



ON Semiconductor®

http://onsemi.com

APPLICATION NOTE

安森美MOSFET的仿真模型总结构

图1显示了安森美MOSFET仿真模型的结构图。该模型包括如下部件：

- MOSFET的一级静态仿真模型M1，极与漏极之间的非线性电容
- 源极与漏极之间的非线性电容（包含在D1中）
- MOSFET的寄生二极管D1
- 栅极内置电阻
- 栅极和源极之间的线性寄生电容
- 栅极，漏极和源极的封装电阻，以及漏极和源极之间的寄生电阻。寄生电感没有包括在模型中。

安森美MOSFET的模型应用Spice一级静态仿真模型，其仿真结果与实验匹配得非常好。如果采用更高级别的Spice静态仿真模型，必须测量更多的模型参数。否则，模型的准确性不能得到保证。

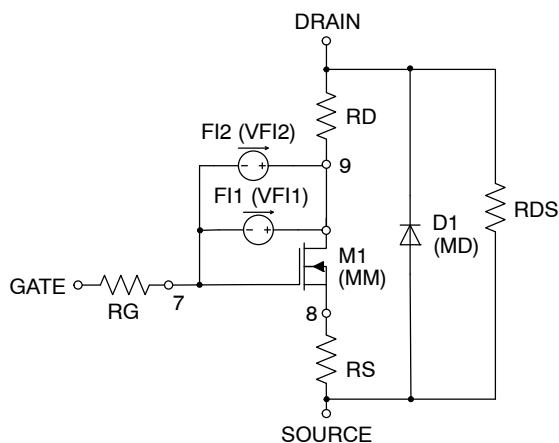


Figure 1. Structure of MOSFET Model

MOSFET一级静态仿真模型

图2是安森美MOSFET的主要开关部件：Spice一级静态仿真模型。要指出的是，M1不包括非线性电容。它包含的是栅极和源极间的寄生电容。

该电容的电容值不随电压变化，故而是线性的。M1的结构图显示在图2中。

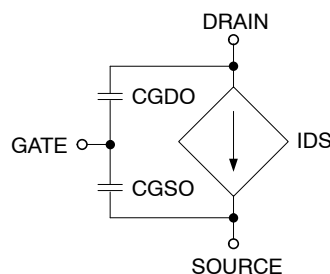


Figure 2. Structure of M1

图2中，CGDO和CGSO是寄生电容，其电容是常数。IDS是电压控制电流源。其控制电压为V_{GS}和V_{DS}。这个电压控制源的表达式示于方程 1。

$$\text{If } V_{GS} \leq V_{TO} \quad I_{DS} = 0 \quad (\text{eq. 1})$$

$$\text{If } V_{DS} \leq V_{SAT} \quad I_{DS} = KP \times (V_{GS} - V_{TO}) \times V_{DS} - \frac{1}{2} V_{DS}^2$$

$$\text{If } V_{DS} > V_{SAT} \quad I_{DS} = \frac{1}{2} \times KP \times (V_{GS} - V_{TO})^2 \times (1 + LAMBDA \times V_{DS})$$

这里

$$V_{SAT} = V_{GS} - V_{TO} \quad (\text{eq. 2})$$

MOSFET一级静态仿真模型的参数如下：

V_{TO}: 零偏压情况下的栅极阈值

LAMBDA: 沟道长度调制系数

KP: 跨导

CGSO: 栅极和漏极间的寄生电容

CGDO: 栅极和源极之间的寄生电容

寄生反向二极管

MOSFET的寄生反向二极管示于图1中的D1。该二极管用于仿真MOSFET寄生二极管的反向恢复

损耗和反向导通损耗。该二极管的结构示于图3

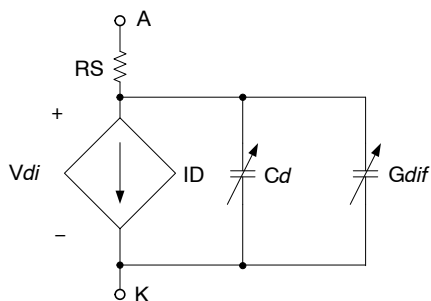


Figure 3. Structure of D1

图3中， I_D 是电压控制电流源。它实际上是pn结型二极管，不包括寄生电容。方程3是 I_D 的表达式

$$I_D = I_S \times \left(\exp\left(\frac{V_{di}}{N \times V_{th}}\right) - 1 \right) \quad (\text{eq. 3})$$

二极管耗尽区电容， C_d ，由方程4表示。

$$\text{If } V_{di} \leq FC \times VJ \quad (\text{eq. 4})$$

$$C_d = CJO \times \left(1 - \frac{V_{di}}{VJ} \right)^{-M}$$

$$\text{If } V_{di} > FC \times VJ$$

$$C_d = CJO \times (1 - FC)^{-(1+M)} \times \left[1 - FC \times (1 + M) + M \times \frac{V_{di}}{VJ} \right]$$

二极管的载流子扩散电容， C_{dif} ，由方程5表示。这里， I 是二极管的正向导通电流。

$$C_{dif} = TT \times \frac{dI}{dV_{di}} \quad (\text{eq. 5})$$

为着保护器件的目的，二极管的击穿电流 I_B 也包含在二极管模型中。该击穿电流由方程6表示

$$I_B = IBV \times \exp\left(-\frac{V_{di} + BV}{N \times V_{th}}\right) \quad (\text{eq. 6})$$

反向二极管的模型参数有：

- IS:** 饱和电流
- RS:** 串联电阻
- N:** 发射系数
- BV:** 反向击穿电压
- IBV:** 反向击穿电流
- TT:** 过渡时间
- CJO:** 零偏压结电容
- VJ:** 零偏压结电压
- M:** 结坡度系数
- FC:** 耗尽区电容系数

寄生电阻

图1中， R_{DS} 是MOSFET的寄生电阻， R_D 是漏极的寄生电阻， R_S 是源极的寄生电阻， R_G 是栅极的内置驱动电阻。

栅极和漏极之间的非线性电容

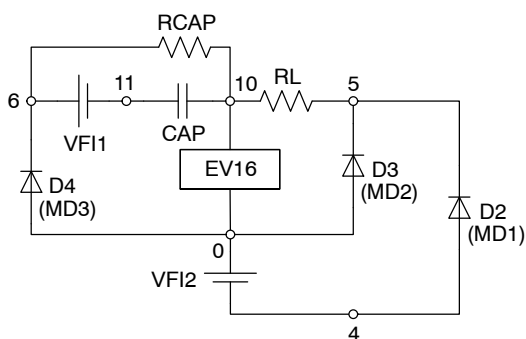
根据方程3~6，结 \square 具体模型参数， D_2 的正向导通电流非常小， \square 以被忽略。因此， D_2 的主要特性是一个pn结电容特性。在数量上， D_2 的电容与栅极和漏极之间的非线性电容相等。

D_2 的主要模型参数有：

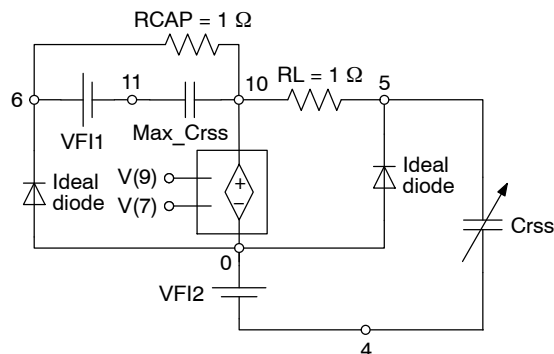
- CJO:** 零偏压结电容
- VJ:** 零偏压结电压
- M:** pn结坡度系数
- FC:** 耗尽区电容系数

根据具体模型参数， D_3 和 D_4 的导通压降非常小，其寄生电容为零。因此， D_3 和 D_4 以被处理为理想二极管，即零导通压降，零开关时间，和零漏电流。

图4(a)是 \square 控电流源 FI_1 和 FI_2 的控制电流。 \square 控电流源 FI_1 的电流与流过电压源 VFI_1 的电流相同。 \square 控电流源 FI_2 的电流与流过电压源 VFI_2 的电流相同。



(a) Control circuit of F11 and F12



(b) Analysis circuit of control circuit of F11 and F12

Figure 4. Gate-Drain Diode Schematic

图4(b)是图4(a)的分析电路。节点10的电压 V_{10} 取决于节点9和节点7之间的电压差。方程7给出了他们之间的电压关系。

$$V(10) = V(9) - V(7) \quad (\text{eq. 7})$$

从分析图 $\text{\textcircled{4}}$ 见，当 $V(9) < V(7)$ 时，Max_Crss 充放电，而Crss被短路了。通常这个过程是MOSFET开通的最后一个阶段和关断的最前一个阶段。当 $V(9) > V(7)$ 时，Crss 充放电，而Max_Crss 被短路了。通常这个过程中MOSFET源极和漏极之间电压快速 $\text{\textcircled{4}}$ 化。在整个开关过程中，Crss和Max_Crss交替工作，其实际效果相当于一个非线性电容。

实际上，栅极和漏极之间的非线性电容 $\text{\textcircled{4}}$ 有一个。但是，仿真模型中放置两个电容，Crss和Max_Crss，有助于增强仿真计算的收敛性。这是因为Crss在低偏压的情况下有较强的非线性。这时，用线性电容Max_Crss替代非线性电容Crss作仿真计算既能增强仿真的收敛性，又能保证仿真的准确性。

图5中，Max_Crss仿真的是电荷Q3段。Max_Crss充放电期间，栅极电压上升或者下降。而Crss仿真的是电荷Q2段，也就是Miller效应段。

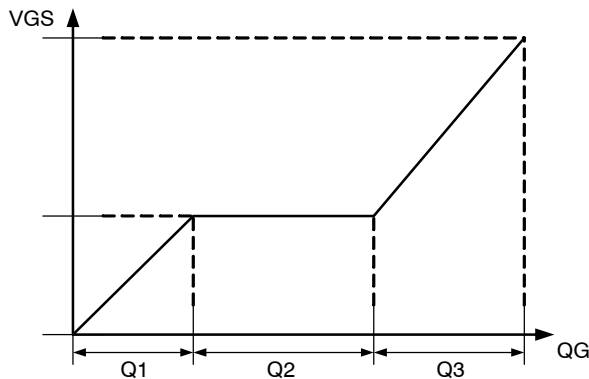


Figure 5. Total Gate Charge vs. Gate-source Voltage

仿真结果

本MOSFET模型应用于Buck电路的仿真结果如图6和图7所示。图6是MOSFET的开通波形。

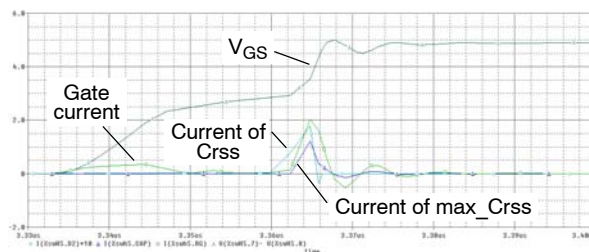


Figure 6. Simulated Turn-on Waveforms of MOSFET in a Buck Converter

图7是MOSFET的关断波形。

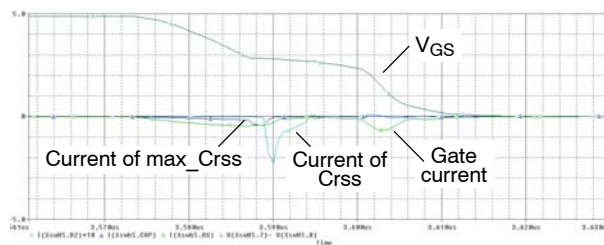


Figure 7. Simulated Turn-off Waveforms of MOSFET in a Buck Converter

ON Semiconductor and **ON** are registered trademarks of Semiconductor Components Industries, LLC (SCILLC). SCILLC reserves the right to make changes without further notice to any products herein. SCILLC makes no warranty, representation or guarantee regarding the suitability of its products for any particular purpose, nor does SCILLC assume any liability arising out of the application or use of any product or circuit, and specifically disclaims any and all liability, including without limitation special, consequential or incidental damages. "Typical" parameters which may be provided in SCILLC data sheets and/or specifications can and do vary in different applications and actual performance may vary over time. All operating parameters, including "Typicals" must be validated for each customer application by customer's technical experts. SCILLC does not convey any license under its patent rights nor the rights of others. SCILLC products are not designed, intended, or authorized for use as components in systems intended for surgical implant into the body, or other applications intended to support or sustain life, or for any other application in which the failure of the SCILLC product could create a situation where personal injury or death may occur. Should Buyer purchase or use SCILLC products for any such unintended or unauthorized application, Buyer shall indemnify and hold SCILLC and its officers, employees, subsidiaries, affiliates, and distributors harmless against all claims, costs, damages, and expenses, and reasonable attorney fees arising out of, directly or indirectly, any claim of personal injury or death associated with such unintended or unauthorized use, even if such claim alleges that SCILLC was negligent regarding the design or manufacture of the part. SCILLC is an Equal Opportunity/Affirmative Action Employer. This literature is subject to all applicable copyright laws and is not for resale in any manner.

PUBLICATION ORDERING INFORMATION

LITERATURE FULFILLMENT:

Literature Distribution Center for ON Semiconductor
P.O. Box 5163, Denver, Colorado 80217 USA
Phone: 303-675-2175 or 800-344-3860 Toll Free USA/Canada
Fax: 303-675-2176 or 800-344-3867 Toll Free USA/Canada
Email: orderlit@onsemi.com

N. American Technical Support: 800-282-9855 Toll Free
USA/Canada
Europe, Middle East and Africa Technical Support:
Phone: 421 33 790 2910
Japan Customer Focus Center
Phone: 81-3-5773-3850

ON Semiconductor Website: www.onsemi.com

Order Literature: <http://www.onsemi.com/orderlit>

For additional information, please contact your local
Sales Representative