

基于UCC28600的谐振工作模式的反激变换器的效率分析

Martin Ma

德州仪器半导体技术(上海)有限公司

摘要: 本文详细分析了 65W 谐振工作模式的反激变换器在全电压输入范围内的关键元器件的损耗, 给出了全电压工作范围内变换器效率的计算曲线和实测曲线, 对于理论分析变换器效率及提高谐振工作模式变换器的效率有指导意义。

关键词: UCC28600; 反激变换器; 谐振; 效率;

目录

1 变换器输入输出电气参数.....	1
2 主要元器件的损耗分析.....	1
2.1 全范围输入电压时占空比及工作频率的变化	1
2.2 Mosfet 的损耗分析	3
2.3 整流桥及副边整流肖特基损耗分析	4
2.4 变压器损耗分析	4
2.5 输入滤波电容及原边电流检测电阻损耗分析	4
2.6 其他损耗分析	5
3 理论分析和实测效率的对比分析.....	5
4 结论.....	7
5 参考文献.....	7

1.变换器输入输出电气参数:

本文的分析和设计基于 65W 输出的笔记本适配器, 输入直流电压 V_{in} 为: 100~370V DC; 输出直流电压电流为: 18V/3.6A。根据输入输出条件, 设定低压满载是 65KHZ 工作频率。按变换器的常规设计得到: $N_p:N_s=6:1$, $L_p=290\mu H$ 。其他相关设计参数及原理图可参考文献 2 及附录。

2.主要元器件的损耗分析

2.1.全范围输入电压时占空比及工作频率的变化

变换器全范围工作在准谐振谷底开通模式, 所以满足 Flyback 基本的输出输出公式, 可根据如下公式, 计算得到满载时占空比在全电压输入时的变化规律, 其中 $D(V_{in})$ 为占空比 D 和 V_{in} 的函数关系, 其变化规律如图 1 所示, 其中 V_o 为输出电压, V_d 为副边整流肖特基的导通压降:

$$D(V_{in}) := \frac{n \cdot (V_o + V_d)}{V_{in} + n \cdot (V_o + V_d)}$$

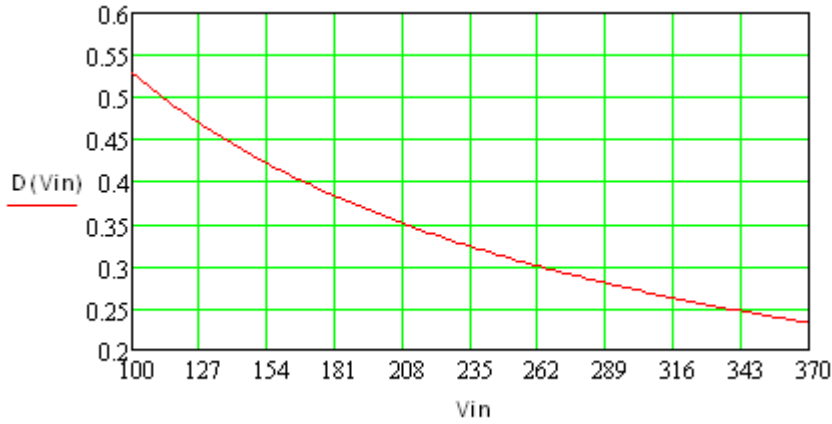


图 1. 满载时在全范围电压输入时占空比变化

可以按如下的计算方式得到全电压输入时变换器工作频率变化规律如图 2 所示，其中 L_p 为变压器原边电感量， $I_{pk_p}(V_{in})$ 为原边峰值电流和输入电压的函数关系， $f(V_{in})$ 为变换器工作频率和输入电压的函数关系， T_{on} 和 T_{off} 分别为导通和关断时间。

$$T_{on}(V_{in}) := \frac{L_p \cdot I_{pk_p}(V_{in})}{V_{in}} \quad T_{off}(V_{in}) := \frac{L_p \cdot I_{pk_p}(V_{in})}{n \cdot (V_o + V_d)}$$

$$T(V_{in}) := T_{on}(V_{in}) + T_{off}(V_{in}) \quad f(V_{in}) := \frac{1}{T(V_{in})}$$

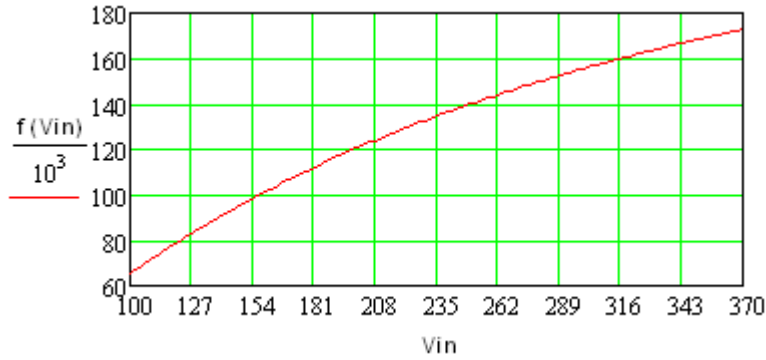


图 2. 满载时在全范围电压输入时工作频率的变化

2.2. Mosfet 的损耗分析

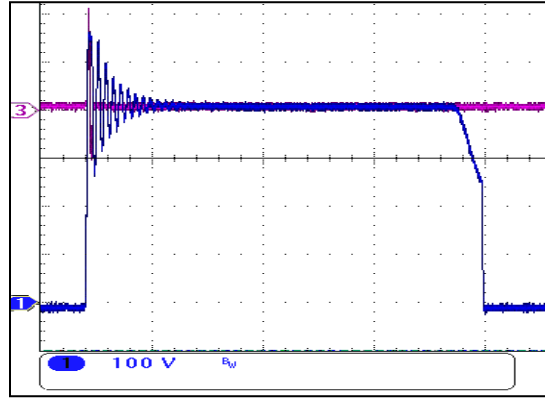


图 3. 230V 输入时变换器 Vds 的工作波形

如图 3 为变换器实际工作在谐振模式时 Vds 的工作波形，可见 Mosfet 开通时，变压器的原边电感 L_p 和 C_{ds} 之间谐振，开通时电压谐振到 $V_{in} - (V_{out} + V_d)$ ，此时电流从零开始增加，大大的降低了开通时的损耗，这是谐振工作模式的优势。

Mosfet 的损耗分为 4 个部分，关断损耗，导通损耗，开通损耗及驱动损耗，在该设计中使用的 SPP11N60C3 Mosfet，可以根据 Mosfet 的全范围输入时电压电流的变换规律，计算分析 Mosfet 的全输入范围的损耗分布，其中驱动损耗主要和工作频率关系较大，导通损耗需估计其热效应的影响，按结温 100°C 估算，图中可见关断损耗随输入电压增加而增加。

$$P_{\text{turnoff_Q1}}(V_{in}) := \frac{1}{6} \cdot V_{ds_max_Q1}(V_{in}) \cdot I_{pk_Q1}(V_{in}) \cdot t_f_{Q1} \cdot f(V_{in})$$

$$P_{\text{cond_Q1}}(V_{in}) := I_{rms_Q1}(V_{in})^2 \cdot R_{dson_Q1_100}$$

$$P_{\text{turnon_Q1}}(V_{in}) := \frac{1}{2} \cdot C_{o_er_Q1} \cdot [V_{in} - n \cdot (V_o + V_d)]^2 \cdot f(V_{in})$$

$$P_{\text{dri_Q1}}(V_{in}) := Q_{gate_Q1} \cdot V_{gs_Q1} \cdot f(V_{in})$$

$$P_{\text{total_Q1}}(V_{in}) := P_{\text{turnon_Q1}}(V_{in}) + P_{\text{turnoff_Q1}}(V_{in}) + P_{\text{cond_Q1}}(V_{in}) + P_{\text{dri_Q1}}(V_{in})$$

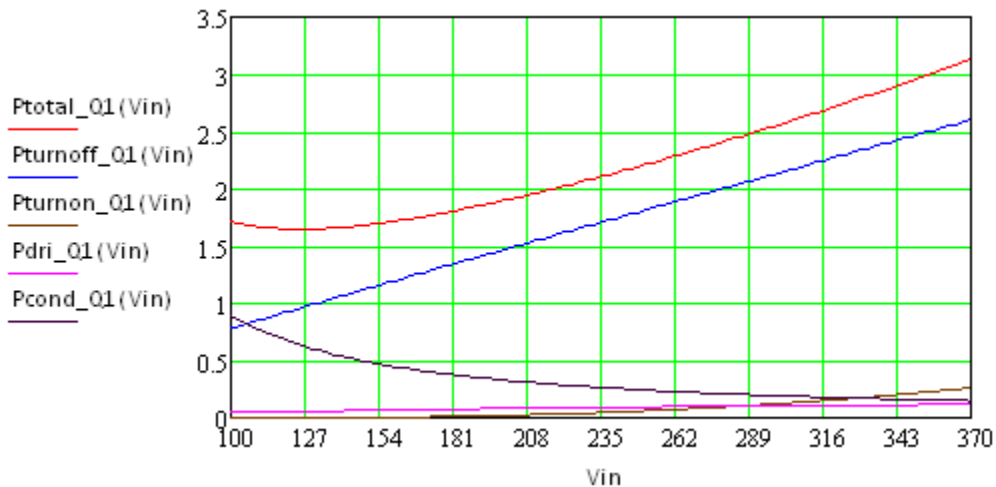


图 4.满载时在全范围电压输入时 Mosfet 损耗变化

2.3. 整流桥及副边整流肖特基损耗分析

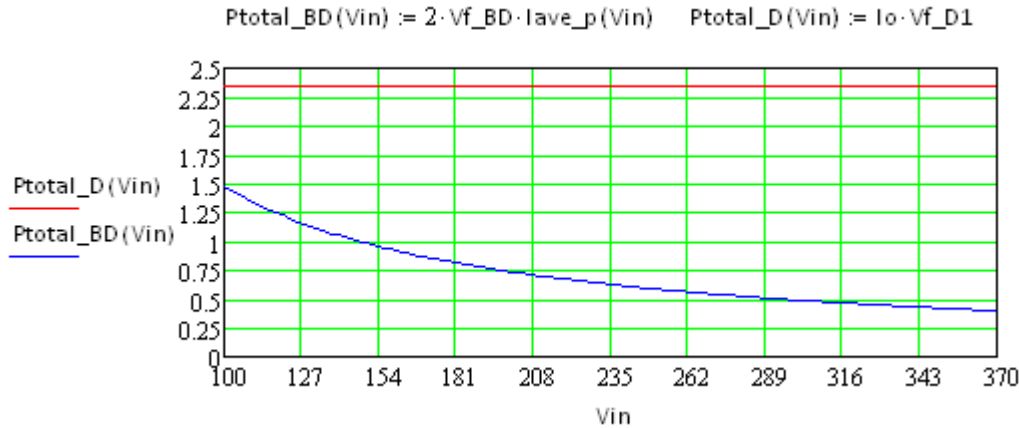


图 5.满载时全范围电压输入整流桥与肖特基损耗变化

在本设计中，副边整流肖特基选用 STPS20120CT，100℃时，VF=0.6V。如下图 5 显示整流桥及肖特基的损耗在全范围输入时的变化，其中 BD(Vin)和 D(Vin)分别为整流桥和肖特基的损耗。

2.4. 变压器损耗分析

本设计中，使用 RM10 的磁芯，该磁芯有效截面积较大，漏磁较小，在满足饱和磁通余量的情况下，设计匝比为 N1: N2=36T:6 T，其中可查的 $A_e=98 \times 10^{-9}m^2$ ，可以根据如下公式得到全范围最大磁通量的变化规律如图 6，可见在输入电压最低的时候，磁通量为最大值。所以在设计时需要保证满载输入电压最低时，保证此时磁通量小于饱和磁通并留有一定的裕量。

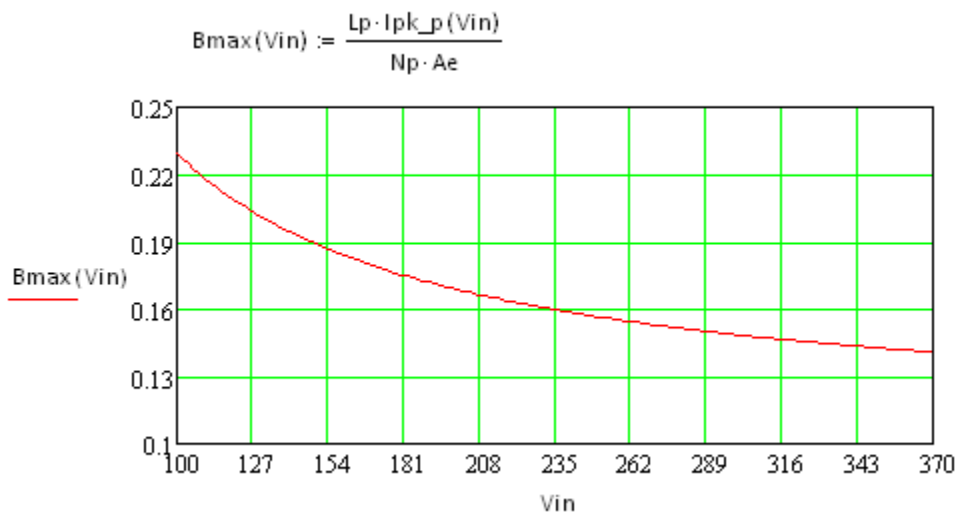


图 6.满载时全范围电压输入变压器最大磁通变化

在满足集肤效应和邻近效应的基础上，使用三明治绕法，漏感较小，原边为 $\Phi 0.3 \times 3$ ，副边为 $\Phi 0.5 \times 4$ ，如图 7 显示了其在全范围输入的情况下其损耗的变化规律。其中 Pwinding 为变压器的铜损，Ploss_core 为铁损，铁损主要和磁芯的材质关系较大。

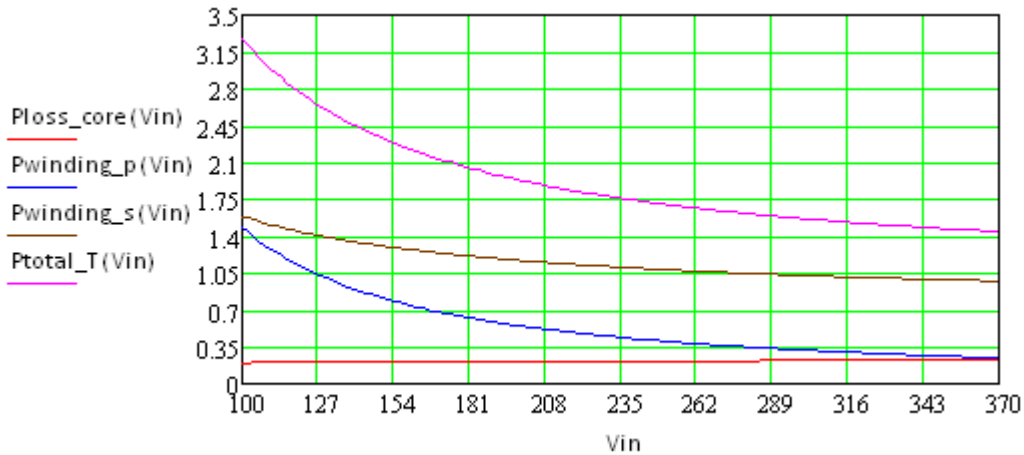


图 7.满载时全范围电压输入时变压器损耗变化

2.5. 输入滤波电容及原边电流检测电阻损耗分析

如图 8 为满载时全范围电压输入时输入电容与原边电流检测电阻损耗变化。原边电阻的损耗主要和通过该电阻的电流有效值有关系，输入电容的损耗和其流通的电流有效值有关系。

$$Prs_p(Vin) := Irms_p(Vin)^2 \cdot Rs_p \quad Pcap(Vin) := \left(\frac{Irms_Co(Vin)}{2} \right)^2 \cdot Resr_20 \cdot 2$$

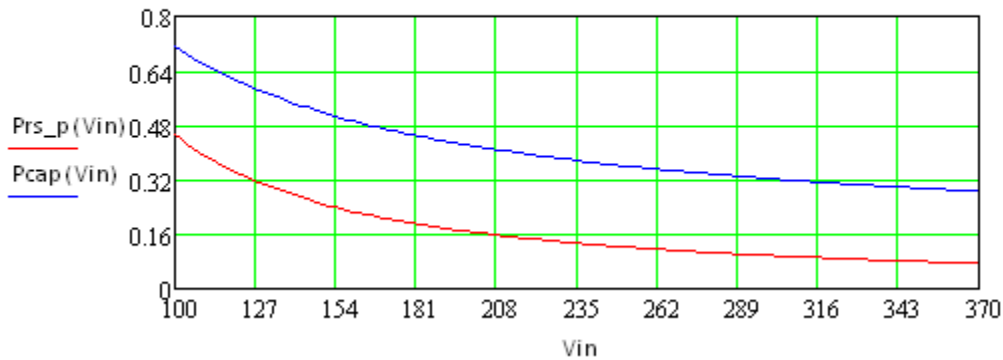


图 8.满载时全范围电压输入时输入电容与原边电流检测电阻损耗变化

2.6. 其他损耗分析

变换器的其他损耗主要分为：原边电流检测电阻损耗，输出滤波 LC 的损耗，输入电容损耗，RCD clamp 吸收回路的损耗，IC 的供电损耗，EMI 滤波器的损耗以及 PCB 走线的损耗。如下图 9 为这些损耗的总结，其中 EMI 滤波器的损耗以及 PCB 走线的损耗主要是电阻性的损耗。

$$Ptotal_odd(Vin) := Prs_p(Vin) + Plc_s + Pcap(Vin) + Pclamp(Vin) + Ptotal_auxpower + P_emi(Vin) + Ppcb$$

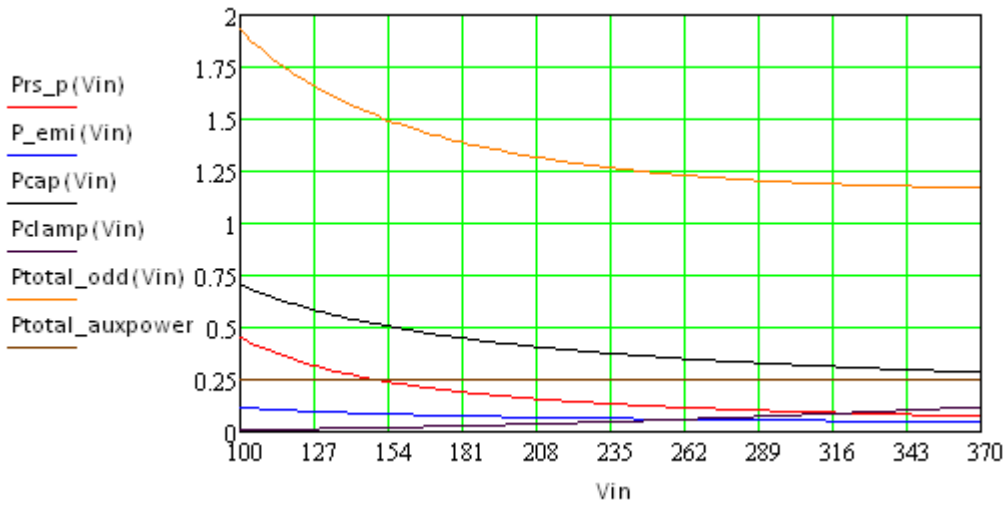


图 9.满载时全范围电压输入时其他损耗的变化

3.理论分析和实测效率的对比分析

根据以上的分析，可以得到变换器的总损耗如下，将这些损耗累加，可以得到如图 10 全部损耗在全范围输入电压内的变化规律，从而可以得到全范围输入电压时的效率变化规律如图 11 所示。

$$P_{total}(Vin) := P_{total_Q1}(Vin) + P_{total_D}(Vin) + P_{total_BD}(Vin) + P_{total_T}(Vin) + P_{total_odd}(Vin)$$

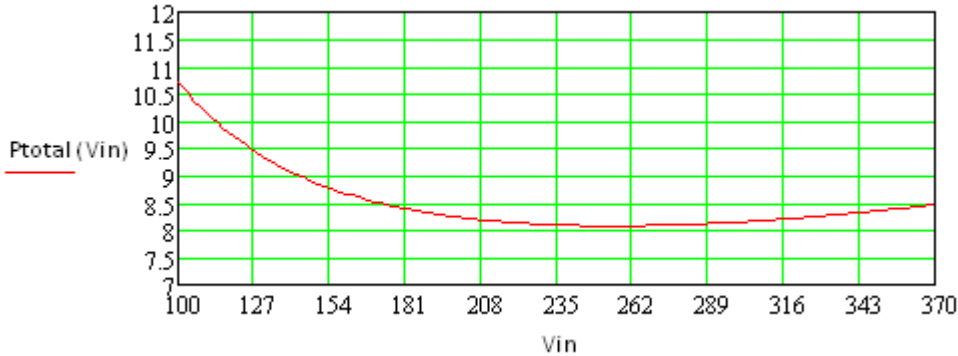


图 10 全范围电压输入时全部损耗的变化

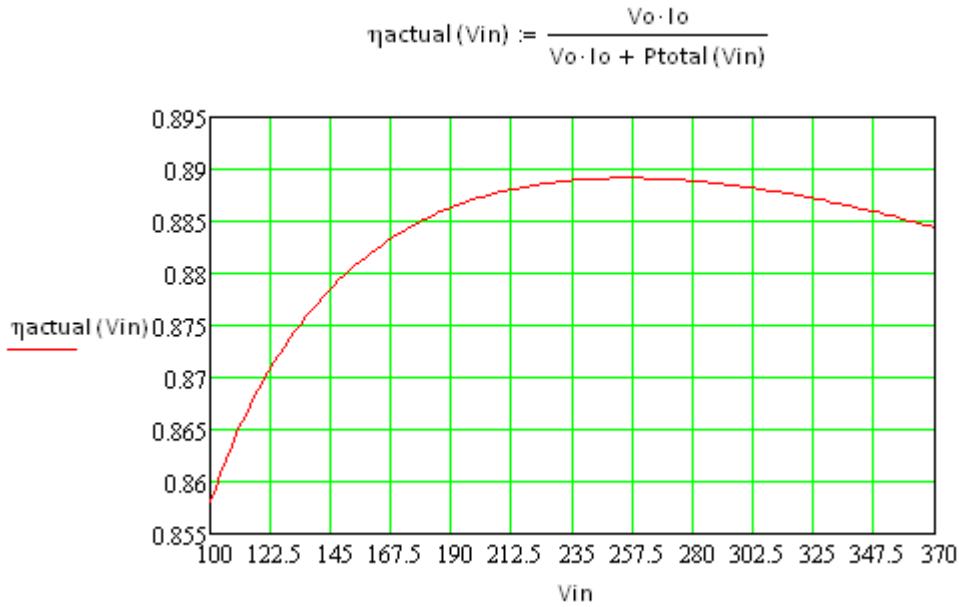


图 11 全范围电压输入时的效率变化

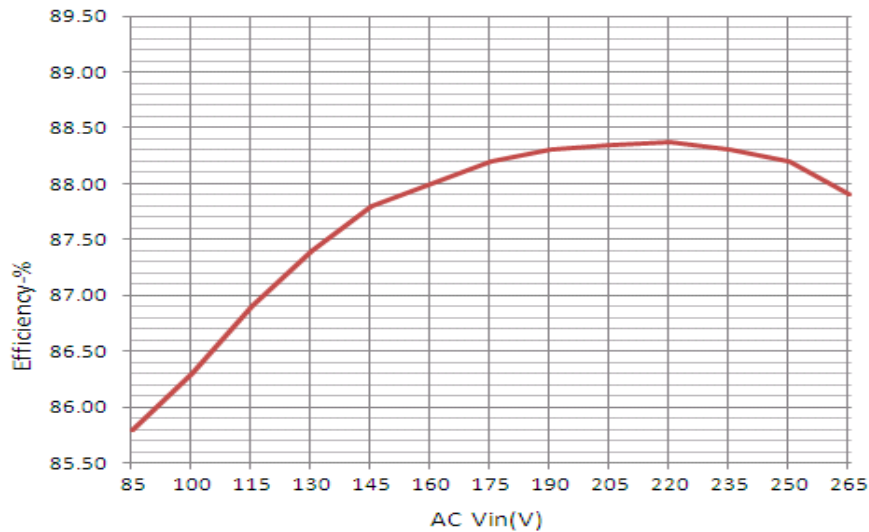


图 12 全范围电压输入时实测效率

基于上述设计和 TI 的谐振控制器 UCC28600EVM，测试得到实际的变换器效率如下图 12 所示。可见，计算得到的效率变化规律和实测的效率曲线基本相同，较为真实的反映了变换器的理论计算。实际计算时建立的工作模型越接近实际工作模型，计算的结果会越准确。可以根据上述的分析方法在设计中优化变换器的效率，其中变压器和开关器件是优化的重点。

4.结论

通过以上的分析和测试，可得如下结论：

1. 对于谐振工作模式的反激变换器，最低电压输入时，满载的变换器的效率最低，磁通量为最大值，需要针对最低输入电压去评估变压器的饱和磁通量并留有一定的裕量。

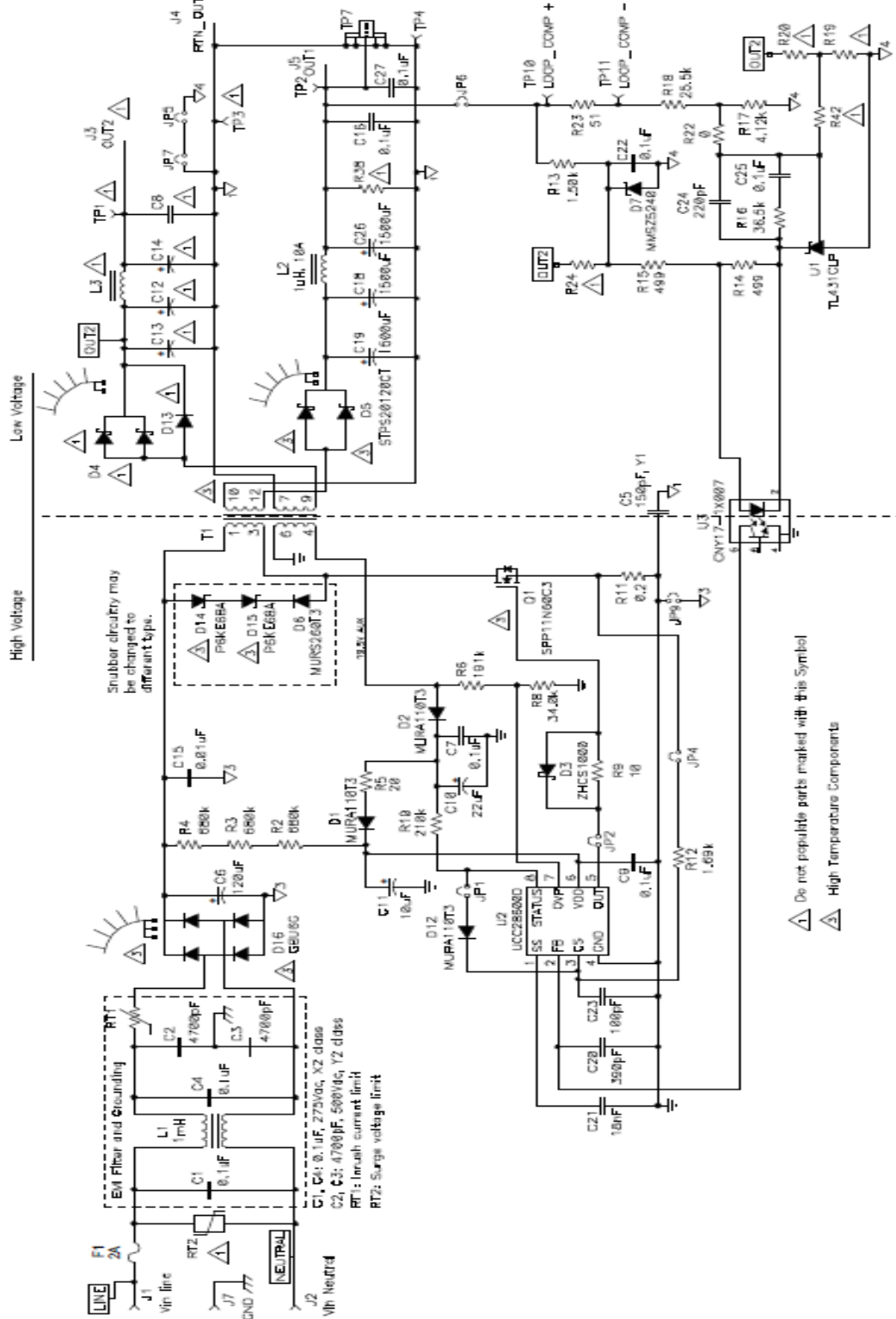
2. 由于最低输入电压时变换器效率最低，此时变换器损耗最大，实际设计时可以根据此时的损耗去评估整个系统的热设计。
3. 效率的计算结果和 实测效率接近，使用本文损耗计算方式是一种有效的评估效率的手段，可以根据上述的分析方法优化变换器的效率。

5.参考文献:

1. UCC28600 QUASI-RESONANT FLYBACK CONTROLLER datasheet
Texas Instruments <http://www.ti.com.cn/cn/lit/ds/slus646j/slus646j.pdf>
2. Quasi-Resonant Flyback Converter Universal Off-Line Input 65-W Evaluation Module
Texas Instruments <http://www.ti.com.cn/cn/lit/ug/slue263c/slue263c.pdf>

附录：UCC28600EVM 原理图

<http://www.ti.com.cn/cn/lit/ug/sluiu263c/sluiu263c.pdf>



重要声明

德州仪器(TI) 及其下属子公司有权根据 JESD46 最新标准, 对所提供的产品和服务进行更正、修改、增强、改进或其它更改, 并有权根据 JESD48 最新标准中止提供任何产品和服务。客户在下订单前应获取最新的相关信息, 并验证这些信息是否完整且是最新的。所有产品的销售都遵循在订单确认时所提供的TI 销售条款与条件。

TI 保证其所销售的组件的性能符合产品销售时 TI 半导体产品销售条件与条款的适用规范。仅在 TI 保证的范围内, 且 TI 认为有必要时才会使用测试或其它质量控制技术。除非适用法律做出了硬性规定, 否则没有必要对每种组件的所有参数进行测试。

TI 对应用帮助或客户产品设计不承担任何义务。客户应对其使用 TI 组件的产品和应用自行负责。为尽量减小与客户产品和应用相关的风险, 客户应提供充分的设计与操作安全措施。

TI 不对任何 TI 专利权、版权、屏蔽作品权或其它与使用了 TI 组件或服务的组合设备、机器或流程相关的 TI 知识产权中授予的直接或隐含权作出任何保证或解释。TI 所发布的与第三方产品或服务有关的信息, 不能构成从 TI 获得使用这些产品或服务的许可、授权、或认可。使用此类信息可能需要获得第三方的专利权或其它知识产权方面的许可, 或是 TI 的专利权或其它知识产权方面的许可。

对于 TI 的产品手册或数据表中 TI 信息的重要部分, 仅在没有对内容进行任何篡改且带有相关授权、条件、限制和声明的情况下才允许进行复制。TI 对此类篡改过的文件不承担任何责任或义务。复制第三方的信息可能需要服从额外的限制条件。

在转售 TI 组件或服务时, 如果对该组件或服务参数的陈述与 TI 标明的参数相比存在差异或虚假成分, 则会失去相关 TI 组件或服务的所有明示或暗示授权, 且这是不正当的、欺诈性商业行为。TI 对任何此类虚假陈述均不承担任何责任或义务。

客户认可并同意, 尽管任何应用相关信息或支持仍可能由 TI 提供, 但他们将独力负责满足与其产品及其应用中使用的 TI 产品相关的所有法律、法规和安全相关要求。客户声明并同意, 他们具备制定与实施安全措施所需的全部专业技术和知识, 可预见故障的危险后果、监测故障及其后果、降低有可能造成人身伤害的故障的发生机率并采取适当的补救措施。客户将全额赔偿因在此类安全关键应用中使用任何 TI 组件而对 TI 及其代理造成的任何损失。

在某些场合中, 为了推进安全相关应用有可能对 TI 组件进行特别的促销。TI 的目标是利用此类组件帮助客户设计和创立其特有的可满足适用的功能安全性标准和要求的终端产品解决方案。尽管如此, 此类组件仍然服从这些条款。

TI 组件未获得用于 FDA Class III (或类似的生命攸关医疗设备) 的授权许可, 除非各方授权官员已经达成了专门管控此类使用的特别协议。

只有那些 TI 特别注明属于军用等级或“增强型塑料”的 TI 组件才是设计或专门用于军事/航空应用或环境的。购买者认可并同意, 对并非指定面向军事或航空航天用途的 TI 组件进行军事或航空航天方面的应用, 其风险由客户单独承担, 并且由客户独力负责满足与此类使用相关的所有法律和法规要求。

TI 已明确指定符合 ISO/TS16949 要求的产品, 这些产品主要用于汽车。在任何情况下, 因使用非指定产品而无法达到 ISO/TS16949 要求, TI 不承担任何责任。

产品	应用
数字音频	www.ti.com.cn/audio 通信与电信 www.ti.com.cn/telecom
放大器和线性器件	www.ti.com.cn/amplifiers 计算机及周边 www.ti.com.cn/computer
数据转换器	www.ti.com.cn/dataconverters 消费电子 www.ti.com.cn/consumer-apps
DLP® 产品	www.dlp.com 能源 www.ti.com.cn/energy
DSP - 数字信号处理器	www.ti.com.cn/dsp 工业应用 www.ti.com.cn/industrial
时钟和计时器	www.ti.com.cn/clockandtimers 医疗电子 www.ti.com.cn/medical
接口	www.ti.com.cn/interface 安防应用 www.ti.com.cn/security
逻辑	www.ti.com.cn/logic 汽车电子 www.ti.com.cn/automotive
电源管理	www.ti.com.cn/power 视频和影像 www.ti.com.cn/video
微控制器 (MCU)	www.ti.com.cn/microcontrollers
RFID 系统	www.ti.com.cn/rfidsys
OMAP应用处理器	www.ti.com.cn/omap
无线连通性	www.ti.com.cn/wirelessconnectivity 德州仪器在线技术支持社区 www.deyisupport.com

邮寄地址: 上海市浦东新区世纪大道1568号, 中建大厦32楼邮政编码: 200122
Copyright © 2014, 德州仪器半导体技术(上海)有限公司