

第3章

直流电动机可逆调速及直流斩波调速系统

在生产实际中许多场合要求直流电动机能够正、反转,且能够快速起动或制动,也即电动机能够Ⅳ象限运行,这就需要可逆的调速系统。

在直流电力拖动系统中,无论是正、反转还是制动,均要求改变直流电动机电磁转矩方向。要改变直流电动机电磁转矩方向有两种方法:一是改变电枢电流方向,即改变电枢电压的极性;二是改变电动机励磁磁通方向,即改变励磁电流方向。与这两种方法相对应的可逆调速系统也分两类:一类是通过改变电枢电压极性实现的可逆运行的系统,称为电枢可逆系统,另一类是通过改变励磁电流方向实现的可逆运行的系统,称为磁场可逆系统。

3.1 晶闸管—电动机(V-M)可逆调速系统主电路结构形式

1. 单组晶闸管供电切换电流极性的可逆线路

(1) 改变电动机电枢与电源之间的连接极性

当电动机电流需要反向时,把电动机与整流桥的连接反过来,电流就能反向了。电路结构形式如图 3-1 所示。图 3-1(a)所示利用接触器来改变电动机两端电枢极性,图 3-1(b)所示利用无触点的晶闸管来改变电动机两端电枢电压极性。当接触器 KM_1 闭合时,电动机流过正向电流,电动机正转;当接触器 KM_2 闭合时,电动机流过反向电流,电动机就可以反转。

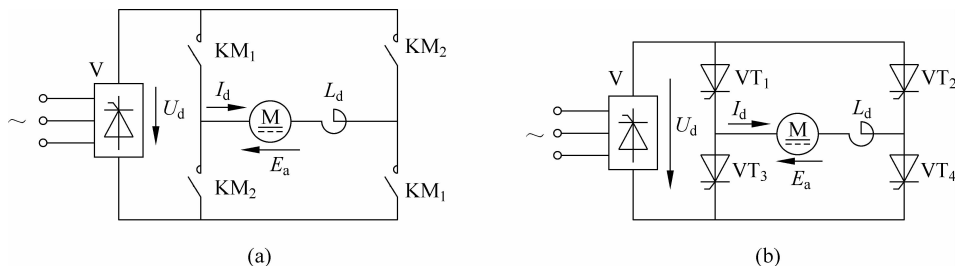


图 3-1 单组晶闸管供电切换电流极性的可逆调速系统

当电动机正向运转需要停车时,先使整流器停止工作,由于电动机电枢电流不能突变,电流方向仍然保持不变,但电磁转矩小于负载转矩,电动机转速下降,电流逐渐变小。当电流变为零时,把 KM_1 断开, KM_2 闭合,同时使整流桥处于逆变状态,使 U_d 极性变反,成为下正上负,但由于电动机仍在正向运转, E_a 的方向不变,通过控制逆变角 U_{dof} ,使 $|U_d| < E_a$,电

流将通过 KM_2 反向,电动机处于回馈制动状态,机械能转换成电能通过整流桥将能量回送到电网。制动过程电动机运行在第Ⅱ象限,在制动转矩作用下,电动机转速很快下降, E_a 也下降,只要 $|U_d|$ 总小于 E_a ,就可保证系统在所整定的最大制动电流下使电动机转速下降到零。若把 KM_1 与 KM_2 调换,电动机就可以工作在第Ⅲ、第Ⅳ象限。

(2) 改变电动机励磁电流方向

电动机Ⅳ象限运行控制的本质是电动机电磁转矩方向发生变化,转矩方向发生变化,除通过电枢电流方向发生改变外,也可以通过使直流电动机磁通反向来实现,也即改变励磁电流的方向,其原理图如图 3-2 所示。

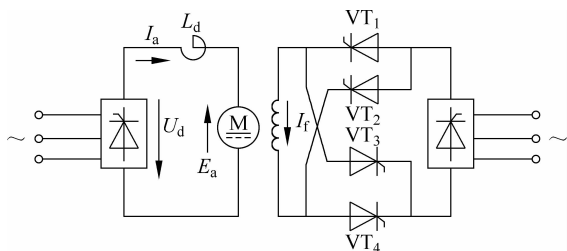


图 3-2 改变励磁电流方向的可逆直流调速系统

当需要制动时, I_f 反向,电动机电枢电流方向没有变化,电磁转矩将反向,变为制动转矩;又因转速方向不变, E_a 将反向,若把整流桥改为逆变状态,则 U_d 也反向,控制逆变角 β 使得 $|U_d| < |E_a|$ 时,产生的制动转矩使系统工作在第Ⅱ象限。

由于励磁电感很大, I_f 反向需要较长的过渡时间,磁通 Φ 从正向变为反向的过程必定要经历 $\Phi = 0$ 阶段,因此在切换的过程中,主电路必须停止供电,否则会引起过流及“飞车”等故障。

2. 两组晶闸管供电的可逆电路

两组晶闸管整流电路供电的可逆电路有两种连接方式:反并联连接及交叉连接。

(1) 反并联连接

反并联连接的可逆调速系统如图 3-3、图 3-4 所示。图 3-3 所示是采用三相桥式全控整流电路的可逆调速系统。图 3-4 所示是采用三相零式可控整流电路的可逆调速系统。图 3-3 和图 3-4 中,VF 是正组整流桥,VR 是反组整流桥。

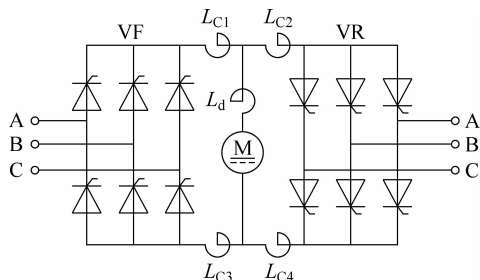


图 3-3 三相桥式全控整流可逆调速系统

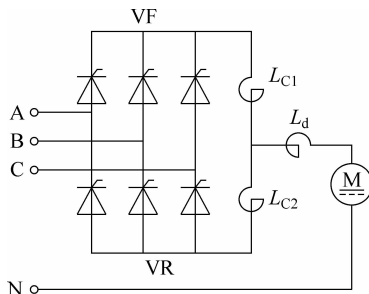


图 3-4 采用三相零式可控整流可逆调速系统

(2) 交叉连接

交叉连接的可逆电路如图 3-5 所示,图 3-5(a)所示是三相零式可控整流电路构成的交叉可逆直流调速系统,图 3-5(b)是三相桥式全控整流电路构成的交叉可逆直流调速系统。从图 3-5(b)和图 3-3 看,如把图 3-5(b)的反组桥垂直翻转过来,则两图之间似乎没有多大区别。实际上,这两者电路的主要区别是两组整流桥所接的交流电源不同。反并联连接电路的两组整流桥使用的是同一个交流电源,交叉连接电路的两组整流桥使用的是无电气连接的两个独立电源。由于使用的电源不同,限制环流电抗器的数量也有差别。

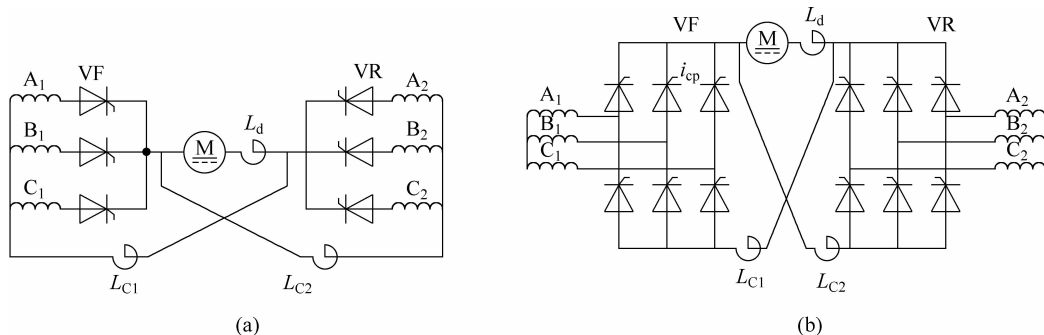


图 3-5 交叉连接的可逆调速系统

(a) 三相零式可控整流电路构成的交叉可逆调速系统; (b) 三相桥式全控整流电路构成的交叉可逆调速系统

图 3-1(a)所示的接触器开关可逆电路使用的是触点切换来达到制动状态,由于触点切换慢,切换时会有火花、出现瞬态过电压及触点容易损坏等缺点,现已很少使用。对图 3-1(b)的晶闸管开关切换电路,控制电路也不算简单。目前常用的可逆电路是采用两组晶闸管整流桥的电路。下面就以两组整流桥反并联可逆电路为例,讨论电路的工作状态。

较大功率的直流调速系统多采用 V-M(晶闸管—电动机)系统,由于晶闸管的单向导电性,需要可逆运行时经常采用两组晶闸管可控装置反并联的可逆电路,图 3-6 为图 3-3 的简化图。当电动机正转时,由正组晶闸管 VF 装置供电,反转时,由反组晶闸管 VR 装置供电,两组晶闸管分别由两套触发装置控制,都能灵活地控制电动机的起制动和升降速。但在一般的情况下不允许让两组晶闸管同时处于整流状态,否则会造成电源短路。

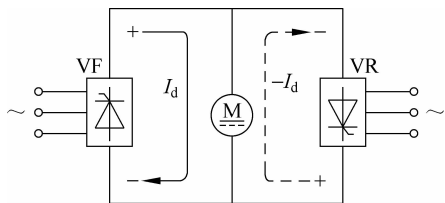


图 3-6 两组晶闸管反并联可逆调速系统

在两组晶闸管反并联线路的系统中,晶闸管装置工作在整流或有源逆变状态,例如当正组晶闸管 VF 工作在整流状态时,电动机正向运转,电动机从电网输入能量做电动运行。但此时反组晶闸管 VR 必须处于有源逆变状态或封锁状态,以防止两整流桥之间电源短路。当需要制动时,由于电动机转速方向未发生变化以及晶闸管的单向导电性,要使反向电流流通必须靠反组晶闸管 VR。在电枢电流过零后,使 VR 整流桥处于整流状态电动机处于反接制动状态,当电枢电流略超调时,又使 VR 处于逆变状态,适当调整 VR 的逆变角,使得电动机的感应电动势大于 VR 逆变电压,电枢电流便通过 VR 流通,把机械能转化为电能回馈到电网,实现回馈制动。

同样的分析方法也可以分析电动机在反向运转时也能够实现制动,所以两组反并联晶闸管很容易实现直流电动机在Ⅳ象限运行。即使是不可逆的调速系统,只要是需要快速的回馈制动,常常也采用两组反并联的晶闸管装置,由正组整流桥提供电动运行所需要的整流供电,反组整流桥只提供逆变制动,这时,两组晶闸管装置的容量大小可以不同,反组只在短时间内给电动机提供制动电流,并不提供稳态运行的电流,实际采用的容量可以小一些。

表 3-1 所列是两组晶闸管反并联可逆电路正反转时晶闸管装置和电动机的工作状态。

表 3-1 V-M 系统反并联可逆线路的工作状态

V-M 系统的工作状态	正向运行	正向制动	反向运行	反向制动
电枢端电压极性	+	+	-	-
电枢电流极性	+	-	-	+
电动机旋转方向	+	+	-	-
电动机运行状态	电动	回馈制动	电动	回馈制动
晶闸管工作组别和状态	正组、整流	反组、逆变	反组、整流	正组、逆变
机械特性所在象限	I	II	III	IV

3.2 可逆调速系统中环流分析

3.2.1 环流的定义

所谓环流,是指不通过电动机或其他负载,而直接在两组晶闸管之间流动的电流,如图 3-7 所示反并联线路中的电流 I_c ,即为环流。

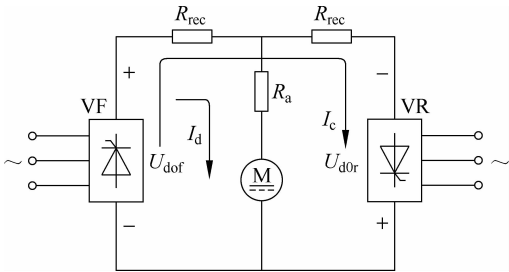


图 3-7 两组晶闸管反并联直流可逆调速系统中的环流
 I_d —负载电流; I_c —环流

1. 环流的优缺点

优点: 在保证晶闸管安全工作的前提下,适度的环流能使晶闸管—电动机系统在空载或轻载时保持电流连续,避免电流断续对系统性能的影响。可逆系统中的少量环流,可以保证电流无换向死区,加快过渡过程。

缺点: 环流的存在会显著地加重晶闸管和变压器负担,消耗无用功率,环流太大时甚至会损坏晶闸管,为此必须予以抑制。

2. 环流的种类

环流分为两大类。

(1) 静态环流。当晶闸管装置在一定的控制角下稳定工作时,可逆线路中出现的环流称为静态环流。静态环流又分为直流平均环流和瞬时脉动环流。由于两组晶闸管装置之间存在正向直流平均电压差而产生的环流称为直流平均环流;由于整流器电压和逆变器电压瞬时值不相等而产生的环流称为瞬时脉动环流。

(2) 动态环流。系统稳态运行时并不存在,只在系统处于过渡过程中出现的环流称为动态环流。本章不作动态环流分析。

3.2.2

直流平均环流产生的原因及消除办法

1. 直流平均环流产生的原因

在图 3-7 的反并联可逆线路中,如果正组晶闸管 VF 和反组晶闸管 VR 都处于整流状态,且正组整流电压和反组整流电压正负相连,将造成直流电源短路,此短路电流即为直流平均环流。

2. 消除直流平均环流措施

为防止产生直流平均环流,最好的解决办法是当正组晶闸管 VF 处于整流状态输出平均电压 U_{dof} 时,让反组晶闸管 VR 处于逆变状态,输出一个逆变平均电压 U_{dor} 把 U_{dof} 顶住,即两个电压幅值相等,方向相反。

设 VF 组处于整流状态,其输出平均电压为 U_{dof} ,对应的 VR 组处于逆变状态,其输出平均电压为 U_{dor} 。它们分别为

$$U_{dof} = U_{d0m} \cos \alpha_f \quad (3-1)$$

$$U_{dor} = U_{d0m} \cos \alpha_r \quad (3-2)$$

又 $U_{dof} = -U_{dor}$, 则

$$\cos \alpha_f = -\cos \alpha_r$$

即

$$\alpha_f + \alpha_r = 180^\circ \quad (3-3)$$

如果反组的控制角用逆变角 β_r 表示,则 $\alpha_f = \beta_r$, 这种工作方式通常称为 $\alpha = \beta$ 配合控制。

当 $\alpha_f \geq \beta_r$ 时,虽然 U_{dor} 幅值大于 U_{dof} ,但由于晶闸管单向导电性,电流不能反向,仍然可以消除平均直流环流。

同理,若 VF 处于逆变状态,VR 处于整流状态,同样可以分析出 $\alpha_r \geq \beta_f$ 时无直流平均环流。

所以,在两组晶闸管组成的可逆线路中,消除直流环流的方法是使 $\alpha \geq \beta$, 即整流组的触发角 α 大于或等于逆变组的逆变角 β 。

3. 实现方法

实现 $\alpha=\beta$ 的配合控制比较容易。采用同步信号为锯齿波的触发电路时,移相控制特性是线性的。用同一个控制电压 U_c 去控制两组触发装置,使两组触发装置的移相控制电压大小相等极性相反。即正组触发装置 GTF 由 U_c 直接控制,而反组触发装置 GTR 控制电压 $\overline{U_c}$ 是经过反号器 AR 后得到的。当控制电压 $U_c=0$ 时,使 $\alpha_{f0}=\beta_{r0}=90^\circ$,此时 $U_{dof}=U_{dor}=0$ 。增大控制电压 U_c 时, α_f, β_r 同样减小,这样就会使得正组整流、反组逆变,在控制过程中始终保持 $\alpha=\beta$,从而消除平均直流环流,如图 3-8 所示。

为了防止晶闸管有源逆变器因逆变角 β 太小而发生逆变颠覆事故,必须在控制电路中设置限制最小逆变角 $\beta_{\min}$ 的保护环节,同时为了保证 $\alpha=\beta$ 的配合控制,也必须对 α 加以限制,使 $\alpha=\beta$,通常取 $\alpha_{\min}=\beta_{\min}=30^\circ$,如图 3-9 所示。

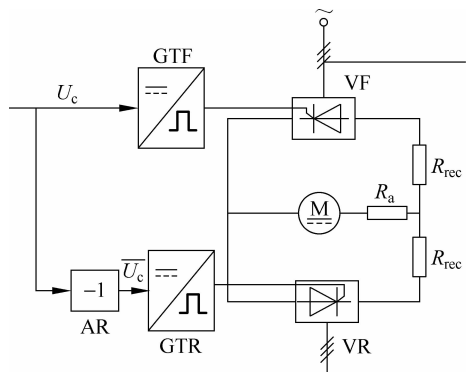


图 3-8 $\alpha=\beta$ 配合控制电路

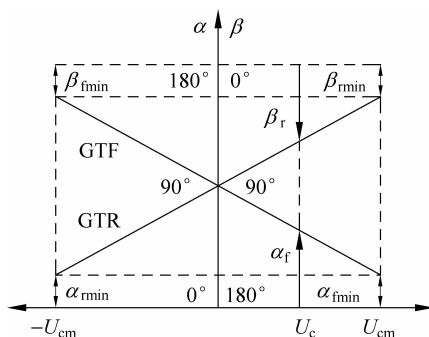


图 3-9 $\alpha=\beta$ 控制特性

3.2.3

瞬时脉动环流及其抑制

1. 瞬时脉动环流产生的原因

当采用 $\alpha=\beta$ 配合控制时,整流器和逆变器输出直流平均电压 U_{dof}, U_{dor} 是相等的,因而没有直流平均环流。然而,此时晶闸管输出的瞬时电压是不相等的,当正组整流电压瞬时值 u_{dof} 大于反组逆变电压瞬时值 u_{dor} 时,便产生瞬时电压差 Δu_{d0} ,从而产生瞬时环流 i_{cp} 。控制角不同时,瞬时电压差 Δu_{d0} 和瞬时环流 i_{cp} 也不同,图 3-10 画出了三相零式反并联可逆线路的情况,图 3-10(b) 是正组瞬时整流电压波形,图 3-10(c) 是反组瞬时逆变电压的波形,图中打阴影线部分是 a 相整流和 b 相逆变时电压,显然其瞬时值不相等,而其平均电压却相等。瞬时电压差 Δu_{d0} 的波形绘于图 3-10(d) 中,由于这个瞬时电压差的存在,两组晶闸管之间便产生了瞬时脉动环流 i_{cp} ,图 3-10(a) 绘出了 a 相整流和 b 相逆变时的瞬时环流回路,由于晶闸管装置内阻很小,环流回路的阻抗主要是电感, i_{cp} 不能突变,并且落后于 Δu_{d0} ,又由于晶闸管的单相导电性,只能在一个方向脉动,所以称为瞬时脉动环流,这个瞬时脉动环流存在直流分量 I_{cp} ,但和平均电压差所产生的直流环流是有根本区别的。

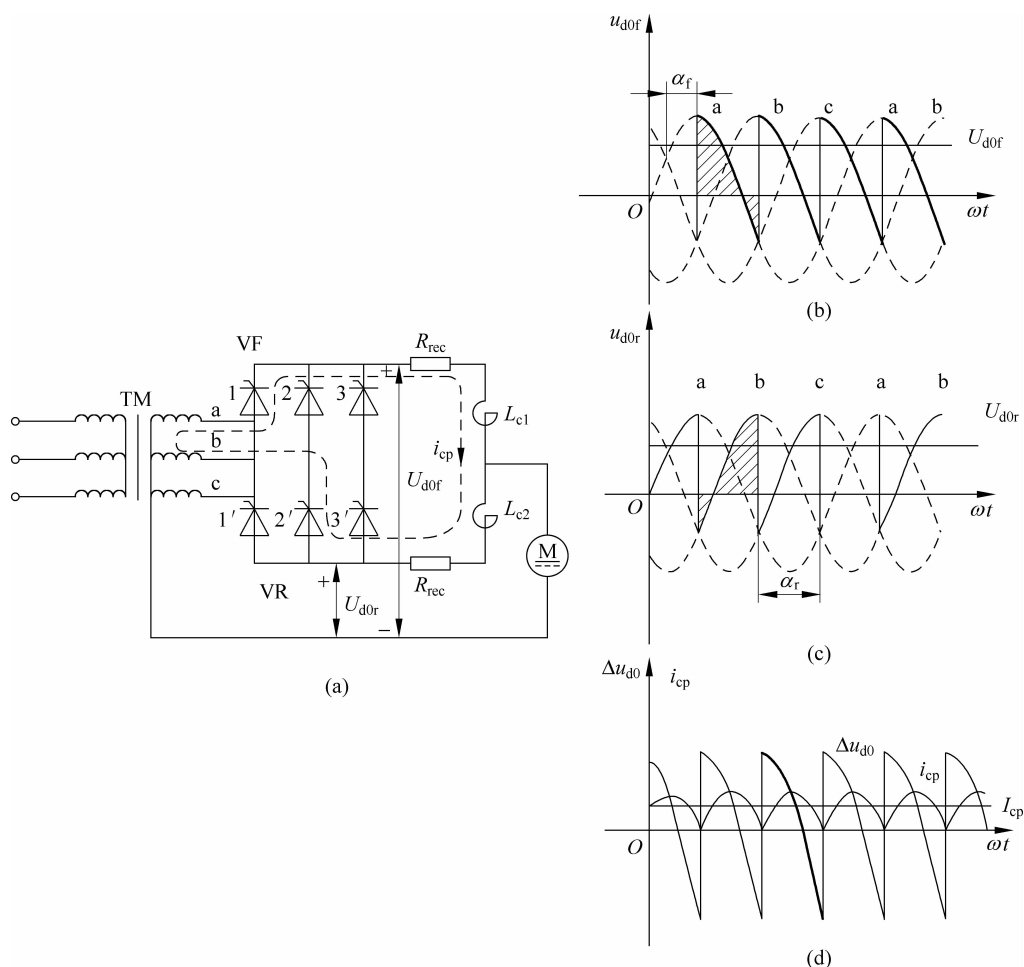


图 3-10 $\alpha=\beta$ 配合控制的三相零式反并联可逆线路的瞬时脉动环流

(a) 三相零式可逆线路和瞬时脉动环流回路；(b) 正组瞬时整流电压 u_{d0f} 波形；
(c) 反组瞬时逆变电压 u_{d0r} 波形；(d) 瞬时电压差 Δu_{d0} 和瞬时脉动环流 i_{cp} 波形

2. 瞬时脉动环流的抑制

直流平均环流可以用 $\alpha=\beta$ 的配合控制来消除,而抑制瞬时脉动环流的办法是在环流回路中串入电抗器,这种电抗器称为环流电抗器或均衡电抗器,如图 3-10(a)中的 L_{c1} 和 L_{c2} 所示,一般要求把瞬时脉动环流中的直流分量 I_{cp} 限制在负载额定电流的 $5\% \sim 10\%$ 。

在图 3-10 所示的三相零式可逆线路中,有一条环流通路,故设有两个环流电抗器,在环流回路中它们是串联的,当正组整流时, L_{c1} 因流过过大的负载电流而饱和,失去了限制环流的作用,而反组逆变回路中的电抗器 L_{c2} 由于没有负载电流通过,才真正起限制瞬时脉动环流的作用。

三相桥式反并联可逆线路中由于有并联的两条环流通路,应设置 4 个环流电抗器,如图 3-11 所示。若采用交叉连接的可逆线路中只有一条环流通路,环流电抗器的数量可以减小一半,如图 3-12 所示。

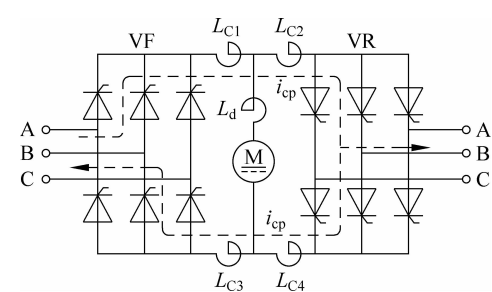


图 3-11 三相桥式反并联可逆线路中的环流

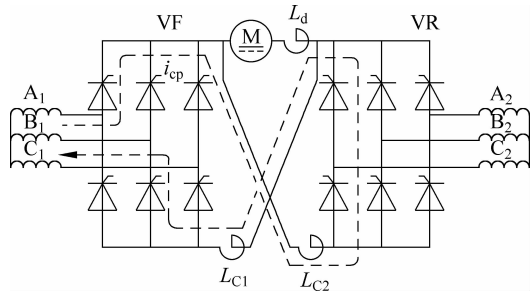


图 3-12 交叉连接的可逆线路中的环流

不同连接方式可逆电路的环流电抗器设置个数如表 3-2 所示。

表 3-2 可逆电路环流电抗器设置的个数

连接方式	反并联连接		交叉连接	
整流电路形式	三相零式	三相桥式	三相零式	三相桥式
环流电抗器个数	2	4	2	2

3.3 有环流可逆调速系统

3.3.1

$\alpha=\beta$ 配合控制的有环流可逆调速系统

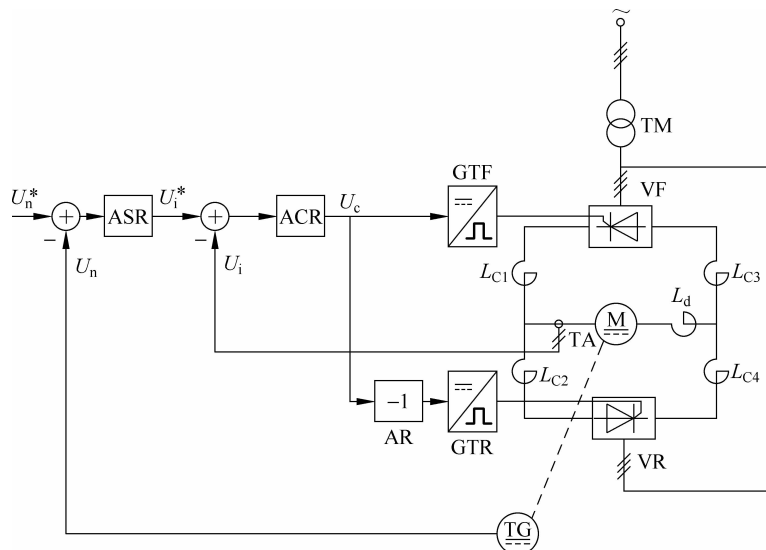
由于 $\alpha=\beta$ 配合控制可逆调速系统仍采用转速电流双闭环控制,其起动和制动过渡过程都是在允许最大电流限制下进行的,转速基本上按线性变化的“准时间最优控制”过程变化,起动过程和不可逆的双闭环系统没有什么区别,只是转速调节器 ASR 和电流调节器 ACR 都设置了双向输出限幅,以限制最大起制动电流和最小控制角 $\alpha_{\min}$ 与最小逆变角 $\beta_{\min}$ 。由于是可逆调速系统,给定电压 U_n^* 、转速反馈电压 U_n 、电流反馈电压 U_i 都应该能够反映正、负极性。 $\alpha=\beta$ 配合控制的有环流可逆调速系统原理框图如图 3-13 所示。

1. 电动机正向运行状态分析

电动机在正向运转稳态工作时,给定电压 U_n^* 极性为“+”,转速反馈电压 U_n 极性为“-”,由于转速反馈电压 U_n 略小于给定电压 U_n^* ,所以转速调节器输出电压 U_i^* 极性为“-”,因电流是负反馈,故电流反馈电压 U_i 为“+”,且也略小于 U_i^* ,所以电流调节器输出电压 U_c 为“+”,正组整流桥 VF 处于整流状态; U_c 经过反向器 AR 后控制反组触发装置,使得反组整流桥 VR 处于逆变状态,但由于反组整流桥除了环流外没有负载电流通过,它实际上处于“待逆变”状态。

2. 正向回馈制动过程分析

$\alpha=\beta$ 配合控制的有环流可逆调速系统制动过程中有它的特点,整个制动过程可以分为 3 个主要阶段。当发出停车指令(或反向)后,转速给定电压 U_n^* 突变为“0”或“-”,由于转

图 3-13 $\alpha=\beta$ 配合控制的有环流可逆调速系统原理框图

速方向没有发生改变, U_n 极性仍然为“—”, 则 ASR 输出跃变到正限幅值 $+U_{im}^*$, 其值约等于 βI_{dm} , 再因为回路电感的作用, 电枢电流也不能突变, U_{im}^* 、 U_i 极性都为“+”, 故 ACR 输出跃变成负限幅值 $-U_{cm}$, 使 VF 由整流状态很快变成逆变状态, 同时反组 VR 由待逆变状态转变成待整流状态, 在 V-M 回路中, 由于 VF 变成逆变状态, U_{dof} 的极性变“—”, 而电动机反电动势 E 极性未变, 使 I_d 迅速下降, 主电路电感迅速释放电能, 企图维持正向电流, 这时

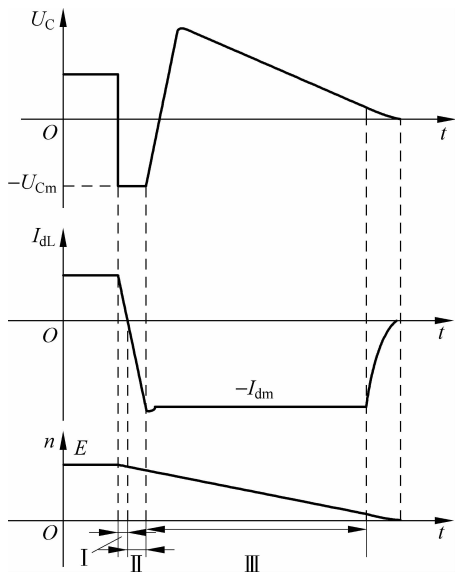
$$L \frac{dI_d}{dt} - E > |U_{dof}| = |U_{d0r}| \quad (3-4)$$

大部分能量通过 VF 回馈电网, 所以称为“本组逆变阶段”。由于电流的迅速下降, 这个阶段所占时间很短, 转速来不及产生明显的变化, 其波形如图 3-14 中阶段 I 所示。

当主电路电流 I_d 下降到零时, 本组逆变终止, 第 I 阶段结束, 转到反组 VR 工作, 开始通过反组制动, 从这时起直到制动过程结束统称“它组制动阶段”。它组制动阶段又分为第 II 和第 III 两部分。开始时, I_d 过零并反向, 直到 $-I_{dm}$ 以前, ACR 并未脱离饱和状态, 其输出仍为 $-U_{cm}$ 。当本组逆变停止时, 电流变化延缓, $L \frac{dI_d}{dt}$ 的数值略减, 使

$$L \frac{dI_d}{dt} - E < |U_{dof}| = |U_{d0r}| \quad (3-5)$$

反组 VR 由“待整流”进入整流, 为主电路提供 $-I_d$, 由于反组整流电压 U_{d0r} 和反组电动势 E 的极性相同(转速方向仍然没有发生变化), 反向电流很快增长, 电动机处于反接制动状态, 转速明显

图 3-14 $\alpha=\beta$ 配合控制的有环流可逆调速系统正向制动过渡过程波形

降低,如图 3-14 的阶段Ⅱ所示,称为“它组反接制动状态”。

由于 ACR 的输出仍然为 $+U_{im}^*$,当反向电流达到 $-I_{dm}$ 并略有超调时, $|U_i| > |U_i^*|$, ACR 输出电压 U_c 退出饱和,其数值很快减小,极性由“—”变“+”,然后再增大,使 VR 回到逆变状态,而 VF 变成待整流状态,此后,在 ACR 的调节作用下,力图维持接近最大的反向电流 $-I_{dm}$,电感电流基本不变。因而

$$L \frac{dI_d}{dt} \approx 0, \quad E > |U_{dof}| = |U_{dor}| \quad (3-6)$$

电动机在恒减速条件下回馈制动,把动能转换成电能,其中大部分通过 VR 逆变回馈电网,过渡过程波形为图 3-14 的第Ⅲ阶段,称为“它组回馈制动阶段”或“它组逆变阶段”。由图 3-14 可见,这个阶段所占的时间最长,是制动过程中的主要阶段。

最后,转速下降很低,无法再维持 $-I_{dm}$,于是,电流和转速都减小,电动机停止。

如果需要在制动后紧接着反转, $I_d = -I_{dm}$ 的过程就会延续下去,直到反向转速稳定时为止,正转制动和反转起动的过程完全衔接起来,没有间断或死区,这是有环流可逆调速系统的优点,适用于要求快速正、反转的系统,其缺点是需要添置环流电抗器,而且晶闸管等器件都要负担负载电流及环流。

3.3.2

可控环流可逆调速系统

为了更充分利用有环流可逆系统制动和反向过程的平滑性和连续性,最好能有电流波形连续的环流。当主回路电流可能断续时,采用 $\alpha < \beta$ 控制方式有意提供一个附加的直流平均环流,使电流连续,当主回路负载电流连续了,设法形成 $\alpha > \beta$ 控制方式,遏制环流至零。这样根据实际情况来控制环流的大小和有无,扬环流之长而避其短,称为可控环流的可逆调速系统。可控环流可逆调速系统原理图如图 3-15 所示。

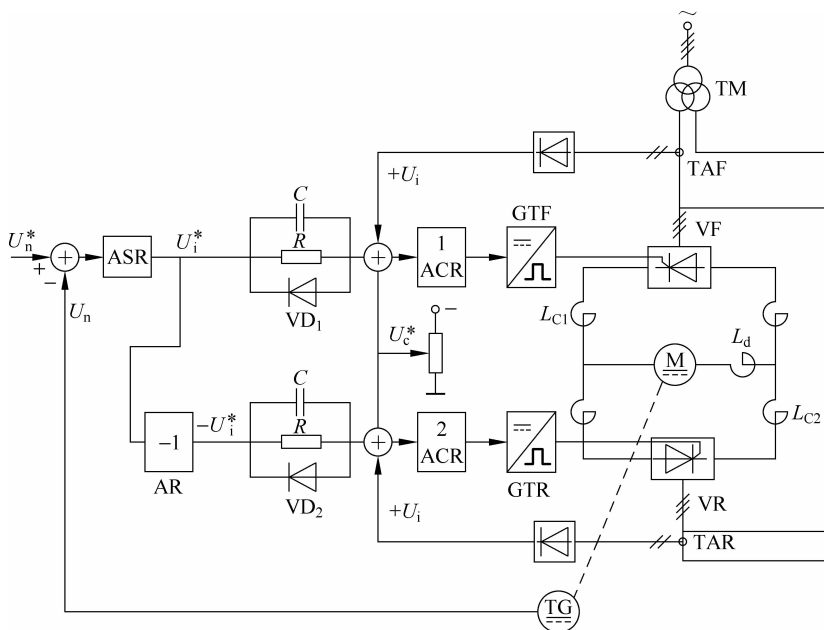


图 3-15 可控环流可逆调速系统原理框图

1. 可控环流可逆调速系统工作原理

可控环流可逆调速系统的主电路采用两组晶闸管交叉连接线路,将变压器二次绕组一组接成星形,另一组接成三角形,使两组电源电压的相位差为 30° 。这样可以使系统处于零位时避开瞬时脉动环流的峰值,从而可使环流电抗器的值大为减小。控制线路仍为典型的转速、电流双闭环系统,但电流互感器和电流调节器都用了两套,分别组成正反向各自独立的电流闭环,并在正、反组电流调节器 1ACR、2ACR 输入端分别加上了控制环流的环节,控制环流的环节包括环流给定电压 $-U_c^*$ 和由二极管 VD、电容 C、电阻 R 组成的环流抑制电路,为了使 1ACR 和 2ACR 的给定信号极性相反, U_i^* 经过放大系数为 1 的反号器 AR 输出 $-U_i^*$,作为 2ACR 的电流给定,这样,当一组整流时,另一组就可作为控制环流来用。

当速度给定电压 $U_n^* = 0$ 时,ASR 输出电压 $U_i^* = 0$,则 1ACR 和 2ACR 仅依靠环流给定电压 $-U_c^*$ 使两组晶闸管同时处于微导通的整流状态,输出相等的电流 $I_F = I_R = I_c$,使晶闸管在原有的瞬时脉动环流之外,又加上恒定的直流平均环流,其大小可控制在额定电流的 $5\% \sim 10\%$,而电动机的电枢电流为 $I_a = I_F - I_R = 0$,正向运行时, U_i^* 为负,二极管 VD₁ 导通,负的 U_i^* 加在正组电流调节器 1ACR 上,使得正组整流桥输出电压 U_{dor} 增大,正组流过的电流也增大,与此同时,反组的电流给定 $-U_i^*$ 为正电压,二极管 VD₂ 截止,正电压 U_i^* 通过与 VD₂ 并联的电阻 R 加到反组电流调节器 2ACR 上, U_i^* 抵消了环流给定电压 $-U_c^*$ 的作用,抵消程度取决于电流给定信号的大小,稳态时,电流给定信号基本上和负载电流成正比,也即 $U_i^* \approx U_i = \beta I_a$ 。 β 为电流反馈系数。当负载电流较小时,正的 U_i^* 不足以抵消 $-U_c^*$,所以反组有很小的环流通过,电枢电流 $I_a = I_F - I_R$,随着负载电流的增大,正的 U_i^* 继续增大,抵消 $-U_c^*$ 的程度增大,当负载电流大到一定程度时, $U_i^* = |U_c^*|$,环流就完全被遏制住了,这时正组流过负载电流,反组无电流通过,与 R、VD₂ 并联的电容 C 则对遏制环流的过渡过程起加快作用,反向运行时,反组提供负载电流,正组提供控制环流。

2. 系统参数计算

可控环流的大小可按实际需要来确定,其定量计算方法如下。图 3-16 为可控环流系统的电流调节器 ACR 信号综合情况。当电动机正向运行时,对 1ACR、2ACR 可分别列出下列方程组。

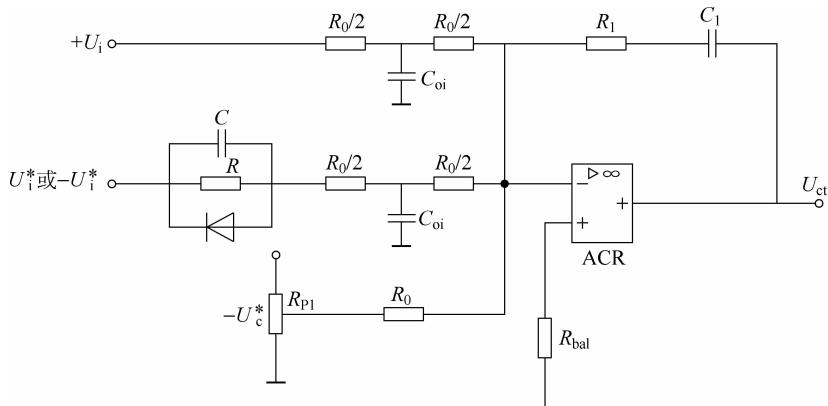


图 3-16 可控环流电流调节器