

变压器匝数比的变化对双有源桥式变换器性能的影响

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: 本文阐述了变压器匝数比的变化对双有源桥式 (DAB) 变换器性能的影响。DAB变换器是固态变压器 (SST) 组成元件的一部分, 其中它提供了电流的隔离以及有不同电压级的界面系统。在这一研究中已研发了DAB电路, 且其性能在MATLAB模拟和回路中硬件 (HIP) 模拟中, 均得到了验证。DAB系统是在5个不同变压器匝数比下进行检验的。DAB的性能显示出在两个实验平台下具有类似结果。DAB变换器的实时性能, 已表明效率高达95.91%。

关键词: 双有源桥式变换器, 变压器匝数比, 回路中硬件, MATLAB模拟链

1 前言

近年来, 在发展经济和倡导节约的形势下, 全球的经济增长已导致对能源需求的增长。这将导致更高的电力容量、有效的发电、输电及利用电能的需要。由此, 电力电子 (PE) 技术, 从发电到电能利用、在电力系统领域的各个部分, 已被各个终端用户所广泛应用。

在电力系统中, 为调控参数, 例如频率、电压、有功和无功功率以及谐波, PE 技术起着重要的作用。因此, 开发新的高科技含量和低成本功率变换器, 已引起了各种研究机构的广泛兴趣。然而, 复杂的硬件和软件样品的制作, 经常需要耗费时间, 同时还要承受各种运行工况下测试该系统性能的难题和挑战。拥有可利用的回路中硬件平台, 就能易于实现功率变换器和电网的研发与验证。

HIL 是一项用于开发和实验复杂、实时嵌入系统的模拟技术。HIL 模拟可提供一平台, 它从控制的设备到实验平台, 合并模拟部件的复杂性。此外, 控制设备的传感器和执行器可在电气上对比优劣, 并直接与实际的控制部件 (控制器) 接口。HIL 模拟为实时的模拟平台, 其中在特殊系统内信号的输出和输入关系, 与实际过程中一直是相同的。在新建系统的研发期间, 这一模拟技术提供的有利点是: 消除了昂贵又危险的故障, 且不说还降低了成本, 还能易于研究大的系统, 比如对智能网络的研究。

本文探讨了双有源桥 (DAB) 式 DC/DC 变换器的性能研究, 对 MATLAB 模拟链中的软件模拟和从 HIL 模拟器得到的实时结果进行了对比。以相同 DAB 系统嵌入

HIL, 为验证系统的性能, 为与 HIL 模拟器接口, 将数字信号处理器 (DSP) 作为控制器来执行, DAB 系统的特性和性能在两种评估方法下均进行了讨论。

2 双有源桥式 DC/DC 变换器

2.1 双有源桥的应用

在智能电网应用中, 美国国家科学基金会 (NSF) 第三代工程研发中心 (ERC) 的“未来电能输送与管理 (FREEDM) 系统”, 在 2008 年就已将固态变压器 (SST) 作为一项应急 (emerging) 技术而被提议过。由高频 (HF) 变压器隔离的、作为多级电力电子变换器的组成元件, SST 早在 1970 年就已进行过讨论。通过双有源桥变换器, 将中压 (MV) 系统与低压 (LV) 系统接口, SST 作为电力电子变压器也众所周知。在 SST 中, 它可由一个三级系统来代表, 该系统是由 AC-DC 变换器、DC-DC 变换器以及 DC-AC 变换器组成的, 如图 1 所示。

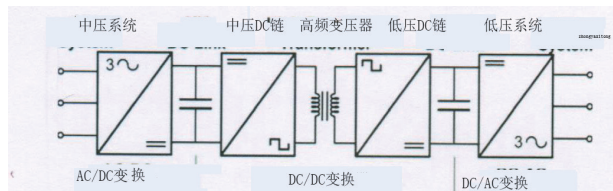


图 1 固态变压器 (SST) 的基本图形

由于高频变压器的应用, 除具有体积较小、重量减轻的优点以外, 因负载侧的谐波及功率因数的不佳 ($\cos\varphi$ 低),

均已与电网侧隔离，故配电系统的总损耗也能降低。DAB 式 DC/DC 变换器，是 SST 级联模块中的主要元件之一，在 AC/DC 和 DC/AC 变换器之间，SST 已形成电流的隔离，这将提供高效率、软开关控制、高可靠性的有利点，并允许双向的功率流动。

2.2 电路描述

图 2 所示为 DAB 变换器的概略图，是在中压和低压两侧由高频变压器隔离的两个全桥变换器电路组成的。在 DAB 中，允许能量以一固定的频率从中压侧转换到低压侧或相反亦然。按照能量转换定律，提供的功率必须等于消耗的功率，且不考虑能量转换期间的功率损耗，可假定： $P_{in}=P_{out}$ 。

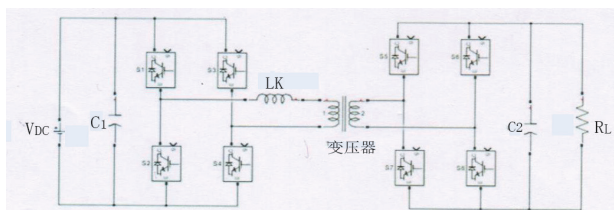


图 2 双有源桥 (DAB) 的示意图

由于高的变换比率而选定了隔离的 DAB 变换器，当输入值与输出值有差别时，那通常就能适用。在另一方面，当 DAB 充当能量转换元件时，变压器的漏电感 (LK) 将起重要的作用。以附加的耦合电感与串联的现有 LK 相加，系统的总电感可根据需要而增加。当 DAB 运行时，在负载侧收到电源侧的能量之前，每周期将有小部分的能量暂时储存在 LK 中。

3 方法

在模拟和实时研究两种情况下，完成了 DAB 变换器的性能对比研究。通常，对 DAB 功率流动的控制变量是相位移和占空因数 (duty cycle)。本文，着重研究的是，在软件模拟平台与实时模拟平台 DAB 性能的比较。该研究中，逆变器侧的开关，在固定的 20kHz 脉宽调制 (PWM) 下，均为运行于 50% 占空因数的开关信号，而负荷侧则充当了无源整流器。对 S_1 和 S_4 开关信号是相同的，而 S_2 和 S_3 是由像 S_1 和 S_4 那样的互补信号激发的，如图 3 所示。本研究中选择 50% 的占空因数，以便产生对称的方波，然而，在非对称方波的情况下，它可能通过占空因数的改变来产生。

本研究中通过对变换器执行不同的变压比来实现系统中电压的变换，而对 DAB 变换器的性能进行了验证。高频 (HF) 变压器的匝数比为 1 : N，由于选择合适的匝数比进行匹配，两条母线的不同电压级别是可能的。在软件和实时的模拟下，DAB 变换器的设计参数列于表 1，设计的变换器是运行于没有反馈控制的开回路系统的。输入电压以及变换器负荷在整个研究阶段均保持不变。变换器的输入和输出，在拥有不同变压比的情况下进行了检验。

表 1 : DAB 的设计参数

参数	数值
开关频率	20kHz
漏电感	1μH
电容	4.7μF
输入电压	300V
最大功率	3kW

在软件和模拟研究中，如图 2 示意图所示的 DAB 变换器，是通过 MATLAB 模拟链研发的，其设计参数如表 1 所列，而对于实时研究，研发了相同的系统，并嵌入在 Typhoon HIL-402 中。功率开关的开关信号是利用

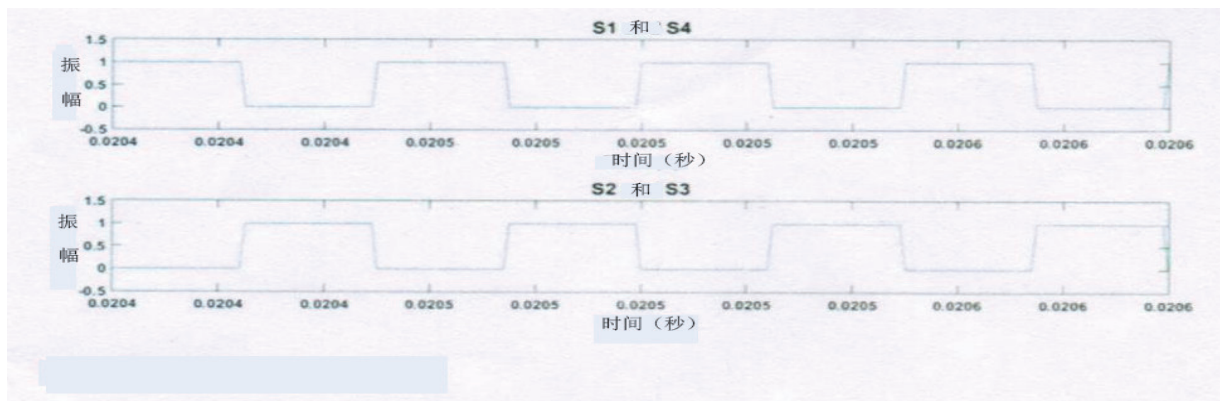


图 3 逆变器的选通脉冲信号

Texa 仪器 F28335 DSP 控制卡产生的, 但 HIL 和 DSP 的输出响应, 则是利用示波器检验的。除利用示波器以外, HIL 的输出还能利用 HIL 的检查控制和数据探测(SCADA)功能予以监控。实时研究的试验测定示如图 4。

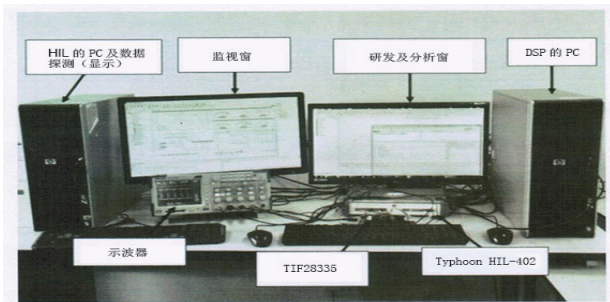


图 4 研究 DAB 变换器实时响应的试验调整

4 结果与讨论

在 DAB 变换器运行时, 输入侧的每一功率开关均由恒定的占空因数 (50%) 控制着, 以便在其变压器端子上产生 HF (高频) 方波电压。参考图 5 的波形, DAB 所提供的电压为 300V, 因匝数比调定为 1:1, 故变压器副边 (二次绕组) 的输出, 在 MATLAB 模拟和 HIL 模拟下分别为 298.4V 和 287.79V。表 2 和表 3 依次列出了 DAB 变换器在变压器匝比 0.2、0.4、0.6、0.8 和 1 变化时的 MATLAB 模拟结果与 HIL 的模拟结果。

对于 MATLAB 的模拟结果, 在变压器匝比为 1 时输出功率约为 2968W, 这近似于 3KW 的额定系统。此外,

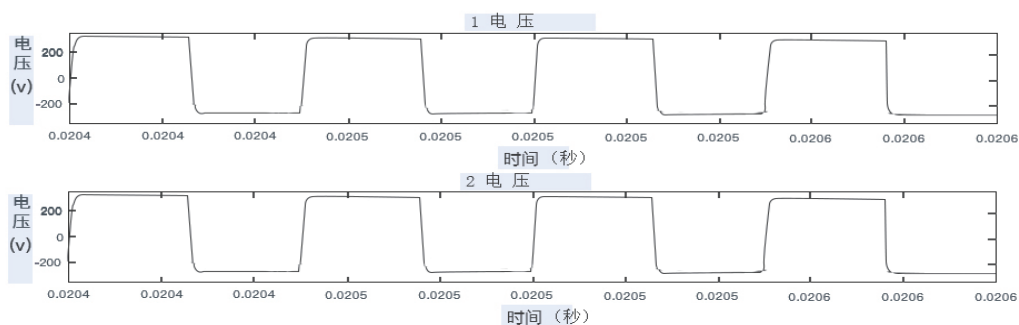


图 5 变压器的电压波形

表 2 : MATLAB 模拟中的 DAB 变换器性能

变压器匝数比	输入			模拟输出			效率 %
	电压 (V)	电流 (A)	功率 (W)	电压 (V)	电流 (A)	功率 (W)	
S ₁	300	0.41	123.7	58.4	1.95	113.7	91.92
S ₂	300	1.64	493.1	118.4	3.95	467.3	94.77
S ₃	300	3.70	1111	178.4	5.95	1061	95.50
S ₄	300	6.59	1977	238.4	7.94	1894	95.80
1:1	300	10.31	3092	298.4	9.95	2968	95.99

表 3 : HIL 实时模拟中的 DAB 变换器性能

变压器匝数比	输入			模拟输出			效率 %
	电压 (V)	电流 (A)	功率 (W)	电压 (V)	电流 (A)	功率 (W)	
5.1	300	0.41	122	57.58	2.01	116	95.08
5.2	300	1.62	486	115.15	4.04	465	95.68
5.3	300	3.64	1092	172.71	6.06	1047	95.88
5.4	300	6.47	1940	230.27	8.08	1860	95.88
1:1	300	10.10	3030	287.79	10.10	2906	95.91

下转156页