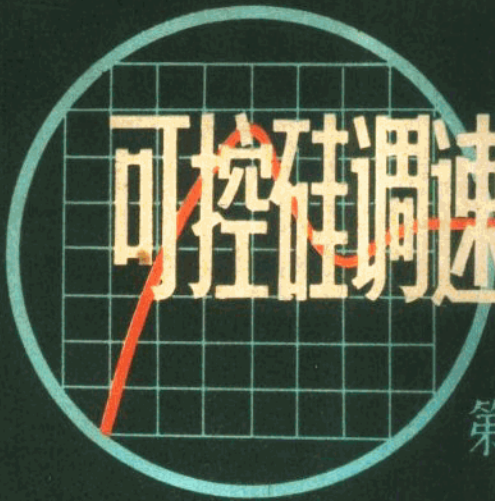


217
23-47
上钢一厂1200五机架热连轧主机



可控硅调速系统技术总结

第二卷

设计计标书



上海机械学院 上海整流器厂

上钢一厂 1200mm 五机架热连轧主机

可控硅调速系统技术总结

(第二卷)

设计计算书

上海机械学院
上海整流器厂 编

1975年7月

毛主席語录

独立自主，自力更生。

打破洋框框，走自己工业发展的道路。

中国人民有志气，有能力，一定要在不远的将来，赶上和超过世界先进水平。

我们不能走世界各国技术发展的老路，跟在别人后面一步一步地爬行。我们必须打破常规，尽量采用先进技术，在一个不太长的历史时期内，把我国建设成为一个社会主义的现代化的强国。

在生产斗争和科学实验范围内，人类总是不断发展的，自然界也总是不断发展的，永远不会停止在一个水平上。因此，人类总得不断地总结经验，有所发现，有所发明，有所创造，有所前进。停止的论点，悲观的论点，无所作为和骄傲自满的论点，都是错误的。

前 言

上钢一厂2300/1200半连轧热轧钢板车间工程是在市革会工交组领导下的会战项目，是我国自行设计，自行制造的第一个半连轧钢板车间，五机架连轧区的电气设备设计1972年6月开始进行，74年5月完成设计制造任务，并交付现场，74年底安装调试结束，现已投入试生产，电气设备运行正常。

在设计、制造、调试过程中，坚持毛主席的“独立自主，自力更生”方针，开展工业学大庆，贯彻鞍钢宪法的群众运动，坚持工人、干部、技术人员以及设计、制造、生产使用三个三结合，在二年多一些的时间内完成了整个连轧区电气设备的设计、制造、安装、调试过程，生产了国家急需的卷筒钢板。

为使我国自行设计、自行制造的第一台热连轧机具有较先进的电气技术水平，连轧主机系统具有以下几个特点：

- 1、全部采用可控硅供电，代替陈旧的机组供电。
- 2、采用PI高精度数字控制系统，以提高系统的静态精度。
- 3、整个调节控制系统采用固体线性集成电路运算放大器组成。
- 4、操作系统采用了无触点逻辑电路控制。
- 5、具有无触点逻辑控制的活套张力调节系统。
- 6、具有霍尔元件组成的直流检测装置。
- 7、具有集成电路组成的数字式过负荷保护装置。

遵照毛主席要认真总结经验的教导，我们从技术上进行了总结，以便提供给国内搞电气传动自动化和轧钢自动化的工人和科技人员作为探讨材料。

在总结过程中，考虑给有关院校作参考教材之用，因而总结中增加了一些附加内容。

鉴于我们政治与业务水平有限，还存在不少缺点，总结中时间比较仓促，更有不少贻误之处，热忱希望同志们批评指正。

参加半连轧主机部分三结合设计制造的单位有上海机械学院、上海整流器厂、上海冶金设计院、上钢一厂等单位。

此总结分二卷，第一卷为说明书，第二卷为设计计算书。

一九七五年七月

设 计 指 标

1. 整流设备中整流元件的电流贮备系数不小于最大电流 2 倍。
2. 整流设备中整流元件的电压贮备系数不小于最大电压 3 倍。
3. 整流元件均流系数不小于 0.85。
4. 系统静态速降 $< 0.2\%$ 。
5. 系统动态速降 $< 1\%$ (争取达到 0.5%)。
6. 动态恢复时间 < 0.5 秒 (争取达到 0.2 秒)。
7. 正常轧制出口速度 $5 \sim 8$ 米/秒。
8. 各机架爬行速度 0.5 米/秒。
9. 测速最小刻度 0.1 米/分。

目 录

设计指标

第一章 可控硅供电系统计算书

§ 1—1	原始数据	(1)
§ 1—2	电枢回路可控硅供电整流变压器计算	(2)
§ 1—3	电枢回路3CT可控硅元件的选择	(7)
§ 1—4	电枢回路2CZ硅整流元件的选择	(9)
§ 1—5	电枢回路可控整流桥保护装置的选取和元件参数的计算	(10)
§ 1—6	电枢回路非可控整流桥保护装置的选取和元件参数的计算	(18)
§ 1—7	励磁回路可控硅供电整流变压器计算	(22)
§ 1—8	励磁回路3CT可控硅元件的选择	(25)
§ 1—9	励磁回路可控整流桥保护装置的选取和元件参数的计算	(25)
§ 1—10	电枢回路电抗器计算	(29)
§ 1—11	电枢回路直流侧开断时操作过电压保护的设计	(41)
§ 1—12	电枢回路能耗制动电阻计算	(41)
§ 1—13	电枢回路短路计算与快速开关的选择	(56)
§ 1—14	电枢回路可控硅供电系统的效率与功率因数的计算	(59)
§ 1—15	可控硅励磁系统的效率与功率因数的计算	(64)

第二章 控制系统计算书

引 言		(68)
§ 2—1	自动调速系统静态参数计算.....	(71)
§ 2—2	自动调速系统动态参数计算.....	(78)
§ 2—3	电枢回路各单元参数计算和元件的选择.....	(108)
§ 2—4	励磁回路各单元参数计算和元件的选择.....	(124)
§ 2—5	触发系统元件参数计算与选取.....	(138)
§ 2—6	信号、保护系统单元参数计算和元件选择.....	(153)
§ 2—7	无触点逻辑操作系统单元设计.....	(165)
§ 2—8	稳压电源.....	(183)

第一章 可控硅供电系统计算书

§ 1—1 原 始 数 据

一、直 流 电 动 机:

五连轧机组主机采用二种规格的电动机, 其中: 1*、2*、3*、5* 机架用ZD215/69型电机, 4* 机架用ZD215/93型电机。

1. ZD215/69型直流电动机, 封闭强迫通风。

容 量: $P_{ED} = 2600$ 瓩, 电 压: $U_{ED} = 700$ 伏
电 流: $I_{ED} = 4000$ 安, 转 速: $n = 160/400$ 转/分
他激电压: $U_{LED} = 27$ 伏, 激磁电流: $I_{LED} = 354$ 安。

短时过载能力: 160转/分时最大电流 2.5×4000 安, 切断电流 2.75×4000 安。

400转/分时最大电流 2×4000 安, 切断电流 2.5×4000 安。

激 磁 数 据: 160转/分时每极磁通 $\Phi = 32.8 \times 10^6$ (马), 激磁功率9.6瓩。

基 本 数 据: 主极数10, 电枢每极匝数 $N_D = 3060$ 匝。

换向极数10, 换向极每极匝数 $N_H = 3$

他激绕组每极匝数 $N_L = 23$

补偿极每极匝数 $N_B = 6$

电枢绕组电阻 $r_D = 0.00384 \Omega$, 换向极绕组电阻 $r_H = 0.000765 \Omega$ 。

补偿绕组电阻 $r_B = 0.0028 \Omega$, 他激绕组电阻 $r_L = 0.062 \Omega$ 。

他激绕组总电感 $L_L = 0.223$ 亨, 他激绕组时间常数 $T_L = 3.6$ 秒。

空载损耗与效率: 160转/分时, 空载损耗49.9瓩, 效率93.7%。

飞轮力矩(GD^2): 38吨—米²。

空载磁化曲线数据: (160转/分)

端 电 压 (伏)	200	400	550	668	730	800
他激电流 (安)	80	161	238	354	500	796

2. ZD215/93型直流电动机, 封闭强迫通风。

容 量: $P_{ED} = 2600$ 瓩, 电 压: $U_{ED} = 700$ 伏
电 流: $I_{ED} = 4000$ 安, 转 速: $n = 115/290$ 转/分
他激电压: $U_{LED} = 35$ 伏, 激磁电流: $I_{LED} = 378$ 安。

短时过载能力: 115转/分时最大电流 2.5×4000 安, 切断电流 2.75×4000 安。

290转/分时最大电流 2×4000 安, 切断电流 2.75×4000 安。

激磁数据: 115转/分时每极磁通 $\Phi = 45 \times 10^8$ (马), 激磁功率13.2瓩。

基本数据: 主极数10, 电枢每极匝数 $N_D = 3060$ 匝。

换向极数10, 换向极每极匝数 $N_H = 3$

他激绕组每极匝数 $N_L = 23$

补偿极每极匝数 $N_B = 6$

电枢绕组电阻 $r_D = 0.00439 \Omega$, 换向极绕组电阻 $r_H = 0.000965 \Omega$,

补偿绕组电阻 $r_B = 0.003175 \Omega$, 他激绕组电阻 $r_L = 0.0758 \Omega$,

他激绕组总电感 $L_L = 0.286$ 亨, 他激绕组时间常数 $T_L = 3.76$ 秒。

空载损耗与效率: 115转/分时, 空载损耗42.4瓩, 效率93.2%。

飞轮力矩(GD^2): 49.5吨—米²。

空载磁化曲线数据: (115转/分)

端电压(伏)	200	400	550	660	730	800
他激电流(安)	82.3	166	252	378	588	911

二、交流高压进线电压: 三相, 6000 V

三、交流低压进线电压: 三相, 380 V

四、连轧机组参数:

机架	名 称						
	主机额定容量 $P_{ED} \text{ kW}$	主机额定转速 $n_{ED} \text{ 转/分}$	轧辊线速 $V \text{ 米/秒}$	轧辊直径 $D \text{ 毫米}$	轧辊转速 转/分	速 比 i	实际电机转速 $n \text{ 转/分}$
F_1	2600	160~400	1~2.5	560	34~85.3	4.67	159~397
F_2	2600	160~400	1.6~4	560	54.5~136	2.96	161~400
F_3	2600	160~400	2.6~6.5	560	88.5~222	1.82	161~400
F_4	2600	115~295	3.4~7.1	560	116~242	1	116~242
F_5	2600	160~400	5~8	560	170~273	1	170~273

五、连轧机组各机架轧制力矩范围:

普碳钢为例:

带 钢 规 格 mm	钢 种	来料厚度 mm	第一机架 F_1	第二机架 F_2	第三机架 F_3	第四机架 F_4	第五机架 F_5
2~6×700~1050	普 炭 钢 (以AD ₃ 代表)	16~24	22~55 T—M	15~45 T—M	8~28 T—M	4~15 T—M	2~10 T—M

§ 1—2 电枢回路可控硅供电整流变压器计算

一、接线方式:

整流线路采用四组整流桥串并联并带有平衡电抗器的电路, 如图(1—1)所示, 获得 12相整流波形。

图(1-1)中①、③桥组为三相全控整流桥, ②、④桥组为三相非可控整流桥, 分别由两只三绕组整流变压器1ZLB、2ZLB供电, 整流变压器采用 Δ/Δ_{12} 、 Y_{11} 接法。

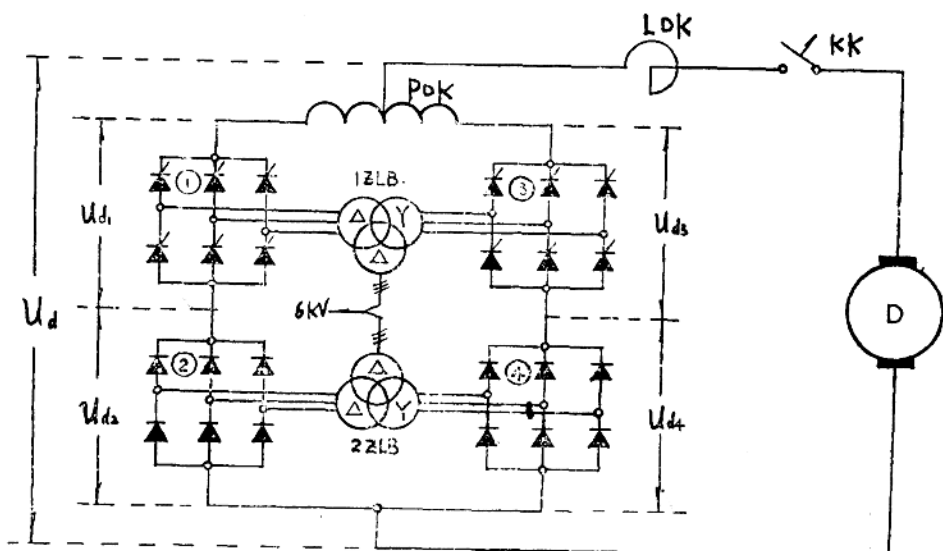


图 1-1 电枢回路可控硅供电原理线路图

系统整流输出电压: $U_d = U_{d1} + U_{d2} = U_{d3} + U_{d4}$

式中: U_{d1} 、 U_{d3} : 可控整流桥的整流电压, $U_{d1} = U_{d3}$

U_{d2} 、 U_{d4} : 非可控硅整流桥的整流电压, $U_{d2} = U_{d4}$

为了保证起动前整流系统的输出电压为零, 根据计算应选取

$$U_{dED2} = U_{dED4} < 0.8 U_{dED1} \quad (U_{dED3})$$

现已知电动机的额定端电压: $U_{dED} = 700V$, 故选取①和③可控整流桥组的额定整流电压 $U_{dED1} = U_{dED3} = 400V$ 。②和④非可控整流桥组的额定整流电压: $U_{dED2} = U_{dED4} = 300V$ 。

二、可控整流变压器 1ZLB 参数计算:

1. 变压器次级相电压有效值 U_2 :

由于系统采用转速负反馈

$$\text{故} \quad U_2 = \frac{U_{dED1} \left[1 + \gamma \left(\frac{I_d}{I_{dED}} - 1 \right) \right] + N_C U_{df}}{A\beta \left[\cos \alpha_{z1} - C \frac{U_{d\%}}{100} \times \frac{I_B}{I_{BED}} \right]}$$

式中: U_{dED1} : 可控整流桥的额定整流电压,

已知 $U_{dED1} = 400V$

I_{dED} : 电动机额定电枢电流, $I_{dED} = 4000A$ 。

I_d : 电动机实际电枢电流,

取最大值为 $I_d = 2.5 I_{dED}$ 。

γ : 电枢回路额定电流时的压降与电动机额定电压的比值。

$$\gamma = I_{dED} r_s / U_{dED}$$

r_s : 为电动机电枢回路总电阻

$$r_s = r_D + r_B + r_H + r_{LK} + r_{PK}$$

r_D : 电枢绕组电阻

r_B : 补偿绕组电阻

r_H : 换向极绕组电阻

r_{LK} : 滤波电抗器电阻, $r_{LK} = 0.00433 \Omega$

r_{PK} : 平衡电抗器电阻(单边), $r_{PK} = 0.00029 \Omega$

对 ZD215/69型电机: $r_D = 0.00384 \Omega$, $r_B = 0.0028 \Omega$, $r_H = 0.000765 \Omega$ 。

$$\therefore r_s = 0.00384 + 0.0028 + 0.000765 + 0.00433 + 0.00029 = 0.012025 \Omega$$

对 ZD215/93型电机: $r_D = 0.00439 \Omega$, $r_B = 0.003175 \Omega$, $r_H = 0.000965 \Omega$ 。

$$\therefore r_s = 0.00439 + 0.003175 + 0.000965 + 0.00433 + 0.00029 = 0.01315 \Omega$$

为了考虑两种型号的电动机,采用相同的整流变压器,故计算变压器次级相电压时, r_s 取二个电机中的较大值,即取 $r_s = 0.01315 \Omega$ 。

$$\therefore \gamma = \frac{I_{dED} r_s}{U_{dED}} = \frac{4000 \times 0.01315}{700} = 0.075$$

N_c : 电流回路中整流元件串联数目,现考虑每个支路二只元件串联, $N_c = 4$ 。

U_{df} : 整流元件正向压降,按技术条件,600A的可控元件每一元件的正向管压降为0.8伏。

A : 整流系数,对三相桥式线路 $A = 2.34$

β : 电网电压波动系数,考虑电网电压波动 $\pm 10\%$,即 $\beta = 0.9$

α_{xx} : 可控桥路整流时的极限开放角, $\alpha_{xx} = 0^\circ$

C : 整流线路倾斜系数,对于三相桥式整流线路 $C = 0.5$

$U_{d\%}$: 整流变压器短路比,估计约为 $(U_{d\%})_{总} = 10$,对三绕组变压器每一个付边的短路比为 $U_{d\%} = \frac{1}{2} (U_{d\%})_{总} = 5$

I_B/I_{BED} : 整流变压器过载倍数,取 $I_B/I_{BED} = I_d/I_{dED} = 2.5$

$$\therefore U_2 = \frac{400[1+0.075(2.5-1)]+4 \times 0.8}{2.34 \times 0.9[1-0.5 \frac{5}{100} \times 2.5]} = \frac{445+3.2}{1.98} = 226 \text{ 伏}$$

另外考虑到可控硅整流回路中还有快速熔断器、均流电抗器、以及铝排引线上的压降,故留2%的线路压降余量。

则取 $U_2 = 226 \times 1.02 = 230.5 \text{ 伏}$

现选取变压器次级相电压有效值, $U_2 = 231 \text{ 伏}$

即次级线电压有效值, $U_{2ED} = 231 \times \sqrt{3} = 400 \text{ 伏}$

2. 变压器次级相电流有效值:

$$I_2 = K_{I_2} I_{dED} = 0.817 \times 4000 = 3270 \text{ 安}$$

对三绕组变压器,该次级电流平均分配在二个次级绕组中,其中Y接法的绕组中次级相电流:

$$I_{2r} = \frac{1}{2} I_2 = \frac{1}{2} \times 3270 = 1635 \text{ 安}$$

Δ 接法的绕组中次级相电流 $I_{2\Delta}$:

$$I_{2\Delta} = \frac{1}{2\sqrt{3}} I_2 = \frac{3270}{2\sqrt{3}} = 945 \text{ 安}$$

3. 变压器初级相电流有效值:

$$I_1 = K_{11} \frac{I_{dED}}{K}, \text{ 系数 } K_{11} = 0.817, \text{ 变比 } K = \frac{6000}{231} = 26$$

$$\therefore I_1 = 0.817 \frac{4000}{26} = 125.5 \text{ 安}$$

4. 变压器次级视在功率:

$$P_{B2} = 3 U_2 I_2 = 3 \times 231 \times 3270 = 2265 \text{ 仟伏安}$$

5. 变压器初级视在功率:

$$P_{B1} = 3 U_1 I_1 = 3 \times 6000 \times 125.5 = 2260 \text{ 仟伏安}$$

6. 变压器标准功率:

$$P_{BED} = \frac{1}{2} (P_{B1} + P_{B2}) = \frac{1}{2} (2265 + 2260) = 2263 \text{ 仟伏安}$$

7. 结 论:

选用 2300KVA 油浸三相三绕组整流变压器, 其技术数据为:

额定容量: 2300KVA, 相数: 3, 频率: 50HZ.

户外式、油浸自冷、A 级绝缘, 连接组 Δ/Δ_{11} 、 Y_{11} .

额定高压线电压: 6000 伏, 抽头电压, 6300 伏、5700 伏.

额定低压线电压: 2×400 伏.

额定高压线电流: 221 安, 额定低压线电流: 2×1660 安.

损耗: 高压侧铜损: $I^2 R = 9540$ 瓦, 低压侧铜损: $I^2 R = \frac{7090}{7290}$ 瓦.

引线损耗: 1050 瓦、840 瓦, 杂散损耗: 5980 瓦,

短路损耗: 31790 瓦, 铁损: 6900 瓦.

短路比: 8.85

高压相电阻: 0.196Ω , 低压相电阻: 0.000857Ω 、 0.00265Ω .

三、硅二极管整流变压器 2ZLB 参数计算:

1. 变压器次级相电压有效值 U_2 :

$$U_2 = \frac{U_{dED2} \left[1 + \gamma \left(\frac{I_d}{I_{dED}} - 1 \right) \right] + N_c U_{df}}{A \beta \left[\cos \alpha_{xx} - C \frac{U_{de\%}}{100} \cdot \frac{I_B}{I_{BED}} \right]}$$

式中: U_{dED2} : 非可控整流桥的额定整流电压

$$U_{dED2} = 300 \text{ V}, \frac{I_d}{I_{dED}} = 2.5, \gamma = 0.075$$

N_c : 电流回路中硅二极管串联数目, 现考虑每个支路只有一个元件, 故 $N_c = 2$

U_{df} : 整流二极管正向压降, 按技术条件 600 A 的硅二极管每一元件的管压降为 0.7 伏.

$A = 2.34$, $\beta = 0.9$, $C = 0.5$, $\cos \alpha_{xx} = 1$, $I_B/I_{BED} = 2.5$

$U_{de\%}$: 整流变压器短路比, 估计约为 ($U_{de\%}$) 总 = 10

对三绕组变压器每一个付边短路比为:

$$U_{dc}\% = \frac{1}{2}(U_{dc}\%)_{\text{总}} = 5$$

$$\therefore U_2 = \frac{300[1 + 0.075(2.5-1)] + 2 \times 0.7}{2.34 \times 0.9 \left[1 - 0.5 \frac{5}{100} \times 2.5 \right]} = \frac{333.8 + 1.4}{1.98} = \frac{335.2}{1.98} = 169 \text{ 伏}$$

同样考虑到整流回路中尚有快速熔断器、以及铝排引线等，故须留2%的线路压降余量，

则取 $U_2 = 169 \times 1.02 = 172.5 \text{ 伏}$

现选取变压器次级相电压有效值， $U_2 = 173 \text{ 伏}$

次级线电压有效值， $U_{2ED} = 300 \text{ 伏}$ 。

2. 变压器次级相电流：

$$I_2 = K_{12} I_{dED} = 0.817 \times 4000 = 3270 \text{ 安}$$

对三绕组变压器该次级电流平均分配在二个次级绕组中，其中Y接法的绕组中次级相电流：

$$I_{2Y} = \frac{1}{2} I_2 = \frac{1}{2} \times 3270 = 1635 \text{ 安}$$

Δ 接法的绕组中次级相电流：

$$I_{2\Delta} = \frac{I_2}{2\sqrt{3}} = \frac{3270}{2\sqrt{3}} = 945 \text{ 安}$$

3. 变压器初级相电流：

$$I_1 = K_{11} \frac{I_{dED}}{K}, \text{ 系数 } K_{11} = 0.817, \text{ 变比 } K = \frac{6000}{173} = 34.7$$

$$\therefore I_1 = 0.817 \frac{4000}{34.7} = 94.2 \text{ 安}$$

4. 变压器次级视在功率：

$$P_{B2} = 3 U_2 I_2 = 3 \times 173 \times 3270 = 1700 \text{ KVA}$$

5. 变压器初级视在功率：

$$P_{B1} = 3 U_1 I_1 = 3 \times 6000 \times 94.2 = 1700 \text{ KVA}$$

6. 变压器标准功率：

$$P_{BED} = \frac{1}{2} (P_{B1} + P_{B2}) = \frac{1}{2} (1700 + 1700) = 1700 \text{ KVA}$$

7. 结 论：

选用1700KVA油浸三相三绕组整流变压器，其技术数据为：

额定容量：1700KVA，相数：3，频率：50HZ。

户外式，油浸自冷，A级绝缘，连接组： Δ/Δ_{12} 、Y₁₁

额定高压线电压：6000伏，抽头电压，6300伏、5700伏

额定低压线电压：2×300伏

额定高压线电流：163.5安

额定低压线电流：2×1635安

损耗：高压侧铜损： $I^2 R = 9200 \text{ 瓦}$

低压侧铜损： $I^2 R = 6270 \text{ 瓦}$ 、6220瓦，

引线损耗：800瓦、480瓦，杂散损耗：5430瓦

短路损耗：28400瓦，铁损：4820瓦

短路比：9.35

高压相电阻：0.344Ω，低压相电阻：0.000782Ω、0.00232Ω

四、直流整流电压验算:

根据以上计算选择的整流变压器1ZLB、2ZLB的次级线电压,保证了在最恶劣情况下,整流电源可以供给电机额定的直流电压,但在空载情况下,还必须保证可控整流的最大逆变电压,大于非可控整流桥的最大整流电压,以使主令给定信号为零时,电机不产生爬行现象。

1. 非可控整流桥最大整流电压的计算:

2ZLB的次级相电压: $U_2 = 173$ 伏, $U_{de}\% = 9.35$

整流电压:

$$U_d = A U_2 \beta \left[1 - C \frac{\frac{1}{2} U_{de}\%}{100} \times \frac{I_B}{I_{BED}} \right] - N_c U_{df}$$

额定负载时:

设: $\frac{I_B}{I_{BED}} = 1$, $\beta = 1$, $N_c = 2$, $U_{df} = 0.7$

则: $U_d = 2.34 \times 173 (1 - 0.5 \cdot \frac{4.67}{100}) - 2 \times 0.7 = 405 (1 - 0.0234) - 1.4 = 389$ 伏

完全空载时:

$$I_B = 0, U_{dmax} = 405 - 1.4 = 403.6 \text{ 伏}$$

2. 可控整流桥最大逆变电压的计算:

1ZLB的次级相电压: $U_2 = 231$ 伏, $U_{de}\% = 8.85$

整流电压:

$$U_d = A U_2 \beta (\cos \alpha - C \frac{\frac{1}{2} U_{de}\%}{100} \cdot \frac{I_B}{I_{BED}}) - N_c U_{df}$$

取最小逆变角 $\beta = 35^\circ$, 即 $\alpha = 145^\circ$

额定负载时:

设: $\frac{I_B}{I_{BED}} = 1$, $\beta = 1$, $N_c = 4$, $U_{df} = 0.8$ 伏

则: $U_d = 2.34 \times 231 (\cos 145^\circ - 0.5 \cdot \frac{4.42}{100}) - 4 \times 0.8 = 540 (-0.819 - 0.0221) - 3.2$
 $= -540 \times 0.841 - 3.2 = -454 - 3.2 = -457.2$ 伏

完全空载时:

$$I_B = 0, \text{ 则 } U_{dmax} = 540 \times (-0.819) - 3.2 = -443 - 3.2 = -446 \text{ 伏}$$

由此可看出可控整流桥的最大逆变电压远大于非可控整流桥的最大整流电压,故可保证在主令给定信号为零时,电机不产生爬行现象,说明1ZLB与2ZLB所选用的次级线电压值是合理的。

§ 1—3 电枢回路3CT可控硅元件的选择

一、可控硅整流桥每臂并联支路数的确定:

1. 工作时最大负载电流:

根据电机的技术条件最大的电枢电流为:

$$I_{dmax} = 2.5 I_{dED} = 2.5 \times 4000 = 10000 \text{ 安}$$

由于线路采用二边二组三相整流桥组并联,故每一边的三相整流桥中通过的最大整流电流为:

$$\frac{I_{dmax}}{2} = \frac{10000}{2} = 5000 \text{ 安}$$

2. 每臂的并联支路数:

根据目前生产水平, 采用额定正弦半波平均值电流 $I_F = 600 \text{ A}$ 的可控硅元件
并联支路数:

$$N_b = \frac{K_i I_{dmax}}{2 I_F \cdot K_7} \cdot \frac{K_4}{K_2 \cdot K_3}$$

式中: K_i : 电路系数, 对三相桥式线路, $K_i = 0.367$

K_7 : 均流系数, 取 $K_7 = 0.94$

K_2 : 风速系数, 取 $K_2 = 1$

K_3 : 环境温度系数, 取 $K_3 = 1$

K_4 : 高度系数, 取 $K_4 = 1$

$$\therefore N_b = \frac{0.367 \times 5000}{600 \times 0.94} = 3.26$$

考虑留有余地, 另外增加一些并联支路数, 以保证每一桥臂中有一个支路损坏时, 整流元件可正常工作。故选取元件的并联支路数: $N_b = 6$

3. 电流裕度:

$$K_I = \frac{N_b I_F \cdot K_7}{K_i \cdot \frac{I_{dmax}}{2}} = \frac{6 \times 600 \times 0.94}{0.367 \times 5000} = 1.85$$

二、每个支路中可控硅串联元件数目的确定:

1. 每个整流桥臂中可控硅元件所承受的反向电压最大峰值 U_{RM} : $U_{RM} = K_U U_2$

式中: K_U : 线路系数, 对三相桥式线路 (整流变压器付边为 Y 接法) $K_U = 2.45$

U_2 : 变压器次级相电压

$$\therefore U_{RM} = 2.45 \times 231 = 567 \text{ 伏}$$

2. 串联元件数 N_c :

根据目前生产与供应情况, 选用额定反向峰值电压为 $PRV \geq 1200 \text{ V}$ 的元件,
串联元件数:

$$N_c = \frac{U_{RM} \cdot K_1 \cdot K_s}{\frac{PRV + 100}{2}}$$

式中: K_1 : 电网电压升高系数, 取 $K_1 = 1.1$

K_s : 电压分配不均匀系数, 取 $K_s = 1.1$

$$\therefore N_c = \frac{567 \times 1.1 \times 1.1}{\frac{1200 + 100}{2}} = 1.055, \text{ 取 } N_c = 2$$

3. 电压裕度:

$$K_U = \frac{N_c (PRV + 100)}{U_{RM} \cdot K_1 \cdot K_s} = \frac{2(1200 + 100)}{567 \times 1.1 \times 1.1} = 3.79$$

三、结 论:

选用 3CT—600A/1200V 可控硅整流元件, 水冷。

每组三相整流桥中需用可控硅元件数为:

$$6N_bN_c = 6 \times 6 \times 2 = 72 \text{只}$$

二组整流桥使用的可控硅元件总数为:

$$2 \times 72 = 144 \text{只}$$

每组整流桥的元件放在二只整流柜中, 总共有四只可控整流柜。

每只整流柜中每个桥臂元件为2串3并, 共36只可控硅元件。

§ 1—4 电枢回路2CZ硅整流元件的选择

一、硅二极管整流桥每臂并联支路数的确定:

1. 工作时最大负载电流:

电机最大的电枢电流为:

$$I_{dmax} = 2.5I_{dED} = 2.5 \times 4000 = 10000 \text{安}$$

由于线路采用二边二组三相整流桥组并联, 故每一边的三相整流桥中通过的最大整流电流为:

$$\frac{I_{dmax}}{2} = \frac{10000}{2} = 5000 \text{安}$$

2. 每臂的并联支路数:

根据目前生产与供应情况, 选用额定正弦半波平均值电流 $I_F = 600$ 安的硅整流二极管。

并联支路数:

$$N_b = \frac{K_i \frac{I_{dmax}}{2}}{I_F \cdot K_7}$$

式中: K_7 : 均流系数, 取 $K_7 = 0.9$

$$\therefore N_b = \frac{0.367 \times 5000}{0.9 \times 600} = 3.4$$

同样考虑留有余地, 另外增加一些并联支路数, 以保证每一桥臂中有一个支路损坏时, 整流桥可正常工作, 故选取并联支路数 $N_b = 6$ 。

3. 电流裕度:

$$K_1 = \frac{N_b I_F K_7}{K_i \frac{I_{dmax}}{2}} = \frac{6 \times 600 \times 0.9}{0.367 \times 5000} = 1.765$$

二、每个支路中硅整流二极管串联元件数目的确定:

1. 每个整流桥臂中硅整流二极管所承受的反向电压最大峰值:

$$U_{RM} = K_U U_2 = 2.45 \times 173 = 423 \text{伏}$$

2. 串联元件数 N_c :

根据目前生产与供应情况, 选用额定反向峰值电压为 $PRV > 800$ 伏的硅整流二极管元件。

串联元件数:

$$N_c = \frac{U_{RM} \cdot K_1 \cdot K_8}{PRV}$$

式中: 电网电压升高系数 $K_1 = 1.1$

电压分配不均匀系数 $K_g = 1$

$$\therefore N_c = \frac{423 \times 1.1}{800} = 0.583, \quad \text{取 } N_c = 1, \text{ 即不需串联使用}$$

3. 电压裕度 K_U :

$$K_U = \frac{N_c(2 \times PRV)}{U_{RM} \cdot K_1 \cdot K_g} = \frac{2 \times 800}{423 \times 1.1} = 3.44$$

三、结 论:

选用 2CZ—600A/800V 硅整流二极管, 水冷。

每组三相不可控整流桥中需用硅整流二极管数为:

$$6N_b N_c = 6 \times 6 = 36 \text{ 只}$$

二组不可控整流桥使用的硅整流二极管总数为:

$$2 \times 36 = 72 \text{ 只}$$

每组不可控整流桥元件放在一只整流柜中, 总共有二只不可控整流柜。

§ 1—5 电枢回路可控整流桥保护装置的选择和元件参数的计算

一、过电压保护:

1. 可控整流桥交流侧操作过电压的保护:

措施: 采用阻容过电压抑制电路和硒堆吸收装置。

①在整流变压器付边接阻容吸收装置, 抑制瞬变过电压。

对于大功率整流线路, 阻容吸收装置如果按图 (1—2) 接线, 则可根据下列公式估算元件参数:

1) 电 容 量:

$$C' = K_c \frac{I_{o2}}{f U_{2x}} \quad \mu f$$

式中: K_c —经验系数, 对三相桥式线路

取 $K_c = 10000$

$I_{o2} = m I_2$ —折算到变压器付边的空载相电流。

式中: m 为空载电流的百分数, 取 $m = 5\%$ 。

I_2 为变压器付边额定相电流。

对 2300KVA 的整流变压器, 在 Y 连接的付边:

$$I_{o2Y} = \frac{5}{100} \times 1660 = 83 \text{ A}$$

在 Δ 连接的付边

$$I_{o2\Delta} = \frac{5}{100} \cdot \frac{1660}{\sqrt{3}} = 48 \text{ A}$$

U_{2x} —整流变压器次级绕组线电压, $U_{2x} = 400$ 伏

f —电源频率, $f = 50 \text{ Hz}$

故对 $\Delta/Y-11$ 接法的变压器付边

$$C'_Y = 10000 \frac{83}{50 \times 400} = 41.5 \mu f$$

对 $\Delta/\Delta-12$ 接法的变压器付边

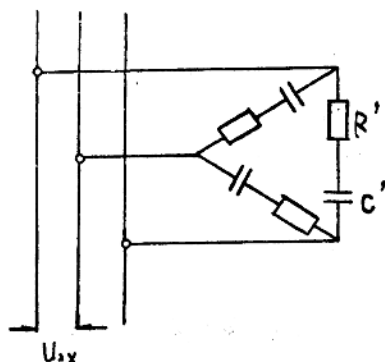


图 1-2

$$C'_\Delta = 10000 \frac{48}{50 \times 400} = 2.4 \mu\text{f}$$

为统一起见，变压器二个次级绕组侧的电容值均按 Δ/Y -11接线的数值选取，

取 $C' = 3.9 \mu\text{f}$

2) 电阻值:

$$R' = K_R \frac{U_{2x}}{I_{O2}} - \Omega$$

式中: K_R ——经验系数，对三相桥式线路，取 $K_R = 0.3$

对 Δ/Y -11接线:

$$R'_y = 0.3 \frac{400}{83} = 1.45 \Omega$$

对 Δ/Δ -12接线:

$$R'_\Delta = 0.3 \frac{400}{48} = 2.5 \Omega$$

同样R的参数也按 Δ/Y -11接线时选取，取 $R' = 1.45$

3) 电阻上消耗的功率:

阻容为 Δ 接法时，根据经验公式:

$$P_R = (K_F I_{O2})^2 R' \text{ (瓦)}$$

式中: K_F ——经验系数，对三相桥式线路，取 $K_F = 0.25$

$$\therefore P_R = (0.25 \times 83)^2 \times 1.45 = 622 \text{ 瓦}$$

4) 考虑电容器采用三相移相电容，为便于接线，阻容吸收装置的接线方式改接如图(1-3b)所示。

$$\text{此时 } R = \frac{R'}{3} = \frac{1.45}{3} = 0.485, \text{ 取 } R = 0.55 \Omega$$

$$C = C' = 3.9 \mu\text{f}$$

改接线路后，电阻R中所消耗的功率与 R' 中所消耗的功率相等。

5) 结论:

a. 变压器付边阻容吸收装置的电容 $C = 39 \mu\text{f}$ ，选取三相移相电容器 $YY-0.525-10-3-116 \mu\text{f}$ ，每组可控整流桥(二只可控整流柜)用一箱电容器。

b. 变压器付边阻容吸收装置的电阻 $R = 0.55 \Omega$ ，选取板形电

阻 $ZB2-1.1 \Omega$ ，二片并联，每片允许电流17.7安，允许消耗功率为350瓦，每组可控整流桥三相共用电阻6片。

c. 根据阻容吸收装置的元件参数复校电阻上流过的电流与消耗功率:

每相电容: $C = 3.9 \mu\text{f}$

$$\text{容抗: } X_c = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f c} = \frac{1}{2 \times 3.14 \times 50 \times 39 \times 10^{-6}} = 82 \Omega$$

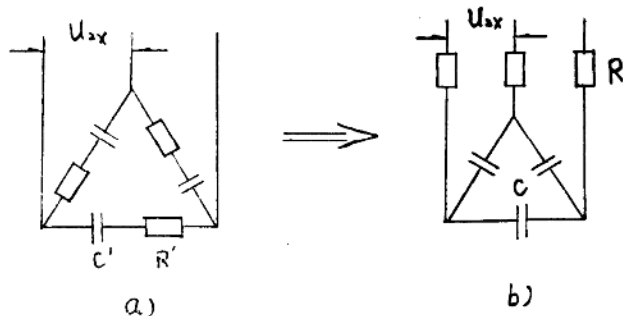


图 1-3