

采用国半的 PWM 控制器提升 高功率密度砖电源模块的性能



采用国半的 PWM 控制器提升高功率密度 砖电源模块的性能

程文涛

美国国家半导体

亚太区电源管理市场营销经理

内容纲要

- 第一部分
 - 多种不同的正激拓扑结构
 - 为何选用有源钳位电路
 - 美国国家半导体的有源钳位控制技术

- 第二部分
 - 半桥式的工作原理
 - 半桥式工作的固有问题
 - 美国国家半导体的半桥式解决方案

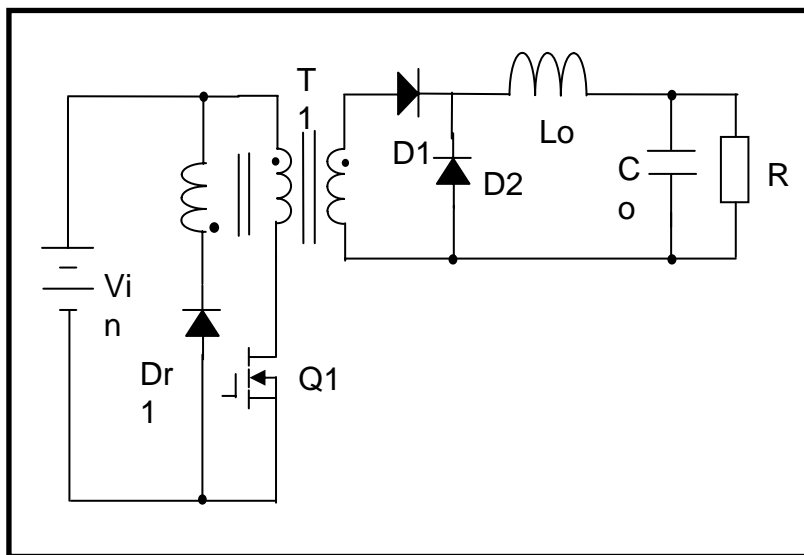
电信系统所面对的供电问题

- 采用砖电源模块转换器的电信系统必须面对以下的挑战：
 - 越来越高的效率及功率密度的要求
 - 输出电压必须越来越低，输出电流越来越高
 - 可以支持预偏压操作
 - 快速的瞬态响应

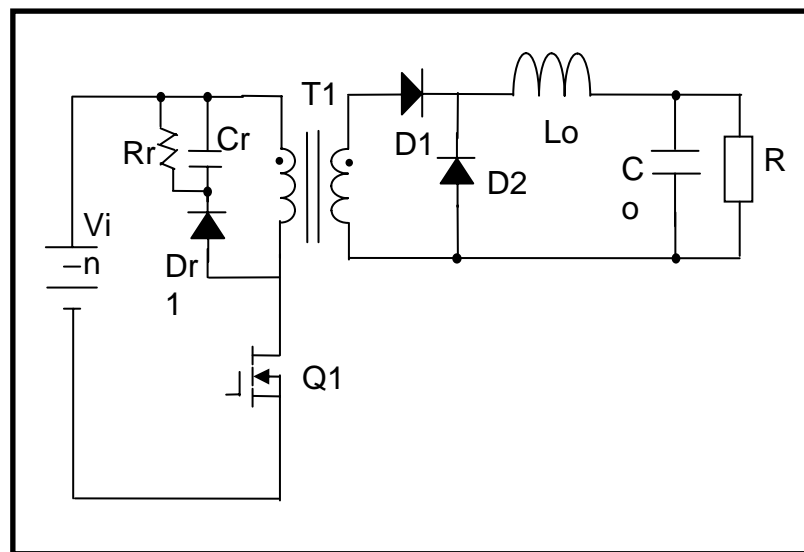
有源钳位电路

多种不同的正激拓扑结构

- 线圈复位正激转换器

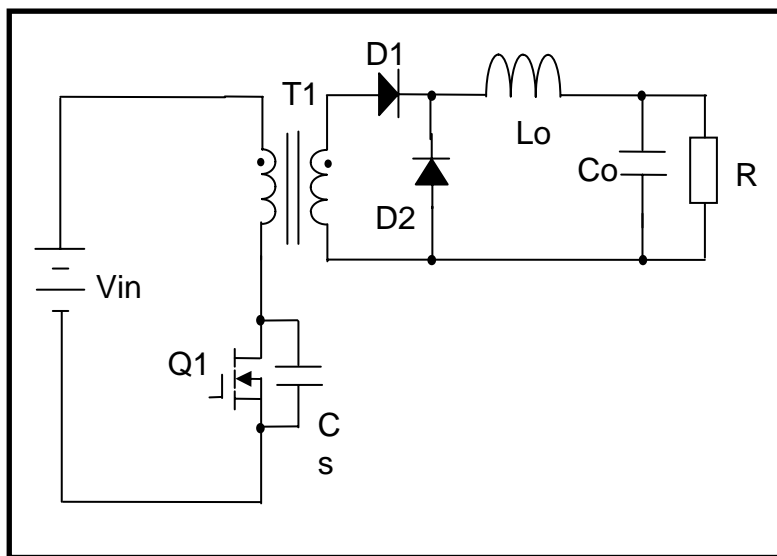


- RCD 复位正激转换器

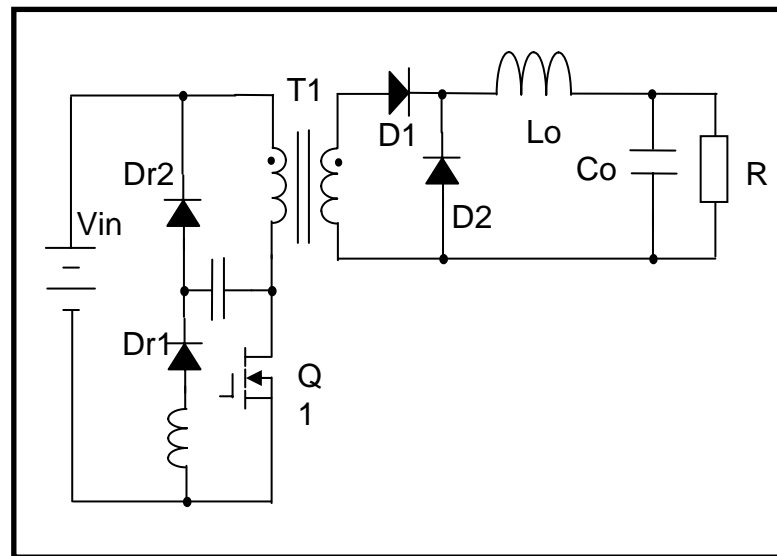


多种不同的正激拓扑结构

- 自谐振复位正激转换器

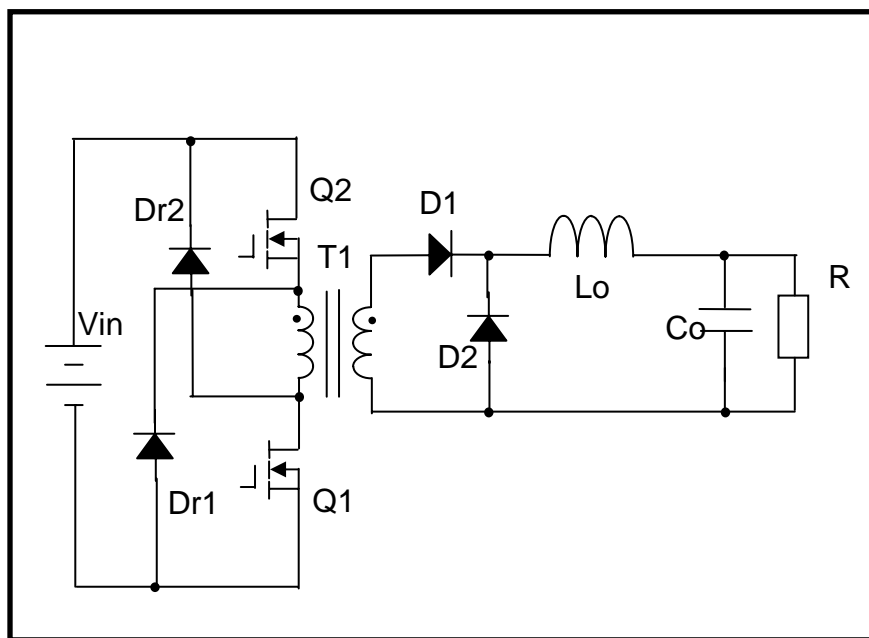


- 无损 LC 复位正激转换器

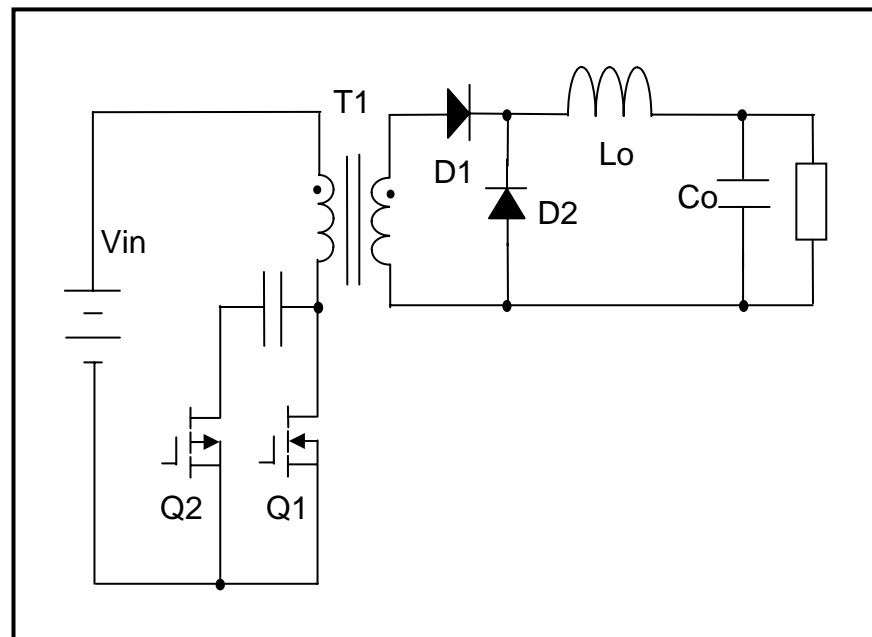


多种不同的正激拓扑结构

- 双管正激转换器

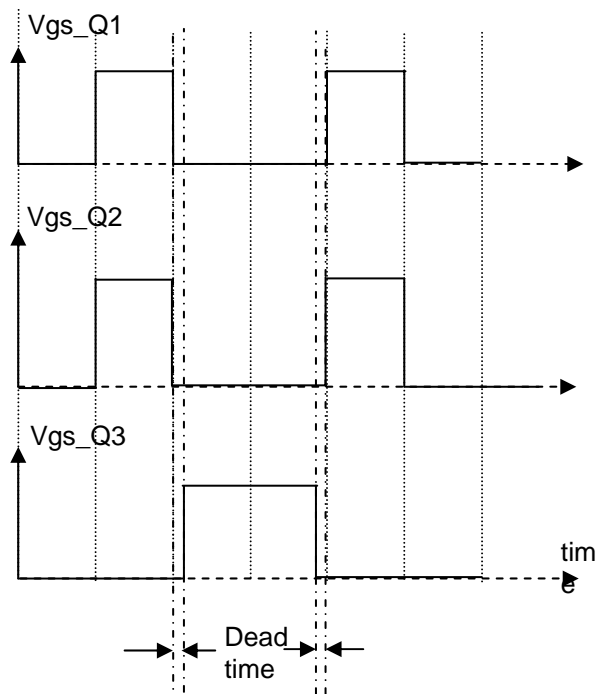
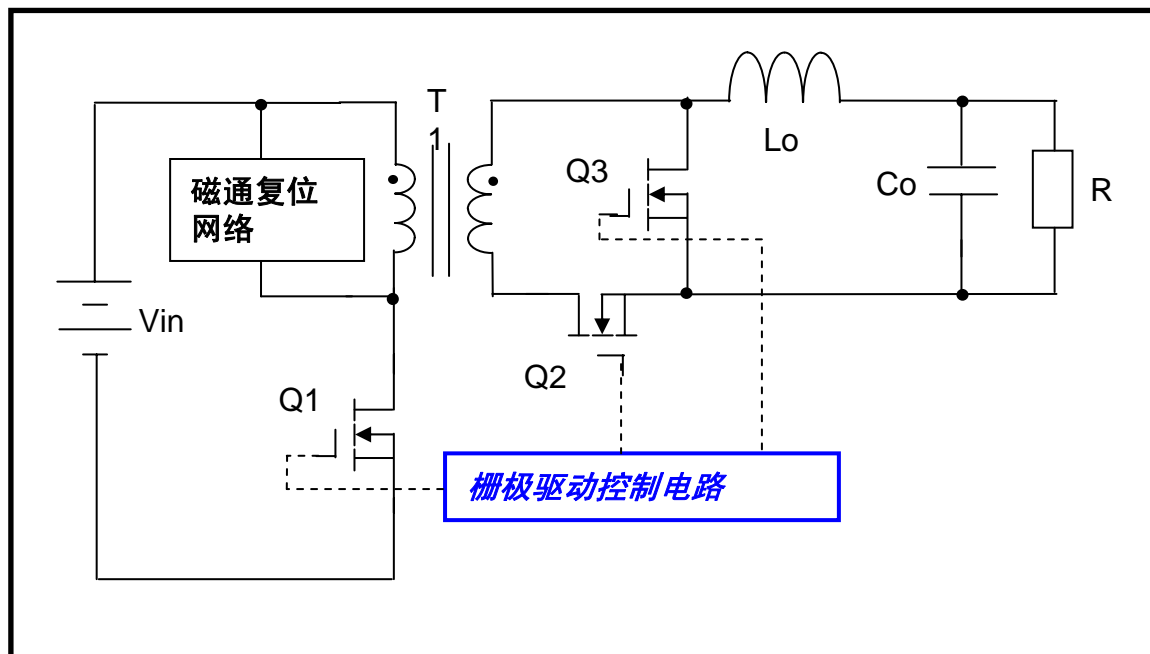


- 有源钳位正激转换器



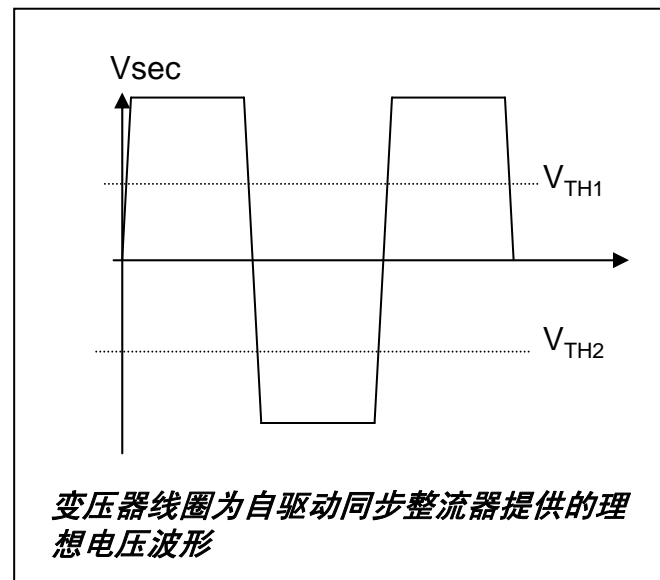
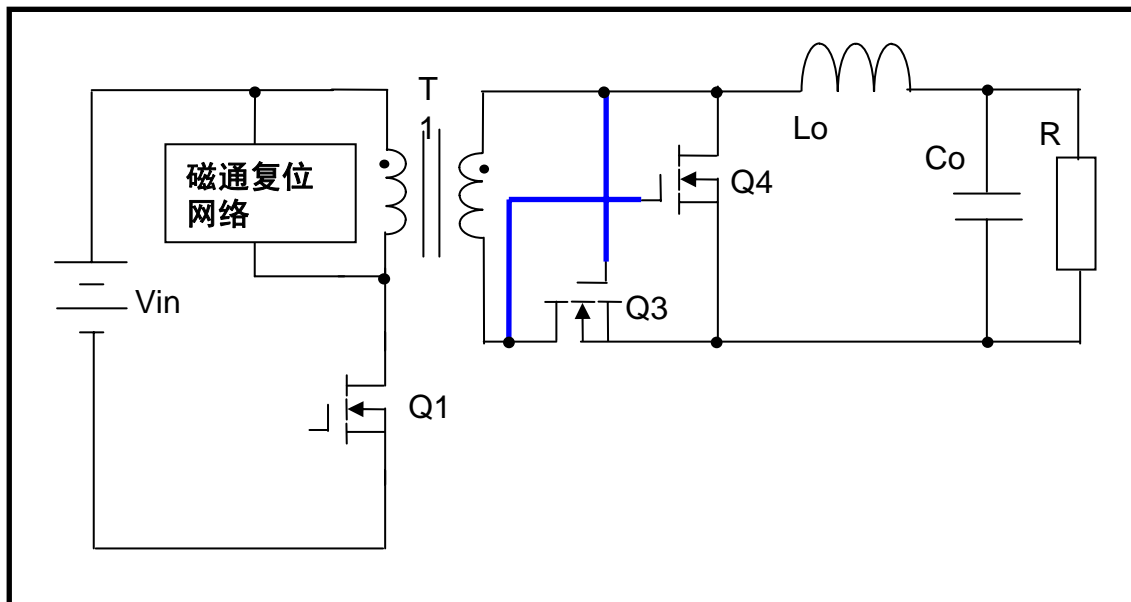
同步整流器： 控制器驱动方式与自驱动方式的比较

- 驱动同步整流器的两种方法：
 - 自驱动方式与控制器驱动方式
- 控制器驱动方式



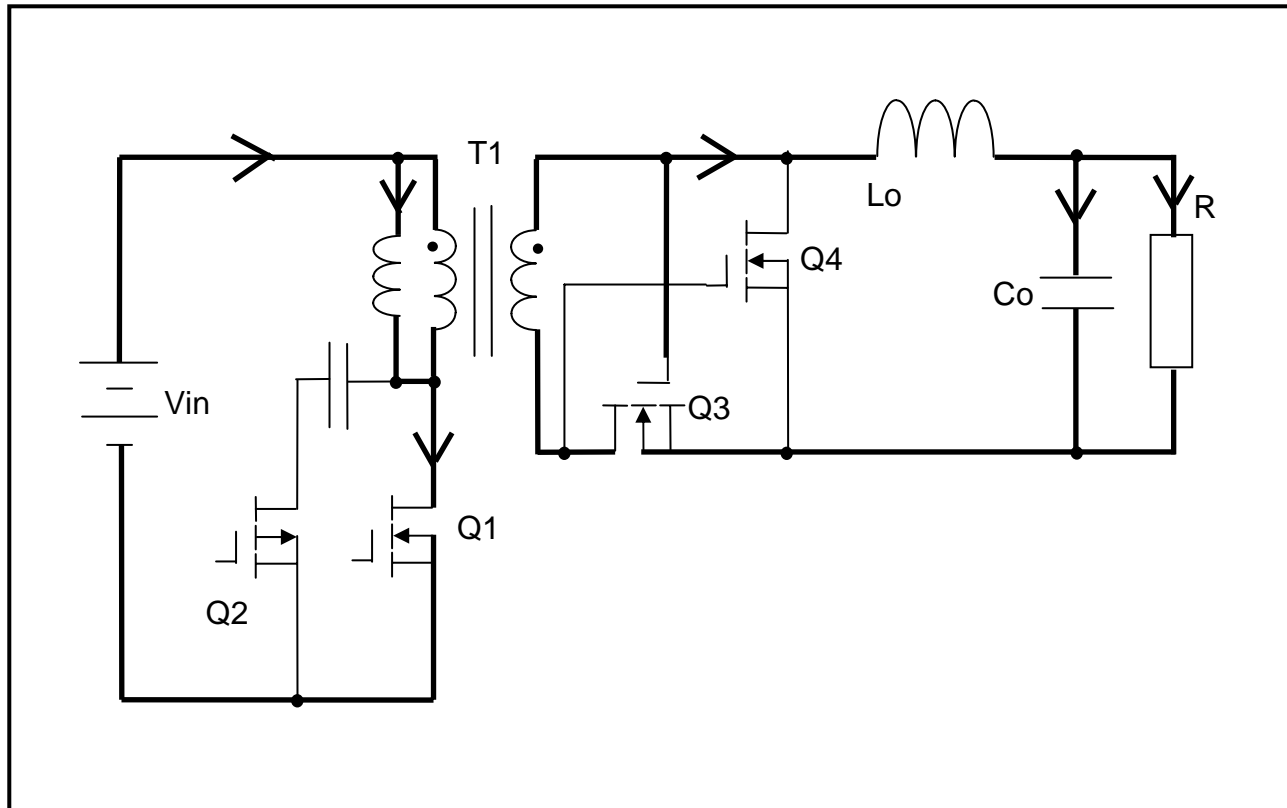
控制器驱动方式与自驱动方式的比较

- 自驱动方式



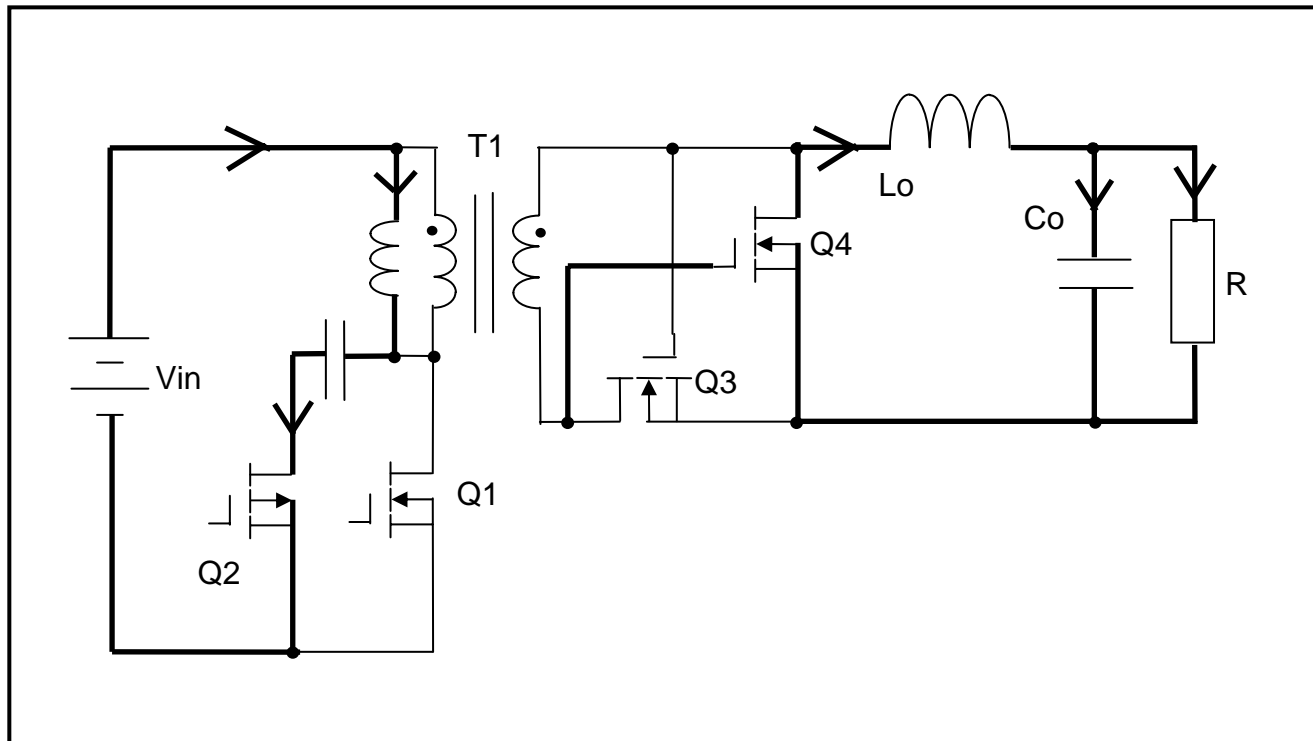
有源钳位电路操作模式 1

- 步骤 1 ($0 < t < t_1$)



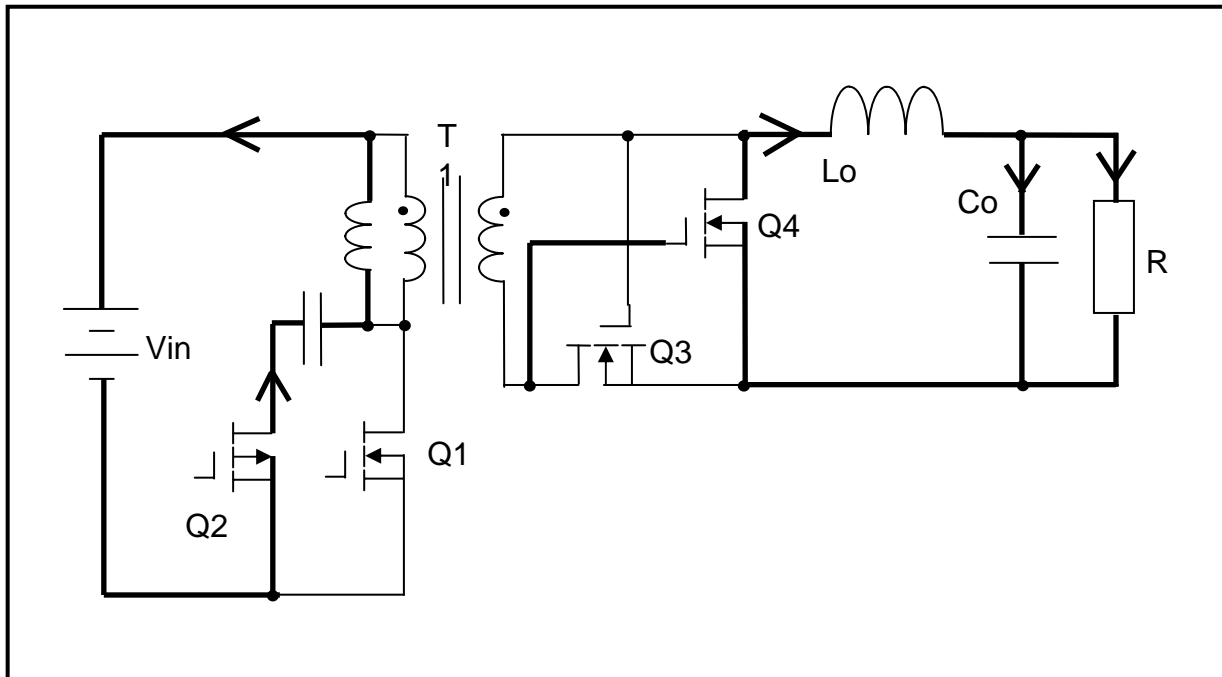
有源钳位电路操作模式 2

- 步骤 2 ($t_1 < t < t_2$)



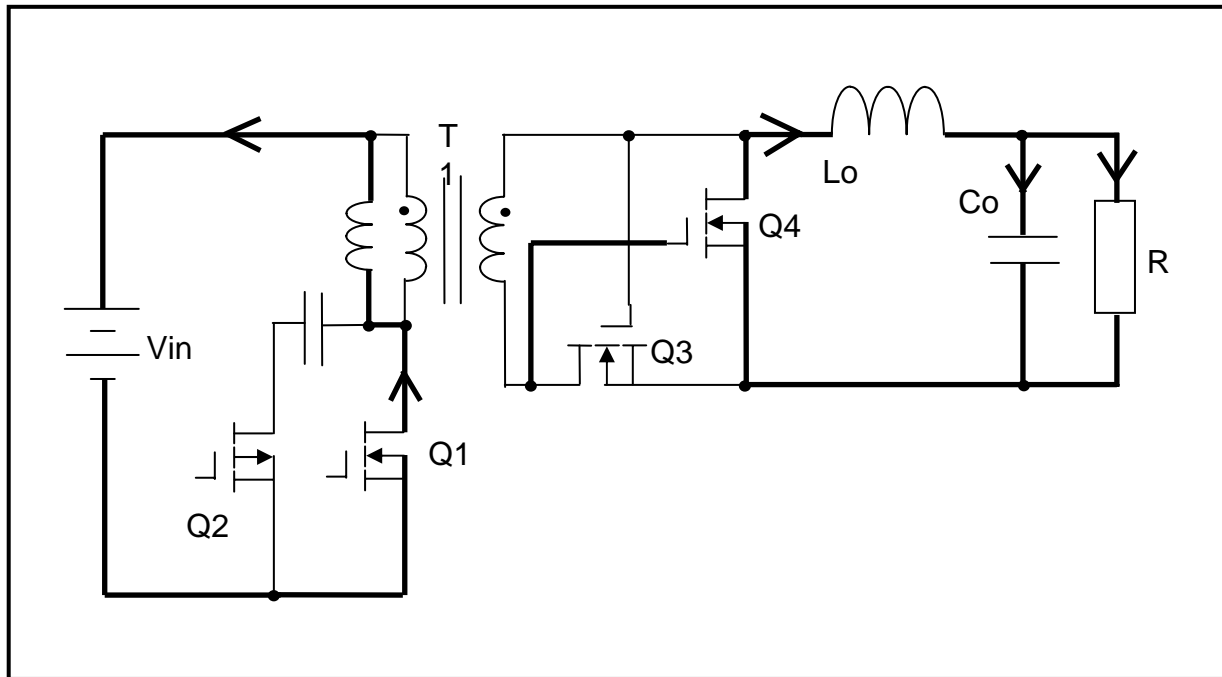
有源钳位电路操作模式 3

- 步骤 3 ($t_2 < t < t_3$)

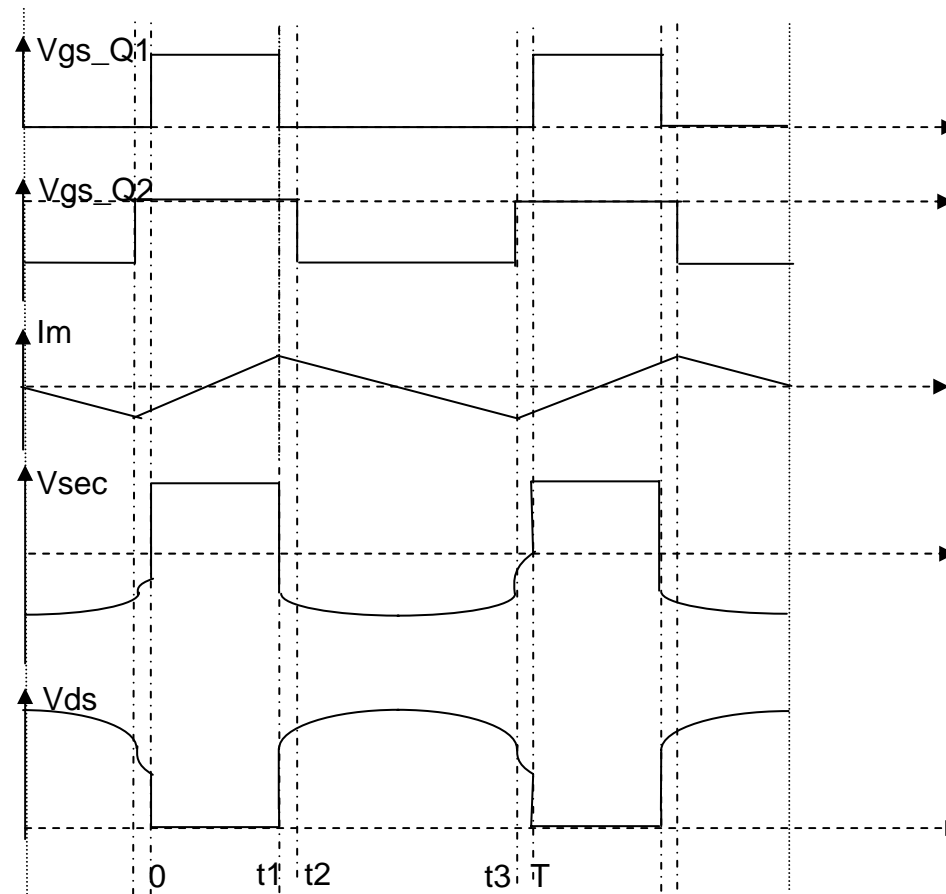


有源钳位电路操作模式 4

- 步骤 4 ($t_3 < t < T$)



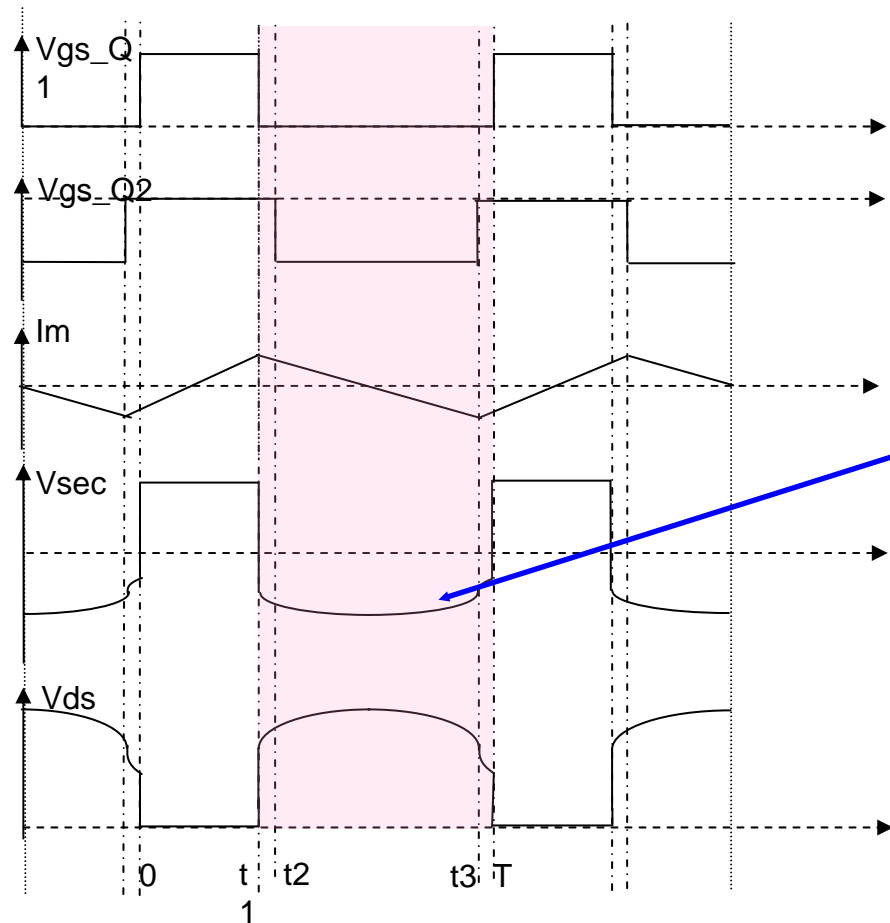
有源钳位正激转换器的理想波形



优点！

- 自驱动同步整流器较易使用
- 可以更充分利用主变压器的磁芯
- 主开关零电压关断，辅助开关零电压开关
- 主开关承受的电压压力减小
- 将漏电感储能重新回送至输入端

为何采用有源钳位电路可以有效实现自驱动同步整流？



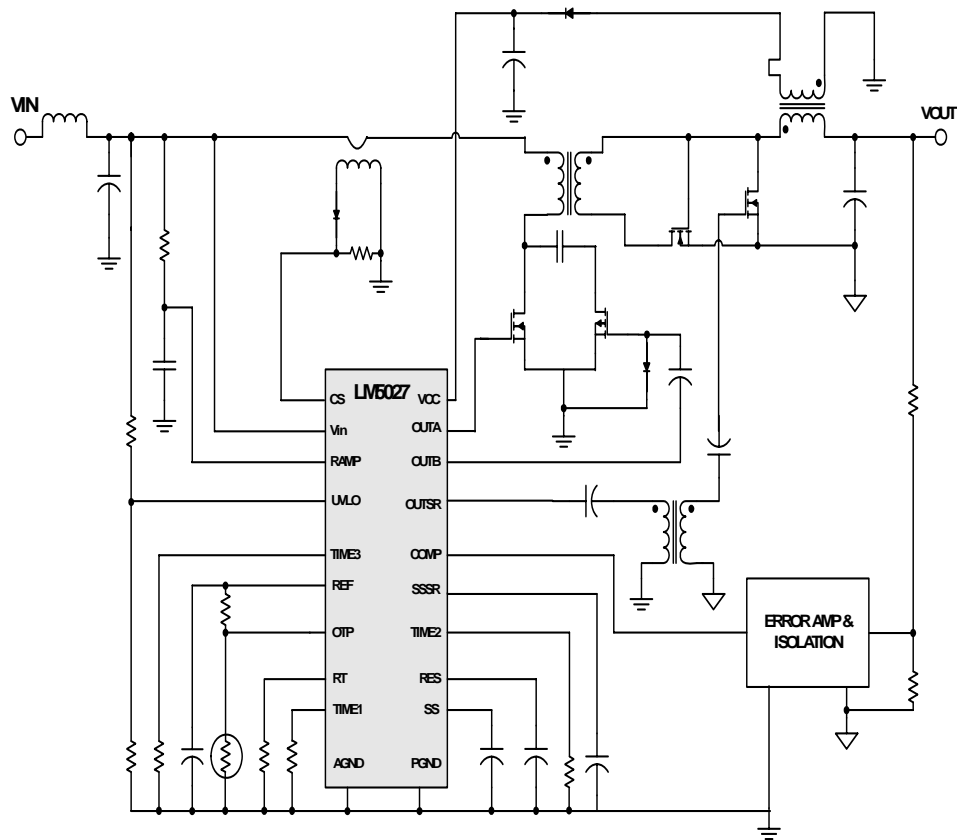
无论线路或负载处于什么状态下，有源钳位复位技术都可将次级线圈电压波形的停滞时间缩至最短

美国国家半导体最新推出的有源钳位 PWM 控制器

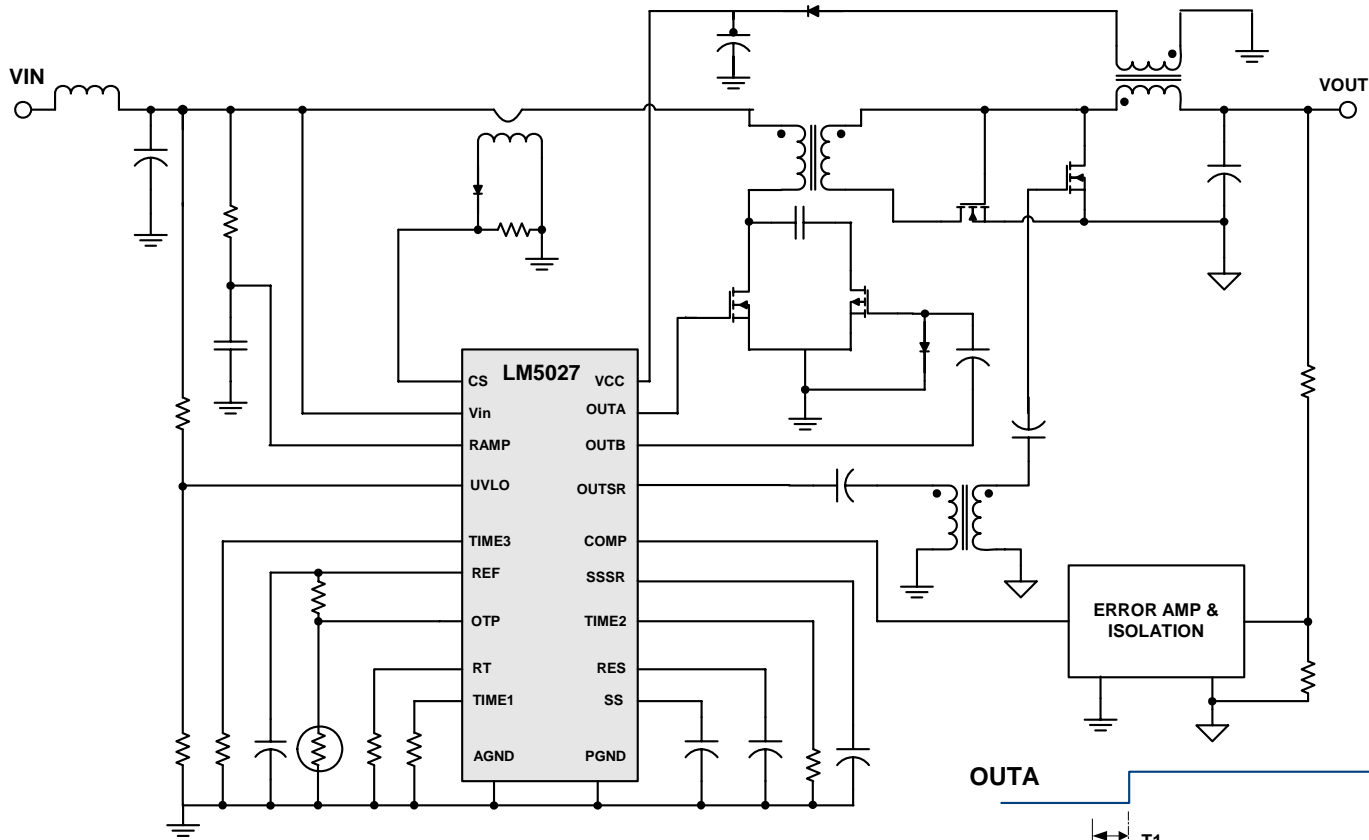
产品特点

- 内置 100V 启动稳压器
- 带前馈功能的电压模式控制
- 可调节的占空比最高值
- 3A 同步整流器栅极驱动器
- 2A 主栅极驱动器
- 1A 有源钳位栅极驱动器
- 主 PWM 控制器及同步整流器各有独立的可调软启动
- 带打嗝计时功能的双模式过流保护
- 电流模式光耦合器接口
- 可以利用电阻调节的 1 MHz 振荡器
- 振荡器同步功能
- 可调节的线路欠压锁定
- 适用于远程热能传感器接口或线路过压保护的比较器
- 准确的 5V 参考电压输出
- 内置过热停机保护

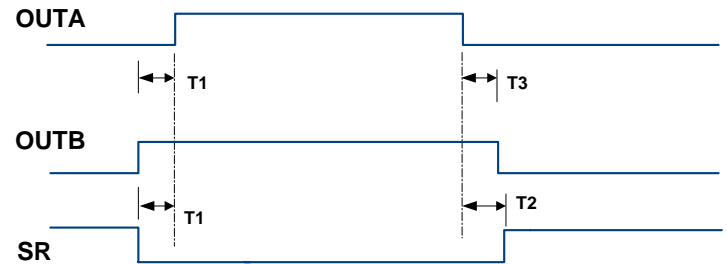
典型应用



LM5027 – 内置同步整流器驱动器的有源钳位 PWM 控制器

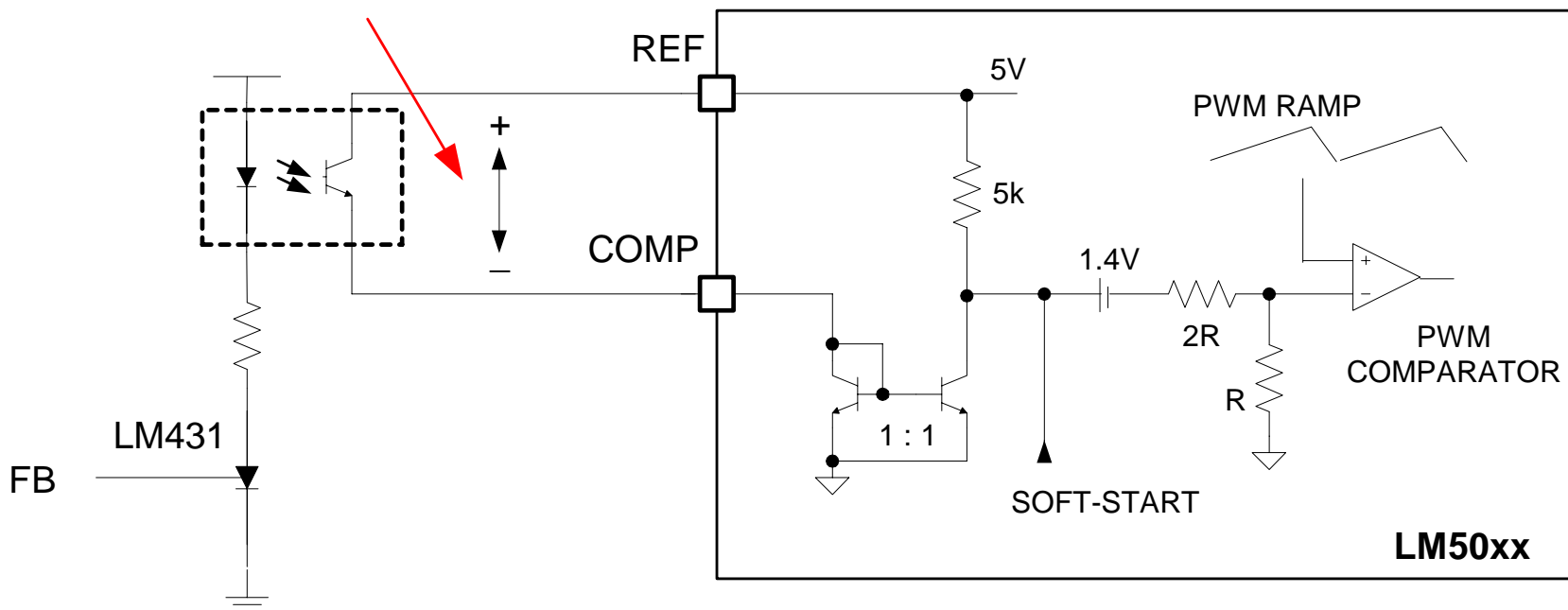


$T1 \propto R_{\text{TIME1}}$
 $T2 \propto R_{\text{TIME2}}$
 $T3 \propto R_{\text{TIME3}}$

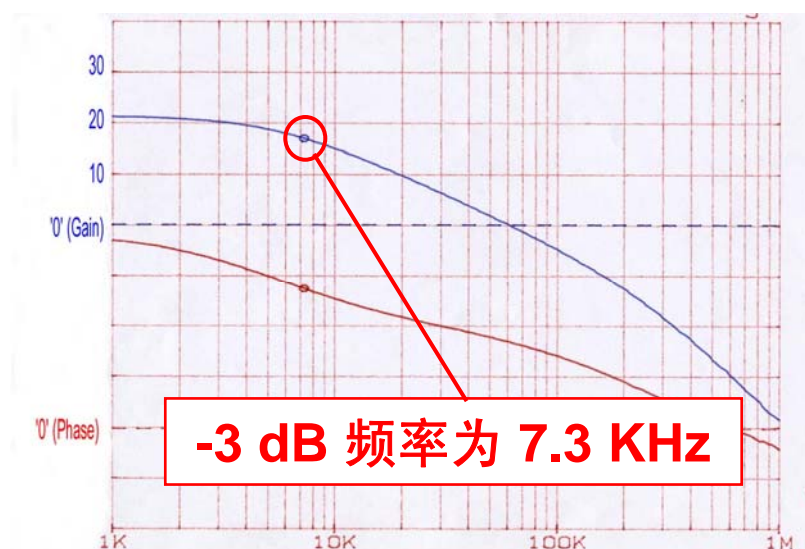
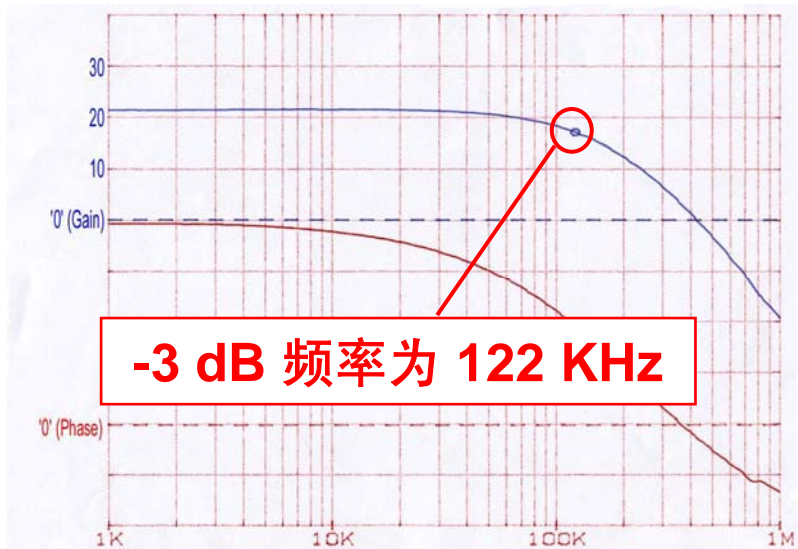
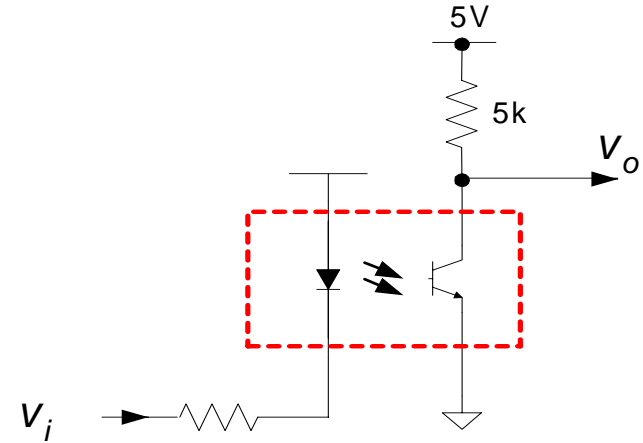
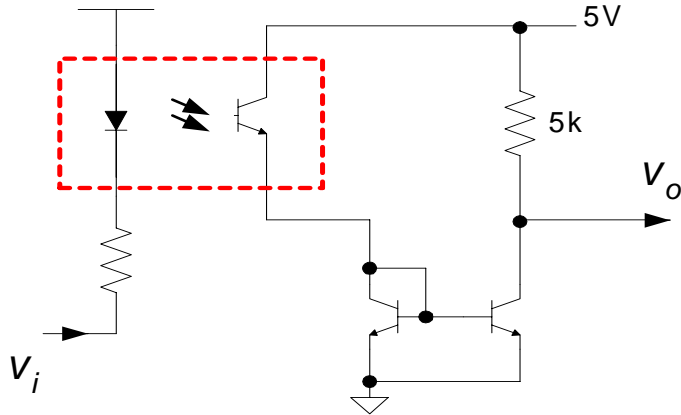


光耦合器宽带接口

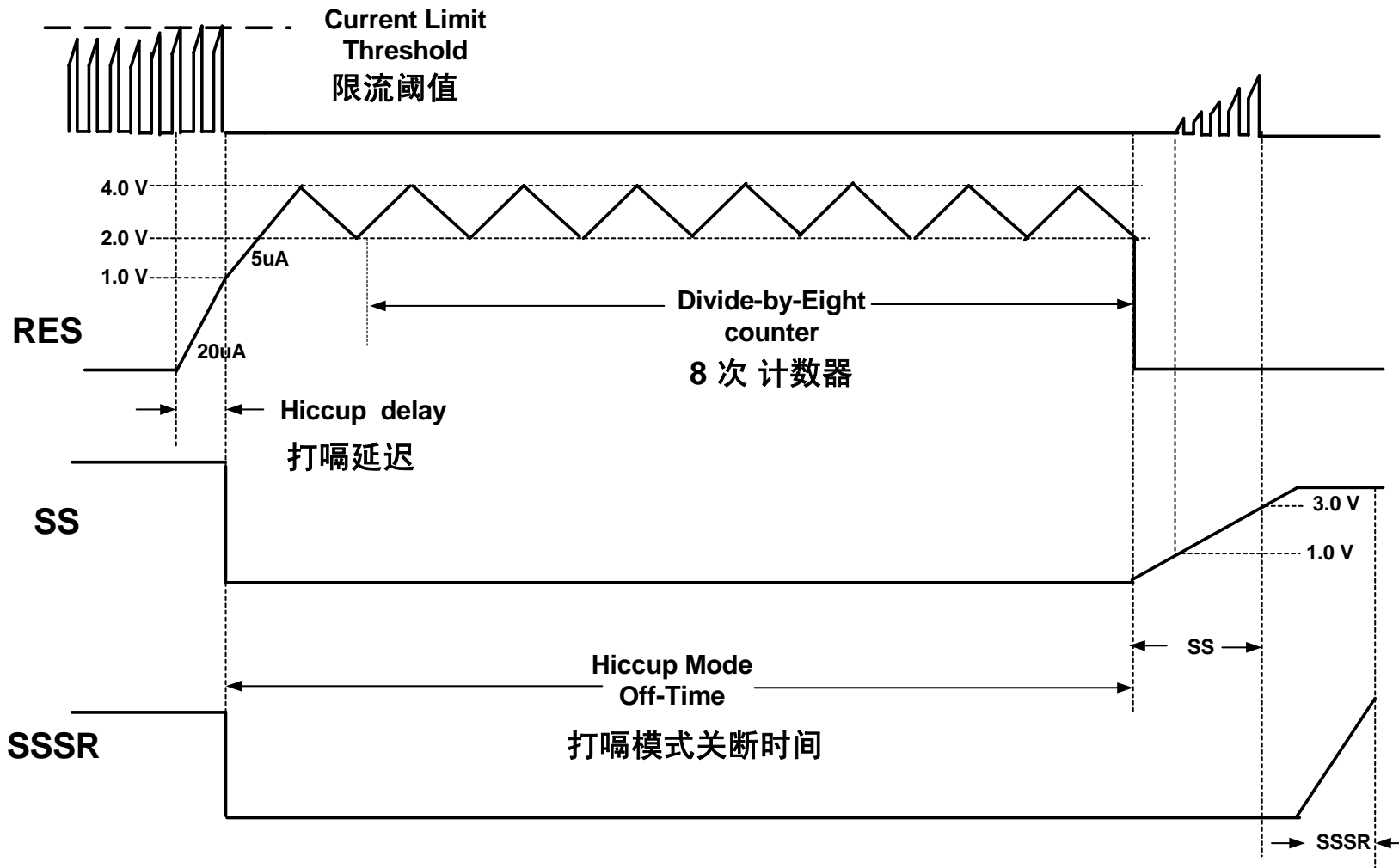
光耦合器次级的
电位恒定不变



光耦合器宽带接口



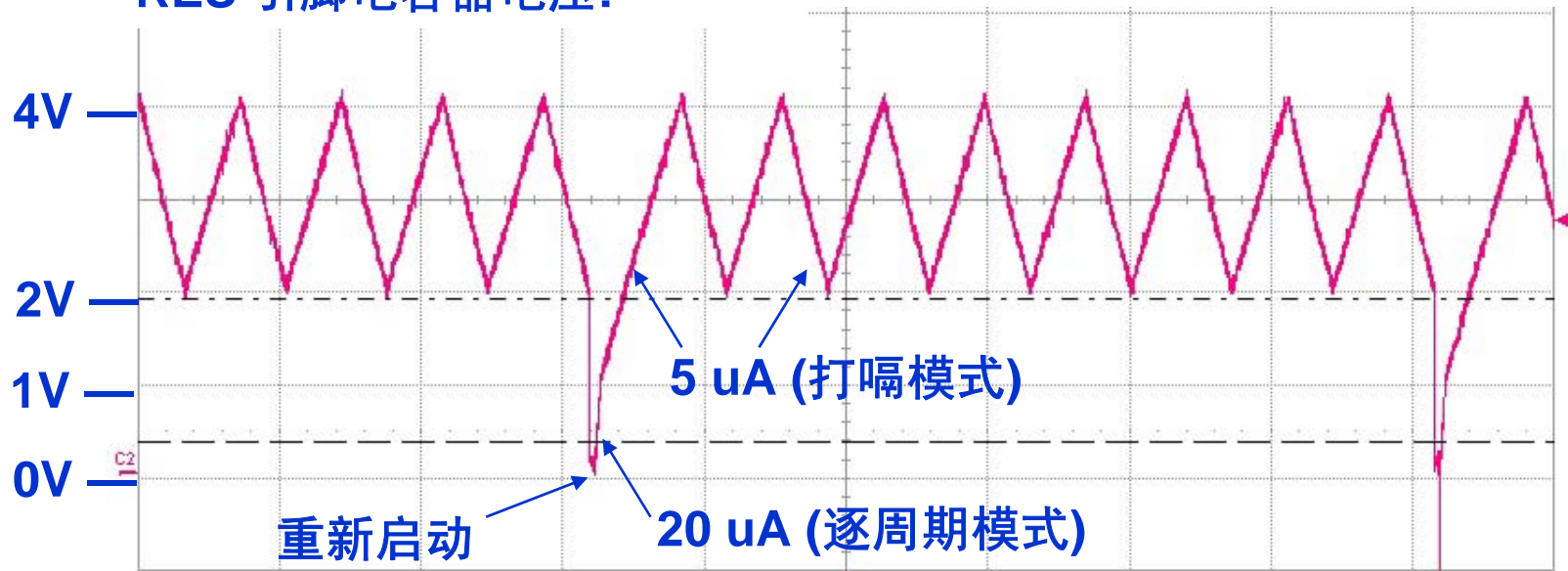
LM5027 芯片的打嗝模式计时器



LM5027 芯片的打嗝模式：短路输出

$$\text{打嗝模式的开/关比率} = \frac{1\text{V} + 8(4\text{V})}{1\text{V}} \times \frac{20\text{ uA}}{5\text{ uA}} = 132$$

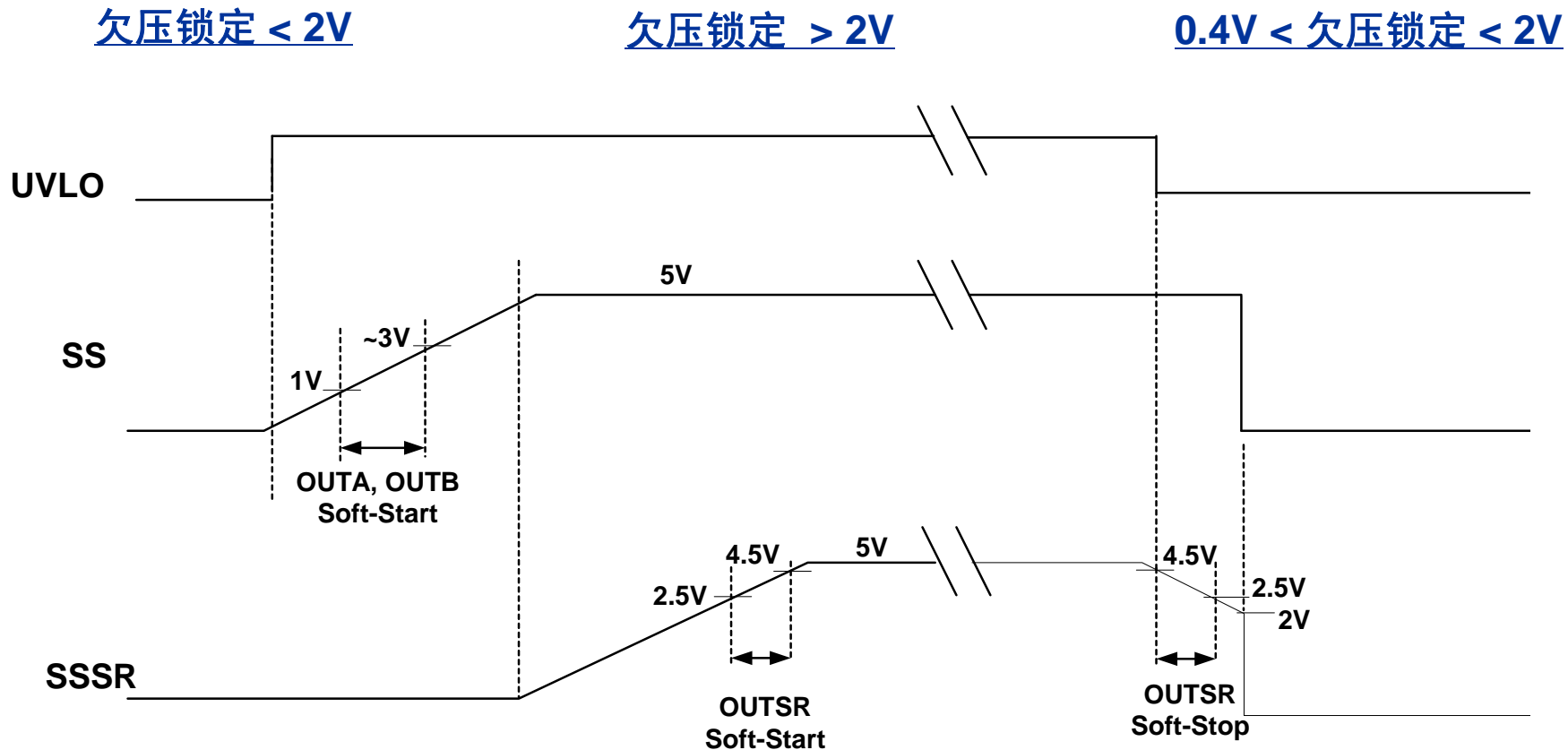
RES 引脚电容器电压:



Measure
value
status
C2 DC1M
1.00 V/div
-2.940 V ofst

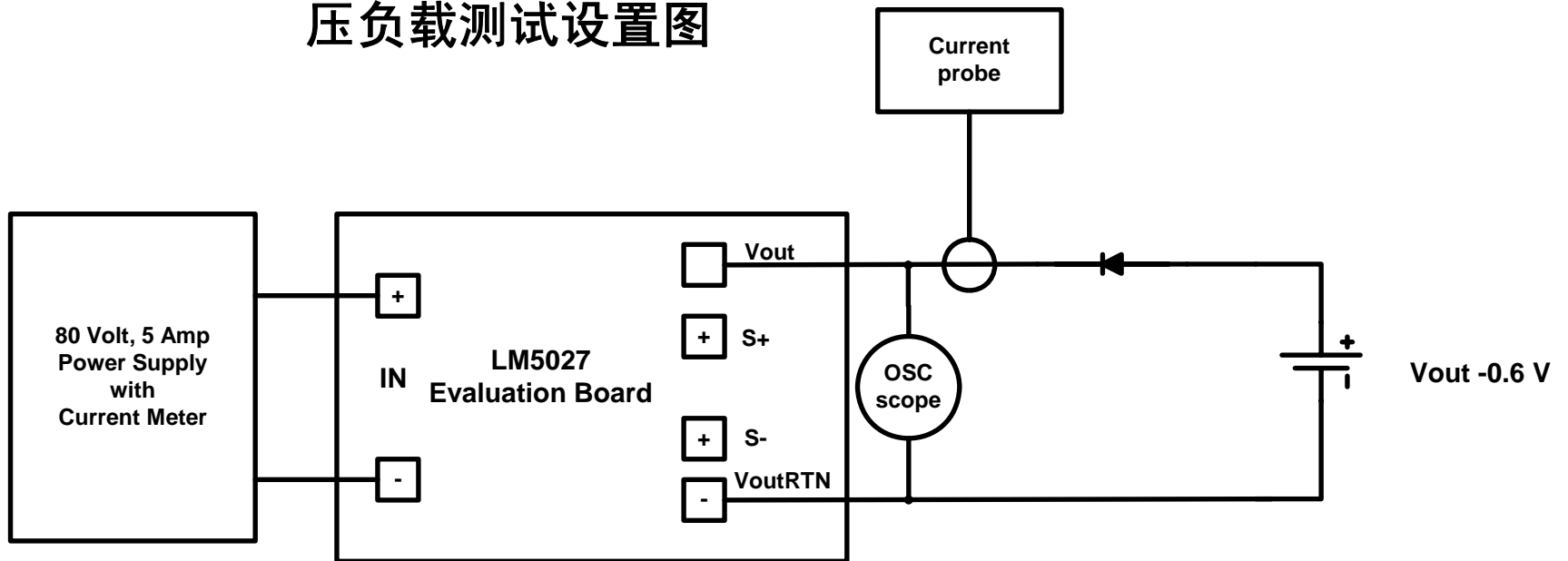
Timebase 0 ms
50.0 ms/div
10.0 kS
Trigger C2
Stop 2.70 V
Edge Positive

LM5027 芯片的软启动时序



预偏压负载测试：二极管耦合

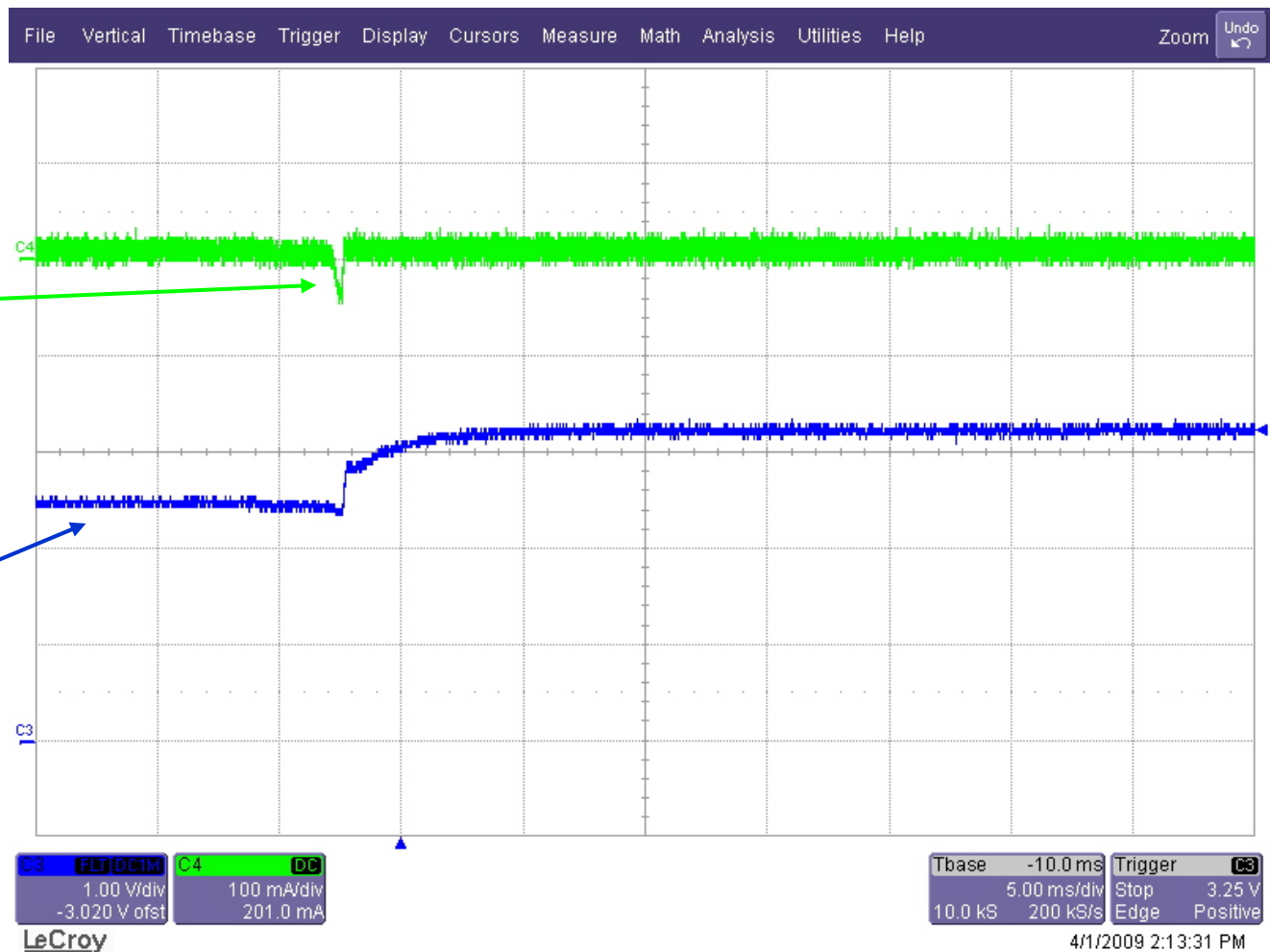
采用二极管的预偏压
负载测试设置图



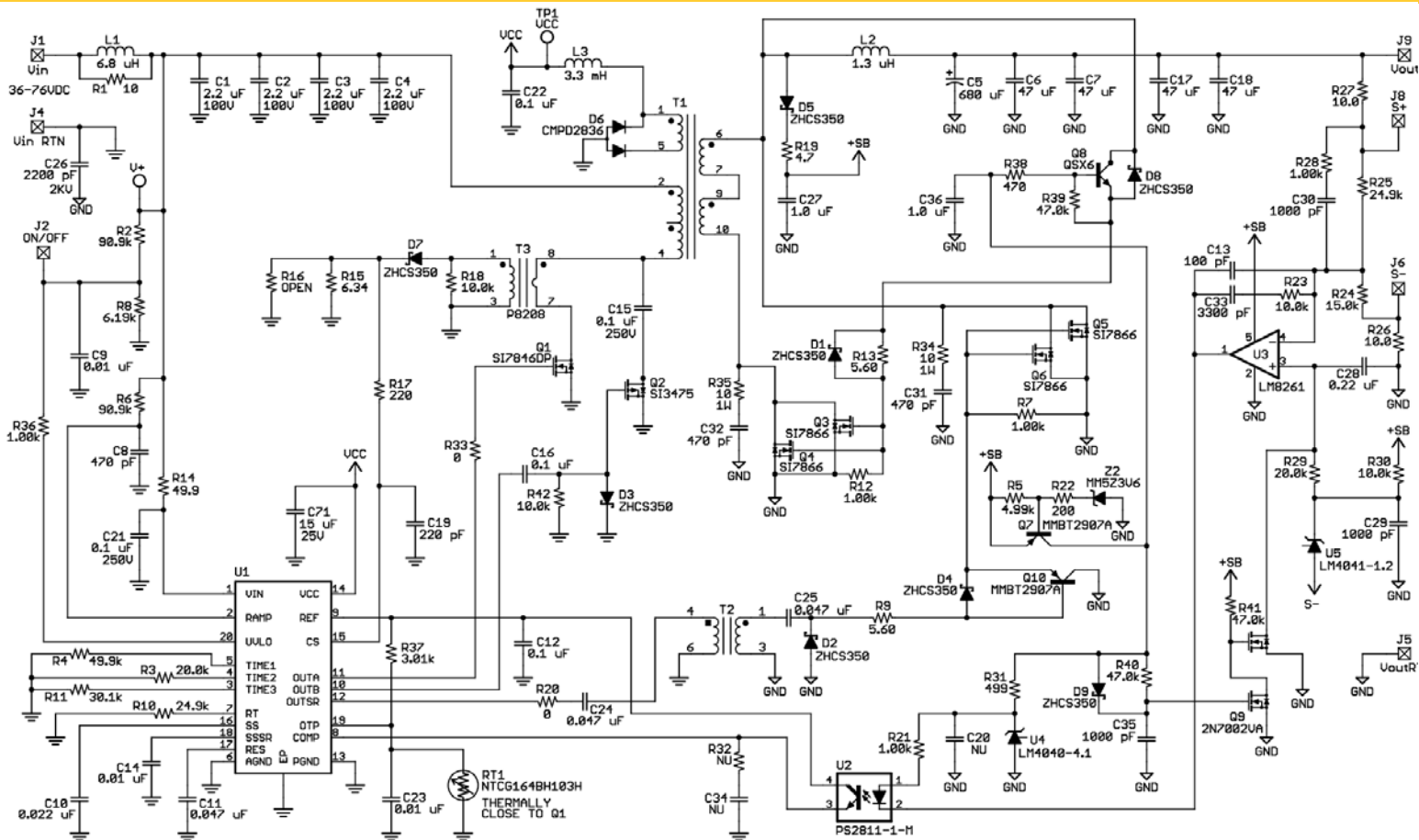
LM5027 芯片的软启动：二极管耦合的预偏压

反灌电流
(I sink)
($< 50 \text{ mA}$)

输出电压
(Vout)



LM5027 芯片的应用电路图



输入: 36V - 76V
输出: 3.3V / 30A
频率: 250 KHz
打嗝: 50 mA @ 48V

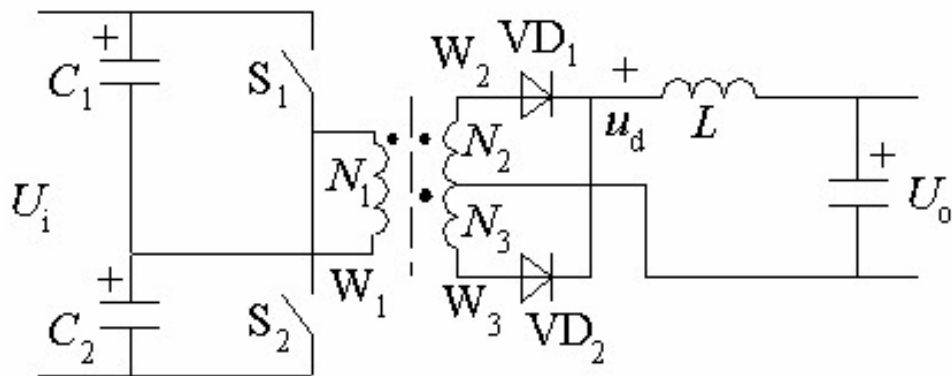
	10A	20A	30A
36V	92%	91%	90.5%
48V	90%	91%	90%
72V	85%	89%	89%



半桥式电源模块

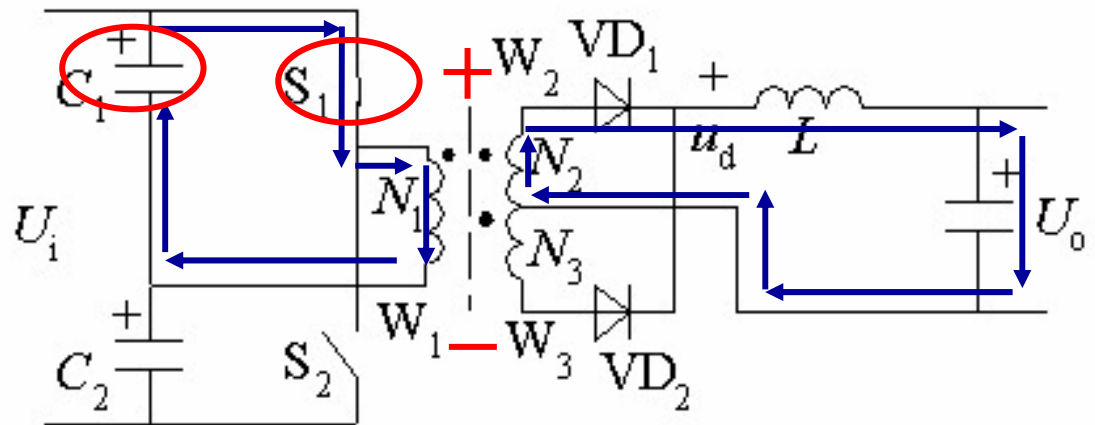
半桥式电路简介

- 由正激拓扑结构衍生出来的电路设计
- 承受的电压比正激拓扑结构少一半
- 变压器的体积比采用正激拓扑结构小一半
- 等效开关频率为正激拓扑结构的两倍
- 变压器的使用率可高达 **100%**
- 适用于 **300W** 以上的电源供应系统或高功率密度的解决方案
- **只提供一半的输入电压给变压器**
- **必须使用电压模式控制**



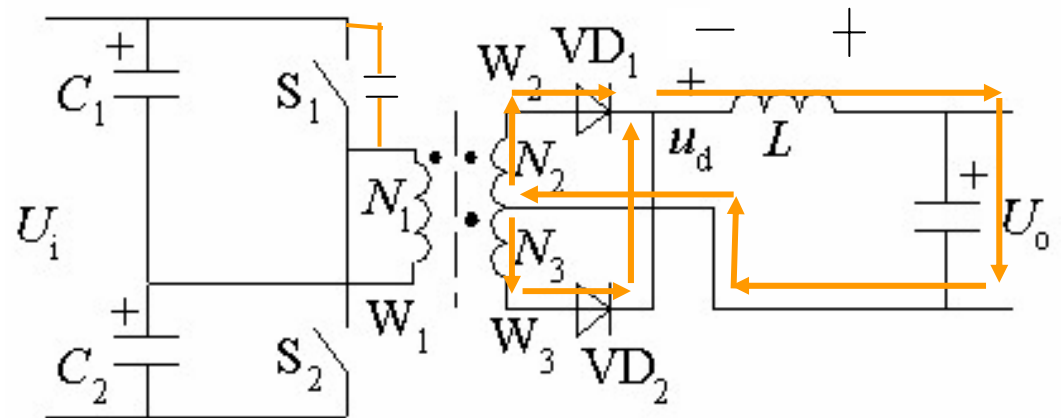
半桥式电路的工作原理 – 第 1 阶段

- 晶体管 **S1** 已启动
- 变压器的电压是输入电压的 $\frac{1}{2}$
- 变压器次级线圈的电压是 $\frac{1}{2} \times V_{in} \times (N1/N2)$ ，而输出电流则流入二极管 **VD1**



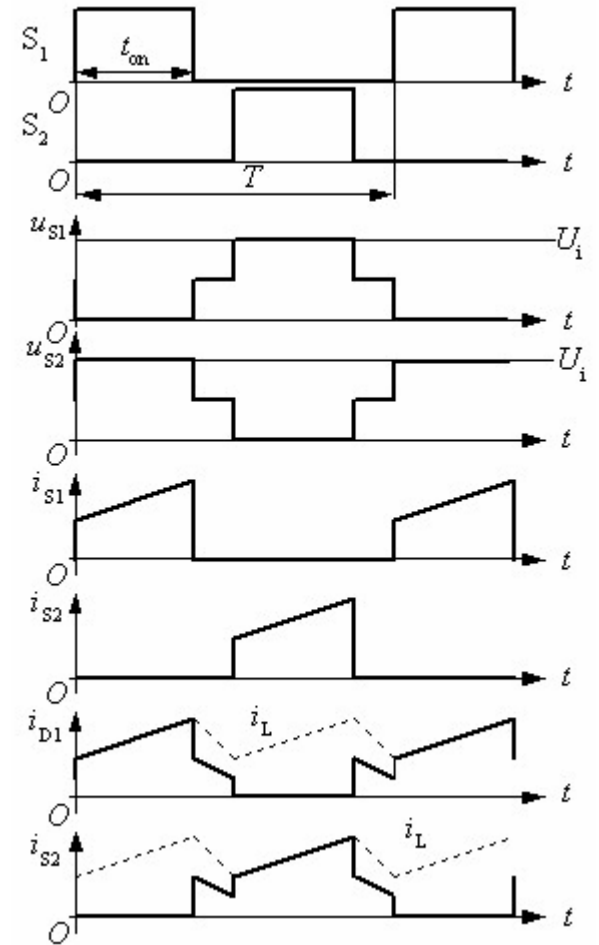
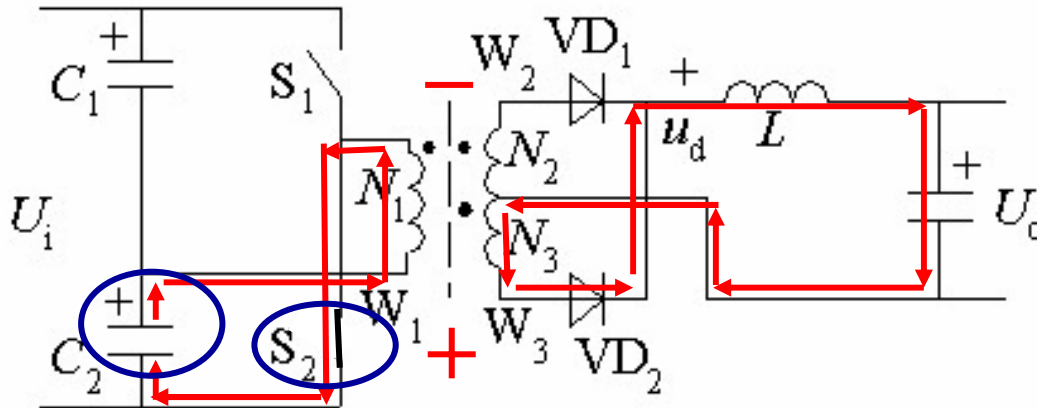
半桥式电路的工作原理 – 第 2 阶段

- 晶体管 **S1** 关闭后，反射负载电流会为 **MOSFET** 电容充电。**VS2** 的电压则按照线性比率下跌
- 当 **VS2** 的电压下跌至 $D \times U_i$ 时，同一输出电流便会分别流入两个输出二极管
- 变压器的电压下跌至零时，电容器便会开始进行谐振充电，直至 $VS1 = VS2$ 为止



半桥式电路的工作原理 – 第 3 阶段

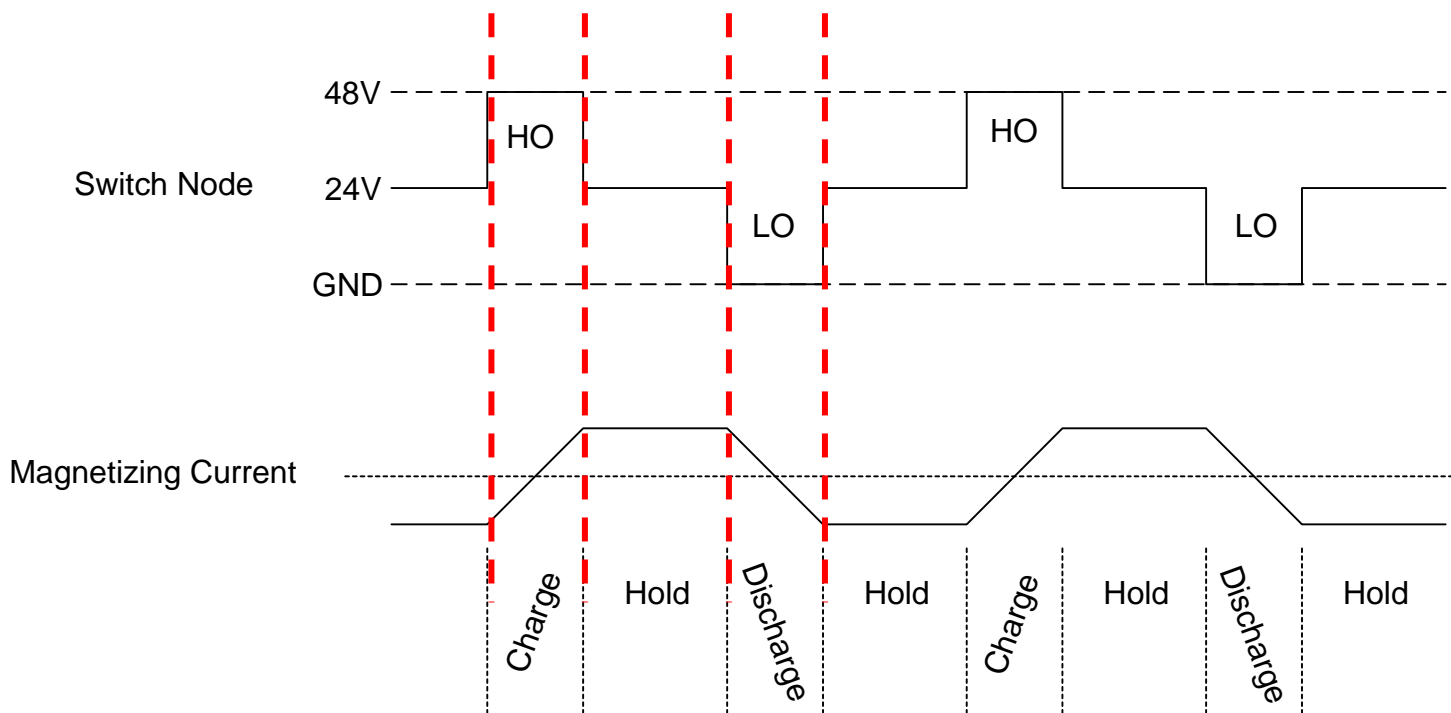
- 晶体管 **S2** 启动和关闭，基本上与第 1 阶段相同



Operation Waveform

变压器磁芯复位

磁化电流在第一个半周期内上升，在下半周期内回复到原来的状态。



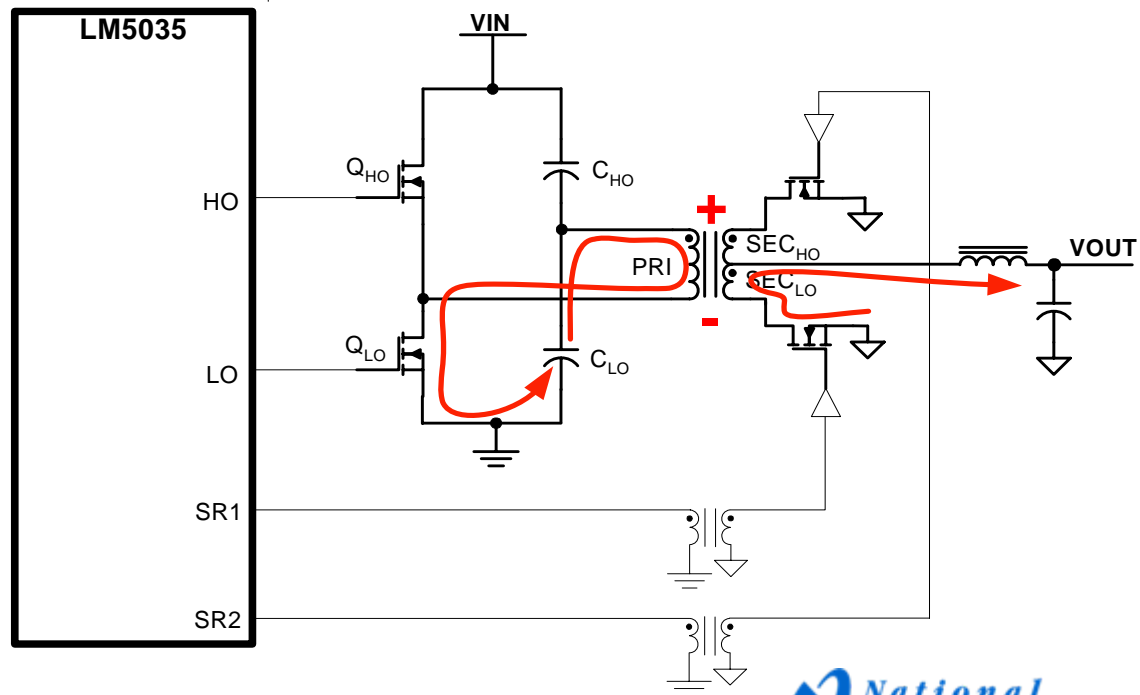
如何选择输入电容？

- C_{HO} 及 C_{LO} 的功能都内置在分压器之内。若这两个电容值相同，中间点电压相等于输入电压的 $\frac{1}{2}$ 。
- 电容分压器的中心点纹波电压可以根据“ $q = C \cdot V$ ”这一公式计算出来。若输入电压为 48V，输出功率为 100W，效率为 90%，占空比为 50%，开关频率为 400 KHz，而 C_{HO} 及 $C_{LO} = 2 \times 6.8 \mu F$ ，纹波电压为：

$$I_{\text{divider_center}} = \frac{\frac{100W}{90\%}}{50\% \cdot \frac{48V}{2}} = 9.26A$$

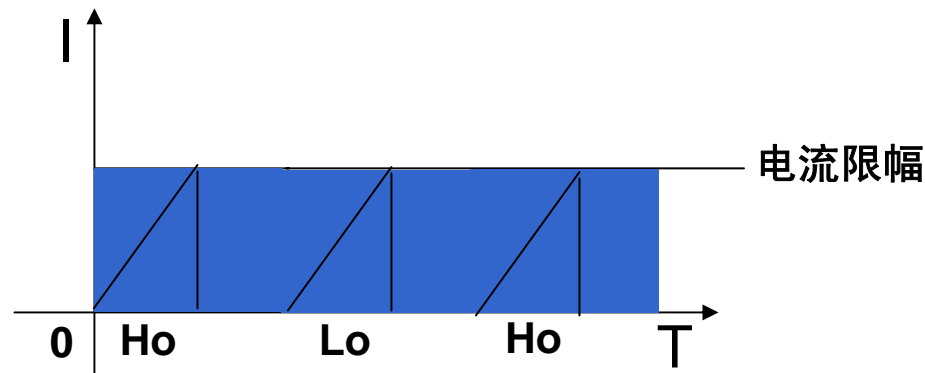
$$q = \frac{I_{\text{divider_center}}}{400KHz} = 23.2\mu C$$

$$V_{\text{ripple}} = \frac{q}{2 \times 6.8\mu F} = 1.7V_{p-p}$$



半桥式操作的固有问题 – 电容器电压不平衡的问题

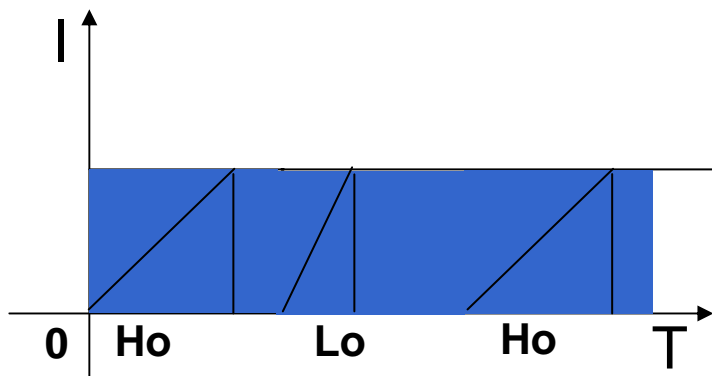
- 若用电流模式控制、或电压模式的半桥式执行逐周期过流模式及短路模式的功能，这个问题便会出现
- 这问题是由半桥式转换器的驱动脉冲而产生的
- 若电压模式的半桥式转换器执行过流模式或短路模式的功能，限流模式会以逐周期的方式执行 (参看 P1 图)



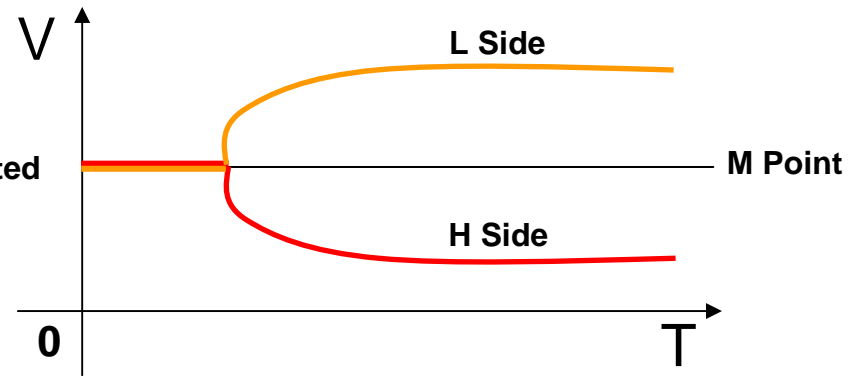
P1
限流模式

半桥式操作的固有问题 – 电容器电压不平衡的问题

- **HO 及 LO 驱动脉冲并非完全相同。假设 HO 比 LO 稍大，当每一周期的电流通过时，HO 会令高端电容器释放更多电能。低端电容器的电压则会稍微上升。**
- **如果限流功能仍然执行，高端电容器的电压便会不断下跌，而低端电容器的电压则会不断上升。参看 P2 图显示的 HO 和 LO 波形，以及 P3 图显示的高端电容器电压及低端电容器电压。**



P2
限流模式

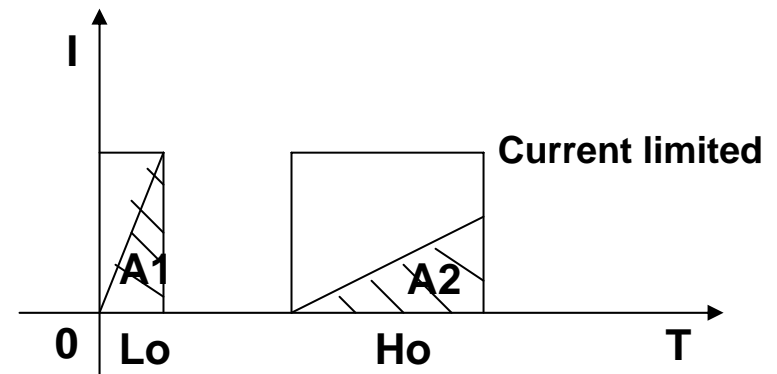


P3

半桥式操作的固有问题 – 电容器电压不平衡的问题

- 据 P3 图显示，高端电容器及低端电容器的电压最后都会稳定下来
- 原因是半桥式转换器一般都以固定频率操作。当高端电容器电压下跌至某一水平时，即使在下一周期之内 HO 的驱动脉冲带宽升至其最高峰，驱动电流仍无法触发限流功能 (参看 P4 图)

若以面积计 $A2 = A1$ ，高端电容器及低端电容器的电压最后都会稳定下来



P4

美国国家半导体的半桥式解决方案系列

性能表现：	LM5035	LM5035A	LM5035B
同步整流器的死区时间比率 (T1 : T2)	2:1	3:1	3:1
软启动与打嗝模式之间的电流比率	50 μ A : 1 μ A	100 μ A : 1 μ A	100 μ A : 1 μ A
自举电容充电 (HB-HS) 欠压锁定门限	5V	3.9V	3.9V
启动稳压器的限流值	20 mA (最低)	25 mA (最低)	40 mA (最低)
欠压锁定停机及打嗝限流模式的 SR1、SR2 状态	高	高	低
HO, LO 导通时间 (以最高占空比操作)	0.5*T-T1-70 ns	0.5*T-T1-70 ns	0.5*T - T1

T1 = 由 SR1、SR2 至 HO、LO 前沿的延迟时间

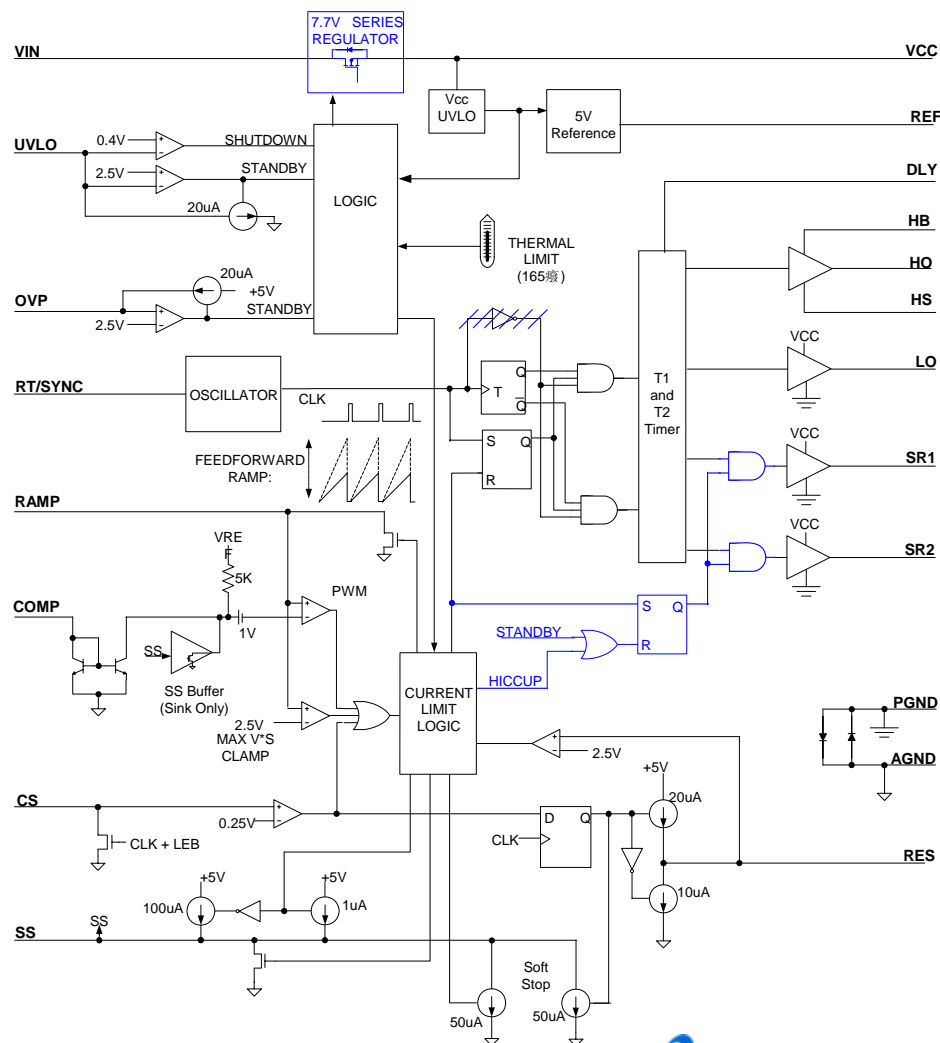
T = HO 或 LO 的时间周期

LM5035B – 内置半桥式及同步 FET 驱动器的 PWM 控制器

产品特点

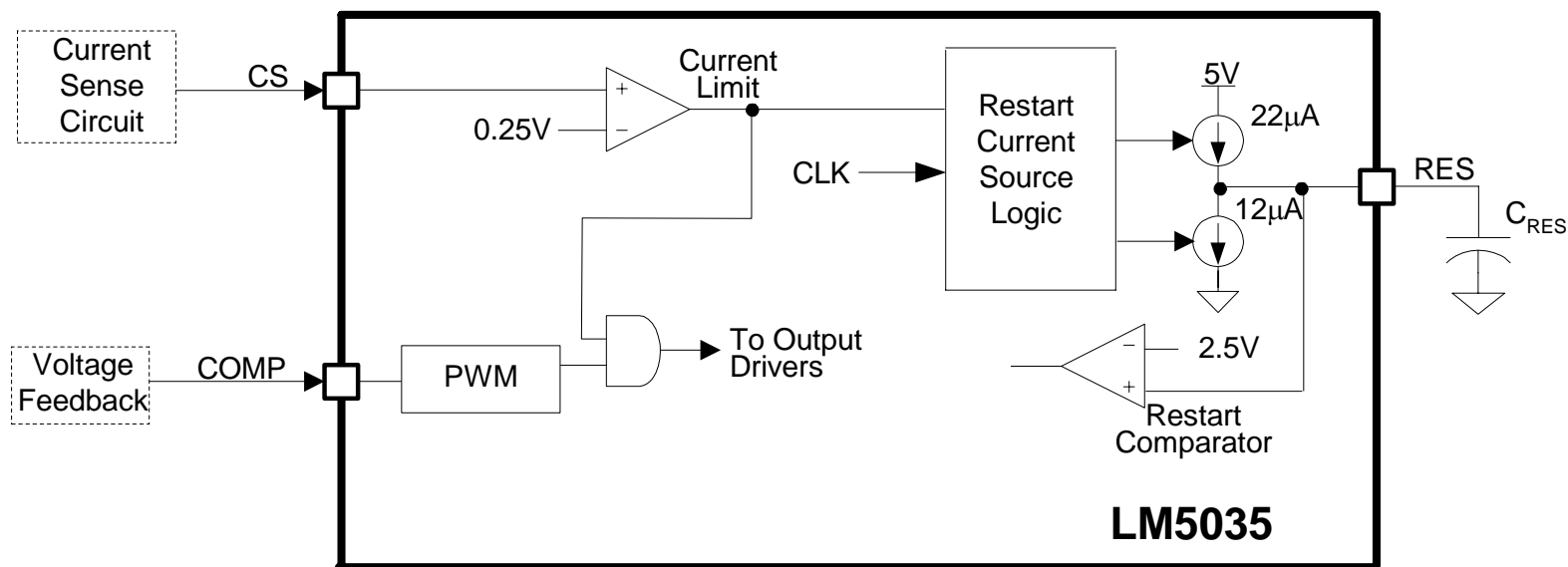
- 最高占空比可以进一步提高，以确保能采用更高的开关频率操作
- 可输出更高电流 (40 mA) 的启动稳压器
- 采用欠压锁定 (UVLO) 模式及打嗝模式时副边同步整流驱动会被关断
- 可调节的同步整流器死区时间
- 输出电流高达 2A 的半桥式栅极驱动器
- 输入电压高达 105V 的启动稳压器
- 光耦合器宽带接口
- 带前馈功能的电压模式控制
- 双模式的过流保护
- 可利用电阻设置的 2 MHz 振荡器
- 可调节的线路欠压锁定
- 远程热能传感器接口
- 线路过压保护比较器
- 可调软启动

有 TSSOP20-EP 及 LLP24 (4 x 5 mm) 两种封装可供选择



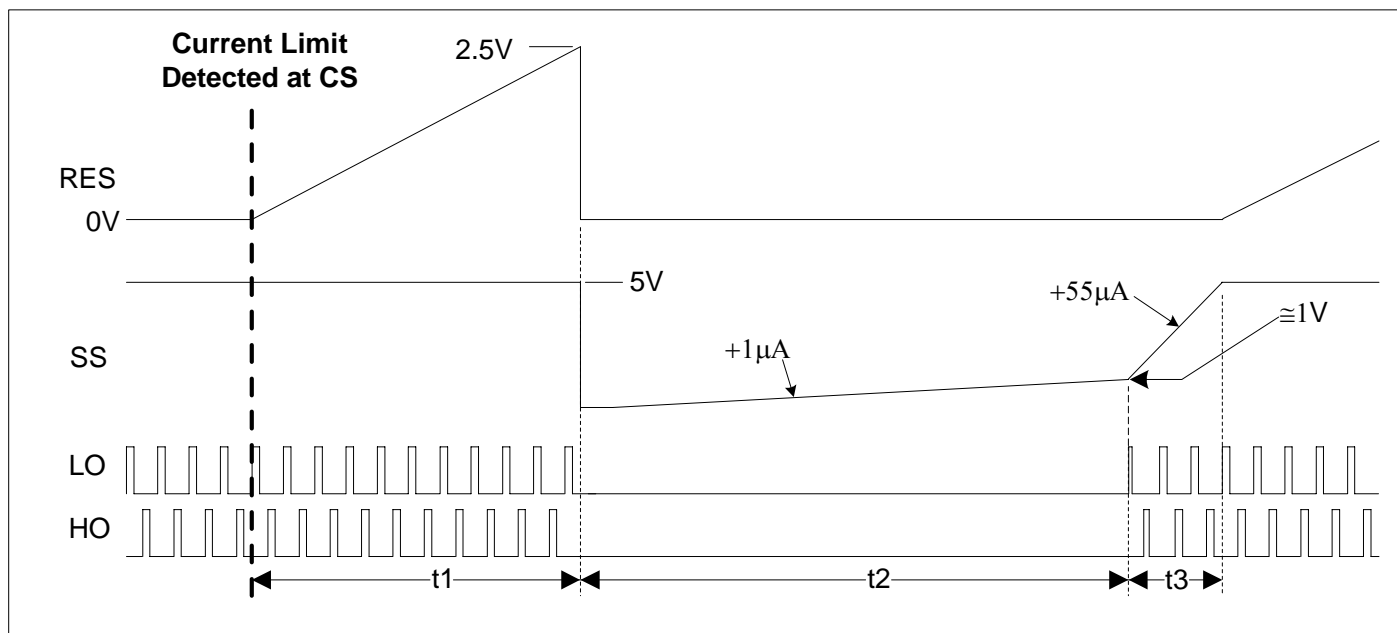
逐周期的限流保护

- 采用 **250 mV** 的阈值，这样可减少损耗，也有助于提高抗噪声干扰的能力
- 确保一旦出现过电流事件时，可以迅速作出响应，而且 **RES** 引脚可以执行多重保护功能

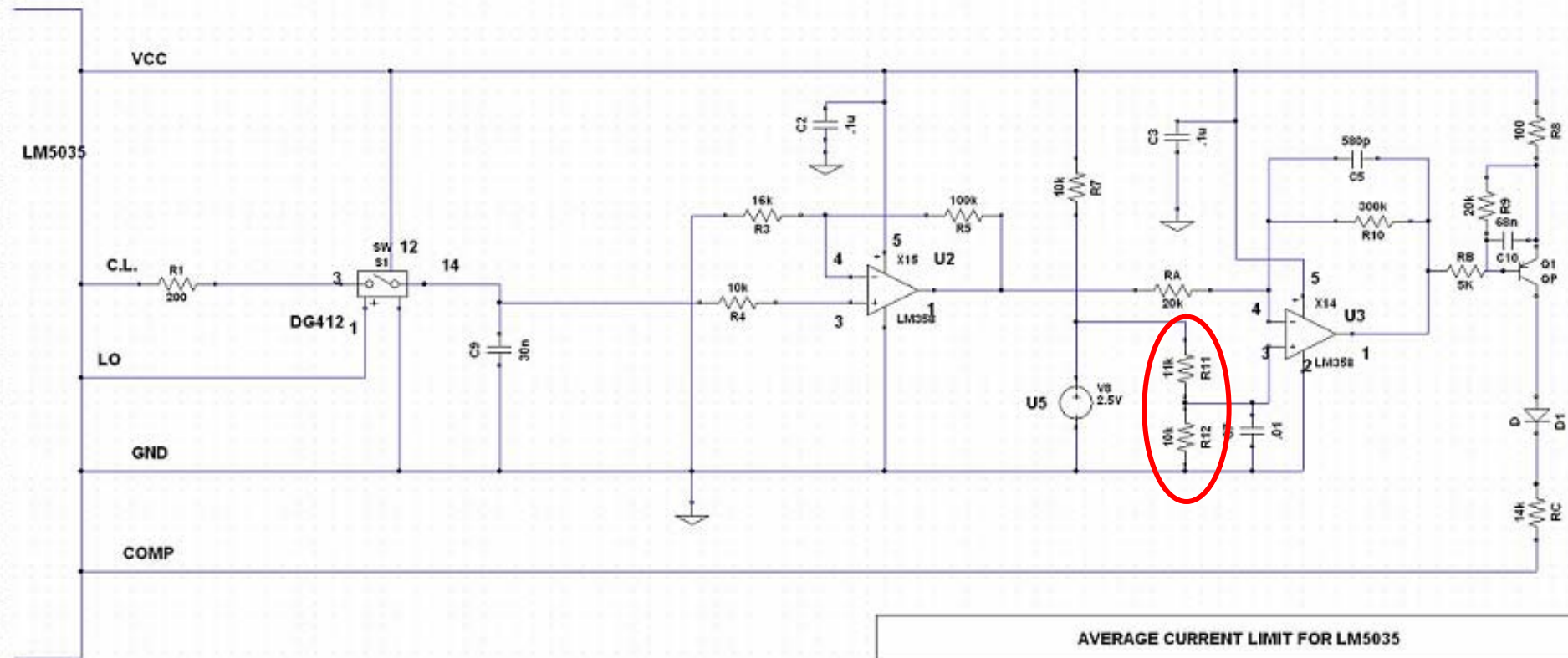


过流打嗝功能

- 如果将RES 引脚直接连接接地 (GND), 打嗝会在第一个过流周期内发生
- 如果在 RES 引脚与接地之间加设一个电容器, 可以利用电容器设定逐周期限流的时间长短

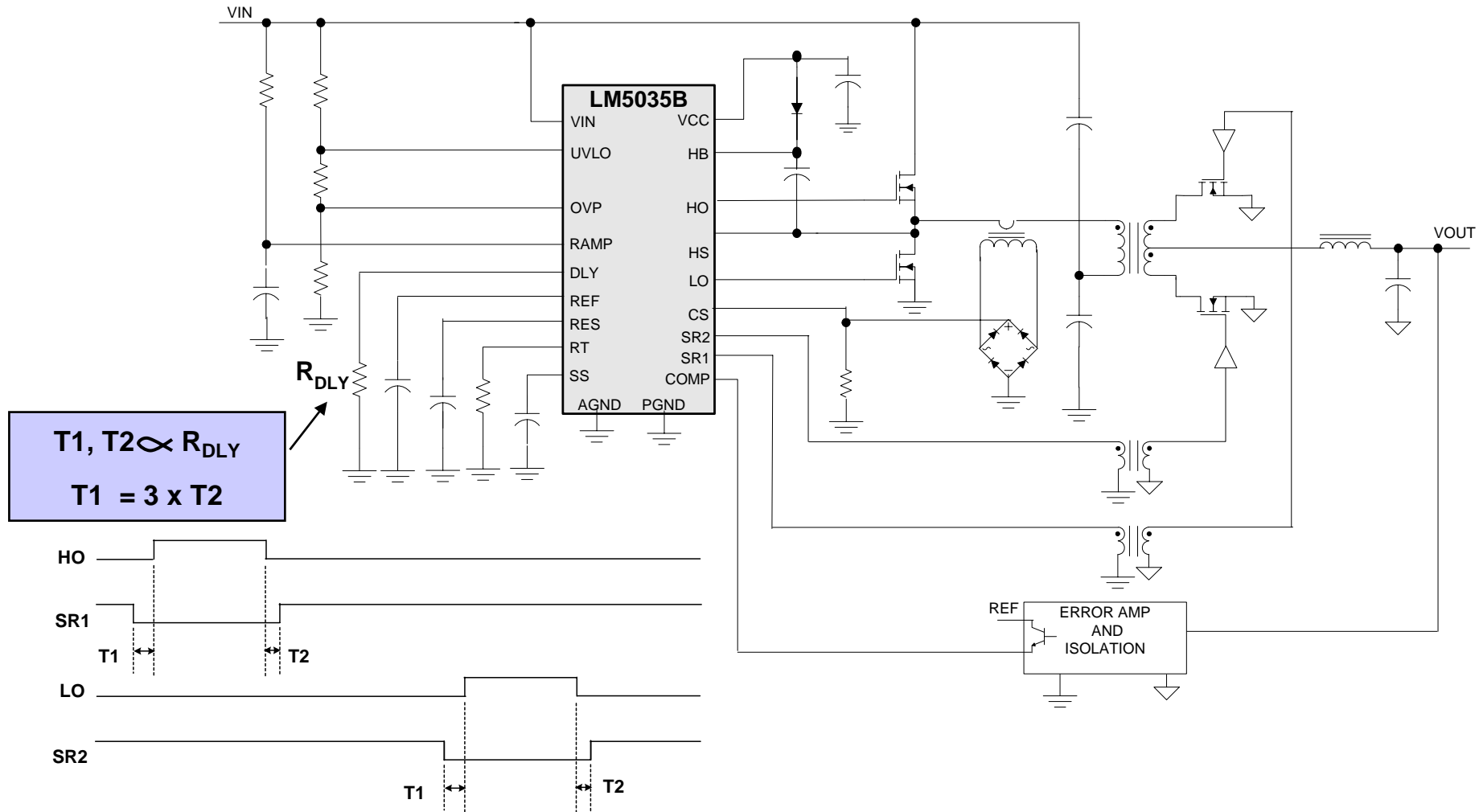


可解决半桥式操作固有问题的平均电流控制方案



AVERAGE CURRENT LIMIT FOR LM5035		
Page: 1 of 1	Size: A	No:
Rev: 167 Revised: 22-Jan-2009		
RON CREWS		
File: C:\Documents and Settings\crmcs\INTERFACE\My I		

内置半桥式及同步 FET 驱动器的 PWM 控制器



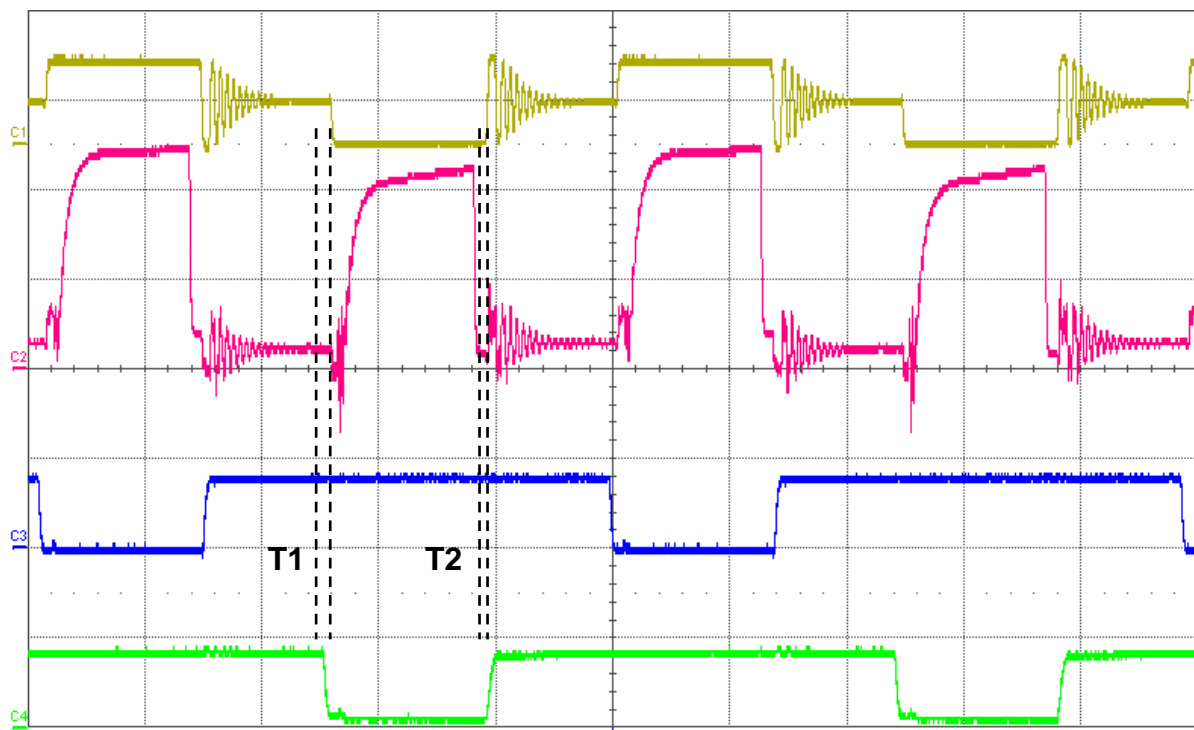
LM5035A 芯片的典型波形：

初级线圈开关节点
50V/div

初级线圈电流检测
100 mV/div

次级线圈 SR1 栅极
10V/div

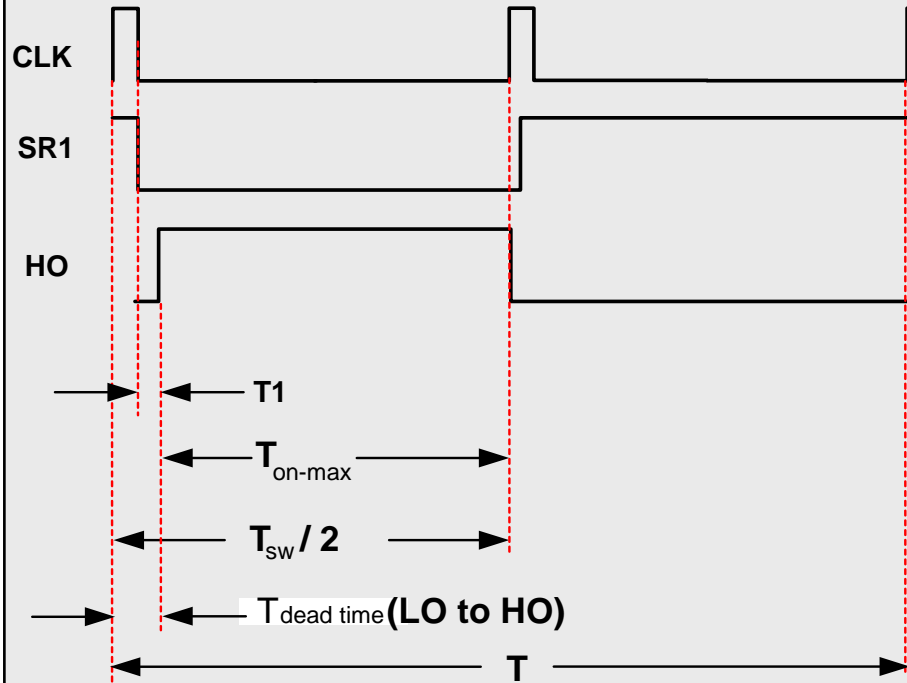
次级线圈 SR2 栅极
10V/div



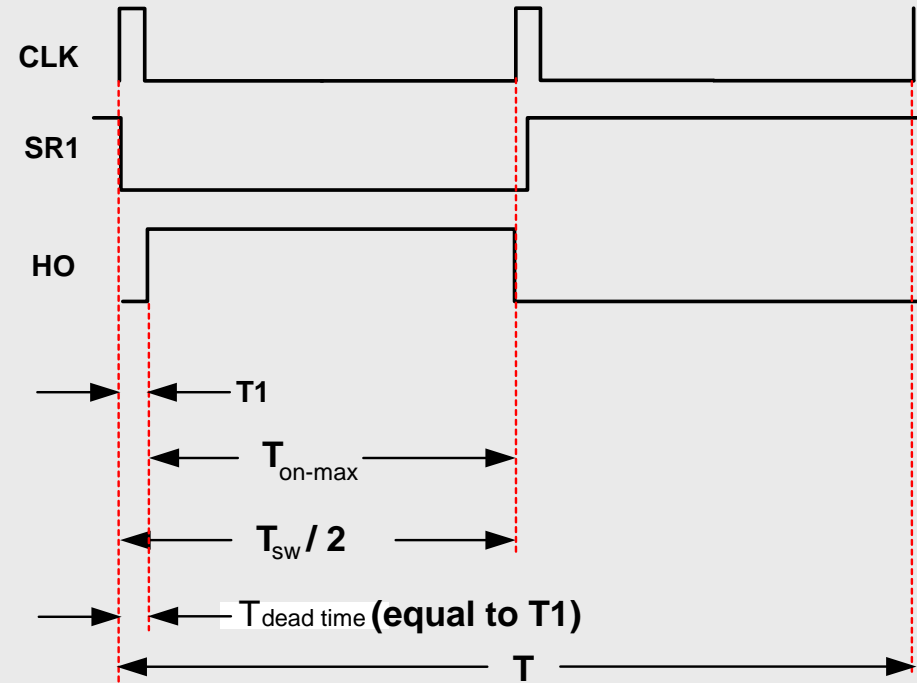
输入电压 (V_{in}) = 48V, 次级线圈输出负载 = 30A

LM5035 系列芯片的最高占空比定时电路图

LM5035 及 LM5035A 芯片

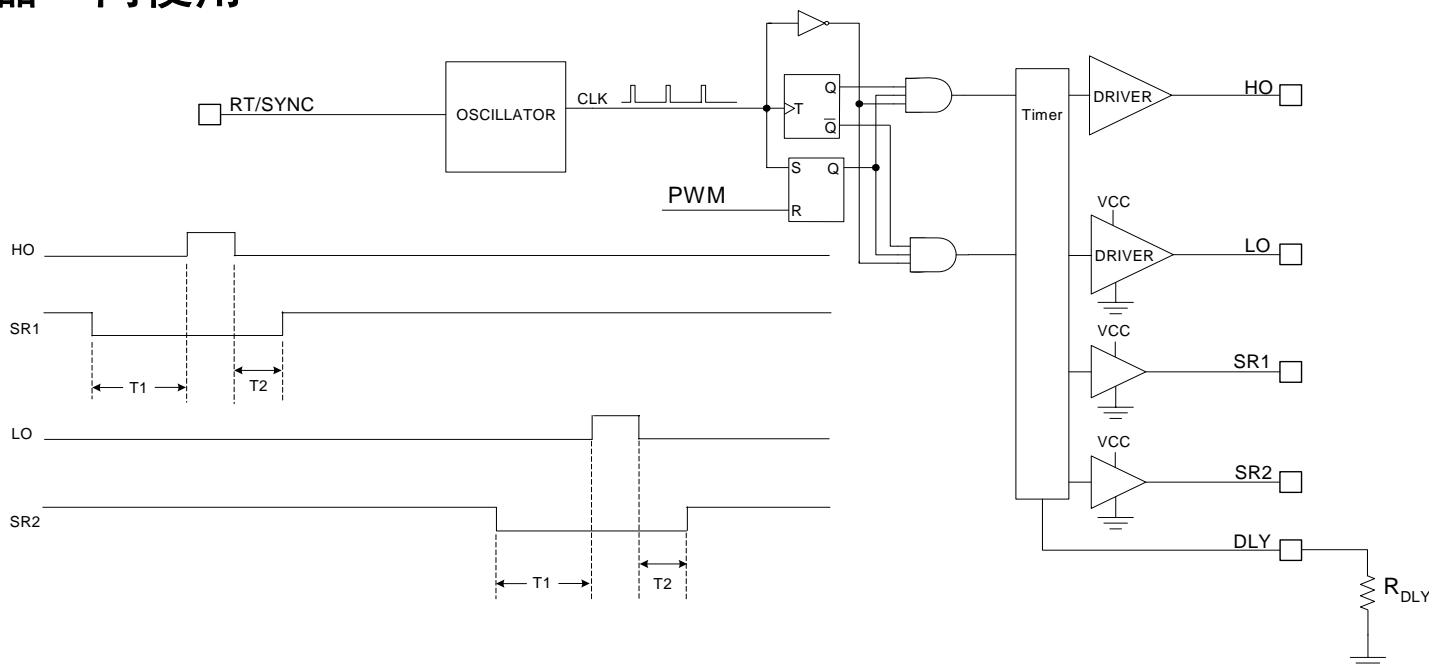


LM5035B 芯片



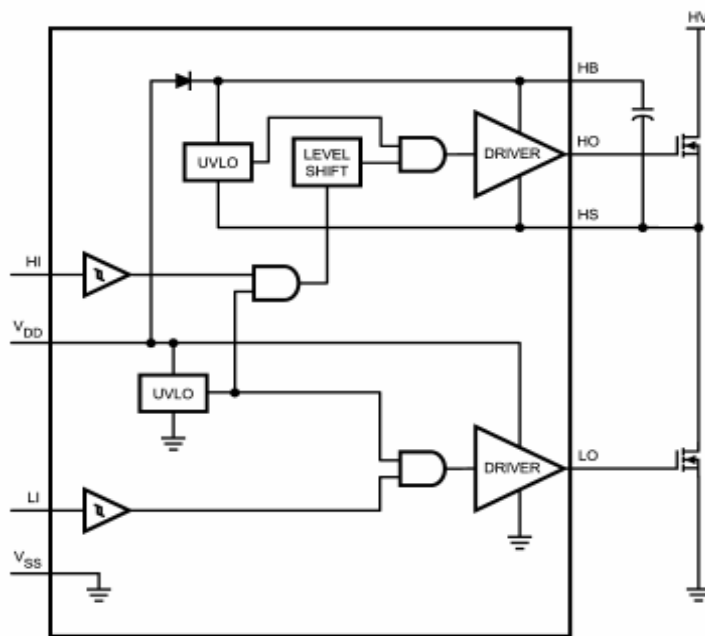
可调节同步整流器

- 0.5A 的次级线圈同步整流器驱动器
- RDLY 可以调整死区时间，以提高同步 FET 的效率，并避免出现直通情况
- 前沿计时器 (T1) 的是后沿计时器 (T2) 的 2 或 3 倍
- 由于同步整流器 MOSFET 的栅极电容较大，一般会与次级线圈 MOSFET 驱动器一同使用



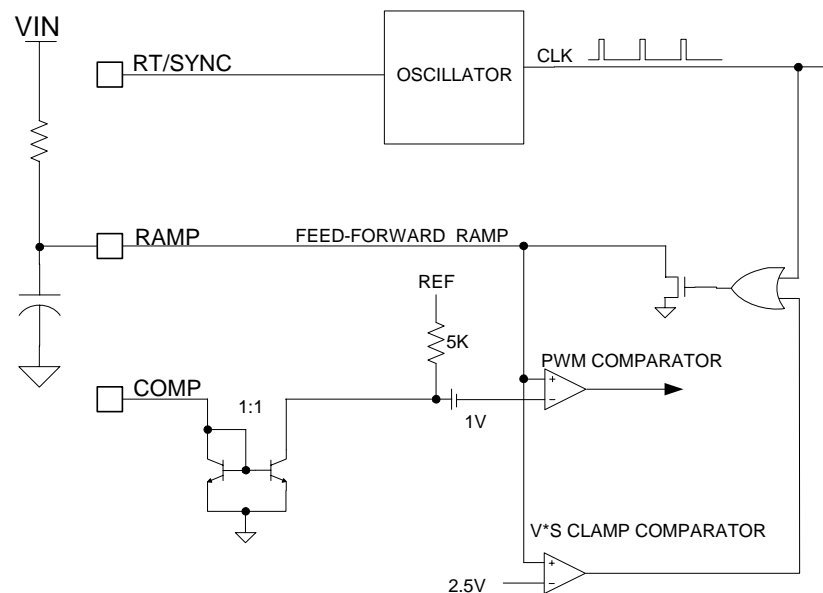
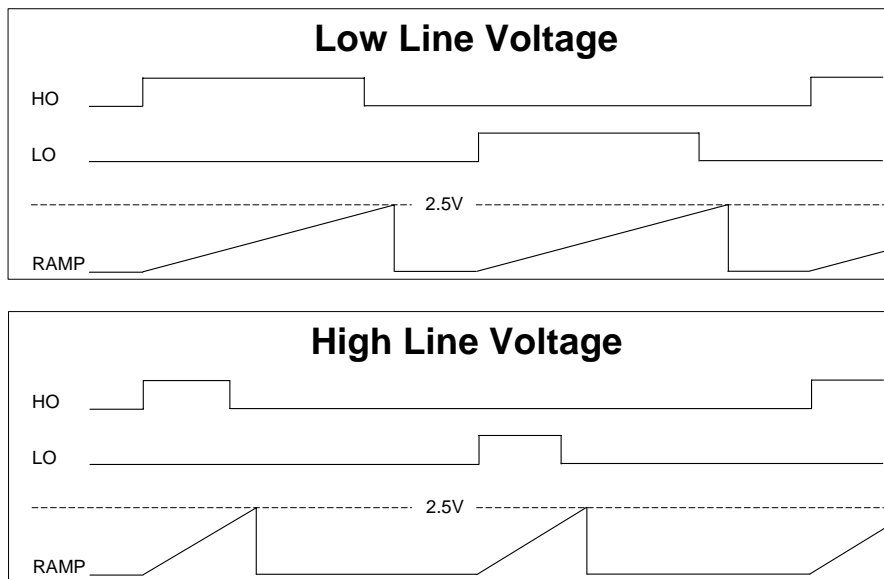
内置初级线圈驱动器

- 适用于较高功率密度设计的单芯片初级线圈解决方案
- 2A 驱动电流，15 ns 上升时间
- 可以另行配置，以便支持双低端的操作 (例如推/挽式)
- 适用于 105V 以上的离线系统，只需将 HS 接地，用HO /LO 驱动门极变压器

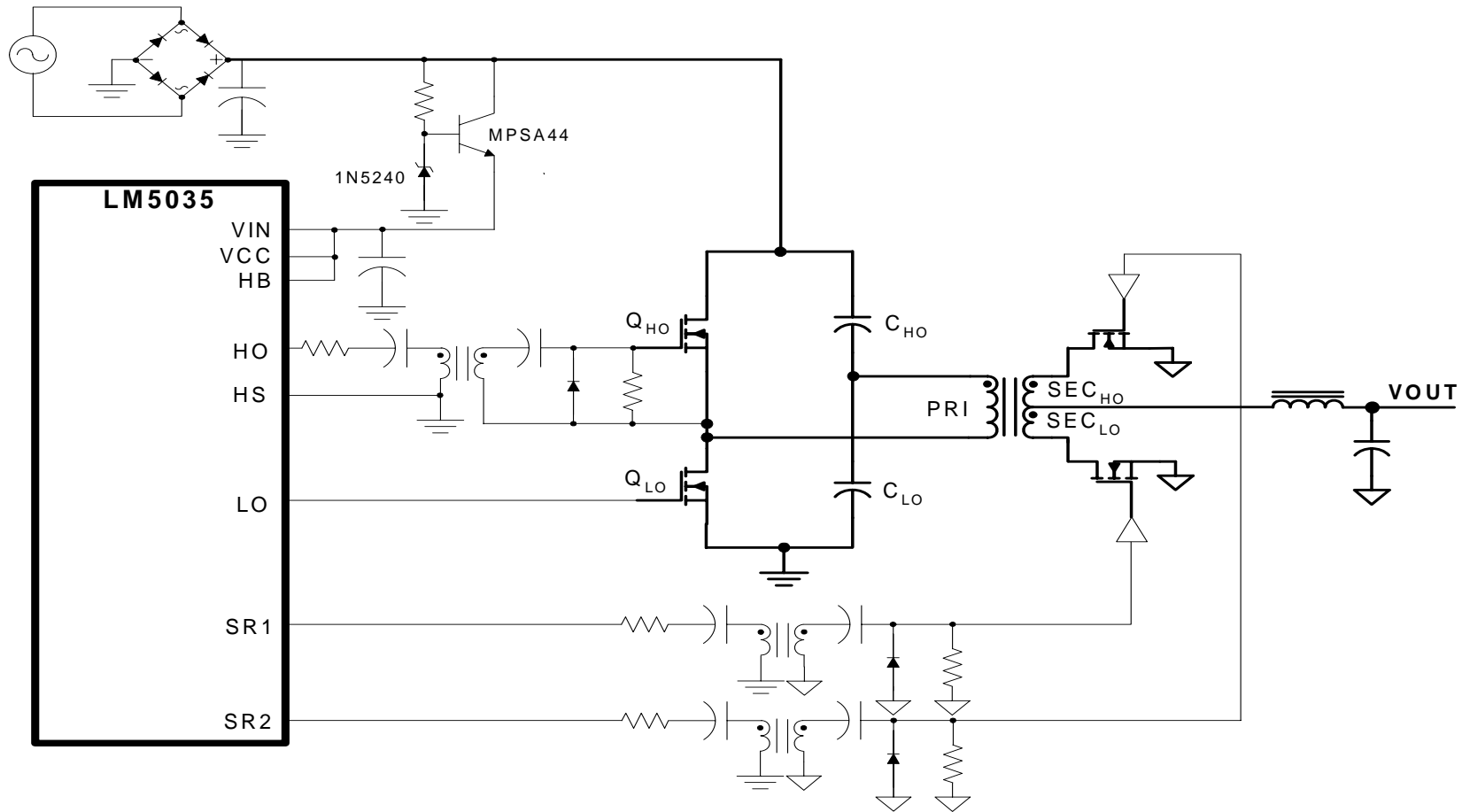


前馈控制

- 采用电压模式时，前馈控制功能可以执行类似电流模式的提高输入调整率的功能
- 在瞬态状态限制脉冲宽度



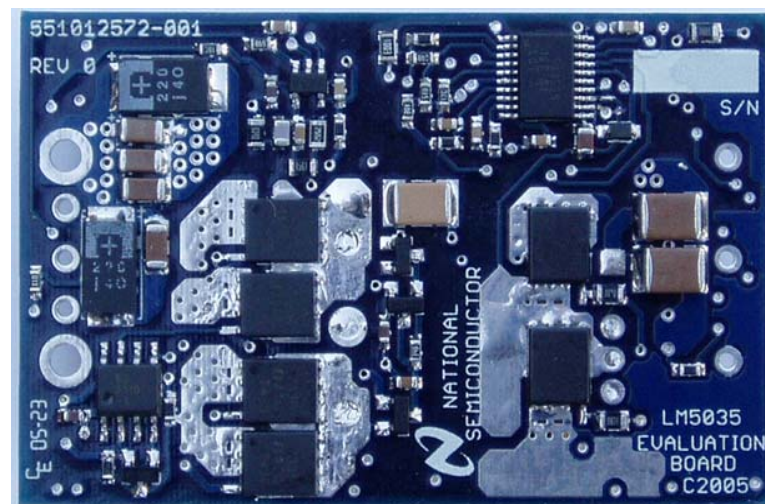
离线的半桥式转换器



LM5035A 半桥式直流/直流转换器演示电路板

性能

- 输入电压: 36V 至 72V, 48V (额定值)
- 输出电压: 3.3V (额定值)
- 输出电流: 0 至 30A
- 初级线圈限流值: >10A (最高值)
- 效率的实测值:
 - 92.7% (电压: 36V, 负载电流: 10A)
 - 91.6% (电压: 48V, 负载电流: 12A)
 - 89.7% (电压: 72V, 负载电流: 16A)
- 负载稳压:
 - 在 0.1A 至 30A 的输出电流之间及 36V 至 72V 的输入电压范围内电压波幅只有 4 mV
- 大小: 2.8" x 1.45" x 0.5" (1/4 砖块)



LM5000 系列控制器的优点

- 输入电压高达 100V 的启动稳压器
- 内置栅极驱动器可输出高达 1A、2A 或 3A 的驱动电流
- 40 ns 的快速限流响应时间
- 双模式过流保护 (每周期及打嗝)
- 可调节的打嗝模式关断时间
- 双模式的可调节欠压锁定 (停机及待机)
- 光耦合器宽带接口
- 振荡器同步

更多资料

- **LM5035**

<http://www.national.com/pf/LM/LM5035.html>

- **LM5035A**

<http://www.national.com/pf/LM/LM5035A.html>

电源管理产品系列:

<http://www.national.com/analog/power>



*National
Semiconductor*