东北大学

硕士学位论文

交直交变频器在高炉鼓风机启动中的应用

姓名：李振兴

申请学位级别：硕士

专业：控制理论与控制工程

指导教师：韩安荣;陆业铫

2001.11.1

摘 要

鼓风机是高炉冶炼过程中的关键设备，直接影响着高炉冶炼能否正常进行。在鼓风机拖动中，一般选择同步电动机拖动。这一方案是正确的，同步电动机不仅运行稳定、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，当它运行超前功率因数时，可以对感性负载的的电网进行有效补偿，起到其它电机无法替代的作用。由于拖动鼓风机的同步电动机容量很大，以首钢 4#、5#、6#、7#风机为例，其同步机的容量均为 36.14MW，如何将其顺利的启动并投入是一个十分重要的问题。

随着数字技术、计算机技术及大功率电力器件的不断发展，使用数字式的交直交变频软启动器启动高炉鼓风机并将其投入到电网运行，已经被世界上很多大型钢铁集团采用。在这一领域，德国西门子公司的 SIMADYN D 全数字交直交变频启动的应用比较具有代表性。首钢自 96 年以来，先后引进了两套，运行稳定可靠。本文对这种类型的软启动器进行了较深入的研究，全面介绍了 SIMADYN D 全数字控制器硬件及软件的功能，以及由它组成的交直交变频启动器的工作原理、工作过程、系统组成，提出了启动、加速、自动整定和并网控制的方案及保护系统和功率因数调节的具体措施，整个系统运行稳定可靠，使用维护方便，控制效果令人满意。在论文的最后提出了进一步改进和完善控制系统性能的方案。

[关键词] 高炉 风机控制 变频软启动器 并网 计算机控制

Abstract

The blast furnace blowers are the key equipments in the blast furnace iron-smelting processing. They directly affect the blast furnace whether it normal processes or not. We general choose the synchro-electromotors drive mode, it's a right project that the synchro-electromotors are not only steady, constant-speed and having an absolute rigidity characteristic, but also can change the power-factor by regulating the excitation. When circulates to run the over power-factor, it can compensate the sensibility-laden electricity-network effectually. Synchro-electromotors' work can not be replaced by the other electromotors. Because of the great capacity of the synchro-electromotors driving the blast furnace, for instance the SHOUGANG's 4#, 5#, 6#, 7# blast furnace blowers, their synchro-electromotors' capability are all 36.14MW, how to startup and launch into the motors successfully become a very important problem.

Along with the continuously development of the digital-technique, computer technique and the high-power electrically parts of an apparatus, using digital-AC/DC/AC converter to start and launch the blast furnace blowers into the electricity-network has been adopted by many large-scale steel group in the world. In this domain, the application of SIMADYN D

digital-converter SIEMENS German has more representatives. SHOUGANG has imported two sets SIMADYN D since 1996, they're both steady and credible working. In this thesis, this type of converter has been thorough studied, and given an all-around introduction of its hardware and software's function, the working-principle, working-processes and the system compose, bringing forward a project that contains starting, accelerating, auto-fit and paralleling. The means of system protecting and power factor adjusting has been designed too.

The whole system works steadily and credibly, easy to maintenance and use. The purpose of control is satisfactory. Finally, in this thesis the project of the further improvement and perfecting of performance of the control system has been put forward.

[Keyword] blast furnace, blower control, frequency control, converter, paralleling, computer control。

第一章、概述

一、风机控制系统概述

首钢在96年从德国西门子公司引进一套SIMOVERT_S变频启动器,用于高炉鼓风机的启动与并网。主传动电动机为36.14M W同步电动机,是首钢高炉冶炼的重要和关键设备。控制系统采用了无换向器直流机原理及无刷励磁,无传感器测速等新技术。本人参加了此项目的引进、设计、装置制造、现场调试以及风机自动控制系统的维护、技术攻关工作。现就本人在研究生班所学理论。结合风机的运行实践对该系统进行研究,并对其需要改进的地方及发展方向提出意见。

风机的全部自动控制包括风机自动控制部分(按风机工艺要求去自动控制风机的风量风压及对风机的危险工况-喘振进行有效保护)和主电机的控制部分,即风机的主拖动。本文的重点是分析和研究其主拖动,特别是主传动的软起动部分。

作为大型鼓风机,其主拖动采用同步电动机,这一方案是正确的。同步电动机不仅运行稳定,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。当它运行在超前功率因数时,可以对感性负载的电网进行有效地补偿,起到其它电机无法替代的作用。在七十年代以前,由于变流技术及控制技术的制约,对于大功率同步电动机的起动没有比较经济、有效的方式,故而大多高炉鼓风机均采用汽轮机拖动,功率受到了限制。七、八十年代以来,由于大功率变流电力电子器件的发展、控制及计算机技术的支持,使得大功率变频方面有了

较大的突破，逐渐取代了发电机一电动机机组，水银整流器等变流设备。在七十年代末出现了 B B C 公司开发的大功率交一直一交变频器作为变流电源，由电子模拟装置控制的成套大型同步电动机的软起动设备〈如首钢 4#风机的控制装备〉。到了九十年代，控制系统就升级为计算机控制，许多技术有了进一步的完善和提高，但其控制原理则是一样的。鉴于大功率整流元件的限制，S I E M E N S 的变流装置的器件也停留在 2K V 的 S C R 的水平。因而主回路 10K V 的电源在变流环节不得不采用高一低一高的形式，而元件的控制水平也只能限于普通晶闸管〈Sili con Controlled Rectifier-SCR〉的控制上，其用于控制方面的计算机水平也只是九十年代初的水平。因此，我们对这一套庞大的自动控制系统进行研究和技术分析的时候，就应该站在新技术发展的高度，做出适合时代的评价。

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。本系统恰恰是这方面的前沿。

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 G E 公司制造出第一支大功率晶闸管(S C R)，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一直一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 S C R。特别是绝缘栅双极晶体管(Isolated Gate Bipolar Transistor--IGBT)的出现，它具有 M

OSFET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。

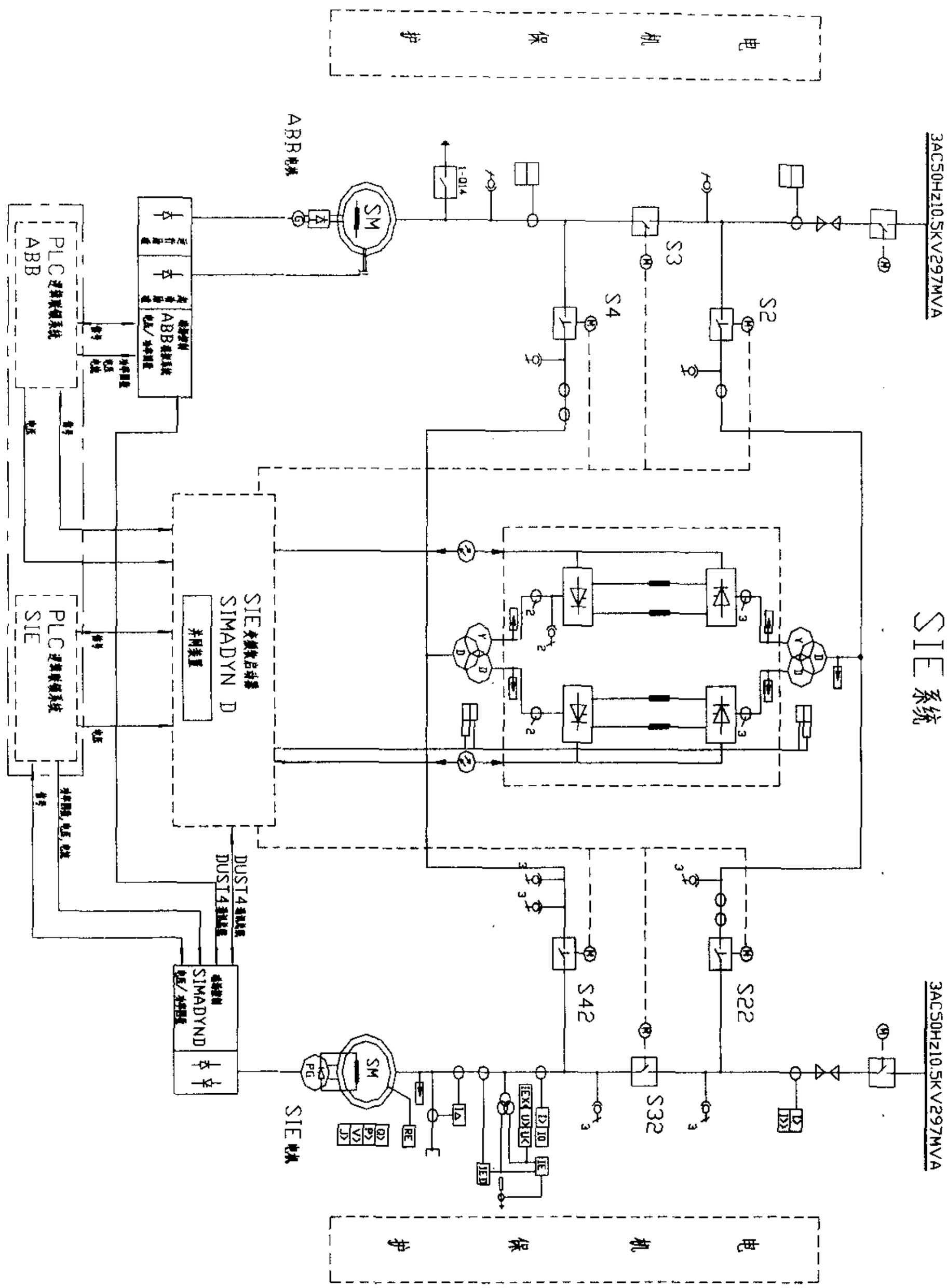
另外随着元件的更新,对其控制方式也会带来变革。门极可控型管子的控制方式可采用脉宽调制(Pulse Width ModtIla-tion-P W M)或正弦波脉宽调制(Sinusoidal PWM-SPWM)的方式,这种控制方式控制简单可靠,便于实现数字化,而且可借助于控制模式的优化以消除指定谐波,使逆变器的输出波形逼近于正弦波。由于可消除变频在低频段的矩形波脉动,全域趋近于正弦,使变频的驱动趋近理想化,也克服了大功率变频技术在低频区域的不良状态。

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。因此,研究自控系统的新技术方面更是不可忽视的,需要用新的计算技术成果来代替旧的技术才具有时代性。

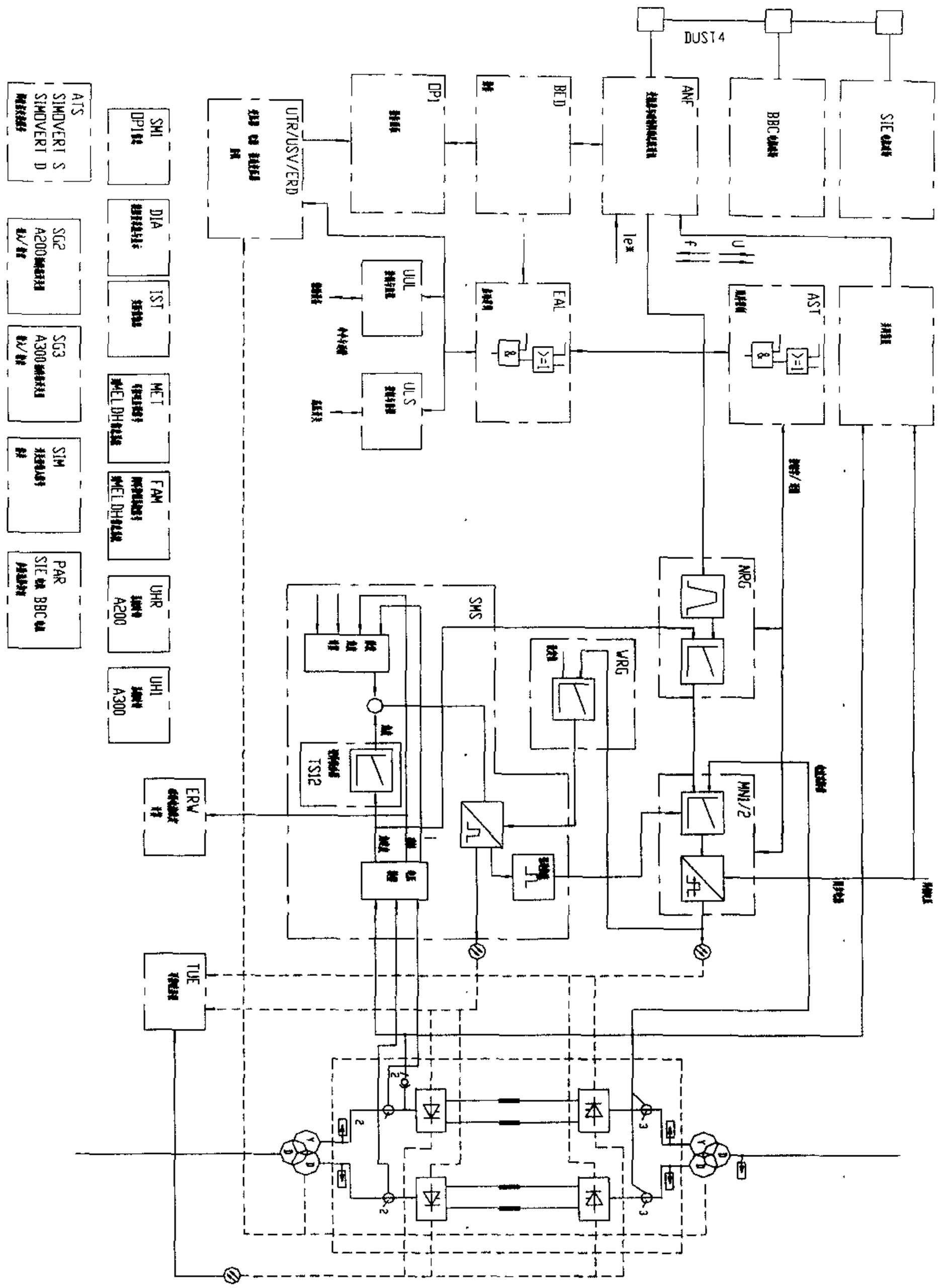
二、风机控制系统的构成

风机系统的构成框图见图〈1〉。

控制系统框图见图(2)。


3AC50Hz10.5KV297MVA
SIE 系统
S2
S3
S4
S22
S32
S42
SIE
SIMADYN D
DUST4
SIMADYND
ABB
PLC
SIE
SM
PG
RE
IA
IB
IC
IE
IEX
UK
JE
JY
QY
PY
VY
DY
DX

图<1>:风机系统构成框图


DUST4
SIE
BBC
ANF
BED
DP1
UTR/USV/ERD
AST
EAL
UUL
ULS
NRG
VRG
SMS
TS12
WN/2
TUE
ERV
SMI
DP1
DIA
IST
MET
FAM
UHR
A200
UHI
A300
ATS
SIMOVERT S
SIMOVERT D
SG2
A200
SG3
A300
SIM
PAR
SIE
BBC

图<2>控制系统框图

风机主系统各部分功能的说明:

风机的型号为 A V80-14 轴流压缩式鼓风机,其中动叶为 14 级,静叶可调 15 级。每分钟鼓风量为 5271 立方米(标准大气压),额定转速 4150 转/分,压缩比 1:6。风机要求的传动功率为 24300 千瓦,出口温度:219.16℃。

主拖动电机为西门子公司生产的同步电动机,两极 36140 千瓦。

励磁电机 119 千瓦,3000 转/分,发电输出 183 伏,650 安,本身的励磁为定子交流,额定值 200 安培,给主拖动电机转子励磁。

因拖动电机为两极同步电动机,额定转速每分钟 3000 转,而风机要求的转速每分钟 4150 转。故中间设计安装齿轮变速器〈增速〉,用连轴联接。

三、风机系统对控制的要求

风机是冶炼系统中的重要且昂贵的设备,控制方案选择的优劣、保护系统的灵敏可靠对控制系统的要求必须选用可靠的 PLC 和检测仪表,否则风机就不可稳定可靠运行,就不能保证高炉的正常生产,甚至导致机毁人亡的事故。在此次设计实施中,我们选用了 S5-115H 主机互相冗余的技术,对关键检测仪表选用进口仪表,对原来由电器联锁的保护部分采用PLC进入联锁,应用到首钢的备用 7000 风机中。既能保证风机稳定可靠运行,又能保证高炉的生产。

第二章、变频启动器部分

一、软启动器方案。

软启动器为交直交电流源型变频器。其组成如下：

1、 功率部分。

功率环节由三部分组成。线侧整流器、中间电抗器和机侧逆变器。其中线侧整流器和机侧逆变器均为可控硅三相桥式整流电路，中间电抗器为铁心式直流电抗器。

2、 磁场。

磁场由一台 SIMOREGK 全数字直流装置供电，其功率部分和控制系统是一体化的。它的输出直接与同步电动机的磁场相连接。

3、 控制系统。

控制系统为全数字交流控制系统。为从德国 SIEMENS 公司引进的 SIMOVERT S 变频启动器。

这套软启动器的核心是 SIMADYN D 全数字交流控制系统，为更方便地阐述软启动器的工作原理和过程，有必要先将 SIMADYN D 产品介绍一下。

二、SIMADYN D 全数字控制系统。

SIMADYN D 全数字控制系统是德国 SIEMENS 公司的标准产品，是一个开放式的控制系统，可应用于直流和交流领域。

1、 特点。

1)、适合快速的开、闭环控制和计算，最小的采样周期可达 1ms。

2)、适合所有的直流和交流领域内的变速控制。

3)、模块化的硬件和软件设计，应用起来更加灵活方便。

4)、多处理器控制系统，在一个 SIMADYN D 机箱中最多可插入 8 个处理器，它们之间独立工作，互不干涉。

5)、图形和语句表两种方式的编程语言，人机界面直观，用户可方便的设计和修改控制系统的功能。

6)、调试方便。调试周期短。

7)、自诊断和保护功能强。智能化的故障诊断系统，可以方便地查看故障原因及处理方法，从而大大地降低停机时间。

8)、系统运行稳定，故障率低。

9)、调速性能好，动态精度高。

10)、可通过通讯网与其它的控制系统连接起来。

2、 硬件。

SIMADYN D 的硬件种类很多，现仅以交直交变频器所用的基本硬件为主做一简介。

1)、机箱。

SIMADYN D 插件箱有 12 槽和 24 槽之分，用于安装插件板。机箱的后面有两条总线，L 总线和 C 总线。

2)、处理器板。

每一个处理器板都是一个 80186 微处理器。用于计算、调节、逻辑判断等。

在 SIMADYN D 硬件中，处理器板的种类也很多，软启动器主要使用以下类型的处理器板。

—PM16：通用处理器。用于速度调节，顺序控制等。

—PG16：电流处理器。用于调节整流器的输出电流。

—PS16：逆变处理器。用于电压模型计算，完成逆变侧的控制与变换。

每个处理器都有自己的程序插接口，用户所编制的控制系统的程序，首先通过写入器固化在 EPROM 单元中，然后只需将写好的 EPROM 单元插在相应的处理器中即可。

3)、数据缓冲器板 MM11。用于处理器间的数据交换。

4)、综合输入输出板 EM11。用于模拟量、开关量的输入与输出。

5)、模拟量输出板 EA12。

6)、开关量输入输出板 EB11。

一个 6 脉冲的变频启动器的基本配置如图 2。

3、 软件。

软件包括系统软件和应用软件两部分。其系统软件固化在处理器中，与硬件一同供货。应用软件用于用户设计控制系统，由用户提出要求而供货。应用软件有两个版本，STRUC L 和 STRUC G。其中 STRUC L 是通过语句表形式编程的，不直观，但可装在 DOS 操作系统下。STRUC G 是通过图形方式编程的，其图形与我们所熟悉的模拟系统的原理图很类似，直观明了，但它必须在 UNIX 操作系统下才能安装和运行。

设计者在安装完应用软件后，便可设计控制系统的功能了，即编程。设计者首先应从功能块库中调出自己所要使用的功能块，在将这些功能块按一定的要求组合起来。这个功能块的组合就是功能包。至此便完成了初步的编程。由此可见，功能块是应用软件中的最小单元。每一个功能块都有一个特定的功能，如名称为RGJ 的功能块是一个积分器，名称为 PIC201 的功能块是一个 PI 调节器。所有的功能块都安装在功能块库中，我们可以将这些库分成两类，直流库和交流库。功能包就是功能块的有机组合，它完成控制系统中某一控制环节的功能，如速度环控制功能包、电流环控制功能包、逆变器控制功能包等。功能包分为周期功能包和中断功能包。其中电流环控制功能包为中断功能包，必须安装在 PG16 处理器中。其它为周期功能包，可安装在 PM16、PS16 处理器中。功能包必须通过编译，才能下装到处理器中。每个处理器最多可安装 8 个功能包。

4、 软启动器所用的功能包。

1)、速度控制功能包 NRG。用于给定积分、速度控制等。

2)、顺序控制功能包 AST。用于触发脉冲使能、调节器使能、电流断续法换流/反电势法换流的方式切换、监视、诊断等。

3)、电流环功能包 MN1。用于整流器直流输出的调节。

4)、逆变器功能包 SMS。用于反电势计算与补偿、电压模型计算、触发角计算等。

5)、磁场电流给定功能包 ERW。用于计算磁场电流给定。

软启动器软件结构一览表如图 2。

三、软启动器工作原理及过程。

1、无换向器电机。

为分析方便，我们首先回顾一下无换向器电机的换流原理。

1)、逆变器可控硅的导通顺序与定子磁势。

如图 3-1-1 所示的逆变桥三相全控桥电路。工作时，桥上的可控硅必须成对导通，且分别属于共阴极组和共阳极组中的一个元件，以保证电流的通路（如图 3-10)。桥壁上的每个可控硅的导通时间为 120 度电角度，每隔 60 度电角度换流一次。同步机电枢绕组里流过电流的波形，在理想情况下（不考虑换相重叠，且平波电感量为无穷大）为周期性方波，如图 3-2 所示，其中 A 相落后 B 相 120 度，C 相落后 A 相 120 度。

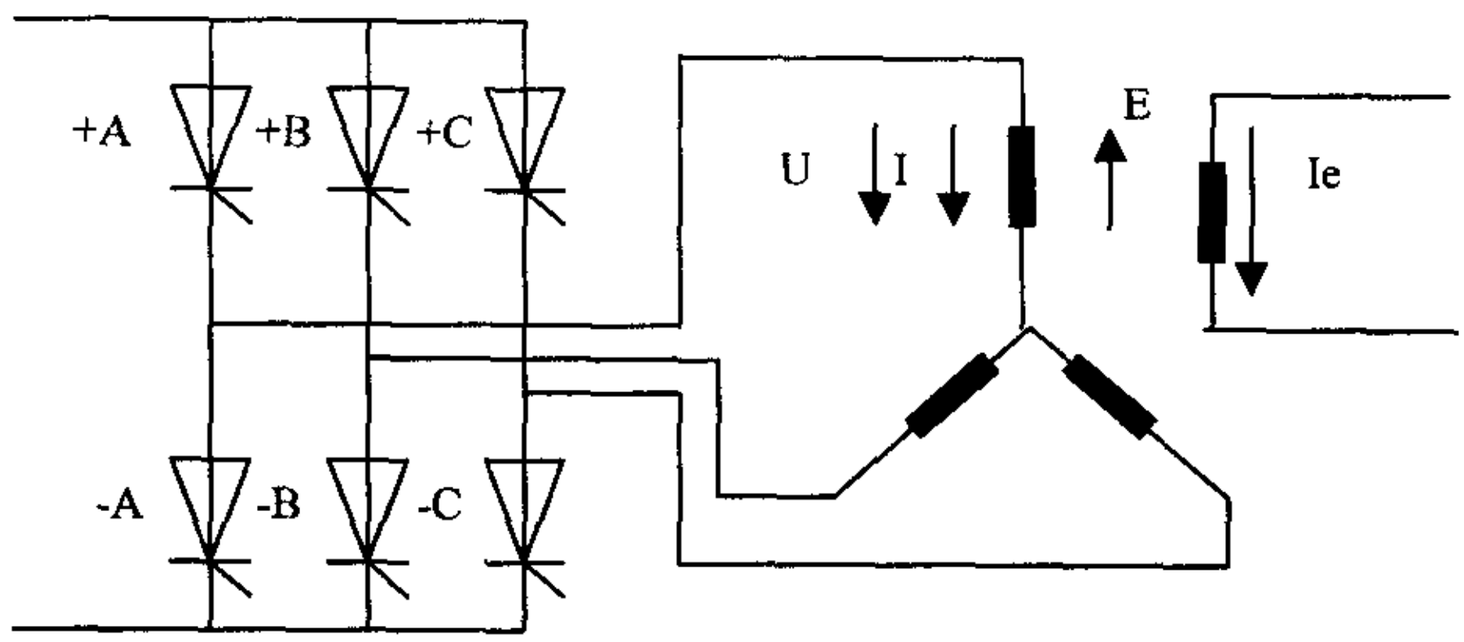


图 3-1

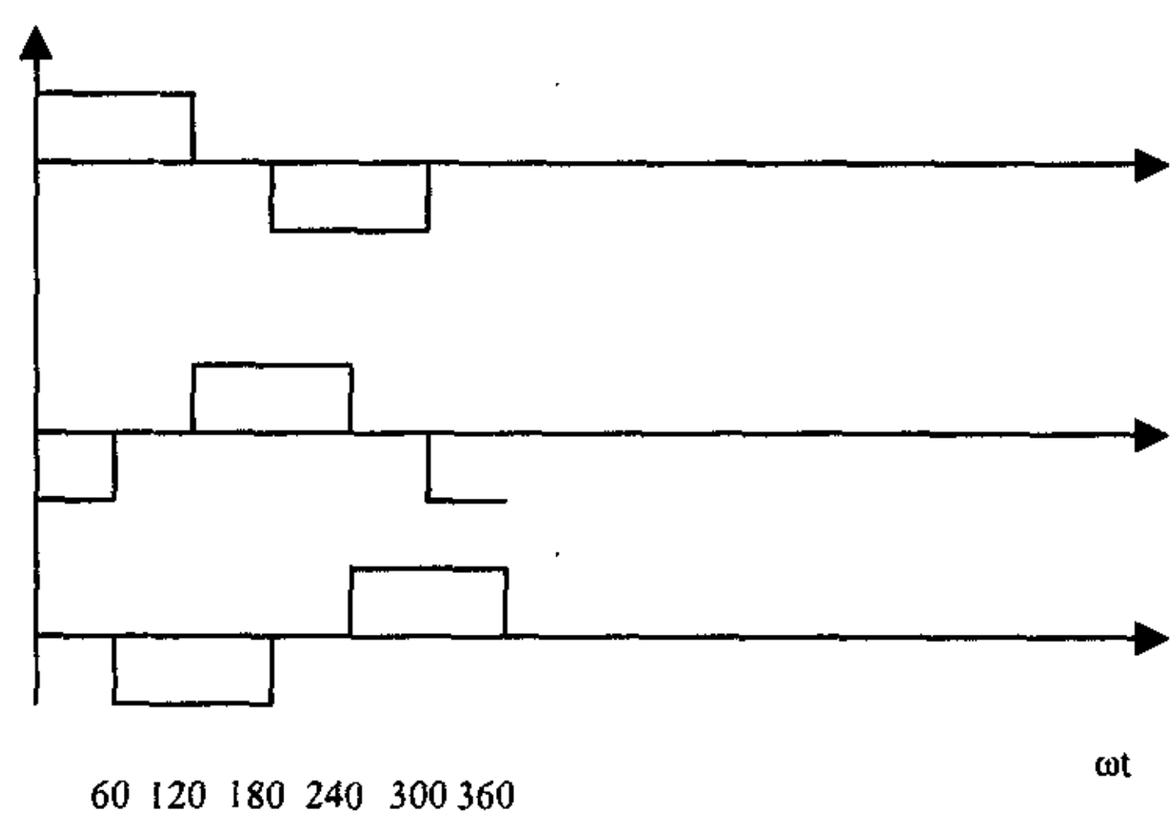


图 3-2

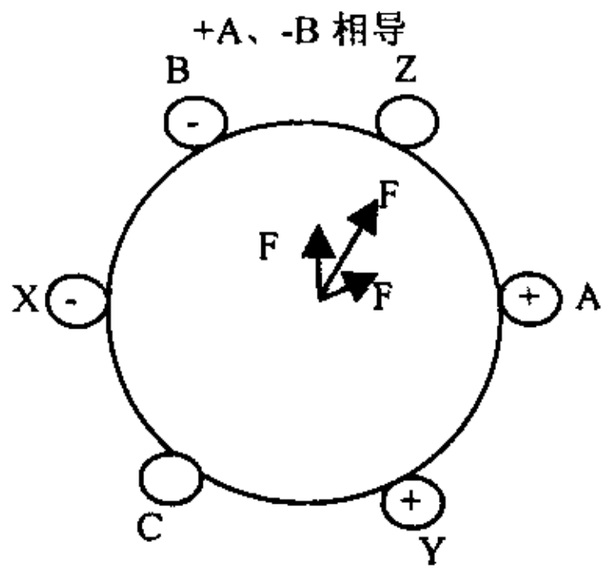


图 3-3

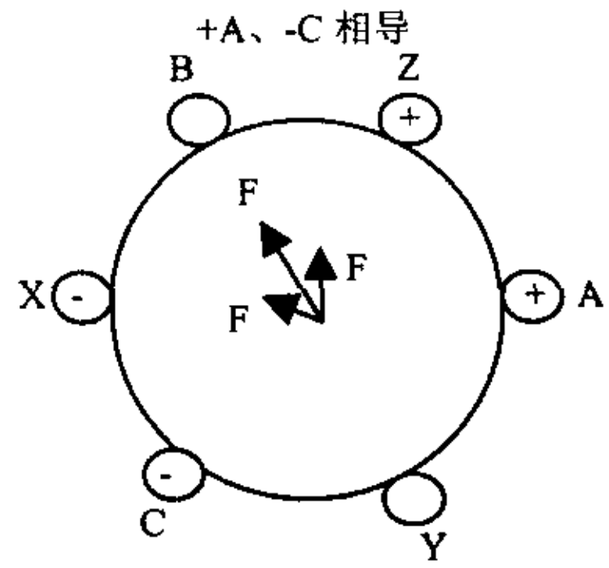


图 3-4

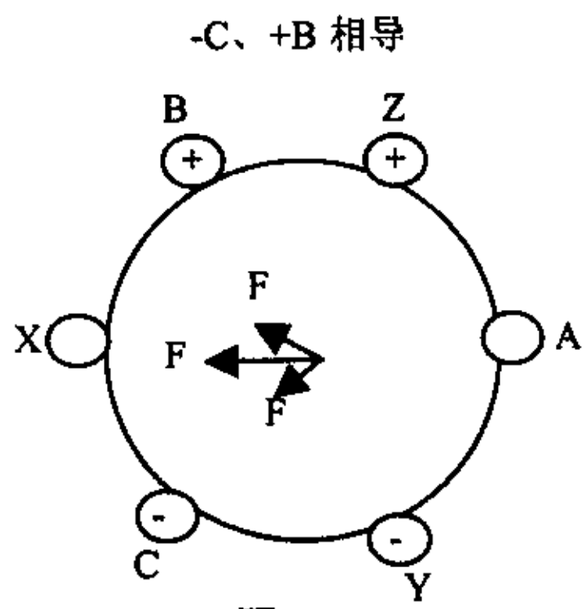


图 3-5

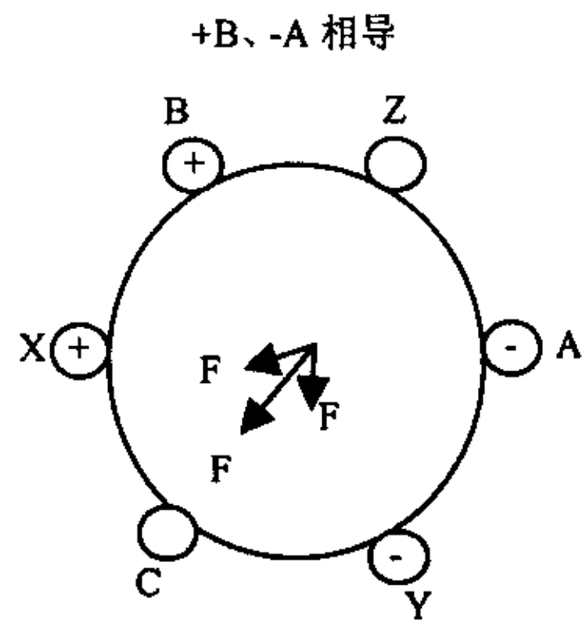


图 3-6

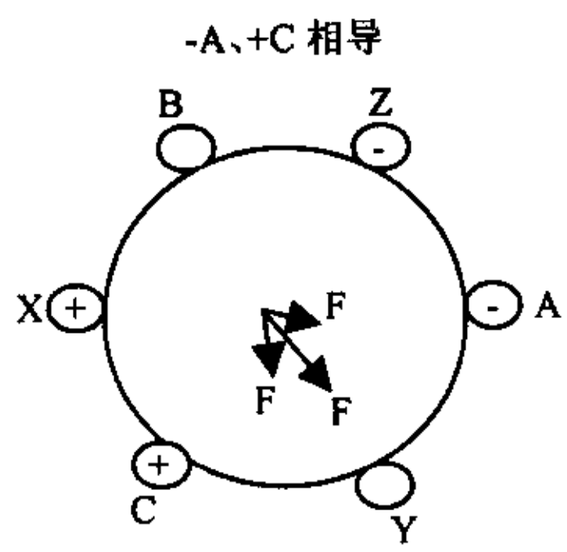


图 3-7

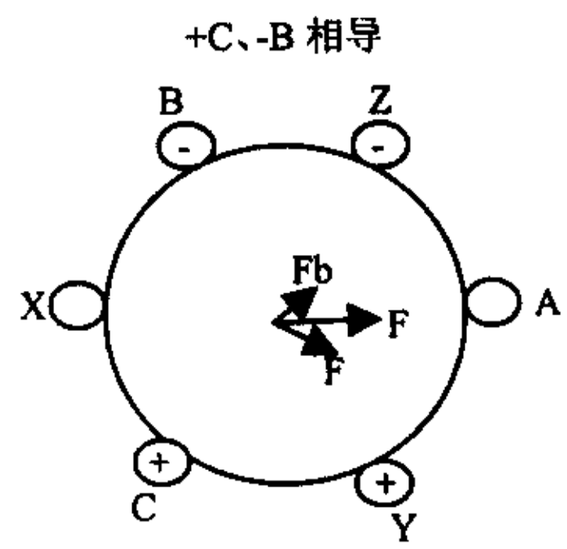


图 3-8

当可控硅+A、-B 相导通时，电机的 A、B 相绕组有电流流过，这时 A 相电流为正，B 相电流为负。由 A 相电流 ia 产生的基波磁通势用空间矢量 Fa 表示，其方向正好作用在 A 轴上，即空间电角度 0 度的位置。而由 B 相电流 ib 产生的基波磁通势用空间矢量 Fb 表示，其作用方向在 300 度电角度处。磁通势 Fa、Fb 作用在同一磁路上，合成磁势 Fs=Fa+Fb，这时位于 330 度电角度上。由于+A、-B 相导通要持续 60 度，且流过电枢绕组的电流大小为恒值，所以，在这段时间间隔内，磁通势 Fs 在电机气隙空间上是静止的（如图 3-3）。随着时间的推移，+A、-C 相导通，-B 相关断，电枢电流从 B 相换到 C 相。这时 A、C 相电枢绕组里有电流流过，且 ia 为正，ic 为负。显然，A 相的基波磁通势 Fa 仍在 0 度，C 相的基波磁通势在 60 度的位置，这时合成磁通势 Fs 在 30 度处。比较可知，逆变桥可控硅从+A、-B 导通换到+A、-C 导通时，电枢磁通势 Fs 的幅值不变，只在空间位置上跃进了 60 度空间电角度。之后在+A、-C 导通的 60 度电角度内，磁通势 Fs 又静止不动（如图 3-4）。

图（图 3-3 至 3-8）清楚地展示出，可控硅按+A、-B，+A、-C，+B、-C，+B、-A，+C、-A，+C、-B 依次导通时，电枢绕组的磁势和合成磁势 Fs，它们按逆时针的方向以 60 度电角度步进一周。改变可控硅的触发顺序，可以使合成磁势顺时针方向旋转。

2)、电磁转矩。

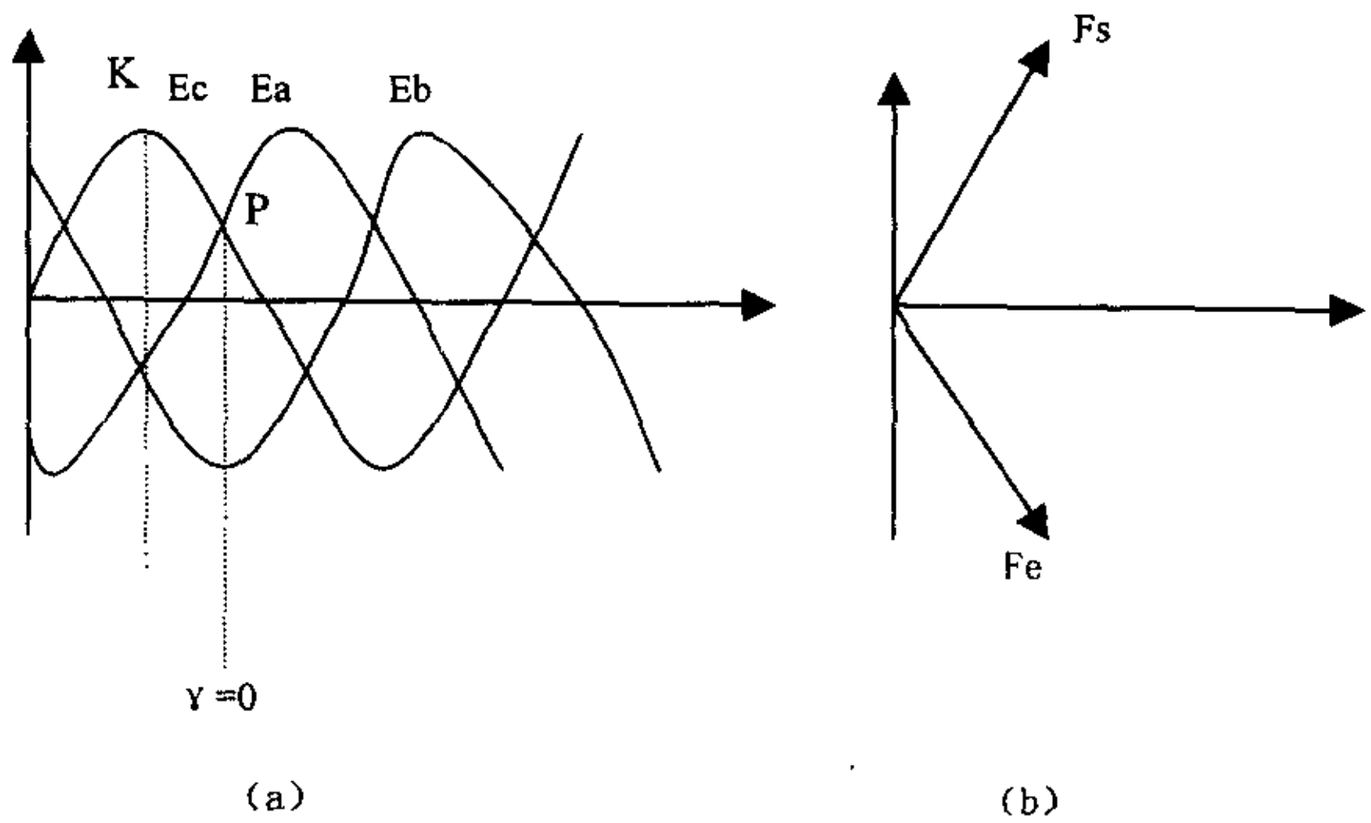


图 4

假设电机以转速 n 逆时针方向旋转，且电机的励磁绕组里有电流流过（Ie），并用空间矢量 Fe 表示其产生的励磁磁通势。电枢绕组因磁通势 Fe 的作用而感应出电势，如图 4 所示。

当电机转子转到图 4（b）的位置时，Fe 正好处于 210 度处（见图 4（b）），并与图 4（a）中 γ=0 度相对应。这时逆变桥上的+A、-B 管被触发，相应的电枢基波磁通势 Fs 处于 α=-30 度的位置上（见图 4（b））。以后按+A、-C 等上述的六拍方式轮流触发各可控硅。我们把这种情况叫 γ=0 度触发，γ 叫换流超前角。

从图 4（a）中看出，作用在电机气隙空间上的两个基波磁通势彼此相距 120 度空间电角度，并将产生电磁转矩 T。因 Fs 领先 Fe，因此，产生的电磁转矩将使电机转子按逆时针方向旋转，在可控硅+A、-B 导通的 60 度电角度时间内，Fs 原处不动，而 Fe 则向前旋转。当转到与 Fs 相距 90 度空间电角度时，作用在转子上的电磁转矩达到最大值。当 Fe 继续往前转过 30 度电角度时，与 Fs 相距仅 60 度空间电角度，这时作用在转子上的力矩又减小了，其大小与它们相距 120 度时一样。

电磁转矩的波形如图 5 所示。之后-B 管被关断，-C 管导通，即+A、-C 管导通，磁通势 Fs 向前跃进 60 度，这时磁通势 Fe 与 Fs 之间又为 120 度电角度了，产生电磁转矩的情况与前者相同。

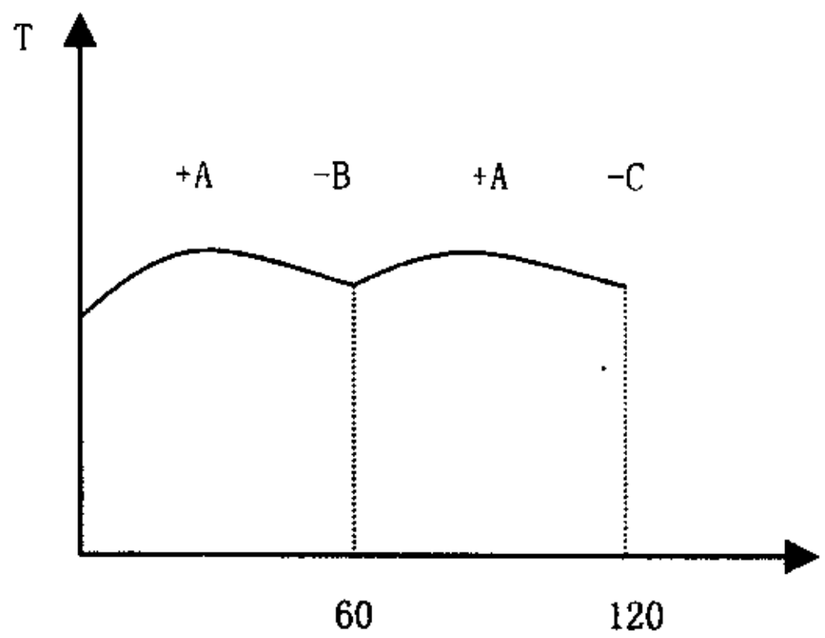


图 5

为了让逆变桥上的可控硅可靠的换流，有时采用超前换流，例如让 γ =60 度时间电角度，如土 4（a）所示。在此瞬间，励磁电流基波磁通势 Fe 在 150 度空间电角度处，这时触发+A、-B，产生的电枢基波磁通势 Fs 位于-30 度出。由于此时 Fe 与 Fs 相距 180 度，不会产生电磁转矩。当 Fs 静止不动，Fe 向前移动 60 度空间电角度的过程中，才会产生电磁转矩，而且电磁转矩在增大。当+A、-C 相导通时，Fs 与 Fe 又为 180 度空间电角度，电磁转矩又为 0 了。电磁转矩的波形如图 6。

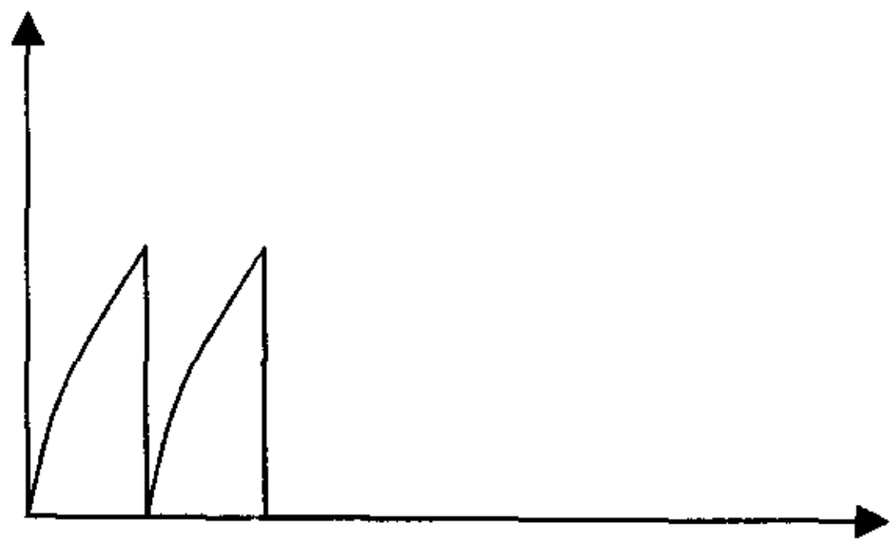


图 6

比较图 5 与图 6 可知，增大换流超前角，将使电机平均转矩减小，且引起电磁转矩脉动加剧。

3)、无换向器电机的换流。

我们知道，一般无源逆变器为保证可靠换流，都需要有一套特设的换流电路，因而使逆变器的电路变得十分复杂。但在逆变器对同步电动机供电的线路中，由于同步电动机励磁绕组的存在，只要该电机转子以一定的速度旋转，就要在定子绕组中感应出如图 4（a）所示的三相对称基波电动势来（仅分析基波电动势）。此三相对称基波电动势显然要作用在逆变桥里晶轧管上，恰当的利用这个反电势就可关断应该关断的晶轧管。

从前面分析知道，图 4（a）在 γ=0 时触发+A、-B 管，那么在未触发+A、-B 之前应该是+C、-B 两管导通，如图 7（a）所示。当 γ=0 时触发+A、-B 两管，这时除了-B 管继续导通外，+A 管也导通了，如图 7（b）所示。从图 4（a）的 P 点看出，在 γ=0 瞬间，A 相绕组的电动势瞬时值 Ea=Em/2（Em 为相电势的幅值），C 相绕组的电动势瞬时值 Ec=Em/2， 把这两个电动势瞬时值画在图 7（b）中。观察+A 管、A 相绕组、C 相绕组和+C 管构成的回路可知，这时作用在+C 管两端的电压为零。

从理论上讲，能把+C 管关断，实际上是不行的，因为晶轧管关断需要一定的关断时间，普通晶轧管需要经历数百微秒左右的时间。从图 4（a）中看出，过 γ =0 后，电动势 Ea、Ec 都为正值，但 Ea>Ec，这时作用在+C 管上的电动势又为正向电动势了，已不可能把它关断。因此只有选择比 γ =0 超前的角度才有可能将晶轧管关断，下面已 γ =60 为例进行分析。

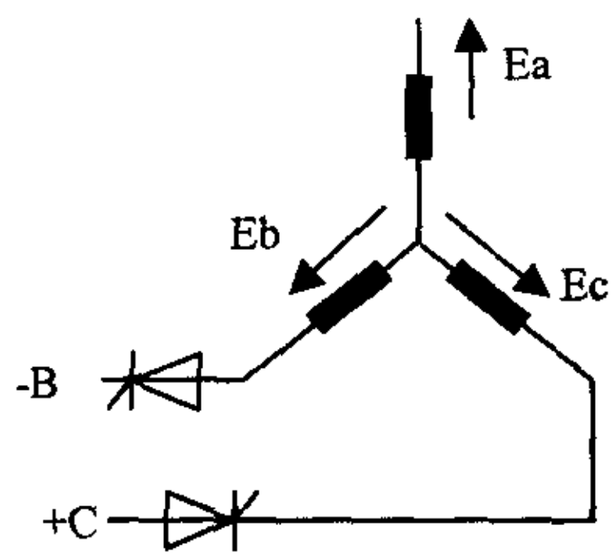


图 7（a）

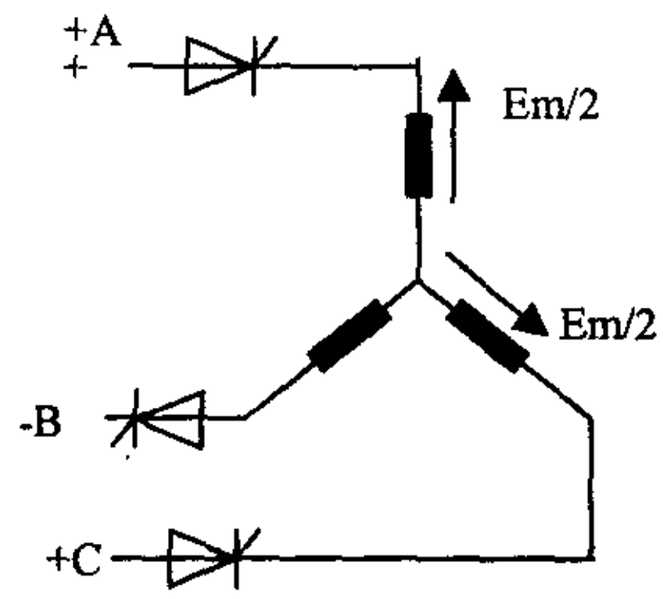


图 7（b）

在 γ =60（图 4（a）中的 K 点）之前，仍然是+C、-B 两管导通，即图 7（a）的情况。等到 γ =60 时触发+A、-B 管， 这时从图 4（a）中看出，电动势 Ea 瞬时值为负，即 Ea=-Em/2，而电动势 Ec 为正幅值，Ec=Em。把此瞬时电动势 Ea、Ec 画在图 8（a）中，观察 A 相、C 相绕组、+C、和+A 晶轧管构成的回路，可见，电动势 Ea、Ec 的方向对+C 晶轧管来说是反向电动势，并且由此电动势产生的循环电流 I 的方向（图 8（a）中虚线所示）使刚导通的+A 管电流增大，使原处于导通状态的+C 管电流减小，直到+C 管的电流逐步小到小于维持电流而关断。至此 A、C 相之间的换流全部结束，+A、-B 管导通运行。

显然，换流超前角越大，则要关断的可控硅所承受的反向电压越大，持续的

时间也越长，关断越可靠。关于换相超前角引起电机转矩的变化，在前面已论述，这里不在进行分析。总之换相超前角的确定应按既保证可控硅可靠关断，又使转矩脉动最小的原则进行。在我们的 SIMADYN D 控制系统中，这个角度是由逆变器功能包 SMS 计算得出的。它的大小与电机的参数、运行方向、负载因素等有关。

上述换流回路中包含电机两个绕组，必定存在着电感，此外还有励磁绕组和阻尼绕组的影响，因此循环电流 I 不可能发生突变，也就是说，+A、+C 两管之间的换流不可能立即完成，而必须经历一段时间。通常把两个要换流的晶轧管同时导通所经历的时间（用电角度表示），称为换流重叠角，用 μ 表示。

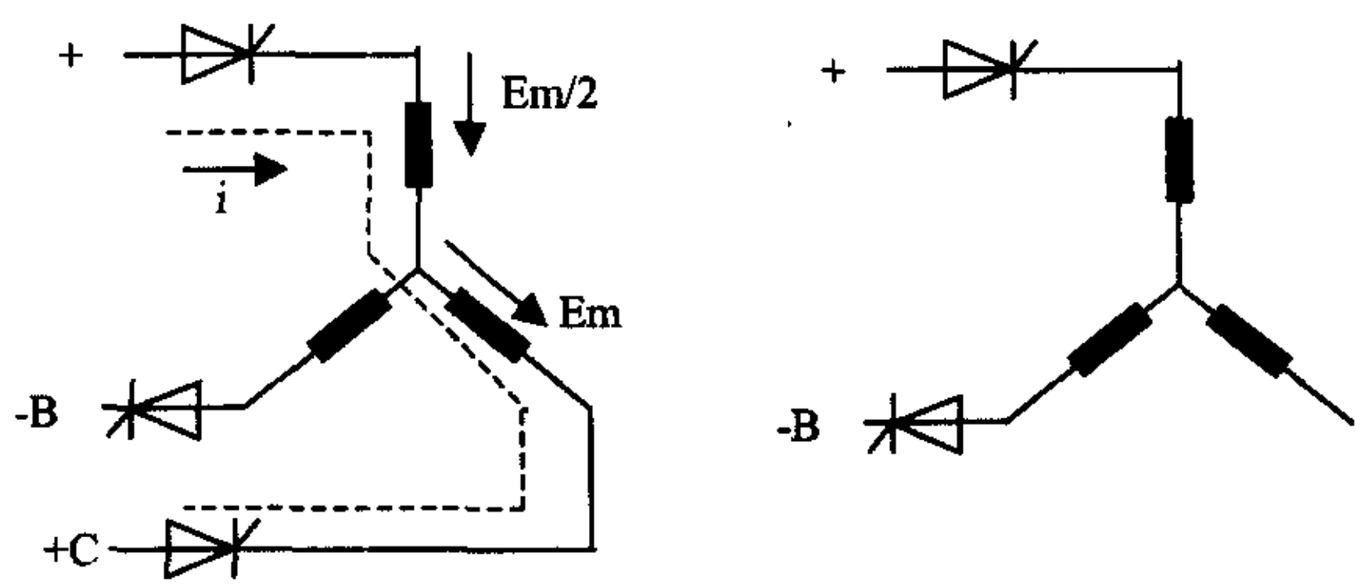


图 8（a） 图 8（b）

4)、电流断续法换流（简称断流法）。

电机在启动和低速运行阶段，由于反电势很低，不能提供足够的反压使可控硅可靠的换流。在这一阶段，应采取措施使得每当换流来临时刻，让流过逆变器的电流迅速降低到可控硅的维持电流以下，从而使可控硅关断。这种换流的方法成为电流断续法换流，简称断流法。

所谓断流法，就是每当逆变器的可控硅要进行换流时，就使电源整流桥迅速进入逆变状态，把滤波电抗器及电机中储存的能量回馈给电网，从而使电流迅速衰减到零，原来导通的可控硅立即关断，然后整流器在恢复到整流状态，逆变器恢复到逆变状态，应导通的可控硅因有触发脉冲而导通，从而达到换流的目的。

在本系统中，电流断续法换流的命令是由 TS12 脉冲发生器发出的，它根据电机的频率发出此命令，一般在 10%的额定频率下使用此方法。这个命令被送到整流侧的电流环功能包中，控制整流器的脉冲触发角。每当换流时刻到来时，令触发器工作在 β 区，使整流桥处于逆变状态。当换流结束后，又令触发器工作在 α 区，恢复整流桥的整流状态。直到电机的频率大于 10%的额定频率，电机已建立了足够的反电势后，便切换到反电势换流法工作。两种工作方式下从示波器观察到的电流波形如图 7 所示。

3)、逆变侧功能包的工作过程。

逆变器可控硅触发脉冲的控制由软件和硬件两部分组成。软件主要包括反电势运算、校正、电压模型等。硬件有三部分功能，对旋转角速度 ω 进行积分，得出磁通旋转角度 ωt、计算触发角，产生触发脉冲及根据电机的转速决定换流的方式（见图 4）。

从图 9 中我们看到，TS12（硬件、脉冲板）肩负着三个任务。其一是对 ω 进行积分，得到旋转角 ωT（积分器在硬件中，以确保快速性）。其二是对磁通矢量旋转角、触发超前角进行综合后再移项 90 度，作为脉冲的触发角（由于 ωT 是磁通矢量的位置角，而脉冲的触发应根据电压矢量的位置角，故应对其进行 90 度的移项，参见图 9）。其三是根据电机的旋转速度决定换流方式（电流断续法换流或

反电势换流）。

逆变器的工作归过程。

A、 检测单元对电机的电压、电流进行检测，并将其变换成数字量。

B、EMF 计算功能块根据电机的参数计算出反电势。

C、校正功能块对反电势进行校正。

D、电压模型功能块对电压矢量进行分析、计算。

首先将反电势 EMF 进行 3/2 变换，计算出 EMF 在α、β坐标系的两个分量。然后通过矢量旋转器将α、β坐标系变换成旋转坐标系，根据旋转坐标系内的各个分量计算出磁通及旋转角速度ω。

E、 由硬件对ω进行积分，得出磁通矢量的位置角ωT。

F、 触发超前角计算功能块根据电机的参数、方向、工作方式、负载情况计算出触发超前角。

G、 对触发角（ωT-α）进行移项，发出触发脉冲。

H、 根据电机转速决定是否发出断流法换流命令。

计算出的角速度ω实际上就代表了电机的旋转速度，它除了送给 TS12 进行积分运算外，还作为速度反馈送到速度调节功能包中实现速度闭环。分析到这里，我们以清楚的知道了，本系统不使用测速机或码盘检测速度，而是靠软件计算得出速度的实际值。这是本系统的特点之一。

1、 整流器工作过程简介。

它的作用是通过直流电抗器和逆变器给同步电动机定子提供电流。这个电流的大小正比于转矩。对于一个 6 脉冲的整流器的电流环功能包，包括了以下几个

子功能。

1)、电流实际值的检测与计算。

2)、电流闭环控制。

3)、可强制工作在整流或逆变状态。

4)、线性化触发器参数。

5)、触发器控制。

6)、工作顺序。

7)、电流断续法换流。

8)、故障采集与保护。

功能 7）已在前面论述过，其他的功能与我们所熟悉的直流系统的功能相同或相近，这里不在论述。

2、 磁场电流给定控制。

磁场电流给定控制由功能包 ERW 完成。在电机的运行过程中，随时根据电机参数和定子电流调节磁场电流给定。

3、 顺序控制。

顺序控制由功能包 AST 实现。它是用户的启/停控制与传动系统内部的逻辑控制间的接口。它控制和监视系统的操作状态，并产生相应的控制信号。顺序控制的功能如下。

1)、合辅助系统，检查连锁关系。

2)、接受操作台的启动信号，启动电机的磁场。

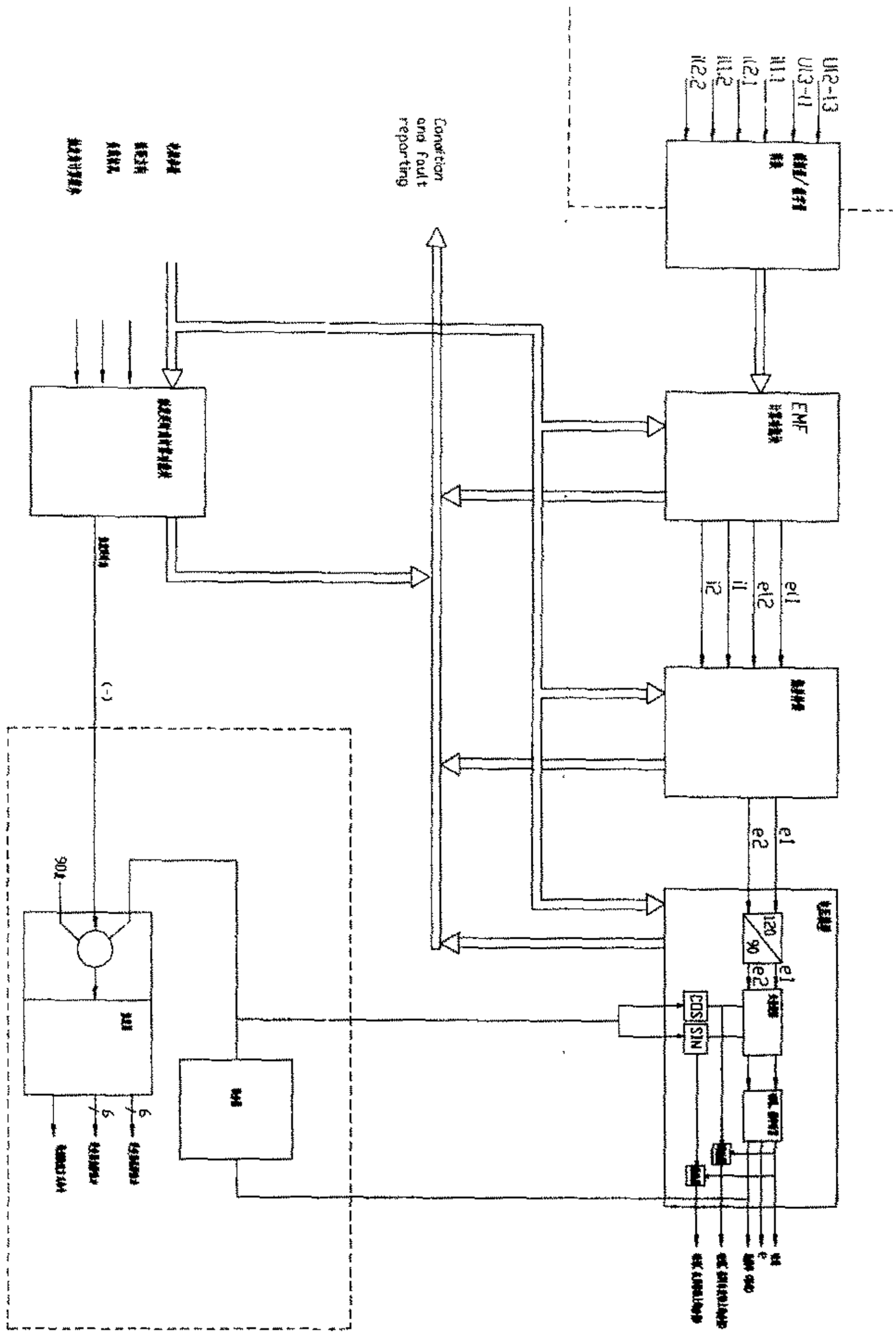
3)、发出转子定位命令。

4)、对逆变器触发脉冲使能。

5)、对整流器触发脉冲使能。

6)、选择断流法换流或反电势换流的工作方式。

7)、监视所发出的命令执行情况，如检查速度、反电势、磁通是否在规定的时间之内达到规定值，如果未达到，则封锁控制系统。


U2-13
U3-11
N1.1
N2.1
N1.2
N2.2
Condition and fault reporting
EMF
i2
i1
e12
e11
e2
e1
SIN
COS
(-)
906
6
6

图<9>：逆变器控制

四、启动。

变频器的启动，包括以下几个步子。

1、 转子定位。

本系统无转子位置检测器，靠软件计算转子位置。这是本系统的又一特点。

转子的定位，就是在电机启动前，要找到转子相对于定子轴的位置，从而决定可控硅的触发顺序。在从前的变频系统中，都是在电机轴上安装一个转子位置检测器来实现转子定位的。这种靠硬件检测转子位置的系统有两个缺点。其一是安装、维护量大，其二是误差大、易受干扰、不可靠。故现在很少采用，更多的是靠软件计算的方法来完成转子定位。下面介绍我们所研制的系统的转子定位方法。

1)、加电机励磁，则在建立励磁电流的过程中，会在定子绕组中感应出电势。在电枢的每一相感应出的电势的大小和方向都与转子的位置有关。

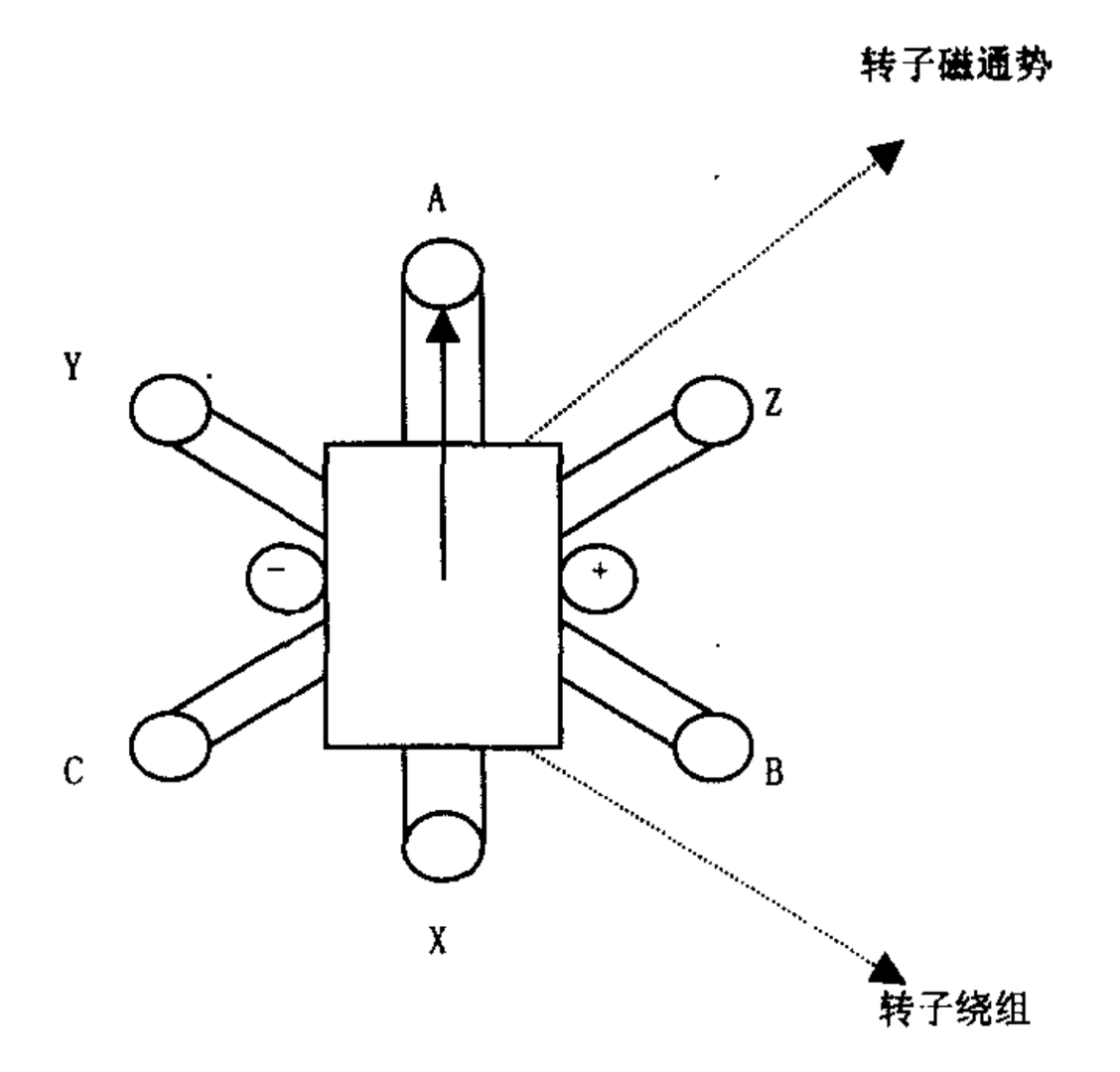


图 10

如图 10 所示，假设转子的位置在 A、X 轴上，且电流方向为右正左负，则根据右手螺旋定则，转子磁通势方向向上。在磁场建立的过程中，它由小变大，会在电枢绕组中感应出电势。由于转子磁力线不切割 A、X 绕组，故 Ea=0，再根据左手螺旋定则，在 B、Y 中感应出 B+、Y-的电势，即 Eb 大于 0。而在 C、Z 中感应出 C-、Z+的电势，即 Ec 小于 0。根据 Ea、Eb、Ec 的大小和正负，就可知道转子的位置。以上仅以转子在 A、X 轴上为例说明转子定位原理，当它不在任何一个轴上时的原理是一样的，只是分析和计算的复杂度大了。

知道转子位置的目的，是为了知道应该触发哪两个可控硅。如果电机以逆时针的方向旋转且转子处在上图的位置，我们就必须触发 C、Z 相导通。因为如果触发 B、Y 相，则电枢绕组产生的磁通势与转子绕组产生的磁通势夹角小于 60 度，而 Fs 在 60 度空间电角度内是不动的，即转子在转动的过程中会与电枢的磁通势重合，电机不产生转矩。如果触发 A、X 相，Fs 与 Fe 的夹角为 90 度，从理论上是可行的。但我们在前面分析过，为保证可靠换流，必须提前一个角度触发可控硅，而此时这个超前角只有 30 度的裕度了，换流的可靠性低了。所以，触发逆变器可控硅，使其产生的电枢磁通势与转子磁通势夹角大于 90 度是逆变器可控硅触发的原则。

2)、通过电压模型计算出转子的初始位置角 ωT0。

3)、根据转子的初始位置角分配触发脉冲。

2、 择电流断续法换流的工作方式，直到电机的频率达到额定频率的 10%，此阶段速度调节器不参与调节。

3、 切换到反电势换流的工作方式，使电机的转速逐步增加至规定的转速。

这期间速度调节器工作，它将速度给定信号与计算出的电机转速实际值进行比较，将它们的偏差量进行 PI 调节，PI 调节器的输出作为电流给定信号，进入整流器的电流调节环节。在这一阶段，速度调节器、电流调节器的工作方式和特性与直流双闭环控制系统是完全一样的。

电机的整个启动过程中，ωT、Ψ、Id 的曲线如图 11。从图 11 我们看出，转子的定位期间，即电机磁场建立过程中，计算出磁通初始位置角 ωT0 及其幅值 Ψ0。接下来是电机断续法换流，当电机转速达到 10%的额定频率后，切换到反电势法换流，直至启动到电机的额定转速。

五、并网。

1、 并网条件。

将同步机投入到电网上运行，必须具备以下 3 个条件。

1)、机侧、网侧的电压幅值相同。

2)、机侧、网侧的电压相位相同。

3)、机侧、网侧的频率相同。

2、并网装置。

并网装置主要包括以下几个环节。

1)、检测环节。

检测环节的主要任务是检测机侧和网侧的电压。检测环节的原理示意见图 9。

2)、比较环节。

比较环节在并网装置内部，当启动并网装置后，它就把机侧和网侧电压的幅值、相位及频率进行比较，并根据比较结果输出相应的命令。

3)、调节命令。

调节命令主要有电压调节命令、频率调节命令、并网命令和跳闸命令。当并网装置比较机侧和网侧的电压幅值不在规定的范围内时，就发出电压调节命令给控制系统，增加或减少电机的电压。当并网装置比较的机侧和网侧的频率的偏差不在规定的范围内时，就发出频率调节命令给控制系统，增加或减少电机的频率。当三者均在规定的范围内时，便发出并网命令，闭合 S1，打开 S2、S3，变频器退出工作，电机并网运行。当并网装置调节的时间超出规定的时间时，便发出跳闸指令，封锁控制系统，电机停车。

2、 并网方式。

并网方式有两种，超同步并网和亚同步并网。

1)、超同步并网。

如果先打开 S2、S3 开关，再闭合 S1 开关。则电机在 S2、S3 开关打开到 S1 闭合这段时间内，变频器和电网均不给电机供电，电机的频率要略有下降，故应使电机的频率略高于网侧的频率，然后在并网，以弥补这个小的频率下降。由于并网指令是在机侧的频率大于网侧的频率的情况下发出的，故称超同步并网。

2)、亚同步并网。

反之，如果先闭合 S1 开关，再打开 S2、S3 开关。则在 S1 开关闭合至 S2、S3 打开这段时间内，变频器和电网同时给电机供电。在这段时间内，电机的频率将有小的上升，所以并网命令应在电机的频率小于电网频率的时刻发出。称亚同

步并网。

六、总结。

以上简述了交直交变频启动器启动同步电动机并将其投入到电网上运行的过程。从上面分析中我们看出，此系统使用矢量分析（电压模型）计算角频率，用于确定逆变器脉冲的出发角及速度闭环。但在整流侧的控制中，并不分析直接产生转矩的电流矢量 Ist（定子电流在 M、T 轴上的分量），即没有进行矢量变换及控制，所以它不能称为矢量控制系统。这会影响到系统的调速特性。但由于它仅是一个启动器，其任务就是将电机启动并投入到电网上运行，故这种方案是合理的，它使系统简单可靠，同时也降低了系统的造价，其应用前景十分广阔。

七、无换向器电动机的运行特性

①调速特性

$$n=\frac{E_d-I_d\cdot\sum R}{K_e\cdot\Phi\cdot\cos\left(\gamma_0-\frac{\mu}{2}\right)\cdot\cos\left(\frac{\mu}{2}\right)}=\frac{2.34\cdot U_2\cdot\cos\alpha-I_d\cdot\sum R}{K_e\cdot\Phi\cdot\cos\left(\gamma_0-\frac{\mu}{2}\right)\cdot\cos\left(\frac{\mu}{2}\right)}$$

$$n=\frac{E_e}{C_e\Phi}=\frac{U}{C_e\cdot\Phi}-\frac{I_d\cdot\sum R}{C_e\cdot\Phi}$$ <直流电动机公式>

其中:ΣR 一一主电路等效总电阻,包括平波电抗器电阻、电枢绕组两相的电阻和晶闸管正向压降的等效电阻。

E_d 一一直流电源电势或晶闸管空载输出电压平均值。

U_d,I_d 一一逆变器直流输入电压和电流平均值。

U ——电动机相电压有效值。

γ_0——晶闸管逆变器的换相超前角。

μ ——换相重迭角。

U_2——三相交流电源变压器二次侧绕组相电压有效值。

G ——整流侧的触发角。

E_e——电势常数。

ϕ ——每极磁通。

P N ——电机极对数。

N K ——电机每相绕组等效匝数。

②转矩特性

$$T_m = K_m \cdot \Phi \cdot I_d \cdot \cos\left(\gamma_0 - \frac{\mu}{2}\right) \cdot \cos\left(\frac{\mu}{2}\right)$$

$T_m = K_m \cdot \Phi \cdot I_d$ 〈直流电动机公式〉

$$K_m = \frac{3\sqrt{3}}{\pi} \cdot P_N \cdot N_K$$

其中:K_m——转矩常数。

由式可见，γ_0对于无换向器电机的平均转矩的大小影响较大。

③机械特性

$$n = \frac{E_d}{K_e \cdot \Phi \cdot \cos\left(\gamma_0 - \frac{\mu}{2}\right) \cdot \cos\left(\frac{\mu}{2}\right)} - \frac{\sum R \cdot T_m}{K_e \cdot \Phi^2 \cdot \cos^2\left(\gamma_0 - \frac{\mu}{2}\right) \cdot \cos\left(\frac{\mu}{2}\right)}$$

$$n=\frac{u}{C_e\cdot\Phi}-\frac{\sum R}{C_e\cdot C_m\cdot\Phi^2}$$ 〈直流电动机公式〉

由上述公式的比较可见，其特性与直流电动机的特性完全相似。

当磁通Φ和换流超前角γ。保持不变时,调节γ。,即改变Ed时,机械特性是一组相互平行的平行线。

可见机械特性较硬,有较宽的调速范围。

八、运行时的COS Φ调节

1、无刷励磁

根据同步电动机的运行原理，同步电动机在工作时需要给转子绕组通入直流电,使转子形成一个稳定的磁场(形成固定的磁极,小功率同步电动机转子为永磁体〉,称之为励磁。当定子绕组通以三相交流电,就会在定子上形成均匀的旋转磁场。定、转子磁场相互作用而产生磁场力,使转子与同步旋转磁场同步转动。

同步电动机的励磁方式: 70 年代以前,励磁方式都是通过电刷和集电环,将直流电送入转子,而直流电来自一个独立的直流可变电源,它们可能是: ①直流发电机: ②直流变流装置。70 年代以后,出现了无刷励磁,即在同步电动机轴上安装一台交流发电机作为励磁电源。在励磁发电机的转子随定子同轴旋转时,由于励磁发电机定子上通励磁〈直流或交流〉,所以转子上会产生三相交流电。无刷励磁发电机转子上镶箝整流二极管(称为旋转二极管〉,构成三相桥式整流器,可直接把三相交流电整流为直流电,通过与轴绝缘的轴心母线把直流电送入电动机的转子绕组,供直流励磁。这样就无需集电环和电刷,

励磁的调节可以通过控制励磁发电机的定子磁场来实现。这就是无刷励磁。见图(11〉和〈12〉。

由此可见，无刷励磁的特点是：励磁机和主机之间的电气联系不是通过电刷和集电环，称之为无刷，其技术关键在于交流变直流的整流环节镶嵌在转子上与电机转子同步旋转，或者说，交流变直流的过程同是在转子中进行，无需滑动传递。这一技术的发明为同步机的运行和维护带来极大方便。但同时带来的问题是:镶嵌在转子上随时在高速旋转中的整流管的安全运行和运行中的监视问题。在初期的无刷励磁发电机上,对旋转二极管进行了比较复杂严密的监视。〈因二极管在高速运转状态,故而监视的难度也很大。〉但经过二十年来的运行实践证明:只要管子的容量选择适当〈属电机制造厂设计中选取〉,故障率极低,或者说根本无故障。况且即使出现故障,处理的方法只能是:停机、解体、抽转子,然后由电机生产厂家来处理,因而检测的意义并不大。如一旦旋转二极管出现故障(这种故障一旦出现就只能是永久的,不可逆的,不可修复性的,只能更换〉,后果则是整流性能变坏,励磁下降。但因励磁系统是闭环可调的还可以加大励磁电压,如实在调不上去,则只能停机检修.因而到了90年代,我们的6#风机SIEMENS公司已经取消了旋转二极管的监视,实践证明是可行的。

2、 运行中的 COSΦ调节

同样,根据同步电动机的运行原理，同步电动机在电网电压 U，频率 f，负载电流 Ia 保持不变的情况下，利用调节励磁电流 If，可以改变 COSΦ。在本文 1.1 中已提到，本系统选为同步电动机的考虑基点中应该有：可以通过

调节来改变 COS Φ，对电网进行有效的无功补偿。因为此电机容量较大〈36.14MW〉，在电网中占举足轻重的作用。如它的负载性质可以调为超前。本系统要求 COS Φ 为-0.85，这样，它可以把电网中的相当大容量的感性负载予以补偿。大大提高电网的质量。增加电功的有效部分，提高设备利用率，减少线路中的无功损耗。

本系统的励磁机励磁供电是交流的。〈也因此不须启动励磁〉交流的调节〈变流器〉是双向硅。见图〈12〉。

而双向硅的输出电压调节是励磁 S I M A D Y N D,其调节原则是:依据负载电流〈风机负载〉的变化来调节 S I-T O R 的输出电压,从而改变励磁发电机的励磁电流(三相交流值〉。从而始终保持功率因数 COS Φ 为设定值〈本系统设定为-0.85〉。

运行情况、运行参数变化及分析见图〈13〉。

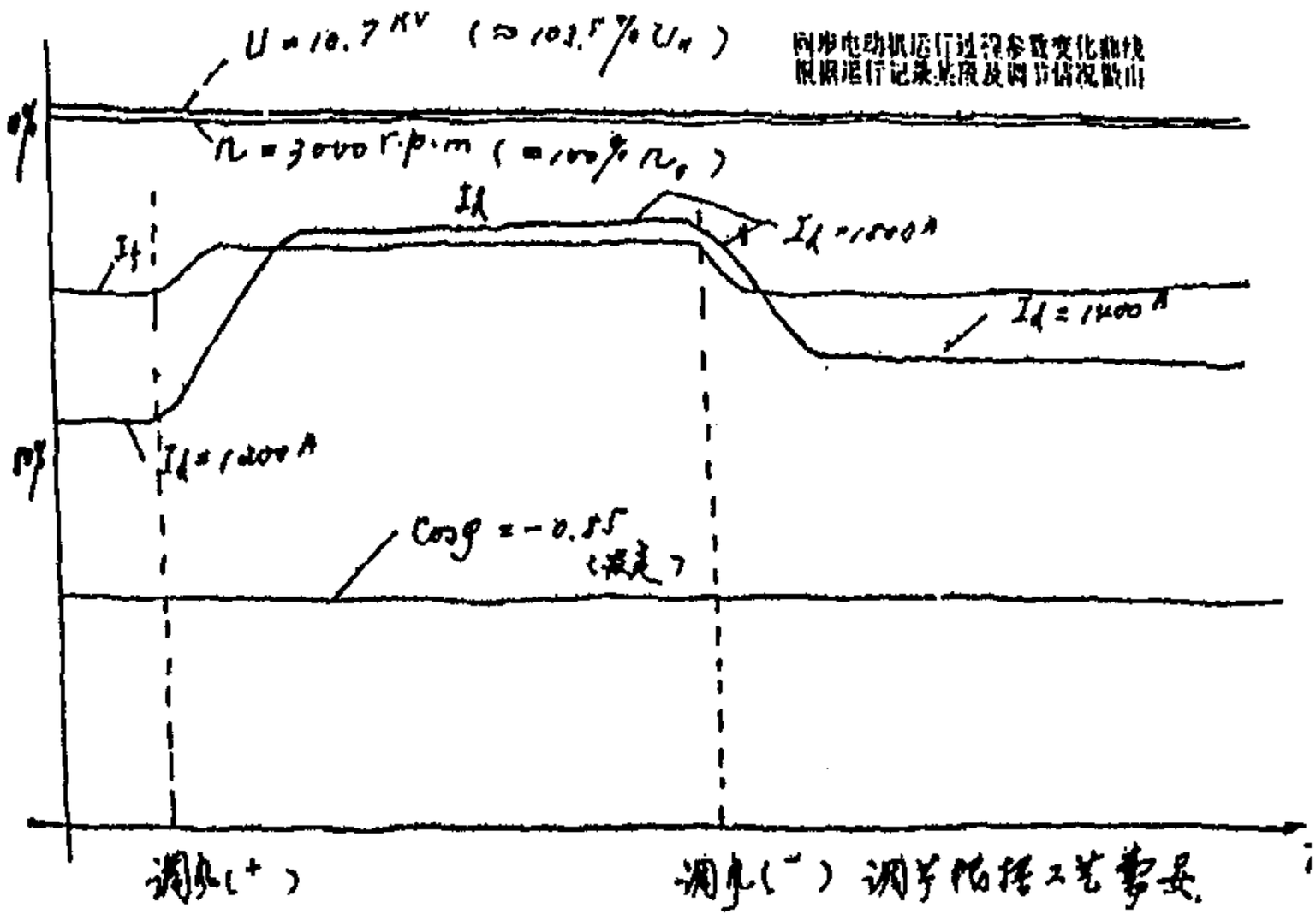


图 13 运行情况、运行参数变化及

关于运行参数曲线的分析:

本电机拖动的风机为压缩式轴流风机,操作在根据高炉冶炼的工艺要求调节供风量。这一调节靠改变风机静叶片的角度〈改变风路的截面积〉,这就是调载。主机电流随负载变化而变化。电机运行中,定子回路为电网供电。因此电压和频率是恒定的,不发生变化。因此,电压和转速这两个参数是恒定的,不发生变化。根据调风量的变化，定子回路电流发生变化,为保护系统的功率因数不变(设定值为 COS Φ =-0.85），因此在调节过程中励磁电流随之发生变化。

日常运行时的基本参数大概是:

电压:10.3~10.8 KV

转速:30OOr.p.m

主电流:1000~1800A

励磁电流:5# lOA~12A DC：6# 85~115A AC

功率因数:-0.85

因同步机励磁绕组电流不易检测,故 5#测 SIMAREG K 的输出。

6#测 SITOR 的输入。

第三章、高炉风机控制软件实现

一、软件系统的构成：

西门子公司根据控制系统的需要,开发和设计了各种功能的标准 功能块〈Standard Function Block 〉,这些标准功能块包括:各种计算功能、逻辑选择、控制、信息传递、通讯等等功能。根据主程序〈Master Program 〉和用户程序〈UserProgram〉的要求,由这些标准功能块组成可以完成一个独立功能的功能包(Function Package 〉。把这些独立的功能包组成的软件程序,用编程器输进 E P R O M,加以固化,就变成了系统的固定程序。每个功能模块〈如PG16、PM16〉在依据软件系统 E P R O M 存储的程序完成其所设定的功能(而硬件组成中的 MMll[RAM]中所记忆的信息是系统随机发生的,只有记忆功能,断电信息消失〈复位也消失))。因此软件系统构成的最基本元素是标准功能块。因为最基础的标准功能块是标准的,软件设计是选择性的堆砌,故应用时对其资源的利用也是有选择的。如何合理、充分地利用这些功能块,缩短程序执行周期,更好地实现实时控制,就体现了设计的技术和水平。

二、 软件结构

SIMADYN D 系统的软件由三部分构成:

①系统软件:②用户程序:③组态软件。软件结构如图 14

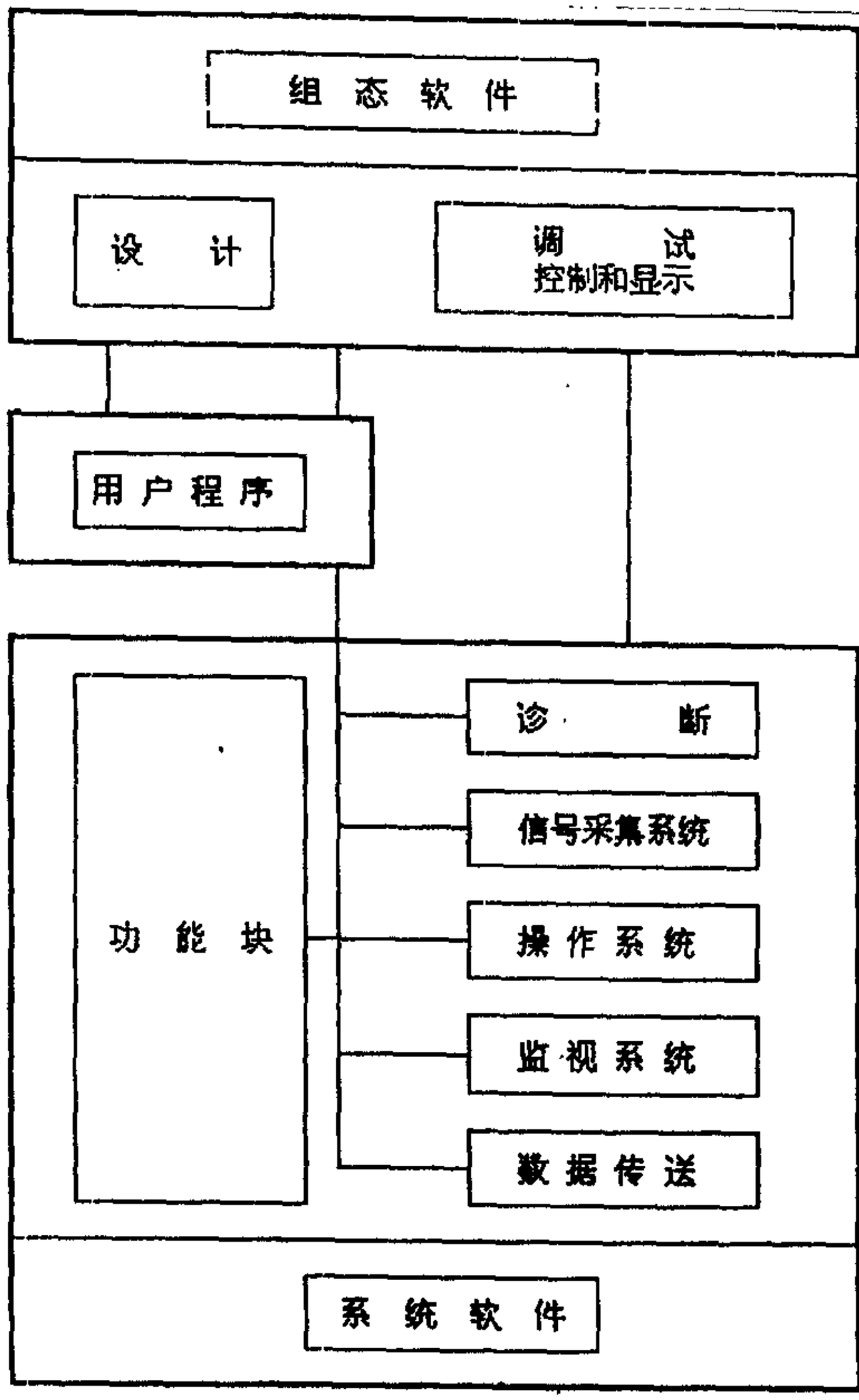


图 14 系统软件、用户程序、组态软件

三、 软件系统的语言

本系统所采用的设计语言是 STRUC 3.1。

（1）STRUC 语言概述

S I M A D Y N D 的软件是由 STRUC 编程语言来实现的。STRUC 语言用来描述 S D 的硬件和软件功能块之间的相互作用。针对不同的应用场合 STRUC 语言有不同的层次。S D 系统的软件的设计是模块化的。程序的最小单位是功能块,功能块按功能划分,并用不多于 6 个字符表示。功能块可分成 8 类:

a.控制块 b.输入/输出块 c.特殊变换块 d.通讯块 e.算术块 f.节点转换块 g.逻辑开关块 h.服务诊断块。若干个功能块组成功能包,一个功能包最多可包含 255 个功能块。功能包可用来实现开、闭环控制、计算、监视及各种量的处理。每个处理器模块最多可以包含 8 个功能包。标准功能块存在于库文件中,用户可以通过 PG730/PG750/PC 来选择。编程环境有两种,一种是列表式称为 STEUCL,另一种是图形的称为 STRUC G。编程的实现是通过有向结构图来完成的。程序的编辑、编译、链接、PROM 读写。在软键和菜单的提示下完成。

(2〉STRUC 语言层次

①主程序 MP (Master program)

MP 描述模块在机架上的配置情况、功能包的存在方式、总线信号的发生、每个模块扫描周期时间的定义、上电后模块初始化等。

此外 MP 还能完成与外设的联系。

②功能包 FP (Function Package)

FP 按功能可分为两类:a.时间中断 PJ; b.事件中断 PIJ。

PJ 在指定的 5 个扫描周期内(T1~T5〉完成开、闭环控制和监视功能,每个处理器模块中最多只能有 8 个 PJ,一个 PJ 中最多只能有 255 个功能块。

PIJ 在指定的 5 个报警〈I1~I5〉信号的触发下完成开、闭环控制及其它功能,每个处理器模块中最多只能有一个 PIJ,一个 PIJ 最多只能有 255 个功能块。

③功能块 FB (Function Block)

FB 完成最基本的功能，是程序的最小单元。

四、控制的软件实现

本文以 A300 的 MP 为例。

MP-A300 源程序清单如下:

```
1 MP-A300
&     IBSLIB     911130V310   A:
&    B:IBSL02   910115V310   C:
2    CT1 4S='master program for subrack A300'
3    CT2 4S='TUE   n<=2 thyristors'
4    CT3 4S='12 pulse soft starter'
5   HLD 3S='                    ,
6   DLP 3S='                    ,
7    DLS 1S='                   ,
8    DGP 3S='3SE 460 604 9102.00'
```

```
9     DGS 1S='MP02                ,
10    DPP 3S='                    ,
11    DPS 1S='                    ,
12    LCD 3S='+02E02              ,
13    OI1 2S='                    ,
14    OI2 2S='                    ,
15    CN1 2S='Siemens AG          ,
16    CN2 2S='Bereich SWE         ,
17    UP1 4S='SHOUGANG            ,
18    UP2 4S='BLAST FURNACE BLOWERS'
19    UP3 4S='                    ,
20    DAT DA=23.10.92             ,
21    DES 2S='SWE T224            ,
22    CHK 2S='Knaus               ,
23    0RD 4S='MP-A300 STAND 02.06.92 F,
24    MD3 4S='  /Meldg.  /    /    ,
25    MD2 4S='  /Meldg.  /    /    '
26    MD1 4S='  /Meldg.  /    /    '
27    SYS 1N= @SIMD
28    DIM DL=[GRADC]
&             ([ms],[s],[min],[A],[V],[1/min],[m/s],
&              [Grad],[Hz])
```

```
29++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++
30
31  BGT:     SR1
32    L01 6S='.  .  .  .  .  .'
33    L07 6S='.  .  .  .  .  .'
34    L13 6S='.  .  .  .  .  .'
35    L19 6S='.  .  .  .  .  .'
36    S01 8N=D01_P1,SS1Pl,   SS2Pl,SPM1
37    S02 8N=0
38    S03 8N=MM
39    S04 8N=0
40    S05 8N=0   ,
41    S06 8N=D06EB
42    S07 8N=D07LR
43    S08 8N=D08LR
44    S09 8N=D09LR
45    S10 8N=DlOLR
46    S11 8N=D11LR
47    S12 8N=D12LR
48    S13 8N=D13LR
49    S14 8N=D14LR
50    S15 8N=0
51    S16 8N=0
52    S17 8N=0
```

```
53    S18 8N=0
54    S19 8N=0
55    S20 8N=0
56    S21 8N=0
57    S22 8N=0
58    S23 8N=O
59    S24 8N=D24CS2
60++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++61D01_P1
 :PM16
62   PI J   1N=0
63    SF J   IN=0
64    PRX   1N=@EA
65    PJ1 1N=TUE
66    PJ2 1N=UH1
67    PJ3 IN=0
68    PJ4 1N=0
69    PJ5 1N=0
70    PJ6 1N=0
71    PJ7 1N=0
72    PJ8 1N=SG3
73    PTX IN=@SA
```

74 ILS IK=0

75 ICS IK=0

76 TO TG=2.4[MS]

T1 TS=1

78 T2 TS=2

79 T3 TS=4,$FTUE1,$FTUE2

& ,$KZKT,$QET

& ,$MKKMSR,$MKKNSR

80 T4 TS=16

T5 TS=128

TY TX=T5

83 SSM 2C=0

84 ISE 1C=N,

85 CCT 8R=TUS1.T3,TUS2.T5

86 CCR 8R=TUE.T3

COP 8R=0

88 CMS 8N=0

89 CTS 8N=TSMOA,RKA3

MS 2M=0

91 X01 1M=0

92 X02 1M=TSMOA

X5C 8K<*BE9

94 X5D 8K<*DOIX5D

95 X5A 8K>*D01X5A

```
96    X5B 8K>*DOIX5B
97++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++98
99  SSIPl    :SSl
100++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++
101
102  SS2PI:SS I
103++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++
104
105  SPMI  :MS41
106++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++
107
TSMOA  :DUSTIM
109  TWU3C=64
110++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++
EJ
112
113  MM    :MM11
114++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++
115
116  D06EB    :EB11
X5C 8K<*ZIMP1
118    X5D 8K<
119    X6C 8K<*ZIMP2
120    X6D 8K<
```

X5A8K>*D06X5A

122 X5B 8K>*D06X5B

123 X6A 8K>*D06X6A

124 X6B 8K>*D06X6B

125++126

127 D07LR :ELR1.B

128 HEA 8K<*LEA_Nl

129++

130

131 D08LR :ELR1.B

132 HEA 8K<*LEB_Nl

133++

134

135 D09LR :ELR1.B

136 HEA 8K<*LEA Ml

137++138

139 D10LR :ELR1.B

140 HEA 8K<*LEB_MI

141++

142

143 DlILR :ELR1.B

144 HEA 8K<*LEA_N2

145++

146

147 D12LR :ELR1.B

148 HEA 8K<*LEB_N2

149++

150

151 D13LR :ELR 1.B

152 HEA 8K<*LEA_M2

153++

154

155 D14LR :ELR1.B

156 HEA 8K<*LEB_M2

157++

158

159 RKA3 :PRK

16O NCR 3C=9

161++

162

163 D24CS2 :CS21

TCR lC=N

ICR lC=N

166 IUR 1C=N

167 X5 1M=RKA3

168++169

170 END

程序中“=”是赋值符号,“<”是输入符号,“>”是输出符号,“+++++”是块

结束符号,当参数输入完毕后,块结束符号自动出现。在编辑程序时,每输完一行,编译程序就会自动进行编译,如果有语法错误,屏幕上将会出现错误提示。

程序的第 1 —— 29 行是 MP 头部。其中第 1 —— 4 行是工程说明，即 MP 的名称。第 5 —— 26 行是项目的说明，包括软件编号、

图号、安装位置、设计公司名称、用户名称、工程日期、原始文档、变更等说明。第 28 行是工程单位。第 31 —-60 行是机架 SRl 的描述，SRl 的内部通讯采用 L+C-bus。第 61 —— 97 行是处理器模块 PM16 的描述。第 99 —— 168 行是接口模块的描述。第 170 行是 MP 的尾部。

第四章、高炉风机控制系统的改进设计

一.现有控制系统存在的问题

通过对系统的设计调试及几年来运行情况的体会和分析,可以说系统的总体设计是合理的,技术上与时代相匹配,设备运行稳定,在保证生产和安全运行方面是可靠的。几年来也出现多起停机及其它故障,以致对生产有一定影响。

所发生的故障,硬件故障较多,而软件故障却很少。

本风机系统比较庞大，包含电气传动及自动化、计算机、仪表、机械、工艺、液压等多种专业，要求各方面密切配合，才能维护得更好。

风机是高炉冶炼的重要的关键设备，为保证生产的顺利进行，应保证风机的正常运行，整个系统容量较大（36.14KW），不宜经常起停，这里的关键应该是：一、保证设备安全：二、在保证设备安全的前提下，保证顺利运行。现在看，本系统在保证安全方面设计的比较严密，但由于多种因素，跳机比较频繁，对生产的顺行有一定的影响，原因是跳机点太多，多种元件的微小故障会引起跳机，还缺少比较可靠的监视和判断的环节，以判定最后跳机的必要性和合理性。有人说，外国人是以保证设备安全为第一准则，停机影响生产则是次要的，它们的设备可以随时保证顺利再起动，而我们关注的，很大程度上是要充分保证生产，当然同时也要保证设备的安全，或者说，我们

更关注设备对生产的保证，因此对跳机的必要性应加以更大的关注，就这一点上讲,系统的保护还有进一步探讨和改进的必要。

另外，本系统的基本控制构思和设计条件是七十年代的，SIMADYN D 用全数字式的计算机控制替代了原设计中的电子模拟程控部分,但九十年代初,由于大功率电子器件发展水平的时代限制,故 SIMOVERTER 部分的逆变管所选为普通晶闸管 SCR。S C R 的特性决定了它的控制方式只能是通过调节其触发角α,来控制 S C R 的导通,导通波形的积分为 S C R 的电压输出，再次 S C R 只能控制导通,而关断要依靠端电压的反向,造成导通电流的断续(并坚持一小段时间)来关断（截止）,本系统的逆变器的前端是 DC-Link,因此其关断是需要探讨的问题。正常运行时采用了同步电动机反电动势关断,低频时,如前所述,则需要采用特殊手段来进行,这给控制带来了麻烦,更重要的,S C R 如改成为新型大功率电力电子器件--开关管,控制方式则可为 PWM(脉宽调制),通过控制开关器件的导通占空比,来实现输出量的控制,可使输出电流波形趋近于正弦波,并使管子的利用率大大提高。随着大功率电力电子器件技术的突飞猛进的发展,为大功率变流技术带来新的革命。本变频系统方案为高一低一高,所以有此方案是基于七~八十年代变流技术,特别是大功率变流器件的技术条件还不能满足设计要求。到了九十年代末,由于大功率开关管 I G B T、I B C T 的出现,已有 10MW、6KV 的成套变流装置（逆变管 I G B T)。这样,为系统的控制带来极大方便,这是技术前进的产物,应为新型设计提供条件。

目前,国内高炉风机控制系统较多采用电子模拟控制系统。如宝钢三套风机,控制系统选用了日本东芝公司的产品:武钢控制系统为 S I E M E N S 公司

模拟装置:马鞍山为 B B C 模拟控制(与首钢 4#风机相同)。用计算机控制的大型风机只首钢一家。国外应用方面没查到有关资料。97~99 年由首钢电子公司负责引进的新配套风机,在其控制水平上,仍延用了 6#机的方案,基本无改进。在控制风机的运行上,对一些不尽人意的跳机点、条件及方式,有的用户根据自己的条件及运行经验进行了相应的调整,如马钢、宝钢。在变流技术上没有改进,其中宝钢是选的高压直接变频 12KV。(12 只晶闸管串联),其它单位仍用高一低一高。

本系统的另一方面的主要问题，或者说是主要缺陷是高一低一高的供电形式，即在电网侧使用降压变压器（线侧变压器）将电网电压降低，再输入给变频器。变频器输出则使用升压变压器（机侧变压器）将电压升高到电机的额定电压。在本工程中，线侧变压器的容量为 14MVA，额定电流 1450A，电压比为 10500V/2700V。机侧变压器的容量为 14MVA，额定电流 1450A，电压比为 2700V/10500 V。由于变频器输出频率的改变和高次谐波的影响，变压器的损耗大大的提高。目前还没有很好的解决办法。

二 .风机控制系统采用高压变频器新技术方案的思考

（1）问题的设想和提出

电气传动及自动化技术在一日千里地向前发展,特别是数字计算技术、大功率半导体器件的发展,给其提供了充分的条件。综合几年来运行的实践和对系统的研讨,再看当前的新技术,觉得有些地方已显得落后于时代,新设计时有改进之必要:在一些问题上虽显落后,但不影响大局,运行稳定,不一定改:有些地方虽觉不宜,原设计为时代产物,只有继续使用,但新的设计应有合理的想法

大功率半导体器件新技术的发展,给大功率变频技术带来新的革命。本文只拟对系统的大功率变频装置的革新提出新的方案和对方案所进行的思考。

（2）变频器(SIMOVERT S)的改进设想

系统中的 SIMOVERT S 采用了双重化,高一低一高（电网电压 10.5KV,变频器 2KV）,整流器件为普通晶闸管 SCR,它的控制原理及实现已在本文第二章论述。根据掌握的资料,现拟将大功率变流部分改为美国 ROBICON 公司的新的变频装置。综合起来它有以下特点:

①ROBICON 公司研制的装置叫做完美无谐波系列变频器（Harmony Series Drive ）它是采用多个单独的标准低压功率单元串接而成,根据电压及功率需要选择功率单元,电压可达 1.44KV(线电压 2.3KV）~13.5KV,功率可达 1OMW。

②在组成大功率变频器功率输入的前级是一台大的整流变压器,一次侧电压根据输入电压设计,二次侧为多组与功率单元配套的二次变绕组。

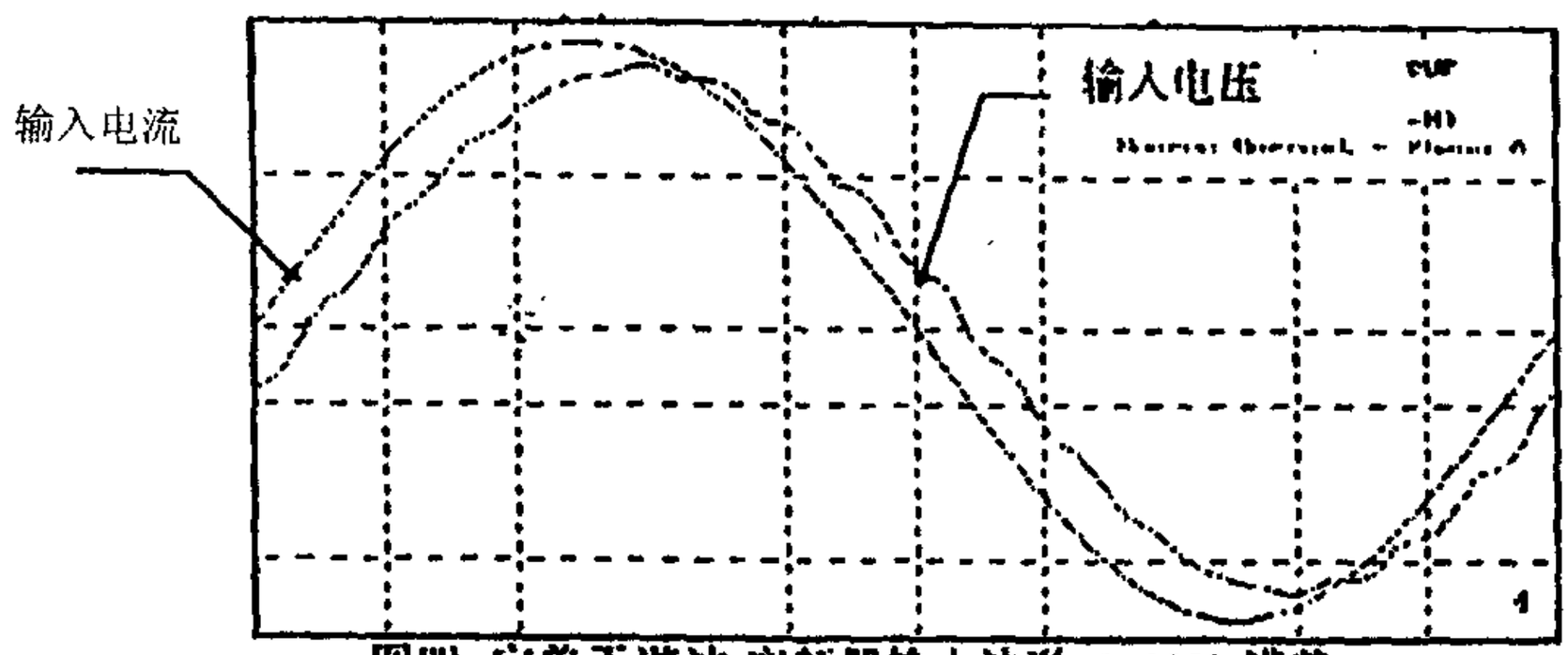
③每个功率单元的输入电压为 690V, 电流可选择（根据晶闸管容量不同而不同,ROBICON 公司有标准系列）,高压时可采用多个串联。

④每个功率单元都是一个采用 IGBT 构成的三相输入、单相输出的 PWM 变频器、输出电压为 0~480V、频率为 0~12OHz,其结构原理与通常的低压变频器大同小异。

⑤功率单元都是从一个由微处理单元构成的中央控制器（本系统可利用原 SIMADYN D 的功能模块）接收命令,然后经由光纤传送。

⑥给功率单元供电的二次线圈,在绕制时相互间存在一定的相位差,这可以消除各单元产生的大多数高次谐波电流。因而基波电流基本上是正弦波。功率因数在整个负荷变化范围内可保持在 0.95 以上。

⑦图 15 和图 16 是一相的电压和电流的波形,电流的总谐波畸变〈3%。



图四. 完美无谐波 变频器输入波形 (2400V, 满载)

图 15 完美无谐波变频器输入波形

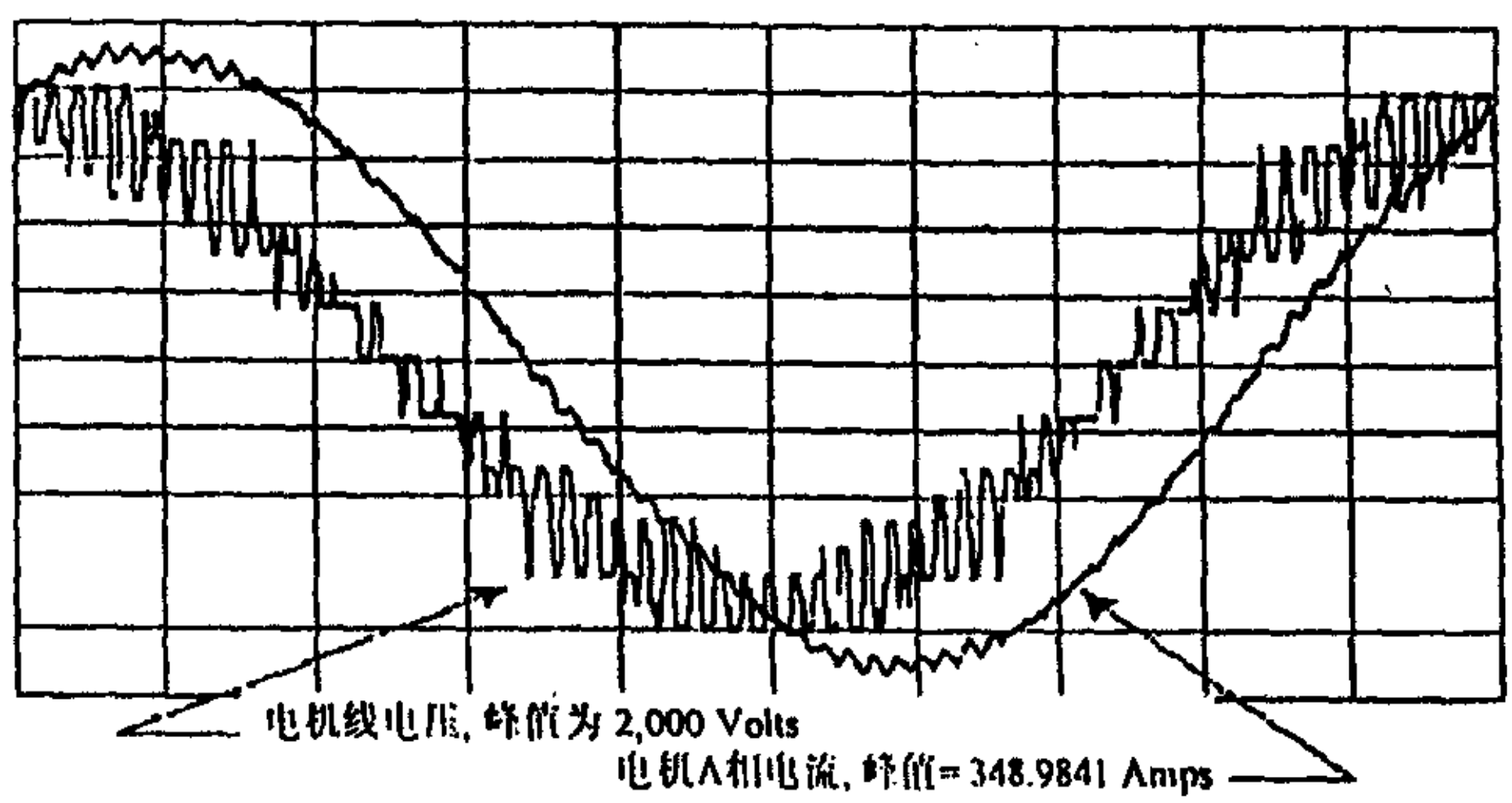


图 16 完美无谐波变频器输出波形

（3）图 17 和图 18 是一个功率单元的功率图和一个功率单元的图解。

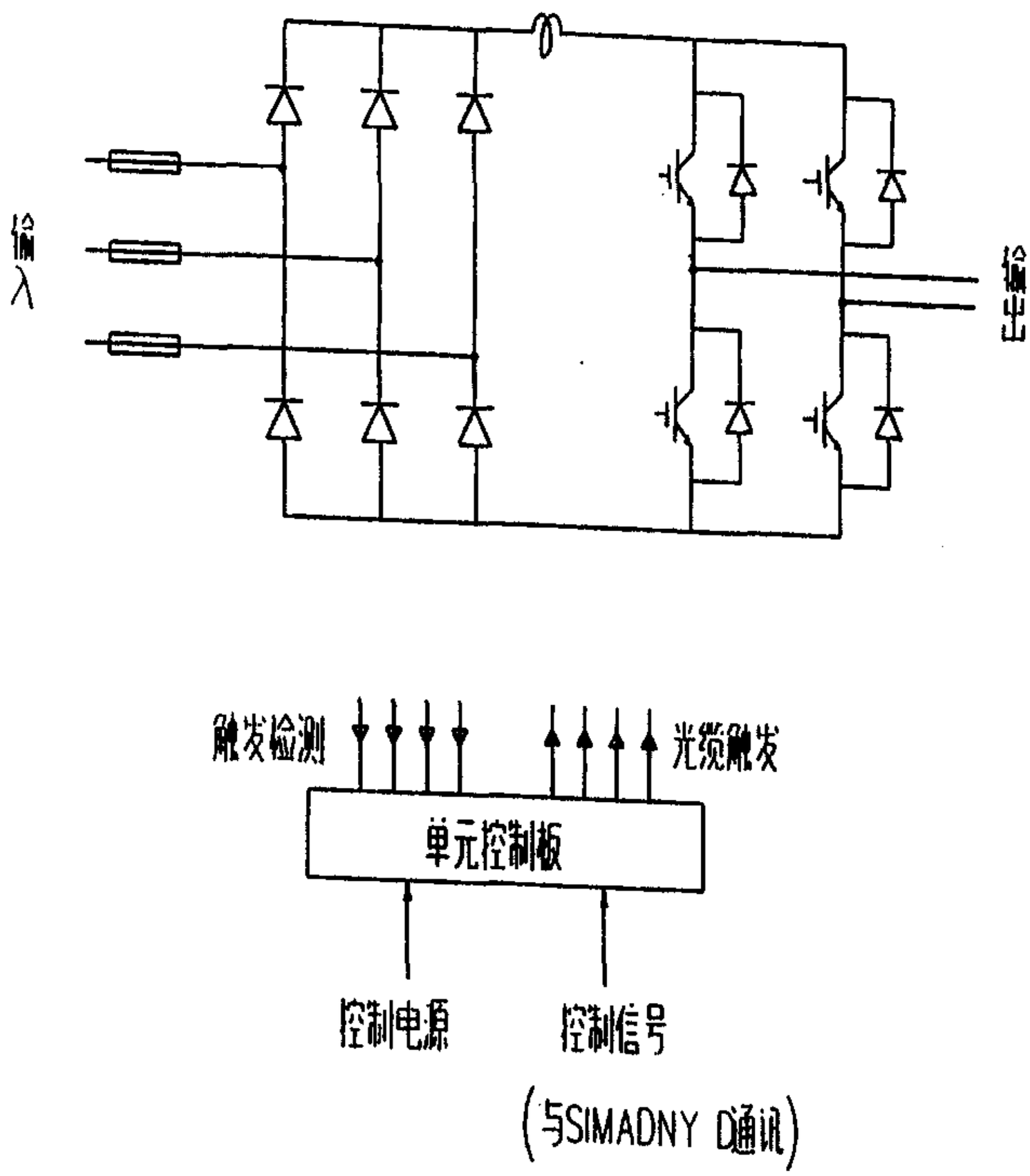
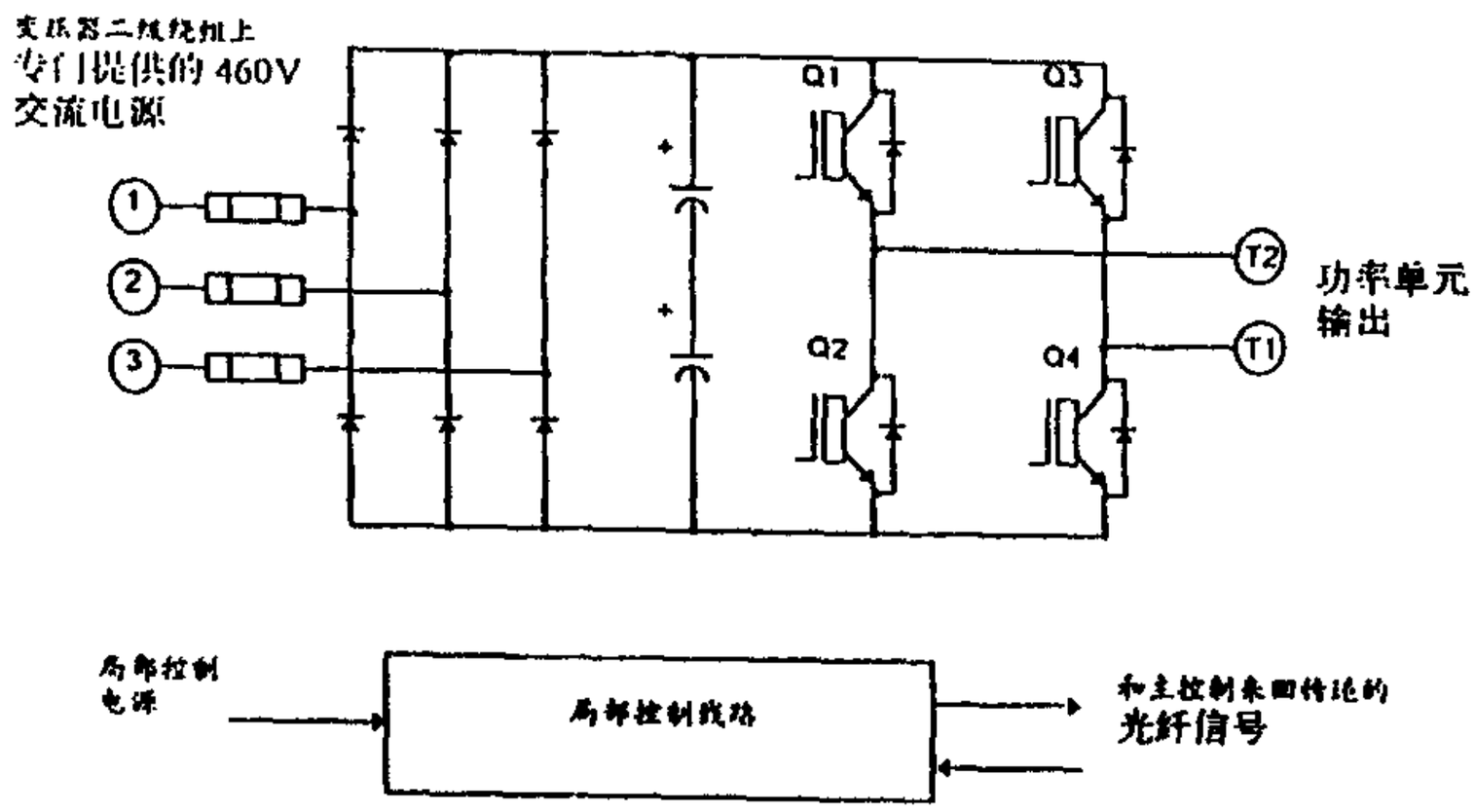


图 17 一个功率单元的功率图



图二 每一个功率单元的图解

图 18 一个功率单元图解

根据计算:

输入单元电压 690V 采用九串,690v*9=6210V 为相电压,6210*$\sqrt{3}$=6210*1.73≈10.7KV 为线电压。

如需要,可再选一备用单元(在线中如有单元有故障,此单元可自动投入,取代故障单元;修好后再装上,把备用切换出来。或不切,原单元做备用)

图 19 为系统的拓朴图。

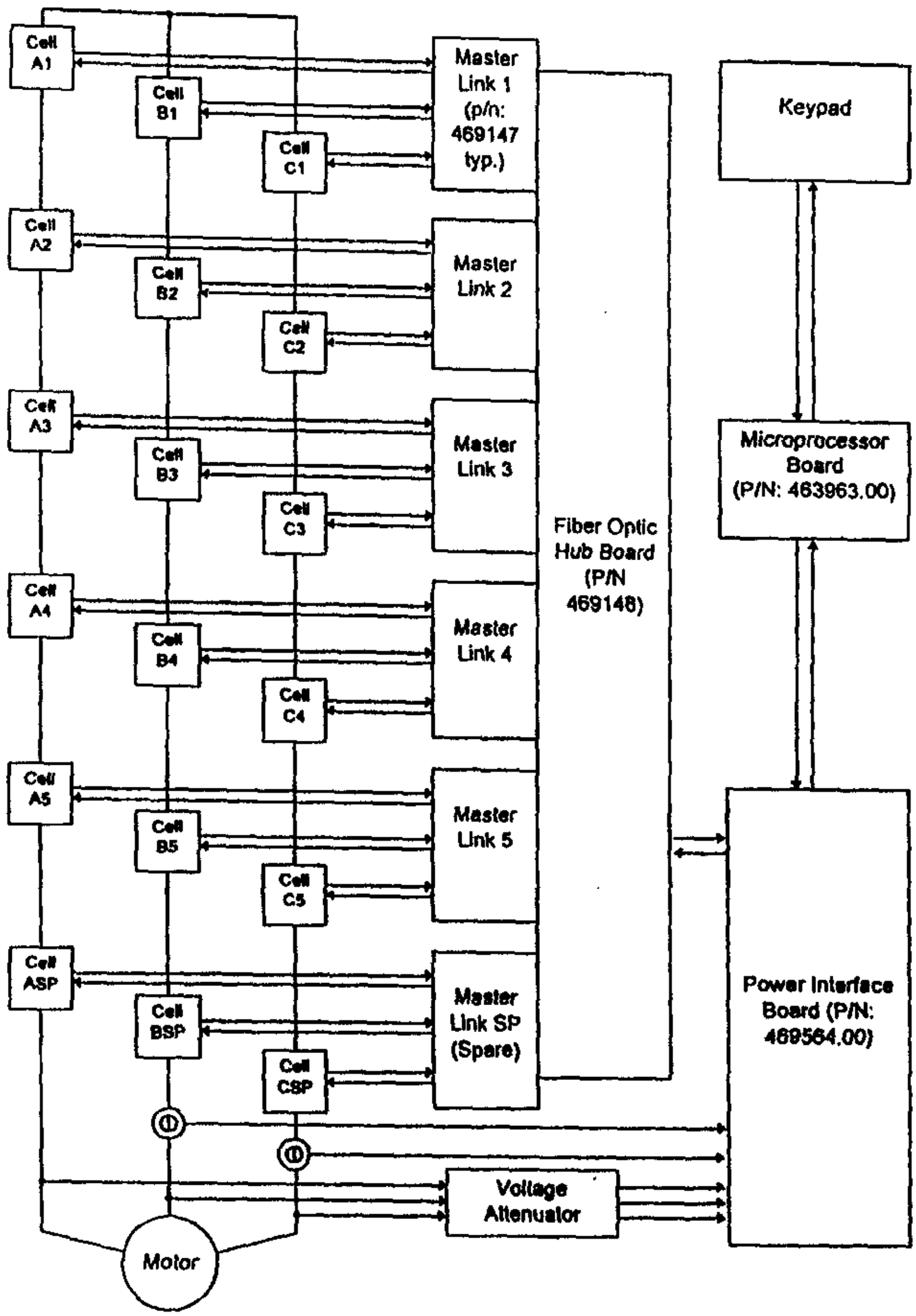

Cell A1
Cell B1
Cell C1
Cell A2
Cell B2
Cell C2
Cell A3
Cell B3
Cell C3
Cell A4
Cell B4
Cell C4
Cell A5
Cell B5
Cell C5
Cell ASP
Cell BSP
Cell CSP
Master Link 1 (p/n: 469147 typ.)
Master Link 2
Master Link 3
Master Link 4
Master Link 5
Master Link SP (Spare)
Fiber Optic Hub Board (P/N 469148)
Keypad
Microprocessor Board (P/N: 463963.00)
Power Interface Board (P/N: 469564.00)
Voltage Attenuator
Motor

图 19 系统拓扑图

（4）采用以上方案，需要完成的工作:

①功率单元需从 ROBICON 公司订货,如每机加一备用,则为 30 个，可自己设计柜予以安装。

②采用此方案后,整流部分为不控。故原 S D 柜中的 P2,P3,〈2*P G16〉可省略,逆变输出电压及频率仅靠 P4〈P S16〉但软件程序需加以改变：a.要完成与随机实际转速的换流；b.完成在设计起动时间内的加速度。此软件,需从 SIEMENS 标准软件中选取,用户程序的设计需与 SI EMENS 公司联合开发。

③本系统控制单元的控制板与 S D 的通讯,应与 ROBICON 公司协议(资料中己介绍与 SIEMENS 公司的 SIMATIC 的通讯〉。

④其它控制方案,均与原控制方案相同,可不改动。

⑤输入变压器需定购或按 ROBICON 公司提供的图纸制造。

本系统全部安装后,与原控制系统原理及系统无大差异。开通后,需调试的主要是加速时间,要锁定。

结 束 语

首钢 7#高炉鼓风机于 1996 年与德国西门子公司签定引进合同。本人参加了合同的技术谈判和签定的全过程。本合同的特点就是不再全部引进，而是采取首钢与西门子公司联合设计、联合制造的方式。其中 SIMADYND 变频启动器、励磁控制系统和数字式电机保护柜由西门子公司设计、制造。变频功率柜、线侧和机侧变压器、电抗器、操作台、操作柜及启动并网部分的 PLC 逻辑连锁系统由首钢负责设计和制造。本人作为 7#风机变频启动器项目的总设计，有幸组织和参加了整个系统的设计、装置制造和调试工作。特别是对 SIMADYND 变频启动器、励磁控制系统的工作原理、工作过程、硬件配置和性能、软件编程、系统的调试方法进行了全面深入的研究。并在现场调试中与西门子调试工程师一起完成了整个系统的调试，使其顺利的投入了生产运行。后来又参加了系统维护、故障处理、一些合理的改进方案的确立等工作。根据我的设计和调试工作，结合几年来维护的实践,对系统的理论探讨和本人在研究生班学习的课程,综合写下以上论文,但由于整个系统庞大复杂，牵扯的专业较多，尤其是变频器的核心技术—SIMADYND 全数字控制器是由西门子公司设计制造的，对于这部分的的控制思想、设计、编程方法、调试的等还不能说完全掌握，整个的研究也仅为起步阶段,更深更细的东西还需进一步研讨,以期更深入地掌握这套比较复杂庞大的系统。

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).S I E M E N S A G:

5-1.Current-source DC Link Converter

Electrical Drawings

5-2.Current-source DC Li nk Converter

Function Diagram

5-3.Excitation Cubicle For Siemens Motor

ElecticalDrawings,Furlction iagram

5-4.Digital Control System SIMADYN D

Instructions System Hardware

Instructions System Software

5-5.Standard Furlction Blocks

(6).李杰民、张迁杰:《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、减英杰:《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).李序碟、赵永健:《电力电子器件及其应用》

机械工业出版社 1997

(11).张鹏远:《首钢高炉风机自动控制系统 S I M A D Y N D 的技术分析与最佳操作〈论文〉》1997 •

(12).张鹏远:《S I M A D Y N D 故障信息译文》1996

(13).马小亮:《大功率高压变频技术的新发展》1999

(14).ROBICON 公司:《交流变频器完美无谐波系列说明书》1999

致谢

在本文写作过程中得到我的导师韩安荣教授和教授级高工陆业铫同志大力支持，在此首先感谢韩教授和陆业铫同志对我的论文工作在理论上和实验过程中的耐心指导和帮助，特别是他们对学术研究认真负责的态度，将对我以后的工作和学习产生深远的影响。在我的交直交变频启动器系统设计和实验装置制造、实验的过程中，首钢控制设备公司的各位领导、同志们给予我大力的支持和帮助。同时还得到总计控室、动力厂有关领导和同事的大力支持,在此一并表示诚挚地感谢。