

FAN53601 / FAN53611

6 MHz、600 mA / 1 A 同步降压稳压器

特性

- 600 mA 或 1 A 输出电流能力
- 24 μ A 典型静态电流
- 6 MHz 固定频率运行
- 同级最佳的负载瞬态响应
- 同级最佳的效率
- 2.3 V 至 5.5 V 的输入电压范围
- 低纹波、轻负载 PFM 模式
- 强制 PWM 模式和外部时钟同步
- 内部软启动
- 输入欠压锁定 (UVLO)
- 热关断和过载保护
- 可选输出放电
- 6 焊点 WLCSP、0.4 mm 间距

应用

- 3G、4G、WiFi®、WiMAX™ 和 WiBro® 数据卡
- 平板电脑
- DSC、DVC
- Netbooks®、超便携移动个人电脑

说明

FAN53601/11 是一种 6 MHz 降压开关电压调节器，有 600 mA 或 1 A 选项，从 2.3 V 到 5.5 V 的输入电压提供固定输出。FAN53601/11 将专有架构与同步整流结合在一起，能够提供 92% 的峰值效率，同时在负载电流低至 1 mA 时能够保持 80% 以上的效率。

该调节器以 6 MHz 的标称固定频率运行，可将外部组件的输出电感值降至 470 nH，并将输出电容值降至 4.7 μ F。此外，脉冲宽度调制 (PWM) 调制器能同步至一个外部频率源。

在中等负载和轻负载下，通过使用脉冲频率调制 (PFM)，使该器件在 24 μ A 典型静态电流的省电模式下工作。即使在这种低静态电流下，该部件也能够在大负载摆幅期间展示卓越的瞬态响应。在较高的负载下，系统会自动切换到固定频率控制，在 6 MHz 下运行。在关断模式中，电源电流会降至 1 μ A 以下，以便降低功耗。对于需要最低纹波或固定频率的应用，可以使用 MODE 引脚来禁用 PFM 模式。

FAN53601/11 可提供 6 焊点、0.4 mm 间距晶圆级芯片尺寸封装 (WLCSP)。

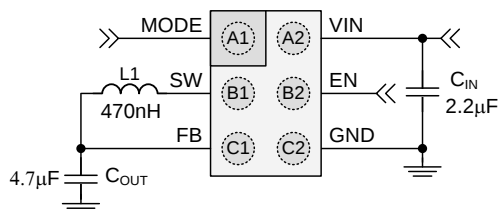


图 1. 典型应用

商标所有权归各自生产商所有。

订购信息

部件编号	输出电压 ⁽¹⁾	最大输出电流	主动放电 ⁽²⁾	最大 V_{IN}	封装	温度范围	包装
FAN53601AUC10X	1.000 V	600 mA	是	5.5 V	WLCSP-6、 0.4 mm 间距	-40 至 +85°C	卷带
FAN53601AUC105X	1.050 V	600 mA	是				
FAN53611AUC11X	1.100 V	1 A	是				
FAN53611AUC115X	1.150 V	1 A	是				
FAN53611AUC13X	1.300 V	1 A	是				
FAN53611AUC135X	1.350 V	1 A	是				
FAN53611UC123X	1.233 V	1 A	否				
FAN53601UC182X	1.820 V	600 mA	否				
FAN53611AUC205X	2.050 V	1 A	是				
FAN53611AUC123X	1.233 V	1 A	是				
FAN53611AUC12X	1.200 V	1 A	是				
FAN53611AUC18X	1.800 V	1 A	是				

注意：

1. 可根据需求提供其他电压。具体请联系飞兆半导体代表。
2. 所有电压和输出电流选项均可选择支持或不支持主动放电。具体请联系飞兆半导体代表。

引脚布局

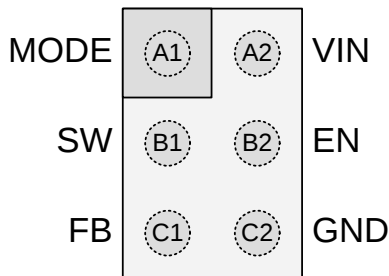


图 2. 焊球俯视图

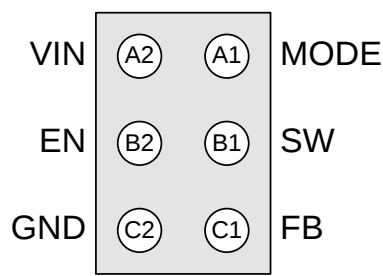


图 3. 焊球仰视图

引脚定义

引脚号	名称	说明
A1	MODE	模式。 此引脚上的逻辑 1 强制 IC 保持在 PWM 模式下。逻辑 0 允许芯片在轻载状态时自动切换至 PFM。稳压器也将其开关频率同步至该引脚所提供频率的四倍。该引脚不得悬浮。
B1	SW	开关节点。 连接至输出电感。
C1	FB	反馈/V_{OUT}。 连接至外部电压。
C2	GND	接地。 电源和 IC 地。所有信号均以该引脚为参照。
B2	EN	使能。 该引脚电压小于 0.4 V 时，器件为关断模式，电压大于 1.2 V 时使能。该引脚不得悬浮。
A2	VIN	输入电压。 连接至输入电源。

绝对最大额定值

应力超过绝对最大额定值，可能会损坏器件。在超出推荐的工作条件的情况下，该器件可能无法正常工作，所以不建议让器件在这些条件下长期工作。此外，长期在高于推荐的工作条件下工作，会影响器件的可靠性。绝对最大额定值仅是应力规格值。

符号	参数		最小值	最大值	单位
V _{IN}	输入电压		-0.3	7.0	V
V _{SW}	SW 引脚上的电压		-0.3	V _{IN} + 0.3 ⁽³⁾	V
V _{CTRL}	EN 与 MODE 引脚电压		-0.3	V _{IN} + 0.3 ⁽³⁾	V
	其他引脚		-0.3	V _{IN} + 0.3 ⁽³⁾	V
ESD	静电放电防护等级	人体模型满足 JESD22-A114	2.0		kV
		充电器件模型 JESD22-C101	1.5		
T _J	结温		-40	+150	°C
T _{STG}	存储温度		-65	+150	°C
T _L	引脚焊接温度，10 秒			+260	°C

注意：

3. 选取 7 V 与 $V_{IN}+0.3$ V 中的较小值。

推荐工作条件

推荐的操作条件表明了器件的真实工作条件。指定推荐的工作条件，以确保器件的最佳性能达到数据表中的规格。飞兆半导体建议不要超过推荐工作条件，也不能按照绝对最大额定值进行设计。

符号	参数	最小值	典型值	最大值	单位
V_{CC}	电源电压范围	2.3		5.5	V
I_{OUT}	FAN53601 的输出电流	0		600	mA
	FAN53611 的输出电流	0		1	A
L	电感		470		nH
C_{IN}	输入电容		2.2		μF
C_{OUT}	输出电容	1.6	4.7	12.0	μF
T_A	操作环境温度	-40		+85	°C
T_J	工作结温	-40		+125	°C

热性能

结-环境之间热阻与具体应用和电路板布局有关。该数据由 2s2p 四层板测得，符合 JESD51-JEDEC 标准。必须特别注意，在给定的环境温度 T_A 下，不要超过结温 $T_{J(max)}$ 。

符号	参数	典型值	单位
θ_{JA}	结至环境热阻	125	°C/W

电气特性

测得最大值和最小值的条件为 $V_{IN} = V_{EN} = 2.3\text{ V}$ 至 5.5 V 、 $V_{MODE} = 0\text{ V}$ （自动模式）、 $T_A = -40^\circ\text{C}$ 至 $+85^\circ\text{C}$ ，电路为图 1。典型值的测得条件是 $T_A = 25^\circ\text{C}$ 、 $V_{IN} = V_{EN} = 3.6\text{ V}$ ，若没有其它说明。

符号	参数	工作条件	最小值	典型值	最大值	单位	
电源							
I _Q	静态电流	无负载，不进行开关		24	50	μA	
		PWM 模式		8		mA	
I _(SD)	停机电源电流	EN = GND, V _{IN} = 3.6 V		0.25	1.00	μA	
V _{UVLO}	欠压闭锁阈值	V _{IN} 上升		2.15	2.27	V	
V _{UVHYST}	欠压锁定滞环宽度			200		mV	
逻辑输入：EN 和 MODE 引脚							
V _{IH}	启用高电平输入电压		1.2			V	
V _{IL}	启用低电平输入电压				0.4	V	
V _{LHYST}	逻辑输入滞回电压			100		mV	
I _{IN}	启用输入漏电流	引脚至 V _{IN} 或 GND		0.01	1.00	μA	
开关和同步							
f _{SW}	开关频率 ⁽⁴⁾	V _{IN} = 3.6 V、T _A = 25°C、 PWM 模式、I _{LOAD} = 10 mA	5.4	6.0	6.6	MHz	
f _{SYNC}	模式同步范围 ⁽⁴⁾	MODE 输入时的方波	1.3	1.5	1.7	MHz	
调节							
V _O	输出电压精度	1.000 V	I _{负载} = 0 至 600 mA	0.953	1.000	1.048	V
			PWM 模式	0.967	1.000	1.034	
		1.35 V	I _{负载} = 0 至 1 A	1.298	1.350	1.402	
			PWM 模式	1.309	1.350	1.391	
		1.233 V	I _{负载} = 0 至 1 A	1.185	1.233	1.281	
			PWM 模式	1.192	1.233	1.274	
		1.820 V	I _{负载} = 0 至 600 mA	1.755	1.820	1.885	
			PWM 模式	1.781	1.820	1.859	
		1.100 V	I _{负载} = 0 至 1 A	1.054	1.100	1.147	
			PWM 模式	1.061	1.100	1.140	
		1.300 V	I _{负载} = 0 至 1 A	1.250	1.300	1.350	
			PWM 模式	1.259	1.300	1.341	
		1.150 V	I _{负载} = 0 至 1 A	1.104	1.150	1.196	
			PWM 模式	1.110	1.150	1.190	
		1.050 V	I _{负载} = 0 至 600 mA	1.003	1.050	1.097	
			PWM 模式	1.016	1.050	1.084	
		2.050 V	I _{负载} = 0 至 1 A、V _{IN} = 2.7 V 至 5.5 V	1.973	2.050	2.127	
			PWM 模式, V _{IN} = 2.7 V 至 5.5 V	2.004	2.050	2.096	
		1.200 V	I _{负载} = 0 至 1 A	1.152	1.200	1.248	
			PWM 模式	1.160	1.200	1.240	
		1.800 V	I _{负载} = 0 至 1 A	1.732	1.800	1.868	
			PWM 模式	1.756	1.800	1.844	
t _{SS}	软启动	V _{IN} = 4.5 V, 来自 EN 上升沿		180	300	μs	

电气特性（续）

测得最大值和最小值的条件为 $V_{IN} = V_{EN} = 2.3\text{ V}$ 至 5.5 V 、 $V_{MODE} = 0\text{ V}$ （自动模式）、 $T_A = -40^\circ\text{C}$ 至 $+85^\circ\text{C}$ ，电路为图 1。典型值的测得条件为 $T_A = 25^\circ\text{C}$ 、 $V_{IN} = V_{EN} = 3.6\text{ V}$ ，若没有其它说明。

符号	参数	工作条件	最小值	典型值	最大值	单位
输出驱动器						
$R_{DS(on)}$	PMOS 导通电阻	$V_{IN} = V_{GS} = 3.6\text{ V}$		175		$\text{m}\Omega$
	NMOS 导通电阻	$V_{IN} = V_{GS} = 3.6\text{ V}$		165		$\text{m}\Omega$
$I_{LIM(OL)}$	PMOS 峰值限流	FAN53601 开环， $V_{IN} = 3.6\text{ V}$ 、 $T_A = 25^\circ\text{C}$	900	1100	1250	mA
		FAN53611 开环， $V_{IN} = 3.6\text{ V}$ 、 $T_A = 25^\circ\text{C}$	1500	1750	2000	mA
R_{DIS}	输出放电电阻	$EN = \text{GND}$		230		Ω
T_{TSD}	热关断			150		$^\circ\text{C}$
T_{HYS}	热关闭滞环宽度			15		$^\circ\text{C}$

注意：

- 受最小 t_{OFF} 的限制（请参见操作说明部分）。
- 电气特性表所示为开环数据。参考操作说明和典型特性章节，可了解闭环的相关数据。

典型性能特征

否则 $V_{IN} = V_{EN} = 3.6\text{ V}$, $V_{MODE} = 0\text{ V}$ (AUTO 模式), $V_{OUT} = 1.82\text{ V}$, 且 $T_A = 25^\circ\text{C}$, 除非另有说明。

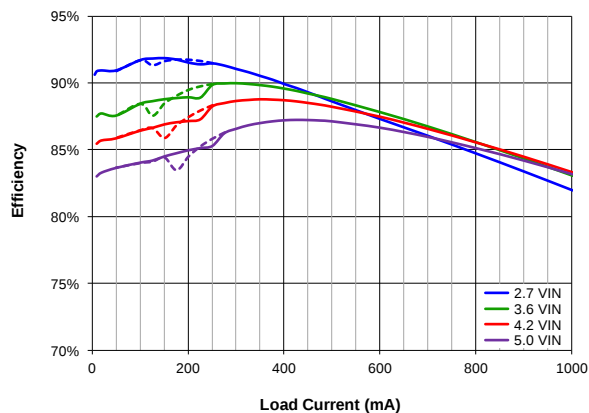


图 4. 效率与负载电流和输入电压的关系, 自动模式, 点线表示负载减小

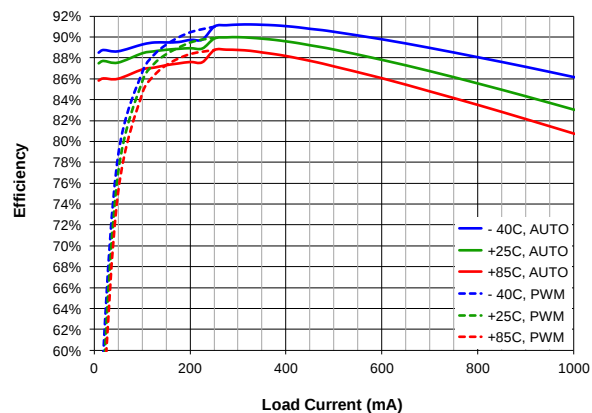


图 5. 效率与负载电流和温度的关系, 自动模式, 点线表示 FPWM

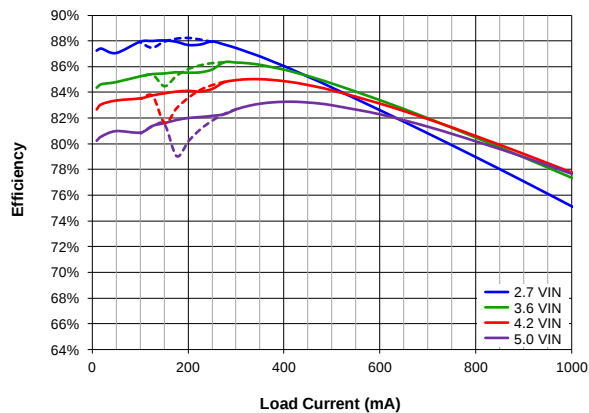


图 6. 效率与负载电流和输入电压的关系, $V_{OUT} = 1.23\text{ V}$, 自动模式, 点线表示负载减小

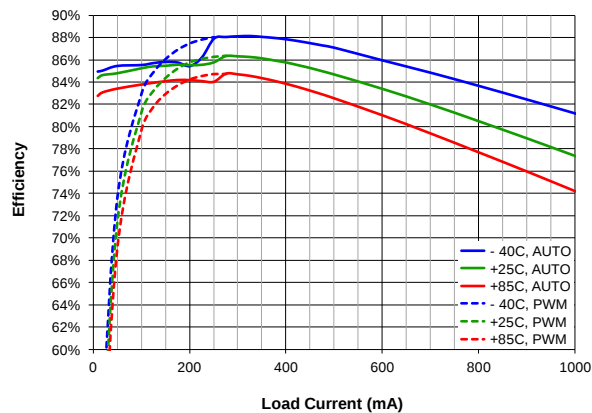


图 7. 效率与负载电流和温度的关系, $V_{OUT} = 1.23\text{ V}$, 自动模式, 点线表示 FPWM

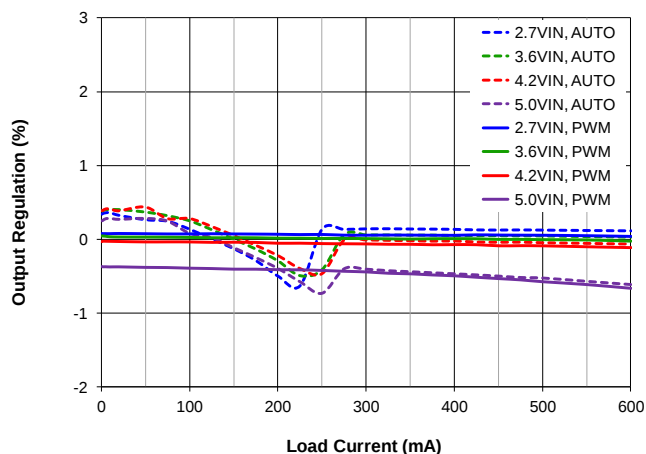


图 8. 输出调节与负载电流的关系, $V_{OUT} = 1.00\text{ V}$, 点线表示自动模式

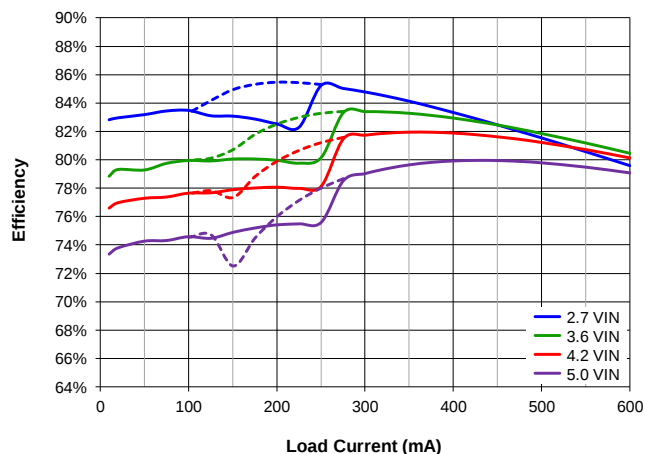


图 9. 效率与负载电流的关系, $V_{OUT} = 1.00\text{ V}$, 点线表示负载减小

典型性能特征 (接上页)

否则 $V_{IN} = V_{EN} = 3.6\text{ V}$, $V_{MODE} = 0\text{ V}$ (AUTO 模式), $V_{OUT} = 1.82\text{ V}$, 且 $T_A = 25^\circ\text{C}$, 除非另有说明。

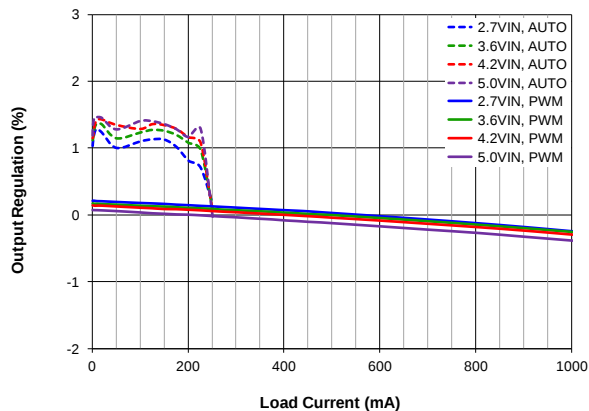


图 10. ΔV_{OUT} (%) 与负载电流和输入电压的关系, 标准化为 3.6 V_{IN} 、 500 mA 负载, FPWM, 点线表示自动模式

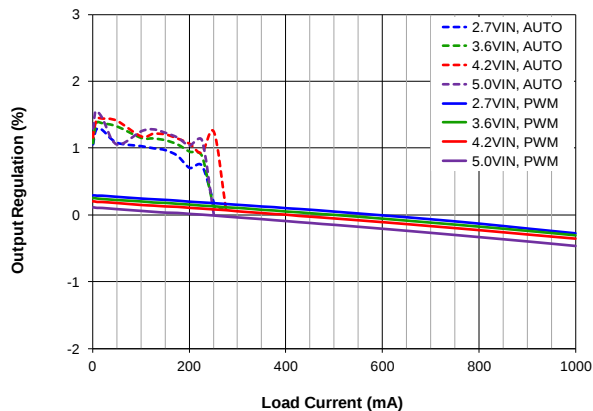


图 11. ΔV_{OUT} (%) 与负载电流和输入电压的关系, $V_{OUT} = 1.23\text{ V}$, 标准化为 3.6 V_{IN} , 500 mA 负载, FPWM, 点线表示自动模式

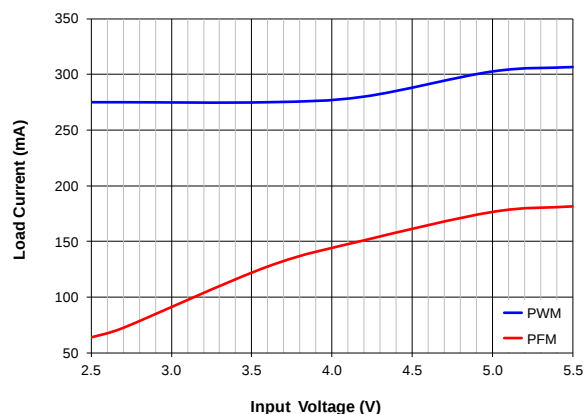


图 12. PFM/PWM 边界与输入电压的关系

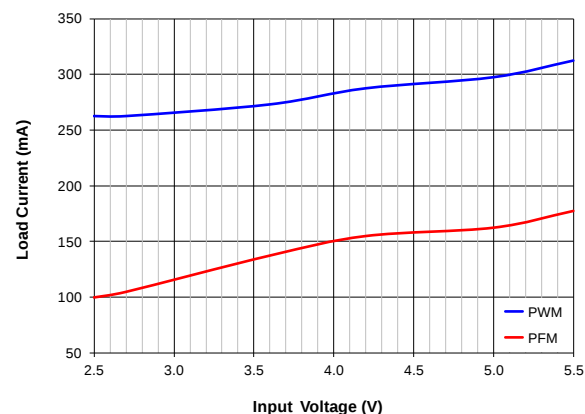


图 13. PFM/ PWM 边界与输入电压的关系, $V_{OUT} = 1.23\text{ V}$

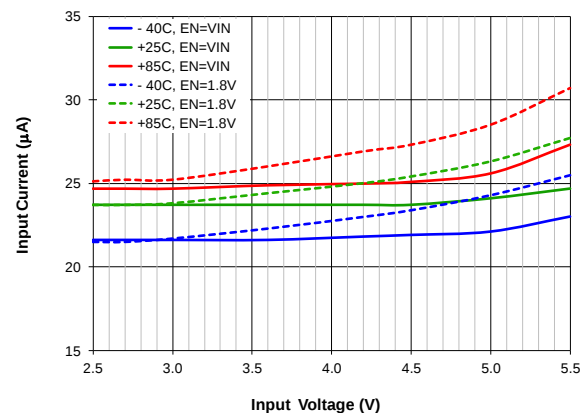


图 14. 静态电流与输入电压和温度的关系, 自动模式; $EN = V_{IN}$ 实线, 点线表示 $EN = 1.8\text{ V}$ (-40°C 、 $+25^\circ\text{C}$ 、 $+85^\circ\text{C}$)

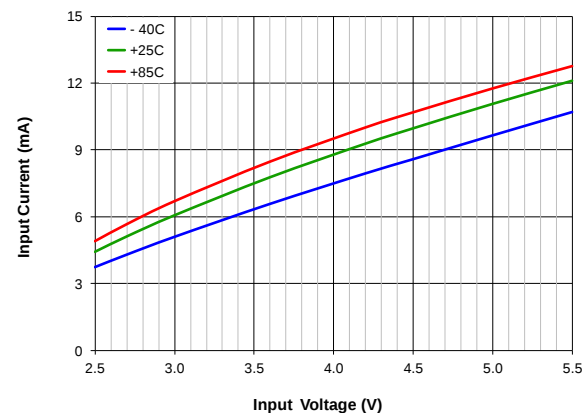


图 15. 静态电流与输入电压和温度的关系, 模式 = $EN = V_{IN}$ (FPWM)

典型性能特征 (接上页)

否则 $V_{IN} = V_{EN} = 3.6\text{ V}$, $V_{MODE} = 0\text{ V}$ (AUTO 模式), $V_{OUT} = 1.82\text{ V}$, 且 $T_A = 25^\circ\text{C}$, 除非另有说明。

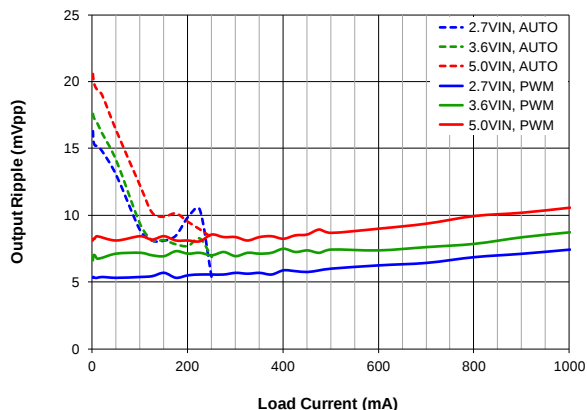


图 16. 输出纹波与负载电流和输入电压的关系, FPWM, 点线表示自动模式

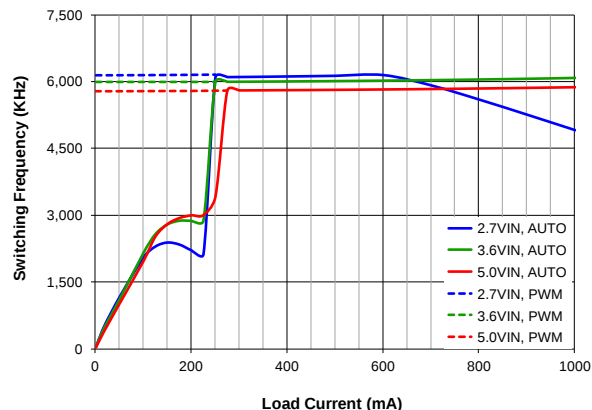


图 17. 频率与负载电流和输入电压的关系, 自动模式, 点线表示 FPWM

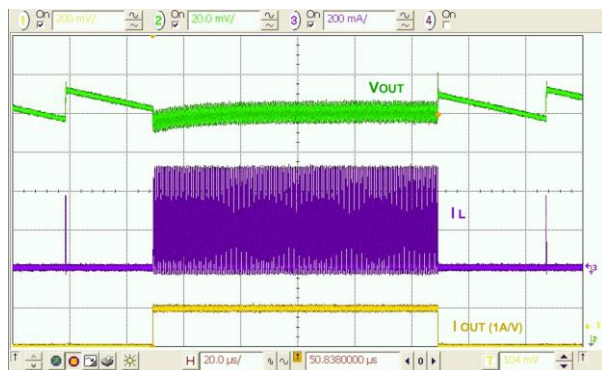


图 18. 负载瞬态, 10-200-10 mA, 100 ns 边沿

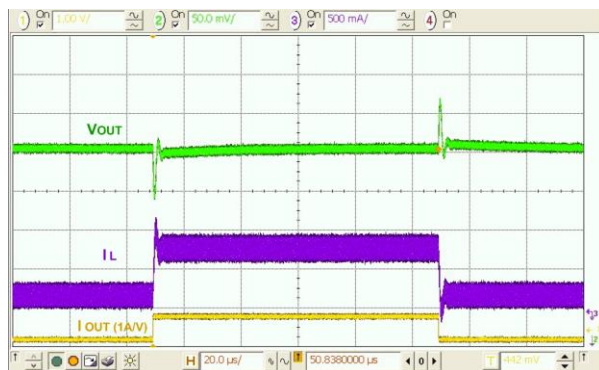


图 19. 负载瞬态, 200-800-200 mA, 100 ns 边沿

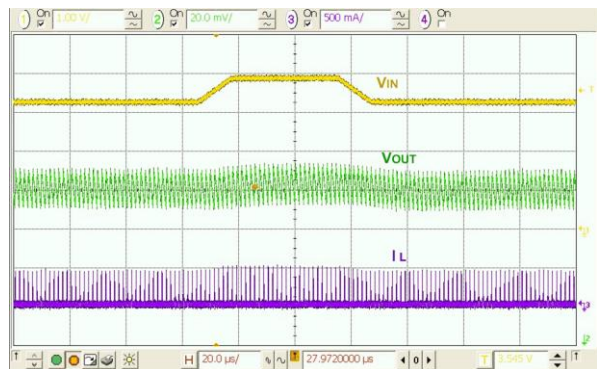


图 20. 线路瞬变, 3.3-3.9-3.3 V_{IN} , 10 μs 边沿, 36 mA 负载

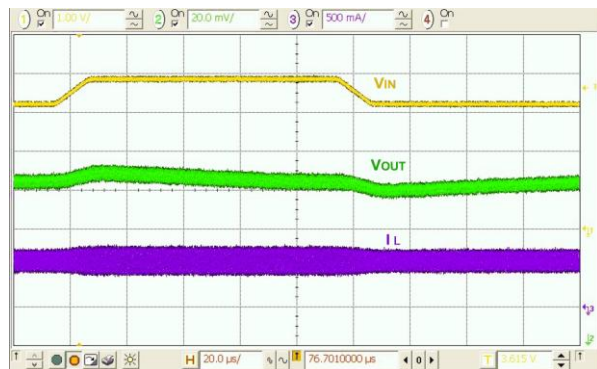


图 21. 线路瞬变, 3.3-3.9-3.3 V_{IN} , 10 μs 边沿, 600 mA 负载

典型性能特征 (接上页)

否则 $V_{IN} = V_{EN} = 3.6\text{ V}$, $V_{MODE} = 0\text{ V}$ (AUTO 模式), $V_{OUT} = 1.82\text{ V}$, 且 $T_A = 25^\circ\text{C}$, 除非另有说明。

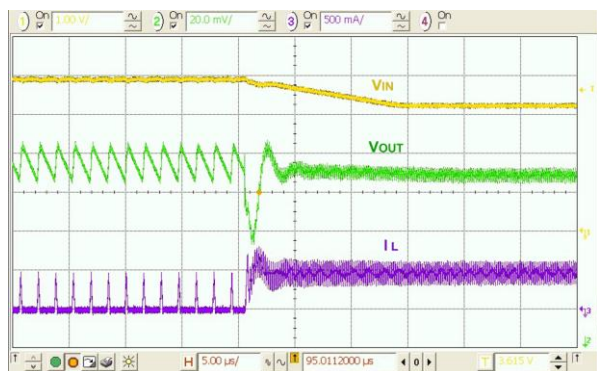


图 22. 组合线路/负载瞬态, $3.9\text{--}3.3\text{ V}_{IN}$, $10\text{ }\mu\text{s}$ 边沿, $36\text{--}400\text{ mA}$ 负载, 100 ns 边沿

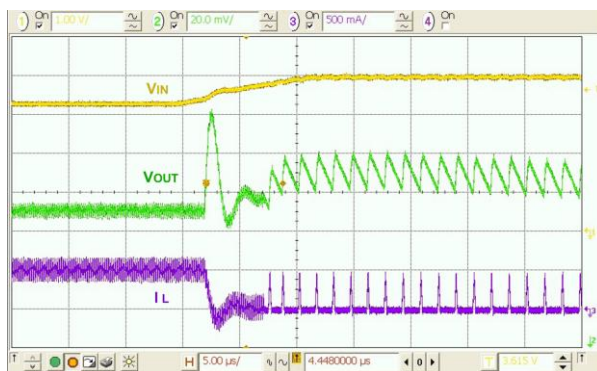


图 23. 组合线路/负载瞬态, $3.3\text{--}3.9\text{ V}_{IN}$, $10\text{ }\mu\text{s}$ 边沿, $400\text{--}36\text{ mA}$ 负载, 100 ns 边沿

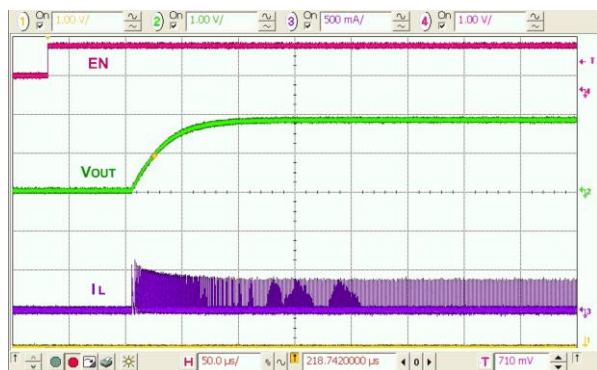


图 24. 启动, $50\text{ }\Omega$ 负载

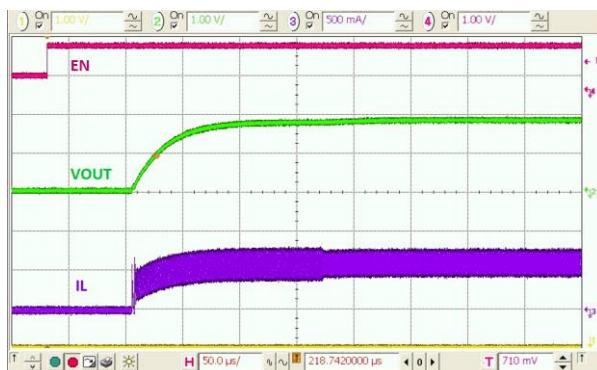


图 25. 启动, $3\text{ }\Omega$ 负载



图 26. 关断, $10\text{ k}\Omega$ 负载, 无输出放电



图 27. 关断, 无负载, 输出放电已启用

典型性能特征 (接上页)

否则 $V_{IN} = V_{EN} = 3.6\text{ V}$, $V_{MODE} = 0\text{ V}$ (AUTO 模式), $V_{OUT} = 1.82\text{ V}$, 且 $T_A = 25^\circ\text{C}$, 除非另有说明。

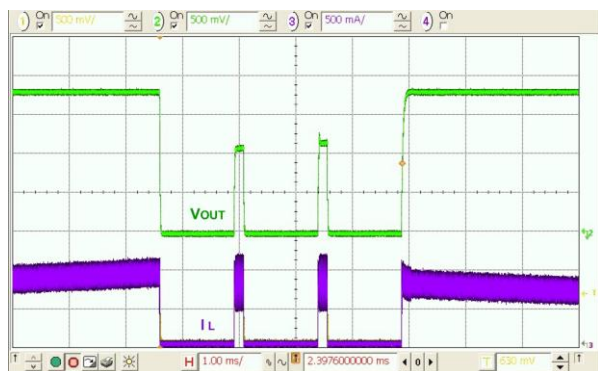


图 28. 过流, 负载增加过去电流限制, FAN53601

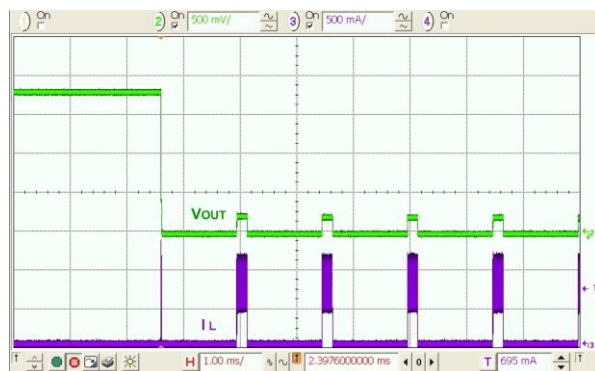


图 29. 250 mΩ 故障, 快速故障, 暂停, FAN53601

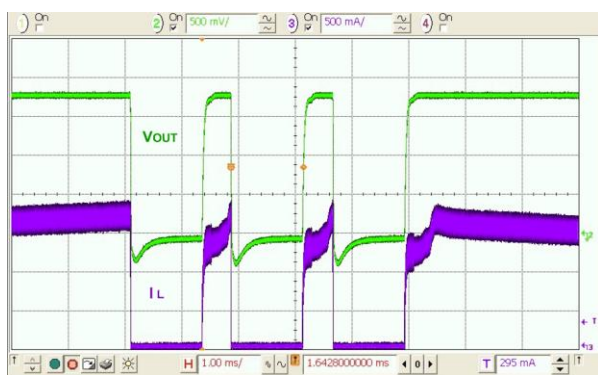


图 30. 过流, 负载增加过去电流限制, FAN53611

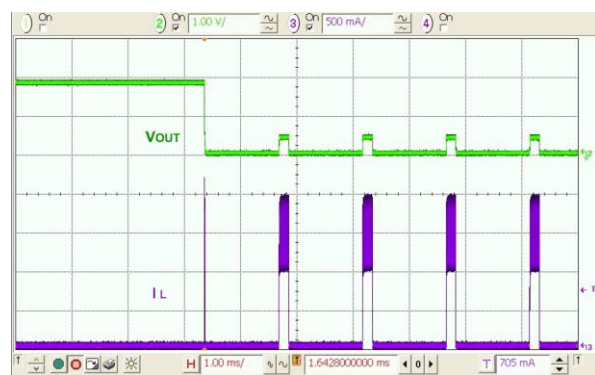


图 31. 250 mΩ 故障, 快速故障, 暂停, FAN53611

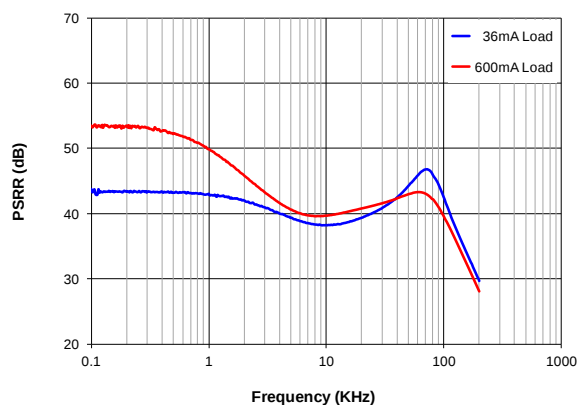


图 32. PSRR, 50 Ω 和 3 Ω 负载

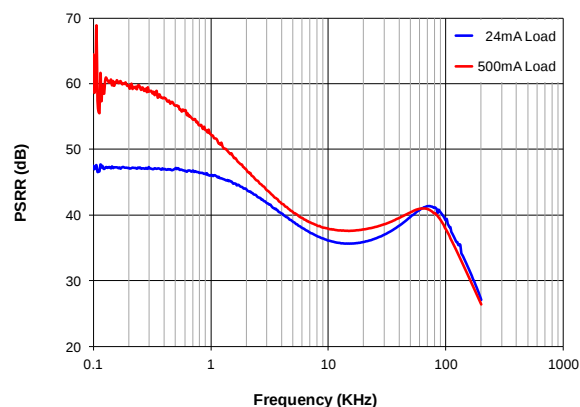


图 33. PSRR, 50 Ω 和 3 Ω 负载, $V_{OUT} = 1.23\text{ V}$

工作说明

FAN53601/11 是一种 6 MHz 降压开关电压调节器，有 600 mA 或 1 A 选项，从 2.3 V 到 5.5 V 的输入电压提供固定输出。FAN53601/11 将专有架构与同步整流结合在一起，能够提供 92% 的峰值效率，同时在负载电流低至 1 mA 时能够保持 80% 以上的效率。

该调节器以 6 MHz 的标称固定频率运行，可将外部组件的输出电感值降至 470 nH，并将输出电容值降至 4.7 μ F。此外，PWM 调制解调器可与外部频率源保持同步。

控制模式

FAN53601/11 使用专有的非线性、固定频率 PWM 调制器，实现快速负载瞬态响应，同时在较宽的操作条件下保持恒定的开关频率。稳压器性能独立于输出电容 ESR，可使用陶瓷输出电容。尽管这类操作通常会导致开关频率随输入电压和负载电流发生变化，但内部频率环可在较大的输入电压和负载电流范围内保持开关频率的稳定。

若为极轻载情况，FAN53601/11 在断续电流 (DCM) 单脉冲 PFM 模式下运行，与其他 PFM 结构相比，可产生较低的输出纹波。PWM 与 PFM 之间的过渡是无缝的，允许在 DCM 与 CCM 之间平滑过渡。

结合卓越的瞬态响应特性，控制器在负载极小，极低静态电流下仍可保持高效，在对输出调节严格要求的应用中保持快速的瞬态响应。

启用和软启动

当 EN 处于低电平时，所有电路关闭，而且 IC 消耗的电流为 ~250 nA。当 EN 处于高电平且 V_{IN} 超过其 UVLO 阈值时，调节器开始软启动循环。软启动过程中的输出斜坡为 0 至 1 V_{OUT} 的 50 mV/ μ s 固定压摆率，然后是 12.5 mV/ μ s，直至输出达到其设置点。无论 MODE 引脚的状态如何，如果 C_{OUT} 带电时开始软启动，则 PFM 模式就会使能，以防止电流从 C_{OUT} 放电。

此外，所有电压选项都可订购以下功能：当 EN 处于低电平时，可通过 230 Ω 路径使 FB 主动放电接地。EN 升过其阈值电压可激活该部件并开始软启动循环。软启动期间，使用指数 RC 波形改变内部参考电压，防止输出电压过冲。电流限值可将软启动期间的冲击电流降到最低。

因为有电流限值错误响应，该响应是用来保护 IC 在软启动期间免受过大电流冲击。因此，如果在启动期间负载过大，和/或使用过高的 C_{OUT} ，则 IC 无法启动。

软启动期间用来对 C_{OUT} 充电的电流通常称之为“位移电流”，计算式如下：

$$I_{DISP} = C_{OUT} \cdot \frac{dV}{dt} \quad (1)$$

式中 $\frac{dV}{dt}$ 指软启动转压摆率。

为防止软启动期间关断，必须满足下列条件：

$$I_{DISP} + I_{LOAD} < I_{MAX(DC)} \quad (2)$$

式中 $I_{MAX(DC)}$ 为 IC 可支持的最大负载电流。

启动进入大 C_{OUT}

如果 C_{OUT} 大于 15 μ ，则空载启动需要多个软启动循环。大 C_{OUT} 需要轻初始负载，以确保 FAN53601/11 正确启动。如果 I_{DISP} 超过 I_{LIMIT} 达限流的 200 μ s 以上，则 IC 将关闭 1.3 ms。然后，IC 开始进行新的软启动循环。由于 C_{OUT} 在 IC 关闭时保留了电荷，IC 会在多次软启动尝试之后达到标准。

MODE 引脚

此引脚上的逻辑 1 强制 IC 保持在 PWM 模式下。逻辑 0 允许芯片在轻载状态时自动切换至 PFM。如果 MODE 引脚可以在 1.3 MHz 与 1.7 MHz 的频率之间进行切换，则转换器可将其开关频率同步至 MODE 引脚频率的四倍。

MODE 引脚的内部缓存通过施密特触发实现，允许 MODE 引脚以较慢的上升和下降时间驱动。只要低于 $V_{IL(MAX)}$ 或高于 $V_{IH(MAX)}$ 的最小时间为 100 ns，还允许频率同步的非对称占空比。

电流限制、故障关断和启动

输出电路中的大负载或短路会导致电感中的电流增大，直至达到高端开关的最大电流阈值。达到该值后，高端开关关闭，以避免因电流过大造成损坏。稳压器继续逐周期限流。在电流限制 16 个周期后，稳压器触发过流故障，导致稳压器在尝试重启前关闭大约 1.3 ms。

如果故障是由短路引起的，则软启动电路将尝试重启，并在约 200 μ s 后产生过流故障，导致占空比低于 15%，从而限制功耗。

在电气特性表中，闭环峰值电流限值与开环测试电流限值 $I_{LIM(OL)}$ 不同。这主要是由于 IC 电流限制比较器的传输延迟造成的。

欠压锁定 (UVLO)

EN 处于高电平时，欠压锁定令部件无法运行，直至电源电压升高到足以正常运行的水平。从而保证稳压器在启动或关机期间避免出现误操作。

热关断 (TSD)

由于负载过大和/或环境温度过高造成裸片温度升高时，输出开关电路将禁用，直至裸片温度充分降低后方可启用。结温即启动热关断的温度通常为 150°C，滞环为 15°C。

最小关断时间对开关频率的影响

$t_{OFF(MIN)}$ 为 40 ns。这使得 FAN53601/11 可提供的最大值 $\frac{V_{OUT}}{V_{IN}}$ 受到限制 or the maximum output voltage it can provide at low V_{IN} 同时在 PWM 模式下保持固定开关频率。

When V_{IN} is LOW, fixed switching is maintained as long as:

$$\frac{V_{OUT}}{V_{IN}} \leq 1 - t_{OFF(MIN)} \cdot f_{SW} \approx 0.7.$$

若稳压器无法在 6 MHz 时提供足够大的占空比来进行调节，则开关频率将跌落。在高负载电流条件下，如果 V_{OUT} 为 1.82 V，且 V_{IN} 低于 2.7 V，就会发生这种情况（参见图 34）。

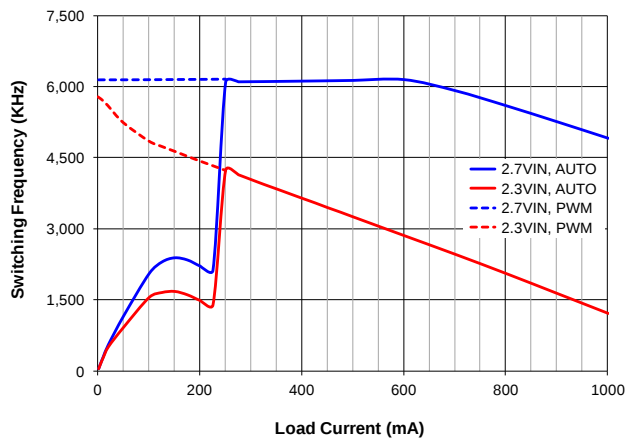


图 34. 频率与负载电流的关系，以证实 $t_{OFF(MIN)}$ 效应、 $V_{IN} = 2.3\text{ V}$ 和 2.7 V 、 $V_{OUT} = 1.82\text{ V}$ ，自动模式，点线表示 FPWM

开关频率的计算式如下：

$$f_{SW} = \min\left(\frac{1}{t_{SW(MAX)}}, 6\text{MHz}\right) \quad (3)$$

其中：

$$t_{SW(MAX)} = 40\text{ns} \cdot \left(1 + \frac{V_{OUT} + I_{OUT} \cdot R_{OFF}}{V_{IN} - I_{OUT} \cdot R_{ON} - V_{OUT}}\right) \quad (4)$$

其中：

$$R_{OFF} = R_{DS(ON)_N} + DCR_L$$

$$R_{ON} = R_{DS(ON)_P} + DCR_L$$

应用信息

选择电感

输出电感器必须能提供所需的电感和应用所需的能量处理能力。电感值将影响到电流限值的平均值，PWM-至-PFM 转换点，输出电压纹波以及效率。

稳压器的纹波电流 (ΔI) 为：

$$\Delta I \approx \frac{V_{OUT}}{V_{IN}} \cdot \left(\frac{V_{IN} - V_{OUT}}{L \cdot f_{SW}} \right) \quad (5)$$

最大平均负载电流 $I_{MAX(LOAD)}$ 取决于峰值限流 $I_{LIM(PK)}$ 和纹波电流，如下所示：

$$I_{MAX(LOAD)} = I_{LIM(PK)} - \frac{\Delta I}{2} \quad (6)$$

PFM 和 PWM 运行取决于电感谷底电流的过零点。当电感电流过零时的稳压器 DC 电流 I_{DCM} 是：

$$I_{DCM} = \frac{\Delta I}{2} \quad (7)$$

优化的 FAN53601/11 以 $L = 470 \text{ nH}$ 运行，但在电感高达 $1 \mu\text{H}$ （标称值）时可保持稳定。电感应保持其峰值 $I_{LIM(PK)}$ 的 80%。

电感 DCR 和电感值对效率会产生影响。降低特定尺寸的电感值通常会缩小 DCR；但由于 ΔI 增大，且 RMS 电流增大，核心和集肤效应损耗也将增大。

$$I_{RMS} = \sqrt{I_{OUT(DC)}^2 + \frac{\Delta I^2}{12}} \quad (8)$$

增大的 RMS 电流通过 IC MOSFET 的 $R_{DS(ON)}$ 以及电感器 DCR 将增加损耗。

增大电感值可降低 RMS 电流，但会影响瞬态响应。对于一定尺寸的电感器，若提高电感则将其饱和电流降低，DCR 增大。

表 1 显示电感高于或低于 $1 \mu\text{H}$ 推荐值对调节器性能的影响。

输出电容

表 2 建议 0402 电容器。0603 电容器可以进一步提高性能，原因是有效电容变大。这会改善瞬态响应和输出纹波。

提高 C_{OUT} 不影响环路稳定性，且能够降低输出电压纹波或提高瞬态响应。输出电压纹波 ΔV_{OUT} 为：

$$\Delta V_{OUT} = \Delta I_L \left[\frac{f_{SW} \cdot C_{OUT} \cdot ESR^2}{2 \cdot D \cdot (1-D)} + \frac{1}{8 \cdot f_{SW} \cdot C_{OUT}} \right] \quad (9)$$

输入电容

$2.2 \mu\text{F}$ 陶瓷输入电容器应尽可能靠近 V_{IN} 引脚和 GND 放置，从而将寄生电感降到最低。如果用来给 IC 供电的线路较长，则应在 C_{IN} 和电源引脚之间添加一个大容量电容（电解电容或钽电容），从而降低电感和电容引脚和 C_{IN} 之间的振荡。

由于直流偏压效应，当 V_{IN} 增大时，有效电容值减小。

表 1. 电感值变化（从推荐值 470 nH 开始变化）对稳压器性能的影响

电感器值	$I_{MAX(LOAD)}$	ΔV_{OUT}	瞬态响应
增大	增大	减小	降低
减小	减小	增大	提高

表 2. 推荐的被动元件以及由直流偏压引起的变化

元件	说明	厂商	最小值	典型值	最大值
L1	470 nH, 2012,90 mΩ, 1.1 A	Murata LQM21PNR47MC0 Murata LQM21PNR54MG0 Hitachi Metals HLSI 201210R47	300 nH	470 nH	520 nH
C_{IN}	2.2 μF , 6.3 V, X5R, 0402	Murata 或等效的 GRM155R60J225ME15 GRM188R60J225KE19D	1.0 μF	2.2 μF	
C_{OUT}	4.7 μF , X5R, 0402	Murata 或等效的 GRM155R60G475M GRM155R60E475ME760	1.6 μF	4.7 μF	

PCB 布局指南

仅三个外部组件：电感器和输入/输出电容器。对于包括 FAN53601/11 在内的任何降压开关 IC，须将低 ESR 的输入电容靠近 IC 放置，如图 35 所示。输入电容可确保实现输入去耦，从而降低输出端的噪声，并确保 IC 的控制部分不会因过

多的噪声出现错误。可降低开关循环抖动，并确保良好的总体特性。将 C_{IN} 和 C_{OUT} 的公用 GND 尽可能靠近 C2 端子放置很重要。电感的放置有一定灵活性，可位于距离 IC 较远的地方，此时 V_{OUT} 应放在 C_{OUT} 端子附近。

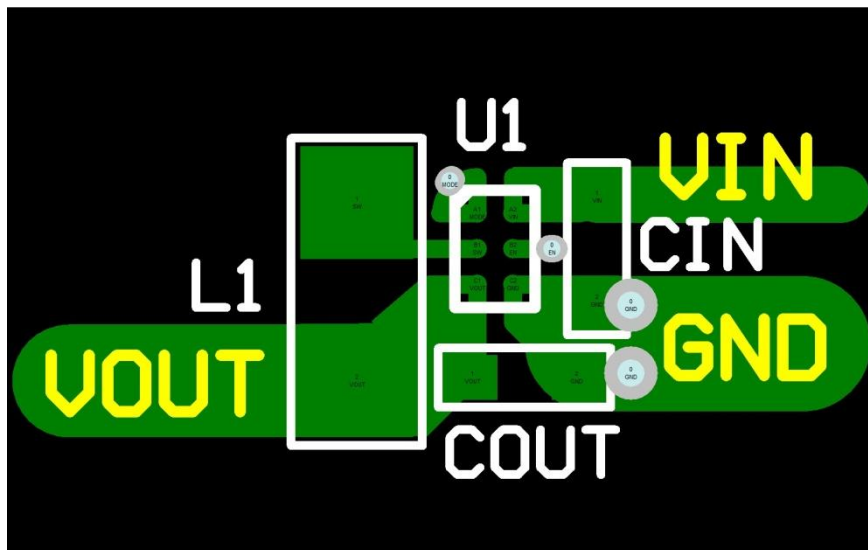
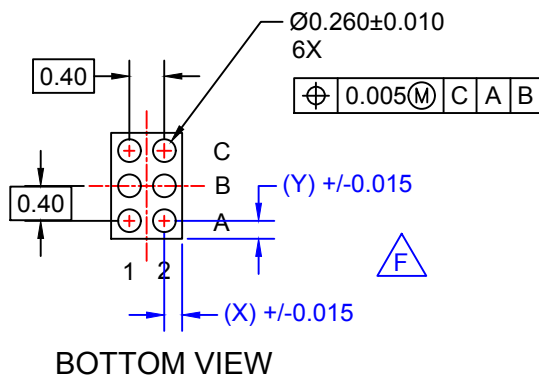
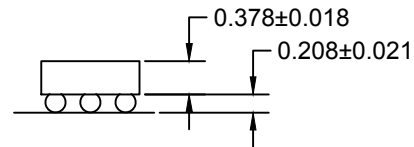
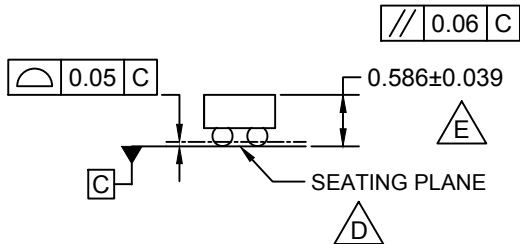
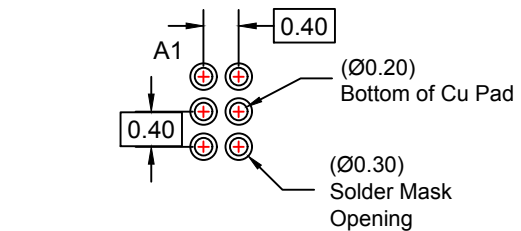
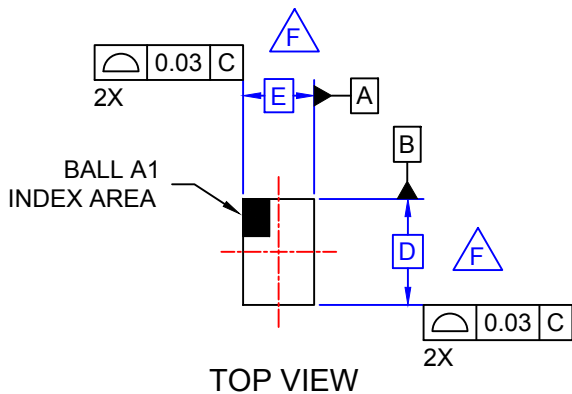


图 35. PCB 布局指南

以下信息适用于下页上的 WLCSP 封装尺寸：

产品规格尺寸

D	E	X	Y
1.160 ±0.030	0.860 ±0.030	0.230	0.180



NOTES:

A. NO JEDEC REGISTRATION APPLIES.

B. DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS.

C. DIMENSIONS AND TOLERANCES PER ASMEY14.5M, 2009.

D. DATUM C, THE SEATING PLANE IS DEFINED BY THE SPHERICAL CROWNS OF THE BALLS.

E. PACKAGE TYPICAL HEIGHT IS 586 MICRONS ±39 MICRONS (547-625 MICRONS).

F. FOR DIMENSIONS D, E, X, AND Y, SEE PRODUCT DATASHEET.

G. DRAWING FILENAME: MKT-UC006ACrev6.