

对发电机灭磁开关的性能要求

宣自平^① 彭辉 邓凯 李自淳

(宣自平-合肥赛凯科电气,安徽合肥 230031)

[摘要] 本文通过理论分析,探讨了对发电机灭磁开关的一般通用要求;并通过对开断机理的研究,提出对灭磁开断性能起关键作用的特殊要求。

[关键词] 灭磁开关;通用要求;开断性能;弧压

1 前言

作为发电机主保护的灭磁保护,一直是电机界特别是励磁界关注的要点。发电机的灭磁系统有如汽车的制动系统,对主机的安全运行至关重要。灭磁开关是灭磁系统中的关键部件之一,它的作用一是迅速切断发电机励磁绕组与励磁电源的通路;二是迅速熄灭发电机内部的磁场。实现这两个功能的关键是迅速消耗发电机磁场的能量(转化成热能)。过去的灭磁开关(如DM₂型自动灭磁开关)靠自身的栅片来吸收磁能,故栅片烧损严重,维护工作量大,不能频繁动作,不能满足大、中型发电机灭磁的需要,但老的中小型机组仍有应用。目前国内外广泛采用的是移能型灭磁开关,叫做磁场断路器。它在灭磁时将励磁电流及磁场能量迅速转移到灭磁电阻中衰耗,本身基本不吸收能量。

目前国内外可用的灭磁开关约有几十种,其性能各异;同时有关单位还在研制新型的灭磁开关(特别是大电流、高参数的产品)。在选用和研制灭磁开关时,首先应明确对其性能的要求,现在就此问题作一探讨。

2 一般通用要求

灭磁开关作为“开关(或断路器)”的一种,应该满足对开关的一般通用要求,如:

- 1) 通流性能好 接触电阻小,运行温升高,短时过流量大。
- 2) 绝缘强度高 能耐受正常运行中的工作电压及暂态过程中短时过电压的冲击而不损坏。
- 3) 机械动作灵 合闸分闸动作灵敏可靠,不能误动和拒动。
- 4) 综合性能优 结构牢固稳定,安装维护简便,工艺精良,外形美观,体积小,重量轻,价格低。

3 对开断性能的要求

开关的重要特性是开断性能,而不同的开关,其开断机理是不同的。总的可分成三类:

3.1 交流过零开断^[1]

大多数交流高压断路器属此机理。它利用交流电流的零点自然熄弧,但熄弧后断口要承受“恢

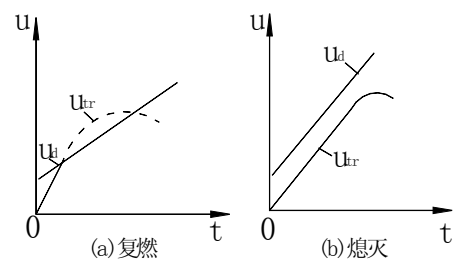


图1 交流电弧过零时的复燃和熄灭

复电压”而不能“复燃”。这就必须保证熄弧后断口间介质绝缘耐压强度恢复上升的速度大于恢复电压上升的速度。见图 1，图中 u_d 为介质耐压强度， u_{tr} 为恢复电压。熄弧后两者都在上升，必须保证 $u_d > u_{tr}$ (图 1b)，才能完成熄弧开断；如 u_d 上升速度低于 u_{tr} (图 1a)，出现 $u_d < u_{tr}$ ，则势必造成复燃，开断失败。用这种原理开断的开关一般用“气吹”(空气开关)或“油吹”(油开关)等手段加速断口间隙的冷却和去游离，以提高其介质恢复的速度，以此提高开断能力。

3.2 交直流吸能强迫开断^[2]

填充石英砂的熔断器和前述的吸能型直流灭磁开关(DM₂)属此机理。它们的弧压 u_k 很高，高于电源电压 e_ϕ ，故强迫弧电流下降到零而熄灭，熄弧过程中电感的磁能和电源提供的能量由熔断器或开关本身吸收。

现以熔断器 FU 开断交流短路电流的工况为例分析其开断过程，其等值电路如图 2 所

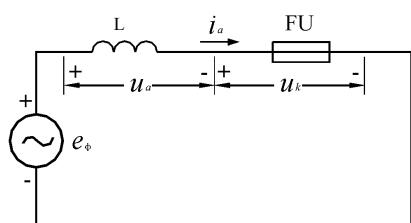


图 2 熔断器开断短路电流等值电路图

示，开断过程如图 3 所示。

- 图中： u_k — 开断弧压
 e_ϕ — 电源电压
 L — 电源内感和回路电感
 i_a — 短路电流
 i_p — 截断电流
 i_m — 预期电流峰值

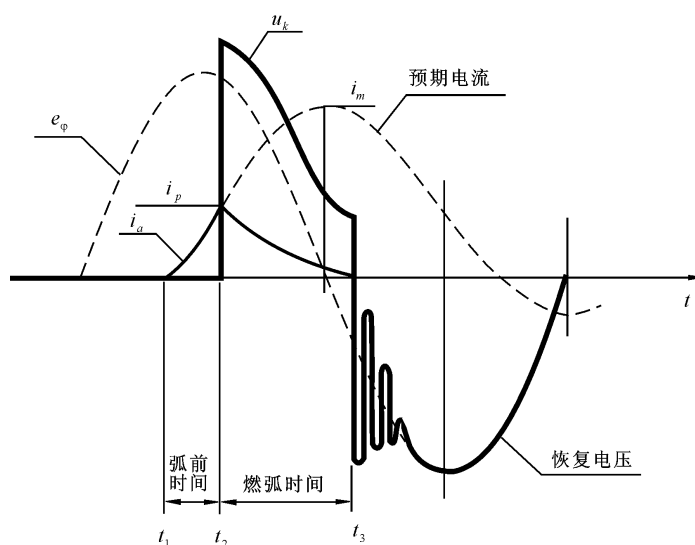


图 3 熔断器开断过程图

按图 2 定义的电压正负极性，根据柯希霍夫回路定律，得

$$u_a + u_k - e_\phi = 0$$

移项得：
$$u_a = e_\phi - u_k \quad (1)$$

根据楞次定律：
$$u_a = L \frac{di_a}{dt}$$

移项得：
$$di_a / dt = u_a / L \quad (2)$$

FU 熔断开断过程如图 3 所示。此图水平轴 t 为时间轴，图中虚线所画的正弦波表示电源电压 e_ϕ ，粗黑线表示 FU 两端电压 u_k ，次粗黑线表示回路电流 i_a 。在时刻 t_1 以前为正常工

作状态，FU 导通短路，故 $u_k=0$ ，回路正常电流与短路电流相比小得多（约为千分之一），可忽略不计，故 $i_a \approx 0$ 。在 t_1 时刻发生金属性短路，此时回路中的负载仅剩 L（电阻忽略不计），因 $u_k=0$ ，由（1）式得 $u_a = e_\phi - u_k = e_\phi$ ，从图 3 看 t_1 时刻 e_ϕ 为正，故据（2）式得 $di_a/dt > 0$ ，即 i_a 迅速上升。如果没有熔断器 FU 的限制， i_a 将按图中虚线上升至预期电流峰值 i_m 。但由于 FU 的熔芯受到快速上升的短路电流 i_a 的加热，经过短暂的时间（约 2ms）到 t_2 时刻即快速熔断（ $t_1 \sim t_2$ 为弧前时间）， u_k 从 0 突然上升到 $u_k > e_\phi$ 。由（1）式得 $u_a = e_\phi - u_k < 0$ ，从（2）式得 $di_a/dt < 0$ ，即 i_a 立即从上升转为下降。 t_2 时刻出现 i_a 的最大值 i_p ，称为截断电流。

t_2 时刻以后 FU 内燃烧电弧，但由于一直保持 $u_k > e_\phi$ ，使 di_a/dt 一直为负，即 i_a 一直下降，到 t_3 时刻 i_a 降为 0，电弧熄灭。 $t_2 \sim t_3$ 为燃弧时间，在此时段内熔断器吸能，能量由熔丝筒内充填的大量石英砂吸收，转为热量。

t_3 以后 FU 熄弧引起短时的振荡，然后恢复绝缘状态，其两端电压 $u_k = e_\phi$ ，即为电源所施加的恢复电压。由于 FU 的设计保证其熔断熄弧后绝缘良好，足以承受工频恢复电压而不得复燃。

可以看出在 $t_2 \sim t_3$ 燃弧时间内，如果 $u_k < e_\phi$ ，则 $di_a/dt > 0$ ，短路电流不会下降熄灭，还会继续上升，必将引起熔断器爆炸；如果 $u_k > e_\phi$ ，但不够大，使 di_a/dt 的负值也不够大，则电流 i_a 下降速度不够快，使燃弧时间延长，FU 吸能增加，一旦吸能超过其极限容量，也会引起爆炸。

由上可见，使短路电流 i_a 快速下降熄弧的关键是 FU 熔断后弧压 u_k 要足够高。但也不是越高越好，过高的 u_k 是一种操作过电压，会损坏电气设备的绝缘。

直流灭磁开关 MK 吸能开断的电路如图 4 所示，开断过程如图 5 所示。

比较图 4 和图 2、图 5 和图 3，发现两者很相似。开断过程的分析也很相似，图 5 中 t_2 时刻前 MK 合闸，断口弧压 $u_k=0$ ； t_2 时刻 MK 分闸， u_k 迅速上升到 $u_k > u_z$ ，故 $u_L = u_z - u_k < 0$ ， $di_k/dt < 0$ ， i_k 迅速下降；到 t_3 时刻， $i_k=0$ ，电弧熄灭；以后 MK 断口承受恢复电压而不复燃。 $t_2 \sim t_3$ 为燃弧时间，该阶段开关吸收 L 的磁能及电源继续提供的能量。

3.3 直流移能换流开断^[3]

用于交、直流灭磁的磁场断路器属此机理。

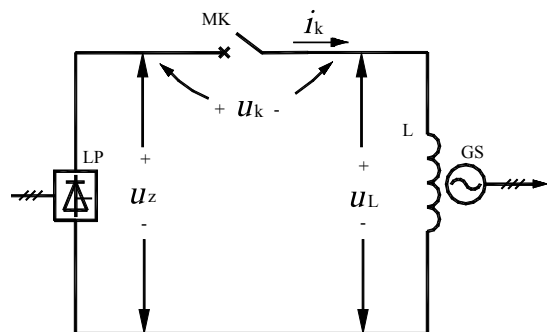


图 4 直流开关吸能开断电路图

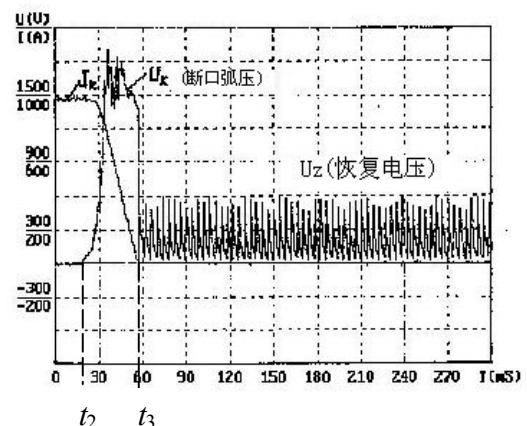


图 5 直流开关吸能开断过程图

灭磁时，将发电机的励磁电流转换到灭磁电阻中是这种开断方式的关键，叫做换流。

一般的发电机励磁回路如图 6 所示。按图 6 所标示的电压极性，根据柯希霍夫回路定律： $U_L + U_Z - U_K = 0$ ，移项得 $U_K = U_L + U_Z$ 。按最严重工况考虑，必须保证：

$$U_{KM} \geq U_{LM} + U_{ZM} \quad (3)$$

式中： U_{KM} — 磁场断路器保证能达到的最大开断弧压；

U_{LM} — 最大（强励）励磁电流 I_{LM} 流过 RV 时，其两端最高残压；

U_{ZM} — 最大（强励）电源电压峰值。

这就是正确换流的必要条件。

近年出现“交流灭磁”的新概念，

即在可控硅整流静止励磁系统中，把磁场断路器放在励磁电源交流侧，或虽放在直流侧但在分闸同时切除整流电源可控硅的触发脉冲，这时正确换流的必要条件变为

$$U_{KM} \geq U_{LM} - U_{ZM} \quad (4)$$

或
$$U_{KM} \geq U_{LM} \quad (5)$$

磁场断路器分断后，断口弧压 u_k 能迅速上升到顶值，并满足式（3）、（4）或（5）的要求，则开关电流迅速转移到灭磁电阻中去，断路器迅速熄弧开断。此过程越快，燃弧时间越短，断路器吸收能量就越少，触头及弧室的烧损也越小，这对延长断路器的寿命、减少维护量、提高动作频繁度都是有利的。所以说对于直流移能开断的磁场断路器，提高其开断能力的关键是提高断口弧压及建压速度。

3.4 结论

通过对以上三种开断机理的分析，可看出对于直流灭磁开断来讲，不管是吸能强迫开断还是移能换流开断，提高断口弧压（遮断电压）及建压速度是提高开断能力的关键。

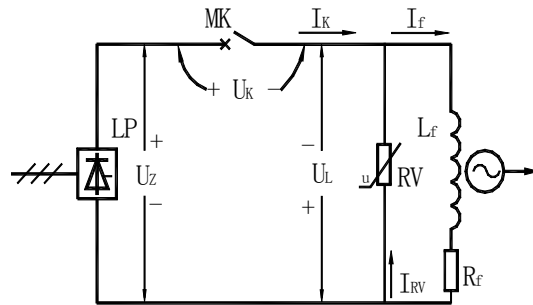


图 6 发电机励磁回路图

LP-励磁电源 L_f/R_f -励磁绕组电感/电阻 RV-灭磁电阻
MK-磁场断路器 U_k -磁场断路器弧压 U_z -电源电压
 I_k -磁场断路器电流 U_L -转子电压 I_{RV} -灭磁电阻电流

[参考文献]

- [1] 徐国政等. 高压断路器原理和应用. 清华大学出版社, 2000 年 10 月第 1 版.
- [2] 李自淳. GDC 型高压大容量限流断路器保护装置. 科大创新公司科聚分公司产品说明书, 2004 年.
- [3] 上海汽轮发电机有限公司, 科大创新股份有限公司科聚分公司. 大型同步发电机交流和直流灭磁研究报告. 2005 年 12 月.