

再生制动稳定电阻和交流源的选取

林 知 明

(电气工程系)

摘 要

本文全面地分析了再生制动稳定电阻和交流电压源的选取对再生制动性能所带来的影响,并对如何提高再生制动性能谈了一些看法。

关键词:再生制动;稳定电阻

1 再生制动特性

图1为再生制动原理图,牵引电机为它励式,列出电压关系:

$$E = C_e \phi n = I_z \cdot R_z + U_d \quad (1)$$

式中 R_z 为制动回路总等效电阻,即 $R_z = R'_z + R$, 其中 R 为串在制动回路中电阻器的电阻,通常将其称为稳定电阻。

由变流技术知,固定逆变角 β 调节时,逆变电压表达式为:

$$U_d = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} \cdot U_2 \cos \beta - \frac{2X_i \cdot I_z}{\pi} \quad (2)$$

式中 X_i 为交流侧折算电抗; U_2 为有源逆变交流电压有效值,简称逆变交流源。

将(2)式代入(1)式得:

$$I_z = \frac{C_e \phi n - \frac{2\sqrt{2}}{\pi} U_2 \cos \beta}{\frac{2}{\pi} X_i + R_z} \quad (3)$$

根据 $M_z = C_m \phi I_z$ 和机车换算关系,可求出再生制动特性:

$$B = K_1 \cdot \frac{\phi^2}{R'_z} \cdot v - K_2 \cdot \frac{\phi}{R'_z} \cdot U_2 \cos \beta, \quad (4)$$

式中

$$K_1 = \frac{100}{3\pi} \cdot \frac{C_e C_m \cdot m \cdot \mu^2}{\eta \cdot D};$$
$$K_2 = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} \cdot \frac{2m \cdot \mu \cdot C_m}{\eta \cdot D};$$

$R'_z = \frac{2}{\pi} \cdot X_i + R_z$; m 为机车电机台数; μ 为传动比; D 为动轮直径(米); ϕ 为电机磁通

本文于1993年12月23日收到

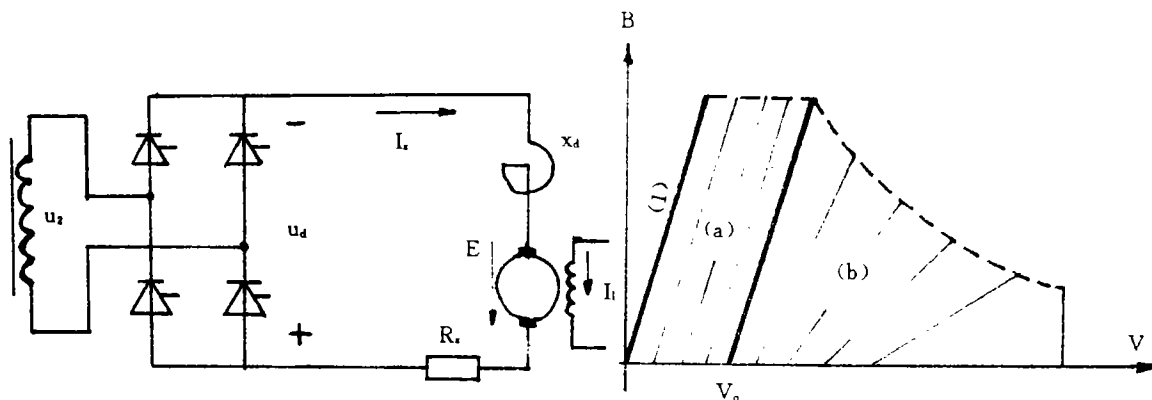


图1 再生制动原理图

图2 再生制动特性曲线

(韦伯)。

固定裕量角 δ 调节时, 逆变电压表达式为

$$U_d = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} \cdot U_2 \cos \delta - \frac{2I_a \cdot X_c}{\pi} \quad (5)$$

同样可求出:

$$B = K_1 \cdot \frac{\Phi^2}{R''} \cdot v - K_2 \cdot \frac{\Phi}{R''} \cdot U_2 \cos \delta \quad (6)$$

式中 $R'' = R_s - \frac{2}{\pi} X_c$; 其他参量同 (4) 式。

可见固定 β 调节和固定 δ 调节, 其再生制动特性形式是一样的, 制动特性曲线见图 2。

在 (3) 式中求出 ϕ 中代入 (4) 式, 可求出最大制动电流限制下的制动特性:

$$B = K_3 \cdot [R' I_{max}^2 + \frac{2\sqrt{2}}{\pi} U_2 \cdot I_{max} \cdot \cos \beta] \frac{1}{v} \quad (7)$$

式中 $K_3 = \frac{120\pi \cdot m \cdot C_m}{\eta \cdot C_s \cdot 10^3}$ 。

曲线见图 2 中的虚线。图中 (b) 区为调磁区, 即恒定最大逆变电压, 通过调节 ϕ 来改变制动力 B 的大小。(a) 区为调压区, 此时 ϕ 已调到最大, 通过改变 β 角来调节 B 的大小。

与电阻制动比再生制动特性要陡一些, 从而使再生制动在恒速性能, 工作速度范围及粘着性能方面都得到提高。另外, 再生制动还能回送部份能量且能量损耗相对较小, 使得再生制动越来越受到重视。

再生制动一个显著的缺点是功率因数较低, 随着逆变角的加大, 功率因数迅速下降。因此, 在再生制动控制方式中总是设法实现最小逆变角控制, 通常有恒定最小逆变角 β_{min} 和恒定最小裕量角 δ_{min} 两种方式。^[1]

2 稳定电阻和逆变交流源对再生制动性能的影响

若不计传动效率, 再生制动功率为电阻上消耗的功率和逆变功率之和, 即:

$$P_s = I_a^2 \cdot R' + U_d \cdot I_a \quad (8)$$

当最大制动电流确定时,为满足所要求的制动功率, R' 和 U_d 应为互补关系.

令(4)式中 $B=0$, 可求出特性的临界速度 v_0 ,

$$v_0 = \frac{K_2}{K_1} \cdot \frac{U_2 \cos \beta}{\phi}. \quad (9)$$

v_0 表明制动特性所能工作的最小速度. 如前所述, 为提高功率因数, 总希望 β 固定在最小值上. 而 ϕ 受到最大励磁电流 $I_{m\max}$ 的限制, 这样, U_2 就决定了实现最小 β 角的最低速度. 低于这速度要想继续进行再生制动, 就只有通过增加 β 角来实现了. 可见, 适当减小 U_2 值, 可扩大最小 β 角调节的速度范围.

减小了 U_2 也就是减小了 U_d 值, 由(8)式知要适当增加 R' 值, 才能满足高速区制动功率的要求. 实际上提高 R' 值, 对再生制动性能也会带来许多好处. 简要归纳如下:

(1) 提高再生制动电路的电气稳定性.

对恒定 δ 角控制的再生制动电气稳定条件为 $R_2 > \frac{2_2}{\pi}$ ^[2]. 可见, 对 X 较大的电路, 增大 R_2 值可提高电路电气稳定性.

(2) 减小并联集中再生时电流不均衡度.

对有 n 台电机并联集中再生时, 最大支路电流与平均电流的差值可表示为^[2]

$$\Delta I = \frac{n-1}{n} \cdot \Delta E\% \cdot I_{\text{av}} \left(\frac{U_d}{I_{\text{av}} \cdot R'} + 1 \right). \quad (10)$$

式中 $\Delta E\%$ 为电势相对误差率; I_{av} 为平均制动电流. 提高 R' 值可降低 ΔI 的数量.

(3) 有利于再生短路时的保护.

再生制动短路常见的是由两种情况造成, 一是逆变失败引起的交直流电势叠加产生的短路; 二是逆变电路交流电压源消失形成的直流电势短路, 在电力牵引中第二种情况更为常见. 两种短路都会产生较大的短路电流, 尤其是第一种情况. 如果在再生回路中有较大的电阻, 则产生的短路电流要比牵引时交流侧短路电流小许多, 通常只占它的 $1/3 \sim 1/2$.^[1]

上面只是分析了减小 U_2 、加大 R_i (实现增大 R' 或 R_2 的目的) 对再生制动性能所带来的优点. 当然, 也有其不足之处, 由逆变功率: $P = 0.9 U_2 \cdot I_s \cdot \cos \beta$ 知, 减小 U_2 将降低再生反送功率, 影响节能效果. 同时, 加大 R_i 也使再生特性变软而影响粘着性能和低速时的制动力降低. 因此, U_2 和 R_i 的选取要综合考虑. 早期的再生制动系统通常取值为: $R_i^* = \frac{I_s \cdot R_i}{U_{d0}} = 0.25$ ^[1]

左右, 式中 I_s 和 U_{d0} 分别为再生制动额定电流和额定逆变电压. 而 8K 型机车取值为: $R_i^* = 0.49$, SS₃ 型机车取值为: $R_i^* = 0.34$, 都大于传统的取值.

3 结束语

在目前技术条件下, 采用再生制动技术首先应考虑的是改善电气制动性能, 提高电气制动功率和克服电阻制动低速时制动力不足的缺陷, 其次, 再考虑回收能量, 提高节能效果. 如果这种观点可取的话, 那么再生制动稳定电阻 R_i^* 的取值还可进一步提高, 也就是形成一种介于传统电阻制动和再生制动之间的一种混合型电气制动方式. 当然, 这种方式也存在不少缺点, 下面就谈一下改善这种方法的设想.

(1) 采用多段逆变电路,提高反馈能量.

由(9)式知,为了使 β 处在最小时降低 v_0 值,应降低 U_2 值.这样,在高速区再生制动时大部份能量只好消耗在制动电阻上.因此,为能有效地反馈制动功率,在高速区先让逆变交流源工作在较大的数值上,将大部份能量回送电网.当速度靠近临界速度时,通过减少绕组段数以减小 U_2 来降低 v_0 ,而保持 β 在最小角.当 U_2 最小时,为避免低速区调节 β 所反馈的电能对电网的破坏,可能出现得不偿失的结果,甚至可以甩掉交流源,直接过渡到只有稳定电阻的电阻制动,实现整个制动过程始终作到 β 角为最小.同时,通过磁通 ϕ 的控制可以作到恒制动力调节,最后工作在最大磁通的电阻制动特性上,见图2的曲线(1).

在调节 ϕ 的电路中应有最小 ϕ 限制自动调节电路,相应的 U_2 变化量应能保证这种调节时制动力不超过最大值.

(2) 克服加大 R 所带来的特性变软的缺点.

在电气制动控制中一般都含有速度控制环节,在大部份速度范围内,特性软不会带来很大影响.但当再生制动工作在最大磁通下的电阻制动特性上时,就会象电阻制动那样出现低速区制动力不足的现象.针对这点可采用两种方法加以克服,一是用加馈制动,这种方法的缺点是需额外消耗掉一部份能量且控制不当可能造成反方向运行的后果;二是用电阻切除办法,这种方法的缺点是需增加主电路设备,提高成本.

参 考 文 献

- [1] 连级三. 电力牵引控制系统. 成都:西南交通大学,1990. 69~70,153~160
[2] 朱世麟. 电力牵引基础. 北京:铁道出版社,1991. 80~120

Selection of Stable Resistance and a. c Voltage Source on Regeneration Brake

Lin Zhiming

ABSTRACT

Influencing the property of regneration brake caused by the stable resistance and invert-er a. c voltage source be analysed more completely and the some views how to raise function of regeneration brake be given in this paper.

Key words: Regeneration brake; Stable resistance