

变频器应用 维护与修理

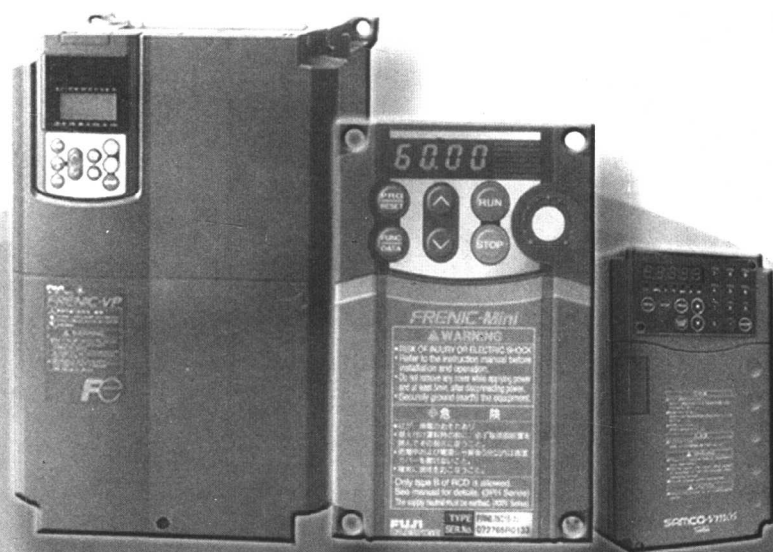
李自先 周中方 张相胜 编著



地震出版社

变频器应用 维护与修理

李自先 周中方 张相胜 编著



地震出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

变频器应用维护与修理/李自先编著. —北京:地震出版社, 2005.12

ISBN 7-5028-2763-3

I. 变… II. 李… III. 变频器—基本知识 IV. TN773

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 108573 号

地震版 XT200500159

内 容 简 介

本书共分三篇。原理篇、应用篇、维修篇。

原理篇阐述了通用变频器的基础知识和基本原理。

应用篇着重介绍了通用变频器的选择, 安装、使用调试的方法, 国内外几种品牌的通用变频器的主要特点, 技术性能, 基本接线图以及通用变频器的应用技术和实例。

维修篇理论联系实际, 详细地介绍了通用变频器的维护方法和维护内容, 对运行过程中出现的故障进行分析和介绍故障处理的方法。特别是对变频器修理方面, 详尽地剖析了变频器的各种电路。对变频器的种种故障现象, 分析其产生的原因, 问题所在和具体修复处理的方法等。同时, 列举了常见故障、疑难故障和几种品牌变频器的修理实例。对维修人员极有参考价值。

本书可供生产第一线的电气工程技术人員及变频器使用、维护和修理人員阅读, 也可作为上岗职业培训教材和大中专院校电气、自动化等专业師生的教材和参考书。

变频器应用维护与修理

李自先 周中方 张相胜 编著

责任编辑: 李小明

责任校对: 庞瑾萍

出版发行: 地震出版社

北京民族学院南路 9 号

邮编: 100081

发行部: 68423031 68467993

传真: 88421706

门市部: 68467991

传真: 68467991

总编室: 68462709 68423029

传真: 68467972

E-mail: seis@ht.rol.cn.net

经销: 全国各地新华书店

印刷: 九州财鑫印刷有限公司

版 (印) 次: 2005 年 12 月第一版 2005 年 12 月第一次印刷

开本: 787×1092 1/16

字数: 523 千字

印张: 20.5

印数: 0001~5000 册

书号: ISBN 7-5028-2763-3/TP·95 (3394)

定价: 36.00 元

版权所有 翻印必究

(图书出现印装问题, 本社负责调换)

前 言

近年来,变频器被迅速、广泛地应用在各领域、各行业,甚至家电之中。更深入地了解变频器,更有效地使用变频器,更好地维护和修理变频器是当今相关人员关注的问题。

20世纪80年代中末期,我国曾经出现过一个变频器研制、开发应用的热潮,许多科研、教学、工程技术人员投身于这个热潮之中,为我国变频器方面的发展奠定了基础。本书主编李自先主持、研发变频器数年,于1991年研制出了具有知识产权的国产变频器。该变频器通过江苏省新产品鉴定,1992年获得无锡市科技进步奖。

如今在变频器应用方面,我国已达到一定的水平,积累了较丰富的经验。然而我国变频器用户对变频器日常的维护保养的意识,尚未建立起来,变频器的故障率较高。同时,变频器的修理队伍需扩大,修理水平也有待提高。

几年前,笔者从教学岗位上退休,顺应社会的需求,开办了一个维修变频器的实体,主要从事变频器修理及变频器维修人员的培训。此书是在内部培训教材的基础上修改,并充实了大量的变频器修理方法、经验和实例而编著成的,侧重点是变频器的维护和修理方面的内容。

《变频器应用维护与修理》一书共分为三篇:原理篇、应用篇、维修篇。原理篇着重讲解变频器的基础知识,基本理论和电力电子器件及驱动电路的相关知识;应用篇主要介绍变频器使用的一些常识和方法,国内外一些品牌变频器的简介,同时介绍变频器实际应用的相关内容和实例;维修篇重点介绍变频器日常维护保养的方法和内容,变频器修理的基本方法,主要电路故障的分析和处理,常见故障的分析、处理和修理实例。

修理实例,按故障现象分类,再针对同一故障现象的不同故障原因各取一例,其中①功率模块故障11例;②无任何显示故障7例;③故障显示20例;④运行中出现故障显示8例;⑤运行中出现的故障8例;⑥其它故障22例;⑦元器件替代6例,总共82例。每一实例都由【故障现象】、【故障分析与判断】、【故障处理】、【故障原因】4个组成部分。与医生诊断病情、开方处置、向病人讲解患病原因及注意事项等内容相似。使维修人员体会到从实践经验升华到理论高度的过程,无论对于变频器维修的初学者还是熟练工作人员,都有所补益,有所提高。

古人云:“授人以鱼仅供一饭之需,授人以渔则受益终身。”这也是我们编著此书的宗旨。

区区近百例，完全不能表述变频器维修的全貌，颇有管窥之嫌。但我们并不是想仅仅罗列给读者修理某一变频器的具体作法，我们是要贡献给读者一个修理的思路，分析问题解决问题的方法，以期达到能举一反三、触类旁通的效果和目的。

本书在编写过程中参考和引用了国内外著名专家、学者发表的著作、文章及知名品牌变频器的说明书，仓促之间难以书函致意及面谢，仅在此处，一一表示感谢之意。衷心感谢江南大学学术专著出版基金对此书给与具体的支持和帮助，还有我们的工作人员和学生蒋二海、王侠、韩忠等，他们为本书提供一些维修实例及在打字、绘图等方面做了大量的工作，也在此表示真诚的谢意。

由于我们的水平有限，时间有限，书中难免存在着不妥当不正确之处，敬请读者阅后给予指正批评，不胜荣幸和感谢。

来信请寄：无锡江南大学青山校区 24 号信箱 李自先

电 话：0510 - 5876855, 5888611 **EMAIL:** jdynzzf@163.com

邮 编：214036

目 录

第一篇 原理篇

1.1 异步电动机概况	(3)
1.1.1 异步电动机的结构与基本工作原理	(3)
1.1.1.1 异步电动机的结构	(3)
1.1.1.2 异步电动机的基本工作原理	(4)
1.1.2 异步电动机的转矩和机械特性	(7)
1.1.2.1 转矩的公式	(7)
1.1.2.2 机械特性曲线	(8)
1.1.2.3 机械性能的实用公式	(10)
1.1.3 异步电动机制动	(11)
1.1.3.1 能耗制动	(11)
1.1.3.2 反接制动	(12)
1.1.3.3 回馈制动运行	(12)
1.1.4 异步电动机的变频调速	(13)
1.2 变频器的基本原理	(14)
1.2.1 变频器技术的发展	(14)
1.2.1.1 变频器在调速系统中的地位	(14)
1.2.1.2 变频器的发展过程	(15)
1.2.1.3 变频器的发展方向	(17)
1.2.2 变频器的基础知识	(18)
1.2.2.1 变频器的基本结构	(18)
1.2.2.2 变频器的分类	(19)
1.2.2.3 交—直—交变频器的基本电路	(22)
1.2.2.4 交—直—交变频器的主回路	(25)
1.3 脉宽调制技术	(29)
1.3.1 PWM 的基本原理	(29)
1.3.1.1 单极性 SPWM 控制方式	(29)
1.3.1.2 双极性 SPWM 控制方式	(30)
1.3.2 SPWM 调制方法	(32)
1.3.2.1 异步调制方式	(32)
1.3.2.2 同步调制方式	(32)

1.3.2.3 分段同步调制方式	(32)
1.3.3 SPWM 的生成方法	(33)
1.3.3.1 SPWM 模拟电路生成	(33)
1.3.3.2 SPWM 专用芯片生成	(34)
1.3.3.3 SPWM 微处理器与数字信号处理器生成	(48)
1.3.3.4 SPWM 矢量控制处理器生成	(59)
1.4 变频器的控制方式和原理	(60)
1.4.1 U/f 控制方式	(60)
1.4.1.1 保持 $U_1/f_1 = c$ (常数) 的控制方式	(60)
1.4.1.2 $M = C$ 的恒磁通控制方式	(61)
1.4.1.3 $P_m = C$ 的恒功率控制方式	(62)
1.4.1.4 电压型 U/f 控制变频器	(63)
1.4.2 转差频率控制方式	(64)
1.4.3 矢量控制方式	(65)
1.4.3.1 基于转差频率控制的矢量控制方式	(66)
1.4.3.2 矢量控制方式 (有/无转速传感器矢量控制)	(68)
1.5 通用变频器电力电子器件及驱动电路	(75)
1.5.1 功率晶体管 GTR (BJT)	(76)
1.5.1.1 GTR 的特性	(77)
1.5.1.2 GTR 的主要参数	(78)
1.5.1.3 GTR 的驱动电路	(79)
1.5.1.4 GTR 的并联使用	(82)
1.5.2 功率场效应晶体管 MOSFET	(82)
1.5.2.1 MOSFET 的结构	(82)
1.5.2.2 MOSFET 的工作原理	(83)
1.5.2.3 MOSFET 的主要参数	(84)
1.5.2.4 MOSFET 的特性	(84)
1.5.2.5 MOSFET 的驱动电路	(85)
1.5.3 绝缘栅双极晶体管 IGBT	(86)
1.5.3.1 IGBT 的结构特点与外形	(87)
1.5.3.2 IGBT 的重要参数	(88)
1.5.3.3 IGBT 的驱动电路	(88)
1.5.3.4 IGBT 的保护	(94)
1.5.4 智能功率模块 IPM	(96)
1.5.4.1 IPM 的主要特点	(97)
1.5.4.2 IPM 的内部基本结构原理图及接线端子含义	(97)
1.5.4.3 IPM 的应用实例	(99)

第二篇 应用篇

2.1 通用变频器的规格与选用	(103)
2.1.1 通用变频器的标准规格指标	(103)
2.1.1.1 通用变频器的型号	(103)
2.1.1.2 通用变频器的容量	(104)
2.1.1.3 通用变频器的输出电压	(104)
2.1.1.4 通用变频器的输出频率	(104)
2.1.1.5 通用变频器控制特性	(104)
2.1.1.6 通用变频器的保护功能	(105)
2.1.1.7 使用条件	(105)
2.1.2 通用变频器的选型	(105)
2.1.3 通用变频器容量的选用	(106)
2.2 通用变频器主要产品介绍	(107)
2.2.1 西门子通用变频器	(107)
2.2.1.1 MM420 通用变频器	(107)
2.2.1.2 MM440 矢量型通用变频器	(110)
2.2.1.3 MICROMASTER Vector (MM3) 系列通用变频器	(114)
2.2.2 ABB 通用变频器	(115)
2.2.2.1 ABB Comp—ACS100 系列变频器	(116)
2.2.2.2 ABB Comp—ACS400 系列变频器	(118)
2.2.2.3 ABB Comp—ACS600 系列变频器	(121)
2.2.3 丹佛斯通用变频器	(125)
2.2.3.1 丹佛斯 VLT2800 系列变频器	(126)
2.2.3.2 丹佛斯 VLT5000 系列变频器	(128)
2.2.4 施耐德通用变频器	(135)
2.2.4.1 施耐德 Altivar 08 系列变频器	(135)
2.2.4.2 施耐德 Altivar 68 系列变频器	(137)
2.2.5 伦茨通用变频器	(146)
2.2.6 三菱通用变频器	(149)
2.2.6.1 三菱 FR—A500 系列多功能通用型通用变频器	(149)
2.2.6.2 三菱 FR—F500 系列风机水泵专用型通用变频器	(151)
2.2.7 富士通用变频器	(156)
2.2.7.1 富士 FRENIC 5000 G9S/P9S 通用变频器	(156)
2.2.7.2 富士 FRENIC 5000 G11S/P11S 通用变频器	(162)
2.2.7.3 富士 FRENIC 5000 G11UD 电梯专用系列变频器	(166)
2.2.8 日立通用变频器	(170)
2.2.8.1 日立 J—100 系列变频器	(170)

2.2.8.2 日立 J-300 系列变频器	(174)
2.2.9 三肯通用变频器	(178)
2.2.10 台安通用变频器	(182)
2.2.10.1 台安 N2 系列通用变频器	(182)
2.2.10.2 台安 V2 系列通用变频器	(186)
2.2.11 佳灵通用变频器	(187)
2.3 通用变频器的安装	(191)
2.3.1 通用变频器的安装环境	(191)
2.3.2 通用变频器的具体安装	(192)
2.3.2.1 墙挂式安装	(192)
2.3.2.2 柜式安装	(192)
2.3.3 通用变频器的接线	(193)
2.3.3.1 主电路的接线	(193)
2.3.3.2 控制电路的接线	(195)
2.3.4 通用变频器的抗干扰措施	(197)
2.3.4.1 变频器抑制外部干扰的有效措施	(197)
2.3.4.2 变频器对外干扰抑制的有效措施	(198)
2.4 通用变频器的使用	(198)
2.4.1 键盘面板设置	(198)
2.4.2 键盘面板的操作体系与操作方法	(200)
2.4.3 通用变频器的控制方法	(206)
2.4.3.1 键盘面板控制	(206)
2.4.3.2 外部端子控制	(207)
2.4.3.3 串行通讯接口控制	(207)
2.4.3.4 PID 控制	(208)
2.4.3.5 可编程控制器 (PLC) 控制	(208)
2.4.4 通用变频器的制动	(209)
2.4.4.1 制动电阻和制动单元	(209)
2.4.4.2 制动过程中的转矩概念	(210)
2.4.4.3 制动电阻值和容量的确定	(210)
2.4.4.4 制动单元的结构原理	(211)
2.5 通用变频器的应用实例	(212)
2.5.1 变频器恒压 (或恒水位) 供水系统	(212)
2.5.1.1 变频器恒压供水系统常用的几种方案	(212)
2.5.1.2 变频器恒压供水系统举例	(213)
2.5.2 变频器收卷机恒张力控制系统	(215)
2.5.2.1 收卷系统的张力控制方案	(216)
2.5.2.2 变频器收卷恒张力控制系统实例	(219)

2.5.3 变频器控制自动加料系统·····	(220)
2.5.3.1 变频器调速传动带定量供料控制·····	(220)
2.5.3.2 变频器调速称量斗自动加料控制·····	(221)

第三篇 维修篇

3.1 变频器的维护·····	(225)
3.1.1 变频器维护的重要性·····	(225)
3.1.1.1 使用环境对变频器的影响·····	(225)
3.1.1.2 元器件老化对变频器的影响·····	(226)
3.1.2 变频器的日常检查·····	(226)
3.1.3 变频器的定期检修·····	(227)
3.1.3.1 停机检修·····	(227)
3.1.3.2 通电试运行检查·····	(229)
3.2 变频器调速系统常见异常及处理方法·····	(230)
3.2.1 故障报警显示(停机)和运行异常·····	(230)
3.2.1.1 过电流故障·····	(231)
3.2.1.2 过电压故障·····	(232)
3.2.1.3 欠电压故障·····	(233)
3.2.1.4 变频器过热故障·····	(233)
3.2.1.5 电动机不能启动·····	(234)
3.2.1.6 电动机能运行,但不能调速·····	(234)
3.2.1.7 电动机加速过程中失速·····	(236)
3.2.1.8 异常故障·····	(236)
3.2.2 变频器干扰故障·····	(237)
3.2.2.1 外界对变频器的干扰·····	(238)
3.2.2.2 变频器对周边设备的干扰·····	(238)
3.3 变频器的修理·····	(240)
3.3.1 变频器修理的基本方法·····	(241)
3.3.1.1 变频器修理的理论准备工作·····	(242)
3.3.1.2 修理变频器的主要检测仪器·····	(242)
3.3.1.3 变频器修理的通常方法·····	(244)
3.3.2 变频器主要电路故障分析和处理·····	(247)
3.3.2.1 主回路·····	(247)
3.3.2.2 驱动电路·····	(251)
3.3.2.3 保护电路·····	(253)
3.3.2.4 开关电源电路·····	(255)
3.3.2.5 通信接口电路·····	(260)
3.3.2.6 外部控制电路·····	(261)

3.3.3 变频器常见故障的分析和处理·····	(261)
3.3.3.1 功率模块的损坏·····	(262)
3.3.3.2 无任何显示·····	(265)
3.3.3.3 有充电显示, 键盘面板无显示·····	(265)
3.3.3.4 有故障显示·····	(266)
3.3.3.5 无故障显示, 不能工作·····	(271)
3.3.3.6 输出电压波动, 电动机运行抖动·····	(272)
3.3.4 变频器修理实例·····	(273)
3.3.4.1 功率模块损坏 (1~11 例) ·····	(273)
3.3.4.2 操作盘无任何显示 (黑屏) (12~18 例) ·····	(278)
3.3.4.3 故障显示 (19~38 例) ·····	(282)
3.3.4.4 运行过程中出现的故障显示 (39~46 例) ·····	(295)
3.3.4.5 运行时出现的故障 (47~54 例) ·····	(298)
3.3.4.6 其他故障 (55~76 例) ·····	(301)
3.3.4.7 器件的变通 (72~82 例) ·····	(310)

第一篇 原理篇

1.1 异步电动机概况

1.1.1 异步电动机的结构与基本工作原理

1.1.1.1 异步电动机的结构

异步电动机是交流电动机的一个品种，具有结构简单、体积小、价格低、工作可靠、不易损坏、维修方便等优点。实践证明，在异步电动机的诸多调速方法中，变频调速的性能最好，它的调速范围大、稳定性好、可靠性高和节能效果显著，在各个领域中得到广泛应用，并将取代直流电动机调速。

异步电动机分成两个部分：定子（固定部分）和转子（旋转部分）。图 1.1.1 是异步电动机的构造。

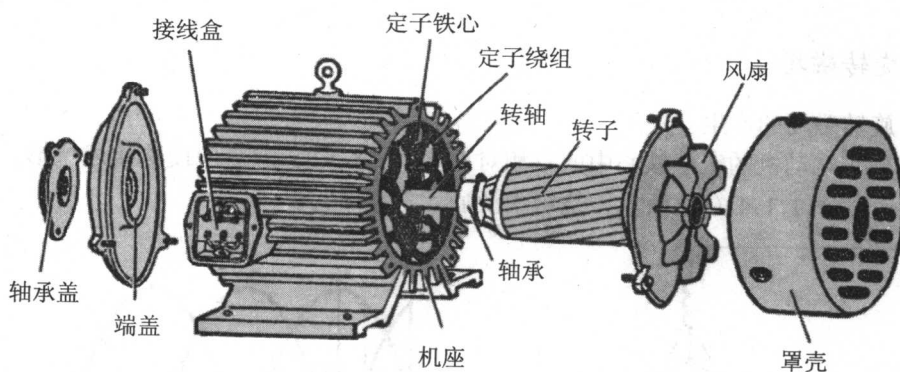


图 1.1.1 异步电动机的构造

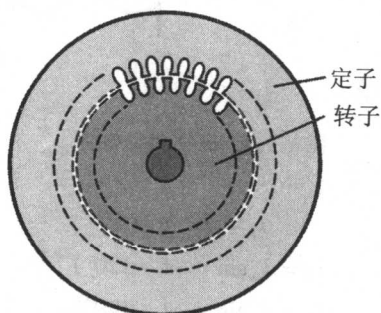


图 1.1.2 定子和转子的铁心片

异步电动机的定子由机座和装在内圆筒形铁心以及其中的三相定子绕组组成。机座是由铸铁或钢材制成，铁心是由互相绝缘的硅钢片迭成，铁心的内圆周表面冲有槽（图 1.1.2）用以放置对称的三相绕组 AX、BY、CZ，三相绕组可连接成三角形或星形。

异步电动机的转子可分为笼形和绕线形，应用最广泛的是笼形异步电动机。笼形异步电动机的转子绕组作成鼠笼状，就是在转子铁心的槽内放铜条，其两端用端环连接，如图 1.1.3 (a) 所示。或者在槽内浇铸铝液，铸成一鼠笼，如图 1.1.3 (b) 所示。

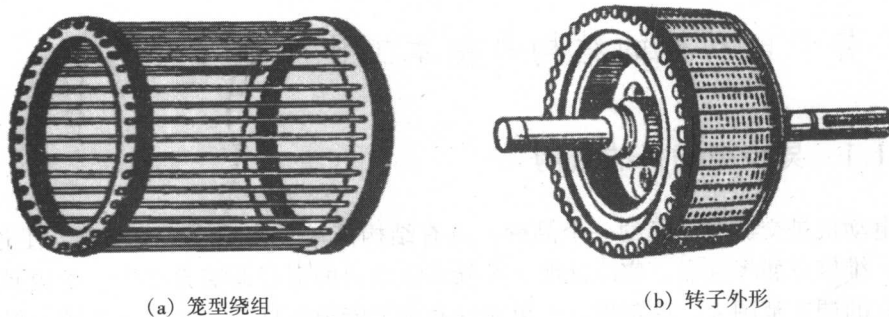


图 1.1.3 笼型转子

1.1.1.2 异步电动机的工作原理

1) 旋转磁场

(1) 旋转磁场的产生。

三相异步电动机的定子铁心中的三相对称绕组 AX、BY、CZ 假设连接成星形，接在三相电源上，如图 1.1.4 (a) 所示，绕组中通入三相对称电源。

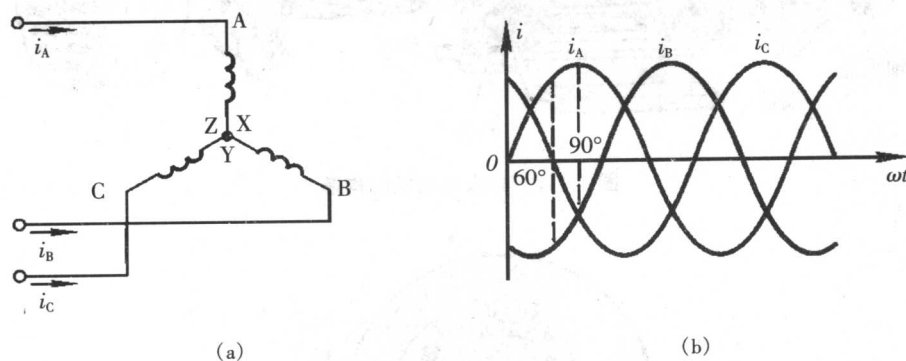


图 1.1.4 三相对称电流

$$i_A = I_m \sin \omega t \quad (1.1.1)$$

$$i_B = I_m \sin (\omega t - 120^\circ) \quad (1.1.2)$$

$$i_C = I_m \sin (\omega t + 120^\circ) \quad (1.1.3)$$

其波形如图 1.1.4 (b) 所示。取绕组始端到末端的方向，作为电流的参考方向。在电流正半周时，其值为正，其实际方向与参考方向一致；在负半周时，其值为负，其实际方

、向与参考方向相反。

在 $\omega t = 0$ 时, 定子绕组中的电流方向如图 1.1.5 (a) 所示。这时 $i_A = 0$, i_B , 为负, 即自 Y 到 B; i_C 为正, 即自 C 到 Z。将每相电流所产生的磁场相加, 便得出三相电流合成磁场。在图 1.1.5 (a) 中, 合成磁场轴线的方向是自上而下。

$\omega t = 60^\circ$ 时, 定子绕组中的电流方向和三相电流的合成磁场的方向如图 1.1.5 (b) 所示。这时的合成磁场已在空间转过了 60° 。

在 $\omega t = 90^\circ$ 时的三相电流的合成磁场, 比 $\omega t = 60^\circ$ 时的合成磁场在空间又转过了 60° , 如图 1.1.5 (c) 所示。

由此可知, 当定子绕组中通入三相电流后, 它们共同产生的合成磁场, 是随电流的交变而在空间不断地旋转着, 这就是旋转磁场。

如图 1.1.5 (c) 所示的情况是 A 相电流 $i_A = i_m$, 这时旋转磁场轴线的方向恰好与 A 相绕组轴线一致。在三相电流中, 电流出现正幅值顺序为 A—B—C—A。因此磁场的旋转方向与这个顺序相一致的。

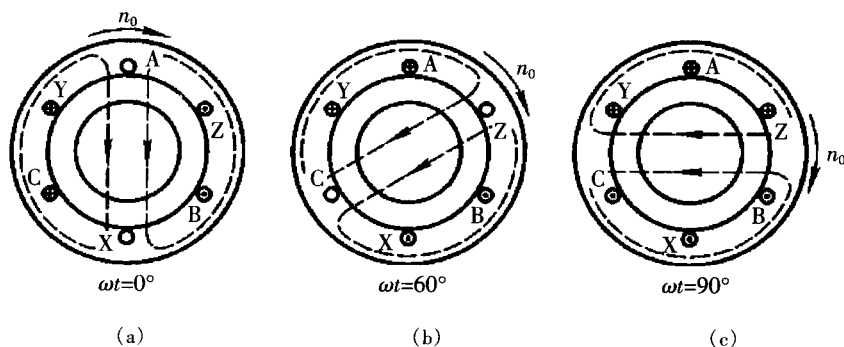


图 1.1.5 三相电流产生的旋转磁场 ($P = 1$)

如果接入异步电动机, 将三相电源的三根导线中的任意两根对调位置 (例如 B 相与 C 相对调), 则电动机的三相绕组的 B 相与 C 相对调, 电动机三相绕组电流出现正幅值的顺序为 A—C—B—A 旋转磁场也因此而反转。

上述旋转磁场是一对磁极 ($P = 1$) 的, 如果将三相定子绕组作不同的安排, 也可以产生两对, 三对或更多磁极对数的旋转磁场。

(2) 旋转磁场的转数。

在一对磁极 ($P = 1$) 的情况下, 由图 1.1.5 可知, 当电流从 $\omega t = 0$ 到 $\omega t = 60^\circ$ 时, 磁场在空间也旋转了 60° 。当电流交变一次 (一个周期 360°), 磁场恰好也在空间旋转 360° 。设电流的频率为 f_1 , 即电流每秒钟交变 f_1 次, 或每分钟交变 $60f_1$ 次, 则旋转磁场的转速 $n_0 = 60f_1$, 转速的单位为每分转 (rad/min)。

在旋转磁场具有两对极 ($P = 2$) 的情况下, 可以证明, 当电流交变了一次时, 磁场在空间仅旋转了半转, 比 $P = 1$ 时, 转速慢了一半, 即 $n_0 = 60f_1/2$, 依次类推, 三对极 ($P = 3$) $= n_0 = 60f_1/3$; 四对极 ($P = 4$) $= n_0 = 60f_1/4$, 即

$$n_0 = 60f_1/P \quad (1.1.4)$$

在我国, 工频 $f_1 = 50\text{Hz}$, 由上式可以得出对应不同极对数 P 的旋转磁场的转速 n_0 , 见

表 1.1.1。

表 1.1.1 不同极对数 P 的旋转磁场的转速 n_0 表

P	1	2	3	4	5	6
n_0 (rad/min)	3000	1500	1000	750	600	500

2) 异步电动机的转速

(1) 电动机的转动原理。

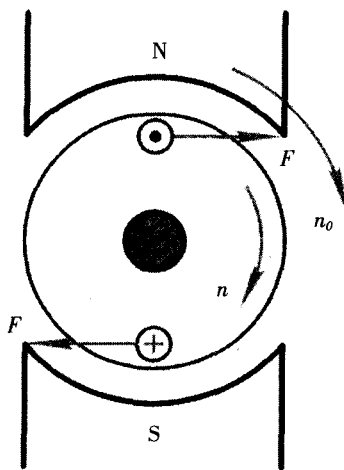


图 1.1.6 转子转动的原理图

图 1.1.6 是三相异步电动机转子转动的原理图。图中 N、S 表示旋转磁场，转子中只表示出两根导条（铜或铝）。当旋转磁场向顺时针方向旋转时，其磁通切割转子导条，导条中就感应出电动势。电动势的方向由右手定则确定，应用右手定则时可假设磁极不动，而转子导条向逆时针方向旋转切割磁通。这与实际上磁极顺时针方向旋转时磁通切割转子导条是相当的。

在电动势的作用下，闭合的导条中就有电流。这电流与旋转磁场相互作用，而使转子导条产生电磁力 F ，电磁力的方向可应用左手定则来确定。由电磁力产生电磁转矩，转子就转动起来。由图 1.1.6 可见，转子转动的方向和磁极转动的方向相同。

(2) 电动机的转速。

由图 1.1.6 可见，电动机转子转动方向与磁场旋转方向相同，但转子的转速 n 不可能达到旋转磁场的转速 n_0 ，即 $n < n_0$ 。因为如果两者相等，则转子与旋转磁场之间就没有相对运动。因而磁通就不切割转子导条，转子电动势、转子电流及电磁转矩都不存在。转子就不可能继续以 n_0 的转速转动。因此，转子转速与磁场转速之间必须要有差别，不可能相同。这就是异步电动机名称的由来。即电动机的转子速度和磁场速度是异步的。而旋转磁场的速度 n_0 称为同步转速。

我们用转差率 S 来表示转子转速 n 与磁场转速（同步转速） n_0 相差的程度。

$$\text{即 } S = \frac{n_0 - n}{n_0} \quad (1.1.5)$$

转差率是异步电动机的一个重要物理量。转子转速越接近磁场转速，则转差率越小。由于三相异步电动机的额定转速与同步转速相接近，所以它的转差率较小。通常，异步电动机的转差率约为 1% ~ 9%。

当 $n = 0$ （电动机启动初始瞬间）， $S = 1$ ，这时，转差率最大。
式 (1.1.5) 可写成

$$n = n_0 (1 - S) \quad (1.1.6)$$

由于 $n_0 = 60f_1/P$ ，代入式 (1.1.6)

$$n = 60f_1 (1 - S) / P \quad (1.1.7)$$