



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 107086819 B

(45)授权公告日 2019.05.10

(21)申请号 201710439535.2

(22)申请日 2017.06.12

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 107086819 A

(43)申请公布日 2017.08.22

(73)专利权人 武汉大学
地址 430072 湖北省武汉市武昌区珞珈山
武汉大学

(72)发明人 袁佳歆 王传盛 董健鹏 付月
田翠华 陈柏超

(74)专利代理机构 武汉科皓知识产权代理事务
所(特殊普通合伙) 42222
代理人 彭艳君

(51)Int.Cl.
H02P 1/28(2006.01)

(56)对比文件

CN 202285382 U,2012.06.27,
CN 202918225 U,2013.05.01,
CN 203025270 U,2013.06.26,
CN 203071849 U,2013.07.17,
US 3891903 A,1975.06.24,

审查员 卿龙

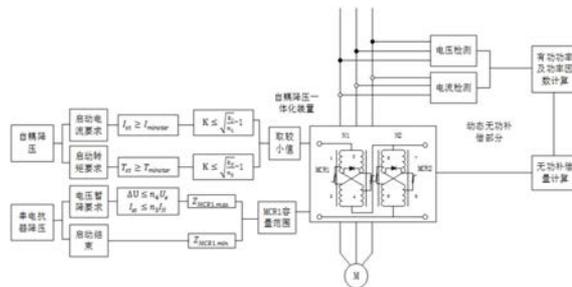
权利要求书1页 说明书5页 附图3页

(54)发明名称

高压超特大容量电机自耦降压补偿一体化
软启动参数设计

(57)摘要

本发明涉及高压超特大容量电机的软启动技术领域,具体涉及高压超特大容量电机自耦降压补偿一体化软启动参数设计,包括自耦降压启动阶段根据最小启动电流 $I_{minstar}$ 和最小启动转矩 $T_{minstar}$ 确定自耦降压启动的变比 K ;串联磁控电抗器启动阶段根据最大启动电流 $I_{s.maxT}$ 的要求以及电压暂降的标准计算需要串联的等效电抗值的大小,确定磁控电抗器MCR1容量 S_{MCR1} 的变化范围;整个软启动过程,通过实测电压电流参数计算有功功率和功率因数,确定无功补偿量,得出磁控电抗器MCR2容量 S_{MCR2} 的变化范围。该参数设计方法给出了软启动过程中具体的计算方法,完善了控制系统,有利于软启动的顺利进行。



1. 高压超特大容量电机自耦降压补偿一体化软启动参数设置方法,其特征是,包括自耦降压启动阶段根据最小启动电流 $I_{\min\text{star}}$ 和最小启动转矩 $T_{\min\text{star}}$ 确定自耦降压启动的变比 K ;串联磁控电抗器启动阶段根据最大启动电流 $I_{s.\text{maxT}}$ 的要求以及电压暂降的标准计算需要串联的等效电抗值的大小,确定磁控电抗器MCR1容量 S_{MCR1} 的变化范围;整个软启动过程,通过实测电压电流参数计算有功功率和功率因数,确定无功补偿量,得出磁控电抗器MCR2容量 S_{MCR2} 的变化范围;

所述自耦降压启动的变比 K 取以下(1)、(2)式较小值;

$$K \leq \sqrt{\frac{k_I}{n_1}} - 1 \quad (1)$$

$$K \leq \sqrt{\frac{k_T}{n_2}} - 1 \quad (2)$$

(1)、(2)式中, k_I 为启动电流倍数, k_T 为启动转矩倍数, n_1 为最小启动电流倍数, n_2 为最小启动转矩倍数;

所述磁控电抗器MCR1容量 S_{MCR1} 的变化范围为:

$$S_{\text{MCR1}} \sim \left(\frac{U_{\text{MCR1.min}}^2}{Z_{\text{MCR1.min}}}, \frac{U_{\text{MCR1.max}}^2}{Z_{\text{MCR1.max}}} \right) \quad (3)$$

(3)式中 $U_{\text{MCR1.max}}$ 为串联磁控电抗器两端的起始工作电压, $Z_{\text{MCR1.max}}$ 为串联磁控电抗器的最大等效阻抗值, $Z_{\text{MCR1.min}}$ 为启动结束的串联磁控电抗器等效阻抗值, $U_{\text{MCR1.min}}$ 为启动结束的串联磁控电抗器工作电压;

所述磁控电抗器MCR2容量 S_{MCR2} 的变化范围为:

$$S_{\text{MCR2}} \sim \left[P_1(\tan\varphi_1 - \tan\varphi_2) - \frac{U_{\Phi N}^2}{Z_{LC}}, P_1(\tan\varphi_1 - \tan\varphi_2) - \frac{U_m^2}{Z_{LC}} \right] \quad (4)$$

(4)式中 P_1 为软启动过程中通过实测电压、电流参数计算所得电机输入功率, $\cos\varphi_1$ 为功率因数, $\cos\varphi_2$ 为通过动态无功功率补偿过程提高后的功率因数, $U_{\Phi N}$ 为全压直接启动时电机端电压, U_m 为自耦降压启动时电机端电压, Z_{LC} 为LC支路阻抗。

高压超特大容量电机自耦降压补偿一体化软启动参数设计

技术领域

[0001] 本发明属于高压超特大容量电机的软启动技术领域,尤其涉及高压超特大容量电机自耦降压补偿一体化软启动参数设计。

背景技术

[0002] 随着国民经济的发展,各行业使用高压大容量电机的数量越来越多了。高压超特大容量电机直接启动产生的大电流对电网,电机本身等都会造成很大的危害。采用软启动装置可以有效地减少这种影响。

[0003] 专利申请人在“一种自耦降压补偿一体化软启动装置(CN104124905A)”专利中重点介绍了软启动装置的本体结构,没有阐明该软启动装置的具体参数的设计方法。

发明内容

[0004] 本发明的目的是提供一种高压超特大容量电机软启动参数的具体计算方法,有利于软启动的顺利进行。

[0005] 为实现上述目的,本发明采用的技术方案是:高压超特大容量电机自耦降压补偿一体化软启动参数设计,包括自耦降压启动阶段根据最小启动电流 $I_{\min\text{star}}$ 和最小启动转矩 $T_{\min\text{star}}$ 确定自耦降压启动的变比 K ;串联磁控电抗器启动阶段根据最大启动电流 $I_{s.\text{max}T}$ 的要求以及电压暂降的标准计算需要串联的等效电抗值的大小,确定磁控电抗器MCR1容量 S_{MCR1} 的变化范围;整个软启动过程,通过实测电压电流参数计算有功功率和功率因数,确定无功补偿量,得出磁控电抗器MCR2容量 S_{MCR2} 的变化范围。

[0006] 在上述的高压超特大容量电机自耦降压补偿一体化软启动参数设计中,所述自耦降压启动的变比 K 取以下(1)、(2)式较小值;

$$[0007] \quad K \leq \sqrt{\frac{k_I}{n_1}} - 1 \quad (1)$$

$$[0008] \quad K \leq \sqrt{\frac{k_T}{n_2}} - 1 \quad (2)$$

[0009] (1)、(2)式中, k_I 为启动电流倍数, k_T 为启动转矩倍数, n_1 为最小启动电流倍数, n_2 为最小启动转矩倍数。

[0010] 在上述的高压超特大容量电机自耦降压补偿一体化软启动参数设计中,所述磁控电抗器MCR1容量 S_{MCR1} 的变化范围为:

$$[0011] \quad S_{\text{MCR1}} \sim \left(\frac{U_{\text{MCR1.min}}^2}{Z_{\text{MCR1.min}}}, \frac{U_{\text{MCR1.max}}^2}{Z_{\text{MCR1.max}}} \right) \quad (3)$$

[0012] (3)式中 $U_{\text{MCR1.max}}$ 为串联磁控电抗器两端的起始工作电压, $Z_{\text{MCR1.max}}$ 为串联磁控电抗器的最大等效阻抗值, $Z_{\text{MCR1.min}}$ 为启动结束的串联磁控电抗器等效阻抗值, $U_{\text{MCR1.min}}$ 为启动结束的串联磁控电抗器工作电压。

[0013] 在上述的高压超特大容量电机自耦降压补偿一体化软启动参数设计中,所述磁控电抗器MCR2容量 S_{MCR2} 的变化范围为:

$$[0014] \quad S_{MCR2} \sim \left[P_1(\tan\varphi_1 - \tan\varphi_2) - \frac{U_{\Phi N}^2}{Z_{LC}}, P_1(\tan\varphi_1 - \tan\varphi_2) - \frac{U_m^2}{Z_{LC}} \right] \quad (4)$$

[0015] (4)式中 P_1 为软启动过程中通过实测电压、电流参数计算所得电机输入功率, $\cos\varphi_1$ 为功率因数, $\cos\varphi_2$ 为通过动态无功功率补偿过程提高后的功率因数, $U_{\Phi N}$ 为全压直接启动时电机端电压, U_m 为自耦降压启动时电机端电压, Z_{LC} 为LC支路阻抗。

[0016] 本发明的有益效果是:给出了高压超特大容量电机的软启动过程中的具体计算方法,完善了控制系统,有利于软启动的顺利进行。

附图说明

[0017] 图1为本发明一个实施例自耦降压启动的等效电路图;

[0018] 图2为本发明一个实施例串联磁控电抗器启动的等效电路图;

[0019] 图3为本发明一个实施例的计算原理图;

[0020] 图4为本发明一个实施例的启动原理图。

具体实施方式

[0021] 下面结合附图对本发明的实施方式进行详细描述。

[0022] 所述实施例的示例在附图中示出,其中自始至终相同或类似的标号表示相同或类似的元件或具有相同或类似功能的元件。下面通过参考附图描述的实施例是示例性的,仅用于解释本发明,而不能解释为对本发明的限制。

[0023] 下文的公开提供了许多不同的实施例或例子用来实现本发明的不同结构。为了简化本发明的公开,下文中对特定例子的部件和设置进行描述。它们仅仅为示例,并且目的不在于限制本发明。此外,本发明可以在不同例子中重复参考数字和/或字母。这种重复是为了简化和清楚的目的,其本身不指示所讨论各种实施例和/或设置之间的关系。此外,本发明提供了各种特定的工艺和材料的例子,但是本领域普通技术人员可以意识到其它工艺的可用性和/或其他材料的使用。另外,以下描述的第一特征在第二特征之“上”的结构可以包括第一和第二特征形成直接接触的实施例,也可以包括另外的特征形成在第一和第二特征之间的实施例,这样第一和第二特征可能不是直接接触。

[0024] 本发明的描述中,需要说明的是,除非另有规定和限定,术语“相连”“连接”应做广义理解,例如,可以是机械连接或电连接,也可以是两个元件内部的连通,可以是直接相连,也可以通过中间媒介间接相连,对于相关领域的普通技术人员而言,可以根据具体情况理解上述术语的具体含义。

[0025] 本实施例采用以下技术方案来实现,高压超特大容量电机自耦降压补偿一体化软启动参数设计,包括自耦降压启动阶段根据最小启动电流 $I_{\min\text{star}}$ 和最小启动转矩 $T_{\min\text{star}}$ 确定自耦降压启动的变比K;串联磁控电抗器启动阶段根据最大启动电流 $I_{S.\max T}$ 的要求以及电压暂降的标准计算需要串联的等效电抗值的大小,确定磁控电抗器MCR1容量 S_{MCR1} 的变化范围;整个软启动过程,通过实测电压电流参数计算有功功率和功率因数,确定无功补偿量,

得出磁控电抗器MCR2容量 S_{MCR2} 的变化范围。

[0026] 进一步,所述自耦降压启动的变比 K 取以下(1)、(2)式较小值:

$$[0027] \quad K \leq \sqrt{\frac{k_I}{n_1}} - 1 \quad (1)$$

$$[0028] \quad K \leq \sqrt{\frac{k_T}{n_2}} - 1 \quad (2)$$

[0029] (1)、(2)式中, k_I 为启动电流倍数, k_T 为启动转矩倍数, n_1 为最小启动电流倍数, n_2 为最小启动转矩倍数。

[0030] 进一步,所述磁控电抗器MCR1容量 S_{MCR1} 的变化范围为:

$$[0031] \quad S_{MCR1} \sim \left(\frac{U_{MCR1.min}^2}{Z_{MCR1.min}}, \frac{U_{MCR1.max}^2}{Z_{MCR1.max}} \right) \quad (3)$$

[0032] (3)式中 $U_{MCR1.max}$ 为串联磁控电抗器两端的起始工作电压, $Z_{MCR1.max}$ 为串联磁控电抗器的最大等效阻抗值, $Z_{MCR1.min}$ 为启动结束的串联磁控电抗器等效阻抗值, $U_{MCR1.min}$ 为启动结束的串联磁控电抗器工作电压。

[0033] 更进一步,所述磁控电抗器MCR2容量 S_{MCR2} 的变化范围为:

$$[0034] \quad S_{MCR2} \sim \left[P_1(\tan\varphi_1 - \tan\varphi_2) - \frac{U_{\Phi N}^2}{Z_{LC}}, P_1(\tan\varphi_1 - \tan\varphi_2) - \frac{U_m^2}{Z_{LC}} \right] \quad (4)$$

[0035] (4)式中 P_1 为软启动过程中通过实测电压、电流参数计算所得电机输入功率, $\cos\varphi_1$ 为功率因数, $\cos\varphi_2$ 为通过动态无功功率补偿过程提高后的功率因数, $U_{\Phi N}$ 为全压直接启动时电机端电压, U_m 为自耦降压启动时电机端电压, Z_{LC} 为LC支路阻抗。

[0036] 具体实施时,高压超特大容量电机自耦降压补偿一体化软启动参数设计包括三个部分,即自耦降压启动变比的确定,串联磁控电抗器降压启动阶段磁控电抗器MCR1容量的确定和动态无功功率补偿过程中磁控电抗器MCR2容量的确定。如图4所示。

[0037] 电机启动初始阶段采用自耦降压启动的方法,根据最小启动电流 $I_{minstar}$ 和最小启动转矩 $T_{minstar}$ 来确定自耦降压启动的变比 K 。自耦降压启动结束后,进入串联磁控电抗器启动阶段。此时,根据最大启动电流 $I_{s.max1}$ 的要求以及电压暂降的标准来计算出需要串联的等效电抗值的大小,进而确定磁控电抗器MCR1的容量变化范围。在整个软启动过程中,LC补偿支路和磁控电抗器MCR2的并联组成了动态无功补偿的部分。通过电压电流等参数的测量,计算有功功率和功率因数,确定无功补偿量,进而确定磁控电抗器MCR2的容量。

[0038] 并且,在电机启动初始阶段,采用自耦降压启动的方法。根据电机参数,电机的最小启动电流为 $I_{minstar} = n_1 I_N$,其中 I_N 为电机的额定电流, n_1 为最小启动电流倍数,最小启动转矩为 $T_{minstar} = n_2 T_N$,其中 T_N 为电机的额定转矩, n_2 为最小启动转矩倍数,启动电流倍数为 k_I ,启动转矩倍数为 k_T 。设自耦降压启动时电机端电压为 U_m ,全压直接启动时电机端电压为 $U_{\Phi N}$,自耦降压启动时的电流为 I_m ,全压启动时的电流为 I_{stN} ,自耦降压启动时电网电流为 I_{st} ,自耦降压启动时电磁转矩为 T_{st} ,全压启动时电磁转矩为 T_{stN} ,自耦降压启动变比为 $K = N_1/N_2$ 。如图1所示,可得如下关系,其中 N_1 和 N_2 分别为自耦降压阶段磁控电抗器MCR1和MCR2的绕组匝数, a 为自耦降压启动时电机端电压与全压直接启动时电机端电压之比的倒数:

$$[0039] \quad \frac{U_m}{U_{\phi N}} = \frac{1}{a}$$

$$[0040] \quad \frac{I_m}{I_{stN}} = \frac{U_m}{U_{\phi N}} = \frac{1}{a}$$

[0041] 由一二次侧容量相等 $U_{\phi N}I_{st} = U_mI_m$ 可得：

$$[0042] \quad I_m = \frac{U_{\phi N}}{U_m} I_{st} = aI_{st}$$

[0043] 可得：

$$[0044] \quad \frac{I_{st}}{I_{stN}} = \frac{I_{st}}{I_m} \frac{I_m}{I_{stN}} = \frac{1}{a^2}$$

$$[0045] \quad \frac{T_{st}}{T_{stN}} = \left(\frac{U_m}{U_{\phi N}}\right)^2 = \frac{1}{a^2}$$

[0046] 而 $a = \frac{N_1 + N_2}{N_2}$ ，得到：

$$[0047] \quad a = K + 1$$

[0048] 因而可以得到：

$$[0049] \quad I_{st} = \frac{1}{a^2} I_{stN} = \frac{1}{a^2} (k_I I_N) \geq I_{\min.star} = n_1 I_N$$

$$[0050] \quad T_{st} = \frac{1}{a^2} T_{stN} = \frac{1}{a^2} (k_T T_N) \geq T_{\min.star} = n_2 T_N$$

[0051] 解得：

$$[0052] \quad K \leq \sqrt{\frac{k_I}{n_1}} - 1$$

$$[0053] \quad K \leq \sqrt{\frac{k_T}{n_2}} - 1$$

[0054] 因此，得到的自耦降压启动变比 K 取上面两式的较小值。

[0055] 并且，自耦降压启动结束后，进入串磁控电抗器启动阶段。如图2所示，根据启动要求，有最大 $I_{s.maxT} = n_3 I_N$ ，其中 n_3 为最大启动转矩倍数。根据电压暂降的标准，有最大电压降落 $\Delta U_{max} = n_4 U_e$ ，其中 U_e 为PCC节点的电压标么值， n_4 为最大电压降落倍数。电机启动和正常运行时PCC节点的电压分别为（忽略其他负荷 Z_0 的电流）：

$$[0056] \quad U_{PCC.st} = U_s - I_{st} (Z_s + Z_L + Z_d + Z_{MCR1.max})$$

$$[0057] \quad U_{PCC} = U_s - I_N (Z_s + Z_L + Z_d)$$

[0058] 其中 U_s 为电源侧电压， Z_s 为等效系统阻抗， Z_d 为异步电机启动时的等效阻抗（用短路阻抗 Z_k 来等效）， Z_L 为负荷阻抗， $Z_{MCR1.max}$ 为串联的磁控电抗器的最大等效阻抗值。两式相减，令 $I_{st} = I_{s.maxT}$ 得到：

$$[0059] \quad \Delta U = I_N [(n_3 - 1) (Z_s + Z_L + Z_d) + n_3 Z_{MCR1.max}]$$

[0060] 令 $\Delta U = \Delta U_{\max} = n_4 U_e$, 代入上式解得:

$$[0061] \quad Z_{MCR1.\max} = \frac{n_4 U_e - (n_3 - 1) I_N (Z_s + Z_L + Z_d)}{n_3 I_N}$$

[0062] 此时电抗器两端的起始工作电压为:

$$[0063] \quad U_{MCR1.\max} = n_3 I_N Z_{MCR1.\max}$$

[0064] 当检测到电流下降到额定电流的95%时, 则断开自耦磁控无功补偿一体化软启动器, 计算此时即启动结束时磁控电抗器的等效阻抗值 $Z_{MCR1.\min}$ 及工作电压 $U_{MCR1.\min}$ 为:

$$[0065] \quad Z_{MCR1.\min} = \frac{U_N}{K_e n_3 I_N} - Z_{d.\text{end}} - Z_L$$

[0066] 上式中, K_e 为启动电流调整系数, $Z_{d.\text{end}}$ 为启动结束时电机的等效阻抗, 为转差率 s

$$= (n - 0.95n) / n \text{ 代入式 } Z = r_1 + jx_{1\delta} + \frac{\left(\frac{r_2'}{s} + jx_{2\delta}'\right)(r_m + jx_m)}{\frac{r_2'}{s} + jx_{2\delta}' + r_m + jx_m} \text{ 得到, } n \text{ 为电机的同步转速, } r_m, x_m$$

分别为电机励磁电阻和励磁电抗, $r_1, x_{1\delta}$ 分别是定子电阻和漏抗, $r_2', x_{2\delta}'$ 分别为转子电阻和漏抗的折算值。

[0067] 此时电抗器两端的结束工作电压为:

$$[0068] \quad U_{MCR1.\min} = K_e n_3 I_N Z_{MCR1.\min}$$

[0069] 因此, 磁控电抗器 MCR1 的容量 S_{MCR1} 变化范围为:

$$[0070] \quad S_{MCR1} \sim \left(\frac{U_{MCR1.\min}^2}{Z_{MCR1.\min}}, \frac{U_{MCR1.\max}^2}{Z_{MCR1.\max}} \right)$$

[0071] 在软启动的过程中, 通过实测电压, 电流等参数来计算出电机的输入功率 P_1 和功率因数 $\cos\varphi_1$ 。若要将功率因数提高到 $\cos\varphi_2$, 则需要的磁控电抗器 MCR2 的无功补偿量为:

$Q_{MCR2} = P_1(\tan\varphi_1 - \tan\varphi_2) - Q_{LC}$ 。其中 Q_{LC} 为 LC 支路提供的无功补偿容量, 在自耦启动阶段 $Q_{LC} = U_m^2 / Z_{LC}$ (Z_{LC} 为 LC 支路阻抗), 在串电抗器启动阶段 $Q_{LC} = U_{\phi N}^2 / Z_{LC}$ 。因此, 磁控电抗器 MCR2 的容量 S_{MCR2} 变化范围为:

$$[0072] \quad S_{MCR2} \sim \left[P_1(\tan\varphi_1 - \tan\varphi_2) - \frac{U_{\phi N}^2}{Z_{LC}}, P_1(\tan\varphi_1 - \tan\varphi_2) - \frac{U_m^2}{Z_{LC}} \right]$$

[0073] 上述计算原理如图3所示。

[0074] 应当理解的是, 本说明书未详细阐述的部分均属于现有技术。

[0075] 虽然以上结合附图描述了本发明的具体实施方式, 但是本领域普通技术人员应当理解, 这些仅是举例说明, 可以对这些实施方式做出多种变形或修改, 而不背离本发明的原理和实质。本发明的范围仅由所附权利要求书限定。

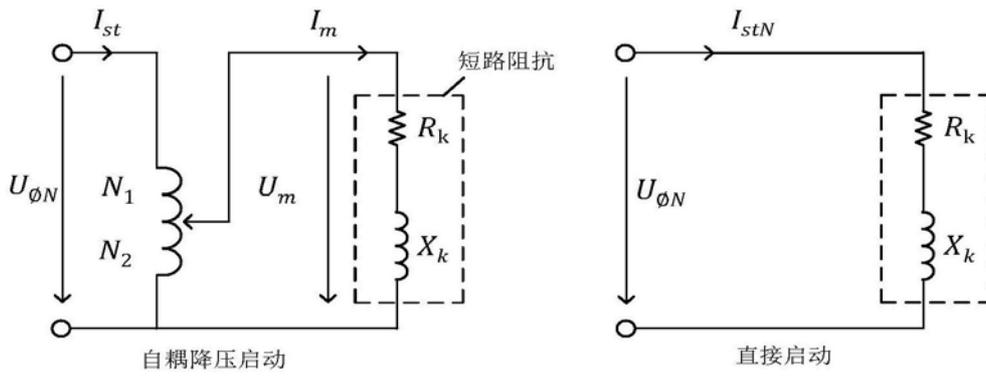


图1

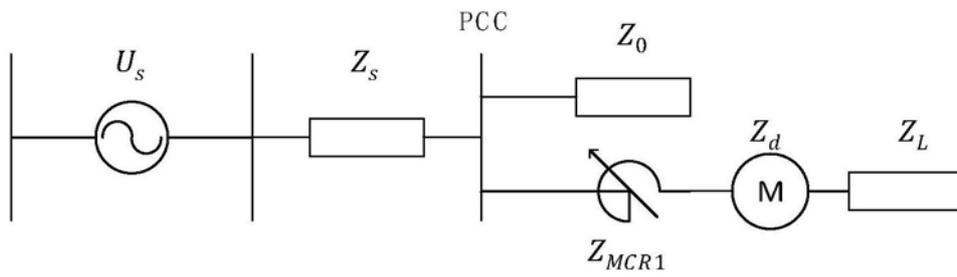


图2

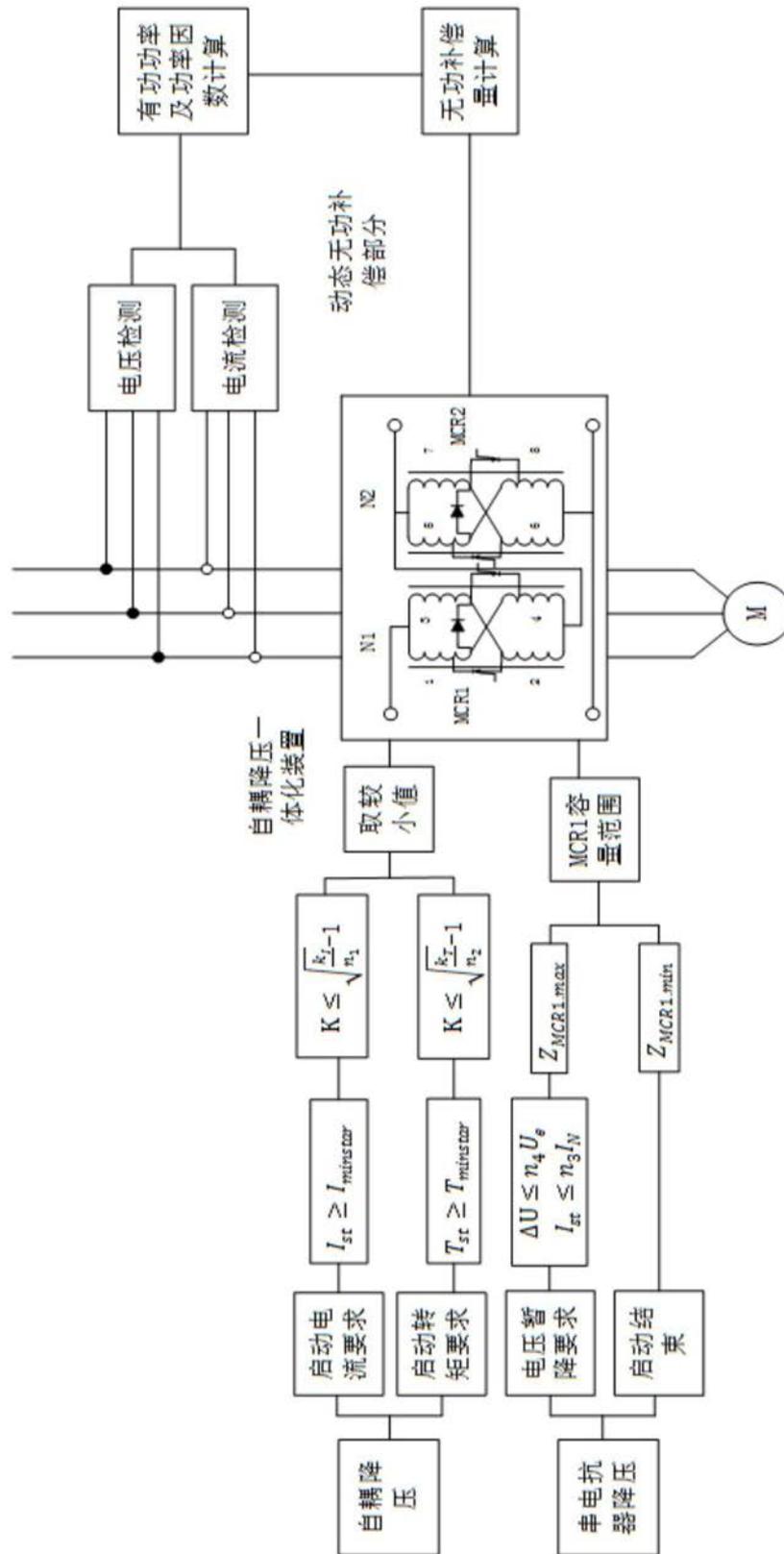


图3

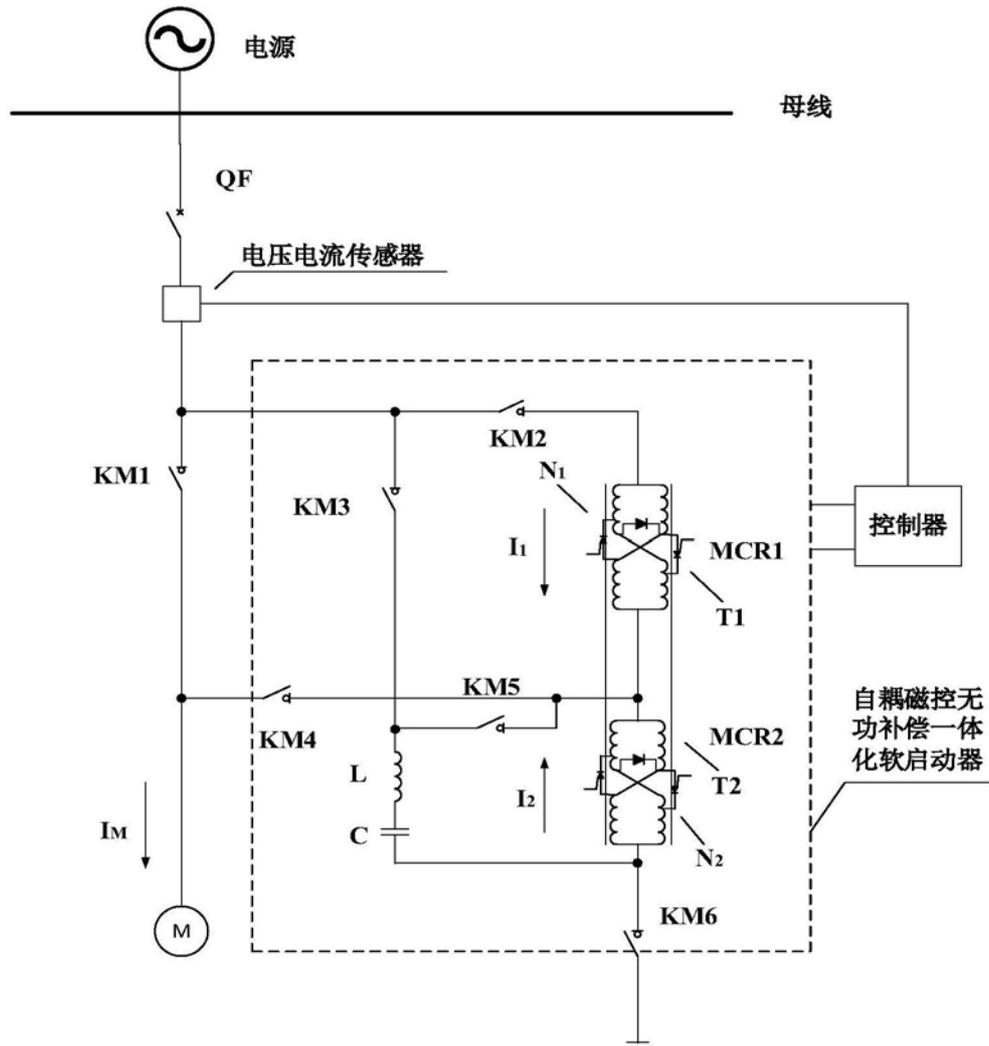


图4