

第十一章 特殊用途的电机电器

第一节 电机扩大机

一、用途

在自动控制系统中电机扩大机作为一种旋转式的放大元件，主要用作功率放大。矿井提升及其它自动控制系统中，常用它作为放大元件。

二、分类和结构

电机扩大机按构造可分为交轴磁场电机扩大机、直轴磁场电机扩大机和自差式电机扩大机。煤矿提升系统中常用的电机扩大机，多为交轴磁场的ZKK系列电机扩大机。下面较详细的介绍这种交轴磁场电机扩大机的工作原理及其特性。

电机扩大机是用电动机以恒速拖动其电枢旋转，并在扩大机的控制绕组中给予弱小的电功率，经过交轴及直轴的两级励磁放大，构成一种特殊的他激直流发电机。由于它能把弱小的输入功率放大成为较大的输出功率，故称电机扩大机。

电机扩大机设计成隐极式的，定子冲片的槽型按齿槽形状的大小可分为大槽、中槽、小槽三种(见图11-1-1)。控制绕组K嵌在大槽内。补偿绕组(BC)嵌在大槽及小槽内。交轴励磁绕组(J)嵌在横跨两极的中槽内。直轴换向极绕组(H)嵌在同极性的中槽内。交流去磁绕组(QC)绕在大槽轭部。在电枢的换向器上装有互成 90° 角的交轴电刷q-q和直轴电刷d-d。

电机扩大机可以制成单机，也可以制成与交流或直流共轴式的机组。电机扩大机的电枢和普通直流电机相同。

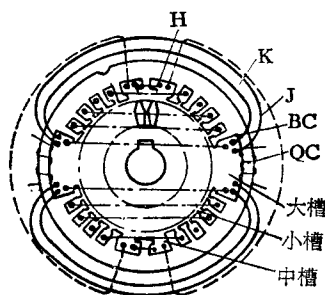


图 11-1-1 定子冲片形状及各绕组嵌放位置

三、工作原理

把电流 I_K 通入控制绕组时，在控制绕组内就建立起磁通 ϕ_K ，这磁通在交轴电刷间产生感应电势 E_q 及电流 I_q 。当电流 I_q 流经电枢绕组时产生交轴电枢反应磁通 ϕ_q 。与此同时， I_q 流经交轴励磁绕组时，产生磁通 ϕ_J 。此 ϕ_J 与 ϕ_q 合成 ϕ_Q ，这样，完成了交轴励磁第一级放大作用(见图11-1-2)。

电枢绕组切割交轴合成磁通 ϕ_Q ，在直轴电刷间产生感应电势 E_d 。当接上负载时就有负载电流(直轴电流) I_d 流通， I_d 将产生很大的直轴电枢反应磁通 ϕ_{ad} 削弱磁通 ϕ_K 。为了使扩大机能正常工作，并达到二级放大的目的，可使 I_d 流经补偿绕组，使产生补偿磁通 ϕ_{BC} 以

补偿直轴电枢反应磁通 ϕ_{ad} 。另外，为了改善直轴换向，又使 I_d 流经换向绕组使产生换向磁通 ϕ_H 。这样，在直轴方向的磁通 ϕ_{ad} 、 ϕ_{BC} 和 ϕ_H 合成了 ϕ_s ，电机扩大机完成第二级放大。

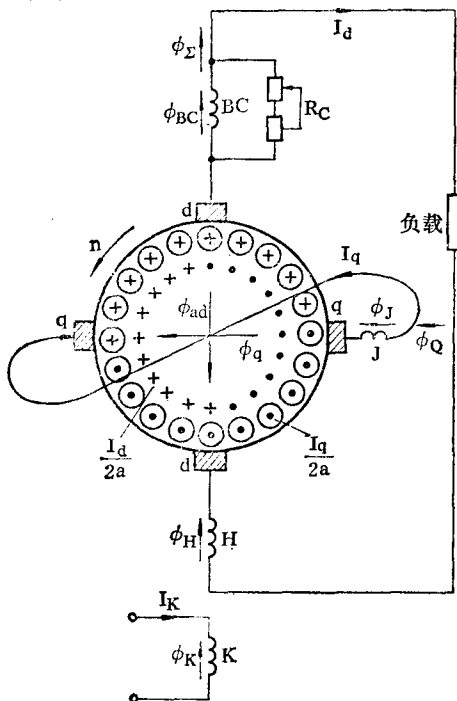


图 11-1-2 电机扩大机的工作原理

四、特 性

(一) 空载特性和剩磁电压

空载输出电压 E_d 与控制磁势 F_k 之间的关系叫空载特性如图 11-1-3 所示。

把空载输出电压从零逐渐上升到额定电压 U_{an} 的1.3倍后,再将控制电流逐渐减到零时的输出电压 U_r 叫剩磁电压。

一般对空载特性的要求是线性度要高，剩磁电压要小。有去磁绕组的电机，规定剩磁电压不大于额定输出电压的5%。没有任何去磁措施时，不大于额定输出电压的15%。

(二) 外特性

当控制电流 I_K 为常量时,输出电压 U_d 和输出电流 I_d 的关系叫外特性如图11-1-4所示。

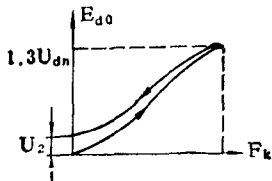


图 11-1-3 空载特性

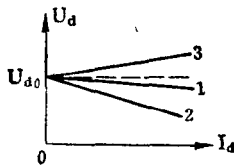


图 11-1-4 外特性

1—全补偿, $F_{BC}=F_{ad}$; 2—欠补偿, $F_{BC}<F_{ad}$; 3—过补偿, $F_{BC}>F_{ad}$

在电压变化率为30%时，控制电流自零增至额定值范围内，所有外特性曲线应是下降

的。改变调节电阻 R_C ，可以改变补偿绕组磁势 F_{BC} 对直轴电枢反应磁势 F_{ad} 的补偿程度。一般 R_C 越大，补偿越强，外特性越硬；反之， R_C 越小，补偿越弱，外特性越软。为了使电机扩大机工作稳定，防止负载自激，通常将外特性调整在不大的欠补偿范围内。

(三) 功率放大系数

电机扩大机在额定负载时的输出功率 P_{dn} 与控制绕组额定输入功率 P_{kn} 之比 $\left(k_p = \frac{P_{dn}}{P_{kn}}\right)$

称功率放大系数。

电机扩大机要求功率放大系数尽可能大些，通常在500~100000范围内。功率放大系数与补偿程度、直轴电流有关。补偿程度越强，放大系数越大。功率放大系数一般是指电压变化率为30%时的功率放大系数。

(四) 时间常数

1. 控制绕组的电感 L_K (H)与它的电阻 R_K (Ω)之比 $\left(\tau_K = \frac{L_K}{R_K}\right)$ 称为控制绕组的时间常数。

2. 交轴回路的电感 L_q (H)与包括交轴换向去磁及电枢铁耗去磁的等效电阻 R_q (Ω)之比 $\left(\tau_q = \frac{L_q}{R_q}\right)$ 称为交轴回路的时间常数。

时间常数要求尽可能小些，这样能使过渡过程缩短。一般 τ_K 在0.03~0.06秒； τ_q 在0.05~0.1秒。

通常加上前级的电阻后，控制绕组的时间常数可能很小。因此，交轴电机扩大机的快速响应主要取决于 τ_q 的大小。

(五) 过载能力

输入回路的过载能力是指瞬时的过功率、过电压、过电流分别与额定功率、额定电压、额定电流之比。

控制绕组的过载能力是指长期允许电流与额定控制电流之比。

过载能力要尽量大些，电机扩大机的瞬时过功率可达2倍；瞬时过电流可达3.5倍；瞬时过电压可达1.5倍。控制绕组过载能力一般为5~9倍。

五、去磁效应对电机扩大机特性的影响

当电机扩大机在运行时，由于旋转部分与静止部分之间的运动引起相对位置的改变而产生的各种去磁效应，对具有两级放大的电机扩大机来说，会显著地影响各种特性，现分析如下：

1. 顺移交轴电刷 顺电机扩大机的旋转方向移动交轴电刷，交轴电流所产生的磁势有直轴分量，它对控制磁势起去磁作用如图11-1-5a所示。

2. 逆移交轴电刷 逆旋转方向移动交轴电刷，效应与顺移时适相反，如图11-1-5b所示。

3. 顺移或逆移直轴电刷 直轴电流所产生的磁势有交轴分量，它对交轴磁势起去磁或助磁作用；对控制磁势，都起去磁作用，如图11-1-6所示。

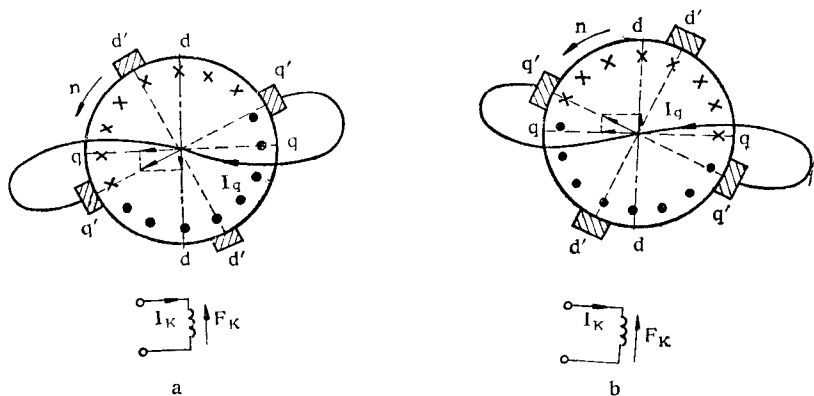


图 11-1-5 移动交轴电刷

a—顺移; b—逆移

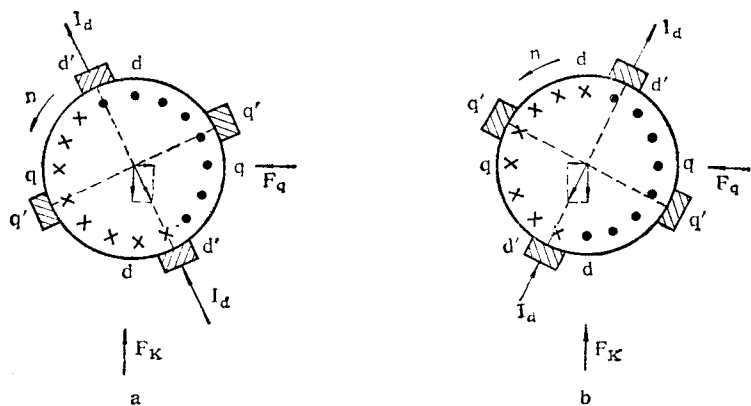


图 11-1-6 移动直轴电刷

a—顺移; b—逆移

4. 交轴延迟换向去磁 交轴一般没有换向极,所以交轴换向是延迟换向。交轴延迟换向的附加电流,通过换向元件所产生的磁势对控制磁势起去磁作用,如图11-1-7所示。

5. 涡流去磁 电枢铁心旋转在交轴磁场中,切割交轴磁通 ϕ_q 产生涡流,此涡流所产生的磁势 F_e ,对控制磁势 F_K 起去磁作用见图11-1-8。

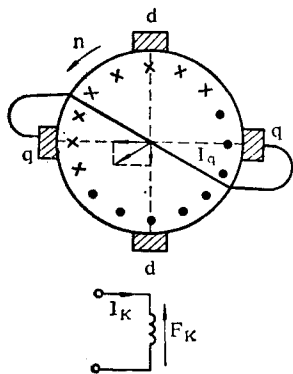


图 11-1-7 交轴延迟换向去磁

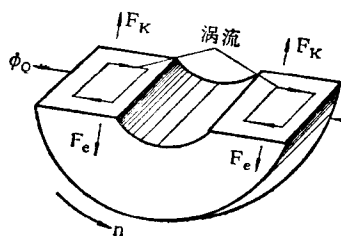


图 11-1-8 涡流去磁

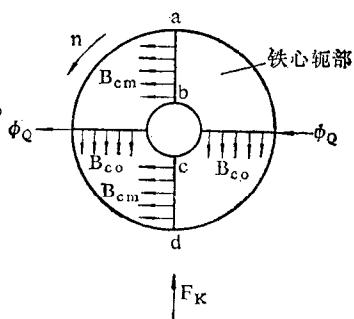


图 11-1-9 磁滞去磁

6. 磁滞去磁 当电枢中某一截面abcd旋转到与交轴磁通的垂直位置时,垂直于此截面

的磁通密度达到最大值 B_{emax} 。然后，此截面旋转到水平位置时，由于磁滞作用，垂直于此截面的磁通密度并不减小到零，假定为 B_{co} ，它与控制磁势 F_K 方向相反，故起去磁作用见图11-1-9。

由于存在上面分析的各种去磁效应，增强或削弱电机扩大机的某些磁势，影响了它的固有特性。表11-1-1中列举了去磁效应对各种特性的影响。

表 11-1-1 去 磁 效 应 对 性 能 的 影 响

性 能	移 刷 去 磁		交轴延迟换向去磁	电枢铁耗去磁
	顺 移	逆 移		
放大系数	降 低	提 高	降 低	降 低
时间常数	减 小	增 大	减 小	减 小
外 特 性	由于交、直轴电刷同时顺移，一般使外特性变软	由于交、直轴电刷同时逆移，一般使外特性变硬	变 硬	变 硬
剩磁电压	减 小	增 大	减 小	增 大
线 性 度	提 高	降 低	提 高	提 高
工作稳定性 ^①	提 高	降 低	提 高	提 高

注：①工作稳定性是指电机扩大机对外界条件的变化（如转速波动、起动、停车等）引起其工作性能（放大系数、外特性等）不稳定的抵抗能力。

六、选 用 原 则

1. 按系统典型负载图所折算出来的等效功率、等效电流及平均电压，使其和选定的电机扩大机的额定功率、额定电流及额定电压相符，并留有10~20%的余量。

2. 系统要求的过功率、过电流及过电压应和前述的过载能力相符，并要考虑到过载频率及时间，使其留有一定的余量。

3. 系统要求的最低运行电压应高于图 11-1-3 所示的剩磁电压，并留有足够的余量。否则需要在系统中采用负反馈以削弱其剩磁电压。

4. 正确选用控制绕组。当前级需用推挽或差动放大线路时，宜选用具有相同参数的两个控制绕组；当前级为电子管放大器时，宜选用高电阻控制绕组；当前级为晶体管放大器时，选用低电阻控制绕组；作为电压反馈绕组时，选用高电阻控制绕组；作为电流反馈绕组时，选用低电阻控制绕组（见表11-1-4）。

七、运 转 与 维 护

1. 在保证换向良好及不发生自激的情况下，允许调整电机扩大机电刷的位置。一般出厂时厂家对电刷的正常位置往往作有明显的标志，移动电刷时，不要偏离标志过多，因它对电机扩大机的性能影响很大。

2. 适当调节外特性硬度，电机扩大机出厂时，厂方保证电压变化率在30%时，电机的外特性不上翘。另外对补偿调节电阻的调整范围标有记号，用户可按系统的需要，改变补偿电阻，调整外特性的硬度。但对外特性过硬可能引起的负载自激要采取必要的措施。

3. 交流去磁绕组的电压一般为2~5伏，适当施加交流去磁绕组电压，使保持理想剩磁电压，过高或过低对削弱剩磁都不理想。

4. 在运行调整过程中, 应避免短路、自激、过分强励及长期单一方向使用。以免造成剩磁电压过高, 最后难于矫正过来。

5. 经常检查电刷与换向器表面接触情况, 补偿电阻的接触情况。因交轴电刷的接触电阻对交轴换向、放大系数、电压摆动等都有明显的影响。更换电刷时应注意新旧牌号要一致。修理换向器表面时, 必须以轴承外圈来定位, 以保证换向器表面与轴承的同轴度。

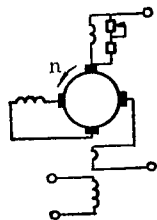
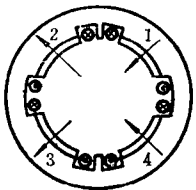
6. 运转中经常注意电机的响声、振动和轴承发热情况, 如有异常, 及时进行维修。

八、故障及处理方法

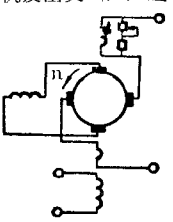
电机扩大机常见故障及处理方法见表11-1-2

表 11-1-2 电机扩大机常见故障及处理方法

故障现象	产生原因	处理方法
空载电压很低或为零	1. 控制绕组开路或短路	测量控制绕组电阻
	2. 交轴助磁绕组内部接线错误	将该绕组两个端头 J_1 和 J_2 对换后, 维持控制电流不变, 则空载输出电压无变化
	3. 全节距交轴助磁绕组首尾接反	将该绕组两个端头 J_1 和 J_2 对换后, 维持控制电流不变, 则空载输出电压增高
	4. 如下图半节距交轴助磁绕组在 2、4 象限中匝数少或有短路	补偿绕组瞬时加上 3~6 伏直流电压, 交轴助磁绕组两端有明显的感应电势产生
	5. 换向器片间或电枢绕组短路	用毫伏表测量片间电压, 此时片间电压不均匀
	6. 电枢绕组个别元件接头错误	用感应法校不到中性位置, 同时有个别换向片严重烧黑
	7. 顺旋转方向移刷过多	通过校电刷中性位置判断
空载电压高或自激	8. 如表第 4 项图所示, 半节距交轴助磁绕组在 1、3 象限中匝数少或有短路	同表第 4 项判断法
	9. 逆旋转方向移刷过多 (大容量的更为显著)	通过校电刷中性位置判断
	10. 如下图, 交、直轴引线相互交错 (有交轴助磁绕组的产品)	将交、直轴引线相互对换, 此现象不复存在



续表

故障现象	产生原因	处理方法
空载电压正常, 负载电压过低	11. 补偿绕组内部并头错误	将绕组两个端头对换后, 负载电压仍过低
	12. 补偿绕组首尾接反	将绕组两个端头对换后负载电压正常
	13. 补偿绕组短路	测量补偿绕组短路
	14. 补偿调节电阻短路	用万用表检查电阻值
	15. 电枢绕组首尾接反	将该绕组两个端头对换, 加负载后电压正常
加负载后电压过高或自激	16. 一般在 $K_h > 0.5$ 时, 交轴励磁绕组首尾接反①	同本表第3项判断法
	17. 补偿调节电阻开路	用万用表检查
输出电压不稳定	18. 交流去磁绕组并头错误	去磁绕组加上4伏左右交流电压, 控制绕组应有明显的感应电势
	19. 交流去磁电压加得过高	用交流电压表检查去磁绕组端电压
	20. 交轴电刷接触不稳定, 动平衡不良; 同轴度不高; 换向器不圆或云母片凸出; 电刷与刷盒配合不当 (如间隙过大接触面变形)	通过检查电机振动情况和目测各部位来判断
	21. 气隙变化; 配合过松, 如机座与端盖, 特别是端盖轴承室与轴承外圈配合过松; 轴承游隙过大	
火花大	22. 电刷接触不良	通过检查电机振动情况和目测各部位来判断
	23. 电枢元件与换向器升高片焊接不良	目测升高片端面, 针孔严重
	24. 换向极绕组内部并头错误	补偿绕组瞬时加上3~6伏直流电压, 换向器绕组无感应电势
	25. 换向极绕组首尾接反	将绕组两个端头对换后, 火花显著改善, 同时输出电压也有增高
	26. 电枢绕组个别元件并头错误	同本表第6项判断方法
	27. 如下图, 交、直轴引线互相交错, 同时电机发出尖叫声, 且电压低 	将交、直轴引线相互对换后, 此现象不复存在
加去磁电压后, 剩磁电压仍过大	28. 经常单方向过载使用; 运行中发生突然短路; 强行激磁使铁心过于饱和	处理方法见 表注②

① K_h ——交轴励磁绕组匝数系数: 每极匝数 $W_p = K_h W_a$, 而 $W_a = \frac{N}{8ap}$

② 剩磁电压过大时, 通常采用以下办法削弱: 将电机空载运行, 在剩磁小的一方加1~2 I_{an} 励磁电流, 然后切断电动机电源, 在转速降低的同时, 再将励磁电流增加到3~5 I_{an} , 直至电机完全停止转动约5~10秒钟后再切断励磁。这样进行数次即可。

若单方向剩磁严重, 用上述办法无法矫正时, 可按图11-1-10所示方法进行: 切断扩大机与外界所有电的联系, 并断开电表回路及与补偿绕组并联的补偿调节电阻, 将扩大机空载运转, 用一根截面 ≥ 6 毫米²的导线, 一端接于交轴电刷上, 在扩大机停转的同时, 立即将另一端与直轴电刷相碰, 此时电机有尖叫声, 且有火花, 如无此现象可改碰另一直轴电刷。一般经过1~2次就可以将单方向剩磁去掉。

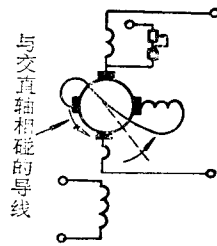


图 11-1-10 去单方向剩磁示意图

九、技术数据及型号说明

数据见表11-1-3及表11-1-4。

表11-1-3 ZKK3~ZKK200 电机扩大机主要技术数据

型 号	电 机 扩 大 机					驱 动 电 动 机								
	输出 功率 kW	电 压 V	电 流 A	转 速 rpm	效 率 %	电动机 种类	接 法	输入 功率 kW	电 压 V	电 流 A	cosφ	起动 电流 额定 电流	机组效率 %	
Z K K 3 J	0.2	60	3.33	2900		三 相 异 步 电 动 机	Δ/Y	0.47	220/380	1.59/0.91	0.78	7	42.5	
	0.2	115	1.74					0.74		2.5/1.45	0.78		50	
Z K K 5 J	0.37	85	4.35					0.93		3.1/1.79	0.79		53.8	
	0.5	60	8.33					1.68		5.4/3.1	0.82		59.5	
Z K K 12 J	1.0	115	8.7					1.9		6.3/3.5	0.83		63	
	0.5	115	4.35											
Z K K 3 Z	0.3	60	5	4500	直 流 电 动 机	并 激	0.71	110/220	6.45/3.25			42.2		
	0.3	115	2.61				0.7	220	3.18		50			
Z K K 5 Z	0.35	115	3.04	3000			1.3	110/220	11.8/5.9		53.8			
	0.7	60	11.7	5000				1.8	220	8.18		55.5		
Z K K 12 Z	1.0	115	8.7					2.2	110/220	20/10		59		
	1.3	115	11.3					2.57	220	11.7		58.3		
Z K K 25	1.2	115	10.4					1450	68					
	1.2	230	5.2											
	2.5	115	21.7	2900			74							
		230	10.9											

续表

型 号	电 机 扩 大 机					型 号 说 明
	输出 功率 kW	电 压 V	电 流 A	转 速 rpm	效 率 %	
Z K K 50	2.2	115	19.1	1450	78	直流——Z 控制用——K 电机扩大机 扩大机的功率(约为最大功率千瓦数的0.1倍) 驱动电机为三相异步电动机 5 J
		230	9.6			
Z K K 70	3.5	115	30.4	1450	78	
		230	15.2			
	7.0	230	30.4	2900	80	
Z K K 100	5.0	115	43.5	1450	81	
		230	21.7			
	1.0	230	43.5	2900	84	
Z K K 110	11	230	47.8	1450	82	
Z K K 200	20	230	87	1450	85	

表 11-1-4 控 制 绕 组 数 据

型 号	绕 组 编 号	绕组 个 数	控 制 绕 组 数 据															
			I				II				III				IV			
			绕组 匝数	20℃ 时电阻 Ω	额定 电流 mA	长期 允许 电流 mA	绕组 匝数	20℃ 时电阻 Ω	额定 电流 mA	长期允 许电流 mA	绕组 匝数	20℃ 时电阻 Ω	额定 电流 mA	长期允 许电流 mA	绕组 匝数	20℃ 时电阻 Ω	额定 电流 mA	长期允 许电流 mA
ZKK3 ^J _Z	3-2-1	2	2600	1000	20	120	2600	1000	20	120								
	3-2-2	2	4400	3500	10.7	64.2	4400	3500	10.7	64.2								
	3-3-3	3	2200	1950	24	57	2200	1950	24	57	4000	3350	15	45				
ZKK5 ^J _Z	5-2-1	2	3250	1000	20	120	3250	1000	20	120								
	5-2-2	2	5300	3000	12	70	5300	3000	12	70								
	5-2-3	2	3500	3100	19	45	3500	3100	19	45								
	5-2-4	2	700	45.4	94	560	700	45.4	94	560								
	5-2-5	2	3250	1000	20	120	700	40	100	560								
ZKK12 ^J _Z	12-2-1	2	2900	1030	22	190	2900	1030	22	190								
	12-2-2	2	4600	2200	14	130	4600	2200	14	130								
	12-2-3	2	4800	2600	13	117	4800	2600	13	117								
	12-3-4	3	3000	1550	21	145	3000	1550	21	145	3000	1345	21	145				
	12-3-5	3	2350	1340	27	135	2350	1340	27	135	460	34.2	143	820				
	12-3-6	3	500	161	127	200	370	84	172	280	740	72	86	600				
	12-3-7	3	900	155	70	350	900	155	70	350	1350	367	47	240				
	12-4-8	4	675	184	94	240	900	155	70	350	675	184	94	240	900	155	70	350
	12-2-9	2	1300	166	52	490	1300	166	52	490								
	12-2-10	2	3500	1500	18	160	3500	1500	18	160								
	12-2-11	2	6000	4100	11	100	6000	4100	11	100								
	12-4-12	4	650	100	97	430	250	21	250	870	650	100	97	430	250	21	250	870

续表

型 号	绕 组 编 号	绕 组 个 数	制 绕 组 数 据															
			I				II				III				IV			
			绕组 匝数	20℃ 时电阻 Ω	额定 电流 mA	长期 允许 电流 mA	绕组 匝数	20℃ 时电阻 Ω	额定 电流 mA	长期 允许 电流 mA	绕组 匝数	20℃ 时电阻 Ω	额定 电流 mA	长期 允许 电流 mA	绕组 匝数	20℃ 时电阻 Ω	额定 电流 mA	长期 允许 电流 mA
Z K K 25	25-2-1	2	3400	985	22	200	3400	985	22	200								
	25-2-2	2	4360	1500	18	162	4360	1500	18	162								
	25-2-3	2	6600	3310	12	108	6600	3310	12	108								
	25-2-4	2	8000	5000	10	90	8000	5000	10	90								
	25-3-5	3	2600	1065	29	150	2600	1065	29	150	1600	950	29	200				
	25-4-6	4	500	37.2	156	720	330	18.5	220	1100	330	15.6	240	1100	330	18.5	220	1100
	25-4-7	4	1300	340	56	225	330	18.5	220	1100	1300	340	56	225	1300	402	56	225
	25-4-8	4	3206	1820	23	105	330	18.5	220	1100	3200	1820	23	105	1200	792	61	110
	25-4-9	4	400	21.7	180	950	2800	1500	25	120	400	21.7	180	950	2800	1500	25	120
	25-4-10	4	5000	2920	15	85	500	131	145	250	5000	2920	15	85	1500	1000	49	105
	25-4-11	4	1300	340	56	225	330	18.5	220	1100	330	15.6	220	1100	330	18.5	220	1100
	25-4-12	4	3600	1835	22	110	3600	2165	22	100	3600	1835	22	110	3600	2165	22	100
	25-4-13	4	18	0.04	4000	20000	500	44.1	145	720	18	0.04	4000	20000	500	44.1	145	720
Z K K 50	50-2-1	2	3420	1000	22	200	3420	1000	22	200								
	50-2-2	2	3720	1500	20	180	3720	1500	20	180								
	50-2-3	2	6600	3920	12	108	6600	3920	12									
	50-4-4	4	380	24.8	190	950	220	9.15	330	1650	220	7.95	330	1650	220	9.15	330	1650
	50-4-5	4	3200	2200	23	100	220	9.15	330	1650	3200	2200	23	100	1200	930	61	100
	50-4-6	4	5000	3540	16	85	5000	3540	16	85	100	416	730	2000	500	44.7	145	720
	50-4-7	4	2800	1510	26	120	2800	1770	26	120	2800	1450	26	120	2800	1770	26	120
	50-4-8	4	1710	465	44	220	1710	535	44	220	1710	465	44	220	1710	535	44	220
	50-4-9	4	2750	1500	27	120	2300	1000	32	160	2750	1500	27	120	2300	1000	32	160
	50-4-10	4	2750	1500	27	120	1260	300	58	290	2750	1500	27	120	400	30	180	900
	50-4-11	4	1300	410	56	225	330	21.6	220	1100	1300	410	56	225	1300	470	56	225
	50-4-12	4	380	24.8	190	950	15	0.04	4800	24000	15	0.04	4800	24000	150	0.04	4800	24000
	50-4-13	4	440	18.2	167	825	350	23	210	1035	350	48	210	520	350	55.5	210	520
	50-4-14	4	740	56.2	93	480	250	16.4	290	1000	250	18.8	290	800	250	18.8	290	1000
	50-4-15	4	3300	1800	22	110	3300	2080	22	110	3300	1800	22	110	3300	2080	22	110
	50-4-16	4	1710	500	43	215	1710	500	43	215	1710	500	43	215	1710	500	43	215
	50-4-17	4	480	23.2	152	760	1000	365	73	210	480	232	152	760	1000	365	73	210
Z K K 70	70-2-1	2	3600	1000	22	220	3600	1000	22	220								
	70-2-2	2	4200	1500	19	190	4200	1500	19	190								
	70-4-3	4	3600	1950	22	120	2100	800	40	180	3600	1950	22	120	330	24	240	960
	70-2-4	2	7800	5100	10	100	7800	5100	10	100								
	70-3-5	3	1300	200	61	366	1300	200	61	366	1300	110	61	366				
	70-3-6	3	1300	200	61	366	1300	200	61	366	650	94	125	375				
Z K K 100	100-2-1	2	3200	1000	23	210	3200	1000	23	210								
	100-4-2	4	230	8.16	320	1600	460	37.2	160	800	230	8.16	320	1600	460	37.2	160	800
	100-4-3	4	230	8.16	320	1600	3000	2100	25	100	230	8.16	320	1600	3000	2100	25	100
	100-4-4	4	230	8.16	320	1600	460	37.2	160	800	460	32.6	160	800	460	37.2	160	800
	100-2-5	2	3920	1415	19	190	3920	1415	19	190								
	100-2-6	2	7200	4750	11	110	7200	4750	11	110								
	100-4-7	4	400	24	184	920	230	9.5	320	1600	230	8.16	320	1600	230	9.5	320	1600
	100-4-8	4	340	26.6	217	850	720	73	102	510	28	0.102	2630	13150	200	13.6	368	1000

续表

型 号	绕 组 编 号	绕组个 数	控 制 绕 组 数 据															
			I				II				III				IV			
			绕组 匝数	20℃ 时电阻 Ω	额定 电流 mA	长期 允许 电流 mA	绕组 匝数	20℃ 时电阻 Ω	额定 电流 mA	长期允 许电流 mA	绕组 匝数	20℃ 时电阻 Ω	额定 电流 mA	长期允 许电流 mA	绕组 匝数	20℃ 时电阻 Ω	额定 电流 mA	长期允 许电流 mA
	100-4-9	4	3000	2190	25	90	3000	2100	25	100	230	8.16	320	1600	3000	2100	25	100
	100-4-10	4	500	38.5	148	740	2620	2090	28	84	500	38.5	148	740	2620	2090	28	84
	100-3-11	3	810	39.5	92	630	2500	1050	30	180	2500	1050	30	180				
ZKK 110	110-4-1	4	230	4.9	400	2000	460	22.4	200	1000	460	19.6	200	1000	460	22.4	200	1000
	110-4-2	4	1700	317	54	270	1700	362	54	270	1700	317	54	270	1700	362	54	270
	110-4-3	4	230	4.9	400	2000	230	5.6	400	2000	230	4.9	400	2000	460	22.4	200	1000
	110-4-4	4	230	4.9	400	2000	3800	2200	25	125	230	4.9	400	2000	3800	2200	25	125
	110-4-5	4	230	4.9	400	2000	230	5.6	400	2000	1700	317	54	270	230	5.6	400	2000
	110-4-5	4	1600	150	58	580	1600	150	58	580								
	110-4-7	4	1300	165	74	360	200	3.9	480	2320	1300	165	74	360	1000	150	93	465
ZKK 200	200-4-1	4	230	8.16	400	2000	3250	2000	28	140	230	8.16	400	2000	3250	2000	28	140

第二节 自 整 角 机

一、用 途

在自控系统中，自整角机作为感应式机电元件，它能把转轴上的转角转换成电气信号，或将电气信号转换成轴上的转角。在实用中往往利用自整角发送机和接收机之间的电气连接传递角度位移的方法，达到自动指示距离、位置、角度和指令等目的。

自整角机目前在煤矿生产中主要用作角度的远距离传送、接收或变换，如指示提升罐笼在井筒中的位置和水仓水位的高低等。

二、分类和结构

自整角机的构造，一般与小型绕线式感应电动机类似。整机分定子和转子两部分：定子做成隐极式，三相绕组分布在铁心槽中，每相在空间相差120°电角度，联成星形接线。转子构造分凸极式和隐极式两类。按采用电源不同，转子绕组分为单相和三相两种。有的为了改善阻尼性能，在转子槽中还嵌有阻尼绕组，如力矩式接收机的转子就是这种结构。凸极式转子可采用双阻尼绕组或单阻尼绕组。隐极式转子可采用单相绕组，短接的一相起主要阻尼作用。常称的接触式自整角机见图11-2-1，它的转子上装有滑环，通过其上的电刷与外电路接通。为了提高自整角变压器的精密度，其转子采用隐极式单相两极分布绕组。

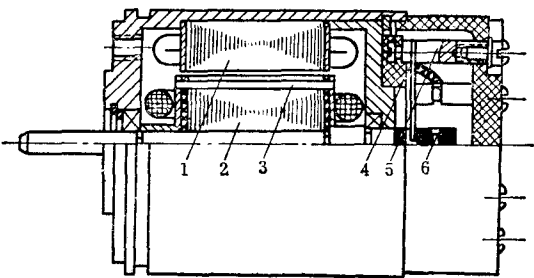


图 11-2-1 接触式自整角机结构图

1—定子；2—转子；3—阻尼绕组；4—电刷；5—接线柱；6—滑环

图11-2-2和图11-2-3中表示的是两种常见的无接触式自整角机的结构图。在图11-2-2

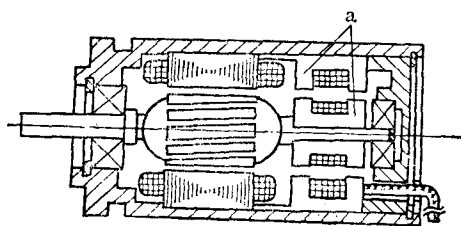


图 11-2-2 带环形变压器的无接触式自整角机
机械阻尼用的，以提高自整角机的阻尼能力。

中，用环形变压器 a 的结构代替接触式结构中的电刷和滑环的作用，并通过电磁耦合，使转子绕组获得外电路的励磁。其余部分与接触式的结构基本相似。图11-2-3为带轴向磁路的无接触式自整角机结构示意图，图中虚线和箭头表示这种结构的磁路走向。

部分力矩式自整角机在转轴上装有与转轴能相对转动的钢制的惯性阻尼圆盘是作机

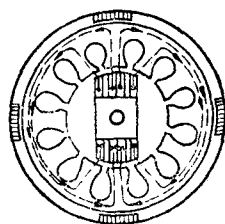
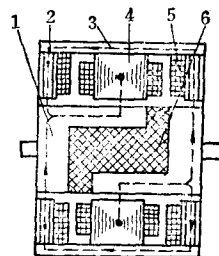


图 11-2-3 带轴向磁路的无接触式自整角机

1—转子；2—导磁环；3—磁轭；4—定子铁心；5—励磁绕组；6—非导磁体



上述的几种自整角机，都采用单相交流电源，也称单相自整角机。煤矿生产上常用的自整角机，电源频率为50赫，电压为110伏。

此外，还有用三相交流供电的自整角机，称为功率自整角机，常用于功率较大的系统中。各种自整角机的分类，代表符号，结构特征等项，归纳如表11-2-1所示。

表 11-2-1 自 整 角 机 种 类 及 其 特 征

种 类	代 号	电 气 原 理 图	结 构 特 征		作 用
			定 子	转 子	
控 制 式	发 送 机 Z K F		隐极式，嵌有三相星形连接绕组，各绕组轴线在空间互距120°	凸极式或隐极式，嵌有单相绕组	将输入的转子转角变成电信号输出
	自 整 角 变 压 器 Z K B			隐极式，嵌有单相分布绕组	接收控制式发送机的电信号，变成与失调角相应的电信号输出
	差 动 发 送 机 Z K C			隐极式，嵌有三相星形连接绕组，绕组轴线在空间互距120°	串接于发送机与自整角变压器之间，将发送机的转子转角及其自身转子转角的和或差变换成电信号输给自整角变压器

续表

种 类	代 号	电 气 原 理 图	结 构 特 征		作 用
			定 子	转 子	
力 矩 式	发 送 机 Z L F			凸极式, 嵌有单相集中绕组	同控制式发送机
	接 收 机 Z L J			同发送机, 但加嵌阻尼绕组或带有机机械阻尼器	接收力矩式发送机的电信号, 变换成转子转角输出
	差 动 发 送 机 Z C F			同控制式差动发送机	串接于力矩式发送机与接收机之间, 将发送机的转子转角及其自身转子转角之和或差变换成电信号输给接收机
	差 动 接 收 机 Z C J			同控制式差动发送机	串接于两台力矩式发送机之间, 接收两发送机输出的电信号, 使转子转角为两台发送机转子转角之和或差

注: 电气原理图中的定、转子绕组相对位置, 即为该种自整角机的基准电气零位。

综上所述, 无接触式自整角机没有电刷、滑环等滑动接触, 有寿命长、可靠性高和不产生高频干扰的优点。缺点是结构比较复杂, 电气性能指标较差。

接触式单相自整角机结构比较简单, 性能较好, 使用广泛。下面着重讲述这类自整角机。

三、工 作 原 理

(一) 力矩式自整角机

力矩式自整角机的工作原理如图11-2-4所示。a 为自整角发送机, 它的转子绕组端头为 Z_1Z_2 。定子三相绕组为星形连接, 它的端头 $D_1D_2D_3$, 三相绕组在空间互差 120° 电角度。

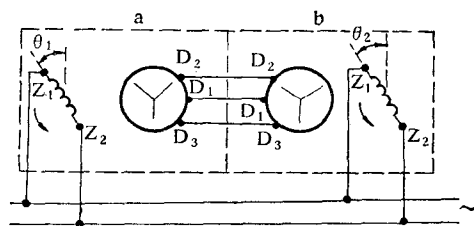


图 11-2-4 自整角发送机-接收机工作原理

a—自整角发送机; b—自整角接收机

转子与电源接通后，在单相绕组中产生脉振磁场，使定子三相绕组感应电势，由于转子绕组的轴线与定子三相绕组的轴线在空间的相对位置不同，三相感应电势为：

$$\left. \begin{aligned} e_{31} &= E_m \sin \theta_1 \\ e_{12} &= E_m \sin (\theta_1 - 120^\circ) \\ e_{23} &= E_m \sin (\theta_1 + 120^\circ) \end{aligned} \right\} \quad (11-2-1)$$

式中 e_{31} 、 e_{12} 、 e_{23} ——分别为 D_3D_1 、 D_1D_2 、 D_2D_3 端头间的瞬时感应电势，伏；

E_m ——线间感应电势最大值，伏；

θ_1 ——初相角（转子偏移基准电气零位的角度），度。

由公式 (11-2-1) 可知定子三相绕组的线间感应电势与 θ_1 成正弦函数关系，如图 11-2-5 所示。

如图 11-2-4 中所示，把接收机 b 与发送机 a 的绕组一一对应相联后，由于两者转子各自偏移基准电气零位的角度不相等，且各为 θ_1 与 θ_2 ，这样，两者之间就有一个相角差 $\theta = \theta_1 - \theta_2$ ， θ 称为失调角。从而引起两者定子间的三相线间电势不等，使两组三相绕组间就有电流流通，这电流与各自转子所建立的磁场相互作用，产生转矩，叫整步转矩，这转矩力图使 θ 角趋近于零。由于发送机的转子与主令轴相接，因此，整步转矩只能使接收机的转子跟随发送机转子转过 θ 角度。这样两个转子的转角又趋向一致，此时整步转矩为零，系统重新进入新的平衡位置。

力矩式自整角机的转矩 T （克·厘米）与失调角 θ （度）之间的关系，如图 11-2-6 所示，在 θ 角为 90° 或 270° 附近 T 出现最大值。在 $180^\circ \sim 360^\circ$ 之间， T 为负值，表示转子旋转的方向与正值时适相反。

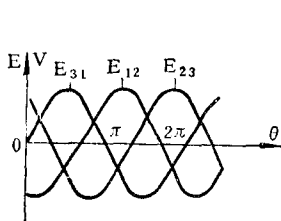


图 11-2-5 自整角发送机定子线电势 e 与 θ 的关系

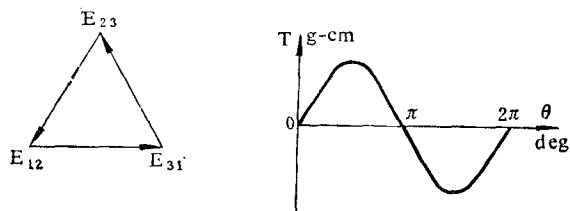


图 11-2-6 整步转矩与失调角关系曲线

在实际中要求自整角接收机所指示的角度为二个已知角度之和或差时，则可在自整角发送机和接收机之间，串上一台差动自整角发送机，如图 11-2-7 的连接。这里差动发送机 c 的定子均为三相星形绕组，并分别与发送机和接收机的定子绕组对应连接。若发送机

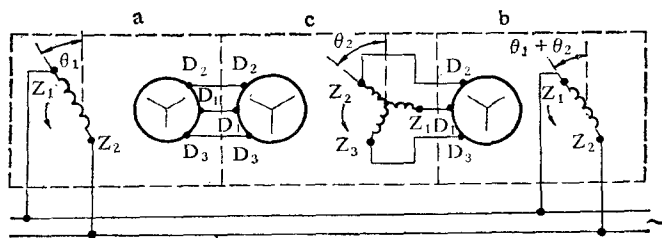


图 11-2-7 自整角发送机-差动发送机-接收机接线图

a—发送机；b—接收机；c—差动发送机

的转子偏移它的基准电气零位为 θ_1 角度，差动发送机转子偏移它的基准电气零位为 θ_2 角度，则接收机将转过 $\theta = \theta_1 \pm \theta_2$ 角度， θ_1 、 θ_2 转向相同时取“+”号，相反时取“-”号。

上述系统中的自整角发送机、接收机、差动发送机的动作都是以整步转矩进行工作的，称为力矩式自整角机。力矩式自整角机主要适用于精度较低的远距离指示系统中，它的负载能力受比整步转矩的限制，故只能带动指针、刻度盘等轻负载，而且精度不高。它的优点是结构简单，造价较低。

(二) 控制式自整角机

为了提高自整角机系统的精度和负载能力，在力矩式自整角机的基础上发展成为控制式自整角机。它的工作原理如图11-2-4所示，若把图中的力矩式接收机的转子端线从电源断开，由于发送机三相绕组存在的电势，有电流流过接收机定子绕组而产生磁通，此磁通交链接收机转子绕组又感应电势。这时的接收机是在变压器状态下运行，故在控制式自整角机系统中的接收机也称自整角变压器。

在表11-2-1中示出，自整角变压器转子绕组的轴线与定子 D_2 相绕组轴线垂直的位置，称为自整角变压器的基准电气零位。若自整角变压器和发送机的转子偏移各自基准电气零位的角度不同时，就有失调角 θ 存在，这时自整角变压器的转子绕组就有电压输出：

$$u_2 = U_{2m} \sin \theta \quad (11-2-2)$$

式中 U_{2m} ——转子绕组的最大输出电压，伏。

从上式可以看出，当 θ 不为零时， u_2 就有数值，即自整角变压器的转子绕组便有电压输出。在系统图11-2-8中，这电压经放大器放大后输入伺服电动机的控制绕组，使伺服电动机转动，通过减速齿轮带动负载及自整角变压器的转子，直到 θ 角为零时止。这时自整角变压器与发送机的转子角度相同，系统又进入新的平衡位置。

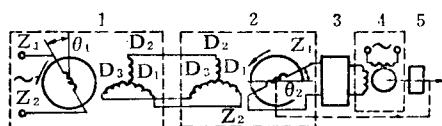


图 11-2-8 控制式发送机-自整角变压器系统工作原理

1—控制式发送机；2—自整角变压器；3—放大器；
4—伺服电动机；5—减速齿轮

把一台控制式差动发送机接在发送机和自整角变压器之间如图11-2-9连接，则自整角变压器转子绕组的输出电压将是发送机的转子转角和差动发送机转子转角之和或差的正弦函数，用数学式表示如下

$$u_2 = U_{2m} \sin(\theta_1 \pm \theta_2) = U_{2m} \sin \theta$$

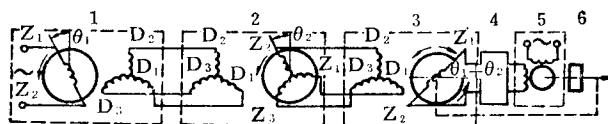


图 11-2-9 控制式发送机-控制式差动发送机-自整角变压器系统

1—控制式发送机；2—控制式差动发送机；3—自整角变压器；4—放大器；5—伺服电动机；6—齿轮减速器

控制式自整角机适用在精度高负载大的伺服系统中。自整角机本身只输出信号，系统中的负载能力主要取决于伺服电动机和放大器的输出功率，故能带动较大的负载。控制式自整角机所组成的闭环系统结构较复杂，造价较贵，但精度较高。控制式自整角机的阻抗

比同样功率的力矩式自整角机要高。

四、特 性

(一) 控制式自整角机

1. 电气误差 $\Delta\theta$ 。控制式自整角机的转子实际转角与理论值之间的差异,称为电气误差,以角分表示。电气误差大,使系统精度下降,它的数值范围在 $3\sim 10'$ 。

2. 零位电压 u_0 。指控制式自整角机处于电气零位时的输出电压。零位电压能使伺服系统的放大器饱和。它的数值范围为 $30\sim 180$ 毫伏。

3. 比电压 u_g 。自整角变压器在平衡位置附近,单位失调角的输出电压,以伏/度表示。增大比电压,可提高系统的灵敏度。它的数值范围为 $0.3\sim 1$ 伏/度。

4. 输出相位移 φ 。控制式自整角机输出电压的基波分量对励磁电压的基波分量的时间相位差,以角度表示。它的范围为 $2\sim 20^\circ$ 。

(二) 力矩式自整角机

1. 零位误差 $\Delta\theta_0$ 。力矩式自整角发送机当转子励磁后,由基准电气零位开始,转子每转过 60° ,在理论上定子绕组中有一线电压为零。此位置称作理论电气零位。由于设计和工艺因素影响,实际电气零位与理论电气零位是有差异的,此差值就是零位误差。以角分表示。在简单的力矩式自整角机系统中,系统的精度取决于自整角机的精度,它的数值范围为 $3\sim 10'$ 。

2. 静态误差 $\Delta\theta$ 。在力矩式自整角机系统中,当静平衡时,接收机与发送机转子转角之差,以角度表示。它直接影响系统精度,数值范围为 $0.2\sim 1^\circ$ 。

3. 比整步转矩 T_g 。力矩式自整角机系统中,接收机与发送机在平衡位置附近,单位失调角所产生的整步转矩,以克-厘米/度表示。提高比整步转矩,能直接提高它的系统灵敏度。数值范围为 $0.3\sim 80$ 。

4. 阻尼时间 t_r 。力矩式自整角机系统中,接收机自失调位置到平衡位置稳定所需时间。失调角为 $179^\circ \pm 2^\circ$ 时,不大于 $3''$ 。它影响系统的稳定性。

五、选 用 原 则

1. 自整角机的励磁电压和频率必须和电源一致。若电源可以任意选择时,应选用电压较高,频率为400赫的自整角机,因这种自整角机性能较好,体积较小。

2. 在系统中相互联结的自整角机,它们之间对应连接的绕组的额定电压和频率必须一致。

3. 在电源容量允许的情况下,应选用输入阻抗较低的发送机,以便获得较大的负载能力。

4. 选用自整角变压器和差动发送机时,应选输入阻抗较高的产品,以减轻发送机的负载。

5. 力矩式自整角机的静态精度是当其负载很轻时指针的精度。若负载较大时,应根据所要求的精度选用比整步转矩较大的自整角机。

六、常见故障及其原因

自整角机的故障,多数发生在励磁绕组与输出绕组的接线错误或短路或开路上;其次