

概述

3933 是一个 3 通道低功耗 ASK 接收器，在使用 15 至 150 kHz 之间的 LF 载波频率的数据信号时，能够在检测到并产生唤醒。内部集成的相关器可用于检测可编程的 16 位或 32 位曼彻斯特唤醒模式。该设备可以使用一个，两个或三个活动通道进行操作。

3933 为每个有源通道提供数字 RSSI 值，支持可编程数据速率和具有时钟恢复功能的曼彻斯特解码。3933 提供了一个内部时钟发生器，它是由晶体振荡器或内部 RC 振荡器产生的。用户可以决定使用外部时钟发生器。

3933 的可编程功能可以优化其设置，以实现更长的距离传输，同时保持可靠的唤醒生成。3933 的灵敏度级别可以在强场或嘈杂环境中进行调整。

天线调谐大大简化，因为自动调谐功能确保与期望载波频率的完美匹配。

该器件采用 16 引脚 TSSOP 和 16-LD QFN（4x4mm）封装

主要优点和特点

3933，3D 低频的优点和特点

唤醒接收机如下：

图 1：

增加使用 3933 的价值

优点	特点
• 启用低功耗有源标签	• 3 通道 ASK 唤醒接收器
• 可选载波频率	• 载波频率范围 15 - 150 kHz
• 一，二或三通道操作	• 1-D，2-D 或 3-D 唤醒模式检测
• 非常低的容错率唤醒	• 32 位可编程唤醒模式
• 提高对错误唤醒的能力	• 支持唤醒模式翻倍
• 仅允许频率检测	• 无需模式检测即可唤醒
• 提供最佳的灵敏度范围	• 唤醒灵敏度 80 μ VRMS（典型值）
• 可调范围	• 灵敏度可调
• 提供错误唤醒的跟踪	• 假唤醒计数器
• 确保在噪音环境中唤醒	• 定期强制唤醒（1 秒 - 2 小时）
• 延长电池寿命	• 3 通道监听模式下的电流消耗 2.3 μ A（典型值）
• 灵活的时钟配置	• 基于 RTC 的 32 kHz XTAL，RC-OSC 或外部时钟
• 从 3V 电池操作	• 工作电源范围 2.4V - 3.6V（TA = 25° C）
• 工业温度范围	• 工作温度范围为 -40° C 至 85° C

应用

3933，3D 低频唤醒接收器是有源 RFID 标签，实时定位系统，操作员识别，访问控制和无线传感器的理想选择。

图 2:
3933 晶振典型应用图

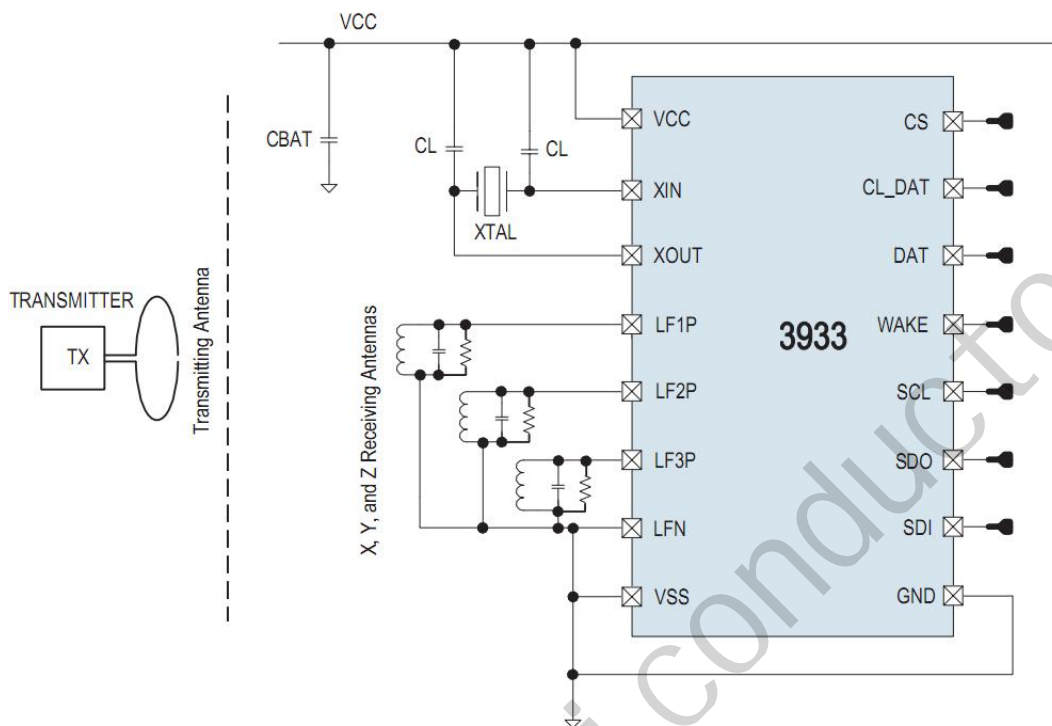


图 3:
3933 具有 RC 振荡器的典型应用图

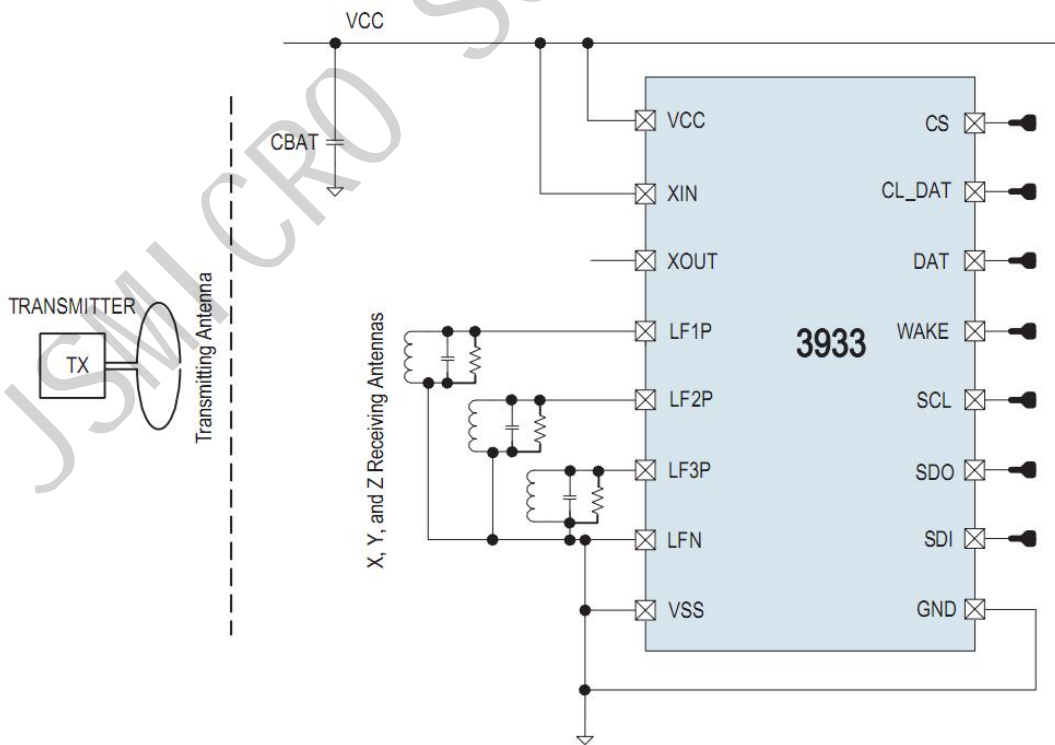
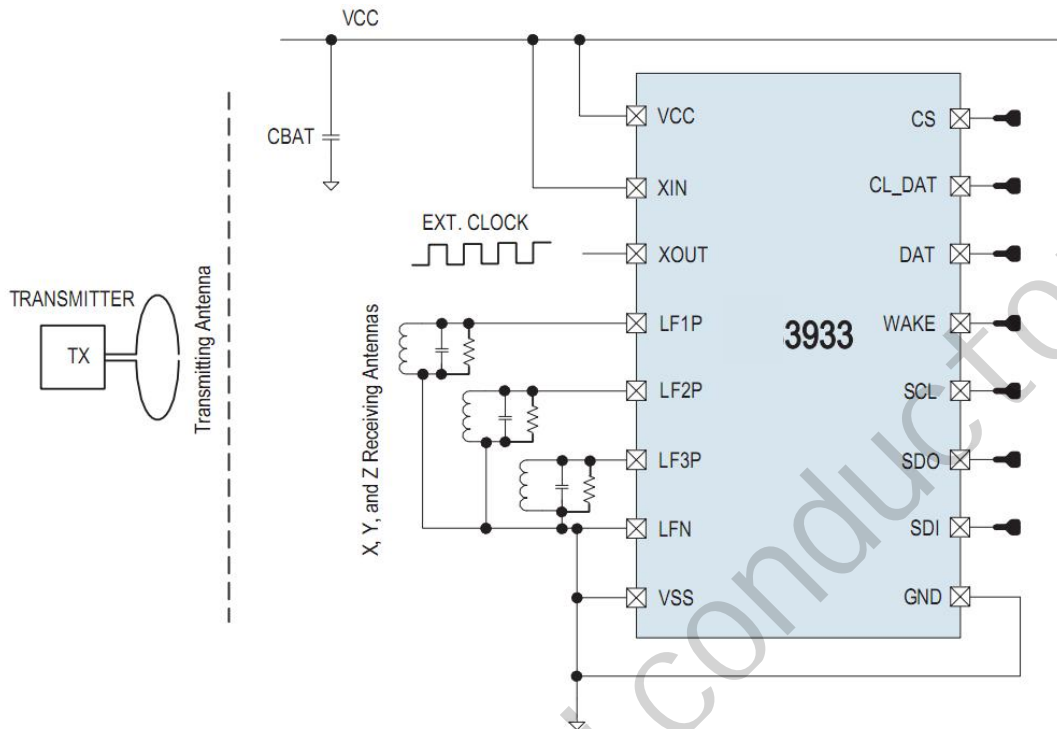


图 4:
3933 外部源时钟的典型应用图

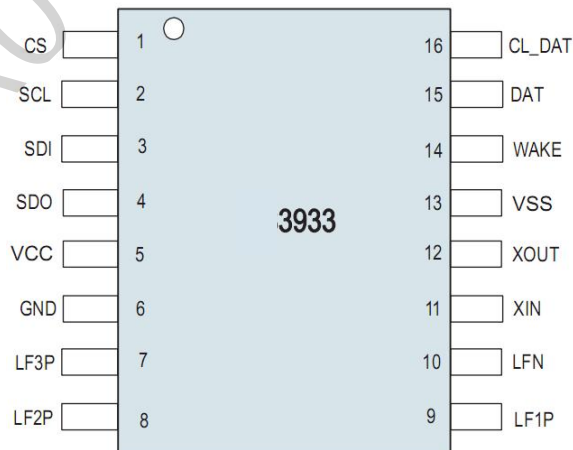


引脚分布

TSSOP-16 封装

图 5:

TSSOP 引脚分布（俯视图）



引脚说明

图 6:
TSSOP-16 引脚说明

引脚名称	引脚号	引脚类型	描述
CS	1	数字输入	芯片选择
SCL	2	数字输出/三态	SDI 接口时钟
SDI	3	供电	SDI 数据输入

SDO	4	模拟 I/O 口	SDI 数据输出 (CS 为低电平时为三态)
Vcc	5		正电源电压
GND	6		负电源电压
LF3P	7		输入天线通道三
LF2P	8		输入天线通道二
LF1P	9		输入天线通道一
LFN	10		天线一, 二, 三的 GND
XIN	11		晶体振荡器输入
XOUT	12		晶振输出
VSS	13	电源负端	
WAKE	14	数字输出	唤醒输出 IRQ
DAT	15		数据输出
CL_DAT	16		曼彻斯特恢复时钟

晶圆

DoW 属性:

- 晶圆直径: 8 “
- 工艺: 0.35 μm
- 晶圆厚度: 725 $\mu\text{m} \pm 15 \mu\text{m}$
- 划痕线: 80 μm
- 芯片尺寸: 2.070 x 1.700 mm
- 垫尺寸: 85 x 85 μm

图 9:

DoW 压点分配

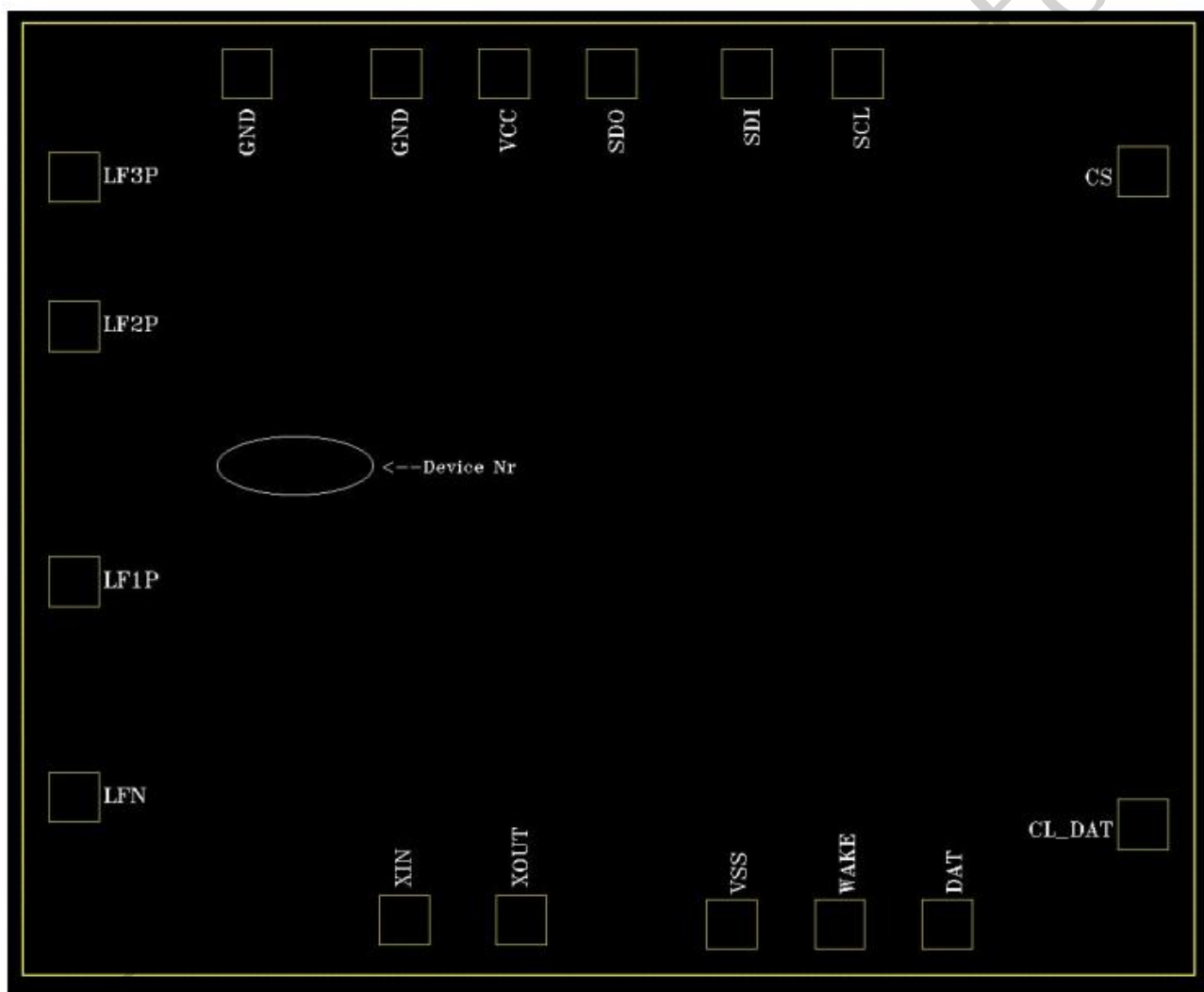


图 10:

DoW 压点描述和位置

位置	压点	名称	X 中心 (um)	Y 中心 (um)
上边	1	GND	381.5	1532.5
	2	GND	634.5	1532.5
	3	VCC	817.5	1532.5
	4	SDO	1000.5	1532.5
	5	SDI	1230.5	1532.5
	6	SCL	1417.5	1532.5
右边	1	CL_DAT	1902.5	257.5
	2	CS	1902.5	1365.5
底部	1	XIN	648.35	94.5
	2	XOUT	847.5	94.5
	3	VSS	1203.5	87.5
	4	WAKE	1387.5	87.5
	5	DAT	1569.5	87.5
左边	1	LFN	87.5	303.5
	2	LF1P	87.5	669.5
	3	LF2P	87.5	1103.5
	4	LF3P	87.5	1356.5

绝对最大额定值

超出绝对最大额定值列出的值可能会导致设备永久性损坏。 这些只是测试等级。 在这些或任何其他条件以外的设备的功能操作不在操作条件中指出。 长时间暴露于绝对最大额定值条件可能会影响器件的可靠性。

图 11:

绝对最大额定值

标识	参数	Min	Max	Unit	说明
电气参数					
VDD	DC 供电电压	-0.5	5	V	
Vin	输入电压	-0.5	5	V	
Isource	输入电流	-100	100	mA	规范: Jecdec 78
静电放电					
ESD	静电放电	±2		Kv	规范: MIL 883 Emethod 3015 (HBM)
持续功耗					
Pt	总功耗 (所有用品和 产出)		0.07	mW	
温度范围和存储条件					
Tstrg	储存温度	-65	150	° C	

Tbody	封装体温度		260	° C	规范：IPC / JEDEC J-STD-020 回流峰值焊接温度(表面温度)根据 IPC / JEDEC J-STD-020 “非密封固态表面贴装器件的湿度/回流敏感度分类”规定。
RHNC	相对湿度 (非冷凝)	5	85	%	
MSL	湿度敏感度	3			最大使用寿命为 168h

图 12:
运行条件
电气特性

标识	参数	条件	Min	Typ	Max	Unit
Vdd	正电源电压		2.4	3	3.6	V
Vss	负电源电压		0		0	V
TAMB	环境温度		-40		85	°C

图 13:
数字输入和输出的直流/交流特性

标识	参数	条件	Min	Typ	Max	Unit
CMOS 输入						
VIH	高电平输入电压		0.6* VDD	0.7* VDD	0.8* VDD	V
VIL	低电平输入电压		0.12*VDD	0.2*VDD	0.3*VDD	V
ILEAK	输入漏电流				100	nA
CMOS 输出						
VOH	高电平输出电压		VDD - 0.4			V
VOL	低电平输出电压				VSS + 0.4	V
CL	电容负载				400	pF
三态 CMOS 输出						
VOH	高电平输出电压		VDD - 0.4			V
VOL	低电平输出电压				VSS + 0.4	V
IOZ	三态泄漏电流				100	nA

图 14:
电气系统特性

标识	参数	条件	Min	Typ	Max	Unit
RIN	交流输入阻抗为125kHz	如果没有设置天线阻尼器 (R1 <4> = 0)		2		MΩ
F1max	最大输入频带 1			150		kHz
F1min	最小输入频段 1			95		kHz
F2max	最大输入频带 2			95		kHz
F2min	最小输入频段 2			65		kHz
F3max	最大输入频带 3			65		kHz
F3min	最小输入频段 3			40		kHz
F4max	最大输入频带 4			40		kHz
F4min	最小输入频段 4			23		kHz
F5max	最大输入频带 5			23		kHz
F5min	最小输入频段 5			15		kHz
电流损耗						
I1CHRC	具有一个有源通道和 RC 振荡器作为时钟发生器在标准监听模式下的电流消耗			3.1		uA
I2CHRC	具有两个有源通道和 RC 振荡器作为时钟发生器的标准监听模式下的电流消耗			4.6		uA
I3CHRC	具有三个有源通道和 RC 振荡器作为时钟发生器在标准监听模式下的电流消耗			6.1		uA
I3CHSCRC	具有三个有源通道和 RC 振荡器作为时钟发生器在扫描模式下的电流消耗			3.1		uA
I3CHOORC	具有三个有源通道和 RC 振荡器作为时钟发生器在 ON / OFF 模式下的电流消耗	11%占空比		2.3		uA
		50%占空比		3.8		
I3CHXT	具有三个有源通道和晶体振荡器作为时钟发生器在标准监听模式下的电流消耗			6.5	8.9	uA
IDATA	前导码检测中的电			8.3	12	uA

	流消耗/模式相关/ 数据接收模式 (RC 振荡器)					
IBOOST	如果增益启用, 每 通道额外的电流消 耗			150		nA
输入灵敏度						
SENS1	Band1 中所有通道 的输入灵敏度	具有 125 kHz 载波频率, 芯片 处于默认模式, 4 个半位突发+ 4 个符号前导码和单个前导码 检测		100		μ Vrms
SENS1B	在 Band1 的所有通 道上输入灵敏度, 增益为 3dB	具有 125 kHz 载波频率, 芯片 处于默认模式, 4 个半位突发+ 4 个符号前导码和单个前导码 检测		80		μ Vrms
SENS2	Band2 中所有通道 的输入灵敏度	具有 90 kHz 载波频率, 芯片在 默认模式下, 4 个半位突发+ 4 个符号前导码和单个前导码 检测		100		μ Vrms
SENS2B	在 Band2 的所有通 道上输入灵敏度, 增益为 3dB	具有 90 kHz 载波频率, 芯片在 默认模式下, 4 个半位突发+ 4 个符号前导码和单个前导码 检测		80		μ Vrms
SENS3	Band3 中所有通道 的输入灵敏度	具有 60 kHz 载波频率, 芯片处 于默认模式, 4 个半位突发+ 4 个符号前导码和单个前导码 检测		100		μ Vrms
SENS3B	在 Band3 的所有通 道上输入灵敏度, 增益为 3dB	具有 60 kHz 载波频率, 芯片处 于默认模式, 4 个半位突发+ 4 个符号前导码和单个前导码 检测		80		μ Vrms
SENS4B	在 Band4 的所有通 道上输入灵敏度, 增益为 3dB	具有 30 kHz 载波频率, 芯片处 于默认模式, 4 个半位突发+ 4 个符号前导码和单个前导码 检测		80		μ Vrms
SENS5B	在 Band5 的所有通 道上输入灵敏度, 增益为 3dB	具有 18 kHz 载波频率, 芯片处 于默认模式, 4 个半位突发+ 4 个符号前导码和单个前导码 检测		80		μ Vrms
频道建立时间						
TSAMP	放大器稳定时间			250		μ S
晶体振荡器						
FXTAL	频率		25	32.76 8	45	kHz

XTAL	启动时间				1	s
IXTAL	电流损耗			300		nA
外部时钟源						
IEXTCL	电流损耗			0.8		uA
FEXTCL	频率		25		45	kHz
RC 振荡						
FRCNCAL	频率	如果不进行校准	25	32.768	45	KHz
FRCCAL32		如果使用 32.768 kHz 参考信号进行校准	31	32.768	34.5	
FRCCALMAX		校准后可达到的最大频率		23.75		
FRCCALMIN		校准后最小可实现的频率		45		
TRC	启动时间	从 RC 使能 (R1 <0> = 0)			1	s
TCALRC	校准时间		65			参考时钟周期
IRC	电流消耗				650	nA
LC 振荡						
FLCOMIN	最小频率	L=47mH (Premo: SDTR1103-0108+), C=2.3nF		15		kHz
FLCOMAX	最大频率	L=7.2mH (Premo: SDTR1103-0720+), C=1nF		150		kHz
RPARMIN				10		kΩ
可调电容						
LF1Ptuning	电容	LF1P 上的最大内部电容 (步进为 1pF)		31		pF
LF2Ptuning		LF2P 上的最大内部电容 (步进为 1pF)		31		pF
LF3Ptuning		LF3P 上的最大内部电容 (步进为 1pF)		31		pF

典型工作特性

图 15:

灵敏度对电压和温度

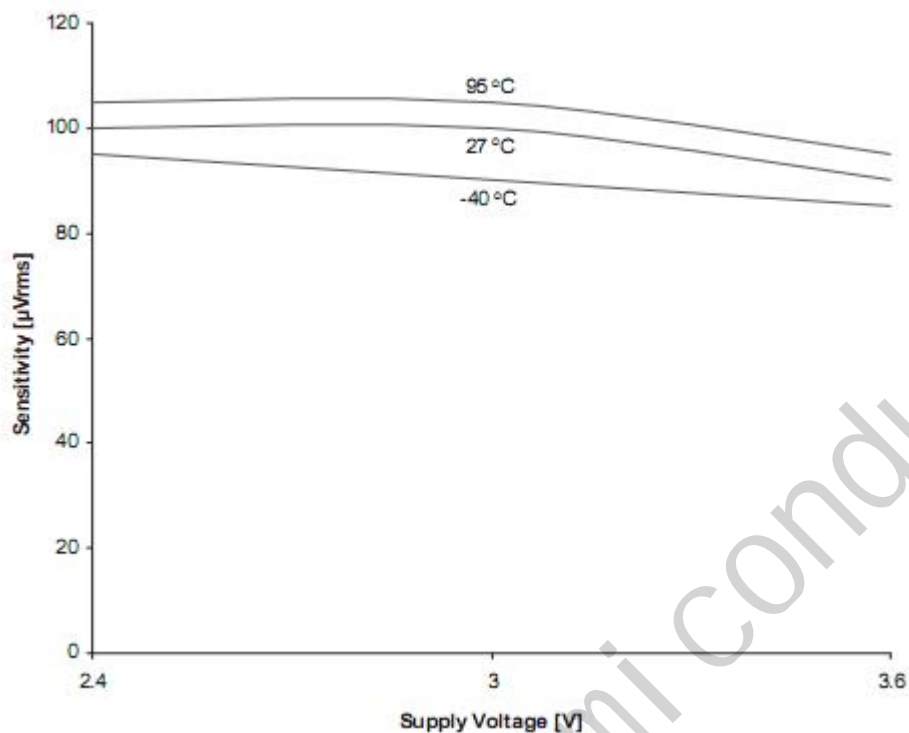


图 16:

灵敏度 vs RSSI

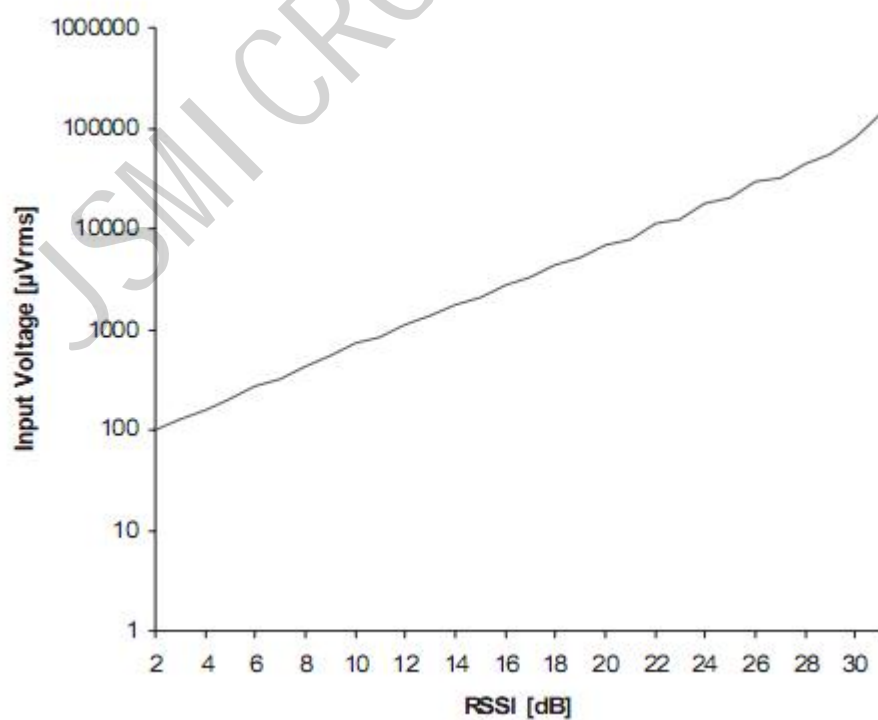


图 17:

RC 振荡器频率与电压（校准）

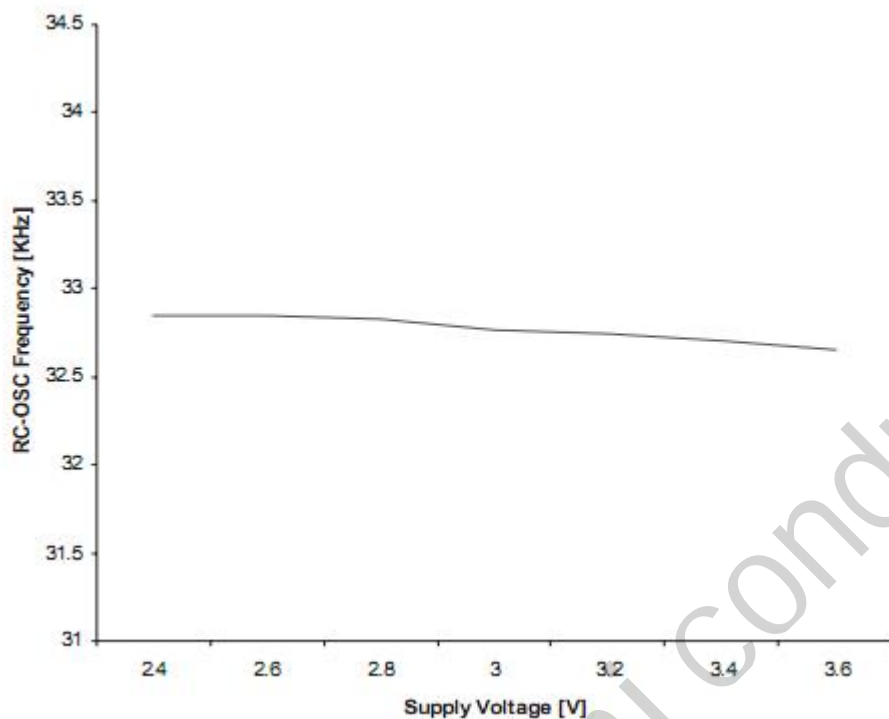
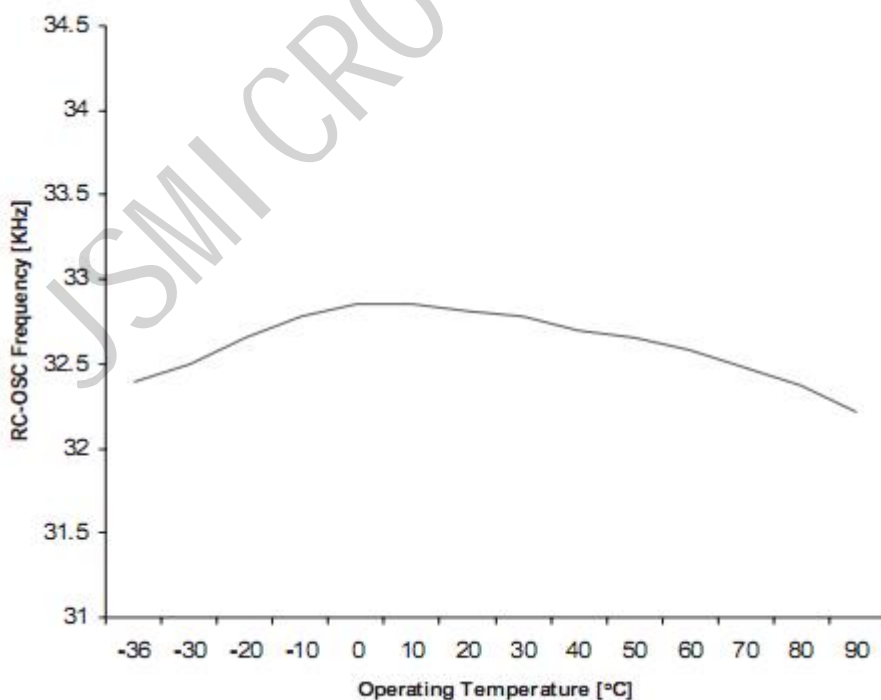


图 18:

RC 振荡器频率与温度（校准）



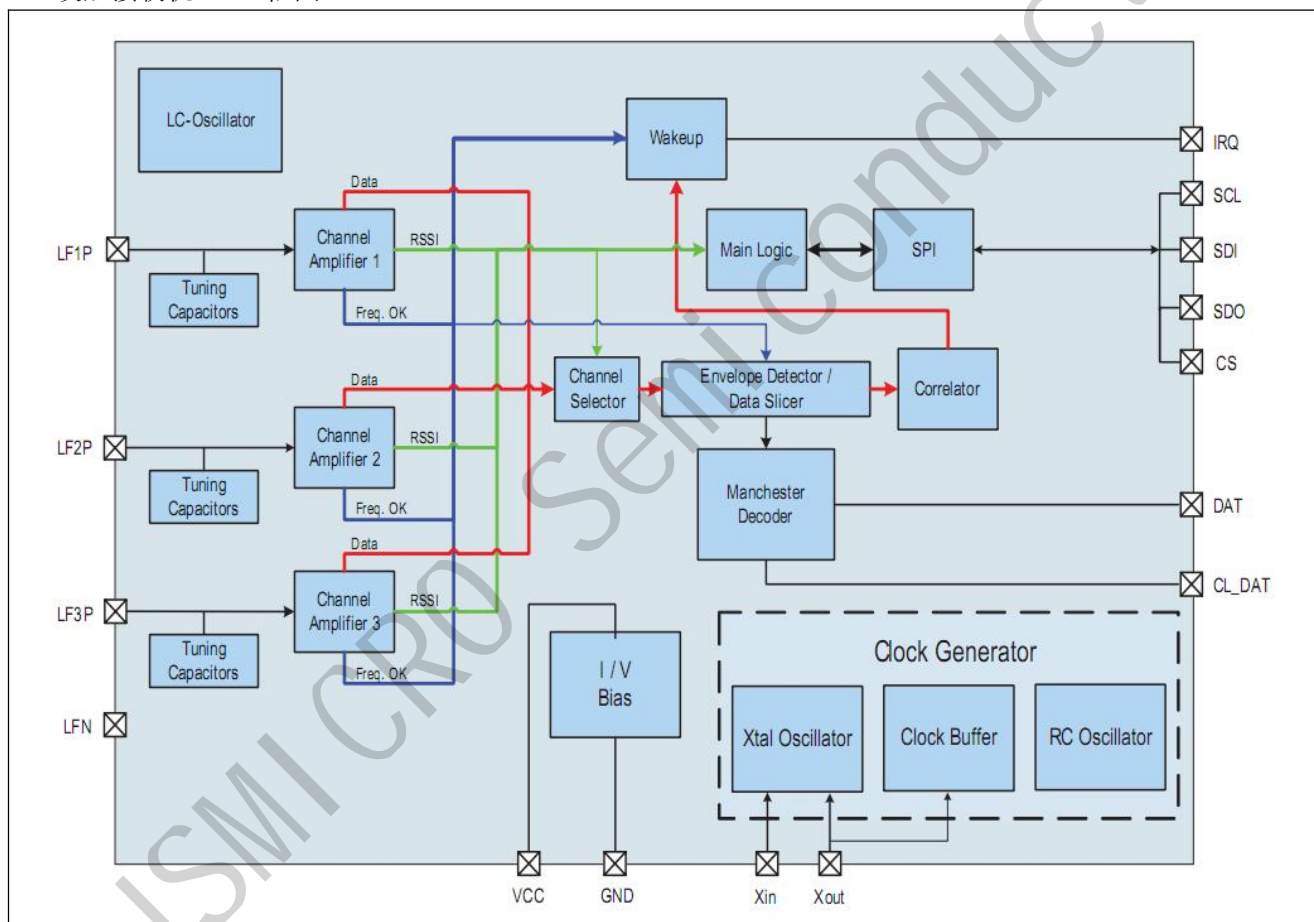
3933 是三维低功耗低频唤醒接收机。3933 能够检测电感耦合载波的存在，并且可以提取 ON-OFF-Keying (OOK) 调制载波的包络。在载波被曼彻斯特编码的情况下，可以从接收到的信号恢复时钟，并且数据可以与编程模式相关。如果检测到的模式对应于所存储的模式，则唤醒信号 (IRQ) 升高。模式相关可以被禁用;在这种情况下，唤醒检测仅基于频率检测。

3933 由三个独立的接收通道组成，一个包络检波器，一个数据相关器，一个曼彻斯特解码器，19 个可编程寄存器逻辑和时钟发生器。SPI 可以访问数字逻辑。时钟发生器可以基于晶体振荡器，或内部 RC 振荡器或外部时钟。如果使用 RC 振荡器来提高其精度，则可以进行校准。内部 LC 振荡器可以为每个通道提供天线的振荡频率，内部调谐电容器组可提供微调。

内部 RC 振荡器可以通过 SPI 或基于天线共振频率的内部算法进行校准。

图 19:

LF 唤醒接收机 3933 框图



3933 需要以下外部组件:

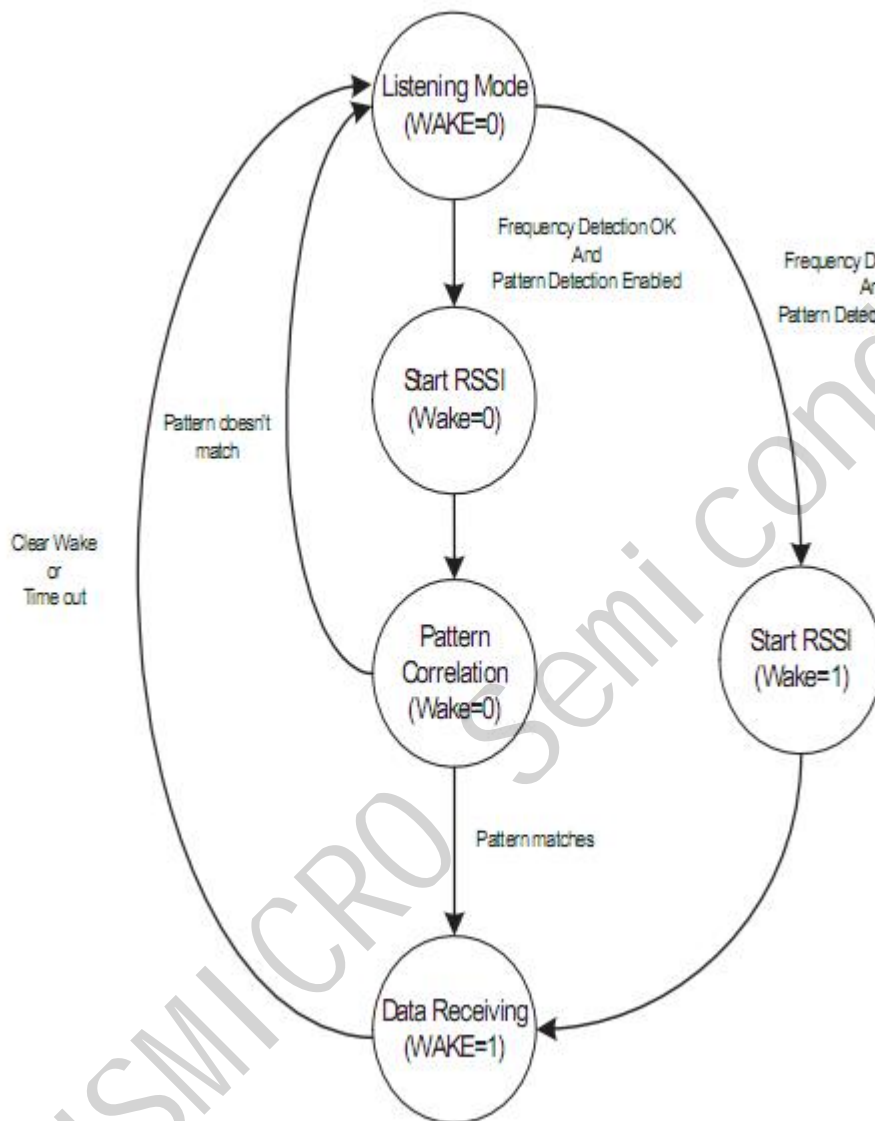
- 电源电容 - CBAT - 100 nF。
- 32.768 kHz 晶体，其两个拉电容 - XTAL 和 CL - （如果使用内部 RC 振荡器代替晶体振荡器，则可以省略这些组件）。
- 根据所使用通道数量的一个，两个或三个 LC 谐振器。如果使用内部 RC 振荡器（没有安装晶体振荡器），引脚 XIN 必须连接到电源，而引脚 XOUT 应该保持浮动。带和不带晶体的应用图如图 2，图 3 和图 4 所示。

操作模式

图 20 中的图显示了 3933 的工作原理。

图 20:

操作模式流程图



监听模式

在监听模式下，芯片是有效的，并且在所有活动通道的输入上持续存在载波。

在此模式下，只有有源信道放大器和时钟发生器正在运行。如果检测到载波，则在所有三个通道上开始 RSSI 测量，结果存储在存储器中。

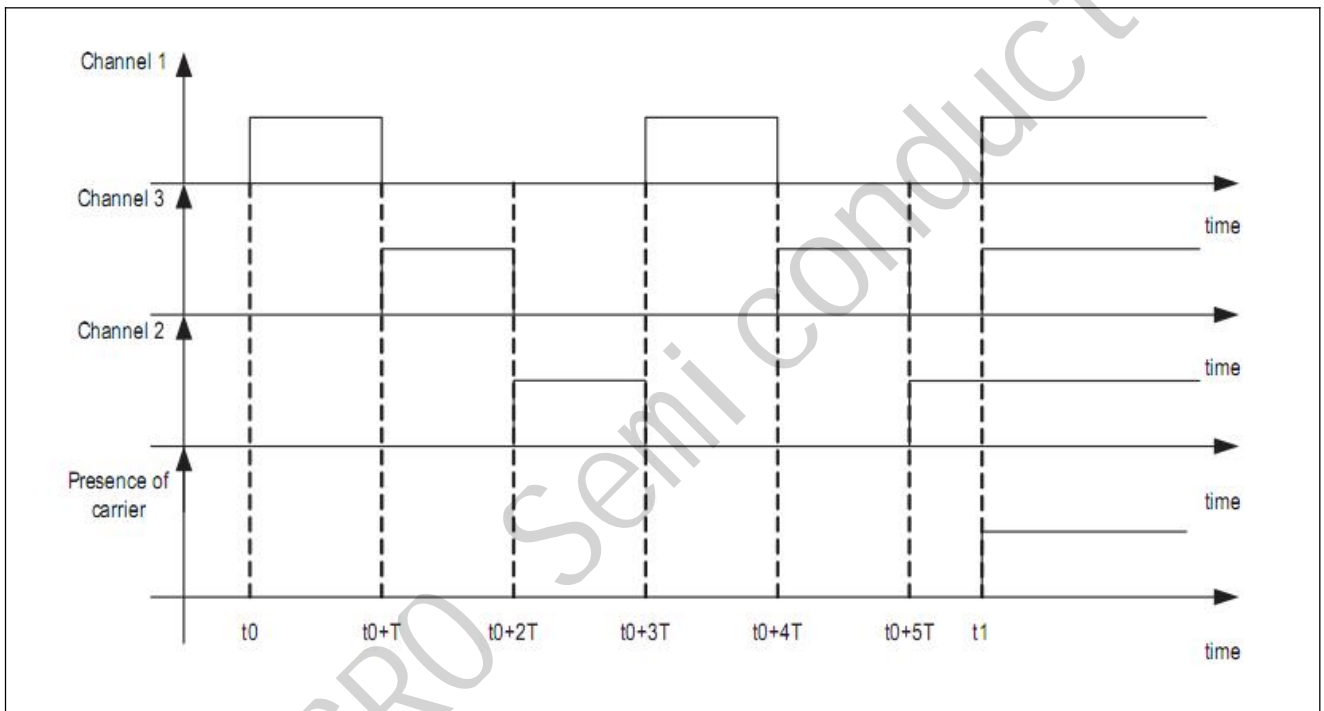
如果不需要三维检测，则可以停用一个或多个通道。在需要两个通道的情况下，禁用通道必须是数字 2；而如果只需要一个通道，则有效通道必须是第一个通道。在监听模式之外，可以区分以下三个低功耗子模式：

标准监听模式所有频道同时处于活动状态。

扫描模式（低功耗模式 1）。在该子模式中，定义时隙 $T = 1\text{ms}$ ，并且在每个时隙中，只有一个信道可

以被激活。如图 21 所示，当某个时隙结束时，当前活动通道关闭，下一个通道变为活动状态，依此类推。如果例如所有三个通道被使能，则在第一时隙中，唯一的活动通道是第一个。当第一个时隙结束时，通道 1 关闭，通道 3 变为有效。在第三个时隙期间，通道 2 被激活，而另外两个是 OFF。该信道旋转从信道 1 开始返回，并继续进行，直到任何信道检测到载波的存在。扫描模式（通道旋转）由 3933 内部管理，不需要主机系统（MCU）的任何活动。一旦一个通道检测到频率，所有三个通道将同时立即激活。3933 可以在现场进行同时多方向评估（在所有三个通道上），并评估哪个通道具有最强的 RSSI。具有最高 RSSI 的通道将被传送到解调器。以这种方式，可以以单个通道的电流消耗来执行场的多方向监视，从而保持灵敏度好于所有通道同时处于活动状态。

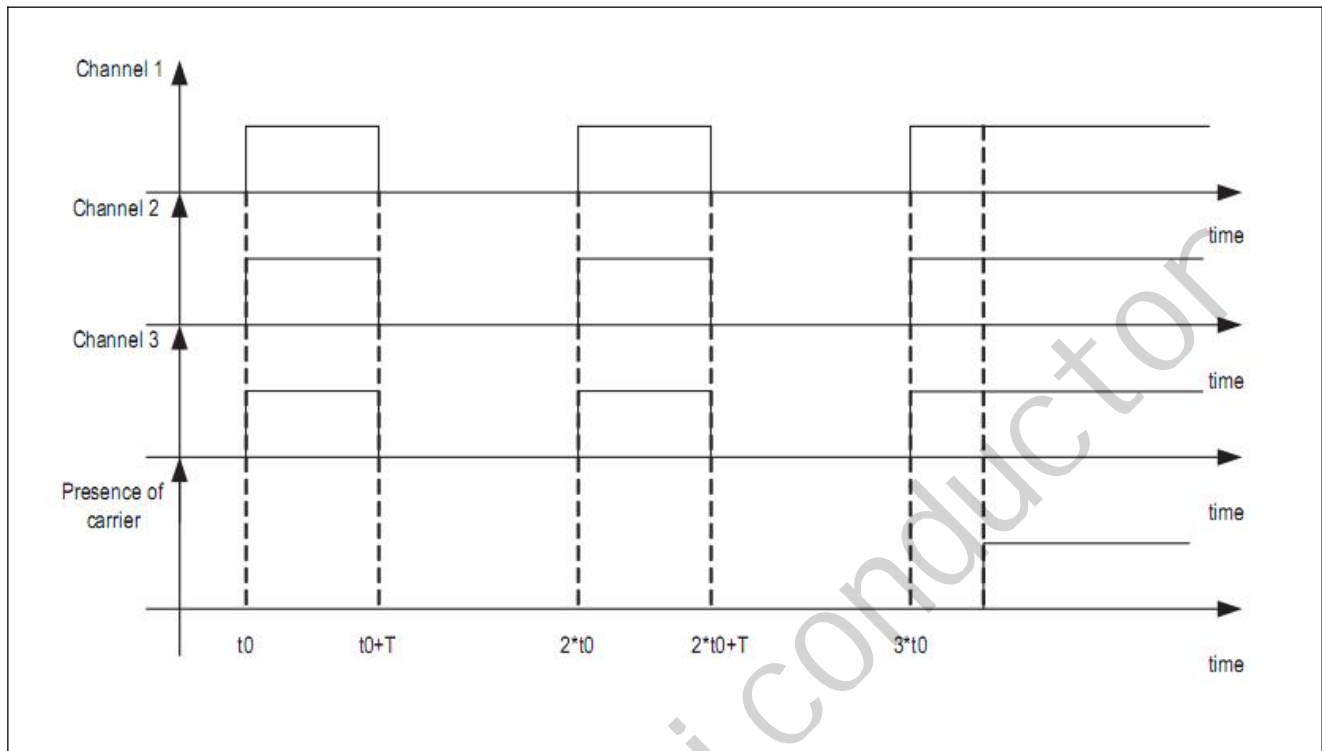
图 21：
扫描模式



开/关模式（低功耗模式 2）。在这种低功率子模式中，芯片以扫描模式设置接收通道；

所有活动通道同时打开一段时间 T (T 为 1 ms)。关闭时间可以用位 $R4 \langle 7: 6 \rangle$ 定义。例如，如果 $R4 \langle 7: 6 \rangle = 11$ （见图 25），有效通道将为 1ms，8ms 为 OFF。

图 22:
开/关模式



人工唤醒

对于这些子模式中的每一个，可以启用称为人工唤醒的另一特征。人工唤醒是基于所使用的时钟发生器的计数器。三位定义时间窗（见 R8 <2: 0>）。如果在此时间窗口内没有看到任何活动，芯片将在 WAKE 引脚上产生一个持续 128 μ s 的中断。通过该中断，微控制器（ μ C）可以获得关于周围环境的反馈（例如，读取错误唤醒寄存器 R13 <7: 0>）和/或采取措施以更改设置。

前导码检测/模式相关

只有在数据相关使能（R1 <1> = 1）时，芯片才能检测到 LF 载波后进入此模式。相关器首先搜索前导码位，然后搜索数据模式。段唤醒协议：启用模式检测描述如何实现协议。如果模式相关被禁用（R1 <1> = 0），3933 将直接进入数据接收模式（见段落数据接收）。如果接收到的模式匹配，则唤醒中断显示在 WAKE 输出（Wake 变高），芯片进入数据接收模式。如果模式发生故障，则内部唤醒（在所有活动通道上）终止，并且不产生中断。默认情况下 DAT_MASK 禁用（R0 <6> = 0），DAT 引脚显示整个解调的输入信号（载波突发+前导+图案+数据）。

如果 DAT_MASK 被使能（R0 <6> = 1），数据将仅在生成 WAKEUP 中断后才会显示。注意：重要的是要注意曼彻斯特解码器必须被使能（R1 <3> = 1）为此功能。

数据接收

成功唤醒后，芯片进入数据接收模式。在这种模式下，芯片可以保留一个普通的 OOK 接收器。数据在 DAT 引脚上提供，并且在曼彻斯特解码器使能（见 R1 <3>）的情况下，恢复的时钟存在于 CL_DAT 上。可以使用直接命令 CLEAR_WAKE（见图 29）或使用超时功能将芯片设置回监听模式。在由 R7 <7: 5> 位定义的一定时间后，此功能自动将芯片设置为监听模式。

系统和模块规范

寄存器概述

图 23:

寄存器概述

	7	6	5	4	3	2	1	0
R0	PATT32	DAT_MAS K	ON_OFF	MUX_123	EN_A2	EN_A3	EN_A1	
R1	ABS_HY	AGC_TLI M	AGC_UD	ATT_ON	EN_MAN CH	EN_PAT2	EN_WPAT	EN_XTAL
R2	S_ABS	EN_EXT_ CLK	G_BOOST	Reserved	DISPLAY_CLK		S_WU1	
R3	HY_20m	HY_POS	FS_SLC			FS_ENV		
R4	T_OFF		R_VAL		GR			
R5	PATT2B							
R6	PATT1B							
R7	T_OUT			T_HBIT				
R8	BAND_SEL			T_AUTO				
R9	BLOCK_AGC		Reserved					
R10	n.a			RSSI1				
R11	n.a			RSSI2				
R12	n.a			RSSI3				
R13	F_WAKE							
R14	RC_CAL_ OK	RC_CAL_ KO	RC_OSC_TAPS					
R15	n.a.			LC_OSC_ OK	LC_OSC_ KO	n.a.		
R16	CLOCK_G EN_DIS	n.a.	RC_OSC_ MIN	RC_OSC_ MAX	n.a	LC_OSC_MUX		
R17	n.a.			CAP__CH1				
R18	n.a.			CAP__CH2				
R19	n.a.			CAP__CH3				

图 24:

寄存器的默认值

寄存器	名称	类型	默认值	描述
R0<7>	PAT32	R/W	0	模式扩展到 32 位 (PAT32 = 0 16 位, PAT32 = 132 位)
R0<6>	DAT_MASK	R/W	0	唤醒前 DAT 引脚上的数据掩码 (DAT_MASK = 0→数据未屏蔽; DAT_MASK = 1→数据被屏蔽)
R0<5>	ON_OFF	R/W	0	ON / OFF 操作模式。 (寄存器 R4 <7: 6>中定义的占空比
R0<4>	MUX_123	R/W	0	扫描模式使能
R0<3>	EN_A2	R/W	1	通道 2 使能
R0<2>	EN_A3	R/W	1	通道 3 使能
R0<1>	EN_A1	R/W	1	通道 1 使能

R0<0>	Reserved		0	保留
R1<7>	ABS_HY	R/W	0	使能数据分析仪绝对参考值
R1<6>	AGC_TLIM	R/W	0	AGC 仅作用于第一载波突发
R1<5>	AGC_UD	R/W	1	AGC 工作在两个方向（上下）
R1<4>	ATT_ON	R/W	0	天线阻尼器使能
R1<3>	EN_MANCH	R/W	0	曼彻斯特解码器使能
R1<2>	EN_PAT2	R/W	0	双唤醒模式相关
R1<1>	EN_WPAT	R/W	1	相关器使能
R1<0>	EN_XTAL	R/W	1	晶体振荡器使能
R2<7>	S_ABSH	R/W	0	数据限幅器绝对阈值降低
R2<6>	EN_EXT_C LK	R/W	0	使能外部时钟发生器
R2<5>	G_BOOST	R/W	0	3dB 放大器增益提升（G_BOOST = 1）
R2<4>	Reserved		0	保留
R2<3:2>	DISPLAY_ CLK	R/W	00	如果时钟发生器的频率显示在 CL_DAT 引脚上，则设置为 11。
R2<1:0>	S_WU1	R/W	00	唤醒的公差设置（见图 37）
R3<7>	HY_20m	R/W	0	数据限幅器滞后 如果 HY_20m = 0，则比较器滞后= 40mV 如果 HY_20m = 1，则比较器滞后= 20mV
R3<6>	HY_POS	R/W	0	数据限幅器滞后仅在正边沿（HY_POS = 0，两边的滞后，HY_POS = 1，仅在正边缘上的迟滞）
R3<5:3>	FS_SCL	R/W	100	数据限幅器时间常数（见图 45）
R3<2:0>	FS_ENV		000	包络检测器时间常数（见图 44）
R4<7:6>	T_OFF	R/W	00	在 ON/OFF 模式下的 OFF 时间 T_OFF=00 1ms T_OFF=01 2ms T_OFF=10 4ms T_OFF=11 8ms
R4<5:4>	D_RES	R/W	01	天线阻尼电阻（见图 40）
R4<3:0>	GR	R/W	0000	增益减少（见图 39）
R5<7:0>	TS2	R/W	01101001	唤醒模式的第二个字节
R6<7:0>	TS1	R/W	10010110	唤醒模式的第一个字节
R7<7:5>	T_OUT	R/W	000	自动超时（见图 49）
R7<4:0>	T_HBIT		01011	比特率定义（见图 48）
R8<7:5>	BAND_SEL		000	Band 选择（见图 36）
R8<2:0>	T_AUTO	R/W	000	人工唤醒 T_AUTO=000 非人工唤醒 T_AUTO=001 1 sec T_AUTO=010 5 sec T_AUTO=011 20 sec T_AUTO=100 2 min T_AUTO=101 15 min

				T_AUTO=110	1 hour
				T_AUTO=111	2 hour
R9<7>	BLOCK_A GC	R/W	0	禁用 AGC	
R9<6:0>			000000	保留	
R10<4:0>	RSSI1	R		RSSI 通道 1	
R11<4:0>	RSSI2	R		RSSI 通道 2	
R12<4:0>	RSSI3	R		RSSI 通道 3	
R13<7:0>	F_WAK	R		错误唤醒寄存器	
R14<7>	RC_CAL_OK	R		成功的 RC 校准	
R14<6>	RC_CAL_KO	R		不成功的 RC 校准	
R14<5:0>	RC_OSC_TA PS	R		RC 振荡器设置	
R15<4>	LC_OSC_OK	R		LC 振荡器工作	
R15<3>	LC_OSC_KO	R		LC 振荡器不工作	
R16<7>	CLOCK_GEN _DIS	R/W	0	时钟发生器输出信号显示在 CL_DAT 引脚上	
R16<5>	RC_OSC_ MIN	R/W	0	将 RC 振荡器设置为最小频率	
R16<4>	RC_OSC_ MAX	R/W	0	将 RC 振荡器设置为最大频率	
R16<2>	LC_OSC_ MUX3	R/W	0	显示 DAT 引脚上 LF3P 的共振频率	
R16<1>	LC_OSC_ MUX2	R/W	0	显示 DAT 引脚上 LF2P 的共振频率	
R16<0>	LC_OSC_ MUX1	R/W	0	显示 DAT 引脚上 LF1P 的共振频率	
R17<4:0>	CAPS_CH1	R/W	00000	频道 1 上的电容值	
R18<4:0>	CAPS_CH2	R/W	00000	频道 2 上的电容值	
R19<4:0>	CAPS_CH3	R/W	00000	频道 3 上的电容值	

串行外设接口 (SPI)

该微控制器 (μC) 使用该 4 线接口对 3933 进行编程。SPI 的最大时钟工作频率为 6MHz。

图 25:

串行外设接口 (SPI) 引脚

名称	信号	信号模式	描述
CS	数字输入	CMOS	片选
SIN	数字输入	CMOS	用于写入寄存器的串行数据输入, 用于发送和/或写入地址的数据选择可读寄存器
SOUT	数字输出	CMOS	用于接收数据的串行数据输出或所选寄存器的读取值
SCLK	数字输入	CMOS	用于串行数据读写的时钟

注意: 如果 CS 为低电平, 则 SDO 设置为三态。以这种方式, 多个设备可以在同一个 SDO 总线上进行通信。

SDI 命令结构。 要对 SPI 进行编程，CS 信号必须变高。 SPI 命令由两个字节串行命令组成，数据在 SCLK 的下降沿采样。

图 26 显示了命令如何从 MSB (B15) 到 LSB (B0)。 命令流必须从 MSB (B15) 发送到 SPI (B0) 到 SPI。

图 26:

SDI 命令结构

模式		地址寄存器/直接命令							数据寄存器						
B15	B14	B13	B12	B11	B10	B9	B8	B7	B6	B5	B4	B3	B2	B1	B0

前两位 (B15 和 B14) 定义了操作模式。

有三种可用模式 (写, 读, 直接命令) 加一个备用 (未使用), 如图 27 所示。

图 27:

SDI 命令结构

B15	B14	模式
0	0	写
0	1	读
1	0	不允许
1	1	直接命令

如果发生写或读命令，则下一个 6bits (B13 至 B8) 定义必须分别读取的寄存器地址，如图 28 所示。

图 28:

SDI 命令结构

B13	B12	B11	B10	B9	B8	读/写 寄存器
0	0	0	0	0	0	R0
0	0	0	0	0	1	R1
0	0	0	0	1	0	R2
0	0	0	0	1	1	R3
0	0	0	1	0	0	R4
0	0	0	1	0	1	R5
0	0	0	1	1	0	R6
0	0	0	1	1	1	R7
0	0	1	0	0	0	R8
0	0	1	0	0	1	R9
0	0	1	0	1	0	R10
0	0	1	0	1	1	R11
0	0	1	1	0	0	R12
0	0	1	1	0	1	R13
0	0	1	1	1	0	R14
0	0	1	1	1	1	R15
0	1	0	0	0	0	R16
0	1	0	0	0	1	R17
0	1	0	0	1	0	R18
0	1	0	0	1	1	R19

最后 8 位是必须分别读取的数据。 CS 切换高 - 低 - 终止命令模式。

如果发送直接命令（B15-B14 = 11），则从 B13 到 B8 的位定义直接命令，而最后 8 位被省略。图 29 显示了所有可能的直接命令：

图 29：
直接命令列表

命令模式	B13	B12	B11	B10	B9	B8
clear_wake	0	0	0	0	0	0
reset_RSSI	0	0	0	0	0	1
trim_osc	0	0	0	0	1	0
clear_false	0	0	0	0	1	1
preset_default	0	0	0	1	0	0
Calib_RCO_LC	0	0	0	1	0	1

所有直接命令如下所述：

- clear_wake: 清除芯片的唤醒状态。如果芯片唤醒（WAKE 引脚为高电平），芯片将回到监听模式。
- reset_RSSI: 复位 RSSI 测量。
- Calib_RCosc: 启动内部 RC 振荡器的调整过程（请参见第 29 页）。
- clear_false: 复位伪唤醒寄存器（R13 <7: 0> = 00）。
- preset_default: 将所有寄存器设置为默认模式，如图 24 所示。
- Calib_RCO_LC: 使用外部 LC 储能电阻校准 RC 振荡器（请参阅第 31 页）。

将数据写入可寻址寄存器（写入模式）。SPI 在 SCLK 的下降沿进行采样（如下图所示）。CS 切换高 - 低指示写入寄存器后 WRITE 命令的结束。以下示例显示了一个写命令。

图 30：
写入单字节（下降沿采样）

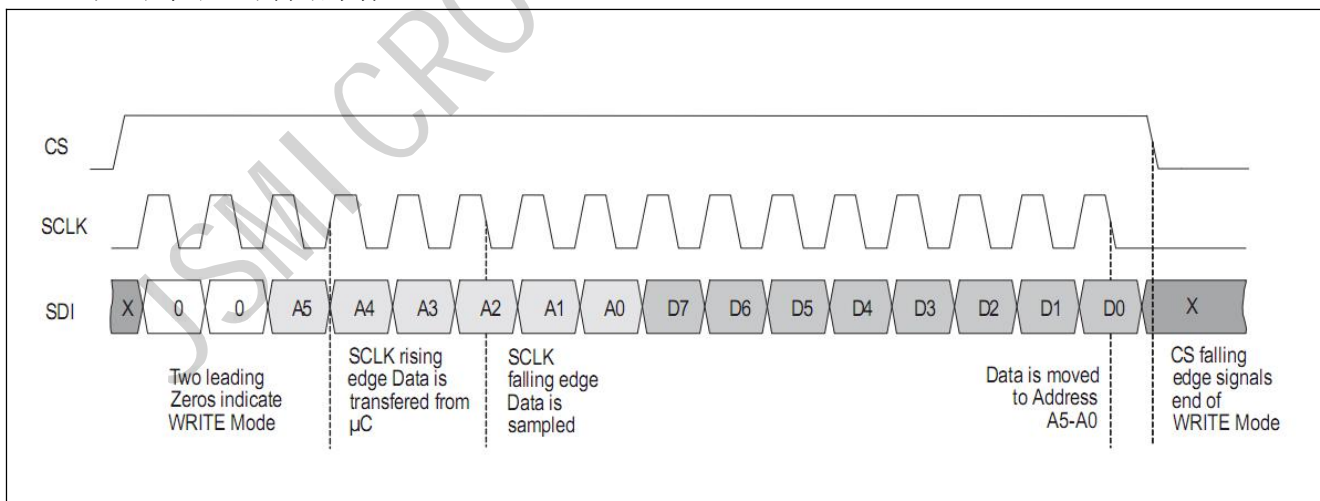
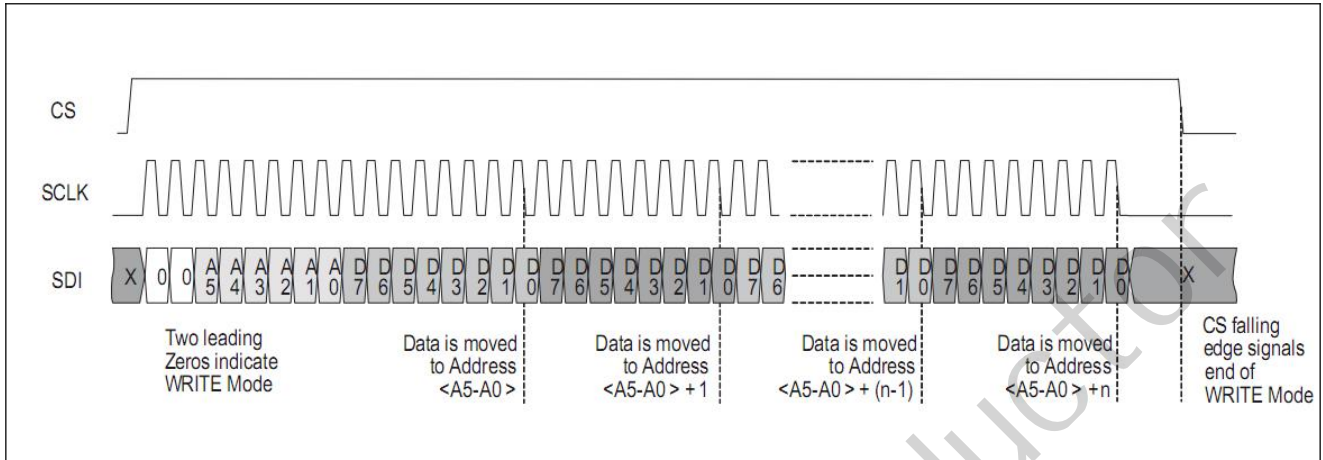


图 31:
使用自动递增地址写入寄存器数据



从可寻址寄存器读取数据（读取模式）。

一旦通过 SPI 发送了地址，数据就可以通过 SDO 引脚输出到微控制器。

在完成读取模式会话之后，必须执行 CS 低电平切换高低电平，以指示 READ 命令的结束，并准备接口到下一个命令控制字节。

要从连续地址传输字节，只要数据需要读取，SPI 主机必须保持 CS 信号为高电平，SCLK 时钟必须处于活动状态。

图 32:
单寄存器字节的读取

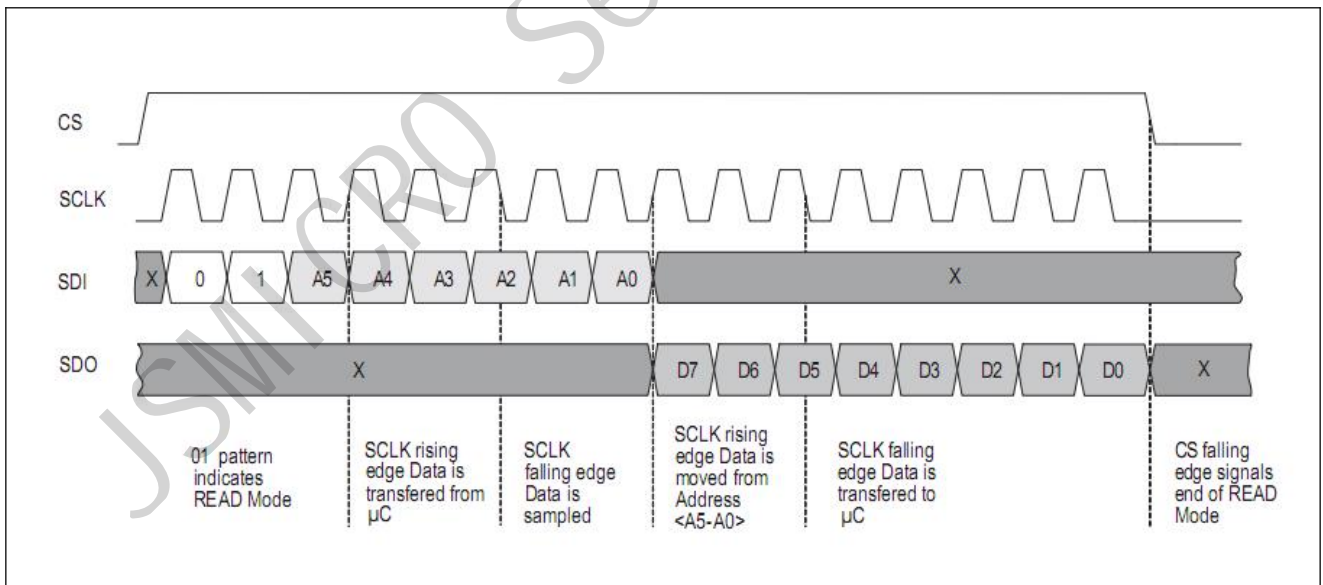
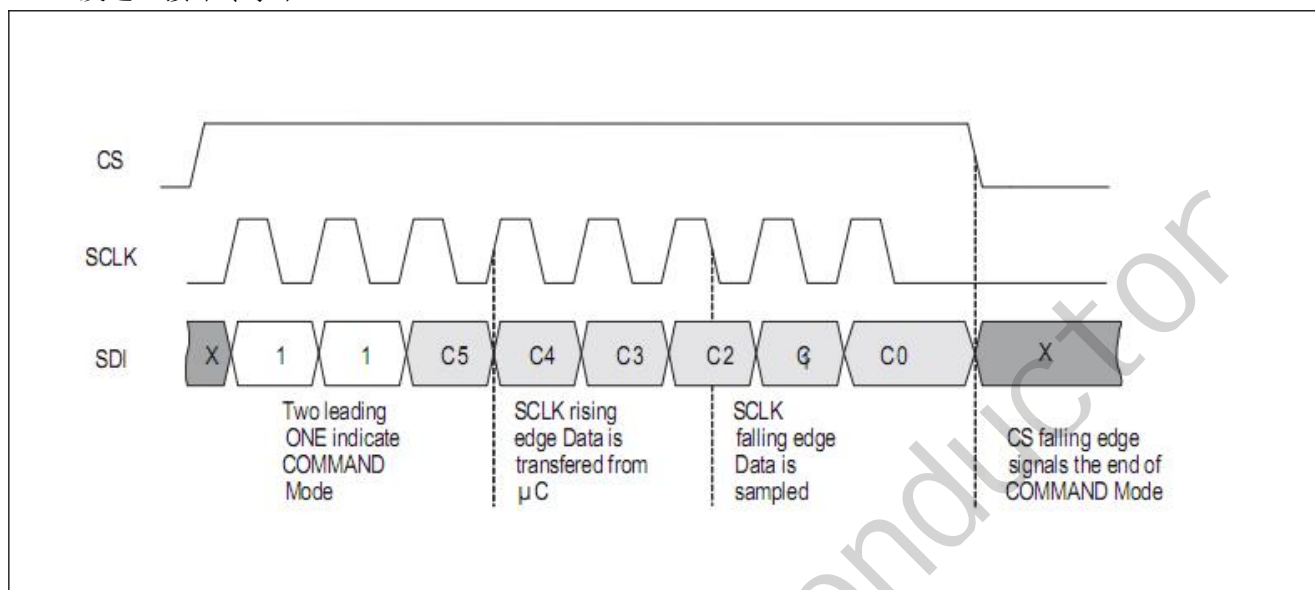


图 33:
发送直接命令字节

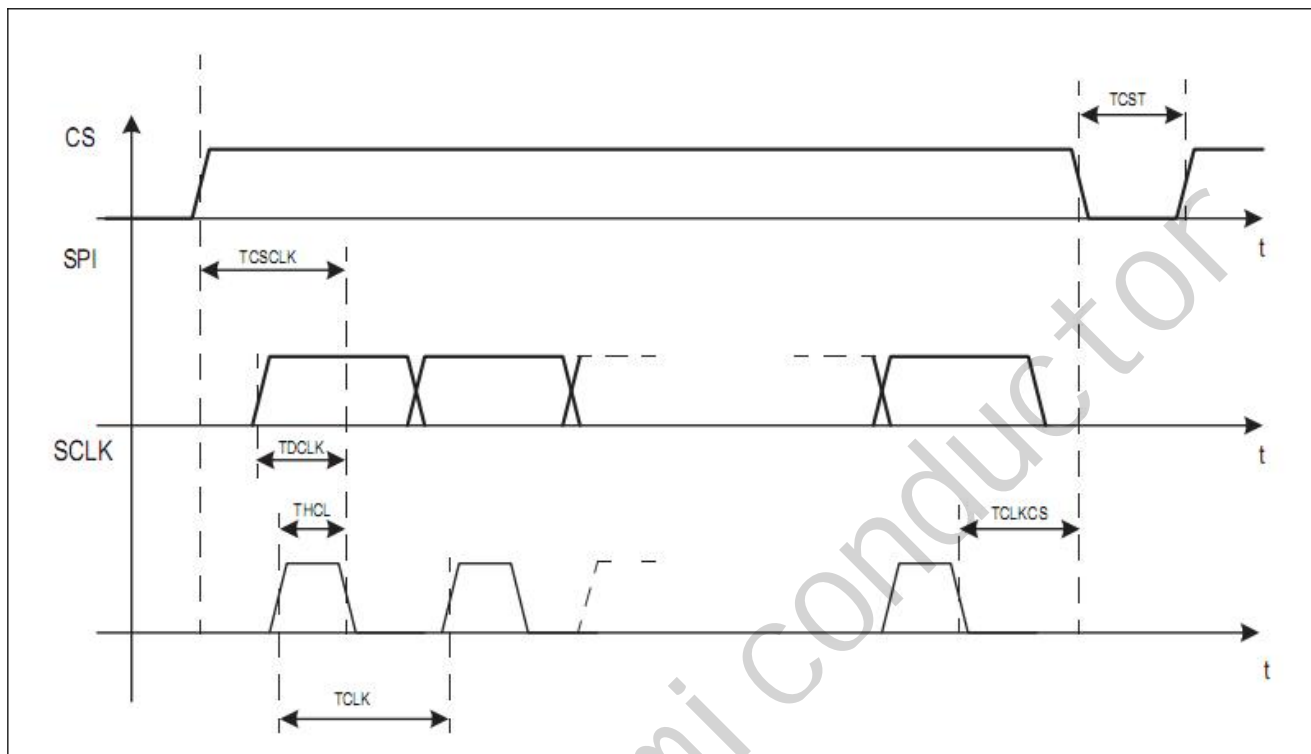


SDI 时序

图 34:
SDI 时序参数

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
TCCLK	Time CS to Sampling Data		150			ns
TDCLK	Time Data to Sampling Data		100			ns
THCL	SCLK High Time		70			ns
TCLK	SCLK period		166			ns
TCLKCS	Time Sampling Data to CS down		150			ns
TCST	CS Toggling time		500			ns

图 35:
SDI 时序图



通道放大器和频率检测器

3 个通道中的每一个由具有自动增益控制（AGC）和频率检测器的可变增益放大器（VGA）组成。

当 3933 处于监听模式（等待 RF 信号）时，所有通道放大器的增益设置为最大。频率检测器对放大的 RF 信号的过零点进行计数，以检测所需载波的存在。一旦检测到载波，则 AGC 被使能，VGA 的增益被减小并被设置为正确的值。RSSI（接收信号强度指示器）表示输入信号的强度，它是 VGA 增益的逆向表示。实际上，如果例如输入信号非常强，则 AGC 将降低 VGA 的增益。增益降低将对应于大的 RSSI，因为它是 VGA 的增益设置的倒数（小增益对应于大的 RSSI，反之亦然）。3933 是一个相当宽的 LF 唤醒接收器，可以在 15 kHz 和 150 kHz。一旦选择了载波频率，用户必须使用位置 R8 <7: 5> 将放大器设置在适当的频带，如图 36 所示。

如图 14（R2 <5> = 1）所示，可以提高灵敏度，增强放大器的增益 +3dB。增益提升将增加每通道 100nA（典型值）的电流消耗。在使用最低频带（15kHz - 23 kHz）的情况下，增益自动从逻辑启用。

如果不需要所有三个通道，可以启用/禁用各个通道。这使得每个通道的电流消耗降低了 1.5 μ A（典型值）。

频率检测器/ RSSI /通道选择

频率检测基于过零计数器，并使用时钟发生器作为时基。该计数器对由时钟发生器定义的时间窗内的输入信号的过零点进行计数，并且如果它与期望值相匹配，则使能 AGC（RSSI 测量可以开始）。时钟发生器可以基于内部 RC 振荡器或晶振或外部时钟源。时钟发生器的选择细节将在时钟发生器中讨论。时钟发生器产生等于其周期的 N 倍的时间窗，其中 N 取决于工作频带，如图 36 所示。

图 36:
用于频率检测的工作频率范围和时间窗口位的位设置

R8<7>	R8<6>	R8<5>	N	Operating Frequency Range [kHz]
0	0	0	4	95-150
0	0	1	6	65-95
0	1	0	10	40-65
0	1	1	18	23-40
1	1	1	14	15-23

频率检测成功，如果在两个连续的时间窗口中，零阈值计数器检测到 M 过零点，其中 M 也取决于工作频率范围。根据 R2 <1: 0> 中描述的设置，频率检测标准可以更窄或更宽（见图 37）。

图 37:
频带检测在 23-150 kHz 频段的容差设置

R2<1>	R2<0>	M
0	0	16 ± 6
0	1	16 ± 4
1	0	16 ± 2
1	1	n.a

图 37 显示了 23 至 150 kHz 工作频段的不同容差设置的 M 值。
如图 38 所示，工作频率范围为最低（15~23 kHz）时为 M 。

图 38:
频段 15-23 kHz 频段的容差设置

R2<1>	R2<0>	M
0	0	8±3
0	1	8±2
1	0	8±1
1	1	n.a

频率检测后，AGC 开始工作。一开始，VGA 中的增益设置为最大值，AGC 会根据接收到的信号输入电平降低它。AGC 需要最多 35 个载波周期来定位，获得稳定的 RSSI。

AGC 可以在两种模式下工作：

- 仅 AGC (R1 <5> = 0)
- AGC 上和下 (R1 <5> = 1)

如果选择 AGC down only 模式，则 AGC 只能在数据接收的整个持续时间内降低增益；在此模式下，系统保持 RSSI 峰值。

当选择 AGC 上下模式时，RSSI 可以动态地跟踪两个方向的输入信号强度变化。

RSSI 同时可用于所有 3 个通道，并存储在 3 个寄存器 (R10 <4: 0>, R11 <4: 0>, R12 <4: 0>) 中。一旦 RSSI 稳定 (频率检测后的 35 个载波周期之后的最大值)，信道选择器将检查哪个信道接收到最强的信号。信道选择器比较有源信道上的 RSSI，并冻结具有较小 RSSI 的信道上的 AGC。从这时起

AGC 仅在所选频道上有效。直接发送 clear_wake (将芯片设置为侦听模式) 或 reset_RSSI (重置 AGC) 直接命令，可以在所有通道上启用 AGC 功能。

两种 AGC 模式 (只有向下或向下或向上) 也可以随时间限制运行。该选项仅允许在频率检测 (载波突发之后) 256 μs 的时隙中进行 AGC 操作，然后 RSSI 被冻结直到唤醒或 RSSI 复位发生 (clear_wakeup 或 reset_RSSI)。

通过直接命令 “clear_wakeup” 或 “reset_RSSI” 重置 RSSI。‘reset_RSSI’ 命令仅重置 VGA 设置，但不终止唤醒频率检测条件。这意味着如果信号仍然存在，则在接收到命令后，新的 AGC 设置 (RSSI) 将不晚于 35 个 LF 载波周期。在数据接收期间，如果持续 3 个曼彻斯特半符号没有检测到载波，则 AGC 设置被复位。如果唤醒 IRQ 被清除，芯片将返回到监听模式。

在开始时的最大放大是缺点 (例如，在噪声环境中)，可以根据图 39 在放大器上设置较小的起始增益。以这种方式，可以减少伪频率检测。

图 39:
增益减少的位设置

R4 <3>	R4 <2>	R4 <1>	R4 <0>	Gain Reduction
0	0	0	0	No gain reduction
0	0	0	1	n.a.
0	0	1	0 or 1	n.a.
0	1	0	0 or 1	-4dB
0	1	1	0 or 1	-8dB
1	0	0	0 or 1	-12dB
1	0	1	0 or 1	-16dB
1	1	0	0 or 1	-20dB
1	1	1	0 or 1	-24dB

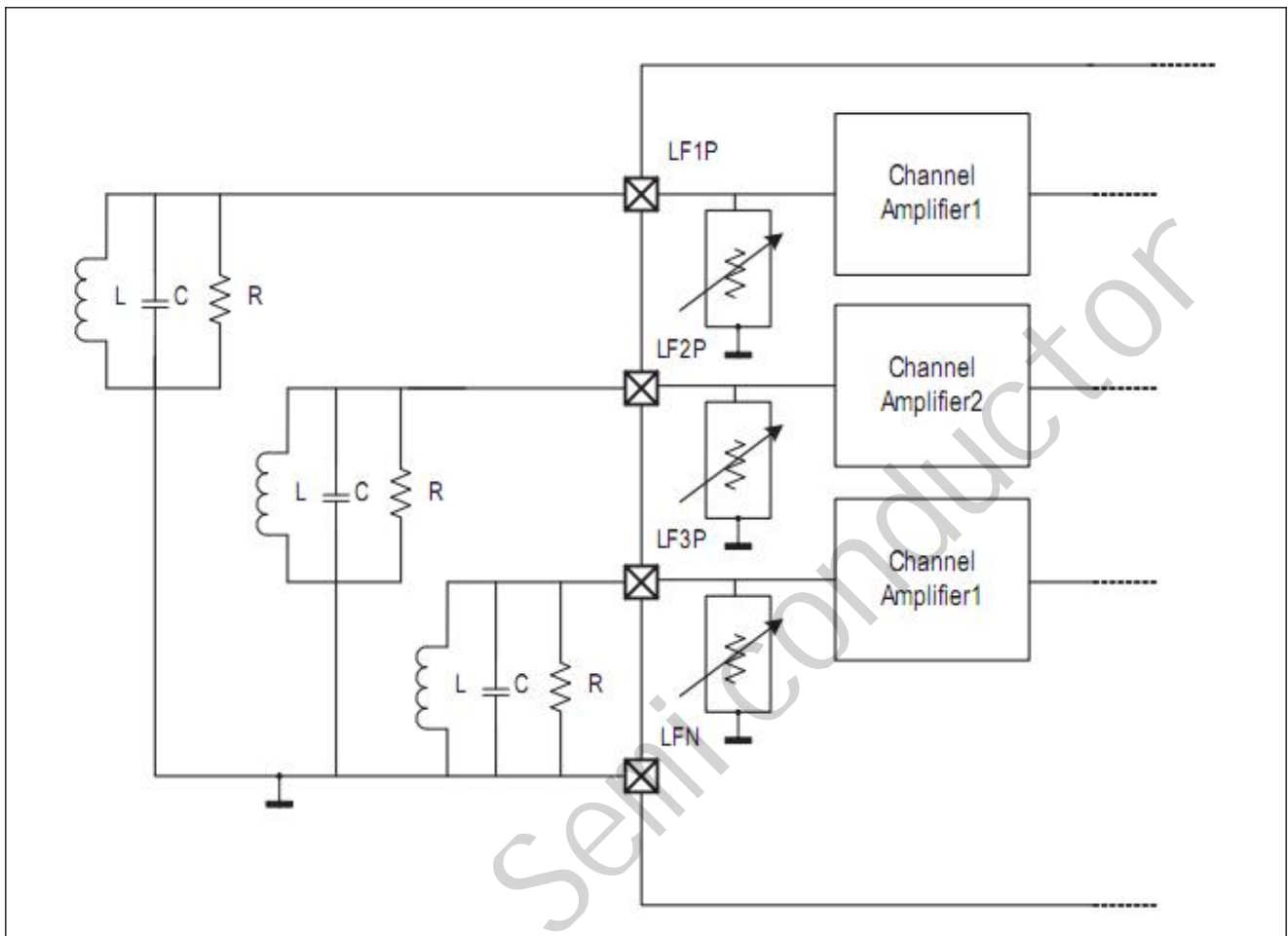
天线阻尼器

如果芯片需要处理更高的场强，天线阻尼器可以启用。 天线阻尼器由可以与外部谐振器并联连接的内部电阻器组成，如图 40 所示。可以使用位 R1<4>的天线阻尼器，并可以使用位选择电阻值 R4<5: 4>。分流电阻通过减小放大器输入端的信号来降低外部谐振器的品质因数。 以这种方式，谐振器看到较小的并联电阻（在需要的频带中），其降低其品质因数，以便增加通道放大器的线性范围（放大器在存在较大信号时不会饱和）。 图 40 显示了位设置。

图 40:
天线阻尼器位设置

R4<5>	R4<4>	Shunt Resistor
0	0	1 kΩ
0	1	3 kΩ
1	0	9 kΩ
1	1	27 kΩ

图 41:
天线阻尼器



解调器/数据分析仪

只要 3933 成功检测到频率，并且 RSSI 稳定，则通道选择器将所有有源通道上的 RSSI 进行比较，并将具有最大 RSSI 的通道放大器连接到解调器。信道选择器需要 32 个 RF 载波周期才能做出这一决定。所选通道的输出信号（放大的 LF 载波）连接到解调器的输入端。

解调器将信号接收到基带，并从放大的 RF 信号中恢复两个信号；一个快速和缓慢的包络。这两个信号被馈送到数据限幅器，数据限幅器是具有可编程滞后的比较器。在数据限幅器的输出端将数字接收位流传输。概念框图如图 42 所示。

图 42:
概念框图

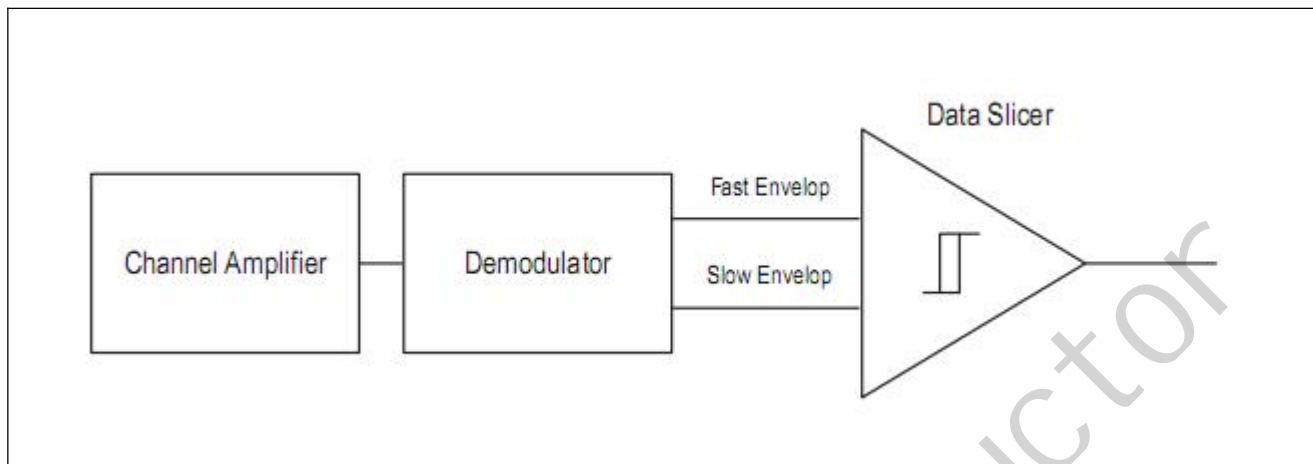
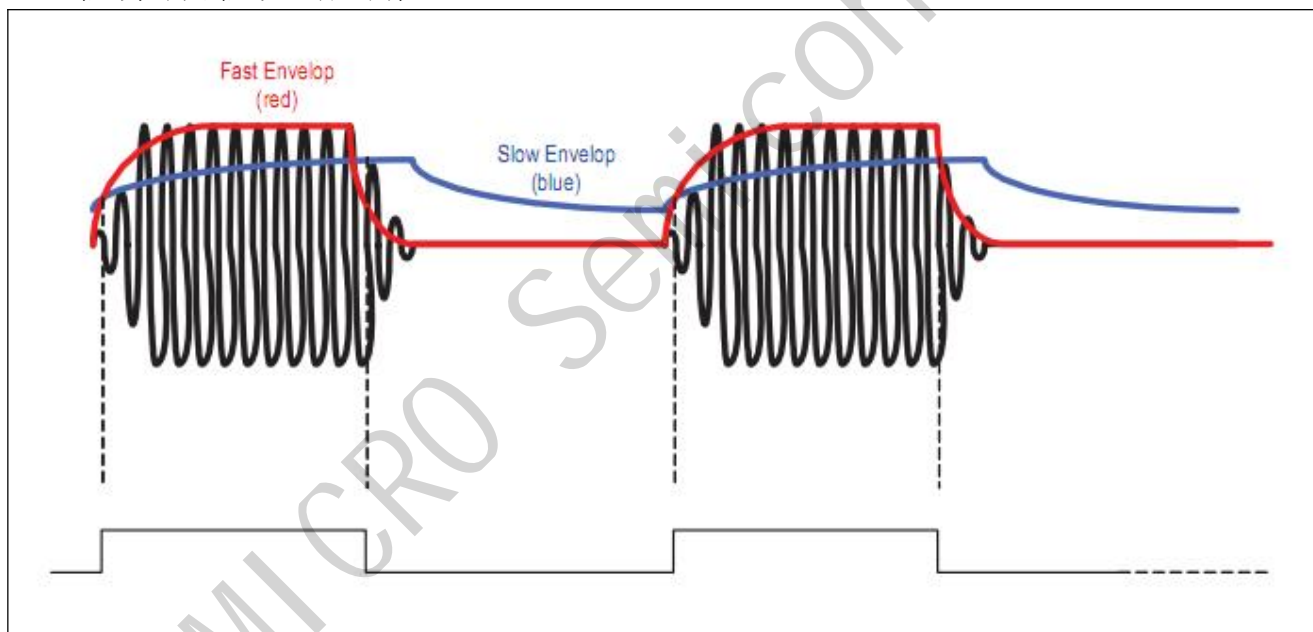


图 43:
信号检测器信号 - 动态阈值



可以根据比特率和前导码长度优化解调器的性能，如图 44 和图 45 所示。

图 44:
用于不同波特率的快速信号的位设置

R3<2>	R3<1>	R3<0>	Symbol Rate [Manchester Symbols/s]
0	0	0	4096
0	0	1	2184
0	1	0	1490
0	1	1	1130
1	0	0	910
1	0	1	762
1	1	0	655
1	1	1	512

一方面，快速信号的时间常数（R3<2: 0>）需要调整到所需的符号率，如图 44 所示。然而，降低快速包络的时间常数也意味着由于较宽的频带，将会注入更多的噪声。另一方面，慢包络信号作为输入数据的平均值。因此，其时间常数越大，噪声抑制就越好。然而，慢包络（R3<5: 3>）的较大时间常数需要较长的前导码才能解决正确的值。作为慢包络设置的函数的最小前导码长度给出图 45。

图 45:

最小所需前导码长度作为慢速包络设置的功能

R3<5>	R3<4>	R3<3>	Minimum Preamble Length [ms]
0	0	0	0.8
0	0	1	1.15
0	1	0	1.55
0	1	1	1.9
1	0	0	2.3
1	0	1	2.65
1	1	0	3
1	1	1	3.5

注释和/或脚注:

这些时间是最低要求的，但建议延长时序。

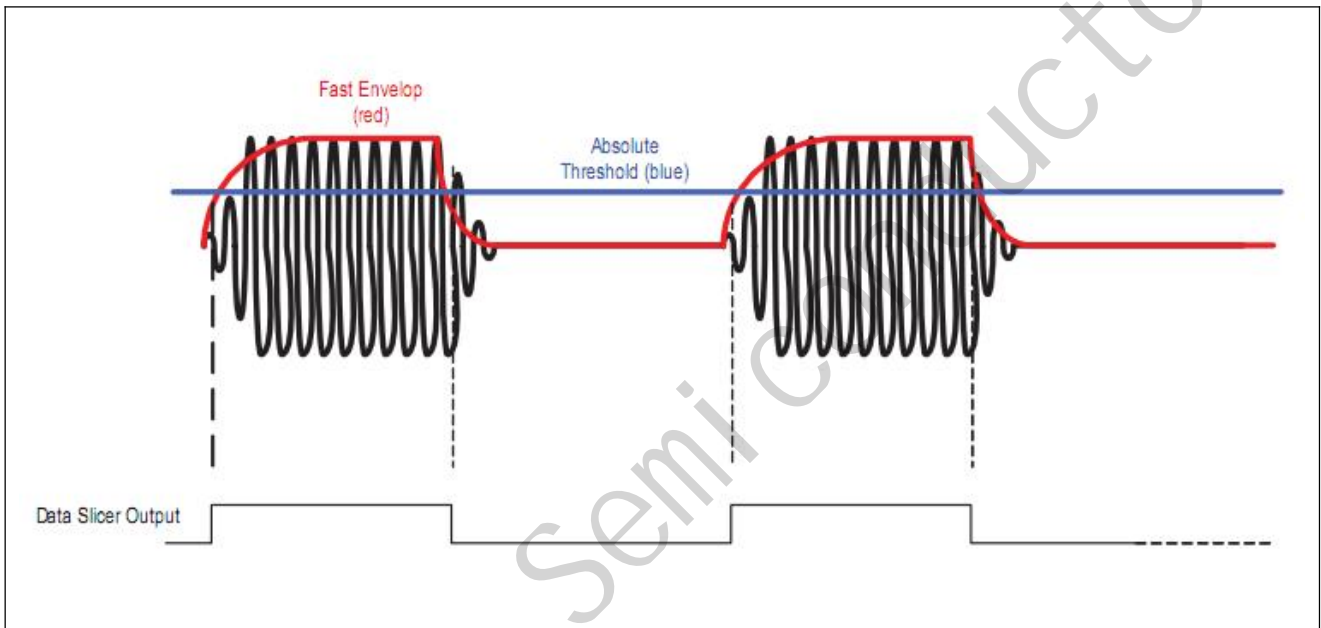
通过比特 R3<6>和 R3<7>，可以改变数据限幅比较器的滞后（仅为正，正负，20mV，40mV）。

慢包络信号（图 43 中的蓝色信号）表示解调信号的平均值，因此用作数据限幅器的参考信号。如果

所选择的协议具有远离 50% 的占空比（例如，在 NRZ 协议中可以有几个连续的或零），则慢包络信号将不是数据限幅器的稳定参考信号。在这种情况下，数据限幅器也可以使用绝对阈值（R1 <7>），如图 46 所示。如果绝对阈值被使能，则 R3 <2: 0> 不会影响性能。如果环境不是特别嘈杂（R2 <7>），甚至可以降低绝对阈值。

由于输入信号可能由于发射机环境的物理影响而被衰减，如果启用了绝对阈值，则需要调整（降低）符号速率，以确保对唤醒信号的适当检测。信号的峰值电平应在符号持续时间的 1/3 的范围内达到，定义为位持续时间的两倍。作为时钟发生器周期的函数，位持续时间定义在寄存器 R7 <4: 0> 中。

图 46:
信号检测器信号 - 绝对阈值



相关

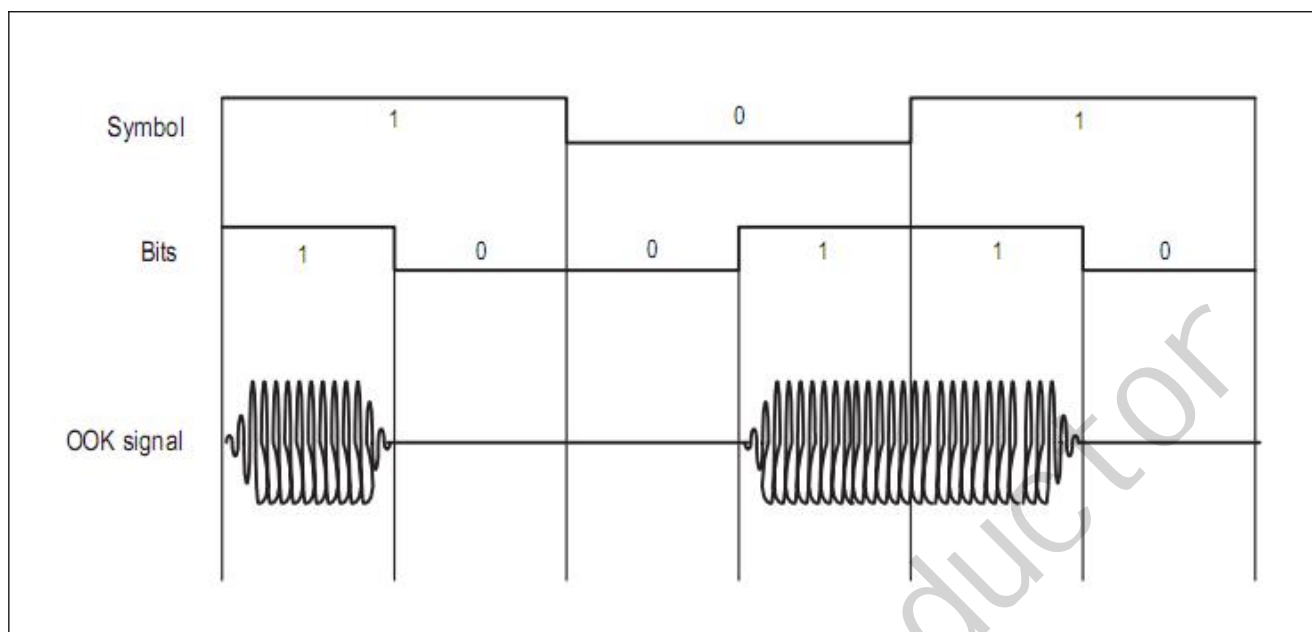
为了防止 3933 从主机系统（MCU）唤醒主机系统（MCU）的噪声或干扰（场内的 LF 发射机），内部相关器检查从数据限幅器传送的位序列对应于存储的模式。此相关模式可以存储在寄存器 R5 <7: 0> 和 R6 <7: 0> 中。仅在相关器使能（R1 <1> = 1）时才执行数据相关，只能在频率检测后才能启动。

仅当位序列（模式）及其定时（单位持续时间）匹配时，模式相关才成功（唤醒变高）。

模式：曼彻斯特代码中的位和符号定义

3933 可以在没有外部单元（MCU）的帮助下关联输入模式。所选择的模式必须是曼彻斯特编码的。在曼彻斯特码中，每个“符号”由转换定义（从 1 到高到低，0 为低到高），因此由两个“位”组成。在图 47 中，作为示例示出了编码技术的工作原理。在这个序列中，由 3 个符号（101）组成的简单消息是曼彻斯特编码的。在曼彻斯特编码比特流中，不能有三个连续的零或一个（在每个符号中总是有一个转换）。这有助于接收机恢复时钟。

图 47:
曼彻斯特编码



位持续时间定义在根据图 48 的寄存器 R7 <4: 0>中，作为时钟发生器周期的函数。

图 48:
波特率设置

R7<4>	R7<3>	R7<2>	R7<1>	R7<0>	Bit Duration in RTC Clock Periods
0	0	0	1	1	4
0	0	1	0	0	5
0	0	1	0	1	6
0	0	1	1	0	7
0	0	1	1	1	8
0	1	0	0	0	9
0	1	0	0	1	10
0	1	0	1	0	11
0	1	0	1	1	12
0	1	1	0	0	13
0	1	1	0	1	14
0	1	1	1	0	15
0	1	1	1	1	16
1	0	0	0	0	17

R7<4>	R7<3>	R7<2>	R7<1>	R7<0>	Bit Duration in RTC Clock Periods
1	0	0	0	1	18
1	0	0	1	0	19
1	0	0	1	1	20
1	0	1	0	0	21
1	0	1	0	1	22
1	0	1	1	0	23
1	0	1	1	1	24
1	1	0	0	0	25
1	1	0	0	1	26
1	1	0	1	0	27
1	1	0	1	1	28
1	1	1	0	0	29
1	1	1	0	1	30
1	1	1	1	0	31
1	1	1	1	1	32

用户可以在寄存器 R5 <7: 0> 和 R6 <7: 0> 中定义相关模式，如果 R0 <7> = 0，则可以决定存储的模式是位表示（16 个曼彻斯特位对应于 8 个符号）0 或 R0 <7> = 1 时，模式的符号表示（16 个符号对应于 32 位）。不同模式的数量是 2^{SYM} ，其中 SYM 是曼彻斯特符号的数量。在 R5 <7: 0> 和 R6 <7: 0> 表示图案的位序列的情况下，存在 256 种不同的可能组合，而在它们是符号表示的情况下，存在 65536 种不同的模式。

唤醒协议

3933 可以支持不同的协议：

- 仅频率检测（无模式相关）
- 单模式检测
 - 16 位模式
 - 32 位模式
- 双重模式检测
 - 16 位模式
 - 32 位模式

唤醒状态可以由主机系统（MCU）终止，通过 SPI 发送直接命令“clear_wake”（见图 29 中的直接命令详细信息）或超时选项。

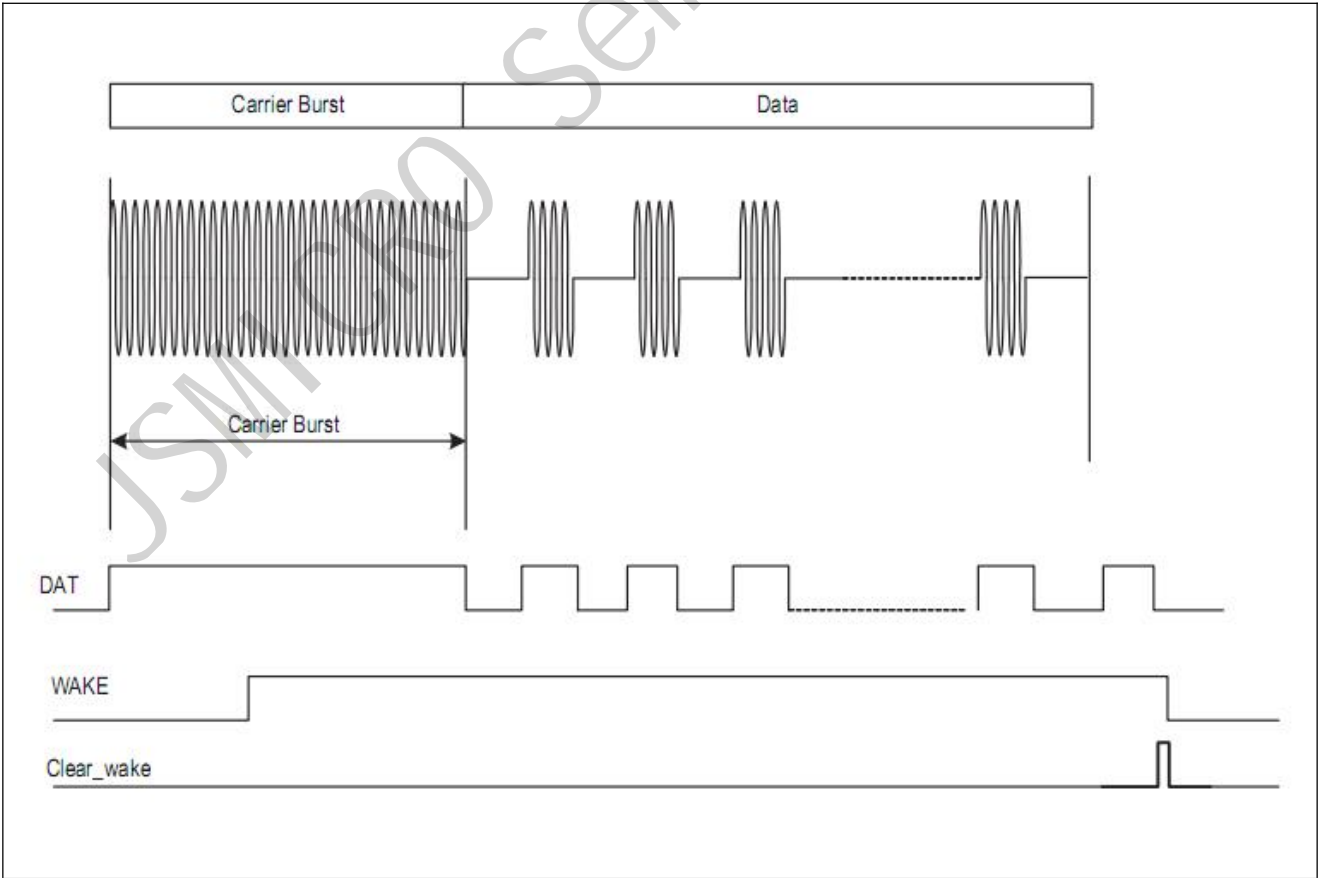
在使用后者的情况下，主机系统（MCU）不需要采取任何动作来终止唤醒状态，并且芯片在预定义的时间后自动回到监听模式。可以使用寄存器 R7 <7: 5> 设置超时的持续时间，如图 49 所示。

图 49:
超时设置

R7<7>	R7<6>	R7<5>	Time Out
0	0	0	disabled
0	0	1	50 msec
0	1	0	100 msec
0	1	1	150 msec
1	0	0	200 msec
1	0	1	250 msec
1	1	0	300 msec
1	1	1	350 msec

唤醒协议：仅限频率检测

图 50:
唤醒协议概述无模式检测



在模式相关被禁用 ($R1<1> = 0$) 的情况下, 只有在检测到载波频率时, 3933 才会唤醒, 如图 50 所示。为了确保 3933 唤醒和 RSSI, 载波突发的最短持续时间在图 52 中指定。此外, 载波突发不必长于时钟发生器 (晶体振荡器或 RCO 或外部时钟) 的 155 个周期。如图 20 所示, 检测到载波后的 3933 在建立 RSSI 后直接从监听模式转换为数据接收模式。

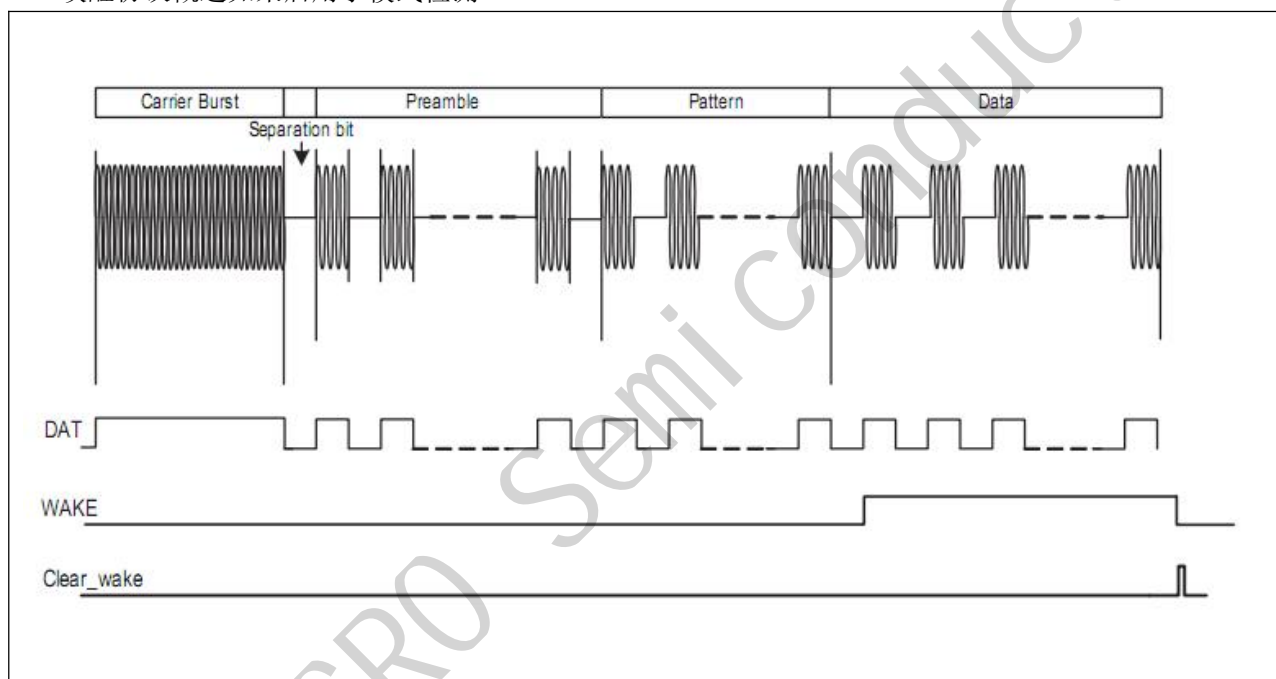
唤醒协议: 启用模式检测

在模式相关使能 ($R1<1> = 1$) 的情况下, 如果唤醒协议得到满足, 3933 将产生唤醒中断。通信协议由载波突发, 前导码 (0101010 ..., 开/关调制载波) 和 16 位模式组成。如果双模式选项被使能 ($R1<2> = 1$), 则 16 位模式必须重复 2 次 (相同模式的 2 倍)。WAKE 引脚上的信号在模式结束后高一位, 数据传输可以开始。

唤醒协议的图形表示如图 51 所示。

图 51:

唤醒协议概述如果启用了模式检测



载波突发的最小长度取决于工作频率范围 (参见图 36 的 $R8<7: 5>$), 如图 52 所示。

图 52:

载波突发的最短持续时间

Operating Frequency Range [kHz]	Minimum Duration of the Carrier Burst
95-150	$16 \cdot T_{clk} + 16 T_{carr}$
65-95	$28 \cdot T_{clk} + 16 T_{carr}$
40-65	$52 \cdot T_{clk} + 16 T_{carr}$
23-40	$96 \cdot T_{clk} + 16 T_{carr}$
15-23	$92 \cdot T_{clk} + 8 T_{carr}$

注释和/或脚注:

T_{clk} 是时钟发生器的周期。

T_{carr} 是载体的周期。

如果载波突发短于图 52 中指定的，则不能保证频率检测。

为了实现协议，载波突发必须短于时钟发生器（晶体振荡器或 RCO 或外部时钟）的 155 个周期。载波突发之后必须有一个分离位和至少 6 位的前导码（101010）。分离位必须持续半曼彻斯特符号（见段落模式：位于曼彻斯特码中的位和符号定义）。在启用 16 位模式检测的情况下，前导码和模式不能超过 30 个符号，如果启用了 32 位模式检测，则为 46 个符号。

在 ON / OFF 选项被使能的情况下（R0 <5> = 1），载波突发的最小持续时间必须延长到 R4 <7>: 6>中定义的关闭时间。如果载波突发长于可以记录图 52 中定义的或者比上面指定的前导比特序列数多的错误唤醒事件

在寄存器 R13 <7>: 0>中。

如果扫描模式被使能（R0 <4> = 1），则图 53 中定义了载波突发的最小持续时间。

图 53:

在启用扫描模式的情况下，载波突发的最短持续时间

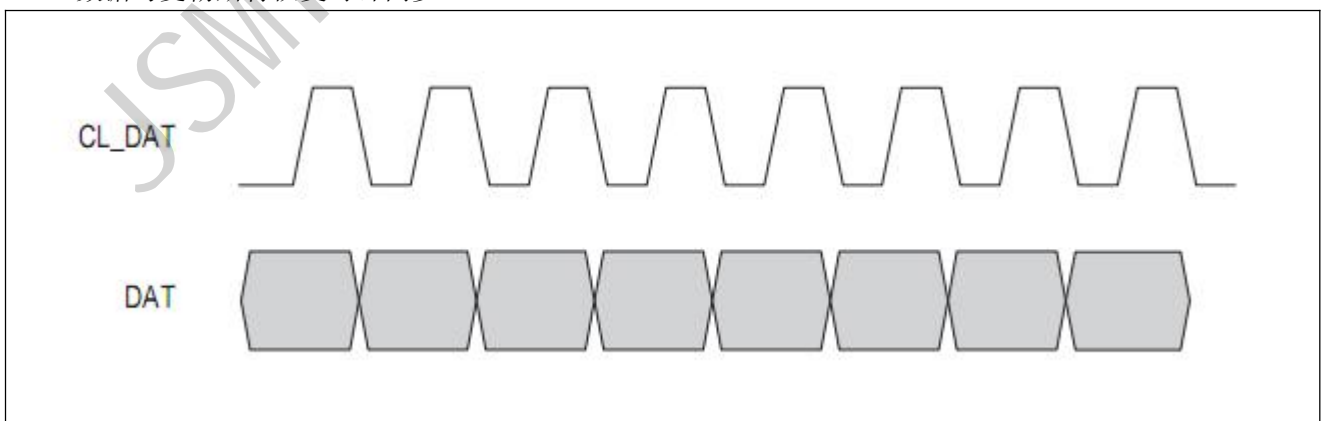
Operating Frequency Range [kHz]	Minimum Duration of the Carrier Burst
95-150	$80 \cdot T_{clk} + 16 T_{carr}$
65-95	$92 \cdot T_{clk} + 16 T_{carr}$
40-65	$180 \cdot T_{clk} + 16 T_{carr}$
23-40	$224 T_{clk} + 16 T_{carr}$
15-23	$220 \cdot T_{clk} + 8 T_{carr}$

曼彻斯特解码器和时钟恢复

在曼彻斯特解码器使能（R1 <3> = 1）的情况下，3933 自动解码输入的曼彻斯特位，曼彻斯特解码数据显示在 DAT 引脚上，曼彻斯特在 CL_DAT 上恢复时钟。从 DAT 引脚输出的数据在 CL_DAT 时钟的上升沿稳定（因此可以获取），如图 54 所示。

图 54:

数据与曼彻斯特恢复时钟同步



在发生曼彻斯特时序违规的情况下，SPO 上的信号在内部时钟（晶体振荡器或 RCO 或外部时钟）的 4 个周期的持续时间内变高。

错误唤醒寄存器

3933 的唤醒策略基于两个步骤：

1. 频率检测：在此阶段检查接收信号的频率。
2. 模式相关：这里模式被解调并检查它是否对应于有效模式。

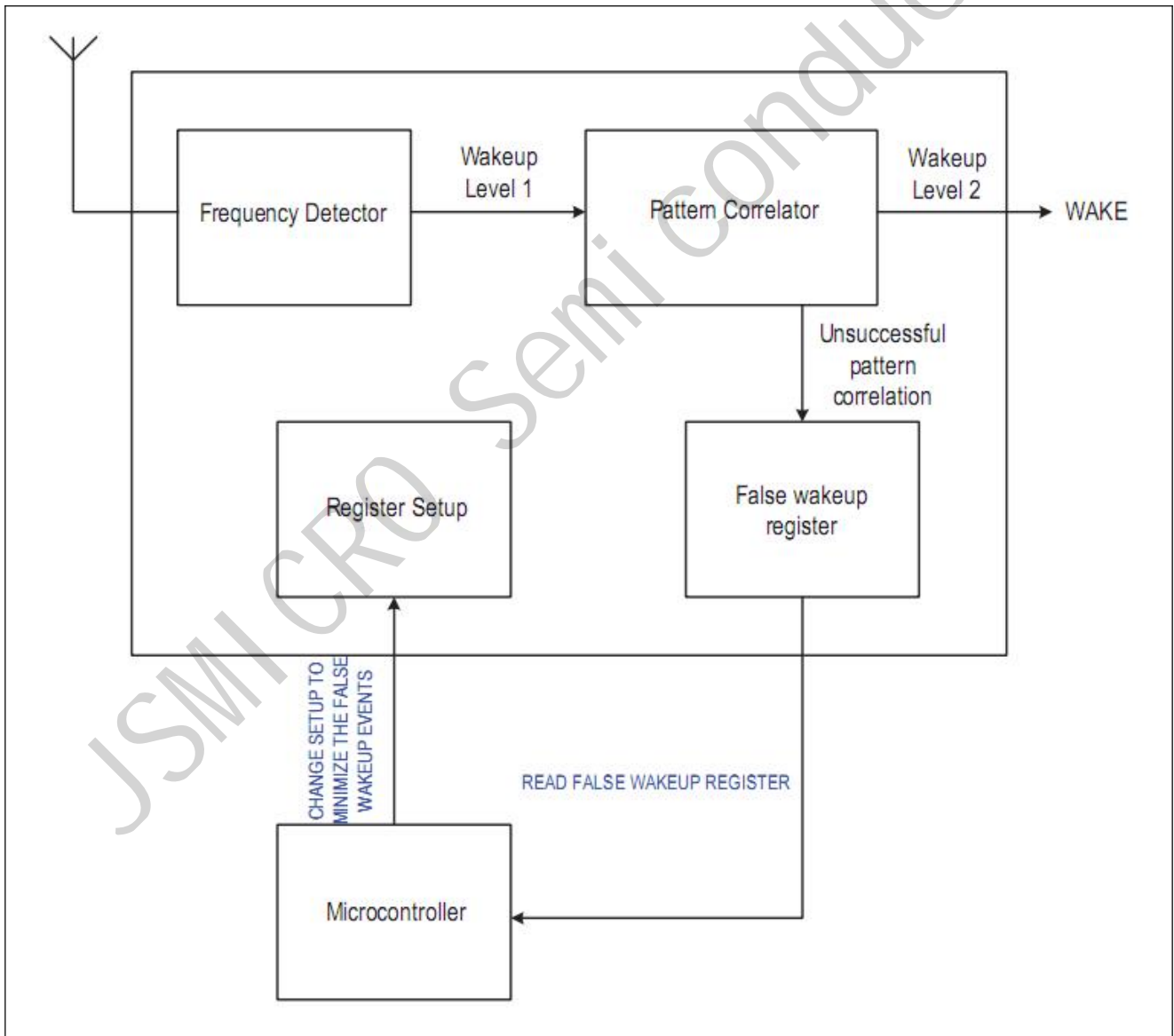
如果存在能够克服第一步（频率检测）而不产生有效模式的干扰器或噪声，则发生错误唤醒呼叫。每次该事件被识别时，计数器递增 1，并且相应的计数器值被存储在存储单元（错误唤醒寄存器）中。因此，微控制器可以周期性地查看错误唤醒寄存器，以获得周围嘈杂的感觉

环境因此可以相应地反应（例如在频率检测期间降低 LNA 的增益，将 3933 临时设置为断电等），如图 55 所示。错误唤醒计数器是快速适应的有用工具系统对噪声环境发生任何变化，从而避免错误唤醒事件。

大多数唤醒接收器必须处理可以迅速改变的环境。通过定期监控虚假唤醒事件的数量，可以使系统设置适应环境的实际特性，更好地利用 3933 的全面灵活性。

图 55：

虚拟唤醒寄存器与系统的概念



时钟发生器可以基于晶体振荡器（R1 <0> = 1），内部 RC 振荡器（R1 <0> = 0）或外部时钟源（R1 <0> = 1）。晶体振荡器具有更高的频率精度，具有更高的电流消耗，需要三个外部元件（晶体加上两个电容）。RC 振荡器是完全集成的，可以进行校准，以提高其精度。如果数字时钟已经可用，可以直接应用于 XOUT 引脚（XIN 至 VDD）。

无论选择哪个时钟发生器，时钟发生器的频率必须根据载波频率进行设置。图 56 显示了 Clock 的相互关系

工作频率来自载波频率和工作频带。

图 56:

时钟发生器频率与频带

Carrier Frequency [kHz]	Clock Generator Frequency
15 – 23	$f_{RC} = f_{carr} \cdot \frac{14}{8}$
23-40	$f_{RC} = f_{carr} \cdot \frac{9}{8}$
40-65	$f_{RC} = f_{carr} \cdot \frac{5}{8}$
65 – 95	$f_{RC} = f_{carr} \cdot \frac{3}{8}$
95 - 150	$f_{RC} = \frac{f_{carr}}{4}$

可以在 CL_DAT 引脚上显示时钟发生器的频率，写入 R2 <3: 2> = 11 且 R16 <7> = 1。

晶振振荡器

如果用户决定使用晶体振荡器作为参考时钟，则可以使用 32.768 kHz 的晶振，以便放宽频率检测的公差设置（R2 <1: 0> = 00）。

如果不是这样，那么图 56 显示了如何选择晶振的频率。

如果 3933 工作在 23-40 kHz 的带宽，那么建议不要使用 XTAL 振荡器来避免输入天线和晶振之间的耦合。

图 57:

XTAL 的特点

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
	Crystal accuracy (initial)	Overall accuracy			±120	ppm
	Crystal motional resistance				60	KΩ
	Minimum Frequency	For 32.768 kHz crystal		25		kHz
	Typical Frequency			32.768		kHz
	Maximum Frequency			45		kHz
	Contribution of the oscillator to the frequency error			±5		ppm
	Start-up Time	Crystal dependent		1		s
	Duty cycle		45	50	55	%
	Current consumption			300		nA
	Calibration time	Periods of reference clock			65	cycles
	Current consumption			650		nA

RC 振荡器

图 58:

RCO 的特点

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
	Calibration time	Periods of reference clock			65	cycles
	Current consumption			650		nA

如果模式检测和曼彻斯特解码器未使能（R1 <1> = 0 且 R1 <3> = 1），则不需要对 RC 振荡器进行校准。

如果不是这种情况，RC 振荡器必须进行校准。RC 振荡器的校准可以通过两种不同的方式进行：

- 通过 SPI，主机系统（MCU）必须能够提供参考时钟的 65 个时钟脉冲。在这种情况下，主机必须具有精确的参考时钟（晶振，谐振器等）。
- 使用基于天线谐振器的内部校准程序。使用这种校准方法，RC 振荡器根据工作频带自动调整到适当的频率。校准的精度取决于第一通道（LC 连接到 LF1P）的谐振器的公差。

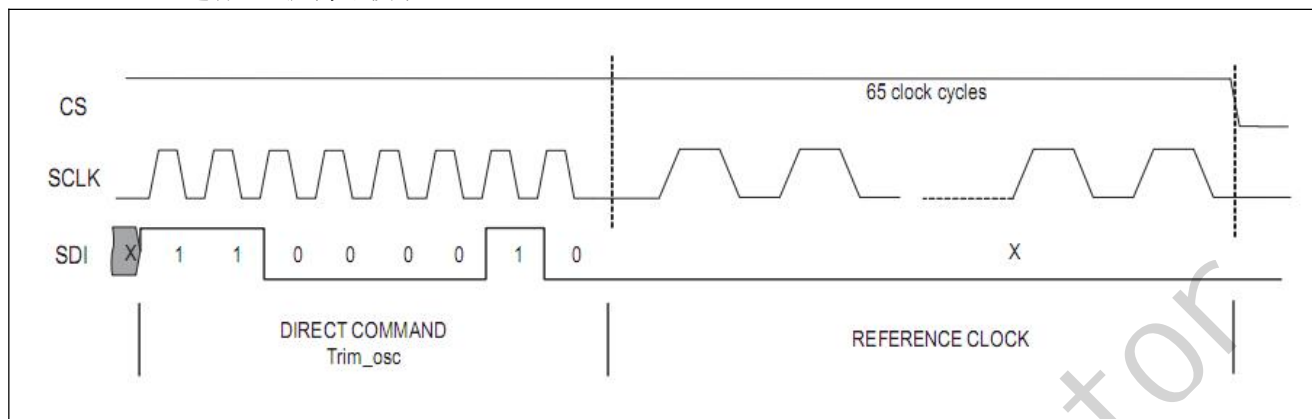
RC 振荡器：通过 SPI 进行校准。Calib_RCosc 直接命令开始校准。由于芯片上没有非易失性存储器可用，所以每次更换电池后都必须进行校准。由于时钟发生器定义了频率检测的时基，所选择的频率取决于载波频率。主机（MCU）提供的参考时钟频率的选择与使用晶体振荡器时频率的选择相同，如图 56 所示。

在微调 RC 振荡器之前，请先将芯片选择（CS）设置为高电平，然后通过 SPI 发送直接命令 Calib_RCosc。然后，必须在时钟总线（SCLK）上发送参考时钟（例如 125kHz / 4 = 31.25kHz）的 65 个数字时钟周期，如图 59 所示。之后，芯片上的信号选择（CS）必须为拉下来。

校准在第 65 个参考时钟沿之后有效，并将其存储在易失性存储器中。如果 RC 振荡器关闭或上电复位发生（例如电池更换），必须重复校准。

图 59:

通过 SPI 进行 RC 振荡器校准



RC 振荡器：自校准。 该过程使用连接到通道 1 (LF1P) 的 LC 槽（天线）不是天线，而是振荡器的谐振器。因此，内部 LC 振荡器通过一个多路复用器连接到外部存储器件中。

LC 振荡器产生一个对应于 LC-槽的共振频率的时钟。在典型的应用中，用户设计外部谐振器，以将外部 LC-储罐的谐振频率尽可能接近载波频率。数学关系

振荡频率和 LC 时间常数为：

$$F_{LC} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L \cdot C}}$$

说明：

L 是外部天线的电感和 C 电容

要启动校准，必须通过 SPI 发送直接命令 Calib_RCO_LC，一旦位 R14 <7> 为高电平，RC 振荡器将被校准。RC 振荡器的校准频率取决于载波频率，并根据图 56 自动设置，以更好地执行频率检测。

外部时钟源

要使用外部信号对 3933 进行时钟，需要使能外部时钟发生器 (R2 <6> = 1) 和晶体振荡器 (R1 <0> = 1)。如图 4 所示，当引脚 XIN 必须连接到 VDD 时，时钟可以直接施加在引脚 XOUT 上。时钟特性总结在图 60 中。

图 60：

外部时钟的特点

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
VI	Low level		0		0.1*V _{DD}	V
Vh	High level		0.9* V _{DD}		V _{DD}	V
Tr	Rise-time				3	μs
Tf	Fall-time				3	μs

注意：在掉电模式下，外部时钟必须设置为一个确定的电位（VDD 或接地）。

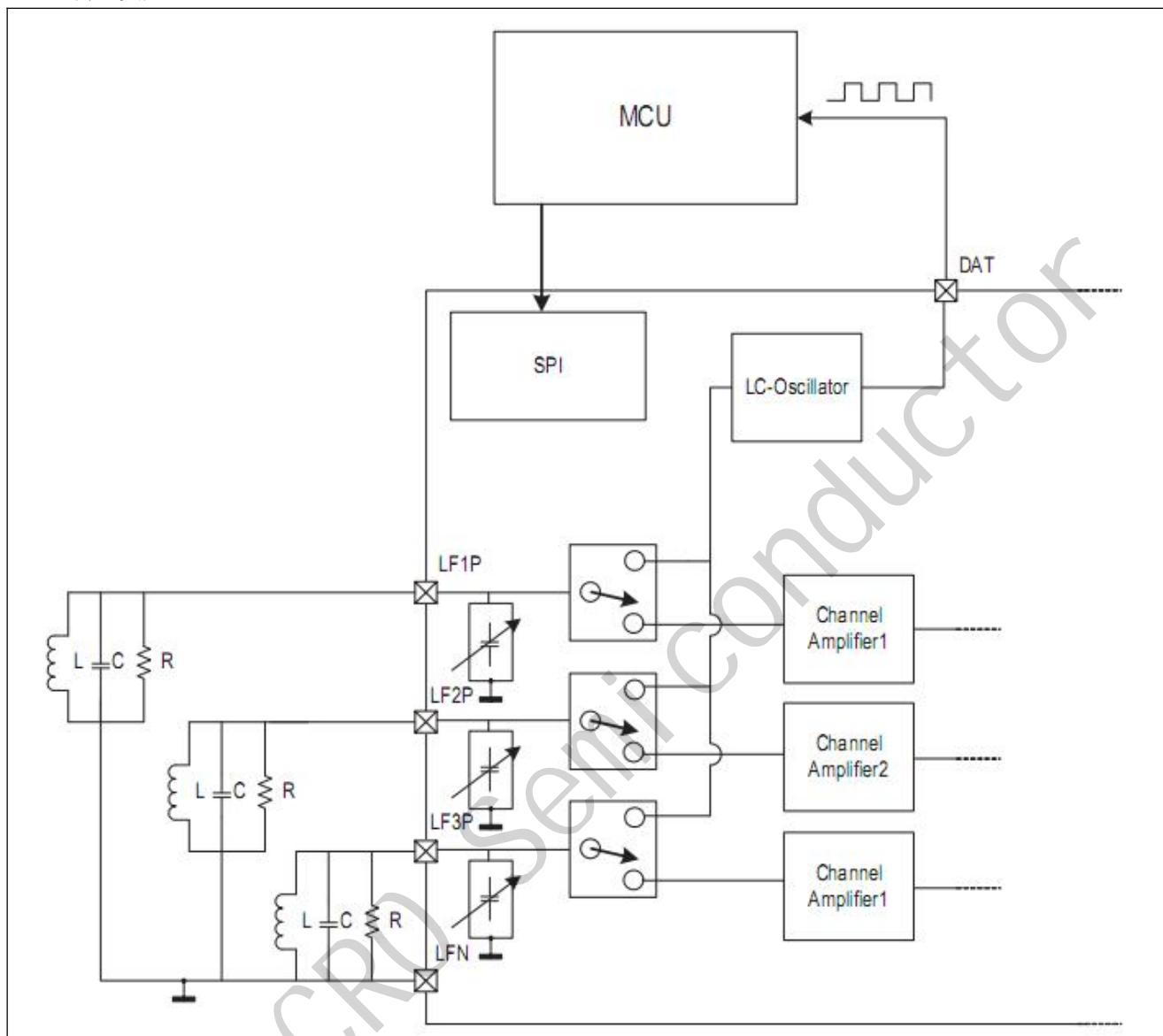
必须根据图 56 设置外部时钟源的频率。

天线调谐

3933 提供了实现精细天线调谐的可能性。框图显示了如何在主机系统（MCU）的帮助下实现调谐。

图 61：

调整实施



可以使用内部电容器组来调整三个天线中的每一个。通过寄存器 R17 <4: 0>, R18 <4: 0>和 R19 <4: 0>可以将电容器连接或断开（加上或减去外部谐振器的并联电容）。

图 62:

LF1P 上的并联调谐电容

R17	Capacitance on LF1P
R17<0>=1	Adds 1pF to LF1P
R17<1>=1	Adds 2pF to LF1P
R17<2>=1	Adds 4pF to LF1P
R17<3>=1	Adds 8pF to LF1P
R17<4>=1	Adds 16pF to LF1P

图 63:

LF2P 上的并联调谐电容

R18	Capacitance on LF2P
R18<0>=1	Adds 1pF to LF2P
R18<1>=1	Adds 2pF to LF2P
R18<2>=1	Adds 4pF to LF2P
R18<3>=1	Adds 8pF to LF2P
R18<4>=1	Adds 16pF to LF2P

图 64:

LF3P 上的并联调谐电容

R19	Capacitance on LF3P
R19<0>=1	Adds 1pF to LF3P
R19<1>=1	Adds 2pF to LF3P
R19<2>=1	Adds 4pF to LF3P
R19<3>=1	Adds 8pF to LF3P
R19<4>=1	Adds 16pF to LF3P

三个通道可以单独调节。主机系统 (MCU) 必须将 LC 振荡器连接到天线, 以测量引脚 DAT 上的谐振频率。主机应测量此引脚上的频率, 只需更改寄存器设置即可将其调整到尽可能接近载波频率的标称值。使用位 R16<2: 0>可以将 LC 振荡器连接到三个不同的天线。

扫描模式和 ON / OFF 模式下的通道选择

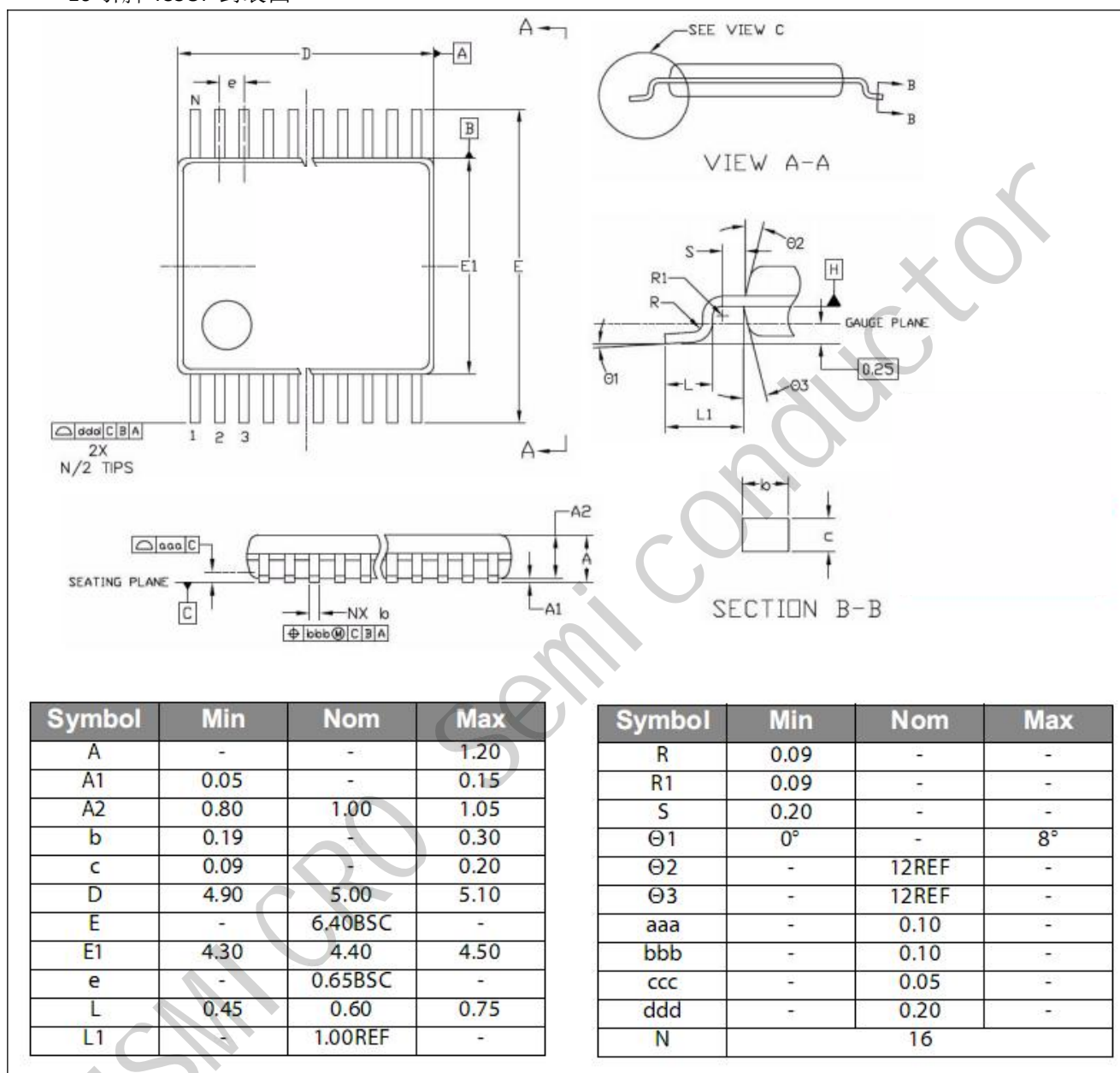
如果只有 2 个通道有效, 而其中一个低功耗模式被使能, 那么通道 1 和 3 必须是有效的。

如果芯片工作在 ON-OFF 模式, 只有一个通道有效, 则有效通道必须是通道 1. 两个低功耗模式不允许同时使能。

该器件采用 16 引脚 TSSOP 和 QFN 4×4 16LD 封装。

图 65:

16 引脚 TSSOP 封装图



注释和/或脚注:

尺寸和公差符合 ASME Y14.5M-1994。

2.所有尺寸均为毫米。 角度是度数。

图 66:

标记: YYWWMZZ @

YY	WW	M	ZZ	@
Year (i.e. 10 for 2010)	Manufacturing Week	Assembly plant identifier	Assembly traceability code	Sublot identifier

图 67: