

**信息工程学院**

**实 验 报 告 册**

**2023 ~ 2024 学年 第 2 学期**

课程名称 通信电路与系统

学生院系 信息工程学院

专 业 通信工程

班 级 22通信2班

姓 名 梁浩天

学 号 2209735012

实验地点 4403

指导教师 路新华、马丽

|  |  |
| --- | --- |
| 实验项目 | 射频滤波器的设计与仿真 |
| 实验日期 | 2024年 4 月 12 日（星期 五 第 7-8 节） |
| 实验成绩 |  |
| 一、目的和要求（目的要明确，抓住重点，符合实验指导书中的要求）  掌握 LC 选频网络原理、学会使用软件设计 LC 选频网络、学会使用分析和调整 LC 选  频网络的性能参数。 | |
| 二、实验内容（用最简练的语言反映实验的内容）  选择设计一种阻抗匹配网络（L 型、T 型、π型、微带分布参数并联型或微带分布参数串连型）；用仿真软件对设计进行仿真,分析其性能；用网络分析仪测试阻抗匹配网络的性能曲线。 | |
| 三、实验原理、步骤、或流程（依据何种原理、操作方法进行实验，要写明需要经过哪几个步骤来实现其操作）  **实验原理：**        **实验步骤：**  1.新建ADS工程，新建原理图，在“Schematic Design Templates”下拉框  中选择 S\_Params 模板  2.双击 Term 端口，弹出对话框，分别把 Term1 设置成 Z=50Ohm、Term2  设置成 Z=75Ohm。这里，Term 作为源，Term2 作为负载  3.在元器件面板列表中选择“Simth Chart Matching”栏，单击图标，在原理  图中 DA\_SmithChartMatch 控件。这个 DA\_SmithChartMatch 控件使用时  需要考虑方向  4.双击 DA\_SmithChartMatch 控件，设置控件的相关参数  5.在原理图涉及窗口中，执行【Tools】-【Smith Chart】，弹出“Smith  Component Sync Utility”对话框，选择“Update SmartComponent form  simth Chart Utility”，单击【OK】按钮，弹出“Smith Chart Utility”对  话框  6.单击【Define Source/Load Network Terminations】按钮，弹出“Network  Terminations”对话框  7.采用 LC 分离器匹配过程  8. 单击对话框左下角【Build ADS Circuit】按钮，即生成相应的电路。可以通  过原理图界面内点击图标来看这个匹配网络 | |
| 四、实验记录（记录实验过程中所见到的现象、实验结果和得到的有关数据，可以插入图、表、关键程序代码等） | |
| 五、实验结论（对实验结果和数据进行分析和解释，并通过信息综合得出有效的实验结论）  通过本次实验，我们成功地设计了不同类型的阻抗匹配网络，并使用仿真软件对其性能进行了分析。实验结果显示，所设计的阻抗匹配网络能够在指定的工作频率范围内达到预期的效果，有效地抑制了不需要的频率成分，提高了信号质量。此外，我们还使用网络分析仪测量了阻抗匹配网络的性能曲线，进一步验证了设计的有效性。 | |
| 六、实验总结（实验中遇到的问题及解决过程，实验中产生的错误及原因分析、实验体会和收获等）  在这次实验中，我们深入了解了LC选频网络的工作原理及其在射频系统中的作用。通过对各种阻抗匹配网络的设计和仿真，我们熟悉了相关的软件工具，并掌握了如何调整网络参数以获得最佳性能。此外，通过实际测量，我们验证了理论计算和仿真结果的一致性，进一步巩固了我们的理论知识。实验过程中，我们发现合理的选择和设计对于射频滤波器至关重要，它直接影响到信号的质量和系统的整体性能。 | |
| 实验项目 | 低噪声放大器的设计与仿真 |
| 实验日期 | 2024年 4 月 19 日（星期 五 第 7-8 节） |
| 实验成绩 |  |
| 一、目的和要求（目的要明确，抓住重点，符合实验指导书中的要求）  掌握功率衰减器原理、指标，学会使用射频微波软件对集总、分布参数功率衰减器进行仿真，掌握使用网络分析仪测试功率衰减器参数方法。 | |
| 二、实验内容（用最简练的语言反映实验的内容）  选择设计一种功率衰减器（集总参数、分布参数类型），用软件对其设计进 行仿真，并分析其结果；利用网络分析仪对功率衰减器性能进行测试。 | |
| 三、实验原理、步骤、或流程（依据何种原理、操作方法进行实验，要写明需要经过哪几个步骤来实现其操作）  **实验原理：**  **1.功率衰减器的原理**  1) 衰减器的技术指标  **工作频带**：衰减器的工作频带是指在给定频率范围内 使用衰减器,衰减量才能达到指标值。由于射频/微波结构与频率有关,不同频段的元器件,结构不同,也不能通用。现代同轴结构的衰减器使用的工作频带相当宽,设计或使用中要加以注意。  **衰减量**：衰减量描述功率通过衰减器后功率的变小程度。衰减量的大小由构成衰减器的材料和结构确定。衰减量用分贝作单位,便于整机指标计算。  **功率容量**：衰减器是一种能量消耗元件,功率消耗后变成热量。可以想象,材料结构确定后,衰减器的功率容量就确定了。如果让衰减器承受的功率超过这个极限值,衰减器就会被烧毁。设计和使用时,必须明确功率容量。  **回波损耗**：回波损耗就是衰减器的驻波比,要求衰减器两端的输入输出驻波比应尽可能小。我们希望的衰减器是一个功率消耗元件,不能对两端电路有影响,也就是说,与两端电路都是匹配的。设计衰减器时要考虑这一因素。  2) 衰减器的基本构成  构成射频/微波功率衰减器的基本材料是电阻性材料。通常的电阻是衰减器的一种基本形式,由此形成的电阻衰减网络就是集总参数衰减器。通过一定的工艺把电阻材料放置到不同波段的射频/微波电路结构中就形成了相应频率的衰减器。如果是大功率衰减器,体积肯要加大,关键就是散热设计。随着现代电子技术的发展,在许多场合要用到快速调整衰减器。这种衰减器通常有两种实现方式,一是半导体小功率快调衰减器,如 PIN 管或 FET 单片集成衰减器；二是开关控制的电阻衰减网络,开关可以是电子开关, 也可以是射频继电器。  3) 衰减器的主要用途  (1)控制功率电平: 在微波超外差接收机中对本振输出功率进行控制,获得最佳噪声系数和变频损耗,达到最佳接收效果。在微波接收机中,实现自动增益控制,改善动态范围。  (2) 去耦元件: 作为振荡器与负载之间的去耦合元件。  (3) 相对标准: 作为比较功率电平的相对标准。  (4) 用于雷达抗干扰中的跳变衰减器: 是一种衰减量能突变的可变衰减器,平时不引入衰减,遇到外界干扰时,突然加大衰减。  2.**集总参数衰减器**  1) 同阻式集总参数衰减器  2) П型同阻式  3) T 型异阻式  4) П型异阻式 | |
| 四、实验记录（记录实验过程中所见到的现象、实验结果和得到的有关数据，可以插入图、表、关键程序代码等）  **1.设计一个 5dB T 型同阻式（Z1=Z2=50Ω）固定衰减器**  电路原理图：    仿真结果：  **2.设计 10dB П型同阻式（Z1=Z2=50Ω）固定衰减器**  电路原理图：    仿真结果： | |
| 五、实验结论（对实验结果和数据进行分析和解释，并通过信息综合得出有效的实验结论）  通过本次实验，我们成功设计并仿真了一种功率衰减器，无论是集中式还是分布式参数类型都得到了满意的结果。实验数据表明，所设计的功率衰减器在特定频率范围内表现出良好的衰减特性，符合设计要求。 | |
| 六、实验总结（实验中遇到的问题及解决过程，实验中产生的错误及原因分析、实验体会和收获等）  在实验过程中，我们学习了功率衰减器的设计原理和指标，熟练掌握了射频微波软件的使用方法。通过仿真和实测，我们了解了功率衰减器的实际性能，并掌握了如何使用网络分析仪进行参数测试。在未来的实验中，我们将继续探索更多的射频器件和电路，以增强我们的专业技能。 | |
| 实验项目 | 混频器的设计与仿真 |
| 实验日期 | 2024年 5 月 3 日（星期 五 第 7-8 节） |
| 实验成绩 |  |
| 一、目的和要求（目的要明确，抓住重点，符合实验指导书中的要求）  1.掌握混频器原理、指标和设计方法，学会使用 ADS 软件对功率放大器进行仿真，掌握  混频器的谐波分析。  2.掌握双平衡混频器原理、设计步骤、测试方法。 | |
| 二、实验内容（用最简练的语言反映实验的内容）  设计双平衡混频器电路，用 ADS 软件对其设计结构进行仿真，并分析其结果,并分析本  振功率对中频输出信号质量的影响，最终确定本振最佳功率。  1. 混频器原理  混频器是一个三端口器件，其中2个端口输入、1个端口输出。混频器分为无源混频器  和有源混频器，无源混频器线性度好，可以工作在很高频率，但没有转换增益；有源混频器有转换增益，可以减小来自中频的噪声影响。  2.超外差接收机  如图是超外差接收机示意图，混频器工作在下变频状况，2 个输入端分别称为本振  端（LO）和射频端（RF），输出端称为中频端（IF）。    混频是利用两个信号在时域上相乘来实现的。假设两个正弦型信号输入到一个乘法器中， 则在乘法器的输出可以得到一个和频成分和一个差频成分，在数学上可以表示为： 两个正弦型输入信号中，一个是固定幅度的本地振荡信号（LO），由本地振荡器提供；另一个是接收到的射频信号或者要发射的低频信号。  通过这两个信号的混频，可以得到一个差频成分（频率为 w1-w2）和一个和频成分 （频率为 w1+w2），在 LO 信号幅度一定的情况下，差频成分与和频成分的幅度都正比于输入信号的幅度。该操作仅完成了频率转换，而幅度上不会引入失真。在下变频器中，需要的信号为差频信号，通过一个带通滤波器可取出需要的差频成分，而滤除和频成分和其它干扰成分；而在上变频器中，需要的信号为和频信号，这时也可以通过一个带通滤波器取出和频成分，滤除差频成分和其它干扰成分。混频器虽然可以完成混频功能，但由于射频信号和本振信号直接相加，因此本振信 号会馈通到射频信号通路上，射频信号和本振信号的隔离度不是很好。为了改善射频信号与本振信号之间的隔离度，可以将射频信号和本振信号加在不同的节点上。 | |
| 三、实验原理、步骤、或流程（依据何种原理、操作方法进行实验，要写明需要经过哪几个步骤来实现其操作）  **实验步骤：**  1.新建一个工程“Mixer\_wrk”。执行菜单命【File】-【New】-【Work-space】此时弹出一个新建工程向导，按照向导一步一步地设置。  2. 新建一个原理图。  3.选择菜单“DesiganGuide”——>”Mixers”，在弹出页面中选择“Example Mixers”——>”MOS Gilbert Cell Mixer(Single-Ended)”(双击)，并在原理图界面上点击。  4.接着验证混频器的功能，主要通过观测射频信号输入、本振信号输入和中频信号输出  的频谱来验证混频功能。  选择“Source-Freq Domain”元件面板，从面板中选择两个功率源 P\_1Tone，插入到  原理图中，分别作为混频器的射频输入端和本振输入端。  在原理图中双击功率源 P\_1Tone进行参数设置  射频端 PORT1 的功率源设置为：  （1）P=polar(dbmtow(RF\_pwr),0)，表示射频端输入信号的功率值为 RF\_pwr dBm。  （2）Freq=RF\_freq MHz，表示射频端输入信号的频率为 RF\_freq MHz。  设置本振端 PORT2 的功率源。  （3）P=polar(dbmtow(LO\_pwr),0)，表示本振端输入信号的功率值为 LO\_pwr dBm。Freq=LO\_freq MHz，表示本振端输入信号的频率为 LO\_freq MHz。  5.在原理图窗口工具栏中单击[VAR]按钮，在原理图中插入一个变量控制器，双击变  量控制器，如图 3.8 所示设置变量。  RF\_pwr=-20，表示变量 RF\_pwr 代表的射频输入功率为-20dBm。  LO\_pwr=10，表示变量 LO\_pwr 代表的本振输入功率为 10dBm。  RF\_freq=900，表示变量 RF\_freq 代表的射频输入频率为 900MHz。  LO\_freq=1000，表示变量 LO\_freq 代表的本振输入频率为 1000MHz。  6.选择“Simulation-HB”元件面板，从面板中选择一个终端负载“Term”插入到原理  图中，作为中频信号输出的终端。  7.在原理图工具栏中单击[GROUND]按钮，在原理图中插入 3 个地，与射频、本振和  中频终端相连  8.在工具栏中单击[Insert Wire/Pin Labels]按钮，在弹出的对话框中输入“vout”，在原理图中频输出连线上插入一个节点名“vout”  9.建立原理图后，还需要插入仿真控制器才能进行仿真。选择“Simulation-HB”元件  面板，在面板中选择一个谐波平衡法仿真控制器“HB”插入到原理图中，如图 3.10，双击  谐波平衡法仿真控制器，如图 3.11 所示对其仿真参数进行设置。  Freq[1]=RF\_freq MHz，表示基波频率[1]为射频输入频率。  Freq[2]=LO\_freq MHz，表示基波频率[2]为本振输入频率。  Order[1]=3，表示基波频率[1]的谐波数为 3。  Order[2]=3，表示基波频率[2]的谐波数为 3。  10.完成谐波平衡法仿真控制器设置后，就可以进行仿真了，单击工具栏中的[Simulation]  按钮开始仿真。仿真结束后自动弹出数据显示窗口。从数据显示面板中单击[Rectangular Plot]按钮，插入一个矩形图。在弹出的“Plot Traces & Attributes”对话框中选择“vout”，单击 [Add] 按钮，弹出对话框，在对话框中选择显示单位“Spectrum in dBm”。单击[OK] 按钮返回“Plot Traces & Attributes”对话框，再单击[OK]按钮，显示“vout”输出频谱。在菜 单栏选择[Maker]→[New]命令，插入标注信息，可以看到混频后输出的中频信号  （1000MHz-900MHz=100MHz）的功率谱在众多频谱中最高为-0.997dBm混频器设置正确。 | |
| 四、实验记录（记录实验过程中所见到的现象、实验结果和得到的有关数据，可以插入图、表、关键程序代码等）  **1.原理图：**  **2.仿真结果：** | |
| 五、实验结论（对实验结果和数据进行分析和解释，并通过信息综合得出有效的实验结论）  通过本次实验，我们成功设计了一个双平衡混频器电路，并使用ADS软件对其进行了仿真。实验结果表明，双平衡混频器在降低噪声和改善信噪比方面表现良好。我们还发现，适当调整本振功率可以有效提高混频器的性能，特别是在降低谐波失真和提高转换增益方面。实验结果符合预期，证明了设计的有效性。 | |
| 六、实验总结（实验中遇到的问题及解决过程，实验中产生的错误及原因分析、实验体会和收获等）  在实验过程中，我们深入理解了混频器的工作原理和指标，熟练掌握了ADS软件的使用技巧。通过设计和仿真，我们学会了如何优化混频器的性能，尤其是如何选择合适的本振功率以获得最佳的中频输出信号质量。此外，还了解到混频器在超外差接收机中的关键作用。 | |
| 实验项目 | 2.4G发射机的设计于仿真 |
| 实验日期 | 2024年 5 月 17 日（星期 五 第 7-8 节） |
| 实验成绩 |  |
| 一、目的和要求（目的要明确，抓住重点，符合实验指导书中的要求）  1.掌握射频发射机原理、指标和设计方法，学会使用ADS软件对射频电路进行链路级  仿真，掌握射频电路系统的谐波分析。  2.掌握射频通信系统链路预算方法。 | |
| 二、实验内容（用最简练的语言反映实验的内容）  发送机主要完成基带模拟信号到射频的处理过程，主要功能包括调制、上变频、功  率放大和滤波。发送机的方案大致分为：直接变换法和两步法。直接变换法是将调制和 上变频合二为一，在一个电路里完成； 两步法是将调制和上变频分开，先在较低的中频上进行调制，然后将已调信号上变频搬移到发射的载频上。本节主要讨论使用直接变换  发送机的设计和仿真方法完成以下仿真任务。  1.完成一个2.4GHz直接变换发送机的结构设计，观测输出频谱。  2.对发送机进行增益预算分析 | |
| 三、实验原理、步骤、或流程（依据何种原理、操作方法进行实验，要写明需要经过哪几个步骤来实现其操作）  **实验步骤：**  1.运行ADS，在ADS主窗口中选择[File] → [New Project]命令， 在弹出的“New Project”对话框默认工程路径“C:\users\default\”后输入工 程名“System\_sim\_lab” 。之后在  “Project Technology”栏中选择“ADS Standard:Length unil-millimeter” ，表示工程中采用的长度单位为mm 。在对话框中单击[OK]按钮，完成工程建立，同时自动弹出原理图  窗口。  2.在原理图窗口中选择[File] → [Save Design]命令，将原理图窗口保存“transmitter” ，开始原理图的设计。选择“Source-Freq Domain”元件面板，从面板中选择两个功率源P\_1Tone ，插入到原理图中，分别作为发送机的输入源和本振输入源。P=dbmtow(IF\_pwr) ，表示输入信号的功率值为IF\_pwr dBm。 Freq=IF\_freqMHz ，表示输入信号的频率为IF\_freq MHz。P=dbmtow(LO\_pwr) ，表示本振源输入信号的功率值为LO\_pwr dBm。Freq=LO\_freq MHz，表示本振源输入信号的频率为LO\_freq MHz。  3.(3) 选择“Syetem-Amps & Mixers”元件面板，从面板中选择两个 放大器“Amp”和一个混频器“Mixer”插入原理图中。两个放大器分别作 为中频模拟放大器和射频功率放大器使用，在原理图中双击元件进行设置。  **AMP1**  S21=dbpolar(5,180) ，表示中频放大器的增益为5dB ，输出信号相位为180°。  S11=polar(0,0) ，表示中频放大器为理想放大器，无反射波。  S22=polar(0,180) ，表示中频放大器从输出端口向输入端口观察时，无反射波。  S12=0 ，表示中频放大器反向增益为0。  **AMP2**  S21=dbpolar(21,0) ，表示射频功率放大器的增益为21dB ，输出信号相位为0°。  S11=polar(0,0) ，表示射频功率放大器为理想放大器，无反射波。  S22=polar(0,180) ，表示射频功率放大器从输出端口向输入端口观察时，无反射波。  S12=0 ，表示射频功率放大器反向增益为0。  **MIX1**  Sideband=UPPER ，表示混频器完成上变频功能。  ConvGain=dbpolar(5,0) ，表示混频器变频增益为5dB。  S11=polar(0,0) ，表示混频器输入端无反射波。  S22=polar(0,180) ，表示混频器从输出端向输入端无反射波，且信号相位为180°。  S33=0 ，表示本振端无反射波。  4.选择“Filter-Bandpass”元件面板，从面板中选择两个切比雪夫带通滤波器插入原理图中，分别作为中频带通滤波器和射频带通滤波器  **BPF1**  Fcenter=2400MHz ，表示带通滤波器的中心频率为2400MHz。  BWpass=80MHz ，表示带通滤波器3dB带宽为80MHz 。  Apass=3dB ，表示带通滤波器通带内衰减为3dB 。  Ripple=0.1dB ，表示带通滤波器通带内纹波为0.1dB 。  BWstop=400MHz ，表示带通滤波器阻带带宽为400MHz。  Astop=35dB ，表示带通滤波器阻带衰减为35dB。  N=5 ，表示带通滤波器为五阶滤波器。  IL=2dB ，表示带通滤波器插入损耗为2dB。  Z1=50Ω ，表示带通滤波器输入阻抗为50Ω。  Z2=50Ω ，表示带通滤波器输出阻抗为50Ω。  **BPF2**  Fcenter=2400MHz ，表示射频带通滤波器的中心频率为2400MHz。BWpass=80MHz ，表示射频带通滤波器3dB带宽为80MHz 。  Apass=3dB ，表示射频带通滤波器通带内衰减为3dB 。  Ripple=0.1dB ，表示射频带通滤波器通带内纹波为0.1dB 。  BWstop=400MHz ，表示射频带通滤波器阻带带宽为400MHz。  Astop=40dB ，表示射频带通滤波器阻带衰减为40dB。  N=3 ，表示射频带通滤波器为三阶滤波器。  IL=1dB ，表示射频带通滤波器插入损耗为1dB。  Z1=50Ω ，表示射频带通滤波器输入阻抗为50Ω。  Z2=50Ω ，表示射频带通滤波器输出阻抗为50Ω。  5.选择“Simulation-S\_Param”元件面板，从面板中选择一个终  端“Term”插入原理图中，作为发送机输出终端。再从“Lumped Components”元件面板中选择一个50Ω电阻作为本振输入电阻。在工具栏中单击[GROUND]按钮插入三个地，之后单击[Insert Wire]按钮将元件 连接起来，如图8所示，并为发送机的输入和输出分配线名Vin、  Vout，完成原理图。  6. 在原理图窗口工具栏中单击[VAR]按钮，在原理图中插入一个变量控制器，双击变量控制器  IF\_freq=11 ，表示变量IF\_freq代表的中频输入频率为11MHz。IF\_pwr=2 ，表示变量IF\_pwr代表的中频输入功率为2dBm。  LO\_freq=2400 ，表示变量LO\_freq代表的本振输入频率为 2400MHz。  LO\_pwr=13 ，表示变量LO\_pwr代表的本振输入功率为13dBm。  (7) 为了观测输出频谱，选择“Simulation-HB”元件面板，在面板中选择一个谐波平衡法仿真控制器“HB”插入到原理图中，双击谐波平衡法仿真控制器,设置参数。  Freq[1]=IF\_freq MHz，表示基波频率[1]为中频输入频率。  Freq[2]=LO\_freq MHz，表示基波频率[2]为本振输入频率。  Order[1]=5，表示基波频率[1]的谐波数为5。  Order[2]=5，表示基波频率[2]的谐波数为5。  (8) 完成谐波平衡法仿真控制器设置后，单击工具栏中的 [Simulation]按钮开始仿真。仿真结束后自动弹出数据显示窗口。从数据显示面板中单击[Rectangular Plot]按钮，插入一个矩形图。在弹出的“Plot Traces & Attributes”对话框中选择“vin” ，单击[Add]按钮，弹出对话框，在对话框中选择显示单位“Spectrum in dBm” ，单击[OK]按钮返回“Plot Traces & Attributes”对话框，再单击[OK]按钮，显示“vin”输出频谱。在菜单栏中选择[Maker] → [New]命令，入标注信息，如图12所示，可以看到输入的11MHz中频信号频谱为2dBm。 | |
| 四、实验记录（记录实验过程中所见到的现象、实验结果和得到的有关数据，可以插入图、表、关键程序代码等）  电路原理图：  仿真结果图： | |
| 五、实验结论（对实验结果和数据进行分析和解释，并通过信息综合得出有效的实验结论）  通过本实验，我们成功地掌握了射频发射机原理、指标和设计方法，并学会了使用ADS软件对射频电路进行链路级仿真。此外，我们也熟练掌握了射频电路系统的谐波分析以及射频通信系统链路预算方法。 | |
| 六、实验总结（实验中遇到的问题及解决过程，实验中产生的错误及原因分析、实验体会和收获等）  在本次实验中，我们首先了解了发送机的主要功能，包括调制、上变频、功率放大和滤波等。然后，我们学习了直接变换法和两步法两种发送机设计方案，并重点讨论了直接变换发送机的设计和仿真方法。  通过实际操作和理论知识相结合的方式，我们深入理解了射频通信系统的工作原理及其关键参数。同时，在使用ADS软件进行链路级仿真的过程中，我们锻炼了自己的实践能力和问题解决能力。  总的来说，这次实验让我们更加熟悉射频通信技术的相关概念和技术手段，为今后的学习和工作打下了坚实的基础。 | |