

藉相位移的调制对QAB变换器中 功率变换的研究

邓隐北, 孙永德, 张艳梅, 夏秀兰 编译

中科 863 生态技术开发集团有限公司

摘要: 在可再生能源与储能技术发展的同时, 多通道DC/DC变换器拓扑, 由于其本身的优点, 最近也受到广泛关注。本文提出了一款带高频变压器的双向四重(由四部分组成的)有源桥式(QAB)DC/DC变换器。采用了全桥结构的功率变换器, 相位移的调制则用于研究QAB变换器的功率转换。应用这一调制方式, 在改变或总计QAB变换器输出和接收的功率时, 将受到相位移的影响。由(1)多输入单输出(平衡的电压源); (2)多输入单输出(不平衡的电压源); (3)多输入多输出(平衡的电压源); 及(4)单输入多输出(不平衡的负载); 对QAB的多重结构进行了评估。通过MATLAB模拟链分析了2.5kw系统的模拟结果。利用这一模拟也讨论了功率和效率, 从而发现, 在90°相位移下能达到最大的功率。

关键词: 四重有源桥(QAB), 双向功率流动, 相位移调制

1 前言

现在,重点是倾向于对可再生能源(RE)的吸收、引用,例如配备储能的光伏(PV)发电和驱动风轮的风力发电正日益增长。因大量需要各种能源与多输入、多输出负载之间的接口,通过一公用的DC母线,多通道的变换器已用于界面的互相连接。由于对单个电源或负载须分开变换器,以及因电压范围的限制,这一通用的方法需要较多的转换级。除文献1报道的多通道双向DC/DC变换器以外,其它方法例如,时间分配的设计理念,但仅能应用于小功率和单向功率流动的场所。

电力电子(PE)元件的不断进步与发展,导致了若干智能电网设计技术的涌现,固态变压器(SST)就是在智能电网应用中有发展前景的技术之一,其特点是为集成可再生能源和储能提供了通道。SST基本上是一个包含三级的变换器,通过高频(HF)变压器将中压(MV)系统与低压(LV)系统接口,如图1所示。

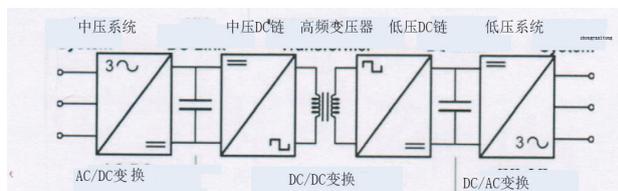


图1 固态变压器(SST)的基本线路图

由于多通道DC/DC变换器的开发,研究人员得到启示,多个有源桥(MAB)变换器将成为一可供选择的解决方案。在SST中双有源桥(DAB)是DC/DC的变换级,而MAB则为DAB的扩展型式。它保存了DAB变换器的相同优点,例如双向的功率流和电流的隔离。QAB的电路结构已在文献7-8介绍过。本文将利用相位移调制,对QAB进行研究和讨论。

2 QAB的理论

在每一个通道有4个有源桥的QAB变换器,具有在通道中交换功率的可能性,以最小的变换级获得高的功率密度、高的效率,并通过单一的四绕组HF变压器,可消除RE之间的相互影响。该变压器配置了整个系统的中心控制器。除保护侧之外,这一隔离的拓扑能以变压器的匝数比,集成各个不同的电压级,如图2所示。变压器的漏泄电感将起到能量转换元件的作用。

在QAB变换器中,每一通道都具有三个功率流动方向的可能性,这是由相位移所控制的。一般,可再生能源或储能,无论在输送或接收方式下,均能具有双向的功率流动。对于无源负载,这仅仅运行于单向的功率流动。QAB变换器中功率流向的变化在文献7有详尽的阐述。例

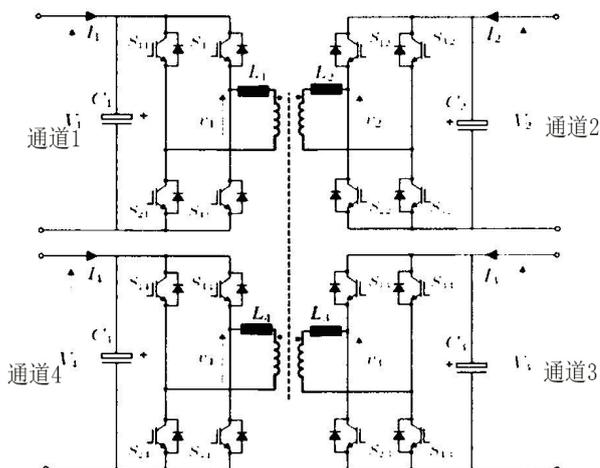


图2 QAB的基本线路图

如, 差 V_1 、 V_2 、 V_3 、 V_4 分别表示光伏发电 (PV)、风力发电、燃料电池和蓄电池, 则功率能由其它 3 个通道转换到起负载作用的通道 4。此外, 在蓄电池和燃料电池充电方式期间, 它从 V_1 和 V_2 吸收功率。根据能量守恒定律, 在 QAB 中发出的总功率应与消耗的总功率相等, 而不考虑式 (1) 中的各种损耗。

$$\sum_{i=1}^{m+n} P = 0 \quad (1)$$

3 相位调制

文献 12 曾报道在 QAB 或多通道 DC/DC 变换器中有少数的基本控制器, 如单相相位移 (SPS)、扩展相位移 (EPS)、双相相位移 (DPS) 和三相相位移 (TPS)。本文, 利用了 SPS 控制器, 它将 QAB 变换器以恒定的开关频率, 运行于固定的占空因数下 (duty cycle)。SPS 控制器与其它控制器比较, 结构简单, 为了控制所变换的功率, 仅改变通道之间的相位移。图 3 表示 QAB 中相位移调制的理想波形。在任一通道修正的相位移, 将影响到所有通道中的功率转换。功率从超前边向滞后边流动, 显示出的相位相应是正的或是负的。在四个通道之间转换的功率, 均来自两个通道变换器的相同求导 (数), 可表示如下:

$$P_{12} = \frac{V_1 V_2 \theta_{12}}{2\pi f_s L_{k12}} \left(1 - \frac{|\theta_{12}|}{\pi} \right), \theta_{12} = \theta_1 - \theta_2 \quad (2)$$

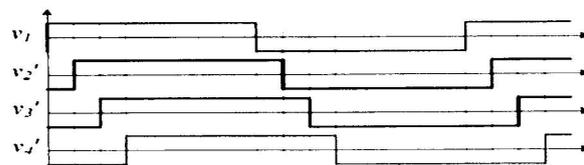


图3 QAB 变换器中相位移调制的理想波形

式中 V_{12} —两通道之间的相位角; L_{k12} —通道 1 和通道 2 之间的漏电感; V_1 和 V_2 —变压器绕组电压的大小。

4 QAB 变换器的设计

利用 MATLAB/ 模拟键实现了图 2 所示 QAB 变换器的模拟。QAB 线路结构中的每一全桥线路, 均由 50% 占空因数所驱动, 其中, 顶部开关是由底部开关来补充的。考虑到所有漏电感, L_k 具有相同的值, 这是在开关频率 $f_s=20\text{kHz}$ 下操作的。假定所有通道都有双向的功率流动, 在每一通道上施加的全部电压均相等: $V_n=28\text{V}$ (表 1)

表 1: 模拟参数

元件	数值
开关频率 (f_s)	20kHz
电容 (C_1 、 C_2 、 C_3 、 C_4)	0.5mF
漏电感 (L_1 、 L_2 、 L_3 、 L_4)	1μH
电压 (V_1 、 V_2 、 V_3 、 V_4)	2.5kW
功率	3kW
额定电流	90A

QAB 变换器设计为多输入—多输出 (MIMO) 的线路结构, 且其电路应用了 SPS 控制器。本文, 对功率转换特性的四种情况进行了评估, 并在改变相位移而未改变 QAB 线路结构下进行了研究。所做的全分析均是在开回路结构下完成的。

(1) 情况 I: 多输入单输出 (平衡的电压源)

所有通道均为 28V, 负载通道的相位移改变至 30° 、 60° 、 90° 和 100° (通道 4 作为 P_{out}), 通道 1、通道 2 和通道 3 代表 P_{in1} 、 P_{in2} 和 P_{in3} 。

(2) 情况 II: 多输入单输出 (不平衡电压源)

输入通道 (通道 1 作为 P_{in1} , 通道 2 作为 P_{in2} , 通道 3 作为 P_{in3}) 施加的电压依次为 28V、10V 和 5V; 而输出通道 (通道 4 作为 P_{out}) 为 28V, 相位角依次为 30° 、 60° 、 90° 和 100° 。

(3) 情况Ⅲ：多输入多输出（平衡的电压源）

所有通道为 28V，两个负载通道（通道 3 作为 Po3 和通道 4 作为 Po4）的相位移改变为 30°、90°（通道 3）和 60°（通道 4），90° 和 30°（通道 3）与 90°（通道 4）。

(4) 情况Ⅳ：单输入多输出（不平衡负载）

输出通道（通道 2 作为 Po2，通道 3 作为 Po3，通道 4 作为 Po4）施加的电压为 28V、10V 和 5V，输入通道（通道 1 作为 Pin1）为 28V。对所有负载下相位移的改变是使相位角为 30°、60°、90° 和 100°。

5 结果与讨论

利用 MATLAB/ 模拟键对 QAB 变换器进行了模拟，按照前一节所述的四种情况，图 4 给出了全部模拟的结果。

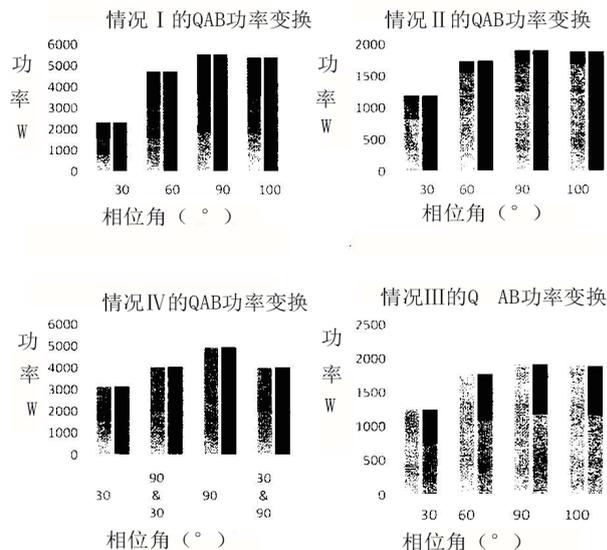


图 4

在情况 I 中，三个通道作为输入，一个通道为有相同电压的负载。作为负载部分的通道 4、相位移依次为 30°、60° 和 90° 的改变。这可以看到，此时，在相位角为 90° 期间功率达到最大值。对于不平衡的电压源，对每一个通道电源所施加的电压为 28V、10V、和 5V，而负载边是 28V，具有不同的相位移，如情况 I 实验中一样。对于每个输入边所变换的功率，按照它们的容量是不同的。例如，带 28V 的通道 1 将转换更大的功率到负载，而 5V 输入电压的通道 3，与其它的比较，将产生较小的功率。

故负载由损耗小的输入通道收到全部的总功率。像情况 I 一样，负载边是在相位角 90° 时消耗最大的功率。

在多输入多输出情况下，相同的电压施加于所有通道上，这将表明，在输入通道之间，所转换的功率是相等的，而且，在两个负载通道均施加相同的相位移时，则至输出通道的总功率是完全平衡的。然而，在不同的相位移时，从每一负载需求的功率不同，功率也相应地进行转换。参照图 4 中的情况Ⅲ，已位移 90° 的通道 3，消耗的功率几乎为 3500W，与已移位 30° 相位角的通道 4 比较，收到的功率仅为 480W 左右。

最后在情况Ⅳ中，不同的相位移和电压施加到每通道 28V、10V 和 5V 的输出边。28V 的输入电压将按它们所需求功率，转换到负载上。例如，根据它们的电压值，通道 2、通道 3 和通道 4，在 60° 相位角下、依次收到 1kW、400W 和 200W 的功率，小的电压将需求小的功率，反之亦然。

在所有情况下，看来，功率源似乎与输出功率是平衡的，其中，变压器产生的损耗正好小于 5%，也即系统的效率超过 95%。此外，最大的转换功率是在 90° 的相位角出现的。

6 结论

已经证实，直接通过单一的多绕组高频变压器，QAB 变换器能操控通道之间的功率交换。在 QAB 变换器中，输入功率与输出功率是平衡的。此外，所有通道均能双向方式流动。模拟下完成的 SPS 技术，已达到 95% 以上的最佳效率。作为结论，已进行研究的 QAB 中其功率转换特性，在通过变压器转换功率期间已实现低于 5% 的损耗。

原文出处：Suliana Ab Ghani, Hamdan Daniyal, Nur Huda Ramlan and Meng Chung Tiong, Investigation of Power Transfer in QAB Converter Via phase Shift Modulation, «Proceedings of the 10th National Technical Seminar on Underwater System Technology 2018» P603-P609.