

理解功率 MOSFET 的寄生电容

功率半导体的核心是 PN 结，当 N 型和 P 型半导体结合后，在结合面处的两侧形成空间电荷区，也称为耗尽层，当 PN 结两端的电压变化的时候，PN 结的空间电荷区的电荷也发生改变；另外，N 区电子和 P 区空穴因为浓度的差异相互扩散，也会在 PN 结的两侧产生电荷存储效应，这些因素作用在一起，在任何半导体功率器件内部，就会产生相应的寄生电容。

MOSFET 的寄生电容是动态参数，直接影响到其开关性能，MOSFET 的栅极电荷也是基于电容的特性，下面将从结构上介绍这些寄生电容，然后理解这些参数在功率 MOSFET 数据表中的定义，以及它们的定义条件。

1、功率 MOSFET 数据表的寄生电容

沟槽型功率 MOSFET 的寄生电容的结构如图 1 所示，可以看到，它具有三个内在的寄生电容：G 和 S 的电容 C_{GS} ；G 和 D 的电容： C_{GD} ，也称为反向传输电容、米勒电容， C_{rss} ；D 和 S 的电容 C_{DS} 。

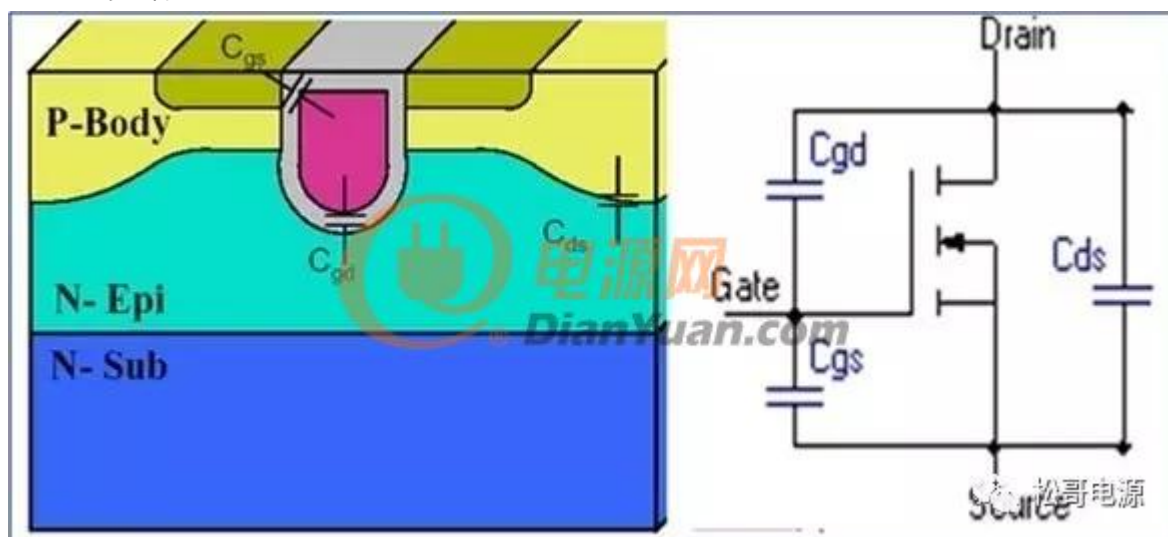


图 1：沟槽型 MOSFET 寄生电容

功率 MOSFET 的寄生电容参数在数据表中的定义如下图所示，可以看到，它们和上面实际的寄生参数并不完全相同，相应的关系是：

输入电容： $C_{iss}=C_{GS}+C_{GD}$

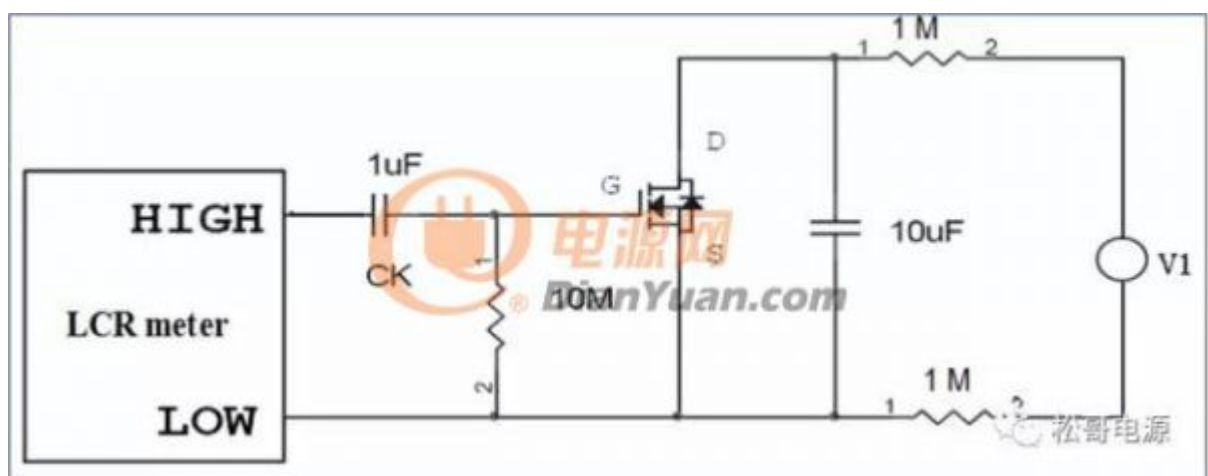
输出电容： $C_{oss}=C_{DS}+C_{GD}$

反向传输电容： $C_{rss}=C_{GD}$

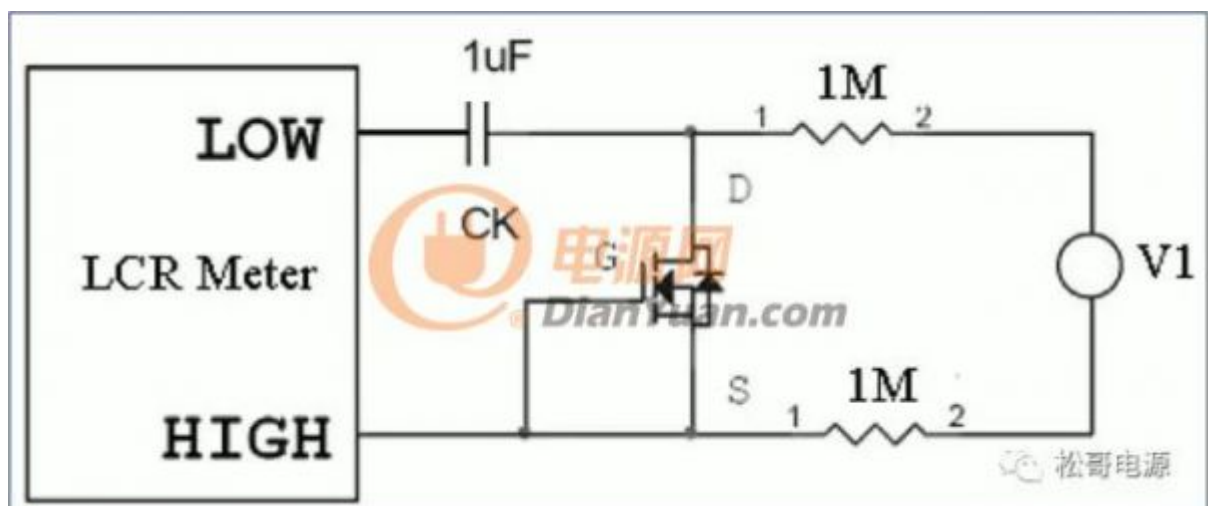
 ALPHA & OMEGA SEMICONDUCTOR		AON6512 30V N-Channel AlphaMOS			
					
DYNAMIC PARAMETERS					
C_{iss}	Input Capacitance	$V_{GS}=0V, V_{DS}=15V, f=1MHz$		3430	pF
C_{oss}	Output Capacitance			132	pF
C_{riss}	Reverse Transfer Capacitance			175	pF

2、功率 MOSFET 寄生电容测试

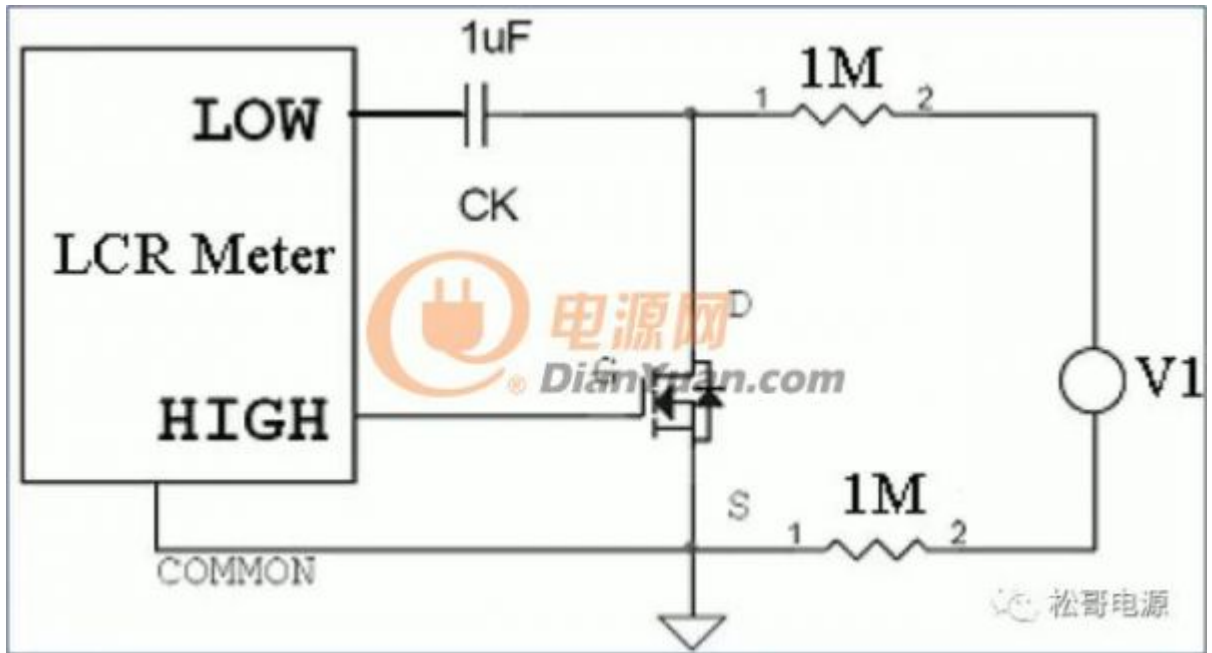
寄生电容的测试的条件为： $V_{GS}=0$ ， $V_{DS}=BVDSS/2$ ， $f=1MHz$ ，就是使用的测量电压为额定电压的一半，测试的电路如下图所示。



(a) C_{iss} 测试电路



(b) C_{oss} 测试电路



(c) Crss 测试电路



(d) 标准的 LCR

图 2：寄生电容测试电路

功率 MOSFET 栅极的多晶硅和源极通道区域的电容决定了这些参数，其不具有偏向的敏感度，也非常容易重现。

沟槽型功率 MOSFET 的寄生电容和以下的因素相关：

- 沟道的宽度和沟槽的宽度
- G 极氧化层的厚度和一致性
- 沟槽的深度和形状
- S 极体-EPI 层的掺杂轮廓
- 体二极管 PN 结的面积和掺杂轮廓

高压平面功率 MOSFET 的 C_{rss} 由以下因素决定：

- 设计参数，如多晶硅的宽度，晶胞斜度
- 栅极氧化层厚度和一致性
- 体水平扩散，决定了 JFET 区域的宽度
- 体-EPI 和 JFET 区域的掺杂轮廓
- 栅极多晶硅掺杂通常不是一个因素，由于其是退化的掺杂；JFET 区域的宽度，JFET 轮廓和 EPI 层掺杂轮廓主导着这个参数

高压平面功率 MOSFET 的 C_{oss} 由以下因素决定：

- 所有影响 C_{rss} 参数，由于它是 C_{oss} 一部分
- 体二极管 PN 结区域和掺杂轮廓

3、功率 MOSFET 寄生电容的非线性

MOSFET 的电容是非线性的，是直流偏置电压的函数，图 3 示出了寄生电容随 V_{DS} 电压增加而变化。所有的 MOSFET 的寄生电容来源于不依赖于偏置的氧化物电容和依赖于偏置的硅耗尽层电容的组合。由于器件里的耗尽层受到了电压影响，电容 C_{GS} 和 C_{GD} 随着所加电压的变化而变化。

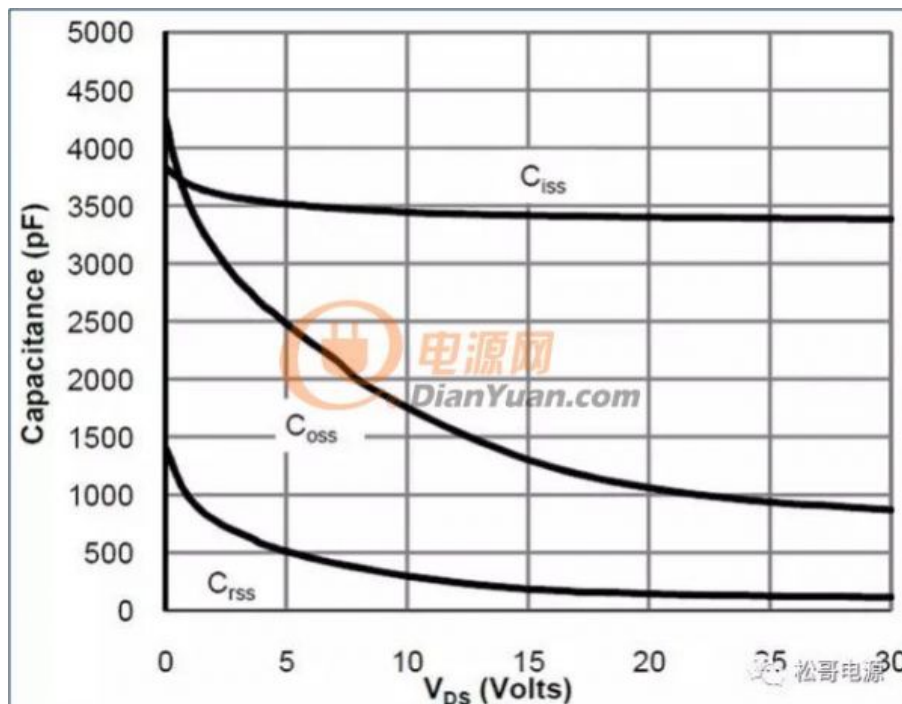


图 3：AON6512 电容随电压变化

电容随着 V_{DS} 电压的增加而减小，尤其是输出电容和反向传输电容。当电压增加时，

和 VDS 相关电容的减小来源于耗尽层电容减小，耗尽层区域扩大。然而相对于 CGD，CGS 受电压的影响非常小，CGD 受电压影响程度是 CGS 的 100 倍以上。

图 4 显示出了在 VDS 电压值较低时，当 VGS 电压增加大于阈值电压后，MOSFET 输入电容会随着 VGS 增加而增加。

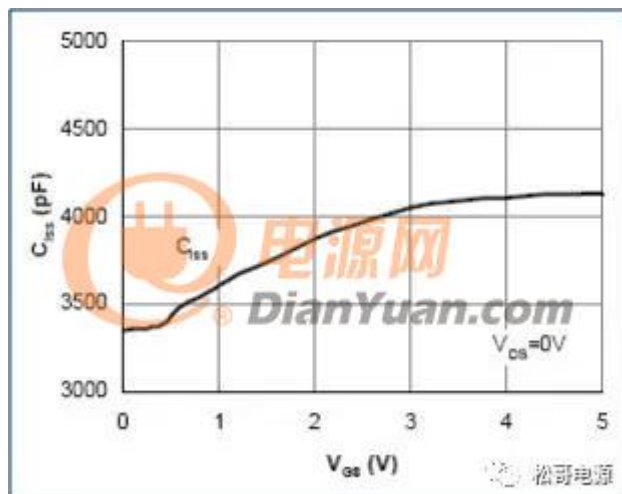


图 4：输入电容随 VGS 变化

因为 MOSFET 沟道的电子反形层形成，在沟槽底部形成电子聚集层，这也是为什么一旦电压超过 QGD 阶级，栅极电荷特性曲线的斜率增加的原因。

所有的电容参数不受温度的影响，温度变化时，它们的值不会发生变化。