

如何正确的选择 MOSFET

随着制造技术的发展和进步，系统设计人员必须跟上技术的发展步伐，才能为其设计挑选最合适的电子器件。**MOSFET** 是电气系统中的基本部件，工程师需要深入了解它的关键特性及指标才能做出正确选择。

本文将讨论如何根据 $R_{DS(ON)}$ 、热性能、雪崩击穿电压及开关性能指标来选择正确的 MOSFET。MOSFET 有两大类型：**N 沟道**和**P 沟道**。在功率系统中，MOSFET 可被看成电气开关。当在 N 沟道 MOSFET 的栅极和源极间加上正电压时，其开关导通。导通时，电流可经开关从漏极流向源极。漏极和源极之间存在一个内阻，称为导通电阻 $R_{DS(ON)}$ 。必须清楚 MOSFET 的栅极是个高阻抗端，因此，总是要在栅极加上一个电压。如果栅极为悬空，器件将不能按设计意图工作，并可能在不恰当的时刻导通或关闭，导致系统产生潜在的功率损耗。当源极和栅极间的电压为零时，开关关闭，而电流停止通过器件。虽然这时器件已经关闭，但仍然有微小电流存在，这称之为漏电流，即 I_{DSS} 。

第一步：选用 N 沟道还是 P 沟道

为设计选择正确器件的第一步是决定采用 N 沟道还是 P 沟道 MOSFET。在典型的功率应用中，当一个 MOSFET 接地，而负载连接到干线电压上时，该 MOSFET 就构成了低压侧开关。在低压侧开关中，应采用 N 沟道 MOSFET，这是出于对关闭或导通器件所需电压的考虑。当 MOSFET 连接到总线及负载接地时，就要用高压侧开关。通常会在这个拓扑中采用 P 沟道 MOSFET，这也是出于对电压驱动力的考虑。

要选择适合应用的器件，必须确定驱动器所需的电压，以及在设计中最简易执行的方法。下一步是确定所需的额定电压，或者器件所能承受的最大电压。额定电压越大，器件的成本就越高。根据实践经验，额定电压应当大于干线电压或总线电压。这样才能提供足够的保护，使 MOSFET 不会失效。就选择 MOSFET 而言，必须确定漏极至源极间可能承受的最大电压，即最大 V_{DS} 。知道 MOSFET 能承受的最大电压会随温度而变化这点十分重要。设计人员必须在整个工作温度范围内测试电压的变化范围。额定电压必须有足够的余量覆盖这个变化范围，确保电路不会失效。设计工程师需要考虑的其他安全因素包括由开关电子设备(如电机或变压器)诱发的电压瞬变。不同应用的额定电压也有所不同；通常，便携式设备为 20V、FPGA 电源为 20~30V、85~220VAC 应用为 450~600V。

第二步：确定额定电流

第二步是选择 MOSFET 的额定电流。视电路结构而定，该额定电流应是负载在所有情况下能够承受的最大电流。与电压的情况相似，设计人员必须确保所选的 MOSFET 能承受这个额定电流，即使在系统产生尖峰电流时。两个考虑的电流情况是连续模式和脉冲尖峰。在连续导通模式下，MOSFET 处于稳态，此时电流连续通过器件。脉冲尖峰是指有大量电涌(或尖峰电流)流过器件。一旦确定了这些条件下的最大电流，只需直接选择能承受这个最大电流的器件便可。

选好额定电流后，还必须计算导通损耗。在实际情况下，MOSFET并不是理想的器件，因为在导电过程中会有电能损耗，这称之为导通损耗。MOSFET在“导通”时就像一个可变电阻，由器件的RDS(ON)所确定，并随温度而显著变化。器件的功率耗损可由 $I_{load}^2 \times RDS(ON)$ 计算，由于导通电阻随温度变化，因此功率耗损也会随之按比例变化。对MOSFET施加的电压VGS越高，RDS(ON)就会越小；反之RDS(ON)就会越高。对系统设计人员来说，这就是取决于系统电压而需要折中权衡的地方。对便携式设计来说，采用较低的电压比较容易(较为普遍)，而对于工业设计，可采用较高的电压。注意RDS(ON)电阻会随着电流轻微上升。关于RDS(ON)电阻的各种电气参数变化可在制造商提供的技术资料表中查到。

技术对器件的特性有着重大影响，因为有些技术在提高最大VDS时往往会使RDS(ON)增大。对于这样的技术，如果打算降低VDS和RDS(ON)，那么就得增加晶片尺寸，从而增加与之配套的封装尺寸及相关的开发成本。业界现有好几种试图控制晶片尺寸增加的技术，其中最主要的是沟道和电荷平衡技术。

在沟道技术中，晶片中嵌入了一个深沟，通常是低电压预留的，用于降低导通电阻RDS(ON)。为了减少最大VDS对RDS(ON)的影响，开发过程中采用了外延生长柱/蚀刻柱工艺。例如，飞兆半导体开发了称为SuperFET的技术，针对RDS(ON)的降低而增加了额外的制造步骤。

这种对RDS(ON)的关注十分重要，因为当标准MOSFET的击穿电压升高时，RDS(ON)会随之呈指数级增加，并且导致晶片尺寸增大。SuperFET工艺将RDS(ON)与晶片尺寸间的指数关系变成了线性关系。这样，SuperFET器件便可在小晶片尺寸，甚至在击穿电压达到600V的情况下，实现理想的低RDS(ON)。结果是晶片尺寸可减小达35%。而对于最终用户来说，这意味着封装尺寸的大幅减小。第三步：确定热要求——选择MOSFET的下一步是计算系统的散热要求。设计人员必须考虑两种不同的情况，即最坏情况和真实情况。建议采用针对最坏情况的计算结果，因为这个结果提供更大的安全余量，能确保系统不会失效。在MOSFET的资料表上还有一些需要注意的测量数据；比如封装器件的半导体结与环境之间的热阻，以及最大的结温。

器件的结温等于最大环境温度加上热阻与功率耗散的乘积(结温=最大环境温度+[热阻×功率耗散])。根据这个方程可解出系统的最大功率耗散，即按定义相等于 $I^2 \times RDS(ON)$ 。由于设计人员已确定将要通过器件的最大电流，因此可以计算出不同温度下的RDS(ON)。值得注意的是，在处理简单热模型时，设计人员还必须考虑半导体结/器件外壳及外壳/环境的热容量；即要求印刷电路板和封装不会立即升温。

雪崩击穿是指半导体器件上的反向电压超过最大值，并形成强电场使器件内电流增加。该电流将耗散功率，使器件的温度升高，而且有可能损坏器件。半导体公司都会对器件进行雪崩测试，计算其雪崩电压，或对器件的稳健性进行测试。计算额定雪崩电压有两种方法：一是统计法，另一是热计算。而热计算因为较为实用而得到广泛采用。不少公司都有提供其器件测试的详情，如飞兆半导体提供了“Power MOSFET Avalanche Guidelines”(Power MOSFET Avalanche Guidelines—可以到Fairchild网站去下载)。除计算外，技术对雪崩效应也有

很大影响。例如，晶片尺寸的增加会提高抗雪崩能力，最终提高器件的稳健性。对最终用户而言，这意味着要在系统中采用更大的封装件。第四步：决定开关性能

选择MOSFET的最后一步是决定MOSFET的开关性能。影响开关性能的参数有很多，但最重要的是栅极/漏极、栅极/源极及漏极/源极电容。这些电容会在器件中产生开关损耗，因为在每次开关时都要对它们充电。MOSFET的开关速度因此被降低，器件效率也下降。为计算开关过程中器件的总损耗，设计人员必须计算开通过程中的损耗(E_{on})和关闭过程中的损耗(E_{off})。MOSFET开关的总功率可用如下方程表达： $P_{sw} = (E_{on} + E_{off}) \times \text{开关频率}$ 。而栅极电荷(Q_{gd})对开关性能的影响最大。

基于开关性能的重要性，新的技术正在不断开发以解决这个开关问题。芯片尺寸的增加会加大栅极电荷；而这会使器件尺寸增大。为了减少开关损耗，新的技术如沟道厚底氧化已经应运而生，旨在减少栅极电荷。举例说，SuperFET这种新技术就可通过降低RDS(ON)和栅极电荷(Q_g)，最大限度地减少传导损耗和提高开关性能。这样，MOSFET就能应对开关过程中的高速电压瞬变(dv/dt)和电流瞬变(di/dt)，甚至可在更高的开关频率下可靠地工作。

结论

通过了解MOSFET的类型及了解和决定它们的重要性能特点，设计人员就能针对特定设计选择正确的MOSFET。由于MOSFET是电气系统中最基本的部件之一，选择正确的MOSFET对整个设计是否成功起着关键的作用。