,因此,推挽式开关电源的变压器之两组初级线圈与用多股线绕制根本没有区别,并且,两个线圈与单个线圈相比较,可以减低一半电流密度。

4.8 推挽式变换器可以看作两个正激式变换器的组合,在一个开关周期内,这两个正激式变换器交替工作。如果两个正激式变换器不完全对称或不完全平衡时,就会出现直流偏磁的现象;而经过几个周期累计的偏磁,则会使磁芯进入饱和状态,并导致高频变压器的励磁电流过大,甚至损坏开关管。

4.9 推挽式、半桥式、全桥式变换器属于直流——交流——直流变换器,由于直流——交流变换器提高了工作频率,所以,变压器和输出滤波器的体积和重都被减小了。

5 半桥式开关电源的优缺点

5.1 半桥式变压器开关电源的输出功率很大,工作效率很高。因为半桥式变压器开关电源与推挽式变压器开关电源一样,用两个开关管轮流交替工作,相当于两个开关电源同时在输出功率,其输出功率大约等于单一开关管电源输出功率的两倍。因此,半桥式变压器开关电源的输出功率大,工作效率高。其输出功率经桥式整流或全波整流后,输出电压的电压脉动系数 S_v 和电流脉动系数 S_i 都很小,仅需要很小的滤波电感和电容,其输出电压纹波和电流纹波就可以达到非常小。

5.2 半桥式变压器开关电源的开关管耐压值比较低。

半桥式变压器开关电源最大的优点是,对两个开关器件的耐压要求可比推挽式变压器开关电源对两个开关器件耐压要求可以降低一半。因为,半桥变压器开关电源两个开关器件的工作电压只有输入电压 U_i 的一半,其最高耐压等于工作电压与反电动势之和,大约是电源电压的两倍,这个结果恰好是推挽式变压器开关电源两个开关器件耐压

的一半。因此，半桥式变压器开关电源主要用于输入电压比较高的场合，一般电网电压为交流 220V 供电的大功率开关电源大部分都是采用半桥式变压器开关电源。

5.3 半桥式开关电源的变压器初级线圈只需要一个绕组，这也是它的优点，这对于小功率开关电源变压器的线圈绕制带来一些方便。但是，对于大功率开关电源变压器的线圈绕制没有优势，因为大功率开关电源变压器的线圈需要采用多股线来绕制。

5.4 半桥式变压器开关电源的缺点主要是电源利用率比较低，因此，它们不宜用于工作电压较低的场合。另外，半桥式变压器开关电源中的两个开关器件连接没有公共接地端，与驱动信号连接比较麻烦。

半桥式变压器开关电源的最大缺点是，当两个控制开关 K1 和 K2 处于交替转换工作状态时，两个开关器件会同时出现一个很短时间的半导通区域，即两个控制开关同时处于接通状态。这是因为开关器件在开始导通的时候，相当于对电容充电，这从截止状态到完全导通状态需要一个过渡过程，而开关器件从导通状态转换到截止状态时，相当于对电容放电，它从导通状态到完全截止状态也需要一个过渡过程。

当两个开关器件分别处于导通和截止过渡过程时，也就是两个开关器件都处于半导通状态时，相当于两个控制开关同时接通，这就可能造成对电源电压产生短路。因为此时，在两个控制开关的串联回路中将出现很大的电流，而这个电流并没有通过变压器负载，因此，在两个控制开关 K1 和 K2 同时处于过渡过程期间，两个开关器件将会产生很大的功率损耗。为了降低控制开关过渡过程期间产生的损耗，一般在半桥式开关电源的电路中有意识地让两个控制开关的接通和截止时间错开一小段时间。

5.5 单电容半桥式变压器开关电源比双电容半桥式变压器开关电源节省一个电容器，这也是其优点。此外，单电容半桥式变压器开关电源则开始工作时候，输出电压大约要比双电容半桥式变压器开关电源的输出电压高一倍，这一特性非常适合用作荧光灯的电源，包括节能灯，日光灯以及 LCD 显示屏背光灯等。

荧光类灯具一般在开始点亮的时候需要很高的电压，大约几百伏到几千伏，而灯被点亮之后，工作电压则才需要几十伏到 100 多伏，因此，几乎所有的节能灯具都是使用单电容半桥式变压器开关电源。

5.6 单电容半桥式变压器开关电源也有一些缺点，主要

是其开关器件的耐压要求比双电容半桥式变压器开关电源的耐压要求高。

6 全桥式变压器开关电源的优缺点。

6.1 全桥式变压器开关电源的输出功率大、工作效率高。

全桥式变压器开关电源与推挽式变压器开关电源一样，由于两组开关器件轮流交替工作，相当于两个开关电源同时输出功率，其输出的功率约等于单一开关电源输出功率的两倍。因此，全桥式变压器开关电源输出功率很大，工作效率很高，经桥式整流或全波整流后，其输出电压的电压脉动系数 S_v 和电流脉动系数 S_i 都很小，也就是说，仅需要一个很小量值的储能滤波电容或储能滤波电感，就可以得到一个电压纹波和电流纹波都很小的输出电压。

6.2 全桥式开关电源的开关管耐压值可以很低。

全桥式变压器开关电源突出的优点是，对其四个开关器件的耐压值要求比推挽式变压器开关电源对两个开关器件的耐压值要求可以下降一半。因为，全桥式变压器开关电源的四个开关器件分成两组，工作时两个开关器件互相串联，关断时，每个开关器件所承受的电压，只有单个开关器件所承受电压的一半。其最高耐压等于工作电压和反电动势之和的一半，这个结果正好是推挽式变压器开关电源两个开关器件耐压的一半。

6.3 全桥式变压器开关电源主要用于输入电压比较高的设备。在输入电压很高的情况下，采用全桥式变压器开关电源，其输出功率要比推挽式变压器开关电源的输出功率大很多。因此，一般电网电压为交流 220V 供电的大功率开关电源大部分都是使用全桥式变压器开关电源。而在输入电压较低的情况下，推挽式变压器开关电源的输出功率又要比全桥式变压器开关电源的输出功率大很多。

6.4 全桥式变压器开关电源的电源利用率比推挽式变压器开关电源的电源利用率低一些，因为两组开关器件互相串联，两个开关器件接通时总的电压降要比单个开关器件接通时的电压降大一倍，但比半桥式变压器开关电源的电源利用率高很多。因此，全桥式变压器开关电源也可以用于工作电源电压比较低的场合。

6.5 与半桥式开关电源一样，全桥式变压器开关电源的变压器初级线圈只需要一个绕组，这也是其优点，这为小功率开关电源变压器线圈的绕制将带来一些方便。但这对

于大功率开关电源变压器线圈的绕制没有优势，这是由于大功率开关电源变压器线圈是用多股线绕制的。

6.6 全桥式变压器开关的缺点主要是功率损耗比较大，因此，全桥式变压器开关电源不适宜用在工作电压较低的设备，否则工作效率会很低。此外，全桥式变压器开关电源中的四个开关器件连接没有公共接地端，这将与驱动信号连接比较麻烦。

6.7 全桥式开关电源的又一缺点是会产生半导通区间，使损耗增大。

这也是全桥式开关电源的最大缺点：当两组控制开关 K1、K4 和 K2、K3 处于交替转换工作状态时，四个开关器件会同时出现一个很短时间间隔的半导通区间，即两组控制开关同时处于接通状态。这是因为开关器件在开始导通的时候，相当于对电容充电，它们从截止状态到完全导通状态需要一个过渡过程。而开关器件从导通状态转换到截止状态的时候，相当于对电容放电，故从导通状态到完全截止状态也需要一个过渡过程。

当两组开关器件分别处于导通和截止过渡过程时，即两组开关器件都处于半导通状态时，相当于两组控制开关

同时接通，它们会造成对电源电压的短路。此时，在四个控制开关的串联回路中将出现很大的电流，而这个电流并没有通过变压器负载，因此，四个控制开关 K1、K4 和 K2、K3 同时处于过渡过程区间，四个开关器件将会产生很大的功率损耗。为了降低控制开关过渡过程产生的功率损耗，一般在全桥式开关电源电路中，有目的地让两组控制开关的接通和截止时间错开很小一段时间。

6.8 双端隔离式 PWM DC/DC 变换器

这种变换器是指在一个开关周期内，功率从隔离变压器的初级绕组的一端和另一端交替输入的变换器。双端隔离式 PWM DC/DC 变换器的磁芯在 B-H 平面坐标系的第一和第三象限运行，所以，磁芯可以得到充分的利用。

7 小结

文章简要介绍了反激式开关电源等五种类型开关电源的拓扑结构和其使用中表现的优缺点，供产品设计师们选用参考。

（参考资料略）