

1 特点

- 超低启动电流 (最大值为 5uA)
- 电流模式控制
- 集成 1.5A 峰值电流栅极驱动器
- 开关频率可编程
- 轻负载逐级模拟降频优化效率曲线
- 空载间歇工作实现低空载功耗
- 逐周期限流保护和短路保护、过温保护
- 无须前馈实现过流点一致性
- 直接光耦合器接口
- 可选内置或外置软启动
- 内置斜坡补偿
- 最大占空比 80%限制
- MSOP8 超小体积封装形式

2 应用领域

- 断续 (DCM) /连续 (CCM) 模式反激转换器
- 工业电源转换
- POE 电源
- 隔离通信电源
- 智能电表和音频放大器的开关模式电源 (SMPS)
- 楼宇自动化和白色家电 SMPS

3 说明

VPC5021 离线式脉宽调制 (PWM) 控制器采用电流模式控制实现高效离线式单端反激/正激电源转换器的应用。VIN 高压供电端口实现超低启动电流 (小于 5uA), 启动电压 20V, 欠压锁定电压 7.6V, 在一定启动时间下最大程度地降低启动网络的功耗, 可实现低待机功耗的 ACDC 电源变换器。VDD 低压供电端口启动电压低至 7.4V, 从而也可以满足低输入电压的 DCDC 开关电源的应用。

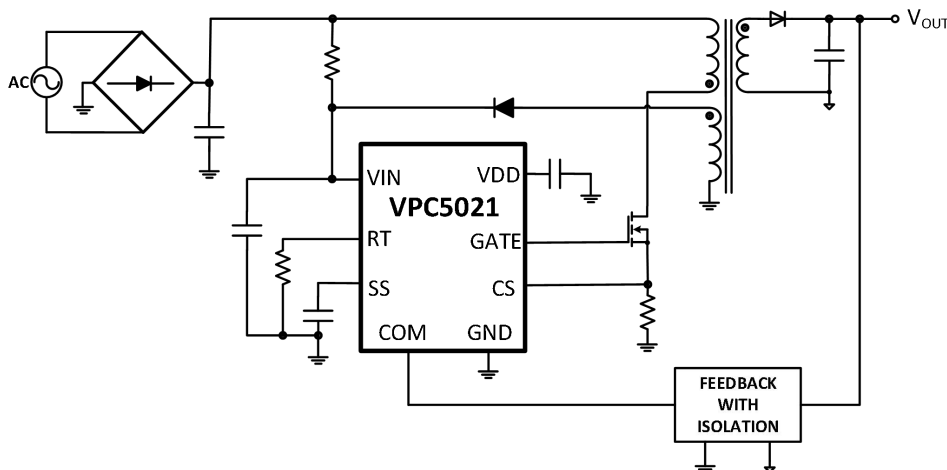
VPC5021 控制器在较重负载时固定工作于设定好的最大工作频率下进行 PWM 调制, 随着负载减轻到一定程度, 控制器通过逐级模拟降频工作模式来优化全负载范围效率, 同时获得较低的轻负载纹波电压和空载功耗, 并且不出现音频噪声, 优秀地解决了空载功耗、轻负载纹波、音频噪声三者之间的矛盾关系。

VPC5021 还集成了输出短路保护、过流保护、输出过压保护等功能, 全范围保证开关电源的高可靠性。

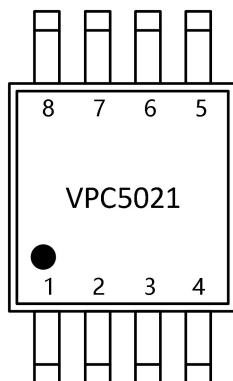
器件信息

型号	封装	尺寸	SPQ
VPC5021	MSOP8	3.0mm*4.9mm	5000

4 简化应用



5 引脚及功能



名称	编号	类型	描述
COM	1	I	环路反馈引脚。此端口内部提供 5K 的上拉电阻，为光耦提供偏置电流，与光耦形成闭环后在此端口产生调制电压，控制芯片的峰值电流以及实现轻负载降频。由于内部集成了 RC 环路补偿，可直接与光耦耦合，若需要更大时间常数的 RC 补偿，也可在外围连接 RC 环路补偿电路到 GND。
VIN	2	I	输入电压。VIN 端口到 VDD 是一个耐高压的线性稳压器，在 VIN 电压到达启动电压 20V 之前，线性稳压器关闭，使得器件自身耗电极低；VIN 电压到达启动电压后，线性稳压器工作，在 VDD 产生较稳定的电压 8.7V。
VDD	3	O	线性稳压器的输出端口。也是 VPC5021 中控制电路和 GATE 驱动电路的供电端口，必须在外连接电容到 GND 使其电压稳定。
GATE	4	O	MOSFET 功率管驱动端口。具有较强的驱动能力，输出上拉峰值电流高达 0.8A，吸收下拉峰值电流高达 1.5A。
GND	5	—	芯片的参考地。
CS	6	I	电流采样输入端口。采样信号经过 $A_v=2.5$ 的比例放大器放大后，作为 PWM 比较器、OCP 限流保护比较器、SCP 短路保护比较器的输入信号。折算后的限流保护阈值电压为 500mV，短路保护阈值电压为 800mV。
RT	7	O	最大工作频率设置引脚。从此端口连接一个 KΩ 级别的电阻到 GND，可设定最大工作频率。
SS	8	O	软启动引脚。在开关电源输出电压建立前的启动阶段，SS 引脚流出 28uA 的电流为其外接到 GND 的软启动电容充电，软启动电容电压的缓慢上升可控制 COM 脚电压的上升斜率，进而控制开关电源峰值电流缓慢增加。

6 技术规格

6.1 绝对最大额定值

		最小值	最大值	单位
VIN 对 GND 的电压范围	V_{IN}	-0.3	110	V
VIN 钳位持续电流	$I_{VIN (CLAMP)}$		1	mA
VDD 和 GATE 对 GND 的电压范围	V_{DD}	-0.3	25	V
所有其它引脚对 GND 的电压范围		-0.3	6.6	V
最大工作结温	T_{JMAX}		150	°C

超过绝对最大额定值的应力可能会对器件造成永久性损坏。这些仅为应力额定值，并不意味着器件在这些或任何其他条件下的功能操作超出了推荐工作条件下的指示。长期暴露在绝对最大额定条件下可能会影响器件的可靠性。所有电压都与接地有关。电流为正输入，负输出。

6.2 ESD 能力

			数值	单位
$V_{(ESD)}$	抗静电能力	人体模式 HBM, per ESDA/JEDEC JS-001-2017;(Zap 1 pulse, Interval: $\geq 0.1S$)	± 2000	V
		机器模式 CDM, per ESDA/JEDEC JS-002-2014	± 1000	V

6.3 推荐工作条件

		最小值	典型值	最大值	单位
VIN 输入电压	V_{IN}	8		100	V
工作结温	T_J	-40		125	$^{\circ}C$

6.4 电气性能参数

在没有特别说明的情况下，以下参数在 $V_{IN}=15V$ ，温度 $T=25^{\circ}C$ 、 $R_T=44.2k\Omega$ 条件下测得。

符号	参数	测试条件	最小	典型	最大	单位
输入引脚 VIN						
$I_{VIN (ST)}$	启动前流入 VIN 的电流	VDD 电压启动前一刻		3	5	μA
$V_{IN (ON)}$	VIN 启动电压	V_{IN} 电压上升	17	20	23	V
$V_{IN (OFF)}$	VIN 锁定电压	V_{IN} 电压下降		7.6		V
I_Q	VIN 静态电流	GATE 悬空, COM 接 3.3k 到 GND		2.0	3.0	mA
$I_{VIN (SRC)}$	VIN 供电能力	$V_{IN}=12V$, $V_{DD}=6.5V$	15	20		mA
$V_{IN(clamp)}$	VIN ESD 钳位电压	$I_{VIN}=1mA$, $V_{DD}=12V$	110	118	128	V
电源引脚 VDD						
$V_{DD (ON)}$	VDD 启动电压	V_{DD} 电压上升	6.9	7.4	7.9	V
$V_{DD (OFF)}$	VDD 锁定电压	V_{DD} 电压下降	5.8	6.3	6.8	V
$V_{DD (REG)}$	VIN 到 VDD 的稳压值	VDD 和 GATE 不带负载	8.1	8.7	9.3	V
$V_{DD (DO)}$	VIN 到 VDD 的跌落电压	$I_{VDD (LOAD)}=5mA$, $V_{IN}=8V$		1.2		V
$V_{BV(DIODE)}$	防倒灌二极管耐压		37			V
$V_{DD (OVP)}$	VDD 过压保护阈值电压	VDD 电压上升	17.5	18.6	19.7	V
$I_{DSDNK (OVP)}$	OVP 时 VDD 吸收电流	$V_{DD}=V_{DD (OVP)}$		6.6		mA
$V_{DD (clamp)}$	VDD ESD 钳位电压	$I_{VDD (SNK)}=10mA$	23	27		V
电流采样引脚 CS						
$t_{CS(DLY)}$	电流限制比较延时	CS 从 0 到 0.6V 开始计算，到 GATE 变为低电位的延迟时间		40		nS
$V_{CS(LIM)}$	限流阈值电压		450	500	550	mV
$t_{CS(OVLD)}$	过载保护计时			2^{14}		T_{sw}
$T_{SLEEP(SR)}$	自恢复保护模式休眠时间			400		mS
$t_{LEB (CS)}$	PWM 比较消隐时间			95		nS
$V_{SCP(LIM)}$	短路保护阈值	V_{COM} 超过 $V_{COM(OLP)}$	720	800	880	mV
$t_{LEB (SCP)}$	SCP 比较消隐时间			50		nS

D _{35%}	增加斜坡补偿起始占空比		35			%
软启动引脚 SS						
V _{SS (OPEN)}	软启动引脚开路电压		5.0	5.4	5.8	V
t _{SS(IN)}	内置软启动时间		2.5	4	5.5	mS
I _{SS}	外置软启动电流		22	28	34	uA
R _{SS(DIS)}	软启动泄放电阻		300			Ω
R _{SSTOCOM}	SS 到 COM 脚的下拉电阻		800			Ω
频率设置引脚 RT						
F _{OSC1}	R _T =44.2kΩ时的频率		135	150	165	kHz
F _{OSC2}	R _T =22kΩ时的频率		270	300	330	kHz
F _{OSC3}	R _T =13.3kΩ时的频率		440	500	560	kHz
V _{RT}	R _T 引脚基准电压		1.92	2.02	2.12	V
环路反馈引脚 COM						
D _{MIN}	最小占空比				0	%
D _{MAX}	最大占空比		75	80	85	%
K _{PWM}	COM 到 PWM 比较的增益			0.42		
V _{COM(OPEN)}	COM 引脚开路电压		5.0	5.4	5.8	V
V _{COM(OLP)}	开环保护阈值电压	V _{DD} ≥ 5.4V		4.6		V
		V _{DD} < 5.4V		V _{DD} -0.8		V
I _{COM}	COM 脚短路电流	V _{COM} =0V	0.6	1.1	1.5	mA
V _{COM(DMAX)}	最大占空比时 COM 脚电压			3.75		V
V _{COM(SKIP)}	间歇工作模式阈值电压			1.0		V
V _{COM(HYS)}	间歇工作模式回差电压			55		mV
输出引脚 GATE						
V _{GATEH}	GATE 带 50mA 负载, 输出高电平时 V _{DD} -V _{GATE} 的压差	I _{GATE} =50mA		185		mV
V _{GATEL}	为 GATE 提供 100mA 下拉电流, 低电平时的电压	I _{GATE} =-100mA		170		mV
I _{GATE(SRC)}	GATE 输出峰值电流	V _{GATE} =7.5V		0.8		A
I _{GATE(SINK)}	GATE 抽取峰值电流	V _{GATE} =7.5V		1.5		A
t _r	上升时间	GATE 接 1nF 到 GND		30		nS
t _f	下降时间	GATE 接 1nF 到 GND		20		nS

6.5 典型特征曲线

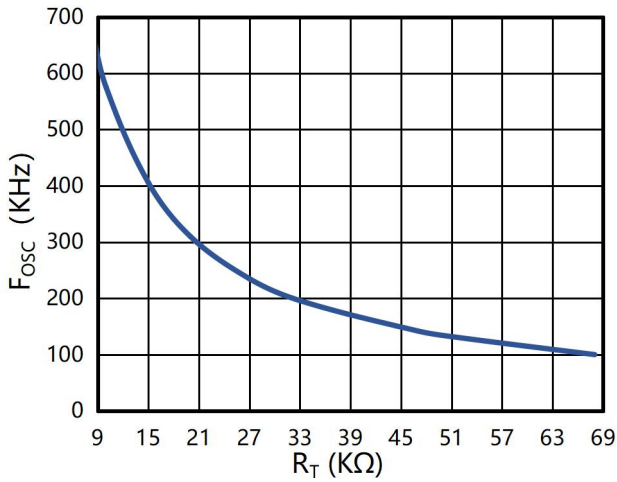


图 1 F_{osc} vs R_T

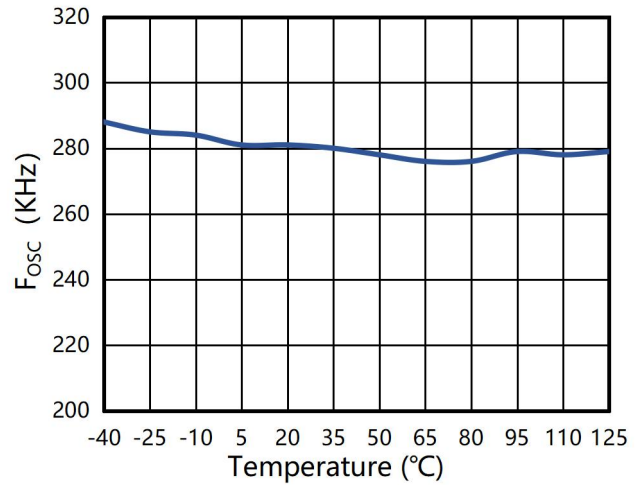


图 2 F_{osc} vs Temperature @ R_T=22kΩ

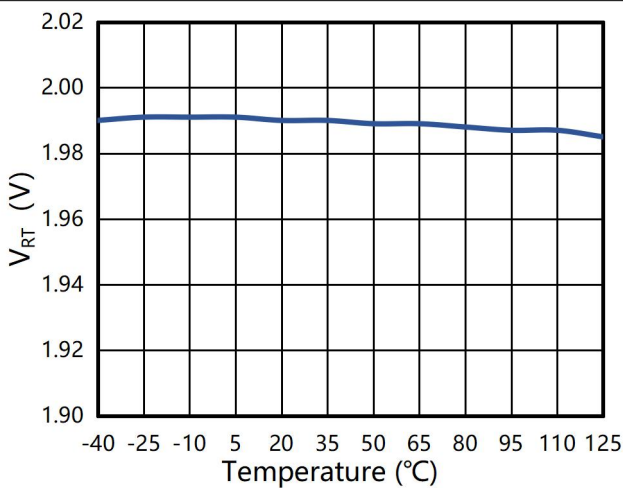


图 3 V_{RT} vs Temperature

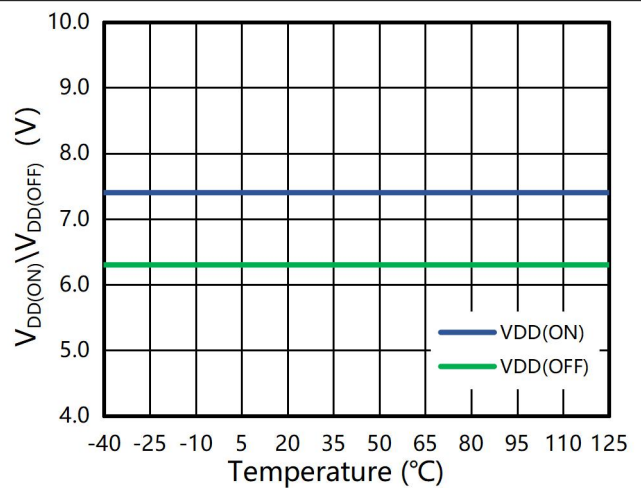


图 4 V_{DD(ON)} \ V_{DD(OFF)} vs Temperature

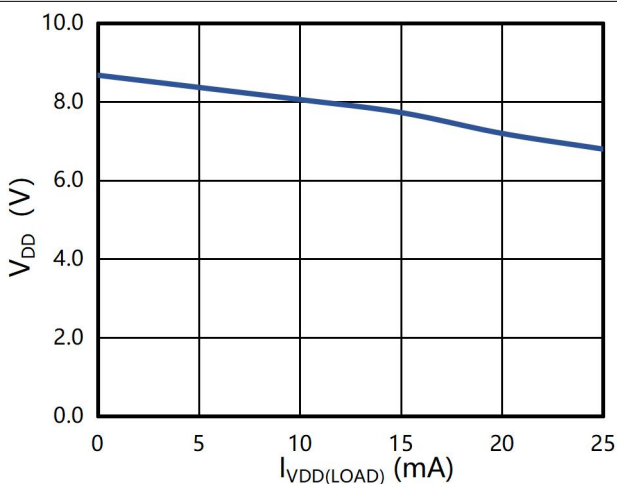


图 5 V_{DD} vs I_{VDD(LOAD)}

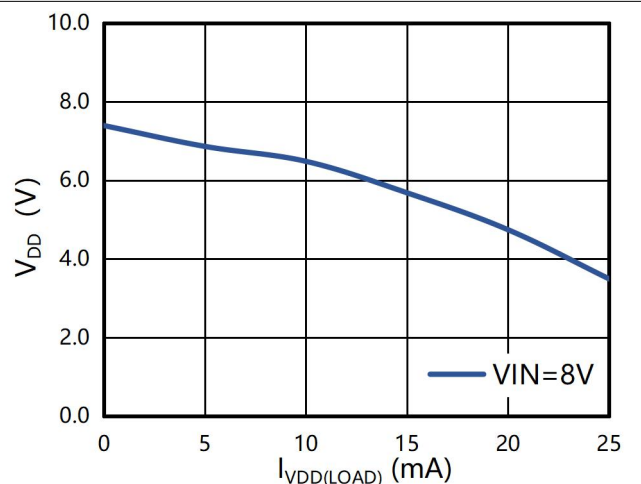


图 6 V_{DD} vs I_{VDD(LOAD)}

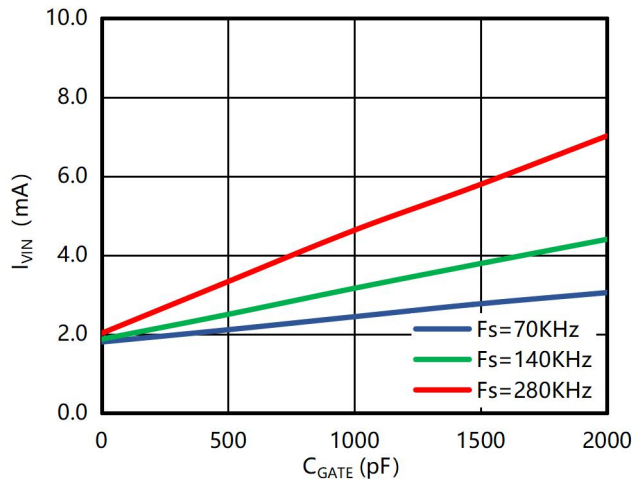


图 7 I_{VIN} VS C_{GATE}

7 功能及原理

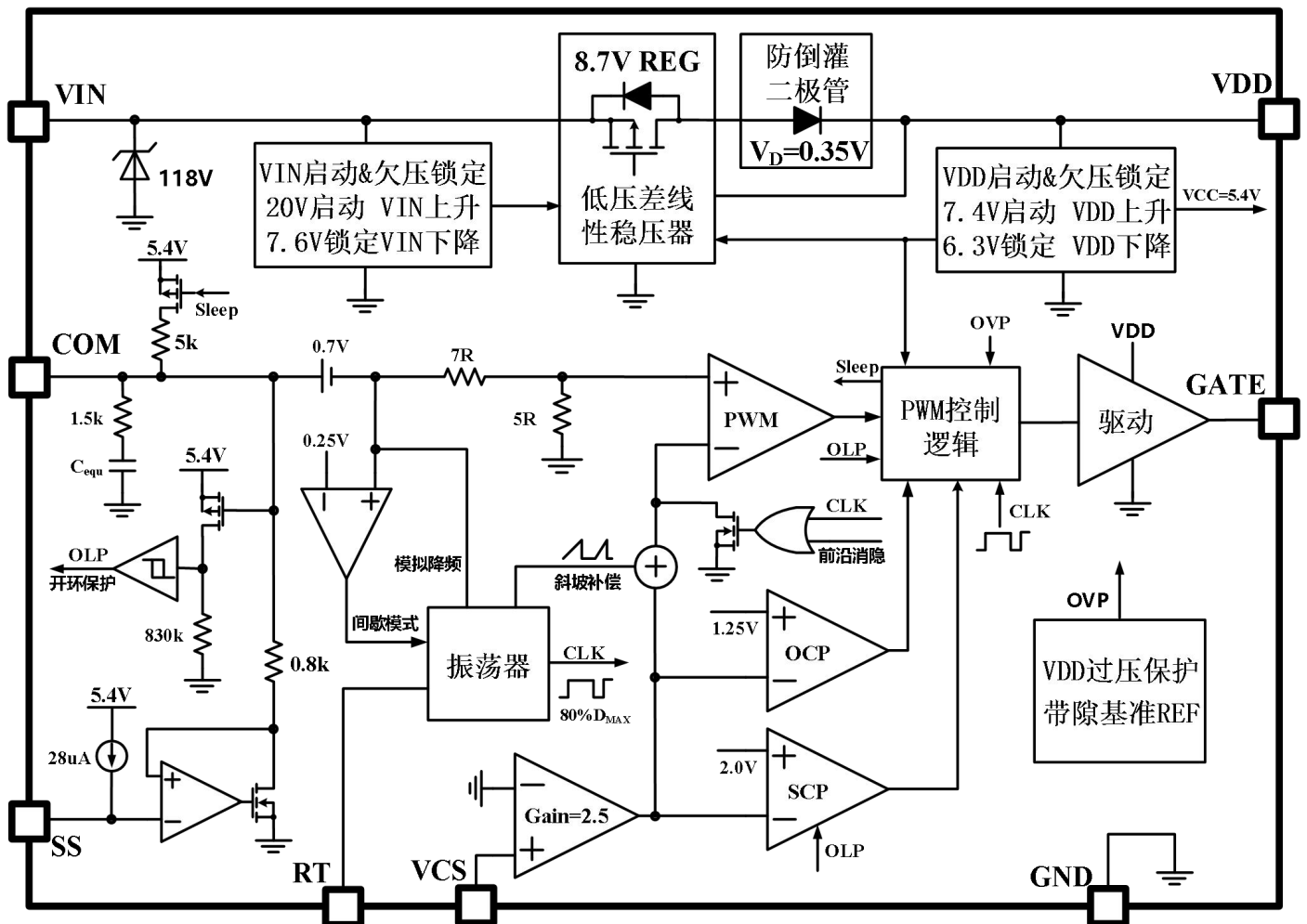
7.1 概述

VPC5021 是一款高集成度的电流模 PWM 控制器，适用于隔离式正激和反激变换器，也可应用于升压变换器。VIN 高压供电端口的启动电路实现超低启动电流（小于 5uA），启动电压 20V，欠压锁定电压 7.6V，回差电压高达 12.4V，从而在一定启动时间下最大程度地降低启动网络的功耗，可实现低待机功耗的 ACDC 电源变换器。VDD 低压供电端口启动电压低至 7.4V，从而也可以满足低输入电压的 DCDC 开关电源的应用。

VPC5021 为开关电源每项性能指标的提高作出最大的努力。外置可编程软启动功能，可根据需要设定软启动时间以减小启动应力和输出过冲；内置斜坡补偿，避免次谐波振荡；所有保护的触发都设有相应的延时滤波，避免干扰信号误触发；所有保护状态下都会把不需要的模块关闭，使功耗最低；在极轻负载时进入深度降频模式，降低空载功耗，同时控制纹波不过大和避免出现异音。

它们还为开关电源提供全方位的保护功能，通过 VDD 脚实现输出过压保护，通过 COM 脚实现输出过载和开环保护，通过 CS 脚逐周期限制峰值电流和输出短路保护。

7.2 功能框图



7.3 特点描述

7.3.1 启动与供电

VPC5021 的高压电源引脚 VIN 到低压电源引脚 VDD 是一个低压差线性稳压器 LDO，只有在 VIN 电压超过启动电压 20V 后该 LDO 才会打开，VIN 电压小于 7.6V 时再次被关闭。在 LDO 未打开前 VIN 端口输入电流小于 5uA，便于实现 ACDC 开关电源启动电路的低功耗。LDO 打开后，在 VDD 产生的稳定输出电压是 8.7V，可提供的电流高达 20mA，若由于辅助绕组反馈供电致使 VDD 电压超过 8.7V 时，VIN 端口输入电流仅为 LDO 中运算放大器的偏置电流，大小为几十微安。芯片内部 VIN 与 VDD 之间串联了防倒灌肖特基二极管，在 VDD 电压大于 VIN 时避免电流从 VDD 经过 LDO 的 PMOS 管的寄生体二极管倒灌至 VIN。

VDD 引脚具有电压钳位和过压保护功能，钳位电压是 18.6V，当钳位吸收的电流超过 6.6mA 时触发过压保护，芯片进入休眠状态。所以在反激开关电源的应用中，可以采用变压器辅助绕组整流后给 VDD 供电，一方面可以提高效率，另一方面可以通过 VDD 过压保护来实现开关电源的输出过压保护功能，因为变压器辅助绕组与副边输出绕组的电压成比例。

7.3.2 电流采样、过流保护、短路保护

VPC5021 将电流采样 CS 引脚的电压信号通过比例差分放大器进行放大，比例放大系数是 2.5，放大后的电压作为过流保护比较器 OCP 和短路保护比较器 SCP 的输入信号，由于这两个比较器的基准电压分别为 1.25V 和 2.00V，那么折算到 CS 引脚后就可以得到过流保护阈值电压和短路保护阈值电压分别是 500mV 和 800mV。

过流保护功能：VPC5021 是逐周期过流保护模式，一旦 CS 电压超过过流保护阈值电压，GATE 立即停止输出高电平。另外，若连续 2^{14} 个周期检测到电流采样引脚 CS 电压分别超过 500mV，则认为开关电源的负载超出了设定功率范围，进入休眠状态，休眠时间 400ms 结束后重新恢复工作。

短路保护功能：检测到 COM 引脚电压较高，产生开环保护

有效信号 OLP，此时过流比较器开始工作，若电流采样引脚 CS 电压分别超过 800mV，则立即进入休眠状态，休眠时间 400ms 结束后重新恢复工作。

在外置功率 MOS 管开通时，经常在 CS 引脚处产生一个瞬态噪声电压，为了避免该噪声电压误触发比较器的翻转，芯片内部设定了 95ns 的前沿消隐时间，在此时间内禁止 CS 放大电压传至 PWM 比较器。若在实际应用中，CS 引脚出现较大时间宽度的噪声，建议在外围增加 RC 滤波，并且连接在 CS 引脚和 GND 之间的滤波电容越靠近芯片 CS 引脚越好。

7.3.3 PWM 比较器与斜坡补偿

PWM 比较器将电流采样电压跟占空比调制电压进行比较，来调制 GATE 输出高电平的占空比。COM 脚电压和 EA 输出电压经过模式选择后产生与外围连接方式对应的占空比调制电压，该电压减去 0.75V 以后再按照 12:5 的比例分压，作为 PWM 比较器的正输入比较电压；CS 端口的电压经过比例差分放大器放大，在叠加斜坡补偿电压后作为 PWM 比较器的负输入比较电压。

VPC5021 允许输出的最大占空比为 80%，为避免占空比超过 50% 时发生次谐波振荡，内部集成了斜坡补偿功能。利用振荡器的斜坡电压产生斜坡电流，在电流采样比例放大器输出端与 PWM 比较器输入端之间串联的斜坡补偿电阻上叠加斜坡电压。为了尽量避免斜坡补偿影响低压输入的带载能力，占空比大于 35% 才产生斜坡补偿，小于 35% 不会叠加斜坡补偿电压，最大占空比到达最大值 80% 时斜坡补偿电阻上的压差为 250mV。

7.3.4 振荡器频率设定与模拟降频功能

振荡器可通过 RT 引脚外围电阻 R_T 来编程，RT 引脚处的基准电压为 2V，它在电阻 R_T 上产生的基准电流与内部张弛振荡器的充放电电流成比例，频率设定公式是：

$$F_{osc} = \frac{6600}{R_T(k\Omega)} (kHz)$$

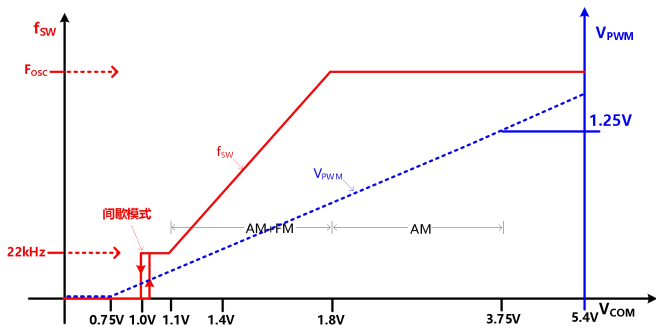


图 7.3.1 开关频率和峰值电流调制随 V_{COM} 的变化曲线

VPC5021 具有模拟降频功能，随着负载减轻到一定程度开关频率逐渐减小，可提高轻负载的效率。在极轻负载时针对不同的反馈方式采用不同频率策略来减小空载功耗。开关频率和峰值电流调制随 V_{COM} 的变化曲线如图 7.3.1 所示，在极轻负载时可以进入间歇工作模式，若不要此模式，可在外围添加前馈补偿或者从 VDD 取电流使 CS 引脚的电压抬高来消除，另外只要芯片 GATE 输出驱动脉宽，频率 $\geq 22\text{kHz}$ 。

7.3.5 软启动

软启动的作用是在开关电源启机时，输出电压和变压器励磁电流逐渐达到它的初始稳态值，这样可以减低启动应力和输入冲击电流。VPC5021 内部集成了最小软启动时间 4mS，若需要增加软启动时间，可通过 SS 引脚外接软启动电容 C_{SS} 来编程：内部产生 28uA 的电流源从 SS 引脚流出，它给外置的软启动电容 C_{SS} 充电， C_{SS} 电压的上升速度控制着 COM 脚电压的上升快慢，从而控制占空比逐渐展开的速度，通过设计外置软启动电容的大小，可以设定软启动时间。

7.4 工作模式

7.4.2 正常工作状态

在 COM、CS、VDD 三个引脚电压未触发相应保护逻辑的情况下，输出电压建立而形成环路反馈（图 7.4.1 中 t_3 时刻），此时软启动结束，进入正常的环路调节状态。根据开关电源输出负载的不同，软启动结束 t_3 时刻 V_{COM} 上升到不同的高度后进入稳态，可能工作在振荡器的频率 F_{OSC} ，或处于模拟降频状态，或处于间歇工作模式下。

7.4.3 工作于输出过载、输出短路、开环状态

开关电源输出负载超出设计值、输出短路、例如虚焊或器件

损坏等导致环路处于开路状态是经常遇到的异常状态，VPC5021 针对这些异常情况设计了全面的保护控制，并且不同的外围启动电路对应不同的保护逻辑。图 8.1.1 的启动方式对应的保护时序如图 7.4.2 所示， C_{VIN} 电压超过启动电压 20V 时开始工作，低于锁定电压 7.6V 时停止工作，所以芯片休息时间由 C_{VIN} 充电时间决定，工作时间由 C_{VIN} 放电时间决定。图 8.1.2 的启动方式对应的保护时序如图 7.4.3 所示，三种异常状态都会导致占空比调制电压 V_{COM} 的电压过高，超出开环保护值 4.6V（若 V_{DD} 电压小于 5.4V 时，此值为 $V_{DD}-0.8\text{V}$ ）时，芯片开始计时（若异常情况从软启动阶段就存在，那么从第一个脉宽开始计时）， V_{COM} 过压状态连续 2^{14} 个开关周期（若有间断，计数清零），则会触发休眠功能，休眠 400mS 后再次恢复工作。

在芯片工作阶段可能因为 CS 电压过高而触发 SCP 保护或 VDD 过压保护，提前进入休眠状态，休眠结束后都是可以自恢复的。

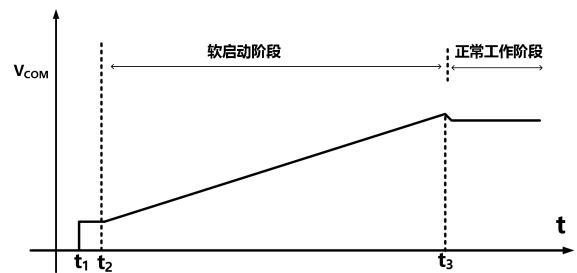


图 7.4.1

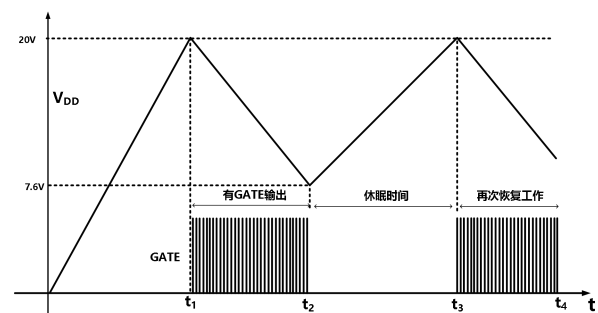


图 7.4.2

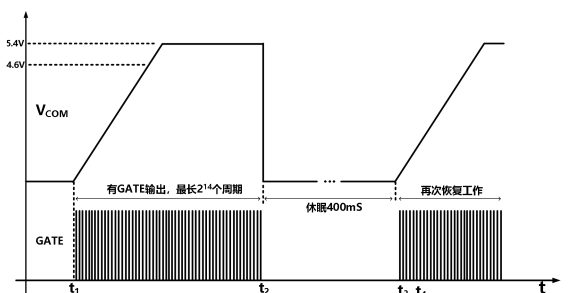


图 7.4.3

8 应用案例

8.1 应用信息

8.1.1 启动电路与辅助供电

第一种：此种启动方式常应用于 ACDC 中，利用 VIN 超低启动电流的特点，通过一个 MΩ 级别的启动电阻 R_{start} 给 C_{VIN} 充电，当 VIN 引脚电压达到 20V 时，内部的 LDO 突然打开， C_{VDD} 的电压迅速上升并超过其启动电压，芯片开始工作。正常启动一段时间后，辅助绕组 N_A 经过二极管后反馈能量为芯片供电。由于 VPC5021 的 VIN 引脚耐压较高，可以适当提高辅助绕组的反馈电压以减小 C_{VIN} 的容值或提高开关电源的输出容性负载能力。

第二种：此种启动方式常用于 DCDC 中，利用 VDD 启动电压较低的特点，通过外置一个稳压电路为芯片 VDD 供电，可实现电源 V_{IN} 输入电压小于 20V 的应用。辅助绕组 N_A 的辅助供电反馈至 VDD，可利用 VDD 过压保护功能来实现开关电源的输出过压保护功能。开关电源输出 V_{OUT} 增加时，辅助绕组反馈的电压增加，致使 VDD 电压超过 18.6V，芯片停止工作。

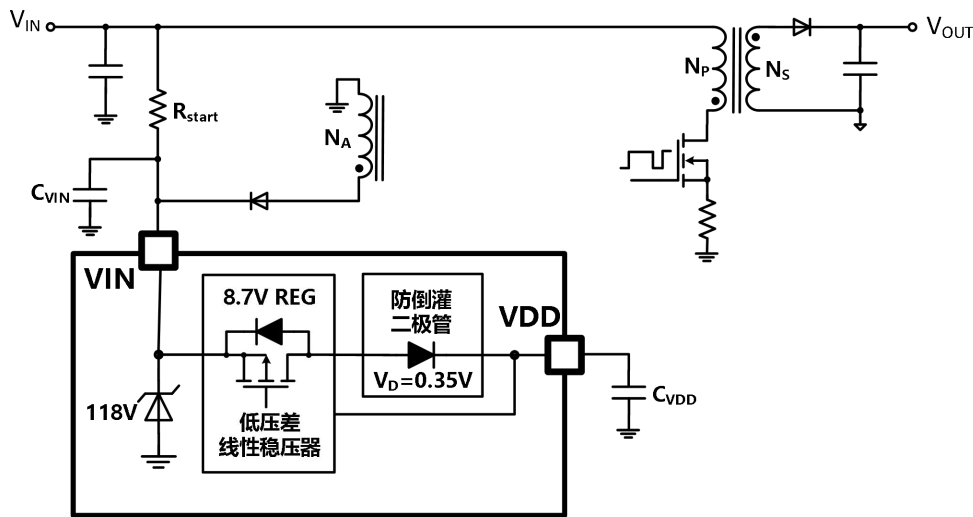


图 8.1.1

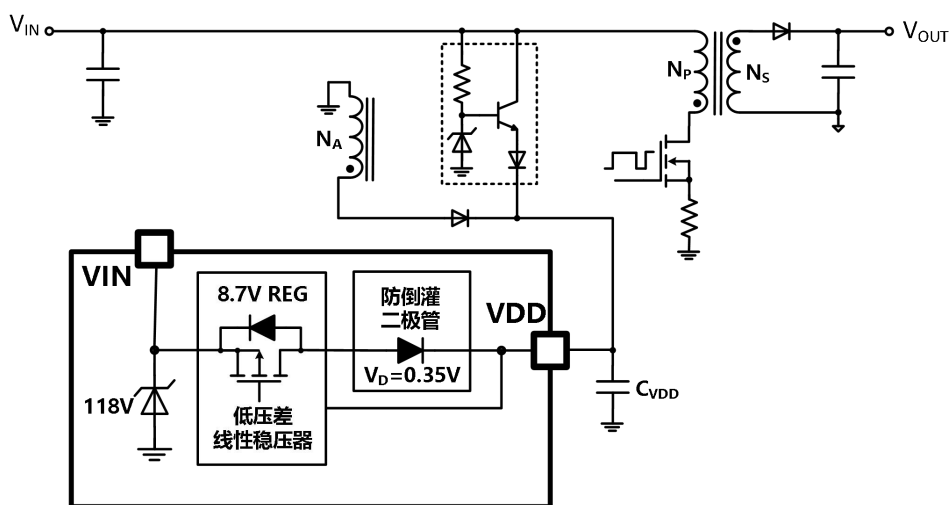
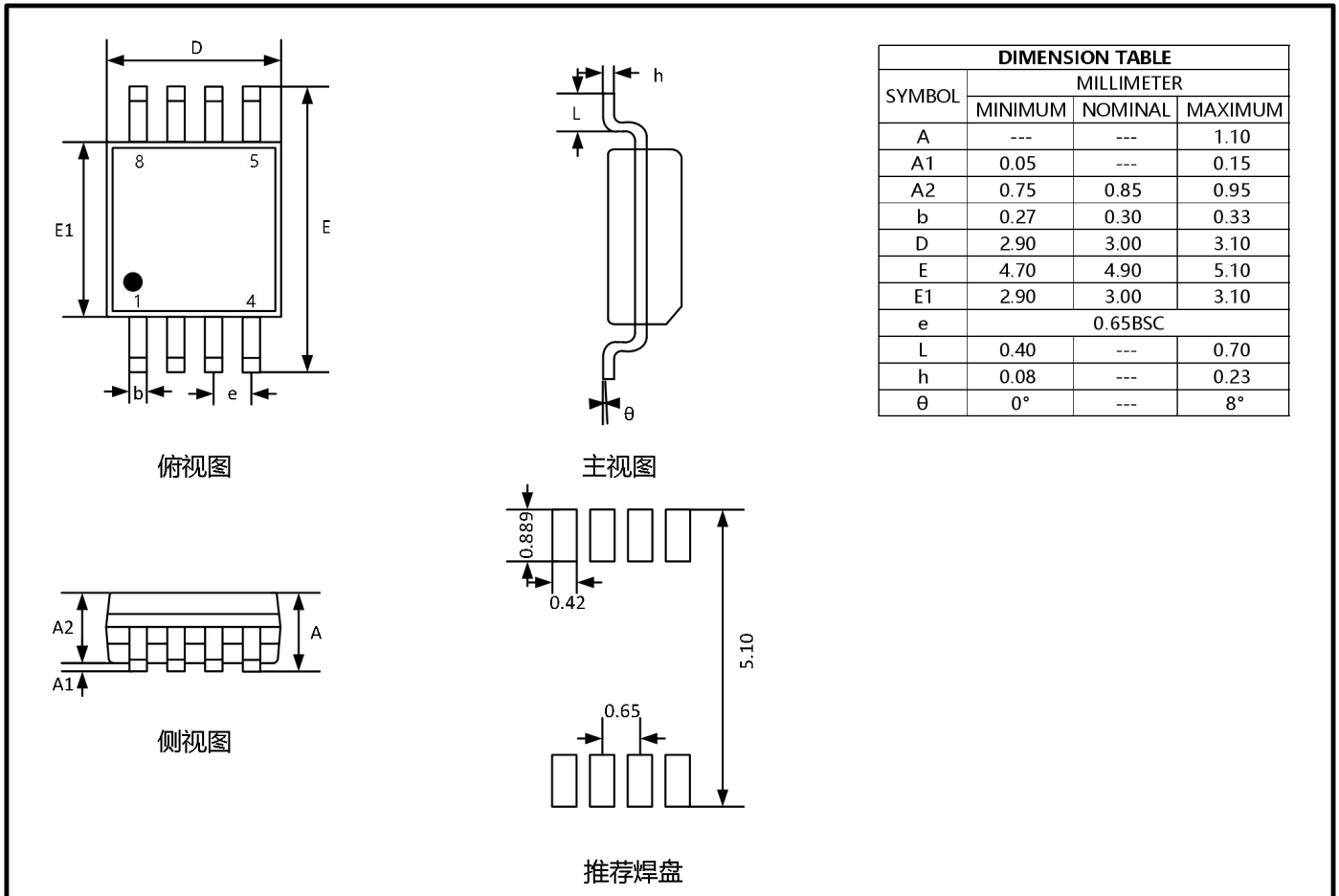


图 8.1.2

9 封装信息

MSOP8



10 订购信息

器件	封装形式	管脚数	包装方式	数量	丝印*	MSL 等级
VPC5021	MSOP8	8	卷带	5000	VPC5021 XXXX	MSL-3

*丝印说明:

VPC——公司代号

5021——产品型号

XXXX——产品追溯识别码