

引用本文: 陈碧超, 赵恒. 一种用于硅基高速调制器测试的有源 Bias-T 电路[J]. 光通信技术, 2023, 47(6): 38–41.

一种用于硅基高速调制器测试的有源 Bias-T 电路

陈碧超, 赵 恒

(联合微电子中心有限责任公司, 重庆 400000)

摘要: 为了解决传统 T 型偏置器(Bias-T)在硅基高速调制器测试过程中, 因直流(DC)源导通/截止或者链路产生热插拔时容易导致高速信号源出现不可逆的损坏问题, 首先分析了问题产生的原因和常规解决方法的优缺点, 然后设计了一种用于硅基高速调制器测试的有源 Bias-T 电路。该电路在传统 Bias-T 基础上利用微波放大器芯片中晶体管的特性来隔离直流源在馈电导通/截止或者热插拔时产生的冲击电压。最后, 对有源 Bias-T 电路进行了仿真设计和测试。测试结果表明: 该电路带宽大于 25 GHz, 脉冲电压为 ± 0.055 V 左右, 消除了信号源设备损坏的风险。

关键词: 硅基高速调制器; 热插拔; 有源 T 型偏置器; 信号抑制

中图分类号: TN256 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-5561(2023)06-0038-04

DOI: 10.13921/j.cnki.issn1002-5561.2023.06.008

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Active Bias-T circuit for testing silicon-based high-speed modulator

CHEN Bichao, ZHAO Heng

(United Microelectronics Center Co., Ltd., Chongqing 400000, China)

Abstract: In order to solve the problem of irreversible damage to the high-speed signal source caused by the conduction/cutoff of the direct current (DC) source or hot swapping of the link during the testing process of traditional T-type biases (Bias-T) in silicon-based high-speed modulators. Firstly, the causes of the problem and the advantages and disadvantages of conventional solutions are analyzed, and then an active Bias-T circuit for silicon based high speed modulator testing is designed. This circuit utilizes the characteristics of transistors in microwave amplifier chips on the basis of traditional Bias-T to isolate the impulse voltage generated by the DC source during feed on/off or hot swapping. Finally, simulation design and testing are conducted on the active Bias-T circuit. The test results show that the bandwidth of the circuit is greater than 25 GHz and the pulse voltage is about ± 0.055 V, which eliminates the risk of damage to the signal source equipment.

Key words: silicon-based high-speed modulator, hot swap, active Bias-T, signal suppression

0 引言

随着摩尔定律发展速度逐渐变缓, 硅基光电子技术成为延续摩尔定律的主要发展方向之一。硅基光电子芯片的制造、封装和测试越来越受到关注, 芯片的性能与这 3 个环节密切相关。其中, 芯片测试发挥了关键的承上启下作用, 为芯片制造和封装提供了方向。

收稿日期: 2023-03-28。

作者简介: 陈碧超(1990—), 男, 重庆酉阳人, 硕士, 中级工程师, 现工作于联合微电子中心有限责任公司硅基光电子中心, 主要研究方向是硅基光电子芯片的器件设计、高速封装、高速测试以及各种先进封装技术。



传统的硅基高速调制器测试链路包括一个调制器和一个高速信号源, 它们之间需要连接一个 T 型偏置器(Bias-T), 以整合射频(RF)信号和直流(DC)偏置信号。在 Bias-T 中, 电感的主要作用是阻止 RF 信号对 DC 电源的干扰, 而电容的主要作用是阻止 DC 信号对高速信号源的干扰。然而, 在实际应用中, 当 DC 源输出处于导通/截止状态或测试链路进行热插拔操作时, 一般会有一个 2 V 左右的脉冲信号通过隔直电容输入到高速信号源(码型发生器、任意波形发生器等)输出端口, 从而可能导致设备的损坏。

为了降低信号源设备损坏的风险, 本文设计一种有源 Bias-T 电路, 在传统 Bias-T 基础上引入晶体管, 利用微波放大器芯片中的晶体管的特性来隔离 DC 源

在馈电导通 / 截止或者热插拔时产生的冲击电压,保护测试设备免受损坏。

1 信号源损坏风险性分析

1.1 电源启动与断开现象

在硅基高速调制器实际测试链路中,本文使用内阻为 $50\ \Omega$ 的实时示波器来观测高速信号源的输出。观测结果表明:该电压信号已经接近于信号源输出端口的安全阈值;当信号源自身的输出信号遇到不连续阻抗时会反射回信号源,同时叠加前面由 DC 源传输过来的脉冲电压信号,叠加后的所有信号都超过了信号源安全阈值,这种情况让信号源面临极大的损坏风险。

1.2 热插拔现象

硅基高速调制器眼图测试链路如图 1 所示。当电路正常闭合时,DC 电流流经待测件(DUT);当 DUT 或 DC 源产生热插拔现象后,会引起瞬间电流流向信号源。假定 Bias-T 内的电感为 L ,在正常工作状态下,当 DC 电流路径中的电流为 I 时,电感存储的能量为

$$W=1/2 LI^2 \quad (1)$$

此时,如果出现热插拔现象,就会打破电感中的磁场平衡。根据电磁感应原理,电感开始放电,进而产生一个瞬时电压 $U_L(t)$, t 表示 DC 源开启或断开的上升沿时间。 $U_L(t)$ 的表达式为

$$U_L(t)=-L\frac{dI}{dt} \quad (2)$$

该瞬时电压对电容再次进行充放电,使电容被导通,该电压信号加载到信号源输出端口。此时,电压信号可表示为

$$U_{R2}=R_2I(t)=U_{Te}^{-\frac{t}{R_2c}} \quad (3)$$

其中, R_2 为高速信号源内阻, c 为 Bias-T 的电容。

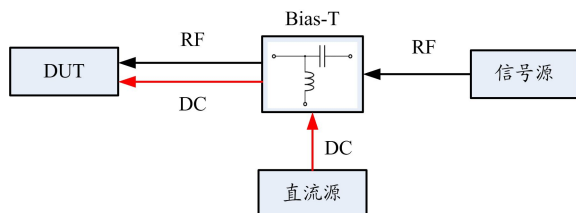


图1 硅基高速调制器眼图测试链路

在实际测试过程中,经热插拔后,在高速信号源输出端口测到一个大于 1.5 V 的电压脉冲信号(如图2所示),该信号超过了高速信号源的阈值,信号源存在被损坏的风险。

1.3 传统解决方案分析

对于 DC 源输出信号导通 / 截止或者链路热插拔

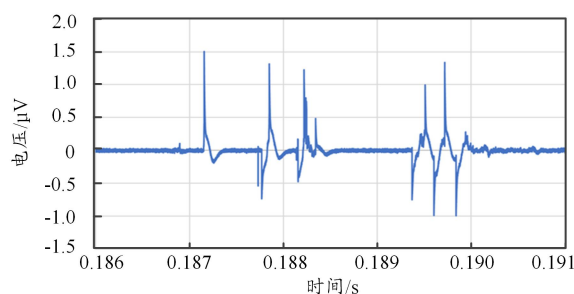


图2 热插拔后在信号源输出端电压实测信号

时产生的脉冲电压信号对高速信号源冲击问题,传统解决方案有2种:一是杜绝该信号的产生;二是阻止DC源信号传输到信号源。

如果需要杜绝某种信号的产生,主要通过调整DC源开启或断开的上升沿时间 t 来实现。然而,这种方法并不能完全防止热插拔现象的意外产生,因此具有一定的局限性。

若阻止DC源信号传输到前端信号源,一般使用单向导通的RF隔离器。然而,由于RF隔离器的带宽范围有限,很难覆盖高速测试所需的大带宽范围,因此在高速调制器眼图测试场景中具有一定的局限性。于是,人们在调制器眼图实际测试过程中一般会使用微波放大器对信号源输出信号进行隔离。由于使用了微波放大器,必须在其后面添加一个固定衰减器,以抵消微波放大器的放大作用。加入微波放大器、固定衰减器的调制器眼图测试链路如图3所示。这种方法会额外引入微波放大器和衰减器的带宽损耗,并且成本高,因此具有局限性。

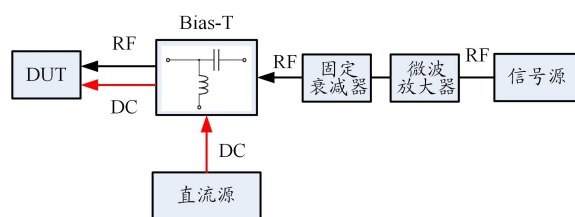


图3 加入微波放大器、固定衰减器的调制器眼图测试链路

2 有源 Bias-T 电路设计与仿真

本文结合微波放大器可以隔绝反向信号的原理,将传统 Bias-T、微波放大器、固定衰减器整合在一起,形成一种可以防止脉冲信号干扰的有源 Bias-T 电路,从根本上解决信号源设备损坏的风险。有源 Bias-T 电路原理图和实物图分别如图4、图5所示。

2.1 晶体管隔离作用

在传统的 Bias-T 中,只有隔直电容起到隔离作用。因此,本文在传统Bias-T中引入微波放大器,利用

陈碧超, 赵恒: 一种用于硅基高速调制器测试的有源 Bias-T 电路

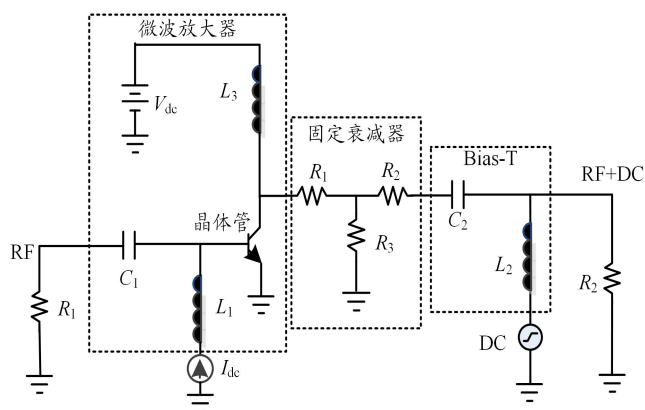


图4 有源 Bias-T 电路原理图

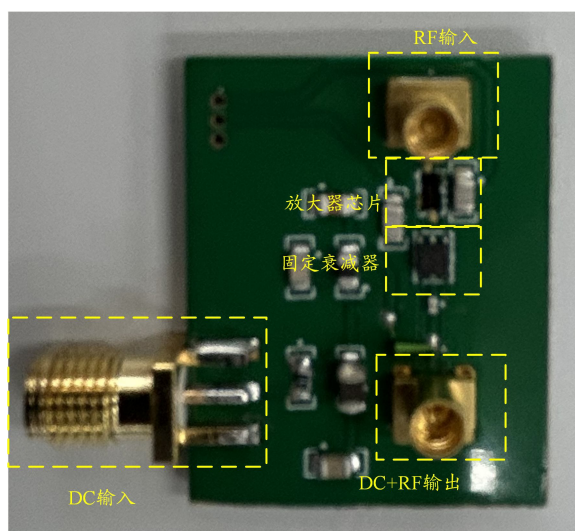


图5 有源 Bias-T 电路实物图

其晶体管的特性进一步弥补隔直电容的隔离局限。由于微波放大器中晶体管的隔离作用,在 RF 输入端(信号源输出端口)测得由 DC 源传来的信号如图 6 所示。与图 2 相比,有源 Bias-T 电路的脉冲电压由 1.5 V 减小到 0.5 μ V 左右,这表明晶体管发挥了很好的补充隔离作用,保护了高速信号源免受脉冲信号的影响。

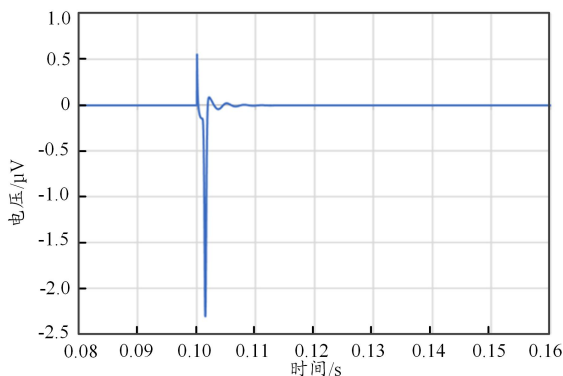


图6 有源 Bias-T 电路晶体管隔离效果仿真结果

2.2 带宽测试结果

本文选用了 IPA-0067-17 放大器芯片和 QAT-8 固定衰减器。在 DC 端,通过多电感串联的方式增加了 DC 端和 RF 端的隔离度。印制电路板(PCB)采用了 M6G 高速板材作为基板,裸板带宽能够达到 40 GHz 以上。与传统的 Bias-T 三端口(DC、RF、DC+RF)相比,该有源 Bias-T 电路增加了 2 个 DC 端口(V_d 和 V_g)为放大器供电,其带宽测试结果如图 7 所示。可以看出,本文设计的有源 Bias-T 电路的传输带宽 S21 大于 25 GHz,增益小于 1 dB;同时,反射系数 S11 在带宽 25 GHz 内,增益小于 -10 dB,满足了传统的硅基调制器测试需求。

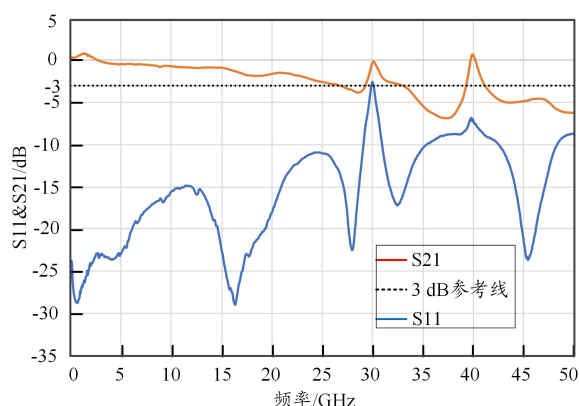


图7 有源 Bias-T 电路带宽测试结果

2.3 隔离情况测试结果

本文测试了有源 Bias-T 电路的 RF 端对 DC 端因开断电或热插拔产生的脉冲信号的隔离情况,测试结果如图 8 所示。可以看出,针对热插拔现象,有源 Bias-T 电路的脉冲电压为 ± 0.055 V 左右。与之前测得的热插拔时产生的冲击电压(1.5 V)相比,减小幅度十分明显,隔离度得到了较大的提升;同时,该信号也在高速信号源的安全阈值之内。

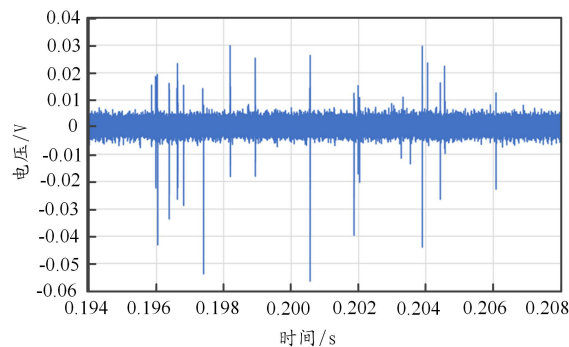


图8 有源 Bias-T 电路热插拔脉冲信号隔离度测试结果

3 结束语

本文详细分析了传统 Bias-T 中的隔直电容可能

被导通并烧毁高速信号源的原因及解决方法,设计了一种有源 Bias-T 电路。测试结果表明:有源 Bias-T 电路的 3 dB 带宽大于 25 GHz (带宽受限于 PCB 封装形式),在 RF 端测得由 DC 源传来的脉冲电压信号幅度由 ± 1.5 V 左右减小到了 ± 0.055 V 左右,消除了信号源设备损坏的风险。与传统的微波放大器加衰减器的方法相比,有源 Bias-T 电路具有以下优势:首先,直接在测试链路中引入有源 Bias-T 电路,能够避免因测试人员经验不足或粗心大意而引起的 DC 偏置电源热插拔风险;其次,使用微波放大器和衰减器的方法会对信号进行先放大再衰减,这个过程中会引入额外噪声,而有源 Bias-T 电路则不会出现该问题,其信噪比更具优势;最后,有源 Bias-T 电路具有在单个器件中实现测试链路隔离的特性,因此其成本远低于使用微波放大器、衰减器、传统 Bias-T 这 3 个器件的组合,大大提高了器件的性价比。

在后续设计中,本文将参考商用化传统 Bias-T 封装形式,选用更大带宽的放大器和衰减器芯片(现有带宽在 80 GHz 以上),以完全替代传统 Bias-T 在硅基高速调制器测试中的应用。

参考文献:

[1] PUNTSRI K, KHANSALEE E, KHOPHON P, et al. Experimental of re-

- alttime transmitter PAM-4 for optical wireless communication systems[C]//IEEE. Proceedings of 2016 13th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology(ECTI-CON). Chiang Mai: IEEE, 2016: 1-4.
- [2] MEKONNEN G G, BACH H G, SCHLAACK W, et al. 40 Gbit/s photoreceiver with DC-coupled output and operation without bias-T[C]//IEEE. Proceedings of 2002 14th Indium Phosphide and Related Materials Conference (Cat. No. 02CH37307). Stockholm: IEEE, 2002: 669-672.
- [3] CHANG H Y, LIU Y C, WENG S H, et al. Design and analysis of a DC-43.5-GHz fully integrated distributed amplifier using GaAs HEMT-HBT cascode gain stage [J]. IEEE Transactions on Microwave Theory & Techniques, 2011, 59(2): 443-455.
- [4] NALLI A, RAFFO A, AVOLIO G, et al. Extremely low-frequency measurements using an active bias tee [C]//IEEE. Proceedings of MTT-S International Microwave Symposium digest. Seattle: IEEE, 2013: 1-4.
- [5] 闵丹. 1MHz-40GHz 超宽带分布式低噪声放大器研究[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2019.
- [6] 仲响. 硅基太赫兹低噪声放大器设计[D]. 南京: 东南大学, 2021.
- [7] 郭斐, 梁煜, 张为, 等. 一种 SiGe BiCMOS 宽带低噪声放大器设计[J]. 西安电子科技大学学报, 2022, 49(6): 51-57, 66.
- [8] 林少鑫. 射频宽带驱动放大器的研究与设计[D]. 广州: 广东工业大学, 2022.
- [9] 周聪. 射频宽带低噪声放大器研究与设计[D]. 杭州: 杭州电子科技大学, 2022.
- [10] 郝清, 张丽苹. 0.7-6 GHz 中功率、大电流 T 型偏置器设计[C]//中国电子学会. 2019 年全国微波毫米波会议论文集 (下册). 广州:《微波学报》编辑部, 2019: 221-224.