

板级射频电路开发



第九讲 LNA版图设计

主讲：汪 朋

QQ: 3180564167

01

LNA设计理论

02

基于ADS的LNA原理图设计

03

LNA版图设计

04

LNA版图后处理与PCB设计

Part

1

LNA设计理论

LNA设计理论

LNA设计理论

LNA主要性能指标:

中心频率:

通频带:

增益最大值下降3dB时对应的频率宽度;

噪声因子:

$$F = \frac{N_s + N_i}{N_s}$$

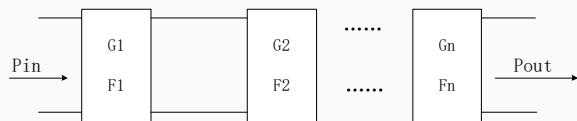
噪声系数:

$$NF(dB) = \frac{(SNR)_{in}}{(SNR)_{out}}$$

增益:

稳定性:

$$\begin{cases} k = \frac{1 - |S_{11}|^2 - |S_{22}|^2 + |\Delta|^2}{2 |S_{12}| |S_{21}|} > 1 \\ 1 - |S_{11}|^2 > |S_{12}| |S_{21}| \\ 1 - |S_{22}|^2 > |S_{12}| |S_{21}| \end{cases}$$
$$|\Delta| = |S_{11}S_{22} - S_{12}S_{21}|$$



$$F = F_1 + \frac{F_2 - 1}{G_1} + \frac{F_3 - 1}{G_1 G_2} + \dots$$

LNA设计理论

LNA偏置电路设计

偏置电路设计目标(BE的正向导二极管工作在正向导通状态, BC的二极管工作在反向击穿状态):

- (1) 使晶体管工作在放大区;
- (2) 较高的温度稳定性, 即使 ΔV_{be} 和 $\Delta \beta$ 波动最小。

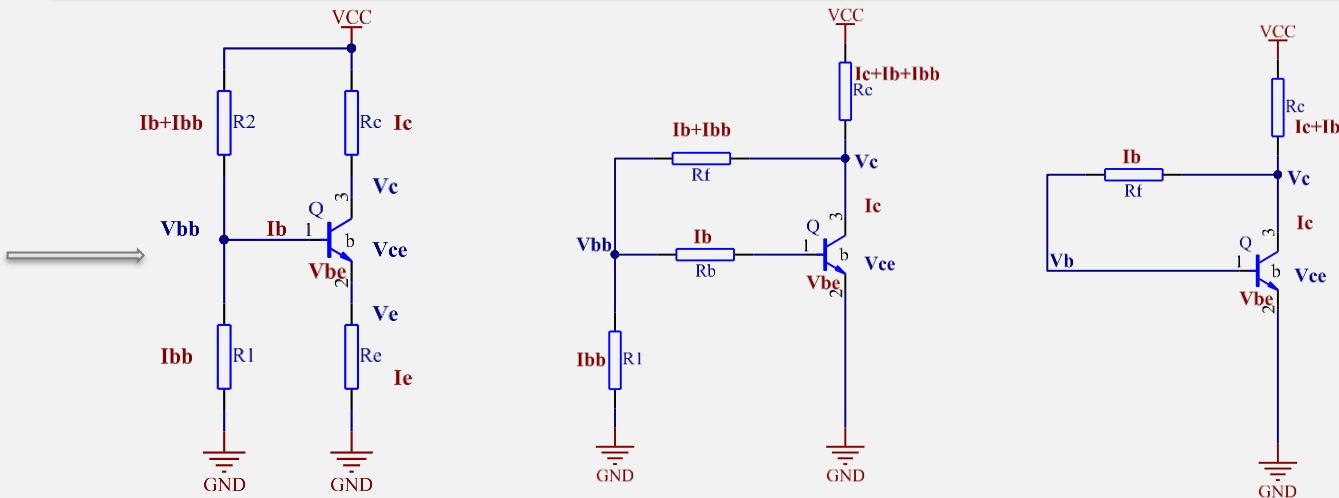
分析:

$$\Delta I_c \approx -\frac{\Delta V_{be} I_c}{V_e}$$

因此: 偏置电路的设计关键在于发射极电压 V_e 的设计

设计方法: 根据预期指标要求, 通过数据手册需找合适的 I_c 和 V_c

$$\Delta I_c = I_{C1} \left(\frac{\Delta \beta}{\beta_1 \beta_2} \right) \left(1 + \frac{R_b}{R_e} \right)$$



LNA设计理论

S参数进行LNA设计

S参数的作用:

- (1) 稳定性计算;
- (2) 最大资用增益计算;
- (3) 输入输出阻抗计算;
- (4) 最佳源阻抗和负载阻抗;
- (5) 转换增益计算;

对于分立元件放大器的设计，其输入和输出阻抗是由设计者根据增益、噪声系数、稳定性等指标自行选择和设定，即输入输出阻抗不是唯一的，不同的输入输出阻抗所对应的性能是完全不一样的

稳定性分析:

$$\text{中间变量: } D_s = S_{11}S_{22} - S_{12}S_{21}$$

$$\text{稳定因子 } K: K = \frac{1 + |D_s|^2 - |S_{11}|^2 - |S_{22}|^2}{2|S_{21}||S_{12}|}$$

如果 $K > 1$ ，则器件对于任何源和负载的组合都是无条件稳定的；如果 $K < 1$ ，则潜在不稳定
 $K < 1$ 的改进方法:

- (1) 重新选择静态工作点;
- (2) 更换晶体管;
- (3) 优化电路设计。

LNA设计理论

S参数最大资 用增益分析

最大资用增益MAG概念：

共轭匹配条件下的晶体管所能获得的最大增益

S参数下最大增益的计算：

$$B_1 = 1 + |S_{11}|^2 - |S_{22}|^2 - |D_s|^2$$

$$MAG = 10 \log \frac{|S_{21}|}{|S_{12}|} + 10 \log |K \pm \sqrt{K^2 - 1}|$$

利用S参数进行双共轭匹配 ($K > 1$)

共轭匹配时的负载反射系数，需先计算中间变量：

$$C_2 = S_{22} - (D_s S_{11}^*)$$

$$B_2 = 1 + |S_{22}|^2 - |S_{11}|^2 - |D_s S_{11}^*|^2$$

反射系数模：

$$|\Gamma_L| = \frac{B_2 \pm \sqrt{B_2^2 - 4|C_2|^2}}{2|C_2|}$$

源反射系数：

$$\Gamma_s = [S_{11} + \frac{S_{12} S_{21} \Gamma_L}{1 - (\Gamma_L \bullet S_{22})}]^*$$

Part

2

LNA原理图设计

晶体管模型 本质

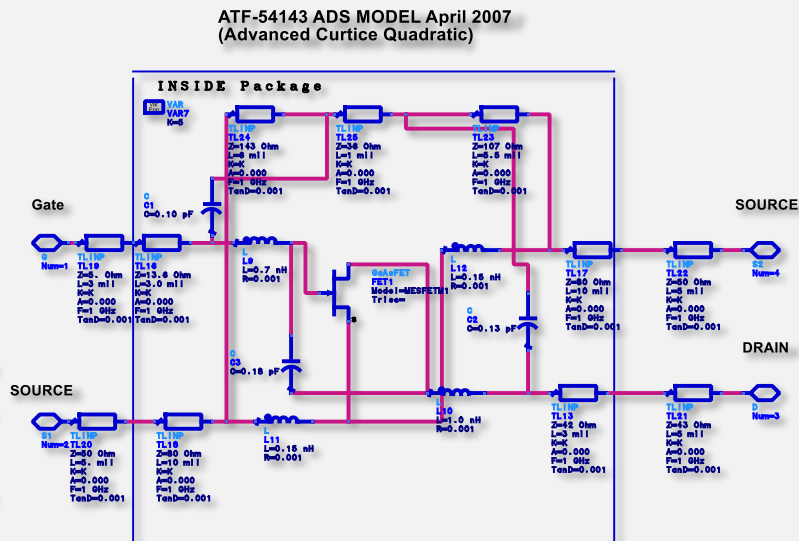
ATF 54143

ATF54143_dt
X1



Advanced Curtice2 Model

MSFETM1			
NSET=yes	Rf=	Cr=0.38 fF	Eq=
PVE=no	Gcap=2	Gawf=	Nc=
Vto=0.3	Gsc=2.8 pF	Garw=	Fnc=1 MHz
W=0.9	Gd=0.02 pF	Gdr=	R=0.08
Lambda=82e-3	Gdcap=2	Gdr=	P=0.1
Alpha=13	Fr=0.65	R1=	C=0.05
Tau=	Rgd=0.025 Ohm	R2=	TauGfno=
Tron=16.85	Rd=0.01 Ohm	Vbr=0.8	vAumdI=
Idsc=	Rg=1.0 Ohm	Vbr=	vBvgs=
Ucsi=0.72	Rs=0.03 Ohm	Vbr=	vBvds=
Vgsxp=2.45	Ld=	Is=	vBvds=
Gaw=1e-4	Vt=0.018 nH	Imax=	vBvds=
Vtcc=	Ls=	Imax=	vFmax=
Betacoe=	Cds=0.08 pF	Imelt=	AllParams=
Rgs=0.25 Ohm	Rc=214 Ohm	Xti=	



基于ADS的LNA设计

设计步骤

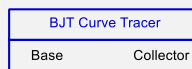
- (1)通过S参数分析晶体管绝对稳定特性和最大转移增益是否满足要求；
- (2)根据数据手册选取静态直流工作点(根据噪声系数、增益要求等)；
- (3)晶体管库文件安装；
- (4)添加DC_FET或DC_BJT控件进行晶体管直流特性分析，对静态工作点选择；
- (5)在Transistor Bias面板中选择偏置电路控件完成偏置电路的设计；
- (6)利用stabfact和MaxGain控件求解偏置电路下的稳定因子K曲线和最大增益曲线；
- (7)若K小于1或最大增益不满足要求，则修改电路或者更换晶体管；
- (8)如果电路中电感值为非标准值，则需要将电感值转化为微带线；

$$l(mm) = \frac{11.81L(nH)}{Z_0\sqrt{\epsilon_r}} * 24.5$$

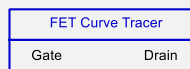
- (9)仿真已选偏置电路下的噪声系数系数，通过开启S参数仿真控件“Calculate noise”；
- (10)输入阻抗求解，插入NsCircle和GaCircle控件，选择噪声和增益平衡的输入阻抗点；
- (11)输入阻抗匹配：将所选输入阻抗匹配到50欧姆；
- (12)输出阻抗求解，原理图中插入Zin控件，修改为Port2端口；
- (13)输出阻抗匹配：将50欧姆匹配带所求输出阻抗的共轭；

基于ADS的LNA设计

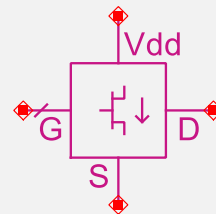
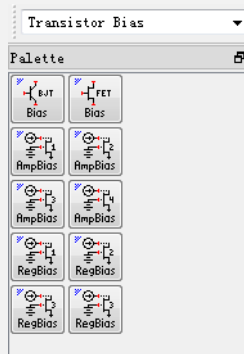
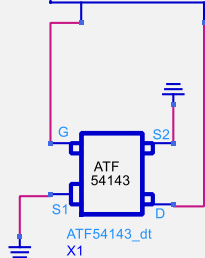
设计控件



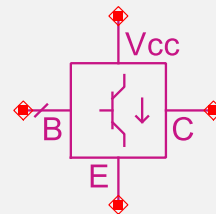
DC_BJT
DC_BJT1
IBB_start=25 uA
IBB_stop=100 uA
IBB_points=4
VCE_start=0
VCE_stop=5.0
VCE_points=41



DC_FET
SIM1
VGS_start=0
VGS_stop=1
VGS_points=11
VDS_start=0
VDS_stop=5.0
VDS_points=41



DA_FETBias_cell_1
DA_FETBias1



DA_BJTBias_cell_1
DA_BJTBias1



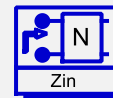
StabFact
StabFact1

StabFact1=stab_fact(S)



MaxGain
MaxGain1

MaxGain1=max_gain(S)



Zin
Zin2

Zin2=zin(S22,PortZ2)

VAR
VAR1
LX=0.5



GaCircle
GaCircle1

GaCircle1=ga_circle(S,2,51)



NsCircle
NsCircle1

NsCircle1=ns_circle(nf2,NFmin,Sopt,Rn/50,51)

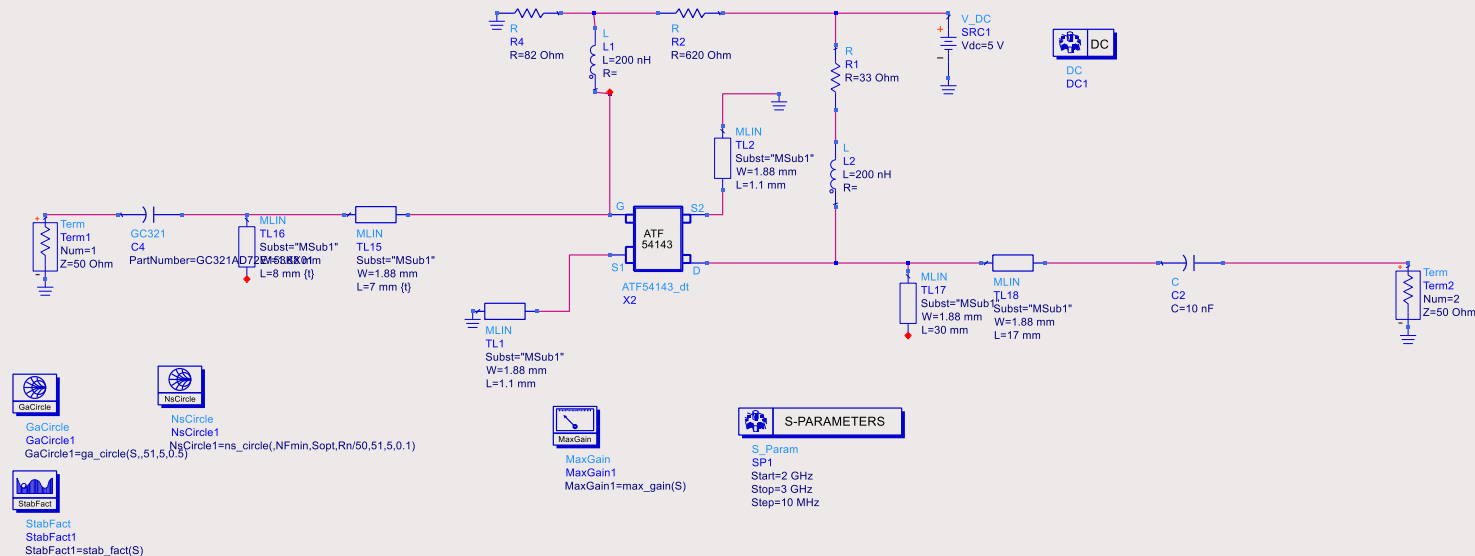
基于ADS的LNA设计

原理图

LNA设计指标:

$N_{fmin} < 1.0\text{dB}$; 增益 $> 14\text{dB}$; $K > 1$

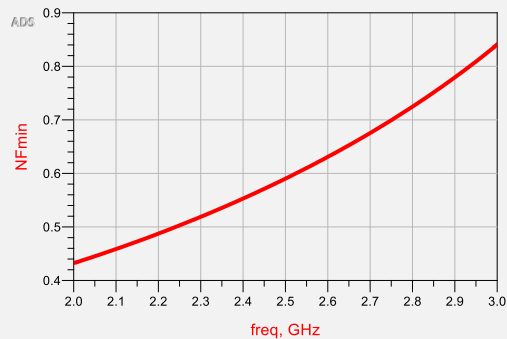
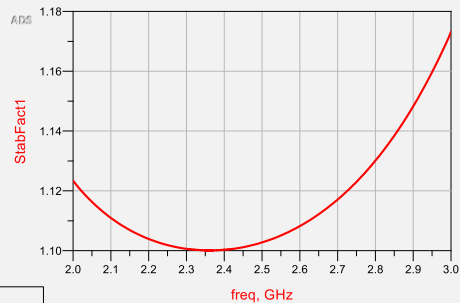
详细设计过程参考<射频电路设计实战课程>



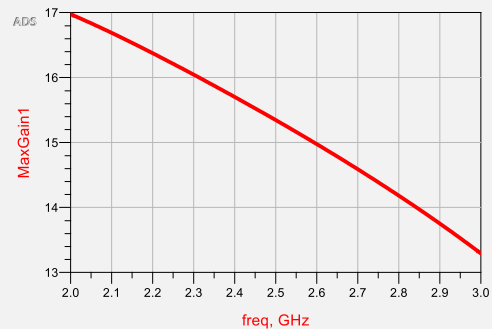
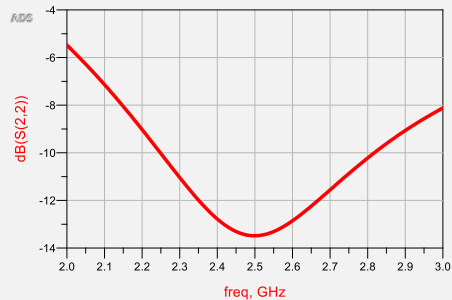
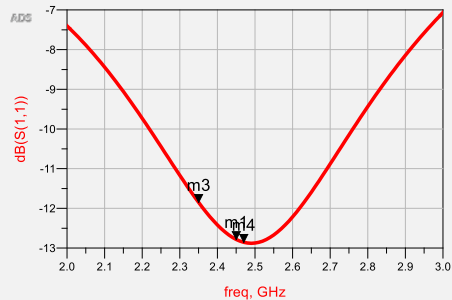
基于ADS的LNA设计

原理图

详细设计过程参考<射频电路设计实战课程>



m1 freq=2.450GHz dB(S(1,1))=-12.784	m3 freq=2.350GHz dB(S(1,1))=-11.852	m4 freq=2.470GHz dB(S(1,1))=-12.856
---	---	---



Part

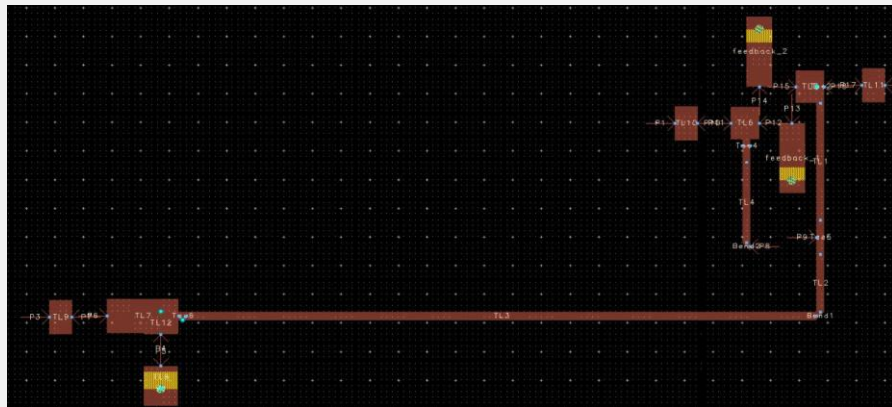
3

LNA版图设计

ADS版图

[1] 版图即为LNA的PCB，通过版图来验证布板、布线的准确性；

[2] 对实物的反向验证。



版图设计 难点

[1] 元器件封装处理<建议使用官方提供,也可以自己绘制>;

[2] 原理图电气线的处理;

[3] 焊盘处理;

[4] 接地。

匹配微带线和FET
引脚直连，中间
不能加入传输线

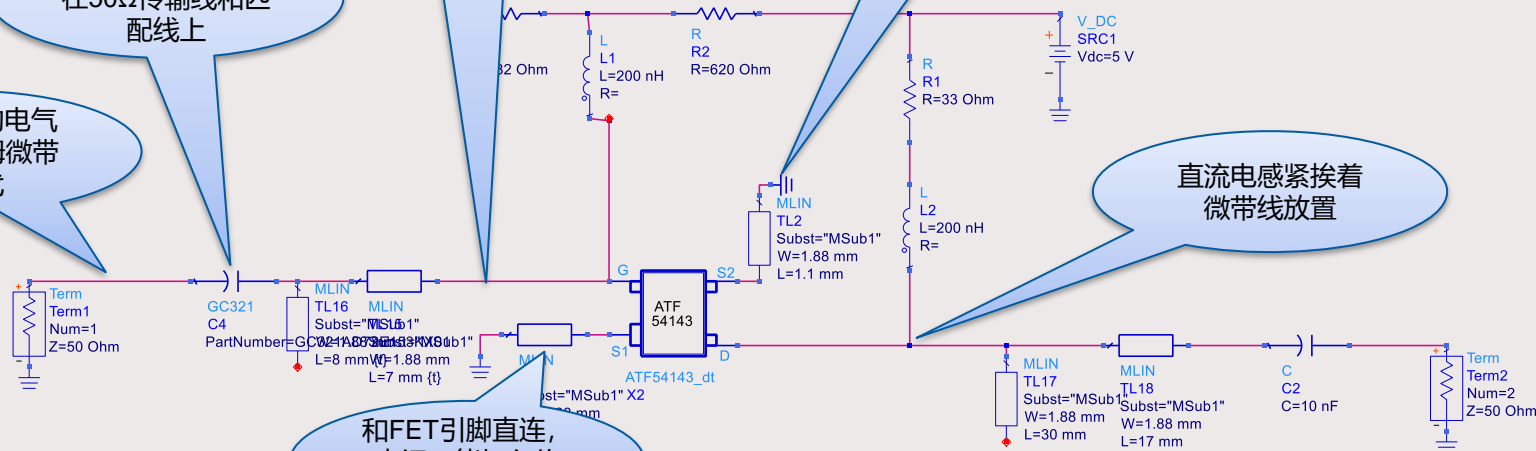
过孔接地

去耦电容焊盘落在50Ω传输线和匹配线上

端口连接的电气线以50欧姆微带线替代

直流电感紧挨着
微带线放置

和FET引脚直连，
中间不能加入传
输线



基于ADS的LNA设计

版图设计 难点

ADS版图中的封装设计

[1] 在cond层中绘制焊盘和PORT, PORT顺序参考器件的引脚顺序<必要步骤>;

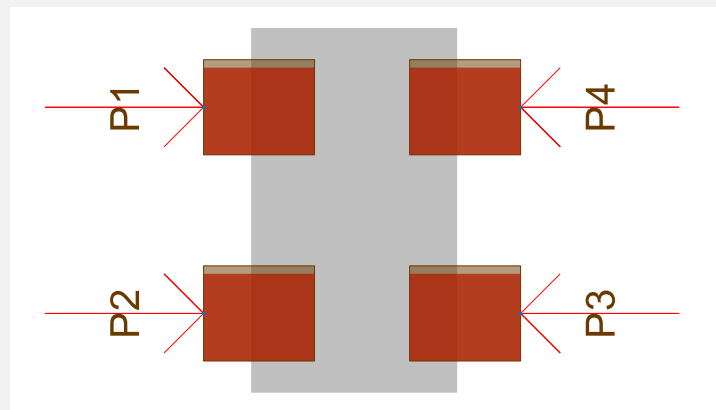
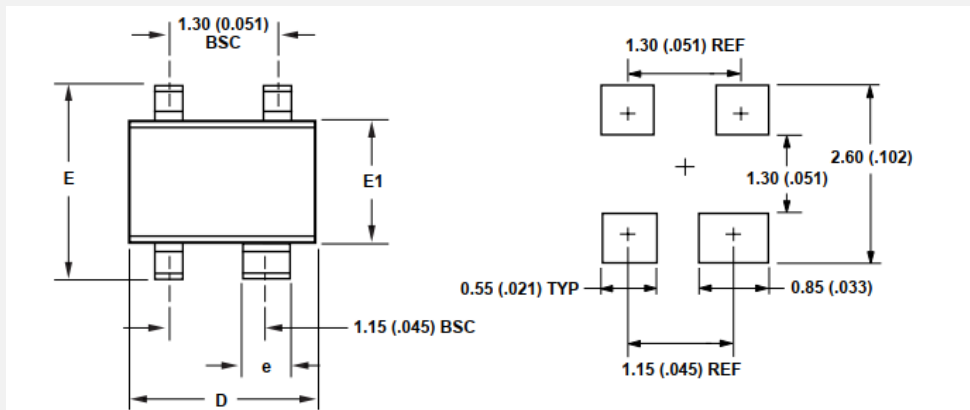
[2] 在Leads层中绘制引脚<可以采用丝印层替代>;

[3] 在panckages层画出器件俯视图<可以采用丝印层替代>。

实际设计中:

器件封装均可以调用ADS自带的封装库等效模拟, 地址如下:

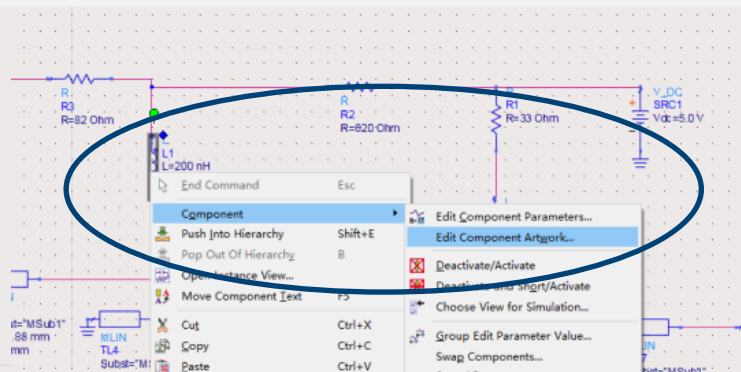
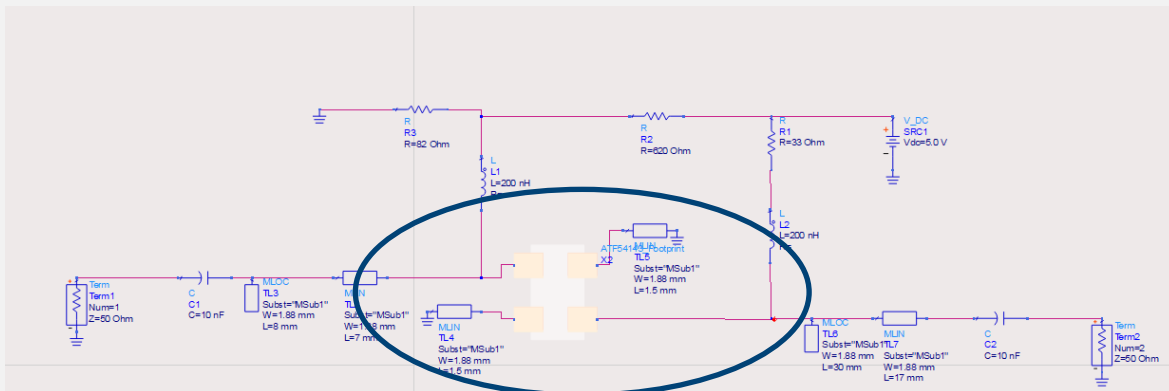
D:\Program Files\Keysight\ADS2020\oalibs\componentLib



基于ADS的LNA设计

版图设计方法

- <1>原理图的器件添加封装, 对于没有封装的第三方model, 自己建立封装文件, 而后调入原理图;
<2>完成版图布局后, 将版图重新调入原理图进行仿真。



Part

4

LNA版图后处理与PCB设计



THANK YOU !!