

正弦振幅转换器的反向模式应用

作者: David Bournier



概要

电力电子行业正在经历一场变革: DC 高压配电重新崛起, 取代先进机器设备的 AC 输电系统 [1]。一种模块化 DC-DC 转换器现已采用多种不同的封装及电源形式提供, 其可形成从低电压系统到高电压系统 (工作电压在 400 ~ 100V 之间) 的桥接。实验和可行性研究[1、4]为母线转换器模块 (BCM) 引擎与变压模块 (VTM) 引擎的新产品指明了方向。这两款引擎均显示了成熟的正弦振幅转换器 (SAC) 技术。目前的工作重心是为应用双向功率转换认证零部件。这里将介绍 3 种工作拓扑变型。此外, 本文还将简要介绍早期实验目的及结果, 以及用于克服在 SAC 部件最新部署过程中所涉及的最新挑战的相关技术。在本文的最后部分还将概括使用这一技术的应用实例。

1. 应用领域说明

1.1 动机

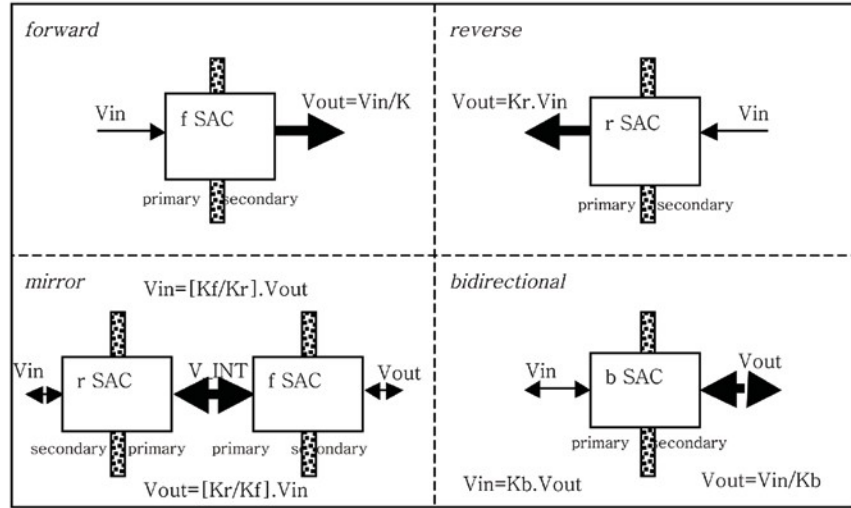
BCM 在过去十年间已经逐步显著改善了效率[1]。与采用新封装部署 BCM 同步的趋势是, 朝着使用 SAC 引擎 (也称之为 VTM) 的最新方式方向发展。SAC 是一种谐振、比例输出、恒定功率、隔离式以及近乎理想的 DC-DC 变压器拓扑。它能够将功率吸入其二次端口, 从而可按照高达 32 的 K 参数一步提升所应用的二次电压。此外, 它还能够以极低的功率损耗直接把二次端口接收到的绝大多数电能传输给一次端口。变压比 K 的倒数是一系列整数, 这些整数也正在随着新产品的提供不断扩展。未来产品所也将根据各种行业的发展趋势支持不同级别的高压到低压的连接。

1.2 对最新 SAC 工作模式进行分类

本文将介绍与使用 SAC 引擎有关的三种最新拓扑类型 (不包括常规工作方式: 正向模式): 反向、镜像和双向模式。需要指出的是, 要提高功率吞吐量, 所有基于 SAC 的解决方案都可能会涉及许多并联部件。因此如果在下文中提到模块, 可能也是指一系列完全相同的并联器件。图 1 是所有的拓扑及其控制方程式。

图 1:

SAC 应用拓扑选项。以 f（正向）、r（反向）或 b（双向）电源转换器方式工作的 SAC 在其一次电源端口与二次电源端口之间有隔离层。灰色条代表输入与输出电源端口间的 SAC 内建电流隔离层。



在反向模式下，电源应用于 SAC 的二次电源端口。在启动后，SAC 会根据与特定模块相关的 K 因数提升电压。然后将该电压提供给与其一次电源端口相连的负载。

两个 SAC 引擎可以按镜像模式使用。电源在第一个 SAC 单元中先做反向模式升压处理，另一个与该单元通过一次端口接口连接的单元按正向模式工作，从而可将高电压轨的电压降到客户最终设备所需的电压水平。

双向模式只部署一个 SAC，目的是在激励后，该模块既能正向供电，也能反向供电，具体取决于给定时刻主动驱动 SAC 的方式。

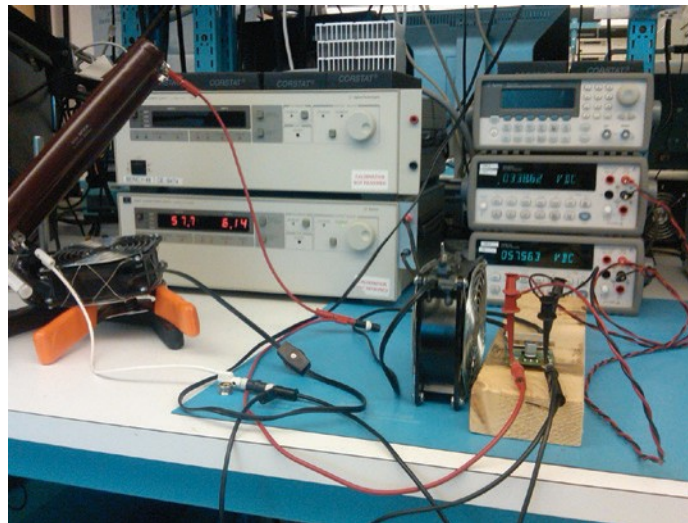
2.0 实验及结果

2.1 建立反向模式工作

已经从针对稳态及瞬态条件评估做出的两个测试设置中收集到初步结果。图 2 是针对在工作台上进行长期测试而精心设计的稳态实验设备。

图 2:

BCM 启动后在工作台上处于稳定工作状态的反向 BCM



在启动之前，BCM 的二次电源端口为反偏置，即稳态电压应用于 BCM 的二次侧，在没有任何不良后果的情况下，这是 BCM 可以承受的。BCM 随后使用单向小电流高电压电源（该电源足以偏置 BCM 内部的一次侧参考的控制器）在一次侧通电。实验中使用的电源有大型电容器组，在 SAC 的一次侧上运行负载之前，该电容器组可承受一些反向电流。使用该部件隔离层一次侧上的控制器，在启动 BCM 的时候需要延迟一次侧的负载加载，防止大量一次电流涌入该负载。负载电流将在 BCM 启动完成后加载。

在实际应用中，连接到 BCM 的二次反偏置电源很可能是唯一可用的电源，可能需要使用辅助功率级来提升 BCM 二次侧的电压，才能在不影响 BCM 隔离层的情况下以高得多的电势为其一次端口提供电荷。

图 3 和图 4 分别显示了一次浪涌测试设置及结果。

图 3：
反向 BCM 瞬态测试设置

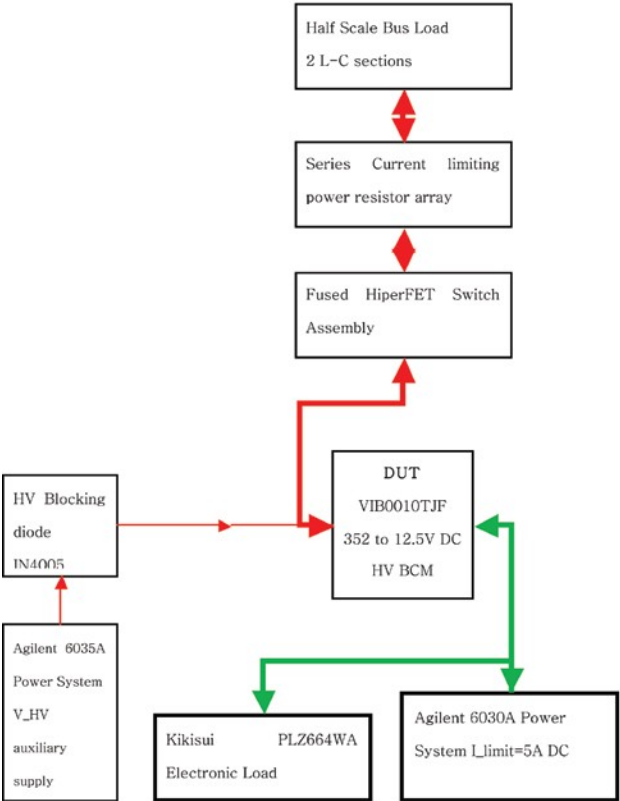
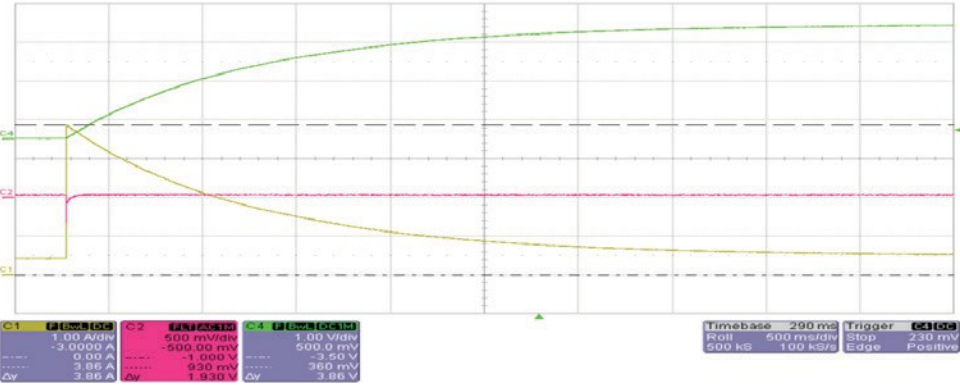


图 4：
瞬态测试结果。绿色迹线：
100 倍衰减的升压输出；红色
迹线：LV 母线电压；橄榄绿
迹线：受控二次侧浪涌
电流。



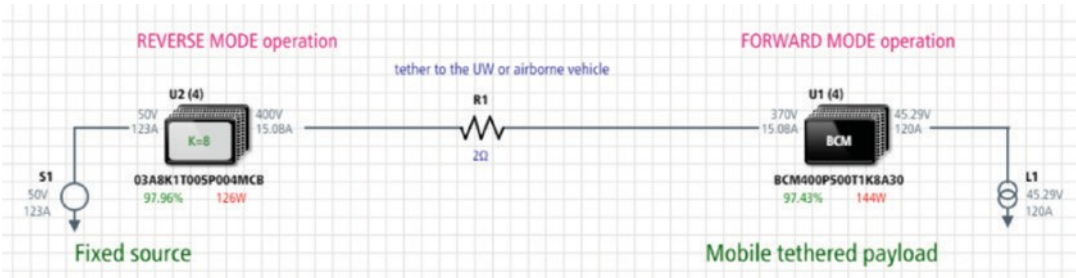
2.2 应用空间点评

根据第一实验阶段得出的结果，BCM 组件在汽车能量收集及自适应悬架系统概念验证中得到了成功部署，双向 BCM 实施主要基于从第一阶段实验中获得的经验。

自从第一次演示以来，客户已经分享了在系留式水下交通工具和空运设备中进行电力传输的实际需求中的应用。

这些应用可使用从电源到负载的镜像拓扑模式通过由细径电线制作的高压链路为长系索另一端的自主水下交通工具或无人机输电。典型功率级范围是 1 至 2kW。图 5 Vicor 白板中显示的是一种空中应用示例。Vicor 白板是一款基于 Web 的工具，可通过 Vicor 网站提供极大的客户优势。这里描述的推荐替选方案可进一步丰富实验证明效果良好的电源组件方法，其可提供设计模块化、轻量级、高效率及高功率密度指标。

图 5
的空运输电示例是在系索中使用高压链路，该系统使用支持反向及正向模式工作的 BCM 实现。这是一个 SAC 反射拓扑示例，尽管它是采用单向电流工作模式也是如此。



3. 总结

本文介绍了以反向、镜像及双向拓扑模式使用 BCM 的应用，展示了一种实验测试设备（用于验证标准产品采用反向模式工作的一致性操作）的初步结果。此外，本文还介绍了两个应用领域，一个是汽车再生制动 / 主动悬架系统领域，另一个则是系留无人机，从而为将最新 SAC 拓扑用于其它在该报告中还未尝试的功率处理实际应用指明方向。。

表 1:
测试设置以及与图 2 所示
设置对应的计算

Current State of Long-Term S/S Test Rig				
K for the MBCM270F450(F/T)M270A00 = 1/6				
V_LV (V)	57.7	LV Rail voltage setting (38–55V in Forward mode)		
V_HV (V)	338.61	HV rail voltage level in reverse mode		
R_HV (ohms)	333	Load set across MBCM's HV bus		
K'	1/5.86	Calculated Voltage Transformation Ratio		
I_HV (A)	1.06	338.61/333 =	1.017	Calculated HV load current
P_HV (W)	V_HV*I_HV	338.61*1.06=	344.31	Power in Load
I_LV		1.06 * 6 =	6.36	Calculated LV source current
Set Current limit to > 7A				

表 2:
标准 BCM DC 启动功能
的测试结果

LV Rail Voltage (V DC)	HV Rail Voltages (V DC)		LV Rail Currents (A DC)		No-Load Power from LV Rail (W)
	Reverse- mode startup threshold	Active reverse mode level, K factor	Active reverse mode level	Post HV rail pre- charge completed, load connected	
11.00	306	304.97 27.72	0.408	0.455	5.01
11.75	306	325.73 27.72	0.438	0.489	5.75
12.00	306	332.66 27.72	0.446	0.497	5.96
12.50	306	346.48 27.72	0.459	0.519	6.49
13.00	306	360.28 27.71	0.485	0.536	6.97
13.50	306	374.05 27.71	0.497	0.540	7.29
14.00	306	387.87 27.71	0.519	0.561	7.85

参考资料

- [1] M Salato, 《Sine Amplitude Converter™ 拓扑在中间母线架构应用中提供优异的效率及功率密度》，Vicor 公司 2011 年 6 月
- [2] Vicor 公司专属文档《VTM II: 工作原理》
- [3] P Yeaman, VIC 应用手册 (AN: 016) 《在高功率阵列中使用 BCM 母线转换器》
- [4] A Patel, 《使用串联正弦振幅转换器的隔离式升压 DC-DC 转换器》，APEC2015、ISBN 978-1-4799-6735-3/15
- [5] D Bournier, 《反向驱动 Vicor 母线转换器模块: 启动特征》Vicor 内部报告, 2012 年 9 月