

目 录

前 言

带 锯 跑 车

一、系统介绍与经济技术指标.....	2
(一) 电路组成简介	2
(二) 三相全控桥电路分析	6
(三) 反并联电路分析	19
(四) 环流分析	22
(五) 调节器的调节作用分析	27
(六) 技术经济指标	33
二、主电路的设计和计算	34
(一) 整流变压器的设计	34
(二) 电抗器的计算	50
(三) 可控硅的选择	60
(四) 可控硅的保护环节	61
三、触发电路	65
(一) 线路特点	65
(二) 系统对触发脉冲的要求	69
(三) 线路的组成和工作原理	72
(四) 各参数的影响	76
(五) 触发电路与主电路电源同步问题	77

(六) 脉冲变压器的设计	79
(七) 同步变压器	83
四、调节器	86
(一) 调节器的组成	86
(二) 比例积分调节器及其作用	98
五、系统的静、动态问题	106
(一) 静态问题	106
(二) 过渡过程的概念	111
(三) 系统各环节的传递函数	116
(四) 最佳控制	123
(五) 动态校正和参数计算	138
六、稳压电源和继电控制电路	146
(一) 稳压电源	146
(二) 继电控制电路	147
七、调试	149
(一) 调试要点	149
(二) 元件及线路检查	150
(三) 单元调试	150
(四) 变压器测试	163
(五) 系统调试前的准备	167
(六) 模拟调试	170
(七) 带电动机负载测试	175
(八) 调试中对线路的改进	183

带 锯 摇 尺

八、数控摇尺	189
(一) 原理和单元电路	189
(二) 板厚控制电路	193

(三) 余量 (余尺) 控制电路	201
(四) 跑车自动循环	204
(五) HTL 电路组成的线路	211
九、逻辑单元电路	215
(一) 门电路	215
(二) 双稳态触发器	232
(三) 单稳态触发器	239
(四) 多谐振荡器	246
十、基本单元电路	252
(一) 译码电路	252
(二) 显示电路	256

带 锯 跑 车

大带锯是制材车间的主要设备之一，锯机由跑车和摇尺两部分组成。

大带锯跑车（送材车）主要用于装载原木，进行锯切。由于跑车负载能力大，并有摇尺、翻木、车摆、搬垫和挂钩等装置，所以适合剖分各种径级的原木。

制材厂普遍采用跑车带锯机作为主要生产设备，跑车在一定程度上影响制材的劳动生产率和产品的精度与质量。多年来，国内外对跑车进行了多次改革，结构日趋完善。

过去，一台带锯跑车要用七至九人操作，仅车上即需二至四人；目前，跑车上无人，车上车下各种机构的动作，仅由一人在车下集中操作。

带锯机操作工的工作项目较多，既要操作各种机构完成必须动作，又要决定下锯法和尺寸，还要根据原木锯切情况操纵跑车进退，这就要求操作集中，拖动控制系统先进。

目前，国内外带锯跑车的传动方式有三种。

“交流电机——摩擦轮”传动：这种方法使用普遍，但要站立操作，耗电量，维修工作量大，设备占地面积大。

液压传动：这种方法采用液压马达，经多级链条减速，传动绳轮，用钢丝绳拖动跑车。液压传动操纵方便，但维修

工作量较大，成本也较高。

直流电动机传动：这种方法是经齿轮减速，带动绳轮，用钢丝绳拖动跑车。直流电动机采用可控硅调速，这是近年来跑车拖动的新发展。

对跑车传动的要求应该是调速范围大；采用无级调速，制动迅速，运行平稳；操纵省力，调速方便。

一、系统介绍与经济技术指标

（一）电路组成简介

电路如图 1 所示。

主电路采用三相全控桥反并联可逆电路。这种电路具有的显著优点是：输出电压的波形中交变分量的最低频率是六次基频，交变分量与直流分量之比比较小，因而容易满足平滑电流波形所要求的电感量。此外，对可控硅的电压定额要求也较低。

常用的几种全控整流电路主要参数如第 5 页表。

为了使电动机能够可逆运转，两组全控桥电路公用一个交流电源，以反极性并联向电动机供电，组成可逆整流电路。当一组可控硅电路处于整流工作状态时，另一组可控硅电路处于待逆变工作状态。当电动机制动时，系统成为逆变器，快速实现再生制动。

整流变压器 BT-1 使系统主电路与电网相隔离。为了改善整流电路中的可控硅轮换工作而引起的非正弦畸变，消除三次谐波分量对电网的不良影响和减小损耗，本线路变压器

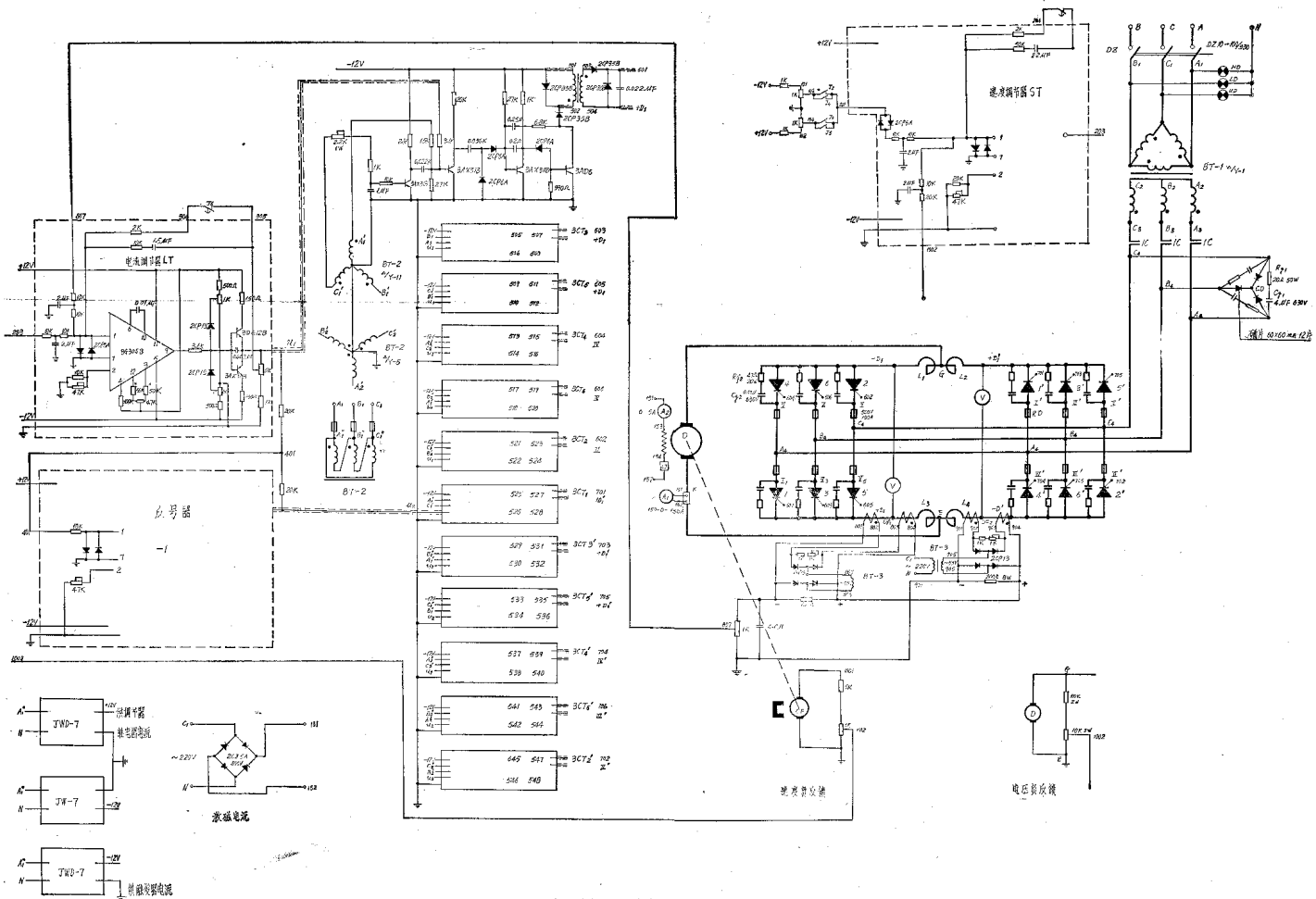
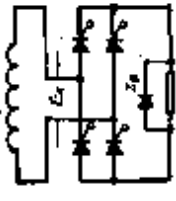
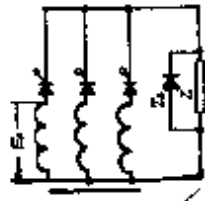
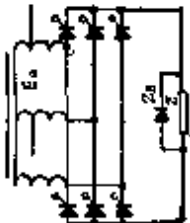


图1 跑车可控硅拖动电路

整流主电路	单相全波	单相全控桥	三相半波	三相全控桥
主电路接线方式				
起通角 $\alpha = 0$, 空载直流输出电压平均值 E_{d0}	$0.90E_s$	$0.90E_s$	$1.17E_s$	$1.35E_s$
起通角 $\alpha \neq 0$, 电阻负载或电空载直流输出电压平均值 E_d	$\frac{1 + \cos\alpha}{2} \times E_{d0}$	$\frac{1 + \cos\alpha}{2} \times E_{d0}$	当 $0 < \alpha < \frac{\pi}{6}$, 为 $\cos\alpha \cdot E_{d0}$ 当 $\frac{\pi}{6} < \alpha \leq \frac{5}{6}\pi$, 为 $0.577 \left[1 + \cos\left(\alpha + \frac{\pi}{6}\right) \right] \times E_{d0}$	当 $0 \leq \alpha \leq \frac{\pi}{3}$, 为 $\cos\alpha \cdot E_{d0}$ 当 $\frac{\pi}{3} < \alpha \leq \frac{2}{3}\pi$, 为 $\left[1 + \cos\left(\alpha + \frac{\pi}{3}\right) \right] \times E_{d0}$
电阻加无限大电感	$\cos\alpha \times E_{d0}$	$\cos\alpha \times E_{d0}$	$\cos\alpha \times E_{d0}$	$\cos\alpha \times E_{d0}$
$\alpha = 0$, 最低脉动频率脉动系数	$2f$ 0.666	$2f$ 0.666	$3f$ 0.25	$6f$ 0.057
移相范围	纯电阻负载或电感负载有续流二极管 $\angle\varphi$ 电阻 + 无限大电感情况 $0 \sim \pi$ $0 \sim \frac{\pi}{2}$	$0 \sim \pi$ $0 \sim \frac{\pi}{2}$	$0 \sim \frac{5}{6}\pi$ $0 \sim \frac{\pi}{2}$	$0 \sim \frac{2}{3}\pi$ $0 \sim \frac{\pi}{6}$
最大导通角	π	π	$\frac{5}{6}\pi$	$\frac{2}{3}\pi$
整流臂的峰值正向电压和反向电压 E_M	$2\sqrt{2} E_s$	$\sqrt{2} E_s$	$\sqrt{6} E_s$	

绕组采用 Δ/Y 联接。

两组可控硅电路之间接入均衡电抗器 L_1-L_4 ，用以限制由于整流组和逆变组每一瞬时输出电压的差值引起的环流（不经过负载）。

为保证触发电路同步信号与主电路电源同步，主变压器 BT-1 接成 $\Delta/Y-1$ ；同步变压器 BT-2 接成 $\Delta/Y-11$ 。

为了使系统起动、制动，正反转时过渡平滑，调整时在给定环节中加上积分器。

系统的控制电路由速度调节器、电流调节器、反号器、触发器、电流负反馈、速度负反馈诸环节组成。

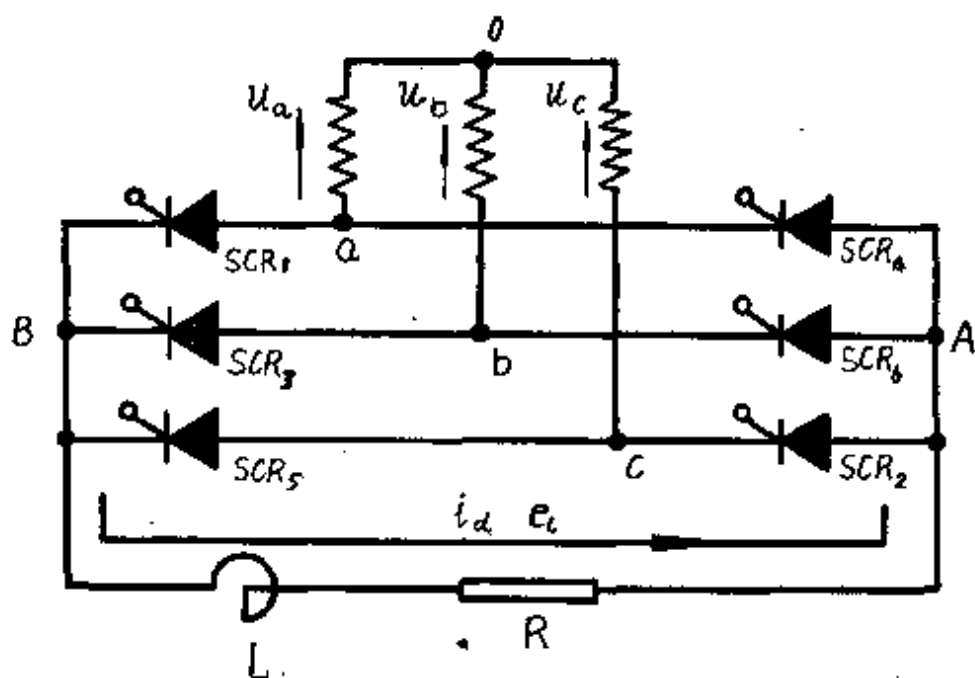
速度调节器和电流调节器均为 PI 调节器。以这两个调节器为主组成电流环和速度环，使系统成为多环自动调速系统，可以得到较理想的静特性和动特性，满足工艺对跑车系统提出的要求。

（二）三相全控桥电路分析

这里主要分析可控硅的导通与换流情况、整流电压与控制角的关系，逆变电压与逆变角的关系及有关问题 1—2 段分析整流状态，如图 2。

1. 原理 从图 2 可以看出线路具有两个特点，一是变压器副边每一绕组的一端接有两个可控硅，而这两个可控硅是把正、负端连到一起的。二是三个可控硅的阳极连在一起，另三个可控硅阴极连在一起，然后接到负载上去。 $SCR_{1,3,5}$ 组成共阴极组； $SCR_{4,6,2}$ 组成共阳极组。

可控硅何时具有导通条件？当 a 点电位最高时， SCR_1 受正向电压具有导通条件，可以触发使之导通。当 a 点电位



最低时, SCR_4 受正向电压可以触发使之导通。同理, b 点和 c 点电位最高时, SCR_3 和 SCR_5 可以导通, b 点和 c 点电位最低时, SCR_6 和 SCR_2 可以导通。为了得到正常的整流电压, 各个可控硅有一定的导通顺序。

以控制角 $\alpha = 60^\circ$ 为例, 说明整流情况如图 3。

在 $\omega t_1 - \omega t_2$ 期间, u_{cb} 起作用, 即 SCR_5 和 SCR_6 导通。到 ωt_2 时, u_{ab} 变大, 应是 SCR_1 和 SCR_6 导通, 故触发 SCR_1 , 因 c 点电位低于 a 点电位, 故 SCR_1 导通, SCR_5 关断。 SCR_1 与 SCR_5 换流。因此在 $\omega t_2 - \omega t_3$ 是 SCR_1 和 SCR_6 导通。到 ωt_3 时, u_{ac} 变大, 应是 SCR_1 和 SCR_2 导通, 故触发 SCR_2 和 SCR_2 导通, SCR_6 关断。在 $\omega t_3 - \omega t_4$ 期间是 SCR_1 和 SCR_2 导通。同理到 ωt_4 时, 触发 SCR_3 , SCR_3 与 SCR_1 换流。在 $\omega t_4 - \omega t_5$ 期间是 SCR_3 和 SCR_2 导通等等。这样, 可以得触

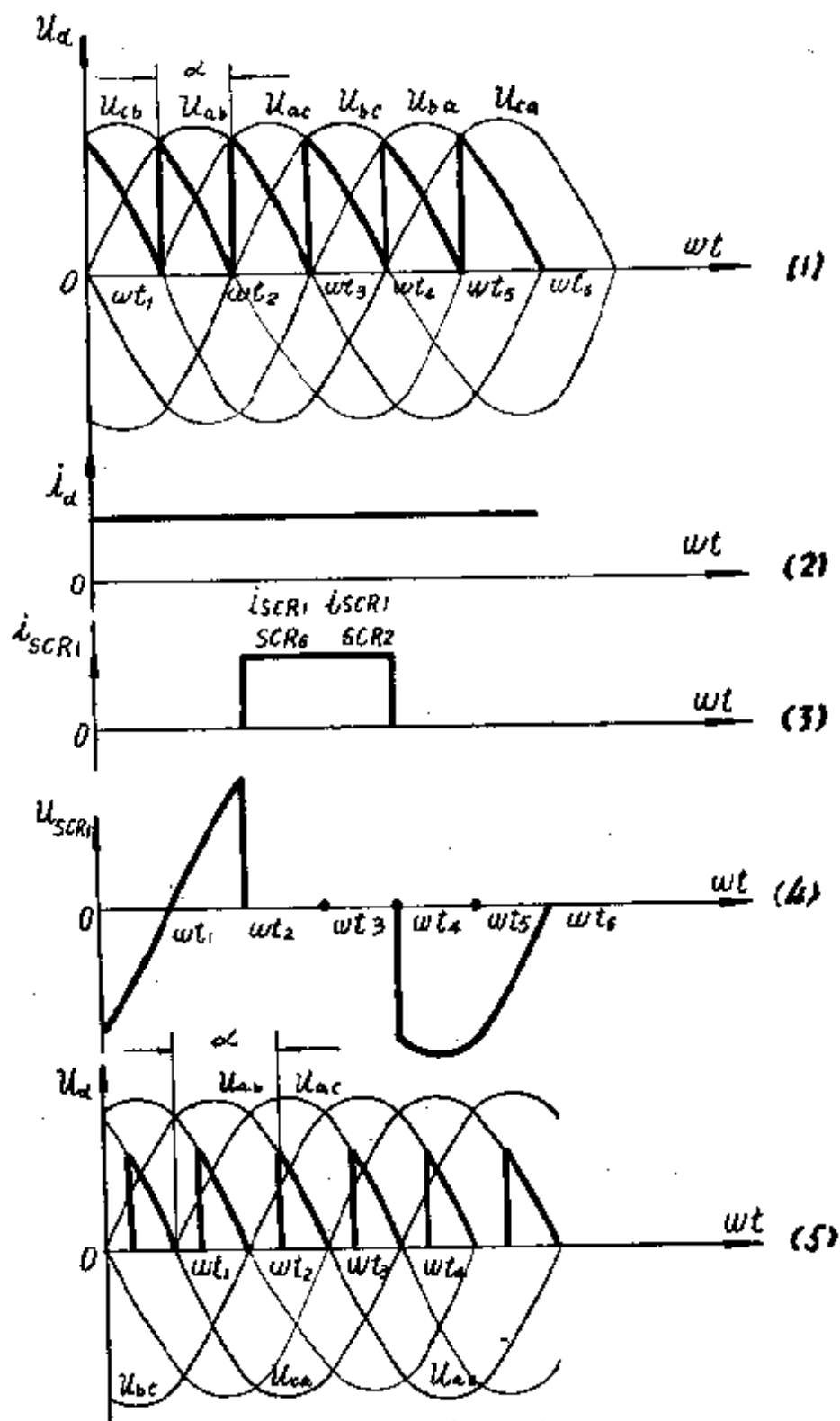


图3 $\alpha = 60^\circ$ 时整流状态

- (1) $U_d = f(\omega t)$ (2) $i_d = f(\omega t)$ (3) $i_{SCR1} = f(\omega t)$ (4) $U_{SCR1} = f(\omega t)$
 (5) $U_d = f(\omega t)$

发可控硅及其导通顺序的规律。即在 u_{ab} 最大时, a 点电位最高, 故触发 SCR_1 。 u_{bc} 、 u_{ca} 最大时, 触发 SCR_3 和 SCR_5 , 而在 $-u_{ab}$ 最大时, a 点电位最低, 故触发 SCR_4 , $-u_{bc}$ 、 $-u_{ca}$ 最大时, 触发 SCR_6 和 SCR_2 。图 3 中 (1) 自 ωt_1 以后是 u_{ab} 变得最大, 故在 ωt_1 以后 (设 ωt_1 处 $\alpha = 0$) 就应触发 SCR_1 , 同理, 在 ωt_2 以后 $-u_{ca}$ 变得最大 (即 u_{ac}), 故此后应触发 SCR_2 。导通规律如下:

$0 \sim \omega t_1$	u_{ca} 作用	SCR_5	SCR_4	导通
$\omega t_1 \sim \omega t_2$	u_{cb} 作用	SCR_5	SCR_6	导通
$\omega t_2 \sim \omega t_3$	u_{ab} 作用	SCR_1	SCR_6	导通
$\omega t_3 \sim \omega t_4$	u_{ac} 作用	SCR_1	SCR_2	导通
$\omega t_4 \sim \omega t_5$	u_{bc} 作用	SCR_3	SCR_2	导通
$\omega t_5 \sim \omega t_6$	u_{ba} 作用	SCR_3	SCR_4	导通

可见, 对三相桥式电路, 每隔 $\pi/3$ 依次触发各 SCR, 每个 SCR 导电角为 $2\pi/3$ 。触发 SCR 的顺序为 $SCR_1 \rightarrow SCR_2 \rightarrow SCR_3 \rightarrow SCR_4 \rightarrow SCR_5 \rightarrow SCR_6$ 。

当负载为纯电阻时, α 等于多大, 电压波形开始不连续, α 等于多大, $U_d = 0$ 。

在 $\alpha = 60^\circ$ 时, 从图 3 (1) 可看出, 恰好在 u_{ab} 变到 0 时, 触发 SCR_2 , 使 SCR_5 刚一关断 SCR_2 就导通, 电流不致中断, 电压连续。如果 $\alpha > 60^\circ$ 时 ($\alpha = 80^\circ$) 见图 3 (5)。则当 $u_{ab} = 0$ 时 (ωt_2), SCR_2 还未得到触发, SCR_2 不能导通, 但此时 SCR_1 和 SCR_6 所受到的电压 u_{ab} 为 0, 故 SCR_1 和

SCR₆关断，电流断开，电压不连续，如图3（5）所示。到 ωt_3 触发SCR时，只触发SCR₂就不行，因为此时SCR₁已关断，所以这时就要同时触发SCR₁和SCR₂。可见，在三相全控桥电路中要求有双脉冲或大于 60° 的宽脉冲。

在 α 增加时 U_d 就减小如图3（5）。当 $\alpha = 120^\circ$ 时 $U_d = 0$ 。因为在 $\alpha = 120^\circ$ 时 $u_{a,b}$ 已变到0，这时虽触发可控硅也不能导通。

电流波形在纯电阻负载情况下，与整流电压 U_d 相似。而在感性极大的负载下，则是不变的，如图3（2）和图3（3）。

可控硅承受的电压如下所述：

以SCR₁为例，如图3（4）在 $0-\omega t_2$ 期间，SCR₅是导通的，故SCR₁受的电压为 $u_{a,b}$ 。在 $0-\omega t_1$ 期间，受反向电压，在 $\omega t_1-\omega t_2$ 间受正向电压。在 $\omega t_2-\omega t_4$ 期间，SCR₁导通，只受很小的电压。在 $\omega t_4-\omega t_6$ 间，SCR₃导通，故SCR₁所受的电压为 $u_{b,c}$ ，全是反向电压。SCR₁承受电压情况如图3（4）所示，可以看出，所受的反向最大电压即为线电压的最大值。

以上所指均为纯电阻负载，当负载为大电感时，即图2中L甚大，此时电压与电流波形不会产生断续。如在某一时刻SCR₁和SCR₆导通，这时的整流电压为 $u_{a,b}$ 。在 $u_{a,b}$ 为正时，SCR₁和SCR₆受正向电压，故可导通，电流自a经SCR₁、L、R、SCR₆到b，这时在L中有电流 i_d ，其方向如箭头所示（图2）。今如 $u_{a,b}$ 减小到0，并向负变化时， i_d 将减少，于是在L中感应电势 e_L 与 i_d 同方向，这电势大于 $u_{a,b}$ 的绝对值，故SCR₁和SCR₆仍受正向电压而继续导通，

其电压波形如图 3 (5) 所示。

2. 整流电压 U_d 与 α 的关系

(1) 纯电阻负载或有续流二极管时：从图 3 (1)、(5) 可见，当 α 角大于 60° 时，电流就产生断续，因此，求平均电压分两种情况：

① $0 \leq \alpha \leq 60^\circ$ 时，用图 4 求得。

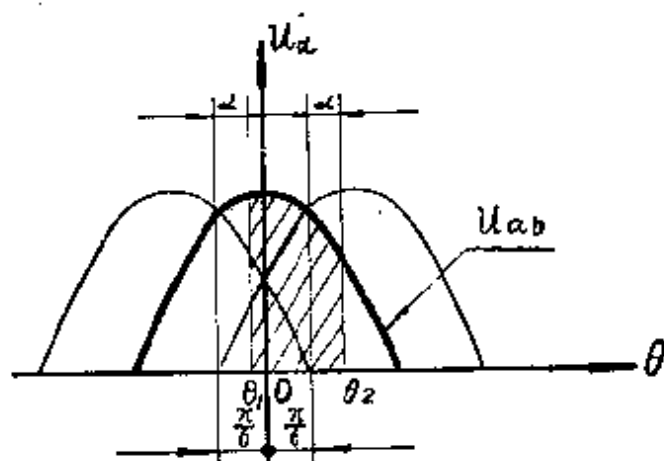


图 4 整流电压与 α 的关系

即求 $\theta_1 - \theta_2$ 之间电压的平均值：

$$\begin{aligned}
 U_d &= \frac{3}{\pi} \int_{-\frac{\pi}{6} + \alpha}^{\frac{\pi}{6} + \alpha} \sqrt{2} U_{z1} \cos \theta \cdot d\theta \\
 &= \frac{3\sqrt{2}}{\pi} U_{z1} (\sin \theta) \Big|_{-\frac{\pi}{6} + \alpha}^{\frac{\pi}{6} + \alpha} \\
 &= \frac{3\sqrt{2}}{\pi} U_{z1} \cdot \cos \alpha \\
 &= \frac{3\sqrt{2}}{\pi} \cdot \sqrt{3} \cdot U_2 \cdot \cos \alpha
 \end{aligned}$$

$$U_d = 1.35 U_{21} \cdot \cos \alpha$$

$$U_d = 2.34 U_2 \cdot \cos \alpha$$

式中: U_2 —— 变压器副绕组相电压

U_{21} —— 变压器副绕组线电压

② $\frac{\pi}{3} < \alpha < \frac{2}{3}\pi$, 整流电压如图 3 (1)、(5) 所示。为了方便, 用 $U_d = \sqrt{2} U_{21} \sin \theta$ 表示整流电压的瞬时值, 于是,

$$\begin{aligned} U_d &= \frac{3}{\pi} \int_{\frac{\pi}{3} + \alpha}^{\pi} \cdot \sqrt{2} U_{21} \cdot \sin \theta \cdot d\theta \\ &= \frac{3}{\pi} \sqrt{2} \cdot U_{21} (-\cos \theta) \Big|_{\frac{\pi}{3} + \alpha}^{\pi} \\ &= \frac{3}{\pi} \sqrt{2} U_{21} \left[1 + \cos \left(\frac{\pi}{3} + \alpha \right) \right] \\ &= \frac{3}{\pi} \sqrt{2} \sqrt{3} \cdot U_2 \left[1 + \cos \left(\frac{\pi}{3} + \alpha \right) \right] \end{aligned}$$

$$\alpha = \frac{2}{3}\pi \text{ 时}$$

$$U_d = 0$$

(2) 电感甚大的负载: 图 5 绘出 $\alpha = 30^\circ$ 和 $\alpha = 90^\circ$ 时的电压波形。

在图 5 中 $\theta_1 - \theta_2$ 期间, SCR_1 和 SCR_6 导通, 此时负载上所受的电压就是 u_{d1} , 图中表现为 $\theta_1 - \theta_2$ 上面实线部分的平均值。

当 $\alpha = 30^\circ$ 时, U_d 平均值大; $\alpha = 90^\circ$ 时, U_d 平均值为 0。

U_d 与 α 之间的关系可用图 4 求得;

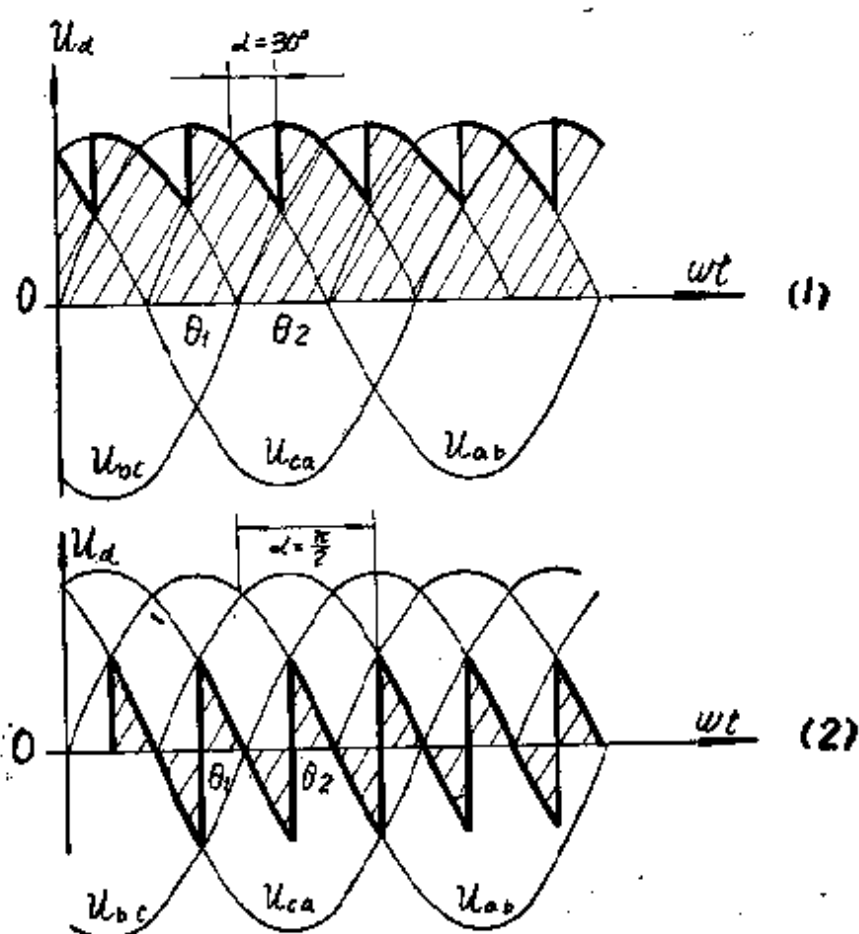


图5 $\alpha = 30^\circ$ 和 $\alpha = 90^\circ$ 时电压波形

(1) $\alpha = 30^\circ$ $U_d = f(\omega t)$ (2) $\alpha = 90^\circ$ $U_d = f(\omega t)$

$$\begin{aligned}
 U_d &= \frac{3}{\pi} \int_{-\frac{\pi}{6} + \alpha}^{\frac{\pi}{6} + \alpha} \sqrt{2} U_{21} \cos \theta \cdot d\theta \\
 &= \frac{3}{\pi} \sqrt{2} U_{21} (\sin \theta) \Big|_{\alpha - \frac{\pi}{6}}^{\alpha + \frac{\pi}{6}} \\
 &= \frac{3}{\pi} \sqrt{2} \cdot U_{21} \cdot \cos \alpha = U_{d0} \cos \alpha
 \end{aligned}$$

其中, U_{d0} 为 $\alpha = 0$ 时的电压

$$U_{d0} = \frac{3\sqrt{2}}{\pi} U_{21} = \frac{3\sqrt{2}}{\pi} \cdot \sqrt{3} \cdot U_2$$

$$U_d = 1.35 U_{21} \cos \alpha$$

$$U_d = 2.34 U_2 \cos \alpha$$

可见，这个结果与纯电阻负载中当 $0^\circ \leq \alpha \leq 60^\circ$ 时是相同的。

α 越大， U_d 越大； $\alpha = 90^\circ$ 时 $U_d = 0$ 。当 $\alpha = 0$ 时脉动系数可用富氏级数求出，脉动系数 $\gamma = 0.057$ ，其值甚小。

(3) 有源逆变、颠覆、逆变角：逆变和整流是相对应的两种工作状态，所谓整流，是把交流电能变为直流电能送到直流负载。在本系统就是送到直流电动机。而逆变则是把直流电能变成交流电能，把交流电送到交流电源就称有源逆变。本系统主电路在制动状态时就进入有源逆变状态，简称逆变。

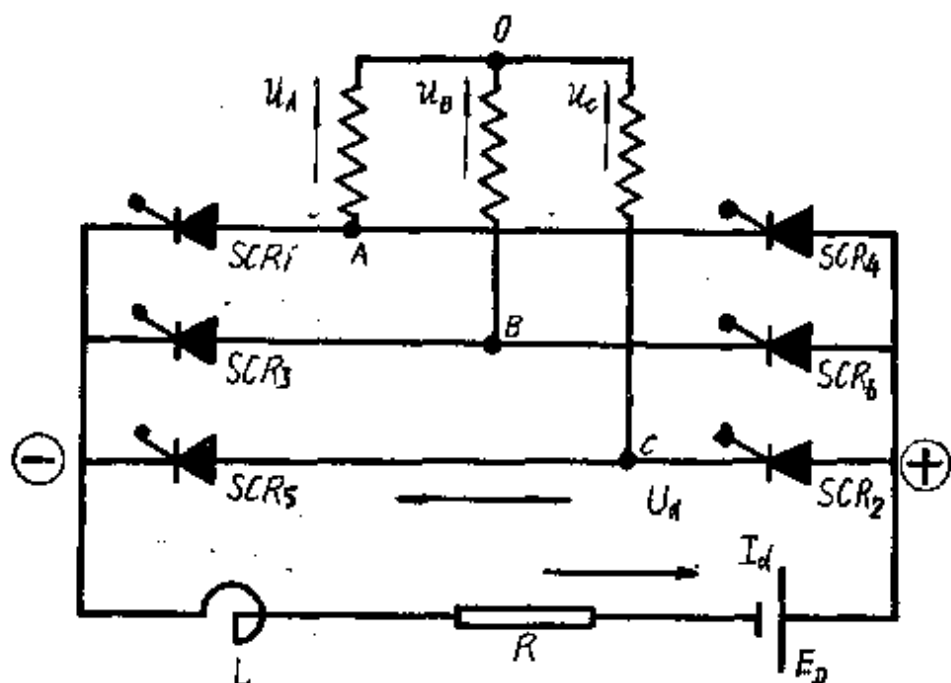


图6 逆变状态

图中 E_D 表示电动机反电势