

双向直流变换器的设计仿真研究

摘要

双向 DC/DC 变换器正逐步被使用在各种能量系统中,包括混合动力车、燃料电池系统、可再生能源系统等。电动汽车近年来发展迅速,但电动汽车的动力性能仍是制约电动车发展的重要因素。双向 DC/DC 变换器可以优化电动车的控制及提高电动车的效率和性能。

本论文针对双向 DC/DC 变换器在电动车上的应用,对双向 DC/DC 变换器进行研究。通过查阅国内外的论文,然后对变换器进行分析研究。论文先从单向 DC/DC 变换器的拓扑进行分析,通过分析比较四种不隔离双向直流变换器。最后选择双向半桥 DC/DC 变换器作为分析研究的拓扑结构。论文分析了双向半桥变换器不同的工作的模式。根据变换器的设计要求,通过理论计算出各个器件的参数。使用 MATLAB/Simulink 进行仿真,将仿真结果与理论计算进行比较会发现仿真证明了理论计算的正确性。论文最后分析了变换器的损耗和效率,就怎样提高效率和计算损耗提出了些方法和途径。

关键词:双向 直流/直流 变换器 拓扑 损耗 效率

I

Abstract

Bidirectional DC/DC converter is gradually being used in a variety of energy in the system, including hybrid cars, fuel cell systems, renewable energy systems. Electric vehicle development rapidly in recent years, but still the dynamic performance of electric vehicles is an important factor restricting the development of electric vehicles.

Optimal control of electric vehicles can be bi-directional DC/DC converter and improve the efficiency and performance of electric vehicle.

In this paper, the application of bi-directional DC/DC converter in the electric vehicle, conducts the research to the bidirectional DC/DC converter. Through access to domestic and foreign papers, and then to the converter analysis. The paper first carries on the analysis from the topology of unidirectional DC/DC converter, through the analysis and comparison of four kinds of non isolated bi-directional DC / DC converter. Finally select the half bridge DC/DC converter as topological structure analysis. This paper analyzes the different half bridge converter work mode. According to the design requirement of converter, calculated by the theoretical parameters of each device. Using MATLAB/Simulink simulation, the simulation results and theoretical calculations are compared will find the simulation proves the correctness of the theoretical calculation. At the end of the paper analyzes the loss and efficiency, puts forward some methods and ways of how to improve the efficiency and loss calculation.

Key word: bidirectional dc / dc converter topology loss efficiency

II

目 录

摘

要

.....

.... I

Abstract	
.....	
.... II	
绪	
论	
.....	
... 1	
1 双向 DC/DC变换器的介	
绍	
..... 4 1.1 双向 DC/DC变换器的实际运	
用	
..... 4 1.2 常见的关于双向 DC/DC变换器的控	
制	
4	
1.3 双向 DC/DC变换器的电路拓	
扑	
..... 5 1.4 本章小	
结	
..... 7	
2 双向 DC/DC变换器的模型及其参数设	
置	
8	
2.1 双向半桥变换器的拓扑分	
析.....	

.....	8 2.2 双向半桥电路参数设置	.....
置	.....	.....
.....	10 2.3 本章小结	.....
结	.....	.....
.....	10 3 双向 DC/DC 变换器的仿真	.....
真	.....	.....
.....	11 3.1 MATLAB/Simulink 软件的介绍	.....
绍	.....	.....
.....	11 3.2 建立仿真模型	.....
型	.....	.....
.....	12 3.3 仿真系统的参数设置	.....
置	.....	.....
.....	13 3.4 仿真结果及分析	.....
析	.....	.....
.....	14 3.5 本章小结	.....
结	.....	.....
.....	18 4 双向 DC/DC 变换器的损耗与效率	.....
率	.....	.....
.....	19 4.1 双向 DC/DC 变换器的主要损耗分析	.....
析	.....	.....
...	19	.....

4.2 变换器的主要损

耗

..... 19 4.3 本章小

结

..... 21 结

论

..... 错误~未定义书签。

致

谢

.....

23

参考文

献

..... 24

III

绪 论

(1) 双向 DC/DC变换器的概念

双向 DC/DC变换器是 DC/DC变换器的双象限运行。它的输入,输出电压极性不变,输入,输出电流的方向可以改变。变换器的输出状态可以在 V-I 的第一,

[1]二象限内变换,即双向 DC/DC变换器实现了能量的双向传输。从基本的变换器拓扑上看,用双向开关代替单向开关就可以实现能量的双向流动。

双向 DC/DC变换器可以实现能量的双向流动,在功能上相当于 2 个单向 DC/DC 变换器,是比较典型的“一机两用”设备。在需要能量双向流动的应用场

[1]合可以很大幅度减轻系统的体积与重量及成本,这是极具研究价值的。

(2) 双向 DC/DC变换器的应用场合

当在一个系统中的直流电源间需要能量的双向流动，此时这些场合都需要双向 DC/DC变换器。例如燃料电池系统、可再生能源系统、不停电电源系统、直流电机驱动系统、航空航天电源系统、电动汽车系统等各种系统中都有其应用的场合。

实际上一些这样的系统已经走进了我们的生活中，例如具有双向功能的充电器在供电网正常时用于向蓄电池充电，一旦供电网供电中断，该电器可将电池电能返回电网，向电网短时应急供电。控制直流电动机的变换器也应是双向的，电动机工作时，将电能从电源送到电动机，电动机旋转，带动设备工作，制动时电机能量通过变换器返回电源。

(3) 双向 DC/DC变换器的现状

20 世纪 80 年代初，为了减轻人造卫星的太阳能电源系统的重量与体积，美国学者提出 Buck/Boost 型双向 DC/DC变换器代替蓄电池的充电器和放电器，实

[2] 现汇流条的电压的稳定。此后，发表大量文章对人造卫星用蓄电池调节器进行了深入研究，并使之进入实用阶段。

1994 年 F.Caricchi 等研制成功电动车驱动用 20KW水冷式双向直流变换器。同时香港大学陈清泉教授也开展了电动车用双向直流变换器的研究和试验工作。1998 年美国弗吉尼亚大学李泽元教授开始从事与燃料电池配套的双向直流变换器的研究。可见，航天电源和电动车辆的需求是直流双向变换器的发展动力，而开关直流变换器技术的发展为双向直流变换器的发展奠定了技术基础。

1

双向直流变换器和电力电子变换器一样，基本要求是相同的。对电力电子变换器和开关电源的基本要求是：高的工作可靠性、低的生产和使用费用、好的维

[3] 修性、小的体积或重量和优良的电气性能。

可靠性是最主要的要求，它是衡量成功率的尺度，通常以平均故障间隔时间MTBF来表示，也可用平均故障间隔时间倒数—故障率，即每一千工作小时的故障次数表示。高的可靠性来自良好的设计、认真的制造、全面的检查、合理的使用、准确的安装和正确的维修。

生产与使用费用是衡量变换器的第二个重要标准，也是提高产品竞争力的主要因素，因尽量在满足产品技术要求的前提下减少生产和使用费用。必须注意到电力电子技术正在蓬勃发展，新器件、成件、材料、电路拓扑、结构工艺不断更新，电力电子产品也必须不断更新，发展新产品同样是提高竞争力的因素。

维修好坏是衡量电力电子产品的第三个重要因素。从现有市场来看，电力电子产品有两类：一类是小功率模块，另一类是中大功率装置。小功率是免维护的它主要是提高平均故障时间间隔。对中大功率的变换装置，是对装置的各个部件进行运行前的初始自检和运行自检，随时发现故障和指示故障部位，并采用插件结构，以提高维修性。

减小体积和重量是航天设备的基本要求，因为内部设备重量的减小和航天器的性能提高是分不开的。精心的设计是减小体积和重量的基础，必须充分发挥产品各部分的材料、成件和部件的电、磁、热力和机械性能。

电力电子变换器的电气性能包括对供电电源的适应性、输出电能质量、电能转换效率和电磁兼容性的方面。电力电子变换器是一种电能变换器，将一种电能转换成另一种或多种质量更高或按要求变化的电能，它应能在供电电源不正常条件下输出高质量电能，在供电电源故障排除后仍能正常工作。提高电能转换效率是电力电子变换器技术永恒的课题。

从以上对电力电子变换器的五个基本要求出发，可以归纳出电力电子变换器的发展方向，即提高功率密度、提高效率、减小污染和模块化结构。

(4) 研究双向DC/DC变换器的意义

双向直流变换器是典型的一机两用设备，有很重要的研究价值。目前针对双向直流变换器的研究主要在两个方面：一方面是电路的拓扑，另一方面是电路的控制。目前研究的常见的几种拓扑结构存在下面一些缺陷：(1) 隔离型双向直

2

[4]流变换器因为含有隔离型 **Boost** 存在开关管电压尖峰问题；(2) 移相式双向直流变换器通过变压器的漏感传递能量，存在环流大的问题；(3) 反激式双向直流变换器通过耦合电感传递能量，传输功率等级受到限制；(4) **Cuk** 和 **Sepic/Zeta** 型直流双向变换器由于电路拓扑结构复杂，能量传输复杂，实际应用很少。所以，研究直流双向变换器的拓扑结构，提出各种场合相适应的拓扑结构有很重要的意义。在控制功率流向时，控制模型也很重要。因此，在不同的场合运用不同的控制模型，也是直流双向变换器的研究方向。

3

1 双向 DC/DC变换器的介绍

1.1 双向 DC/DC变换器的实际运用

双向 DC/DC变换器在电动汽车上的应用是比较典型，在电动汽车中电动机是有载，在不同的指令和路段中电动机可以是电动状态，也可以是发电机。即它可以从电源那吸收电能转化为机械能输出，也可以将机械能转化为电能储存起来。由于电动机的调速范围比较宽，电动车运行时的加速、减速、制动等这使得电动车的蓄电池的电压变化比较大，如果让蓄电池直接与电机相连在一起会使得电动机的驱动性能恶化。当使用双向直流变化器时可以将蓄电池的电压维持在一个比较稳定的电压值，从而提高电动机的驱动水平。从另一个角度说，双向直流变换器可以将电动机制动的机械能转化为电能存储起来。这从能源利用上来说是非常好的，它可以节约许多能源，提高了能源利用率。

由于双向 DC/DC 变换器有以上优点，这使得在电动车中得到广泛的应用。当电动车制动或者下坡时，能量将通过逆变器和双向 DC/DC 变换器给超级电容充电，与此同时蓄电池也会由汇流母线提供的充电电能。如图 1-1 所示电动车能量系统。

三相逆蓄电电动机驱动桥变器池

超容双向

量电 DC/DC

容器变换器

图 1-1 电动车能量系统

1.2 常见的关于双向 DC/DC 变换器的控制

以往的双向 DC/DC 变换器的控制方法为模拟控制法，它的优点是简单但是它不能保证系统大信号的稳定性。随着双向 DC/DC 变换器的发展，研究学者们提出了一些数字控制方法。其中数字控制和传统的模拟控制性比有以下一些优点：

- (1) 能进行复杂的非线性控制，提高了系统的控制性能。
- (2) 抗干扰能力很强。
- (3) 灵活性高。

4

在各种数字控制方法中，其中 PID 控制是比较完善的同时应用也是最广的。因为在 PID 算法中，比例环节减小了稳态误差，微分环节增加了稳定性，积分环节 [5] 提高了无差度。所以 PID 控制应用广泛。

1.3 双向 DC/DC 变换器的电路拓扑

1.3.1 单向 DC/DC 变换器拓扑

单向 DC/DC 变换器可以按照输出与输入是否有电气隔离分为：无隔离的直流 [6] 变换器和隔离的直流变换器。分别如下图 1-2，1-3 所示。

Lf

S1C1UiUO

图 1-2 无隔离的 Boost 变换器

M1D1C1Lf

T

D3U0UiCf

D4M2D2C2

图 1-3 隔离的半桥变换器

从上图中可以看出图 1-3 结构复杂元器件多，而图 1-2 相比较而言结构简单所用元器件少，综合各方面的因素本设计用不隔离结构。

1.3.2 双向 DC/DC 变换器的拓扑

在已有的单向 DC/DC 变换器基础上通过元器件的串并联来实现能量的双向流动，构成双向 DC/DC 变换器。如下图 1-4, 1-5, 1-6, 1-7 有四种拓扑的双向直流变换器。

5

D2D1

C1U0UiS1LS2C2

图 1-4 双向 Buck/Boost 变换器

S2D1

LU0C2

UiC1D2

S1

图 1-5 双向半桥变换器

L1L2C3

图 1-6 双向 Cuk 变换器

L1S2C3

D1

C2U0D2L2UiC1S1

图 1-7 双向 Sepic 变换器

图 1-4, 1-5, 1-6, 1-7 中的 IGBT S1, S2 不能同时导通。正向工作时 S1 导通, [7]反向工作时 S2 导通。

6

1.4 本章小结

本章刚开始就说明了双向 DC/DC 变换器设计的要求, 通过对隔离型变换器和不隔离变换器的比较分析, 综合各方面因素决定选择不隔离直流变换器。然后又提出了四种不隔离的直流双向变换器的拓扑, 通过分析, 比较最终选择了双向半桥变换器。

7

2 双向 DC/DC 变换器的模型及其参数设置

2.1 双向半桥变换器的拓扑分析

双向半桥拓扑如下图 2-1 所示, 蓄电池向电动机供电时, 此时可将双向 DC/DC 变换器看成升压变压器。当电动机制动时, 双向 DC/DC 变换器可以看做是降压变压器可以将稳定的电压给蓄电池充电。

S2

D1

LU0

C2

S1

图 2-1 双向半桥变换器

在正常工作中，双向半桥变换器中的两个功率器件，在同一时刻只有一个在工作。当变换器工作在升压模式时，S1 工作，S2 截止；当工作在降压模式时，S2 工作，S1 截止。为了保证正常工作，驱动信号必须保证在一个开关关断后，另一个才导通。

2.1.1 升压变换器模式

在升压变换器模式下，开关 S1 工作在恒定的开关频率，处在 PWM 作方式下。工作电路如下图 2-2 所示。

L

U_{0iL}

$C2U_{iC1}$

图 2-2 a) S1 导通

8

L

$D1U_{0iL}$

$C2U_{iC1}$

图 2-2 b) S1 截止

当 S1 导通时，蓄电池电压 U 全部加到电感 L 上，电感充电储能。二极管 $D1$ 截止，负载由 $C2$ 供电。当 S1 关断时，电感能量通过二极管 $D1$ 向输出侧流动，此时电感和蓄电池的能量向 $C2$ 转移，即给电容 $C2$ 充电。通过调整 S1 的占空比

[8] 就能改变输出电压的大小。

2.1.2 降压变换器模型

S2 工作在恒定的开关频率，处在 PWM 作方式

下。工作电路如下图 2-3 所示。

i_L

U_0

$C_2 U_i C_1$

图 2-3 a) S2 导通

L

i_L

U_0

$C_2 U_i C_1$

D2

图 2-3 b) S2 截止

当 S2 导通时，输出电压 U_0 加到电感 L 和电容 C_1 上，此时二极管 D2 截止。电动机将机械能转化为电能给电感 L 和蓄电池充电。通过控制 S2 的占空比，来调整电压 U_i 和电流 i_L 的大小。

9

2.2 双向半桥电路参数设置

2.2.1 开关器件的开关频率

开关器件开关频率的选择依据：

- (1) 开关器件的频率 f 提高，可以减小变换器的体积与重量。
- (2) 开关器件的频率 f 提高，变换器的损耗增加，散热也增加。
- (3) 常见 IGBT 的开关频率是 20KHz
- (4) 开关器件的频率 f 提高，可以减低噪声。

设置

UD,1L,电感的计算式: $L = \frac{U_D}{f_{sw} \Delta I_L}$

1500.5, 根据要求就算结果如下: $L = 1.86320102 \text{ mH}$

2.2.3 输出, 输入电容的计算值

电容: $C = \frac{U_{off}}{f_{sw} \Delta I_U}$

根据要求代入数据计算可得:

$C = 3.388 \times 1.86 \times 10^{-3} \times 20 \times 10^3 \times 15 = 1000 \text{ F}$

考虑到实际应用的问题最终选择 1000 F

2.2.4 功率开关的选择

电压额定值: 为了保护功率开关器件, 其额定电压应为所承受最高电压的 2 倍。

电流额定值: 由于开关元件电流的峰值发生在开关关断和导通时, 为了保证开关正常工作额定电流应为流过开关电流的 2.5 倍。

反并联二极管: 其额定电压与电流和功率开关一样。 2.3 本章小结

本章主要是对双向半桥的运行进行了分析, 然后根据具体的要求对双向半桥的元器件参数进行了计算, 最后确定了元器件的参数。

10

3 双向 DC/DC 变换器的仿真

3.1 MATLAB/Simulink 软件的介绍

随着计算机技术的发展, 计算机的性能不断地提高从而使得计算机仿真技术的发展。现在计算机仿真已经成为我们分析问题和研究问题的重要工具。它利用计算机软件画出所要分析的电路原理图, 然后利用计算机原理图编辑器将原理图转化

结果来分析所设计的电路的问题。

计算机仿真取代了繁琐的人工计算，将人们从计算劳动中解放出来。计算机性能的提高，这使得计算机仿真分析的速度加快，分析精度得到提高，同时分析的广度也得到了拓展。有些在实验室中无法测得数据，在仿真中可以很容易的获得。计算机仿真的这些优点可以使研究项目的资金减少，周期缩短，产品的质量也得到提高。

MATLAB **matrix** 和 **laboratory** 两个词的组合，意为矩阵工厂(矩阵实验室)。由美国 **mathworks** 公司发布的主要面对科学计算、可视化以及交互式程序设计的高科技计算环境。它将数值分析、矩阵计算、科学数据可视化以及非线性动态系统的建模和仿真等诸多强大功能集成在一个易于使用的视窗环境中，为科学研究、工程设计以及必须进行有效数值计算的众多科学领域提供了一种全面的解决方案，并在很大程度上摆脱了传统非交互式程序设计语言(如 **C**、**Fortran**) 的编辑模式，代表了当今国际科学计算软件的先进水平。

MATLAB 一系列工具组成。这些工具方便用户使用 **MATLAB** 函数和文件，其中许多工具采用的是图形用户界面。包括 **MATLAB** 桌面和命令窗口、历史命令窗口、编辑器和调试器、路径搜索和用于用户浏览帮助、工作空间、文件的浏览器。随着 **MATLAB** 商业化以及软件本身的不断升级，**MATLAB** 用户界面也越来越精致，更加接近 **Windows** 的标准界面，人机交互性更强，操作更简单。而且新版本的 **MATLAB** 提供了完整的联机查询、帮助系统，极大的方便了用户的使用。简单的编程环境提供了比较完备的调试系统，程序不必经过编译就可以直接运行，而且能够及时地报告出现的错误及进行出错原因分析。

Simulink 是 **MATLAB** 的一种可视化仿真工具，其建模较一般程序建模直观，操作较为简单，不用死记各种参数及命令的使用方法，只需用鼠标就能完成非常

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/936010102010010223>