

文章编号:1001-893X(2010)08-0147-04

宽带信道增益平坦度仿真设计^{*}

闫 鸿

(中国西南电子技术研究所,成都 610036)

摘 要:宽带信道的增益平坦度指标好坏是信道宽带性能保证的基础,同时由于影响因素众多,也是设计难点所在。以公式计算与电路仿真、三维电磁场仿真相结合的方式,详细分析了微波电路设计中各种因素对信道增益平坦度的影响,再针对各种影响因素给出了电路解决改善方法,论述了实际电路设计中宽带增益平坦度保证的关键技术和注意事项。

关键词:电子侦察系统;射频前端;微波电路设计;宽带信道;增益平坦度;三维电磁场仿真

中图分类号:TN92 **文献标识码:**A doi:10.3969/j.issn.1001-893x.2010.08.031

Simulation Design of Broadband Channel Gain Flatness

YAN Hong

(Southwest China Institute of Electronic Technology, Chengdu 610036, China)

Abstract: Gain flatness is a basic performance index of the broadband channel, and with a number of affecting factors, it is also a different design point. Associated with formula calculation, circuit simulation and three-dimension electromagnetic field simulation, this paper analyzes the influences of various factors in the microwave circuit design to the gain flatness of the channel, then presents the circuit improvement methods for each affecting factor, and finally reviews the critical technology and matters needing attention in the actual circuit design guarantee the broadband gain flatness.

Key words: electronic reconnaissance system; RF front end; microwave circuit design; broadband channel; gain flatness; 3D EM simulation

1 引 言

随着科学技术的发展,无线通信技术取得了长足的发展,但同时各领域要求也越来越高。民用领域,全球移动通信系统(GSM)、第三代移动通信(3G)、蓝牙(Bluetooth)、无线局域网(WLAN)和超宽带(UWB)等多种系统并存,通信速率也已经达到了每秒数十兆比特甚至上百兆比特但依然无法完全满足日益增长的需求^[1];军用领域,雷达、电子战、语音/数据通信、导航、识别、制导等功能系统种类数量不断增加,同时各系统也在不断向着宽带、高速及跳频抗干扰方向发展。这些需求和发展,导致各种系统

的工作频率和瞬时带宽越来越宽,对于电子侦察系统来说,如果要对这么多种军民用系统进行信息采集和处理,其射频接收前端的宽带设计成为关键和难点所在。宽带信道设计中,除了宽带抗干扰、宽带大动态设计外,信道的宽带增益平坦度指标好坏是信道宽带性能保证的基础,同时设计加工中能够对其产生影响的因素众多,也是设计难点所在,通常都是通过产品的后期调试来保证指标。本文利用公式计算与电路仿真、三维电磁场仿真相结合的方式,详细分析了微波电路设计中各种因素对信道增益平坦度的影响,针对各种影响因素给出了电路解决改善方法,并论述了实际宽带微波电路设计中的关键技

^{*} 收稿日期:2010-03-08;修回日期:2010-06-13

术和注意事项。

2 宽带增益平坦度主要影响因素分析

2.1 器件幅频特性的影响

微波元器件的宽带幅频特性是射频前端及信道宽带设计的基础,也是对宽带增益平坦度影响最大的因素^[2]。随着微波材料及工艺技术的发展,微带开关、放大器、混频器等器件的带宽已经越来越宽,其噪声、隔离度等指标已经完全可以满足宽带使用要求。但对于增益和插损这样的传输特性来说,由于微波信号传输损耗与信号波长有关,器件的增益或插损很难做到在低频端和高端内完全一致^[3]。以 WanTcom 公司宽带低噪放为例,在 0.5~2.5 GHz 频段可以做到噪声小于 1,但是增益波动在 1.5 dB 左右,其实际电路模型的传输曲线如图 1 所示。宽带性能更好的低噪声放大器可以做到同样的频段内增益波动小于 1 dB,但尺寸和器件价格将成倍增加。

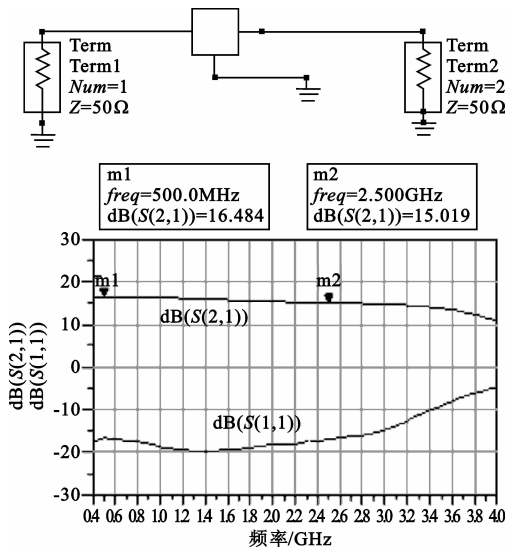


图 1 宽带放大器增益波动曲线
Fig.1 Gain wave curve of wideband amplifier

宽带射频前端或接收信道设计中,宽带器件往往不止 1 级,多级级联情况下,器件增益波动情况会产生叠加效果。如果不考虑器件渡口驻波及级间匹配的影响,通过仿真和计算均可验证多级之间波动叠加为线性叠加。以 1.5~2.5 GHz 信道为例,上述低噪放在该频段增益波动为 0.8 dB,接收前端选用两级滤波器与两级放大器级联,级联后的增益波动达到 2.2 dB,仿真结果如图 2 所示。因此在信道及

前端设计时,需要综合考虑各级器件的平坦度指标。

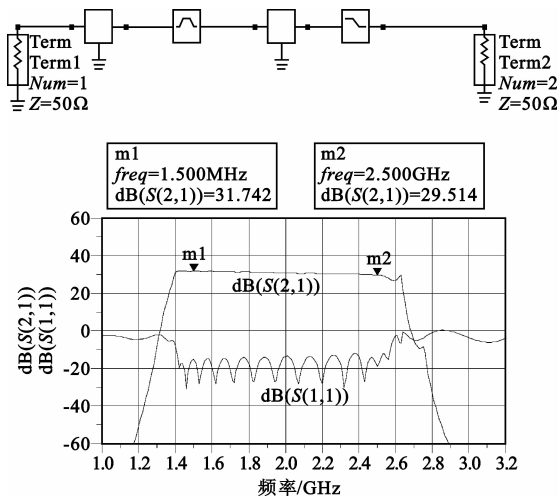


图 2 宽带射频前端级联增益平坦度曲线
Fig.2 Gain flatness curve of cascaded wideband RF front end

2.2 端口驻波及级间匹配的影响

宽带微波器件所提供的指标均是理想匹配情况下的测试值,实际使用时,器件的端口驻波及级间匹配会对宽带信号的能量传输产生影响,恶化信道的平坦度指标。器件的电压驻波比、功率反射系数、传输损耗的表达如下^[4]:

$$VSWR = \frac{1 + \Gamma}{1 - \Gamma}$$

$$Ref = \frac{(\Gamma \times U_r)^2}{U_r^2} = \Gamma^2$$

$$Los = 1 - Ref$$

$$REF = 10 \lg Ref = 10 \lg \Gamma^2$$

$$LOS = 10 \lg Los = 10 \lg (1 - Ref)$$

式中, Γ 为电压反射系数, U_r 为端口输入电压, $VSWR$ 为电压驻波比, Ref 为归一化的功率反射系数, Los 为归一化的传输损耗。微波信道设计中,增益及插损等指标常用对数值表示以便于计算, REF (单位 dB) 和 LOS (单位 dB) 为 Ref 和 Los 的对数值。

常用的电压驻波比与反射损耗、传输损耗的关系如表 1 所示。由表中可知,器件的电压驻波比越大,其传输损耗越大。当器件的输入端口电压驻波比达到 1.5 时,传输损耗将达到 0.2 dB 左右。对于宽带器件,0.2 dB 的能量损失本身影响不大,但如果电压驻波比在指标范围内波动很大,极限情况下会造成器件传输损耗的 0.2 dB 波动,多级级联叠加后对系统增益平坦度的影响将非常巨大。

表 1 电压驻波比与发射系数、反射损耗、传输损耗关系表
Table 1 The relationship between VSWR and Γ , REF, LOS

VSWR	Γ	S_{11}^{REF} /dB	S_{21}^{LOS} /dB	反射功率 百分比 /(%)
1.00	0.00	∞	0.00	0
1.02	0.01	-40.0	0.00	0.01
1.10	0.05	-26.0	-0.01	0.25
1.22	0.10	-20.0	-0.04	1
1.50	0.20	-14.0	-0.18	4
2.00	0.33	-9.5	-0.51	11
3.00	0.50	-6.0	-1.25	25
4.00	0.60	-4.4	-1.92	36

端口驻波比较差的器件级联使用时,微波信号在器件的输入端口反射后,会在前级的器件输出端口再次反射,从而有可能在链路内形成多次发射震荡,进一步恶化平坦度指标,甚至造成在某些频点上的自激。这种情况下,需要注意避免驻波比较大的器件直接级联使用。

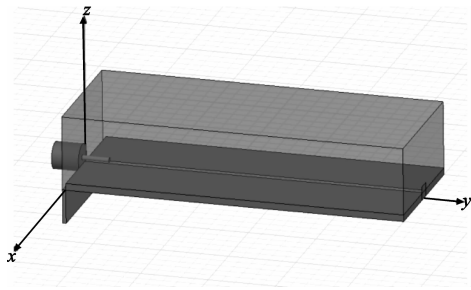


图 3 微带针式结构传输特性仿真模型
Fig.3 Model of transmission characteristics
simulation for microstrip stylus architecture

2.3 结构公差对平坦度的影响

由于微波电路的电磁场传输特性,宽带接收前端和信道的增益平坦度对元器件的安装及结构公差影响非常敏感。一般情况下,宽带系统应尽量采用表贴小型化器件,但很多高性能宽带微波器件都是同轴针式接口的腔体结构,使用时器件需要下沉安装。对于针式输出结构,使用时焊点应尽量靠近微带针的根部,但由于结构件加工及器件公差影响,实际使用过程中往往无法做到。悬空的微带针部分,相当于在电路中串联了一个电感,器件与微带片的缝隙越大,电感量越大,对宽带信道高频端的影响也越大。利用 HFSS 三维电磁场仿真软件对该结构进行仿真,结果表明,宽带器件与微带间的间隙为 0.5 mm 时,在 8.5 GHz 处的传输损耗有 1 dB 左右;当

缝隙增加到 1 mm 时,传输与反射特性会急剧恶化,该频点已经无法正常工作。这个只是单个接头的影响,多个微带针式器件级联使用时叠加效果的影响更大。

3 宽带增益平坦度的设计与保证

现有宽带系统为了保证频带内性能一致性,常常要求全频段增益平坦度波动在 ± 2 dB 以内,这对于频率从几十兆赫到几吉赫升至十几吉赫的系统,设计难度很大。由于影响因素众多,宽带信道设计中需要在保证其它指标的前提下,针对各种影响因素进行专门的仿真设计验证并采取措施,才有可能最终达到系统使用要求^[5]。宽带信道增益平坦度设计中需要重点考虑及注意的主要有以下几方面。

3.1 系统设计及器件选择

宽带射频信道方案设计时,对于宽带平坦度指标保证,只通过指标的简单计算是无法实现的。设计时需要每级器件的详细测量曲线或参数,再利用仿真软件进行系统的仿真分析。在器件的选择上,要充分考虑每级器件的增益波动和传输损耗,如果平坦度线性叠加无法达到,可以选用不同传输特性变化趋势的器件进行互补,通过相互抵消改善系统的平坦度。同时,如果频段太宽,器件宽带特性无法满足要求,需要结合预选滤波等其它指标设计保证,采用分段设计,从而降低设计难度,只是设备量会增加,需要综合考虑。

对于宽带接收信道中的宽带变频,需要注意宽带本振的幅度如果波动太大,会导致混频器的变频损耗在不同频点上的剧烈变化,导致信道的增益平坦度急剧恶化。对于宽带本振信号,可用放大器的饱和放大将其推平,再对其谐波进行一定抑制后使用。

如果系统指标要求更高,可以采用细步进数控衰减器与宽带跳频本振协同工作的设计,用预失真的方法进行精细调整。利用该方法,可以使宽带信道的全频段增益平坦度指标达到 1 dB 以内,只是其测试及调试工作量巨大,如果是多套系统,还可能需要每套单独测试设置。

3.2 驻波及级间匹配改善

由前面端口驻波对传输损耗的影响可知,宽频段内器件端口驻波的变化对信道的平坦度会有影响,对于宽带系统,选用的元器件一般要求端口驻波比小于 1.5。如果器件的端口驻波比波动较大,需

要保证各级器件的驻波最大值不在同一频点处,并利用仿真验证其影响。

对于多级器件的级联,端口驻波较大的器件不能直接级联,如果不能避免,需要在两级器件之间用固定衰减器进行隔离。以表 1 中驻波比为 2 的两级器件级联为例,端口驻波造成的反射能量为 11%,如果选用 5 dB 固定衰减器隔离,反射能量将减小到 3.5%,这样,就相当于端口驻波比小于 1.5 的器件级联,其级联影响将显著改善。

3.3 结构加工误差补偿

宽带信道设计中,在器件选择和级间匹配保证的情况下,就需要对模块的结构设计和加工进行一定的规范。表贴封装的微波器件采用电装工艺装配在微带片上,与螺装器件相比,其安装进度及装配造成的影响要小很多。如果必须选用螺装微带针式结构的器件,根据仿真及实际工作经验,要求结构设计加工时器件和微带线间的间隙不大于 0.3 mm。同时,可以采用低通滤波器的设计方法,利用 L-C-L 电路模型,设计一个高频的低通滤波器,滤波器的截止频率高于系统最高工作频率,从而吸收过渡处的寄生电感,减少其对增益平坦度的影响。采用低通匹配前后的电磁场仿真结果表明,通过低通 L-C-L 模式匹配,可以有效改善微带针式结构的端口匹配情况。但是,这要求设计时知道准确的加工误差和间隙大小,在实际工作中很难实现。为此,在宽带信道电路调试时,可在器件端口处的微带上贴金属匹配枝节或焊接集总参数电容,用以模拟 L-C-L 结构中的 C,并根据实际情况调节电容大小,以改善加工公差造成的增益波动。

4 结束语

宽带射频信道设计中,增益平坦度设计与保证是其难点和重点所在。本文所论述的宽带信道增益平坦度设计方法,采用软硬件结合的仿真设计思路,利用微波电路级仿真,以宽带器件的实际指标为基础验证优化系统方案,并对器件的级联和匹配进行详细分析改进,再利用三维电磁场仿真对信道模块

的实际结构和加工公差进行分析控制,有效降低了几个主要因素对宽带信道增益平坦度的影响。利用该设计方法,已经实现几吉赫至十几吉赫工作频带的宽带高平坦度微波信道的研制,在 L/S/C/X 频段范围内全频段增益平坦度可达到小于 ± 1.5 dB 的高指标要求。

参考文献:

- [1] 张士兵,张力军.超宽带无线通信及其关键技术[J].电讯技术,2004,44(5):1-6.
ZHANG Shi-bing, ZHANG Li-jun. Ultra Wideband Radio Communication and its Key Technology [J]. Telecommunication Engineering, 2004,44(5):1-6. (in Chinese)
- [2] 刘晓云,郑岚.移动通信中宽带接收系统信号电平特性的研究[J].长春理工大学学报,2006,29(2):48-51.
LIU Xiao-yun, ZHANG Lan. Study on Received Signal-level Characteristics in Wideband Transmissions in Mobile Communications[J]. Journal of Changchun University of Science and Technology, 2006,29(2):48-51. (in Chinese)
- [3] 朱旻,梁晓新,陈立强,等.一种高增益平坦度 MMIC 功放单片的调试方法[J].电子器件,2007,30(4):1219-1222.
ZHU Min, LIANG Xiao-xin, CHEN Li-qiang, et al. Adjustment Method of High Gain Flatness PA MMIC[J]. Chinese Journal of Electron Devices, 2007,30(4):1219-1222. (in Chinese)
- [4] 顾其铮.微波集成电路设计[M].北京:人民邮电出版社,1978.
GU Qi-zheng. Microwave Integrated Circuit Design[M]. Beijing: People's Posts & Telecom Press, 1978 (in Chinese)
- [5] Mike Golio. 射频与微波手册[M].北京:国防工业出版社,2006.
Mike Golio. The RF and Microwave Handbook[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2006. (in Chinese)

作者简介:

闫 鸿(1977-),男,陕西宝鸡人,工程师,主要研究方向为宽带微波技术及应用。

YAN Hong was born in Baoji, Shaanxi Province, in 1977. He is now an engineer. His research concerns wideband microwave technology and its applications.

Email: yanhong. work@gmail.com