6 至 7 GHz WLAN 前端低噪声晶体管设计指南

射频（RF）双极型晶体管

关于本文档

范围和目的

本应用笔记提供了英飞凌低噪声硅锗碳（SiGe:C）晶体管在无线局域网（WLAN）低噪声放大器（LNA）中的应用电路设计示例。本文档展示了基于此类晶体管的 LNA 原理图、印刷电路板（PCB）布局以及测量结果。本文档适用于以下低噪声晶体管：

- BFP740 适用于 6 至 7 GHz WLAN 的低噪声晶体管
- BFP840ESD 适用于 6 至 7 GHz WLAN 的低噪声晶体管
- BFP840FESD 适用于 6 至 7 GHz WLAN 的低噪声晶体管
- BFR840L3RHESD 适用于 6 至 7 GHz WLAN 的低噪声晶体管

目标读者

本文档面向需要为 WLAN 应用设计 LNA 的工程师。

目录

关于本文档 **1**

目录 **1**

1 引言 **2**
1.1 WLAN 射频前端 2
1.2 英飞凌 RF 晶体管系列 2

2 6 至 7 GHz 频段 WLAN LNA 应用电路 **3**
2.1 性能概述 3
2.2 原理图 4
2.3 物料清单 5
2.4 评估板和布局信息 6
2.5 6至7 GHz频段 WLAN LNA 的测量结果 9

3 作者 **15**

修订记录 **16**

本应用笔记的原文使用英文撰写。为方便起见，英飞凌提供了译文；由于翻译过程中可能使用了自动化工具，英飞凌不保证译文的准确性。为确认准确性，请务必访问 infineon.com 参考最新的英文版本（控制文档）。

1 引言

1.1 WLAN 射频前端

随着日常生活中 WiFi 设备数量的增加，将这些设备接入网络的需求也随之增长。WiFi 6 提供高速数据吞吐量，并支持更多设备同时连接。WLAN 是 WLAN接入点与智能手机、平板电脑及笔记本电脑之间最重要的连接功能之一。依据 IEEE 802.11ax 标准，WLAN 已在6 至 7 GHz 频段得到广泛应用。WiFi 6 应用是 WiFi 应用的延伸，覆盖 1200 MHz 的宽频谱。目标唤醒时间（TWT）提高了功耗和网络效率。此外，WiFi 6 还提供额外的频谱容量，可新增 14 个 80 MHz 带宽通道或 7 个160 MHz 带宽通道。

数据传输速率和覆盖范围是 WLAN 应用的关键性能指标，二者均受发射功率、接收器灵敏度、噪声和干扰的显著影响。高阶调制方案所要求的高数据吞吐量需要更高的接收信号质量，而实现 MU-MIMO 所必需的多天线 WLAN 路由器方案会在至收发器IC的信号路径中引入走线损耗，导致信号质量下降。因此，在天线附近布置包含滤波器、开关、LNA 和功率放大器（PA）的射频前端，是改善信号质量的常用方法。

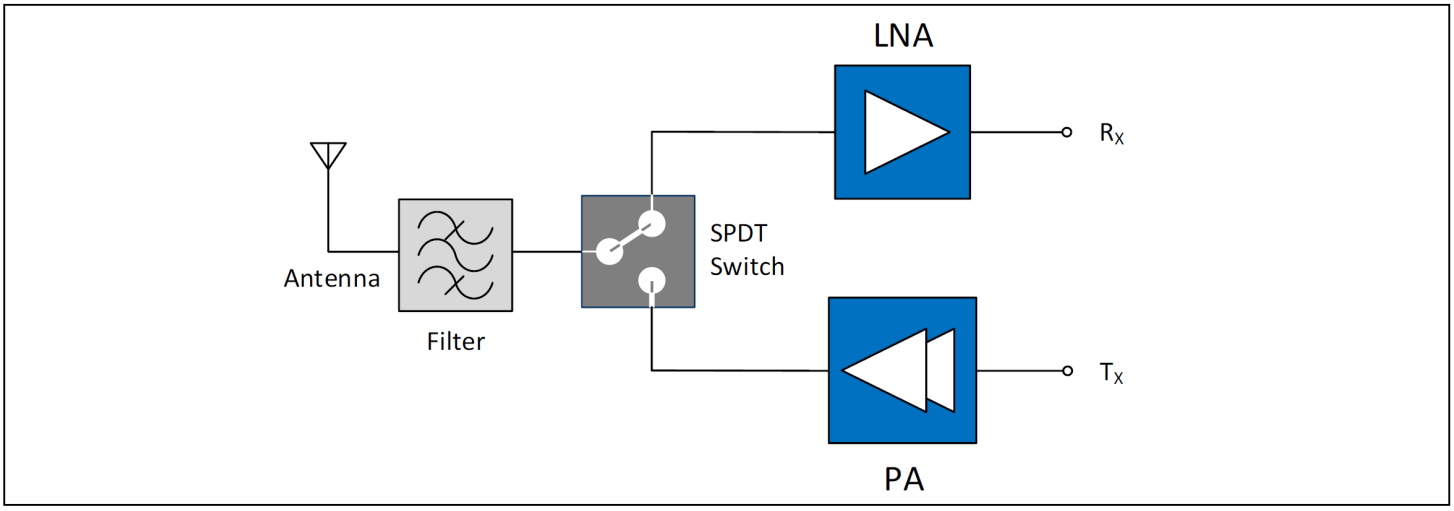


图 1 WLAN 射频前端框图

1.2 英飞凌 RF 晶体管系列

英飞凌科技提供面向 WLAN LNA 应用的高性能射频（RF）晶体管。英飞凌可靠的量产型 RF 晶体管为 RF 应用提供极低的噪声系数（NF）、高增益及高线性度，同时保持低功耗水平。第七代及最新第八代高性能晶体管均基于可靠的超低噪声 SiGe:C 技术。其经过优化的内部晶体管单元结构，在高频段（包括 6 至 7 GHz WLAN 频段）实现了业界领先的功率增益和噪声系数。这些LNA 专为 U-NII-5（免授权国家信息基础设施 5295 至 6425 MHz）、U-NII-6（6425 至 6525 MHz）、U-NII-7（6525 至 6875 MHz）和 U-NII-8（6875 至 7125 MHz）频段设计，覆盖完整的 WiFi 6 1200 MHz 带宽。该系列晶体管具有极大的设计灵活性，以满足客户需求。

2 6 至 7 GHz 频段 WLAN LNA 应用电路

2.1 性能概述

下表展示了 6 至 7 GHz 频段 WLAN 低噪声晶体管的性能参数。

表 1 采用SOT-343封装晶体管的 6 至 7 GHz 频段 WLAN LNA 测量结果汇总

参数	符号	数值				单位	备注
器件		BFP740		BFP840ESD			
工作电压	V_{CC}	3.3		3.3		V	
工作电流	I_{CC}	14.5		9.5		mA	
频率	f	5.93	7.13	5.93	7.13	GHz	
增益	G	14.3	12.6	17.1	15.0	dB	
NF	NF	0.94	1.36	1.19	1.35	dB	PCB 及 SMA 损耗已扣除：0.2 dB
输入回波损耗	RL_{in}	9.6	8.5	15.7	10.5	dB	
输出回波损耗	RL_{out}	16.4	16.9	15.9	10.5	dB	
反向隔离	ISO_{rev}	21.5	20.1	23.7	22.4	dB	
输出 1 dB压缩点	OP_{1dB}	10.9		6.0		dBm	在 6.6 GHz 下测得
输出三阶截点	OIP_3	24.7		18.5		dBm	输入功率： -25 dBm Tone 1：6600 MHz Tone 2：6601 MHz
稳定性	K	大于 1					测量范围：10 MHz 至 14 GHz

表 2 采用 TSLP 和 TSFP 封装晶体管的 6 至 7 GHz 频段 WLAN LNA 测量结果汇总

参数	符号	数值				单位	备注
器件		BFP840FESD		BFR840L3RHESD			
工作电压	V_{CC}	3.3		3.3		V	
工作电流	I_{CC}	14.6		12.6		mA	
频率	f	5.93	7.13	5.93	7.13	GHz	
增益	G	18	16.7	15.4	14.2	dB	
NF	NF	1.36	1.26	1.10	1.13	dB	PCB 及 SMA 损耗已扣除：0.2 dB
输入回波损耗	RL_{in}	13.5	9.4	9.9	12.0	dB	
输出回波损耗	RL_{out}	10.4	23.5	11.1	12.5	dB	
反向隔离	ISO_{rev}	26.3	25.1	24.3	22.8	dB	
输出1 dB压缩点	OP_{1dB}	8.7		6.9			在 6.6 GHz 下测得
输出三阶截点	OIP_3	20.7		13.8		dBm	输入功率： -25 dBm Tone 1：6600 MHz Tone 2：6601 MHz
稳定性	K	大于 1					测量范围：10 MHz 至 14 GHz

2.2 原理图

下图展示了6 至 7 GHz 频段 WLAN LNA 的原理图，采用英飞凌第八及第七代 RF 低噪声 SiGe 晶体管 BFP840ESD、BFP840FESD、BFR840L3RHESD 和 BFP740。上述晶体管采用不同封装形式。由于不同晶体管封装的寄生电感略有差异，LNA 电路中 PCB 发射极负反馈走线长度也需分别设定（参见第 2.4 节）。在LNA电路中，电阻 R1 和 R2 用于提供晶体管电压和电流偏置，同时构成负DC反馈机制，以在各种条件下稳定晶体管的偏置点。电容器 C2 和 C3 用作 RF 旁路。晶体管输入匹配由 C1、L1 和 L3 实现。输出匹配网络由 C4、C5、C6、L2、R3 和 R4 构成。电阻 R3 和 R4 还具有提高电路稳定性的功能。

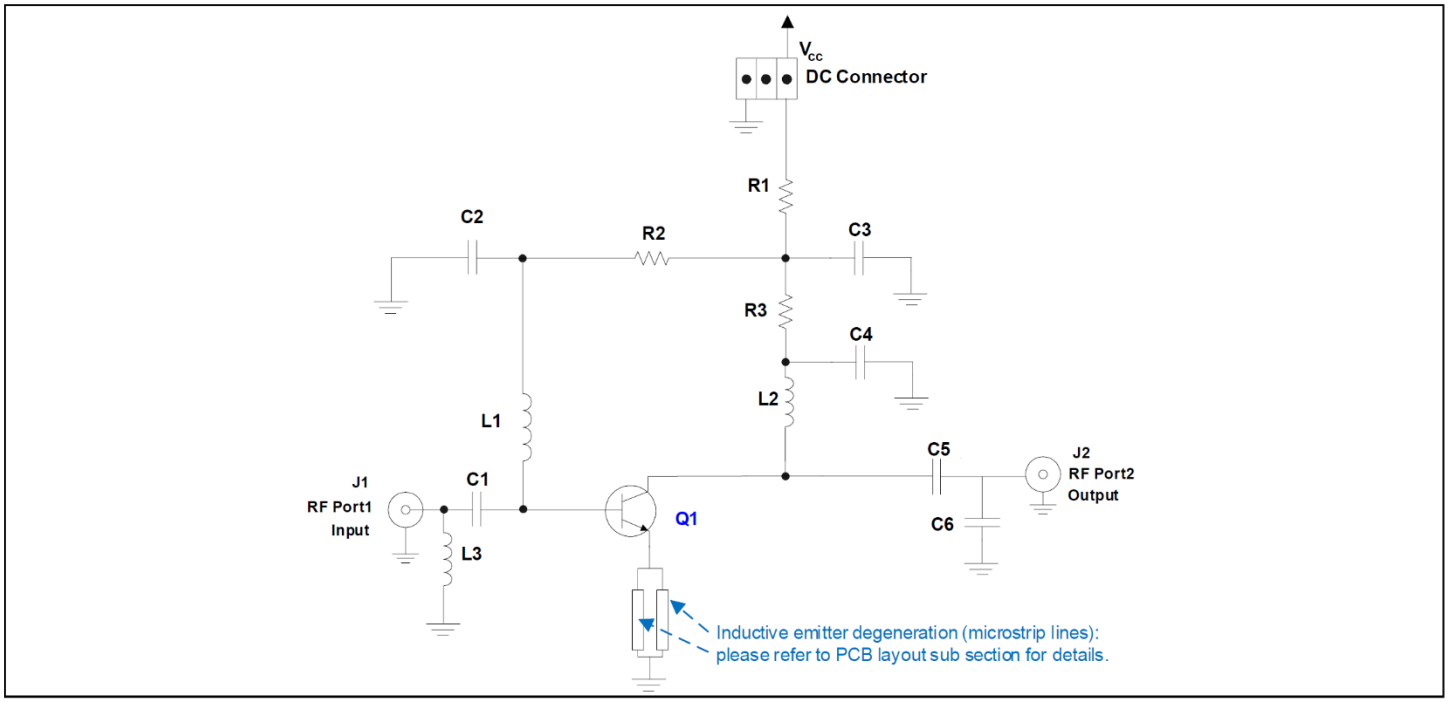


图 2　　6 至 7 GHz 频段 WLAN LNA 原理图

2.3　　物料清单

表 3　　6 至 7 GHz 频段 WLAN LNA 物料清单

符号	数值（元器件封装/尺寸）				制造商	备注
Q1	BFP840ESD (SOT-343)	BFP840FESD (TSFP-4-1)	BFR840L3RHESD (TSLP-3-9)	BFP740 (SOT-343)	英飞凌	SiGe:C 双极低噪声晶体管
C1	3.3 pF (0402)	24 pF (0402)	1.5 pF (0201)	3.3 pF (0402)	多种	输入匹配和隔直
C2	39 pF (0402)	n.c.[1)]	10 pF (0201)	n.c.[1)]	多种	RF 去耦
C3	39 pF (0402)	39 pF (0402)	10 pF (0201)	47 pF (0402)	多种	RF 去耦
C4	1.8 pF (0402)	0.5 pF (0402)	n.c.[1)]	1 pF (0402)	多种	改善输出匹配与稳定性
C5	5 pF (0402)	1.8 pF (0402)	1 pF (0201)	1.5 pF (0402)	多种	输出匹配和隔直
C6	0.1 pF (0402)	n.c.[1)]	n.c.[1)]	n.c.[1)]	多种	改善高频稳定性
R1	82 Ω (0402)	51 Ω (0402)	120 Ω (0201)	22 Ω (0402)	多种	DC 偏置和DC负反馈
R2	30 kΩ (0402)	27 kΩ (0402)	24 kΩ (0201)	33 kΩ (0402)	多种	晶体管基极DC偏置

R3	82 Ω (0402)	51 Ω (0402)	15 Ω (0201)	82 Ω (0402)	多种	改善低频稳定性
L1	2.2 nH (LQG/0402)	n.c.[1)]	3 nH (LQP03T/0201)	82 nH (LQG/0402)	村田	RF 扼流圈和输入匹配
L2	1.6 nH (LQG/0402)	1.8 nH (LQG/0402)	1 nH (LQP03T/0201)	2 nH (LQG/0402)	村田	RF 扼流圈和输出匹配
L3	n.c.[1)]	n.c.[1)]	n.c.[1)]	1.5 nH (LQG/0402)	村田	输入匹配

注：1) 未连接 (n.c.)。

2.4 评估板和布局信息

适用于 6 至 7 GHz 频段 WLAN LNA 的评估板：

- PCB材料：FR4
- PCB标识：
  - BFP840ESD M130120
  - BFP840FESD M12051302
  - BFR840L3RHESD M230420
  - BFP740 M18123109

6 至 7 GHz 频段 WLAN LNA 的评估板照片及 PCB 叠层详细说明见下列各图。

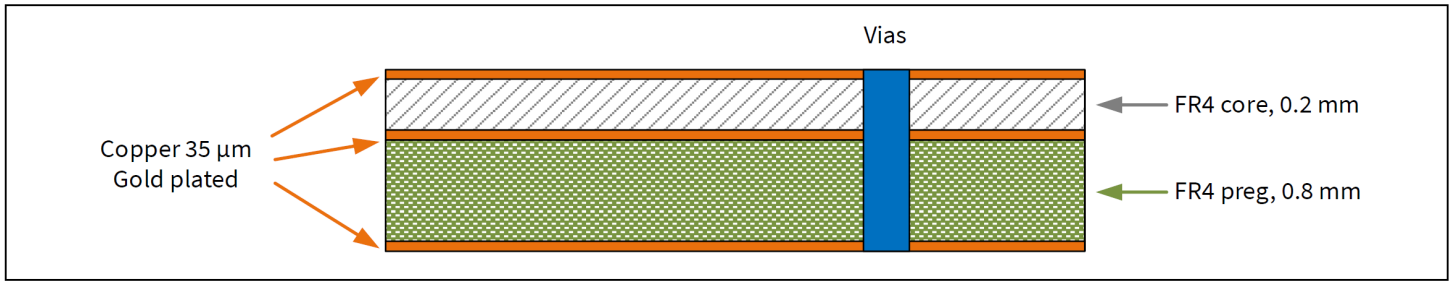


图 3 标识为 M130120、M12051302、M230420 和 M18123109 的评估板 PCB 叠层信息

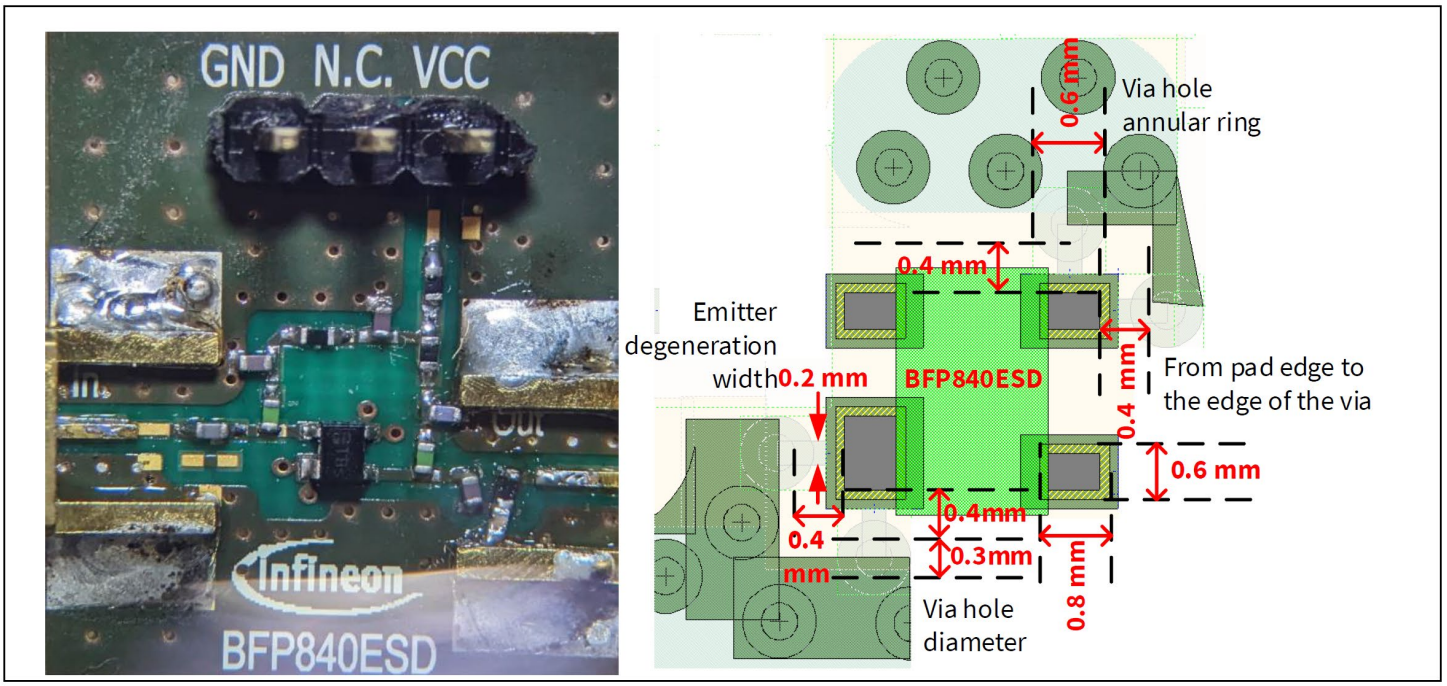


图 4　　标识为M130120 的评估板照片（左）及发射极负反馈细节图（右）

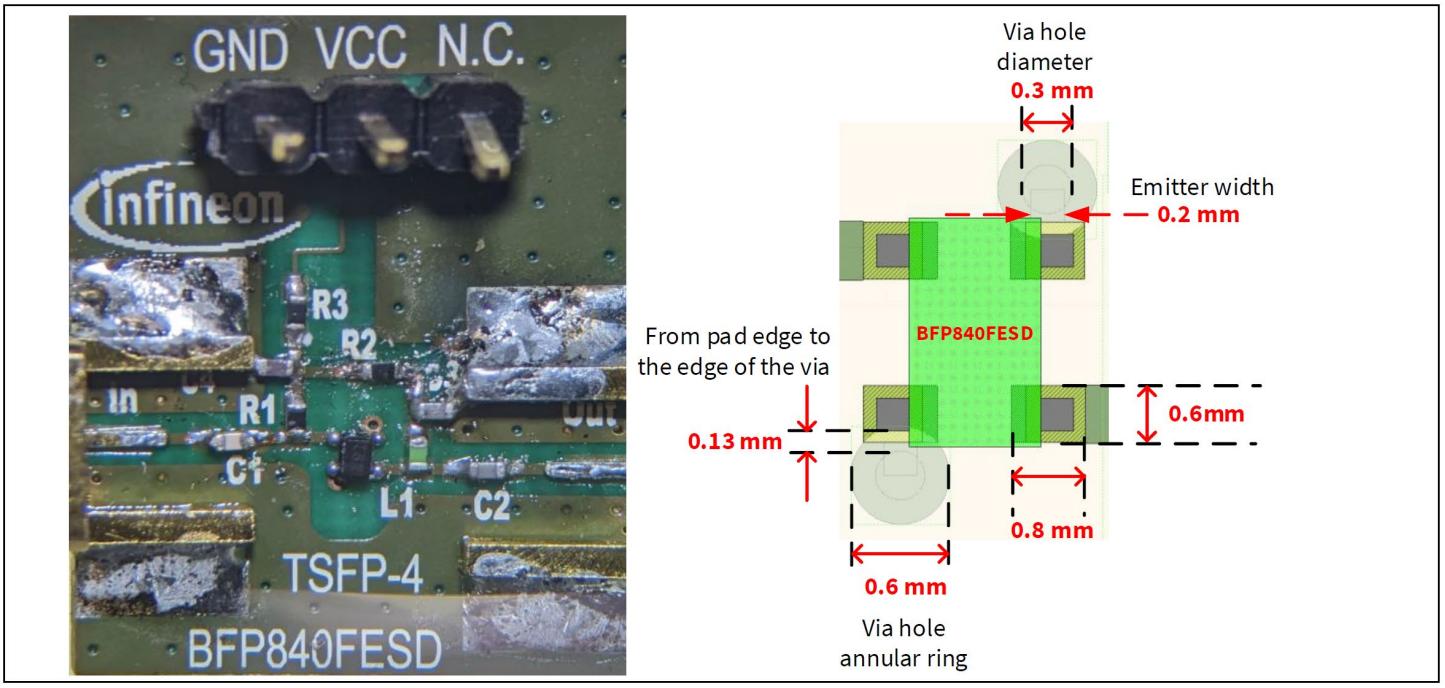


图 5　　标识为 M12051302 的评估板照片（左）和发射极负反馈细节图（右）

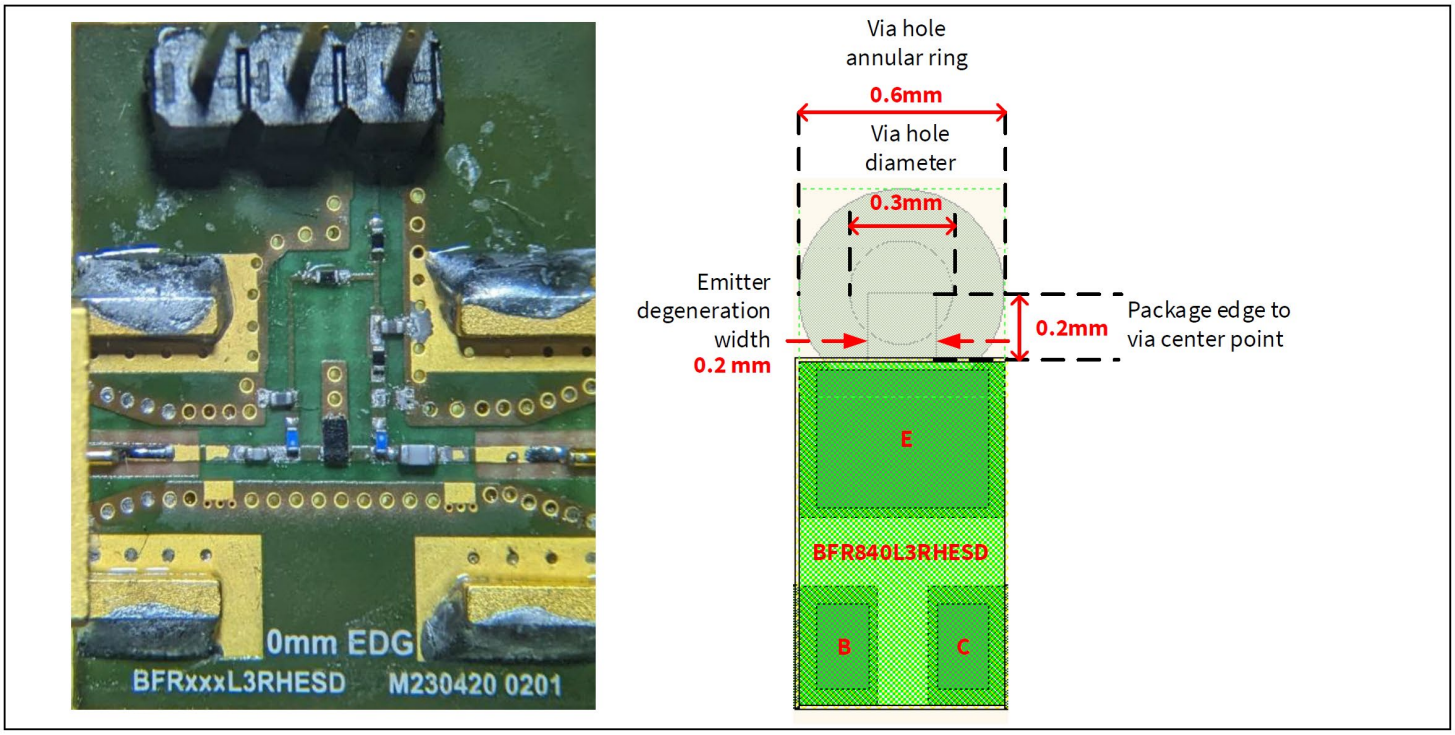


图 6　　标识为 M230420 的评估板照片（左）和发射极负反馈细节图（右）

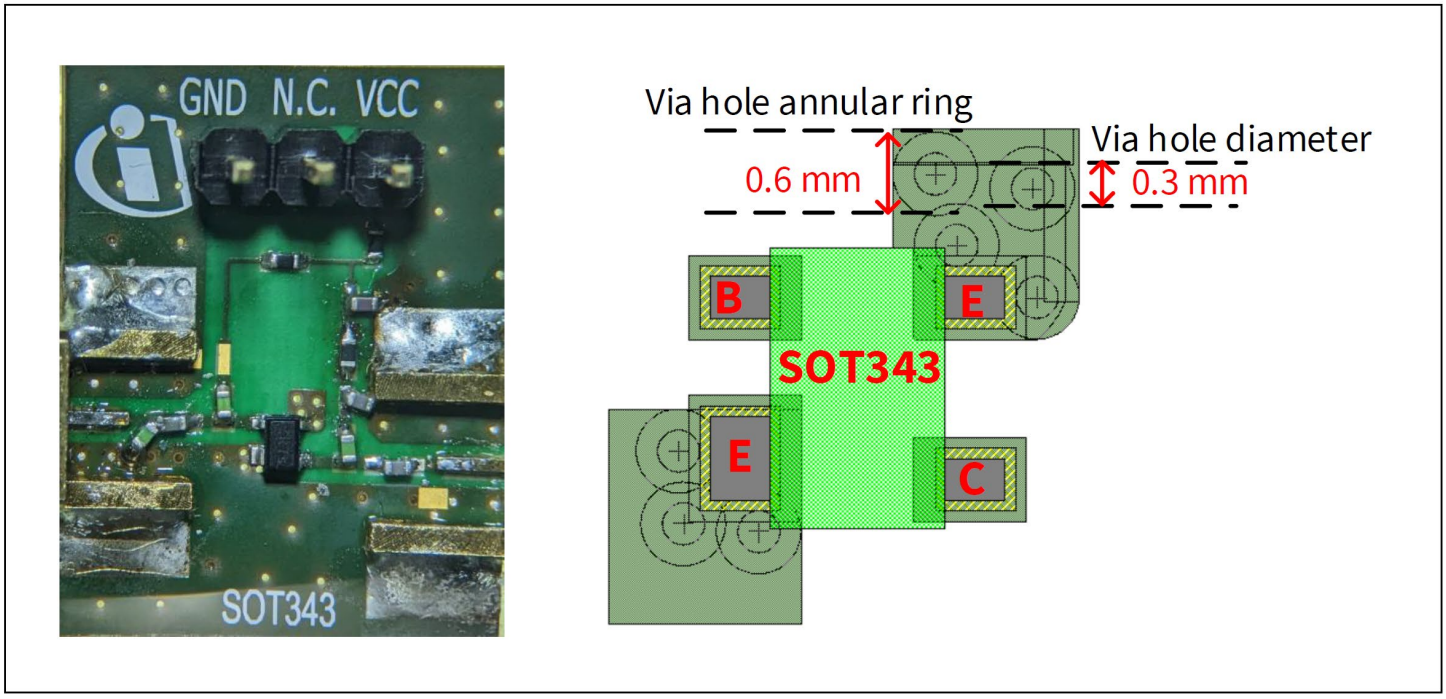


图 7　　标识为M18123109 的评估板照片（左）及发射极负反馈细节图（右）

2.5 6 至 7 GHz 频段 WLAN LNA 的测量结果

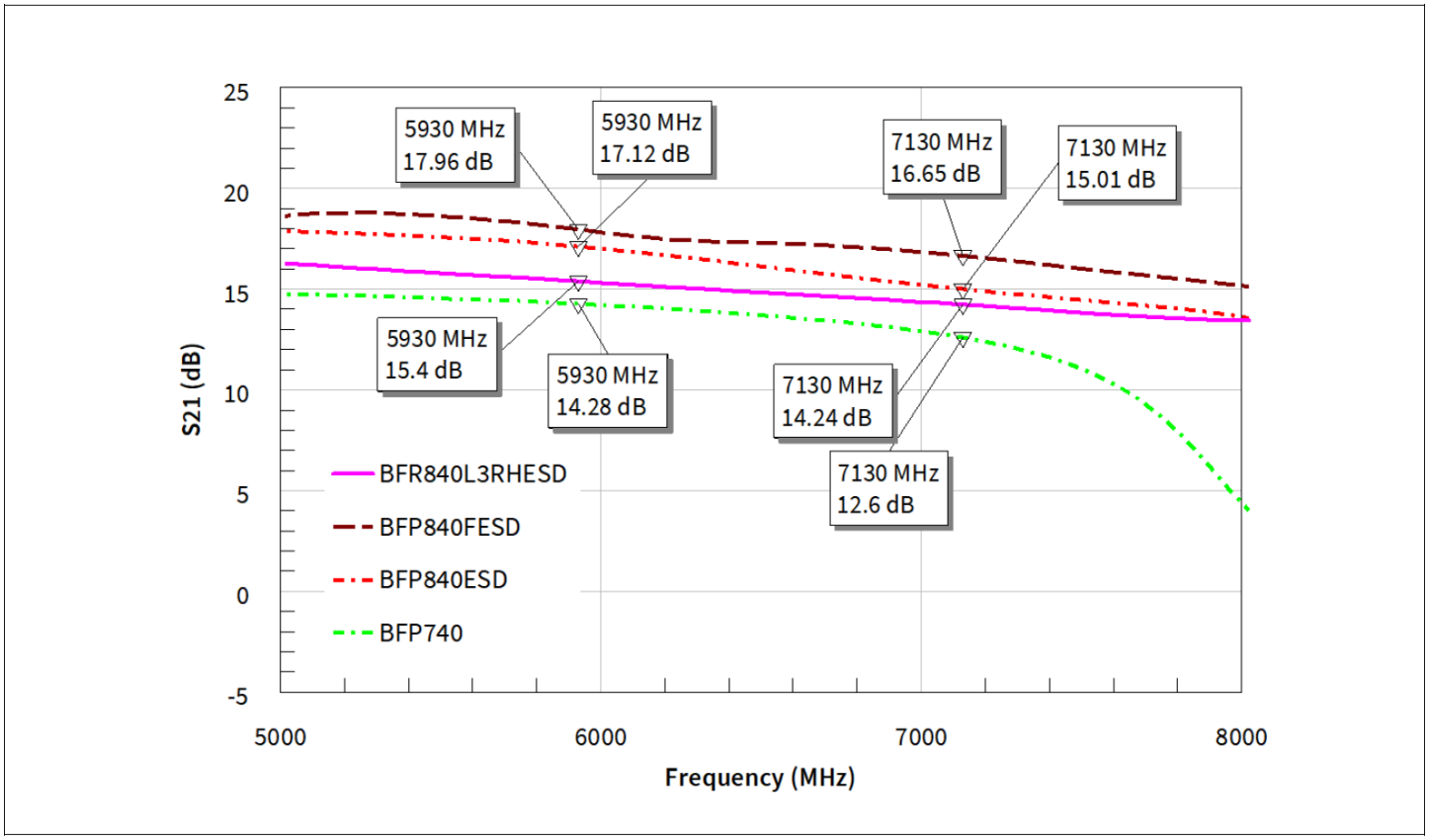


图 8 6至7 GHz 频段 WLAN LNA小信号增益

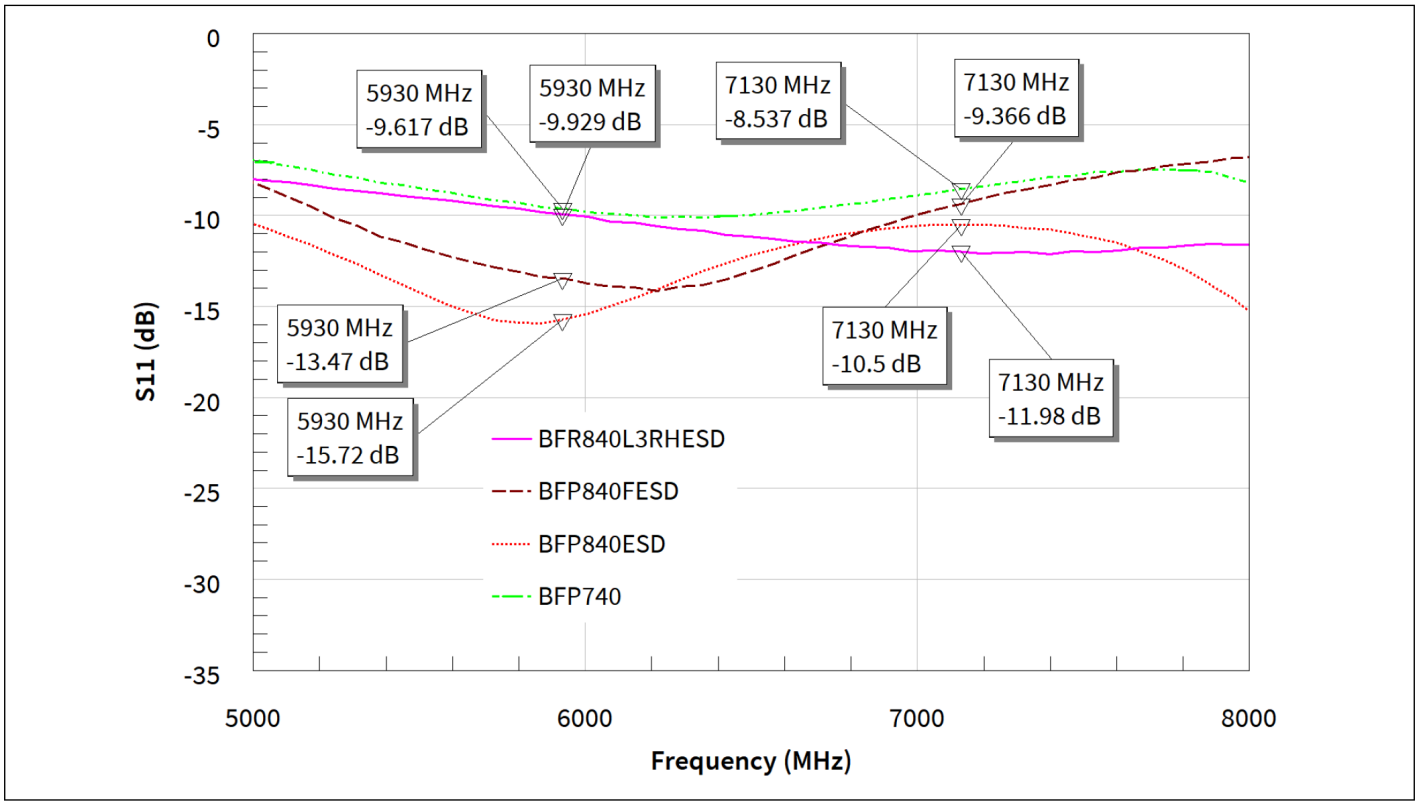


图 9 6至7 GHz 频段 WLAN LNA 输入回波损耗测量

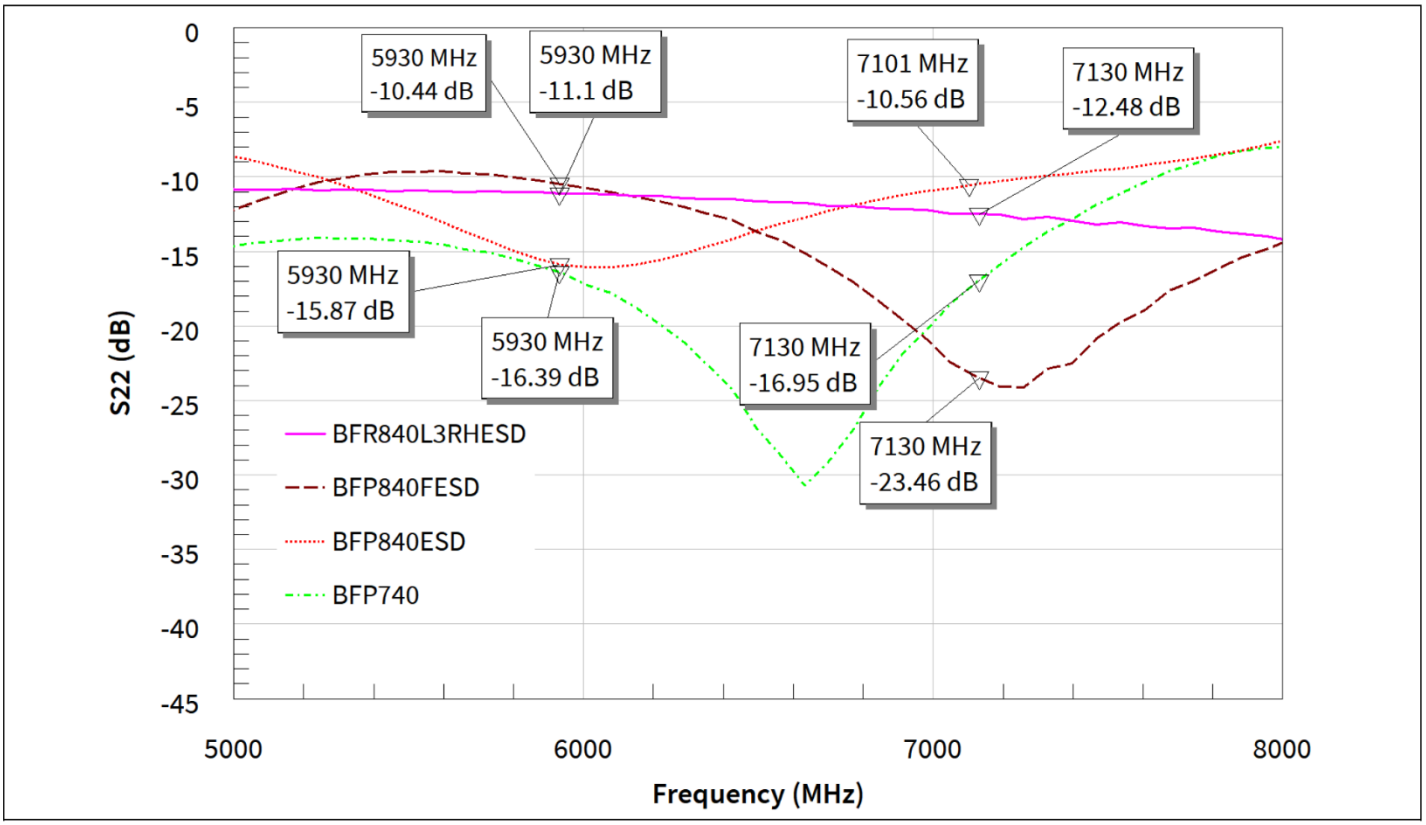


图 10　　6至7 GHz 频段 WLAN LNA 输出回波损耗测量

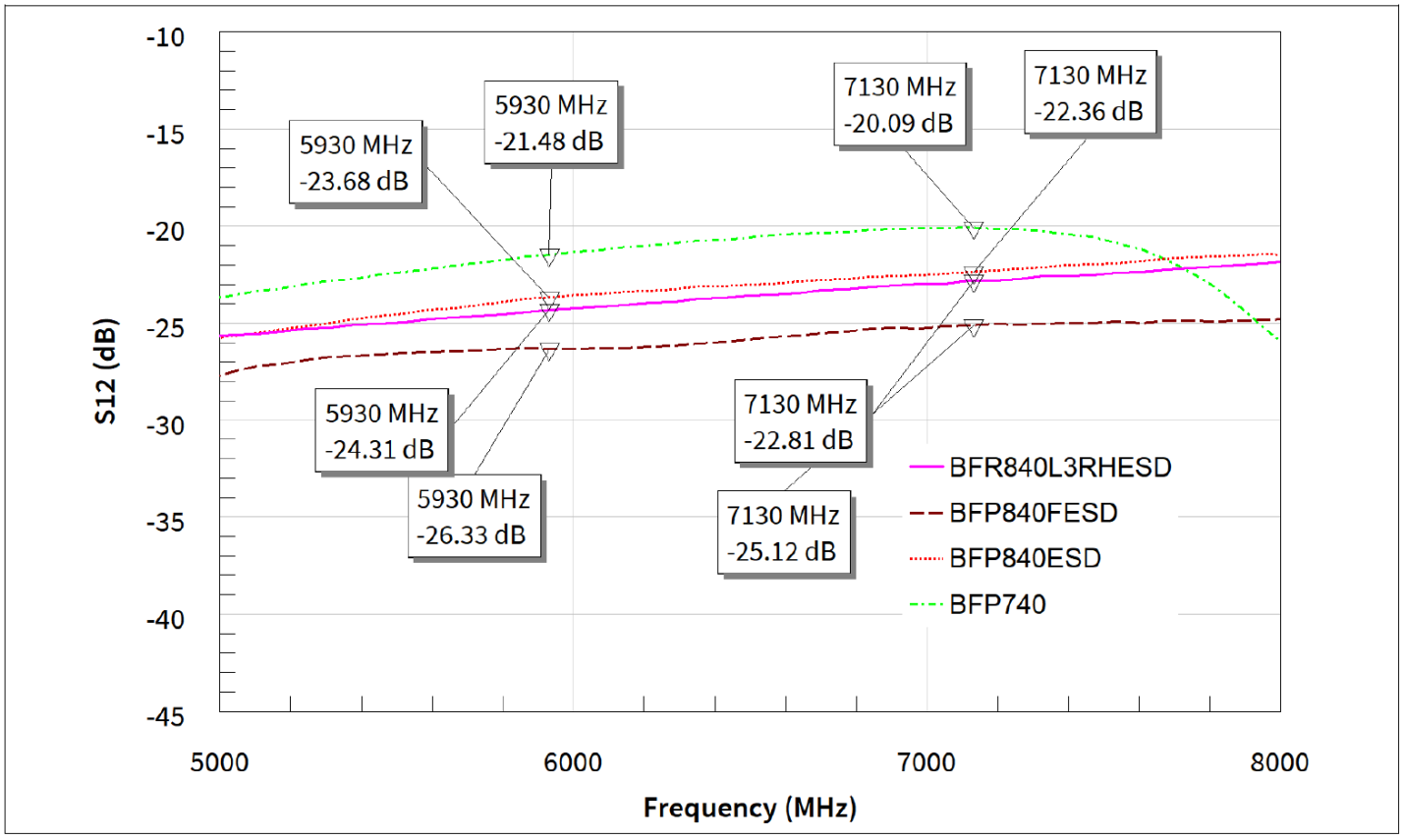


图 11　　6至7 GHz 频段 WLAN LNA 反向隔离测量

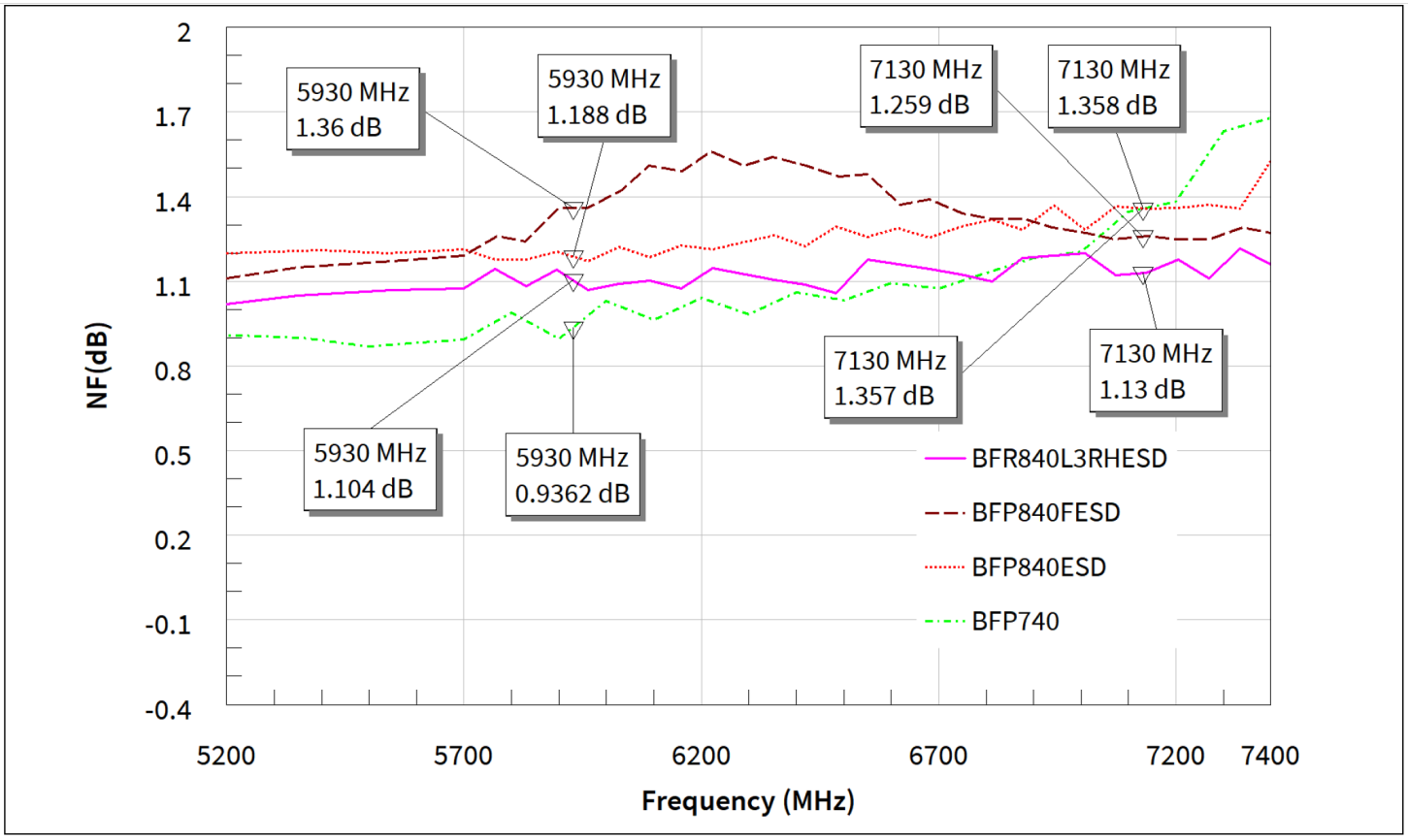


图 12　　6至7 GHz 频段 WLAN LNA 的 NF 测量

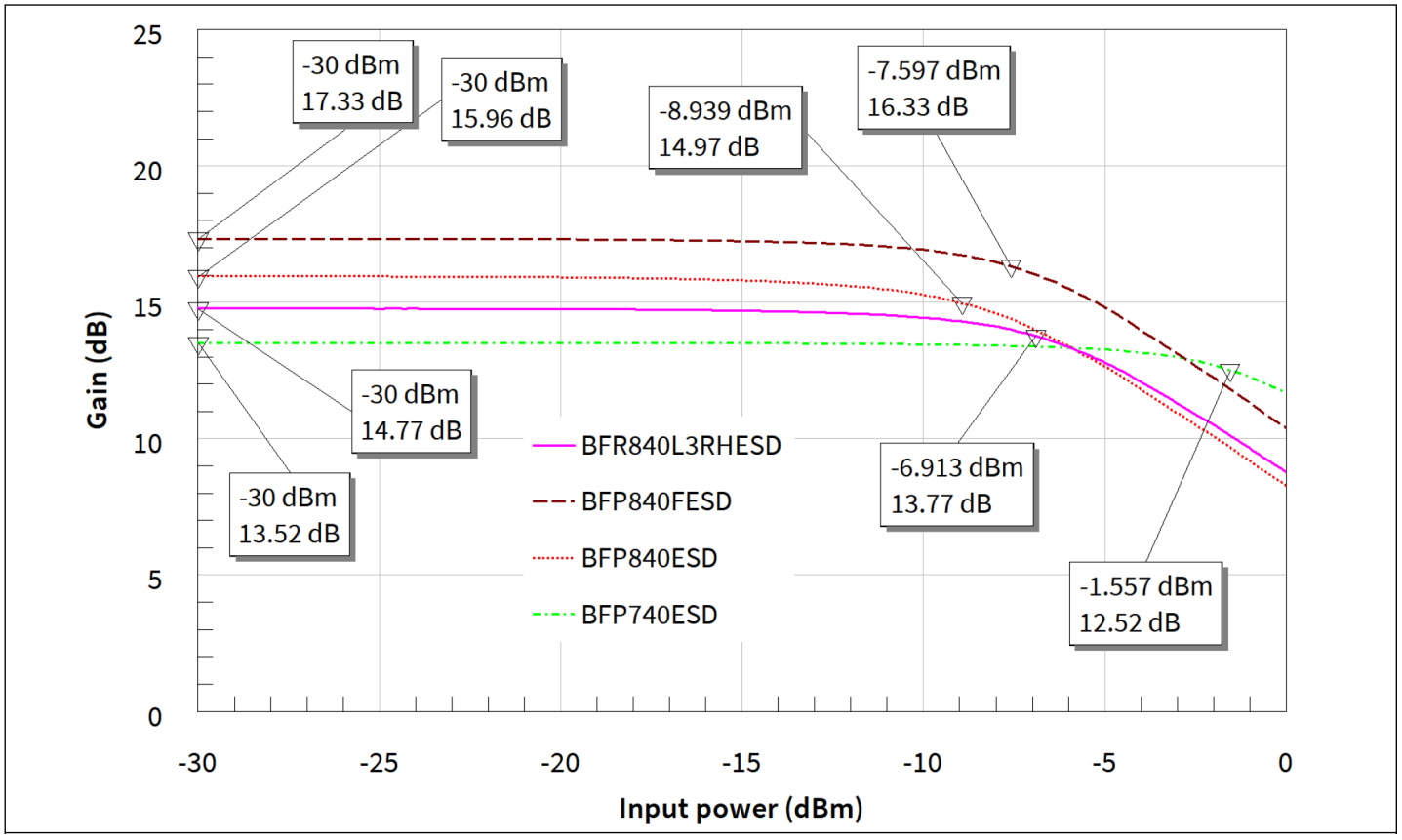


图 13　　6.6 GHz 频段的输入 1 dB 压缩点测量

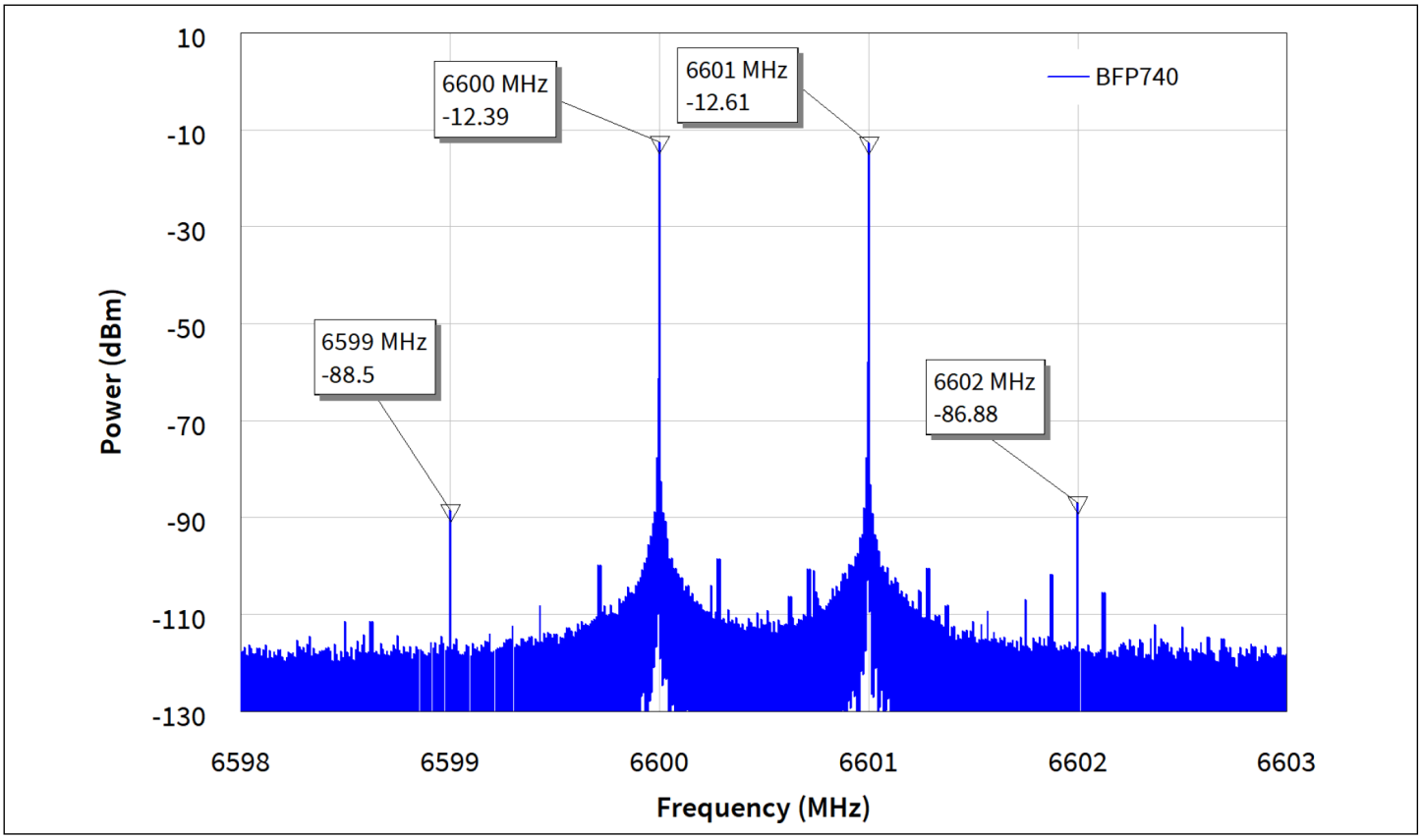


图 14　采用 BFP740 的 6 至 7 GHz 频段 WLAN LNA 输出 IMD₃ 测量

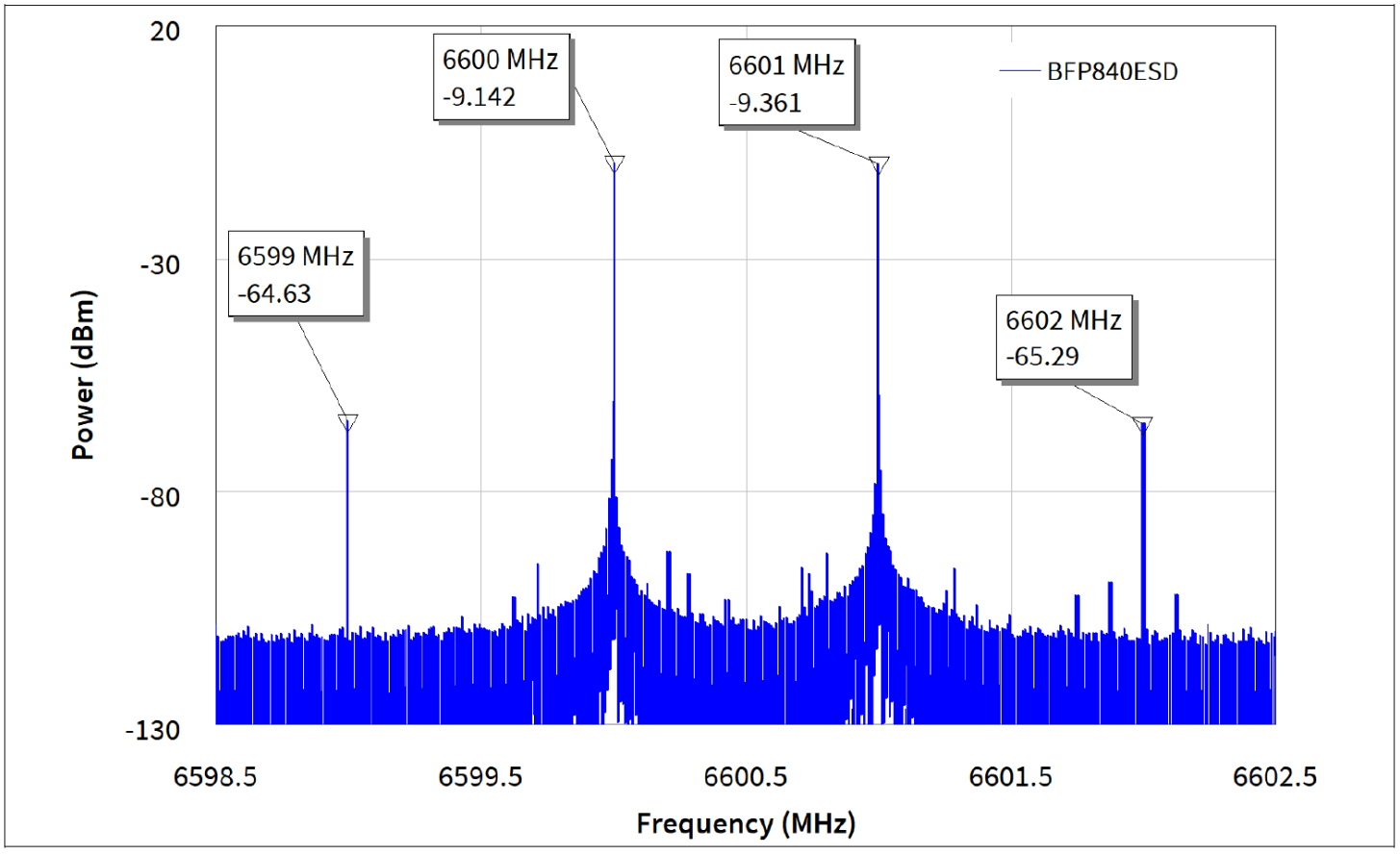


图 15　采用 BFP840ESD 的 6 至 7 GHz 频段 WLAN LNA 输出 IMD₃ 测量

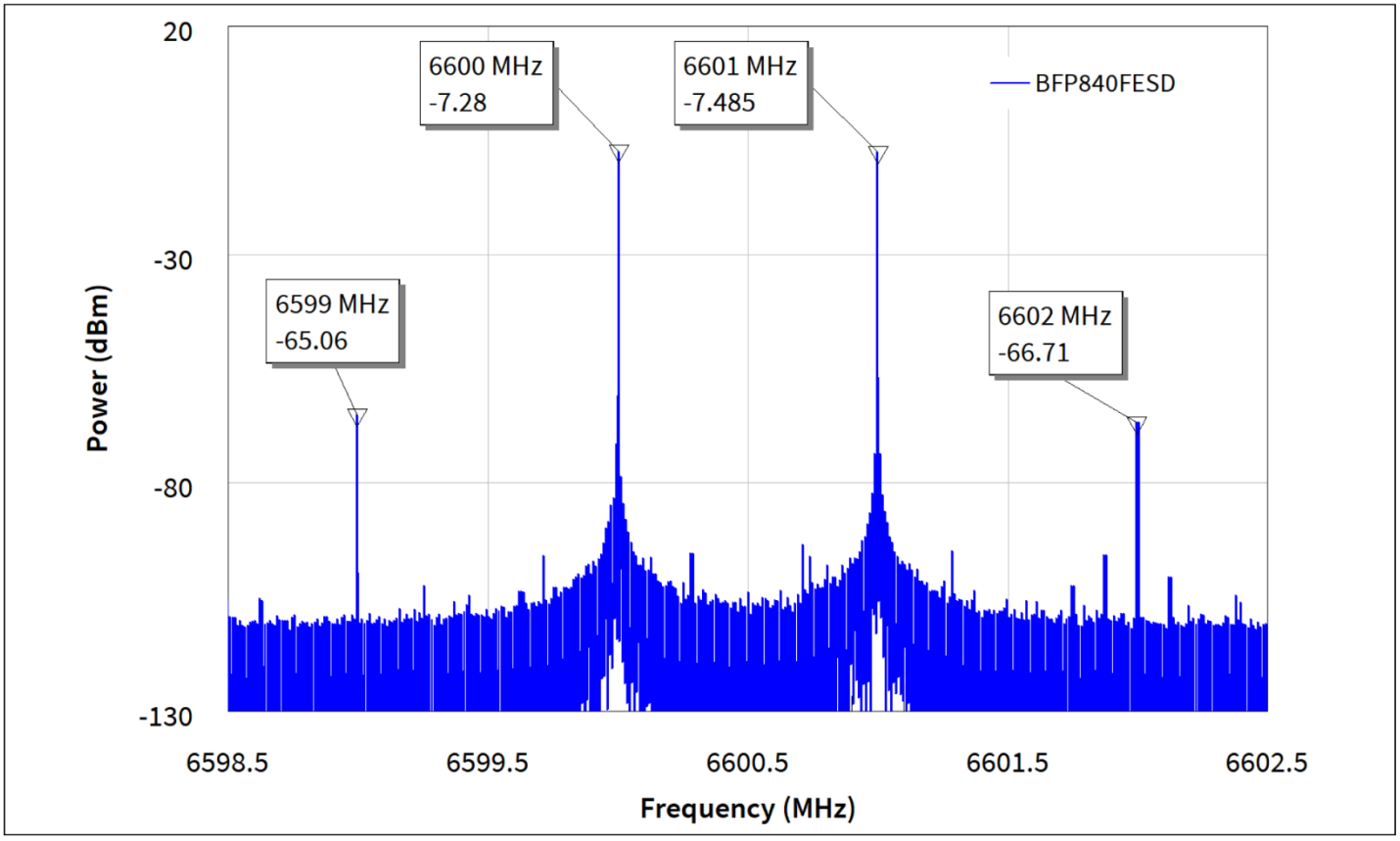


图 16　　采用BFP840FESD 的 6至7 GHz 频段 WLAN LNA 输出 IMD₃ 测量

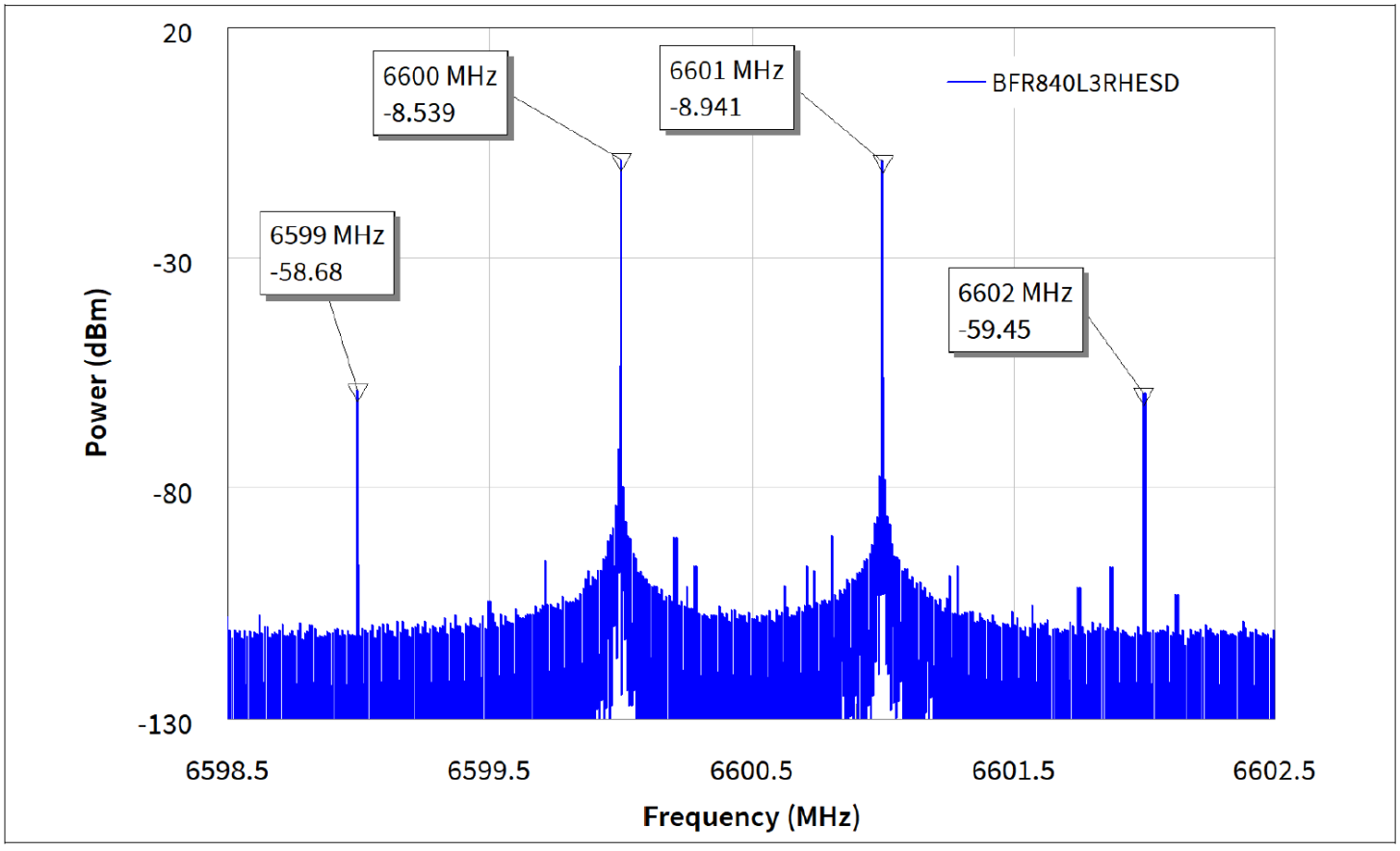


图 17　　采用 BFR840L3RHESD 的 6 至 7 GHz 频段 WLAN LNA 输出 IMD₃ 测量

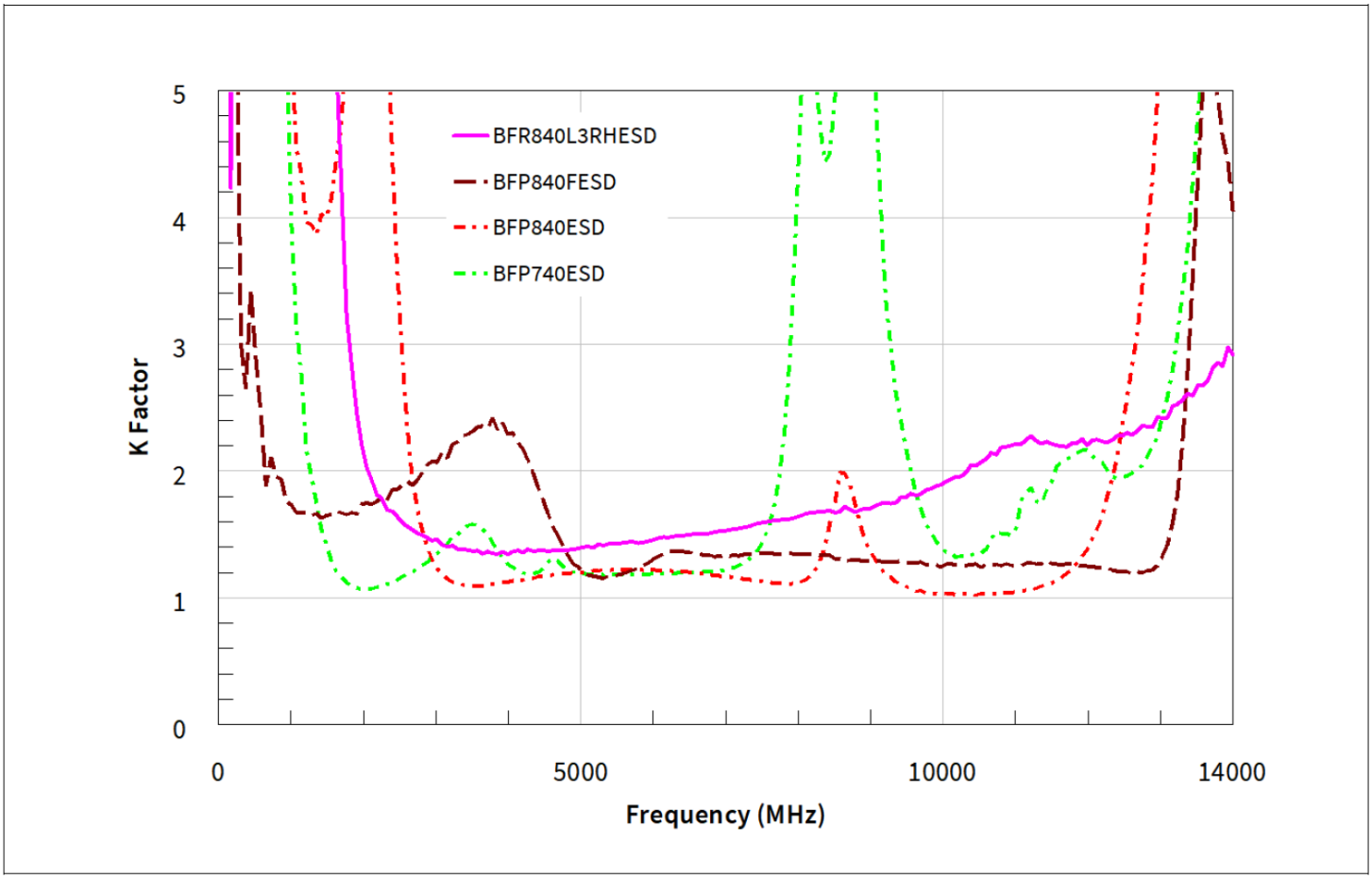


图 18　　6 至 7 GHz频段 WLAN LNA 的稳定性 K 因子曲线图

3 作者

Mohammad Talha，RF 与传感器业务部应用工程师

Atif Mehmood，RF 与传感器业务部应用工程师

修订记录

Document version	Date of release	Description of changes
V1.0	25.10.2022	Application note release
V1.1	13.12.2022	Graphs and evaluation board pictures updated

Trademarks
All referenced product or service names and trademarks are the property of their respective owners.

Edition 2022-12-13

Published by

Infineon Technologies AG

81726 Munich, Germany

© 2022 Infineon Technologies AG. All Rights Reserved.

Do you have a question about this document?

Email: erratum@infineon.com

Document reference
AN_2210_PL55_2211_114917

IMPORTANT NOTICE

The information contained in this application note is given as a hint for the implementation of the product only and shall in no event be regarded as a description or warranty of a certain functionality, condition or quality of the product. Before implementation of the product, the recipient of this application note must verify any function and other technical information given herein in the real application. Infineon Technologies hereby disclaims any and all warranties and liabilities of any kind (including without limitation warranties of non-infringement of intellectual property rights of any third party) with respect to any and all information given in this application note.

The data contained in this document is exclusively intended for technically trained staff. It is the responsibility of customer's technical departments to evaluate the suitability of the product for the intended application and the completeness of the product information given in this document with respect to such application.

For further information on the product, technology, delivery terms and conditions and prices please contact your nearest Infineon Technologies office (**www.infineon.com**).

WARNINGS

Due to technical requirements products may contain dangerous substances. For information on the types in question please contact your nearest Infineon Technologies office.

Except as otherwise explicitly approved by Infineon Technologies in a written document signed by authorized representatives of Infineon Technologies, Infineon Technologies' products may not be used in any applications where a failure of the product or any consequences of the use thereof can reasonably be expected to result in personal injury.

免责声明

请注意，本文件的原文使用英文撰写，为方便客户浏览英飞凌提供了中文译文。该中文译文仅供参考，并不可作为任何论点之依据。
由于翻译过程中可能使用了自动化程序，以及语言翻译和转换过程中的差异，最后的中文译文与最新的英文版本原文含义可能存在不尽相同之处。
因此，我们同时提供该中文译文版本的最新英文原文供您阅读，请参见 http://www.infineon.com
英文原文和中文译文版本之间若存有任何歧异，以最新的英文版本为准，并且仅认可英文版本为正式文件。
您如果使用本文件，即表示您同意并理解上述说明。英飞凌不对因翻译过程中可能存在的任何不完整或不准确信息而产生的任何直接或间接损失或损害负责。英飞凌不承担中文译文版本的完整性和准确性责任。如果您不同意上述说明，请不要使用本文件。

Trademarks
All referenced product or service names and trademarks are the property of their respective owners.

版本 **2026-08-21**

Infineon Technologies AG 出版，
德国 **Neubiberg 85579**

版权 © **2026 Infineon Technologies AG**
及其关联公司。
保留所有权利。

Do you have a question about this document?

Email:

erratum@infineon.com

重要通知

Infineon Technologies AG 及其关联公司（以下简称 "英飞凌"）销售或提供和交付的产品（可能也包括样品，且可能由硬件或软件或两者组成）（以下简称 "产品"），应遵守客户与英飞凌签订的框架供应合同或其他书面协议的条款和条件，如无上述合同或其他书面协议，则应遵守适用的英飞凌销售条件。只有在英飞凌明确书面同意的情况下，客户的一般条款和条件或对适用的英飞凌销售条件的偏离才对英飞凌具有约束力。

为避免疑义，英飞凌不承担不侵犯第三方权利的所有保证和默示保证，例如对特定用途/目的的适用性或适销性的保证。

英飞凌对与样品、应用或客户对任何产品的具体使用有关的任何信息或本文档中给出的任何示例或典型值概不负责。

本文件中包含的数据仅供具有技术资格和技能的客户代表使用。客户有责任评估产品对预期应用和客户特定用途的适用性，并在预期应用和客户特定用途中验证本文件中包含的所有相关技术数据。客户有责任正确设计、编程和测试预期应用的功能性和安全性，并遵守与其使用相关的法律要求。

除非英飞凌另行明确批准，否则产品不得用于任何因产品故障或使用产品的任何后果可合理预期会导致人身伤害的应用。但是，上述规定并不妨碍客户在英飞凌明确设计和销售的使用领域中使用任何产品，但是客户对应用负有全部责任。

英飞凌明确保留根据适用法律，如《德国版权法》（UrhG）第 44b 条，将其内容用于商业资料和数据探勘（TDM）的权利。

如果产品包含安全功能：
由于任何计算设备都不可能绝对安全，尽管产品采取了安全措施，但英飞凌不保证产品不会被入侵、数据不会被盗或遗失，或不会发生其他漏洞（以下简称"安全漏洞"），英飞凌对任何安全漏洞不承担任何责任。

如果本文档包含或引用软件：
根据美国、德国和世界其他国家的知识产权法律和条约，该软件归英飞凌所有。英飞凌保留所有权利。因此，您只能按照软件附带的软件授权协议的规定使用本软件。

如果没有适用的软件授权协议，英飞凌特此授予您个人的、非排他性的、不可转让的软件知识产权授权（无权转授权）：(a) 对于以源代码形式提供的软件，仅在贵组织内部修改和复制该软件用于英飞凌硬件产品；及 (b) 对于以二进制代码(binary code)形式对外向终端用户分发该软件，仅得用于英飞凌硬件产品。禁止对本软件进行任何其他使用、复制、修改、翻译或编译。有关产品、技术、交货条款和条件以及价格的详细信息，请联系离您最近的英飞凌办公室或访问 **https://www.infineon.com**。