

开关电源设计

与最新控制IC应用

2
NO.

李龙文 张宝华 编著

(第二辑)



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

开关电源设计 与最新控制IC应用 (第二辑)

李龙文 张宝华 编著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书编者根据自己的工作实践,对大量的英文资料进行归纳、总结,选取近两年来新推出的开关电源控制 IC 进行介绍,其中包括最新的控制方式,如 PFC 和 LLC 谐振半桥融合,以实现 LCD、LED 平板电视的金牌效率;反激变换器采用准谐振式,直接从一次侧功率 MOS 漏极处取样来调节脉冲宽度和工作频率;同步整流在轻载和空载时关断整流 MOS 驱动和 IC 静态工作电流,在大幅提高效率的同时,实现最低空载功耗;PFC 推出了更高效率的 Buck 拓扑,以适应适配器类产品的需要以及专门用于 LED 驱动的控制 IC。

对于每种控制 IC,重点介绍其引脚功能、内部电路、工作原理、设计方法,部分 IC 还给出了具体的设计步骤、器件参数和 PCB 图,以方便读者理解,使他们能学会、能用好。本书适合开关电源设计、研发工程师阅读、参考,也可供大专院校相关专业师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

开关电源设计与最新控制 IC 应用. 第 2 辑 / 李龙文, 张宝华
编著. —北京: 中国电力出版社, 2012.10

ISBN 978-7-5123-3630-8

I. ①开… II. ①李… ②张… III. ①开关电源—设计
②开关电源—电源控制器 IV. ①TN86

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 245349 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2013 年 1 月第一版 2013 年 1 月北京第一次印刷

700 毫米×1000 毫米 16 开本 16.25 印张 328 千字

印数 0001—3000 册 定价 39.00 元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签,刮开涂层可查询真伪

本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

进入新世纪以来，电力电子技术发展迅速，在开关电源领域，新的控制 IC 不断涌现，新的控制方式不断推出。例如反激变换器推出准谐振式，又调宽、又变频，做到谷底开关，提高转换效率，但工作频率又不会超过 135kHz，使 EMI 易于通过。新的反激变换器还推出了不要从二次侧反馈的技术，直接从一次侧功率开关 MOSFET 的漏极处取样来调节脉冲宽度和工作频率达到输出稳压的目的。为了应用最广泛的金牌 PC 电源和 LCD、LED 平板电视机供电，推出了将 CRM 式 PFC 和 LLC 谐振半桥融合在一起的控制 IC，实现金牌效率和绿色环保的待机要求。全桥 ZVS 电路拓扑的两个版本都有了新的改进，无论是全桥移相 ZVS 还是对称全桥 ZVS，都给出了进一步改进的控制 IC。对于能大幅提高效率的同步整流也推出了绿色节能的驱动 IC，它在轻载时可以关断对整流 MOSFET 的驱动，在空载时将 IC 的静态工作电流也关断，实现了最低的空载功耗。此外，PFC 的拓扑从 BOOST 拓扑推出了更高效率的 BUCK 拓扑，以适应适配器类产品的需要，对应脉冲宽度调制推出了完整周期控制方式。此外，LED 的驱动 IC 大量涌现，AC-DC 含 PFC 的 DC-DC 用于汽车灯，既实现高效率，又实现绿色环保。非隔离的 BUCK、BOOST、BUCK-BOOST、INVERTING 控制器、转换器大量涌现，正在迅速取代线性稳压器，做到体积小、效率高、静态电流小。最后在电源系统的数字化方面，我们也给出一款新产品和新方式控制。

我们在编写过程中，参考了大量 IC 生产厂商提供的 DeetSheet，根据自己的设计经验进行了翻译、提炼、归纳、总结，从而方便国内的工程师理解并将该领域最新的控制技术应用于自己的产品，希望此书能帮助电源工程师尽快掌握新技术，能设计、研发出效率更高、性能更优的绿色电源产品。

编者



目 录

前言

1	高效同步四开关升降压控制 IC——LTC3789	1
1.1	引脚功能	1
1.2	内部电路	2
1.3	功能和设计	4
1.4	设计实例	16
2	总线变换器——UCC28230	20
2.1	引脚功能	20
2.2	内部电路	21
2.3	功能与设计	22
2.4	设计实例	32
3	一次侧 PFC 与谐振半桥 LLC 组合的控制器——NCP1901	40
3.1	引脚功能	40
3.2	内部电路和工作原理	41
3.3	功能和设计	42
3.4	设计实例	47
4	对称电路拓扑二次侧同步整流及反馈控制 IC——SIP11203/04	48
4.1	引脚功能	48
4.2	内部电路	49
4.3	功能和设计	50
4.4	设计实例	58
5	高效率的二次侧同步降压 PWM 控制器——UCC2540	61
5.1	引脚功能	61
5.2	内部电路	62
5.3	功能和设计	63
5.4	设计实例	77

6	交互式有源钳位电流型 PWM 控制 IC——LM5034	79
6.1	引脚功能	79
6.2	内部电路	80
6.3	功能和设计	81
6.4	设计实例	93
7	高性能可高压直接驱动 MOS 的 LLC 控制器——NCP1396	96
7.1	引脚功能	96
7.2	内部电路	97
7.3	功能和设计	97
7.4	设计实例	110
8	宽输入电压范围电流型升压控制器——TPS40210	111
8.1	引脚功能	111
8.2	内部电路	112
8.3	功能和设计	112
8.4	设计实例	122
9	LLC 在谐振应用中的结构	130
9.1	LLC 变换器	130
9.2	在串联谐振频率 $f_{sw} < f_s$ 之下的工作波形	134
9.3	零电压开关和零电流开关	139
9.4	启动顺序和短路保护	140
9.5	有关串联谐振的工作波形	141
9.6	结论	145
10	绿色同步整流器控制 IC——UCC24610	146
10.1	引脚功能	146
10.2	内部电路	147
10.3	功能和设计	148
10.4	设计实例	159
11	使用 FSCQ 准谐振反激变换器的设计程序	160
11.1	FSCO 简介	160
11.2	设计步骤	161
12	宽输入电压范围正变负 DC-DC 控制器 LTC3704	179
12.1	引脚功能	179
12.2	内部电路	180

12.3	功能和设计	180
12.4	设计实例	194
13	一种新型完整周期控制 IC——UCC29900	200
13.1	引脚功能	200
13.2	内部电路	201
13.3	功能和设计	201
13.4	设计实例	211
14	增强型高效率功率因数校正控制 IC——NCP1611	212
14.1	引脚功能	212
14.2	内部电路	212
14.3	功能和设计	214
14.4	设计实例	223
15	最新全能数控电源 IC-ADP1043A	224
15.1	引脚功能	224
15.2	内部电路	225
15.3	功能与设计	226
15.4	设计实例	252

高效同步四开关升降压控制 IC——LTC3789

1.1 引脚功能

LTC3789 是新研发出的高效率、高性能升降压式开关稳压控制器，其输入电压可以为 $4\sim 38\text{V}$ ，输出电压可以高于输入电压，也可以低于输入电压，为 $0.8\sim 38\text{V}$ ，工作频率恒定，最高可达 600kHz ($200\sim 600\text{kHz}$)，为电流模式工作。输出电流反馈环提供对电池充电的支持，满足输入、输出 $4\sim 38\text{V}$ 的宽范围。在工作区域有很低的噪声，LTC3789 是目前最理想的可升降压的电池供电系统应用 IC。

LTC3789 引脚功能说明如下。

(1) VFB (PIN1/PIN26)：误差放大器反馈端。从输出端的电压分压器送到此端的反馈电压。

(2) SS (PIN2/PIN27)：外部软启动输入端。LTC3789 的 V_{FB} 电压小于 0.8V ，内部一个 $3\mu\text{A}$ 上拉电流源给外部 C_{SS} 电容充电，其上斜电压时间为最终输出电压达到的时间。

(3) SENSE+ (PIN3/PIN28)。将电流信号送到电流检测比较器。ITH 端电压由 SENSE+ 与 SENSE- 端之间的电压控制，外接电阻 R_{SENSE} 设置限流阈值。

(4) SENSE- (PIN4/PIN1)。将电流信号送到电流检测比较器。

(5) ITH (PIN5/PIN2)：误差放大器输出和开关稳压器补偿点。增加此点电压到通道电流比较器触发点。

(6) SGND (PIN6/PIN3)：信号地。该端必须与大电流地分开，并用 C_{IN} 电容终止。在 QFN 封装时，外部即 SGND，它必须焊接到 PCB 地，用于散热。

(7) MODE/PLLIN (PIN7/PIN4)：模式选择或外同步输入作为相位检测。这是一个两用端子，当外部频率同步功能不用时，它用于选择工作模式。此端可接到 SGND 或 INTVCC，在 SGND 或低于 0.8V 时强制工作于连续模式。INTVCC：使能脉冲跳跃模式。在外同步时，加一个时钟信号到此端，内部 PLL 脉冲将同步内部振荡器到此时钟，PLL 合成网络集成到 IC 内。

(8) FREQ (PIN8/PIN5)：工作频率设置端。这是一个精密的 $10\mu\text{A}$ 电流流出端，外部接一只电阻到地，设置一个电压，用于调节工作频率，此端也可以用一个外接直流电压去改变内部振荡器的频率。

(9) RUN (PIN9/PIN6)：运行控制输入。强制此端在 0.5V 以下时即关断控制器，以减小静态电流。一个 $1.2\mu\text{A}$ 上拉电流给此端。一旦 RUN 端上升到 1.22V 以

上, IC 即开启, 并增至 $5\mu\text{A}$ 上拉电流。

(10) VINSNS (PIN10/PIN7): V_{IN} 检测。输入到 BUCK-BOOST 转移比较器, 接此端到输入侧上部 NMOS 的漏极。

(11) VOUTSNS (PIN11/PIN8): V_{OUT} 检测。输入到 BUCK-BOOST 传输比较器, 接此端到输出侧顶部的 NMOS 漏极。

(12) ILIM (PIN12/PIN9): 输入、输出平均电流检测范围输入端。此端接至 SGND、INTV_{CC} 或浮动, 以设置最大平均电流检测阈值。

(13) IOSENSE⁺ (PIN13/PIN10)。输入、输出平均电流检测放大器的+输入。

(14) IOSENSE⁻ (PIN14/PIN11)。输入、输出平均电流检测放大器的-输入。

(15) TRIM (PIN15/PIN12)。接此端到 GND 为正常工作, 不允许其浮动。

(16) EXTVCC (PIN20/PIN17)。外部电源输入到内部 LDO 接至 INTVCC, 这个 LDO 给 INTVCC 供电, 旁路内部 LDO 供电, 此时外部 EXTVCC 高于 4.8V, 此端不得超过 14V。

(17) INTVCC (PIN21/PIN18): 内部线性稳压器输出。驱动器及控制电路由此端供电, 用一只 $4.7\mu\text{F}$ 电容旁路之。

(18) VIN (PIN22/PIN19): 主电源输入端。此端加一只旁路电容到 GND。

(19) BG1、BG2 (PIN23、19/PIN20、16): 给底部 N 沟功率 MOSFET 的栅驱动端, 驱动电平从 GND 到 INTV_{CC}。

(20) PGND (PIN24/PIN21): 驱动器的功率地。接到 C_{IN}、C_{OUT} 和 R_{SENSE}。

(21) BOOST1、BOOST2 (PIN25、18/PIN22、15): 为顶部浮动 MOS 的驱动器供电, 电容接于 BOOST 和 SW 端, 在 BOOST 与 INTVCC 端之间接入肖特基二极管, 电压在 BOOST 端处从 V_{INTVCC} 上升到 $V_{\text{IN+INTVCC}}$ 。

(22) TG1、TG2 (PIN26、17/PIN23、14): 驱动顶部 N 沟道功率 MOSFET。此为浮动的驱动器, 从开关结点到栅极的电压为 $V_{\text{INTVCC}}-0.5\text{V}$ 。

(23) SW1、SW2 (PIN27、16/PIN24/13): 开关结点。两结点之间接电感, 此端电压涌动为从 GND 到 VIN。

(24) PGOOD (PIN28/PIN25): 开路漏极逻辑输出。在 VFB 端没达到稳压输出 $\pm 10\%$ 时, 此端为 GND 电平, 在 $20\mu\text{s}$ 之后, 屏蔽时段终止。

1.2 内部电路

控制器工作模式由 MODE/PLLIN 端决定, MODE/PLLIN 端可以在脉冲跳跃型和连续工作模式之间选择, 它允许 IC 同步到外部时钟, 脉冲跳跃型在轻载时提供十分低的纹波, 与在连续工作模式时相同。

当输出电压进入设定值的 10% 以内时, PG 端给出指标, LTC3789 采用 28PIN 的 $4\text{mm}\times 5\text{mm}$ QFN 封装。

LTC3789 外部要求四只功率 MOSFET 在 VIN 关断时 VOUT 即断开，软启动时间可调，主要用于自动化系统、大功率电池供电系统等。

LTC3789 的基本应用电路图如图 1-1 所示。LTC3789 的内部等效电路如图 1-2 所示。

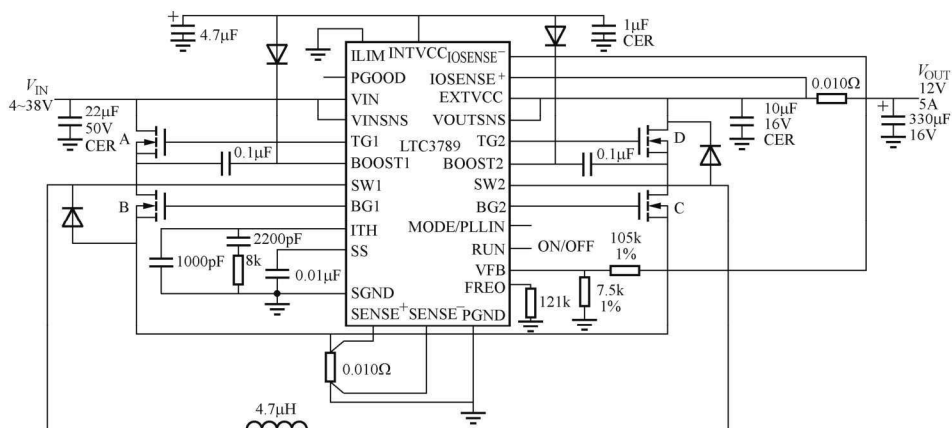


图 1-1 LTC3789 的基本应用电路

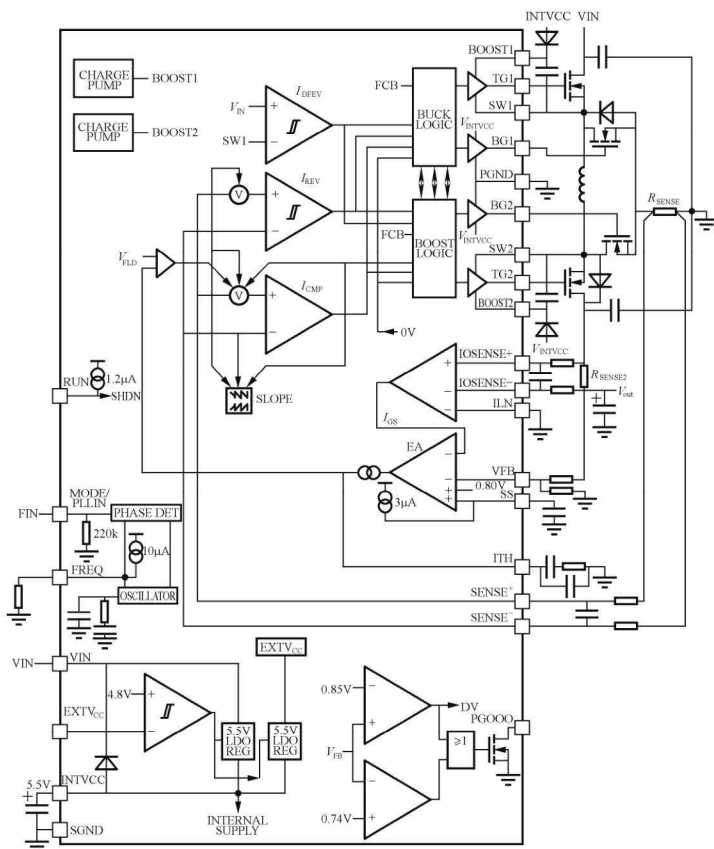


图 1-2 LTC3789 的内部等效电路

1.3 功能和设计

(1) 主要控制环。LTC3789 是一个电流型控制器, 它提供一个输出电压, 可高于、等于或低于输入电压, LTC 专有拓扑及控制方法。使用一个电流检测电阻, 电感电流由 ITH 端上的电压控制, 它是误差放大器 EA 的输出, VFB 端接收反馈电压信号, 它与加到 EA 上的内部基准电压比较, 如果输入、输出电流调整环被执行, 检测的电感电流就由检测的反馈电压或输入、输出的电流控制。

(2) INTVCC/EXTVCC 供电。顶部 MOSFET 和底部 MOSFET 的驱动器以及多数内部电路都从 INTVCC 端供电, 当 EXTVCC 令其打开或接到低于 4.5V 时, 一个内部 5.5V 的低压差稳压器给 INTVCC 从 VIN 供电, 如果 EXTVCC 端电压升到 4.8V 以上, 则 5.5V 调整器关断, 另一个 LDO 调整器 INTVCC 从 EXTVCC 端给出稳定电压, EXTVCC 的 LDO 允许 INTVCC 从更高效率的外部电源供电, 例如从 LTC3789 的输出供电, EXTVCC 的最大电压允许为 14V。

(3) 内部充电泵。每一个顶部 MOSFET 驱动器都是从浮动的升压电容器 C_A 和 C_B 上取电荷的, 通常由 INTVCC 通过外部二极管在 MOS 关闭时为之充电。当 LTC3789 只工作在降压或升压区间时, 其中一个顶部 MOS 总处于导通状态, 一个内部充电泵重新给升压电容充满电, 通过升压二极管只有很小的漏电流, 这令 MOS 保持导通。当然, 如果二极管漏电流大, 则内部充电泵就不能足够地给外部升压电容充电, 一个内部的 UVLO 比较器一直监视此电容上的电压, 检测 BOOST-SW 电压不得低于 3.6V, 否则它将关断顶部 MOSFET 大约时钟周期的 1/12, 以允许 C_A 或 C_B 重新充电。

(4) 关断和启动。控制器可以由拉低 RUN 端到低电平而关断, 当 RUN 端电压低于 0.5V 时, LTC3789 即进入低静态电流模式。放开 RUN 端即允许内部 1.2 μ A 电流源为之充电, 将电平拉上去, 再次使能控制器。当 RUN 端在精密阈值 1.22V 以上时, 内部 LDO 将给 INTVCC 端供电。在此同时, 一个 6 μ A 上拉电流将突然跳入并给 RUN 端提供更多的滞后, RUN 端也可以从外部上拉或直接由逻辑电路驱动, 要小心不要超出此端绝对最大值电压 6V。

控制器输出电压 V_{OUT} 的启动, 由 SS 端上的电压控制, 当 SS 端电压低于 0.8V 的内部基准电压时。LTC3789 调节 VFB 端电压用 SS 上的电压替代 0.8V 基准, 这样允许 SS 端用外接电容来调节软启动, 此电容接于 SS 端到 GND。一个内部 3 μ A 上拉电流给此电容充电, 建立一个电压斜坡于 SS 端。随着 SS 端电压线性上升, 从 0~0.8V, 输出电压 V_{OUT} 也同步从 0V 上升到设定电压值。换句话说, SS 端可以用于决定输出电压 V_{OUT} 跟随另一个电源的输出轨迹。当 RUN 拉低就可以禁止控制器。当 V_{INTVCC} 低于欠电压锁定值 3.4V 时, SS 端由内部 MOSFET 拉低进入欠电压锁定状态, 控制器被禁止, 外部功率 MOS 都处在关断状态。

(5) 功率开关控制。图 1-3 示出四个功率 MOS 开关的连接，如何接电感、 V_{IN} 、 V_{OUT} 和 GND。图 1-4 示出 LTC3789 在各工作区的占空比功能，功率开关在适当的控制下如何传输功率。

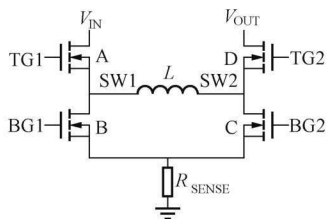


图 1-3 四个功率 MOS 开关的连接

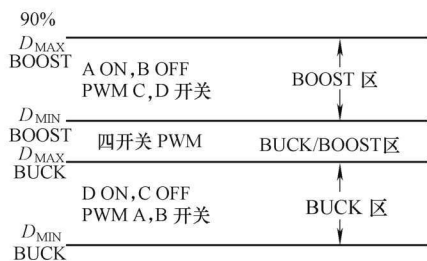


图 1-4 LTC3789 在各个区域的占空比

(6) 降压区域 ($V_{IN} > V_{OUT}$)。开关 D 总处在导通状态，开关 C 总处在关闭状态。在每一周期启动时，同步开关 B 首先导通，在同步开关 B 导通时检测出电感电流，在检测电压降到基准电压以下时，与 V_{TH} 成正比，同步开关 B 关断，而开关 A 导通，并保持整个周期，然后开关 A 和 B 交替。如同典型的 BUCK 电路，开关 A 的占空比增加，直到允许的最大占空比 D_{MAX} ， D_{MAX} 由下式给出

$$D_{MAX_BUCK} = \left(1 - \frac{1}{12}\right) \times 100\% = 91.67\%$$

图 1-5 示出典型 BUCK 区域的波形，如果 V_{IN} 接近 V_{OUT} ，进入 BUCK-BOOST 区域。

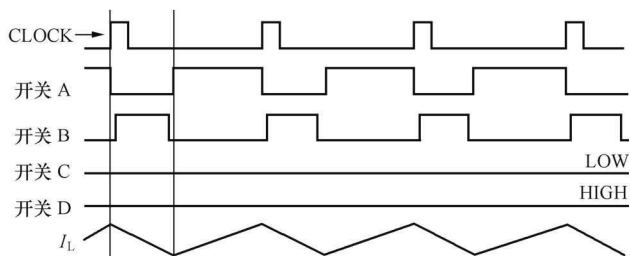


图 1-5 典型 BUCK 区域的波形

(7) 升降压区域 ($V_{IN} = V_{OUT}$)。当 V_{IN} 接近 V_{OUT} 时，控制器进入 BUCK-BOOST 区域，图 1-6 示出在此区域的典型波形，在时钟 (clock) 周期开始时，如果控制器由 B 和 D 导通开始，则控制器首先工作在 BUCK 区，当 I_{CMP} 触动，开关 B 关断，开关 A 导通，在 120° 时钟相位处，开关 C 导通，LTC3789 开始工作为 BOOST，直到 I_{CMP} 触动。然后，开关 D 在剩余的时钟周期内导通，如果控制器令开关 A 和 C 导通，则首先工作在 BOOST 状态，直到 I_{CMP} 触动开关 D 导通，在 120° 开关 B 也导通，使其又工作在 BUCK 状态，然后， I_{CMP} 触动，关断开关 B，而开关 A 导通，

直到此周期结束。

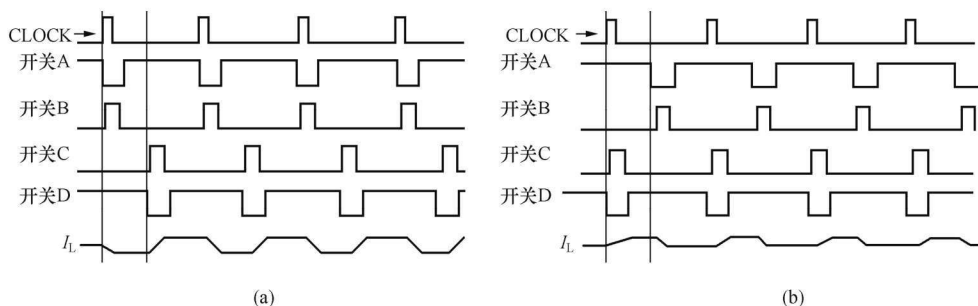


图 1-6 BUCK_BOOST 的工作波形

(a) $V_{IN} > V_{OUT}$; (b) $V_{IN} < V_{OUT}$

(8) 升压区域。开关 A 总处于导通状态，同步开关 B 总处在关断状态，在每个周期开关 C 首先导通。在检测电感电流超出基准电流后，其正比于 V_{ITH} ，开关 C 关断，而同步开关 D 导通，保持到此周期结束，开关 C 和 D 交替工作，像典型的同步 BOOST 调整器，开关 C 的占空比减小直到最小占空比达到 $D_{MIN-BOOST}$ ，由下式给出

$$D_{MAX_BUCK} = \left(1 - \frac{1}{12}\right) \times 100\% = 91.67\%$$

图 1-7 示出典型 BOOST 区域的工作波形，如果 V_{IN} 接近 V_{OUT} ，则 BUCK-BOOST 区域又回来。

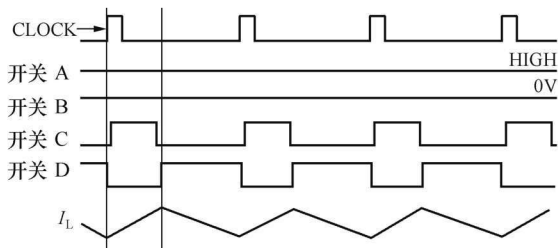


图 1-7 典型 BOOST 区域的工作波形

(9) 轻载电流工作。LTC3789 可以在轻载时进入跳脉冲模式工作，也可以强制在连续导通模式下工作，选择强制导通模式工作时，MODE/PLLIN 端要接到一个低于 0.8V 的 DC 电压，为选择跳脉冲式工作，MODE/PLLIN 端要接到 INTVCC 端。

当 LTC3789 进入跳脉冲模式时，在 BOOST 区域同步开关 D 保持关断，不能令电感中的反向电流检测出来。在非常轻载之下，电流比较器 I_{CMP} 仍旧可触发几个周期，强制开关 C 停止关断状态也随之有相同的周期。在 BUCK 区域，电感电流不允许反转，同步开关 B 保持关断，无论如何不可检测出电感中的反转电流。在非常轻

的负载下, 电流比较器 I_{CMP} 可保持在未触发状态几个周期, 保持开关 A 关断相同数量的周期。在跳脉冲周期同步开关 B 还保持关断, 在 BUCK-BOOST 区域, 控制器工作在升压和降压交替状态, 在连续工作模式下, 允许有少量的反转电流及小的纹波。出于相同的理由, 窄带宽的连续 BUCK 和 BOOST 工作时允许高端和低端处于 BUCK-BOOST 区域。

(10) 输出过电压。如果输出电压高出由 V_{FB} 电阻分压器设定的值, LTC3789 将根据工作模式和工作区域做出响应。在连续工作模式下, LTC3789 将电流漏入输入端, 如果输入电源能漏入电流, LTC3789 就允许高出输入大约 $160\text{mV}/R_{\text{SENSE}}$, 在跳脉冲模式下的 BUCK 或 BOOST 区域开关停止, 输出允许保持在高位。在跳脉冲模式下的 BUCK/BOOST 区域, 如同窄的连续 BOOST 工作模式, 并依附于它, 电流通过开关 A 进入输入端, 并限制在开关 A 的 $40\text{mV}/R_{\text{DS(on)}}$ 。如果达到这个水平, 则开关将停止工作, 输出将上升。在跳脉冲模式以及窄的连续 BUCK 区域, 依附于 BUCK/BOOST 区域, 电流通过 R_{SENSE} 进入输入端, 并限制在大约 $40\text{mV}/R_{\text{SENSE}}$ 。

(11) 恒流调整率。LTC3789 提供一个恒流调整环应对输入、输出电流, 一个检测电阻加上输入、输出电容检测输入、输出电流。当电流超出设定限流值时, ITH 端的电压将被拉下来, 去保持所需要的最大输入、输出电流。输入电流限制功能防止直流输入源过载, 此时输出电流限制提供一个方框电路给电池充电或 LED 驱动器。它还服务于外部电流限制及保护作为恒定电压调节应用。输入、输出电流限制功能有一个工作电压范围, 为最大 V_{OUT} (V_{IN}) 到 GND。

(12) 选择频率及锁相环。选择开关频率时是在效率和元件尺寸之间的折扣, 低的工作频率可以提高效率, 减小 MOSFET 开关损耗, 但需要大的电感及电容以便做到低纹波电压。LTC3789 的开关频率由 FREQ 端选择, 如果 MODE/PLLIN 端不用外部时钟源驱动, 则 FREQ 端可用来调节控制器的频率, 范围为 $200\sim 600\text{kHz}$ 。

开关频率由 FREQ 端上的电压决定, 因为这里有一个精密的 $10\mu\text{A}$ 电流流出 FREQ 端, 用户可以用外部接一只电阻到 GND 调节控制器频率。在应用信息部分提供一个曲线, 它给出 FREQ 端电压和开关频率之间的关系。

一个锁相环 (PLL) 集成在 LTC3789 中去同步内部振荡器到外部时钟源频率。它由 MODE/PLLIN 端送入, 外同步时控制器工作在强制连续模式, PLL 滤波器网络集成在 LTC3789 内部, PLL 能够锁定在 $200\sim 600\text{kHz}$ 的任何频率, 频率设置电阻总会决定控制器初始工作频率, 然后锁定在外时钟频率。

(13) POWER GOOD 端。POWER GOOD 端连接在内部一个 MOSFET 的开路漏极端, 当 V_{FB} 在 0.8V 基准电压的 $\pm 10\%$ 以内时, POWER GOOD 端拉到低电平。POWER GOOD 端在 RUN 低于 1.22V 时或 LTC3789 在软启动阶段也拉到低电平, 内部一个 20ns 的 POWER GOOD, 或者当 V_{FB} 进入及走出 $\pm 10\%$ 电压窗口时也给出坏的信号。POWER GOOD 端允许在外部接一只电阻到 INTVCC 端或外部 6V 的电源上。

(14) 短路保护、电流限制和限流折返。控制器的最大电流阈值由 I_{TH} 端上的电压钳制来限制, 在每一个 BOOST 周期中, 检测的最大峰值电压被限制在 140mV, 在每一个 BUCK 周期中, 仅峰值检测电压限制在与 BOOST 相同的阈值处。

当输出短路到 GND 时, LTC3789 采用电流折返去帮助限制负载电流。如果输出降到正常输出电平的 50% 以下时, 最大检测电压降低, 从最大值调到最大值的三分之一。折返电流限制在短路时被禁止。在短路条件下, LTC3789 用 BUCK 模式来限流很小的占空比, 而且进入跳周期状态。在此情况下, 同步开关 B 将消耗大部分功耗。

在典型应用中, 图 1-1 为 LTC3789 的基本应用电路。外部元器件由所需负载选择, 先选择 R_{SENSE} 和电感值, 然后选择功率 MOS, 最后选择 C_{IN} 和 C_{OUT} , 该电路 V_{IN} 最高工作在 38V。

(15) R_{SENSE} 的选择及最大输出电流。 R_{SENSE} 的选择基于所需输出电流, 电流比较器的阈值设置工作在 BOOST 区域的电感的峰值电流, 以及工作在 BUCK 区域的最大电感谷底电流, 在 $V_{IN(MIN)}$ 处最大平均负载电流为

$$I_{OUT(MAX,BOOST)} = \left(\frac{140mV}{R_{SENSE}} - \frac{\Delta I_L}{2} \right) \times \frac{V_{IN(MIN)}}{V_{OUT}}$$

式中 ΔI_L ——峰值电感纹波电流。

在 BUCK 区域最大平均负载电流为

$$I_{OUT(MAX,BUCK)} = \frac{90mV}{R_{SENSE}} + \frac{\Delta I_L}{2}$$

图 1-8 示出负载电流与 R_{SENSE} 乘积随 V_{IN}/V_{OUT} 的变化曲线。

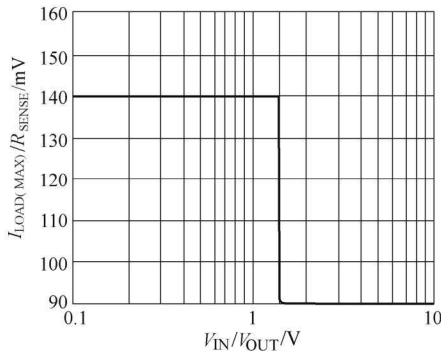


图 1-8 负载电流与 R_{SENSE} 乘积随 V_{IN}/V_{OUT} 的变化曲线

最大电流检测电阻 R_{SENSE} 值对 BOOST 区域为

$$R_{SENSE(MAX)} = \frac{2 \times 140mV \times V_{IN(MIN)}}{2I_{OUT(MAX,BOOST)}V_{OUT} + \Delta I_{L,BOOST}V_{IN(MIN)}}$$

对 BUCK 区域为

$$R_{\text{SENSE(MAX)}} = \frac{2 \times 90\text{mV}}{2I_{\text{OUT(MAX, BUCK)}} - \Delta I_{\text{L, BUCK}}}$$

最终的 R_{SENSE} 值选择两区域的最小值，推荐其范围宽出 20%。

(16) 输入、输出电流的调节。如图 1-9 和图 1-10 所示，电流检测电阻 R_{SENSE} 将放在 $V_{\text{IN}}/V_{\text{OUT}}$ 的 BUCK 电容和去耦电容之间，推荐由 R_{F} 和 C_{F} 组成一个低通滤波器，以减小开关噪声。输入、输出电流限制由 I_{LIM} 端设置为 50、100mV 或 140mV，由 I_{LIM} 拉到 GND、悬浮或拉到 INTV_{CC} 决定。如果不希望有输入、输出电流限制，则 IOSENSE- 和 IOSENSE+ 端可以短路到 V_{OUT} 或 V_{IN} 。

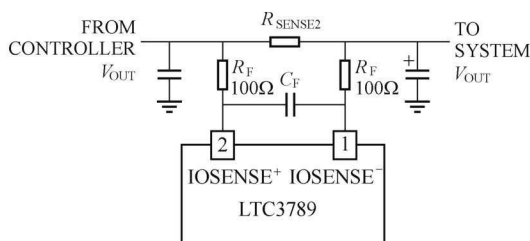


图 1-9 调节输出电流限制

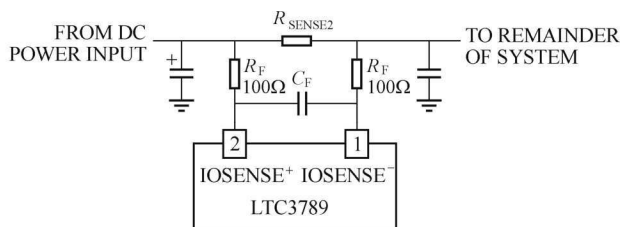


图 1-10 调节输入电流限制

用典型 100Ω 电阻，则 C_{F} 为 $1\sim 2.2\mu\text{F}$ ，电流环的传输功能接近电压环，跨越频率为开关频率的十分之一，增益减小 20dB/10 倍频，相似的电流及电压环传输函数将确保整个系统的稳定性。

当 IOSENSE 端共模电压高于 3.2V 时， IOSENSE- 端源出电流 $10\mu\text{A}$ ， IOSENSE+ 端在 I_{LIM} 端为低电平，浮动和高电平时分别源出电流 $18.3\mu\text{A}$ 、 $26.6\mu\text{A}$ 和 $35\mu\text{A}$ ，特别在恒流稳定时，由此失谐插入的误差可以失调到 IOSENSE+ 和 IOSENSE- 端之间电阻成比例的值。例如，如果 IOSENSE+ 分支有 100Ω 电阻，则跨过它到 IOSENSE- 共模电压有 1.83mV ，要用 182Ω 的电阻。

当 IOSENSE 共模电压用二极管压降降到 3.2V 以下时， IOSENSE 电流线性地减小，达到在 0 伏时为 $-300\mu\text{A}$ ，二极管压降值及最大电流漏入，此变化会变化 20%~30%。

(17) 斜率补偿。斜率补偿提供稳定性给恒频工作的高占空比 BOOST 和低占空

比 BUCK 式工作,防止了次谐波震荡,这是在 IC 内一个补偿用的斜波送到占空比超出 40% (BOOST) 的电感电流信号或占空比低于 40% (BUCK) 的电感电流信号。通常,这个结果用来减小最大电感的峰值电流,应对占空比大于 40% 的 BOOST 区域及占空比小于 40% 的 BUCK 区域。当然, LTC3789 使用一个图表,它去抵消这个补偿斜波,其允许最大电感电流保持在所有占空比的情况下不受影响。

(18) 锁相环和频率同步。LTC3789 有一个锁相环 (PLL),它包括一个内部的压控振荡器 (VCO) 和相位检测器,允许控制器的顶部 MOSFET 开启去锁住加到 MODE/PLLIN 端的外部时钟信号上升沿。相位检测器是一个数字型的检测沿,它能提供 0° 的相移给内部及外部的振荡器,这种类型的相位检测器不会展示出虚假的闭锁给外部时钟的谐波。

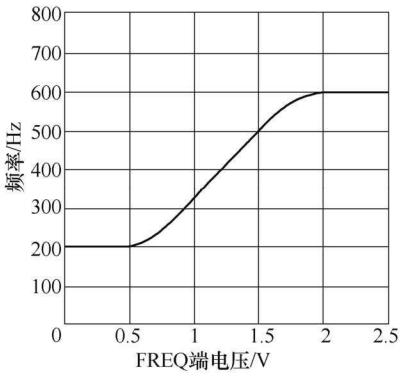


图 1-11 振荡频率与 FREQ 端电压的关系

端的影响。

注意: LTC3789 仅能同步到一个外部时钟,其频率要在 LTC3789 的内部 VCO 范围以内,即保证在 200~600kHz,一个简化的时钟图如图 1-12 所示。

相位检测器的输出是一对互补的电流源,当充电或放电给内部滤波网络时,有一个精密的 $10\mu\text{A}$ 电流从 FREQ 端流出。这允许一个信号电阻接到 SGND,在没有外时钟加到 MODE/PLLIN 端时来设置开关频率。FREQ 和集成的 PLL 滤波器网络之间的内部开关为开启允许滤波器网络在 FREQ 端为同一电压,振荡频率与 FREQ 端电压的关系如图 1-11 所示。规范在电气性能表中给出,如果外部时钟在 MODE/PLLIN 端检测出来,则先前叙述的内部开关将关闭,隔开 FREQ

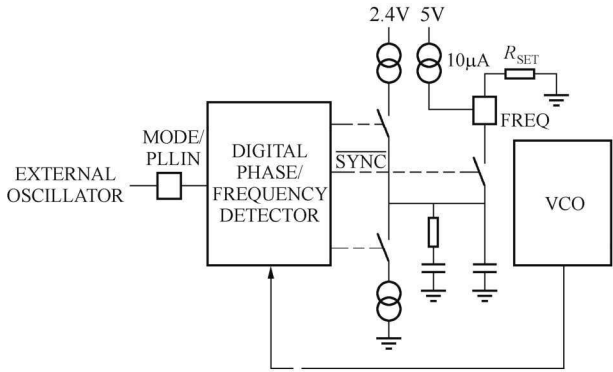


图 1-12 锁相环电路方框图

如果外部时钟频率高于内部振荡器频率 f_{osc} ,则电流连续从相位检测器流出,拉