V0版本MOSFET SPICE仿真模型使用方法

MOSFET V0电仿真模型应用笔记

关于本文档

范围和目的

本文主要阐述长晶科技(JSCJ)定义的V0版本SPICE仿真模型相关使用方法，适用于对应用仿真有需求的电子工程师提供相关说明。

目录

关于本文档

目录

1、引言----------2

2、模型简介----------3

3、LTSPICE导入长晶模型方法----------5

4、QSPICE导入长晶模型方法----------9

5、常见MOSFET曲线仿真方法----------11

6、模型的局限性----------15

7、参考文献----------15

1、引言

功率MOSFET是电力电子变换器的核心功率器件，其SPICE模型的准确性与鲁棒性，直接影响电路仿真结果的参考价值。当前行业内主流存在两种建模思路：一类是仿真器内置的紧凑器件模型，例如LTspice 私有VDMOS模型，该类模型原生集成非线性米勒电容等功率管特征效应，求解效率高、收敛稳定，适合长时间瞬态、电热耦合、多器件批量扫描仿真，但是受内核方程约束，对多温度、大电流以及体二极管特性的拟合误差相对明显，但只适用于LTspice和Qspice等软件仿真使用；另一类是基于标准SPICE受控源与查表函数搭建的行为级子电路模型，该方案可以紧密贴合多温度下实测I-V、C-V曲线，模型语法具备良好跨平台兼容性，可在 ORCAD、TINA、SIMPLIS、Multisim等多款常见SPICE仿真器中使用，缺点是建模复杂，以及随着模型精度增加，复杂内部结构容易造成数值病态，增加瞬态仿真收敛压力。本文只针对VDMOS模型（长晶命名为V0版本）展开，介绍其模型概况、软件导入长晶第三方模型的方式方法，模型的适用范围，以及应用相关的知识、局限性等内容。

2、模型简介

长晶科技V0版本SPICE模型结构，本质是VDMOS结构， VDMOS全称Vertical Double-diffused MOSFET，垂直双扩散功率 MOSFET，和横向小信号 MOS 最大区别是电流沿硅片垂直方向流动，其特点：

- 栅极在表面形成横向反型层沟道；
- 载流子从源极→表面沟道→N^-漂移区（JFET 区）→底部漏极；
- 天然内置体PN二极管（Body Diode），P-body / N^-漂移区构成续流二极管；
- 寄生电容存在强电压相关性，尤其是栅漏电容Cgd（Crss），关断态（Vgd<0）耗尽层展宽，电容很小；开通态（Vgd>0）积累层形成，电容急剧变大，也就是米勒电容效应，这是开关电源仿真最关键特征。

标准通用 SPICE Level MOS 没有专门针对漂移区 JFET 效应、\(C_{gd}\)强非线性做原生支持；LTspice VDMOS 就是专门面向这种垂直功率管做的内置紧凑模型。

注意“VDMOS”是 LTspice 扩展关键字，只适用于LTspice和Qspice软件，不是标准SPICE3/ngspice/TINA/Hspice 标准语法，拿到其他仿真器直接报未知模型类型。

该模型不含封装引入的寄生参数。

模型核心结构：

沟道电流：

饱和区方程：

$$I_d = \frac{K_p}{2}(V_{gs} - V_{to})^2(1 + \lambda V_{ds})$$

线性区方程：

$$I_d = K_p \left[(V_{gs} - V_{to})V_{ds} - \frac{V_{ds}^2}{2}\right] \cdot m_{triode}$$

Mtriode是电导缩放参数，默认为1

阈值电压温度特性：

$$V_{to}(T) = V_{to}(T_{nom}) + V_{totc} \cdot (T - T_{nom})$$

体二极管方程：

$$I_{body} = I_s \left[\exp\left(\frac{V_j}{N \cdot V_T} \right) - 1 \right]$$

非线性栅漏电容：

$$C_{gd} = \begin{cases} s \cdot \tanh(a \cdot V_{gd}) + y, & V_{gd} > 0 \quad (\text{开通、积累区，靠近} C_{gdmax}) \\ s \cdot \arctan(a \cdot V_{gd}) + y, & V_{gd} < 0 \quad (\text{关断、耗尽区，靠近} C_{gdmin}) \end{cases}$$

涉及主要参数及含义：

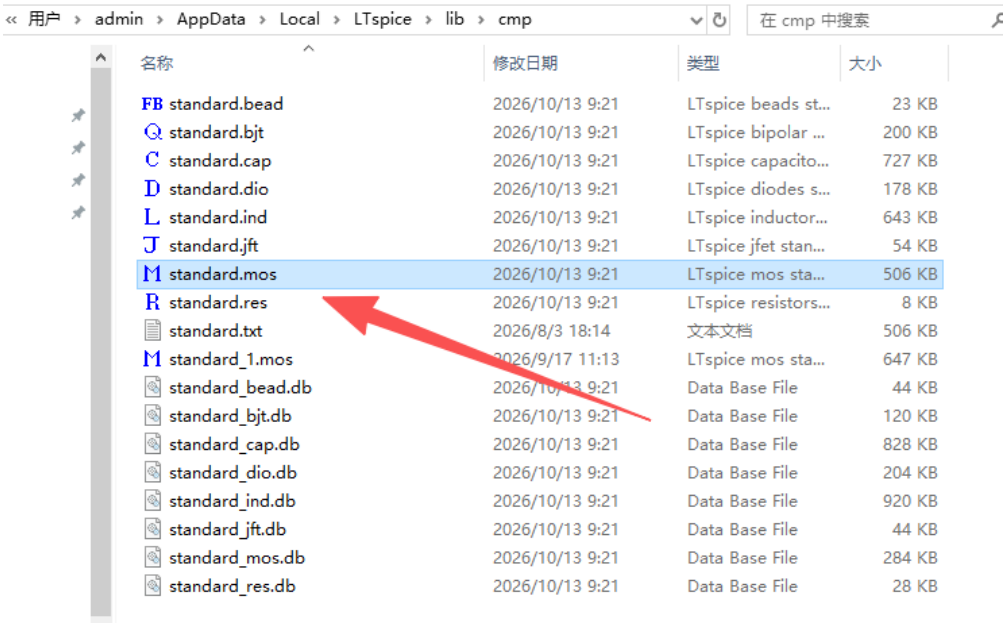
参数	含义
Vto	阈值电压 Vth，P 沟为负数
Kp	跨导系数 A/V2，决定 gm、饱和电流能力
lambda	沟道调制系数 1/V，饱和区 Id 上扬程度
Rs	源极串联电阻（源金属+源区）
Rd	漏极串联电阻（漂移区、漏金属）
Rg	栅极多晶硅串联电阻，影响开关速度、栅振荡阻尼
Is	体二极管反向饱和电流
N	二极管理想因子
Rb	体二极管串联电阻（漂移区电阻，VDMOS 独有）
Vtotc	Vth 温度系数 V/℃
Eg	禁带宽度，硅 1.12eV 左右，控制 Is 温漂
XTI	饱和电流温度指数
trb1	体电阻 Rb 的温度系数
Tnom	参数提取基准温度，一般 25℃或 27℃
Cgs	栅源固定电容（Ciss 主要部分，电压无关）
Cgdmax	栅漏电容最大值（米勒电容开通态）
Cgdmin	栅漏电容最小值（高压关断态）
Cjo	体 PN 结零偏结电容（Coss）
tt	二极管渡越时间，控制反向恢复电荷

3、 LTSPICE导入长晶模型的三种方法

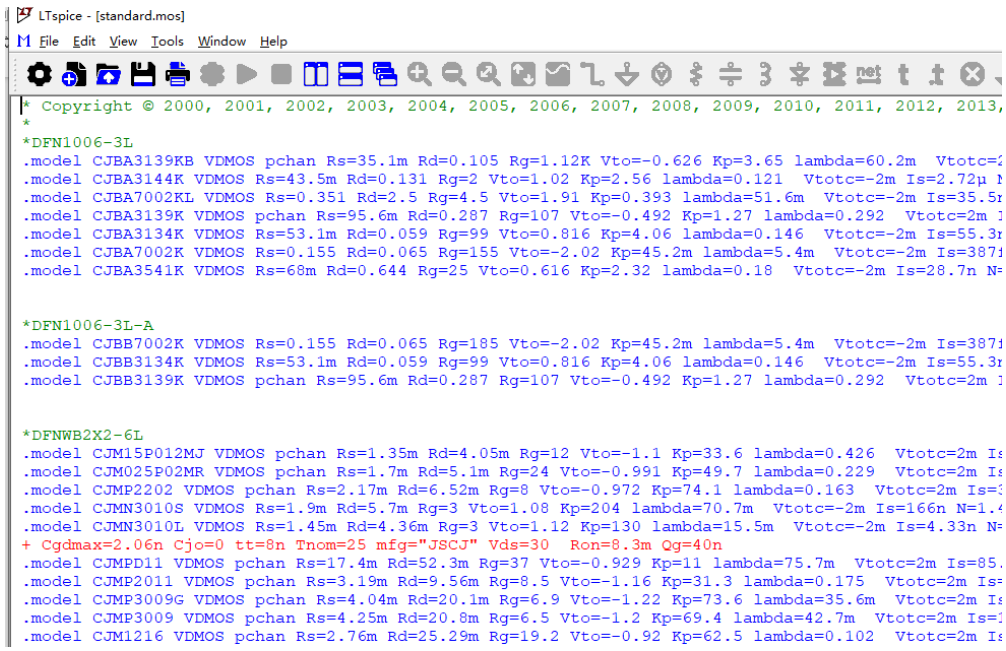
方法一：（修改LTSPICE的安装Lib）

找到LTSPICE的原始库standard.mos（默认安装路径为

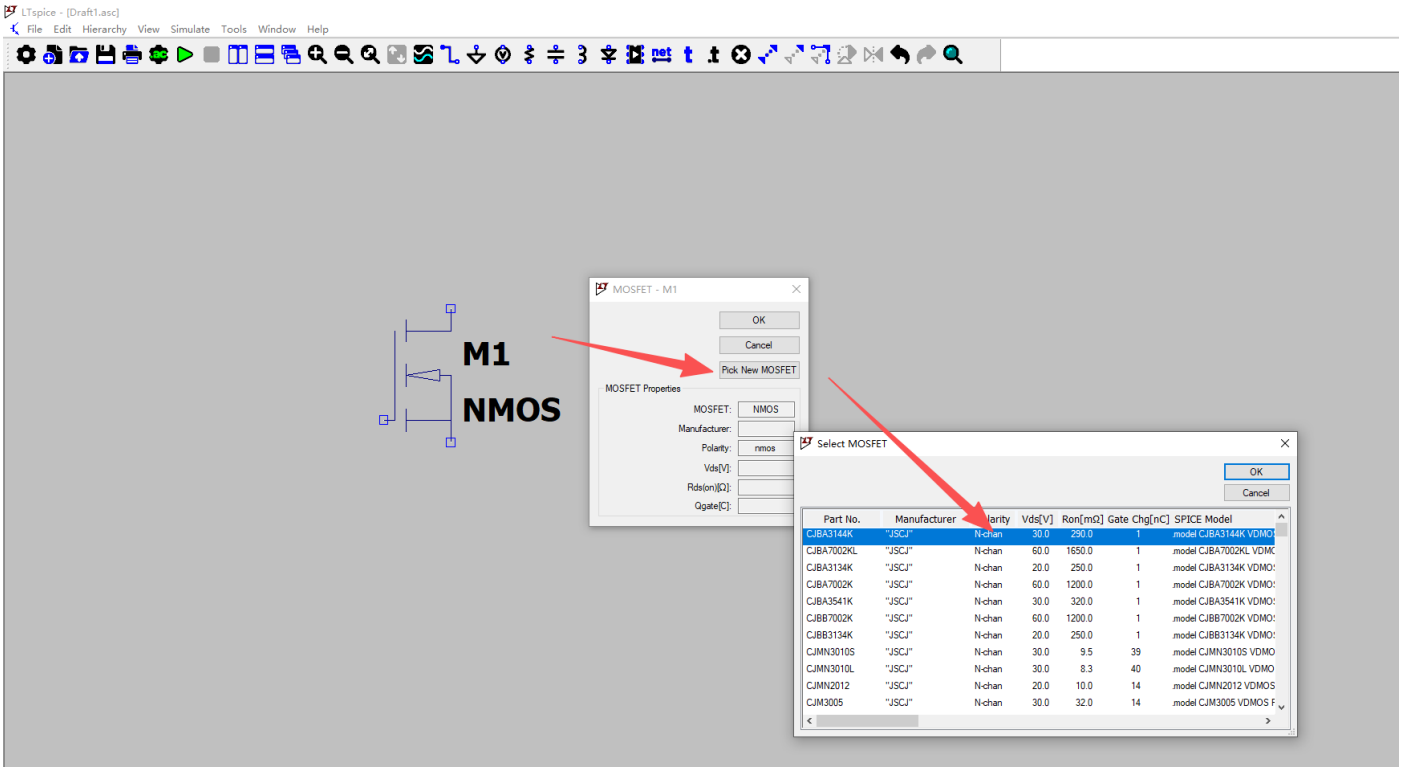
C:\Users\admin\AppData\Local\LTspice\lib\cmp，admin可能是”user”），使用记事本，直接粘贴到库里（注意做好原始文件备份）

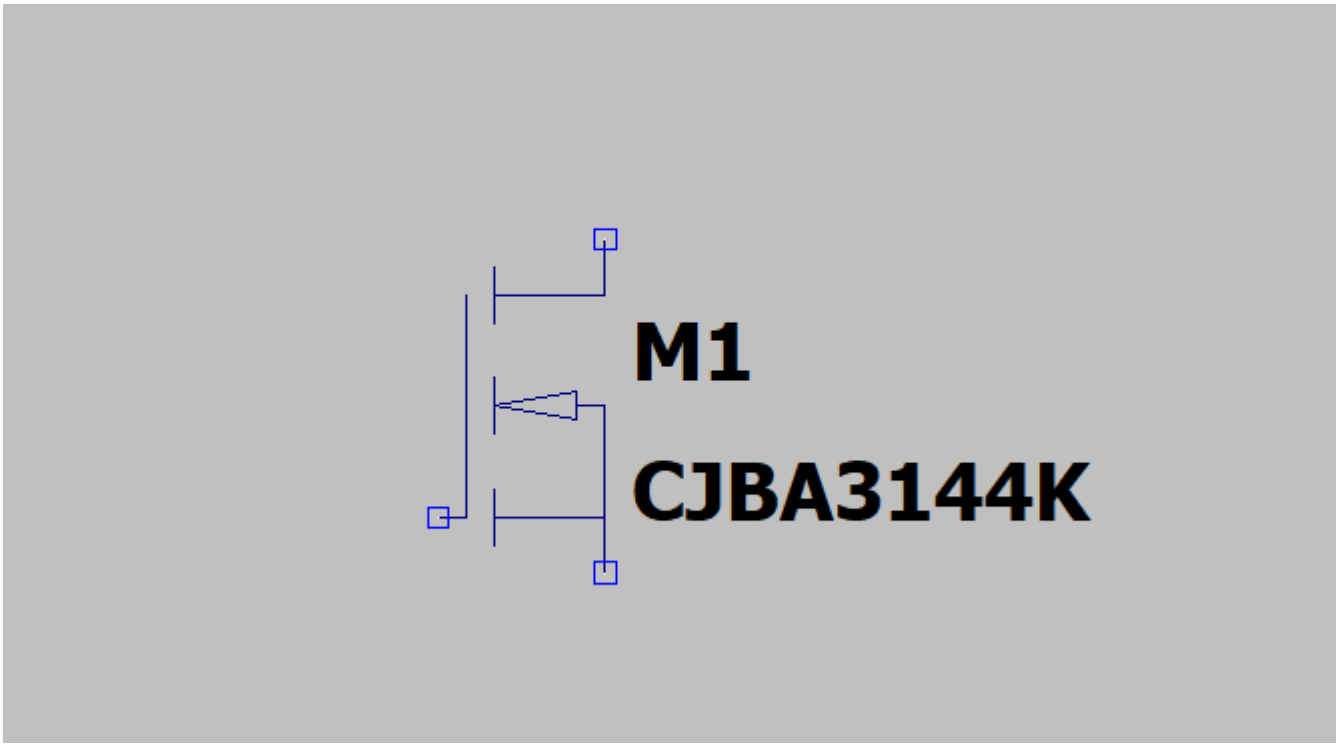


粘贴如下：



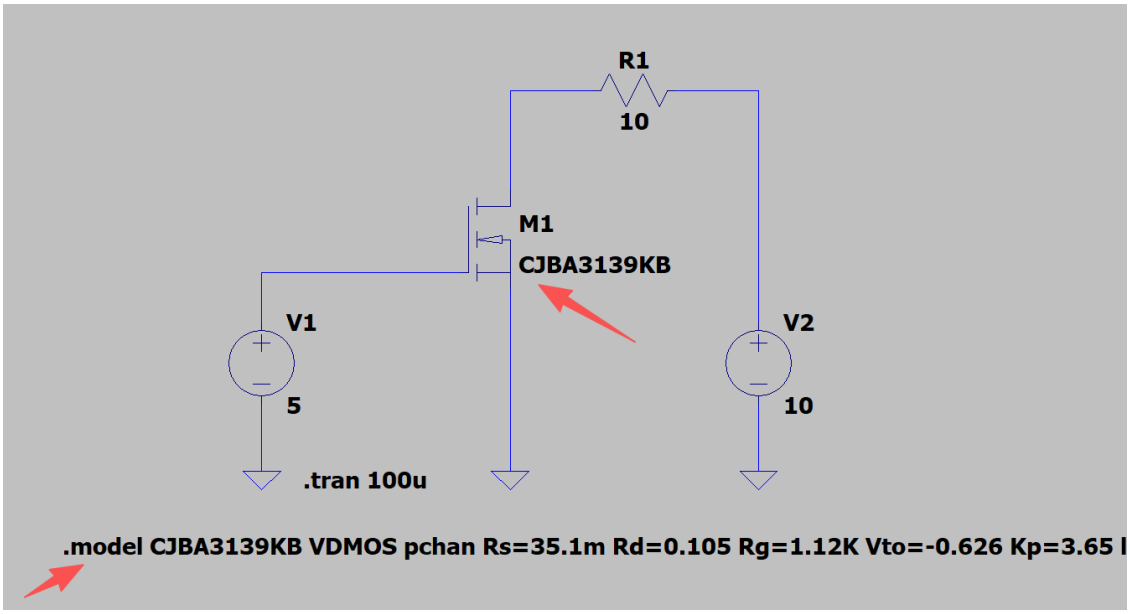
在LTSPICE里直接调用：





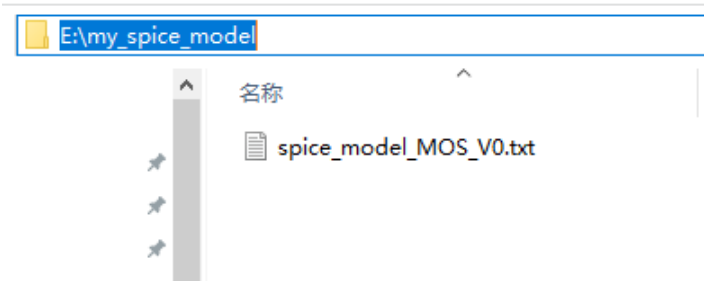
即可导入长晶V0模型

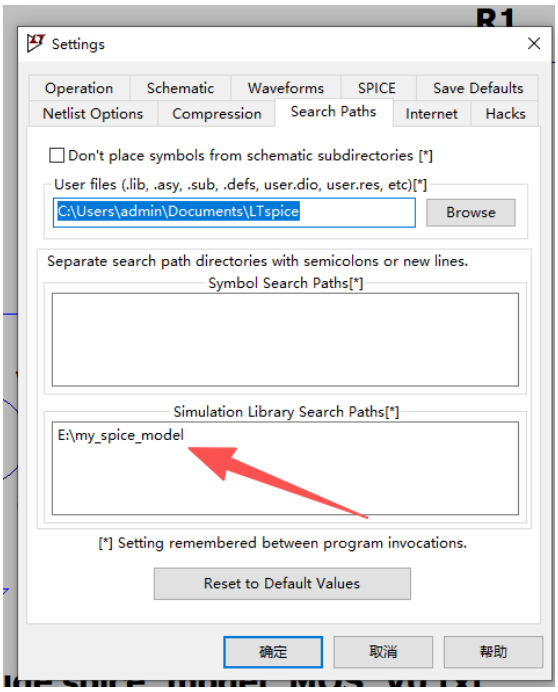
方法二：直接用.命令，把需要型号的.model放在电路图中，并把型号改成对应的型号即可



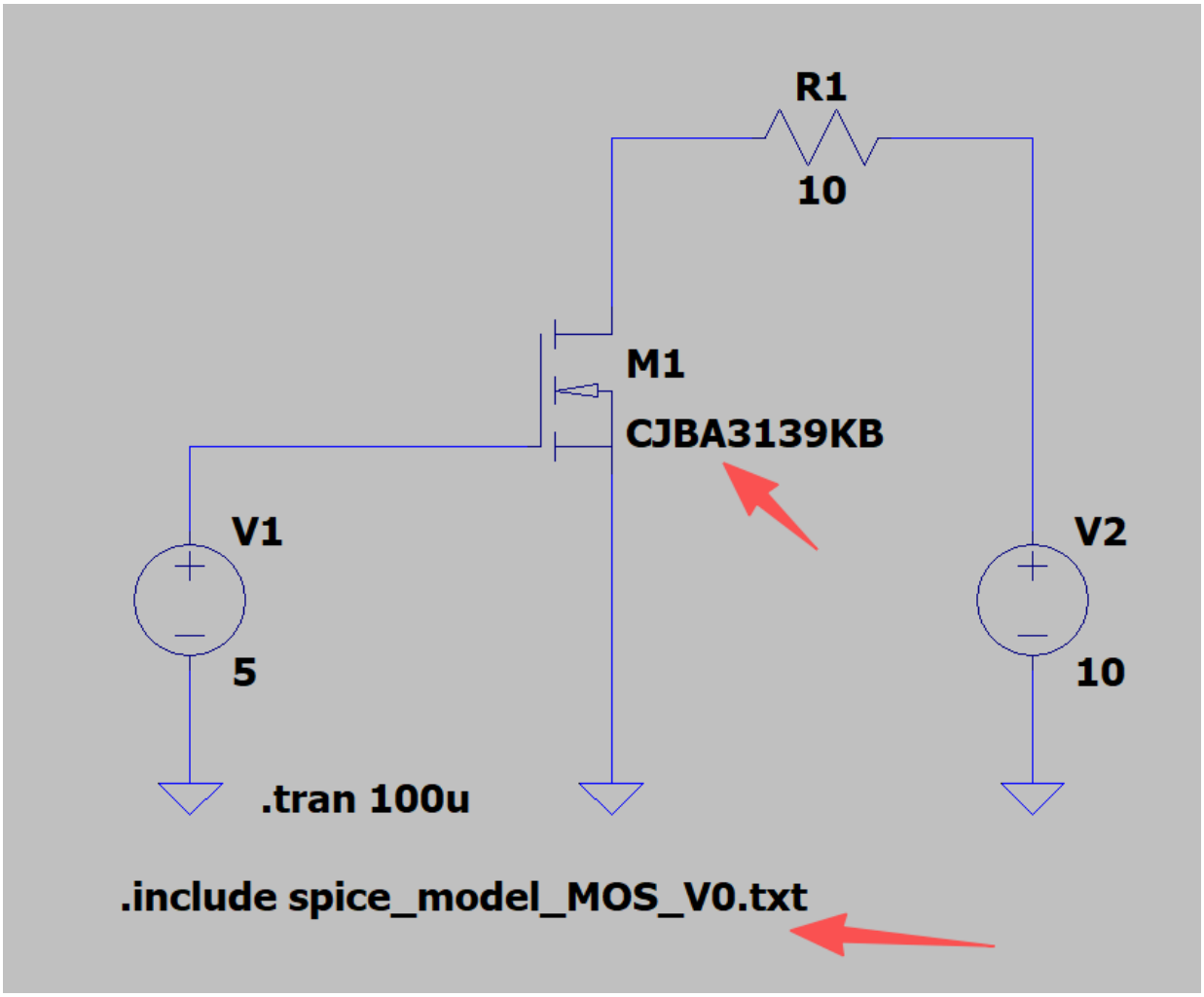
方法三：使用”.lib”命令或”.include”命令导入 spice 模型

先找到模型存放的目录，并把目录添加到LTSPICE中



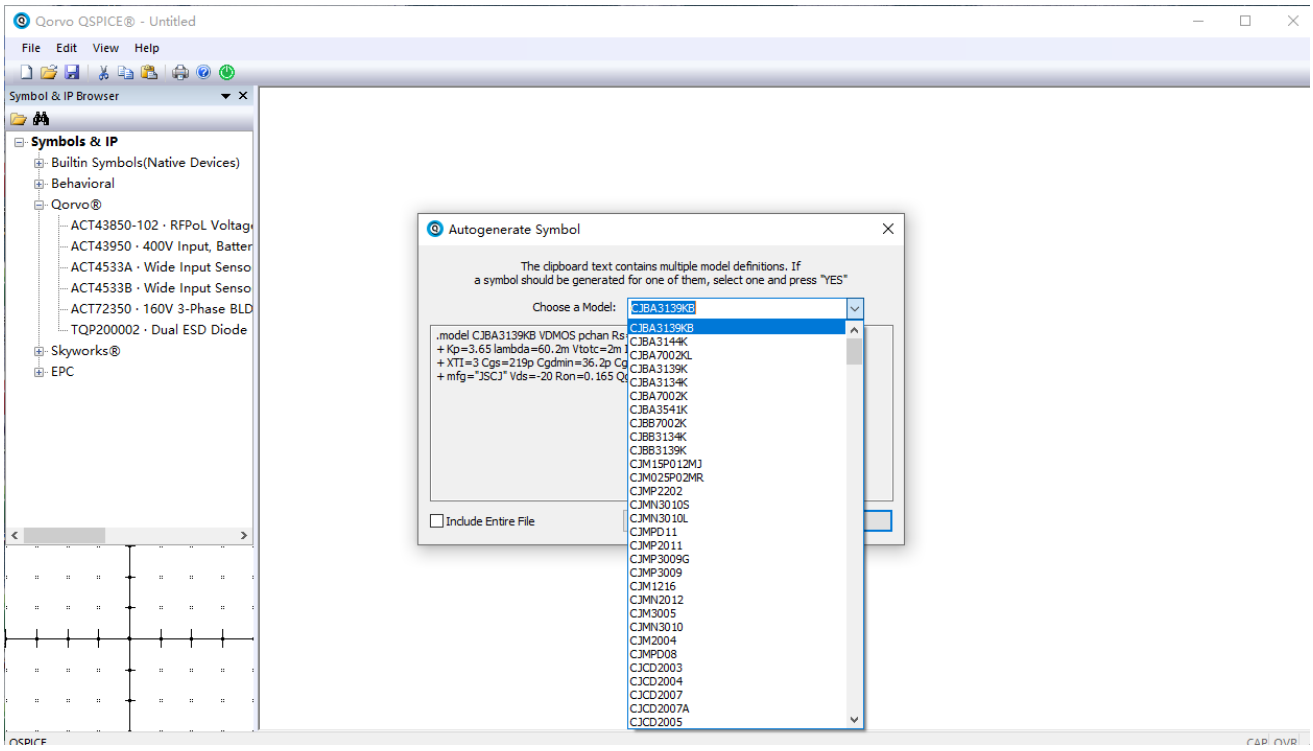


用.include命令，添加该文件，并且把MOS型号改成需要的型号即可

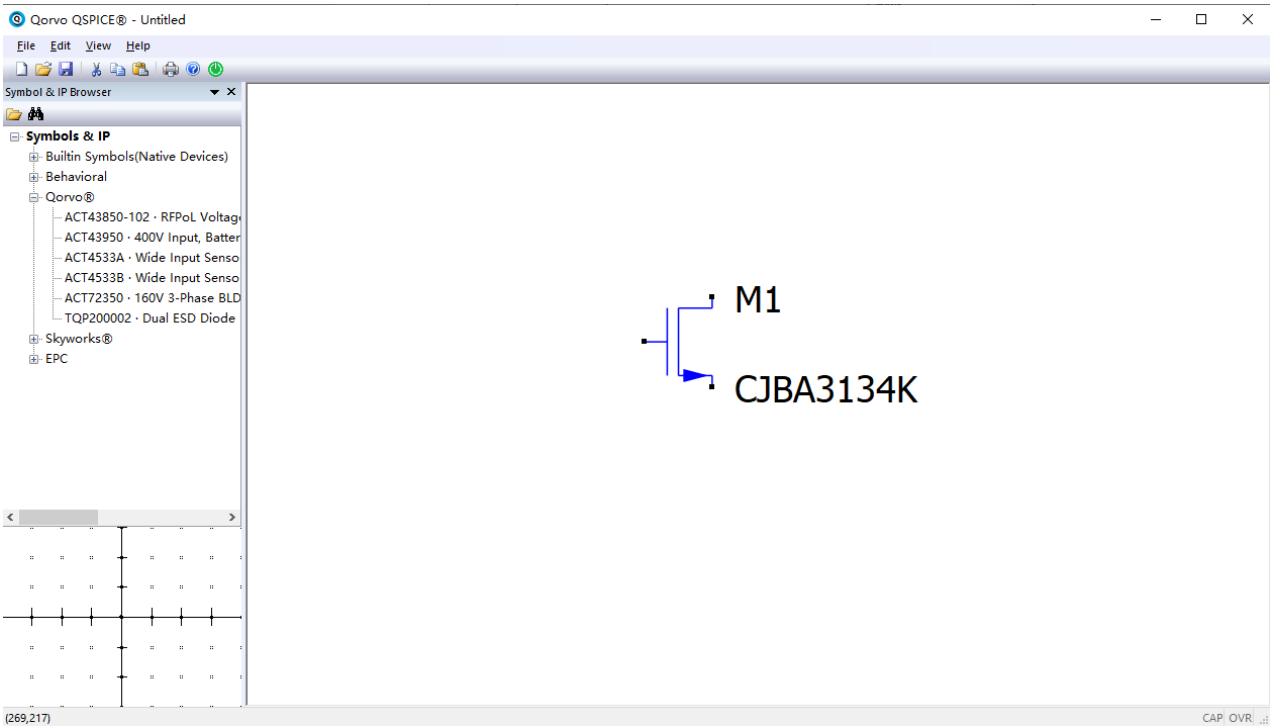


4、QSPICE导入长晶模型方法

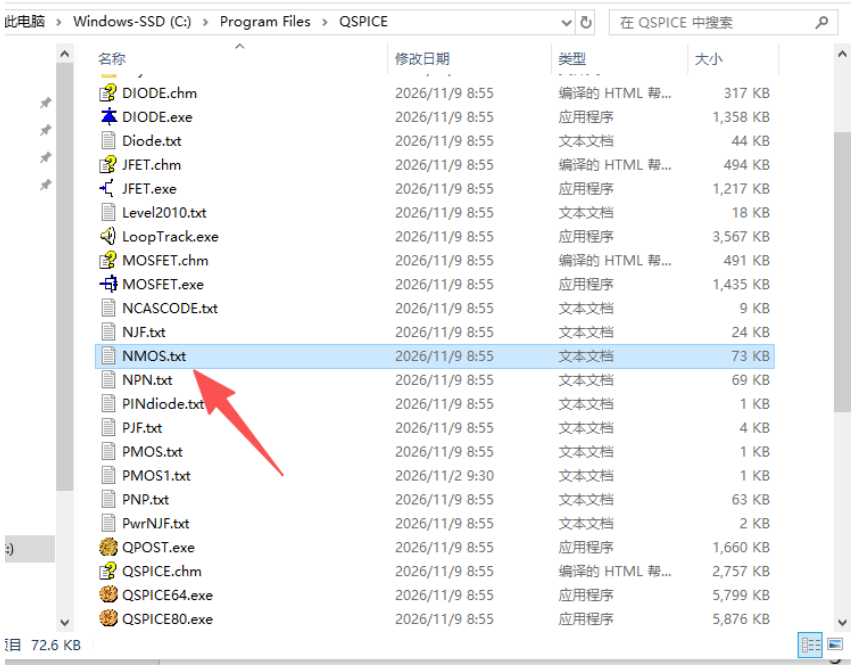
方法一：直接拖进QSPICE电路窗口（最简单）：

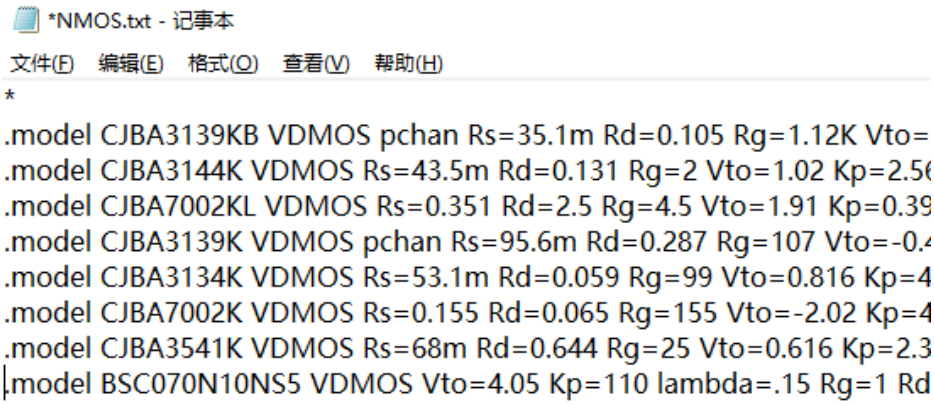


选择需要的型号，点YES即可

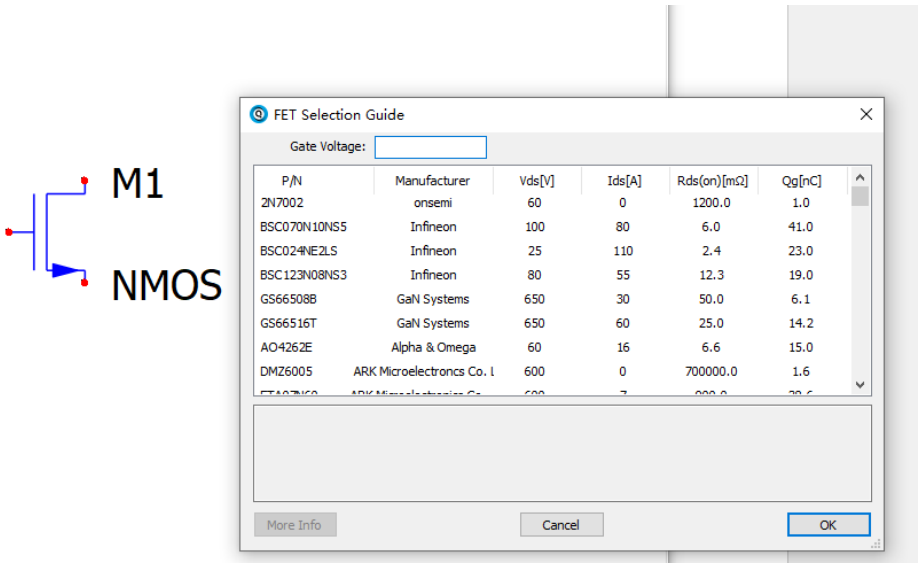


方法二：进入QSPICE根目录，找到模型模型，打开粘贴模型进去保存即可（需要获得admin权限）



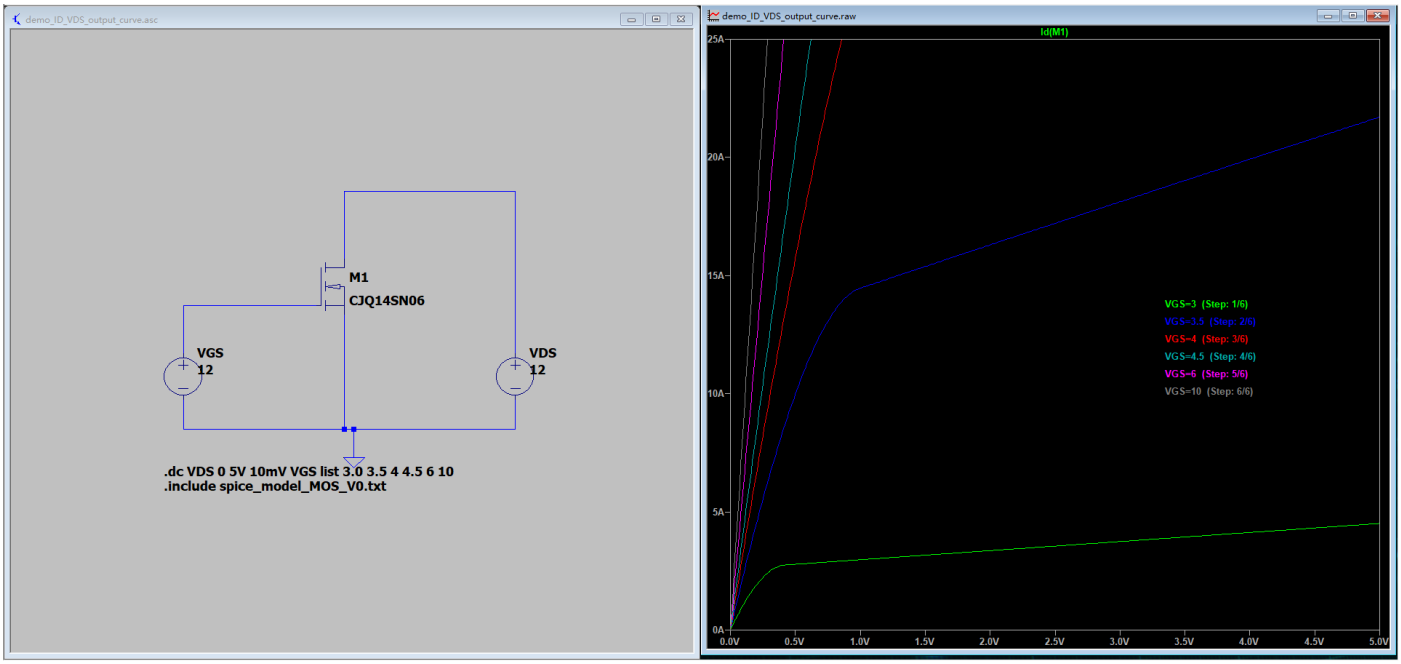


在电路图中，新建MOS，右键选择型号即可

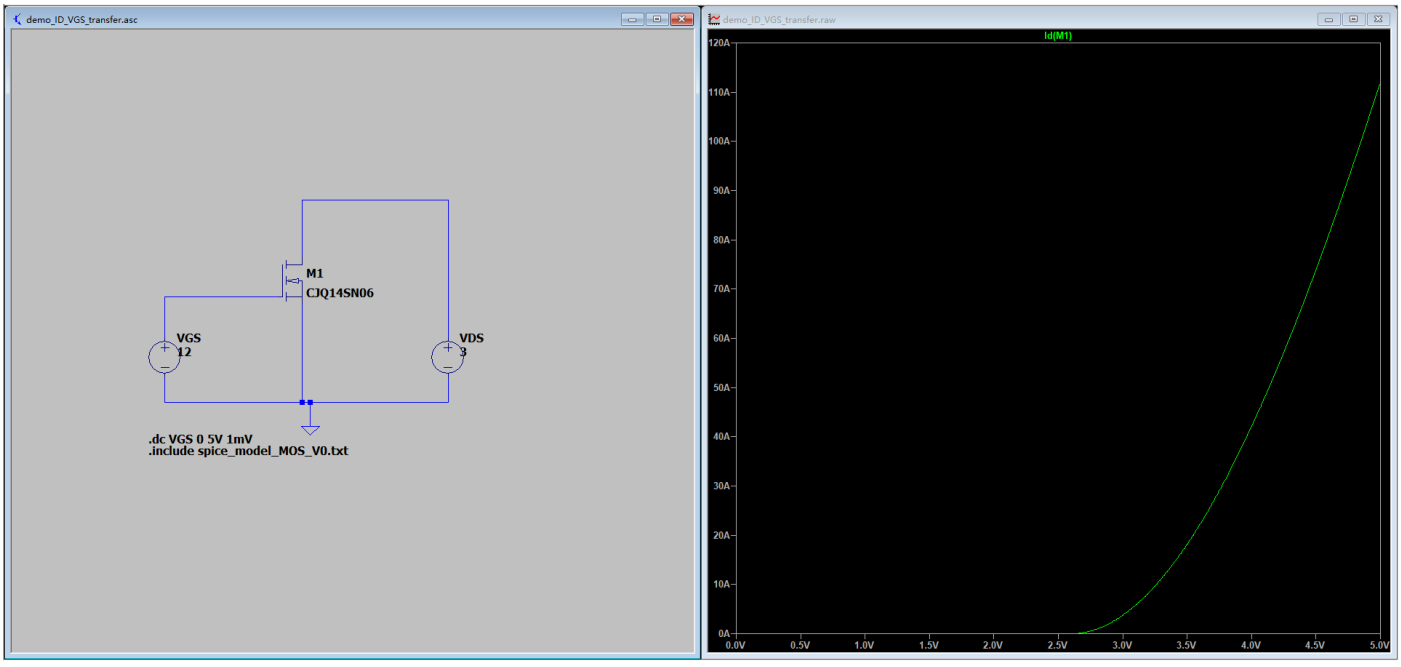


5、 常用MOSFET仿真电路

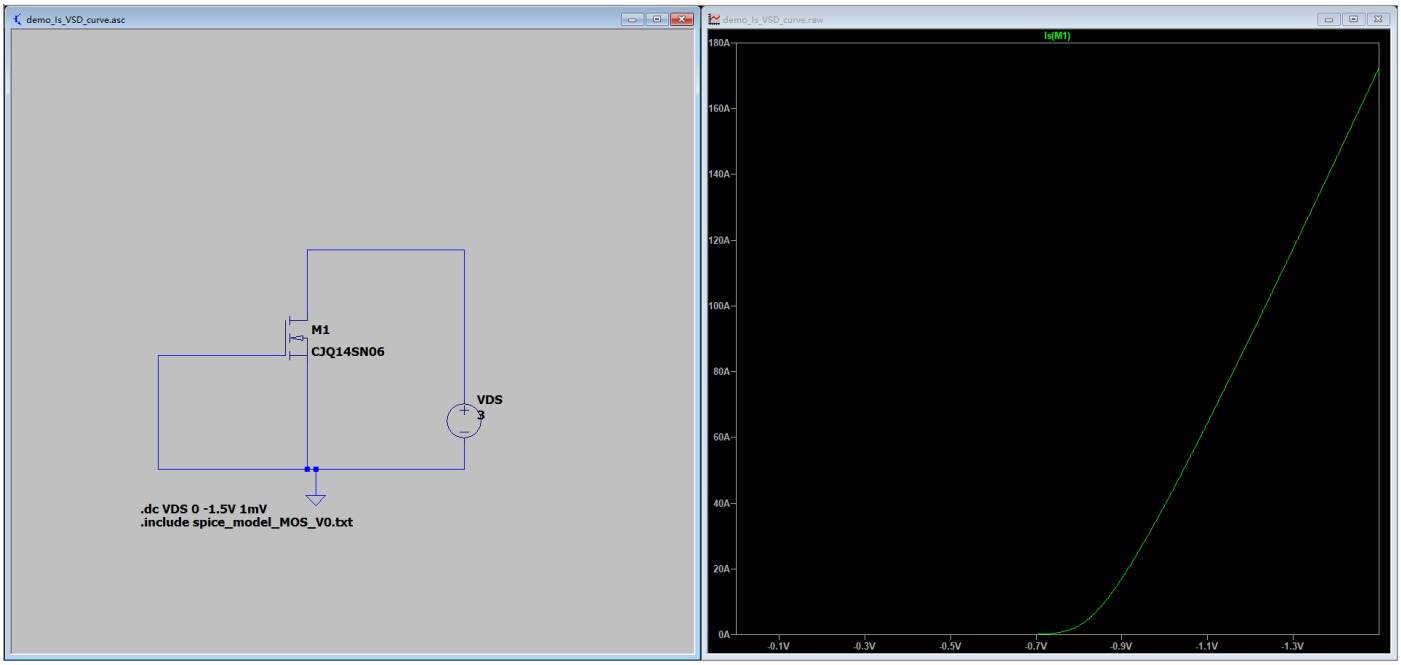
5.1 ID-VDS曲线



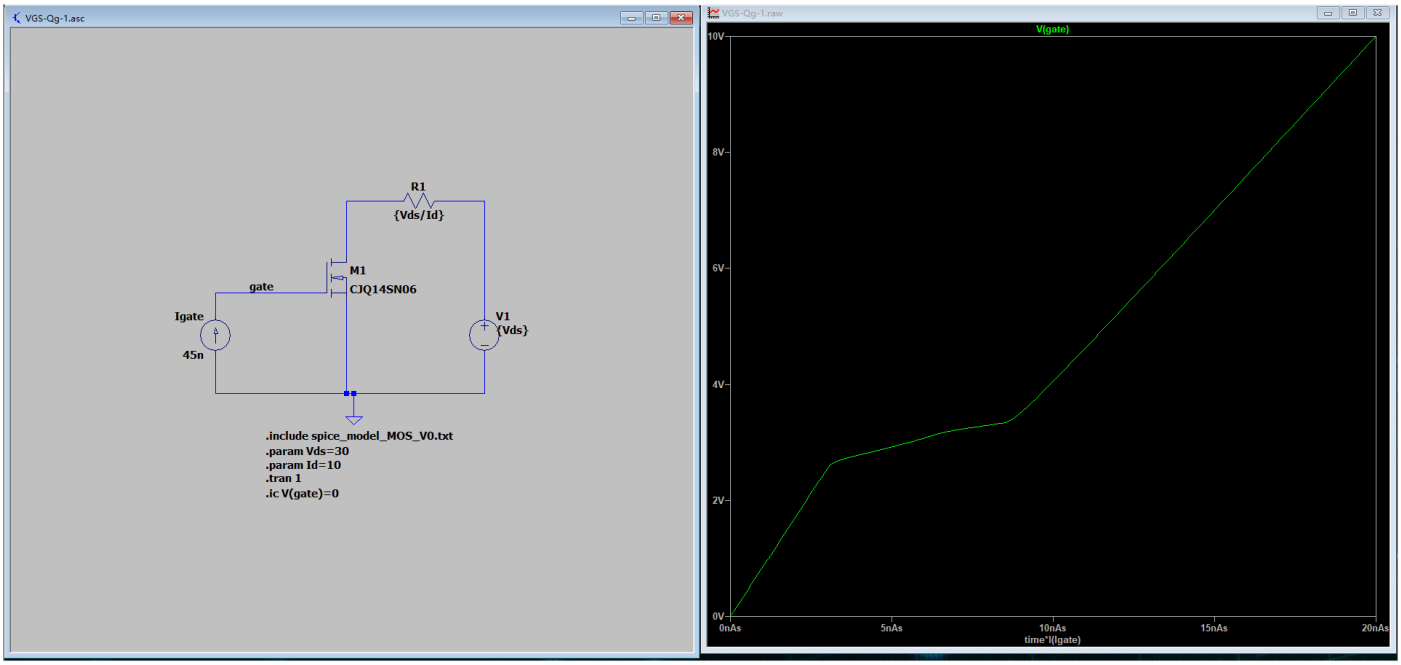
5.2 ID-VGS曲线



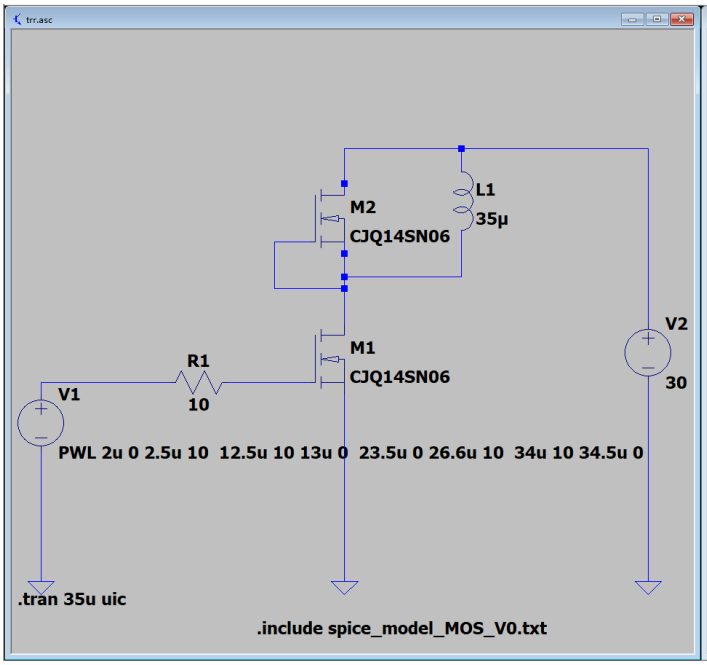
5.3 ID-VSD体二极管曲线

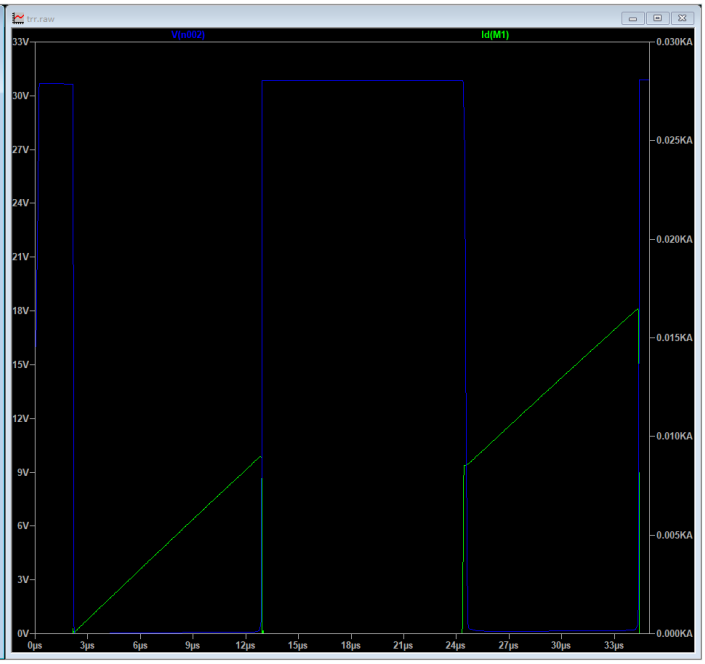


5.4 QG曲线



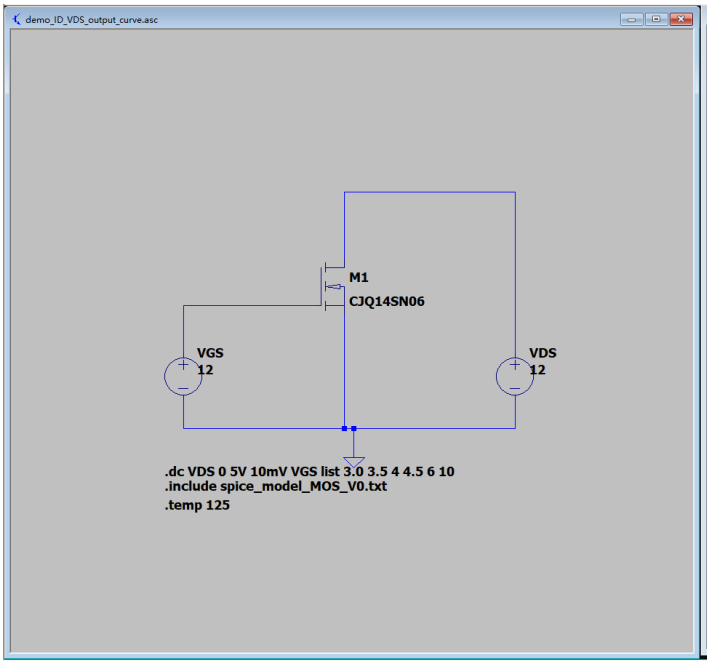
5.5 开关波形曲线

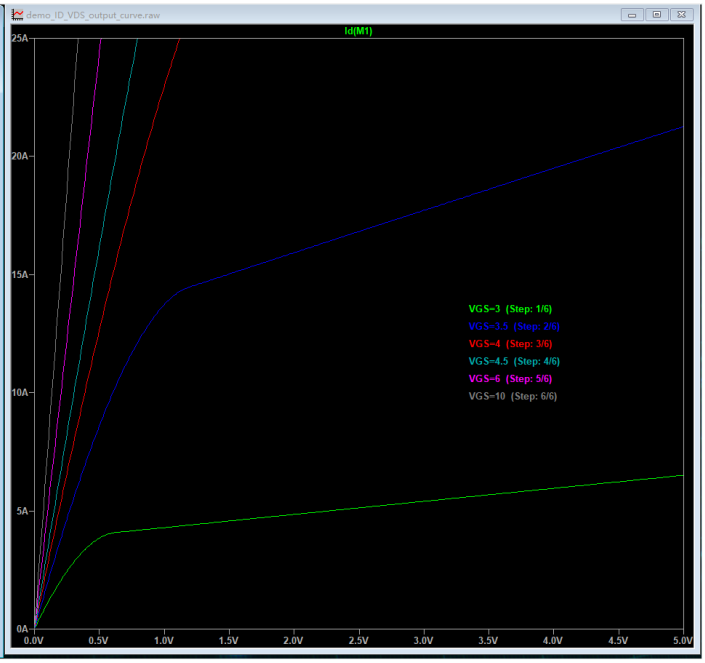




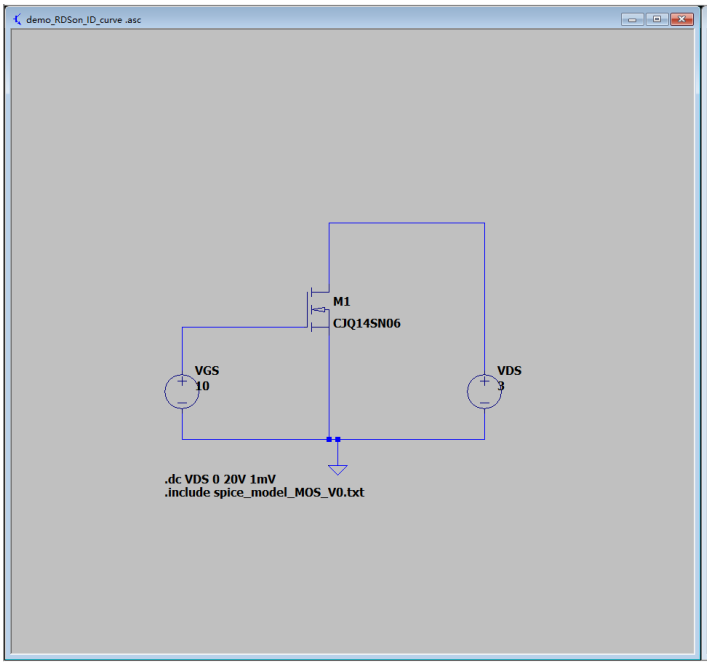
5.6 高温曲线仿真

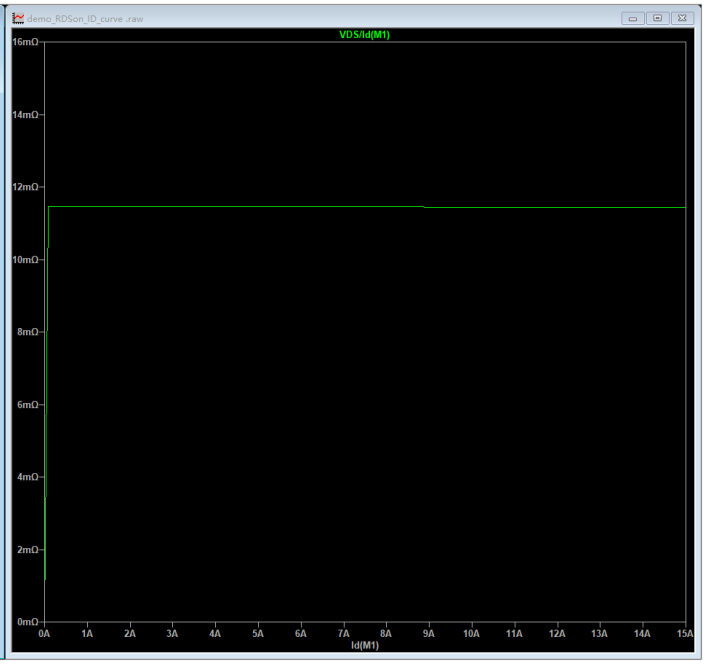
添加.TEMP XX指令，指定XX温度即可，默认是常温25℃



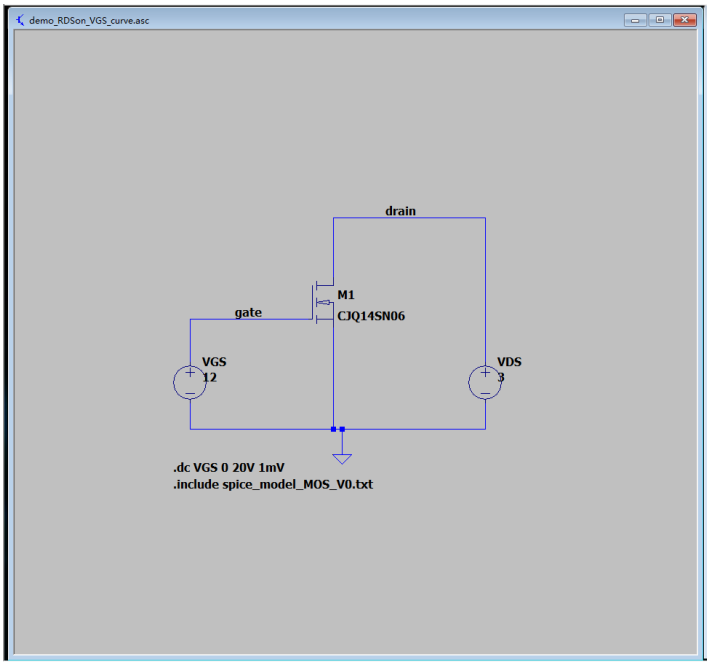


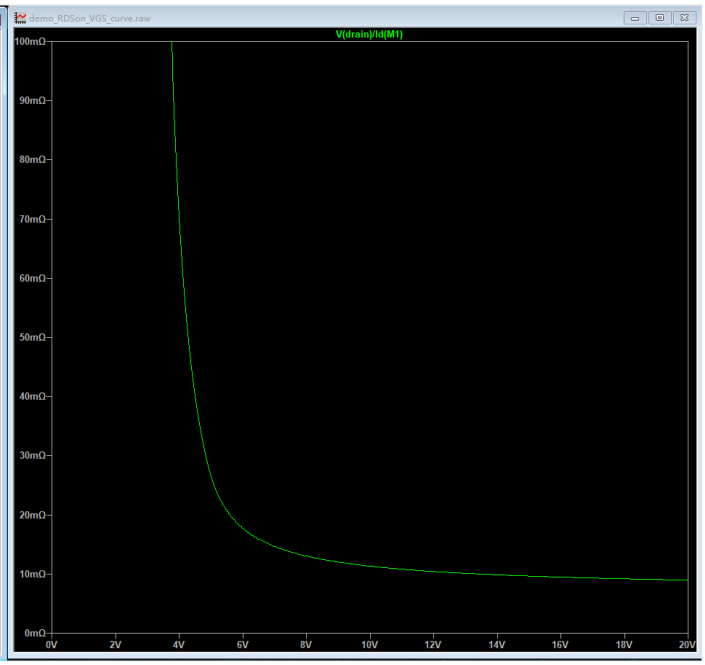
5.7 RDSON-ID曲线仿真





5.8 RDSON-VGS曲线仿真





6、模型局限性

优势

1. 仿真器原生器件，雅可比连续光滑，收敛鲁棒性极强，不容易出现仿真跑死情况，适合长时间电热耦合、环路仿真、多器件批量扫描；

2. 原生内置Cgd非线性米勒电容，开关米勒平台、Qg趋势描述能力远强于标准Level3 MOS；

3. 参数数量少、模型卡简洁，无额外辅助节点，仿真速度远快于查表宏模型子电路架构；

4. 原生支持AC小信号、.tf、.noise，环路补偿仿真友好；

局限

1. 私有扩展，仅限 LTspice，TINA、ngspice、Hspice 不识别VDMOS关键字；

2. 内核是简化平方律 MOS 方程，缺少准饱和、速度饱和、自热、电流拥挤物理项；多温度、大电流饱和区、体二极管I-V很难高精度拟合，就是你实测图看到的误差；

3. Cgs固定不变，不能模拟Cgs随电压变化；反向恢复tt只有一阶近似，精细Trr波形能力弱；

4. 不灵活，不能像宏模型子电路结构那样点对点对齐测试I-V曲线、非线性高精度拟合的CV曲线等。

7、参考文献

[1] Analog Devices Inc. LTspice Device Models Guide[EB/OL]. (2025)[2026-11-18]. [https://analogdevicesinc.github.io/ltspice-reference/ai_ref/DEVICE-MODELS-GUIDE.html]

[2] Analog Devices Inc. LTspice Circuit Elements Reference[EB/OL]. (2025)[2026-11-18]. [https://analogdevicesinc.github.io/ltspice-reference/ai_ref/CIRCUIT-ELEMENTS-REFERENCE.html]

[3]Simas M I C, Piedade M S, Freire J C. Experimental Characterization of Power VDMOS Transistors in Commutation and a Derived Model for Computer-Aided Design[J]. IEEE Transactions on Power Electronics, 1989, 4(3): 321-328.

[4]Analog Devices Inc. LTspice Quickstart Guide[EB/OL]. (2025)[2026-11-18].