

张燕宾 电工实践

张燕宾
著

金牌作者的关门之作

一生经验的倾情奉献

维修独创经验

职业成长体验



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



作者于1937年出生于江苏省海门市，1955年毕业于上海电机学院的工业企业自动化专业和吉林函授学院的数学系，高级工程师。

文革前曾先后在长春工业大学和长春大学任教，退休于宜昌市自动化研究所。

曾任宜昌市自动化研究所副所长、宜昌市科委深圳联络处主任、宜昌市自动化学会理事长、湖北省自动化学会常务理事等职。

退休后从事变频调速技术的推广应用。

已经出版的著作有《SPWM变频调速应用技术》（第一、第二、第三、第四版）、《变频调速应用实践》（主编）、《电动机变频调速图解》、《实用变频调速技术培训教程》、《常用变频器功能手册》、《变频调速460问》、《变频调速600问》、《变频器应用教程》（第一、第二版）、《变频器的安装、使用和维护》、《变频器应用图册》、《小孙学变频》、《小孙学变频续编》、《小李学异步电动机》等。

张燕宾电工实践

张燕宾 著



机械工业出版社

本书记述了作者经历和处理过的电气工程方面的技术问题，内容共分三大部分。

电工电子篇：记述了作者开发的一些小产品和在维修过程中的一些特殊处理。介绍其原理、计算方法以及元器件的选择。

电机与拖动篇：对异步电动机中一些比较难懂的内容，进行了深入浅出的讲解，分析了一些特殊电动机的原理与特性。

变频调速篇：对变频调速技术中一些比较难以理解的内容进行深入浅出的讲解，介绍了若干工程项目的示例，对变频器在使用中常遇到的问题进行了简明扼要的归纳。

本书可供工矿企业里的电气工程技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

张燕宾电工实践/张燕宾著. —北京: 机械工业出版社, 2015. 10
ISBN 978-7-111-51580-7

I. ①张… II. ①张… III. ①电路-基本知识 IV. ①TM13

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 222908 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: 罗 莉 责任编辑: 罗 莉 版式设计: 霍永明

责任校对: 刘志文 封面设计: 陈 沛 责任印制: 李 洋

三河市宏达印刷有限公司印刷

2016 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

169mm×239mm·16.75 印张·323 千字

0001—3000 册

标准书号: ISBN 978-7-111-51580-7

定价: 49.8 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

服务咨询热线: 010-88361066

读者购书热线: 010-68326294

010-88379203

封面无防伪标均为盗版

网络服务

机工官网: www.cmpbook.com

机工官博: weibo.com/cmp1952

金书网: www.golden-book.com

教育服务网: www.cmpedu.com

前言

本书记载了我所经历过或处理过的一些事例。就学术价值而言，这些事例都属于“下里巴人”的档次。但却都有着独创的成分，所以，犹如亲生的子女一般，很有些宝贝了。

就内容而言，本书大体有以下几个方面：

1. 我所开发过的小产品，以及在维修过程中的一些独特处理；
2. 因为我长期从事教学工作，在某些问题的讲解方法上，也有一些自以为有些独创的地方；
3. 关于变频调速的工程项目，我在其他的拙作中已有介绍，本不想多做重复。但有的读者反映，许多书都只介绍项目的基本分析和大概轮廓，能否介绍一两个比较完整的范例。遗憾的是，在20世纪，我还不会用电脑，许多项目的底稿，多有缺失。我尽力翻找，也找到了几例，力求满足读者们的要求；
4. 有读者说，现在，人们对于变频器已经比较熟悉了，不想看那些一讲就是一大堆基础原理的书。而希望手头有一本类似手册一般，只汇集读者在使用中必须了解的要点，简单明了。本书的第7章便是这方面的尝试。

对于每一个项目，哪怕是很小的项目，我都力求从基础理论上分析其原理，使读者们能够有所启发。

但因为本书并不是系统地讲解某一方面的内容，所以显得零乱。

虽然我并没有什么了不起的成就，但回首往事，毕竟也多少做出了一点儿成绩。作为一种人生经历，体会是深刻的。

首推“认真”二字，事无巨细，都一定要认认真真地做好。如果每件事情（哪怕是很小的事情）都能完成得很好的话，人们就会对你产生一种信任感，你才有机会得到更进一步的项目。

要认真做好每一件事，就必须勤奋。或者说，勤奋是认真的保证。我这一辈子，很少有休息的日子。由于我讲课较受欢迎，所以我的工作量总是很重的。为了认真地教好每一门课，我必须非常勤奋地备课。常常每天只睡4个小时，没有休息日。有一位老医生半开玩笑地说：青年人失眠，多半是由于思念异性的结果。可怜的我，连思念异性的空隙都没有。但每天的睡眠时间虽然很少，却都睡得很香，第二天仍能够精神抖擞地开始新的工作。

俗话说，“失败是成功之母”，每遇挫折时，不要轻易放弃。而要多动脑筋，冷静地分析失败的原因，努力找出解决的途径和方法。一般来说，对于工程技术中的问题，总会找到解决办法的。

在理论和实践的关系上，我信奉“理论指导实践”，凡以为理论和实际不相吻合之处，实际上，往往是对理论没有吃透的缘故。而当你为了解决某一个问题而博览群书时，你会在理论知识方面有所提升，而在解决实际问题的能力上，也会更上一层楼的。

如果本书能够对你有所启示的话，我将倍感荣幸。

目录

前言

第 1 篇 电工电子篇

第 1 章 简易小制作	2
1.1 相序指示器	2
1.1.1 基础知识的复习	2
1.1.2 相序显示的构思与效果	3
1.1.3 器件选择与用法	5
1.2 简易晶闸管测试器	7
1.2.1 晶闸管的工作特点	7
1.2.2 晶闸管测试电路	9
1.3 缺相保护器	12
1.3.1 三相四线制的缺相保护	12
1.3.2 三相三线制的缺相保护	17
1.4 简易显示器	20
1.4.1 点-条显示器 (LM3914) 简介	20
1.4.2 简易信号指示器	22
1.4.3 LM3914 用于控制	23
1.5 无触点快速制动器	24
1.5.1 原理与计算	25
1.5.2 变频调速系统的停机控制	28
1.5.3 快速制动器的外部接线	29
1.5.4 和其他快速制动的比较	30
1.6 电子调压器	31
1.6.1 PWM 调节交流电压的原理	32
1.6.2 脉宽调制电路	33
1.6.3 三相调压器	35
1.7 大功率无触点开关	37
1.7.1 晶闸管反并联电路	37
1.7.2 晶闸管和二极管反并联	38

1.7.3 晶闸管控制极对接	39
第2章 维修小经验	41
2.1 巧修隔离变压器	41
2.1.1 机器运行的临时措施	41
2.1.2 修理变压器	42
2.2 巧用桥形电路	43
2.2.1 原设计概要	44
2.2.2 问题与思考	46
2.3 只响一下的电铃	48
2.3.1 本厂电工的方案	48
2.3.2 只响一下的电铃	49
2.4 削波电路的修复	51
2.4.1 基本判断	51
2.4.2 用照明变压器的可行性分析	52
2.4.3 变压器的修理	53
2.5 粗略估算电动机绕组	54
2.5.1 基本依据	54
2.5.2 计算绕组匝数	56
2.5.3 无铭牌电动机的修复	57
2.6 白炽灯里的学问	57
2.6.1 白炽灯的电阻	57
2.6.2 解决方法	58
2.7 离奇故障集锦	59
2.7.1 竖起的触头	59
2.7.2 “出轨”的电刷	60
2.7.3 变态的二极管	61
2.7.4 接反的接近开关	62

第2篇 电机与拖动篇

第3章 交流电动机若干问题浅说	66
3.1 驻波与行波磁场	66
3.1.1 驻波磁场	66
3.1.2 行波磁场	68
3.1.3 驻波与行波的相互关系	70
3.2 异步电动机的转子	71
3.2.1 转子的等效电路	72
3.2.2 转子的电磁转矩	75
3.3 异步电机的发电	77

3.3.1 异步电机能发电吗?	77
3.3.2 拖动系统里的发电机状态	81
3.4 三相整流子电动机	83
3.4.1 基本构思	83
3.4.2 三相交流整流子电动机的特点	87
3.4.3 三相交流整流子电动机的机械特性	88
3.5 电动机绕组的接线舞曲	91
3.5.1 异步电动机的定子绕组	91
3.5.2 接线规律与舞曲	95
第4章 电力拖动拾遗	98
4.1 力矩电动机调速	98
4.1.1 力矩电动机简介	98
4.1.2 调压控制的主电路	99
4.2 滑差电动机的机械特性	102
4.2.1 滑差电动机的构造和原理	102
4.2.2 滑差电动机的机械特性	103
4.3 电磁离合器的 PWM 调速	105
4.3.1 电磁离合器的正反向控制	105
4.3.2 脉宽调制信号	107
4.3.3 控制电路	108
4.4 小水轮发电机的变频调速	109
4.4.1 水轮机转速的采样	109
4.4.2 变频调速的实现	111
4.5 电磁离合器的反接制动	114
4.5.1 主电路的改进	114
4.5.2 晶闸管的触发电路	115
4.5.3 快速放电电路	116

第3篇 变频调速篇

第5章 变频器应用中的几个问题	120
5.1 变频器的输入电流	120
5.1.1 输入电流的大小	120
5.1.2 输入电流的功率因数	125
5.1.3 输入电流不平衡	128
5.2 停电时的故障分析	130
5.2.1 变频器里的直流电源	130
5.2.2 停电时逆变管损坏的原因	132
5.3 小电感的大作用	133

5.3.1	一个小实验	134
5.3.2	改善功率因数的应急措施	135
5.3.3	输出电抗器的发热及改善	135
5.3.4	简易滤波器	136
5.4	异步电动机的上限频率	137
5.4.1	讨论背景	137
5.4.2	电动机高频运行的特点	137
5.4.3	各类负载的最高工作频率	139
5.5	变频调速取代其他调速电动机	143
5.5.1	变频调速取代直流电动机	143
5.5.2	变频调速取代滑差电动机	145
5.5.3	变频调速取代整流子电动机	147
5.6	关于基本频率的讨论	149
5.6.1	基本频率的定义	149
5.6.2	变频器与电动机的额定电压不符时的处理	150
5.6.3	大马拉小车的节能措施	151
5.6.4	40Hz 加大转矩的方法	153
5.6.5	额定转速以上的有效转矩	154
5.7	变频器的应用误区	156
5.7.1	甩掉减速度	157
5.7.2	提高工作频率	158
5.7.3	四极代六极	159
5.8	变频器用自制配件	160
5.8.1	测量器件	160
5.8.2	自制制动电阻	164
5.8.3	自制制动单元	167
5.9	变频器的PID功能浅说	170
5.9.1	基本概念	171
5.9.2	PID的直观演示	171
5.9.3	需要预置的功能	173
5.9.4	闭环控制的接线与调试	175
第6章	变频改造补遗	177
6.1	浆纱机十二单元同步控制	177
6.1.1	浆纱机概况	177
6.1.2	变频改造要点	178
6.1.3	调试与效果	178
6.2	饮料灌装输送带的变频改造	179
6.2.1	概述	179

6.2.2 变频改造要点	180
6.3 车床的变频改造	183
6.3.1 普通车床的大致构造与负载性质	183
6.3.2 变频调速的改造实例	185
6.3.3 变频改造的计算	187
6.3.4 变频调速系统的设计	193
6.4 龙门刨床变频改造的若干问题	194
6.4.1 龙门刨床简介	194
6.4.2 两种调速系统的比较	196
6.4.3 刨台往复运动的控制	199
6.4.4 变频调速系统的设计	202
6.5 中央空调的变频调速	207
6.5.1 中央空调系统的大致构成	207
6.5.2 循环水系统与供水系统的节能比较	209
6.5.3 冷却水系统的变频调速	210
6.5.4 冷冻水系统的变频调速	211
第7章 变频器应用技术便查录	212
7.1 变频器的主要电路	212
7.1.1 内部主电路	212
7.1.2 外接主电路	213
7.1.3 变频器的内部控制电路	216
7.2 变频器常用功能	222
7.2.1 频率给定功能	223
7.2.2 控制方式功能	225
7.2.3 加、减速功能	228
7.2.4 外接端子的控制功能	232
7.3 变频器跳闸原因总汇	235
7.3.1 过载跳闸 (OL)	235
7.3.2 过电流跳闸 (OC)	237
7.3.3 过电压 (OV) 的跳闸原因	239
7.3.4 欠电压 (LV) 的跳闸原因	240
7.3.5 过热 (OH) 的跳闸原因	241
7.3.6 控制电路的故障跳闸	242
附录 独立寒秋六十载	243



第 1 篇



电工电子篇

第 1 章 简易小制作

1.1 相序指示器

开发背景

1981 年，某塑料厂引进了全套日本设备，日本的电气工程师对电源线相序的要求十分严格，相序指示器就成为了他们的必备之物。日本的相序指示器，只有火柴盒大小。

日方专家撤走后，厂领导从以后的维修方便出发，希望给每个维修电工和工程师也都配置一个相序指示器。他们的要求是，只要能够测量相序，体积大一点也不要紧。我利用《电工基础》的知识，经过反复计算，也制作出了相序指示器，体积并不比日本的大。

1.1.1 基础知识的复习

1.1.1.1 三相交流电路

基本的三相交流电路如图 1-1a 所示，三相分别是 U 相、V 相和 W 相。特点是：各相电压的有效值均相等，相位则互差 $2\pi/3$ 电角度，如图 1-1b 中之 \dot{U}_U 、 \dot{U}_V 和 \dot{U}_W 所示。线电压与相电压之间的关系是

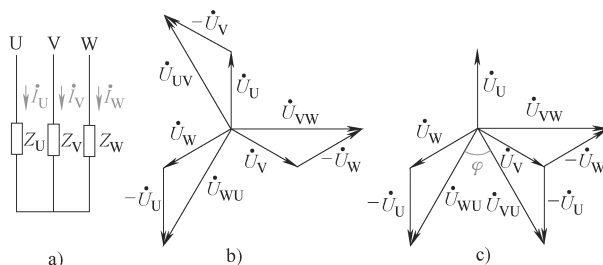


图 1-1 三相交流电路及其相量图

a) 三相交流电路 b) 相量图 c) U、V 反相的相量图

$$\begin{cases} \dot{U}_{UV} = \dot{U}_U - \dot{U}_V \\ \dot{U}_{VW} = \dot{U}_V - \dot{U}_W \\ \dot{U}_{WU} = \dot{U}_W - \dot{U}_U \end{cases} \quad (1-1)$$

线电压相量如图 1-1b 中之 \dot{U}_{UV} 、 \dot{U}_{VW} 和 \dot{U}_{WU} 所示。由图可知，各线电压比相

电压超前 $\pi/6$ 电角度。

如果将 U、V 间的线电压反相，则

$$\dot{U}_{VU} = \dot{U}_V - \dot{U}_U$$

所得线电压 \dot{U}_{VU} 如图 1-1c 所示，它比 \dot{U}_V 滞后了 $\pi/6$ 。并且， \dot{U}_{VU} 和 \dot{U}_{WU} 对称于 \dot{U}_V ，两者之间的相位差 φ 为

$$\varphi = \pi/3$$

1.1.1.2 电阻电容电路

电阻和电容串联的电路如图 1-2a 所示，其主要特点是：

1) 电路里的电流 \dot{I}_{VU} 比电压 \dot{U}_{VU} 超前 α 角，如图 1-2b 所示。

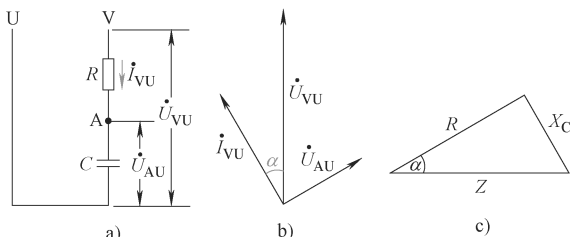


图 1-2 电阻电容电路

2) α 角的大小由图 1-2c 所示的阻抗三角形决定。

a) 电阻电容电路 b) 相量图 c) 阻抗三角形

3) 电容器两端的电压 \dot{U}_{AU} 比电流 \dot{I}_{VU} 滞后 $\pi/2$ ，如图 1-2b 所示。

1.1.2 相序显示的构思与效果

1.1.2.1 从三相不对称电路入手

一个三相对称的电路，不可能对相序的变化有明显地反映。所以，必须构建一个三相不对称电路。构思如下：

U 相 用作参考相，电路内不接任何器件。

V 相 接入两个阻值相等的电阻 R_1 和 R_2 ，互相串联，其中点为 A，很明显： $U_{AU} = U_{VU}/2$ 。

W 相 接入电阻 R_3 和电容 C 串联的电路，两者之间的连接点为 B。

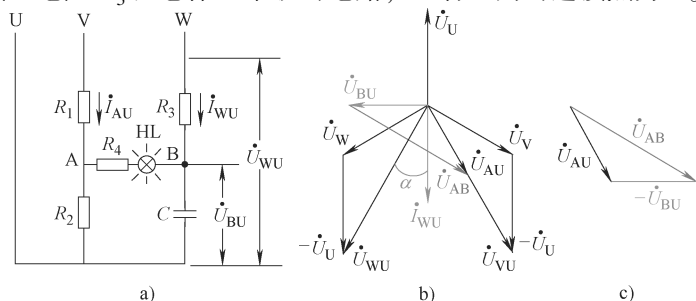


图 1-3 构建三相不对称电路

a) 三相不对称电路 b) 相量图 c) \dot{U}_{AB} 相量

A、B 之间接入一个氖灯 HL，用于显示，电阻 R_4 用于限制 HL 的电流。氖灯所需电流极小，故 R_4 的电阻值很大，计算时，A、B 之间的电流可以忽略不计。如图 1-3a 所示。

1.1.2.2 相序正确

假设图 1-3a 所示的相序为正确相序，其相量图如图 1-3b 所示。分析如下：

1. V 相电路

以 A 点为参考点， \dot{U}_{AU} 为参考电压。如上所述， U_{AU} 等于 U_{VU} 的一半。

毫无疑问， \dot{U}_{AU} 在相位上与 \dot{U}_{VU} 相同，如图 1-3b 中之 \dot{U}_{AU} 所示。

2. W 相电路

W 相是 R、C 电路，所以，电流 \dot{I}_{WU} 比电压 \dot{U}_{WU} 超前 α 角，而电容器 C 上的电压 \dot{U}_{BU} 比电流 \dot{I}_{WU} 滞后 $\pi/2$ ，如图 1-3b 中之 \dot{U}_{BU} 所示。

3. A、B 间的电压

由于 $\dot{U}_{AB} = \dot{U}_{AU} - \dot{U}_{BU}$ ，画出 \dot{U}_{AB} 的相量图如图 1-3c 所示。根据实际测量， \dot{U}_{AB} 的有效值约为 100V 左右，氖灯亮。

1.1.2.3 相序相反

如果将 V 相和 W 相交换，如图 1-4a 所示，则

1. A、U 间电压

因为 R_1 和 R_2 在 W 相，A 点也在 W 相，所以， \dot{U}_{AU} 与 \dot{U}_{WU} 同相位。

2. B、U 间电压

因为 R、C 电路在 V 相，

所以，电流 \dot{I}_{VU} 比 \dot{U}_{VU} 超前 α 角，适当调整 R 和 C 的参数，可使 $\alpha = \pi/6$ 。电容器 C 上的电压 \dot{U}_{BU} 比电流 \dot{I}_{VU} 滞后 $\pi/2$ ，它刚巧和 \dot{U}_{WU} 同相位，如图 1-4b 所示。

3. A、B 间的电压

由图 1-4b 可以看出， \dot{U}_{BU} 和 \dot{U}_{AU} 同相位，如参数选择适当，可以使

$$\dot{U}_{BU} = \dot{U}_{AU}$$

从而

$$\dot{U}_{AB} = 0V$$

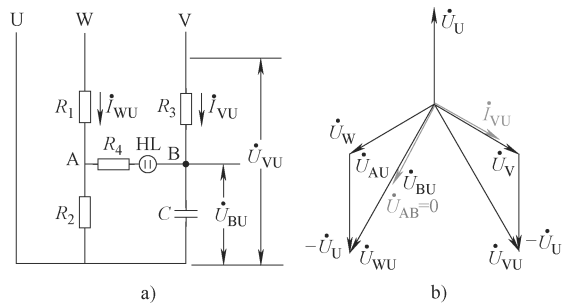


图 1-4 相序相反的电路和相量图

a) 相序相反的电路 b) 对应的相量图

氖灯熄灭。

实现了相序正确时，氖灯亮，相序相反时，氖灯熄灭的效果。

1.1.3 器件选择与用法

1.1.3.1 R_1 和 R_2

1. 主要依据

R_1 和 R_2 的选择，以能够为氖灯提供足够的电流为原则。红色氖灯的工作电流约为 0.5mA，为留有裕量，以能够提供 1mA 为依据。

2. 具体计算

以相序正确为例，计算如下：

令

$$I_{VU} = 1\text{mA}$$

则

$$R_1 + R_2 = \frac{U_{VU}}{I_{VU}} = \frac{380}{10^{-3}} = 380\text{k}\Omega$$

$$R_1 = R_2 = \frac{380\text{k}\Omega}{2} = 190\text{k}\Omega$$

取标称值

$$R_1 = R_2 = 200\text{k}\Omega$$

电阻的功率

$$P_1 = P_2 = I_{UV}^2 R_1 = (1\text{mA})^2 \times 200\text{k}\Omega = 200\text{mW}$$

取标称值

$$P_1 = P_2 = 1/4\text{W}$$

1.1.3.2 R_3 与 C

1. 主要依据

以相序错误，氖灯熄灭时的状态为主要依据。

1) 当相序错误时，要求 $U_{BU} = U_{AU} = 380\text{V}/2 = 190\text{V}$ 。

2) \dot{I}_{VU} 和 \dot{U}_{VU} 之间的相位差角 $\alpha = \pi/6$ 。

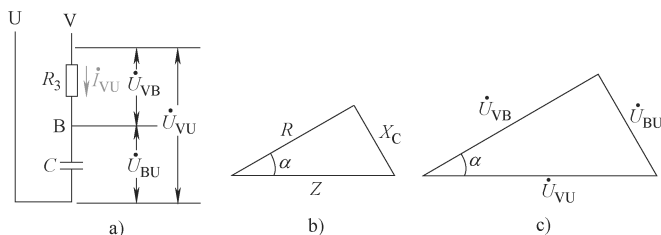


图 1-5 VU 电路的阻抗三角形和电压三角形

a) VU 电路 b) 阻抗三角形 c) 电压三角形

2. 具体计算

画出 V 相电路的阻抗三角形和电压三角形，如图 1-5b 和 c 所示。图中的已知条件是：