

5W AutoResonant 无线功率发送器

特点

- 单片式 5W 无线功率发送器
- AutoResonant™ 开关频率可针对谐振电容和发送线圈电感进行自适应调节*
- 发送功率可根据接收器负载自动地调节*
- 输入电压范围：3V 至 5.5V
- 集成型 100mΩ 全桥开关
- 多种异物检测方法
- 可编程平均输入电流限值和监视器
- 用于系统 / 组件适宜温度功率传输的 NTC 输入
- 宽工作开关频率范围：50kHz 至 250kHz
- 耐热性能增强型 4mm x 5mm QFN 20 引脚封装

应用

- 密封和 / 或电气绝缘设备
- 军用传感器和设备
- 医疗设备
- 工业手持式设备

描述

LTC®4125 是一款简单和高性能的单片式全桥谐振驱动器，其能够把超过 5W 的功率以无线的方式输送至一个正确调谐的接收器。该器件可控制流入串接式发送线圈 LC 网络中的电流，以设计一种简单、安全和多用途的无线功率发送器。

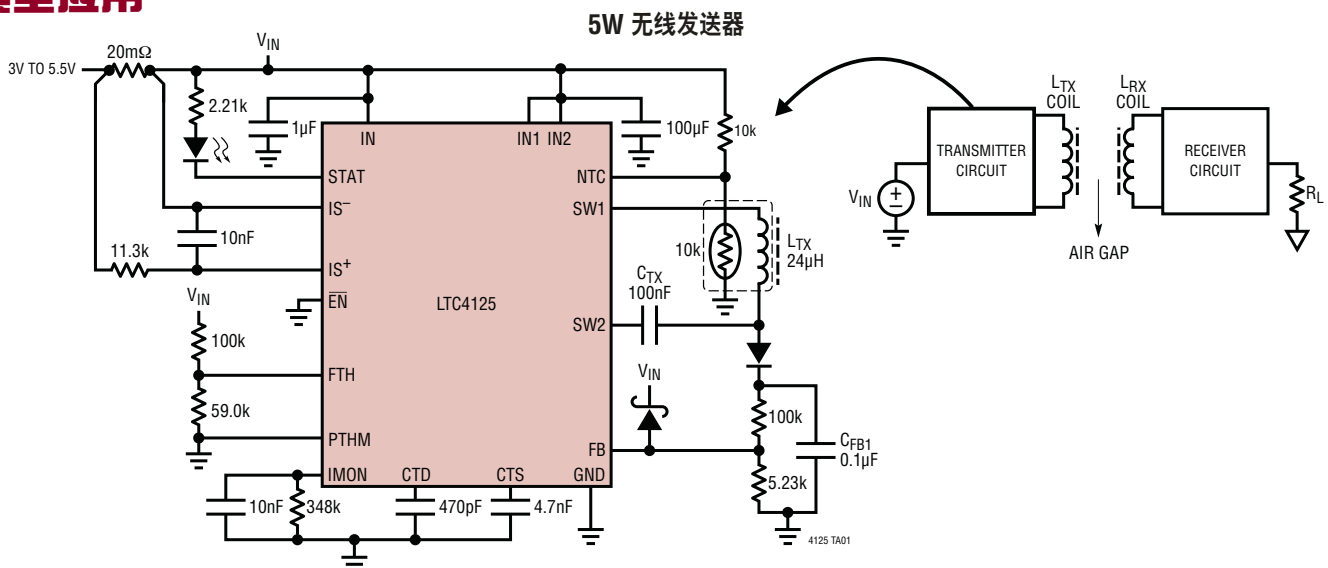
LTC4125 可自动地调节其驱动频率以与 LC 网络谐振频率相匹配。这种 AutoResonant 开关切换使得器件能够采用一个低电压输入电源 (3V 至 5.5V) 把最大的功率输送至一个调谐式接收器。为优化系统效率，LTC4125 采用了一种周期性的发送功率搜索，并根据接收器负载要求来调节传输功率。该器件在故障情况下或检测到某种异物时停止输送功率。

另外，LTC4125 还包括一个可编程最大平均输入电流限值和一个 NTC 输入以作为一种用于提供异物和过载保护的附加方法。LTC4125 采用 20 引脚扁平 (0.75mm) 4mm x 5mm QFN 封装。

LT、LT-、LTC、LTM、Linear Technology 和 Linear 标识是凌力尔特公司的注册商标。AutoResonant 是凌力尔特公司的商标。所有其他商标均为其各自拥有者的产权。受包括第 9041254 号美国专利的保护。

* AutoResonant 和自动负载检测功能采用了正待专利审议的电路和算法。

典型应用

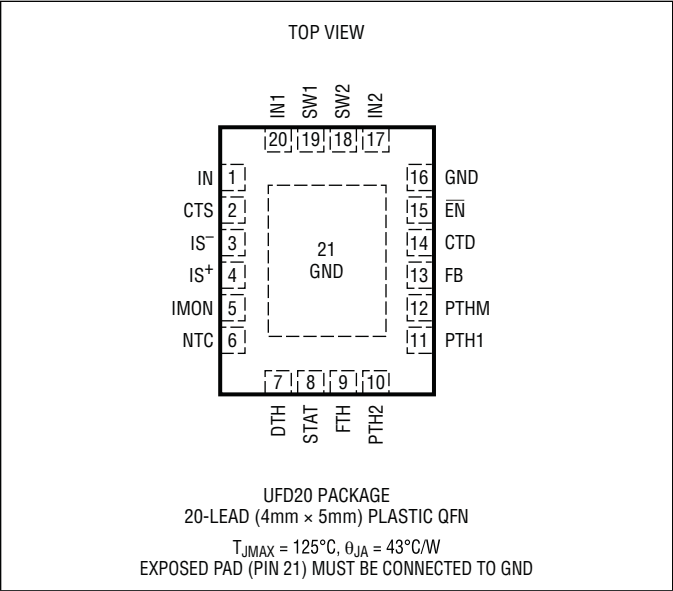


绝对最大额定值

(注 1)

IN, IS ⁻ , CTD	−0.3V 至 6V
IN1, IN2, IS ⁺	−0.3V 至 V _{IN} + 0.3V
DTH, FTH, PTHM, FB	−0.3V 至 V _{IN} + 0.3V
NTC, $\overline{\text{EN}}$, PTH1, PTH2, CTS ...	−0.3V 至 V _{IN} + 0.3V
IMON	−0.3V 至 MIN(V _{IN} , V _{IS⁺} , V _{IS⁻}) + 0.3V
STAT	−0.3V 至 V _{IN} + 0.3V
STAT	−1mA 至 2mA
工作结温范围 (注 2)	−40°C 至 125°C
贮存温度范围	−65°C 至 150°C

引脚配置



订购信息

无铅涂层	卷带	器件标记	封装描述	温度范围
LTC4125EUFD#PBF	LTC4125EUFD#TRPBF	4125	20 引脚 (4mm x 5mm) 塑料 QFN	−40°C 至 125°C
LTC4125IUFD#PBF	LTC4125IUFD#TRPBF	4125	20 引脚 (4mm x 5mm) 塑料 QFN	−40°C 至 125°C

对于规定工作温度范围更宽的器件，请咨询凌力尔特公司。

如需了解更多有关无铅器件标记的信息，请登录：<http://www.linear.com.cn/leadfree/>

如需了解更多有关卷带规格的信息，请登录：<http://www.linear.com.cn/tapeandree/>。有些封装可通过指定的销售渠道以 500 片的卷盘形式供货 (具有 #TRMPBF 后缀)。

电气特性

凡标注 ● 表示该指标适合规定的工作结温范围，否则仅指 $T_A = 25^\circ\text{C}$ 。 $V_{IN} = V_{IN1} = V_{IN2} = 5\text{V}$ ，除非特别注明
(注 2、3)。

符号	参数	条件		最小值	典型值	最大值	单位
	输入电源工作范围	$V_{IN} = V_{IN1} = V_{IN2}$	●	3		5.5	V
	输入电源静态电流 在 IN 引脚 在 IN1、IN2 引脚	SW1 和 SW2 开路 $\overline{EN} = 5\text{V}$			1 50	2 150	mA μA
使能引脚							
	$\overline{EN}$ 漏电流	$V_{\overline{EN}} = 5\text{V}$	●	0.2	0.5	1.2	μA
	$\overline{EN}$ 下降门限	$V_{\overline{EN}}$ 下降			1.20		V
	$\overline{EN}$ 迟滞				16		mV
搜索延迟振荡器引脚							
$I_{CTS,PU}$	CTS 上拉电流	$V_{CTS} = 0\text{V}$			-10		μA
$I_{CTS,PD}$	CTS 下拉电流	$V_{CTS} = 2\text{V}$			10		μA
	CTS 引脚频率	$C_{CTS} = 4.7\text{nF}$		1.0	1.7	2.4	kHz
	用于 AutoResonant Disable 的 CTS 门限		●	1.8	2.3	2.8	V
$I_{CTD,PU}$	CTD 上拉电流	$V_{CTD} = 0\text{V}$			-10		μA
$I_{CTD,PD}$	CTD 下拉电流	$V_{CTD} = 2\text{V}$			10		μA
	CTD 引脚频率	$C_{CTD} = 470\text{pF}$		10	17	24	kHz
谐振驱动器和脉宽调制器							
	工作频率范围			50		250	kHz
$R_{A,B,C,D}$	导通电阻	MOSFET A、B、C 和 D (方框图)			150		$\text{m}\Omega$
	开关引脚最小导通时间	SW1, SW2			150		ns
	用于开关操作的最小 PTH 电压				35		mV
	归一化到 LC 固有频率 (f_n) 的 PTH 电压至脉宽增益	SW1 导通时间 $\cdot f_n / \Delta V_{PTH1}$, SW2 导通时间 $\cdot f_n / \Delta V_{PTH2}$			0.24		V^{-1}
	过驱动时的 PTH 上拉电流	$V_{PTH1} = V_{PTH2} = 0\text{V}$	●	-20	-10	-5	μA
	过驱动时的 PTH 下拉电流	$V_{PTH1} = V_{PTH2} = 5\text{V}$	●	10	20	40	μA
自动负载检测							
	自动负载检测搜索期间的 V_{PTH} 步长				75		mV
	最佳点搜索之间的延迟时间	$C_{CTD} = 470\text{pF}$			3.7		s
	最佳点搜索持续时间	$C_{CTS} = 470\text{pF}$ (图 13)			40		ms
	FB 引脚漏电流	$V_{FB} = 5\text{V}$	●	0.2	0.5	1.2	μA
	FB 超范围上升门限	V_{FB} 上升	●	$V_{IN} - 0.04$	V_{IN}	$V_{IN} + 0.04$	V
	FB 超范围门限迟滞				40		mV
	PTHM 引脚漏电流	$V_{PTHM} = 5\text{V}$	●	0.2	0.5	1.2	μA
	PTHM 引脚共模电压范围			0		5	V
	FTH 引脚漏电流	$V_{FTH} = 0\text{V}$	●	-1.2	-0.5	-0.2	μA
	FTH 电压至频率增益				64		kHz/V
	DTH 引脚漏电流	$V_{DTH} = 0\text{V}$	●	-1.2	-0.5	-0.2	μA

电气特性
 凡标注 ● 表示该指标适合规定的工作结温范围，否则仅指 $T_A = 25^{\circ}\text{C}$ 。 $V_{IN} = V_{IN1} = V_{IN2} = 5\text{V}$ ，除非特别注明
 (注 2、3)。

符号	参数	条件		最小值	典型值	最大值	单位
输入电流限制和监视							
$V_{IS+,IS-}$	采样失调电压		●	-500 -1.5		500 1.5	μV mV
	IS^+ 引脚电流	$V_{IS+} = 5\text{V}$, $V_{IS+,IS-} = -50\text{mV}$		-100		100	nA
	IS^- 引脚电流	$V_{IS-} = V_{IS+} = 5\text{V}$			15		μA
	IMON 引脚漏电流	$V_{IS+}, IS^- = -50\text{mV}$, $V_{IMON} = 0\text{V}$ 至 5V		-100		100	nA
V_{ITH}	搜索期间 IMON 上的输入电流比较器门限	V_{IMON} 上升	●	0.785	0.800	0.815	V
V_{ILIM}	延迟时间里 IMON 上的输入电流限值比较器门限	V_{IMON} 上升	●	1.175	1.200	1.225	V
	输入电流限值比较器迟滞				40		mV
热敏电阻输入							
	NTC 热门限	V_{NTC} 下降, V_{IN} 的 %	●	33	35	37	% V_{IN}
	NTC 门限迟滞	V_{IN} 的 %			5		% V_{IN}
	NTC 开路电压	V_{IN} 的 %	●	48	50	52	% V_{IN}
	NTC 开路输入电阻				300		$\text{k}\Omega$
漏极开路状态引脚							
	STAT 引脚漏电流	$V_{STAT} = 5\text{V}$		-1		1	μA
	STAT 引脚输出电压低	$I_{STAT} = 1\text{mA}$	●			0.4	V

注 1：高于“绝对最大额定值”部分所列数值的应力有可能对器件造成永久性的损害。在任何绝对最大额定值条件下暴露的时间过长都有可能影响器件的可靠性和使用寿命。

注 2：LTC4125 在适当的条件下进行测试以使 $T_J \approx T_A$ 。LTC4125E 的性能指标在 0°C 至 85°C 的结温范围内得到保证。 -40°C 至 125°C 工作结温范围内的规格指标由设计、特性分析和统计过程控制中的相关性来保证。LTC4125I 的性能指标在 -40°C 至 125°C 的工作结温范围内得到保证。结温 (T_J , 单位为 $^{\circ}\text{C}$) 根据下式由环境温度 (T_A , 单位为 $^{\circ}\text{C}$) 和功率耗散 (P_D , 单位为 W) 来计算：

$$T_J = T_A + (P_D \cdot \theta_{JA})$$
 式中的 θ_{JA} (单位： $^{\circ}\text{C}/\text{W}$) 是封装热阻抗。

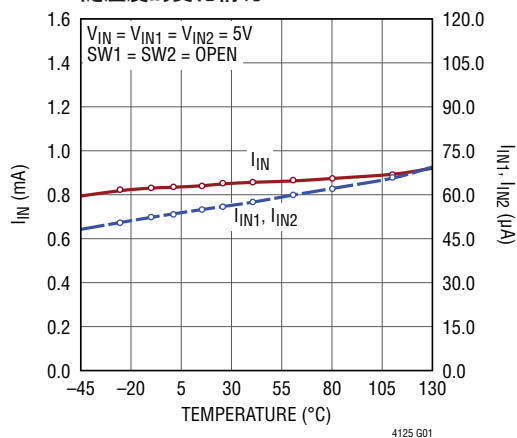
请注意，与这些规格指标相符的最大环境温度由特定的工作条件与电路板布局、封装的额定热阻抗及其他环境因素共同决定。该 IC 备有用于在短暂的 SW MOSFET 过流情况下对器件提供保护的过热保护功能。当过热保护功能电路运行时结温将超过 125°C 。在高于规定的最大工作结温条件下连续运作有可能损害器件的可靠性。

注 3：所有流入引脚的电流均为正；所有的电压值均以 GND 基准，除非特别注明。

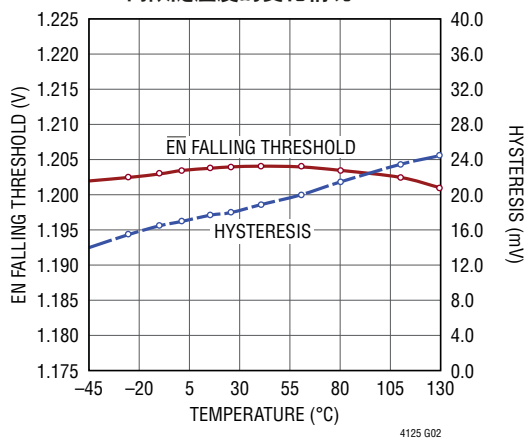
注 4：该 IC 拥有用于对器件提供保护的过热保护功能。当过热保护功能电路运行时结温将超过 125°C 。在高于规定的最大工作结温条件下连续运作有可能缩减器件的寿命。

典型性能特征 $T_A = 25^\circ\text{C}$ ，除非特别注明。

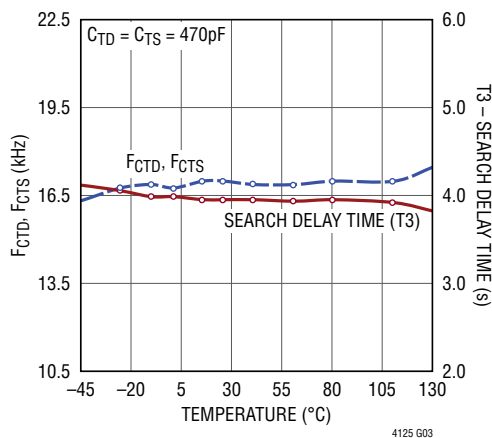
**IN、IN1 和 IN2 上的电源静态电流
随温度的变化情况**



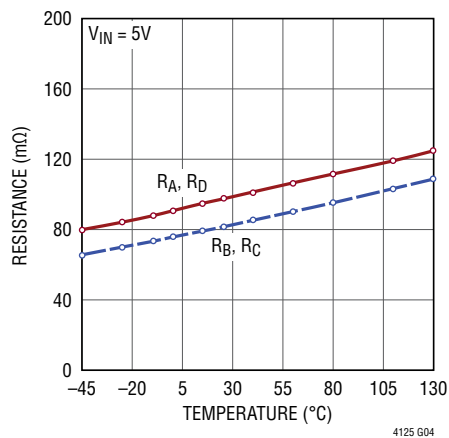
EN 门限随温度的变化情况



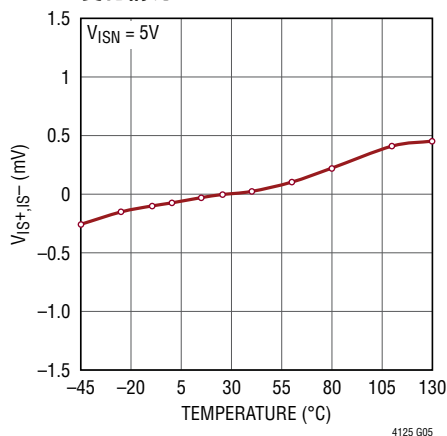
**C_{TS}、C_{TD} 引脚频率和搜索延迟
时间随温度的变化情况**



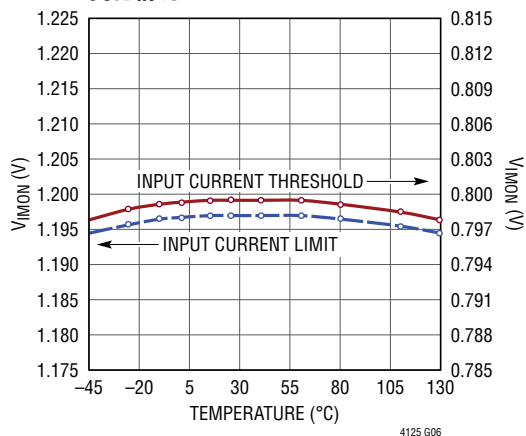
开关电阻随温度的变化情况



**V_{IS+}、IS- 检测放大器失调随温度的
变化情况**



**输入电流门限和限值随温度的
变化情况**



引脚功能

IN (引脚 1) : 输入电源电压：3V 至 5.5V。该引脚负责给内部电路供电。建议在此引脚上布设一个至 GND 的 1μF 局部旁路电容器。

CTS (引脚 2) : 发送功率搜索稳定时间电容器。在 CTS 引脚和 GND 之间连接一个电容器以设置发送功率搜索稳定时间。推荐的稳定时间通常介于 1ms 和 20ms 之间。见“应用信息”以了解设置说明。把该引脚短接至 IN 可停用 AutoResonant 驱动器，但不建议这么做。

IS⁻ (引脚 3) : 输入电流检测负输入。采用开尔文 (Kelvin) 检测方法在电源电压和 IS⁻ 之间连接一个电流检测电阻器 (R_{IS}) 以监测输入电源电流。如果不需要进行输入电流监视，则把该引脚连接至 IS⁺ 引脚。请参阅“应用信息”以了解完整的细节。

IS⁺ (引脚 4) : 输入电流检测正输入。通过一个输入电流检测增益电阻器 (R_{IN}) 把该引脚连接至与 R_{IS} 检测电阻器相连的电源电压。该引脚吸收一个与用于产生 IMON 输出之检测电阻器 (R_{IS}) 两端的电压成比例的电流 (见“方框图”)：

$$I_{IS^+} = \frac{I_{RIS} \cdot R_{IS}}{R_{IN}}$$

如果不需要进行输入电流监视，则把该引脚连接至 IS⁻ 引脚。请参阅“应用信息”以了解完整的细节。

IMON (引脚 5) : 输入电流监视器。IMON 引脚输出一个与检测电阻器 (R_{IS}) 两端的检测电压成比例的电流。当采用一个输出增益电阻器 (R_{IMON}) 时，该引脚上的电压表示如下，并直接对应于输入电流 (见“方框图”)：

$$V_{IIMON} = \frac{I_{RIS} \cdot R_{IS}}{R_{IN}} \cdot R_{IMON} = \frac{R_{IMON}}{R_{IN}} \cdot \Delta V_{RIS}$$

在该引脚上连接一个与 R_{IMON} 相并联的合适电容器以获得输入电流的一个时间平均电压表示 (见“应用信息”以了解更多详情)。在功率搜索期间，如果此引脚上的电压达到

0.80V (V_{ITH}，典型值)，则一个内部比较器指示“输入电流门限已被超过”，而且该搜索暂停在此状态，直到下一个搜索区间为止。编程输入电流门限采用下式来确定：

$$I_{TH} = \frac{R_{IN}}{R_{IMON}} \cdot \frac{V_{ITH}}{R_{IS}} = \frac{R_{IN}}{R_{IMON}} \cdot \frac{0.80V}{R_{IS}}$$

如果 IMON 引脚上的电压在搜索区间之间的暂停 / 延迟时间里的任意点上超过 1.20V (V_{ILIM}，典型值)，则一个内部比较器指示“输入电流限值已被超过”，功率传输立即停止，并且启动一个新的搜索区间。编程输入电流限值采用下式来确定：

$$I_{LIM} = \frac{R_{IN}}{R_{IMON}} \cdot \frac{V_{ILIM}}{R_{IS}} = \frac{R_{IN}}{R_{IMON}} \cdot \frac{1.20V}{R_{IS}}$$

把该引脚短接至 GND 可停用输入电流监视功能。

NTC (引脚 6) : 热敏电阻输入。在 NTC 和 GND 之间连接一个热敏电阻，并在 IN 和 NTC 之间连接一个对应的电阻器。该引脚上的电压电平决定了热敏电阻温度是否在一个可接受的范围之内。如果热敏电阻指示一个过热的温度，则功率传输停止。该功能可用于检测是否存在金属异物或其他的传输故障。一旦温度回归至安全区域，则恢复功率传输。请参阅“应用信息”部分以了解建议的用法。把该引脚置于开路状态可停用适宜温度功率传输功能。

DTH (引脚 7) : 增量 FB 门限输入。该引脚用于调整传输功率搜索中的最小检测功率步长以找出最佳的发送器功率操作点。默认设置 (该引脚短接至 IN) 可确保大多数系统中的正确运作。然而，在非常低功率或非常弱耦合的系统中则或许期望一个较小的步长。把该引脚连接至一个介于 IN 和 GND 之间的电阻分压器的中心抽头点。请参阅“工作原理”和“应用信息”部分以了解更多的细节。

引脚功能

STAT (引脚 8)：漏极开路状态引脚。该引脚在器件传输功率时拉至低电平。当连接至一个 LED 时，该引脚可提供“LTC4125 正在向一个有效的谐振接收器传输功率”的目视指示。在某种故障情况下，或假如在最新的发送功率扫描期间未检测到接收器，则 STAT 引脚为高阻抗。

FTH (引脚 9)：频率门限输入。该引脚用于设置主要的异物检测方法。将该引脚连接至一个介于 IN 和 GND 之间的分压电阻网络的中心，以设定最大的预期发送 LC 谐振频率值（见“应用信息”以了解设置细节）。一个超过编程值的谐振驱动频率表示在由发送线圈产生的场空间中存在一个大的传导性物体。这种情况减小了 LC 谐振回路的视在电感，从而导致一个较高的驱动频率。把功率传输至传导性异物中有可能导致 TX 功率过载和 / 或异物的过热。如果检测到频率故障，则功率传输将立即停止，直到下一个发送功率搜索为止。

PTH2 (引脚 10)：脉宽门限 2 引脚。SW2 引脚上的正脉冲宽度波形与该引脚上的电压成比例。

PTH1 (引脚 11)：脉宽门限 1 引脚。SW1 引脚上的正脉冲宽度波形与该引脚上的电压成比例。

PTHM (引脚 12)：最小驱动器脉冲宽度输入。该引脚上的电压值决定了发送功率搜索中使用的最小驱动器脉冲宽度值。驱动器脉冲宽度对应着发送功率。将该引脚短接至 GND 可设定至发送 LC 谐振回路固有周期之 1/32 的搜索中的第一个步进的脉冲宽度。当知道低发送功率（对应于 1/32 周期脉冲宽度）并不充分满足接收器负载的要求时，可执行较快的发送功率搜索。将该引脚连接至一个介于 IN 和 GND 之间的分压电阻网络的中心（见“应用信息”）以设置一个较大的最小脉冲宽度。

FB (引脚 13)：谐振反馈电压。将该引脚连接至一个介于串联 LC 谐振回路中产生的整流峰值电压和 GND 之间的分压电阻网络的中心（见“应用信息”）。在发送功率搜索期间对

FB 引脚上的电压进行监视，以确定何时满足或超过了接收器的负载要求。把该引脚短接至 GND 可停用内部自动负载检测功能。

CTD (引脚 14)：发送功率搜索延迟时间电容器。在 CTD 和 GND 之间连接一个电容器以设置一个最佳发送功率搜索的每个周期之间的延迟时间。推荐的延迟时间通常为 1s 或更大。见“应用信息”以了解设置说明。把 CTD 短接至 GND 以在第一个周期之后停止搜索，或把 CTD 置于开路状态以默认至搜索区间之间的最小延迟时间（约 20ms）。

EN (引脚 15)：使能输入引脚。将该引脚驱动至高于 1.22V（典型值）以停用 AutoResonant 驱动器。当驱动器停用时 SW1 和 SW2 引脚默认至低电平。当未使用停用功能时把 EN 引脚置于开路状态或短接至 GND。

GND (引脚 16，裸露衬垫引脚 21)：器件地。将该接地引脚连接至一个合适的 PCB 铜接地平面以实现正确的电操作和额定热性能。

IN2 (引脚 17)：输入电源电压：3V 至 5.5V。负责给全桥驱动器的第二半供电。建议在该引脚上布设一个至 GND 的 47μF 局部旁路电容器。

SW2 (引脚 18)：开关 2 引脚。该引脚是全桥开关第二半的中心节点。在该引脚和 SW1 引脚之间连接一个串联 LC 网络以执行全桥操作。

SW1 (引脚 19)：开关 1 引脚。该引脚是全桥开关第一半的中心节点。在该引脚和 SW2 引脚之间连接一个串联 LC 网络以执行全桥操作。当只需要执行半桥操作时，则在该引脚和 GND 之间连接一个串联 LC 网络。利用全桥操作可提供较高的最大发送功率。

IN1 (引脚 20)：输入电源电压：3V 至 5.5V。负责给全桥驱动器的第一半供电。建议在该引脚上布设一个至 GND 的 47μF 局部旁路电容器。



工作原理

引言

无线功率系统由两个被空气间隙分隔开的部分组成：一个发送线圈的发送电路，和一个接收线圈的接收电路。LTC4125 是适用于简单但多用途无线功率发送器的电源控制器。LTC4125 通过提供三种关键特色改进了基本无线功率发送器，这三种特色是：最大限度提高接收器可用功率的 AutoResonant 功能、最大限度提高总体无线功率系统效率的最佳功率搜索算法、以及当处于存在传导性异物的环境中工作时，确保安全和可靠运作的异物检测功能。为理解这些特色，必需概要了解无线功率系统。

在典型的无线功率系统中，由发送线圈产生了一个 AC 磁场，其随后在接收线圈中感应一个 AC 电流——这类似于一个典型的变压器系统。变压器系统与无线功率系统之间的主要差异是一个空气间隙（或其他非磁性材料间隙）把主端（发送器）和副端（接收器）分离开来。此外，发送线圈和接收线圈之间的耦合一般是非常低的。在变压器系统中 0.95 至 1 的耦合系数是常见的，而在无线功率系统中耦合系数的变化范围则从 0.8 到低至 0.05。

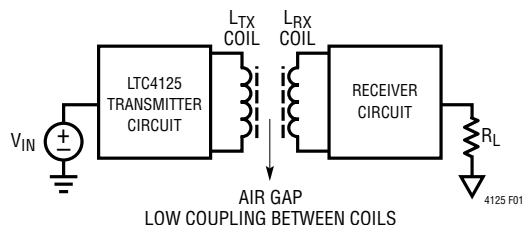


图 1：典型的无线功率系统设置

为了利用如此低的耦合在接收线圈中感应足够的 AC 电流，需要一个强磁场。由于发送线圈产生的磁场与线圈中流过的电流成比例，因而需要在发送线圈中产生一个大的 AC 电流。

采用一个 DC 电压在电感器中产生大的 AC 电流有各种不同的方法。LTC4125 专为运用一种最简单和最有效的方法（使用一个串联 LC 谐振电路）而设计。

串联 RLC

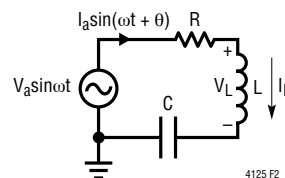


图 2：简单的串联谐振 RLC 电路

图 2 示出了一款简单的串联谐振电路。当利用一个正弦电压在谐振频率上驱动时，电感器和电容器的阻抗抵消，留下一个纯电阻 R。谐振频率可按下式计算：

$$f_n = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

因此，在谐振时电感器中产生的电流幅度就是：

$$I_a = \frac{V_a}{R}$$

请注意，在谐振时，利用一个足够低的 R 值可产生相当大的电感器电流值。此外，电感器电压与驱动电压成比例：

$$V_L = I_a \cdot \omega_n L = V_a \cdot \frac{\omega_n L}{R} = QV_a$$

式中的 Q 是熟悉的串联谐振回路的品质因数。

LTC4125 可轻而易举地使串联 LC 恰好在其谐振频率上驱动。该器件采用了一种正待专利审议的 AutoResonant 方法，以自动地检测连接至其开关引脚的串联 LC 的谐振频率，并在该频率上对其实施驱动。

工作原理

AUTORESONANT 驱动

考虑一下图 2 中的串联谐振结构。如果采用一个方波电压源替代了正弦电压源，那么假定 R 、 L 和 C 的数值产生了一个高品质因数 (Q 大于 10)，则针对该电路其余部分的分析并没有显著的变化。高 Q 值电路的频率选择性确保主要是方波的基波分量影响电感器和电容器两端的电压和电流波形 (图 3)。

在启动时，LTC4125 将利用一个 50% 占空比方波在 2.5kHz 频率上驱动 LC 谐振回路。当电流在 LC 谐振回路中产生时，LTC4125 检测到此情况并相应地调整驱动电压的频率。

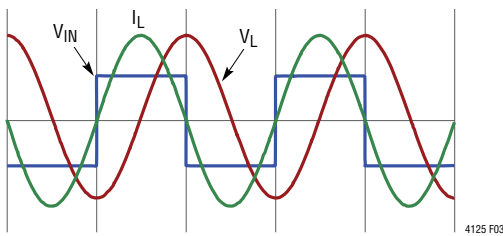


图 3：采用处于谐振频率之方波输入时的 LC 谐振回路电压和电流波形

AutoResonant 驱动确保每个 SW 引脚上的电压始终与进入引脚的电流同相 (参阅“方框图”，当电流从 SW1 流至 SW2 时，开关 A 和 C 导通，而 D 和 B 则断开；反之亦然)。采用这种方法逐周期地锁定驱动频率可确保 LTC4125 始终在其谐振频率上驱动外部 LC 网络。即使那些影响 LC 谐振回路之谐振频率的变量 (例如：温度和邻近接收器的反射阻抗) 不断地变化，情况也是如此。

最佳的功率搜索背景

在无线功率系统中，发送线圈处的磁场必需足够强，以确保能够在最差耦合情况下向接收器负载输送足够的功率。然而，在最好耦合情况下，如此强的一个磁场将是无效率的，

且有可能损坏接收器。考虑到发送电路中的耗散性元件，传输的功率多于所需将导致效率下降。因此，可取的做法是调节由发送线圈产生的磁场之强度，从而刚好提供足够的功率以支持位于接收线圈的负载——最佳的发送功率点。

除了效率之外，还有一个安全的问题。当一个传导性物体被置于由发送线圈所产生的磁场之中时，在该物体中将产生涡电流。这些涡电流由于物体电阻的原因产生热量。为安全起见这种发热是不受欢迎的，特别是在较高功率的应用中。

LTC4125 具有旨在解决这两个问题的特性：在所有耦合情况下均有所提升的效率，以及用于改进安全运作的异物检测 / 保护功能。

最佳功率搜索操作

最佳功率搜索利用了可通过改变全桥驱动器的脉冲宽度来调节发送功率的事实。当脉冲宽度改变时 AutoResonant 驱动继续运作以控制发送线圈电流的大小。图 4 示出了采用一个导致占空比小于 50% 的驱动脉冲宽度时谐振回路电流和电压波形。

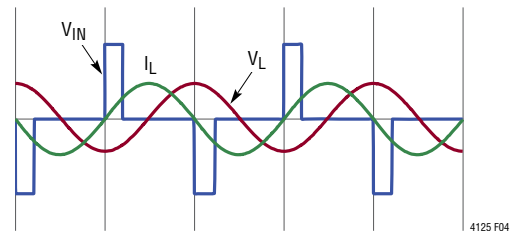


图 4：对于一个串联 RLC 电路，采用方波输入且占空比小于 50% 时的 LC 谐振回路电压和电流波形

驱动占空比与脉冲宽度成比例。图 5 示出了当占空比从 0% 变至 50% 时谐振回路电流的增加情况。请注意，控制发送线圈电流的幅度相当于在某个特定频率上控制线圈两端的电压幅度。

工作原理

通过调节全桥驱动器的脉冲宽度，LTC4125 能够控制线圈电流和电压。

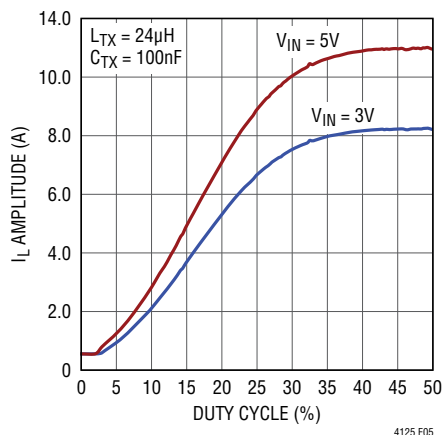


图 5：在发送线圈上产生之电流的典型幅度与占空比的关系曲线 (采用 AutoResonant 方法)

最佳功率搜索的工作原理是通过以有规律的间隔来完成发送功率的阶梯式线性斜坡变化，从而检测是否存在有效的接收器、是否存在故障情况、并优化发送功率传输。发送功率的线性斜坡变化是通过一步一步地进行全桥驱动器的脉宽调制来完成的。LTC4125 采用 FB 引脚在每个步进监视发送 LC 谐振回路电压的幅度。

为了优化发送功率传输，LTC4125 从一个步进至下一个步进搜索峰值谐振回路电压的大幅变化 (上升或下降) (见“应用信息”部分)。这指示已经达到或者超过了满足接收器负载所需的发送功率。一旦 LTC4125 检测到谐振回路电压中出现一个足够大的变化，则搜索停止，并找到了一个有效的退出条件。发送功率保持在该水平，直到下一个搜索区间为止。

如果输入电流在功率搜索期间超过了输入电流门限 (I_{TH})，则搜索停止且脉冲宽度保持到下一个搜索区间为止。这也是一个有效的退出条件。当找到了任何有效的退出条件时，STAT 引脚被拉至低电平以指示正在向 RX 线圈输送功率。

假如在功率搜索期间任何下列门限被超过，则搜索停止且脉冲宽度减小至零：由 NTC 输入决定的温度门限、最大谐振

回路电压门限、内部芯片过热门限、或频率门限 (异物) 和输入电流限值 (I_{LIM})。当脉冲宽度减小至零时，由于这些故障情况的原因将不传输功率，直到下一个搜索区间为止。当这些故障情况出现时，STAT 引脚变至高阻抗，以指示未在向 RX 线圈输送功率。唯一的例外是当输入电流超过输入电流限值 (I_{LIM}) 之时。这种特殊的故障情况并不会致使 STAT 引脚呈高阻抗。

该描述在图 6 和图 13 的流程图中以图形形式捕捉。

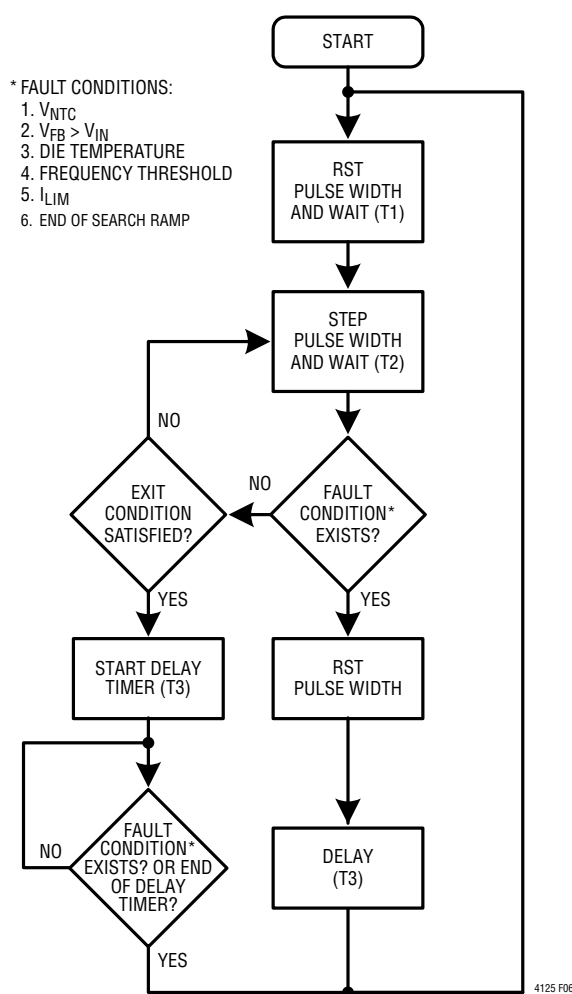


图 6：负载自动检测流程图

工作原理

退出条件

最佳功率搜索运用了许多退出条件，以确保在一个跨诸多不同运行状况的搜索过程中找到最佳的发送功率。主要的退出条件不是用户可编程的。在大多数运行情况下，这些主要的退出条件将产生最佳的发送功率。

然而，提供了两种用户可编程退出条件以在某些场合中实现额外的功能和改善的性能：输入电流门限和差分谐振回路电压门限。输入电流门限可采用 R_{IN} 、 R_{IMON} 和 R_{IS} 来设置：

$$I_{TH} = \frac{R_{IN}}{R_{IMON}} \cdot \frac{V_{ITH}}{R_{IS}} = \frac{R_{IN}}{R_{IMON}} \cdot \frac{0.80V}{R_{IS}}$$

参阅“方框图”， V_{IMON} 是 R_{IS} 两端之差分电压的一个增益提升版本。当 V_{IMON} 大于 $0.80V$ (V_{ITH} ，典型值) 时，输入电流门限达到。当这出现在一个最佳功率搜索区间中时，搜索停止且脉冲宽度保持到下一个搜索区间为止。

第二个用户可编程退出条件采用 DTH 引脚设定了一个差分 FB 引脚电压门限。在最佳功率搜索期间，把该门限与 FB 引脚电压的增加 (源自一个脉冲宽度梯级至下一个梯级) 进行比较。倘若超过了该门限，则满足了退出条件。如前文所述，当满足了某个退出条件时，脉冲宽度 (即发送功率级别) 保持到下一个搜索区间为止。

当发送线圈和接收线圈之间的耦合不良时，DTH 门限是一个适用的退出条件。把 DTH 引脚短接至 IN 引脚将确保该退出条件被忽略。在大多数应用中该默认设置是足够的。请参阅“应用信息”部分以了解有关怎样设置此引脚的详情。

故障情况

某种故障情况将导致最佳功率搜索通过把脉冲宽度保持为零直到下一个搜索区间为止来立即停止传输功率。有 6 种故障情况：频率 (异物)、NTC (外部温度)、过压、搜索斜坡的结束、输入电流限值和内部 (芯片) 过热。

频率门限由 FTH 引脚设置。如果 AutoResonant 驱动频率在功率搜索期间超过频率门限，则搜索停止且脉冲宽度减小至零。该情况也许指示存在一个传导性异物。在下一个搜索区间之前不输送功率。

外部过热情况通过 NTC 引脚检测。如果在功率搜索期间 V_{NTC} 降至低于 NTC 热门限 (通常为 V_{IN} 的 35%)，则搜索停止且脉冲宽度减小至零。在下一个搜索区间之前不输送功率。NTC 热敏电阻可用于监视发送线圈的温度以确保该线圈的安全操作。此外，当被置于线圈磁场中时将产生热量的传导性异物的存在也可利用这种方法予以检测。

过高的谐振回路电压通过 FB 引脚电压进行检测。如果 V_{FB} 在功率搜索期间超过 V_{IN} ，则搜索停止且脉冲宽度减小至零。在下一个搜索区间之前不输送功率。

另一种故障情况存在于功率搜索斜坡已达到其最大脉冲宽度 (50% 占空比) 且未发现最佳发送功率之时。这通常指示不存在接收器或在发送线圈和接收线圈之间存在一个传导性异物，从而防止向接收器输送任何大量的功率。发送功率降低至零，直到下一个搜索区间为止。

工作原理

输入电流限值利用 IMON 引脚检测。如果 IMON 引脚上的电压在发现了一个有效的退出条件之后超过 1.20V (V_{ILIM} , 典型值), 则发送功率降低至零, 直到下一个搜索区间为止。输入电流限值可采用 R_{IN} 、 R_{IMON} 和 R_{IS} 来设置:

$$I_{LIM} = \frac{R_{IN}}{R_{IMON}} \cdot \frac{V_{ILIM}}{R_{IS}} = \frac{R_{IN}}{R_{IMON}} \cdot \frac{1.20V}{R_{IS}}$$

参阅“方框图”, V_{IMON} 是 R_{IS} 两端之差分电压的一个增益提升版本。当 V_{IMON} 大于 1.20V (V_{ILIM} , 典型值) 时, 输入电流限值达到。请注意, 对于相同的 R_{IN} 、 R_{IMON} 和 R_{IS} 数值, 该输入电流限值为输入电流门限的 150% (典型值)——可编程有效退出条件之一。

算法中使用的最后一种故障情况是 LTC4125 的芯片温度。如果 LTC4125 的内部芯片温度超过 150°C (典型值), 则发送功率立即降低至零, 直到下一个搜索区间为止。与其他故障情况不同, 芯片温度故障不限于最佳功率搜索周期的持续时间。

I_{TH} 与 I_{LIM} 之间的关系

如前面两节指出的那样, 有两个输入电流参数的值是由 R_{IN} 、 R_{IMON} 和 R_{IS} 决定的: I_{TH} (输入电流门限) 和 I_{LIM} (输入电流限值)。当输入电流在最佳功率搜索期间超过 I_{TH} 时, 搜索将停止且 LTC4125 在 (或略高于) 该输入电流水平的条件下保持运作。然而, 如果输入电流在操作期间的任何点上超过 I_{LIM} , 则功率传输立即停止, 直到下一个搜索区间为止。输入电流限值为输入电流门限的 150% (典型值)。

V_{PTH1}/V_{PTH2} 和脉冲宽度

全桥驱动器每一半的脉冲宽度均可采用 PTH1 和 PTH2 引脚来监视。当使能了 AutoResonant 驱动时, 脉冲宽度为:

$$PW_{SWx}(s) = \left(\frac{0.24}{f_n} \cdot V_{PTHx} \right) + 150ns$$

式中的 f_n 为全桥谐振频率, 0.24 是典型归一化 PTH 电压至脉宽增益。在最佳功率搜索期间, 当脉冲宽度增加时, PTH 引脚上的电压也增加。当 V_{PTH1} 或 V_{PTH2} 超过 2.4V 时, 保证已经达到了最大脉冲宽度, 而且搜索斜坡故障情况的结束将停止功率传输, 直到下一个搜索区间为止。同样, 这通常表示不存在接收器或存在一个传导性异物。

PTHM

最佳功率搜索中第一个步进的脉冲宽度可采用 PTHM 引脚来设置。当全桥的最小发送功率级别已知时, 该特性可帮助最佳功率搜索找到合适的脉冲宽度。这需要进行应用电路的特性分析, 以获知对于所有的条件最佳操作点均始终高于某个脉冲宽度。当 PTHM 连接至地时, 第一个步进默认至 150ns。

应用信息

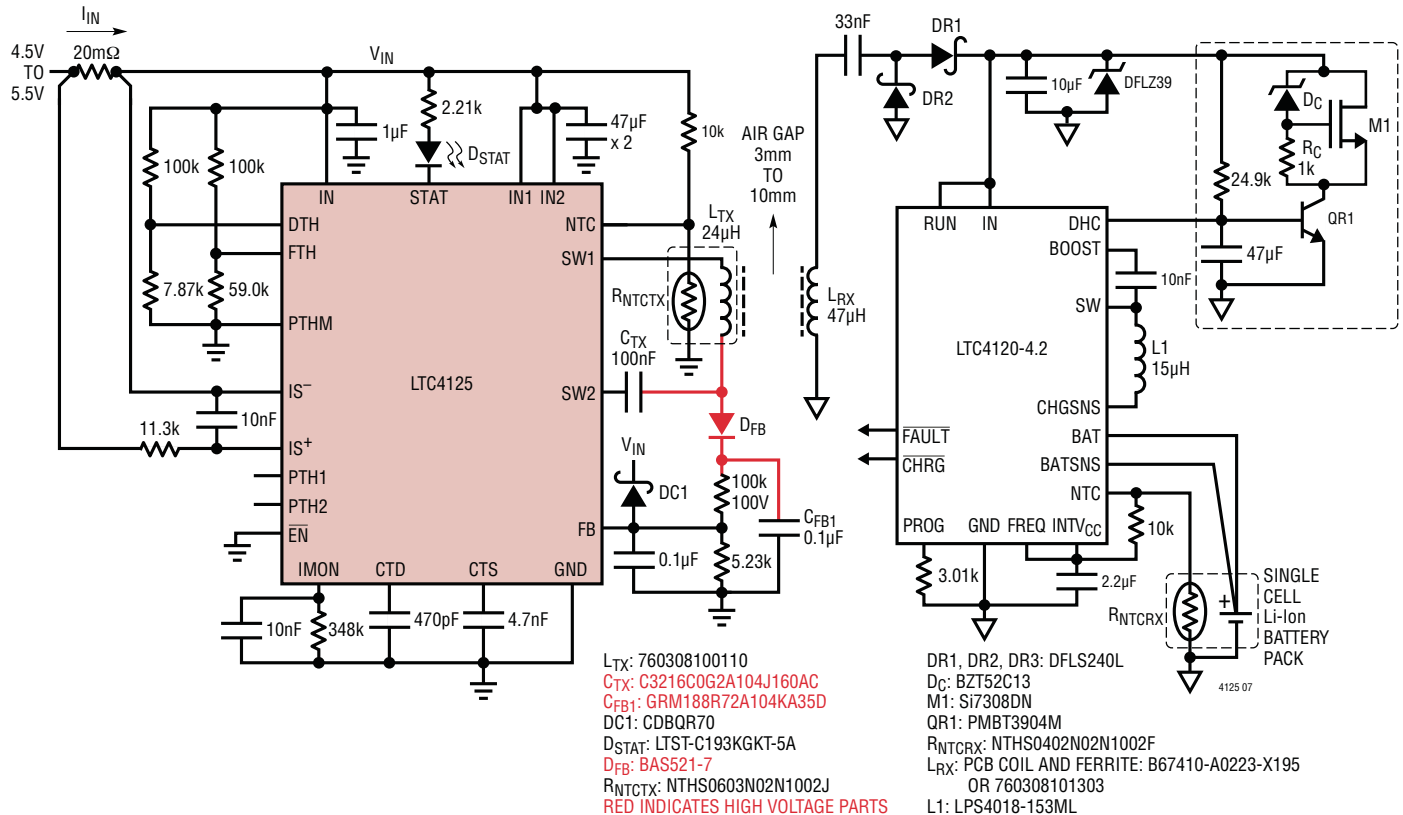


图 7：在一个把 LTC4120-4.2 作为接收器上的 400mA 单节锂离子电池充电器的无线功率系统中，LTC4125 在 103kHz 驱动一个 24µH 发送线圈，并采用 1.3A 输入电流门限，119kHz 频率限值及 41.5°C 发送线圈表面温度限值

在采用 LTC4125 的典型设计中 (见“方框图”以获知组件标签)，通常遵循以下步骤：选择一个发送线圈 (L_{TX})，选择一个谐振电容器 (C_{TX})，决定反馈电阻网络 (R_{FB1} 、 R_{FB2})，决定输入电流监视电阻器 (R_{IS} 、 R_{IN} 、 R_{IMON})，决定频率门限电阻器 (R_{FTH1} 、 R_{FTH2})，决定最佳功率搜索稳定时间 (C_{TS})，决定最佳功率搜索延迟时间 (C_{TD})，决定最佳功率搜索中第一个步进的脉冲宽度 (R_{PTHM1} 、 R_{PTHM2})，最后，决定差分 FB 引脚电压门限 (R_{DTH1} 、 R_{DTH2})。

下面的讨论详细阐述了对于这些步骤中的每一步所需考虑的因素。为了更加清晰，以图 7 中示出的应用电路为背景讨论了针对每一步的实例。

发送线圈选择

当进行发送线圈 / 电感器的选择时，需要考虑几个重要的参数：电感器实际尺寸、电感值、电感器品质因数 (Q_L) 和电感器饱和电流。所有这些都影响着整体效率和功率传输能力。

线圈的实际尺寸是很重要，因其影响了发送线圈和接收线圈之间的整体耦合。发送线圈的理想尺寸和形状随着应用要求而改变。仅举几个例子：终端产品尺寸、形状和功率要求，最终解决方案中期望的布局自由度，还有成本。作为参考，许多现成有售的无线功率发送线圈是具有 50mm 直径的圆形螺旋线圈 (表 1)。当对采用 LTC4125 的设计进行评估时，建议把这些线圈作为起点。

应用信息

表 1：推荐的发送线圈

制造商	器件型号	电感 (μH)	尺寸 (mm)	100kHz 时的品质因数
Würth	760308110	24	53 x 53	140
Würth	760308100110	24	直径 50	140
Würth	760308100111	6.3	直径 50	100
Inter Technical	L41200T06	5	52 x 52	80
TDK	WT505090-20K2-A10-G	24	直径 50	50
TDK	WT505090-10K2-A11-G	6.3	直径 50	100

另一个需要考虑的重要参数是线圈自身的电感值。该数值在考虑时必需与接收线圈电感值以及发送线圈和接收线圈之间的总体无线功率系统耦合关联起来。两个电感值之比与耦合系数一起决定了接收线圈上可以提供的电压和电流，因而也就决定了系统的功率传输能力。

电感器在某个特定频率上的品质因数定义如下：

$$Q_L = \frac{\omega L}{R_L} = \frac{2\pi f L}{R_L}$$

式中的 ω 是以弧度为单位的频率， f 是以 Hz 为单位的频率， R_L 则为电感器有效串联电阻。 Q 值越高，则该特定电感器在该频率上传输电流的效率越高。在 100kHz 工作频率上，一个用于跨 1mm 至 15mm 距离传输高达 5W 功率的典型 24 μH 发送线圈具有 ≈ 50 至 150 的品质因数。

许多市售的发送线圈采用铁氧体材料以帮助提高电感值并对发送线圈产生的磁场进行整形，从而增加耦合和功率传输。然而，铁氧体材料限制了饱和电流水平。饱和电流水平必需高于在 LC 谐振结构中产生的最大电流幅度，以确保可预知的电感值并防止潜在的热失控。LTC4125 内部的单片式开

关允许开关 RMS 电流在芯片中的温升 (以 25°C 的环境温度为起点) 引起内部热停机 (以停止线圈中的功率传输) 之前高达 3.5A ($I_{\text{RMS-MAX}}$)。

在图 7 中示出的特定应用电路中，采用了一个由 Würth 提供的 24 μH 线圈 (760308100110)。其具有一个 50mm 直径、一个 140 的 Q 值 (在 100kHz) 以及一个大于 10A 的饱和电流。

发送器谐振电容器的选择

选择发送器电容器时所需考虑的因素与前面讨论的进行电感器选择时的考虑因素相似：电容值、电容器品质因数 (Q_C)、以及电容器的额定电压。该电容器的实际尺寸通常不是一个重要因素，因为整体应用尺寸主要受发送线圈尺寸的影响。

需要考虑的首个和最重要的参数是电容值本身。LTC4125 是专为使用介于 50kHz 和 250kHz 之间的谐振频率而设计的。LTC4125 的 AutoResonant 特性确保串联 LC 网络在该 LC 网络的谐振频率上进行驱动：

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

另一个重要的因素是电容的寄生耗散分量。和电感器一样，测量该分量的一种方法是检查电容器的品质因数。电容器品质因数被描述为：

$$Q_C = \frac{1}{\omega C R_C} = \frac{1}{2\pi f C R_C}$$

式中的 ω 是以弧度为单位的频率， f 是以 Hz 为单位的频率， R_C 则为电容器有效串联电阻。 Q 值越高，则该特定电容器在该频率上的理想程度越高。

应用信息

对于某给定的电感、频率和电流幅度值，可精确地定义在电感器和电容器两端上产生的电压。电容器额定电压规格必须能够承受该电压。电容器必须承受的最大电压由下式给出：

$$V_{\text{CMAX}} = \frac{I_{\text{LMAX}}}{\omega C} = \frac{\sqrt{2} \cdot I_{\text{RMS_MAX}}}{\omega C}$$

式中的 I_{LMAX} 是在串联 LC 电路中运作期间的最大电感器电流。

在图 7 中示出的特定应用电路中，采用了一个 100nF 100V COG 电容器 (C3216C0G2A104J160AC)。该电容器在 100kHz 时的 Q 值虽未在产品手册中明确地列出，但根据实测测量其远远高于所选电感器的品质因数。当预期的最大 RMS 电流为 3A 时 (见紧接本节之后的“反馈”部分中的图 9)，并采用上面用于 V_{CMAX} 的公式，得出在电容器两端上产生的最大电压为 65V。

当电容值为 100nF 时，与 24μH 电感器产生的谐振频率为 103kHz。请注意，接收器上的 LC 谐振回路被调谐至 127kHz。调谐频率中的这种有意的差异旨在确保 LTC4120 接收器 IC 中的 DHC 功能正确地运行 (考虑到无源组件的所有容差) — 详情请见 LTC4120 产品手册。对于所有其他不具备动态调谐功能的应用电路，发送 LC 频率应调谐至比接收 LC 谐振频率低大约 20%。

反馈

典型设计中涉及的下一步是决定反馈电阻器的阻值。LTC4125 通过反馈 (FB) 引脚监视在发送线圈上产生的电压。最佳功率搜索采用该 FB 引脚电压来决定一个适当的发送功率级别。为检测发送线圈电压的峰值，采用了一个半波整流器，该整流器由一个二极管和一个电容器组成，如图 8 所示。对于接下来的讨论，还请参阅图 9 和图 13。

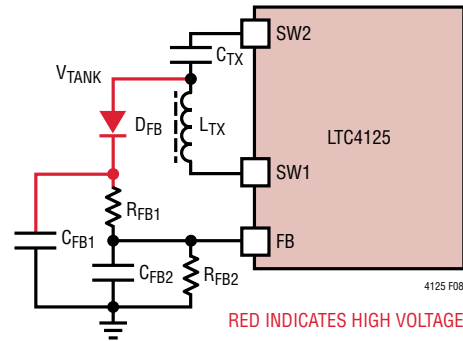


图 8：FB 引脚整流器和分压器

二极管 D_{FB} 反向电压额定规格必需在其工作范围内承受生成于 V_{TANK} 上的最高峰至峰电压。从谐振电容器部分我们知道，在谐振回路中生成的峰至峰电压是在电容器两端上产生之最大电压的两倍。于是在图 7 所示的特定实例中，当 LC 回路的预期最大 RMS 电流为 3A 时，该谐振回路中产生的最大峰至峰电压为 130V。

除了其反向电压额定值之外，二极管的其他参数并不是至关重要 — 在大多数应用中，选择的是具有合适电压额定规格且封装最小的二极管。

电容器 C_{FB1} 的电压额定规格必需承受谐振回路所产生的最大峰值电压，对于图 7 中的示例而言其为 65V。

C_{FB1} 的数值也是重要的。该值的选择必需使时间常数 C_{FB1} ($R_{\text{FB1}} + R_{\text{FB2}}$) 小于时间间隔 T_2 (每个步进之后的稳定时间) 的两倍。这确保在 C_{FB1} 上产生的电压具有足够的时间在扫描期间的每个步进实现稳定。因此， C_{FB1} 的数值需要满足下面的准则：

$$C_{\text{FB1}} < \frac{T_2}{2(R_{\text{FB1}} + R_{\text{FB2}})} = \frac{(1.92 \cdot 10^6) C_{\text{TS}}}{R_{\text{FB1}} + R_{\text{FB2}}} = 0.1 \mu\text{F} (\text{典型值})$$

应用信息

R_{FB1} 和 R_{FB2} 的建议值是使 $R_{FB1} + R_{FB2} \approx 100k$ 。 C_{FB1} 的典型建议初值为 $0.1\mu F$ 。请参阅本“应用信息”后面内容中的“定时器电容器”部分，以了解有关设定 $T2$ 值的详情。

电容器 C_{FB2} 在大多数应用中是可任选的。其可用于进一步清除 FB 引脚上的信号。该电容器的额定电压仅必需为 6V 或更低，而且其数值的选择需要使时间常数 $C_{FB2}(R_{FB2} // R_{FB1})$ 再次小于时间间隔 $T2$ (每个步进之后的等待时间) 的两倍。因此， C_{FB2} 的数值需要满足下面的准则：

$$C_{FB2} < \frac{T2}{2(R_{FB1} // R_{FB2})} = \frac{(1.92 \cdot 10^6) C_{TS}}{R_{FB1} // R_{FB2}}$$

建议采用一个 $0.1\mu F$ C_{FB2} 电容器，其对大多数应用来说是足够的。

电阻分压器 R_{FB1} 和 R_{FB2} 的比值根据最大谐振回路电压 (V_{TANK}) 来选择。当决定最大谐振回路电压时遵循这些步骤：

1. 设定针对最低耦合的接收器线圈相对于发送线圈的距离和取向 (这种情况通常需要最高的谐振回路电流，因此需要最高的谐振回路电压)。
2. 把 LTC4125 的两个 PTH 引脚短接在一起。
3. 扫描 V_{PTH} 电压。
4. 监视以下参数：(见图 9)
 - a. 发送谐振回路电压 (图 8 中的 V_{TANK})
 - b. 发送电路输入 RMS 电流
 - c. 接收器上整流电压
 - d. 接收器上的充电电流

图 9 示出了针对图 7 所示电路的该扫描。请注意，LTC4120 被设定为在恒定电流模式中以 400mA 电流对单节锂离子电池进行充电 (最大目标间距为 10mm)。

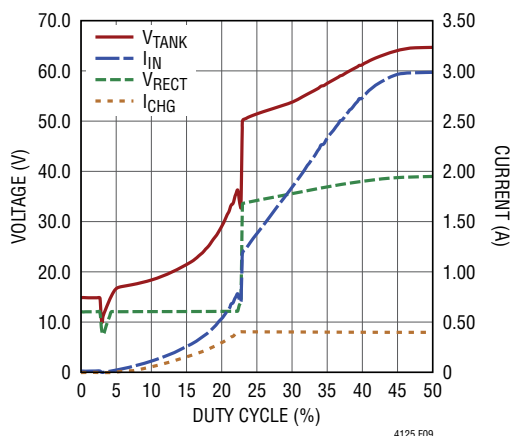


图 9： V_{TANK} 、 I_{IN} 、 V_{RECT} 和 I_{CHG} 与占空比的关系 (LTC4120 位于接收器，处于 CC 模式，间隔距离为 10mm)

在这个特定的示例中，在最佳点上产生的谐振回路电压为 50V ($V_{TANK-MAX}$)，而最大输入 RMS 电流为 1.3A。为防止发生 FB 电压超范围故障，分压器必需确保当 $V_{TANK} = 55V$ 时， V_{FB} 小于 V_{IN} — 请注意，选择 55V 是为提供比 50V 最大谐振回路电压观测值高大约 10% 的裕度。于是，电阻分压器的分压比应根据下面的公式来设定：

$$V_{TANK-MAX} < \left(\frac{R_{FB1}}{R_{FB2}} + 1 \right) \cdot V_{IN} + V_D$$

$$\frac{R_{FB1}}{R_{FB2}} > \frac{V_{TANK-MAX} - V_D}{V_{IN}} - 1 \approx \frac{55 - 1}{5} - 1 = 10$$

式中的 V_D 是用于对 LC 谐振回路电压进行整流的整流二极管的二极管压降。需注意的是，为了实现稳健的设计，一旦选定了反馈电阻分压器和电容器，则需对所有操作条件下的功能进行重新验证。

应用信息

输入电流限值设定和监视

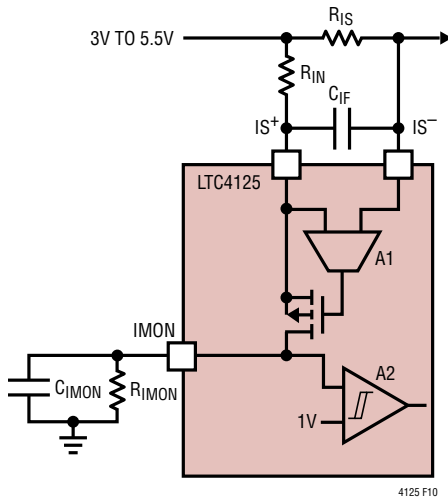


图 10：输入电流限制和监视

图 10 示出了 LTC4125 采用的输入电流监视架构。被用作最佳功率搜索专有算法中的退出条件之一的输入电流门限采用 R_{IS} 、 R_{IN} 和 R_{IMON} 电阻器的组合依据下式来设定：

$$I_{TH}(A) = \frac{R_{IN}}{R_{IMON}} \cdot \frac{V_{ITH}}{R_{IS}} = \frac{R_{IN}}{R_{IMON}} \cdot \frac{0.80V}{R_{IS}}$$

式中的 0.80V 是典型 V_{ITH} 。

流经检测电阻器 R_{IS} 的输入电流可用于通过 IMON 引脚的监视。IMON 引脚上的电压随着流过检测电阻器 (R_{IS}) 的电流而变化，如下式所示：

$$V_{IMON} = \frac{R_{IMON} \cdot R_{IS}}{R_{IN}} \cdot I_{RIS}$$

作为故障情况之一的输入电流限值也通过 IMON 引脚来检测。如果输入电流限值在找到一个有效退出条件之后达到，

则发送功率降低至零，直到下一个搜索区间为止。另外，输入电流限值还可采用 R_{IN} 、 R_{IMON} 和 R_{IS} 进行设置：

$$I_{LIM} = \frac{R_{IN}}{R_{IMON}} \cdot \frac{V_{ILIM}}{R_{IS}} = \frac{R_{IN}}{R_{IMON}} \cdot \frac{1.20V}{R_{IS}}$$

式中的 1.20V 是典型的 V_{ILIM} 。

如“工作原理”部分中提到的那样，对于相同的 R_{IN} 、 R_{IMON} 和 R_{IS} 数值，该输入电流限值为输入电流门限的 150%。

注意，用户具有通过选择三种不同组件的数值来设定输入电流门限和限值的能力。对于大多数应用，建议 R_{IS} 两端的电压降在电流限制门限时小于 50mV，而且 R_{IMON} 与 R_{IN} 的比值在 10 至 40 之间 (R_{IN} 大约为 10kΩ)。

在图 7 给出的示例中，期望的电流门限和限值分别为 1.3A 和 1.95A。 R_{IS} 被设定为 20mΩ，以在达到输入电流限值时将其两端上的压降限制在 40mV。当 R_{IN} 设定为 11.3kΩ 时， R_{IMON} 数值为 348kΩ，分别产生了 1.3A 和 1.95A 的最终电流门限和限值。

如果输入电流随时间而变化或含有噪声（正如对 LC 谐振回路的正弦负载所预料的那样），则增设滤波电容器 C_{IF} 和 C_{IMON} 可在 IMON 引脚上获得一个与流过输入电流检测电阻器之电流的时间平均值相对应的时间平均电压。 C_{IF} 和 C_{IMON} 数值的选择应使时间常数 $R_{IN}C_{IF}$ 和 $R_{IMON}C_{IMON}$ 小于 T2（最佳功率搜索算法中每一步之间的稳定时间间隔）（图 6）。这是为了确保可在搜索中的单一步骤之内检测到某种电流门限退出条件。在图 7 所示的实例中， C_{IF} 和 C_{IMON} 均被设定为 10nF。

频率门限 (FTH 引脚)

如在“工作原理”部分中讨论的那样，LTC4125 中采用的 AutoResonant 驱动在其谐振频率上驱动外部 LC 谐振回路。频率门限输入 (FTH) 充当了旨在避免无意中把功率传送至异物之中的主要保护功能。

应用信息

一个内部频率至电压转换器产生了该 AutoResonant 驱动频率的电压表示 (见“方框图”)。当某传导性异物被拿至靠近发送线圈时, 发送线圈的视在电感大幅度减小, 而且 LTC4125 的驱动频率调节至一个较高的频率。

图 11 示出了存在和不存在一个小的传导性异物时谐振回路电压频率之间的对比。该图采用图 7 中的电路生成, 两个 PTH 引脚短接在一起并在 0.5V 驱动, 并且把一个 15mm x 15mm 方形铜板直接放置在线圈的顶部作为一个传导性异物。

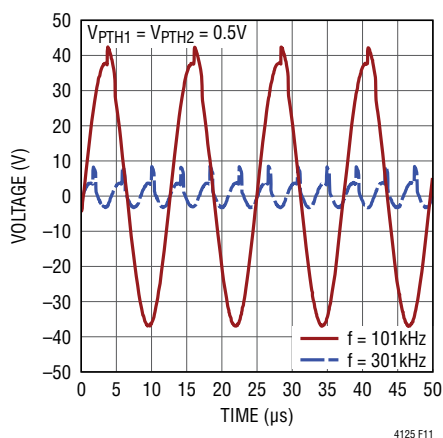


图 11: 存在和不存在一个传导性异物时 LC 谐振回路电压频率的比较

频率限值通过 FTH 引脚设置, 依据的公式如下:

$$f_{LIM} = \frac{V_{FTH}}{V_{IN}} \cdot 320\text{kHz} = \frac{R_{FTH2}}{R_{FTH1} + R_{FTH2}} \cdot 320\text{kHz}$$

请注意, 内部频率至电压转换器离散为具一个 0kHz 至 320kHz 完整输入频率范围的 7 个位。因此, 频率门限输入的准确度被限制为 $\pm 2.5\text{kHz}$ 。建议 R_{FTH1} 和 R_{FTH2} 的总电阻为大约 100k Ω 。

图 12 示出了当在发送线圈上放置了一个传导性异物时, 在 FTH 引脚上设置或未设置一个频率限值的情况下 LTC4125 运行方式的差异。再次采用了图 7 中的同一款电路。

需注意的是, 当未对 FTH 引脚进行设置时 (连接至 V_{IN}), LTC4125 没有检测到有效的接收器电路, 因而把传输至异物的功率限制为仅仅是在一个搜索区间中产生的功率脉冲。如果没有有效的接收器, 则搜索将无法找到某种有效的退出条件, 直至其到达功率搜索斜坡故障情况的结束为止, 这导致发送器在下一个搜索区间之前停止输送功率。

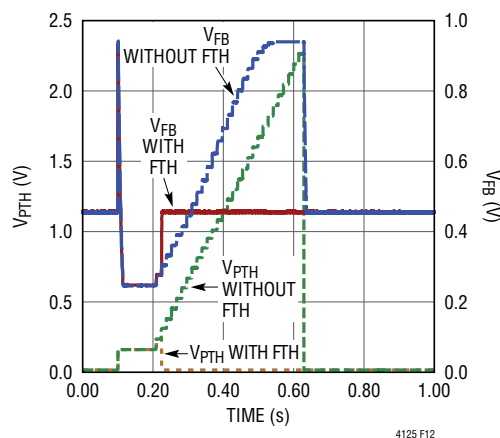


图 12: 在对 FTH 引脚进行或未进行旨在检测传导性异物之存在的设置时 PTH 和 FB 引脚波形的比较

于是, 在未采用 FTH 的情况下, 这些功率脉冲将继续传输一定量的功率至异物。为消除甚至这种少量的发送功率, 可把 FTH 引脚设置为比预期谐振频率 (由谐振回路电感和电容决定) 高约 10% 至 15%。如果在搜索区间的任何点上超过了该频率限值 (通常在第一个步进), LTC4125 将停止向物体传输任何功率, 而且 STAT 引脚将被设定至高阻抗以指示发送线圈未在传输任何功率。

在图 7 中示出的例子中, 谐振回路频率为 103kHz, 而且频率门限被设定为 119kHz, $R_{FTH2} = 59\text{k}\Omega$ 和 $R_{FTH1} = 100\text{k}\Omega$ 。

应用信息

定时器电容器 — C_{TS} 和 C_{TD}

连接至 CTS 引脚的电容器 (C_{TS}) 负责设定 CTS 频率 (f_{CTS})，这决定了最佳功率搜索中的步进稳定时间。该 CTS 频率可按下式所示进行设置：

$$f_{CTS} = \frac{10\mu A}{C_{TS} \cdot 1.2V}$$

式中的 $10\mu A$ 是典型的 $I_{CTS,PU}$ 和 $I_{CTS,PD}$ 。

同样地，连接至 CTD 引脚的电容器 (C_{TD}) 负责设定 CTD 频率，该频率可按下式所示进行设置：

$$f_{CTD} = \frac{10\mu A}{C_{TD} \cdot 1.2V}$$

式中的 $10\mu A$ 是典型的 $I_{CTS,PU}$ 和 $I_{CTD,PD}$ 。

参阅图 6 和图 13，两个采用 CTS 频率的定时间隔为 $T1$ (搜索起点处的初始复位之后的等待时间) 和 $T2$ (每个脉冲宽度步进之后的稳定时间)。采用 CTD 频率的定时间隔是 $T3$ (从一个搜索结束到下一个搜索开始的延迟时间)。这三个数值与定时器频率具有如下所示的关系：

$$T1 = \frac{256}{f_{CTS}} \quad T2 = \frac{32}{f_{CTS}} = \frac{T1}{8} \quad T3 = \frac{65 \cdot 10^3}{f_{CTD}}$$

对于推荐的 $C_{TS} = 4.7nF$ 和 $C_{TD} = 470pF$ ，这些定时间隔为 $T1 = 144ms$ 、 $T2 = 18ms$ 和 $T3 = 3.7s$ 。 $T1$ 和 $T2$ 的数值必需足够大，以使系统在复位之后有时间重新稳定至其零值 ($T1$)，并且在每个步进之后稳定其至新的数值 ($T2$)。对于 $50kHz$ 至 $250kHz$ 的推荐谐振频率范围，建议的 C_{TS} 电容器数值的初值为 $4.7nF$ 。

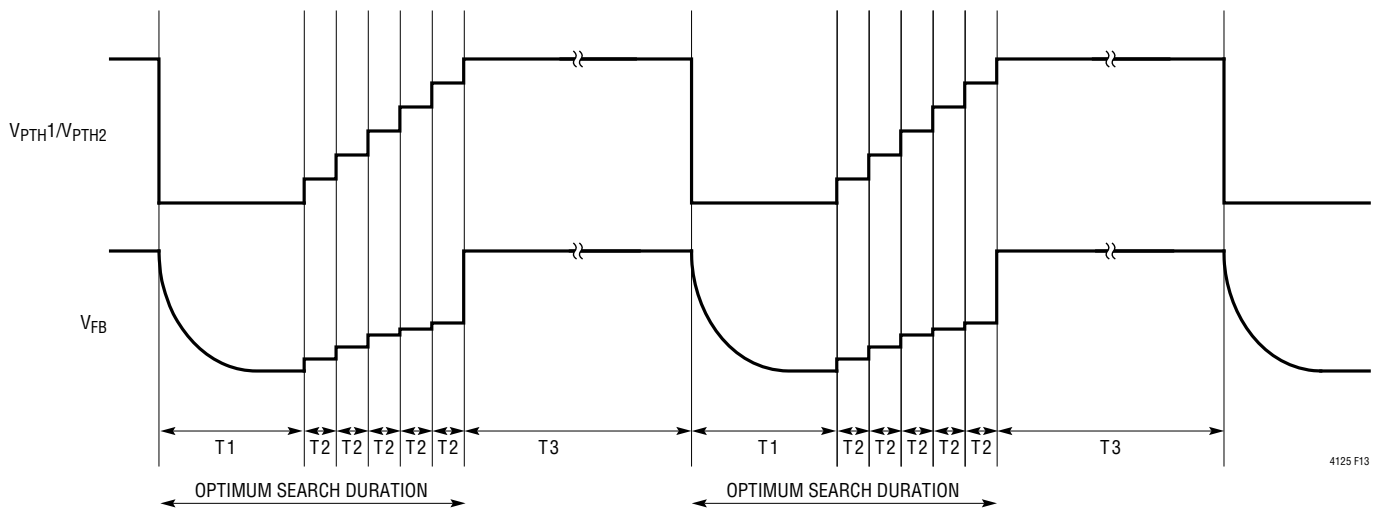


图 13：典型搜索周期的时序图

应用信息

T3 的数值决定了每次搜索之间的延迟间隔时间。用于 C_{TD} 电容器的 470pF 初值把每次搜索之间的该延迟时间设定为 3.7s。

对于图 7 中的电路 ($C_{TS} = 4.7\text{nF}$)，图 14 示出了在 FB、PTH1 和 PTH2 上的电压步进，并显示了在发现一个最佳功率点的过程中完成的一次成功扫描。请注意， V_{PTHx} 对应于全桥脉冲宽度，而 V_{FB} 则对应于发送谐振回路电压。

最小脉冲宽度 (PTHM 引脚)

在如图 14 所示的典型搜索中，第一个脉冲宽度约为 150ns。这对应于 PTHx 引脚上的最小电压 (见前面的“ V_{PTH1}/V_{PTH2} 和脉冲宽度”部分以了解更多的信息)。

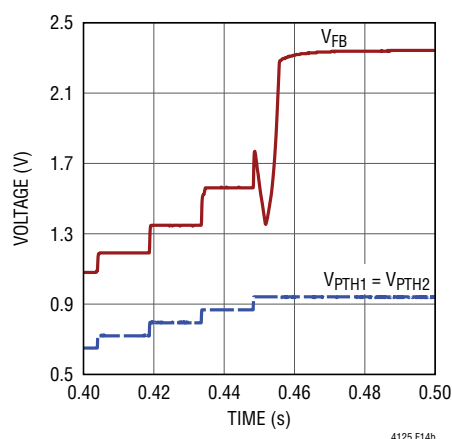
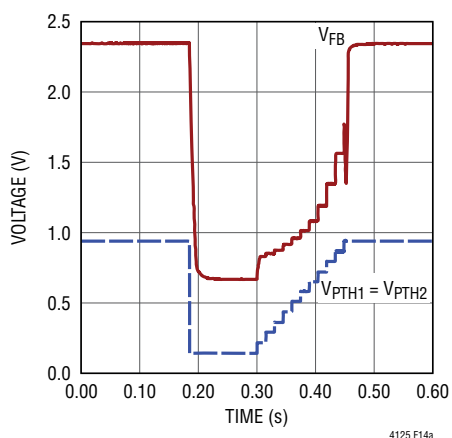


图 14：一次扫描期间的 FB、PTH1 和 PTH2 引脚电压步进 ($C_{TS} = 4.7\text{nF}$)

在有些应用中用户有可能发现在所有的操作条件下，脉冲宽度在每个搜索周期的末端都从未降至某个特定值以下。这表示不需要全桥的最低发送功率级别。倘若情况如此，则 PTHM 引脚可用于设置最佳功率搜索中脉宽扫描第一个步进的长度，以缩短搜索时间。该最小脉冲宽度值可根据下式设定：

$$\text{MINPW} = \left(\frac{0.576}{f_n} \cdot \frac{V_{PTHM}}{V_{IN}} \right) + 150\text{ns}$$

式中的 0.576 是 0.24V^{-1} (典型的归一化 PTH 电压至脉宽增益) 与 2.4V (PTH 引脚上的典型最大输出电压) 的乘积。

在 V_{IN} 和 GND 之间采用一个电阻分压器以设定 PTHM 引脚上的电压，公式简化如下：

$$\text{MINPW} = \left(\frac{0.576}{f_n} \cdot \frac{R_{PTHM2}}{R_{PTHM1} + R_{PTHM2}} \right) + 150\text{ns}$$

式中的 f_n 为 LC 谐振回路的谐振频率。

图 15 对比了采用 PTHM 和 PTHM 接地时的最佳功率搜索运行特性。采用图 7 中的电路来生成图 15，并在一种场合中把 PTHM 设定在 1.6V，而在另一种场合中则将 PTHM 接地。同样，请记住 V_{PTHx} 对应于全桥脉冲宽度，而 V_{FB} 对应于发送谐振回路电压。

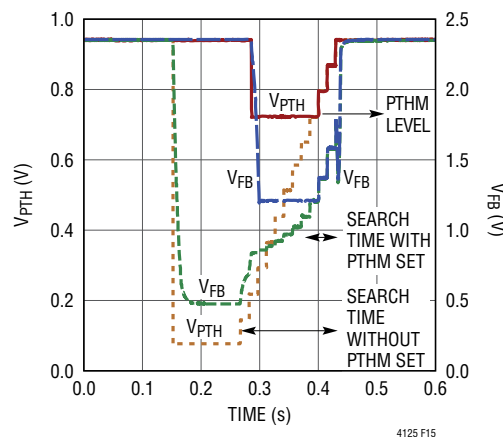


图 15：在扫描期间把 PTHM 连接至 GND 和把 PTHM 设置在某个特定值时 PTH 引脚电压步进的比较

应用信息

增量门限 (DTH 引脚)

最佳功率搜索算法中的退出条件之一是当反馈电压 (V_{FB}) 在扫描期间任何特定步骤中的增加大于 V_{DTH} 之时。在诸如图 14 中的电压步进所示的典型扫描中，由 LTC4125 执行的旨在检测最佳发送功率的多种退出条件得到了满足。因此 DTH 可编程退出条件是不需要的。然而，有些情况或许可从使用 DTH 获益。

在图 7 给出的示例电路中，当 LTC4120 接收器电路在最高目标间距 (最低的耦合) 具有最低输出功率时，为了找到最佳功率， V_{DTH} 退出条件是有用的。图 16 示出了当 LTC4120 以 40mA 在涓流充电恒定电流模式中对单节锂离子电池进行充电时 ($V_{BAT} = 2.7V$ ，距离 10mm)，反馈引脚上的电压步进示例。虚线示出了当 DTH 被置于开路状态时 FB 和 PTH 引脚上的电压步进，而第二根曲线则示出了当对 DTH 进行了适当的设置时相同引脚上的电压步进。

在该特殊的示例中，期望的最佳功率点对应于接收器上的 I_{CHG} 被调节在其需要的 40mA 目标值之时。在这种低负载、低耦合条件下，该退出点还与反馈引脚上的一个比所有

更早的电压步进更大的电压步进相一致。

请注意，只有当这个 $\Delta V_{FB} > V_{DTH}$ 的条件跟随一个 ΔV_{FB} 小于 $V_{IN}/64$ 的步进时，最佳功率搜索才视其为有效。在图 16 所示的实例中，紧靠在最佳点之前的 ΔV_{FB} 为 24mV，而位于最佳点的 ΔV_{FB} 为 432mV。

为了检测该实例中的最佳点，必需针对一个特定的门限 (小于 432mV) 来设置 DTH 引脚以提供 $\Delta V_{FB} > V_{DTH}$ 的退出条件。DTH 门限利用一个布设在 V_{IN} 和 GND 之间的电阻分压器按下面的公式进行设置：

$$V_{DTH} = \frac{R_{DTH2}}{R_{DTH1} + R_{DTH2}} \cdot V_{IN}$$

FB 引脚电压利用一个内部 7 位 A/D 进行采样，而且 DTH 引脚比较器也被量化至 7 位，两者共用一个 GND 至 V_{IN} 完整输入范围。于是， $\Delta V_{FB} > V_{DTH}$ 的退出条件常受到 7 位量化或舍入误差的影响。

在该例中，当 $V_{IN} = 5V$ 时，7 位 A/D 的 LSB 为 39mV。因此，432mV 的 V_{FB} 步进产生了 11.08 位。

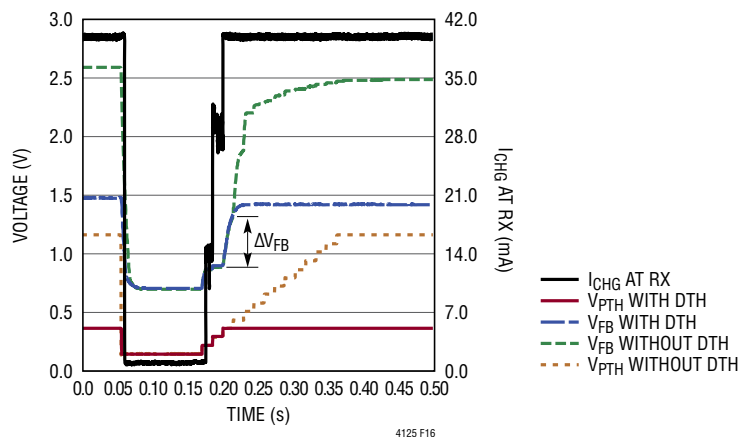


图 16：一个扫描期间的 V_{FB} 电压步进 (LTC4120 处于涓流充电 CC 模式，与接收器电路间距 10mm)

应用信息

把 V_{DTH} 值设定为 9.4 位 = 367mV，以使在此期望的步进上 $\Delta V_{FB} > V_{DTH}$ 的条件得到满足。当 $V_{IN} = 5V$ ，而且推荐的 $R_{DTH1} + R_{DTH2}$ 值大约为 100k Ω 时，获得了以下数值： $R_{DTH2} = 7.87k\Omega$ 和 $R_{DTH1} = 100k\Omega$ 。

过热故障门限

在最佳功率搜索中使用的故障情况之一是过热故障。为设定该温度故障门限，把一个 NTC 热敏电阻 R_{NTC2} 连接在 NTC 引脚和 GND 引脚之间，并在 IN 引脚和 NTC 引脚之间连接一个电阻器 R_{NTC1} (图 17)。在典型的应用中，该 NTC 热敏电阻热耦合至发送线圈的表面，并且设定温度门限以确保线圈表面上的安全温度。

在最简单的应用中， R_{NTC1} 是一个 1% 精度电阻器，其阻值与所选 NTC 热敏电阻在 25°C 时的阻值 (25°C 时的 R_{NTC2}) 相等。在这种简单的设置中，当 NTC 热敏电阻的电阻值降至 0.538 乘以 25°C 时的 R_{NTC2} 阻值时，LTC4125 检测到一种故障情况。对于一个 Vishay “Curve 2” 热敏电阻 ($B_{25}/B_{85} = 3486$)，这对应于大约 41.5°C。当采用一个 Vishay “Curve 2” 热敏电阻时，LTC4125 具有一个约 5°C 的迟滞，以防止在跳变点周围产生振荡。

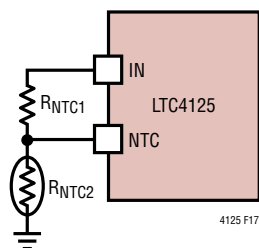


图 17：NTC 热敏电阻连接

请查阅制造商提供的产品手册以了解其他类型的热敏电阻。温度门限可通过改变 R_{NTC1} 的阻值来调整。 R_{NTC1} 根据下式设定，而不是简单地设定 $R_{NTC1} = 25^\circ\text{C}$ 时的 R_{NTC2} ：

$$R_{NTC1} = 1.857 \cdot \text{在 temperature_threshold 时的 } R_{NTC2}$$

作为一条快速经验法则，把 R_{NTC1} 的阻值改为小于 25°C 时的 R_{NTC2} 将抬高温度门限，反之亦然。例如：采用一个在 25°C 时的标称值为 10k Ω 的 Vishay “Curve 2” 热敏电阻，用户能够通过设定 R_{NTC1} 的阻值 = 7.5k Ω 把温度设定在 50°C。

把 NTC 引脚置于开路状态或将其连接至一个电容器可停用所有的 NTC 过热故障功能。

采用 DHC 的 LTC4120 效率优化器

当把 LTC4125 和 LTC4120 在一个无线功率系统中配合起来使用时，LTC4120 上的 DHC 引脚可通过配置以进一步优化系统的整体效率 (见图 7 — 用虚线封闭起来的电路)。DHC 引脚并没有驱动一个电容器，而是接通一个依靠接收器电路之整流输入电压的 15V 箝位电路 (D_C 、 R_C 、 $M1$)。注意，在某些最差的瞬态情况下，15V 箝位需要耗散高达 0.8W。

选择 15V 的箝位电压以给 LTC4120 14V DHC 引脚门限提供 1V 裕度。选择连接至 DHC 引脚的 RC 网络值以提供足够的延迟，从而使得 LTC4120 上的输入电压能够在 15V 箝位启动之前上升至 39V (为在 LTC4125 上实现最佳功率检测创造了条件)。应遵循下面的准则：

$$\frac{RC}{(V_{ZH} - V_{BE})} > 1.5 \cdot T2$$

式中的 $T2$ 是“定时器电容器”部分中讨论的最佳功率搜索步进的稳定时间。在图 7 中， $V_{ZH} = 39V$ ， $V_{BE} = 0.7V$ 且 $T2$ 为 18ms。因此，RC 的数值必需大于 1s。请注意，选择合适的电阻值以使在 15V 的箝位电压条件下，通过电阻器提供的 NPN 基极电流大于 0.5mA。所以，R 选择 24.9k，C 选择 47 μF 。

针对 NPN 最重要的准则是共发射极电流增益在 $I_b = 0.5\text{mA}$ 时大于 50，而且其最大功率耗散能力大于 0.5W。采用一个标准的 3904 NPN 效果很好。

应用信息

电路板布局考虑

当使用 LTC4125 电路时，在触摸电路板的时候必须谨慎从事，因为高电压在 LC 谐振回路中产生。图 18 用红色指示了存在于典型电路中的高电压节点。就谨慎的布局而言，这些高电压节点的面积应尽量缩减，并进行隔离以实现安全和简便的操作。

为了实现输入电流的准确检测，从 R_{IS} 引出的检测线必须采用正确的开尔文 (Kelvin) 连接一路回接至检测电阻器端子，如图 18 所示。连接至这些电阻器的导线必须紧挨在一起排布 (检测走线之间的环路面积应保持极小) 并远离噪声源 (例如：发送线圈) 以最大限度地减少误差。增益电阻器 R_{IN} 和滤波电容器 C_{IF} 应布设在靠近 LTC4125 的地方，这样经过滤波的高阻抗线路在到达 IS^+ 和 IS^- 引脚之前不必穿越很远的距离。

去耦电容器 C_{IN} 、 C_{IN1} 和 C_{IN2} 必须安置在尽可能靠近 LTC4125 之处。这可在这些电容器与各自的 IN 引脚及器件的 GND 引脚之间提供尽可能简短的路线 (最小化的电感)。图 18 用蓝色和绿色指示流过 C_{IN1} 、 $IN1$ 、 $SW1$ 和 GND 以及 C_{IN2} 、 $IN2$ 、 $SW2$ 和 GND 的热电流环路。应使这些热

电流环路的物理布局尽可能地小，以最大限度地减小环路中的寄生电阻和电感。尽管 LTC4125 和发送线圈之间的走线电感无关紧要，但是电阻则是关系重大。采用一根长度最短并具有最大可用铜厚度和宽度的走线。

最后但并非最不重要：在发送线圈中流过的电流会相当大。另外，该电流还流过 LTC4125 中的开关。对于采用一个高品质因数发送线圈和谐振电容器的应用电路来说，具有超过 2.5A RMS 的电流并不少见。在 2.5A，LTC4125 中的功率耗散大约为 1.25W (在全桥设置中，电流始终流过两个约 0.2Ω 的开关)。当 θ_{JA} 为 $43^\circ\text{C}/\text{W}$ 时，LTC4125 器件的工作温度将比环境温度大致高出 55°C 。

为确保这些引用的热阻值得以实现，应遵循以下良好的布局惯例：在实际情况和经济上可行时，在电路板层中采用最大的铜重量，布设连接至器件裸露衬垫的建议数目的过孔 (通过 www.linear.com.cn 网站查阅针对耐热性能增强型引线塑料封装的 LTC 应用指南《Application Notes》)，并使用连接至这些过孔的最大尺寸的 GND 平面。为实现 LTC4125 的正确运作，需确保还遵循了其他常用的优良电路板布局惯例。这包括隔离含噪声的电源和信号地，具有一

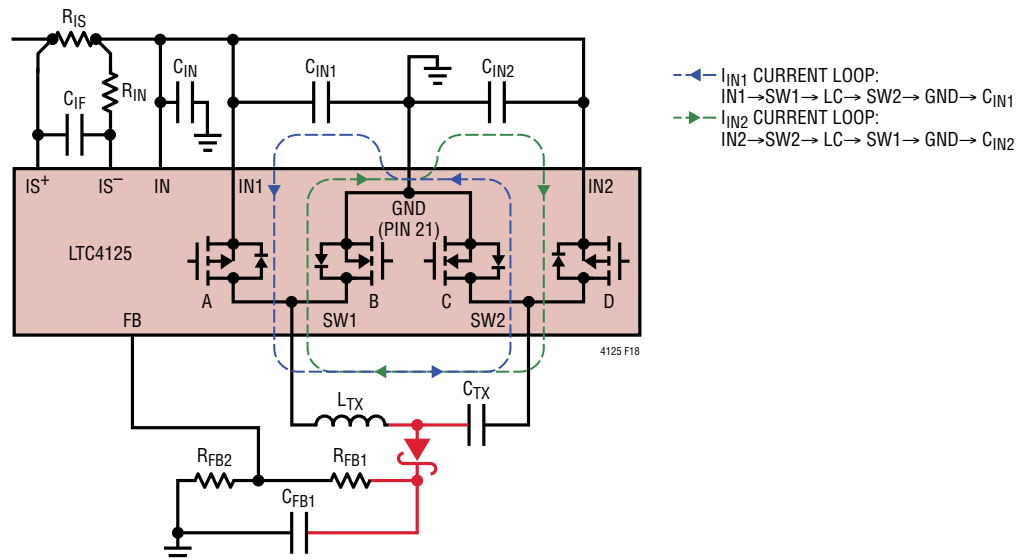


图 18：LTC4125 电路中的高电压节点 (红)、开尔文 (Kelvin) 线路和热电流环路

应用信息

个良好的低阻抗接地平面，在需要时实施屏蔽，并使敏感信号的布线尽可能地简短并远离电路板充满噪声的部分。

图 19 示出了针对 LTC4125 应用电路的 4 层电路板推荐布局，并突出显示了高电压节点和热电流环路。

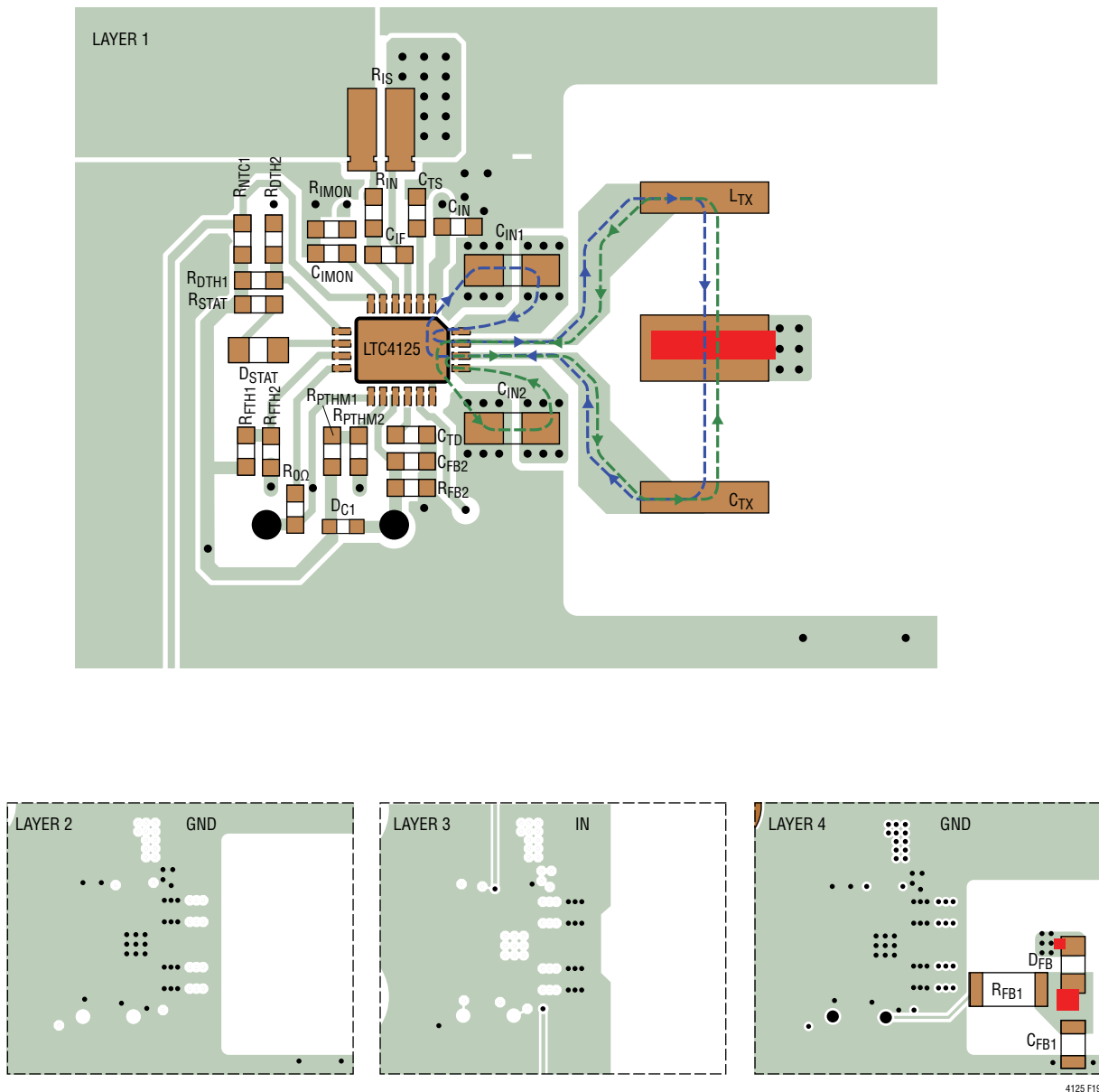
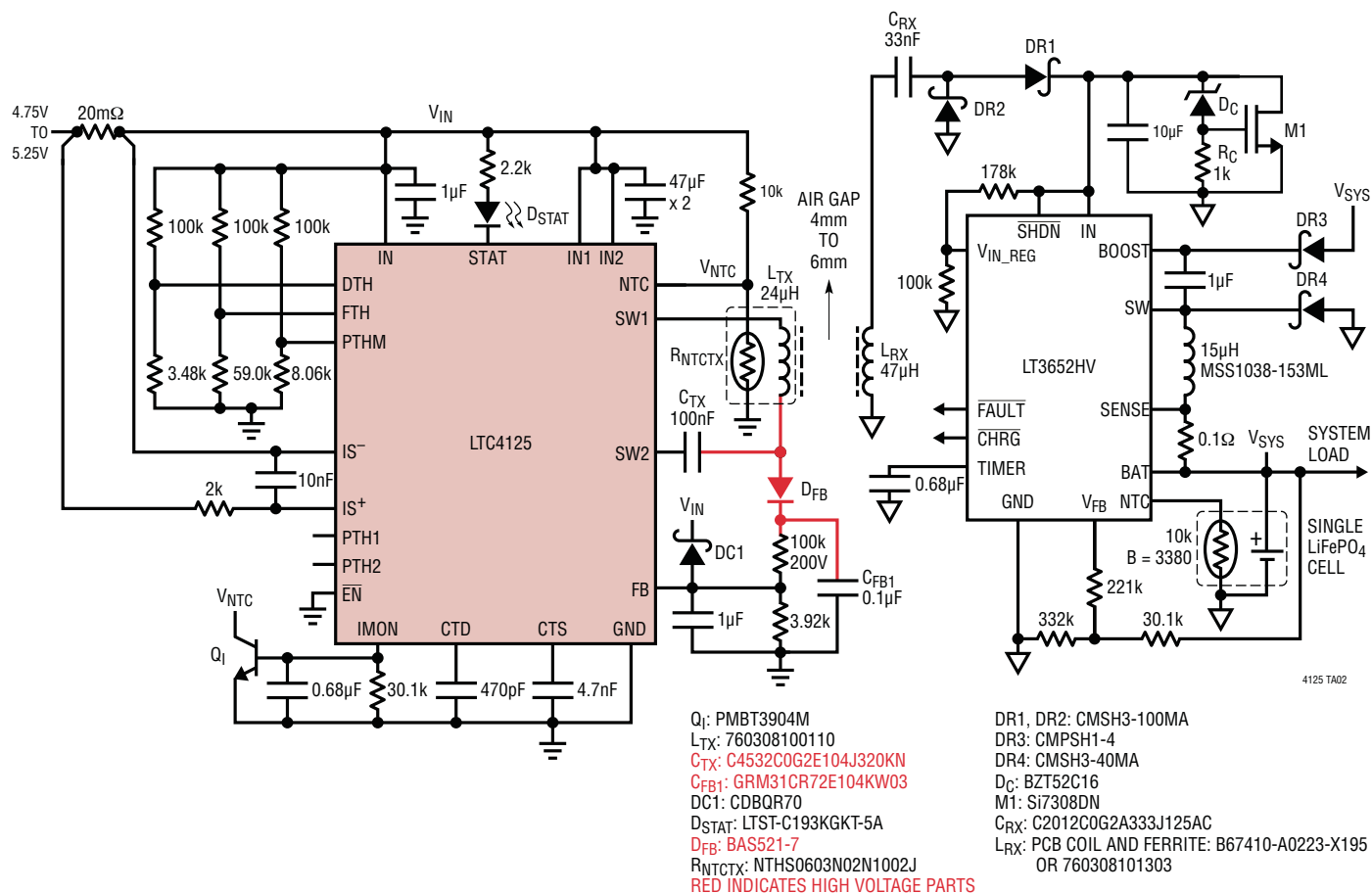


图 19：LTC4125 应用电路在 4 层电路板上的布局示例 (红色指示高电压区域)
可登录 www.linear.com.cn 网站以参见演示板 DC2330A

典型应用

在一个把 LT3652HV 作为接收器上的 1A 单节 LiFePO₄ (3.6V 浮置电压) 电池充电器的无线功率系统中, LTC4125 在 103kHz 驱动一个 24 μ H 发送线圈, 并采用 119kHz 频率限值和 41.5°C 发送线圈表面温度限值



4V TO 5.5V

100mΩ

V_{IN}

100k 100k 100k

4.32k 59.0k 8.45k

10.2k 10nF

IS⁻ IS⁺

PTH1 PTH2

EN

IMON CTD CTS

10nF 150k 470pF 4.7nF

LTC4125

IN STAT IN1 IN2

1μF 2.21k 47μF x 2

NTC SW1

R_{NTCTX}

C_{TX} 100nF

SW2

V_{IN}

DC1

100k 100V

7.68k

0.1μF

FB

GND

L_{TX} 24μH

AIR GAP 3mm TO 10mm

L_{RX} 47μH

33nF

DR1

DR2

10μF

DFLZ30

D_C

R_C 1k

M1

24.9k

47μF

QR1

10nF

L1 15μH

LTC4120-4.2

RUN IN DHC

BOOST SW

CHGSNS BAT

BATSNS NTC

PROG GND FREQ INTV_{CC}

6.04k 2.2μF

R_{NTCRX}

SINGLE CELL Li-Ion BATTERY PACK

4125 TA03

L_{TX}: WT505090-20K2-A10-G
C_{TX}: C3216C0G2A104J160AC
C_{FB1}: HMK107BJ104KA-T
DC1: CDBQR70
D_{STAT}: LTST-C193KGKT-5A
D_{FB}: BAS521-7
R_{NTCTX}: NTHS0603N02N1002J
RED INDICATES HIGH VOLTAGE PARTS

DR1, DR2, DR3: DFLS240L
D_C: BZT52C13
M1: Si7308DN
QR1: PMBT3904M
R_{NTCRX}: NTHS0402N02N1002F
L_{RX}: PCB COIL AND FERRITE: B67410-A0223-X195 OR 760308101303
L1: LPS4018-153ML

相关器件

器件型号	描述	备注
AN138	无线功率用户指南	
LTC4120	无线功率接收器和 400mA 降压型电池充电器	无线单节至两节锂离子电池充电器，400mA 充电电流，动态协调控制，宽输入范围：12.5V 至 40V，3mm x 3mm QFN-16 封装。
LTC4070	并联锂离子 / 锂聚合物电池充电器系统	低工作电流 (450nA)，在整个温度和并联电流范围内实现了 1% 的浮置电压准确度，50mA 最大内部并联电流 (采用外部 PFET 时可达 500mA)，可通过引脚来选择的浮置电压：4.0V、4.1V、4.2V。用于提供锂离子 / 锂聚合物电池保护的超低功率脉动 NTC 浮置电压查验，8 引脚 (2mm x 3mm) DFN 封装和 MSOP 封装。
LTC4071	具低电池电量断接功能的并联锂离子 / 锂聚合物电池充电器系统	集成型电池组保护，<10nA 低电池电量断接功能用于保护电池免遭过度放电的损坏。低工作电流 (550nA)，在整个温度和并联电流范围内实现了 1% 的浮置电压准确度，50mA 最大内部并联电流，可通过引脚来选择的浮置电压：4.0V、4.1V、4.2V。用于提供锂离子 / 锂聚合物电池保护的超低功率脉动 NTC 浮置电压查验，8 引脚 (2mm x 3mm) DFN 封装和 MSOP 封装。
LT3652HV	功率跟踪 2A 电池充电器	用于太阳能应用中的峰值功率跟踪 (MPPT) 的输入电源电压调节环路 (独立型)， V_{IN} ：4.95V 至 34V (40V 绝对最大值)，1MHz，2A 充电电流， V_{OUT} ：3.3V 至 18V，定时器或 C/10 充电终止，12 引脚 3mm x 3mm DFN 封装和 MSOP 封装。