

东北大学
硕士学位论文
4<' #>风机变频软启动控制系统研究
姓名：王建东
申请学位级别：硕士
专业：控制理论与控制工程
指导教师：王剑
2000. 1. 1

摘 要

四号风机是首钢第一台大型电动高炉鼓风机，其主电机为36140KW同步电动机。变频软启动装置是大型同步电机启动的关键设备。本文对四号风机变频软启动装置的原理、结构以及控制逻辑进行了全面、深入的研究，对启动、加速、并网的全过程进行了详尽的分析，其目的是为了更好地了解理解和掌握该控制系统，更好地为生产服务。

本文在对系统研究、分析的基础上，设计、开发了一套变频启动计算机监控系统，并提出变频启动模拟器的设计设想。

关键词：软启动，并网，无刷励磁，负载换相，

监控系统

Abstract

No.4 blast furnace blower is the first large motor-driving blower in ShouGang Co.ltd. The power of its driving synchronous motor is 36140KW. The varying frequency soft starter is the key equipment for the motor. This article studies the theory, structure and control logic in the round, analysis the whole process of the starting, accelerating and paralleling, in order to understand and master the control system better , in order to serve for production better.

On the basis of the study and analysis about the soft starter, a computer monitoring and controlling system is developed. By the way , this article suggested a simulator of the starting system.

Keyword : soft start, parallelling, brushless excitation, load phase-alternation, monitoring system

第一章 概 述

首钢总公司动力厂目前共有三台大型电动高炉鼓风机，其编号分别是4#、5#、6#机。其中4#、5#机为瑞士苏尔寿公司一九八〇年生产的AV100型高炉鼓风机，其设计出力为7000Nm³/min；6#机为陕西鼓风机厂生产的AV80型高炉鼓风机，出力为6000Nm³/min。这三台电动风机均由功率为36140KW的主电机拖动。为了实现无冲击启动，这三台电动风机配有二套变频软启动装置，其中4#机单独使用一套，5#、6#机共用一套。本文就是针对4#风机变频软启动装置的控制系统进行了一些研究和技术分析。本文的主要内容有：1、综述风机系统的构成及其控制系统的结构；2、研究变频调速控制系统基本原理；3、对4#机变频启动装置控制系统进行解剖、分析并提出其存在的主要缺陷；4、设计、开发变频启动计算机监控系统，并提出开发变频启动模拟器的初步设想。

4#风机是一九九二年配合高炉大修改造工程而安装的，其主电机和变频软启动装置为瑞士BBC公司配套，主电机为同步电动机，励磁方式为无刷励磁。控制系统采用数字、模拟电路插件板组成的控制柜。4#机的逻辑控制柜、励磁柜、变频软启动控制系统均由数字、模拟电路板构成，是七十年代末、八十年代初控制技术的代表。随着大功率电力电子器件及计算机控制技术的飞速发展，本系统显得逐渐落伍，但对风机而言，其控制系统最关键的要求是可靠性和稳定性。在三台电动风机中，4#机服役时间最长，其控制系统的稳定性和可靠性并不逊于其它两台机组，就这一点而言，4#风机的控制系统并不落后，仍然很值得研究。

多年的实践证明，大型同步电机在并网运行后运行是十分稳定的，这期间的主要工作是运行人员对系统运行参数的监控和调整，保证正确地进行操作。大型同步电动机控制系统的难点在于启动。对以连续性为特点的钢铁生产而言，保证高炉鼓风机能够顺利地启动的重要性主要表现在以下两个方面：

一、风机发生故障停机时，排除故障后及时将风机启动起来，将故障延误的时间降低到最低。

二、风机随高炉检修而停机检修后，按计划启动送风，保证整个检修计划的顺利按时完成。

为保证风机顺利启动，就需要对变频软启动装置控制

系统的原理、功能、构成及控制流程等有深刻的了解和认识。

4#风机是首钢总公司第一台电动高炉鼓风机，其主拖动采用同步电动机。同步电动机运行稳定、恒速，具有绝对的硬特性，而且可以通过调节励磁而改变功率因数。由于在同步电机中，磁场采用可调节直流励磁，因此允许电动机在任何功率因数下工作，可超前，可滞后。当同步电动机运行在超前功率因数时，可以对感性负载的电网进行有效的补偿。4#机主电机功率为36140KW，如此之大容量电机采用同步电动机显然是非常正确的。在恒定频率下运行的大型同步电机又存在易发生失步和振荡的危险以及启动困难等问题，因此，在没有变频电源的情况下很难想象对同步电机的转速进行控制。

从本世纪三十年代，人们就开始研究同步电动机的调速问题，但由于受到电力电子器件及控制技术的制约，进展比较缓慢。在七十年代以前，由于大功率电机调速技术的不完善，对于大功率同步电动机的启动没有比较经济、有效的方法，因而大多数高炉鼓风机均采用汽轮机拖动，尽管汽轮鼓风机存在很多缺点，诸如升压慢，附属设备多，维修量大等。七、八十年代以后，随着大功率变流电子器件的发展，控制技术水平的不断提高，在大功率变频器技术的研究上取得了较大突破。4#机的变频软启动装置就是BBC公司在这一时期研制成功的，它属于交-直-交变频器，其控制系统由数字、模拟电路组成，反映了当时的控制技术水平。

在电力传动与自动控制的领域里，近年发展最快的应当是电力电子器件和为自动控制提供支持的计算机技术。

电力电子器件的发展为交流调速奠定了物质基础。1957年美国GE公司制造出第一支大功率晶闸管(SCR)，从而使旋转变频机组成为历史，实现了静止的变频调速。然而晶闸管属半控型器件，可以通过门极控制导通，但不能由门极控制关断。因此由普通晶闸管组成的交-直-交逆变电路用于交流变频调速时，必须在换相上做许多文章，且带来不少的技术问题和麻烦。七十年代以后，门极关断晶闸管(Gate Turn-off Thyristor-GTO)的问世，为这一问题的解决带来了希望，随着它功率及耐压不断的提高，完全可以替代逆变的SCR。特别是绝缘栅双极晶体管(Isolated Gate Bipolar Transistor-IGBT)的出现，它

具有MOSFET和GTR的优点，因是绝缘门极晶闸管，因此具有输入阻抗高、速度快、热稳定性好和驱动电路简单的优点。从资料上看目前已有6KV，2000A的IGBT问世，本年度《电气传动》杂志又报导了IGCT新型元件的问世，它是一种新型的复合式的大功率变流元件是这一领域的新星。因此，大功率新型电力电子器件的发展不能不对交流传动的变流技术带来革命。

另外随着元件的更新，对其控制方式也会带来变革。门极可控型管子的控制方式可采用脉宽调制(Pulse Width Modulation-PWM)或正弦波脉宽调制(Sinusoidal PWM-SPWM)的方式，这一控制方式控制简单可靠，便于实现数字化，而且可借助于控制模式的优化以消除指定谐波，使逆变器的输出波形逼近于正弦波。由于可消除变频在低频段的矩形波脉动，全域趋近于正弦，使变频的驱动趋近理想化，也克服了大功率变频技术在低频区域的不良状态。

引入控制的微处理机技术自九十年代以来也有了突飞猛进的发展，成为新技术领域中发展最快的领军人。计算机技术已经广泛应用于变频调速控制系统领域，并已成为变频调速控制系统的核心。5#、6#风机变频软启动装置是九十年代初从SIEMENS引进，其控制系统便是以大型PLC(即SIMADYN D)为核心的计算机控制系统。

由于大功率整流逆变元件的限制，5#、6#机的变频软启动装置的变流器件也是2KV的SCR，因而主回路的10KV电源在变流环节不得不采用高-低-高的形式，变频器的结构型式与4#机基本一致。控制系统虽然不同，但其控制原理却是一样的。4#机和5#、6#机这两套变频系统有着密切的联系，对4#机控制系统的研究和技术分析，不仅能使我们更好地掌握4#机控制系统的精髓，还有助于我们理解与掌握5#、6#机变频软启动装置的控制技术。

从变频调速系统的发展趋势来看，变频调速系统所用的电力半导体元器件正向着模块化、快速化、光控化、高电压大电流化和高可靠性化方向发展，变频调速控制技术也正向着高性能、高精度、大容量、微型化、数字化和理想化方向发展。在我们认识和评价4#机控制系统时，既要站在新技术发展的高度，也要充分考虑其时代特点。只有了解清楚现系统，也才能够更好地将新技术应用于今后的实践中去。

第二章 风机系统的构成

风机系统的构成框图见图2-1

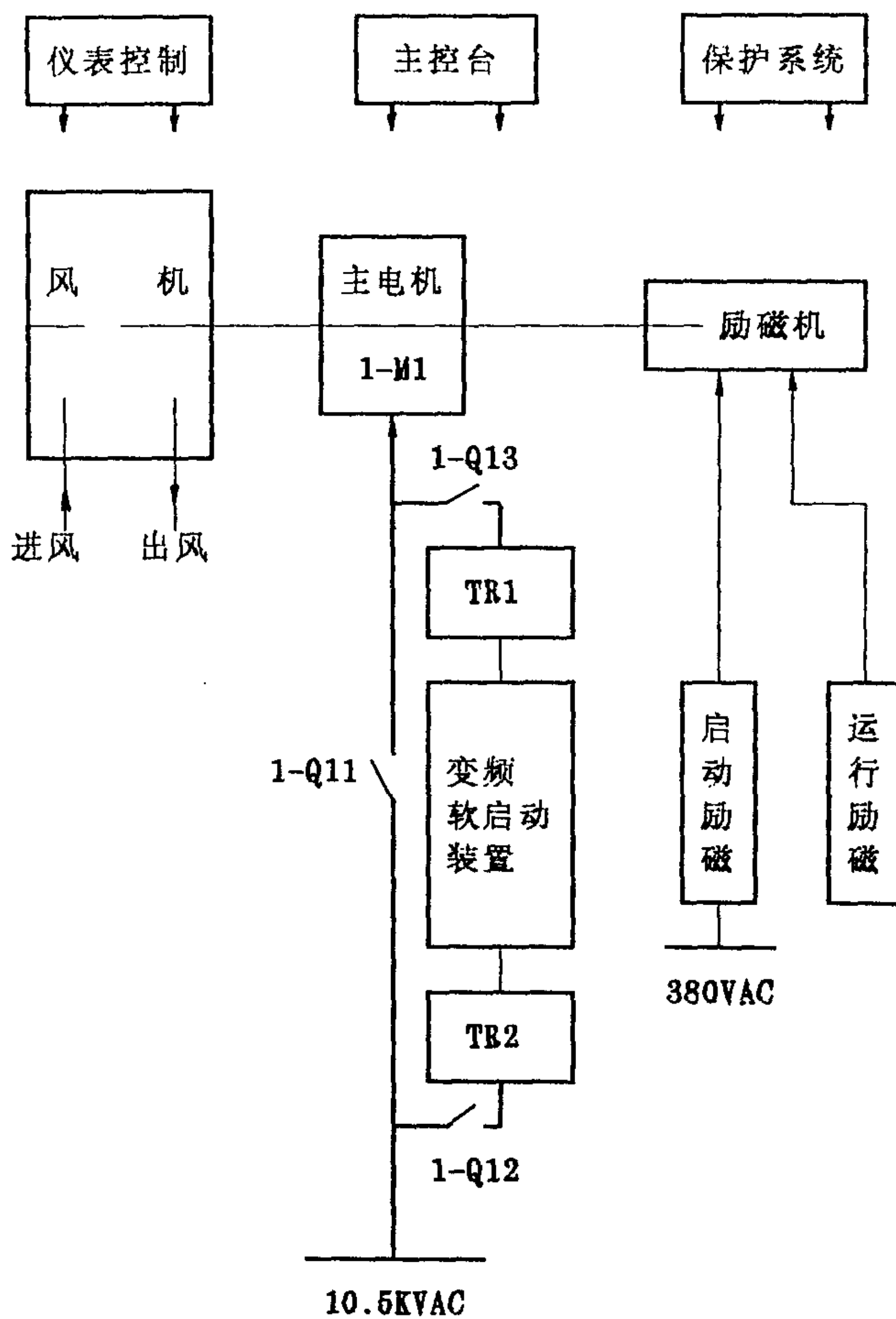


图 2-1

说明：4#风机系统庞大，组成比较复杂，主体主要由风机、主电机和励磁机组成，控制部分由主控台、仪表检测系统、保护系统、启动励磁、运行励磁以及变频软启动装置构成，供电系统由高压开关和低压配电系统组成。本文主要针对变频软启动装置的控制系统进行探讨和研究。

现对风机各组成部分的情况介绍如下：

一、风机

型式：AV100-19
制造厂：瑞士苏尔寿
出厂年限：1980年
出力：7560Nm³/min (760mmHg, 0℃)
转速：3000rpm
功率：24300KW
吸入风压：0.967bar(绝压)
出口风压：5.293bar(绝压)
出口风温：256℃

二、主电机

型式：同步电动机
制造厂：瑞士BBC
出厂年限：1980年
转速：3000rpm
额定功率：36140KW
额定频率：50Hz
额定功率因数：0.85
额定电流：2393A
额定电压：10.5KV
额定励磁电压：200V
额定励磁电流：981A

三、励磁机

励磁机由励磁发电机、永磁发电机、电刷和提刷电机组成。4#机采用无刷励磁，电刷和提刷电机是电机启动时加入启动励磁时用的，电机启动完成后提刷电机将电刷提

起，启动励磁退出，运行励磁投入。

4#机无刷励磁原理如图2-2所示。

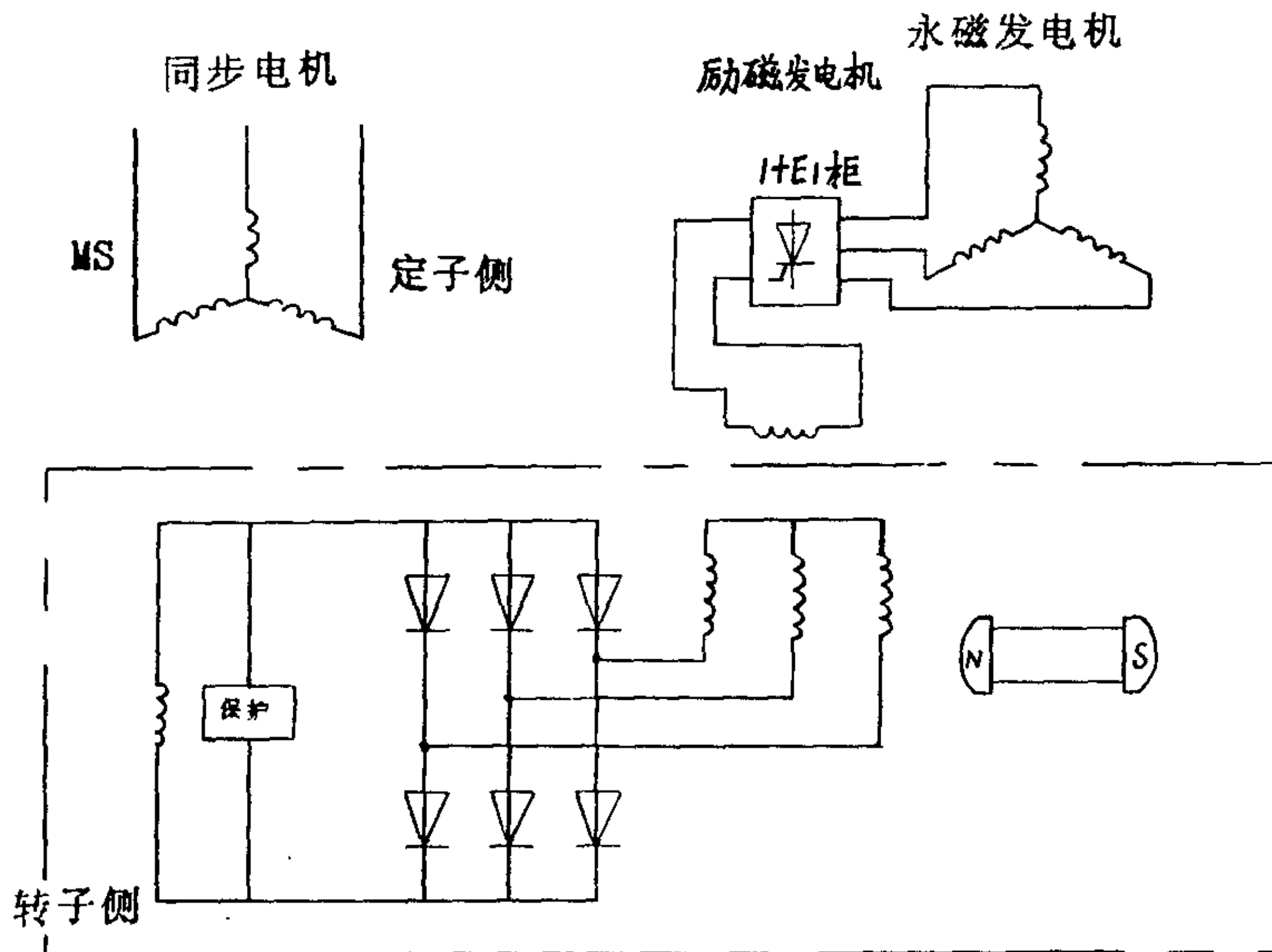


图 2-2

励磁机主要组成部分参数：

1、励磁发电机

型号：WBT74/208-30AISI.

制造厂：瑞士BBC

工作转速：3000rpm

恒定输出：241KW；220V；1095A

短时输出(10秒)：509KW；320V；1950A

2、永磁发电机：

型号：WPE35-9-4R20

制造厂：瑞士BBC

额定功率：7.2KW

额定电压：380V

额定电流：10.9A

额定频率：100Hz

额定转速：3000rpm

无刷励磁工作过程：

主电机并网运行后，永磁发电机转子随主电机转子同速旋转，永磁发电机定子发出三相交流电，经工作励磁柜（1+E1柜）整流后变成直流给励磁发电机定子励磁；励磁发电机转子也是随主电机同速旋转的，这时励磁发电机转子发出三相交流电，经固定在励磁机转子轴上的二极管整流后变成直流送进主电机转子，完成主电机的励磁过程。主电机励磁电流的调整则由外加的工作励磁柜（1+E1柜）通过调整励磁发电机定子磁场来完成。采用这种励磁方案，省却了电刷和集电环，而且不需要外部供电电源，简化了励磁系统的构成，减轻了维护的难度和工作量，提高了主电机对恶劣环境的适应性。

四、变频软启动装置

变频软启动装置是本文研究的重点，它主要有以下组成部分：

1、变频变压器（TR1、TR2）

型号：TP6300

额定容量：12510KVA

额定频率：50Hz

一次：

额定电压：10.5KV

额定电流：687.9A

接法：△

二次:

额定电压: 1700×2

额定电流: 1062×2

接法: Δ , Y

2、变频器 (Current-Source DC Link Converter)

型式: 交 - 直 - 交电流型

制造厂: 瑞士BBC

出厂年限: 1980年

额定功率: 7000KW

功率器件: SCR,

平波电抗: $L_d=3$ 毫亨

3、变频软起动控制系统 (Electronic Analogue Control System)

型式: 电子模拟式

五、励磁控制装置 (Excitation And Control Cubicle)

励磁系统分两部分:

1、启动励磁 (F14~F18柜), 用于电机启动时给转子加入励磁电流。

2、运行励磁 (1+E1柜), 用于电机正常运行时给转子加入励磁电流 (无刷励磁)。

六、保护系统 (Protection System)

保护系统的主要项目有过电压、过电流、欠电压、差动、定子接地、转子接地、逆序、失步、失磁、主变压器保护、过负荷等, 保护系统分两部分:

1、启动保护 (F19柜), 用于电机启动时对电机和电气系统进行保护。

2、运行保护柜 (1+P1柜),
用于正常运行时对电机和电气系统的保护

七、仪表控制系统

仪表控制系统由两部分组成：

1、仪表控制操作台（1+J1~1+J4柜），其作用是检测风机、电机及辅助设备运行参数，如风温、风压、轴承温度、振动、轴位移等，并对故障状态给出声光报警。

2、静叶及防喘逻辑控制柜（C1、C2柜），设计有防喘振、逆流保护，并通过此柜调整风机静叶角度、放风门开度等。

八、主控台（0+J1柜）

主控台上设有电机选择按钮、电机启动按钮及其它辅助设备操作按钮，主控台上还有高压电气系统模拟盘，可指示系统内各高压开关的开关状态，从而显示主电机的运行状态。

九、大开关

在本系统中重点要提到的大开关有三个即1-Q11(并网开关)，1-Q12(变频器网侧输入开关)和1-Q13(变频器机侧输出开关)。其中1-Q11、1-Q12为六氟化硫中压开关（10KV，2000A）；1-Q13为空气开关（10KV，2000A）。

十、低压配电系统

低压配电系统包括交流380/220VAC，直流110VDC供电电源。

第三章 同步电动机调速的基本原理

3.1 同步电动机调速的基本概念

同步电动机是以其转速 n 和其供电电源频率 f 之间保持严格的同步关系而得名的,即只要供电电源频率 f 不变,则同步电机的转速就恒定为常值而与负载大小无关。同步电机有一个突出优点,即同步电机的功率因数可以借助改变转子励磁电流加以调节。同步电机不仅可以工作在感性状态下,而且也可以工作在容性状态下向电网输送超前无功功率,用于改善电网的功率因数。4#风机主电机功率为 36140KW,对于这样的大容量电机,采用同步电机的方案是很优越的。

由于电力电子器件的迅速发展,各种容量和型式的变频电源、整流装置的研制成功以及计算机技术、控制理论的发展,使得交流调速传动技术的发展出现了崭新的局面,交流调速的性能已可以与直流调速相媲美、相竞争。由于交流电机具有直流电机无法比拟的优点,因此交流调速传动的应用领域不断拓宽,交流调速传动取代直流调速传动正在成为现实。

交流调速系统中,同步电机的调速传动尤为引人注目。原来一直困扰人们的同步电机启动费事,重载时有振荡及失步等问题由于变频调速技术的发展已不复存在。我们可以预言,同步电动机的应用前景十分广阔。

3.2 同步电动机的变频调速原理

给同步电动机的三相对称的定子绕组通入三相对称电流会在气隙内产生一旋转磁场,旋转磁场的同步转速为 $n = 60f/p$,同步电机的转子的励磁绕组通入直流,在转子内产生一恒定磁场。两磁场在电机稳定运行时必须保持静止,才能产生稳定的电磁转矩,驱动电机以同步转速旋转。

改变同步电机转速的主要方法是改变供电电源的频率,即变频调速。从控制方式上讲,同步电动机变频调速分为两种,一种是他控式变频调速;一种是自控式变频调速。他控式变频调速装置是独立的,变频装置的输出频率是由速度给定信号决定的,这种系统一般为开环控制系统;自

控式同步电动机变频调速系统所用的变频装置是非独立的，变频装置的输出频率是由电机轴上所带转子位置检测器控制的，组成的是电源频率自动跟踪转子位置的闭环系统。与他控式相比，自控式变频调速系统的最大特点是能从根本上消除同步电动机转子振荡和失步的隐患。这得益于这种控制方式本身，因为给同步电机供电的变频装置的输出频率受转子位置检测器的控制，即定子旋转磁场的转速和定子旋转的转速相同，始终保持同步，因此不会由于负载冲击等原因造成失步现象。

8.3 自控式同步电动机变频调速原理

8.3.1 自控式同步电动机变频调速系统的组成：

- 1、同步电动机
- 2、变频器
- 3、转子位置检测器
- 4、控制单元

如下图所示：

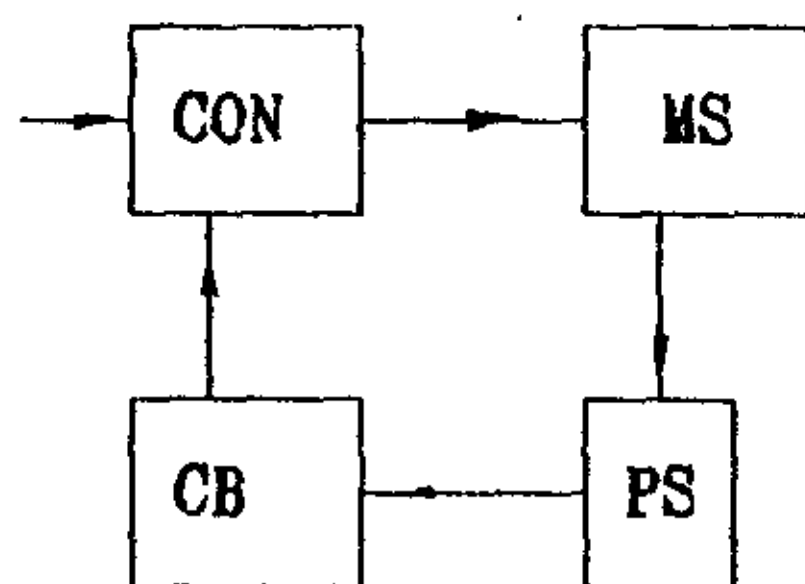


图 3-1

MS - 同步电动机
PS - 转子位置及速度检测器
CB - 控制单元
CON - 变频器

控制单元的作用主要是把来自转子位置检测器(PS)的信号进行分析，判明转子的真实位置和转速后，按一定的

控制策略产生控制信号,控制变频器输出三相电流(电压)的频率、幅值和相位大小,达到同步转速跟踪转子转速的目的。

根据电机学原理,假设变频器输出的是三相正弦波电流,那么在同步电动机定子中就会产生一个合成的旋转磁动势 F_j^s , 进一步假设转子励磁电流恒定,转子磁动势为一常数 F_j^r , 同步电动机矢量图如图所示:

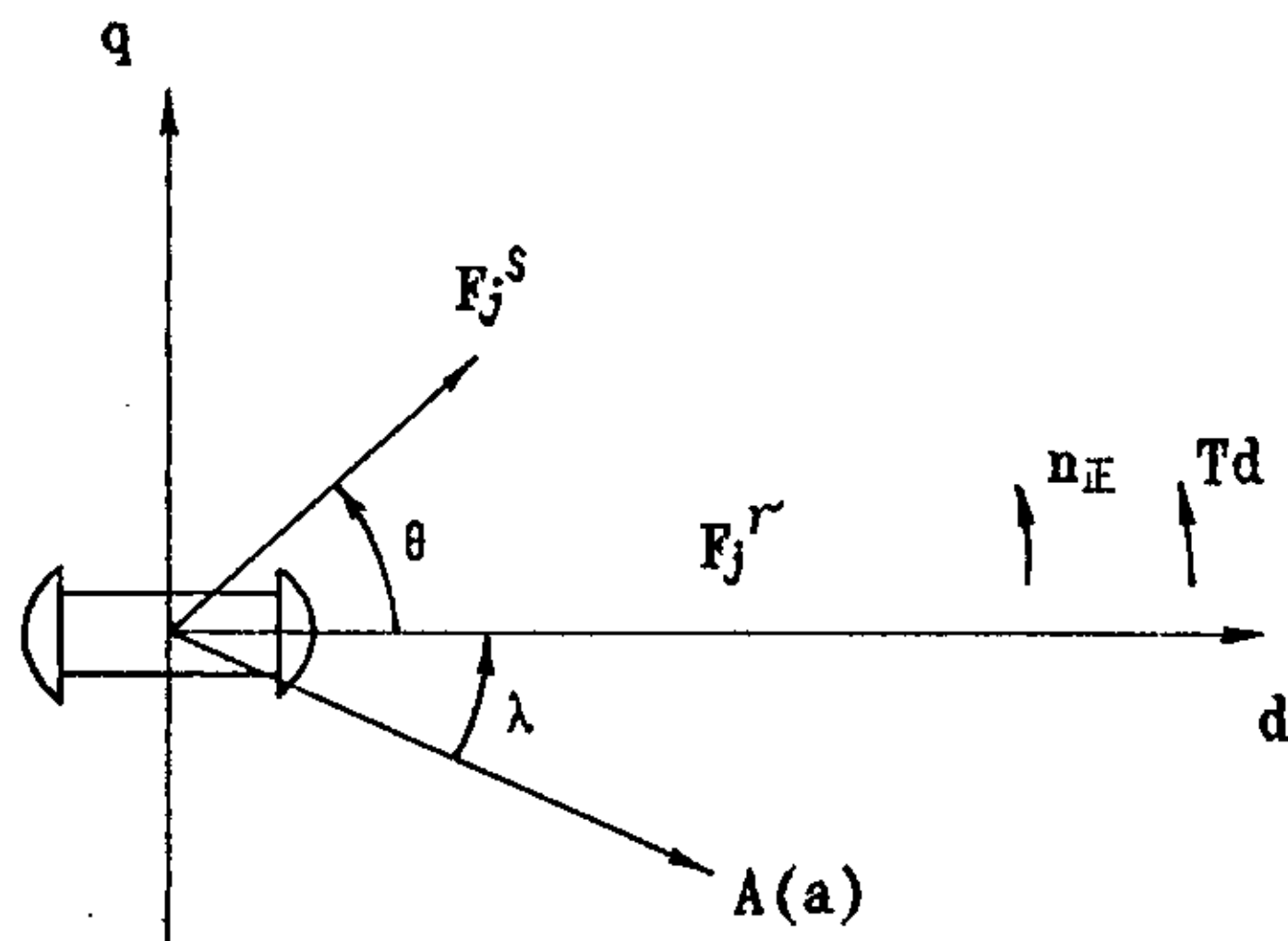


图 3-2

根据统一的转矩公式 $T_d = C_m F_j^s F_j^r \sin \theta$ 知道,只要能保证定、转子磁动势同步旋转,两磁动势之间的夹角 $0^\circ < \theta < 180^\circ$, 电动机就能产生电磁转矩 T_d , 拖动负载旋转。在同步电机中,定子的作用主要是通过励磁在电机的气隙中建立磁场,而定子电流则是转变成机械能(转矩)的主要电能来源,因此,控制三相定子电流的频率、幅值和相位,完全可以按转矩的要求控制好定子磁动势的大小和方位,从而改变电动机的输出转矩。

8.3.2 自控式同步电动机变频调速矢量分析

同步电机矢量图如图 3-2 所示。

自控式同步电动机的启动:

系统启动之前,同步电动机静止,转子位置检测器可以检测出转子在空间中的初始位置,如图 3-2 所示, d

轴与 $A(a)$ 轴之间的夹角为 $\lambda = \lambda_0$ ，假设此时给定子三相绕组通入如下电流：

$$\left. \begin{aligned} i_A &= I_m \cos(\lambda_0 + \theta) \\ i_B &= I_m \cos(\lambda_0 + \theta - 120^\circ) \\ i_C &= I_m \cos(\lambda_0 + \theta - 240^\circ) \end{aligned} \right\} \quad \text{式(3-1)}$$

那么，定子合成磁动势矢量为

$$\begin{aligned} F_j^S &= N_s i_j^S = N_s (i_A + a i_B + a^2 i_C) \\ &= N_s \frac{3}{2} I_m e^{j(\lambda_0 + \theta)} = F^S e^{j(\lambda_0 + \theta)} \end{aligned}$$

式中 F^S —— 定子磁动势的幅值， $F^S = \frac{3}{2} N_s I_m$ ；
 I_m —— 定子相电流的最大值
 $\lambda_0 + \theta$ —— 定子相电流的初相角

F_j^S 在空间距 $A(a)$ 轴的距离为 $\lambda_0 + \theta$ 空间电角度，而距 d 轴的夹角为 θ 空间电角度，即 F_j^S 与 F_j^r 的夹角为 θ ，这时同步电动机产生的静启动转矩为：

$$T_d = C_m F^S F^r \sin \theta$$

设启动转矩大于负载转矩 T_L (可由 I_m 和 θ 大小保证)，那么同步电机就开始启动。

同步电动机转子开始转动后， d 轴与 A 轴之间的夹角就会增大到 $\lambda = \lambda_0 + \omega t$ 。如果仍使定子绕组通入式(3-1)电流，那么定子磁动势 F_j^S 与转子磁动势 F_j^r 之间的夹角 θ 就会自然减小为 $\theta - \omega t$ ，因此电磁转矩 T_d 下降，启动加速度减小直至为零，造成同步电机不能正常启动。必须在转子转动的同时，改变同步电动机定子三相电流的频率，使得定子磁动势跟随转子同步旋转，保持 θ 角基本不变，进而保证 T_d 恒定，这一思想就是自控式同步电动机变频调速的精髓。因此，启动过程中定子电流随转子转动应为：

$$\left. \begin{aligned} i_A &= I_m \cos(\omega t + \lambda_0 + \theta) \\ i_B &= I_m \cos(\omega t + \lambda_0 + \theta - 120^\circ) \\ i_C &= I_m \cos(\omega t + \lambda_0 + \theta - 240^\circ) \end{aligned} \right\} \quad \text{式(3-2)}$$

定子磁动势为：

$$F_j^S = N_s \frac{3}{2} I_m e^{j(\omega t + \lambda_0 + \theta)}$$

式中 ω —— 转子角速度

只有按式(3-2)进行电流控制，才能保证 F_j^S 与 F_j^r 的夹角为 θ ，满足启动过程中电磁转矩基本不变的要求，使同步电机均匀加速启动。

从启动过程可以看到，尽管电动机定子电流的频率由

转子角速度 ω 决定，是不独立的，但只要控制好相电流的初始相位角，使其产生的定子磁动势 F_j^s 始终处于超前转子磁动势 F_j^r 的位置 ($\theta < 180^\circ$)，同步电动机就能产生电动的电磁转矩，使电动机正常旋转、加速，而不用担心旋转磁场的旋转速度问题。

4#机变频调速的目的是为了风机的启动，并网运行后即恒速运转，不再调速。启动过程中，风机是空载的，负载恒定，只要控制好相电流的初始相位角，使定子磁动势 F_j^s 始终超前于转子磁动势 F_j^r (即 $0^\circ < \theta < 180^\circ$)，不断加大定子输入电流，电机不断加速，同时定子输入电流频率由 0Hz 上升到 50Hz，当定子输入电流频率达到 50Hz 的同时，电机也达到额定转速 3000r/min，在并网装置的控制下完成并网动作后，变频调速装置就完成了任务，并退出调速过程。

3.4 负载换相同步电动机控制系统

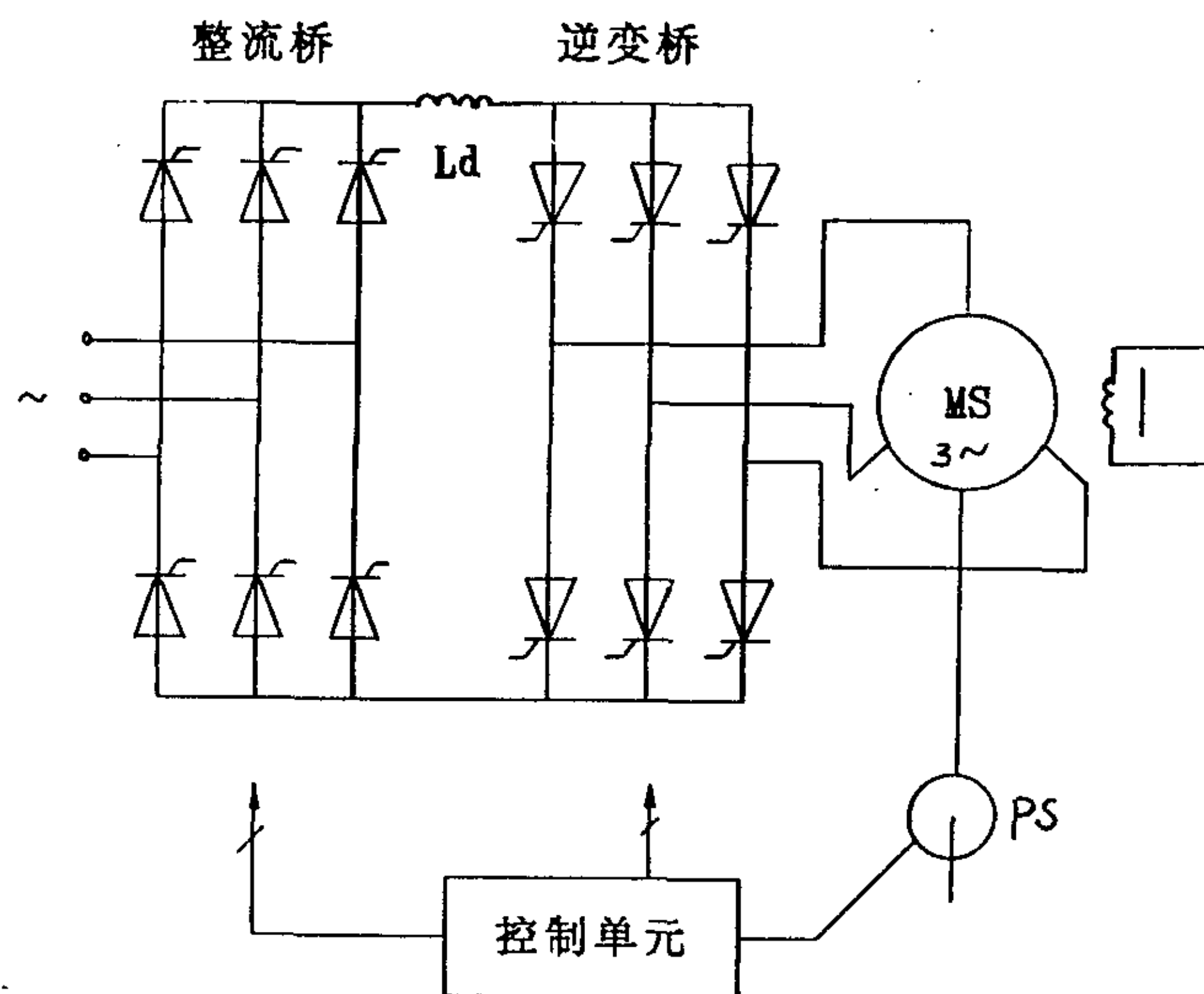
目前，大容量交流调速系统中，变频器换流器件多采用半控型电力电子器件——普通晶闸管晶闸管 (SCR)。SCR 开通可控，关断不可控，在逆变器中需采用特殊的关断措施才能达到换流的目的。将交-直-交晶闸管电流型逆变器与同步电动机相结合，利用负载同步电动机的交流反电动势 (电压) 来关断逆变器中的 SCR，将省掉强迫换相装置，使逆变器和由自关断半导体功率器件组成的交-直-交逆变器同样简单。这种利用负载 (同步电动机) 反电动势换相的 SCR 逆变器供电的同步电动机调速系统称为“无换相器电动机”。

负载换相同步电动机既有类似于直流电动机的调速性能，又具有交流电动机结构简单，制造容易，维护方便的特点，并兼有同步电机功率因数高等优点。因此，负载换相同步电机广泛应用于大容量、高转速、高性能的可调速传动领域，并在大型同步电机软启动方面发挥了特殊作用。4#机变频软启动装置正是这样一个典型范例。

3.4.1 负载换相同步电动机的构成

负载换相同步电动机系统属于自控式变频调速范畴，它主要由交-直-交电流型 SCR 变频器、同步电动机、转

子位置检测器(PS) 及控制单元组成, 如图3-3所示.



图(3-3)

变频器的主回路由整流桥、逆变桥和平波电抗器 L_d 组成, 它不同于一般意义上的晶闸管交-直-交电流型逆变器, 它没有强迫换相电容和串联二极管。

3.4.2 负载换相同步电动机的换相方法

3.4.2.1 反电动势换相法

在同步电动机中, 只要转子有励磁电流并在空间旋转,

就会在电枢绕组中感应出反电动势。设在换相以前V1、V2导通，如图3-4所示：

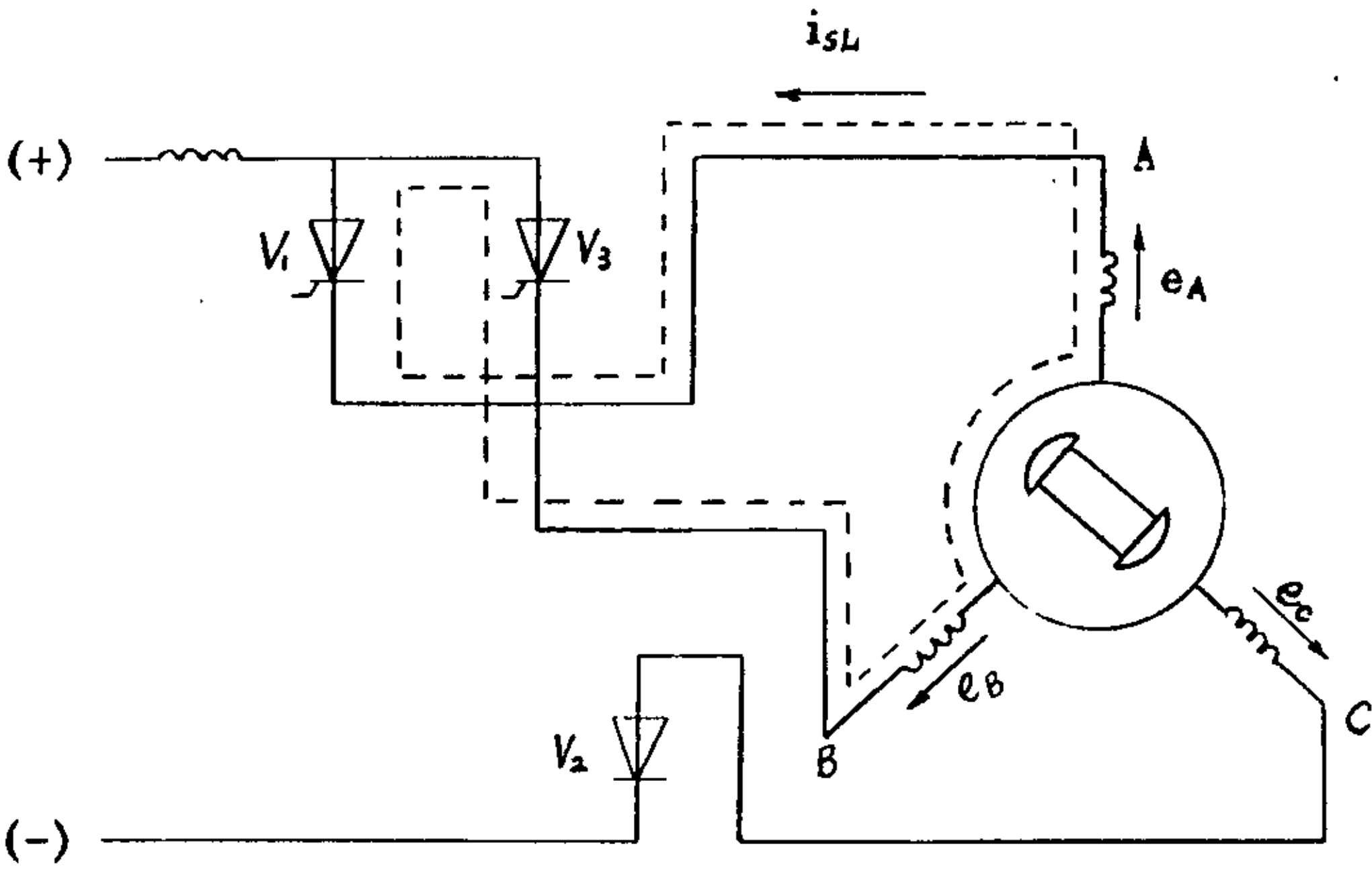


图3-4(a)

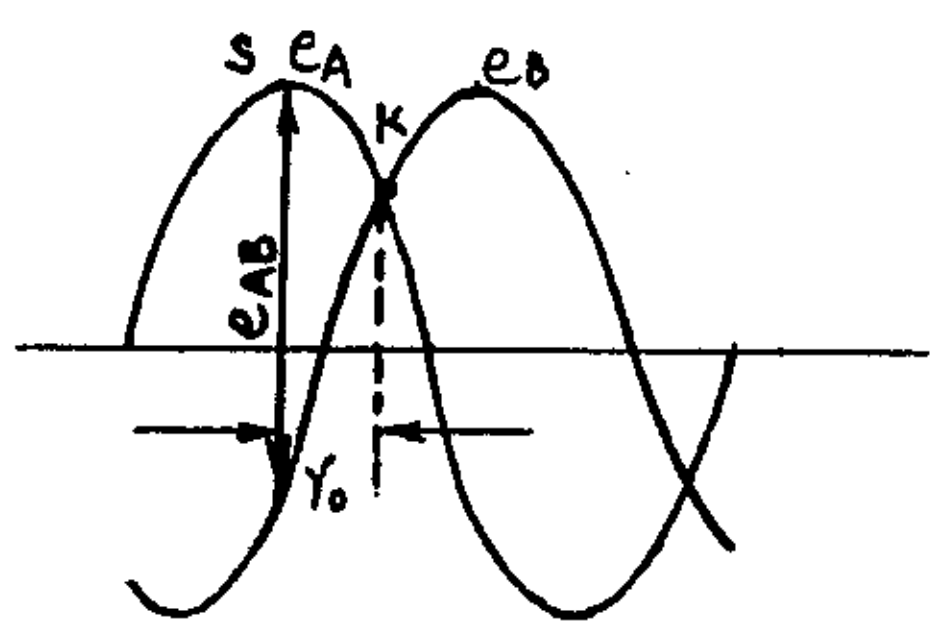


图3-4(b)

反电动势换相原理图

- a) A、B相换相电路
- b)反电动势波形

电流由电源正极开始经由晶闸管V1→A相绕组→C相绕组→晶闸管V2→电源负极。现在要使电流由A相切换到B相，则应触发V3，关断V1。如果按正常位置换相，应在K点触发V3，即 $\gamma_0 = 0$ 的位置，当V3导通瞬间，V1两端电压为零，且随着V3的继续导通，V1将不承受反压而继续导通，电源电流将在三相绕组中流通，造成换相失败。应此，换相时刻应比A、B两相电动势波形的交点K适当提前一个换相超前角 γ_0 。例如，在图3-4(b)中的S点换相 ($\gamma_0 = 60^\circ$)。当此时触发V3时，电动势 $e_A > e_B$ ，加在V1上的反电压为 u_{AB} ， $u_{AB} = e_A - e_B > 0$ ，则在V1、V3和A、B两相绕组之间出现一个短路电流 i_{sL} ，其方向如图3-4(a)所示。当这个短路电流 i_{sL} 达到原来通过V1的负载电流 I_d 时，V1就因流过的实际电流下降至零而开始关断，负载电流 I_d 就全部转移到晶闸管V3，至此，A、B两相之间的换相结束，V2、V3两管正常导通。

当电流在电机两相绕组中换相时，由于电枢绕组电感、励磁绕组、阻尼绕组等因素的影响，换相不可能瞬间完成，我们把要换相的两个晶闸管同时导通的时间（用电角度表示），称为换相重叠角，记作 μ 。 μ 的大小与负载有关， μ 的大小与负载电流有关。负载电流越大，换相过程中两相绕组间的能量转移越大，换相重叠角 μ 就越大；反之，负载电流越小，换相重叠角 μ 也就比较小。特别是当电流断续时，无所谓换相问题，换相重叠角 $\mu = 0$ 。

3.4.2.2 电流断续换相法

同步电动机刚启动和低速运行时，反电动势很小，甚至没有反电动势，这时逆变器SCR的换相必须采用电流断续换相法。

所谓电流断续换相法，就是每当晶闸管需要换相时，先设法使逆变器的输入电流下降到零，让逆变器所有晶闸管均暂时关断，然后再给换相后应该导通的晶闸管加上触发脉冲使其导通，从而实现电流换相。

4#机变频软启动装置是通过G3柜的控制电路实现电流断续换相的，方法是：

①、封锁整流器触发脉冲，使整流器晶闸管自然关断，此时整流器无输出电流。

②、逆变器输入电流下降至零，逆变器所有晶闸管均

关断。

③、解除整流器触发脉冲，同时按触发顺序要求给逆变器应导通的晶闸管加上触发脉冲，从而实现电流换相。

在负载换相同步电动机中，为了抑制电流纹波，在直流回路中通常都有平波电抗器，但它对断流过程会产生严重的不利影响。为了加速电流断续过程，通常在平波电抗器的两端接一个续流晶闸管 V_0 ，如图3-5所示。当回路电流衰减时，电抗器两端电压极性如图所示，这时触发晶闸管 V_0 ，可使其导通。电抗器中的电流将经此晶闸管 V_0 而续流，使电抗器中原来储存的能量暂时保存，不至于因释放而影响逆变桥的断流。只要整流桥的封锁一解除，输入电流开始增长时，电抗器两端电压的极性就发生变化，续流晶闸管 V_0 就会自行关断，不影响电抗器正常工作时的滤波功能。

当同步电动机采用电流断续换相时，逆变器晶闸管触发信号对换相已不起作用，为了增大启动转矩，减小转矩脉动，一般取 $\gamma_0=0$ 。

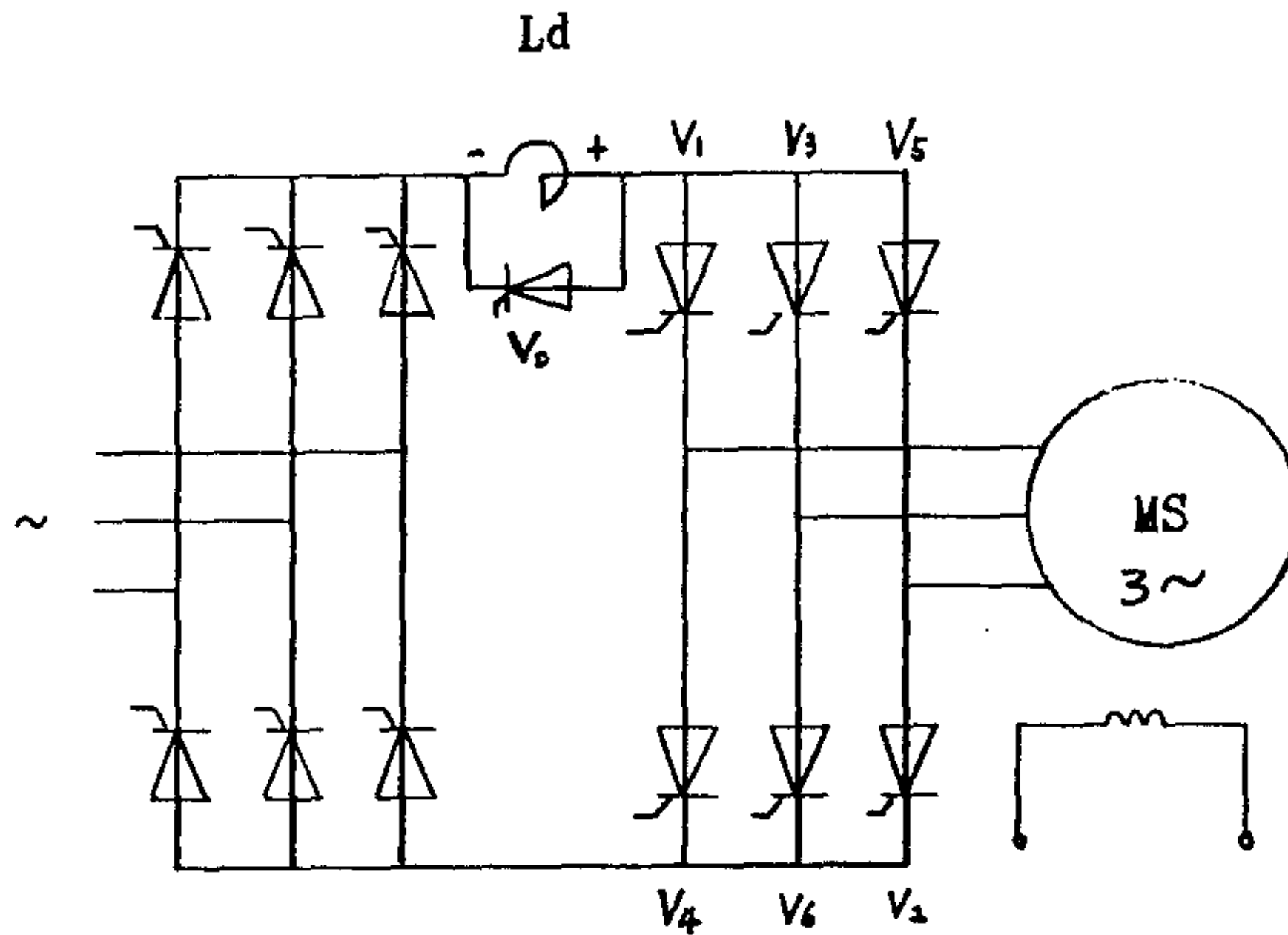


图 3-5

3.5 同步电动机转子位置检测方法

自控式同步电动机调速系统离不开对转子位置（或磁场）的检测和初始定位。只有检测出转子实际空间位置后，控制系统才能决定变频器的通电方式、控制模式以及输出电流的频率和相位，以保证同步机的正常工作。准确、可靠的转子位置检测装置是自控式同步电动机调速系统运行的必要条件。

转子位置检测器有多种型式，常用的有电磁式、磁敏式、光电式、间接式等几种检测方法，用于不同的同步电动机控制系统中。

电磁式检测方法是通过和转子同轴旋转的凹凸圆盘来改变检测元件的电磁关系，从而达到检测转子位置的目的。

磁敏式检测方法是利用磁敏元件来反映转子的位置，它要求和同步电机转子同轴相联的检测器转子为永磁结构，并和同步电动机的极对数相同。磁敏元件安装在检测器定子上，常用的磁敏元件有霍尔元件，磁敏电阻，磁敏二极管、晶体管等，以霍尔元件最佳。

光电式检测方法是利用光电元件，对带有槽口（或栅）的旋转圆盘的位置进行通断变化，产生一系列反映转子位置的脉冲信号。

间接式转子位置检测是用电枢绕组的感应电动势（或电压）间接检测转子位置的方法，它只需用传感器检测出同步电动机定子电压（有时用到电流），通过同步电动机理论，找出对应关系，进行转子位置的辨识。

4#风机变频软启动装置的转子位置检测采用的是电磁式位置检测方法。

3.5.1 电磁式转子位置检测方法

电磁式转子位置检测方法分差动变压器式和接近开关式两种。4#风机采用差动变压器做为转子位置检测元件。

差动变压器式位置检测器由一凸凹型导磁圆盘和三个小型开口的变压器——检测元件组成，检测元件一般使用“山”字形高导磁体作铁心，其两边铁心柱上分别绕制两个一次绕组，如图3-6a所示，二次绕组绕制在中间的铁心柱上。在一次绕组中通入高频（1~5KHz）方波交流电，当圆盘的凹部完全对住变压器铁心时，如图3-6a所示，由

于三柱间气隙过大，磁阻太高，在二次绕组中只有一个很小的感应电动势。而当圆盘的凸部部分或全部地对住变压器铁心时，如图3-6b,c所示，则由于磁路磁阻的变化，二次绕组中将感应出一个较大的电动势。此信号仍为高频方波交流信号，经整流、滤波、比较后变为矩形波信号，变换电路如图3-7所示。只有当输入信号足够大时才能使其翻转，输出高电平信号，对于比较小的干扰信号，电平检测器是不敏感的，如图3-6b所示。因此，它能有效地抑制干扰信号的影响，从而大大提高检测器的可靠性。

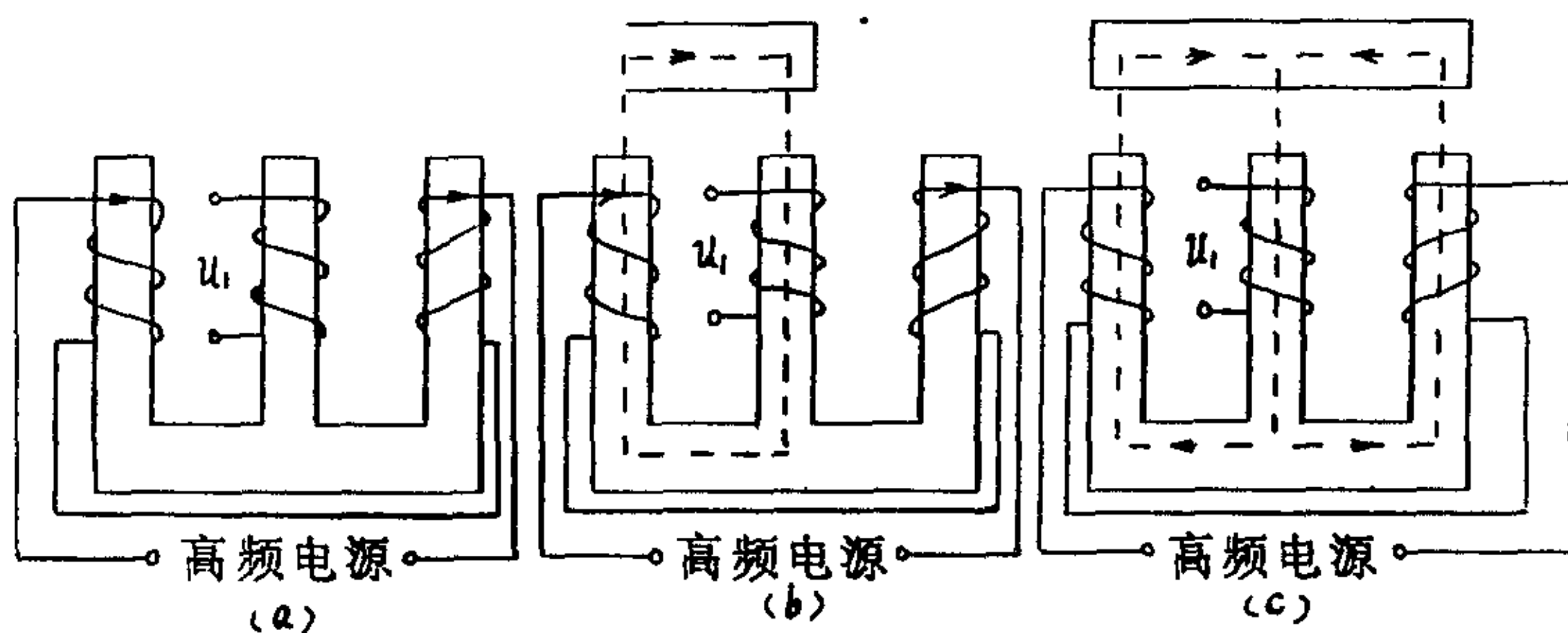


图 3-6

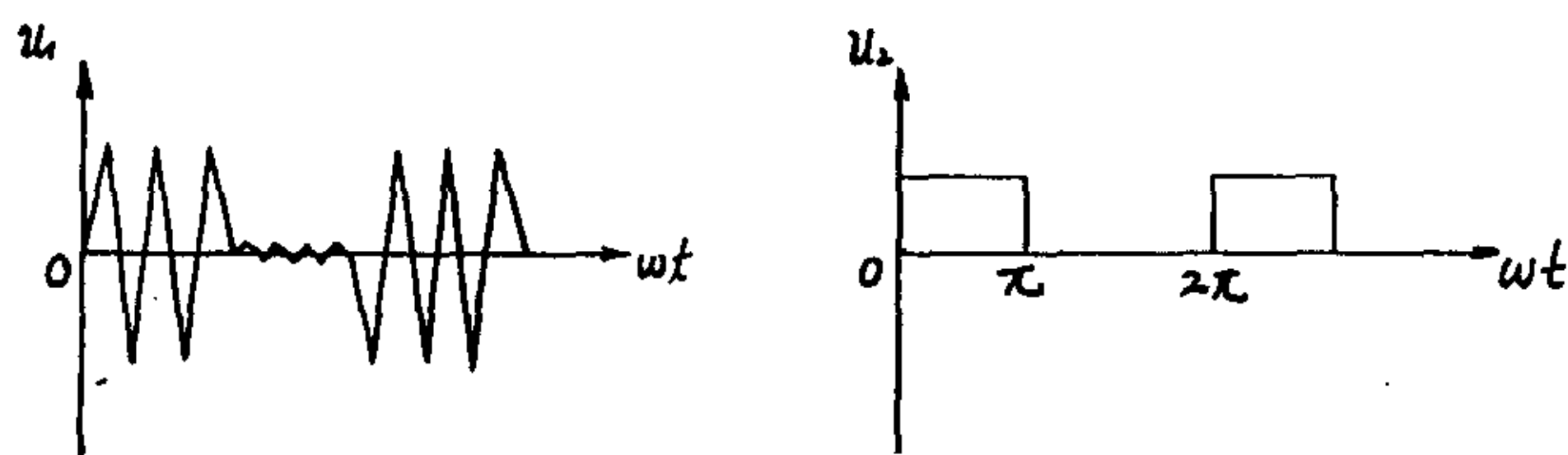
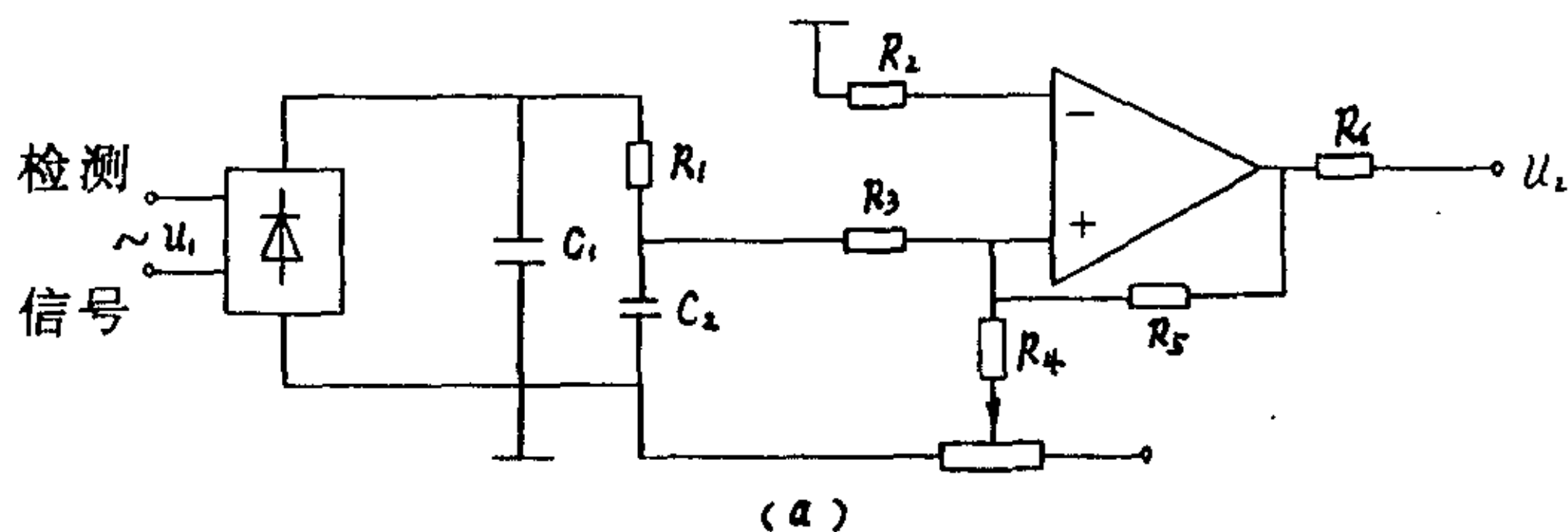


图3-7

差动变压器式位置检测器常用于交-直-交电流型负载换相同步电动机调速系统中。此系统要求转子位置检测器输出三个能反映转子实际位置、宽度为 180° 电角度、相位差为 120° 电角度的对称矩形波信号。为此，需要把三个检测元件安装在一个固定平板上，沿圆周分布，且彼此相距 120° 空间电角度。在同步电动机转子轴上安装的凸凹圆盘，其凸凹度应各占 180° 空间电角度。如图3-8所示。

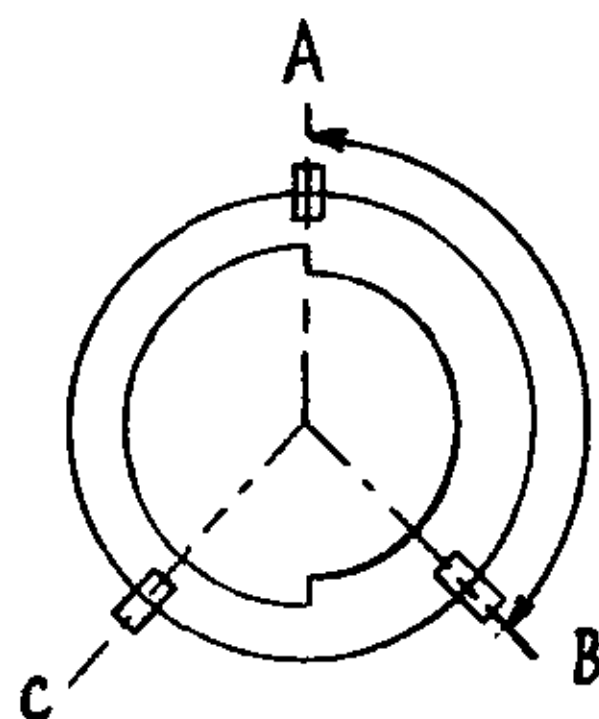


图 3-8

当圆盘的凸部依次扫过差动变压器 A、B、C 时，三个检测元件分别获得相位差为 120° 电角度、宽度为 180° 电角度的高频信号。经图3-7所示电路整形后，获得如图3-9所示矩形波信号。这些信号经逻辑电路和脉冲分配器后，就可以用来触发逆变器的晶闸管。

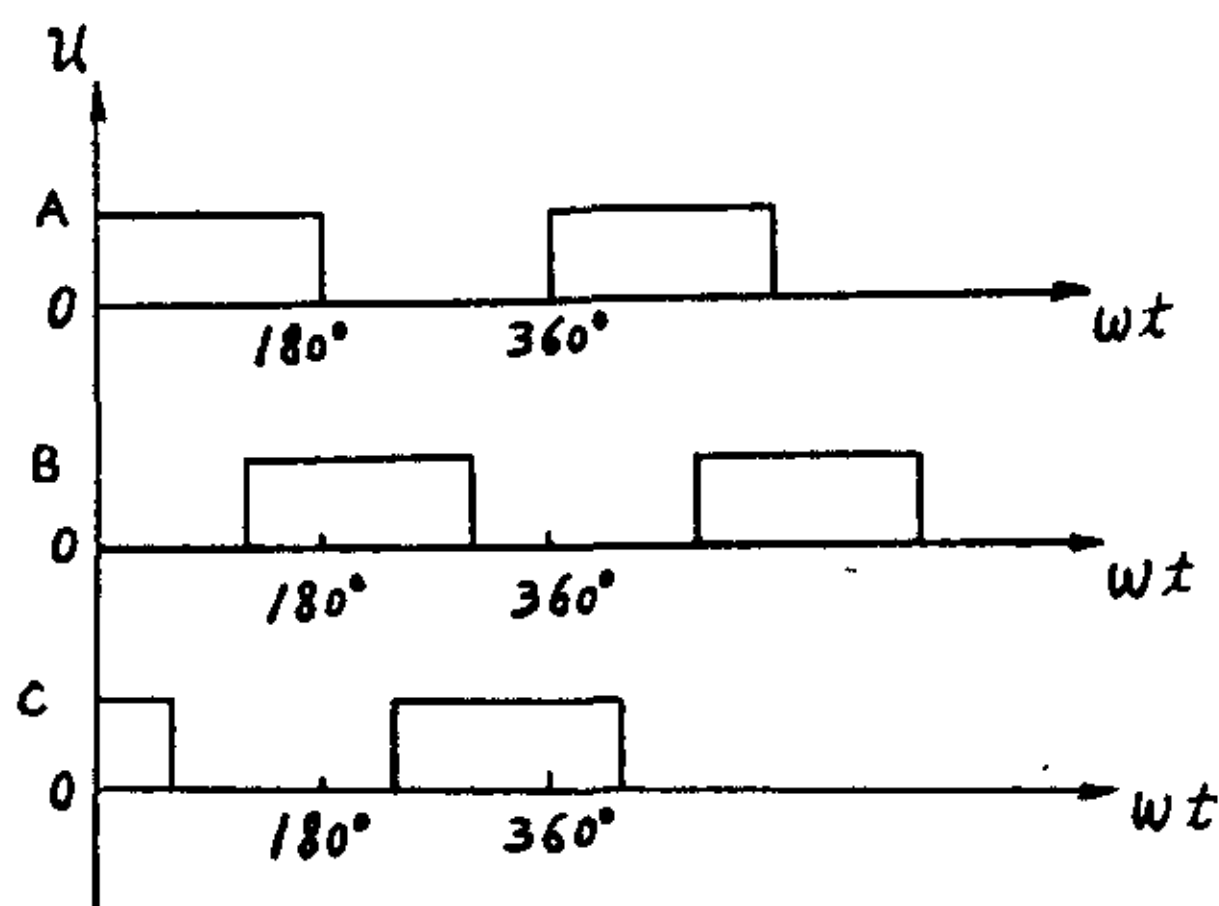


图 3-9

安装检测装置时,转盘凸凹部分应视控制系统的需要,调整它和转子磁极的相对空间位置,以便其输出信号能直接用来控制逆变器。这种检测装置无论是电动机停止,还是旋转,都能正确地检测其转子位置,触发逆变器不同桥臂上的两个晶闸管,因此,用不着初始定位。这种电磁式检测装置结构简单,工作较为可靠,所以应用也比较广泛。

3.5.2 转子位置检测和逆变桥控制脉冲的分配

负载换相同步电动机逆变器的触发脉冲信号是以转子位置为基础的。

我们知道,同步电动机电枢绕组空载反电动势的相位是和转子位置直接相关的。当转子磁极的轴线和绕组的轴线相重合时,绕组的反电动势为零;当转子转过一个 θ 空间电角度时,定子反电动势的相位也将发生相应的变化。假设此时 $\gamma_0=0^\circ$,即某相反电动势相位 θ 为 30° 时触发该相的晶闸管,使该相通入电流;这时磁极的轴线应该和该相绕组的轴线沿着转子旋转的方向相差一个 30° 空间电角度。图3-10a中所示是电机逆时针旋转时, $\gamma_0=0^\circ$ 情况下,A相晶闸管开始触发瞬间的转子位置图。这时,位置检测圆盘的缺口边缘恰好对准检测元件A,而A相绕组中反电动势的方向也如图所示。由图示可知,输入电流的方向应与反电动势方向相反,即应使晶闸管V1导通。根据此原理,从现在这个瞬间开始,每隔 60° 时间电角度,相应触发V2至V6。

位置检测器系统所产生的各输出信号如图3-10b所示。由于逆变器六个晶闸管所用触发信号是宽度为 120° 、互差 60° 电角度的脉冲信号,因此,对图3-10b中信号需进行逻辑变换,逻辑变换电路如图3-10d所示,DA1、DA2为两输入端与门,DN1、DN2为非门,由非门输出的信号 $\bar{A}$ 、 $\bar{B}$ 与信号A、B相差 180° 电角度,经与门DA1、DA2以后获得的信号 $A\bar{B}$ 和 $\bar{A}B$ 则为两个宽度为 120° 的电信号,它们在时间上相差 180° 电角度,如图3-10c所示。图中同时给出了B、C和C、A经过相应变换得到的 $B\bar{C}$ 、 $\bar{B}C$ 和 $C\bar{A}$ 、 $\bar{C}A$ 信号。

若 $\gamma_0=60^\circ$,则触发脉冲要相应地提前 60° 电角度,如在 $\gamma_0=0^\circ$ 时,信号 AB 送到晶闸管V1,则当 $\gamma_0=60^\circ$ 时,该信号应该送到晶闸管V2,依此类推,容易求得 $\gamma_0=60^\circ$

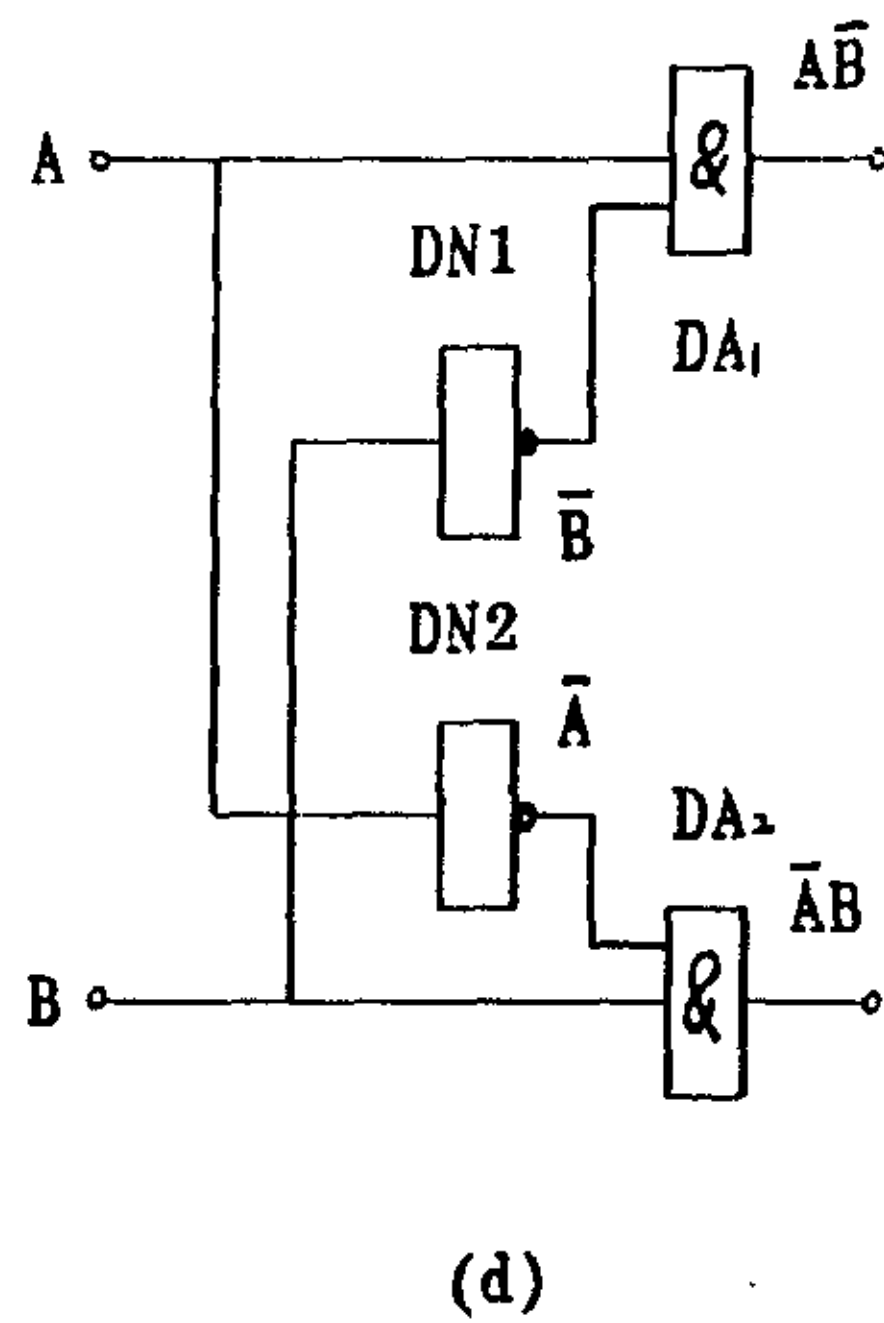
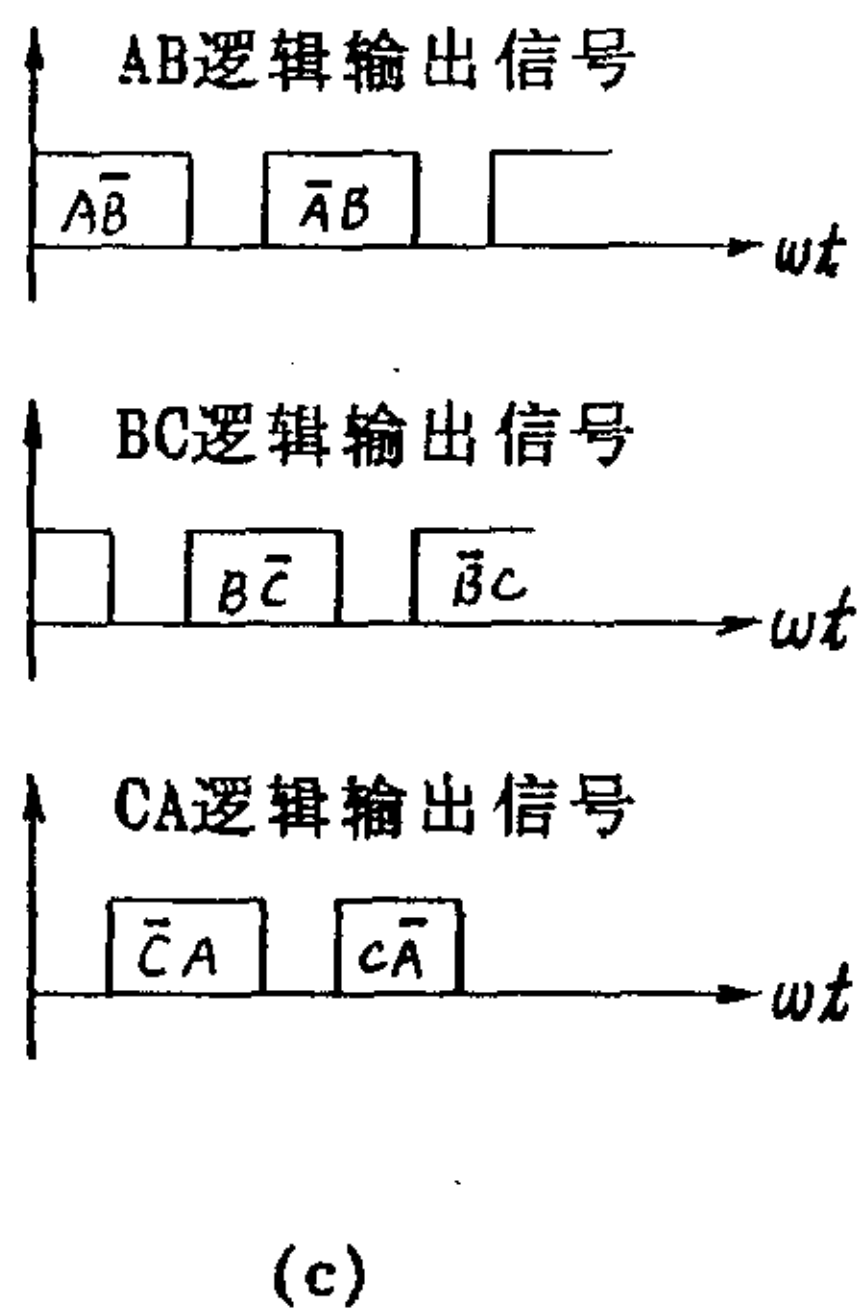
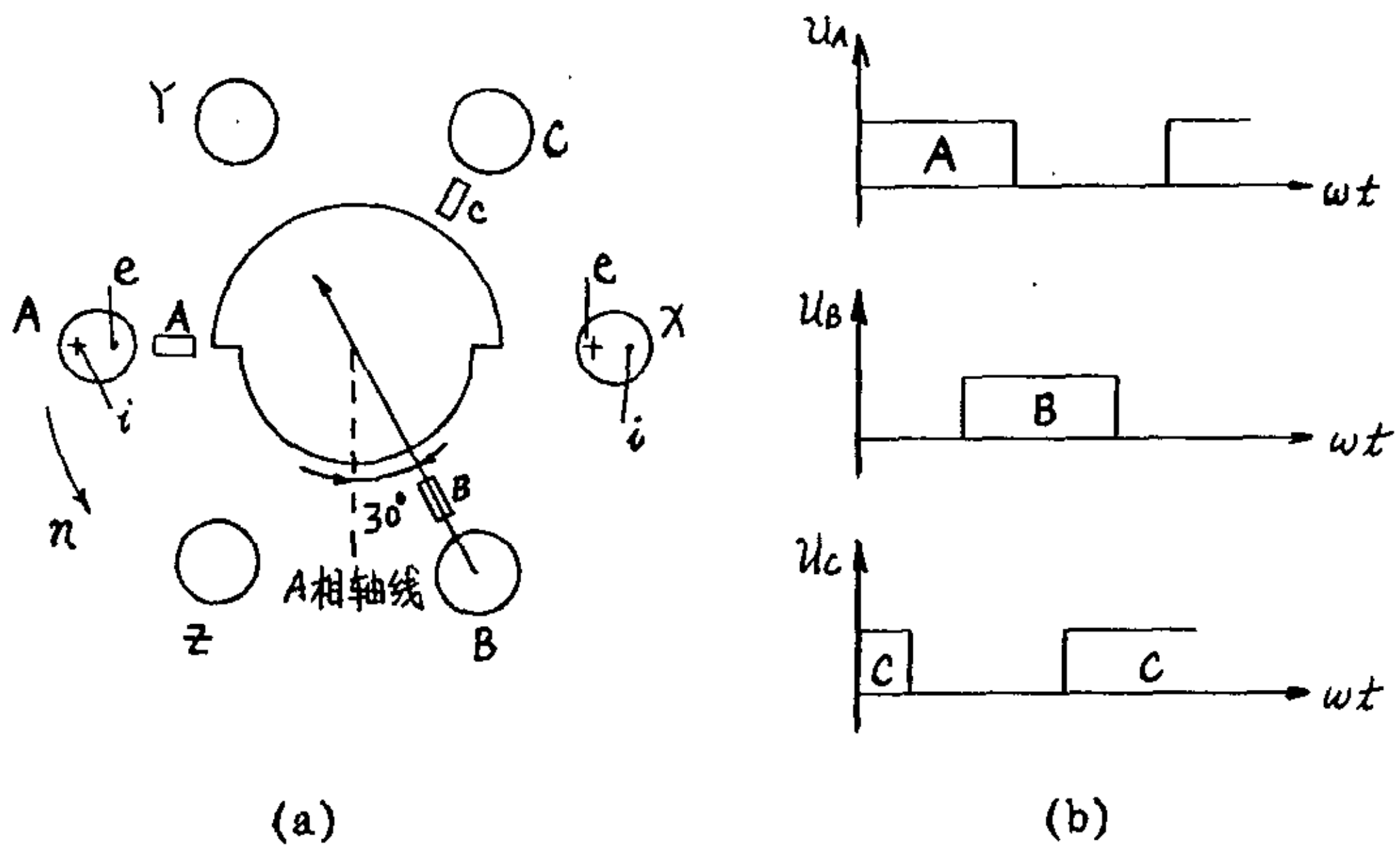


图 3-10

时各晶闸管触发信号。

表3-5-1列出了各晶闸管触发脉冲与转子位置检测信号的对应关系。

表3-5-1 各晶闸管的触发信号

晶 闸 管	V1(A)	V2(Z)	V3(B)	V4(X)	V5(C)	V6(Y)
$\gamma_0 = 0^\circ$	$A\bar{B}$	$\bar{C}A$	$B\bar{C}$	$\bar{A}B$	$C\bar{A}$	$\bar{B}C$
$\gamma_0 = 60^\circ$	$\bar{B}C$	$A\bar{B}$	$\bar{C}A$	$B\bar{C}$	$\bar{A}B$	$C\bar{A}$

第四章 4#风机变频软启动分析

4.1 4#风机变频软启动装置构成

4.1.1 4#风机变频软启动装置构成框图如图4-1所示。

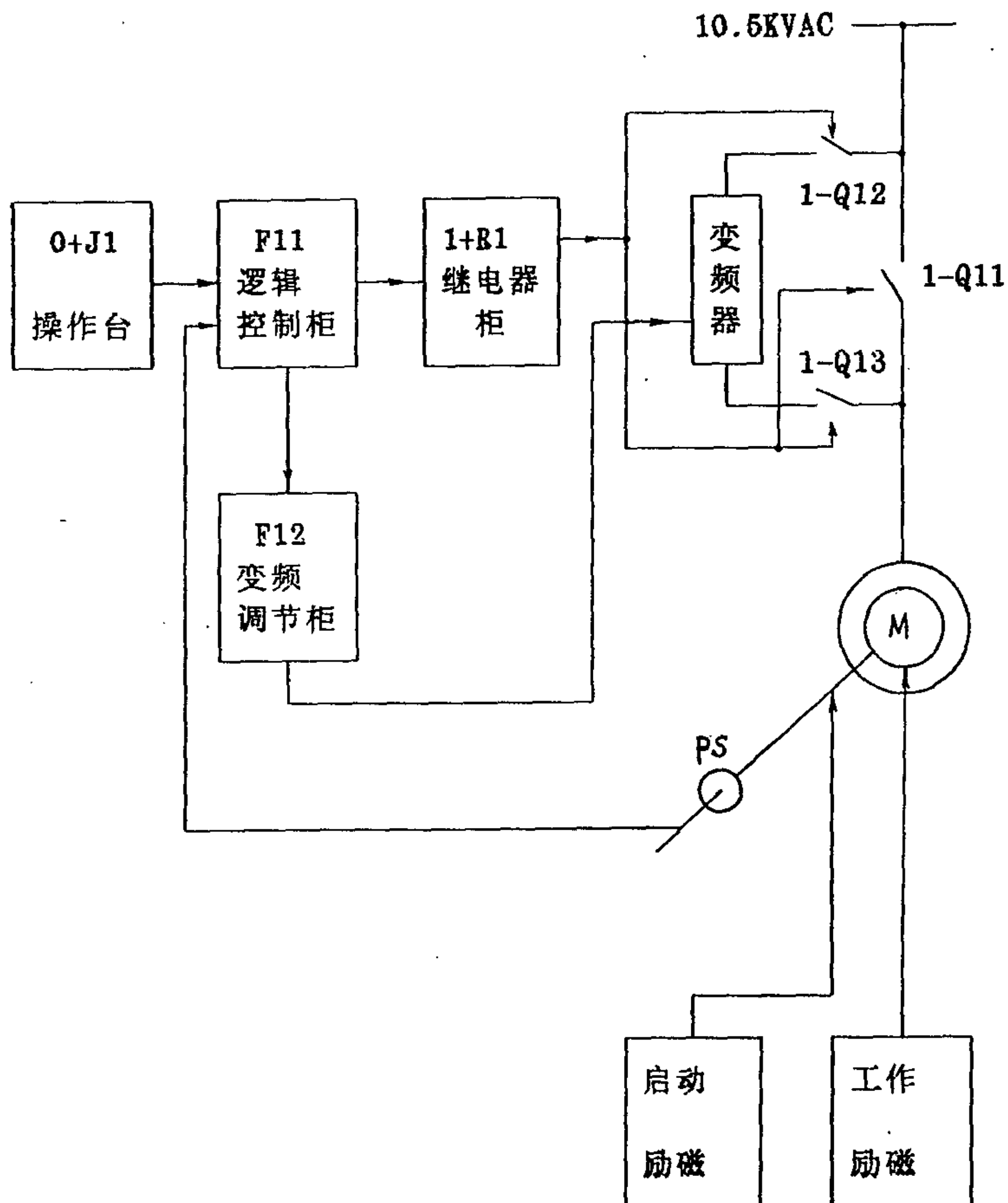


图 4-1

说明：

1、0+J1柜是主控台，安装有电机选择开关、启动按钮等，还安装有指示风机运行状态的主电路模拟屏。

2、F11柜是逻辑控制柜，其功能是对起车条件进行监控，按一定的逻辑完成启动过程的顺序控制。

3、F12柜是变频调整柜，是整个变频软启动装置控制系统的核心，它的功能是完成变频器整流桥电流调节、速度调节、逆变桥输出电流频率调节以及并网前整步微调 and 并网控制。正是由于F12柜作用，电机才能从静止启动，均匀加速至额定转速3000r/min。

4、1+R1柜是继电器柜，来自仪表控制系统、保护系统、变频控制系统的控制信号都经过此继电器柜中继放大进而控制各主体设备及辅助设备开关动作。

5、启动励磁，由F14~F18柜组成，它们的作用是在电动机从零转速启动至亚同步（95%额定转速）过程中给转子励磁。4#机的主电机励磁方式将在后面有关章节详细叙述。

6、工作励磁，即1+E1柜，又叫运行励磁，在电机启动至亚同步时投入。它的主要作用是在电机并网正常运行后给转子励磁。

7、ps是转子位置检测装置，它由三个位置检测探头和一个凸凹圆盘组成，型式如第三章3.5.1节所述。

8、变频器，由G1-1~G1-4柜、G3柜、平波电抗Ld组成，其中G1-1柜、G1-2柜为整流柜，G1-3柜、G1-4柜为逆变柜。为了改善变频器调速特性，减小转矩脉动，本系统采用多重化技术，整个系统由两套整流-逆变电路串联Ld组成，如图4-2所示。整流-逆变桥每一桥臂上由四个晶闸管（SCR）组成（两串两并），共有96个SCR。G3柜的功能是低频换相，由四个晶闸管（SCR）串联和低频换相控制电路组成。

9、1-Q11、1-Q12、1-Q13为高压开关。

4.1.2 4#机变频启动控制系统的构成

系统的基本构成与原理框图如图4-2所示。

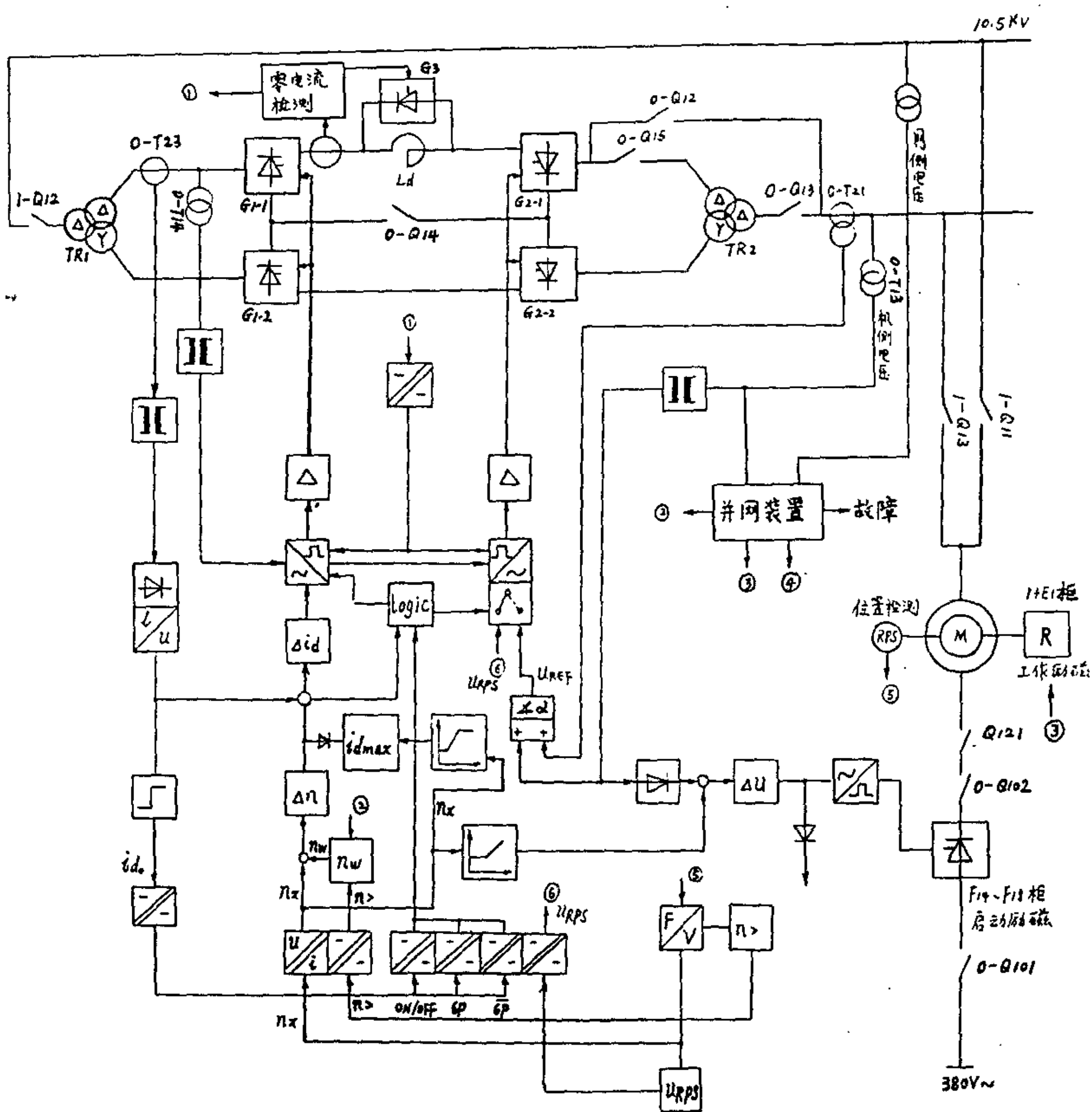


图4-2

由图4-2所示可以看到，系统主回路主要由变压器、同步电动机、转子位置检测器、直接串联式交-直-交电流型晶闸管变频器等组成。

由于同步电动机容量很大，并考虑到同步电动机定子绕组的特点、晶闸管容量的限制以及谐波对电网的影响等因素，所以系统的主回路采用两套交-直-交电流型变频器，组成12脉波的变频器。同步电动机在低频段(0~5Hz)低速运行时，逆变器采用电流断续换相，工作效率较低，对转矩脉动特性的要求也不是很高，且低速时负载较轻，可以适当减小工作电流。因此，在两套串联的变频器之间设置了一个切换开关0-Q14，它的功能是使变频器在6脉冲工作时能够短路另一套变频器，此时只有一套变频器运行。电机在低频段运行时，0-Q14合闸，变频器工作在6脉冲状态；当电机运行频率达到5Hz时，逻辑控制柜发出指令，断开0-Q14，投入另一套变频器，开始12脉冲工作，提高变频器输出功率，加速启动过程。通过变频变压器两个二次三相绕组的不同联结方式（一个为 Δ 联结，一个为Y联结），两套变频器输出波形相差 30° 电角度，叠加以后合成两级阶梯波，合成后的波形如图4-3所示。图中 i_{A1} 为第一套变频器输出到电机A相的电流波形， i_{A2} 为第二套变频器输出到电机A相的电流波形， i_A 为两套变频器输出叠加后电机A相的电流波形。采用这种多重化技术，使得电机三相绕组电流波形更接近正弦波，减小了转矩脉动，消除了变频器5、7、17、19等高次谐波，减小了大型电机启动时对电网的影响。

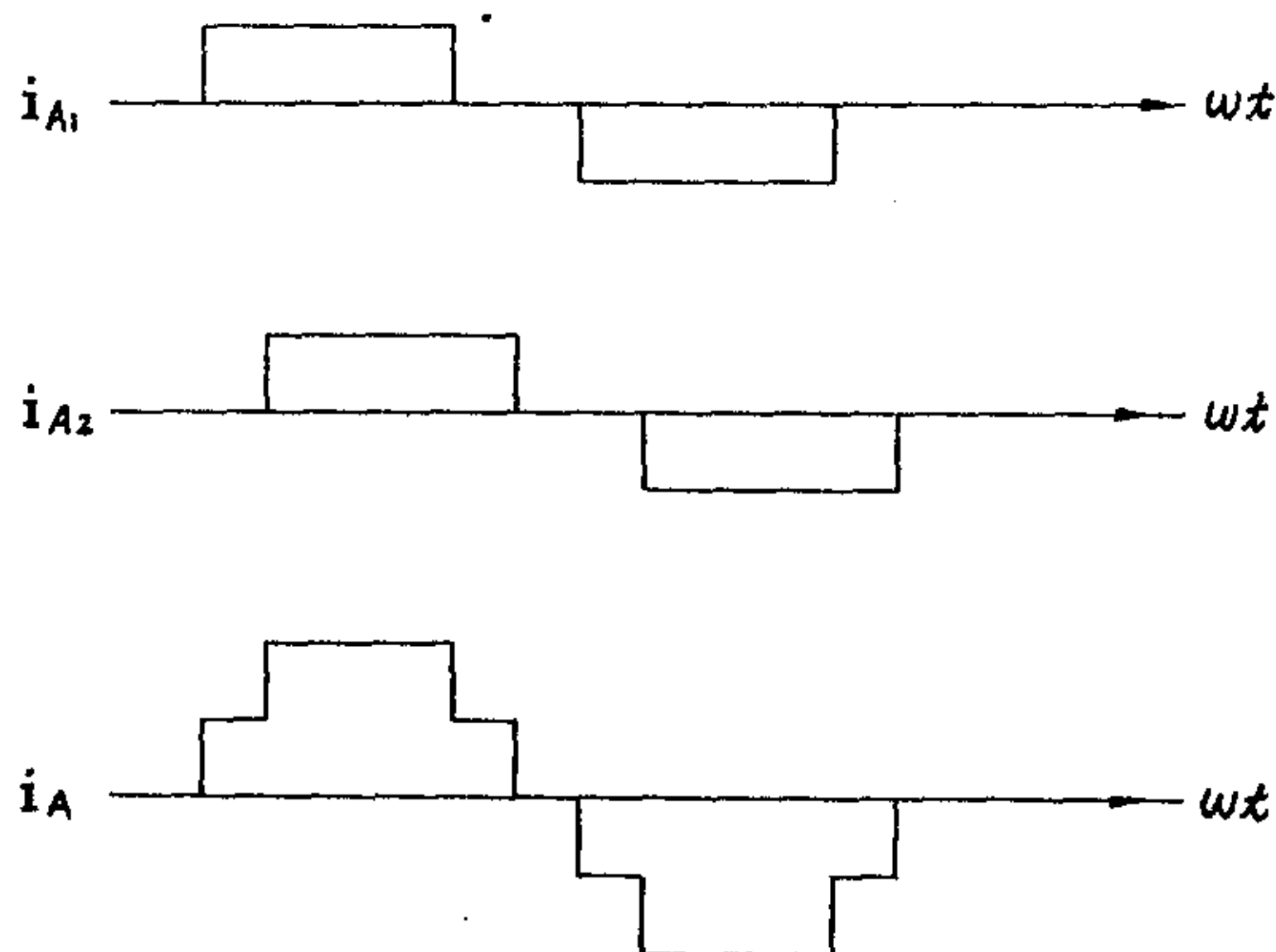


图 4-3

4#机变频软启动装置是典型的负载换相同步电动机调速系统，其调速原理已在第二章中详细介绍过。

4#机变频调速控制系统可分为整流侧调速控制系统和逆变侧调频控制系统。另外，系统还包括整步微调 and 并网控制装置。由图4-2可以看到，调速系统是由一个电流环和一个速度环组成的负反馈双闭环调节系统。 n_x 是由转子位置检测器检测回来的信号经转换而得到的转子实际速度， n_x 经变换后成为标准信号； $n_x + \delta$ 后得到 $n^>$ ， $n^>$ 经变换后变成新的速度给定信号 n_w ， $\Delta n = n_w - n_x$ ， Δn 经变换为 ΔI 去控制速度环。这一电流控制量再与电流环反馈电流的实际值相比较，差值为 Δi_d ，去调节整流器的 α 角，从而调节整流器的输出电流 I_d ，从而达到控制转速的目的。逆变器的换相触发则分两步，低速时（0~5HZ）由位置检测信号经变换后得到的参考电压 U_{REF} 控制脉冲发生器，进而控制逆变器的触发；高速时（>5HZ）时由电机侧电压信号经变换后得到的参考电压 U_{REF} 控制脉冲发生器，进而控制逆变器的触发。逆变器换相频率由转子转速决定。这一调节的全过程应是逆变器换相频率不断上升，逐渐接近50HZ；转子不断加速，逐渐接近额定转速3000rpm。

4.1.8 4#机变频启动过程

4#机启动过程示意图如图4-4所示。从启动指令发出到启动完毕同步并网，经历了启动加速、“断续-负载换相”切换、逆变器触发控制方式切换、整步微调和同步并网等几个阶段。

一、启动加速阶段

启动之前首先确认起车条件，主要包括动力油压、润滑油压等工艺参数是否正常，高压开关位置状态是否合适，励磁机电刷是否提起到位，电机选择开关是否在正确位置等。起车条件具备后，开顶轴油泵，启动盘车电机（异步电动机，18.5KW，960rpm），通过减速齿轮箱盘车至主电机额定转速的2%（约60rpm）。按下起车按钮发出启动指令后，先投入转子励磁，然后合上变频器的输入、输出开关，使其投入运行，开始启动。

启动之初，电机转速较低，逆变器采用电流断续换相

换相，具体做法如 3.4.2.2 节所述。4#机由 G3 柜来完成此项工作。由于快速性的要求，平波电抗器 L_d 两端并联有续流晶闸管。本系统中续流晶闸管由 G3 柜中四个串联晶闸管组成。

同步电动机加速到额定转速的 10%，逆变器输出电流

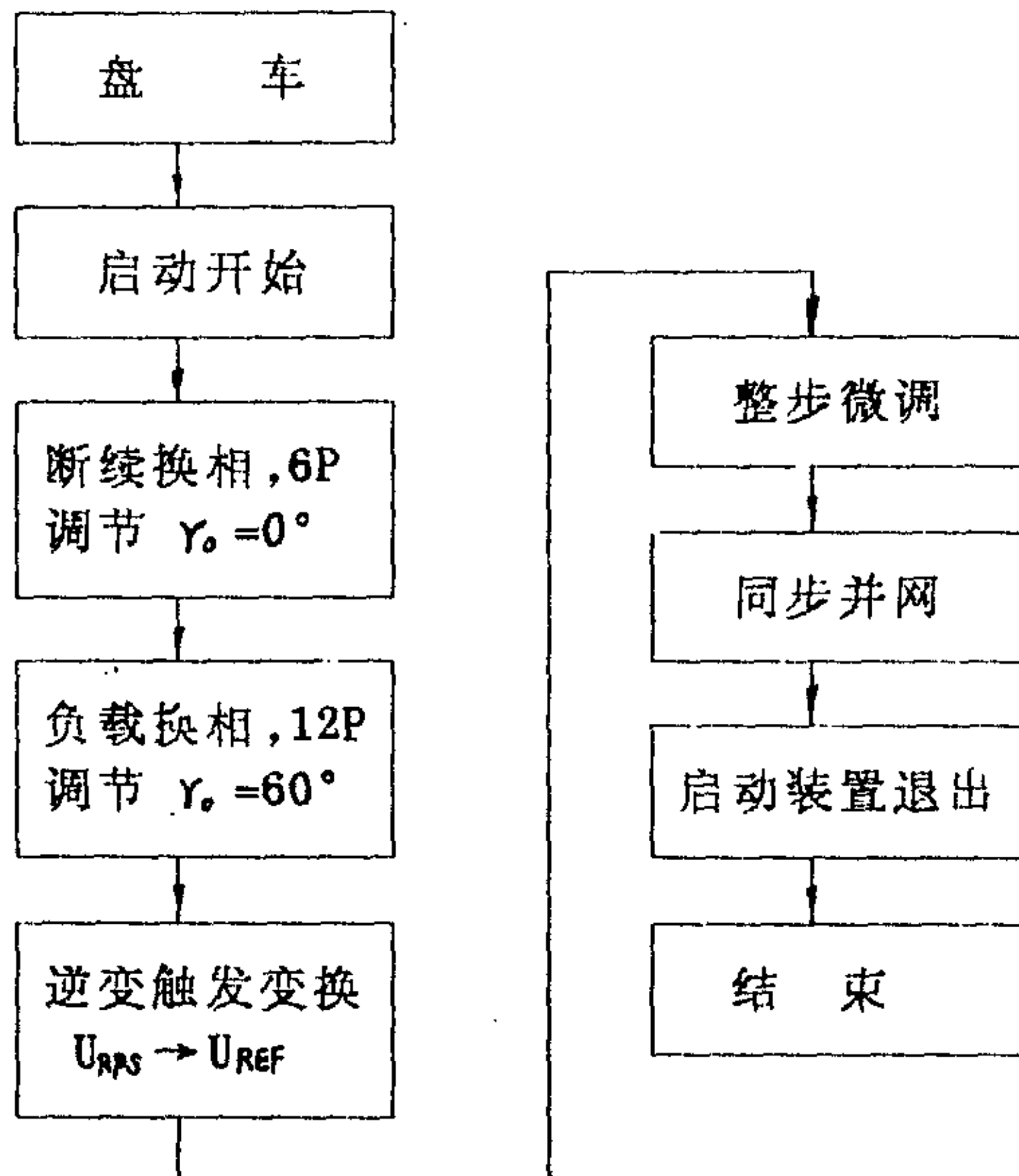


图 4-4 启动过程

频率为 5Hz 时，电机定子产生的反电动势足够大，这时逆变器转入负载反电动势换相，完成了换相方式的转换。

电机不断加速，至额定转速的 90%~97%（实际整定为 95%，称亚同步状态）时，系统进入整步微调阶段。

二、自动整步微调控制阶段

进入本阶段后，并网装置（Paralleling Device，又称同步装置，平行装置）开始启动投入工作。并网装置根据电网电压和同步电动机的端电压两者频率上的差值 Δf ，

产生一个附加的转速微调信号，自动地调整整流器的输出直流电压的高低，对同步电机转速做微调，以使两者的频率差值减小到零；与此同时，励磁系统则由自动电压平衡单元控制同步电动机的转子励磁电流，以使同步电动机端电压和电网电压平衡。

三、并网控制阶段

通过对同步电动机端电压的幅值、频率的微调，同步电动机定子端电压和电网电压之差值达到下述指标时： $\Delta f < 1/4\text{Hz}$ ， $\Delta U < 5\% U_n$ ， $\Delta S_y \approx 0^\circ$ （ ΔS_y 为相位差），并网条件即告成立。

这时，并网装置发出并网命令，合上同步电动机的并网开关（1-Q11），电动机便并入电网运行。同时变频器的网侧和机侧开关（1-Q12和1-Q13）分开，变频启动装置退出，起动全过程结束。

从静止启动到完成并网历时约4分钟。

4.1.4 4#机变频启动过程的参数变化

4#机变频启动过程的参数变化如图4-5所示。

一、主机电压和速度的变化

变频启动对电机的频率变化在0~50Hz间进行，启动过程中必须遵循保持 $\Phi = \text{CONSTANT}$ 的原则，即在 f 调节的过程中，不断改变电压 u ，即同时调节 u/f 压频比，所以启动过程中 f 、 u 的变化是同步的。本系统中，由于低频时变压器的特性不好，因此，在0~5Hz过程中，变频启动装置的0-Q12开关闭合，0-Q15开关断开；5Hz时，变频器转入负载换相，投入12脉冲，这时0-Q12断开，0-Q15闭合，机侧变压器同时投入，因此，电压曲线在5Hz时有一个阶跃。

二、主机电流的变化

由0~50Hz变频调速，调节 u/f ，应为恒转速调速，但其不断加速过程靠不断增加电磁转矩的方式来实现，因电机电流是不断增加的过程。本系统因是空载启动（静叶角

度=14° 时认为是风机空载)，所以电流至并网时大约为额定值的50%~60% (I_d 额定值为2393A)。

三、励磁电流的变化

由资料给出的曲线看，启动过程中励磁电流是不断上升的斜线。但实际观察，启动过程中励磁电流是不变的。在0→95% n_N ，是加入的启动励磁，在95% n_N 时切入工作励磁（励磁电流稍有下降），励磁一直是平稳的，大约为70% I_f ($I_f=981A$)。

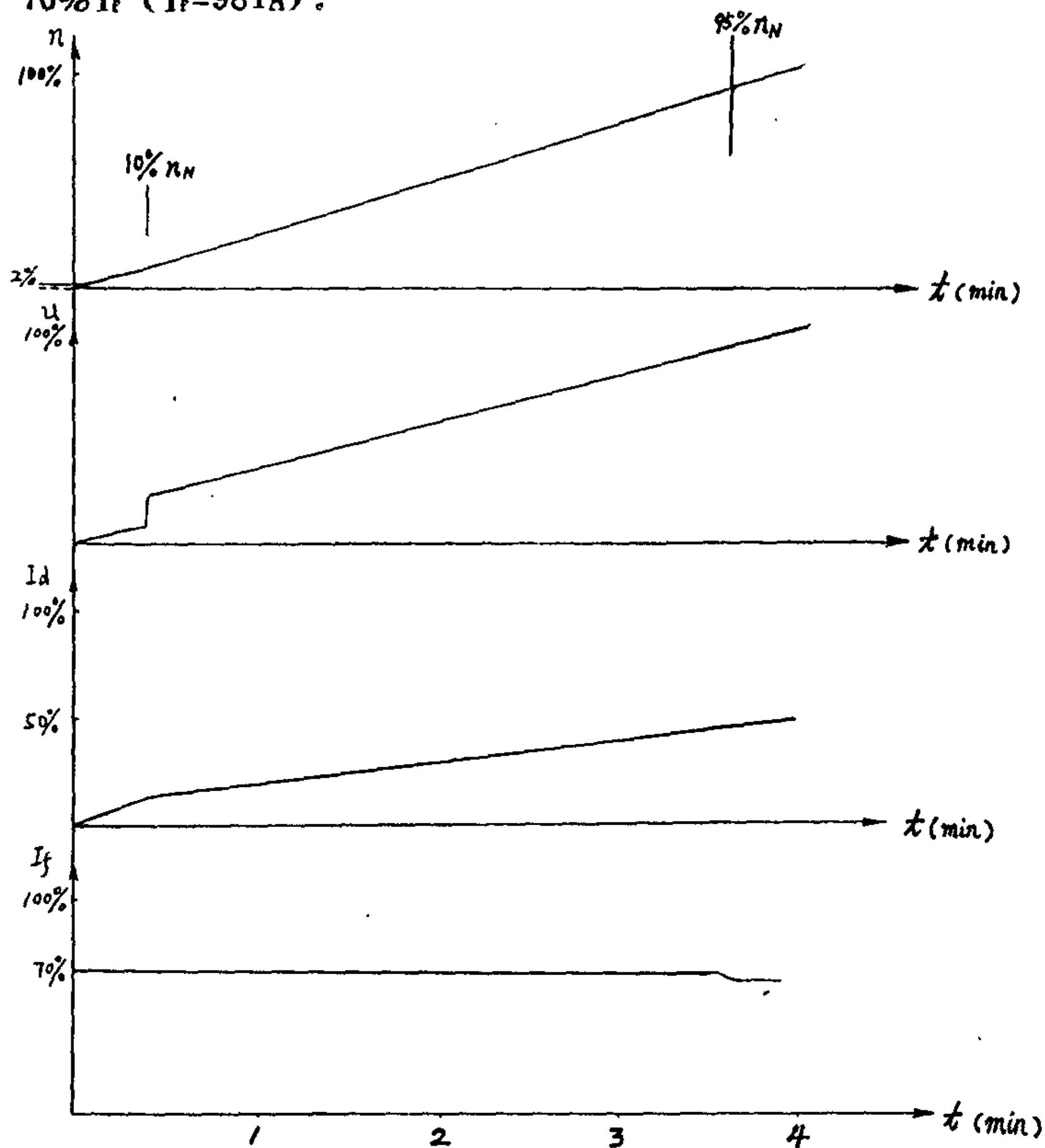


图 4-5

4.2 4#机变频启动控制逻辑

4.2.1 4#机的启动条件

因风机系统比较庞大,对启动条件的要求也比较复杂,综合起来,可分为以下几个方面:

一、条件 I:

1、开机前将0+J1操作台上的电机选择开关(0-S401)置于1#机位置(本启动系统设计可启动两套风机),其接点3、4点闭合, F11柜中的A1组K0继电器吸合, K0继电器上的发光二极管亮,其开点闭合,发出高电平信号至控制板。

2、1+B2柜内1-Q14接地刀闸处于打开位置,其辅助点(11, 12)闭合, F11柜中的A4组K3继电器吸合, K3继电器上的发光二极管亮,其开点闭合,发出高电平信号至控制板。

3、励磁机电刷到位,位于上极限位置,装置内EA极限开关点(0, 2)闭合,使1+R1柜中K128继电器得电,其常开接点(6, 7)闭合。电机选择开关0-S401置于1#机位置,其接点(13, 14)闭合,使1+R1柜中K151继电器得电,其常开点(9, 10)闭合。K128继电器接点(6, 7)与K151继电器接点(9, 10)串联,通过0+R1柜送至F11柜中, F11柜中A1组K8继电器得电, K8继电器发光二极管亮,其开点闭合,发出高电平信号至控制板。

4、F14柜中0-Q101启动励磁开关闭合时,其辅助点(43, 44)闭合,使F11柜中B1组K3继电器线圈得电, K3继电器发光二极管亮,其常开点闭合,发出高电平信号至控制板。

5、F17柜中0-Q121启动励磁开关闭合时,其辅助点1闭合,使F11柜中B1组K7继电器线圈得电, K7继电器发光二极管亮,其常闭点打开,发出低电平信号至控制板。

6、F17柜中0-Q121启动励磁开关跳开,其辅助点2闭

合，使F11柜中B1组K8继电器线圈得电，K8继电器发光二极管亮，其常闭点打开，发出低电平信号至控制板。

7、启动辅助设备：按下0+J1柜中0-S403开关，其接点（e，c）闭合，使F11柜中A1组K2继电器线圈得电，K2继电器发光二极管亮，其常开点闭合，发出高电平信号至控制板，其作用如下：

a.经控制板使F11柜中C3组K0继电器线圈得电，K0继电器发光二极管亮，其常开点闭合，常闭点打开，0-H407灯亮，0-H408灯灭。

b.经控制板使F11柜中C2组K9继电器线圈得电，K9继电器发光二极管亮，其常开点闭合使变频启动装置可控硅的四台冷却风扇接触器K1~K4顺序吸合，风扇启动。

c.经控制板使F11柜中C5组K0继电器线圈得电，K0继电器发光二极管亮，其常开点闭合与F11柜中C5组K1继电器常闭点串联，使F14柜中Q101接触器得电吸合。

8、停辅助设备条件：

a.励磁机电刷位置在上升极限处，电机选择开关在1#机位置，使F11柜中A1组K8继电器吸合。

b.按下0+J1柜中0-S404开关，其接点（c，e）闭合，使F11柜中A1组K3继电器得电，发光二极管亮，并发出高电平信号。

以上a、b条件同时成立后相与经控制板产生结果如下：

①、使0-H407灯灭，0-H408灯亮。

②、经控制板使F11柜中C2组K9继电器失电，而顺序停下1~4#冷却风机。

③、经控制板使F11柜中C5组K1继电器失电，打开0-Q101接触器。

9、综合故障条件，其主要内容如下：

①、F11~F19柜中变频调节、逻辑控制、启动励磁、启动保护、变频直流110V、交流380V配电装置无故障。

②、整流逆变可控硅完好、可控硅冷却风机无故障。

③、变频变压器油位、油温、瓦斯正常等。

以上条件均满足，则F11柜上H4灯灭。

1~9条件均满足，则条件I具备，变频器准备条件

满足，F11柜上H4灯灭，F11柜中C1组K0继电器吸合，其常开点闭合，与启动条件Ⅰ的结果相串联后具备起车条件。

二、条件Ⅰ：

（一）、风机工艺条件：

1、润滑油压 $>0.06\text{MPa}$ 时：继电器01.d4线圈得电，其常开点闭合（01.d4继电器由仪表控制系统控制）。

2、动力油压 $>9\text{MPa}$ 时：继电器01.d5线圈得电，其常开点闭合（01.d5继电器由仪表控制系统控制）。

3、润滑油温 $<20^{\circ}\text{C}$ 时：继电器01.d6线圈得电，其常开点打开，正常状态下闭合（01.d6继电器由仪表控制系统控制）。

4、静叶在闭合状态（即 14° 角），1+C2柜内01.CL2点闭合。

5、放风门处于全开位置，此时1+C2柜内01.CL1点闭合。

以上五个条件都成立，则五个点串联与01.d1继电器线圈形成闭合回路，使01.d1继电器得电闭合，此时起车的五个工艺条件全部成立。

（二）、高压开关状态条件：

1、直流110V电源送电，0+D1柜内Q11开关和Q12开关（正常供电两路开关均合好）合闸。Q11开关合闸，其辅助点（13，14）闭合，K11继电器得电，其常开点（1，3）闭合，H102灯亮；Q12开关合闸，其辅助点（13，14）闭合，K12继电器得电，其常开点（1，3）闭合，H103灯亮；K11、K12两继电器的常开点并联。

2、1+V3柜的1-Q11小车推入，d、c点闭合，1+R1柜中的K114继电器线圈得电，其常开点闭合。

3、1+V3柜的1-Q11开关处于断开位置，其辅助点b5闭合，使1+R1柜中K111继电器得电，其常开点（6，7）闭合。

4、1+B1柜中的1-Q13小车推入，d、c点闭合，1+R1柜中的K118继电器线圈得电，其常开点（6，7）闭合。

5、1+B1柜中的1-Q13开关处于断开位置，其辅助点（11，12）闭合，使1+R1柜中的K115继电器线圈得电，其常开点（6，7）闭合。

6、1+B2柜中的1-Q14开关处于断开位置，其辅助点（5，6）闭合，使1+R1柜中的K123继电器线圈得电，其常开点（6，7）闭合。

7、1+V3柜内空气开关Q102合闸，其辅助点（13，14）闭合，1+R1柜中的K102继电器线圈得电，其常开点（1，3）闭合。

8、1+S星点柜内1-Q15开关驱动电机正常状态下，热继电器EC1不动作时，95、98点处于断开状态，使1+R1柜中的K108继电器线圈不得电，其常闭点（1，4）闭合。

（三）、综合：

1、高压开关状态和风机工艺条件都具备后，1+R1柜内K109继电器得电，其常开点（1，3）闭合。

2、条件I具备后，F11柜内C1组K0继电器线圈得电。

3、电机选择开关0-S401置于1-M1位置上，其9、10点闭合。

4、按下启动按钮1-S301，其（C，E）点闭合，和F11柜中C1组K0继电器常开点（011，014）、电机选择开关0-S401（9，10）点及K109继电器（1，3）点相串联形成回路，使F11柜内A1组K4继电器线圈得电，其发光二极管亮，送出高电平信号至步控一。此时启动条件全部就绪，

开始起车。

4.2.2 启动过程走步逻辑分解

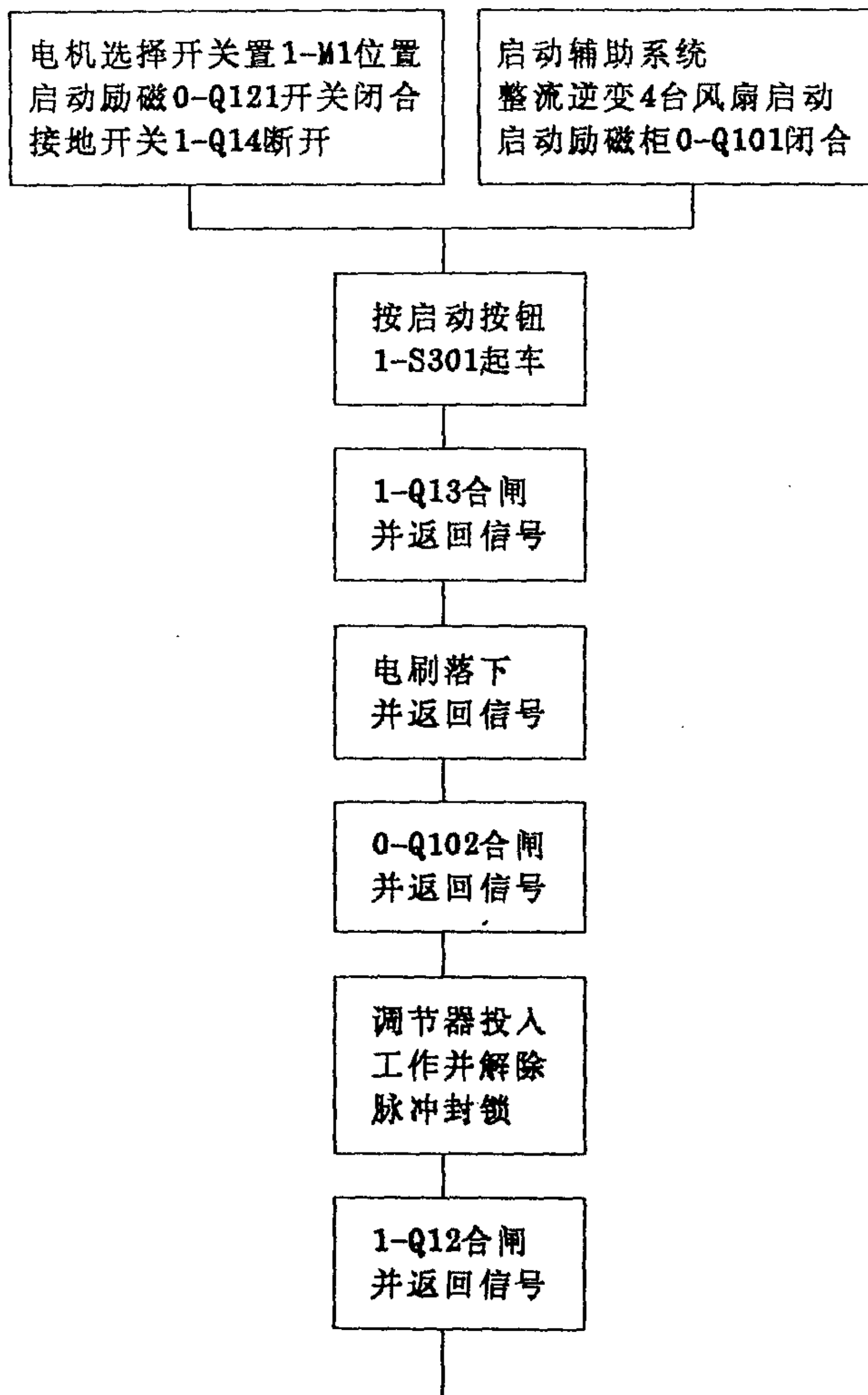
本系统是由电子模拟插件板构成的顺序逻辑控制系统。根据启动过程中的逻辑可分为起车14步，停车7步。通过F11柜面板上的指示灯DB02~DB04可显示启动过程的每一个步骤。

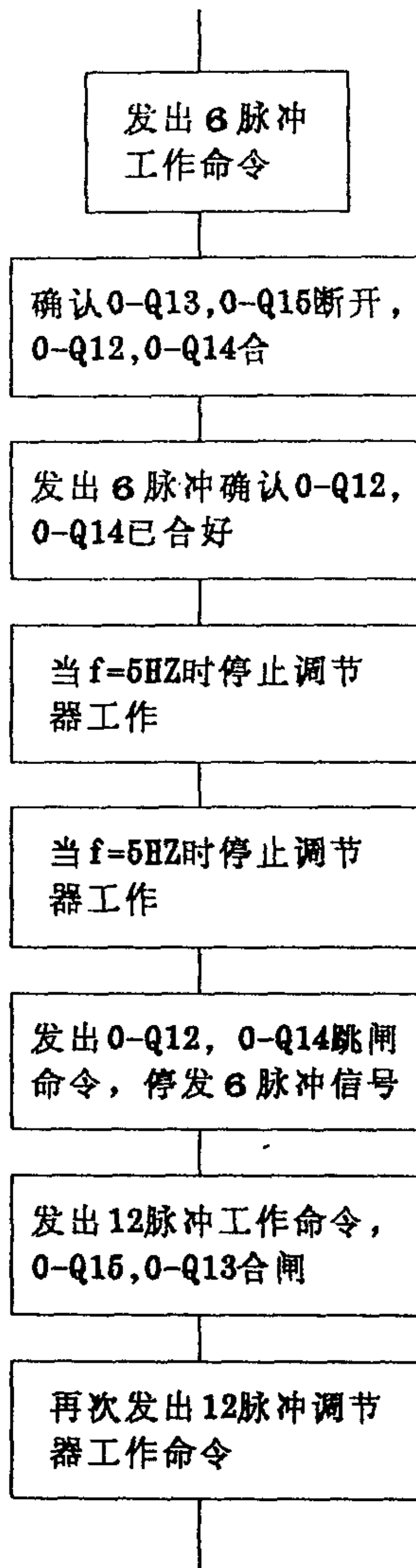
DB02	DB03	DB04
1 0	8 0	1 0
2 0	9 0	2 0
4 0	11 0	4 0

DB02、DB03、DB04为三块显示板(每块三个灯)，采用二、八译码，分别显示起车1~7步、8~14步，停车1~7步的走步状态。

4.2.2.1 起车步控

起车步控流程图如下：





当 $f=47.5\text{HZ}$ 时主励磁
投入运行

停止启动励磁，同步并网合 1-Q11, 断
1-Q12, 断 1-Q13, 断 0-Q13, 断 0-Q15, 断
0-Q102 开关，电刷提起，启动过程结束

起车步控一：

1、作用目的：1-Q13合闸

1-Q13合闸命令逻辑式：

$1-Q13\ ON = (\text{启动条件 I}) * (\text{启动条件 I}) * IM\text{非} * (1-Q14\text{断开}) * (1-Q13\text{小车推入})$

2、1+B2柜的1-Q14断开，其辅助点15、16点断开使F11柜中A4组K2继电器线圈不得电，其常开点断开送出低电平信号去（OSL 18/01）。

3、1+B1柜的1-Q13开关小车推入，其接点P1、P2点闭合，F11柜中A3组K6继电器线圈得电，其常开点闭合送出高电平信号去（OSL 18/01）。

4、启动条件 I 自F11柜（OSL 17/02）来信号说明条件 I 已具备。

5、启动条件 I 自F11柜（OSL 11/01）来信号说明条件 I 已具备。

6、1+V3柜的1-T22电流互感器送电流信号至F11柜插件板（OSL 13/01），经变换后送出IM非信号。

7、结果：

①、以上六条件满足后，F11柜控制板发出信号，使F11柜C4组K6继电器吸合，其常开点闭合。

②、F11柜C4组K6继电器的611、624点和1-Q14开关的13、14辅助点相串联形成回路，使1+B1柜中1-Q13开关的合闸线圈得电，1-Q13闭合。

起车步控二：

1、作用目的：电刷落下

逻辑式 = 1-Q13开关合好（返回信号）

2、1-Q13合闸，其辅助点5、6闭合使F11柜中A3组K4继电器吸合，其常开点闭合送出高电平信号，发光二极管亮，经控制板使F11柜内C1组K8继电器吸合。

3、0-S401电机选择M1后，K151的5、6点闭合。F101为提刷电机热继电器，正常状态下95、96点闭合。K126为提刷上升接触器，当启动条件 I 具备时K126不得电，其常闭点1、2为闭合状态。

4、K151的5、6点，F101的95、96点，K126的1、2点，F11柜C1组K8继电器的811、814点串联形成回路使K125线圈得电，电刷下降（K125为落刷接触器）。

起车步控三：

1、作用目的：启动励磁系统总电源开关0-Q102合闸
其逻辑式：

$0-Q102\text{合闸} = (0-S401) \cdot \text{电刷下限}$

2、电刷下极限开关EZ闭合使1+R1柜K127继电器线圈得电，其常开点6、7闭合。

3、电机选择开关0-S401选择好，其13、14点闭合，使1+R1柜中K151继电器线圈得电，其常开点7、8闭合。

4、K127的6、7点与K151的7、8点串联形成回路，使F11柜中A1组K7继电器线圈得电，其常开点闭合发出高电平信号，经控制板后使F11柜C5组K2继电器线圈得电，其常开点211、224闭合。

5、C5组K2继电器211、224点与C5组K3继电器常闭点311、312串联，使F17柜0-Q102开关TPA线圈得电，0-Q102合闸。

起车步控四：

1、作用目的：启动励磁系统投励
其逻辑式：

$ERG\text{非} = (0-Q102)\text{合好闸}(\text{返回信号})$

2、Q102开关合闸后常开点103、104闭合，F11柜B1组K5继电器线圈得电送出Q102闭合信号，同时启动励磁P201、P202断电，启动励磁解除封锁，开始投入。

起车步控五：

1、作用目的：1-Q12合闸

2、1-Q12开关小车在开机前已推入，1+V2柜内K2继电器得电，其辅助点11、14闭合，使F11柜内A2组K2继电器得电，其常开点闭合，发出高电平信号。

3、1-Q14接地刀闸在开机前就已断开，其辅助接点15、16点断开，F11柜内A4组K2继电器不得电，其常开点发出低电平信号。

4、1-M1电机选择好。

5、步控四来信号，解除启动励磁封锁。

6、以上各条件同时具备，经控制板使F11柜中C4组

K0继电器线圈得电，其常开点(011,024)闭合，接通1+V2柜1-Q12开关S3合闸线圈，1-Q12开关合闸。

起车步控六：

1、作用目的：发出6脉冲工作命令

逻辑式：

$6PON = (f < 5Hz) \cdot (U_{maf} < \text{设定值}) \cdot (1-Q12 \text{已合闸})$

步控六分为三个部分：电压检测分配部分、频率检测分配部分和1-Q12合闸信号部分。

2、1-Q12合闸后，其常开点b5闭合，使F11柜内A2组K0继电器得电，其常开点闭合，发出高电平信号。

3、通过0-T13电压互感器检测电机电压，通过控制板变换信号。电压分为两路， $U < \text{某值}$ 触发6脉冲， $U > \text{某值}$ 触发12脉冲。

4、转速通过检测、分配控制电路分为两路， $f < 5Hz$ 触发6脉冲。

以上三个信号都为与的关系。

起车步控七：

1、作用目的：0-Q12及0-Q14合闸，把6脉冲送调节器及保护系统。

逻辑式：

$0-Q14 \text{ ON} = 6PON$

$6P \text{到保护系统} = 6PON$

$6P \text{到调节系统} = 6PON$

$0-Q12 \text{ ON} = (0-Q13 \text{断}) \cdot (0-Q15 \text{断}) \cdot 6PON$

2、0-Q13断开时，其常闭辅助点2、8闭合，使F11柜内A3组K1继电器得电，发出高电平信号。

3、0-Q15断开时，其辅助点11、12断开，F11柜内A5组K9继电器失电，其常闭点发出高电平信号。

4、A3组K1继电器与A5组K9继电器所发信号，经控制板后使F11柜C5组K4继电器得电，其常开点411、424闭合与0-Q13常闭点串联，使F13柜0-Q12开关K5合闸线圈得电，0-Q12合闸。

5、A3组K1继电器与A5组K9继电器所发信号，经控制板后使F11柜C5组K6继电器得电，其常开点611、624闭合，

使F13柜0-Q14开关K7合闸线圈得电，0-Q14合闸。

起车步控八：

1、作用目的：发出调节器6脉冲调节工作命令，开始6脉冲调节（电机开始通电运行）

逻辑式：

调节器开始工作=(0-Q12已合闸).(0-Q14已合闸)

0+B2柜中0-Q12开关合闸，其辅助点B2（常闭点）打开，使F11柜中A2组K8继电器断电，其常闭点闭合，发出高电平信号。0-Q14刀闸闭合，其辅助点31、32打开，使F11柜中A5组K0继电器断电，其常闭点发出高电平信号，两信号到控制板使调节器开始工作。另有一路步控12输出信号也可使调节器开始工作。

起车步控九：

1、作用目的：当 $f=5\text{HZ}$ 或手动停机及ES OFF都可停止调节器工作。

逻辑式：

调节器停止工作= $(f=5\text{HZ})+($ 手动停0-S402 $)+($ ES OFF $)$

注：ES OFF为变频综合故障（见启动条件I⑨）

2、手动停（0-S402）闭合使F11柜中A1组K1继电器得电，其常开点闭合发出高电平信号。

3、当 $f=5\text{HZ}$ 经控制板使调节器（6脉冲）停止工作。

4、ES OFF事故信号经控制板使调节器停止工作，以上1、2、3项为或的关系。

起车步控十：

1、作用目的：发出0-Q12、0-Q14跳闸命令，结束6脉冲工作。

逻辑式：0-Q12 OFF= $(Id=0)$

0-Q14 OFF= $(Id=0)$

6P OFF= $(Id=0)$

调节器输出信号控制步控器发六脉冲停止信号，使F11柜C5组K5继电器得电，其常开点闭合，0-Q12跳闸回路得电动作，同时又使C5组K7继电器得电，其常开点闭合，令0-Q14跳闸回路得电动作跳闸。

起车步控十一：

- 1、作用目的：①、发出12脉冲工作命令
②、0-Q15合闸
③、0-Q13合闸

逻辑式：

12脉冲工作命令=(0-Q12已断开并返回信号).(0-Q14已断开并返回命令)

0-Q15合闸=(0-Q12已断开).(0-Q14已断开)

0-Q13合闸=(0-Q12已断开).(0-Q14已断开).(0-Q13小车推入)

动作过程：0-Q12断开，其常开辅助点b1打开，使F11柜A2组K9继电器断开，其常闭点闭合，发出高电平信号。0-Q14跳闸，其常开点11、12打开使F11柜A5组K1继电器断电，其常闭点闭合发出高电平信号。以上两个高电平信号通过控制板使F11柜C4组K4继电器得电，其常开点闭合，接通0-Q13(0+B1柜)合闸线圈回路，使0-Q13合闸，另外也使F11柜C5组K8继电器得电，其常开点闭合，接通0-Q15(G2柜)合闸回路，使其合闸。0-Q13开关(0+B1柜)小车推入，辅助点(P1, P2)闭合使F11柜A3组K2继电器得电，其常开点闭合，发出高电平信号，与前边两个高电平信号相与后通过控制板使12脉冲调节器投入。

起车步控十二：

- 1、作用目的：12脉冲调节器工作

0-Q13合好闸后，其辅助点5、6接通，A3组K0继电器线圈得电，其常开点发出高电平信号，0-Q15合好后，其常开点31、32断开，A5组K8继电器线圈失电，其常闭点闭合发出高电平信号，使插件板发出12脉冲调节器工作命令，12脉冲调节器进行中间调节过程。

起车步控十三：

- 1、作用目的：当 $f=47.5\text{HZ}$ 时投入工作励磁

逻辑式= $(1-M1已选上) \cdot (f=47.5\text{HZ})$

- 2、当频率达到 $f=47.5\text{HZ}$ 时，经控制板使F11柜的C1组K7继电器得电，其常开点711、714闭合。

- 3、当0-S401电机选择开关选好1-M1，0-S401开关的13、14点闭合，使1+R1柜中K151继电器线圈得电，其常开点11、12闭合。

4、当上述两项条件都具备，F11柜的C1组K7继电器常开点与1+R1柜的K151继电器常开点相串联，构成回路使工作励磁柜内Q030继电器得电，其常开点闭合，使工作励磁柜内Q03接触器线圈得电闭合。

起车步控十四：

1、作用目的：工作励磁投入1.5秒以后，停启动励磁，同期并网合1-Q11开关。

2、投主励磁1.5秒后，启动励磁停止过程：工作励磁柜中直流主回路输出开关Q03 合好，其接点15、16闭合，使1+R1柜中K149继电器线圈得电，K149继电器常开点6、7闭合，使F11柜A1组K9继电器得电，其常开点闭合，使控制板工作（步控器、放大器）至步控四（停启动励磁命令）

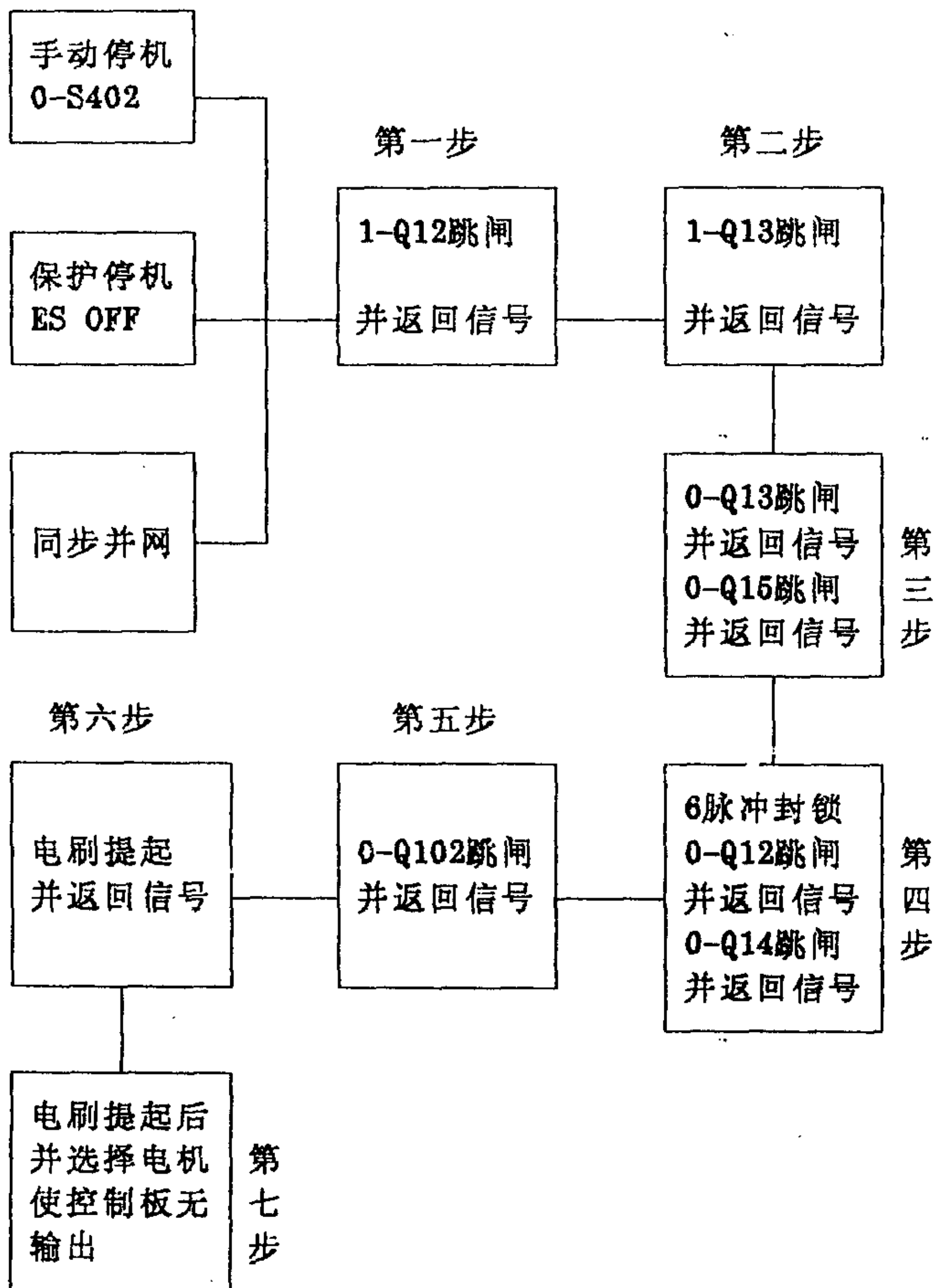
3、同步并网装置发并网命令，经控制板发1-Q11合闸命令使C1组K5继电器得电，其接点511、514闭合，使1+R1柜K101继电器得电，其接点5、6和3、4闭合与1+B2柜的1-Q14的常闭点3、4及1+V3柜的b1、b3常闭点（40，41）、（22，23）点及K103继电器常闭点（1，2）相串联构成回路，使1+V3柜的S3合闸线圈得电，1-Q11合闸。

4.2.2.2 停车步控

停车过程说明：

在主电机启动过程中如手动停机、启动保护动作以及1-Q11开关并网合闸后变频启动装置按以下七步过程停车、退出。

停车步控流程图如下：



停车步控一：

1、作用目的：1-Q12跳闸

逻辑式： $1-Q12\text{分闸} = [(0-S402\text{手动分}) + (ES\ OFF) + \text{同步并网}] * (Id=0) * (1-M1\text{已选上})$

2、手动停开关0-S402，其c、e点闭合，使F11柜A1组K5继电器线圈得电，其常开点闭合发出高电平信号。

3、电机选择开关0-S401选好1-M1，其接点13、14闭合，使1+R1柜中K151继电器得电，其常开点13、14闭合，1+P1电机保护柜中K207继电器失电，其接点6、7打开，使1+R1柜中K110继电器断开，其接点1、2闭合，K110的1、2点与K151的13、14点相串联经0-R1柜使F11柜中A1组K6继电器得电其发光二极管亮其常闭点打开发出低电平信号，当电机选择好出现紧急停机时K6断电自闭点输出电平。

4、20种事故信号形成ESOFF信号分别为：控制故障(F11)、调节故障(F12)励磁故障、保护故障、110VDC故障、380AC故障、整流逆变可控制保险、及冷却风机故障等。

5、同步并网信号发自1-T22电流互感器，通过变换器将0-5A变为0-20mA信号，1-T22检测出电流说明已并网并和电机选择信号相与成为停步一的一个条件。

以上四种条件与Id=0为与的关系，只有相符时即可进行下一步工作，发出1-Q12 OFF命令。

6、1-Q12 OFF和1-M1选好信号经控制板使F11柜中C4组K1继电器得电，其常开点闭合，使1-Q12开关断开。

停车步控二：

1、作用目的：1-Q13跳闸

逻辑式：

$1-Q13\ OFF = (1-Q12\text{已跳闸}) * (1+M1\text{已选上}) + ES\ OFF$

2、1-Q12开关分闸后，其接点b4(22, 23)闭合，接通F11柜中A2组K1继电器使其闭合，发出高电平信号和电机选择信号（来自启动条件I）相与后进行下一步工作。

3、当2成立后，经控制板使F11柜中C4组K7继电器吸合，其常开点闭合，使1+B2柜中1-Q13开关分闸线圈BA得电分闸。

4、ES OFF事故信号使F11柜中C4组K7继电器得电，1-Q13分闸。

停车步控三：

1、作用目的：0-Q13、0-Q15跳闸，停止调节器工作
逻辑式：

①、 $0-Q13 \text{ OFF} = (1-Q13) + ES \text{ OFF}$

②、 $0-Q15 \text{ OFF} = (1-Q13) + ES \text{ OFF}$

③、 $12P \text{ OFF} = 1-Q13 \text{ OFF}$

2、1+B1柜中1-Q13开关跳闸后，其常开点7、8闭合，使F11柜中A3组K5继电器得电，其常闭点闭合发出高电平信号，此信号和ES OFF为或的关系，经控制板使F11柜中C4组K5继电器得电，其常开点闭合接通0+B1柜0-Q13开关的分闸线圈B、A回路使其得电，0-Q13跳闸。

停车步控四：

1、作用目的：再一次发出6脉冲封锁信号，0-Q12、0-Q14分闸。

动作过程：

1、0+B1柜中0-Q13分闸，其常闭点（8，2）闭合使F11柜中A3组K1继电器得电，其常开点闭合，发出高电平信号。

2、0+G2柜中0-Q15开关处于断开位置，其常开点（11，12）打开，使F11柜中A5组K9继电器失电，其常闭点闭合发出高电平信号。

3、以上两信号经控制板发出6脉冲封锁信号。

①、此信号到步控10，经控制板使F11柜中C5组K5继电器得电，其常开点（511，524）闭合，使0+B2柜0-Q12开关的跳闸线圈K6得电，使0-Q12分闸。

②、此信号到步控10的另一作用是使F11柜中C5组K7继电器得电，其常开点（711，724）闭合，使0-Q14的分闸线圈K8得电，开关跳闸。

停车步控五：

1、作用目的：停启动励磁系统

逻辑式：

停启动励磁 = $(0-Q12 \text{ 断开}) \cdot (0-Q14 \text{ 断开})$

$0-Q102 \text{ 分闸} = ES \text{ OFF} \cdot (0-Q12 \text{ 断开}) \cdot (0-Q14 \text{ 断开})$

动作过程：

1、0+B2柜中0-Q13开关分闸，其常开点（11，12）打开使F11柜中A2组K9继电器失电，其常闭点闭合，发出高电平信号。

2、0+G1柜中0-Q14开关分闸，其常开点（11，12）打开，使F11柜中A5组K1继电器失电，其常闭点闭合发出高电平信号。

3、以上两高电平信号相与后经控制板至步控14→步控4，停启动励磁。

4、以上两高电平信号相与后经控制板发出0-Q102分闸信号和ES OFF相与，经控制板使F11柜中C5组K3继电器得电，其常开点闭合，接通F14柜中0-Q102开关的B0跳闸线圈，使0-Q102跳闸。

停车步控六：

1、作用目的：提升电刷，产生顺序停止信号。

逻辑式：

提升电刷=0-Q12断开

动作过程：

1、F17柜中0-Q102开点断开，其常闭点（131，132）闭合，使F11柜中B1组K6继电器得电，其常开点闭合，接通1+R1中K126电刷提升接触器，使提刷电机反转，提起电刷。

2、图中说明：

K151----为电机选择好继电器，选择1#机后K151得电

K125----为电机落刷接触器

K128----为电刷上升极限继电器，上升到位后得电

F101----为提刷装置电机热继电器辅助点

停车步控七：

1、作用目的：结束停车步控

过程说明：自启动条件一来信号，上升极限EA点闭合，接通1+R1中K128继电器线圈，其常开点闭合与电机选择控制继电器K151常开点串联，经0+R1柜接通F11柜中A1组K8继电器线圈使其得电，其常开点闭合发出高电平信号，使DC3F2板无输出信号，完成步停。

4.2.2.3 并网及并网后启动装置的退出

在启动过程中，当速度达到亚同步，即 $95\%n_0$ 时，控制励磁的切换，即工作励磁投入，启动励磁退出，切换在平滑与稳定中进行。工作励磁投入后，速度继续上升，励磁与变频相配合参与调节，此时励磁按电压调节原则进行，在变频和励磁的共同调节下，电机的电压和速度在 100% 处来回徘徊。并网装置（本系统也是由模拟电路板搭成，即F12柜中IA系列）开始寻找下列条件：

- ①、电网与变频器电压的比较
- ②、电网与变频的频率的比较
- ③、电网与变频器输出的相位角的比较

当以上三个条件均满足并网条件后，并网装置发出并网命令，逻辑柜控制继电器柜执行并网。并网后，变频软启动装置按4.2.2.2中停车步控退出。

第五章 4#机变频软启动计算机监控系统

5.1 设计说明

从多年的运行情况来看，4#机的变频软启动装置性能稳定、可靠，能够满足生产的需要。

目前，4#机变频软启动装置最大的问题是不能保证每次都顺利地将机组启动起来。启动失败的主要原因不是系统本身存在什么设计上的缺陷，而是我们对其认识不够。由于高炉生产的连续性特点，我们不可能随时对照实物进行试验和研究。为了解决这个问题，一方面继续努力，抓紧一切机会深入学习，提高业务水平；另一方面利用新的技术手段帮助我们分析故障原因，查找和排除故障。基于这种想法，我们经过多方努力，自行开发了4#机变频软启动计算机监控系统。

本设计的目的是，利用计算机画面对4#机的起机条件、启动过程进行集中监控，并能对这一过程出现的故障做出判断，从而达到准确可靠的起机并网，实现风机的顺利运行。4#机主控室在楼上，变频启动装置在楼下，启动时需两地兼顾，很不方便。利用计算机来集中监控启动过程，使原来较抽象的启动过程变得直观、生动，给运行人员提供了方便。

本设计的指导思想是，不影响原系统运行的可靠性和稳定性，只参与过程的监测、故障判断，而不参与控制和调整。取过程的开关量，只取必要的模拟量。取开关量时，尽量取原开关点的冗余部分，不用原系统的过程控制点，无冗余量的部分，采用外加继电器的方法，取附加继电器的输出点参与本机的监测。因为系统的启动过程——变频调速的过程十分重要，它对工作励磁的投入和系统并网有重要意义，因此，观察这一过程是必要的。我们取了电机实际速度（电压）的变化量，在计算机画面上作出速度变化曲线，做为进一步的监测。我们取的速度信号是速度变换器0~10V的输出电压信号，对系统无影响，无干扰。

本设计的功能是：

- 1、起机前，对风机系统的启动条件进行监测。在启动条件全部满足后，计算机给出：启动条件满足，可以启动的画面。此时，操作人员可以执行起机命令。条件不满足，可以在计算机画面中或通过帮助键找出故障点、位置、

图号，据此进行处理。

2、对风机软启动的全过程进行监测。计算机按逻辑走步顺序给出整个启动过程进行的动态画面。如启动过程中出现故障，可根据计算机给出的画面或通过帮助键找出中间过程的故障原因、故障点位置、图号，进行处理。处理完后，恢复正常条件，需重新开始启动。

3、启动中的变频调节过程（调速过程），本设计取其模拟量输出，可以在计算机画面中看到其变化曲线，从而观察速度变化过程。

4、在启动励磁投入后，计算机开始计时，可给出工作励磁投入到并网的时间。

5、软启动全过程完成后为主电机并入电网运行，计算机画面给出并网成功画面。并网失败时，可以给出故障原因及故障点。故障处理完后，仍需重新起车。

本设计的第一步设想是完成以上功能和任务。本设计在设备配置上留有余量，准备今后设计开发风机正常运行监控程序，如电机、励磁机运行状态，风机运行曲线等，进一步发挥计算机的作用。

5.2 系统构成

本系统构成如图5-1所示。

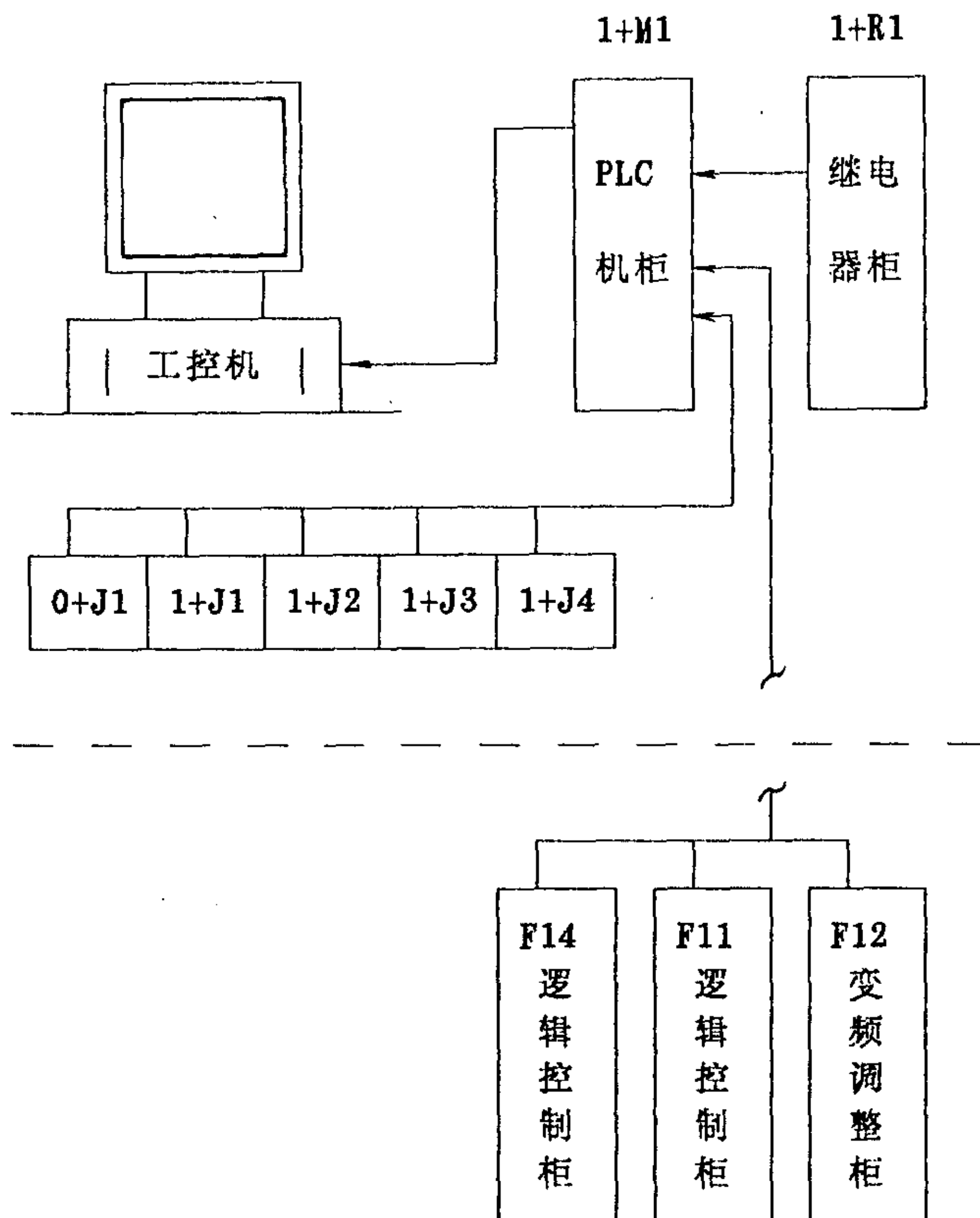


图 5-1

说明：

本系统上位机采用研华系列工控机，PLC选用西门子公司S5-115U，组态软件采用FIX DMACS。

本系统其它设备如UPS电源、附加继电器等设备与西门子的PLC安装在1+M1柜中。1+M1柜内留有扩展机架，以备将来进一步开发使用。根据信号采集的需要，本系统使用三种规格的附加继电器，即220VAC、110VDC和24VDC，其中220VAC和24VDC继电器各十个，110VDC继电器三十个。本系统所需的开关量、模拟量信号分别取自F11、F12、F14柜，1+R1、0+J1柜，以及1+J1~1+J4柜。

5.3 开关量、模拟量信号采集

本文4.2节详细地介绍了4#机变频启动控制逻辑。从控制逻辑可以看到，有大量的开关量、模拟量信号需要采集。为了不影响原系统运行的可靠性和稳定性，取开关量时，尽量取原开关点的冗余部分；无冗余量的部分，增加中继继电器，取新增继电器的输出点作为监测信号。

下面举几个例子来说明：

1、启动条件Ⅰ中，1+B2柜1-Q14接地开关处于断开位置，其辅助点（5，6）闭合，使1+R1柜中的K123继电器线圈得电，其常开点（6，7）闭合，。k123继电器（1，3）点冗余，可以直接取。如图5-2所示：

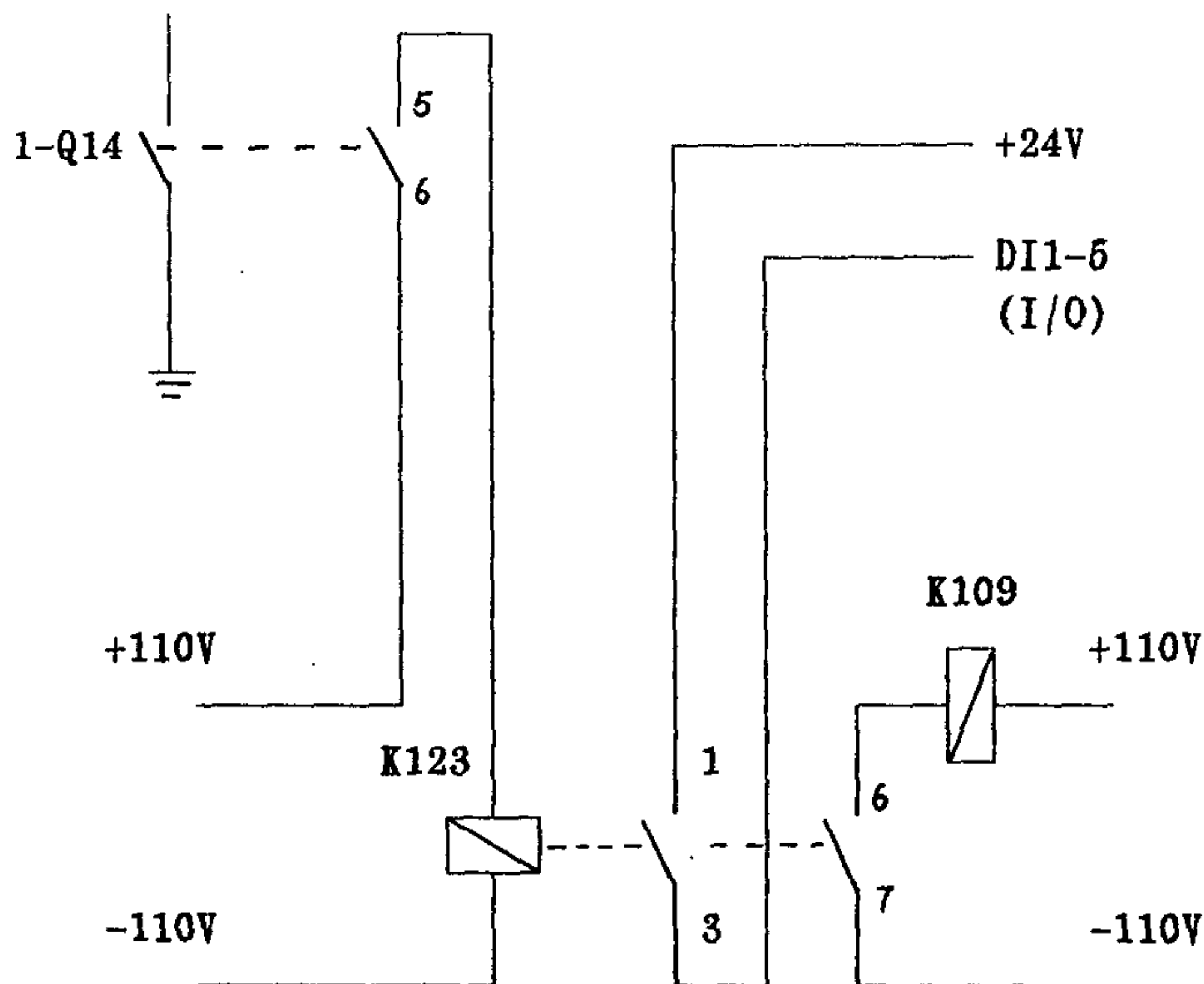
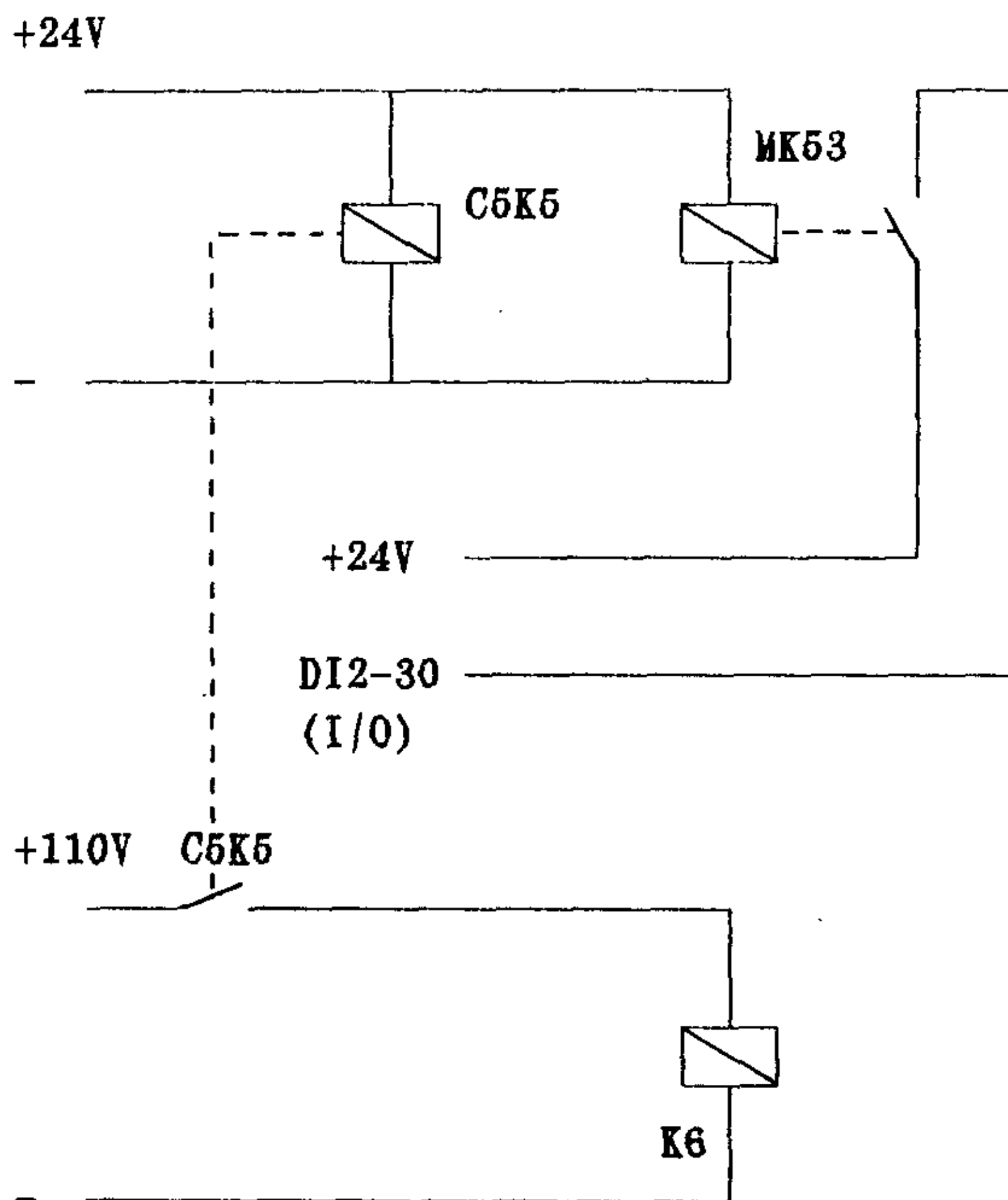


图 5-2

2、电机启动到步控十，发出0-Q12、0-Q14跳闸命令，结束6脉冲工作。此时调节器输出信号控制步控器发六

脉冲停止信号，使F11柜C5组K5继电器得电，其常开点闭合，0-Q12跳闸回路得电动作，同时又使C5组K7继电器得电，其常开点闭合，令0-Q14跳闸回路得电动作跳闸。C5组K5继电器和C5组K7继电器均无冗余接点，因此必须加一个扩展继电器，再从扩展继电器上取点送到PLC。

本系统是在C5组K5继电器两端并联一个继电器MK53，然后从MK53上取点，如图 5-3所示。



注：K6为F13柜0-Q12开关跳闸线圈。

图 5-3

3、为了不影响原系统的正常功能，本系统尽量不取模拟量，必须取的应取不参与控制的回路。例如，为了监控启动过程中的电机转速，从F12柜速度信号转换单元取

输出电压。速度信号分两路，一路去调节，一路去显示表，从显示回路取电压信号给PLC。为了避免给原系统造成干扰，信号电缆应使用屏蔽线。

如图 5-4所示。

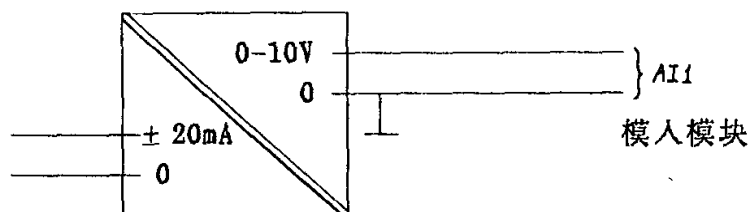


图 5-4

本系统的设计目的就是启动过程进行监控，因此所采集的监控信号基本上是走步逻辑每一步骤产生的控制、反馈信号。有了这些信号，加上相应的程序和画面，启动过程便一目了然。

5.4 变频启动监控系统画面

一、启动条件画面

启动条件画面将启动条件分为三组，即变频器准备条件，工艺条件和开关状态条件，详情参阅4.2.1节的有关内容。每一个条件用一个条框图表示，如果条件满足，则该条框正常显示灰色；如果条件不具备，该条框变成红色并且闪烁，提醒注意。当条件都具备后出现条件满足可以起车提示，则可起机，画面转到逻辑走步画面。

启动条件画面实际运行结果如图5-5所示。

二、逻辑走步画面

此画面请参看图5-6。该画面每一个方框代表一步，启动过程中，按流程图每走一步则框图颜色变绿，可直观地指示启动的每一个步骤。若启动失败，则绿色停在某步，这时可用鼠标点击该步方框，进入帮助画面，查找故障原因。

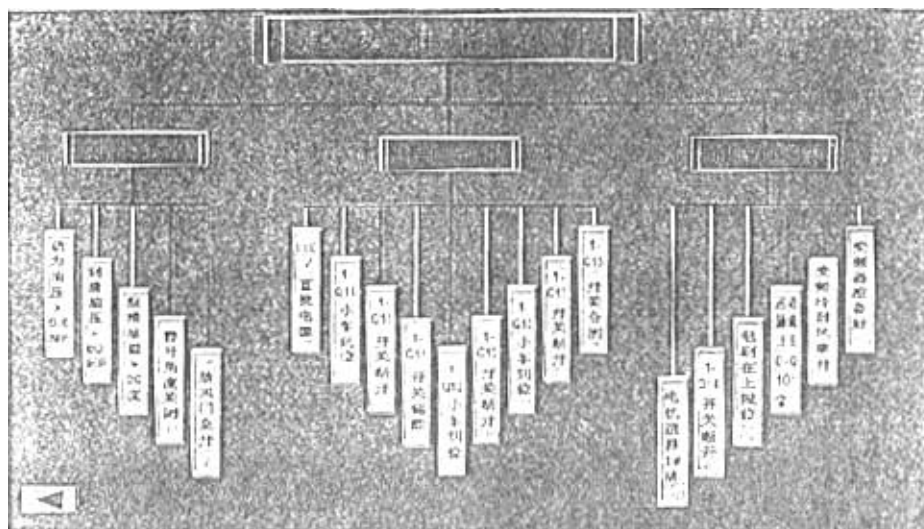


图 6-5 启闭机正面图

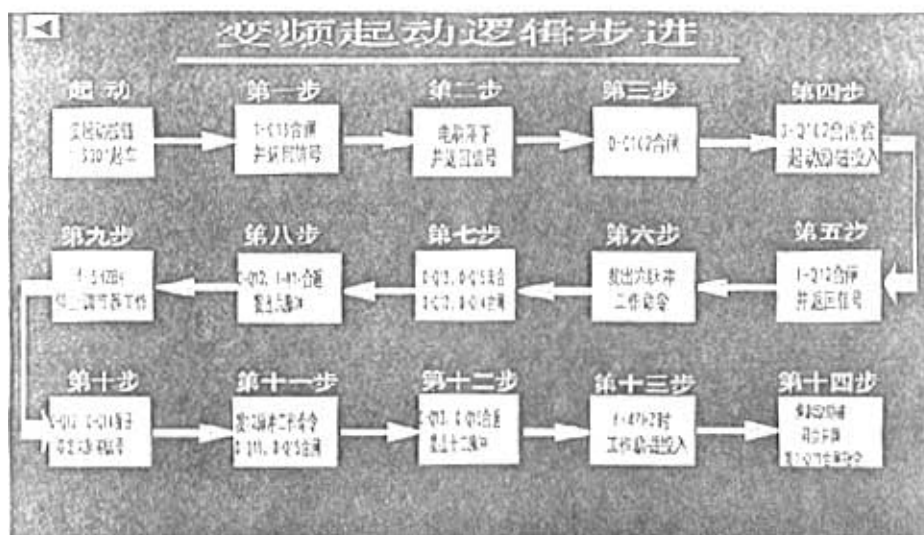


图 5-6 逻辑走步画面

三、故障帮助系统

以往,当发生启动失败故障后,不能很快确定哪一步出现问题,需经过多次试启动,安排多人分头观察可疑部位才能确认。主控室与变频器室是上下层,技术人员为了观察现象需两头跑,浪费了很多时间。为了查找故障,技术人员需查阅大量图纸,找到故障部位的图纸也需花费大量时间,影响了处理故障的迅速性。为了迅速有效地处理启动过程故障,将启动故障及处理方法整理编成故障信息库,并设计开发了启动故障帮助系统。

此系统以表格的形式列出了每一步启动失败的原因,可能的故障范围,并提示需检查的部位,需查阅的图纸号。可通过点击代表发生故障的步骤的方框进入帮助画面,以便快速确定故障范围,尽快排除故障。如起车步控十一,此步要完成0-Q13开关的合闸。其逻辑式:

0-Q13合闸=(0-Q12已断开).(0-Q14已断开).(0-Q13小车推入)

0-Q13合闸需要三个条件,若某一条件不具备可清楚地指出来,这样就可方便地指导故障的查找工作,缩短处理故障的时间。若三个条件成立的返回信号都有,则可断定是0-Q13本身的问题。这种情况比较复杂,可能有多种原因:

- ①、未发出合闸信号
- ②、发出合闸信号未执行
- ③、已合闸但没有反馈信号

未发合闸信号,可检查F11柜C4组K4继电器是否有故障;发出合闸信号未执行则要检查0-Q13合闸机构;已合闸但无反馈则要检查0-Q13辅助点等。把这些信息放进帮助画面的列表中,作为一种知识加以共享,为高效率地判断、处理故障提供了一个有效的工具。

有了故障帮助系统,技术人员可不比上、下楼两头跑故障现象可直观显示于计算机屏幕上;故障部位也可借助于帮助信息基本确定,大大节省了处理故障的时间。很明显,系统采集的过程量越多、越全面,则故障判断越具体,越清楚。

以下是三至十四步的帮助信息实际运行结果:

※帮助信息※

第三步没完成——Q102没合

1 Q102ON命令没发

- 1) C5 K2没合 (OSL20/07)
- 2) DC07板信号没发 (OSL18/07)
- 3) DB02板信号没发 (OSL17/12)
- 4) DB02板输入信号没有 (OSL17/12)

2 合闸电源没有: +F13的-F25或Q10没合

3 Q102合闸线圈开断

close

※帮助信息※

第四步没完成——起励磁封锁没打开

1 C2 K2, C2 K3没合

- 1) C2 K2, C2 K3信号没发出 (OSL20/03)
- 2) DC15板信号没发出 (OSL18/12)
- 3) DB19板信号没发出 (OSL17/03)
- 4) DB02板信号没发出 (OSL17/12)

2 B1 K5没合 (OSL11/12)

close

※帮助信息※

第五步没完成——1-Q12没合

1 信号没发出C4 K0没合

- 1) C4 K0故障 (OSL20/05)
- 2) DC01板信号没发出 (OSL18/01)
- 3) DB02板信号没发出 (OSL17/12)

2 1-Q12合闸电源DC110V故障(1VL21/101)

3 1-Q12合闸线圈开断

close

※帮助信息※

第六步没完成——6P工作命令没发出

- 1 A2 K0没合 (OSL11/03)
- 2 1-Q12合闸检返没发出 (OSL18/01)
- 3 查F检测信号是否大于5HZ (OSL13/11)
- 4 从0-T13处取的电压值是否正确 (OSU11/3)

close

※帮助信息※

第七步没完成——0-Q12, 0-Q14没合

- 1 合闸信号C5 K4, C5 K6没发出
 - 1) C5 K4, C5 K6有故障 (OSL20/0708)
 - 2) DC08板信号没发出 (OSL18/08)
DC09板信号没发出 (OSL18/09)
 - 3) DB19板信号没发出 (OSL17/03)
 - 4) DB02板信号没发出 (OSL17/12)
- 2 合闸电源故障 (+F13 11L) (OSE/3)
- 3 0-Q12, 0-Q14合闸线圈故障 (OSE/5)
- 4 K5 K7开路 (OSE/11)

close

※帮助信息※

第八步没完成——0-5HZ调节失灵

1 0-Q12, 0-Q14检返信号没发出

1) A2 K8, A5 K0没合 (OSL11/04) (OSL11/09)

2 +F12故障, 脉冲没发出 (观察+F12的FA14板B1

B2灯, 灯亮脉冲发出, 不亮脉冲没发出 (OSU71/3)

close

※帮助信息※

第九步没完成——调节器+F12故障

查+F12的FA14 (OSU71/3)

1) B1亮 SRN1或SRN2 $U < I >$ (OSU34/1 OSU34/2)

2) B2亮 SRM1或SRM2 $U < I >$ (OSU44/2)

3) B3亮 U_{REF} 电压低 (OSU33/1)

4) B4亮 U_{REF} 12p故障 (OSU42/1)

5) B5亮 U_{RPS} 6p故障 (OSU11/7)

6) B6亮 同步故障 (OSU71/2)

7) B7亮 开关及电源故障 (OSU71/2)

8) B8亮 电源故障 (OSU71/1 OSU99/10)

close

※帮助信息※

第十步没完成——0-Q12, 0-Q14没断开

- 1 0-Q12, 0-Q14分闸信号没发出
 - 1) C5 K5, C5 K7没合(OSL20/08)
 - 2) DC08板信号没发出(OSL18/08)
DC09板信号没发出(OSL18/09)
 - 3) DB19板信号没发出(OSL17/03)
 - 4) DB09板信号没发出(OSL22/02)
 - 5) DB03板6P0FF信号没发出(OSL17/13)
 - 6) DD15板F大于5HZ信号没发出(OSL13/04)
- 2 跳闸回路电源故障 (F11故障) (0SE/3)
- 3 0-Q12, 0-Q14跳闸线圈有故障 (0SE/5)
- 4 K6 K8有故障 (0SE/11)

close

※帮助信息※

第十一步没完成——0-Q13, 0-Q15没合

- 1 命令没发出C4 K4, C5 K8没合
 - 1) C4 K4, C5 K8有故障 (OSL20/05 OSL20/08)
 - 2) DC03板信号没发出 (OSL18/03)
DC10板信号没发出 (OSL18/10)
 - 3) DB19板信号没发出 (OSL17/03)
 - 4) DB03板12PON命令没发出 (OSL17/13)
 - 5) DA19板命令没发出 (OSL17/04)
- 2 合闸电源故障 (+F13的-F11-F14没合好) (0SE/3)
- 3 0-Q13, 0-Q15合闸线圈开断 (0SE/5)
- 4 K9故障 (0SE/11)

close

※帮助信息※

第十二步没完成——频率上调失灵

调节器+F12故障（查图OSU71/3）

观察+F12的FA14板B1 B2灯，灯亮脉冲输出，灯不亮脉冲没输出，则处理+F12故障

参看第九步故障帮助

close

※帮助信息※

第十三步没完成——工作励磁未投入

- 1 故障菜单：Q03未合，Q03线圈或机构有故障（EU/5.2）
- 2 K030继电器有故障（EU/5.2）
- 3 工作励磁给定按钮未合（EU/5.2）
- 4 励磁回路熔断器F71故障（EU/2.1）
- 5 励磁切换命令Main exit ON未发出C1 K7未合（OSL20/02）
 - 1) BC14板主励磁投入命令没发出（OSL18/11）
 - 2) DB03板主励磁投入命令没发出（OSL17/13）
 - 3) A1 K9继电器未合（OSL11/02）
 - 4) K149未合（OVL31/405）

close

※帮助信息※

CLOSE

第十四步没完成——并网失败

1 未并网

- 1) 并网命令没发出, C1 K5没合(0SL18/11)
- 2) 合闸电源故障(1VK203/3)
- 3) K101故障(1VL31/200)
- 4) K103故障(1VL31/201)
- 5) 1-Q14辅点故障
- 6) 1-Q11合闸线圈故障

2 并网后又跳开

- 1) 电机保护动作: 并网后电机保护柜动作+P1的K201R动作, 接通K103后使分闸线圈S2得电跳闸)
- 2) 风机保护动作(1+P1的K205R动作, 使分闸继电器K104动作, 接通分闸线圈S9)
- 3) 电机接地, K110动作(1+R1)
- 4) 分闸后, 突然发生励磁故障(1+E1)

close

5.5 设计变频启动模拟器的设想

变频启动监控系统开发完成后已用于实践,效果良好,它对启动流程的监控,故障的分析判断都起到一定的作用。该系统的缺陷是在实际启动过程中才能起作用,平时监控系统只能闲置,利用率很低。为了充分发挥计算机的功能,设想开发一套模拟装置,能够随时监测变频器的状况。

变频启动装置在完成启动过程后便退出了,一搁就是几个月,甚至大半年。变频器在不工作时只能上电观察其静态信号灯的状态,无法判定工作过程(即动态过程)出现的问题,因而,变频启动装置动态运行中有无故障无从得知。一旦发生停机故障需要重新启动时,才能发现变频启动装置的动态故障,不能及时启动风机,势必延误送风时间,给高炉生产造成损失。如果开发一模拟器,平时定期对变频器进行动态检测,发现问题及时处理,始终使变频启动装置处于良好的状态,这样,一旦发生设备故障而停机时,可以很快将风机开起来,把停机造成的损失减到最小。在计划停机时,可先进行启动装置的动态模拟,认为无问题后再停机,以保证顺利起机。

本设计充分利用监控系统原有硬件资源,通过软件和其它所需设备模拟启动过程中各过程参量的变化情况,给出一个完整的启动过程应出现的参量变化过程,通过监控系统观察变频启动模拟过程,从而达到对变频启动装置的模拟检验。

4#机变频启动装置的核心是F11、F12柜,模拟器的主要任务就是要验证它们有无故障。至于功率柜,如果有故障处理起来比较容易;况且风机正常运行时功率柜也不允许送电,因此模拟器不对功率柜进行检测。

变频启动模拟器的设想及设计还在进行中,期望在不久的将来能够实现。

4#风机变频软启动装置模拟器构成框图如图5-7所示。

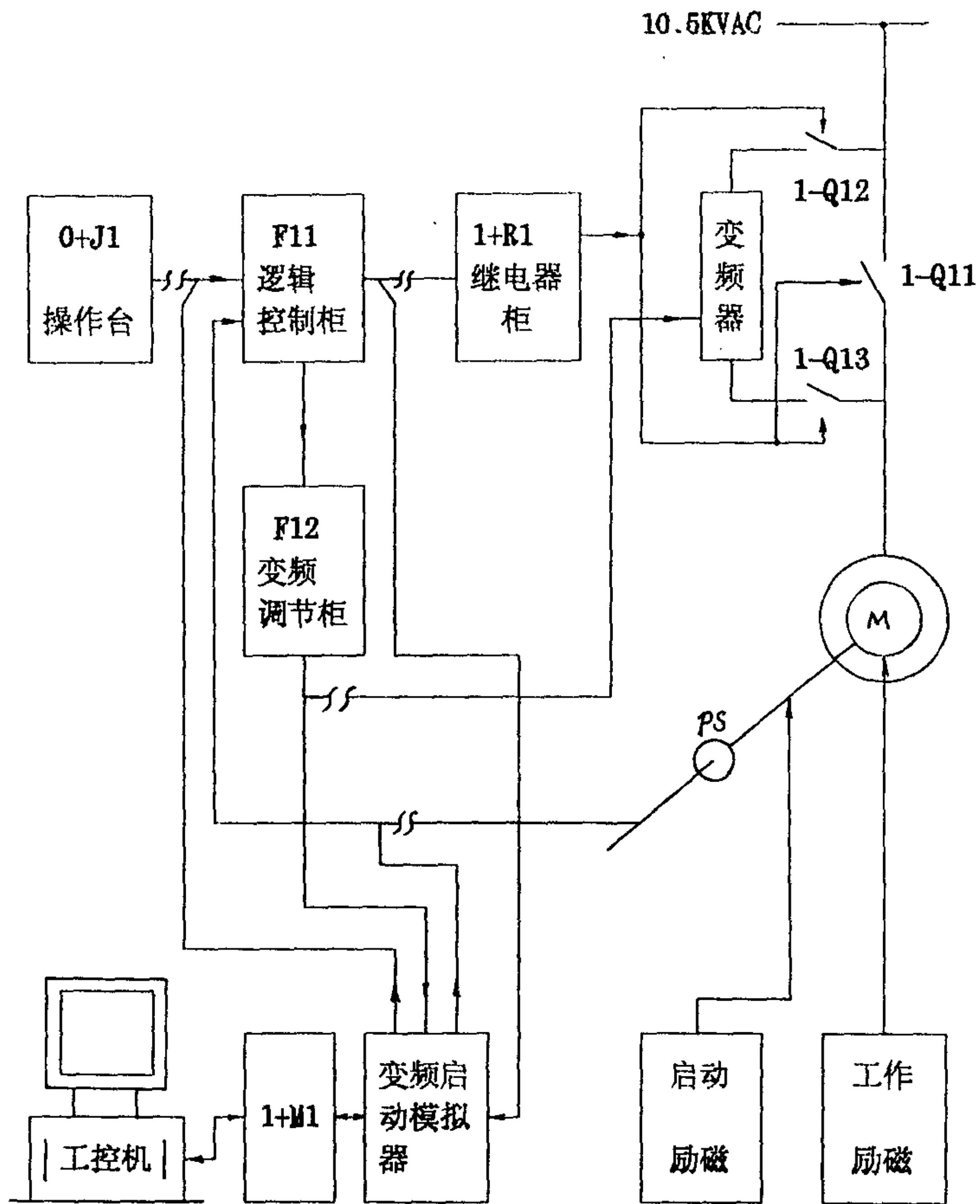


图 5-7

结 束 语

4#风机自1992年投产以来，至今已有六年。通过多年的运行、维护、故障处理等实践，本人对4#机变频启动控制系统有了一定程度了解；特别是上了研究生班后，通过对变频调速理论知识的学习，本人对4#机变频启动控制系统的认识更深入了一步。本论文就是在此条件下，对4#机变频启动装置进行了较为系统的分析和研究。本人在写作此论文时，得到了有关领导和同事的大力支持，尤其是王剑教授和张鹏远导师给予了很大的帮助，为此付出了很大的精力和时间，在此一并表示诚挚的感谢。

本文对4#机的变频软启动装置控制系统做了一定程度的研究、探讨，由于资料有限，水平有限，错误之处在所难免，望老师给予批评指正，以备以后修改时加以更正。

附录：

变频启动计算机监控系统程序清单

Segment 13 005D

```

      Q 0.7
!I 6.1 +-----+
+---} [---+!S
!I 6.7
+---} [---+
!I 3.0
+---} [---+!R Q!-
      +-----+

```

Segment 14 0064

```

      Q 1.0
!I 7.7 +-----+
+---} [---+!S
!I 4.0
+---} [---+
!I 3.0
+---} [---+!R Q!-
      +-----+

```

Segment 15 006B

```

      Q 1.2
!I 2.0 I 2.5 I 2.6 +-----+
+---} [---+---} [---+---} [---+!S
!I 4.1
+---} [---+-----+---+---+!R Q!-
      +-----+

```

Segment 16 0073

```

      Q 4.0
!I 4.0 +-----+
+---} [---+!S
!I 3.0
+---} [---+!R Q!-
      +-----+

```

Segment 17 007D

```

      Q 4.2
!I 4.2 +-----+
+---} [---+!S
!I 4.1
+---} [---+!R Q!-
      +-----+

```

Segment 18 007F

```

!      Q 4.3
! I 4.3  +-----+
+---] [---+!S  !
!      !      !
! Q 4.5  !      !
+---] [---+!    !
!      !      !
! I 4.1  !      !
+---] [---+!R  Q!-
!      +-----+
!
!

```

Segment 19 0086

```

!      Q 4.5
! I 4.5  +-----+
+---] [---+!S  !
!      !      !
! I 4.1  !      !
+---] [---+!R  Q!-
!      +-----+
!
!

```

Segment 20 008C

```

!      Q 4.6
! I 4.6  +-----+
+---] [---+!S  !
!      !      !
! I 4.1  !      !
+---] [---+!R  Q!-
!      +-----+
!
!

```

Segment 21 0092

```

!      Q 5.0
! I 5.0  +-----+
+---] [---+!S  !
!      !      !
! I 4.1  !      !
+---] [---+!R  Q!-
!      +-----+
!
!

```

Segment 22 0098

```

!      Q 5.2
! I 5.2  +-----+
+---] [---+!S  !
!      !      !
! I 4.1  !      !
+---] [---+!R  Q!-
!      +-----+
!
!

```

Segment 23 009E

```

!      Q 5.4
! I 5.4  +-----+
+---] [---+!S  !
!      !      !
! I 2.6  !      !
+---] [---+!R  Q!-
!      +-----+
!
!

```

Segment 24 00A4

```

      Q 5.5
! I 5.5      +-----+
+---] [---+! S
      |      |      |
! Q 6.0      |      |
+---] [---+
      |      |      |
! I 4.1      |      |
+---] [---+! R  Q!-
      |      |      |
      +-----+

```

Segment 25 00AB

```

      Q 5.7
! I 5.7      +-----+
+---] [---+! S
      |      |      |
! I 7.1      |      |
+---] [---+! R  Q!-
      |      |      |
      +-----+

```

Segment 26 00B1

```

      Q 6.0
! I 6.0      +-----+
+---] [---+! S
      |      |      |
! Q 0.5      |      |
+---] [---+
      |      |      |
! I 4.1      |      |
+---] [---+! R  Q!-
      |      |      |
      +-----+

```

Segment 27 00B8

```

      Q 6.1
! I 6.1      +-----+
+---] [---+! S
      |      |      |
! I 6.4      |      |
+---] [---+! R  Q!-
      |      |      |
      +-----+

```

Segment 28 00BE

```

      Q 6.2
! I 6.2      Q 6.0      +-----+
+---] [---+---] [---+! S
      |      |      |
! Q 6.3      |      |
+---] [---+---+
      |      |      |
! I 4.1      |      |
+---] [---+---+! R  Q!-
      |      |      |
      +-----+

```

Segment 29 00C6

```

!      Q 6.3
! I 6.3  +-----+
+----] [---+!S
!
! Q 0.3  !
+----] [---+
!
! I 4.1  !
+----] [---+!R  Q!-
!
!      +-----+
!
!
```

Segment 30 00CD

```

!      Q 6.4
! I 6.4  +-----+
+----] [---+!S
!
! I 4.1  !
+----] [---+!R  Q!-
!
!      +-----+
!
```

Segment 31 00D3

```

!      Q 6.5
! I 6.5  +-----+
+----] [---+!S
!
! I 4.1  !
+----] [---+!R  Q!-
!
!      +-----+
!
```

Segment 32 00E9

```

!      Q 0.2
! I 6.6  +-----+
+----] [---+!S
!
! Q 7.0  !
+----] [---+
!
! I 4.1  !
+----] [---+!R  Q!-
!
!      +-----+
!
```

Segment 33 00E0

```

!      Q 6.7
! I 6.7  +-----+
+----] [---+!S
!
! I 3.0  !
+----] [---+!R  Q!-
!
!      +-----+
!
```


点 号	名 称	模块端子号	接线端子号	出线端子号	控制元件	备 注
	风机起车条件					
I0.0	准备条件	DI1-3	4MX-01	2MX-02	C1 K6	
I0.1	电机选择	DI1-4	4MX-02	MK11-7	MK11	
I0.2	电机接地断开1-Q14断	DI1-5	4MX-03	K123-3	K123	
I0.3	电刷在上限	DI1-6	4MX-04	K128-9	K128	
I0.4	起动励磁开关合0-Q101合	DI1-7	4MX-05	2MX-03	MK26	
I0.5	变频冷却风扇开	DI1-8	4MX-07	MK13-6	MK13	
I0.6	变频器准备好	DI1-9	4MX-06	2MX-05	C1 K2	
I0.7						
I1.0	风机条件	DI1-15	4MX-08	3MX-48	01.d1	
I1.1	润滑油压>0.6MPa	DI1-16	4MX-09	MK01-7	MK01	
I1.2	动力油压>95MPa	DI1-17	4MX-10	MK02-7	MK02	
I1.3	润滑油温<20℃	DI1-18	4MX-11	3MX-41	01.d6	
I1.4	静叶闭合	DI1-19	4MX-12	MK04-6	MK04	
I1.5	风门全开	DI1-20	4MX-13	MK03-6	MK03	
I1.6						
I1.7						
I2.0	电机条件	DI1-27	4MX-14	3MX-07	K109	
I2.1	开关合闸电源	DI1-28	4MX-15	3MX-08	Q11 Q12	
I2.2	1-Q11到位	DI1-29	4MX-16	MK14-7	MK14	
I2.3	1-Q11断开	DI1-30	4MX-17	MK15-7	MK15	
I2.4	1-Q11储能	DI1-31	4MX-18	3MX-14	K102	
I2.5	1-Q12到位	DI1-32	4MX-19	MK16-7	MK16	
I2.6	1-Q12断开	DI1-33	4MX-20	MK17-7	MK17	
I2.7	1-Q13到位	DI1-34	4MX-21	MK18-7	MK18	

点 号	名 称	模块端子号	接线端子号	出线端子号	控制元件	备 注
I3.0	1-Q13断开	DI1-33	4MX-22	MX19-7	MX19	
I3.1	1-Q15合闸	DI1-40	4MX-24	3MX-44	K108	
I3.2						
I3.3						
I3.4						
I3.5						
I3.6						
I3.7						
I4.0	1-Q13合闸	DI2-3	4MX-25	MX21-7	MX21	
I4.1	开机命令发出	DI2-4	4MX-23	3MX-43	I-S301	
I4.2	1-Q13合闸电源正常	DI2-5	4MX-26	MX22-7	MX22	
I4.3	1-Q13合闸命令输出	DI2-6	4MX-27	2MX-10	C4 K5	
I4.4						
I4.5	电刷到达下限	DI2-8	4MX-28	3MX-46	K107	
I4.6	落刷命令送出	DI2-9	4MX-29	3MX-47	K125	
I4.7						
I5.0	给启动励磁指令发出	DI2-15	4MX-30	2MX-15	C5 K2	
I5.1						
I5.2	启动励磁合闸	DI2-17	4MX-31	2MX-17	Q102	
I5.3						
I5.4	1-Q12合闸	DI2-19	4MX-32	MX23-7	MX23	
I5.5	1-Q12合闸命令发出	DI2-20	4MX-33	2MX-19	C4 K0	
I5.6						
I5.7	0-Q14合闸	DI2-22	4MX-36	2MX-25	K7	

点 号	名 称	模块端子号	接线端子号	出线端子号	控制元件	备 注
I6.0	6P调节工作命令发出	DI2-27	4MX-34	2MX-21	C3 K8	
I6.1	0-Q12合闸	DI2-28	4MX-35	2MX-23	K5	
I6.2	6P调节工作开始	DI2-29	4MX-37	MK42-6	MK42	
I6.3	6P调节工作结束	DI2-30	4MX-38	2MX-30	C3 K4	
I6.4	0-Q12跳开	DI2-31	4MX-39	2MX-31	K6	
I6.5	0-Q13合闸	DI2-32	4MX-41	2MX-35	C4 K4	
I6.6	12P调节工作开始	DI2-33	4MX-43	2MX-39	C3 K6	
I6.7	0-Q15合闸	DI2-34	4MX-42	2MX-37	K9	
I7.0	投入工作励磁	DI2-39	4MX-46	3MX-42	K149	
I7.1	0-Q14跳开	DI2-40	4MX-40	2MX-33	K8	
I7.2						
I7.3	并网信号发出	DI2-42	4MX-47	2MX-43	C1 K5	
I7.4	合闸执行	DI2-43	4MX-49	3MX-30	K101	
I7.5	合闸电源及线圈完好	DI2-44	4MX-48	MK24-7	MK24	
I7.6						
I7.7	并网成功(1-Q11合闸)	DI2-46	4MX-50	3MX-32	K155	

点 号	名 称	模块端子号	接线端子号	出线端子号	控制元件	备 注
	风机起车条件					
I0.0	准备条件	DI1-3	4MX-01	2MX-02	C1 K6	
I0.1	电机选择	DI1-4	4MX-02	MK11-7	MK11	
I0.2	电机接地断开1-Q14断	DI1-5	4MX-03	K123-3	K123	
I0.3	电制在上限	DI1-6	4MX-04	K128-9	K128	
I0.4	起动励磁开关合0-Q101合	DI1-7	4MX-05	2MX-03	MK26	
I0.5	变频冷却风扇开	DI1-8	4MX-07	MK13-6	MK13	
I0.6	变频器准备好	DI1-9	4MX-06	2MX-05	C1 K2	
I0.7						
I1.0	风机条件	DI1-15	4MX-08	3MX-48	01.d1	
I1.1	润滑油压>0.6MPa	DI1-16	4MX-09	MK01-7	MK01	
I1.2	动力油压>95MPa	DI1-17	4MX-10	MK02-7	MK02	
I1.3	润滑油温<20℃	DI1-18	4MX-11	3MX-41	01.d6	
I1.4	静叶闭合	DI1-19	4MX-12	MK04-6	MK04	
I1.5	风门全开	DI1-20	4MX-13	MK03-6	MK03	
I1.6						
I1.7						
I2.0	电机条件	DI1-27	4MX-14	3MX-07	K109	
I2.1	开关合闸电源	DI1-28	4MX-15	3MX-08	Q11 Q12	
I2.2	1-Q11到位	DI1-29	4MX-16	MK14-7	MK14	
I2.3	1-Q11断开	DI1-30	4MX-17	MK15-7	MK15	
I2.4	1-Q11储能	DI1-31	4MX-18	3MX-14	K102	
I2.5	1-Q12到位	DI1-32	4MX-19	MK16-7	MK16	
I2.6	1-Q12断开	DI1-33	4MX-20	MK17-7	MK17	
I2.7	1-Q13到位	DI1-34	4MX-21	MK18-7	MK18	

点 号	名 称	模块端子号	接线端子号	出线端子号	控制元件	备 注
I3.0	1-Q13断开	DI1-39	4MX-22	MK19-7	MK19	
I3.1	1-Q15合闸	DI1-40	4MX-24	3MX-44	K108	
I3.2						
I3.3						
I3.4						
I3.5						
I3.6						
I3.7						
I4.0	1-Q13合闸	DI2-3	4MX-25	MK21-7	MK21	
I4.1	开机命令发出	DI2-4	4MX-23	3MX-43	1-S301	
I4.2	1-Q13合闸电源正常	DI2-5	4MX-26	MK22-7	MK22	
I4.3	1-Q13合闸命令输出	DI2-6	4MX-27	2MX-13	C4 K8	
I4.4						
I4.5	电刷到达下限	DI2-8	4MX-28	3MX-46	K127	
I4.6	落刷命令送出	DI2-9	4MX-29	3MX-47	K125	
I4.7						
I5.0	给起动励磁指令发出	DI2-15	4MX-30	2MX-15	C5 K2	
I5.1						
I5.2	起动励磁合闸	DI2-17	4MX-31	2MX-17	Q102	
I5.3						
I5.4	1-Q12合闸	DI2-19	4MX-32	MK23-7	MK23	
I5.5	1-Q12合闸命令发出	DI2-20	4MX-33	2MX-19	C4 K0	
I5.6						
I5.7	0-Q14合闸	DI2-22	4MX-36	2MX-25	K7	

点 号	名 称	模块端子号	接线端子号	出线端子号	控制元件	备 注
I6.0	6P调节工作命令发出	DI2-27	4MX-34	2MX-21	C3 K8	
I6.1	0-Q12合闸	DI2-28	4MX-35	2MX-23	K5	
I6.2	6P调节工作开始	DI2-29	4MX-37	MK42-6	MK42	
I6.3	6P调节工作结束	DI2-30	4MX-38	2MX-30	C3 K4	
I6.4	0-Q12跳开	DI2-31	4MX-39	2MX-31	K6	
I6.5	0-Q13合闸	DI2-32	4MX-41	2MX-35	C4 K4	
I6.6	12P调节工作开始	DI2-33	4MX-43	2MX-39	C3 K6	
I6.7	0-Q15合闸	DI2-34	4MX-42	2MX-37	K9	
I7.0	投入工作励磁	DI2-39	4MX-46	3MX-42	K149	
I7.1	0-Q14跳开	DI2-40	4MX-40	2MX-33	K8	
I7.2						
I7.3	并网信号发出	DI2-42	4MX-47	2MX-43	C1 K5	
I7.4	合闸执行	DI2-43	4MX-49	3MX-30	K101	
I7.5	合闸电源及线圈完好	DI2-44	4MX-48	MK24-7	MK24	
I7.6						
I7.7	并网成功(1-Q11合闸)	DI2-46	4MX-50	3MX-32	K155	

参考文献

- (1). 杨兴瑶:《电动机调速的原理及系统(第二版)》
水电出版社 1992
- (2). 陈伯时:《电力拖动自动控制系统(第二版)》
机械工业出版社 1996
- (3). 佟纯厚:《近代交流调速》
冶金工业出版社 1995
- (4). 胡崇岳:《现代交流调速技术》
机械工业出版社 1998
- (5). 张鹏远:《首钢高炉风机自动控制系统
SIMADYN D的技术分析与最佳
操作(论文)》 1997
- (6). 李杰民、张迂杰:《同步电动机调速系统》
机械工业出版社 1996
- (7). 张琛:《直流无刷电动机原理及应用》
机械工业出版社 1996
- (8). 吴守箴、臧英杰:《电气传动的脉宽调制技术》
机械工业出版社 1997
- (9). 冯垛生、曾岳南:《无速度传感器矢量控制原理
与实践》
机械工业出版社 1997
- (10). 李序葆、赵永健:《电力电子器件及其应用》
机械工业出版社 1997