

# 是德科技

## 使用 Keysight B2900A 系列 SMU 执行快速 $f_T$ - $I_C$ 测量

### 技术概述

#### Keysight B2901/02/11/12A 精密型电源/测量单元

Keysight B2901A 精密型 SMU, 1 通道, 100 fA 分辨率, 210V, 3A 直流/10.5A 脉冲

Keysight B2902A 精密型 SMU, 2 通道, 100 fA 分辨率, 210V, 3A 直流/10.5A 脉冲

Keysight B2911A 精密型 SMU, 1 通道, 10 fA 分辨率, 210V, 3A 直流/10.5A 脉冲

Keysight B2912A 精密型 SMU, 2 通道, 10 fA 分辨率, 210V, 3A 直流/10.5A 脉冲

# 引言

截止频率( $f_T$ )是一个获知双极晶体管工作频率范围的重要参数。要想测量 $f_T$ ，必须使用直流偏置将晶体管置于正确的工作点，同时使用网络分析仪测量其频率特性。

Keysight B2901/02/11/12A 精密电源/测量单元作为结构紧凑、经济高效的台式电源/测量单元(SMU)，能够以非常合理的价格提供精密电源和测量功能。此外，B2900A系列SMU支持增强型触发功能，能够使偏置扫描步骤与网络分析仪的频率扫描保持同步。这些功能使您能够非常快速、高效地进行测量和参数绘制，例如 $f_T-I_C$ 。

基于以上原因，B2900A系列SMU是与网络分析仪结合使用的理想偏置源，以便对晶体管直流和射频特征进行测量。该技术概述详述了B2900A系列SMU的关键特性，并展示该系列如何帮助确定双极晶体管的 $f_T-I_C$ 特征。

## 系统配置

图1显示使用B2902A或B2912A双通道SMU与网络分析仪(例如Keysight ENA或PNA系列)执行 $f_T-I_C$ 测量的系统配置。通过偏置T型接头(内置于网络分析仪或外部)将双极晶体管连接到网络分析仪的射频端口和B2900A系列SMU的直流输出端子。

B2900A系列SMU的直流偏置电压或电流通过偏置T型接头施加于被测器件。

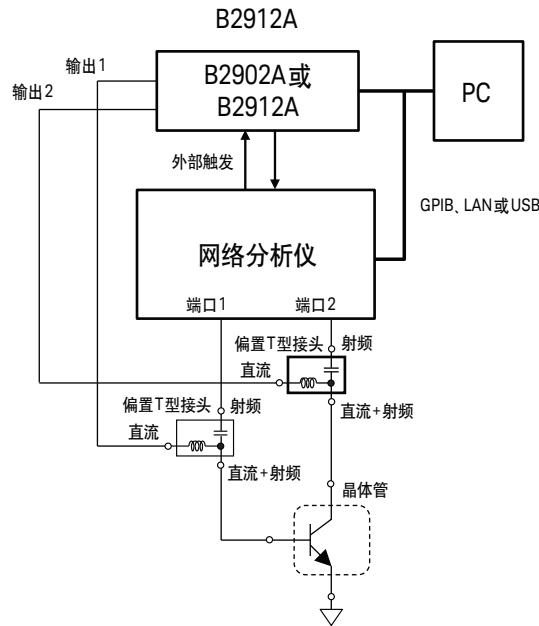


图1. 使用 Keysight B2900A 系列 SMU 对快速  $f_T-I_C$  测量系统进行系统配置

PC 可以使用 GPIB、局域网 (LAN) 或 USB 通信协议控制 B2900A 系列 SMU 和网络分析仪。此外, B2900A 系列 SMU 和网络分析仪的外部触发输入和输出相互连接, 触发信号用于改进整体系统性能。

## B2900A 系列 SMU 是什么?

SMU 综合了电流源、电压源、电流表、电压表的功能, 并能够轻松地在这些不同功能之间进行切换。这使它能够独立测量器件在所有四个测量象限中的 IV 特性, 不需要使用任何其他设备。

B2900A 系列包括单通道和双通道 SMU 型号, 针对各种双端子或三端子器件提供了广泛的 IV 测量能力。它们覆盖了 10 fA 到 3 A (直流)/10.5 A (脉冲) 的电流范围和 100 nV 到 210V 的电压范围。除了直流工作模式之外, B2900A 系列 SMU 还能够进行脉冲测量, 以防止器件自身发热导致测量结果出现误差。

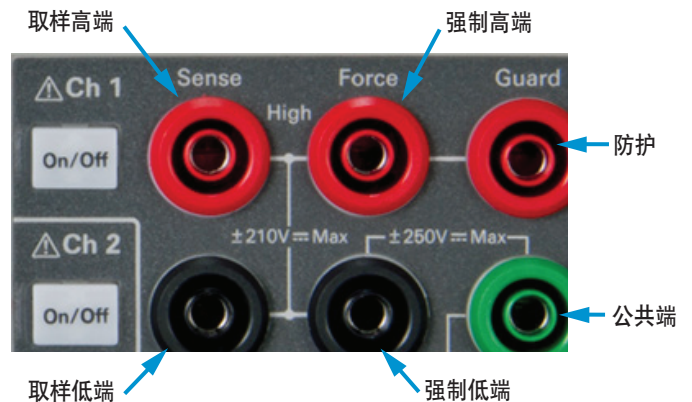
图 2 是 B2900A 系列 SMU 概述。B2900A 系列 SMU 支持 2 线和 4 线测量。4 线测量使用一对引线驱动电流, 用另一对引线监测 (传感) 电压。这消除了剩余电缆电阻导致的电压测量误差。B2900A 系列 SMU 还支持远程传感功能, 可使该电压与编程电压一样施加于感应点。

是德科技提供支持 4 线测量的 11612V Kelvin 偏置 T 型接头网络。使用 B2900A 系列 SMU 和 11612V Kelvin 偏置 T 型接头网络执行 4 线测量, 消除了剩余偏置 T 型接头电阻导致的电压误差。

通过本次讨论, 可知 B2900A 系列 SMU 可用于执行 IV 测量并作为精密偏置信号源与网络分析仪连用。更方便的是, B2900A 系列 SMU 还支持触发功能, 使其能够轻松地与其他测量设备 (例如, 网络分析仪) 保持同步。



a) 前视图 (适用于 B2902A 和 B2912A, 通道 2 位于后面板)



a) 前视图 (适用于 B2902A 和 B2912A, 通道 2 位于后面板)

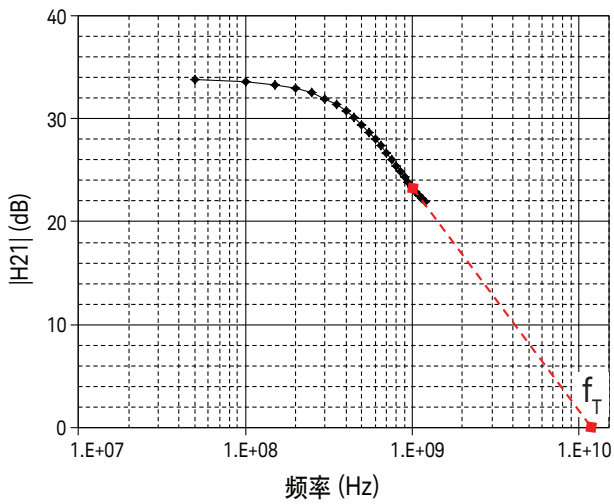
## 测量 $f_T$ - $I_c$ 特征

您可以通过  $H_{21}$  参数计算截止频率 ( $f_T$ )，并通过测得的 S 参数计算 H 参数。图 3a 显示了使用 H 参数提取  $f_T$  的实例。

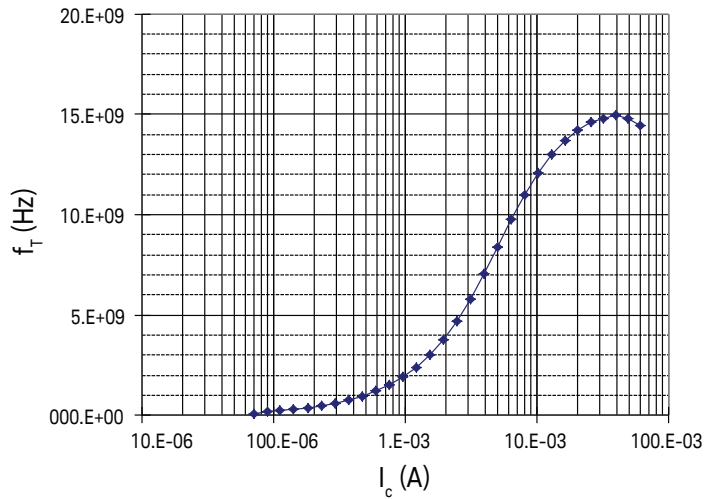
在 1 GHz 时，计算  $H_{21}$  的绝对值，且在这个点上划出一条 -6 dB/倍频程的线。 $f_T$  定义为 X 轴上该线的拦截。

为了找出最大的截止频率  $f_{T,max}$ ，扫描基极电流 ( $I_b$ )，同时测量集电极电流 ( $I_c$ )。在扫描  $I_b$  的过程中，测量 S 参数并用于计算截止频率  $f_T$ 。

图 3b 显示测得的  $f_T$ - $I_c$  曲线的实例。您可以通过这条曲线确定最大截止频率  $f_{T,max}$ 。在本例中，集电极电流约为 40 mA 时， $f_{T,max}$  是 14.9 GHz。



a) 从  $H_{21}$  参数中提取  $f_T$



b) 测得的  $f_T$ - $I_c$  特征

图 3.  $f_T$ - $I_c$  测量实例

## 握手 B2900A 系列 SMU 和网络分析仪

B2900A 系列 SMU 具有全面的触发功能，能够与其他仪器同步执行复杂的测量序列。例如，可以使用外部触发信号启动扫描中的每个测量步骤。相反，可以使用单个触发信号开始整个扫描测量。

此外，B2900A 系列 SMU 可以在各个测量事件的开头和结尾输出触发信号，例如信号跳变和数据采集。

图 4 显示 B2900A 系列 SMU 与网络分析仪之间执行  $f_T$ - $I_C$  测量的一些握手信号实例。提高偏置之后，B2900A 系列 SMU 向网络分析仪发送一个触发信号，告知已准备好进行频率扫描。接收到触发信号之后，网络分析仪启动频率扫描，测量 S 参数。

网络分析仪完成数据传输后，将向 B2900A 系列 SMU 发送一个触发信号并测量集电极电流。这一过程一直持续，直到完成最后的电压步骤。

如果使用一个支持的通信协议通过程序控制 B2900A 系列 SMU 和网络分析仪，使用该触发控制握手方案， $f_T$ - $I_C$  测量速度将会比之前快得多。

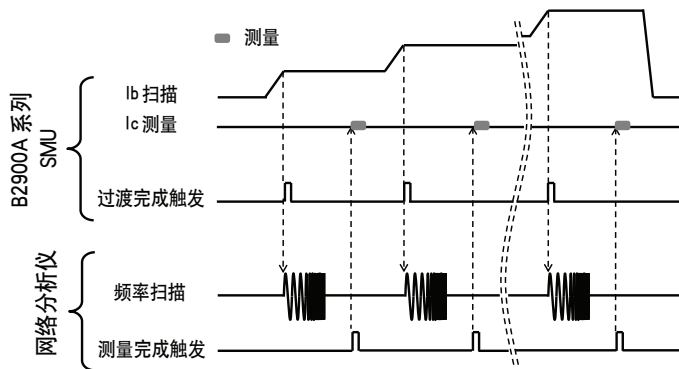


图 4. 执行快速  $f_T$ - $I_C$  测量的 B2900A 系列 SMU 和网络分析仪触发图例

## 总结

Keysight B2901/02/11/12A 精密型电源/测量单元是低成本电源/测量单元 (SMU)，通过连用网络分析仪可以为双极晶体管提供直流电压和电流。

B2900A 系列 SMU 涵盖广泛的电流和电压范围 (100 fA/100 nV 到 1 0.5 A/210 V)。它拥有 4 线远程传感测量功能，通过消除剩余电阻的影响，允许您使用偏置 T 型接头精确地测量双极晶体管的 IV 特性。

然而，通过握手触发信号 (而不是使用命令发送通信协议)，其全面的触发功能可使 B2900A 系列 SMU 和网络分析仪保持同步，以支持快速  $f_T$ - $I_C$  测量。

基于以上原因，B2900A 系列 SMU 是最经济高效的解决方案，可以搭配网络分析仪 (例如 Keysight ENA 或 PNA 系列) 使用，进行双极晶体管测量。

### Keysight B2961A/B2962A 6.5 位低噪声电源

如需更多电源功能，是德科技电源是您的最佳选择。了解我们的 B2900A 系列如何满足您的严苛需求。



[www.keysight.com/find/b2900a](http://www.keysight.com/find/b2900a)

myKeysight

myKeysight  
[www.keysight.com/find/mykeysight](http://www.keysight.com/find/mykeysight)  
个性化视图为您提供最适合自己的信息!



[www.axiestandard.org](http://www.axiestandard.org)  
AdvancedTCA® Extensions for Instrumentation and Test (AXIe) 是基于 AdvancedTCA 标准的一种开放标准, 将 AdvancedTCA 标准扩展到通用测试半导体测试领域。是德科技是 AXIe 联盟的创始成员。



[www.lxistandard.org](http://www.lxistandard.org)  
局域网扩展仪器 (LXI) 将以太网和 Web 网络的强大优势引入测试系统中。是德科技是 LXI 联盟的创始成员。



[www.pxisa.org](http://www.pxisa.org)  
PCI 扩展仪器 (PXI) 模块化仪器提供坚固耐用、基于 PC 的高性能测量与自动化系统。



3年保修  
[www.keysight.com/find/ThreeYearWarranty](http://www.keysight.com/find/ThreeYearWarranty)  
是德科技卓越的产品可靠性和广泛的3年保修服务完美结合, 从另一途径帮助您实现业务目标: 增强测量信心、降低拥有成本、增强操作方便性。



是德科技保证方案  
[www.keysight.com/find/AssurancePlans](http://www.keysight.com/find/AssurancePlans)  
5年的周密保护以及持续的巨大预算投入, 可确保您的仪器符合规范要求, 精确的测量让您可以继续高枕无忧。



[www.keysight.com/go/quality](http://www.keysight.com/go/quality)  
Keysight Technologies, Inc.  
DEKRA Certified ISO 9001:2008  
Quality Management System

是德科技渠道合作伙伴  
[www.keysight.com/find/channelpartners](http://www.keysight.com/find/channelpartners)  
黄金搭档: 是德科技的专业测量技术和丰富产品与渠道合作伙伴的便捷供货渠道完美结合。

[www.keysight.com/find/precisionSMU](http://www.keysight.com/find/precisionSMU)

如欲获得是德科技的产品、应用和服务信息, 请与是德科技联系。如欲获得完整的产品列表, 请访问: [www.keysight.com/find/contactus](http://www.keysight.com/find/contactus)

**是德科技客户服务热线**

热线电话: 800-810-0189、400-810-0189  
热线传真: 800-820-2816、400-820-3863  
电子邮件: [tm\\_asia@keysight.com](mailto:tm_asia@keysight.com)

**是德科技(中国)有限公司**

北京市朝阳区望京北路3号是德科技大厦  
电话: 86 010 64396888  
传真: 86 010 64390156  
邮编: 100102

**是德科技(成都)有限公司**

成都市高新区南部园区天府四街116号  
电话: 86 28 83108888  
传真: 86 28 85330931  
邮编: 610041

**是德科技香港有限公司**

香港北角电器道169号康宏汇25楼  
电话: 852 31977777  
传真: 852 25069233

**上海分公司**

上海市虹口区四川北路1350号  
利通广场19楼  
电话: 86 21 26102888  
传真: 86 21 26102688  
邮编: 200080

**深圳分公司**

深圳市福田区福华一路6号  
免税商务大厦裙楼东3层3B-8单元  
电话: 86 755 83079588  
传真: 86 755 82763181  
邮编: 518048

**广州分公司**

广州市天河区黄埔大道西76号  
富力盈隆广场1307室  
电话: 86 20 38390680  
传真: 86 20 38390712  
邮编: 510623

**西安办事处**

西安市碑林区南关正街88号  
长安国际大厦D座501  
电话: 86 29 88861357  
传真: 86 29 88861355  
邮编: 710068

**南京办事处**

南京市鼓楼区汉中路2号  
金陵饭店亚太商务楼8层  
电话: 86 25 66102588  
传真: 86 25 66102641  
邮编: 210005

**苏州办事处**

苏州市工业园区苏华路一号  
世纪金融大厦1611室  
电话: 86 512 62532023  
传真: 86 512 62887307  
邮编: 215021

**武汉办事处**

武汉市武昌区中南路99号  
武汉保利广场18楼A座  
电话: 86 27 87119188  
传真: 86 27 87119177  
邮编: 430071

**上海MSD办事处**

上海市虹口区欧阳路196号  
26号楼一楼J+H单元  
电话: 86 21 26102888  
传真: 86 21 26102688  
邮编: 200083