

华大数字电源控制器及其应用介绍

HUADA SEMICONDUCTOR CO.,LTD.

功率控制事业部-刘斌/138-1758-6244

E-mail: liubin@hdsc.com.cn

目录

- 1 HSA-8000数字电源控制器简介
- 2 1.6kW图腾柱PFC及其实现
- 3 1.6kW LLC原理及其实现
- 4 主要参考设计概览
- 5 华大其它功率控制产品简介

目录

- 1 HSA-8000数字电源控制器简介
- 2 1.6kW图腾柱PFC及其实现
- 3 1.6kW LLC原理及其实现
- 4 主要参考设计概览
- 5 华大其它功率控制产品简介

HSA-8000数字电源控制器简介



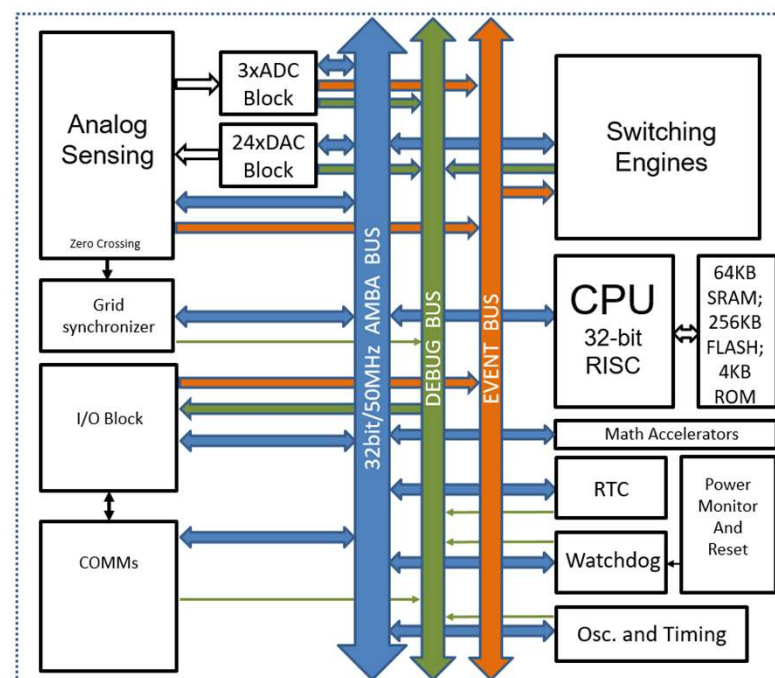
HSA-8000主要特性

- ◆ 高度集成的片上外设：片上集成24路采样&内置可配置低通滤波器、2路差分采样、8路PWM发波、1个PLL电网锁相、17个高速比较器和24个DAC等丰富的模拟电路；有效减少应用分立元器件数量；
- ◆ 内部集成开关引擎发波模块：使得控制器既能像模拟控制器一样响应快速、实现高精度PWM输出，又具有数字控制器的灵活配置能力
- ◆ 顺应宽禁带半导体高频化应用趋势，支持MHz级开关频率需求；
- ◆ 全负载范围内高效率：应用于图腾柱PFC时，能根据负载情况，动态的切换CCM模式和DCM模式，进一步提升效率，尤其有利于中轻载效率的提升；
- ◆ 集成死区时间自适应功能，能进一步优化系统控制性能；

- 电动工具/车载充电器
- 矿机、通信电源和服务器电源
- 空调等家电AC/DC、DC/DC电源应用
- 储能系统，不间断电源等

目标应用

➤ HSA-8000内部结构简图



目录

- 1 HSA-8000数字电源控制器简介
- 2 1.6kW图腾柱PFC及其实现
- 3 1.6kW LLC原理及其实现
- 4 主要参考设计概览
- 5 华大其它功率控制产品简介

1.6kW 图腾柱PFC及其实现



图腾柱PFC原理

图腾柱PFC控制方法简介

平均值控制及其存在的问
题

HSA-8000滞环控制及其实
现

实验结果

基于HSA-8000 TPFC主要
优势概要

优势1示例：动态切换
CCM与DCM

优势2示例：集成自适应死
区控制

滞环控制注意事项（限频）

1.6kW 图腾柱PFC及其实现



图腾柱PFC原理

图腾柱PFC控制方法简介

平均值控制及其存在的问
题

HSA-8000滞环控制及其实
现

实验结果

基于HSA-8000 TPFC主要
优势概要

优势1示例：动态切换
CCM与DCM

优势2示例：集成自适应
死区控制

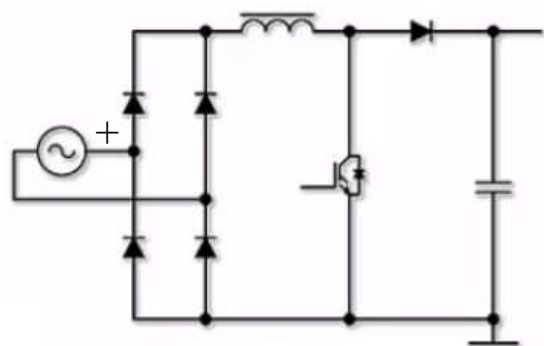
滞环控制注意事项（限频）

图腾柱PFC相比传统桥式PFC的主要优势

传统桥式Boost PFC

能效

★ ★ ★

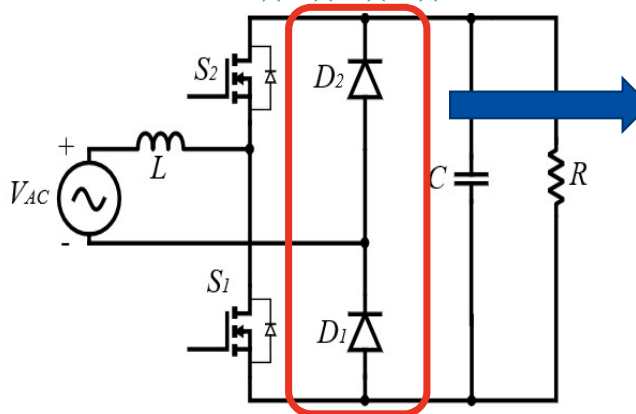


传统桥式Boost PFC

- ✓ 目前广泛单通道、2-通道交错式，3通道交错式都有广泛应用
- ✓ 每次能量传输都经过3个开关管。
- ✓ 整流桥损耗占比较大（0.3%-0.5%，甚至更高）；

Totem pole PFC(图腾柱PFC)

★ ★ ★ ★

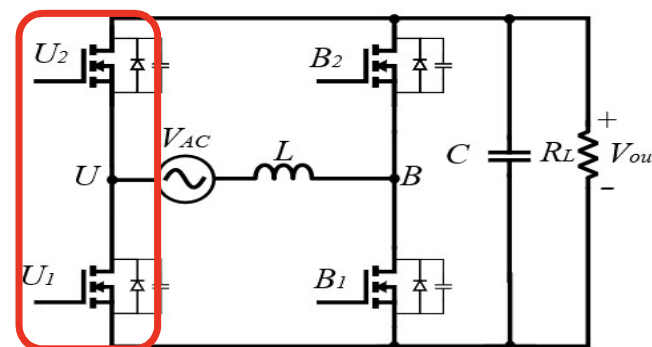


图腾柱PFC

- ✓ 两个快管可使用 GaN or SiC.
- ✓ 只有两个二极管.
- ✓ 二极管也有较大的导通损耗.

带同步整流的图腾柱PFC

★ ★ ★ ★ ★



带同步整流的图腾柱PFC

- ✓ 将二极管替换为Mos管，可以有效提高效率.
- ✓ 图腾柱PFC每次能量传输仅经过两个开关管，更加节能高效，应用切换正在进行中。

后文详细讨论此拓扑

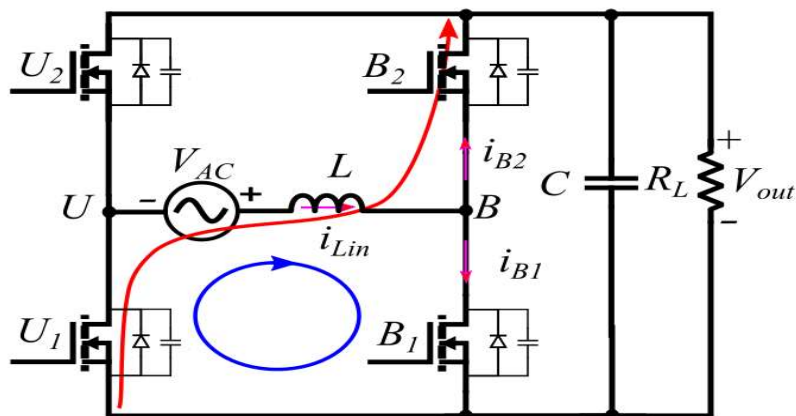
图腾柱PFC每次能量传输仅经过两个开关管，拓扑本身更加节能！

图腾柱PFC助力电源满足钛金级能效要求

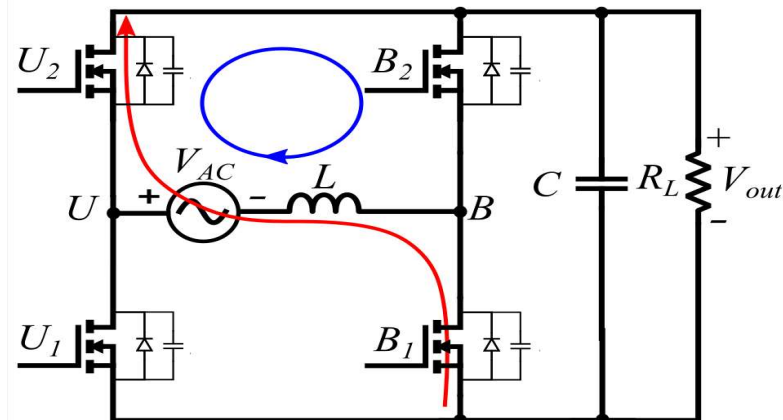


80 Plus Test Type		Efficiency at 115 V Internal Non-Redundant				Efficiency at 230V Internal Redundant			
Fraction of rated load		10%	20%	50%	100%	10%	20%	50%	100%
铂金牌	80 Plus Platinum	PFC	95.8%	95.4%	93.7%	95.7%	97.4%	95.8%	
		DC/DC	94%	96.5%	95%	94%	96.5%	95%	
钛金牌	80 Plus Titanium	PFC	95.5%	95.8%	96.4%	93.8%	95.8%	98%	94.8%
		DC/DC	94%	96%	97.5%	96%	94%	96%	97.5%

图腾柱PFC 工作模式简析



TPPFC正半周boost及续流阶段



TPPFC负半周boost及续流阶段

上图中U1、U2是工频慢管，B1、B2是快速管，在正半周，U1开通，U2关断；B1负责boost升压，B2在续流阶段导通。在负半周U2导通，U1关断；B2在boost阶段导通，B1在续流阶段导通。

1.6kW 图腾柱PFC及其实现



图腾柱PFC原理

图腾柱PFC控制方法简介

平均值控制及其存在的问题

HSA-8000滞环控制及其实现

实验结果

基于HSA-8000 TPFC主要优势概要

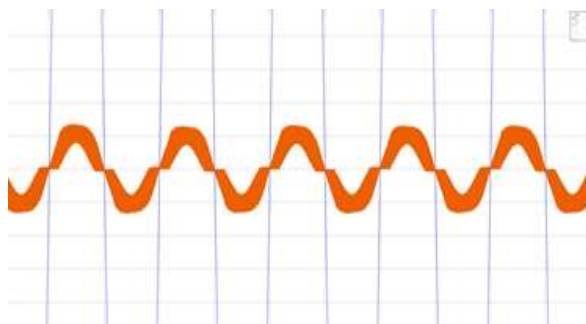
优势1示例：动态切换CCM与DCM

优势2示例：集成自适应死区控制

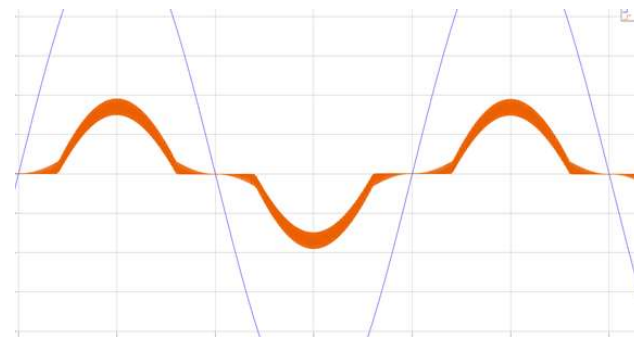
滞环控制注意事项（限频）

传统Boost PFC 控制方法简介

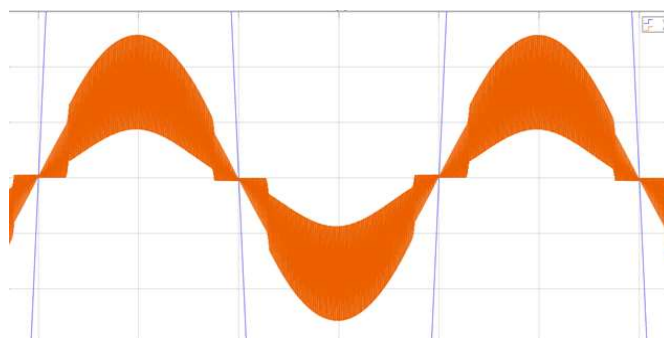
➤ 平均电流控制（定频）



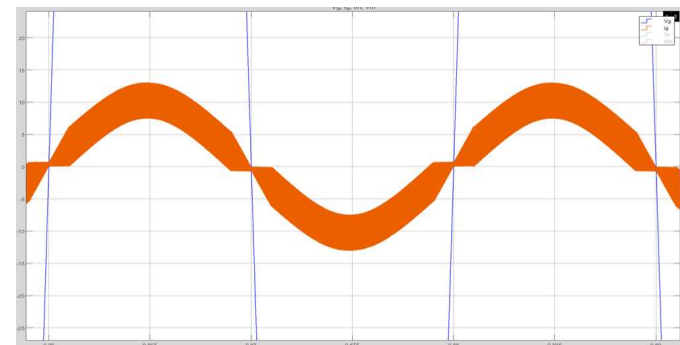
➤ 峰值电流控制+数字斜坡补偿（定频）



➤ 预测峰值电流控制+模拟斜坡补偿（定频）



➤ 滞环控制（变频—频率变化范围大）



结论：仿真实现了多种对于PFC的控制方式

图腾柱PFC数字控制主流控制方法及其存在的主要问题

峰值电流控制模式

缺点

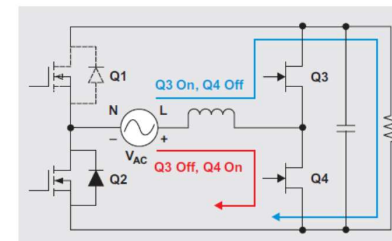
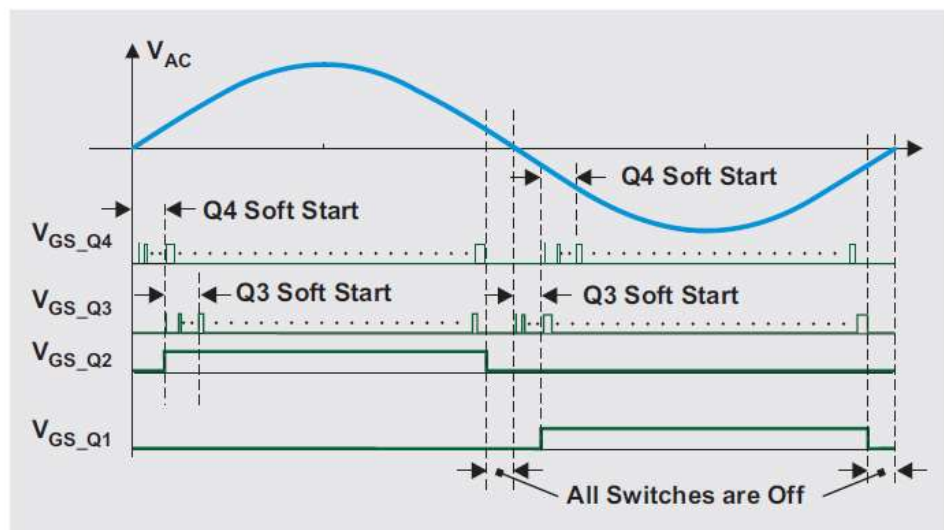
设计复杂，需要斜坡补偿

平均电流控制模式

缺点

在工频周期过零点有电流尖峰，需要做很多的特殊处理

比如在电网负半周切为正半周时



1. 当Q4一开始工作，Q2寄生电容上电压将会通过Q4续流，因此有一个正向尖峰电流。
2. 只要Q3一开通，bus电压大部分都加在电感上，这个时候电感会有一个很大的反向电流。
3. 假如慢管Q2开的太晚：电感电流会有负电流：Q3开通，Q4关断，将Q2管子的寄生电容充电使Q2有一个高电压；这个时候开通Q4会将Q2上的电压以及电网电压同时加在电感上，这个时候又有正电流，所以保持一个大致稳态。这个时候如果突然打开Q2，会让正电流减小（Q2上没有电压），所以会畸变出现负电流。

图腾柱TPPFC主要控制方法小结



	平均电流控制	峰值电流控制	滞环电流控制
优点	1. 系统稳定性强、鲁棒性高、电流THD小; 2. 定频控制, 频率固定	1. 定频控制, 频率固定; 2. 环路设计简单、容易设计	1. 电流内环硬件实现, 电流逐周保护; 2. 控制带宽宽, 响应快; 3. 环路设计简单、容易设计; 4. 可以实现CCM/CRM的无缝切换, 效率更高;
缺点	1. 在过零点时需要做一些特殊处理。 2. 双环较为复杂, 设计难度高。 3. 系统带宽难以提升;	1. 需要额外的斜坡补偿;	1. 开关频率变化;

1.6kW 图腾柱PFC及其实现



图腾柱PFC原理

图腾柱PFC控制方法简介

平均值控制及其存在的问
题

HSA-8000滞环控制及其实
现

实验结果

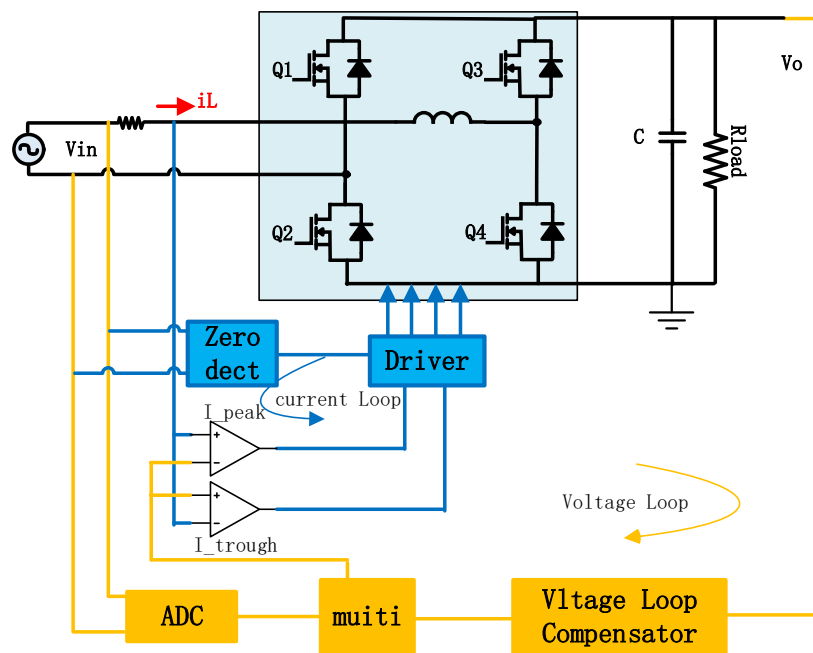
基于HSA-8000 TPFC主要
优势概要

优势1示例：动态切换
CCM与DCM

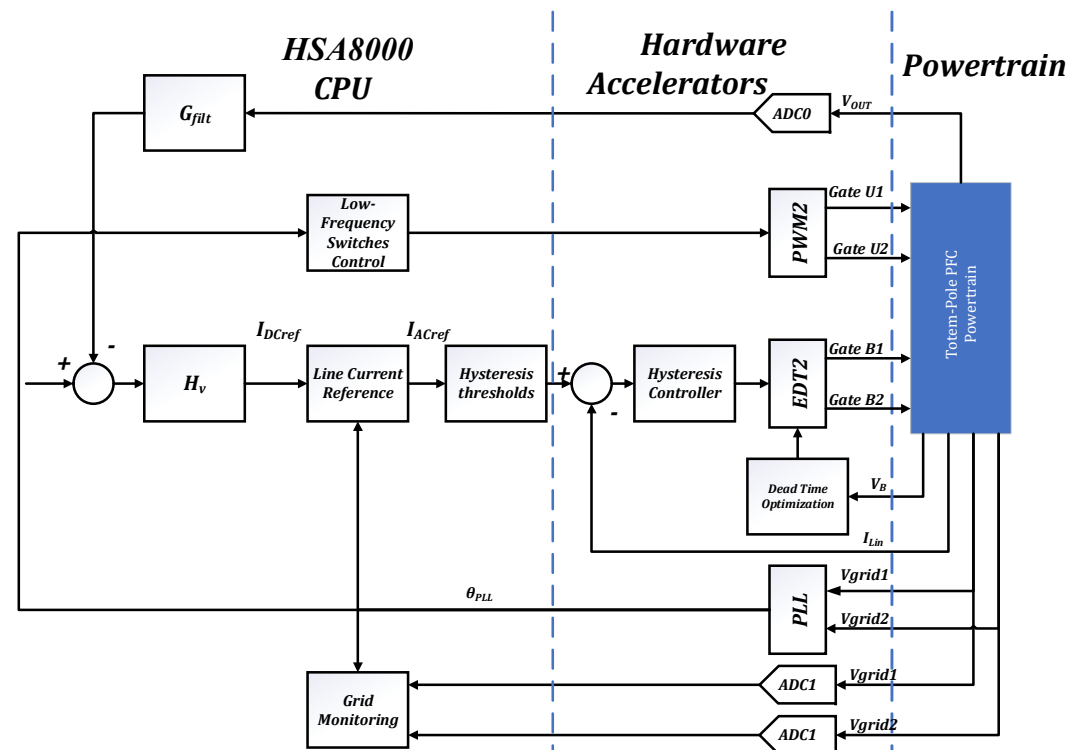
优势2示例：集成自适应
死区控制

滞环控制注意事项（限频）

HSA-8000滞环控制及其实现

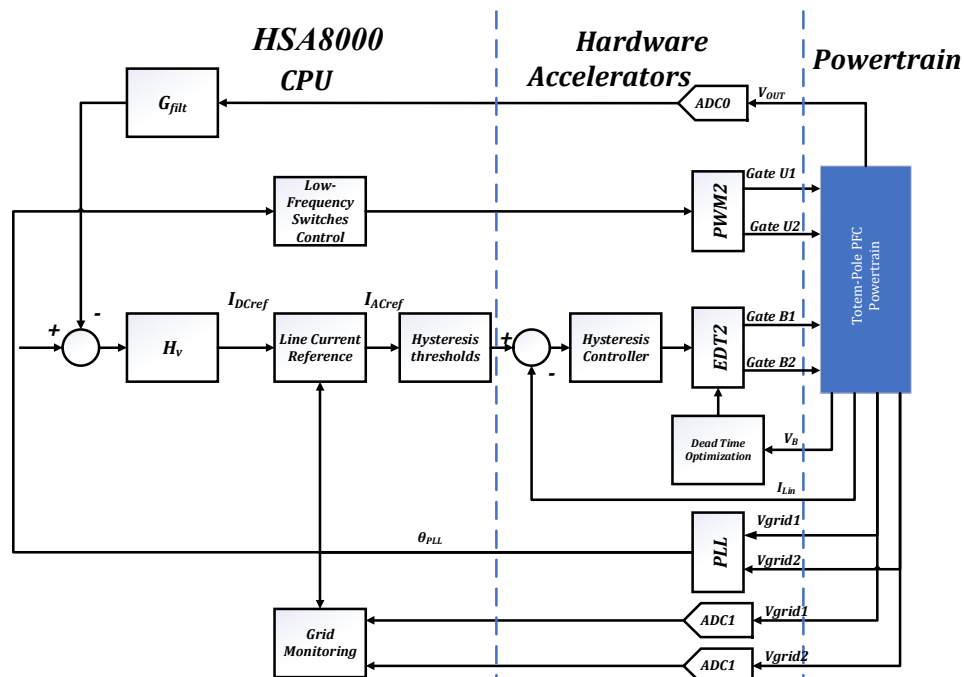


Hysteresis Current Mode Control Scheme



HSA- 8000系统控制框图

HSA-8000滞环控制及其实现

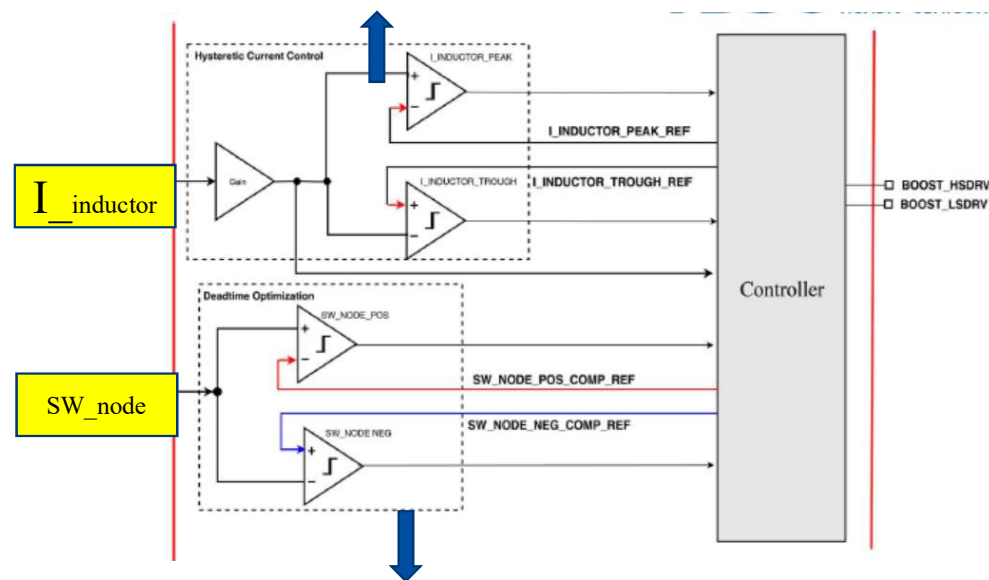


HSA- 8000系统控制框图

根据滞环控制方法，将HSA-8000资源配置如图所示进行控制：

- 外环是电压环稳bus电压，是软件pi控制的，得到的电流参考值通过比较器直接控制开关管，
- 内环控制是内部集成硬件实现的、带宽宽、响应迅速；

滞环电流控制：用于关断Q3/Q4

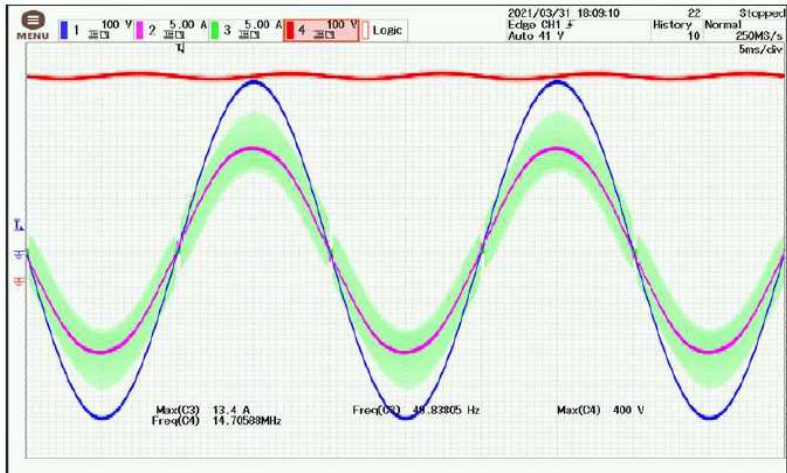


死区自适应：用于实现Q3/Q4的ZVS

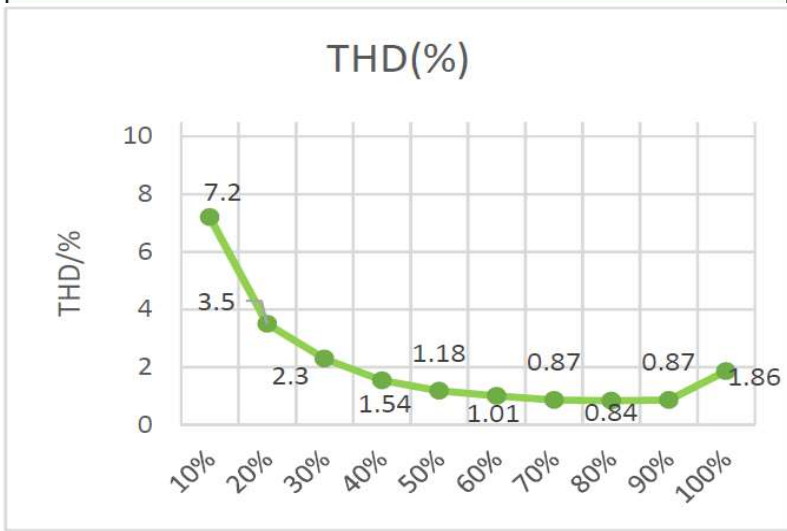
HSA-8000滞环控制实验结果



满载波形



THD



效率



功率因数



1.6kW 图腾柱PFC及其实现



图腾柱PFC原理

图腾柱PFC控制方法简介

平均值控制及其存在的问
题

HSA-8000滞环控制及其实
现

实验结果

基于HSA-8000 TPFC主要
优势概要

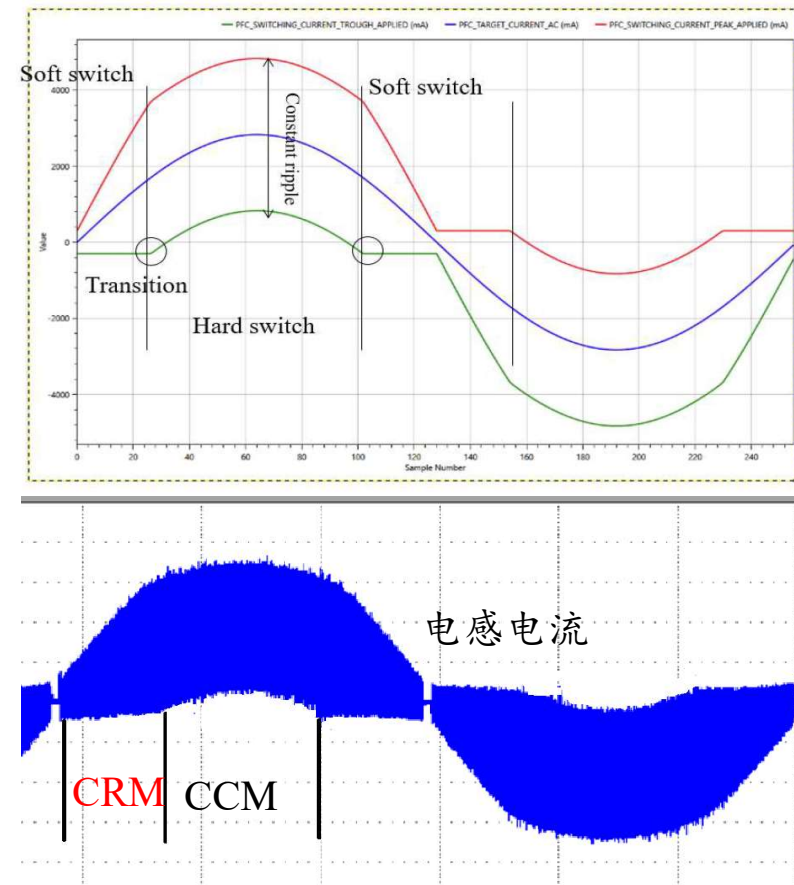
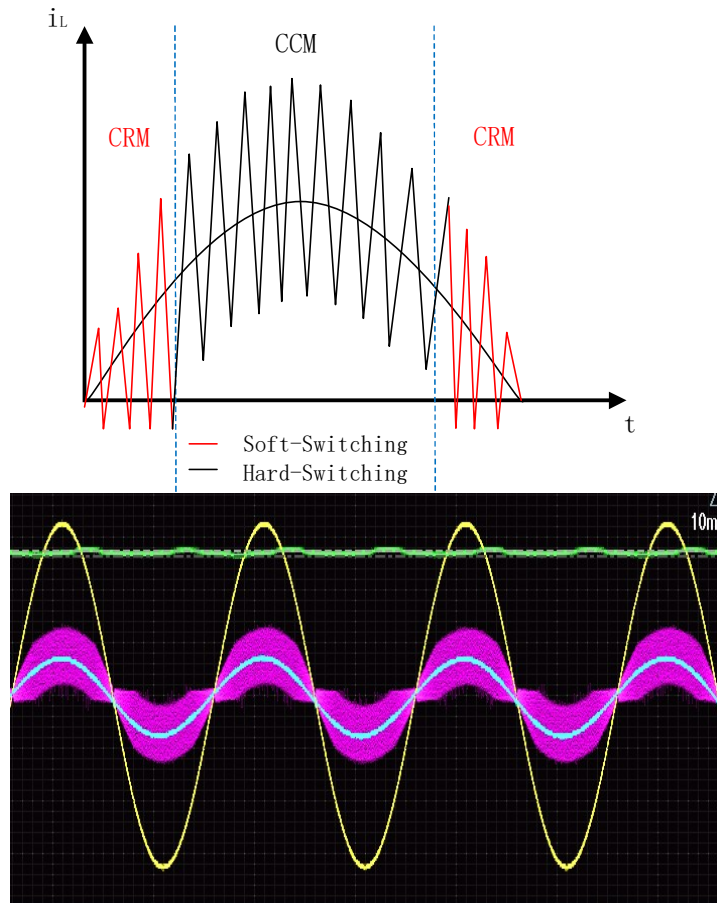
优势1示例：动态切换
CCM与DCM

优势2示例：集成自适应
死区控制

滞环控制注意事项（限频）

- [illegible]

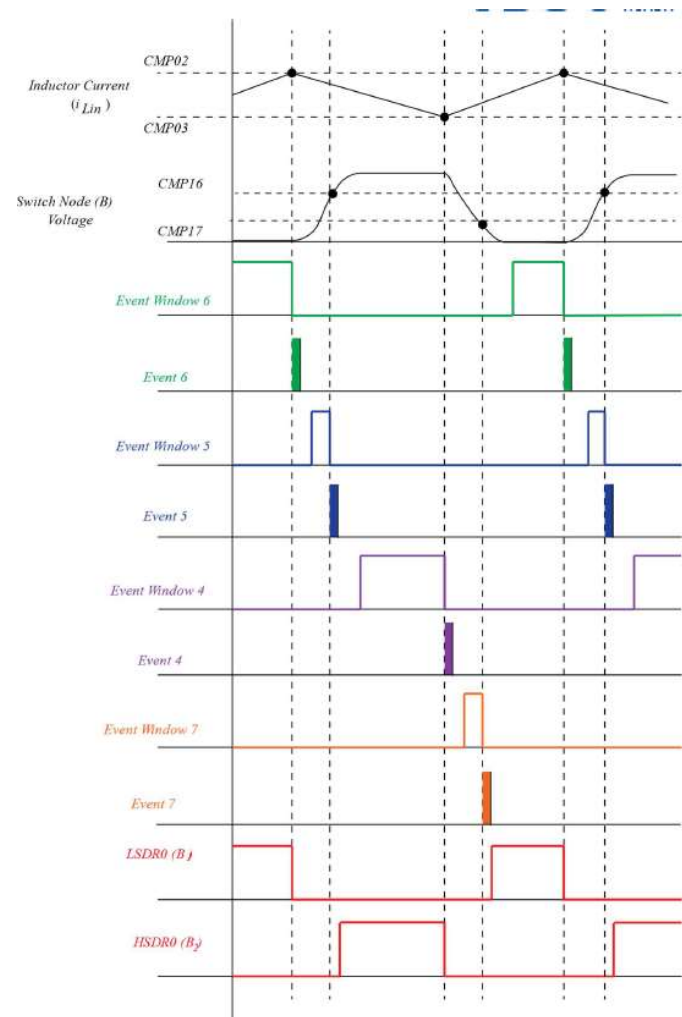
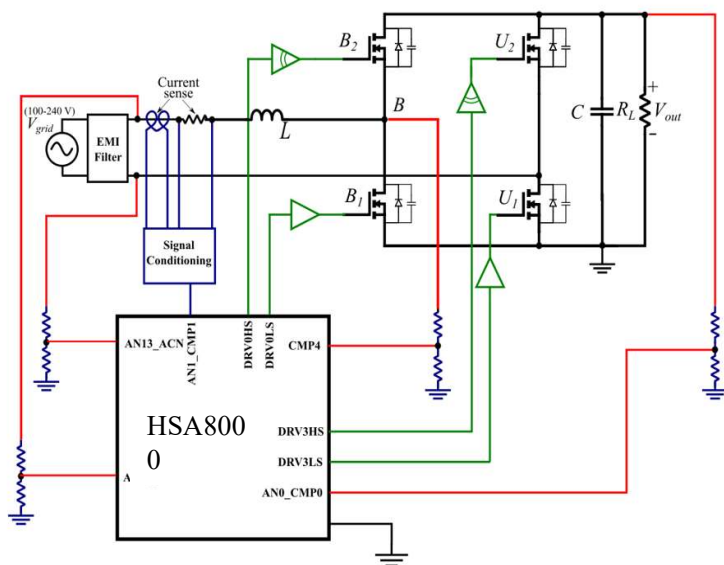
优势1示例：动态切换CCM模式和CRM模式



数字算法在每个开关周期监控电流和电压，以确定硬开关（连续导通模式：CCM）和软开关（临界导通模式：CRM）之间的过渡，从而优化效率。

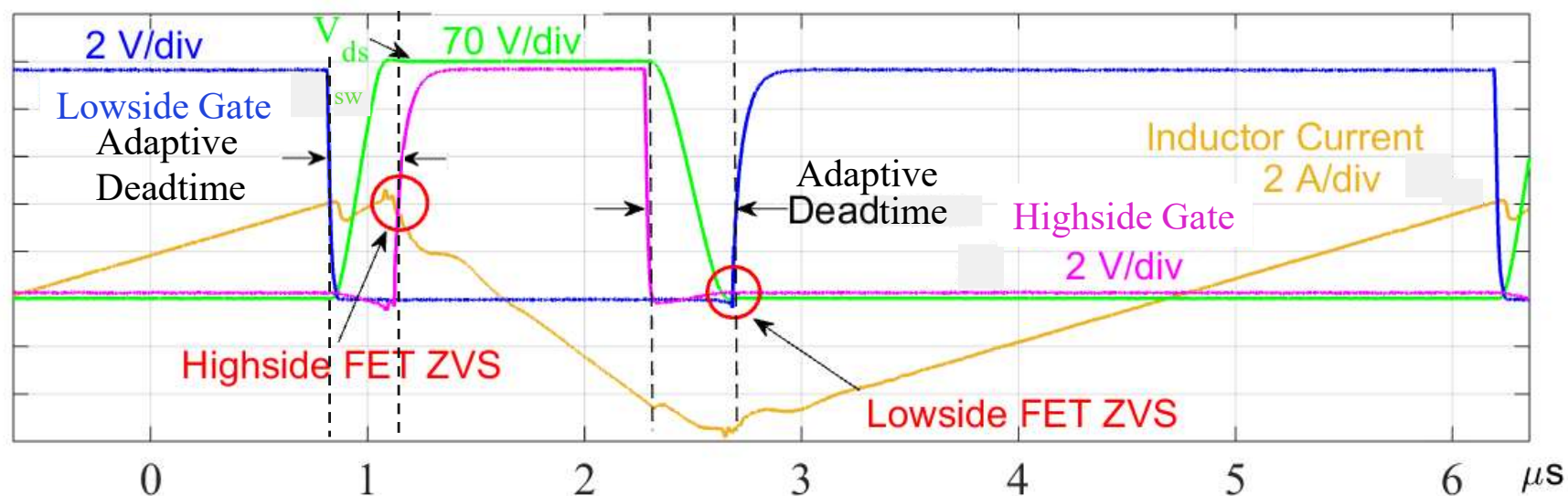
优势2示例：自适应死区时间控制原理

- HSA8000采样Boost节点电压，达到合适的电压时触发快管开通信号；
- 实现死区自适应功能，同时可以减少损耗、进一步提高效率；



优势2示例：自适应死区时间控制实测波形

- HSA-8000采样Boost节点电压，达到合适的电压时触发快管开通信号
- 同时可以实现死区自适应功能，提高效率，减少损耗



1.6kW 图腾柱PFC及其实现



图腾柱PFC原理

图腾柱PFC控制方法简介

平均值控制及其存在的问
题

HSA-8000滞环控制及其实
现

实验结果

基于HSA-8000 TPFC主要
优势概要

优势1示例：动态切换
CCM与DCM

优势2示例：集成自适应
死区控制

滞环控制注意事项（限频）

滞环控制注意事项：软件限制开关频率原理

电感公式

$$V_g = L * \frac{I_{ripple}}{t_{on}}$$
$$V_o - V_g = L * \frac{I_{ripple}}{t_{off}}$$

开关周期

$$t_{on} + t_{off} = L * I_{ripple} * \left(\frac{V_o}{V_g(V_o - V_g)} \right)$$

限制频率

$$I_{ripple_min} \geq \frac{V_g(V_o - V_g)}{L * V_o * f_{max}}$$
$$I_{ripple_max} \leq \frac{V_g(V_o - V_g)}{L * V_o * f_{min}}$$

- 通过电感的基本公式，可以得到频率的计算公式，同理给出开关频率的上下限，可以得到Iripple的限值。
- 得到Iripple的限值区间之后，通过合理的分配上下限，便可以实现限频的需求

滞环控制注意事项：软件限制开关频率原理实验波形



黄色：电感电流 蓝色：电网电流
绿色：bus电压 红色：电网电压
1k2w的40%负载限频下波形

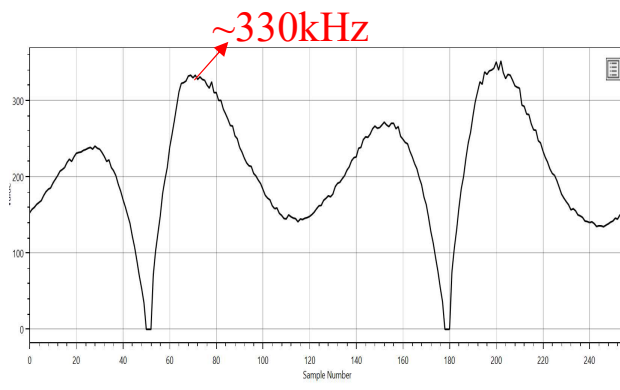
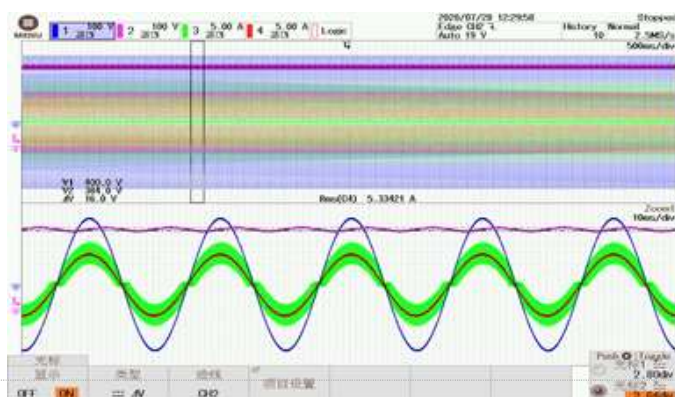


黄色：电感电流 绿色：bus电压 红色：电网电压
1k2w的100%负载限频下波形

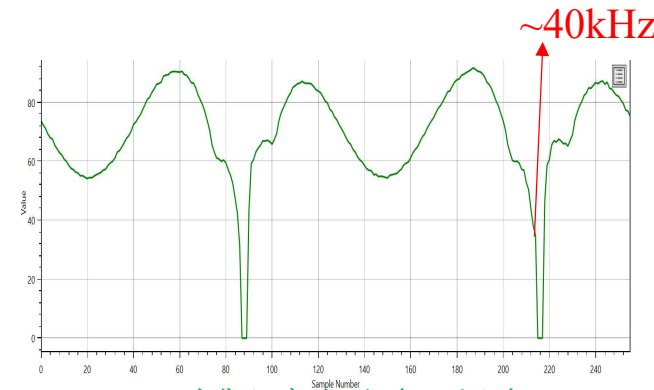
加入限频程序后的波形如上所示，可以看出基本符合理论，在峰值处频率较低时减小滞环区间，提高频率。

滞环控制注意事项：软件限制开关频率原理实验波形简析

➤ 滞环控制 不限频电感电流

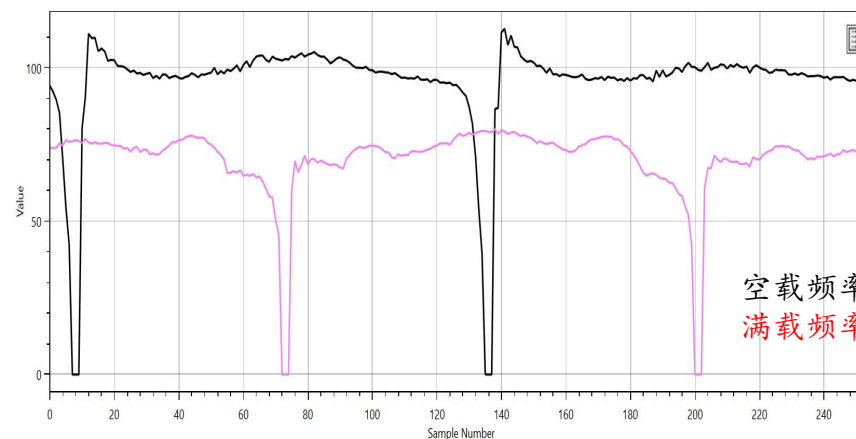
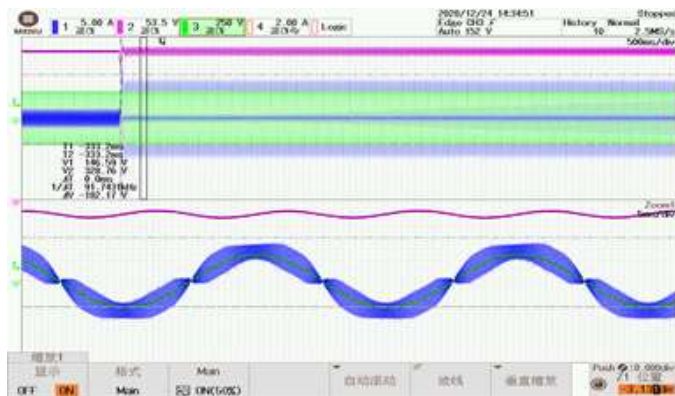


空载频率波形(不限频)



满载频率波形 (不限频)

➤ 滞环控制+ 限频算法后电感电流



空载频率波形 (限频 100kHz)

满载频率波形 (限频 75kHz)

结论：通过软件限频算法可将开关频率限制在一定的范围以内

HSA-8000数字电源控制器优势-highlight



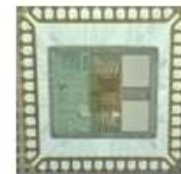
HSA-8000主要特性

- ◆ 高度集成的片上外设：片上集成24路采样&内置可配置低通滤波器、2路差分采样、8路PWM发波、1个PLL电网锁相、17个高速比较器和24个DAC等丰富的模拟电路；有效减少应用分立元器件数量；
- ◆ 内部集成开关引擎发波模块：使得控制器既能像模拟控制器一样响应快速、实现高精度PWM输出，又具有数字控制器的灵活配置能力
- ◆ 顺应宽禁带半导体高频化应用趋势，支持MHz级开关频率需求；
- ◆ 全负载范围内高效率：应用于图腾柱PFC时，能根据负载情况，动态的切换CCM模式和DCM模式，进一步提升效率，尤其有利于中轻载效率的提升；
- ◆ 集成死区时间自适应功能，能进一步优化系统控制性能；

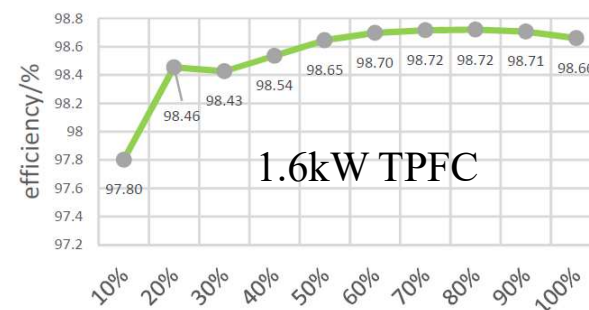
目标应用

- 电动工具/车载充电器
- 矿机、通信电源和服务器电源
- 空调等家电AC/DC电源应用
- 储能系统，不间断电源等

QFN48-7*7
QFN80-10*10



效率(%)



目录

- 1 HSA-8000数字电源控制器简介
- 2 1.6kW图腾柱PFC及其实现
- 3 1.6kW LLC原理及其实现
- 4 主要参考设计概览
- 5 华大其它功率控制产品简介

LLC基本原理

LLC主要控制方法简介
(PFM/平均电流/滞环控制/总结对比)

HSA-8000滞环控制及其实现

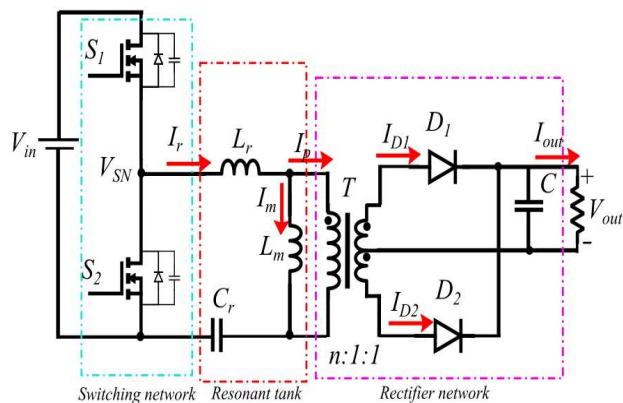
实验结果

基于HSA-8000 LLC主要优势概要

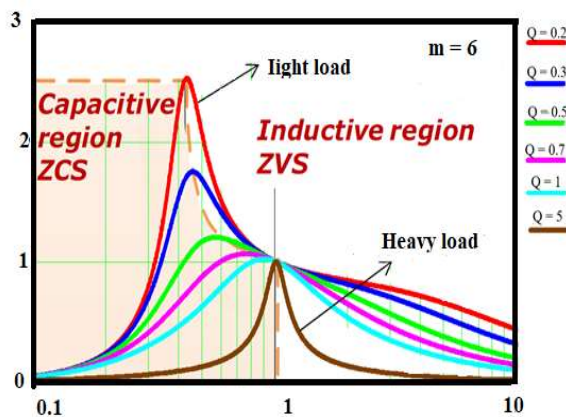
滞环控制注意事项（启动等）

半桥LLC拓扑与工作原理

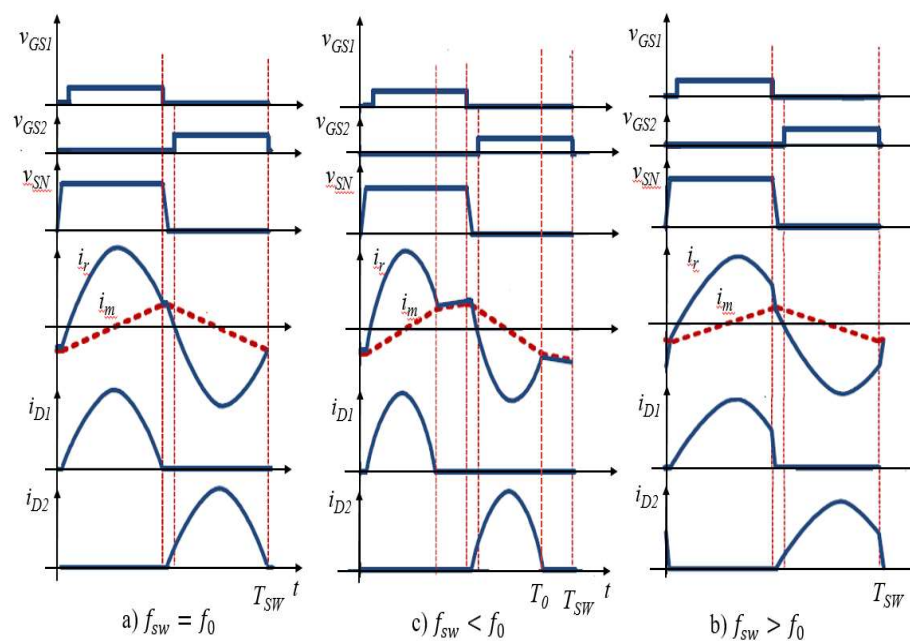
➤ 半桥LLC谐振电路



➤ LLC谐振变换器直流增益曲线图

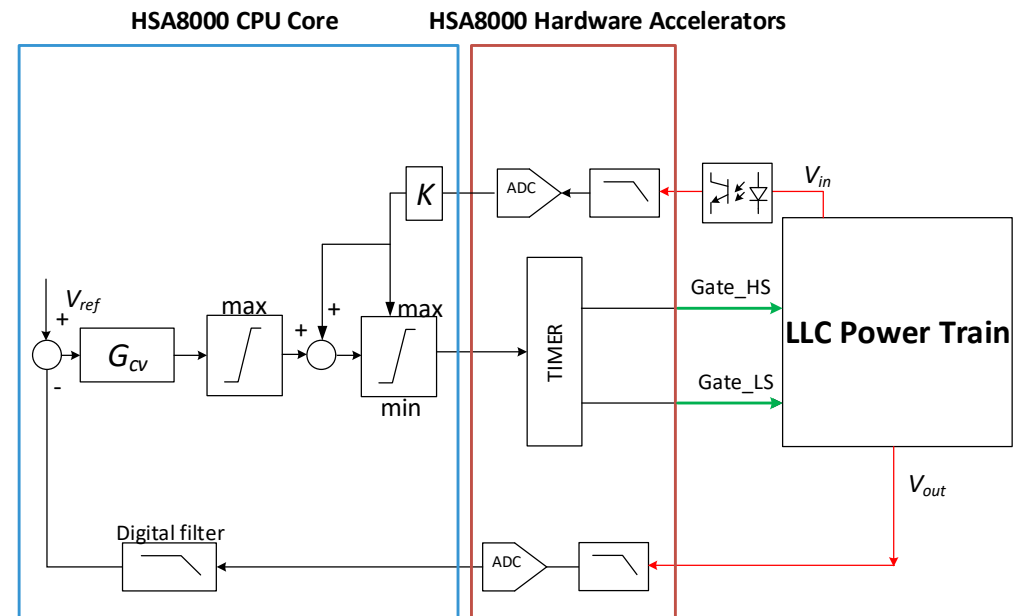
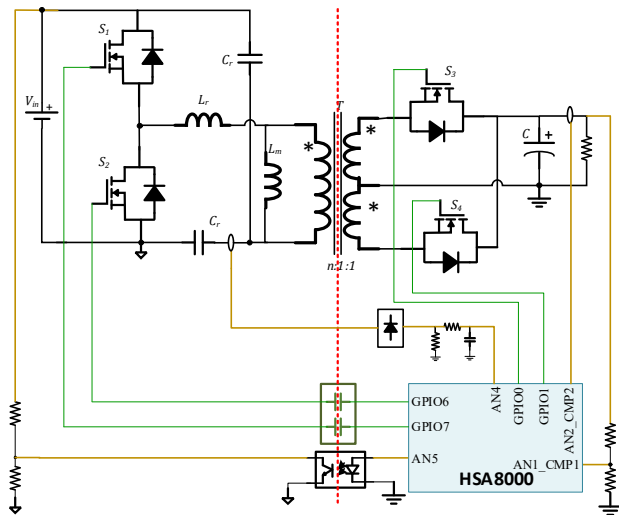


➤ LLC稳态工作波形



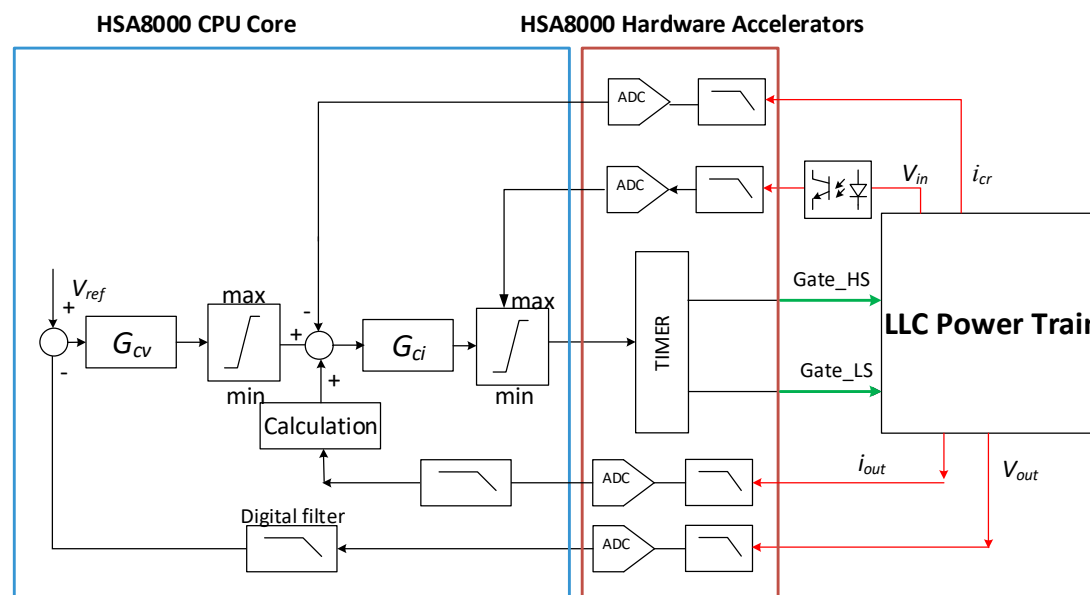
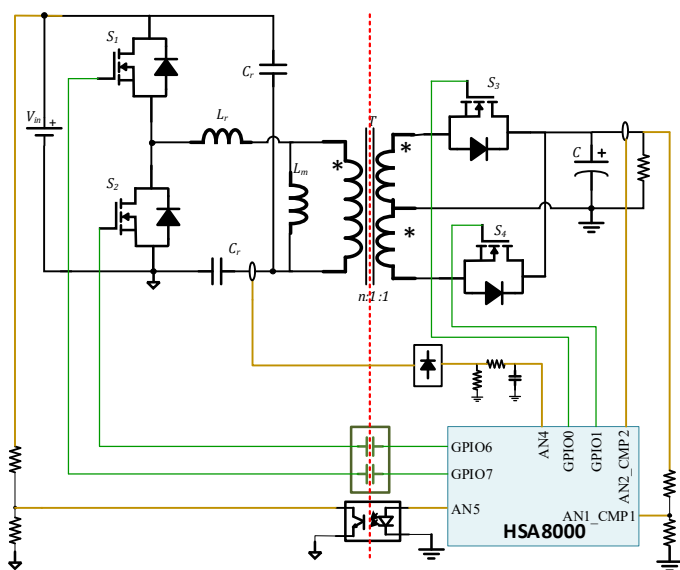
LLC主要控制方法简介—脉冲频率控制

- 采样：输出电压
- 单环控制：调节开关频率来调整输出电压
- 二阶系统： $V_{out}(s)/f(s)$



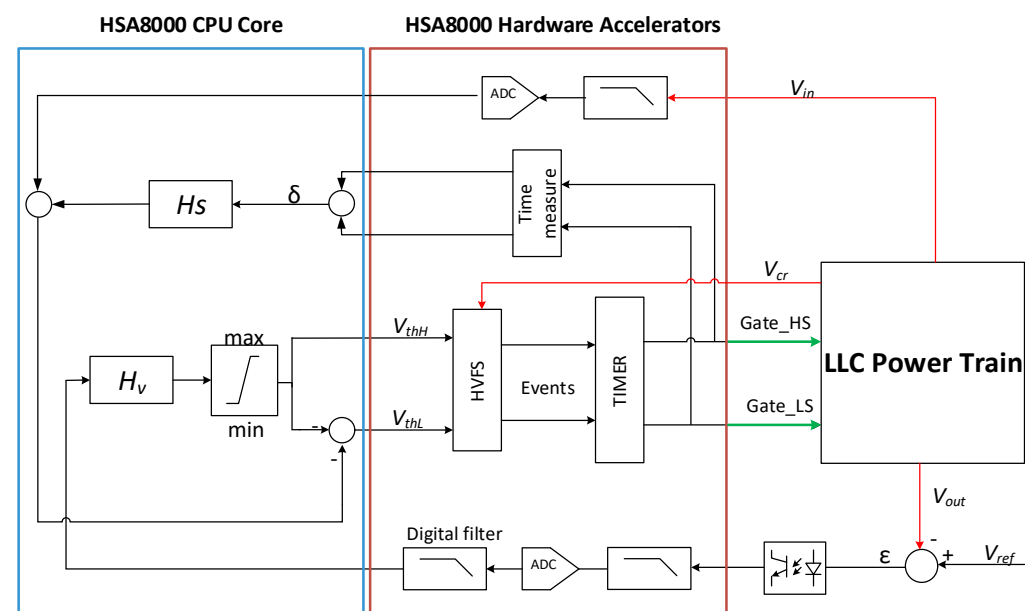
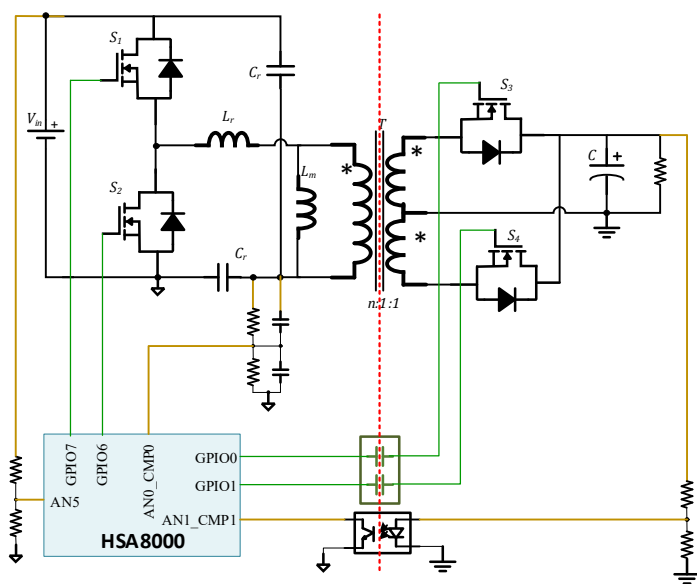
LLC主要控制方法简介—平均电流控制

- 采样：输出电压，平均电流
- 双环控制：调节平均电流来调整输出电压
- 二阶系统： $V(s)/i_r(s)$, $i_r(s)/f(s)$



LLC主要控制方法简介—滞环控制

- 采样：输出电压，输入电压
- 双环控制：调节谐振电容电荷来调整输出电压
- 一阶系统： $V(s)/V_r(s)$



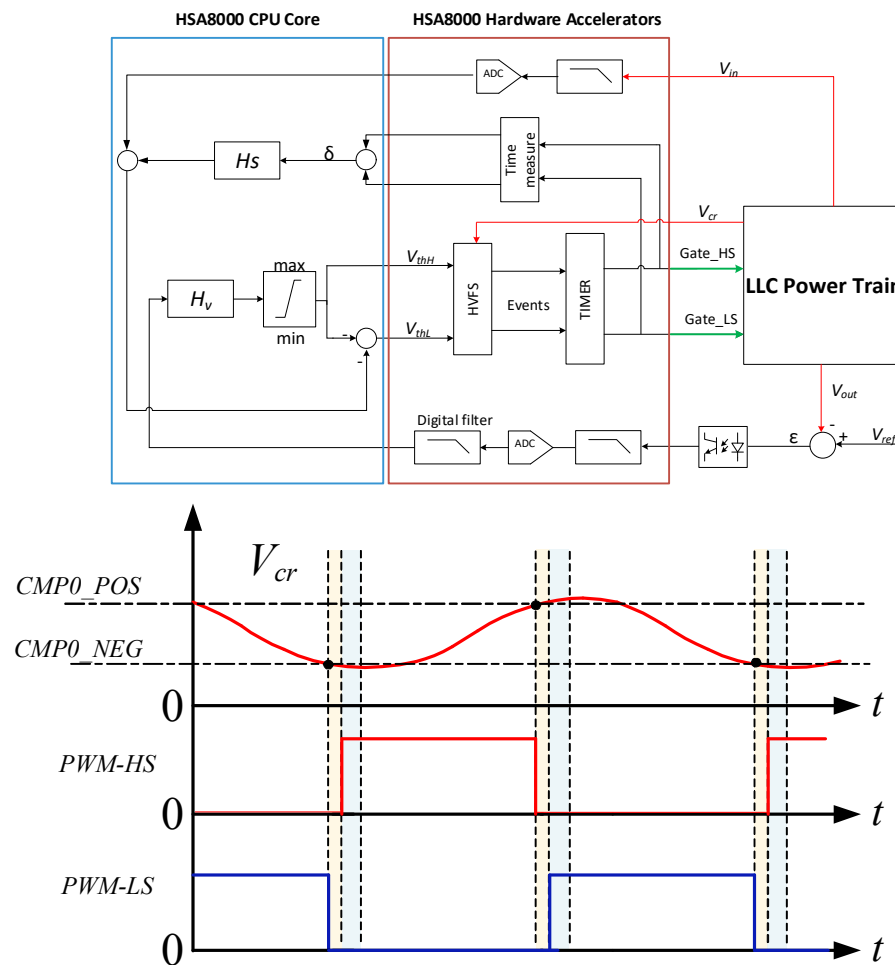
LLC主要控制方法对比

控制方法	优点	缺点
脉冲频率控制	• 只需使用输出电压采样 • 环路简单 • 控制成熟	• 响应速度慢 • 二阶函数系统，补偿网络设计复杂
平均/峰值电流控制	• 经典双环控制 • 响应速度较快	• 需要增加平均/峰值电流采样 • 双环控制参数设计复杂
滞环控制/电荷控制	• 内环滞环控制，带宽宽 • 只需设计外环参数，设计简单 • 响应速度快	• 需要增加谐振电容电压采样电路

HSA8000滞环控制及其实现

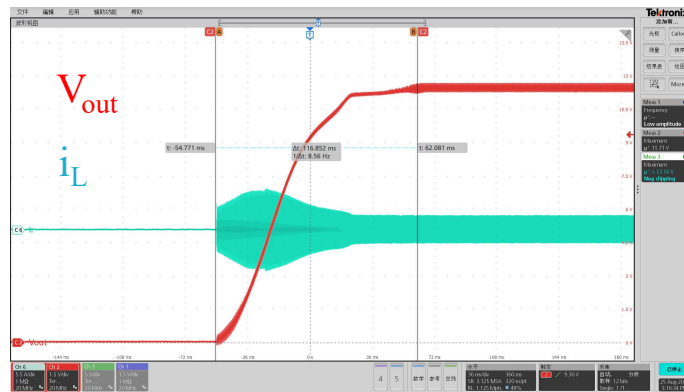


- HSA8000集成比较器模块和事件驱动模块
- 死区时间,最小脉冲和最长脉冲可配置
- 滞环上限=电压外环输出
- 滞环下限=输入电压-电压环输出
- 比较器输出作为事件触发对应开关管动作

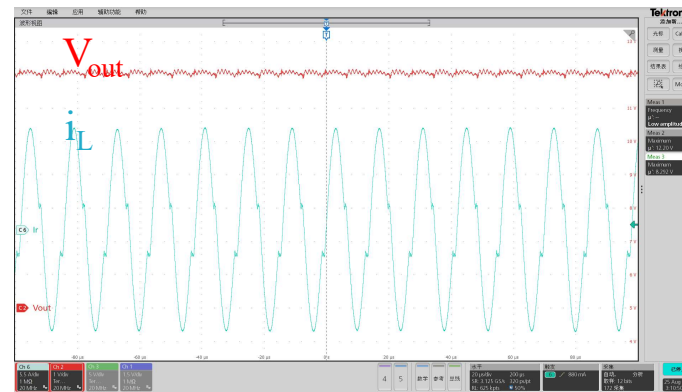


实验结果

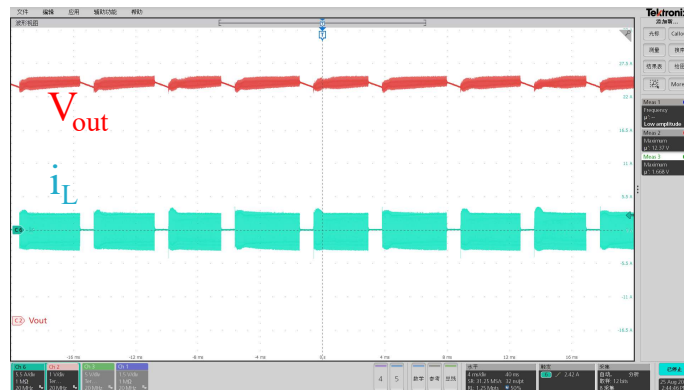
- 满载稳态波形和轻载burst (@滞环控制模式)



启动@输入电压385V, 10%负载



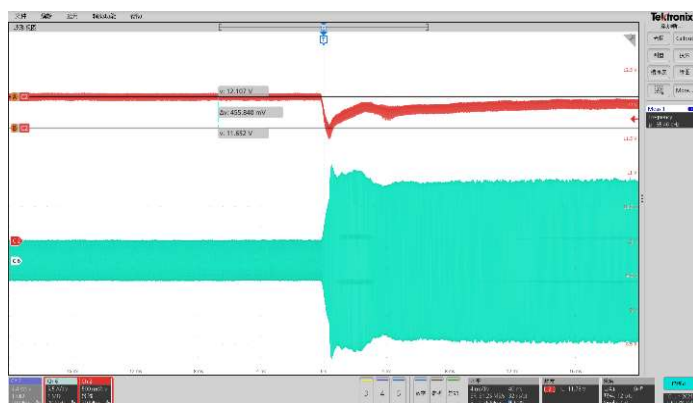
输入电压385V, 满载



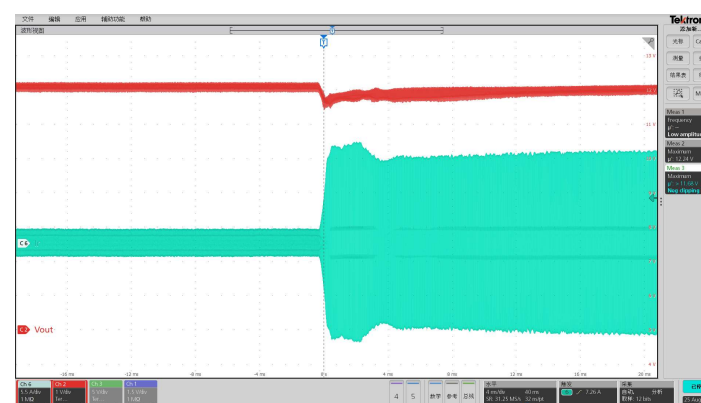
轻载burst mode

实验结果

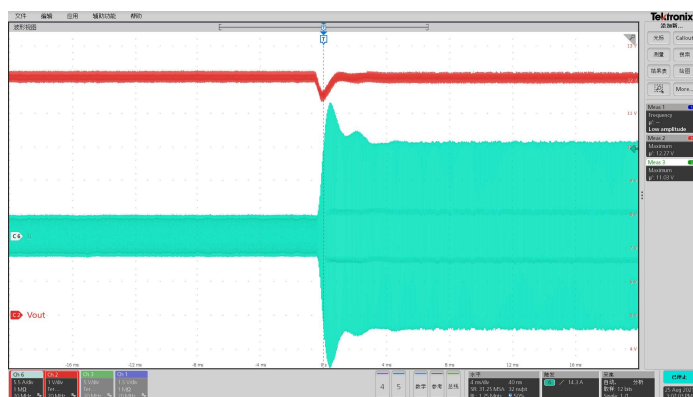
- 动态实验 (10% -> 90%)



脉冲频率控制，输入电压385V



平均电流控制，输入电压385V

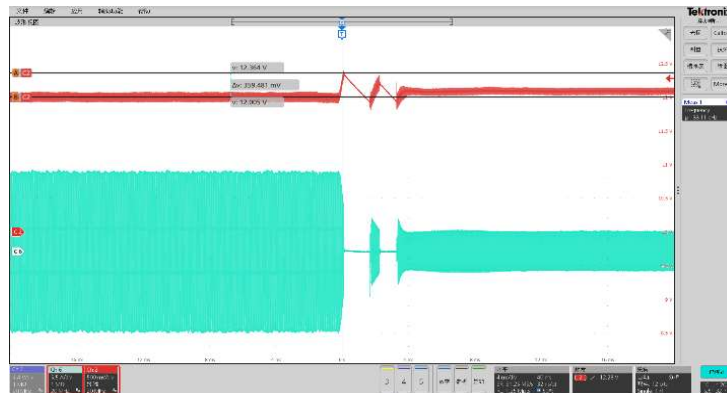


滞环控制，输入电压385V

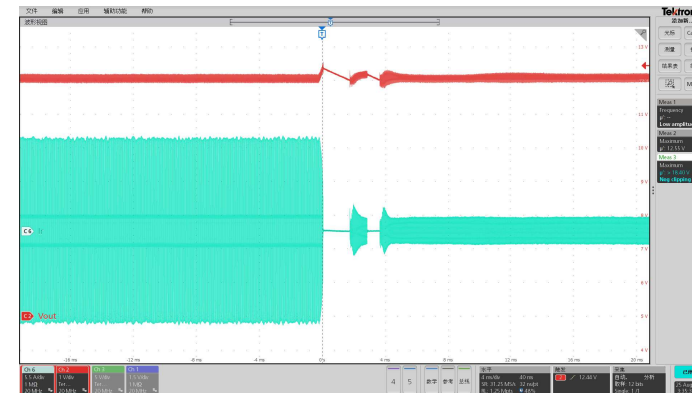
控制方法	电压降/V	Setting time	结论
脉冲频率控制	0.48	8ms	good
平均电流控制	0.45	5ms	better
滞环控制	0.51	1.3ms	best

实验结果

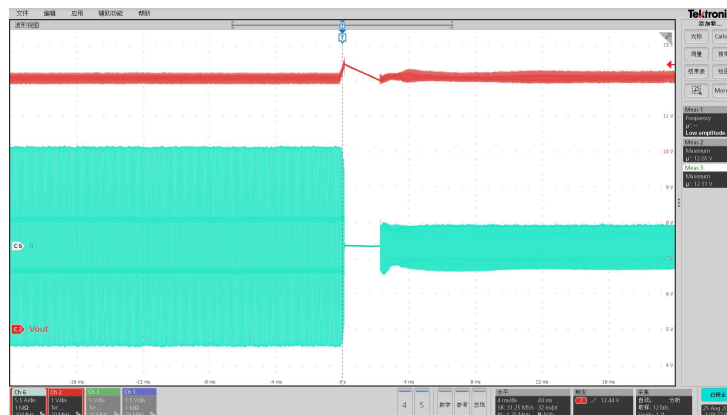
- 动态实验 (90% -> 10%)



脉冲频率控制, 输入电压385V



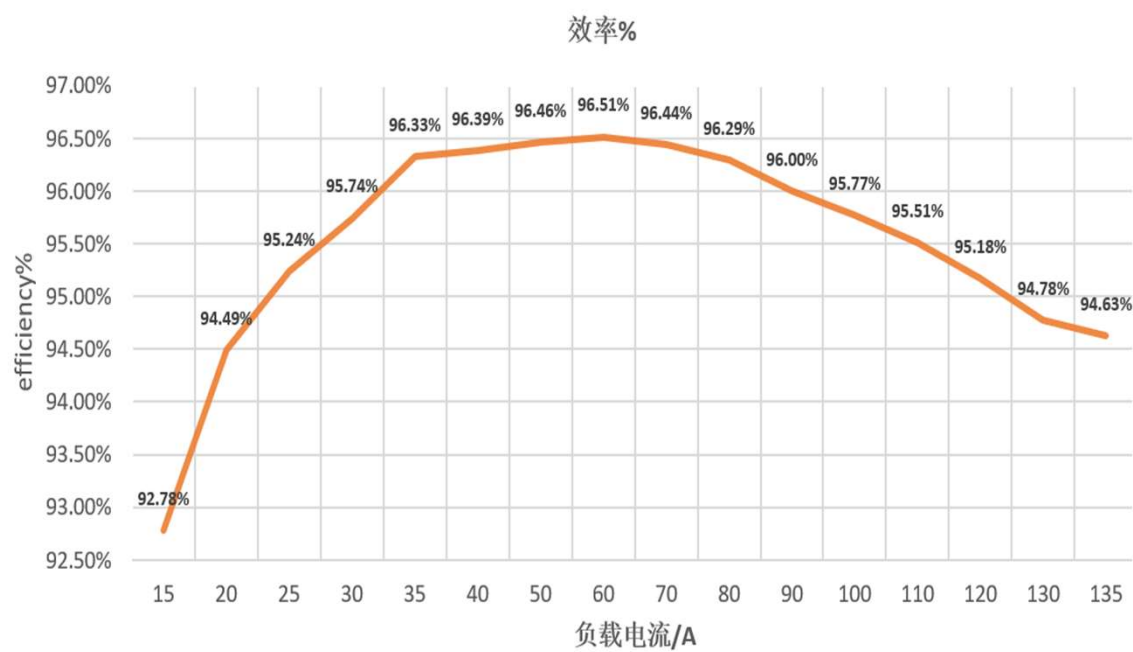
平均电流控制, 输入电压385V



滞环控制, 输入电压385V

实验结果

- 效率-功率回路仍在进一步优化中



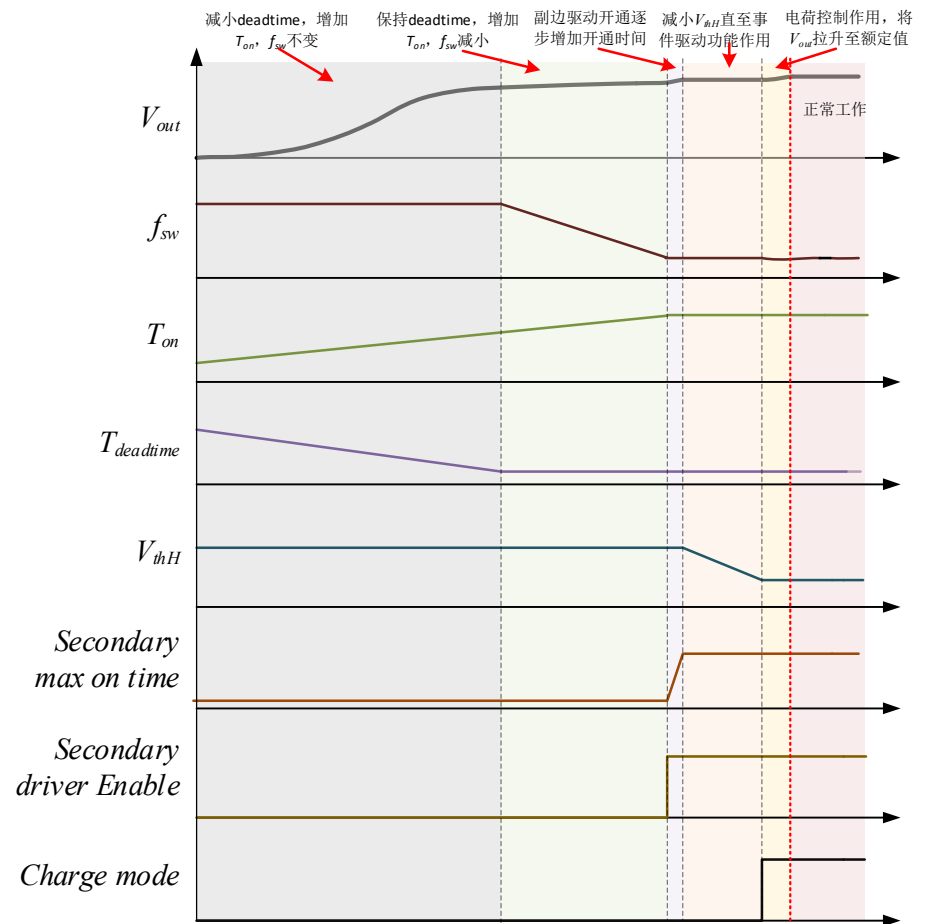
- 轻载效率高: Burst模式提高轻载效率
- 高效率: 助力满足电源行业钛金级标准要求
- 高功率密度: 低零件数, 低成本
- 响应速度快: 控制器原副边两种集成方式灵活选择
- 丰富的集成模拟外设: 内置高速比较器, 可实现过流、过压逐周期保护监测
- 事件驱动控制模块: 可靠实现滞环控制, 在线优化死区时间
- 可靠保护: 集成输入过欠压, 谐振腔过流, 输出过压, 输出过流, 温度检测保护

滞环控制注意事项-启动优化



➤ 滞环控制启动

- ✓ 将滞环上限设置至不会碰触的值
- ✓ 低占空比启动
- ✓ 频率不变，逐渐增加占空比至50%
- ✓ 增加on time，减小频率
- ✓ 逐渐降低滞环上限，切换至滞环控制



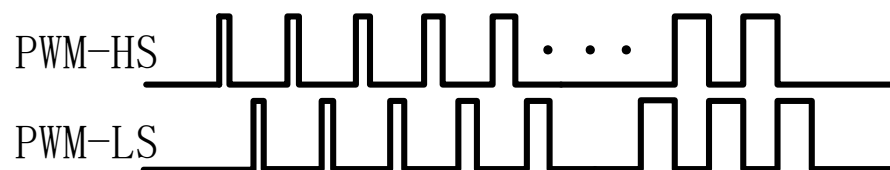
➤ burst啸叫问题解决方案

硬件

- 变压器浸漆工艺处理

软件

- Burst后开脉冲时小占空比启动，逐渐放开至50%
- 完整周期结束脉冲，固定脉冲结束时系统状态



1.6kW LLC原理及其实现-小结



- 基于HSA-8000数字电源控制器，对下面三种LLC三种实用方法进行了设计与实验验证；
 - 脉冲频率控制
 - 平均/峰值电流控制
 - 滞环控制/电荷控制
- 实验表明滞环控制/电荷控制响最快，平均/峰值电流控制次之，脉冲频率控制最慢；
- 并对LLC实际实现时的注意事项进行了简要分析；
- 上述验证了HSA-8000控制器在LLC控制实现上具有高效率、高功率密度的优势；

目录

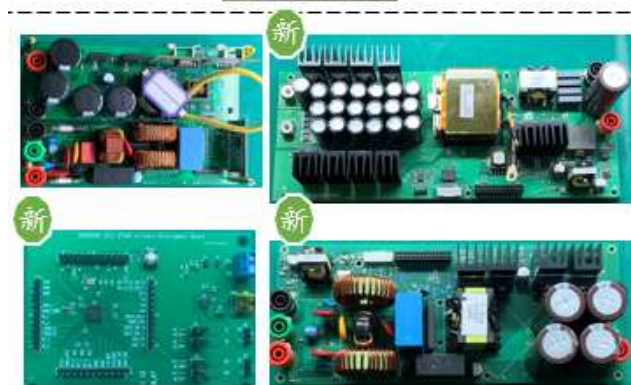
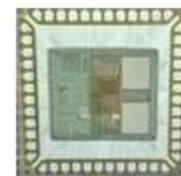
- 1 HSA-8000数字电源控制器简介
- 2 1.6kW图腾柱PFC及其实现
- 3 1.6kW LLC原理及其实现
- 4 主要参考设计概览
- 5 华大其它功率控制产品简介

HSA-8000数字电源主要参考设计

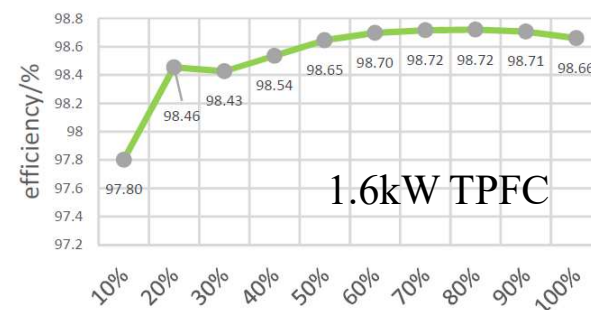


已开发应用资源/初步开发	状态
HSA8000(48pin)最小系统开发板	已开发
HSA8000(80pin)最小系统开发板	已开发
基于HSA8000(48pin)的1.2kW TPPFC参考设计	已开发
基于HSA8000(48pin)的1.2kW TPPFC逆变模式开发与调试	已开发
基于HSA8000(48pin)的1.6kW TPPFC参考设计	已开发
基于HSA8000(48pin)的1.6kW HB-LLC参考设计	已开发
基于HSA8000(80pin)的1kW电池储能双向变换器(ACBI)	80-pin开发完成, 基于48-pin正在开发
基于HSA8000(48pin)的交错式TPPFC	初步仿真验证、理论可行, 有需求再开发
双向3.3kW车载OBC-参考设计	初步, 已暂停

QFN48-7*7
QFN80-10*10



效率(%)



目录

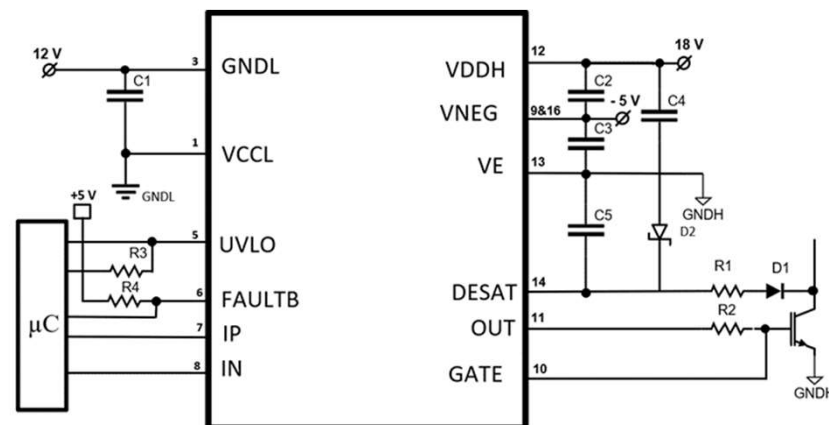
- 1 HSA-8000数字电源控制器简介
- 2 1.6kW图腾柱PFC及其实现
- 3 1.6kW LLC原理及其实现
- 4 主要参考设计概览
- 5 华大其它功率控制产品简介

HSA6880 $\pm 3.5\text{A}$ SiC MOS/IGBT隔离驱动



产品主要性能:

- ❑ 单通道带保护隔离驱动，为汽车工业应用定制，AECQ-100 认证
- ❑ 3.5A峰值输出电流
- ❑ 高共模瞬态抑制（CMTI）：高于 $50\text{ kV}/\mu\text{s}$
- ❑ 小于 90 ns 的传播延迟
- ❑ 集成完整的IGBT保护功能：
 - ✓ IGBT软关断
 - ✓ 去饱和检测（DESAT）
 - ✓ 有源米勒电流钳位
 - ✓ 高边侧有带反馈的欠压锁定保护（UVLO）
 - ✓ 故障感知并向系统控制器报告（DESAT & UVLO）
- ❑ 汽车级的温度范围： $-40\text{C} - 125\text{C}$
- ❑ UL1577认证， $V_{\text{ISO}} = 3.75\text{ kV}_{\text{RMS}}$ 保持60秒
- ❑ 符合VDE 0884-10标准要求；
- ❑ SOIC-16WB 封装，与AVAGO ACPL-344JT pin2pin 兼容



目标应用:

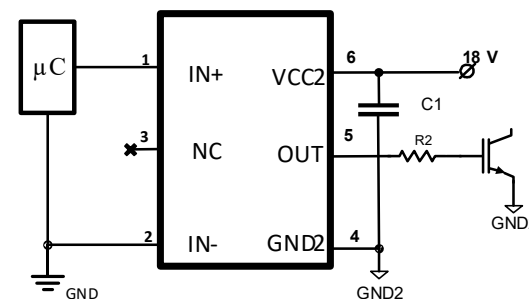
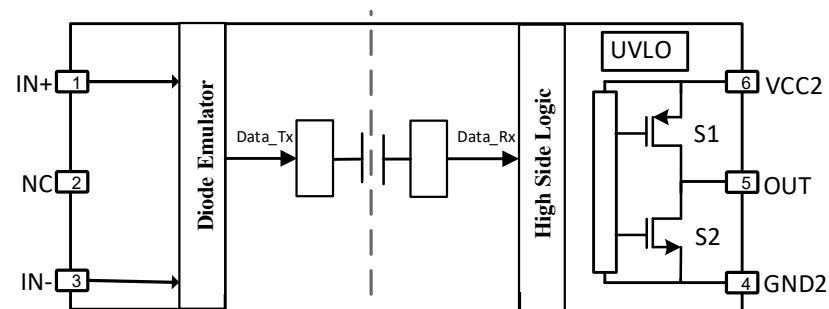
- HEV及EV的辅助逆变器
- 汽车OBC以及牵引逆变器
- 电机驱动器
- 空调逆变器
- 不间断电源
- 光伏逆变器及优化器

HSA6886 4A MOS/IGBT隔离驱动



产品性能:

- 单通道容隔IGBT/SiC驱动
- 高可靠性，无传统光耦的光衰问题
- 适用于工业及汽车4A峰值输出电流
- 5kVrms输入与输出之间的隔离电压
- 高共模瞬态抑制（CMTI）100kV/ μ s
- 小于105ns的传播延时
- 滞后的欠压保护锁定功能（UVLO）
- 5-30V的宽VCC电压范围
- 工作温度-40-125° C
- 宽体SOIC-6封装，8mm爬电距离，与主流6Pin产品可直接替换



目标应用:

- 电机驱动器
- 高压直流/直流转换器
- UPS
- HEV和EV电源模块
- 光伏逆变器

如何获取进一步信息



- 数字电源专用芯片：
<http://www.hdsc.com.cn/Category103>
- 栅极隔离驱动芯片：
<http://www.hdsc.com.cn/Category100>
- 销售联系方式：

谢祥： 13632987428 （微信同号）
赵卫： 15251508548 （微信同号）

也可填写问卷，获得更详细
资料信息和示例参考代码



THANKS

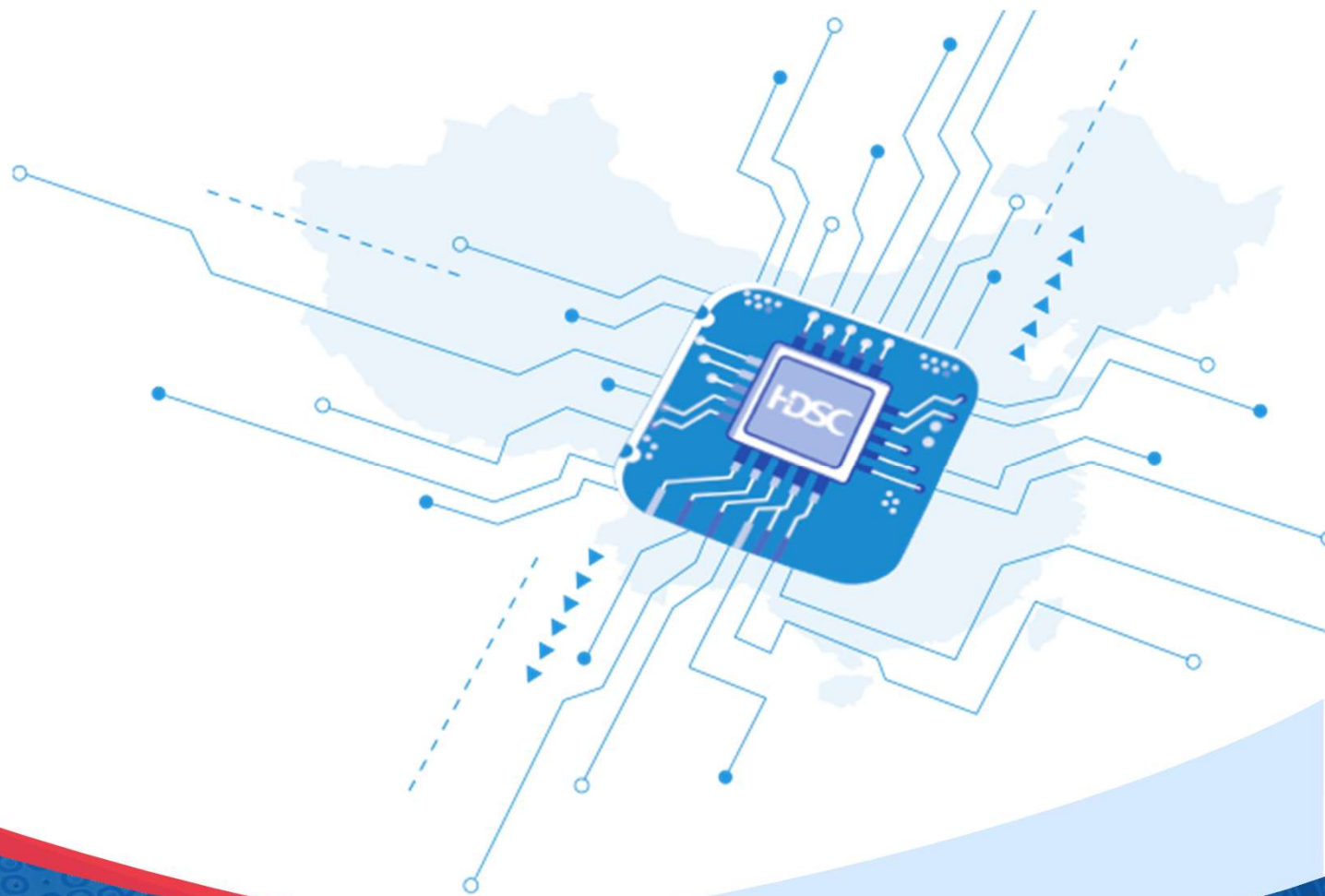
Liu Bin-Robin (刘斌)

系统应用部经理

Phone: +86-138-1758-6244

E-mail: liubin@hdsc.com.cn

www.hdsc.com.cn



HDSC 华大半导体
HUADA SEMICONDUCTOR