带 I2C 接口的宽输入同步升降压控制器

1. 特点

- 宽输入电压范围：3.9V to 34V
- 可调节的输出电压范围：0.59V to 34V
- 峰值电流控制模式
- 集成 6V/3A 的 Mosfet 驱动
- 可通过 ILIM 脚设置峰值限流点
- 可设置输入输出平均电流限值
- 频率可调范围：100kHz~1MHz
- 外部可调软启动时间用于减小开机输入电流过冲
- 轻载工作模式选择：FCCM 或 DCM
- 内部集成可选线补
- 输入欠压锁定
- 输入过流保护
- 输出短路保护
- 输出过压保护
- 输出过载保护
- 过温保护
- QFN-28 封装（4mm×4mm×0.75mm）

2. 应用

- 车载充电器
- USB 专用充电端口
- Type-C 扩展坞和适配器
- USB 供电电源
- 电脑外围设备

3. 描述

ZCC5700 是一款高压同步升降压控制器，输入电压在高于、低于或等于输出电压都能稳定工作。具有 3.9V 至 34V 的宽输入电压，输出电压可以通过 FB 引脚设置或通过 I2C 接口配置(3.08V 至 21.5V，每步 10mV)，也可通过 PWM 占空比调节输出电压。其控制方式是基于电流模式控制，可在瞬态条件下实现最优性能。

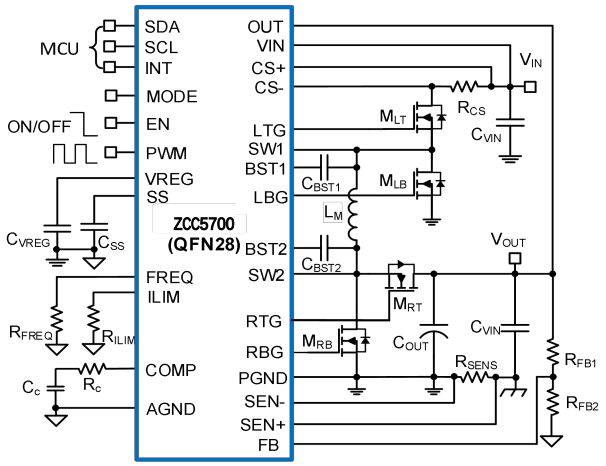
ZCC5700 具有软启动时间可调的功能，并提供多种保护功能，包括输入欠压过压保护、逐周期峰值电流保护、输入平均电流保护、输出平均电流保护、输出过载保护(OLP)、输出过压保护(OVP)和过温保护(OTP)。此外，轻载下，它还有两种工作模式可供选择：电感电流强制连续导通模式(FCCM)或电感电流断续模式(DCM)。

ZCC5700 集成了 I2C 兼容接口，可用于输出电压设置、平均电流设置、线补选择等。

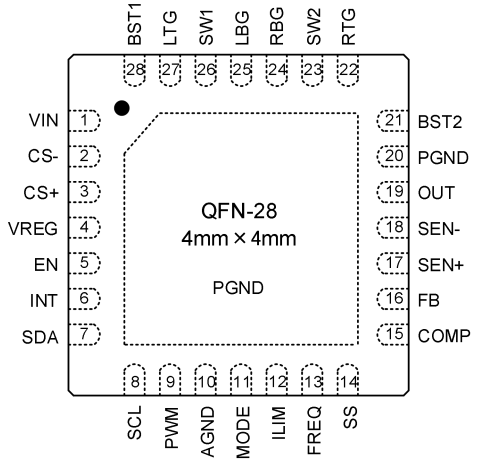
ZCC5700 采用 QFN-28 封装(4mm×4mm×0.75mm)。

无锡市至诚微电子有限公司

4. 典型应用电路



5. 引脚分布



6. 订购信息

芯片型号	封装	丝印 [1]	包装方式/数量
ZCC5700	QFN-28 (4mm x 4mm)	5700 XXXXX	卷盘/3000

注释 1. 5700: 芯片编码，XXXXX: 内部编码

7. 逻辑框图

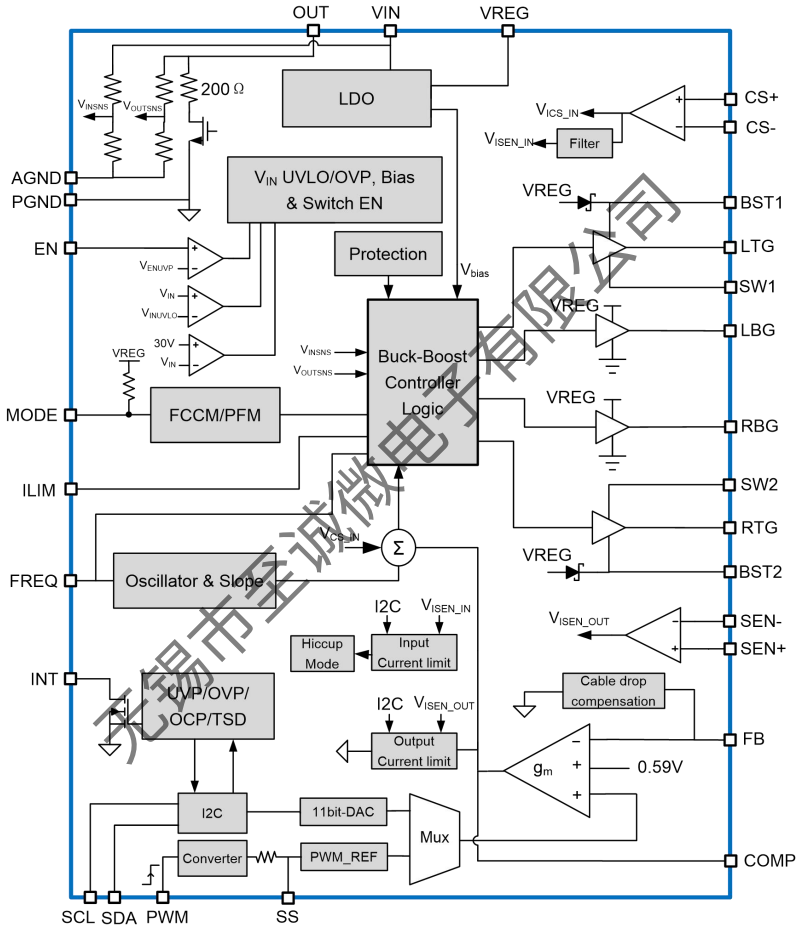


图 1. ZCC5700 逻辑框图

无锡市至诚微电子有限公司

8. 引脚描述

序号	引脚名	类型 [1]	描述
1	VIN	P	电源输入引脚。需用一个低 ESR 的 2.2μF 对地陶瓷电容进行滤波，减小该引脚的电压噪声。此电容需尽可能地靠近 IC。
2	CS-	I	电流检测的负输入脚。在 CS-和 CS+之间连接一个外部电流检测电阻。
3	CS+	I	电流检测的正输入脚。在 CS-和 CS+之间连接一个外部电流检测电阻。
4	VREG	P	内部 6V 稳压器的输出引脚。在此引脚与 PGND 之间放置一个尽可能靠近 IC 的低 ESR/ESL 电容。
5	EN	I	使能控制引脚。高电平使能，该引脚内部有一个 1MΩ电阻接地。该引脚悬空默认是低电平，电路不工作。
6	INT	O	INT 引脚为开漏输出。当中断事件发生时，INT 引脚内部拉低来告知主机。主机清零相应的状态寄存器位后，INT 引脚会被外部上拉电阻拉高。
7	SDA	B	I2C 接口串行数据引脚。逻辑电平输入/输出，通过上拉电阻（典型值为 10kΩ）上拉。
8	SCL	I	I2C 接口串行时钟引脚。逻辑电平输入，通过上拉电阻（典型值为 10kΩ）上拉。
9	PWM	I	PWM 引脚。可用 10KHz 到 100KHz 的 PWM 波来调节输出电压。通过调节 PWM 波的占空比调节输出电压值。当引脚两次检测到上升沿时，芯片进入用 PWM 波调节输出电压的模式。 当占空比等于 0 时，输出电压等于 3.08/5×$V_{OUT_{SET}}$；当占空比等于 100%时，输出电压等于 21.5/5×$V_{OUT_{SET}}$。 $$V_{OUT} = V_{OUT_{SET}} \times \left(\frac{3.08}{5} + \frac{18.42}{5} \times D\right)$$ $$V_{OUT_{SET}} = V_{REF} \times \frac{R_{FB1} + R_{FB2}}{R_{FB2}}$$ 其中，V_{REF} 为内部基准，R_{FB1}/R_{FB2} 为 FB 分压电阻；
10	AGND	G	信号地：它连接到内部敏感的模拟电路的地，需将其单点连接到 PGND。
11	MODE	I	轻载模式选择引脚。当该引脚电压高于 2.5V 时，变换器被设置为电感电流断续模式(DCM)。当 MODE 引脚被拉低时，变换器被设置为电感电流强制连续模式(FCCM)。该引脚通过内部电阻 420kΩ上拉至 VREG，可悬空此引脚，默认设置为 DCM。
12	ILIM	O	峰值电流设置引脚，该引脚对地接一电阻。
13	FREQ	O	开关频率设置脚。通过一个对地电阻设置频率：100kHz~1MHz。
14	SS	O	软启动控制引脚。该引脚通过一个对地电容来设置软启动时间，推荐 100nF。
15	COMP	O	误差放大器的输出脚/PWM 比较器的输入脚。在该引脚对地之间加 RC 补偿网络用于补偿整个电路环路。
16	FB	I	反馈引脚。通过电阻分压将此引脚连接到输出。
17	SEN+	I	电流检测的正输入脚。在 SEN+和 SEN-之间连接一个外部电流检测电阻。
18	SEN-	I	电流检测的负输入脚。在 SEN+和 SEN-之间连接一个外部电流检测电阻。
19	OUT	P	输出电压检测引脚。将其连接至主功率电路的输出。
20	PGND	G	功率地。
21	BST2	O	右侧高边 MOSFET 驱动的电源引脚。在此引脚和 SW2 引脚之间连接 100nF 的电容。
22	RTG	O	右侧高边 MOSFET 的驱动脚。
23	SW2	O	电路开关节点 2。
24	RBG	O	右侧低边 MOSFET 的驱动脚。

无锡市至诚微电子有限公司

序号	引脚名	类型 [1]	描述
25	LBG	O	左侧低边 MOSFET 的驱动脚。
26	SW1	O	电路开关节点 1。
27	LTG	O	左侧高边 MOSFET 的驱动脚。
28	BST1	O	左侧高边 MOSFET 驱动的电源引脚。在此引脚和 SW1 引脚之间连接 100nF 的电容。
	PowerPAD	G	芯片的电源地。裸露的焊盘必须焊接到 PCB 的地焊盘上。将它用作电源地连接，并作为芯片散热的通路。

注释 1. I =输入；O=输出；B=双向；P=电源；G=地

无锡市至诚微电子有限公司

9. 绝对最大额定值 [1]

参数	对应引脚	绝对最大额定值
最大输入电压	VIN, SW1, SW2, OUT, EN	40V
引脚对地电压	VREG	-0.3V ~ 6.5V
	BST1	(V_{SW1}–0.3V) ~ (V_{SW1}+6.5V)
	BST2	(V_{SW2}–0.3V) ~ (V_{SW2}+6.5V)
	LTG	(V_{SW1}–0.3V) ~ (V_{SW1}+6.5V)
	RTG	(V_{SW2}–0.3V) ~ (V_{SW2}+6.5V)
	LBG, RBG	-0.3V ~ 6.5V
	SEN+, SEN-	-0.3V ~ 6.5V
	CS-, CS+	-0.3V ~ 36V
	SS, PWM, COMP, SDA, SCL, ILIM, FREQ, MODE, FB, INT	-0.3V ~ 6.5V
最高工作结温 [2]		+150ºC
贮存温度		-55ºC ~ +150ºC
芯片结到外壳的热阻，θ_{JC} [3]		9 ºC/W
芯片结到环境的热阻，θ_{JA} [3]		42 ºC/W
ESD [4]	HBM [5]	2kV
	CDM [5]	500V

Note: *1. 超出“绝对最大额定值”中列出的应力可能会对设备造成永久性损坏。这仅是电压额定值，不建议器件在这些条件或超出本操作规范的任何其他条件下的功能操作。长时间工作在绝对最大额定条件下可能会影响设备的可靠性。*

2. 建议芯片工作时不要超过芯片的最高结温，这与芯片的功耗和芯片封装的热阻有关。对于典型应用(参见第2页的框图)，芯片的功耗包括芯片的工作功率。芯片的工作功率可由PD=VIN×IIN计算，其中VIN代表VIN引脚的电压，IIN代表芯片内部控制和驱动电路的工作电流。

3. θ_{JC} 和 θ_{JA} 是在 JESD51-7、4 层 PCB 上测量的。

4. 注意：ESD 敏感设备。处理设备时应采取预防措施，以防止永久性损坏。

5. 符合 JEDEC 标准 JS-001-2012 和 JESD 22-C101

无锡市至诚微电子有限公司

10. 推荐工作条件

参数	推荐值
输入电压	3.9V ~ 34V
输出电压	0.59V ~ 34V
工作环境温度范围，T_A	-40ºC ~ +85ºC
工作结温范围，T_J	-40ºC ~ +125ºC

11. 电气特性

除非另有说明，否则以下所有规格均在 25° C 环境温度下，输入电压范围为 5V 至 26V。

参数	描述	测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
供电电压 (VIN 脚)						
V_{INON}	开启阈值电压	V_{IN} 上升	–	3.9	–	V
V_{INOFF}	关断阈值电压	V_{IN} 下降	–	3	–	
V_{IN_OVP}	输入过压保护值	V_{IN} 上升	–	30	–	V
V_{IN_ROVP}	输入过压恢复值	V_{IN} 下降	–	28.5	–	V
I_{SHDN}	输入关断电流	V_{IN} 上升，V_{IN}=25V，V_{EN}=0V	–	–	1	μA
I_{Q1}	输入待机电流	V_{IN}=25V，V_{FB}=2.0V，无开关动作，I2C 寄存器 0x00[5] EN_OPR=1，EN 高电平，PFM 模式	–	–	2.5	mA
I_{Q2}	输入待机电流	I2C 寄存器 0x00[5] EN_OPR=0，EN 高电平	–	500	–	μA
6V 内部稳压器 (VREG 引脚)						
V_{REG}	内部 6V 稳压器输出电压	I_{VREG}=1mA，V_{IN}≥7V,	–	6	–	V
		I_{VREG}=5mA，V_{IN}=4.0V	–	3.95	–	V
C_{VREG}	VREG 电容取值范围		1	–	10	μF
使能控制引脚 (EN, PWM 引脚)						
V_{ENH}	EN 引脚逻辑高电平（使能）		1.5	–	–	V
V_{ENL}	EN 引脚逻辑低电平（失能）		–	–	0.4	
V_{PWMH}	PWM 引脚逻辑高电平（使能）		2.1	–	–	V
V_{PWML}	PWM 引脚逻辑低电平（失能）		–	–	0.4	
内部时钟(FREQ 引脚)						
f_{SW_LOW}	最低频率		–	–	100	kHz
f_{SW_HIGH}	最高频率		1000	–	–	kHz
f_{SW}	设定频率	R_{FREQ}=107kΩ	180	200	220	kHz
t_{ONMIN_LT}	M_{LT} 的最小导通时间		–	100	–	ns
t_{ONMIN_RB}	M_{RB} 的最小导通时间		–	100	–	ns
t_{ONMIN_LB}	M_{LB} 的最小导通时间		–	150	–	ns
t_{ONMIN_RT}	M_{RT} 的最小导通时间		–	150	–	ns
误差放大器						
V_{REF}	反馈的基准电压	T_J=25ºC	0.578	0.590	0.602	V
		-40ºC<T_J<150ºC	0.572	0.590	0.608	
G_M	误差放大器跨导	ΔV = 5mV	–	257	–	μA/V
软启动						
I_{SS}	软启动电流	SS = 0.6V	2	4	6	μA

无锡市至诚微电子有限公司

11. 电气特性 (续)

除非另有说明，否则以下所有规格均在 25° C 环境温度下，输入电压范围为 5V 至 26V。

参数	描述	测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
输出电压检测						
V_{FB_OVP}	FB 脚 OVP 保护值	FB 脚电压相对于基准电压	–	118%	–	V_{REF}
V_{FB_ROVP}	FB 脚 OVP 恢复值	FB 脚电压相对于基准电压	–	102%	–	V_{REF}
V_{O_MAX}	输出过压保护值	输出脚	–	35	–	V
V_{O_RMAX}	输出过压恢复值	输出脚	–	30	–	V
I_{OUT_DIS}	输出放电电流	V_{OUT}=20V，V_{REG}=6V	–	100	–	mA
过流限值(OCL)						
I_{OCL}	逐周期峰值电流保护设定值	R_{ILIM} =40KΩ, R_{FREQ}=87.6KΩ R_{SENSE}=7mΩ	–	10	–	A
I_{OCL2}	电感电流二次保护设定值		–	1.17	–	×I_{OCL}
输出短路保护(SCP)						
V_{SCP}	短路保护阈值	FB 脚电压相对于基准电压	–	54%	–	V_{REF}
MOSFET 驱动						
R_{MTUP}	M_{LT} / M_{RT} 的开通驱动电阻	灌电流 20mA	–	2	–	Ω
R_{MBUP}	M_{LB} / M_{RB} 的开通驱动电阻	灌电流 20mA	–	3	–	Ω
R_{MTDN}	M_{LT} / M_{RT} 的关断驱动电阻	拉电流 20mA	–	1	–	Ω
R_{MBDN}	M_{LB} / M_{RB} 的关断驱动电阻	拉电流 20mA	–	1	–	Ω
I2C 兼容接口(SDA, SCL 脚)						
f_{scl}	最高工作频率		–	400	–	kHz
V_{IL}	SDA/SCL 逻辑低电平	V_{pull_up} = 3V	–	–	0.4	V
V_{IH}	SDA/SCL 逻辑高电平	V_{pull_up} = 3V	2	–	–	V
I_{SINK_SDA}	SDA 拉电流	V_{SDA} = 0.4V	20	–	–	mA
V_{DAC_REF}	I2C DAC 基准电压	寄存器 0x03&0x02(VOUT_SET)设置为 0x00C0	–	0.59	–	V
过温保护						
T_{SHDN}	过温保护阈值		–	160	–	℃
ΔT_{SHDN}	过温恢复迟滞		–	20	–	

无锡市至诚微电子有限公司

12. 使用说明

ZCC5700 是一款内置同步升降压控制器的电源管理芯片。该升降压控制器采用峰值电流控制模式，在 3.9V 至 34V 输入范围具有更好的瞬态响应和更简单的环路补偿。它集成了四个具有 6V/3A 峰值电流的 N-MOSFET 驱动器。它有外部软启动引脚和模式选择引脚，模式选择引脚可选择轻载条件下是工作于电感电流断续模式(DCM)还是强制连续模式(FCCM)。ZCC5700 还具有 UVLO、OCP、OVP、OLP、TSDN 等保护功能。
有关以下讨论，请参考逻辑框图。下面提到的所有参数都为典型值。

12.1 输入欠压锁定

当 VIN 引脚电压低于 3.9V 开启电压时，芯片工作在低功耗关断模式，此时 VIN 引脚的电流小于 5μA。一旦 VIN 高于 3.9V，就会启用内部偏置电路和 VREG 稳压器。当内部 M_{LT} 和 M_{RT} 电荷泵的输出建立时，PWM 控制器开始运行。VIN 引脚上关断的最小迟滞为 900mV，可防止在通电期间由于线路电压瞬变而导致异常关机。

12.2 VREG 内部稳压器

ZCC5700 通过输入电压给内部 6V 稳压器供电，用于建立内部基准。当 VIN 超过 3.9V 时，启用内部 LDO 稳压器。V_{REG} 电压为内部模拟电路提供偏置电压，也为栅极驱动提供电源电压。
当 V_{IN} 和 V_{OUT} 都高于 6.825V 时，V_{REG} 电压由 V_{IN} 和 V_{OUT} 之间较小的那个供电。当 V_{IN} 和 V_{OUT} 之一低于 6.825V 时，V_{REG} 电压由 V_{IN} 和 V_{OUT} 之间较大的那个供电。当 V_{IN}=4V 时，V_{REG} 在 20mA 负载电流下与输入电压的压差最大为 300mV。

12.3 使能功能

ZCC5700 可以通过将 EN 引脚悬空或下拉到地来关断电路。EN 引脚与地之间有一个内部 1MΩ电阻。使能时 EN 可以直接或通过电阻连接到 VIN。ZCC5700 还可以通过 EN 脚连接分压电阻到 VIN 来设置 VIN 开/关阈值。I2C 寄存器中有一位 0x00[5] EN_OPR 用于设置电路的工作状态。注意 EN 引脚的控制优先级高于该寄存器位。当 EN_OPR 为 1 时，输出开启。当 EN_OPR 为 0 时，输出关闭，但 VREG 仍处于供电状态。

12.4 开关频率设置

开关频率的选择需在效率和元件尺寸之间进行权衡。低频工作可降低 MOSFET 的开关损耗来提高效率，但需要更大的电感和/或电容来保持低输出纹波电压。FREQ 引脚可在 100kHz 至 1MHz 范围内调整控制器的工作频率。对于需要设定的工作频率，FREQ 电阻 R_{FREQ} 的值可以通过下式计算：

$$R_{FREQ}(k\Omega) = \frac{21800}{f_s(kHz)} - 4$$

如果设置工作频率 f_s = 280kHz，FREQ 脚的电阻可以取 R_{FREQ} =75kΩ.

表 1. 频率 vs. 电阻

R_{FREQ} (KΩ)	频率(kHz)
68	300
39	500
18	1000

ZCC5700 的 M_{LT} 和 M_{RB} 最小导通时间为 100ns，使得电路可实现高比例的输入输出电压转换。

12.5 带斜波补偿的峰值电流控制模式

ZCC5700 采用峰值电流控制模式。这种控制模式具有快速的瞬态响应，可实现逐周期电流保护，且易于环路补偿。控制器提供内部斜坡补偿，以确保在占空比大于 50%时电路稳定运行。若要正确使用内部斜率补偿，必须根据以下准则选择电感值：

- 较小的电感值会增加电感电流峰峰值，从而增大电感电流的有效值，降低效率，但是较小的电感值也会减小电

无锡市至诚微电子有限公司

感的尺寸和成本，并改善瞬态响应。

• 较大的电感值会降低电感电流峰峰值，从而会减小电感电流有效值，可提高效率，但也需要更大的输出电容以满足负载瞬态特性。

12.5.1 四开关 Buck-Boost 工作模式

ZCC5700 是一款同步 4 开关升降压控制器，能够将输出电压调节至等于、高于或低于输入电压。它工作在降压模式、升压模式或升降压模式取决于 V_{IN} 和 V_{OUT} 比例。

有一个寄存器位(RATIO_SEL 0x00[3]) 用于选择模式转换时 V_{IN} 和 V_{OUT} 比例（如图 2 所示）。

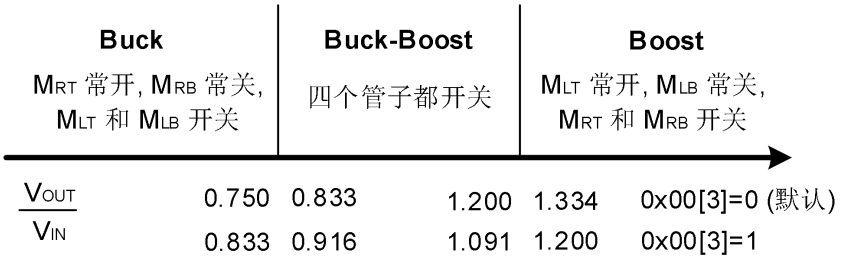


图 2: Buck-Boost 模式选择

12.5.2 Buck 模式(VIN > VOUT)

当输入电压（VIN 引脚）高于输出电压（OUT 引脚）时，ZCC5700 工作在降压模式。在降压模式下，M_{RB} 保持关断，M_{RT} 保持开通，M_{LT} 和 M_{LB} 交替开关来调节输出电压。

当时钟到来时，M_{LT} 开通，电感电流上升。直到电感电流达到 COMP 电压时，M_{TL} 关断，M_{BL} 开通。等到下一个时钟到来时，M_{BL} 关断，M_{TL} 开通。

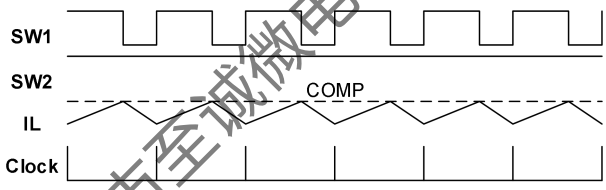


图 3: Buck 模式波形

12.5.3 Boost 模式 (VIN < VOUT)

当输入电压（VIN 引脚）低于输出电压（OUT 引脚）时，ZCC5700 工作在升压模式。在升压模式下，M_{LB} 保持关断，M_{LT} 保持开通，M_{RT} 和 M_{RB} 交替开关来调节输出电压。

当时钟到来时，M_{RB} 开通，电感电流上升。直到电感电流达到 COMP 电压时，M_{RB} 关断，M_{RT} 开通。等到下一个时钟到来时，M_{RT} 关断，M_{RB} 开通。

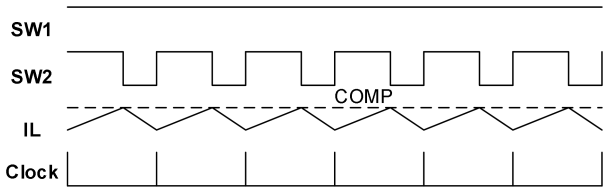


图 4: Boost 模式波形

12.5.4 Buck-Boost 模式 (VIN≈VOUT)

当输入电压（VIN 引脚）接近输出电压（OUT 引脚）时，ZCC5700 工作在升降压模式。在升降压模式下，开关管的开通顺序为 M_{LT}&M_{RB} -> M_{LT}&M_{RT} -> M_{LB}&M_{RT}。

无锡市至诚微电子有限公司

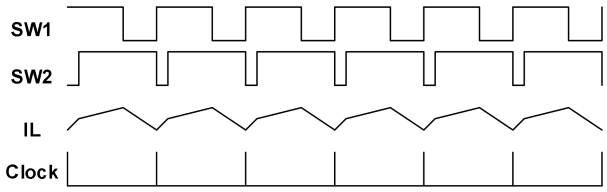


图 5: Buck-Boost 模式波形

12.6 轻载工作模式

当 MODE 引脚连接到 GND 时，ZCC5700 工作在电感电流强制连续模式(FCCM)。FCCM 模式在轻载时仍可工作在恒定频率的连续模式下，具有较低的输出电压纹波，但由于开关损耗高，在轻载条件下效率较低。当 MODE 引脚电压高于 2.5V 时，ZCC5700 工作在电感电流断续模式(DCM)。在 DCM 模式下，轻载条件下拥有较高的效率，但输出电压纹波会比 FCCM 模式下大。在重载条件下 DCM 模式也以恒定开关频率工作，当负载比较小或空载时，控制器将进入脉冲跳跃模式。

12.7 栅极驱动器和自举充电

ZCC5700 包含高低边 NMOS 驱动器。其中，高边栅极驱动器包括电平转换电路，内部二极管和外部自举电容。建议在 BST1 引脚和 SW1 引脚之间以及 BST2 引脚和 SW2 引脚之间接一个 100nF 或更大的陶瓷电容，且走线尽量短。在左侧低边 MOSFET 导通期间，SW1 引脚电压约为 0V，VREG 可通过内部自举二极管 1 给自举电容1 充电。在右侧低边 MOSFET 导通期间，SW2 引脚电压约为 0V，VREG 可通过内部自举二极管 2 给自举电容2 充电。

12.8 软启动

ZCC5700 具有调节软启动时间的功能，可减少输入浪涌电流和输出电压过冲。上电时，内部电路会产生一个从 0V 上升到 0.59V(寄存器 VOUT_SEL=0)或 VREG(寄存器 VOUT_SEL=1)的软启动电压。SS 电压低于基准电压 0.59V 时，误差放大器使用 SS 电压作为基准。当 SS 电压高于 0.59V 时，芯片内部基准切换为 0.59V。软起时间计算公式如下：

$$t_{ss}(ms) = \frac{C_{SS}(nF) \times V_{REF}(V)}{I_{SS}(\mu A)}$$

其中，C_{SS} 为外部 SS 电容；V_{REF} 为内部基准电压(0.59V)；I_{SS} 为 SS 充电电流，典型值为 4uA。

12.9 输出电压实时控制 (PWM)

ZCC5700 支持三种输出电压变化方式：1.调节 FB 引脚分压比来设置输出电压；2.使用 I2C 接口设置输出电压；3.通过 PWM 引脚输入的 PWM 信号来控制输出电压。

当软起结束且 PWM 引脚检测到两个上升沿时，输出电压便进入由 PWM 信号的占空比(D)控制的模式。PWM 信号的频率必须在 10kHz 到 100kHz 的范围内。输出电压计算公式如下：

$$V_{OUT} = V_{OUT_SET} \times \left(\frac{3.08}{5} + \frac{18.42}{5} \times D\right)$$

其中，V_{OUT_SET} 为 FB 分压电阻设置的默认输出电压；D 为 PWM 信号的占空比。

无锡市至诚微电子有限公司

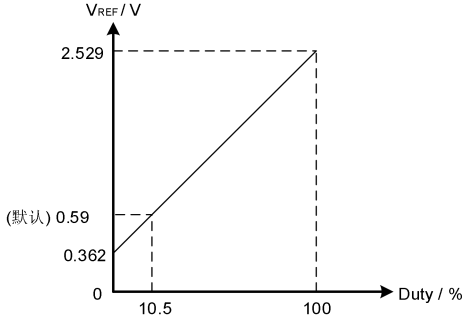


图 6: PWM 的占空比与基准电压的关系图

在 PWM 调节输出电压的模式下，如果 PWM 输入信号保持高电平，表示占空比为 100%，则 V_{REF} 电压变为 2.529V。在 PWM 调节输出电压的模式下，如果 PWM 输入信号保持低电平，表示占空比为 0%，则 V_{REF} 电压变为 0.362V。

12.10 输入平均电流保护

ZCC5700 通过 CS+和 CS-引脚检测输入电流。如果 IN_AVG_EN 位(0x01[5])使能且输入平均电流超过寄存器 0x01[4:3] IN_AVG_CUR 设置的电流限制阈值，则 IN_OCP 位(0x04[2])将置 1。只有当主机向 IN_OCP 位写 0，IN_OCP 位才会被清零。在此模式下，ZCC5700 进入打嗝模式以定期重启电路。

12.11 输出平均电流保护

ZCC5700 通过 SEN+和 SEN-引脚检测输出电流。如果 OUT_AVG_EN 位(0x01[2])使能且输出平均电流超过 0x01[1:0] OUT_AVG_CUR 设置的电流限制阈值，则 OUT_OCP 位(0x04[1])将置 1。只有当主机向 OUT_OCP 位写 0，OUT_OCP 位才会被清零。在此模式下，ZCC5700 进入恒流模式（CC 模式），输出电流会保持恒定。随着负载电阻的进一步降低，输出电压会下降，直到反馈电压低于欠压(UV)阈值。一旦触发 UV 且 SS 软起结束，ZCC5700 就会进入打嗝模式以定期重启电路。

12.12 峰值电流保护

为了防止过流情况发生，ZCC5700 具有逐周期峰值电流保护。过流保护(OCL)是通过检测流过 R_{CS} 的电流来进行保护的。如果检测到的电流大于 I_{OCL}，则会触发过流保护，当前开关周期终止（逐周期限流）：降压模式下，M_{TL} 立即关断；升压模式下，MOSFET M_{RB} 立即关断。

峰值电流限流值可以通过外部电阻设置：

$$I_{PEAK} = \frac{R_{ILIM}}{6.5 * R_{FREQ} * R_{CS}}$$

其中，R_{CS} 为检测输入电流的电阻；R_{ILIM} 为 ILIM 脚的电阻；R_{FREQ} 为 FREQ 脚的电阻。

如果软起结束且 FB 电压低于 V_{REF} 的 54%，则芯片会触发输出短路保护，UVP 位(0x04[0])将被置为 1。只有当主机向 UVP 位写 0，UVP 位才会被清零。MOSFET 关断，然后 IC 进入打嗝模式以定期重启电路。

如果峰值电流高于 I_{OCL2}，则芯片会触发二次限流保护，MOSFET M_{LT} 和 M_{RB} 会关断 16 个开关周期。

同时，当 FB<350mV 时工作频率会降低，最低下降为设定值的 1/2。当输出对地短路时，这种保护模式可以降低平均短路电流，可以缓解 MOS 管的发热问题。一旦过流条件消除，ZCC5700 就会退出打嗝模式。

12.13 输出电压线补功能

ZCC5700 具有输出电压线补功能。补偿斜率可以通过 I2C 寄存器 0x00[1:0] CABLE_COMP 进行设置，出厂可设置默认值。若要得到寄存器表里标示的斜率，反馈分压电阻上阻 R_{FB1} 需取 100KΩ，R_{SENSE} 取 7mΩ；

$$V_{CAB_COMP} = \frac{R_{FB1} \times R_{SENSE} \times I_{OUT}}{35 \times 10^3} \times CABLE_COMP$$

其中，R_{FB1} 为反馈分压电阻上阻；R_{SENSE} 为电流采样电阻；I_{OUT} 为输出电流；CABLE_COMP 为 0x00[1:0] 寄存

无锡市至诚微电子有限公司

器位对应的十进制值。

例如：当 R_{FB1}=100KΩ，R_{SENSE}=7 mΩ, I_{OUT}=1A，设置 CABLE_COMP=0b01 时，输出电压增加的线补值为：

$$V_{CAB_COMP} = \frac{100 \times 10^3 \times 7 \times 10^{-3} \times 1}{35 \times 10^3} \times 1 = 20mV$$

12.14 输出过压保护

当 FB 引脚上的电压(V_{FB})比基准电压 V_{REF} 高 18%时，芯片便触发输出过压保护，此时状态寄存器的 VOUT_OVP 位(0x04[3])会被设置为 1。只有当主机向 VOUT_OVP 位写入 0，VOUT_OVP 位才会被清零。触发 VOUT_OVP 后，所有开关管会被关闭，放电电路开始通过 OUT 引脚对输出进行放电。当输出下降到 V_{REF} 的 102%时，电路的开关管就开始恢复正常工作。

ZCC5700 还具有最大输出电压保护功能。当 OUT 引脚上的电压(V_{OUT})高于 35V 时，芯片也会触发输出过压保护，并且 VOUT_OVP 位 (0x04[3])将被设置为 1。只有当主机向 VOUT_OVP 位写入 0，VOUT_OVP 位才会被清零。触发 VOUT_OVP 后，所有开关管会被关闭，放电电路开始通过 OUT 引脚对输出进行放电。一旦输出电压下降至 30V 时，电路的开关管就开始恢复正常工作。

12.15 输入过压保护

当输入电压高于 30V 时，芯片便触发输入过压保护，此时状态寄存器的 VIN_OVP 位(0x04[4])会被设置为 1。只有当主机向 VIN_OVP 位写入 0，VIN_OVP 位才会被清零。ZCC5700 停止工作（状态与 0x00[5] EN_OPR=0 相同），当输入电压下降至 28.5V，芯片便开始恢复正常工作。

12.16 输出放电功能

出现以下情况，芯片将通过 OUT 引脚的内部放电电阻（典型值为 200Ω）对输出电容进行放电：

- 触发 FB OVP (V_{FB} > 118% * V_{REF})或 OUT OVP (OUT > 35V)开始放电，故障恢复后停止放电（软启动过程禁用此功能）。
- EN 关闭或 I2C 寄存器 0x00[5] EN_OPR= 0 时，将持续最大放电时间 200ms。
- 触发 VIN UVLO 且 VREG 有剩余电压。VREG 电压掉电或达到最大 200ms 放电时间后，芯片将停止放电。

12.17 过温保护(TSDN)

ZCC5700 还具有过温保护电路，可防止芯片因高温而损坏。正常工作时芯片的功率耗散在额定值范围内，但如果功率耗散持续超过额定值，结温 T_J 将升至 160º C 以上并触发过温保护电路，状态寄存器的 OTP 位(0x04[5])将被置 1，直到主机在 OTP 位写 0，OTP 位才会被清零。触发过温保护后，芯片将关闭所有开关，软启动电容也将会放电。一旦结温下降到低于过温保护阈值 20º C 后，芯片将会重新启动，并进入正常工作。

12.18 I2C 和寄存器

12.18.1 I2C 接口

ZCC5700 具有 I2C 接口，可由 MCU 或控制器控制芯片。芯片的 7 位 I2C 地址为 0x1E（8 位地址的写命令地址为 0x3C，读命令地址为 0x3D）。SDA 和 SCL 引脚是开漏引脚，必须通过电流源或上拉电阻上拉。当总线悬空时，两条线路都是高电平。I2C 接口支持标准模式（高达 100kbits）和快速模式（高达 400kbits，SCL 引脚和
SDA 引脚需要 5kΩ上拉电阻上拉）。

12.18.1.1 数据有效性

在 SCL 的高电平期间，SDA 线上的数据必须是稳定的。数据线的高或低电平只有在 SCL 线上的时钟信号为低时才能改变。电路会产生一个时钟脉冲用于一个数据位的传输。

无锡市至诚微电子有限公司

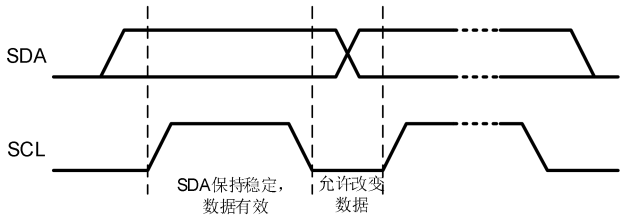


图 7. I2C 总线上的传输位

5.18.1.2 起始和终止条件

所有数据都以 START(S)开始，以 STOP(P)结束。SCL 为高电平时，SDA 高电平到低电平转换为起始条件。SCL 为高电平时，SDA 低电平到高电平转换为终止条件。起始和终止条件始终由主机生成。在起始条件之后，总线被视为忙碌。在起始条件之后的某个时间，总线被认为再次空闲。

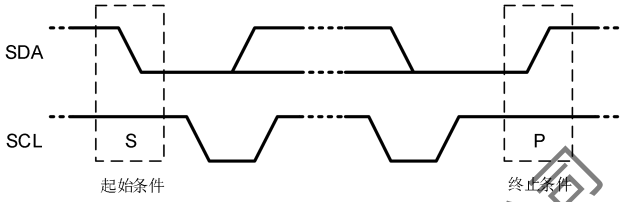


图 8. 起始和终止条件

5.18.1.3 字节格式

SDA 的每个字节长度都必须是 8 位。每次传输的字节数不受限制。每个字节后必须跟一个确认位。数据首先以最高有效位(MSB)传输。如果从机在执行其他一些功能(例如内部中断)之前无法接收或发送另一个完整字节的数据，则它可以将时钟线 SCL 保持为低电平以强制主机进入等待状态。当从设备准备好接收另一个字节的数据并释放时钟线 SCL 时，数据将继续传输。

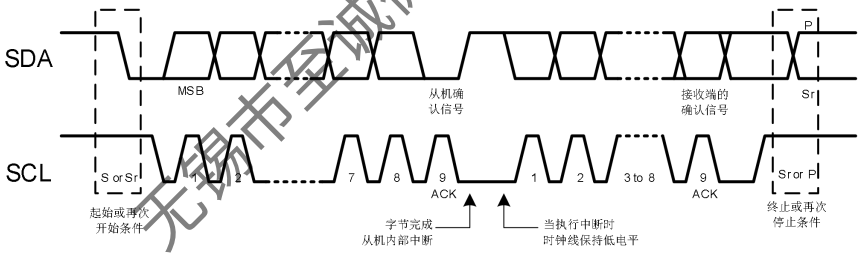


图 9. I2C 总线上的数据传输

5.18.1.4 ACK 信号和 NACK 信号

ACK 信号发生在每个字节之后。确认位允许接收端通知发送端该字节已成功接收并且可以发送另一个字节。在数据传输过程中，主机可以是发送端也可以是接收端。不管是什么，主机都会产生所有时钟脉冲，包括确认位的第九个时钟脉冲。

发送端在确认时钟脉冲期间释放 SDA，因此接收端可以将 SDA 拉低，并在此时钟脉冲的高电平期间保持稳定的低电平。

当 SDA 在第 9 个时钟脉冲期间保持高电平时，这被定义为未确认信号。然后，主机可以生成一个停止条件来中止传输，或者生成一个重复的 START 条件来开始新的传输。

5.18.1.5 从机设备地址和读/写位

数据传输遵循如下所示的格式。在起始条件(S)之后，发送从机设备地址。该地址长度为 7 位，后接第 8 位，即数据方向位(读/写)——“0”表示写入数据，“1”表示读出数据。数据传输总是由主机产生的终止条件(P)终止。

无锡市至诚微电子有限公司

但是，如果主机仍然希望在总线上进行通信，它可以生成重复的开始条件(Sr)并寻址另一个从机，而无需首先生成终止条件。

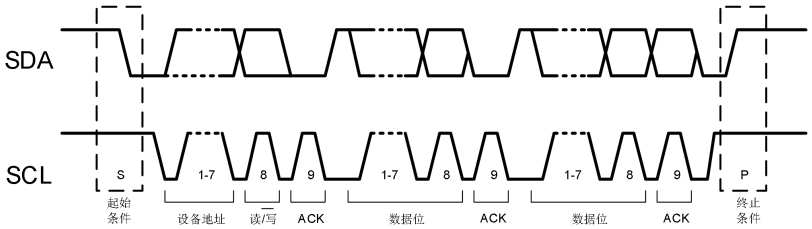


图 10. 完整的数据传输

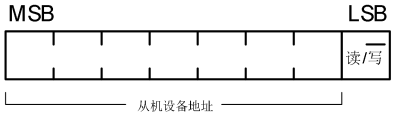


图 11. 起始程序后的第一个字节

5.18.1.6 单寄存器写与读

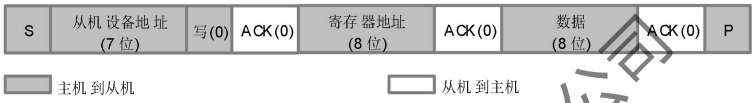


图 12. 单寄存器写入

图 13. 单寄存器读出

5.18.1.7 多寄存器写与读

芯片支持连续寄存器的多寄存器写与读。

图 14. 多寄存器写入

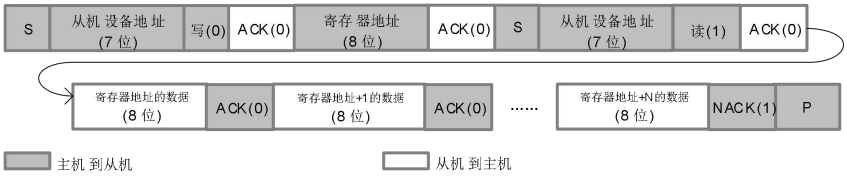


图 15. 多寄存器读出

无锡市至诚微电子有限公司

13. 寄存器表

地址	寄存器	类型	默认值 @POR	位 7	位 6	位 5	位 4	位 3	位 2	位 1	位 0
00H	SYS_SET_1	读/写	00110000	RESET	VOUT_SEL	EN_OPR	DISC_EN	RATIO_SEL	CABLE_SEL	CABLE_COMP	
01H	SYS_SET_2	读/写	00101101	预留	ZCD_SEL	IN_AVG_EN	IN_AVG_CUR		OUT_AVG_EN	OUT_AVG_CUR	
02H	VOUT_SET_1	读/写	11000000	VOUT_CODE_LSB							
03H	VOUT_SET_2	读/写	00000000	预留					VOUT_CODE_MSB		
04H	STATE	读/写	00000000	预留		OTP	VIN_OVP	VOUT_OVP	IN_OCP	OUT_OCP	UVP

无锡市至诚微电子有限公司

表 **2.** 0x00H SYS_SET_1 寄存器

位	类型	位名称	默认值 @POR	描述	注释
7	读/写	RESET	0	RESET 用于将所有寄存器复位至默认值： 0：不复位 1：复位至默认值	
6	读/写	VOUT_SEL	0	VOUT_SEL 用于选择输出电压设置的方式： 0：输出电压由外部分压电阻设置 1：输出电压由 0x02&0x03 VOUT_SET 设置	
5	读/写	EN_OPR	1	EN_OPR 用于设置变换器的运行状态： 0：变换器停止输出（VREG 仍然工作） 1：变换器正常输出	
4	读/写	DISC_EN	1	DISC_EN 用于使能输出放电功能： 1：在 EN 关闭、Vin UVLO 或 EN_OPR=0 时使能放电功能，直到 OUT 完全放电 0：在 EN 关闭、Vin UVLO 或 EN_OPR=0 期间禁用输出放电功能 Note:输出放电最多持续 200ms。	
3	读/写	RATIO_SEL	0	RATIO_SEL 用于选择 Buck、Buck-Boost 和 Boost 模式切换的比例： 0：V_{OUT} / V_{IN} < 0.833 进入 Buck 模式； V_{OUT} /V_{IN} > 0.916 退出 Buck 模式进入 Buck-Boost 模式； V_{OUT} / V_{IN} > 1.2 进入 Boost 模式； V_{OUT} /V_{IN} < 1.091 退出 Boost 模进入 Buck-Boost 模式； 1：V_{OUT} / V_{IN} < 0.75 进入 Buck 模式； V_{OUT} /V_{IN} > 0.833 退出 Buck 模式进入 Buck-Boost 模式； V_{OUT} / V_{IN} > 1.334 进入 Boost 模式； V_{OUT} /V_{IN} < 1.2 退出 Boost 模进入 Buck-Boost 模式；	
2	读/写	CABLE_SEL	0	用于选择输出线补值： 0：线补值为出厂默认值，不可更改 1：线补值由 0x00[1:0] CABLE_COMP 设置	
1-0	读/写	CABLE_COMP	00	用于设置输出线补值: 00: RCMP=0mΩ 01: RCMP=20mΩ 10: RCMP=40mΩ 11: RCMP=60mΩ	CABLE_SEL 必须设置为 1 有效。 测试条件： R_{FB1}=100kΩ， R_{SENSE}=7mΩ

表 **3.** 0x01H SYS_SET_2 寄存器

位	类型	位名称	默认值@POR	描述	注释
7	读/写	预留	0	预留位	

无锡市至诚微电子有限公司

6	读/写	ZCD_SEL	0	ZCD_SEL 用于选择触发 ZCD 后的动作： 0：Buck 和 Boost 独立运行 1：关闭 RTG，开启 LBG	
5	读/写	IN_AVG_EN	1	输入平均电流保护功能使能位： 0：禁用输入平均电流保护功能 1：启用输入平均电流保护功能	
4-3	读/写	IN_AVG_CUR	01	设置输入平均电流保护值： [illegible]	
2	读/写	OUT_AVG_EN	1	输出平均电流保护功能使能位： 0：禁用输出平均电流保护功能 1：启用输出平均电流保护功能	
1-0	读/写	OUT_AVG_CUR	01	OUT_AVG_CUR 用于设置输出平均电流保护值： 00: VOUTCS=32.8mV 01: VOUTCS=41mV (默认) 10: VOUTCS=49mV 11: VOUTCS=61.5mV	

	Buck / Buck-Boost	Boost
00	40mV	80mV
01(默认)	70mV	140mV
10	60mV	120mV
11	50mV	100mV

表 4. 0x02H & 0x03H VOUT_SET 寄存器

位	类型	位名称	默认值@POR	描述	注释
15-11	读/写	预留	00000	预留位	
10-0	读/写	VOUT_CODE	00011001000	使用 I2C 调节输出电压： 00000000000: 3.08V 00000000001: 3.09V 00000000010: 3.10V …… 00011000000: 5V …… 11100000000: 21V …… 11100110010: 21.5V VOUT_CODE 写入值不能大于 0x0732。 输出电压的计算公式为： VOUT = VOUT_CODE x 10mV + 3.08V	当输出电压在较大范围内切换时，需要通过软件控制输出电压变化斜率，以满足切压要求；VOUT_CODE 必须写入 11 位，即 VOUT_CODE_MSB 和 VOUT_CODE_LSB 要一起写且要先写 VOUT_CODE_LSB，不能只写 VOUT_CODE_MSB 或 VOUT_CODE_LSB。

表 5. 0x04H STATE 寄存器

位	类型	位名称	默认值@POR	描述	注释
7	读/写	预留	0	预留位	
6	读/写	预留	0	预留位	

无锡市至诚微电子有限公司

5	读/写	OTP	0	读：1：发生过温保护 0：正常 写：1：操作无效 0：清除异常	
4	读/写	VIN_OVP	0	读：1：发生输入过压保护(VIN＞30V) 0：正常 写：1：操作无效 0：清除异常	
3	读/写	VOUT_OVP	0	读：1：发生输出过压保护(FB＞118%V_{REF} 或 VOUT＞35V) 0：正常 写：1：操作无效 0：清除异常	
2	读/写	IN_OCP	0	读：1：发生输入过流保护(输入平均电流超过限值) 0：正常 写：1：操作无效 0：清除异常	IN_AVG_EN 必须设置为 1 才有效。
1	读/写	OUT_OCP	0	读：1：发生输出过流保护(输出平均电流超过限值) 0：正常 写：1：操作无效 0：清除异常	OUT_AVG_EN 必须设置为 1 才有效。
0	读/写	UVP	0	读：1：发生输出低压保护(FB＜54%V_{REF}) 0：正常 写：1：操作无效 0：清除异常	

无锡市至诚微电子有限公司

14. 典型应用电路：5~20Vout/5A

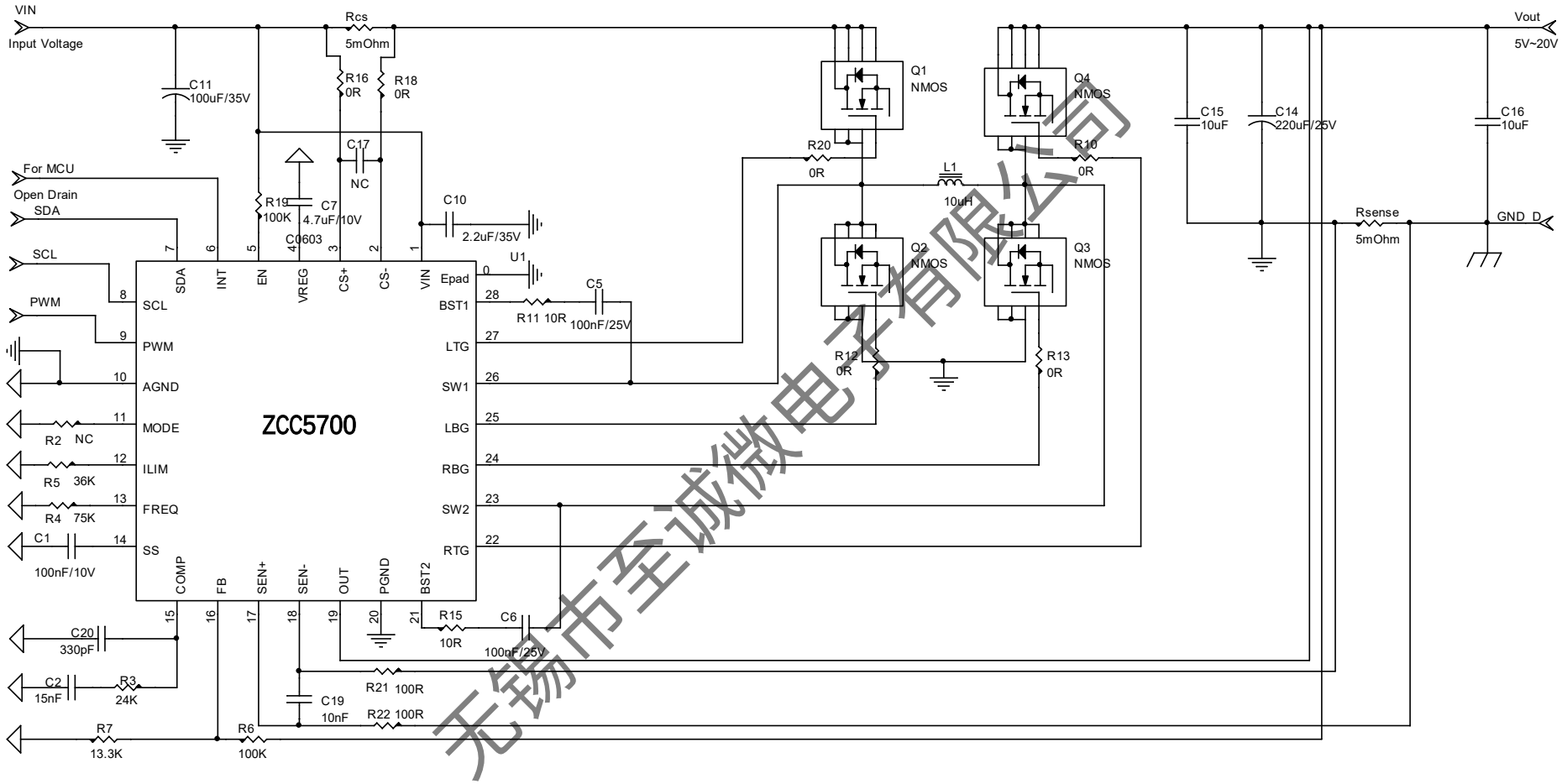
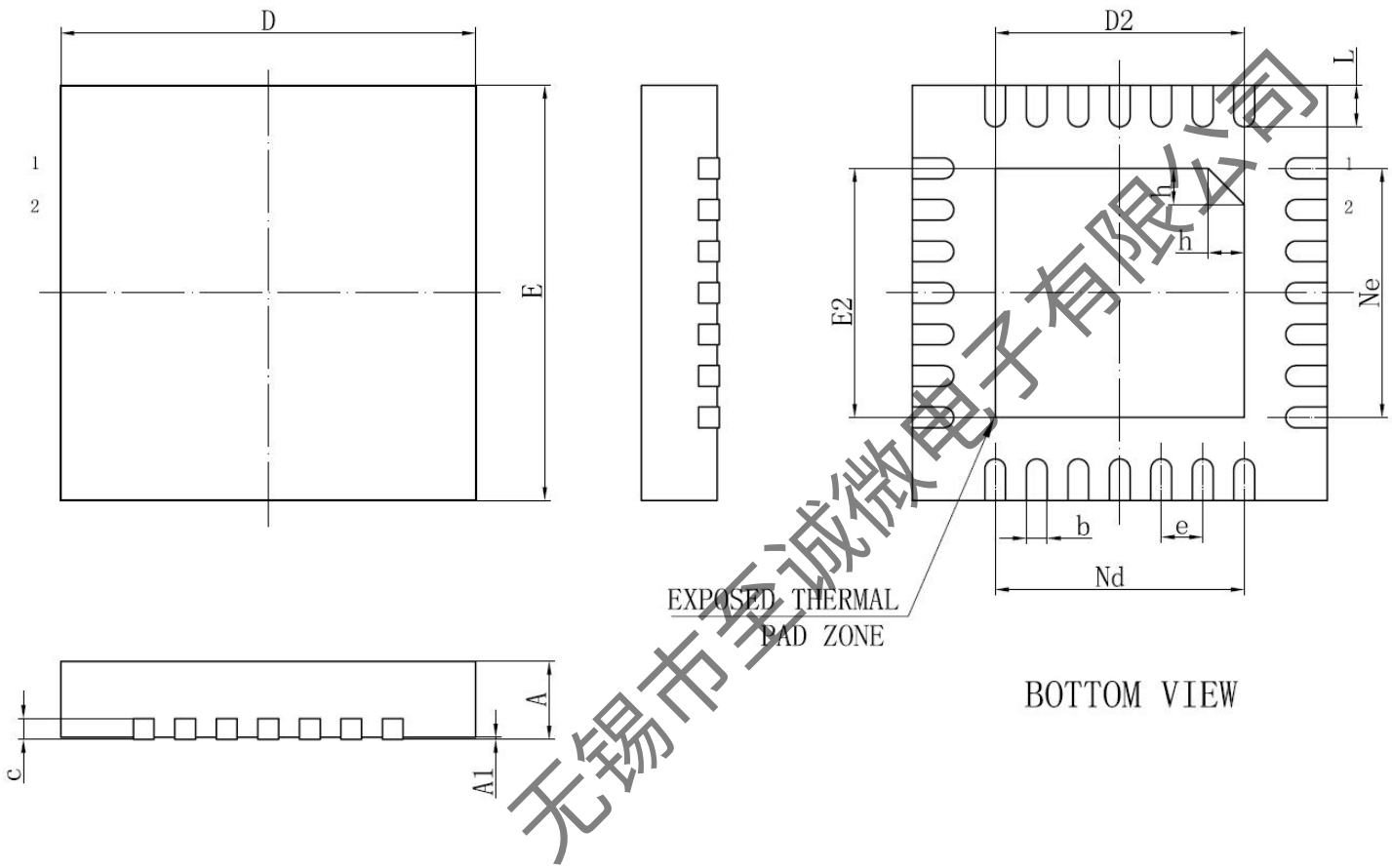


图 16. 典型应用电路图

无锡市至诚微电子有限公司

15.封装信息：QFN-28, 4mm×4mm×0.75mm



SYMBOL	MILLIMETER		
	MIN	NOM	MAX
A	0. 70	0.75	0. 80
A1	0	0. 02	0. 05
b	0. 15	0.20	0. 25
c	0.18	0.20	0.25
D	3. 90	4. 00	4. 10
D2	2. 30	2. 40	2. 50
e	0. 40BSC		
Nd	2. 40BSC		
E	3. 90	4. 00	4. 10
E2	2. 30	2. 40	2. 50
Ne	2. 40BSC		
L	0. 35	0. 40	0. 45
h	0. 30	0. 35	0. 40
L/F载体尺寸 (Mil)	110*110		

无锡市至诚微电子有限公司