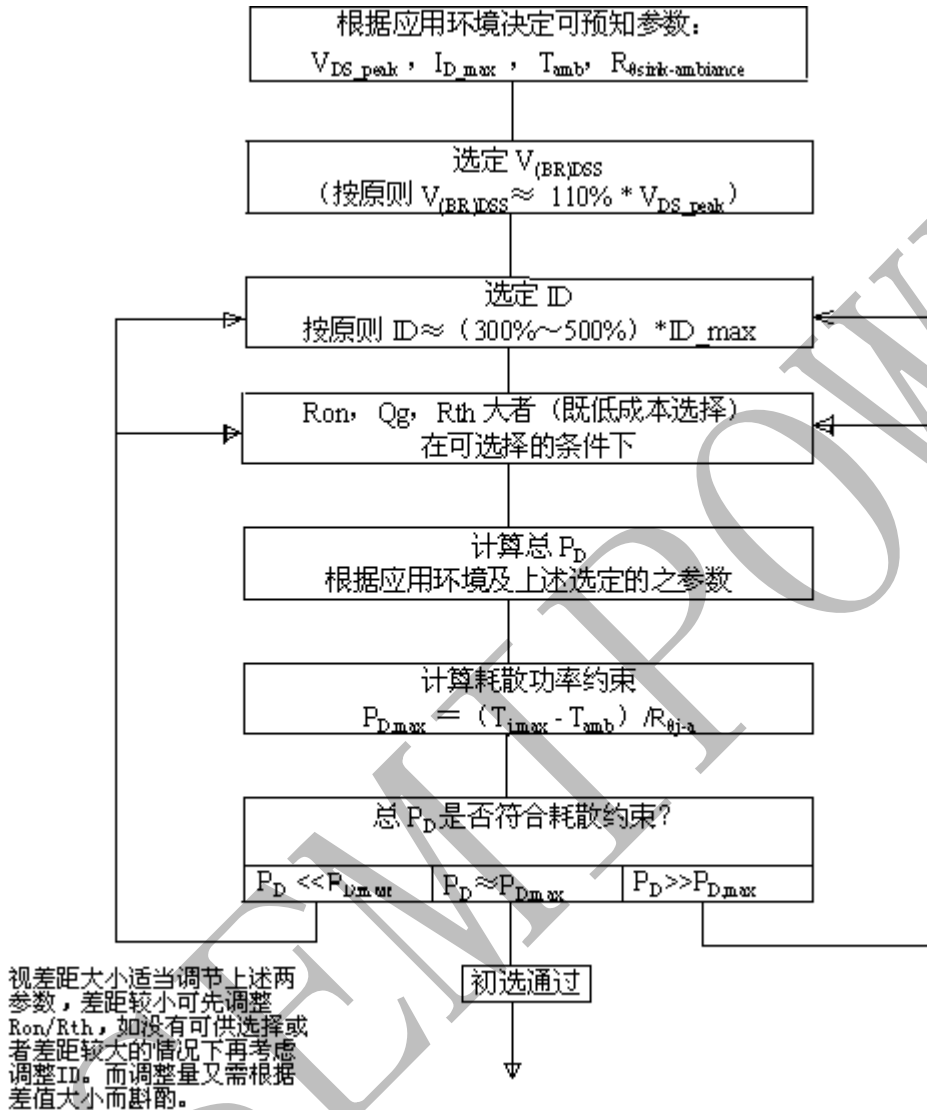


### 一、设计选择

MOSFET 的应用选择须综合各方面的限制及要求。下面主要从应用的安全可靠性方面阐述选型的基本原则。

建议初选之基本步骤：



下面详细解释其中各参数选择之原则及注意事项。

#### 1 ) 电压应力：

在电源电路应用中，往往首先考虑漏源电压  $V_{DS}$  的选择。在此上的基本原则为 MOSFET 实际工作环境中的最大峰值漏源极间的电压不大于器件规格书中标称漏源击穿电压的 90% 。即：

$$V_{DS\_peak} \leq 90\% * V_{(BR)DSS}$$

注：一般地， $V_{(BR)DSS}$  具有正温度系数。故应取设备最低工作温度条件下之  $V_{(BR)DSS}$  值作为参考。

## 2) 漏极电流:

其次考虑漏极电流的选择。基本原则为 MOSFET 实际工作环境中的最大周期漏极电流不大于规格书中标称最大漏源电流的 90%；漏极脉冲电流峰值不大于规格书中标称漏极脉冲电流峰值的 90%  
即： $I_{D\_max} \leq 90\% * I_D$

$$I_{D\_pulse} \leq 90\% * I_{DP}$$

注：一般地， $I_{D\_max}$  及  $I_{D\_pulse}$  具有负温度系数，故应取器件在最大结温条件下之  $I_{D\_max}$  及  $I_{D\_pulse}$  值作为参考。器件此参数的选择是极为不确定的——主要是受工作环境，散热技术，器件其它参数（如导通电阻，热阻等）等相互制约影响所致。最终的判定依据是结点温度（即如下第六条之“耗散功率约束”）。根据经验，在实际应用中规格书目中之  $I_D$  会比实际最大工作电流大数倍，这是因为散耗功率及温升之限制约束。在初选计算时期还须根据下面第六条的散耗功率约束不断调整此参数。建议初选于 3~5 倍左右  $I_D = (3\sim5) * I_{D\_max}$ 。

## 3) 驱动要求:

MOSFET 的驱动要求由其栅极总充电电量（ $Q_g$ ）参数决定。在满足其它参数要求的情况下，尽量选择  $Q_g$  小者以便驱动电路的设计。驱动电压选择在保证远离最大栅源电压（ $V_{GSS}$ ）前提下使  $R_{on}$  尽量小的电压值（一般使用器件规格书中的建议值）。

## 4) 损耗及散热:

小的  $R_{on}$  值有利于减小导通期间损耗，小的  $R_{th}$  值可减小温度差（同样耗散功率条件下），故有利于散热。

## 5) 损耗功率初算:

MOSFET 损耗计算主要包含如下 8 个部分:

$$P_D = P_{on} + P_{off} + P_{off\_on} + P_{on\_off} + P_{ds} + P_{gs} + P_{d\_f} + P_{d\_recover}$$

详细计算公式应根据具体电路及工作条件而定。例如在同步整流的应用场合，还要考虑体内二极管正向导通期间的损耗和转向截止时的反向恢复损耗。损耗计算可参考本章如下之“损耗组成及计算方法”部分。

## 6) 耗散功率约束:

器件稳态损耗功率  $P_{D,max}$  应以器件最大工作结温限制作为考量依据。如能够预先知道器件工作环境温度，则可以按如下方法估算出最大的耗散功率:

$$P_{D,max} \leq (T_{j,max} - T_{amb}) / R_{\theta j-a}$$

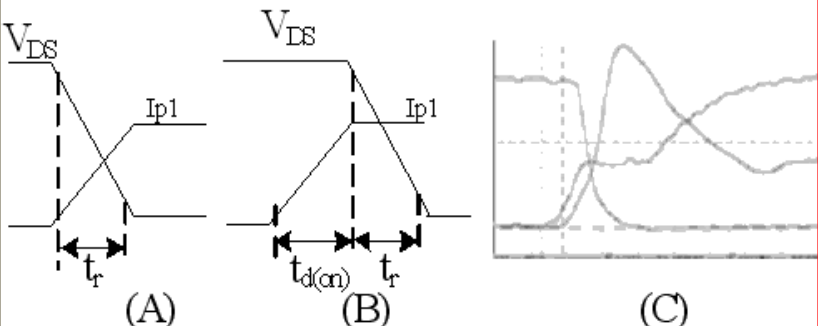
其中  $R_{\theta j-a}$  是器件结点到其工作环境之间的总热阻，包括  $R_{\theta \text{ junction-case}}, R_{\theta \text{ case-sink}}, R_{\theta \text{ sink-ambiance}}$  等。如其间还有绝缘材料还须将其热阻考虑进去。计算方式可按热流等效电路进行计算（参考《元器件温升设计参考规范》）。

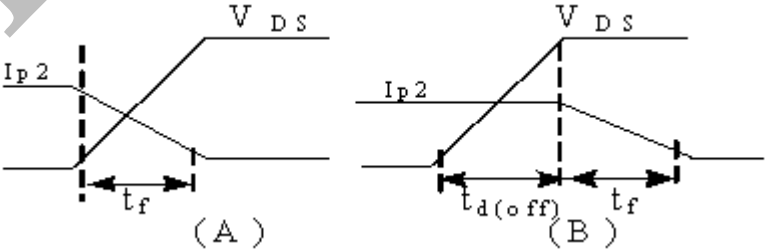
再根据此数值返回到上面重新调整  $I_D/R_{on}$  等参数（如需要）。直到  $P_{D,max}$  计算值接近而有不超过  $(T_{j,max} - T_{amb}) / R_{\theta j-a}$  计算值。

### 二、 损耗组成及计算方法

在器件设计选择过程中需要对 MOSFET 的工作过程损耗进行先期计算（所谓先期计算是指在没能测试各工作波形的情况下，利用器件规格书提供的参数及工作电路的计算值和预计波形，套用公式进行理论上的近似计算）。

MOSFET 的工作损耗基本可分为如下几部分：

符号	物理意义	应用
1) <b>Pon</b>	导通损耗。指在 MOSFET 完全开启后负载电流（即漏源电流） $I_{DS(on)}(t)$ 在导通电阻 $R_{DS(on)}$ 上产生之压降造成的损耗。	先通过计算得到 $I_{DS(on)}(t)$ 函数表达式并算出其有效值 $I_{DS(on)rms}$ ，再通过如下电阻损耗计算式计算： $P_{on} = I_{DS(on)rms}^2 \times R_{DS(on)} \times K \times D_{on}$ 说明：计算 $I_{DS(on)rms}$ 时使用的时期仅是导通时间 $T_{on}$ ，而不是整个工作周期 $T_s$ ； $R_{DS(on)}$ 会随 $I_{DS(on)}(t)$ 值和器件结点温度不同而有所不同，此时的原则是根据规格书查找尽量靠近预计工作条件下的 $R_{DS(on)}$ 值（即乘以规格书提供的一个温度系数 $K$ ）。
2) <b>Poff</b>	截止损耗。指在 MOSFET 完全截止后在漏源电压 $V_{DS(off)}$ 应力下产生的漏电流 $I_{DSS}$ 造成的损耗。	先通过计算得到 MOSFET 截止时所承受的漏源电压 $V_{DS(off)}$ ，在查找器件规格书提供之 $I_{DSS}$ ，再通过如下公式计算： $P_{off} = V_{DS(off)} \times I_{DSS} \times (1 - D_{on})$ 说明： $I_{DSS}$ 会依 $V_{DS(off)}$ 变化而变化，而规格书提供的此值是在一近似 $V_{(BR)DSS}$ 条件下的参数。如计算得到的漏源电压 $V_{DS(off)}$ 很大以至接近 $V_{(BR)DSS}$ 则可直接引用此值，如很小，则可取零值，即忽略此项。
3) <b>Poff_on</b>	开启过程损耗。指在 MOSFET 开启过程中逐渐下降的漏源电压 $V_{DS(off\_on)}(t)$ 与逐渐上升的负载电流（即漏源电流） $I_{DS(off\_on)}(t)$ 交叉重叠部分造成的损耗。	

		<p>开启过程 <math>V_{DS(off\_on)}(t)</math> 与 <math>I_{DS(off\_on)}(t)</math> 交叉波形如上图所示。首先须计算或预计得到开启时刻前之 <math>V_{DS(off\_end)}</math>、开启完成后的 <math>I_{DS(on\_beginning)}</math> 即图示之 <math>I_{p1}</math>，以及 <math>V_{DS(off\_on)}(t)</math> 与 <math>I_{DS(off\_on)}(t)</math> 重叠时间 <math>T_x</math>。然后再通过如下公式计算：</p> $P_{off\_on} = f_s \times \int^{T_x} V_{DS(off\_on)}(t) \times I_{D(off\_on)}(t) \times dt$ <p>实际计算中主要有两种假设 — 图 (A) 那种假设认为 <math>V_{DS(off\_on)}(t)</math> 的开始下降与 <math>I_{DS(off\_on)}(t)</math> 的逐渐上升同时发生；图 (B) 那种假设认为 <math>V_{DS(off\_on)}(t)</math> 的下降是从 <math>I_{DS(off\_on)}(t)</math> 上升到最大值后才开始。图 (C) 是 FLYBACK 架构路中一 MOSFET 实际测试到的波形，其更接近于 (A) 类假设。针对这两种假设延伸出两种计算公式：</p> <p>(A) 类假设 <math>P_{off\_on} = 1/6 \times V_{DS(off\_end)} \times I_{p1} \times t_r \times f_s</math></p> <p>(B) 类假设 <math>P_{off\_on} = 1/2 \times V_{DS(off\_end)} \times I_{p1} \times (t_{d(on)} + t_r) \times f_s</math></p> <p>(B) 类假设可作为最恶劣模式的计算值。</p> <p>说明：图 (C) 的实际测试到波形可以看到开启完成后的 <math>I_{DS(on\_beginning)} \gg I_{p1}</math>（电源使用中 <math>I_{p1}</math> 参数往往是激磁电流的初始值）。叠加的电流波峰确切数值我们难以预计得到，其跟电路架构和器件参数有关。例如 FLYBACK 中实际电流应是 <math>I_{total} = I_{p1} + I_a + I_b</math> (<math>I_a</math> 为次级端整流二极管的反向恢复电流感应回初极的电流值 -- 即乘以匝比，<math>I_b</math> 为变压器初级侧绕组层间寄生电容在 MOSFET 开关开通瞬间释放的电流)。这个难以预计的数值也是造成此部分计算误差的主要原因之一。</p>
<p>4) <b>Pon_off</b></p>	<p>关断过程损耗。指在 MOSFET 关断过程中逐渐上升的漏源电压 <math>V_{DS(on\_off)}(t)</math> 与逐渐下降的漏源电流 <math>I_{DS(on\_off)}(t)</math> 的交叉重叠部分造成的损耗。</p>	 <p>如上图所示，此部分损耗计算原理及方法跟 <math>P_{off\_on}</math> 类似。首先须计算或预计得到关断完成后之漏源电压 <math>V_{DS(off\_beginning)}</math>、关断时刻前的负载电流 <math>I_{DS(on\_end)}</math> 即图示之 <math>I_{p2}</math> 以及 <math>V_{DS(on\_off)}(t)</math> 与 <math>I_{DS(on\_off)}(t)</math> 重叠时间 <math>T_x</math>。然后再通过如下公式计算：</p> $P_{off\_on} = f_s \times \int^{T_x} V_{DS(on\_off)}(t) \times I_{DS(on\_off)}(t) \times dt$

		<p>实际计算中，针对这两种假设延伸出两个计算公式：</p> <p>(A) 类假设 <math>P_{off\_on} = 1/6 \times V_{DS(off\_beginning)} \times I_{p2} \times t_f \times f_s</math></p> <p>(B) 类假设 <math>P_{off\_on} = 1/2 \times V_{DS(off\_beginning)} \times I_{p2} \times (t_{d(off)} + t_f) \times f_s</math></p> <p>(B) 类假设可作为最恶劣模式的计算值。</p> <p>说明：<math>I_{DS(on\_end)} = I_{p2}</math>，电源使用中这一参数往往是激磁电流的末端值。因漏感等因素，MOSFET 在关断完成后之 <math>V_{DS(off\_beginning)}</math> 往往都有一个很大的电压尖峰 <math>V_{spike}</math> 叠加其上，此值可大致按经验估算。</p>
5) <b>Pgs</b>	栅极接受驱动电源进行驱动造成之损耗	<p>确定驱动电源电压 <math>V_{gs}</math> 后，可通过如下公式进行计算：</p> $P_{gs} = V_{gs} \times Q_g \times f_s$ <p>说明：<math>Q_g</math> 为总驱动电量，可通过器件规格书查找得到。</p>
6) <b>Pds</b>	输出电容 $C_{oss}$ 截止期间储蓄的电场能于导同期间在漏源极上的泄放损耗。	<p>首先须计算或预计得到开启时刻前之 <math>V_{DS}</math>，再通过如下公式进行计算：</p> $P_{ds} = 1/2 \times V_{DS(off\_end)}^2 \times C_{oss} \times f_s$ <p>说明：<math>C_{oss}</math> 为 MOSFET 输出电容，一般可等于 <math>C_{ds}</math>，此值可通过器件规格书查找得到。</p>
7) <b>Pd_f</b>	体内寄生二极管在承载正向电流时因正向压降造成的损耗。	<p>在一些利用体内寄生二极管进行载流的应用中（例如同步整流），需要对此部分之损耗进行计算。公式如下：</p> $P_{d\_f} = I_F \times V_{DF} \times t_x \times f_s$ <p>其中：<math>I_F</math> 为二极管承载的电流，<math>V_{DF}</math> 为二极管正向导通压降，<math>t_x</math> 为一周期内二极管承载电流的时间。</p> <p>说明：会因器件结温及承载的电流大小不同而不同。可根据实际应用环境在其规格书上查找到尽量接近之数值。</p>
8) <b>Pd_recover</b>	体内寄生二极管在承载正向电流后因反向压致使的反向恢复造成的损耗。	<p>这一损耗原理及计算方法与普通二极管的反向恢复损耗一样。公式如下：</p> $P_{d\_recover} = V_{DR} \times Q_{rr} \times f_s$ <p>其中：<math>V_{DR}</math> 为二极管反向压降，<math>Q_{rr}</math> 为二极管反向恢复电量，由器件提供之规格书中查找而得</p>