

**摘要**

本应用报告介绍如何根据终端应用和用例选择 xWRL6432AOP 雷达器件中的发送器功率退避和接收器增益设置，以免造成接收器噪声系数升高和接收器 ADC 饱和风险，还将介绍如何在 TI 的 xWRL6432AOP 雷达器件上正确编程这些设置。

内容

1 引言.....	2
2 接收器噪声系数升高.....	2
3 接收器 ADC 饱和风险.....	4
4 TX 退避和 RX 增益建议.....	4
5 使用传感估算器时的线性调频脉冲配置建议.....	6
6 总结.....	7
7 参考资料.....	7
8 修订历史记录.....	7

插图清单

图 2-1. 在不同频率下启用单个 TX 时的 EINF.....	2
图 2-2. 在不同频率下启用单个 TX 时的平均 EINF.....	3
图 4-1. 允许的最大 RX 增益设置.....	4
图 4-2. 57GHz 至 64GHz 范围内的最小 TX 退避.....	5
图 4-3. 61GHz 至 64GHz 范围内的最小 TX 退避.....	5
图 5-1. 传感估算器显示线性调频脉冲导致 ADC 饱和.....	6

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

1 引言

在通过 FMCW 雷达传感器确定总体系统性能时，许多因素会影响检测范围。检测范围取决于线性调频脉冲斜率、中频带宽以及被检测物体的反射能量的信噪比 (SNR)。SNR 又取决于 EIRP (TX 功率和 TX 天线增益的组合)、EINF (RX 天线增益和 RX 噪声系数的组合) 以及目标物体的 RCS。对于 xWRL6432AOP 器件，发送和接收天线之间的隔离受到限制，这是因为封装天线 (AOP) 器件上的天线非常接近。

接收器性能会在两个方面受此影响：

- **影响 1：**接收器噪声系数升高
 - 由于 TX-RX 耦合信号上的噪声，噪声系数会升高。
- **影响 2：**接收器 ADC 饱和和风险
 - TX-RX 耦合会导致 RX 输出端出现低频信号，该信号可能大到足以在未采取预防措施的情况下使 ADC 饱和。

2 接收器噪声系数升高

耦合信号上的噪声会导致接收器的噪声系数升高。噪声系数升高会降低被检测物体的 SNR，从而减小检测范围并降低检测精度。因此，有效全向噪声系数取决于以下两点：

1. TX 退避
2. TX-RX 隔离

TX-RX 隔离取决于两个因素：

- 发送和接收组合
- 射频频率

图 2-1 显示了不同发送和接收组合以及不同射频频率下的有效全向噪声系数 (EINF) 相关性。图中显示了针对两个不同 TX 退避设置 (0dB 和 6dB) 的 EINF。两个 TX 退避设置之间的噪声系数变化显示了 TX-RX 耦合对不同射频频率下噪声系数的影响。

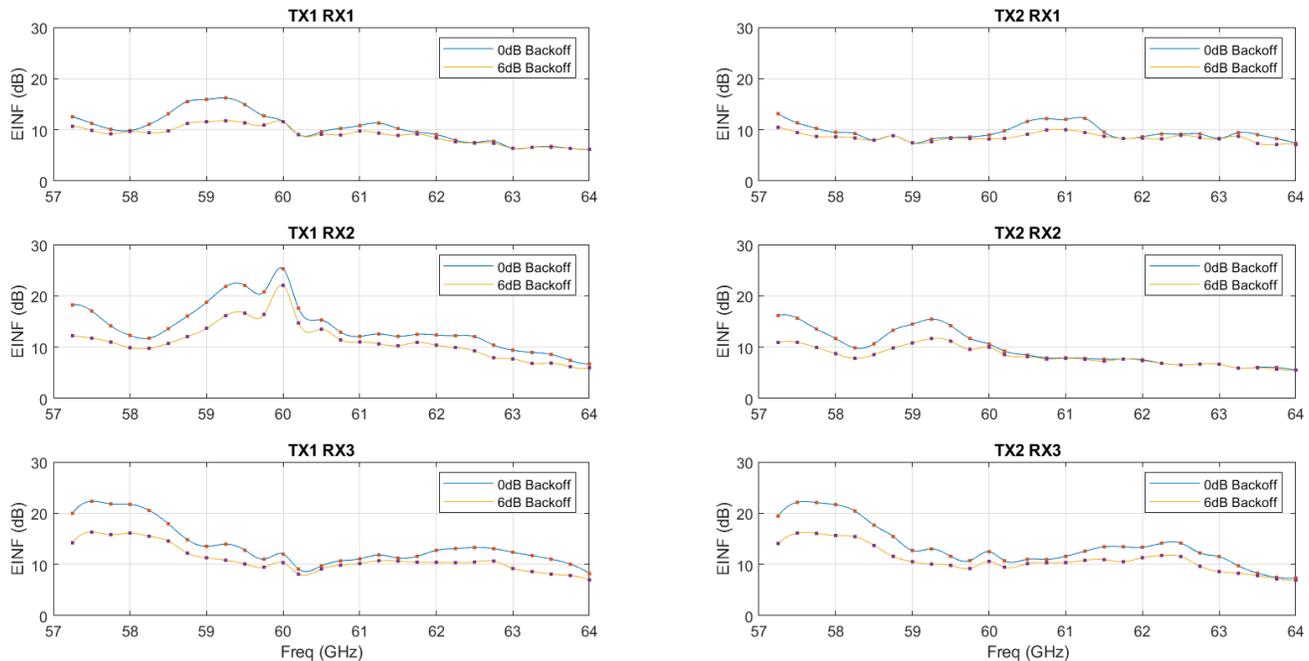


图 2-1. 在不同频率下启用单个 TX 时的 EINF

多个发送和接收对的这些影响可以整合在一起，从而显示射频频率下所有发送和接收天线的总体影响。图 2-2 显示了不同 TX-RX 组合的平均噪声系数。

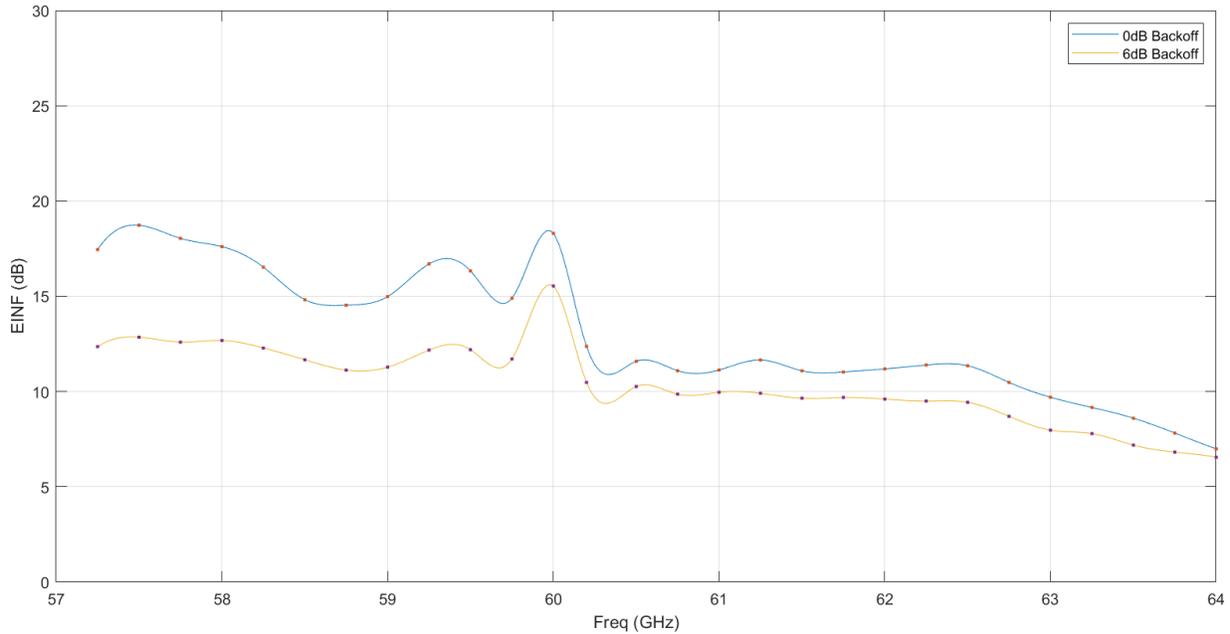


图 2-2. 在不同频率下启用单个 TX 时的平均 EINF

备注

由于 60GHz 时的噪声系数会增加，TI 建议避免在 60GHz 左右出现窄带宽线性调频脉冲 (< 0.5GHz)。

能否更大限度增大检测范围 (或尽可能缩短特定检测范围所需的集成时间) 取决于能否更大限度提高检测 SNR。根据前面提到的噪声系数曲线，可通过多种方法实现该目的。

- 降低 TX 功率 (增加功率退避) 会减少 TX 和 RX 天线之间的耦合量，从而降低噪声系数。这一情况在不同的 TX 和 RX 组合以及不同输出频率下会有所不同。但是，降低噪声系数的好处会被发送功率降低所抵消，从而会减小检测范围。
- 选择 FMCW 线性调频脉冲的启动和停止频率 (带宽) 有助于减少耦合和降低噪声系数。如图 2-2 所示，61GHz 至 64GHz 频带的耦合比 57GHz 至 61GHz 频带的耦合更低。设定一个合理的线性调频脉冲来利用 61GHz 至 64GHz 频带部分有助于降低噪声系数。当地法规和其他注意事项可能会推动终端应用的频率选择，但根据前面的图形可以得出不同频带中的预期噪声系数。
- 对于并不需要全部 6 个虚拟通道 (TX 和 RX 组合) 的应用，使用 TX2 有助于降低噪声系数。TX2 在 59GHz 至 64GHz 频带内的耦合最低。对于单个 TX 应用，请使用 TX2 而非 TX1 来获得出色性能和最大范围。
- 对于两个 TX 应用，请使用 TDM MIMO 模式而不是 BPM MIMO 模式。

3 接收器 ADC 饱和风险

TX-RX 耦合会导致 RX 输出端出现低频信号，该信号可能大到足以在未采取预防措施的情况下使接收器 ADC 饱和。接收器 ADC 饱和强度取决于：

1. RX 输入端的耦合信号电平：
 - TX 退避
 - 射频频率
 - 正在考虑的发送和接收组合
2. RX 增益设置
3. HPF 衰减：
 - 线性调频脉冲斜率和 HPF 截止频率配置

为了降低这种风险，需要降低接收器输出端的摆幅。通过下一节中的建议可以实现这一目的。

4 TX 退避和 RX 增益建议

图 4-1 和图 4-2 根据线性调频脉冲斜率 (X 轴) 和 HPF 设置 (不同颜色) 给出了允许的最大 RX 增益设置和最小 TX 退避限制。这些建议可更大限度降低接收器噪声系数升高带来的影响和接收器 ADC 饱和带来的风险。

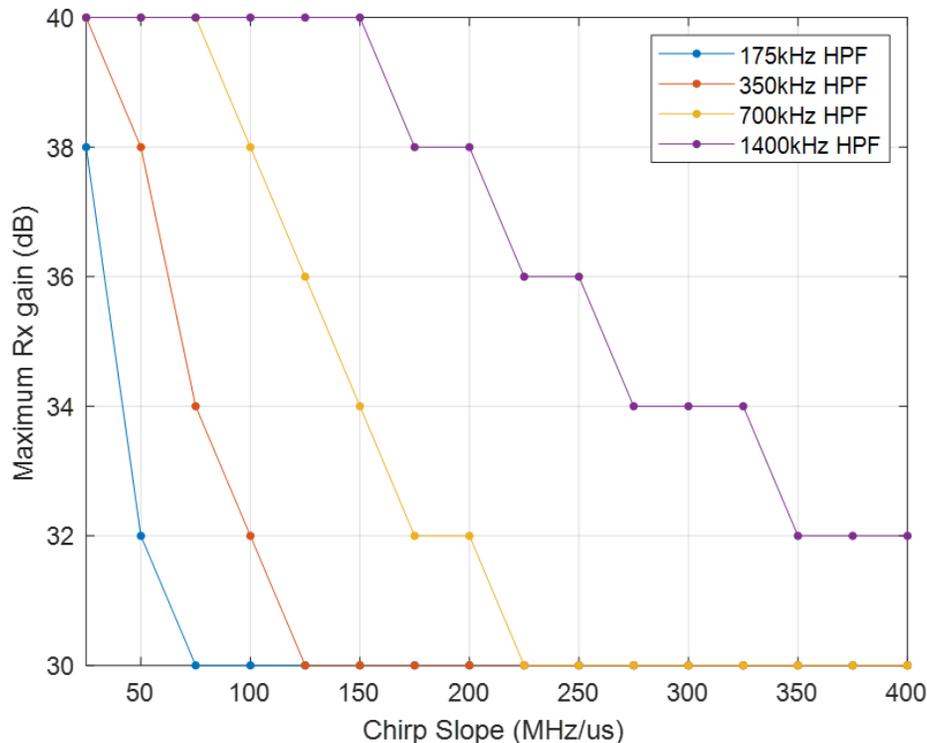


图 4-1. 允许的最大 RX 增益设置

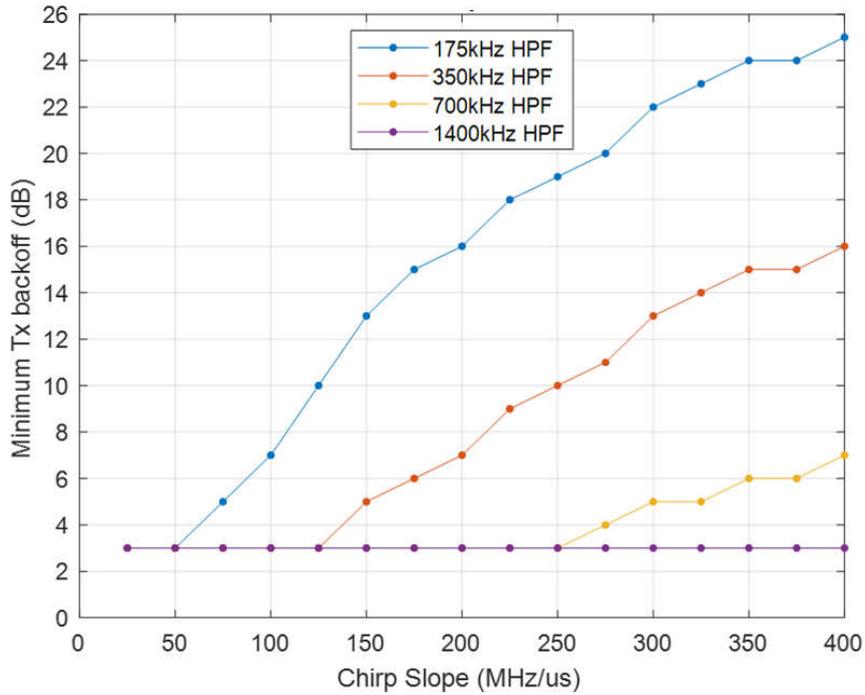


图 4-2. 57GHz 至 64GHz 范围内的最小 TX 退避

对于以下情况，可以放宽 TX 退避限制，如图 4-3 所示：

- 对于两个 TX 应用，61GHz 至 64GHz 范围内包含的线性调频脉冲
- 对于单个 TX 应用（使用 TX2），59GHz 至 64GHz 范围内包含的线性调频脉冲

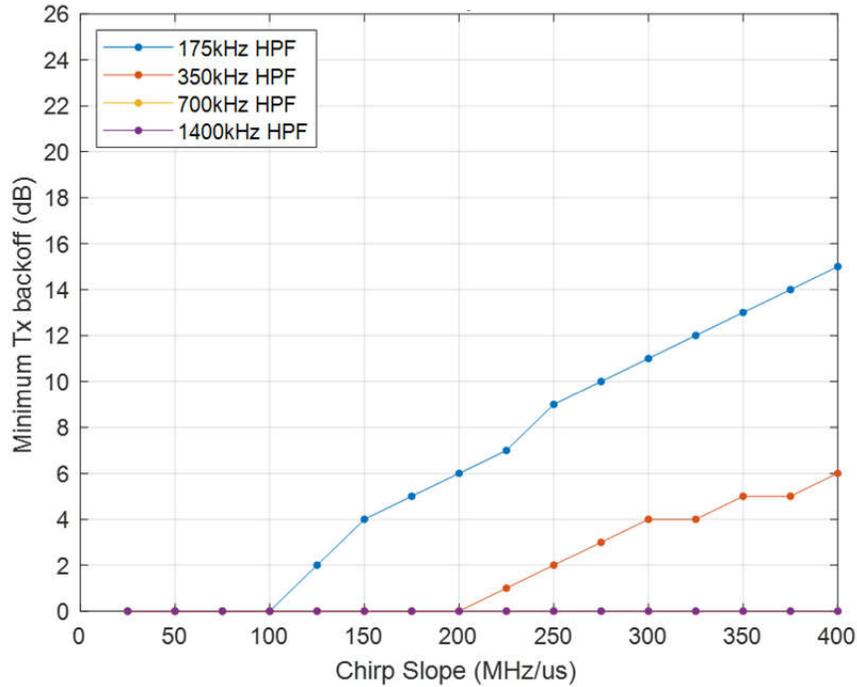
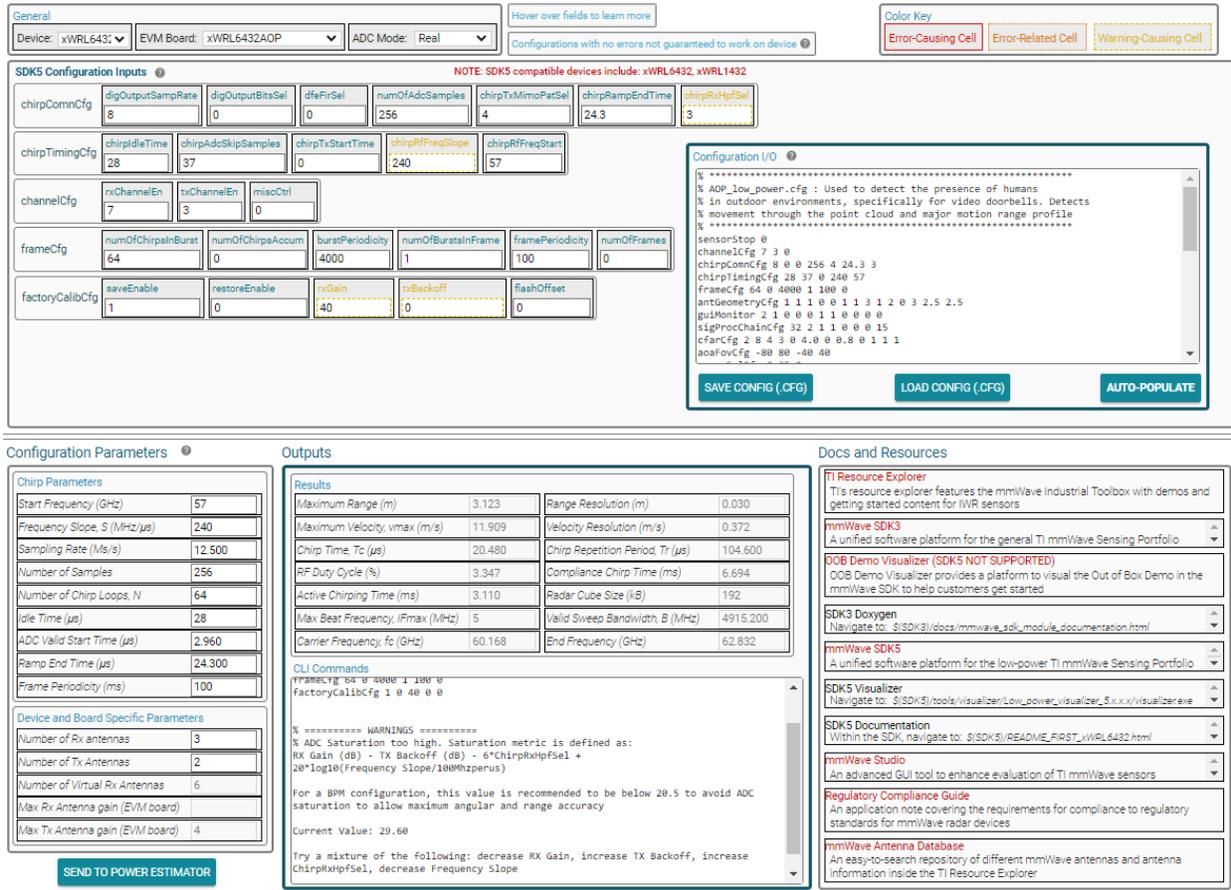


图 4-3. 61GHz 至 64GHz 范围内的最小 TX 退避

使用前面所示的约束可确保实现尽可能出色的 SNR 且接收器 ADC 也不会饱和。

5 使用传感估算器时的线性调频脉冲配置建议

如果不确定线性调频脉冲配置是否遵循了本应用手册中所述的相应建议，请在**传感估算器**中检查线性调频脉冲配置。在 *Advanced Chirp Design and Tuning* 选项卡中可检查线性调频脉冲配置，以查看这些设置是否与前几节中的图相符。有关传感估算器中提供的警告示例，请参阅图 5-1。



The screenshot shows the Sensing Estimator interface with the following configuration parameters:

Parameter	Value
Device	xWRL6432
EVM Board	xWRL6432AOP
ADC Mode	Real
chirpComnCfg	8
chirpTimingCf	28
channelCf	7
frameCf	64
factoryCalibCf	1
digOutputSampRate	0
digOutputBitsSel	0
dfcFirSel	0
numOfAdcSamples	256
chirpTxMimoPatSel	4
chirpRampEndTime	24.3
chirpRxHpfSel	3
chirpIdleTime	28
chirpAdcSkipSamples	37
chirpTxStartTime	0
chirpRfFreqSlope	240
chirpRfFreqStart	57
rxChannelEn	7
txChannelEn	3
miscCtrl	0
numOfChirpInBurst	64
numOfChirpsAccum	0
burstPeriodicity	4000
numOfBurstInFrame	1
framePeriodicity	100
numOfFrames	0
saveEnable	1
restoreEnable	0
rxGain	40
txBackoff	0
flashOffset	0

The Configuration I/O window shows the following configuration data:

```

*****
% AOP_low_power_cfg : Used to detect the presence of humans
% in outdoor environments, specifically for video doorbells, detects
% movement through the point cloud and major motion range profile
*****
sensorStop 0
channelCf 7 3 0
chirpComnCf 8 0 0 256 4 24.3 3
chirpTimingCf 28 37 0 240 57
frameCf 64 0 4000 1 100 0
antGeoMetricCf 1 1 1 0 0 1 1 3 1 2 0 3 2.5 2.5
guiMonitor 2 1 0 0 0 1 1 0 0 0 0
sigProcChainCf 32 2 1 1 0 0 0 15
cFarCf 2 8 4 3 0 4.0 0.8 0 1 1 1
aaFovCf -80 80 -40 40
  
```

The Configuration Parameters window shows the following results:

Parameter	Value
Start Frequency (GHz)	57
Frequency Slope, S (MHz/μs)	240
Sampling Rate (Ms/s)	12.500
Number of Samples	256
Number of Chirp Loops, N	64
Idle Time (μs)	28
ADC Valid Start Time (μs)	2.960
Ramp End Time (μs)	24.300
Frame Periodicity (ms)	100

The Outputs window shows the following results:

Parameter	Value
Maximum Range (m)	3.123
Range Resolution (m)	0.030
Maximum Velocity, v _{max} (m/s)	11.909
Velocity Resolution (m/s)	0.372
Chirp Time, T _c (μs)	20.480
Chirp Repetition Period, T _r (μs)	104.600
RF Duty Cycle (%)	3.347
Compliance Chirp Time (ms)	6.694
Active Chirping Time (ms)	3.110
Radar Cube Size (kB)	192
Max Beat Frequency, f _{max} (MHz)	5
Valid Sinep Bandwidth, B (MHz)	4915.200
Carrier Frequency, f _c (GHz)	60.168
End Frequency (GHz)	62.832

The Docs and Resources window shows the following links:

- TI Resource Explorer
- mmWave SDK3
- DOB Demo Visualizer (SDK3 NOT SUPPORTED)
- SDK3 Doxygen
- mmWave SDK5
- SDK3 Visualizer
- SDK3 Documentation
- mmWave Studio
- Regulatory Compliance Guide
- mmWave Antenna Database

图 5-1. 传感估算器显示线性调频脉冲导致 ADC 饱和

要手动评估线性调频脉冲配置，请考虑以下设置：

1. TX 退避
2. RX 增益
3. HPF 设置
4. 频率斜率

首先，查看 HPF 设置和频率斜率以确保满足 RX 增益的要求。在图 5-1 所示的示例中，*HPF setting* = 1400kHz，*Frequency Slope, S (MHz/μs)* = 240。这意味着最大 RX 增益为 36 (请参阅图 4-1)。在这种情况下，为了确保满足最大接收器增益约束条件，决定将 RX 增益更改为 36 或更低。

接下来，查看频率范围内的 TX 退避。此处的频率范围为 57GHz 至 63GHz，因此请使用图 4-2 中的数据。此处显示最小 TX 退避为 3。在这种情况下，为了确保满足最小退避约束条件，决定将 TX 退避更改为 3 或更高。

当 RX 增益从 40 更改为 36 且 TX 退避从 0 更改为 3 后，ADC 饱和的风险很小或没有，进而会消除传感估算器中的误差。

6 总结

接收器 ADC 饱和会显著影响雷达功能，并导致目标物体反射信号中的关键信息丢失。此外，较高的噪声系数会降低 SNR，从而影响距离和角分辨率，进而降低雷达的整体性能。本文提供了关于选择 xWRL6432AOP 雷达器件的发送器功率退避和接收器增益设置的建议，旨在实现尽可能出色的性能。这些准则信息说明了不正确的设置如何因 TX-RX 耦合信号中的噪声而导致更高的 EINF，以及 RX 输出端的低频信号导致接收器 ADC 饱和的风险。应参考本文提供的建议，根据终端应用在 xWRL6432AOP 雷达器件上进行最合理的设置，从而通过管控这些问题的影响来提高雷达性能。

7 参考资料

- 德州仪器 (TI)，[对 TI 雷达器件中的线性调频脉冲参数进行编程](#) 应用报告
- 德州仪器 (TI)，[IWRL6432AOP 单芯片 57GHz 至 64GHz 工业雷达传感器封装天线 \(AOP\) 数据表](#)
- 德州仪器 (TI)，[AWRL6432AOP 单芯片 57GHz 至 64GHz 汽车雷达传感器封装天线 \(AOP\) 数据表](#)
- 德州仪器 (TI)，[IWRL6432AOP 器件勘误表](#)
- 德州仪器 (TI)，[AWRL6432AOP 器件勘误表](#)
- 德州仪器 (TI)，[毫米波传感估算器](#)

8 修订历史记录

注：以前版本的页码可能与当前版本的页码不同

Changes from Revision * (May 2024) to Revision A (August 2024)	Page
• 在节 2 更新了各种频率的 EINF 和平均 EINF 图，添加了有关在 60GHz 时噪声增加的建议，并添加了有关使用 TDM MIMO 模式而不是 BPM MIMO 模式的建议.....	2
• 在节 4 中添加了有关放宽 TX 退避限制的建议.....	4

重要声明和免责声明

TI“按原样”提供技术和可靠性数据（包括数据表）、设计资源（包括参考设计）、应用或其他设计建议、网络工具、安全信息和其他资源，不保证没有瑕疵且不做任何明示或暗示的担保，包括但不限于对适销性、某特定用途方面的适用性或不侵犯任何第三方知识产权的暗示担保。

这些资源可供使用 TI 产品进行设计的熟练开发人员使用。您将自行承担以下全部责任：(1) 针对您的应用选择合适的 TI 产品，(2) 设计、验证并测试您的应用，(3) 确保您的应用满足相应标准以及任何其他功能安全、信息安全、监管或其他要求。

这些资源如有变更，恕不另行通知。TI 授权您仅可将这些资源用于研发本资源所述的 TI 产品的应用。严禁对这些资源进行其他复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。您应全额赔偿因在这些资源的使用中对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 的销售条款](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款/TI 产品随附的其他适用条款的约束。TI 提供这些资源并不会扩展或以其他方式更改 TI 针对 TI 产品发布的适用的担保或担保免责声明。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

邮寄地址：Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265

Copyright © 2024，德州仪器 (TI) 公司