

变频器应用

图册

BIANPINQI YINGYONG TUCE

张燕宾 编著

本书以类似连环图画的方式,比较全面地介绍了三相交流异步电动机的基本原理和特性,交—直—交变频器的原理和构成,变频器的控制方式和常用功能,变频拖动系统的控制要点及其在各类负载中的应用,变频调速的节能技术以及变频器的安装与维修等。

本书对变频器内部比较典型的常见控制电路进行了介绍,对变频器应用中较复杂的问题用深入浅出的方式进行了分析,有助于维修人员提高维修技巧。

本书的主要读者对象是工矿企业的电气工程师,本书也可作为技校、中专和高等职业学校师生的教学参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

变频器应用图册/张燕宾编著. —北京:机械工业出版社,2010.9
ISBN 978-7-111-31948-1

I. ①变… II. ①张… III. ①变频器-图解 IV. ①TN77-64

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 182465 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:林春泉 责任编辑:赵任 版式设计:张世琴
责任校对:李婷 封面设计:赵颖喆 责任印制:乔宇

北京汇林印务有限公司印刷

2011 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 11.25 印张 · 276 千字

0001-4000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-31948-1

定价:29.80 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010) 88361066

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010) 68326294

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售二部:(010) 88379649

读者服务部:(010) 68993821

封面无防伪标均为盗版

前 言

自1989年起，我开始应邀为一些学习班主讲《变频器应用技术》。开始时一年数次，后来发展到每月一次。算起来，总共已在百次以上了。自从笔记本电脑和投影仪普及以来，讲课已不必站在讲台上写粉笔字，而只需要拿着鼠标在电脑上来回点击就可以了。从那时起，我就把讲课内容构思成许许多多的图片，讲课时犹如讲解连环图画一般，我讲得方便，学员们听得也轻松。当然，要将这件事做得比较完美，也绝非易事。我每次讲完课后，总要根据自己的心得和学员们的反映来修改讲稿。于是就有学员提出，能不能直接拿讲稿出一本书。在经过无数次的反复修改之后，我也觉得有点“修炼成正果”的意思了。这就是本书的由来。

学习班的学员们希望能多讲一点变频器维修方面的知识，而我苦于自己没有修理变频器的经验，难于满足学员们的要求。几个月前，我买到了咸庆信先生写的《变频器电路维修与故障实例分析》一书，觉得非常之好，于是推荐给学员们。始料未及的是，有一些学员打电话给我，说这本书的确好，但要完全读懂也并不容易，能不能把有关原理方面的基础知识也用图解的方式表示出来，让读者能比较轻松地看明白。我尝试着做了，并大胆地补充进我的讲课内容里，竟颇受欢迎。这给了我启发：图解是帮助读者入门的好方法。

在我原打算歇脚的老黄牛面前，仿佛又展现出了一条新路，令我兴奋，情不自禁地又迈起步来。

作 者
2010年8月

目 录

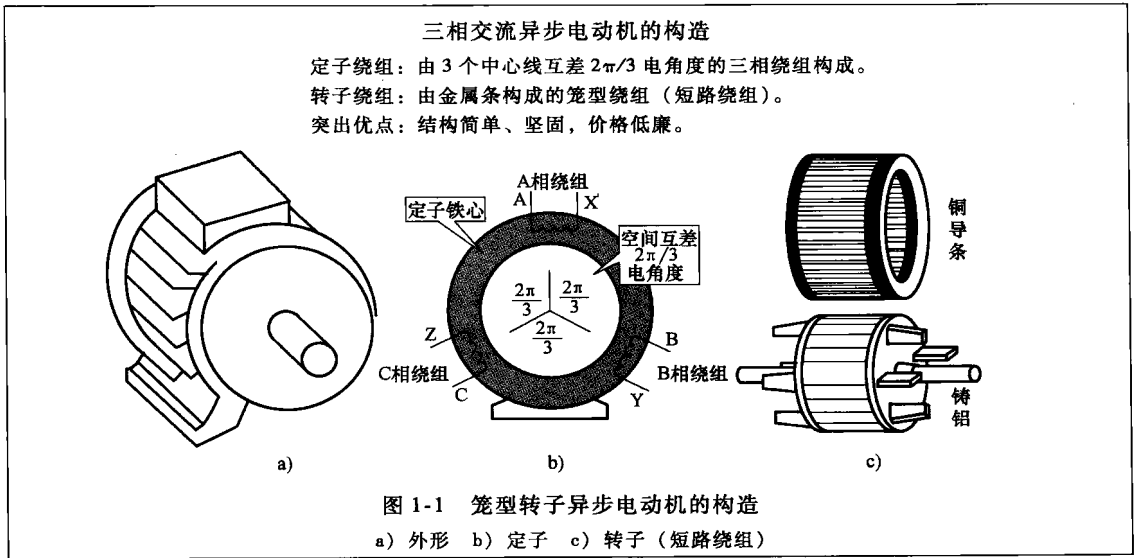
前言

第1章 认识三相交流异步电动机	1	4.3 变频调速系统的加速与启动	68
1.1 三相交流异步电动机	1	4.4 变频调速系统的减速与停机	70
1.2 三相交流异步电动机的旋转原理	3	4.5 加、减速功能的预置	76
1.3 异步电动机的能量转换	4	第5章 变频拖动系统的控制	81
1.4 三相交流异步电动机的铭牌	8	5.1 变频器的外接主电路	81
1.5 异步电动机的机械特性	10	5.2 变频器的输入控制端	83
1.6 异步电动机的启动	14	5.3 变频器的输出控制端	89
1.7 异步电动机的制动	17	5.4 多单元同步控制	91
第2章 认识交一直一交变频器	19	5.5 变频与工频的切换控制	93
2.1 交一直一交变频器	19	5.6 变频调速的程序控制	96
2.2 变频与变压	22	5.7 变频器的闭环控制	98
2.3 载波频率及其影响	26	第6章 变频器在各类负载中的应用	107
2.4 变频器的主电路	28	6.1 带式输煤机的变频调速	107
2.5 变频器的输入、输出电流	30	6.2 提升机的变频调速	110
2.6 变频器运行数据的测量	34	6.3 卷绕机械的变频调速	114
2.7 变频器的抗干扰	37	6.4 车床的变频调速	118
第3章 变频器的控制方式	41	6.5 风机、水泵的变频调速	121
3.1 异步电动机变频后的人工机械特性	41	第7章 变频调速的节能技术	126
3.2 增大临界转矩的对策——V/F控制方式	42	7.1 减少浪费	126
3.3 增大临界转矩的对策——矢量控制方式	50	7.2 大马拉小车的节能	128
3.4 增大临界转矩的对策——直接转矩控制方式	53	7.3 释放能量的利用	133
3.5 变频调速的有效转矩线	54	7.4 变频调速最节能	135
3.6 变频拖动系统的传动机构	56	7.5 供水系统的节能分析	138
第4章 变频器的常用功能	63	第8章 变频器的安装与维护	144
4.1 模拟量频率给定	63	8.1 变频器的安装要点	144
4.2 频率的限制功能	66	8.2 变频器的接线要点	146
		8.3 变频器主电路的测试	150
		8.4 变频器的控制电源	157
		8.5 变频器的保护	160
		8.6 变频器的通电与试机	170

第 1 章 认识三相交流异步电动机

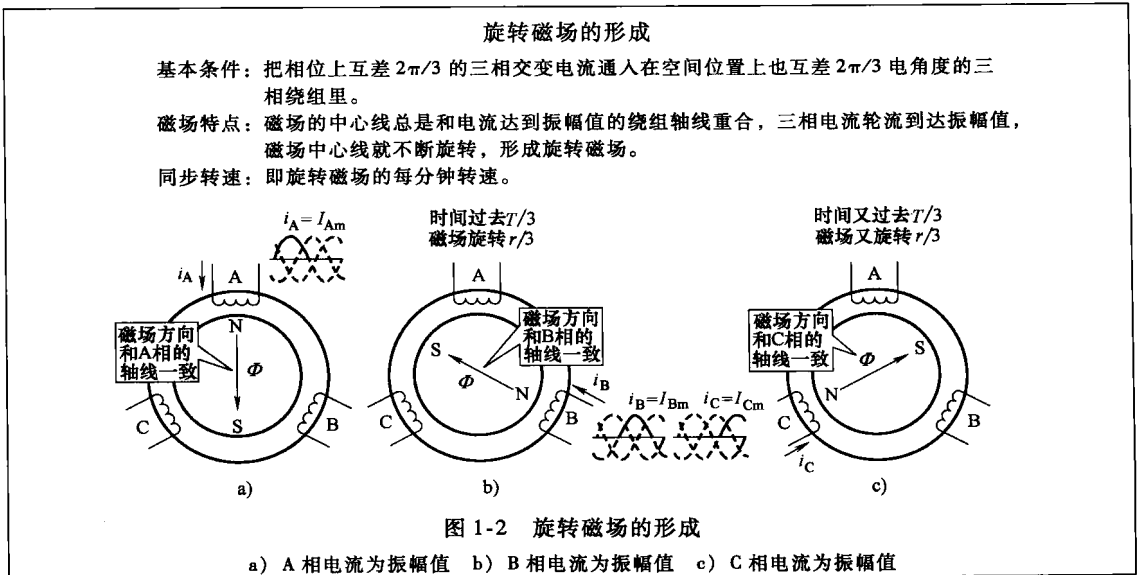
1.1 三相交流异步电动机

1.1.1 三相交流异步电动机的构造



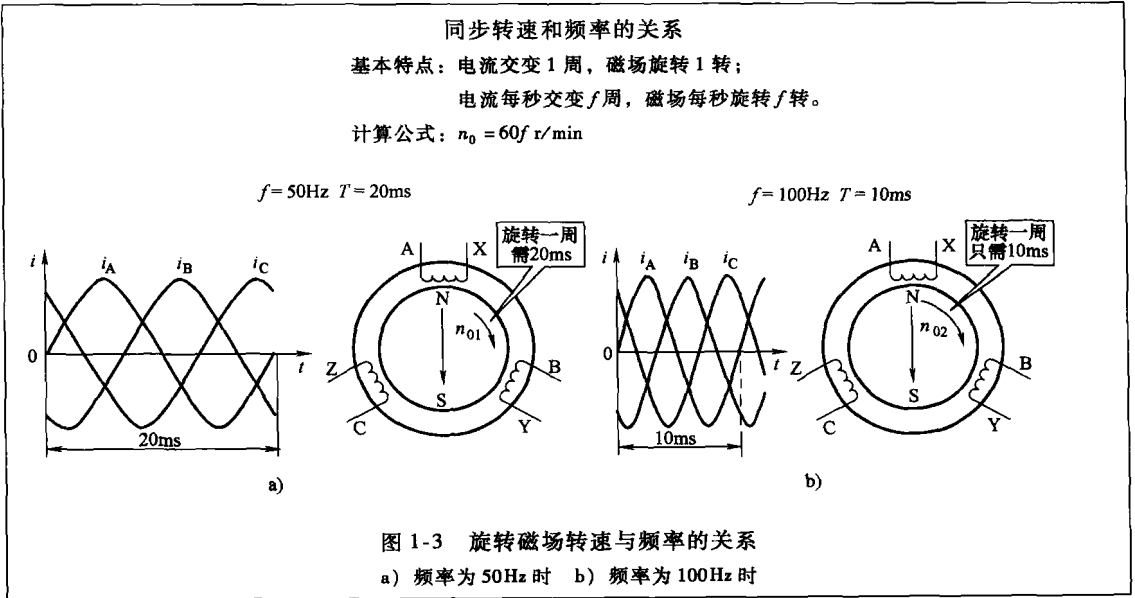
1.1.2 旋转磁场

1. 旋转磁场的形成

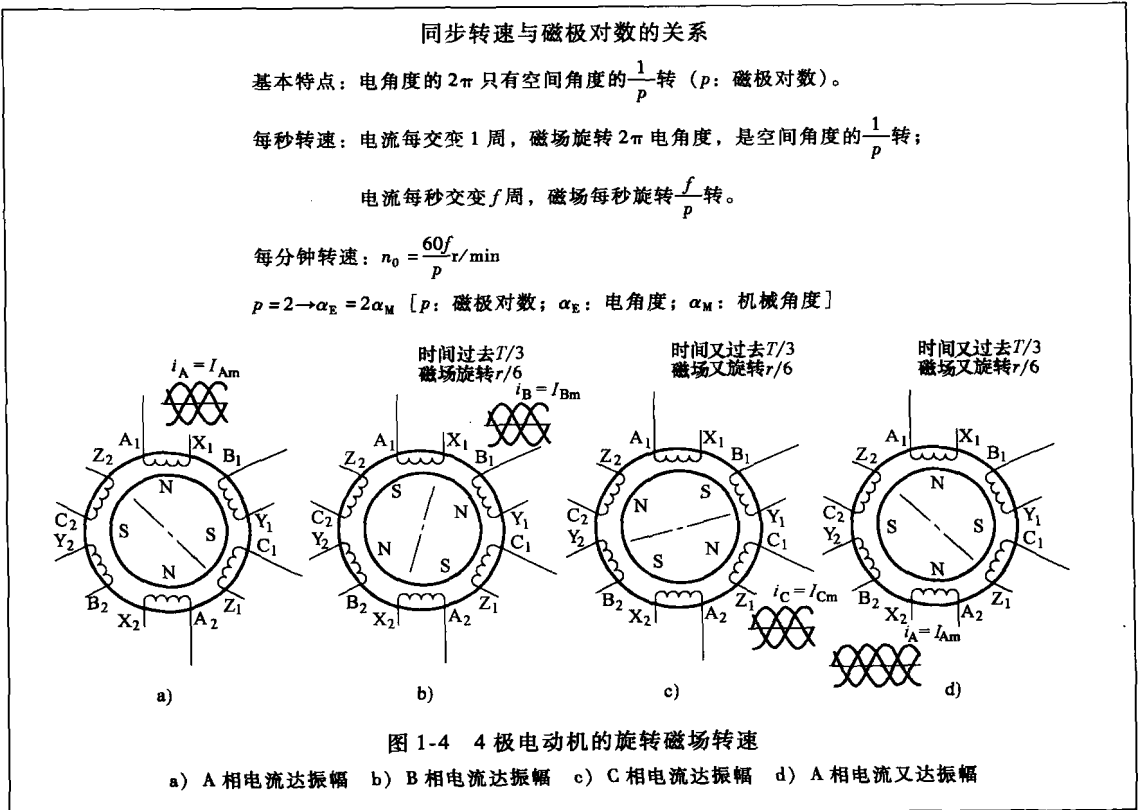


2. 旋转磁场的转速（同步转速）

(1) 同步转速和频率的关系



(2) 同步转速和磁极对数的关系



1.2 三相交流异步电动机的旋转原理

1.2.1 旋转原理

异步电动机的旋转原理

转子电流：转子绕组因切割旋转磁场的磁力线而产生感应电动势，又因转子绕组是自成回路的，故有感应电流。

电磁转矩：转子绕组作为载流导体，要受到旋转磁场的作用力，并形成电磁转矩 T_M ，使转子旋转。

电动机转速：因为产生转子电流的前提是转子绕组必须切割旋转磁场，所以转子的转速必小于同步转速： $n_M < n_0$ 。

转差：同步转速与转子转速之差： $\Delta n = n_0 - n_M$ 。

转差率：转差与同步转速之比： $s = \frac{\Delta n}{n_0} = \frac{n_0 - n_M}{n_0}$ 。

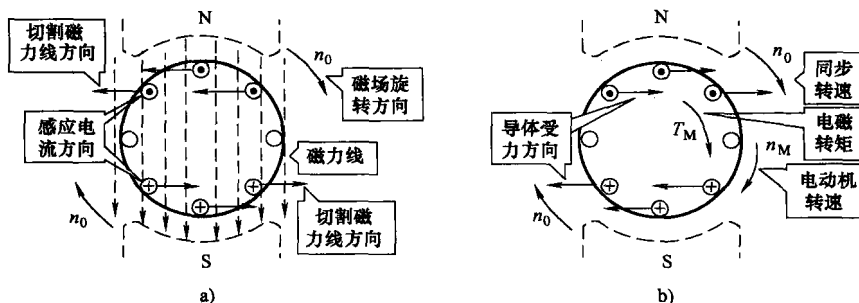


图 1-5 异步电动机旋转原理

a) 转子产生感应电流 b) 转子导体受力产生电磁转矩

1.2.2 异步电动机的转速、转差和转差率

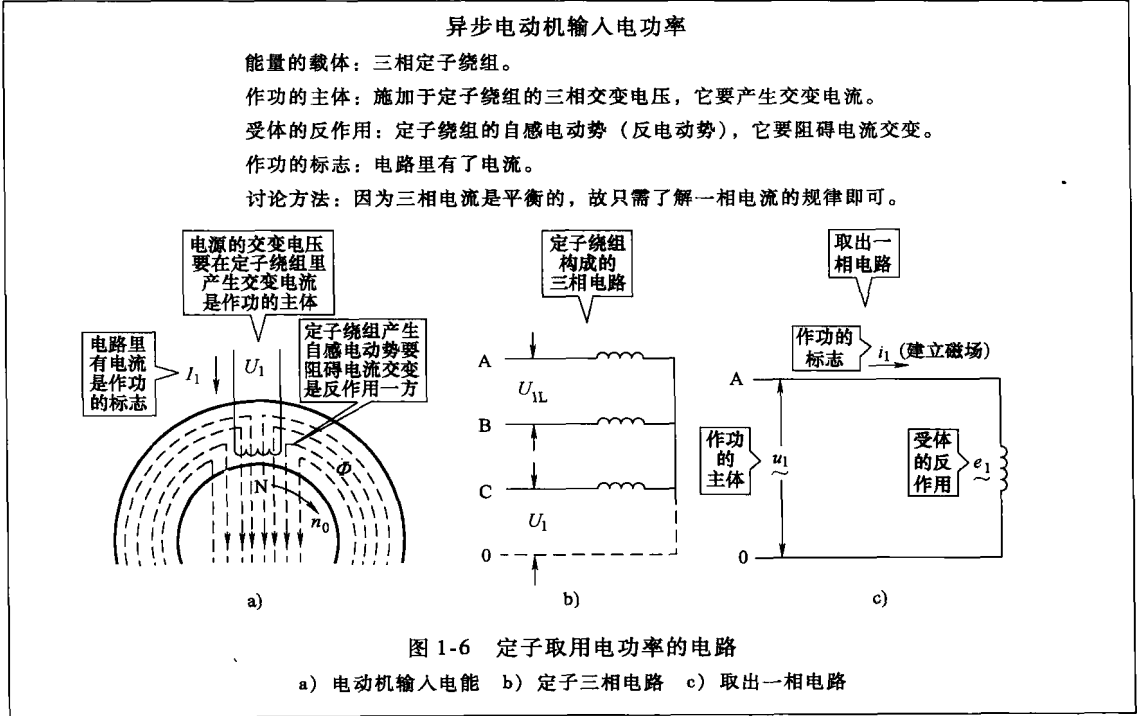
表 1-1 三相交流异步电动机的转速、转差和转差率

磁极对数	磁极数	同步转速	电动机转速	转差	转差率	备注
p	$2p$	$n_0/(r/min)$	$n_M/(r/min)$	$\Delta n/(r/min)$	s	电动机容量/kW
1	2	3000	2900	100	0.033	5.5 ~ 7.5
			2930	70	0.023	11 ~ 18.5
			2940	60	0.020	22
			2950	50	0.017	30 ~ 37
			2970	30	0.01	45 ~ 160
2	4	1500	1420	80	0.053	2.2 ~ 3.0
			1440	60	0.040	4.0 ~ 7.5
			1460	40	0.027	11 ~ 15
			1470	30	0.02	18.5 ~ 30
3	6	1000	910	90	0.09	0.75 ~ 1.1
			940	60	0.06	1.5 ~ 2.2
			960	40	0.04	3 ~ 5.5
			970	30	0.03	7.5 ~ 30
			980	20	0.02	37 ~ 250

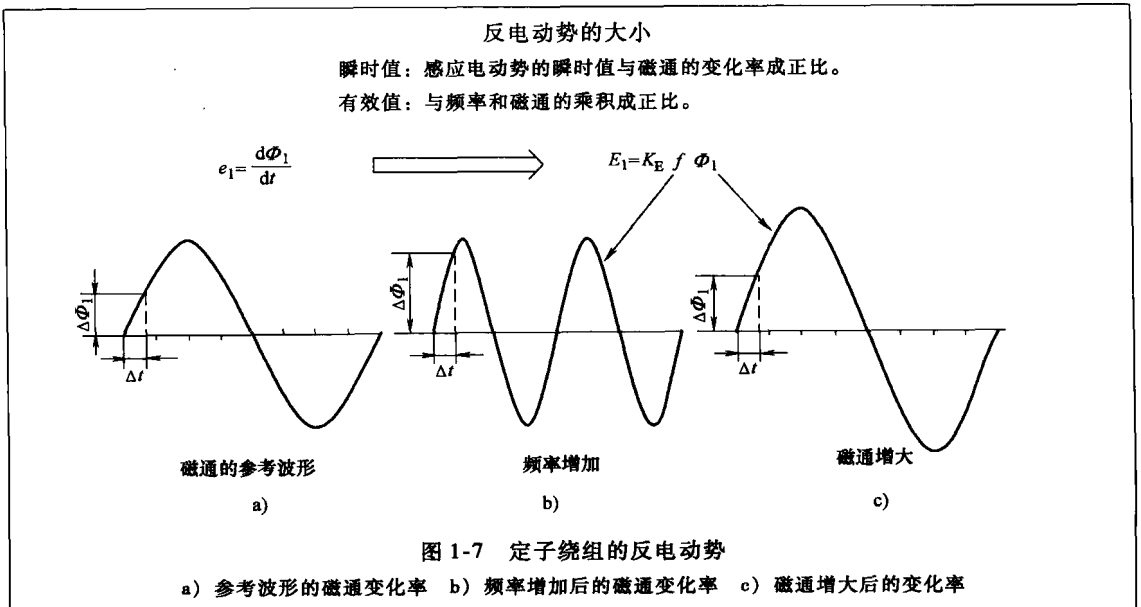
1.3 异步电动机的能量转换

1.3.1 吸收电功率的过程

1. 吸收电功率的要点



2. 电动机的反电动势（自感电动势）



3. 定子的等效电路

电动势平衡方程

主磁通：能够穿过空气隙，把能量传递给转子的磁通。定子绕组切割主磁通产生的自感电动势由反电动势 E_1 表示。

漏磁通：不能穿过空气隙，不传递能量的磁通。定子绕组切割漏磁通产生的自感电动势由漏磁电抗的压降 $I_1 X_1$ 表示。

电动势平衡方程：电源电压除了要克服反电动势 E_1 外，还要克服电路的阻抗压降 ΔU_1 。

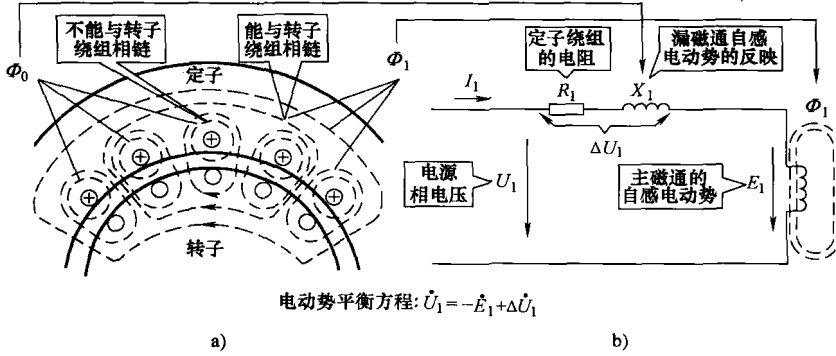


图 1-8 定子一相绕组的等效电路
a) 主磁通和漏磁通 b) 定子等效电路

1.3.2 能量的传递过程

1. 能量的传递

电动机的能量传递

输入功率：三相电功率 $\sqrt{3}U_L I_L \cos\phi_1$ 、 $3U_1 I_1 \cos\phi_1$ 。

输出功率：轴上的机械功率 $\frac{T_M n_M}{9550}$ 。

传递功率：磁场功率，通常称为电磁功率 P_M 。

损耗功率：主要是定、转子的铜损和铁损。

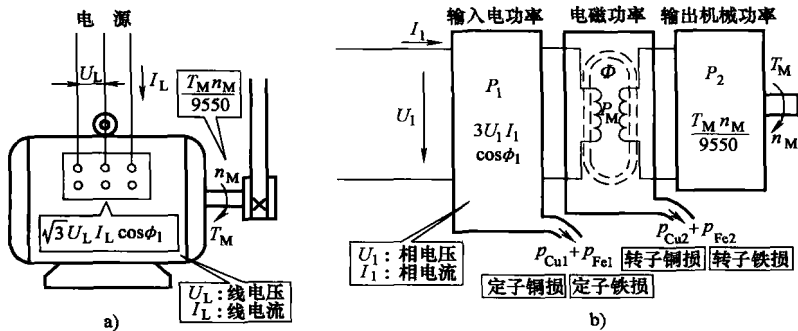


图 1-9 定、转子之间的能量传递
a) 能量传递靠磁通 b) 做功的过程

2. 转子的等效电路

转子的等效电路

第一步：用等效的三相绕组代替多相绕组。

要点：等效绕组的匝数与定子绕组相等。

第二步：用等效的静止电路代替旋转电路。

要点：负载等效电阻消耗的功率等于机械功率。

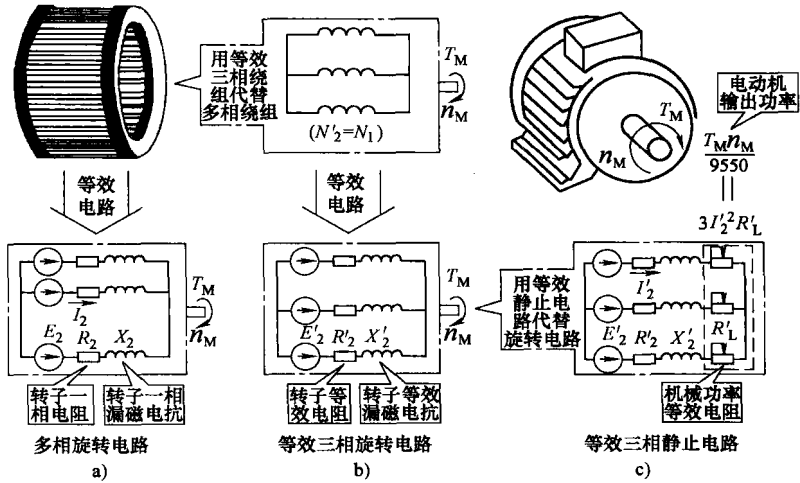


图 1-10 转子等效电路的演变

a) 转子绕组的电路 b) 等效三相旋转电路 c) 等效三相静止电路

3. 磁动势平衡方程

磁动势平衡方程

转子等效电路：电源：转子绕组切割旋转磁场产生的感应电动势；

负载：与机械负载等效的电阻。

磁动势平衡方程： $i_1 N_1 = -i_2' N_1 + i_0 N_1$

电流平衡方程： $i_1 = -i_2' + i_0$

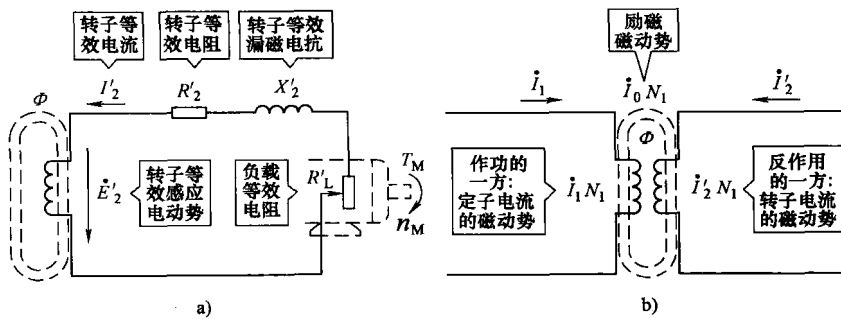
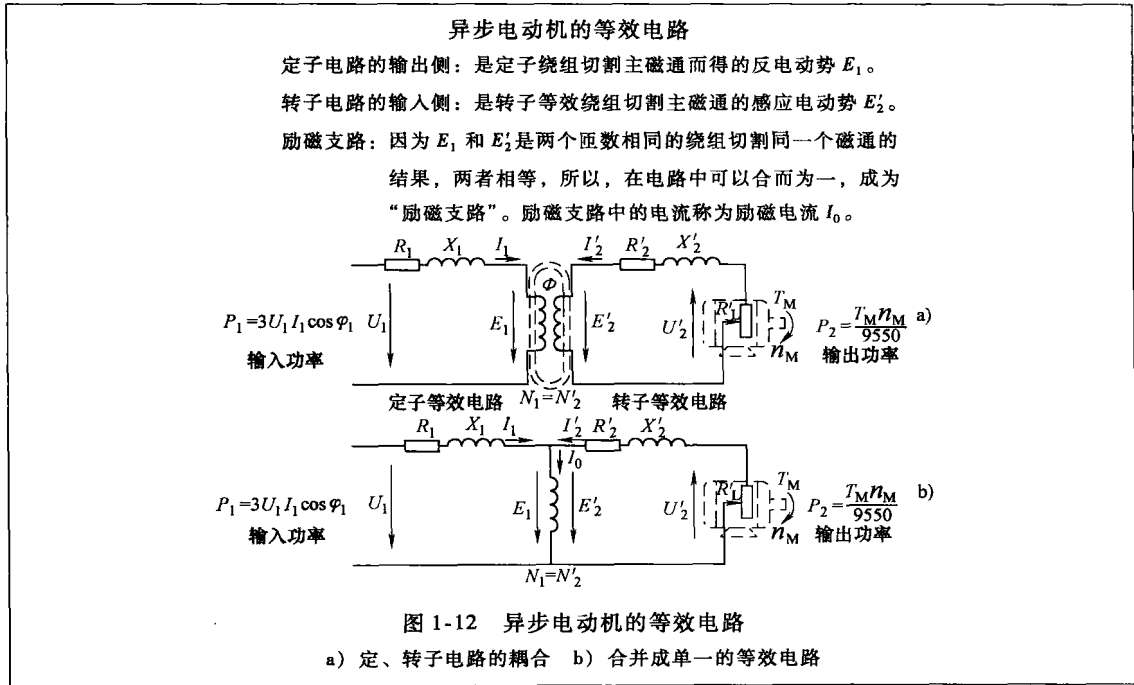


图 1-11 磁动势的平衡

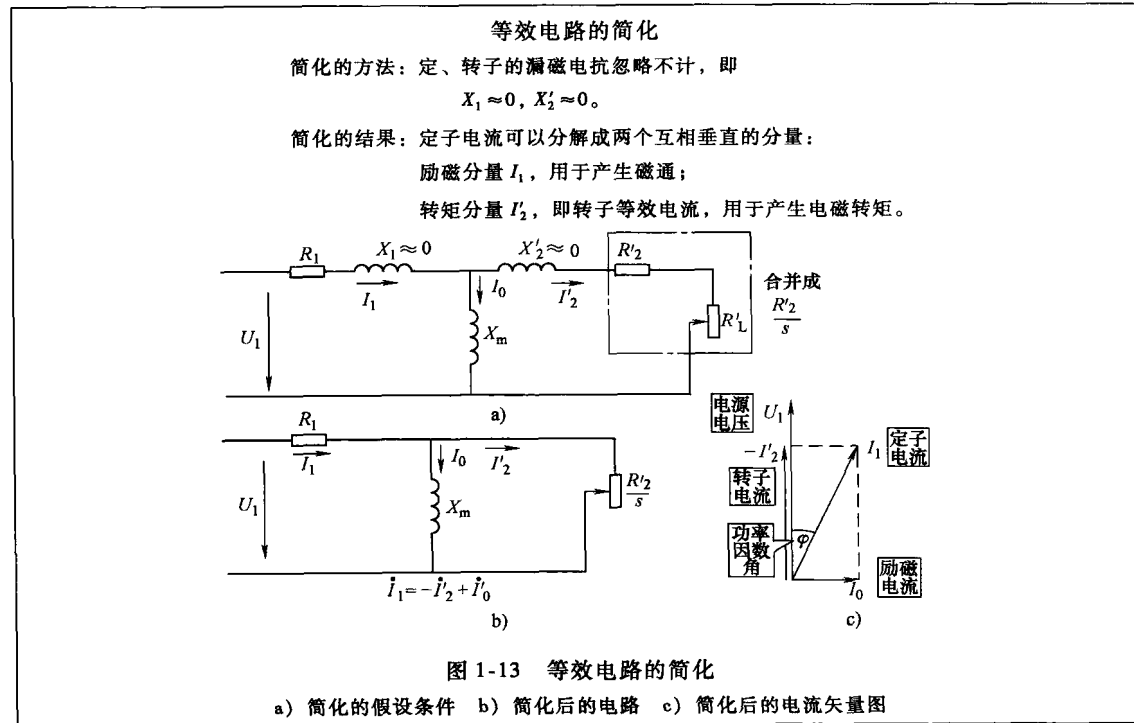
a) 转子一相等效电路 b) 磁动势的平衡

1.3.3 异步电动机的等效电路

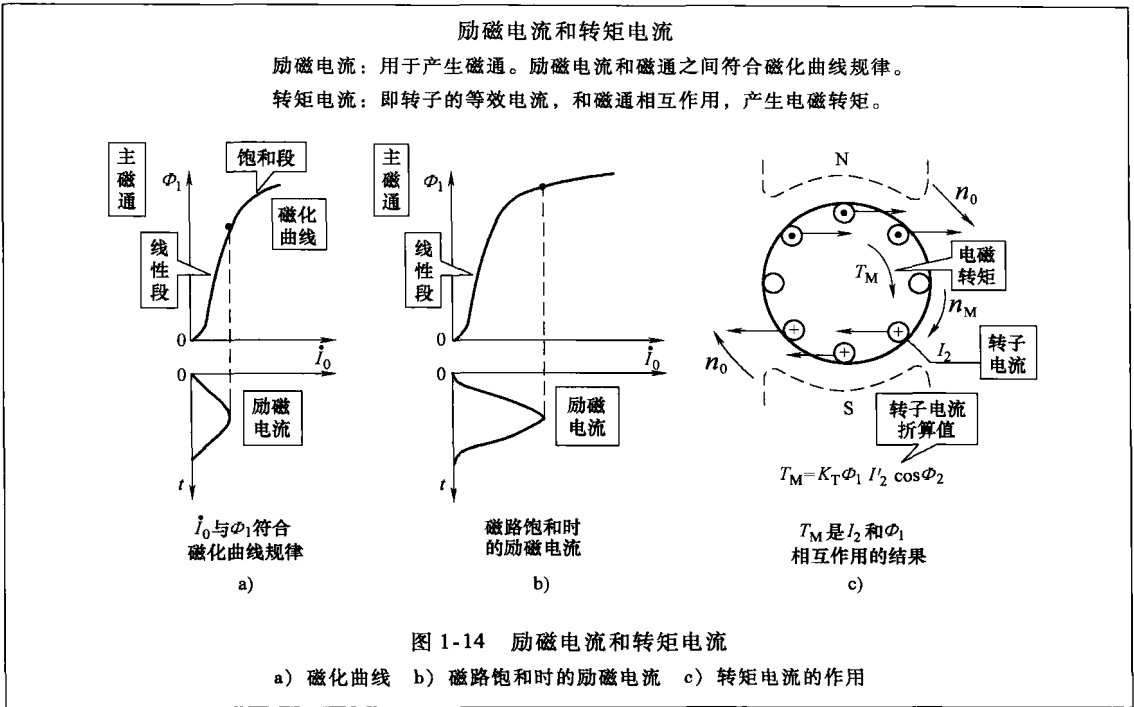
1. 等效电路的得出



2. 等效电路的简化

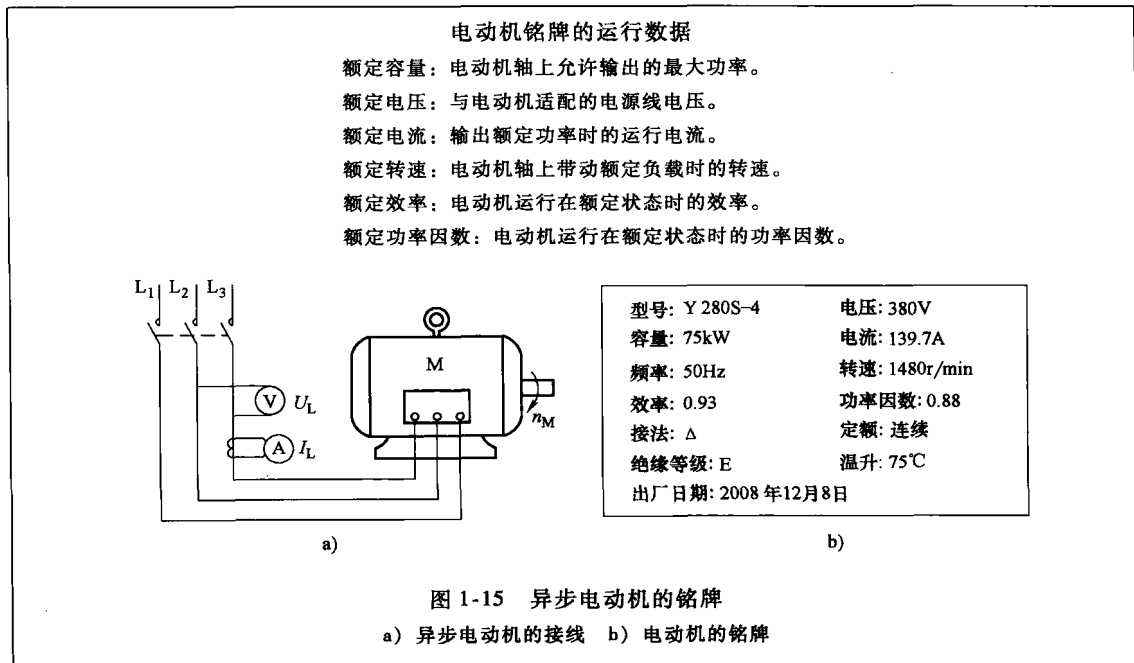


3. 励磁电流和转矩电流

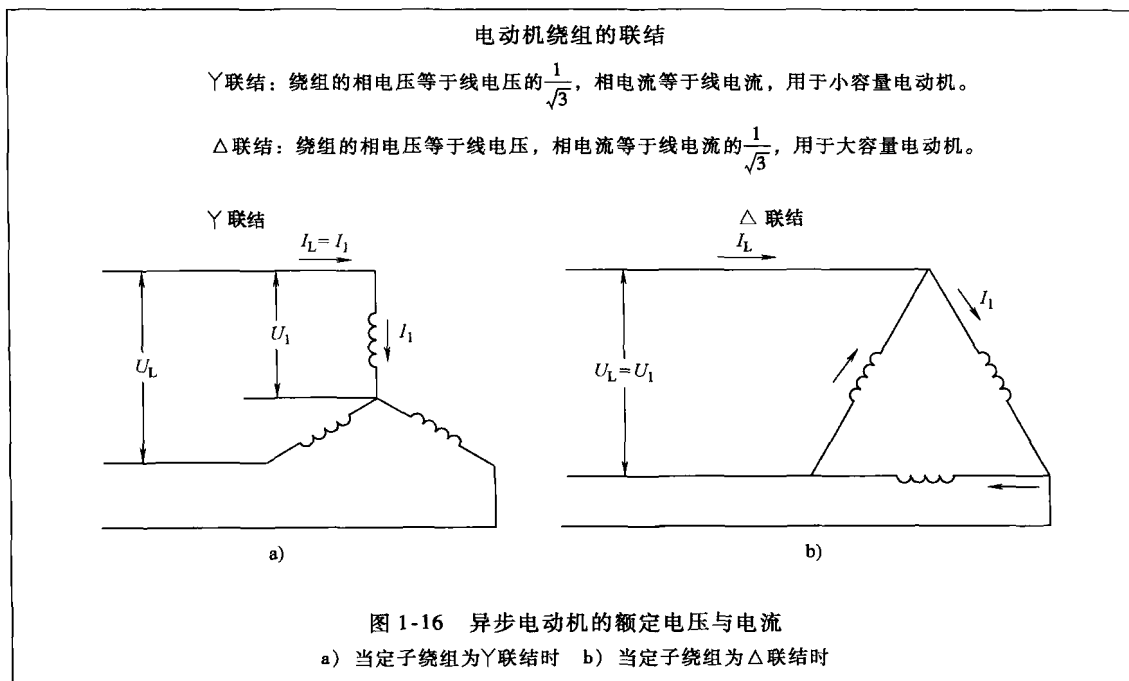


1.4 三相交流异步电动机的铭牌

1.4.1 三相交流异步电动机的铭牌示例

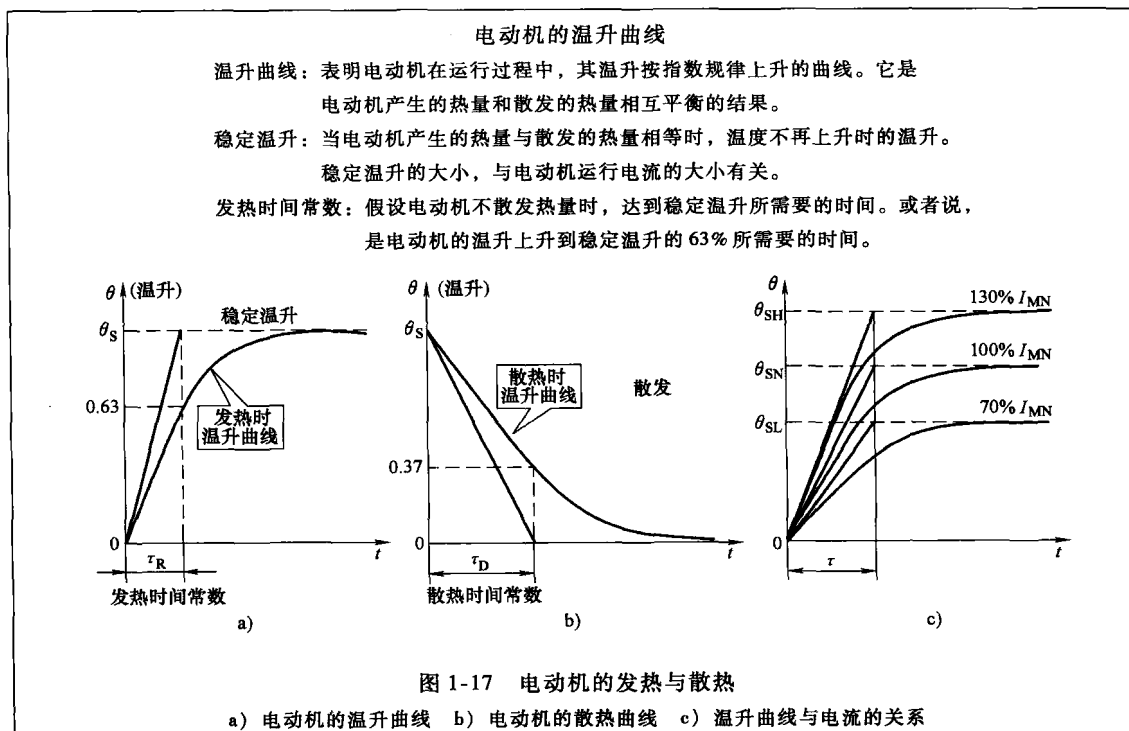


1.4.2 三相交流异步电动机的额定电压与电流



1.4.3 三相交流异步电动机的额定温升与定额

1. 温升曲线和散热曲线



2. 电动机的定额

电动机的定额

连续负载：连续不断地运行的负载，定额的描述为“连续”。连续负载中又分：

- 1) 连续不变负载：在运行过程中，负载轻重不变的负载；
- 2) 连续变动负载：在运行过程中，负载的轻重经常变化的负载。

断续负载：时而运行、时而停止的负载，定额由负载持续率 FC 来描述。

短时负载：运行时间短，在运行时间，温升达不到稳定温升；停止时间长，在停止时间，温升可以降为 0 的负载。其定额用运行时间 t_0 来描述。

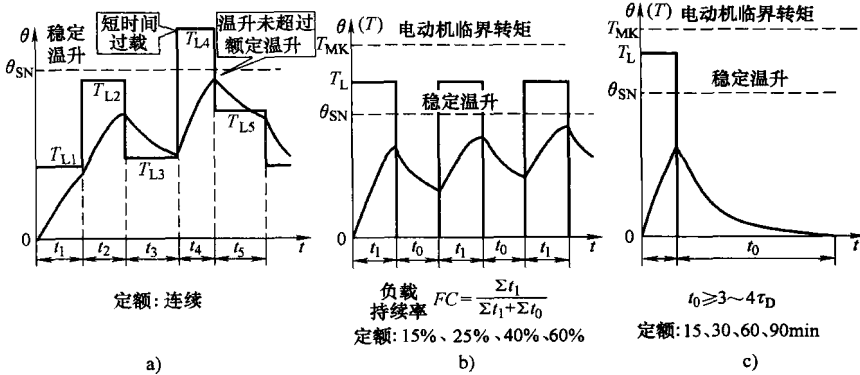


图 1-18 电动机的定额

a) 连续负载 b) 断续负载 c) 短时负载

1.5 异步电动机的机械特性

1.5.1 自然机械特性

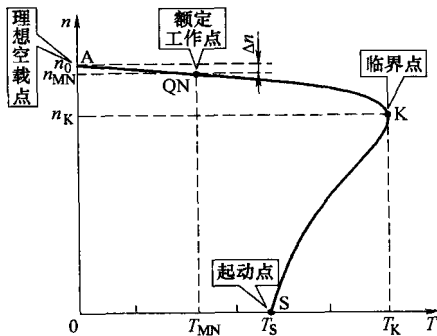
1. 自然机械特性的要点

异步电动机的机械特性

机械特性：表明电动机产生的电磁转矩和转速之间关系的特性曲线。

自然机械特性：没有改变任何参数时的机械特性。

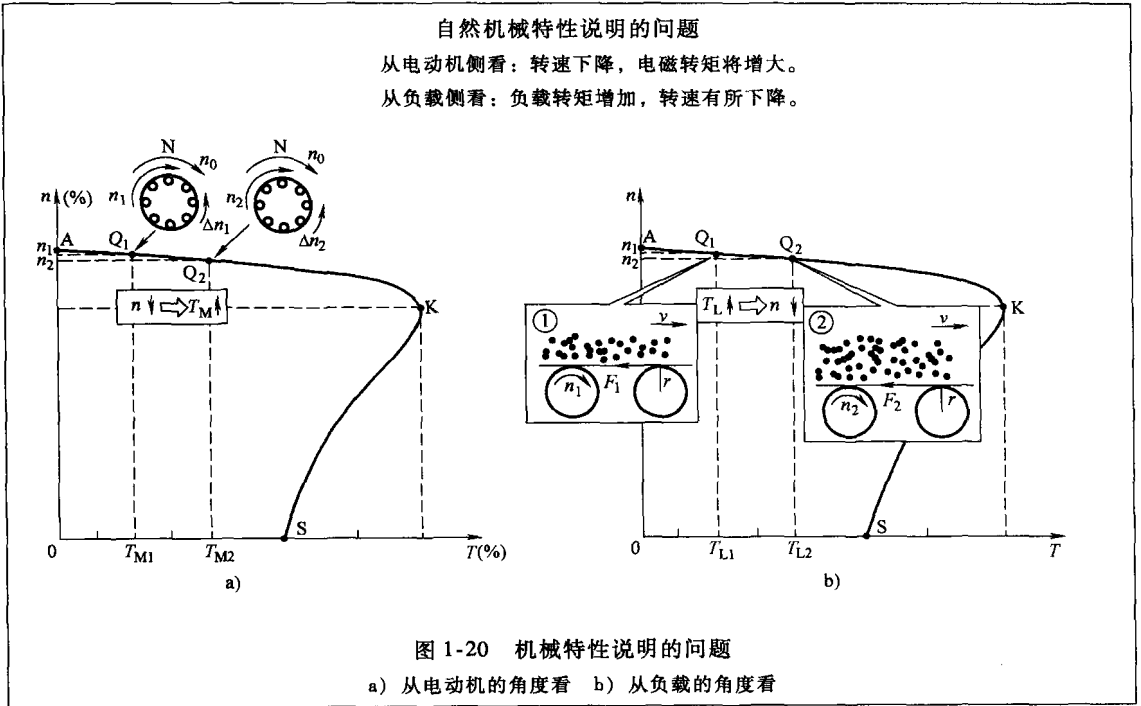
曲线的标志点：理想空载点、起动点、临界点。



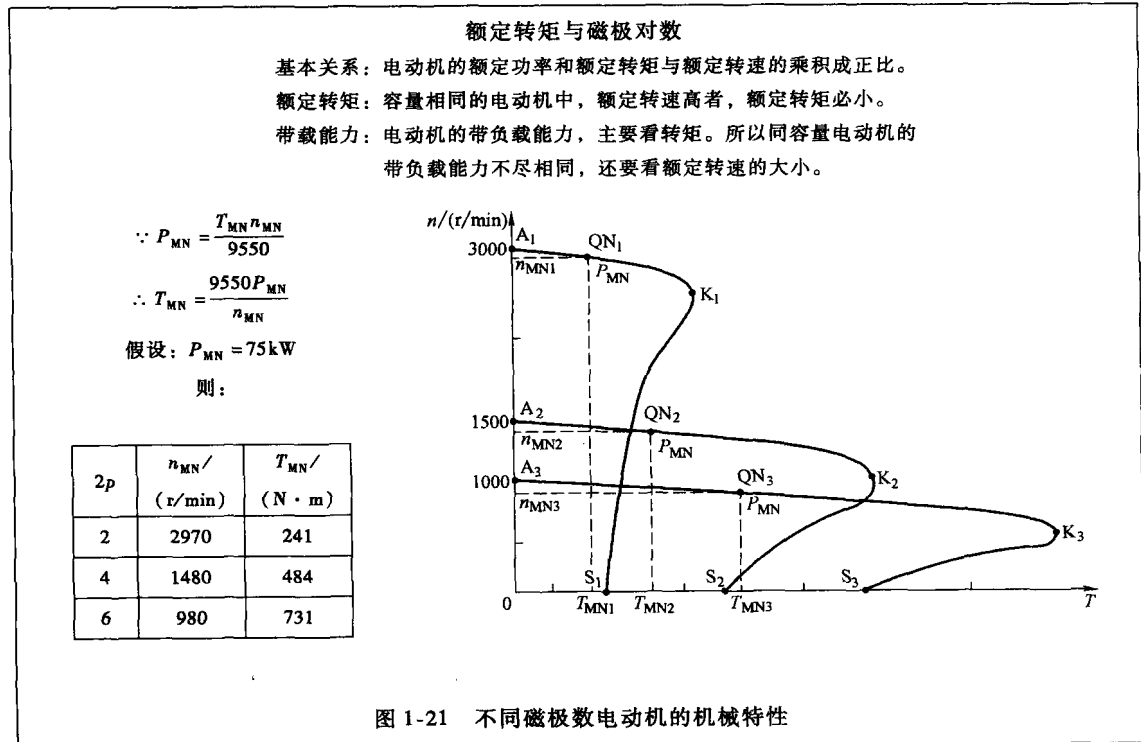
- 理想空载点： $T = 0$ (理想空载)
- $n = n_0$ (同步转速)
- 起动点： $n = 0$ (刚合上电源)
- $T = T_s$ (起动转矩)
- 临界点： $T = T_K$ (临界转矩或最大转矩)
- $n = n_K$ (临界转速)
- 额定工作点： $T = T_{MN}$ (额定转矩)
- $n = n_{MN}$ (额定转速)

图 1-19 自然机械特性的要点

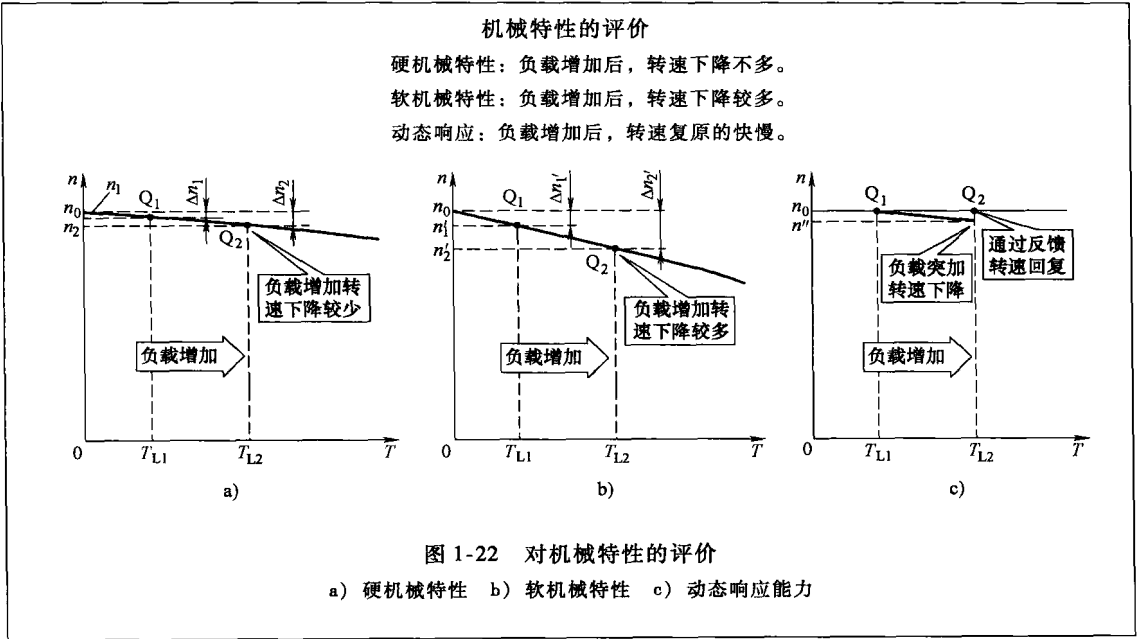
2. 机械特性说明的问题



3. 不同磁极数电动机的机械特性

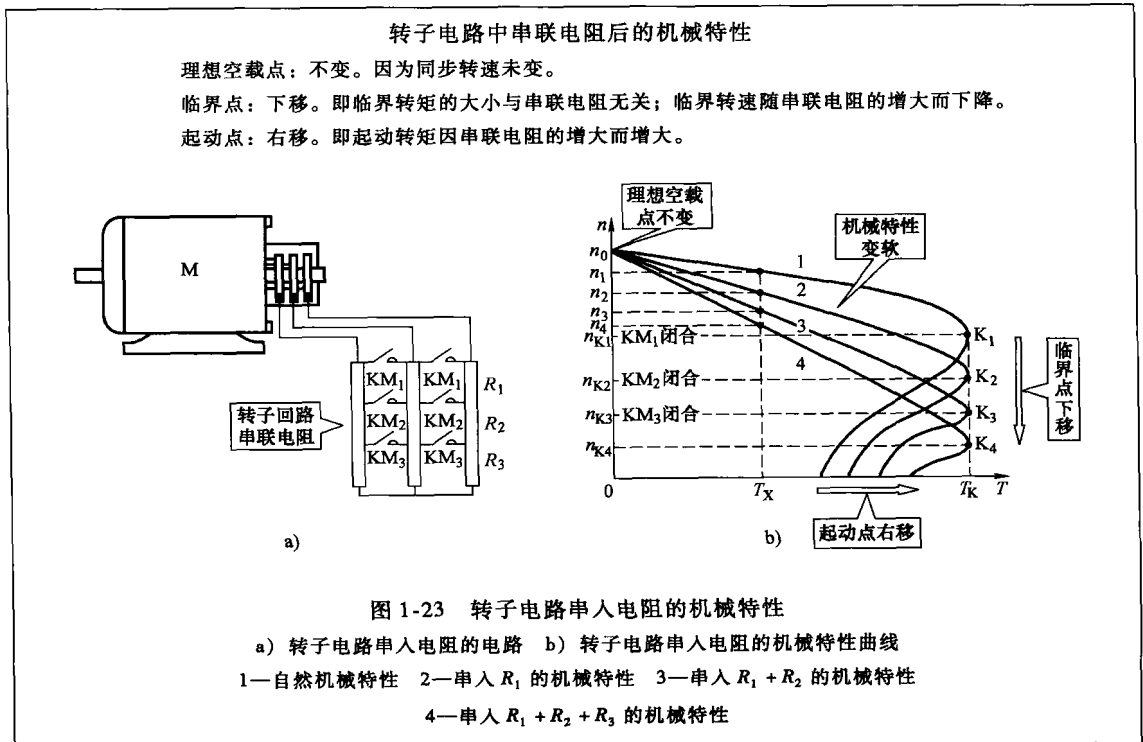


4. 对机械特性的评价

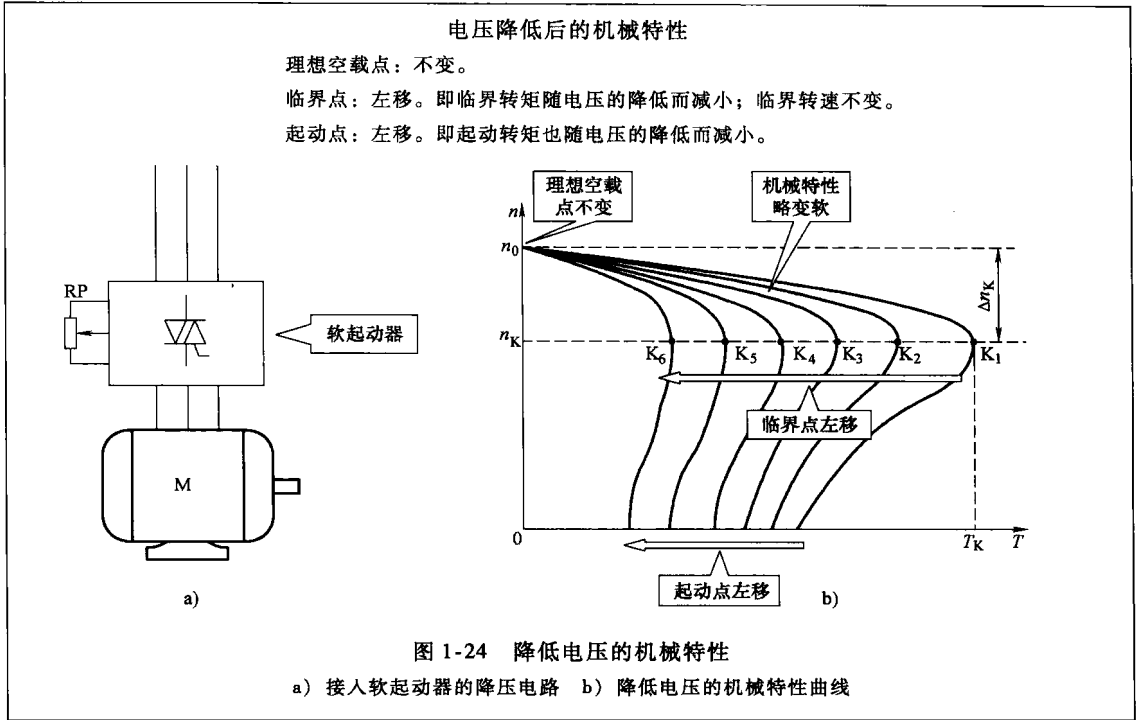


1.5.2 异步电动机的人工机械特性

1. 转子电路串入电阻的机械特性



2. 降低电压的机械特性



1.5.3 特殊异步电动机的机械特性

1. 电磁调速电动机的机械特性

