

随着电动汽车智能化的普及，电机在汽车中的应用越来越广泛。有刷电机因其结构简单、成本低、控制容易，而被广泛应用于功率较小的闭合系统中，如汽车的门窗；无刷电机因其噪音小，散热好，寿命长，可调速高而被运用于功率相对较大的汽车燃油泵，水泵，电子助力转向等系统中。

当电机需要完成正转和反转的功能时，一般采用 H 桥/三相全桥的拓扑结构。那么如何为您的电机选择一款合适的 MOSFET 呢？

✧ 12V 系统或者 24V 系统？

在实际应用中，器件额定电压应降额至原值的 80%使用。以 12V 系统为例，考虑到汽车 load dump 的钳位电压一般在 30V 左右，选用 40V 的 MOSFET；同理，48V 系统一般选择 100V 的 MOSFET。实际应用中，MOS 漏 - 源极电压中出现的振铃现象也应考虑在内。

✧ 如何选择 MOSFET 电流？

考虑到电机不同的工作情况，MOSFET 的电流额定值必须能经受住电机堵转，短路和起动的考验。电机起动电流的额定值计算如下：

电机类型	额定功率	电压额定值	额定电流	功率因素P.F.	满载转速RPM	堵转电流
BLDC	400W	48VDC	8A	0.85	5000	80A

根据系统电压和电机实际的满载功率，计算出实际工作的额定电流，

$$I = P / (U * \cos \Phi);$$

考虑到堵转/启动瞬间大电流/器件参数一致性以及造成的温升，一般选择 MOS 管漏极最大电流 > 电机额定电流*10；

✧ 从**功率密度**角度，选择不同的封装：DFN3*3，PDFN5*6，sTOLL，TOLL 等；

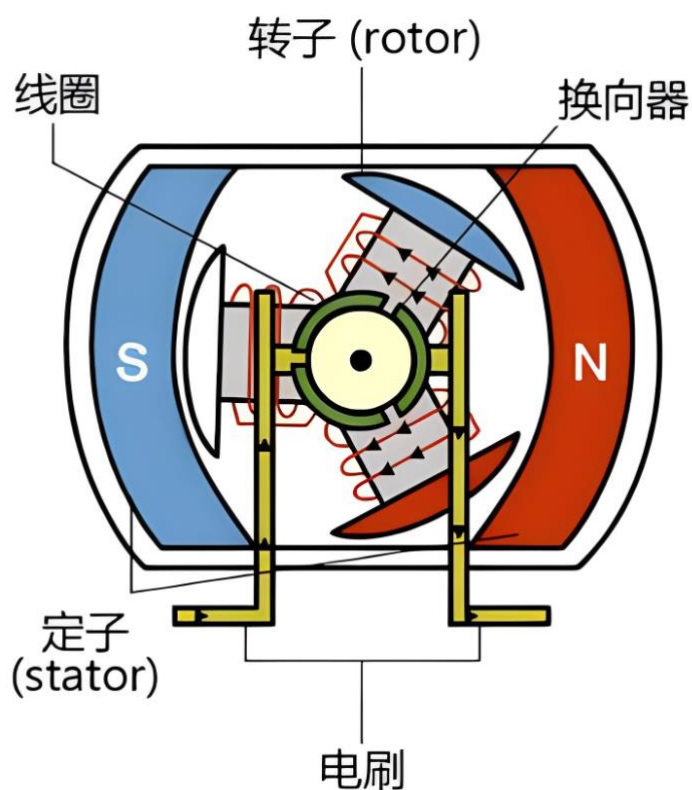
✧ 通过查看 MOSFET 的 **SOA 曲线**，Double check MOSFET 在启动和堵转时的抗冲击能力。

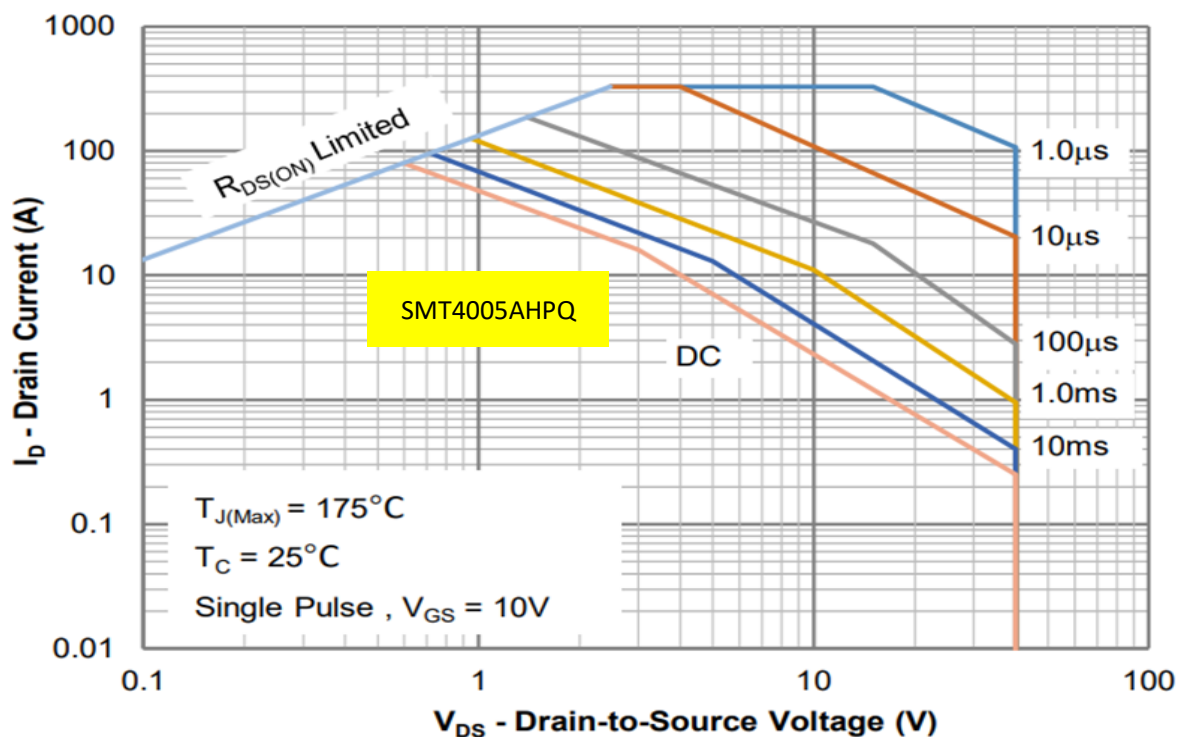
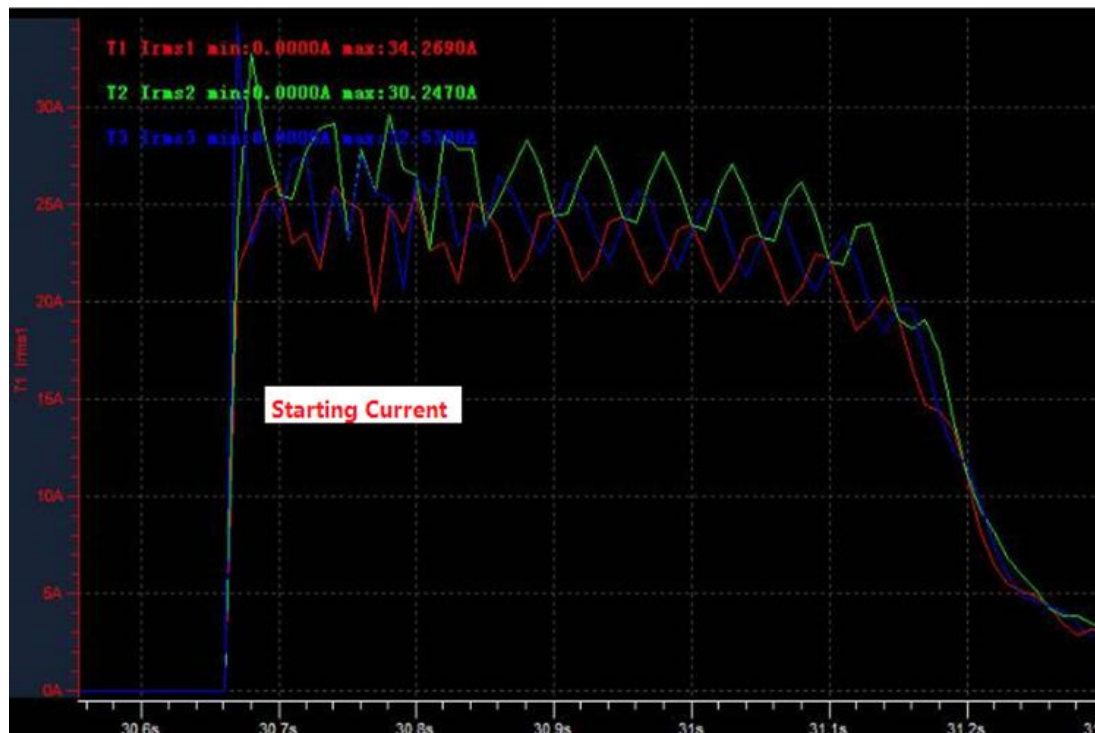
电机刚刚启动时堵转时，感应电动机处于停止状态时，从电磁学的角度来看，它就像一个变压器。接电源的定子绕组相当于变压器的一次线圈，闭路的转子绕组相当于变压器被短路的二级线圈。定子绕组和转子绕组

之间没有电联系，只有磁联系，磁通过定子、气隙和转子铁心闭合。

合闸时，转子因惯性未转动，旋转磁场以最大切削速度——同步转速切割转子绕组，转子绕组感应到尽可能高的电势，使大电流流过转子导体，产生的磁能抵消了定子磁场，就像变压器的二次磁通抵消一次磁通的作用一样。

为了保持与电源电压相对应的原始磁通，定子自动增加电流。由于此时转子的电流很大，定子电流也大大增加，甚至高达额定电流的 $4 \sim 7$ 倍，这也是启动电流大的原因。





Product Name	Product Type	Package	Configuration	T _J (°C)	V _{DS} Max (V)	I _D Max (A)	V _{GS} (Typ) (V)	R _{DS(ON)} Typ @ V _{GS} =10V (mΩ)	R _{DS(ON)} Max @ V _{GS} =10V (mΩ)	V _{GS} Max (V)	E _{AS} Max (mJ)	C _{iss} Typ (pF)	C _{oss} Typ (pF)	C _{rss} Typ (pF)	Q _g Typ (nC)
SMT4005AHPQ	Auto-motive	PDFN5060-8L	N	175	40	92	3.0	3.9	4.7	±20	116	982	593	25	14
SMT4005AHPDQ	Auto-motive	PDFN5060-8L-D	N+N	175	40	68	3.0	4.6	5.5	±20	116	982	593	25	14

下一步，怎么计算 MOSFET 的功率损耗呢？

Conduction Loss:

$$P_{on} = (R_{DS(on)} \max. @T_j=25^{\circ}C) \times (I_D)^2 \times t_{on} \times f_{swi}$$

Switching Loss:

$$P_{swi} = \frac{1}{2} \times V_{DS} \times I_D \times (t_{rise} + t_{fall}) \times f_{swi}$$

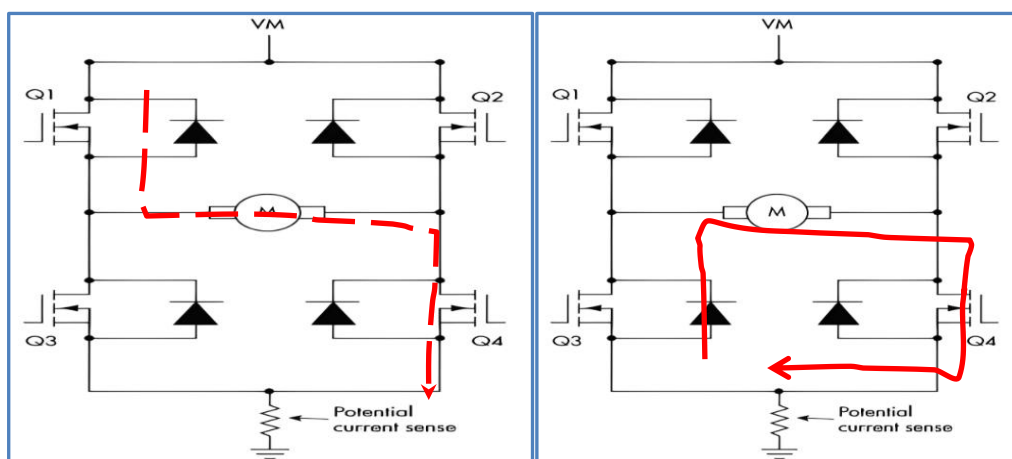
Note: $Ton = 1/f_{swi} \times \text{Duty Cycle}$.

H 桥电路的工作原理如下：

Phase 1:

Q1	Q2	Q3	Q4
ON	OFF	OFF	ON

电路如图红线所示，电机实现正转。



Phase 1

Phase 2

Phase 2:

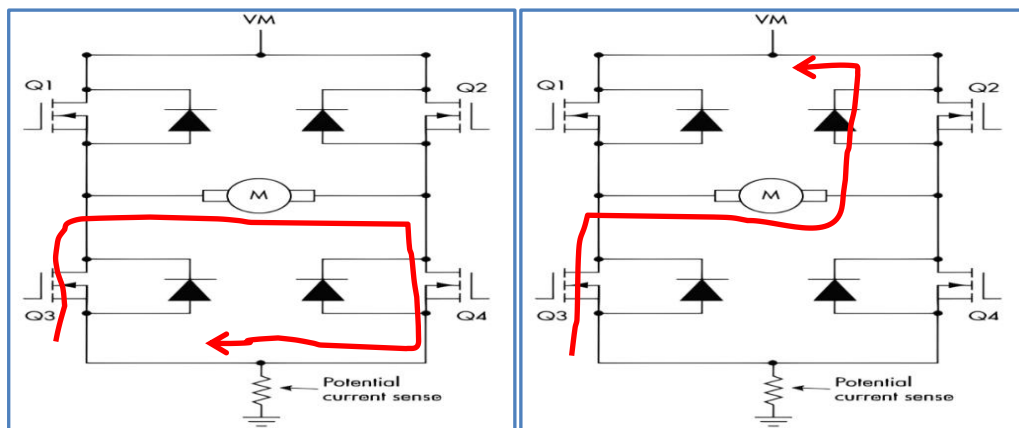
Q1	Q2	Q3	Q4
OFF	OFF	OFF	ON

电路如图所示，Q1 关断，Q4 导通，电机通过 Q4 MOSFET 和 Q3 的体内二极管续流。

Phase 3:

Q1	Q2	Q3	Q4
OFF	OFF	ON	ON

电路如图所示，Q1 和 Q2 关断，Q3 和 Q4 导通，电机通过 Q3 和 Q4 MOSFET 管续流。



Phase 3

Phase 4

Phase 4:

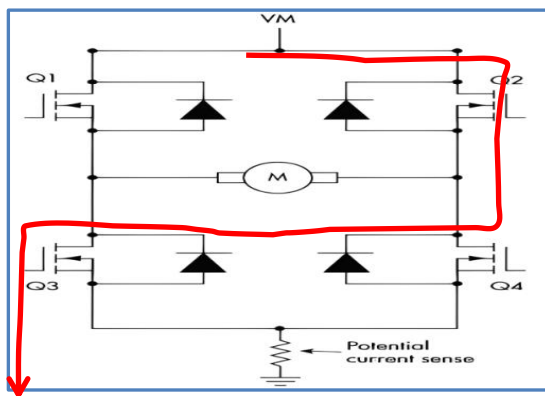
Q1	Q2	Q3	Q4
OFF	OFF	ON	OFF

电路如图所示，Q1 和 Q2 关断，Q4 关断，电机通过 Q3 MOSFET 和 Q4 体二极管续流。

Phase 5:

Q1	Q2	Q3	Q4
OFF	OFF	ON	ON

电路如图所示，Q1 和 Q4 关断，Q2 和 Q3 导通，电机通过 Q2 MOSFET 和 Q3 MOSFET 的打开实现反转。



在桥式拓扑结构中，MOSFET 的**自举电路设计参考如下：**

■ 自举电路设计要素：

自举电阻—Rboost, 自举二极管—Dboost, 自举电容—Cboost.

■ 自举电路工作原理：

当 Vs 降到 Driver IC 电源电压 VDD 或下拉至地时(上管导通, 下管关断), 电源 VDD 通过自举电阻 Rboost 和自举二极管 Dboost, 对自举电容 Cboost 充电, 如右图所示。当 Vs 被上管拉到一个较高电压时, 由 VBS 对该自举电容充电, 此时 VBS 电源浮动, 自举二极管处于反向偏置, 轨电压(下管关断, 上管导通)和 IC 电源电压 VDD 被隔离开。

■ 计算公式：

$\Delta V_{boost} = V_{DD} - V_F - V_{gs}(\min)$, 其中 V_F 为自举二极管的正向压降。

$C_{boost} = Q_{total} / \Delta V_{boost}$,

其中,

$Q_{total} = Q_g + (I_{gs} + I_{cboost} + I_{gatedriver}) * T_{on} + Q_{leak-shift}$; $\Delta V_{boost} \leq V_c - V_F - V_{th}(\max)$ 。

计算其值, 如果电容太大, 自举电容的充电时间减少, 低边 MOS 的导通时间不足以让电容达到所需要的最小驱动电压。

Dboost: 根据直流母线电压, 选取自举二极管的耐压值, V_f 越小越好。

Rboost: 一般选取 3-10 Ω , 不能太大, 否则会增加 VBS 时间常数。

重要通知

对本文档的内容，SiNESEMI 公司不作任何形式的明示或暗示的保证，包括但不限于对特殊目的的适销性和适合某一特定用途的暗示保证（以及等同性质的任何司法管辖区的法律）。

SiNESEMI 公司及其子公司有权利对文档进行修改、增强、改进、更正或其他更改，而无需进一步告知本文档以及本文档所述任何产品的变化。SiNESEMI 公司不承担本文件或本文件所述任何产品的应用或使用本文件所产生的任何责任；SiNESEMI 公司也不根据其专利或商标权向用户授权任何许可，也不授以其他人的权利。任何使用本文件或本文件中所述产品的用户应承担此类使用的所有风险，并同意维护 SiNESEMI 公司和任何使用 SiNESEMI 公司网站上产品的所有公司的权利，使其免受损失。

SiNESEMI 公司不保证或接受任何有关透过未经授权的销售渠道购买的产品造成的法律责任。

如果客户购买或使用 SiNESEMI 公司的产品用于任何意外或未经授权的应用中，客户应保障并赔偿 SiNESEMI 公司及其成员受到的债务、破坏、成本和费用，包括但不限于索赔、诉讼或任何原因造成的法律程序中产生的法律费用，使其免受直接或间接因这种意外或未经授权的应用造成有关的任何人身伤害或死亡索赔。

生命支持

SiNESEMI 公司的产品在未经 SiNESEMI 公司首席执行官的明确书面批准下，不得作为生命维持装置或系统的关键部件而使用。仅使用如下：

A. 生命维持装置或系统是指以下设备或系统：

1. 为了植入体内，或
2. 支持或维持生命，如果按照标签中所提供的使用说明正确使用，也有可能对使用者造成重大伤害。

B. 关键部件是指生命维持装置或系统中的部件，其操作失效可以被合理地预期到，它会导致生命维持装置的失效或影响其安全性或有效性。

客户陈述在生命支持设备或系统的安全和监管影响方面拥有所有必要的专业知识，承认并同意他们完全对与其产品有关的所有法律、监管和安全方面的要求，以及在这种对安全性要求苛刻的生命维持设备或系统中 SiNESEMI 公司产品的任何使用进行负责，尽管 SiNESEMI 公司可能提供任何与设备或系统有关的信息或支持。此外，客户必须保障并赔偿 SiNESEMI 公司及其成员因使用 SiNESEMI 公司产品而造成的任何损害，包括在对安全性要求苛刻的生命维持设备或系统中使用所造成的任何损害。

版本号@2024, SiNESEMI 公司

研发中心一应用技术部