

中文摘要

在现代生活中，电力成为了人们不可分割的一部分，随着电力设备的不断发展，许多相应的问题都出现了。谐波污染和无功问题尤为严重。对此，许多国家都制定了相应的措施来解决这些问题，我国也对谐波污染出台了一系列标准，而我国对高功率因数单极性倍频电压型 PWM 整流器的研究起步较晚，对单极性倍频电压型 PWM 整流技术的工程应用研究还有待继续深入。因此，本文对单极性倍频电压型 PWM 整流器进行研究，对其进行单极性和双极性 PWM 调制分析，分析其工作原理，给出驱动、控制电路设计方案，并用仿真软件PLECS 对理论分析进行验证。

关键词 电压型 PWM 整流器 单极性倍频 双极性

毕业设计说明书（论文）外文摘要

Title Research on Unipolar Frequency Double Voltage PWM Rectifier

Abstract In modern life, electricity has become an inseparable part of people. With the continuous development of power equipment, many corresponding problems have appeared. Harmonic pollution and reactive power problems are particularly serious. In this regard, many countries have formulated corresponding measures to solve these problems. my country has also issued a series of standards for harmonic pollution. my country's research on high power factor unipolar frequency doubled voltage type PWM rectifiers started late. The engineering application research of unipolar frequency doubling voltage -type PWM rectification technology still needs to be further deepened. Therefore, this paper studies the unipolar frequency-doubled voltage-type PWM rectifier, analyzes its unipolar and bipolar PWM modulation, analyzes its working principle, gives a design plan for the drive and control circuit, and uses the simulation software PLECS to analyze the theory Analyze to verify.

Keywords Voltage type PWM rectifier unipolar frequency doubler bipolar

目录

1 绪论	1
1.1 单相 PWM 整流器研究概况.....	1
1.2 单相 PWM 整流器的分类及其拓扑结构.....	1
1.3 本课题的研究任务	4
2 单相 PWM 整流器的原理及数学模型	5
2.1 单极性 PWM 调制.....	5
2.2 双极性 PWM 调制.....	7
2.3 单相 PWM 整流器的数学模型.....	8
3 单相 PWM 整流器的控制策略	11
3.1 前馈型直接电流控制	11
3.2 锁相环控制	13
4 主电路设计	14
4.1 交流侧电感设计	14
4.2 直流侧电容设计	16
5 仿真分析结果	18
5.1 仿真参数	18
5.2 仿真电路图	18
5.3 PLECS 仿真波形图	19
结束语	22
致 谢	23
参 考 文 献	24

1 绪论

1.1 单相 PWM 整流器研究概况

在 20 世纪 60 年代出现了 PWM 技术,这种技术最先在直流变换电路中运用。PWM 技术的开关频率是固定的,它可以调节直流侧输出量的大小,这是 PWM 技术通过控制开关管的导通和关闭来实现的。后来,一位日本学者经过研究,发现了 PWM 技术和频率控制有很大的关联。它们两者结合起来可以运用于交流电机控制的逆变电路中,这种新颖的技术可以将输出电压中的谐波含量降低,也使得电压控制和频率控制都可以在逆变电路中实现。自此以后, PWM 的技术发展就越来越快了,但其中出现的问题也有不少,功率开关器件的问题尤为突出。到了 20 世纪 70 年代, PWM 技术发展迅速,单相整流电路也在其中运用了起来,半控功率开关器件的发展也很迅速,在电路中也经常能用到。到了 20 世纪 80 年代,单相整流器的研究越来越多,这使得功率开关器件得到了快速进步,这让很多技术也在不断进步。功率半导体技术、传感器技术、电路拓扑结构的多样化、电路的控制策略以及连续和离散数学模型的提出,都极大的促进了单相 PWM 整流器的发展。这也给新的技术提供了支持,如光伏太阳能并网发电、交流传动、柔性交流电传输等。这些都将给 PWM 整流技术的研究带来推动作用。

1.2 单相 PWM 整流器的分类及其拓扑结构

PWM 整流器有不同的分类方式,从人们平常研究的话来说,它主要分为两大类,电流型和电压型。电流型整流器不算太常见,电压型整流器是比较热门的。它们两者之间有共同点,也有不同的地方。不管是电流型还是电压型整流器,二者的功能或者目的都是为了得到稳定的电压或者电流。虽然其目的相同,但是在一些方面还是有所不同,例如 PWM 信号、电路拓扑结构以及控制方法等。PWM 整流器的分类多种多样,按照不同的标准可以分成不同的类型。例如,按照开关调制方式可以分为还有不硬开关调制整流器和软开关调制整流器、按照桥路结构可以分为半桥电路整流器和全桥电路整流器等、按照电网相数分为单相、三相和多相电路整流器。当前,随着技术不断更新, PWM 整流器发展、更新较快,当前对于整流器的研究主要集中在单相电压型 PWM 整流器上。它的拓扑结构比较简单,它的控制方法也很多,所以下文将对单相 PWM 整流器进行细节展开。

1.2.1 单相半桥型 PWM 整流电路

单相半桥型 PWM 整流器的拓扑结构较为简单，整个电路的器件并不多，电路包含两个桥臂，两个电容，还有交流电源和电阻电感等。两个电容串联在一个桥臂上，电容可以起到直流储存能量的作用。功率开关器件上反并联了续流二极管。这个电路拓扑结构较为简单，便于平常的研究。因此，整个电路适合于一些小功率、低成本的情况。半桥型电路的功率开关器件为全桥型的一半，正因为如此，半桥型电路的功率开关器必须要有足够的耐压能力。但是在实际情况中，半桥型电路直流侧的电容需要进化中点电压平衡控制，这就使半桥型电路的控制难度大大增加。

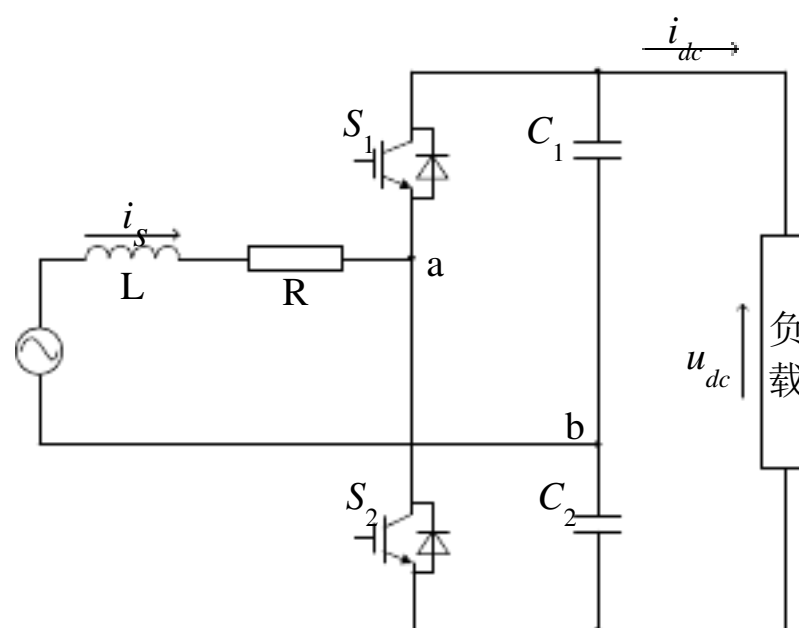


图 1.1 单相半桥型 PWM 整流电路拓扑

1.2.2 单相全桥型 PWM 整流电路

下图 1.2 所示为单相全桥 PWM 整流电路，它有四个功率开关器件，它的直流侧只有一个电容，功率开关管反并联了二极管。整个电路看起来很简单，电路控制起来也很方便，是现在用来学习的一种普通电路拓扑结构。

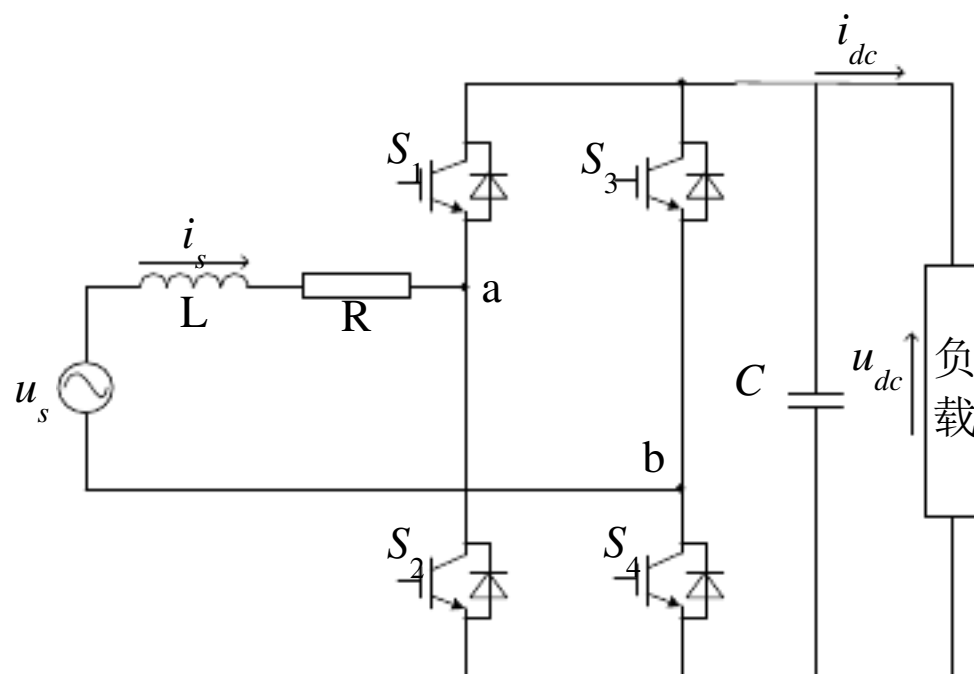


图 1.2 单相全桥型 PWM 整流电路拓扑

1.2.3 三电平单相 PWM 整流器拓扑结构

三电平单相 PWM 整流器的拓扑结构很复杂，它的结构比二电平结构复杂不少。因此它暴露出来的问题不少，它的控制方法较为复杂。三电平电路的每一个桥臂上串联了 4 个功率开关器件，功率开关管上反并联了续流二极管，它的输入测电流波形较为稳定，呈现正弦波状态。三电平电路的桥臂上还连接着二极管，这些二极管起着重要的作用。三电平的直流侧电容电压如果解决不好的话，就会产生一些不容忽视的问题。即电压不平衡会导致开关器件损坏。因此，在电路设计过程中需要加入中电电压来平衡。

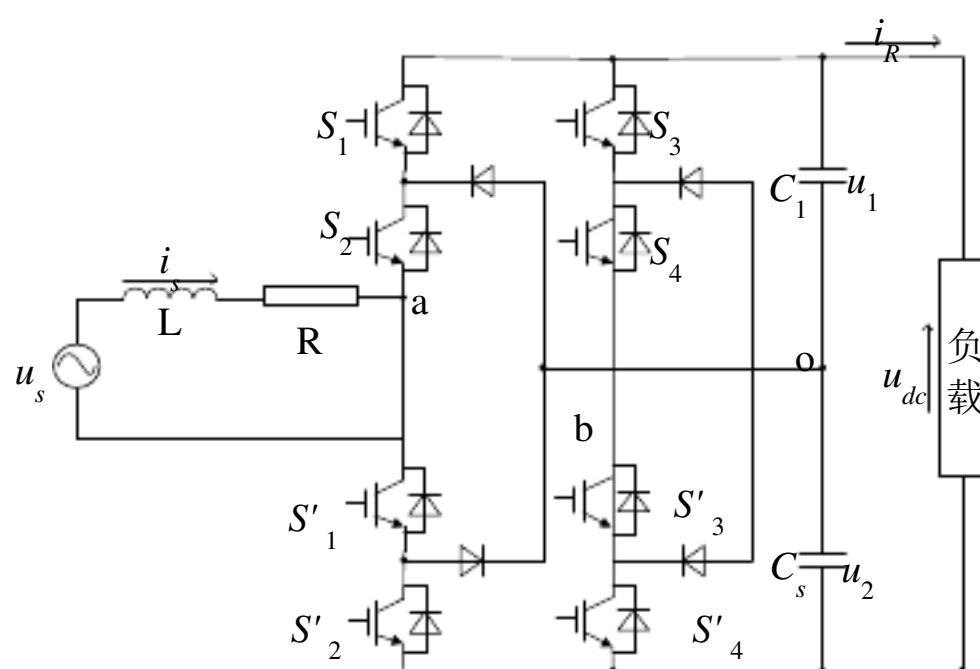


图 1.3 三电平单相 PWM 整流器拓扑结构

1.2.4 混合三电平单相 PWM 整流器拓扑结构

混合型三电平单相 PWM 整流器的结构也较为复杂，它有左右两个桥臂，每个桥臂上都有功率开关器件，整个电路还有电容、电阻和电感等器件。右桥臂上的开关管受到的电压应力和左桥臂上是不同的，它受到的电压应力和直流侧电容电压受到的电压应力是一致的。但是左桥臂开关管受到的电压应力没有直流侧电压所受到的大，从电路的拓扑结构来看，左桥臂开关管受到的电压应力应为直流侧电压的一半。

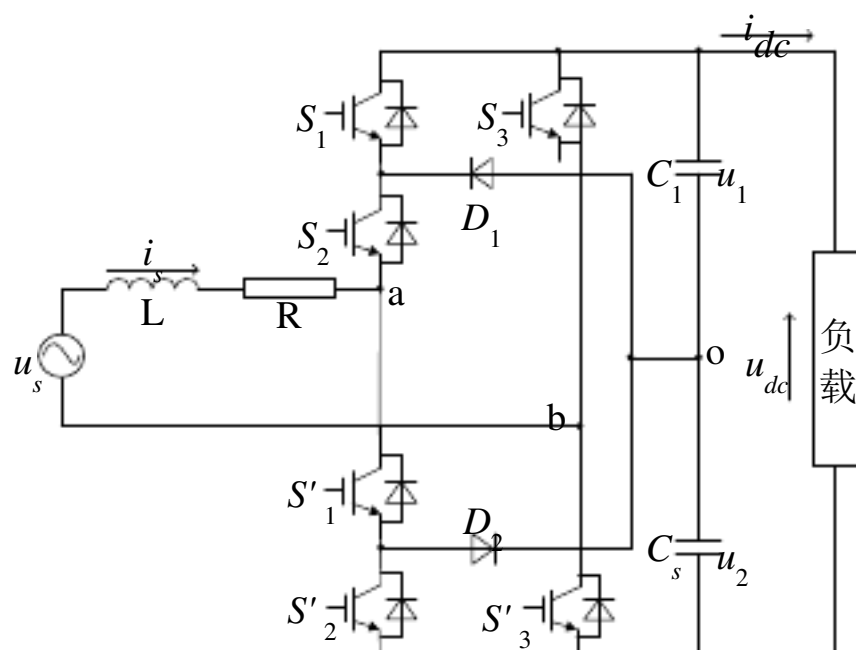


图 1.4 混合三电平单相 PWM 整流器拓扑结构

1.2.5 电流型单相 PWM 整流器

从图 1.5 中可以看到整个电路的直流侧上有电感，这使得它可以直流储存能量，所以其直流侧相当于一个电流源，并且这个电流源有着很高的阻抗值。电流型单相整流电路的桥臂上有功率开关管和二极管，这些二极管和功率开关管是同方向上的，这些二极管可以保证电流的正向流动。如果电流反向流动了，这些二极管会截断电流。整个电路的交流侧上有电容，电容可以起到滤波的作用。这样一来，交流测的电流谐波会减小。电流型整流器和电压型整流器还是有一些差别的，两者都有各自的优缺点。在现实条件下，电流型整流器的控制更加简单、方便，这样控制出来的电流更加稳定，整个电路也会有更快的响应速度。

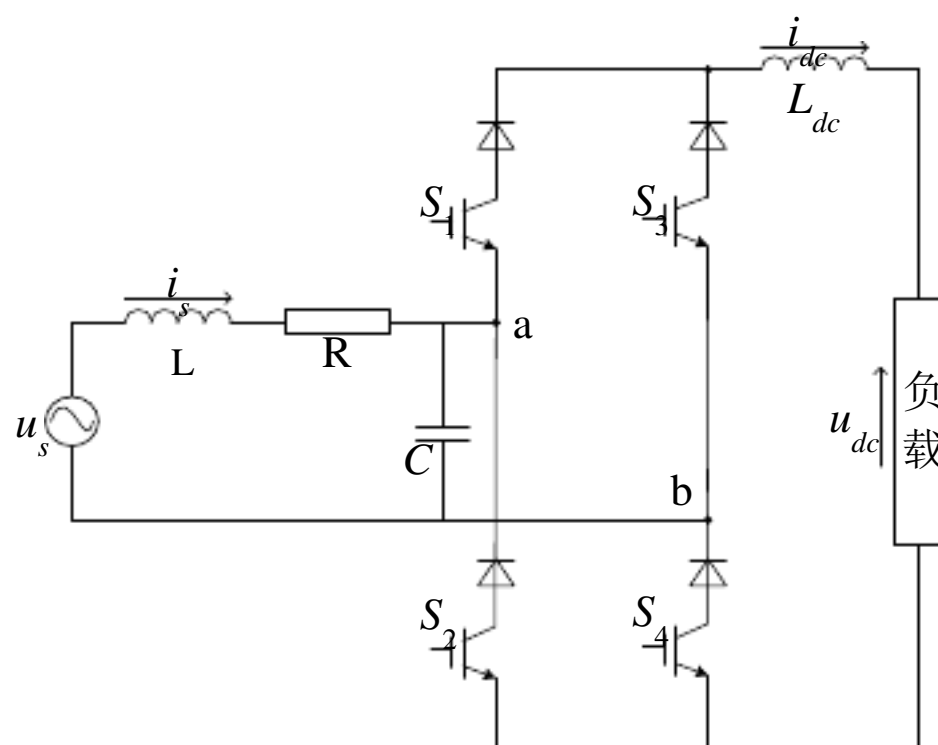


图 1.5 电流型单相 PWM 整流器拓扑结构

1.3 本课题的研究任务

电压型 PWM 整流器可实现单相 AC/DC 变换和网侧单位功率因数控制，因包含两个桥臂而具有调制自由度多的优势。本课题要求对单极性倍频电压型 PWM 整流器进行研究，广泛阅读有关书籍和文献资料，分析并整理有关资料。分析并掌握电路模式、工作原理、参数设计方法、调制策略、闭环控制策略等，并用 PLECS 软件进行仿真。

2 单相 PWM 整流器的原理及数学模型

单相 PWM 整流器的拓扑结构有很多种，它们各有各的优点和缺点。在这其中，单相全桥 PWM 整流器的结构简单，控制比较容易、方便。因此，本文将对单相全桥 PWM 整流器进行全面描述。单相全桥型 PWM 整流电路的控制方法必须明确，要想控制整个电路，需要使输入功率因数为 1，还需要控制整个电路的输出直流母线电压，使这个电压也趋于稳定。这两种控制都离不开所输入电流的影响。输入电流和电压之间的影响是相互的。输入电流影响输出电压，而电路的整流桥侧还有基波电压，基波电压的幅值和相位也会影响输入电流。可以看出，整个电路的控制都是相互影响，缺一不可。下面将对单极性调制和双极性调制的具体模态工作方式详述，这两种调制有较为相似的地方，它们都为 PWM 整流器交流测基波电压的调制方法。

2.1 单极性 PWM 调制

观察上图 1.2 的单相全桥 PWM 整流电路的拓扑结构，用单极性对整流电路进行调制，整流电路交流测的电压值将会有不一样的结果。分别为 u_{dc} 、0、 $-u_{dc}$ 。其中，当输入交流电压的基波在正半周期时，电压 u_{ab} 将会在 u_{dc} 和 0 之间切换，当网侧电压在负半周期时，电压 u_{ab} 将会在 $-u_{dc}$ 和 0 之间切换。所以当我们采用单极性 PWM 调制这种方法时，单相全桥 PWM 整流电路将会有四种工作模态。如下表 2.1 所示。

表 2.1 单极性 PWM 调制的工作模式

开关模式	1	2	3	4
导通器件	$S_1 (D_1)$ $S_4 (D_4)$	$S_2 (D_2)$ $S_3 (D_3)$	$S_1 (D_1)$ $D_3 (S_3)$	$S_2 (D_2)$ $D_4 (S_4)$
$u_{ab}(t)$ 的值	u_{dc}	$-u_{dc}$	0	0

从 2.1 表中所示，模式 3 和模式 4 中的 u_{ab} 的值为 0。也就是说，单相整流桥交流测的电压为 0。对于单相全桥整流电路来说，在不同的工作模式下，输入电流的方向不同，会出现 6 种不同的电路模态。下图即为 6 种不同的电路模态图，电流和电压的参考方向如箭头所示。

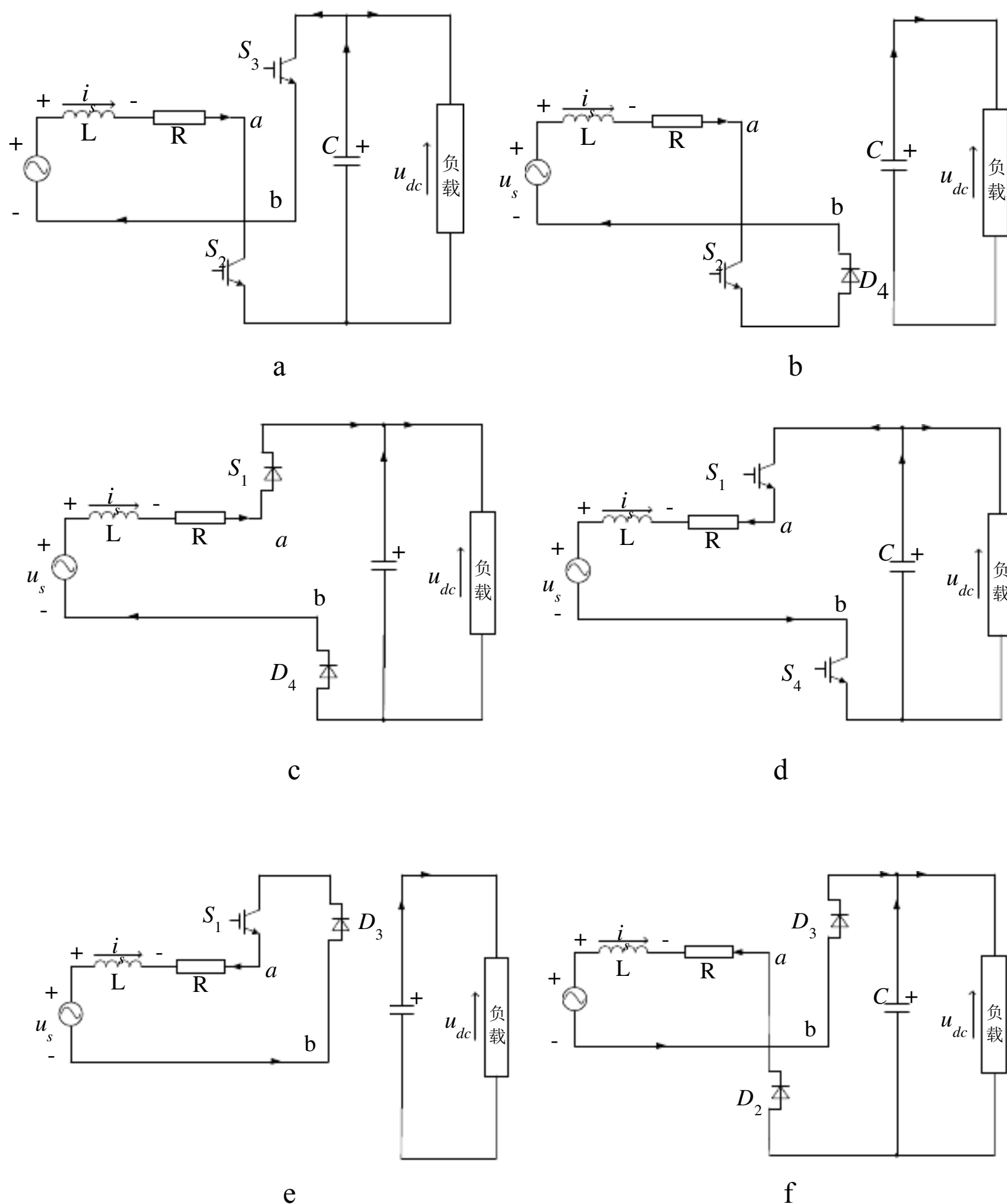


图 2.2 单极性 PWM 调制等效电路

图 2.2a 中所示电路是与模式 2 相符合的。首先，输入大于 0 的电流 i_s 。这时，电流的流向为 $L-R-S_2-C-S_3-u_s$ 。然后，电流 i_s 增加。这时电感电压大于 0，其储存的能量就会增加，同时电容就会负载供电，并且与电源同向给电感充电。

图 2.2b 中所示电路是与模式 4 相符合的。首先，输入大于 0 的电流 i_s 。这时，电流的流向为 $L-R-S_2-D_4-u_s$ 。然后，电流 i_s 增加。这时候的电感电压就会大于 0，其储存的能量就会增加，电容给负载供电，电源向电感充电。

图 2.2c 中所示电路是与模式 1 相符合的。首先，输入大于 0 的电流 i_s 。这时，电流的流向为 $L-R-D_1-C-D_4-u_s$ 。然后，电流 i_s 减小。这时电感电压小于 0，其储存的能量

减少，电源和电感共同向电容充电，并给负载供电。

图 2.2d 中所示电路是与模式 1 相符合的。首先，输入小于 0 的电流 i_s 。这时，电流的流向为 $u_s-S_4-C-S_1-R-L$ 。然后，电流 i_s 增加。这时电感电压小于 0，其储存的能量增加，电容给负载供电，并与电源同向给电感充电。

图 2.2e 中所示电路是与模式 3 相符合的。首先，输入小于 0 的电流 i_s 。这时，电流的流向为 $u_s-D_3-S_1-R-L$ 。然后，电流 i_s 增加。这时电感电压小于 0，其储存的能量增加，电容给负载供电，电源向电感充电。

图 2.2f 中所示电路是与模式 2 相符合的。首先，输入小于 0 的电流 i_s 。这时，电流的流向为 $u_s-D_3-C-D_2-R-L$ 。然后，电流 i_s 减小。这时电感电压大于 0，其储存的能量减少，电源和电感共同向电容充电，并给负载供电。

从上述电路图以及其工作模态可以知道，单相全桥 PWM 整流器在进行单极性 PWM 调制的时候与 Boost 型电路相当。通过对交流侧电感的能量储存和直流侧电容的稳压，就可以得到更高的输出母线电压。

2.2 双极性 PWM 调制

与上述单极性 PWM 调制的方法不同，在双极性调制策略下，单相整流桥交流侧电压 u_{ab} 将会出现两种不同的数值： u_{dc} 和 $-u_{dc}$ 。而在这时，与上述多种工作不同，单相全桥整流电路就仅仅只有两种工作模态，如下表 2.2 所示。

表 2.2 双极性 PWM 调制的开关模式

开关模式	1	2
导通器件	$S_1 (D_1)$ $S_4 (D_4)$	$S_2 (D_2)$ $S_3 (D_3)$
$u_{ab}(t)$ 的值	u_{dc}	$-u_{dc}$

双极性 PWM 调制方法也很容易，它和单极性调制方法差不多，当整流器电路输入的电流方向不同时，电路的工作模式都不一样，电流在电路中的流向也不一样。从下图可以知道电路有四种模态，电流和电压的方向都为箭头所指方向。

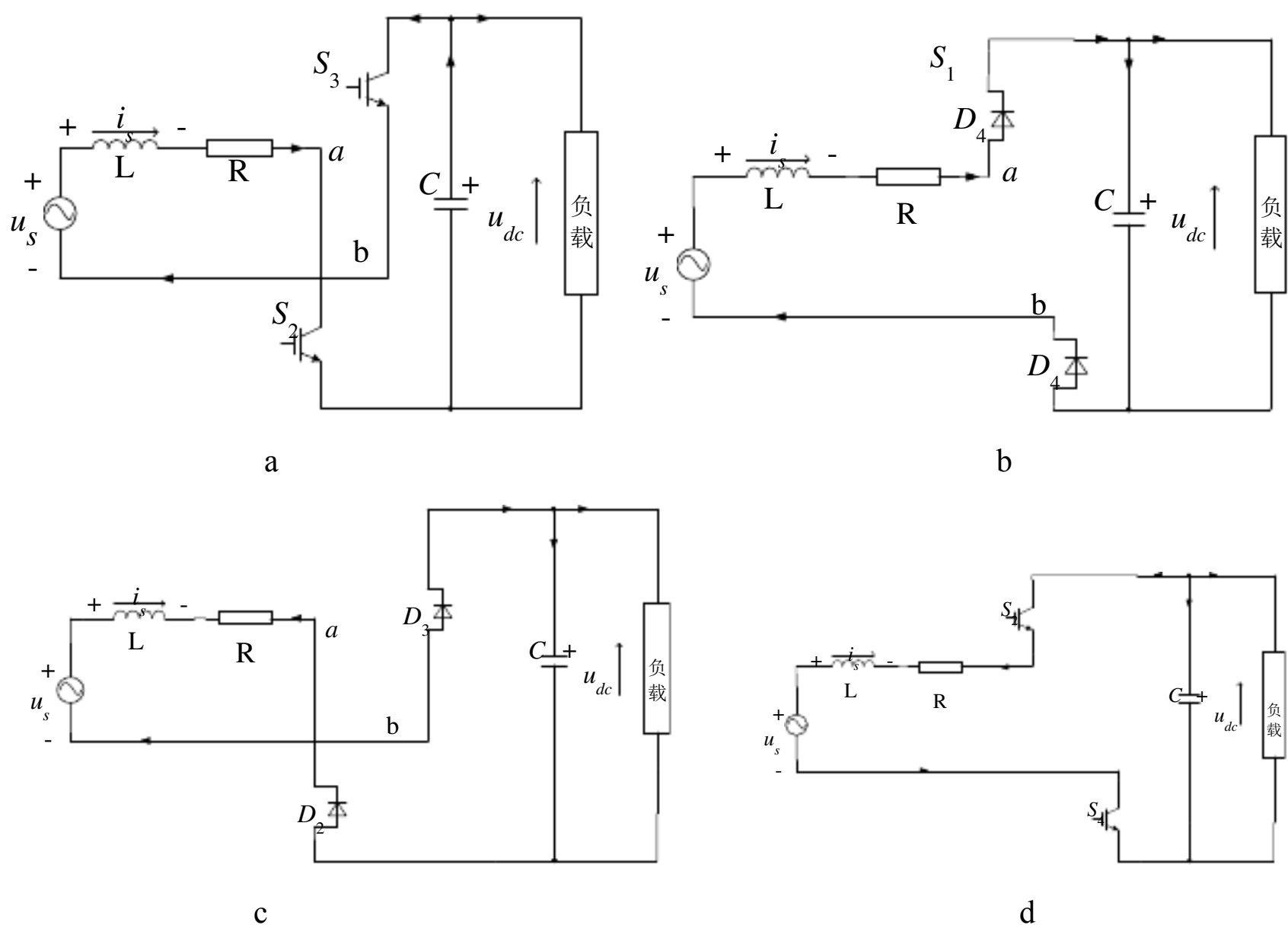


图 2.3 双极性 PWM 调制等效电路

图 2.3a 所示的电路与模式 2 一致。当输入电流 i_s 大于 0 时，电流变为 $L-R-S_2-C-S_3-u_s$ ，增加电流 i_s 。也就是说，电感器电压大于 0，其积蓄能量增加，电容器向负载供给电力，和电源一起给电感器充电。

图 2.3b 所示的电路与模式 1 一致。当输入电流 i_s 大于 0 时，电流变为 $L-R-D_1-C-D_4-u_s$ ，减小电流 i_s ，电感器电压小于 0，所积蓄的能量减少，电源和电感器一起给电容器充电，给负载供电。

图 2.3c 所示的电路与模式 1 一致。当输入电流 i_s 小于 0 时，电流的流动为 $u_s-S_4-C-S_1-R-L$ 。电流 i_s 持续增加的话，电感器电压小于 0，积蓄的能量增加。电容器向负载供给电力，和电源一起给电感器充电。

图 2.3d 所示的电路与模式 2 一致。当输入电流 i_s 小于 0 时，电流的流动方向为 $u_s-D_3-C-D_2-R-L$ ，当电流 i_s 减小时，电感器电压大于 0 时，积蓄的能量减少。电源和电感器电容器一起充电，向负载供给电力。

2.3 单相 PWM 整流器的数学模型

为了单相 PWM 整流器数学模型成功的建立，笔者将图 2.4 中的功率开关管视为理想开关，这样就会得到一个关于全桥型单相 PWM 整流器的简化电路（如下图）。

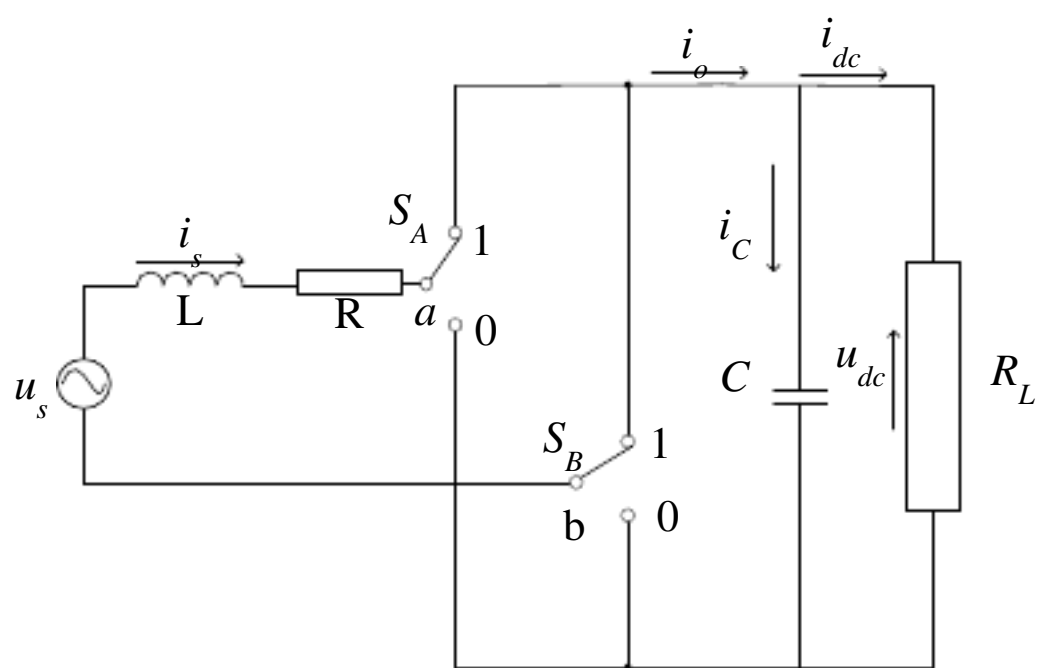


图 2.4 单相 PWM 整流器简化电路

当开关处于 S_A 位置时；1 状态表示 S_1 开通， S_2 关断。当开关处于 S_A 位置时；0 状态表示 S_1 关断， S_2 开通。

当开关处于 S_B 位置时；1 状态表示 S_3 开通， S_4 关断。当开关处于 S_B 位置时；0 状态表示 S_3 关断， S_4 开通。

从上诉分析看来，因为单相全桥电路的桥臂是不可以同时导通得，所以其有四种不同得开关组成情况，这四种情况分别对应着三种不同的整流桥交流测电压 u_{ab} ，即

- (1) $u_{ab} = u_{dc}$; $S_A = 1$, $S_B = 0$
- (2) $u_{ab} = 0$; $S_A = 0$, $S_B = 0$ 或者 $S_A = 1$, $S_B = 1$
- (3) $u_{ab} = -u_{dc}$; $S_A = 0$, $S_B = 1$

则 u_{ab} 与开关函数的关系为，

$$U_{ab} = (S_A - S_B) u_{dc} \quad (2.1)$$

下图 2.5 为简化后的交流测电路图，这个图对单相 PWM 整流器的数学模型的建立起了很大帮助。

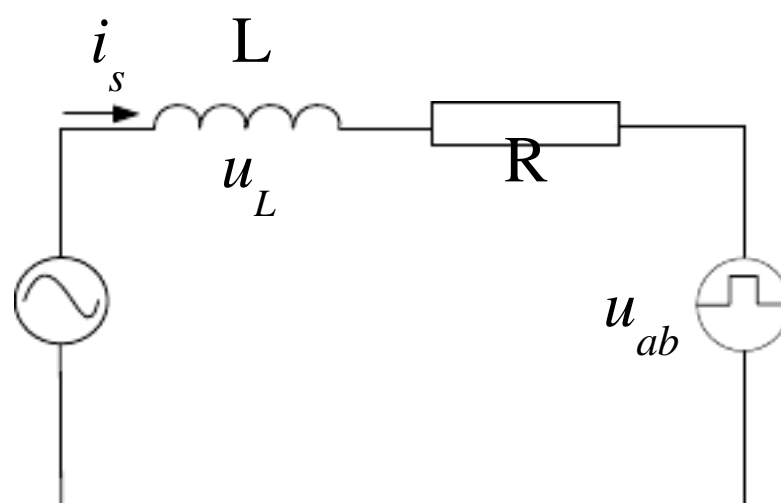


图 2.5 单相 PWM 整流器交流侧简化电路

根据该交流侧等效电路可以得出电压矢量平衡方程为，

$$u_s = u_{ab} + R_s i_s + L_s \frac{di_s}{dt} \quad (2.2)$$

把功率开关管看作理想的模型，它在换相的过程中，功率开关管没有损失功率，也没有能量的积蓄，那么直流侧和交流侧的瞬时功率应该相等，即

$$u_s i_s = u_{dc} i_o \quad (2.3)$$

$$i_o = (S_A - S_B) i_s \quad (2.4)$$

根据基尔霍夫电流定律，在直流侧有电流平衡方程，

$$i_o = \frac{u_{dc}}{R_L} + C \frac{du_{dc}}{dt} \quad (2.5)$$

综合上面的公式可以得到单相 PWM 整流器状态方程为

$$L \frac{di_s}{dt} = u_s - i_s R_s - (S_A - S_B) u_{dc} \quad (2.6)$$

$$C \frac{du_{dc}}{dt} = (S_A - S_B) i_s - \frac{u_{dc}}{R_L} \quad (2.7)$$

上面的数学公式都有关联，它们都在围绕输入电流和直流电压两者间的关系。对输入电流合理控制，对直流电压合理控制，这样可以更好的对电路进行理解。可以更好的对电路控制策略进行学习。

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/608122014136006056>