



# 毛主席语录

千万不要忘记阶级斗争。

工人阶级必须领导一切。

坚持政治挂帅，加强党的领导，大搞群众运动，实行两参一改三结合，大搞技术革命。

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。

我们的方针要放在什么基点上？放在自己力量的基点上，叫做自力更生。

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。

抓革命，促生产，促工作，促战备。

# 目 录

1. 煤矿卷扬机硅可控整流器低频变频装置 ..... 1
2. 硅可控整流元件串-并联试验 .....53
3. 硅可控整流元件正弦波移相触发线路 .....75
4. 硅可控整流元件高频方波触发线路 .....86
5. 硅可控交流电动机串级调速装置 .....94
6. 吊车用硅可控整流器的传动系统 .....104
7. 硅可控整流器触发装置中的脉冲变压器 .....107
8. 译文——大功率硅可控整流器设计和应用方面的进展 .....125

# 毛主席语录

工人阶级必须领导一切。

## 煤矿卷扬机硅可控整流器低频变频装置

卷扬机是煤矿生产的咽喉。提高卷扬机的提升能力,保证其安全运行,实现卷扬机的自动化,对于减轻工人同志们的劳动强度,提高劳动生产率有很大意义。

目前,我国煤矿卷扬机的电气控制大都采用交流拖动系统。在提升过程中卷扬机要根据规定的速度图运行。在交流拖动系统中,要实现提升自动化的关键,是需要一个理想的减速过程及具有稳定的低速爬行的阶段,以适应箕斗进入曲轨进行卸煤。为此,我们根据变频调速原理,采用了硅可控整流器低频变频装置,供给电动机一固定的低频电源,便获得了稳定低速爬行,经过现场初步实验,基本成功,本装置还可连续低速运行,供检修罐道,检查及更换钢丝绳用。

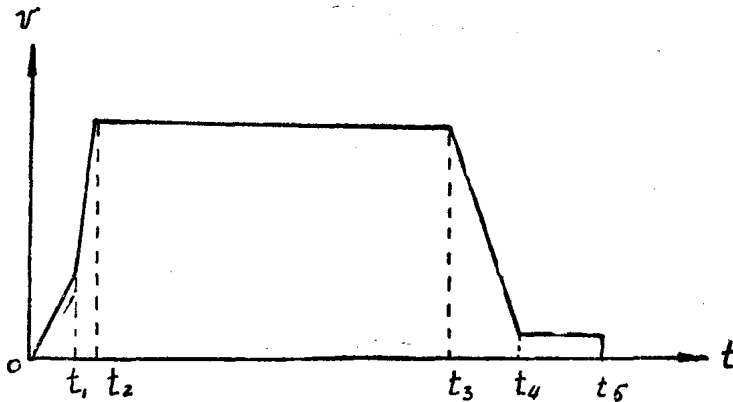


图1 卷扬机运行速度图

在无产阶级文化大革命中,广大工人同志们为了响应毛主席“抓革命,促生产。”的伟大号召,积极行动起来,为实现卷扬机自动化而奋斗。为此在红旗矿的工人老师傅领导下由渭北煤矿红旗矿、西安煤矿设计院和整流器研究所组成的三结合试验小组,进行了低频变频器试验。试验中克服了重重困难,终于胜利地完成了任务。并在现场经过实际提升的考验,基本满足了生产的需要。

### 主 回 路

#### 一、变频器的组成

本变频装置为具有直流环节的变频器。它由整流器和逆变器两部份组成。50赫380V电压经变压器升压后,由整流器整流为直流电压,再由逆变器将直流电压变换为所需频率的

交流电压后,送到卷扬机电机。

### (一) 整流器:

由于爬行阶段要求一定的速度,因此在保证电机恒转矩的情况下,变频器的输出为一固定频率的固定电压。这样,整流器输出电压不需要进行调节。为了简化线路,整流器由三相不控桥组成。

### (二) 逆变器:

逆变器的工作,就是通过它内部的管子,在某一频率下,按照一定的顺序进行通断,将直流电压变为交流电压。

直流电源按照硅可控元件的导通方向接入逆变器,因此在有控制信号加到 SCR 上时,它就会导通。但是 SCR 的关断,不能用控制信号来控制,必须从主回路来解决。要使 SCR 关断有以下几种方法:

1. 强制使 SCR 的电流降低到小于它的维持电流,在极端的情况下,就是将 SCR 的阳极回路开断;

2. 在 SCR 上加反向电压,使它强制关断。

逆变器中 SCR 的关断就是采用第二种方法来实现的。

为了保证逆变器可靠的工作,必须保证由导通进入关断的管子能够可靠的关断。这就要求线路能够保证在各种工作电流与电压下,能够给由导通进入关断的管子提供足够的加反压的时间。在各种不同情况下,管子的关断时间不相同。影响管子关断时间的因素有:

① 管子的结温  $T_j$ ;

② 管子在关断前的最大正向电流  $I_F$  及加反压后的电流下降率  $\frac{di_F}{dt}$ ;

③ 所加反向电压  $V_R$ ;

④ 管子关断后,重加正向电压  $V_F$ 。

为了保证管子可靠关断,使逆变器正常工作,应:

① 为了保证管子不超过额定结温升,选用管子时,电流要留有余量;

② 在大电流 ( $I_F$ ) 时,管子关断困难,因此要选用合适的换向电容;

③ 为了保证管子有足够长的关断时间,线路应提供足够的反向电压;

④ 重加正向电压为直流电压  $E$ 。

## 二、三相桥式逆变器方案

### (一) 三相桥式逆变器方案:

一般有两种方案:

1. 串联二极管式三相逆变器;

2. 串联电感式三相逆变器。

以上两种线路都是改进式逆变器,我们都进行过实验,最后选用了串联电感式三相逆变器。原因是串联二极管逆变器中,每个桥臂上的管子都要承受 1.5 倍直流电源电压 ( $1.5E$ ) 的反电压。而串联电感式逆变器中每臂上的管子只承受为  $E$  的反电压。本变频器的输出电压大于 700 伏,则直流电压约为 1100 伏。如选用串联二极管式逆变器,每个桥臂要串联五只管子(每个管子的转折电压约为 700 伏)。而用串联电感式逆变器,每个桥臂只要串联

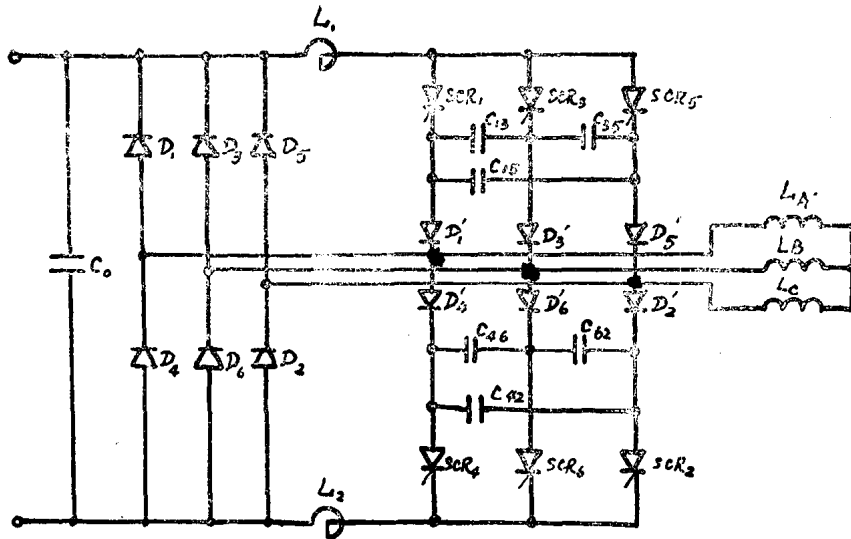


图2 串联二极管式三相逆变器

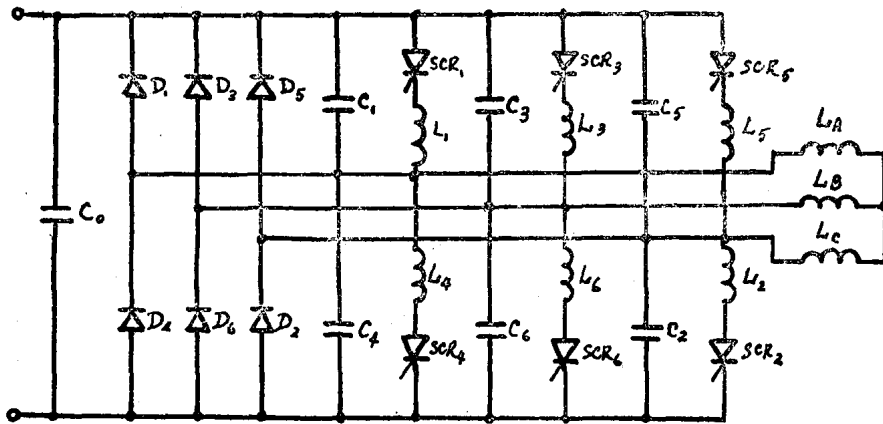


图3 串联电感式三相逆变器

三只管子。另外串联电感式逆变器中每个管子导通  $180^\circ$ ，而串联二极管式逆变器中每个管子只导通  $120^\circ$ ，因此，同样元件在串联电感式逆变器中，可以通过的平均电流大。总的效果是，同样元件在串联电感式逆变器中，允许的功率大。

### (二) 升压变压器位置的确定：

因为我们的卷扬机是用高压电机拖动的。在最大速度时是 50 赫 6000 V。在低频时输出电压仍比较高(大于 700 伏)。为了减少每个桥臂上串联管子的数目，起初我们的逆变器输出低电压，再用低频变压器升压后，给电机供电。根据一般变压器的设计方法，我们改装了矿用 180 KVA 变压器。经过实验后发现，在低频下的变压器的压降非常大。

经过实际测量后得知，此高压变压器在 50 赫时在额定电流下，短路压降为 5.4%。而低压低频(5 赫)时，短路压降已为 30~40%。这是因为改装变压器的铁芯过小，而且匝数过多，在低频时，变压器的漏抗已远远小于它的铜阻。

这样，我们取消了低频变压器。而用 50 赫变压器将 380 V 电压升高，经整流器整流后，给逆变器供直流电压。这样逆变器便工作在较高电压下(1100 V)。

### 三、串联电感式三相逆变器

#### (一) 工作原理:

串联电感式三相逆变器中, 每一个管子导通  $180^\circ$  后, 关断  $180^\circ$ 。每一相的两个桥臂上的管子互相进行换向。在每一瞬间, 都有三个桥臂导通: 或上面两个桥臂与下面一个桥臂导通; 或上面一个桥臂与下面两个桥臂导通。现在讨论一相中两个桥臂是如何换向的。

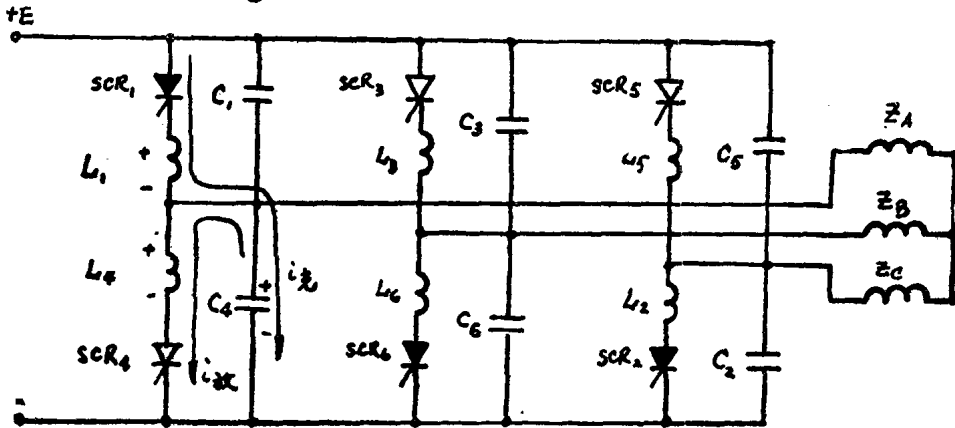


图4 串联电感式三相逆变器工作原理

以第一与第四桥臂为例, 设开始时  $SCR_1$  导通, 此时, 直流电源  $E$  通过  $SCR_1$  向  $C_4$  充电, 由于导通的  $SCR_1$  的正向压降与  $E$  相比是很小的, 所以最后可近似认为  $C_4$  充电到  $E$ 。此时  $C_4$  上极的电位为正, 下极为负。经过  $180^\circ$  后, 控制信号加到  $SCR_4$  的控制极上, 使  $SCR_4$  导通。于是  $C_4$  上的电荷很快通过  $L_4$  与  $SCR_4$  放电。由于  $SCR_4$  在导通时的正向压降很小, 所以  $C_4$  上原有电压全部转移到  $L_4$  上。设  $L_1$  与  $L_4$  的耦合系数为 1, 这样, 在  $L_1$  上以同样的方向感应出一电压  $E$ 。则  $SCR_1$  的阴极对直流电源负端的电位为  $+2E$ , 而它的阳极为  $+E$ 。于是  $SCR_1$  便加上反电压  $-E$ 。如  $SCR_1$  加反电压的时间大于它的关断时间, 即可使  $SCR_1$  强制关断。与  $C_4$  放电同时,  $C_1$  又通过导通的  $SCR_4$  充电至  $E$ 。在下一周期, 由于  $SCR_1$  控制极加了控制信号, 使  $SCR_1$  导通。  $C_1$  又通过  $SCR_1$  放电, 使  $SCR_4$  加反电压  $-E$ , 于是  $SCR_4$  便关断。这样便保证了  $SCR_1$  与  $SCR_4$  互相换向。其它各相的换向原理与此相同, 不过它们的换向时间互相落后  $120^\circ$ 。于是在负载上便形成了三相交流电压。

#### (二) 负载情况:

管子的导通情况如图 5。

根据管子导通情况的变化可以得出  $A$ 、 $B$ 、 $C$  三相的输出电压。

##### 1. 纯阻负载:

##### ① 星形接法

将  $U_{AO}$ ,  $U_{BO}$ ,  $U_{CO}$  见图 6 相减, 可得出  $U_{AB}$ ,  $U_{BC}$ ,  $U_{CA}$  见图 7。

在任何瞬间, 总是两相负载并联, 再与第三相串联后接于直流电源。等效电路图见图 8。

因此, 在如图 8 的情况时,  $C$  相电压为  $\frac{2}{3}E$ ,  $A$ 、 $B$  相电压均为  $\frac{E}{3}$ 。

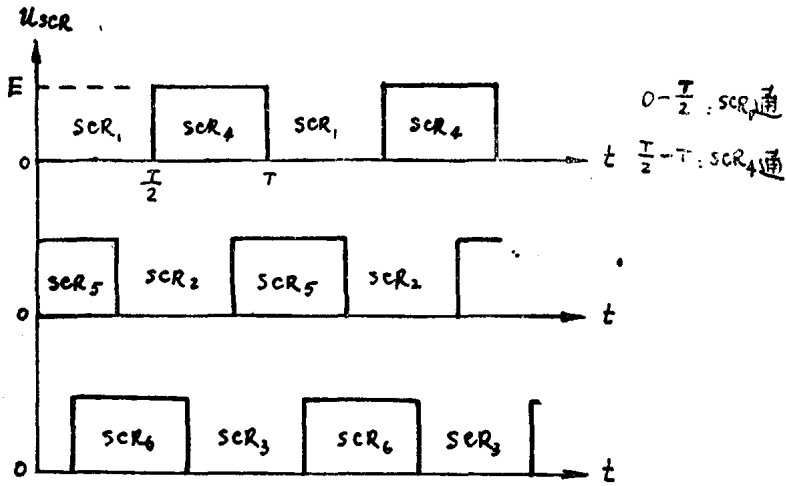


图5 SCR导通情况

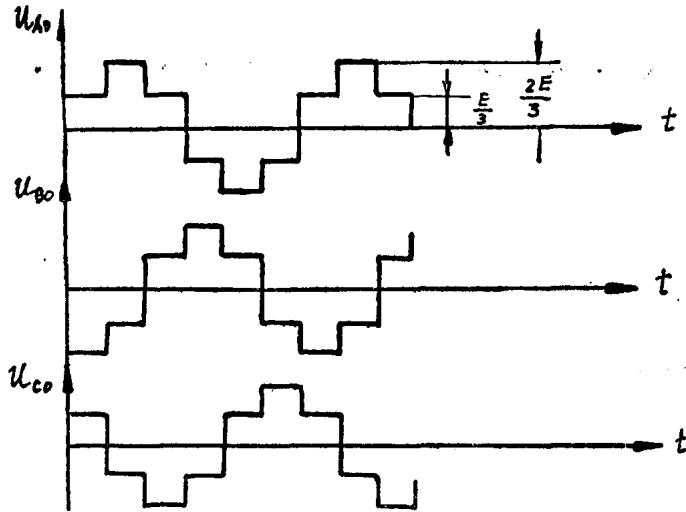


图6 电阻负载星形接法时的电压

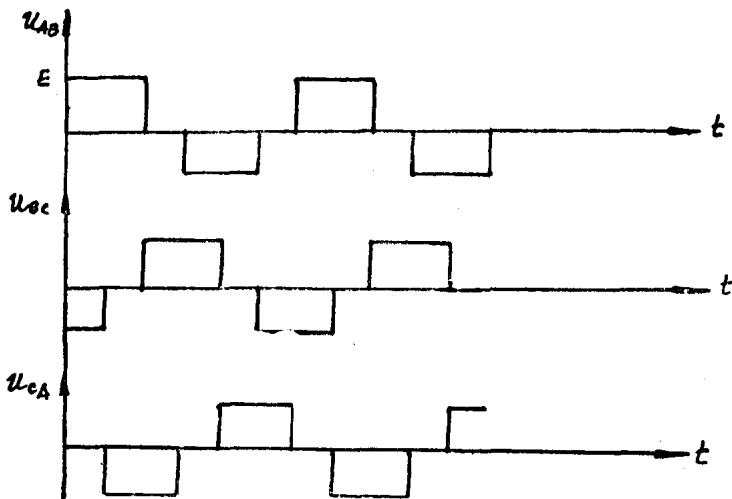


图7 电阻负载星形接法时的线电压

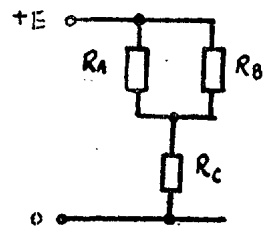


图8 星形接法时等效电路



## ② 三角形接法

在任何瞬间总有一相负载被两个导通的管子短接, 则此相负载电压为 0。而另两相负载互相并联, 接于直流电源, 则这两相电压均为  $E$ 。等效电路图见图 9。

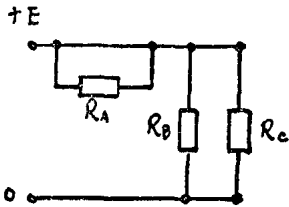


图 9 三角形接法时等效电路

电阻负载时电流与电压的波形及相位均一致。

### 2. 感性负载:

此时电流会滞后于电压。

参看图 3, 设开始时是  $SCR_6, SCR_1, SCR_2$  导通。此时负载电流的方向如图 3 所示。当有控制信号加到  $SCR_3$  上时,  $SCR_3$  要导通,  $SCR_6$  要关断。但因还有滞后电流, 因此  $SCR_3$  导通一下后即关断。为了保持原来的电流方向, 反馈二极管  $D_3$  便导通。当滞后角小于  $60^\circ$  时, 只有一个反馈二极管动作。此时储存在感性负载中的能量不会反馈到电源去, 而是消耗在环流中。但当滞后角大于  $60^\circ$  时, 在控制信号加到  $SCR_4$  上时,  $SCR_4$  导通一下即关断, 此时  $D_4$  亦动作。这时储存在感性负载中的能量, 通过两个反馈二极管向直流电源的滤波电容充电, 而使直流电压升高(参看附录 1)。总之, 一相的反向滞后电流成为其它相的正向电流, 一相的无功, 向其它相提供有功。

### (三) 电流关系:

就纯阻负载按星形接法时来分析直流电源的电流, 管子的电流及负载相电流间的关系。

#### 1. 直流电源电流(图 10)。

#### 2. 管子电流:

每个管子导通  $180^\circ$ , 其中  $60^\circ$  范围内管子电流为直流电源电流  $I_d$ , 而其余  $120^\circ$  范围内直流电源电流通过两个并联的管子, 因此每个管子电流为  $\frac{I_d}{2}$ 。

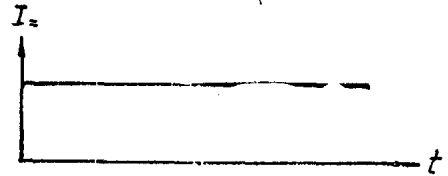


图 10 直流电源电流

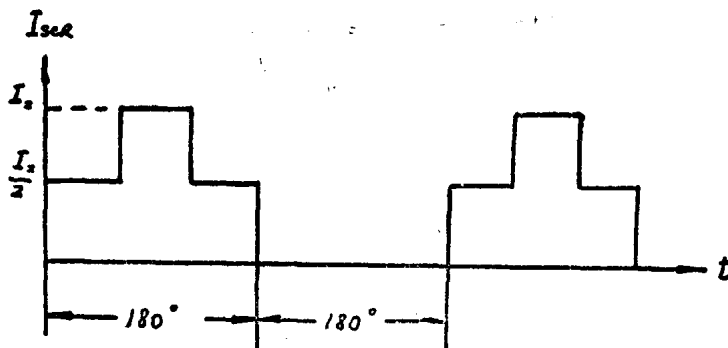


图 11 管子电流

管子的平均电流:

$$I_{TSCR} = \frac{2 \cdot \frac{I_d}{2} \cdot \frac{T}{6} + I_d \cdot \frac{T}{6}}{T} = \frac{I_d}{3}$$

根据管子的平均电流来选择线路中所用的管子。

管子的电流幅值:

$$I_{\text{幅SCR}} = I_m$$

管子的有效电流:

$$I_{\text{有效SCR}} = \sqrt{\frac{2 \cdot \left(\frac{I_m}{2}\right)^2 \cdot \frac{T}{6} + I_m^2 \cdot \frac{T}{6}}{T}} = \frac{I_m}{2}$$

则:

$$I_{\text{有效SCR}} = 1.5 I_{\text{有效SCR}}$$

根据管子的有效电流选快速熔断器。

3. 输出电流:

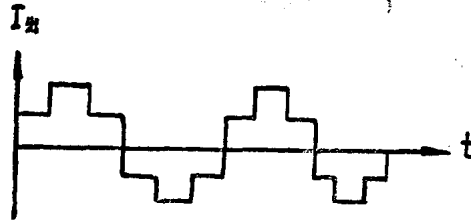


图 12 输出相电流

$$I_{\text{有效}} = \sqrt{\frac{4 \left(\frac{I_m}{2}\right)^2 \cdot \frac{T}{6} + 2 \cdot I_m^2 \cdot \frac{T}{6}}{T}} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = \frac{3 I_{\text{有效SCR}}}{\sqrt{2}} = 2.14 I_{\text{有效SCR}}$$

$$I_{\text{幅}} = I_m$$

(四) 换向电抗器与换向电容器参数选择:

一般资料中所给的计算公式为:

$$C = \frac{t_{\text{反}} \cdot I_{\text{关}}}{0.425 \cdot E}$$

$$L = \frac{t_{\text{反}} \cdot E}{0.425 \cdot I_{\text{关}}}$$

式中:  $t_{\text{反}}$ ——管子 在换向时所加反向电压的时间。

$I_{\text{关}}$ ——管子 在关断前通过的最大电流。

$E$ ——直流电源电压。

1. 换向电容器:

上面的计算公式只适用于小功率逆变器。而在大功率时, 用上面的公式计算出的电容 量都比实际需要的小。原因是上面的公式是根据图 13 的 线路推出来的( $K=1$ )。而在大功率时, 换向电抗  $L$  很 小, 而连线及电容器均有一定杂散电感, 这些杂散电感值 与换相电感值也可以相比, 且与  $L$  串联, 使等效的  $L$  更 小, 则要求换向电容增大。另外电流大, 温升增高, 使管 子的关断时间变长, 也要求换向电容  $C$  更大。

2. 换向电抗器:

一般资料中一相中两个电抗器的耦合系数尽量作得 接近于 1, 为此一般换向电抗器都装有铁芯, 并且线圈采

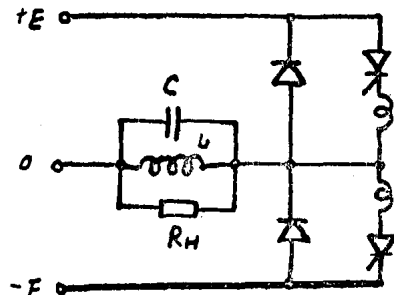


图 13 改进型并联逆变器

用交叉绕法。

根据我们实验的情况看来,电抗器的电感量当有一定数值后,对换向的影响并不大。耦合系数应做得大些,但是如果做得接近于1时,虽然对管子的关断有利,但对由关断转到导通的管子不利。因为管子刚刚导通瞬间,负载电流要立刻全部通过它。这样使得电流上升率很大,容易将管子损坏。经过实验发现,加铁芯后,耦合系数增加得并不多。为了减少电抗器的体积与重量,并便于制造,我们选用了空芯电抗器。在一个骨架上绕好线圈后,做出中心抽头,耦合系数为0.75,此时已可确保可靠换向。

3. 实验中观察到的波形,在空载时,提供反压的时间为 $200\mu\text{s}$ ,而在额定负载时,反压时间降为 $70\mu\text{s}$ 。这说明在大的输出电流时,负载已对换向电容起旁路作用。

(五) 直流电源内阻对逆变器工作的影响:

在理论上分析逆变器的工作时,一般都不考虑直流电源的影响,即认为直流电源是具有两个方向的导电性的,同时认为直流电源没有内阻。

1. 由于内阻存在,直流电源会产生过电压,而我们所用的直流电源是整流器,它只有一个方向的导电性。在感性负载时,滞后电流与整流器的导电方向相反,则无通路,为了改变这种情况,在直流电源输出端并一电容。于是在感性负载时,当电流滞后角 $\varphi > 60^\circ$ 时,滞后电流通过反馈二极管向电容器充电。由于电容器的容量不是无限大,所以电容器上的电压会升高。所需电容量的大小与以下几个方面有关:

- (1) 与电容器上电压允许升高的百分比有关;
- (2) 与最大负载电流成正比;
- (3) 与电源电压成反比,从而与输出电压成反比;
- (4) 与逆变器工作频率成反比;
- (5) 与负载的功率因素成反比。

当然此电容器对于直流电源来讲还起着滤波作用。所以在选择电容量时,还要考虑直流电压的波纹系数(参看附录1)。

2. 由于内阻存在,在换向瞬间,直流电压会产生瞬时下跌(参看附录3)。

(六) 逆变器中SCR的非正常关断及其影响:

逆变器中SCR的关断是靠在它上面加反电压来实现的。但在工作中,由于某种因素会使管子的电流小于维持电流,而使它非正常关断。

流过管子的电流应为负载电流 $I_H$ (或负载峰值电流之半)与流过换向电容的电流 $I_C = C \frac{dE}{dt}$ 之代数和,( $E$ 为直流电源电压)。当流过管子的电流小于其维持电流,而其后

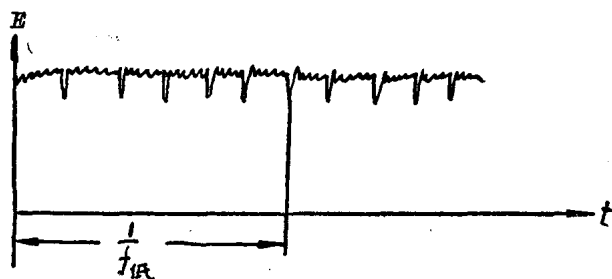


图14 直流电源电压

又无控制脉冲时,管子就会非正常关断。

直流电源为理想的直流源时, $\frac{dE}{dt} = 0$ 故 $I_C = 0$ 。所以,只要负载

电流大于维持电流时,管子就不会非正常关断。本装置中直流电源是整流器,滤波电容又不是无限大,所

以直流电压中有 50 赫的六次谐波——300 赫波纹，电源内阻不为零，使得元件在换向时，引起电源电压瞬时下跌。其波形如图 14。

300 赫波纹引起的  $I_{c1} = C \frac{dE_1}{dt}$  较小，而换向时电源电压瞬时下跌引起的  $I_{c2} = C \frac{dE_2}{dt}$  较

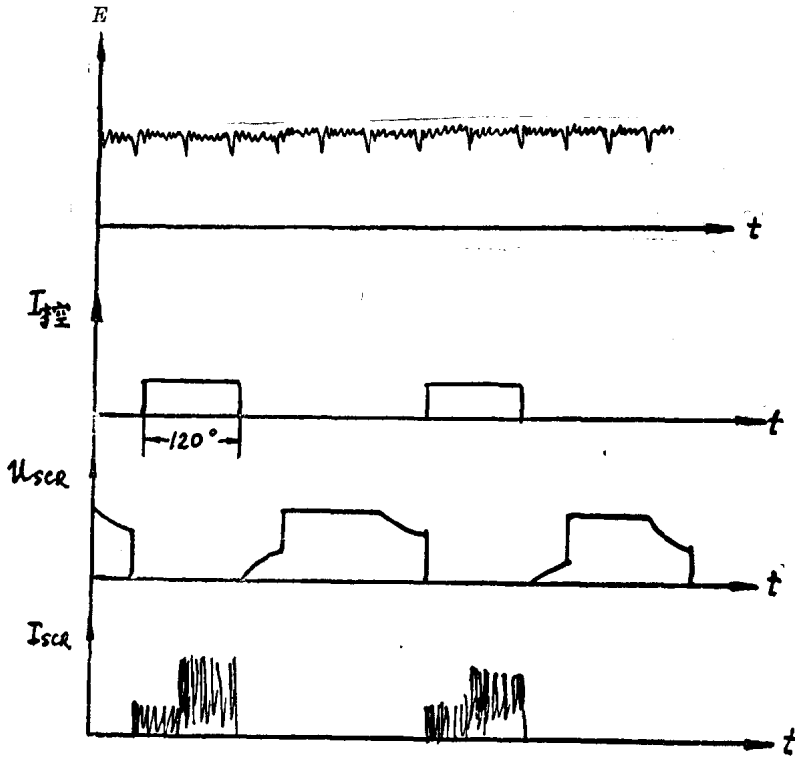


图 15 直流电源内 300 次谐波引起 SCR 的非正常关断

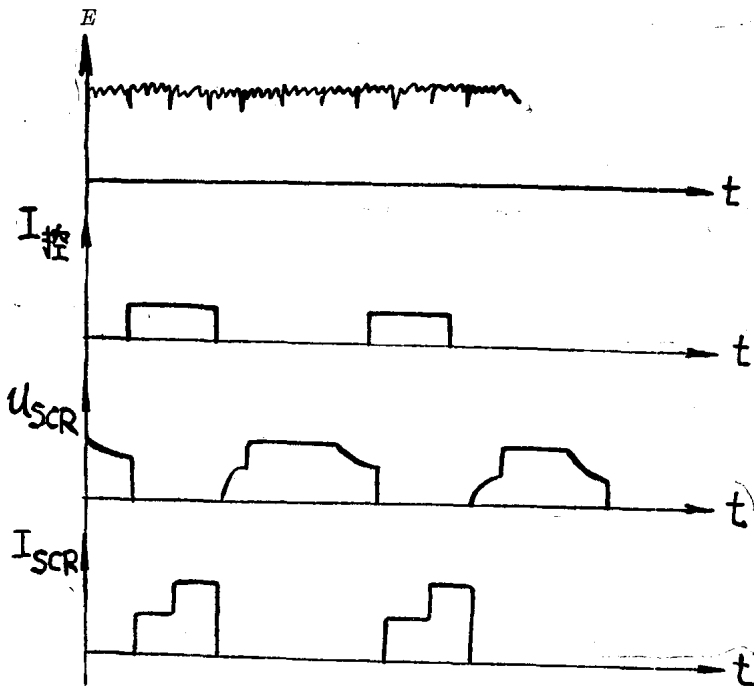


图 16 换向引起 SCR 的非正常关断

大。在小负载时,由于 300 赫谐波引起的 SCR 非正常关断会发生在控制信号结束后的一段时间里(见图 15)。而电源电压瞬间下跌引起 SCR 非正常关断,则一定发生在逆变器中其它元件换向时(此时非正常关断的 SCR 上的控制信号已结束),见图 16。

在 SCR 非正常关断后,在电阻性负载时,SCR 的电压按指数规律变化,时间常数由换向电容  $C$  和负载电阻决定,变化规律如图 17。

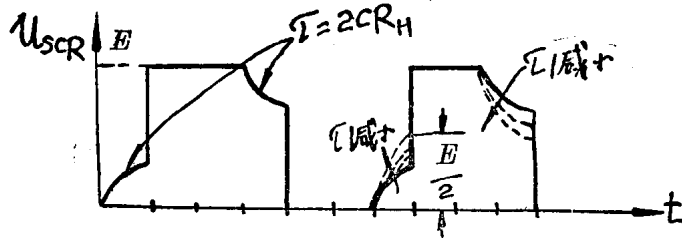


图 17 电阻负载时 SCR 非正常关断后 SCR 电压的变化规律

非正常关断对于电阻性负载,只是影响输出波形,并使输出电压降低,影响不大,输出波形如图 18。

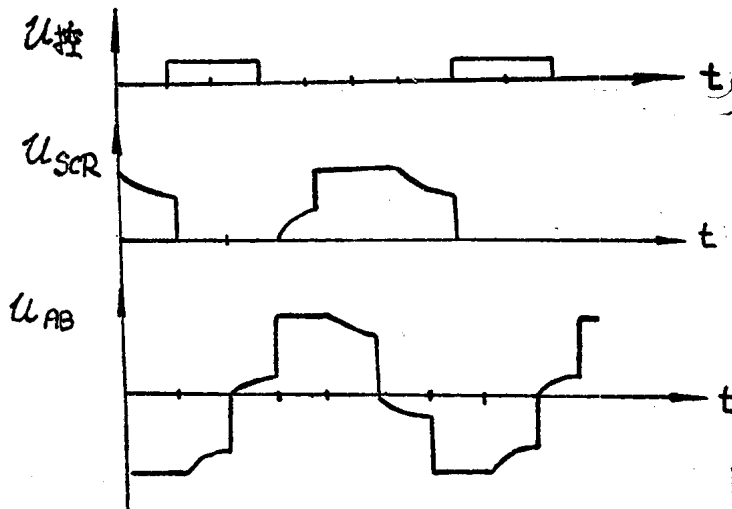


图 18 电阻负载时 SCR 非正常关断引起的输出电压的变化

在纯感负载下,不发生非正常关断时,以触发  $SCR_1$  时为零点。 $0^\circ \sim 30^\circ$ :  $SCR_5$ 、 $D_6$ 、 $D_1$  通;  $30^\circ \sim 60^\circ$ :  $SCR_5$ 、 $SCR_6$ 、 $D_1$  通(参看图 3)。在  $0^\circ \sim 30^\circ$  中,  $A$ 、 $B$  二相负载中将储存于其中的能量反馈给直流电源,  $C$  相从中吸取能量,  $A$ 、 $B$  二相反馈的能量大于  $C$  相从电源吸取的能量。当滤波电容的容量不大时,直流将产生过电压。在发生非正常关断时,触发  $SCR_1$  后,  $SCR_5$  可能非正常关断。这样  $D_5$ 、 $D_6$ 、 $D_1$  通。  $A$ 、 $B$ 、 $C$  三相负载同时向电源反馈能量。显然此时直流侧的过电压要比无非正常关断时为大。如负载为线性电感,过电压还不十分严重,而且过电压的出现是有规律的。如负载为非线性电感,当它工作在接近饱和状态时,电源电压要影响电感量与电感中的电流。由于逆变器工作时,直流电压不是恒定的。这使 SCR 的非正常关断亦不稳定。在实验时观察到在某一频率下,过电压的出现是无规则的,其波形如图 19。

在设计过程中,应设法避免这种现象。否则可能引起 SCR 的正向转折或损坏。

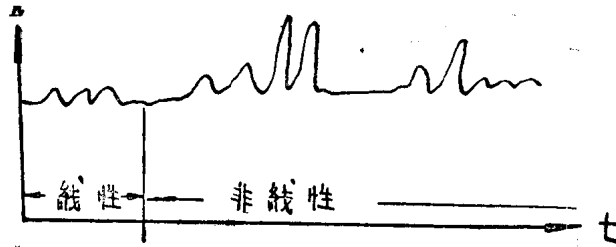


图 19 非线性电感工作于近饱和状态时的过电压

当电压更高时，非线性电感完全饱和。此时直流电源的过电压和一般线性电感完全一样。

#### (七) 逆变器过压, 过流及短路保护:

##### 1. 过压保护:

由于矿井电网的负荷变化很大, 因此电压波动亦很大。当负荷小时, 电压会增到很高, 这对逆变器中的管子威胁很大, 为了避免过电压, 在系统中装有过电压继电器进行过压保护。

##### 2. 过流保护:

用空气断路器, 将空气断路器的电流整定在某一值, 在过流时, 空气断路器自动跳闸。

##### 3. 短路保护:

由于直流电源一直以正向加到逆变器的管子上, 只要有一定的正信号加到控制极上, 管子就会导通。因此逆变器在外来信号干扰下, 很容易短路。因此短路保护是十分必要的。

我们采用快速熔断器对管子进行保护。一般快速熔断器的分断能力, 都是按照 50 赫正弦信号来计算的。而变频装置用于低频。因此只能通过实验来选择快速熔断器。通过反复实验, 我们认为对于 150 A SCR, 选用 200 A 熔断器比较保守, 而用 350 A 又较冒进。但在有空气断路器时, 适当整定它的电流, 亦可保护好 SCR。

#### (八) 逆变器对控制脉冲宽度的要求:

一般桥式电路, 因每隔  $60^\circ$  便有一臂管子由导通变为关断, 并有另一臂管子由关断进入导通。为了保证应继续导通的管子不因此而关断, 所以控制脉冲的宽度应大于  $60^\circ$ 。

但因逆变器工作在感性负载时, 电流最多会滞后  $90^\circ$ , 因此实际上控制脉冲宽度应大于  $90^\circ$ 。

## 四、逆变器计算

#### (一) 电压补偿系数:

卷扬机所用异步电机在启动和提升过程中, 要保持恒转矩。根据异步电机调速原理, 为了保持恒转矩, 所需加至定子的电压, 应与其频率成正比。

我们所用高压电机在 50 赫时, 电压为 6000 V。这种计算下来, 在输出电压 720 V 时, 电机可工作在以下频率  $f$ :

$$\frac{50 \text{ 赫}}{6000 \text{ V}} = \frac{f}{720 \text{ V}}$$

$$f = 6 \text{ 赫}$$

而实际提升时, 卷扬机只能在 2.9 赫时, 才能维持 50 赫时的转矩。

一般资料中给出, 在低频下应引入电压补偿系数。根据我们实验得出的电压补偿系数

应为:

$$K_v = \frac{6 \text{ 赫}}{2.9 \text{ 赫}} = 2.07。$$

这是因为在低频时,电机的感抗已比铜阻小,这样在低频时,所加电压已不能成比例下降。所以在低频时,电压补偿系数就应较大了。

(二) 本装置容量:

1. 额定负载时:

输出电流:  $I_{\text{出}} = 30 \text{ A}$

在纯阻负载时,直流电源电流:

$$I_{\text{出}} = \sqrt{2} \cdot I_{\text{出}} = \sqrt{2} \cdot 30 = 42.3 \text{ A}$$

管子的平均电流:

$$I_{\text{平均SCR}} = \frac{42.3}{3} = 14.1 \text{ A}$$

输出线电压:

$$U_{\text{出}} = 720 \text{ V}。$$

额定输出功率:

$$P_{\text{出}} = \sqrt{3} \cdot 720 \text{ V} \cdot 30 \text{ A} = 37.5 \text{ KVA}$$

2. 启动时:

输出电流:  $I_{\text{出}} = 80 \text{ A}$

此时直流电源电流:  $I_{\text{出}} = \sqrt{2} \cdot 80 \text{ A} = 113 \text{ A}$

管子平均电流:  $I_{\text{平均SCR}} = \frac{113}{3} = 37.7 \text{ A}$

启动输出功率:  $P_{\text{出}} = \sqrt{3} \cdot 720 \cdot 80 = 100 \text{ KVA}$

3. 我们实验所作到的最大电流(换向电容为  $600 \mu\text{f}$ ),由于实验条件的限制,我们作到如下功率:

(1) 我们作到的最大电流:

$$I_{\text{出}} = 378 \text{ A}$$

此时

$$U_{\text{出}} = 240 \text{ V}$$

$$P = \sqrt{3} \cdot 240 \text{ V} \cdot 378 \text{ A} = 150 \text{ KVA}$$

(2) 我们作到的最大电压:

$$U_{\text{出}} = 740 \text{ V}$$

此时

$$I_{\text{出}} = 140 \text{ A}$$

$$P = \sqrt{3} \cdot 740 \cdot 140 = 180 \text{ KVA}$$

4. 本装置可输出的最大功率:

$$U_{\text{出}} = 780 \text{ V}$$

我们所用 SCR 为  $150 \text{ A}$ ,此时的等效电流为:

$$I_{\text{出}} = \frac{3I_{\text{平均SCR}}}{\sqrt{2}} = \frac{3 \cdot 150}{1.41} = 320 \text{ A}$$

$$P_{\text{出}} = \sqrt{3} \cdot 780 \text{ V} \cdot 320 \text{ A} = 430 \text{ KVA}$$

### (三) 换向电容:

加反压时间:  $t_{\text{反}} = 100 \mu\text{s}$

电机启动时逆变器输出电流:  $I_{\text{出大}} = 80 \text{ A}$

直流电源电压:  $E = 1100 \text{ V}$

$$C = \frac{t_{\text{反}} \cdot I_{\text{出大}}}{0.425 E} = \frac{100 \cdot 10^{-6} \cdot 80}{0.425 \cdot 1100} = 17 \mu\text{f}$$

实际换向电容取  $30 \mu\text{f}$ 。

### (四) 换向电抗器:

根据实验取

$$L_1 = L_2 = 60 \mu\text{h}$$

$$L_1 + L_2 + 2M = 210 \mu\text{h}$$

$$\text{则 } M = \frac{L - (L_1 + L_2)}{2} = \frac{210 - 2 \cdot 60}{2} = 45 \mu\text{h}$$

则电抗器耦合系数

$$K = \frac{M}{L_1} = \frac{45}{60} = 0.75$$

### (五) 直流电源滤波电容:

在直流电压过电压为 20% 时, 滤波电容为  $800 \mu\text{f}$ 。

## 五、实验情况

### (一) 现场实际提升情况:

1. 逆变器工作频率  $f = 2.9$  赫。

2. 卷扬机提升速度:

根据提煤量的不同, 提升速度  $v = 2.6$  米/秒  $\sim$   $3.2$  米/秒。

3. 输出电压: 线电压  $U_{\text{出}} = 720 \text{ V}$ 。

4. 输出电流:

正常时:  $I_{\text{出}} = 30 \text{ A}$

电机启动时:  $I_{\text{出大}} = 80 \text{ A}$

### (二) 实验中出现的問題及克服办法:

1. 干扰是实验中最大的问题:

实验中经常是因干扰使得逆变器颠覆, 例如: 在变频器附近合接触器时, 会使逆变器颠覆, 起初, 我们在接触器线圈并电容器, 会消除干扰的影响。但是在现场接触器很多, 并电容很不方便。因干扰主要是从控制回路进入的, 为了消除外来干扰对控制回路的影响。在控制回路中加入了负脉冲, 因此在外来干扰信号不太大时, 不会使可控元件误动作。最后发现干扰主要是从控制回路虚焊处进入的, 后把控制回路重新焊好, 彻底消除了虚焊, 从而彻底消除了干扰的影响, 另外控制回路中晶体管不是工作在开关状态时, 其温升增高, 也会引起误动作。

2. 控制回路的耐压问题:

因逆变器工作在  $1100 \text{ V}$  直流电压下, 而控制回路要接于主回路, 这样控制回路的耐压是很重要的。在实验中当直流电压接近  $1000 \text{ V}$  时, 控制回路工作不正常。控制回路的输出变压器开始漏电, 使控制回路工作不稳定, 最后, 输出的二极管被击穿。以后加强了控制回



路输出变压器的绝缘,并浸漆,使其耐压在 3KV 以上。以后便没有出现问题。

3. 逆变器工作电压比较高,为此每个桥臂串联三个管子。为了均压,管子旁并了均压电阻。

实验中有两个管子被击穿,我们发现,被击穿的管子都是控制电流比较大的。这是因为控制脉冲前沿不为零,因此控制电流小的管子先导通,直流电压全部加到控制电流大的管子上,而使它损坏。为了避免这种情况,一个臂上串联的管子,应具有大约相同的控制电流。

4. 根据卷扬机的速度可知,在运转过程中,电机达到最大速度后,断电自由滑行,转速慢慢低下来,然后进入爬行阶段。此时电机由本变频器供电。当电机转速还高于低频同步速度时,将本变频器投入系统。电机将工作在发电机状态。由于变频中整流器后面的滤波电容不够大,而使直流电压增高,如果电压升得很高,会使整流元件及可控元件被击穿。为此在系统中应装有速度继电器,以保证电机在一定速度下,投入本变频器。

5. 目前本变频器输出电压 720V, 频率 2.9 赫, 此时, 提升速度为 2.6 米/秒~3.2 米/秒。根据实际提升要求, 速度最好还要提高, 这就要求再提高直流电压, 同时增加串联管子数目。目前因受元件水平的限制, 电压尚不能提高。

6. 本装置的过压及短路保护还不够完善。如逆变器中, 当一个硅可控整流元件损坏后, 如何使事故不继续扩大到其它元件的保护方法等, 还尚需今后研究解决。

## 控 制 回 路

此控制回路适用于触发具有直流环节的三相逆变器。为了使该电路应用范围不仅局限于提升机低频爬行, 还能应用到别的工业领域中, 我们对频率范围, 脉冲宽度, 主回路可控元件的串并联应用情况做了考虑。为了适应各种负载, 输出控制脉冲的宽度在整个频率调节范围内, 均保持  $\frac{\pi}{3}$  ( $120^\circ$ )。

### 一、控制回路工作原理:

控制回路的方框图(图 20)如下:

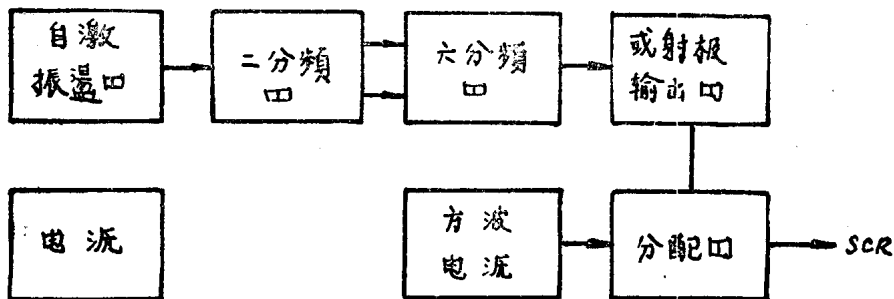


图 20 控制回路方框图

方框图共由自激振荡, 二分频器, 六分频器, 或射极输出器, 方波电源, 分配器, 负压部分和直流稳压电源组成。自激振荡器输出脉冲的频率为分配器输出脉冲频率的六倍。分配器共输出六组脉冲。此六组脉冲之间相互间隔  $60^\circ$ , 用来触发三相桥式逆变器主回路上六个