

WEIXIU DIANGONG

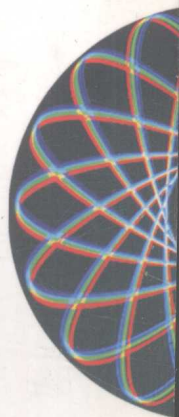
SHU SUCHENG

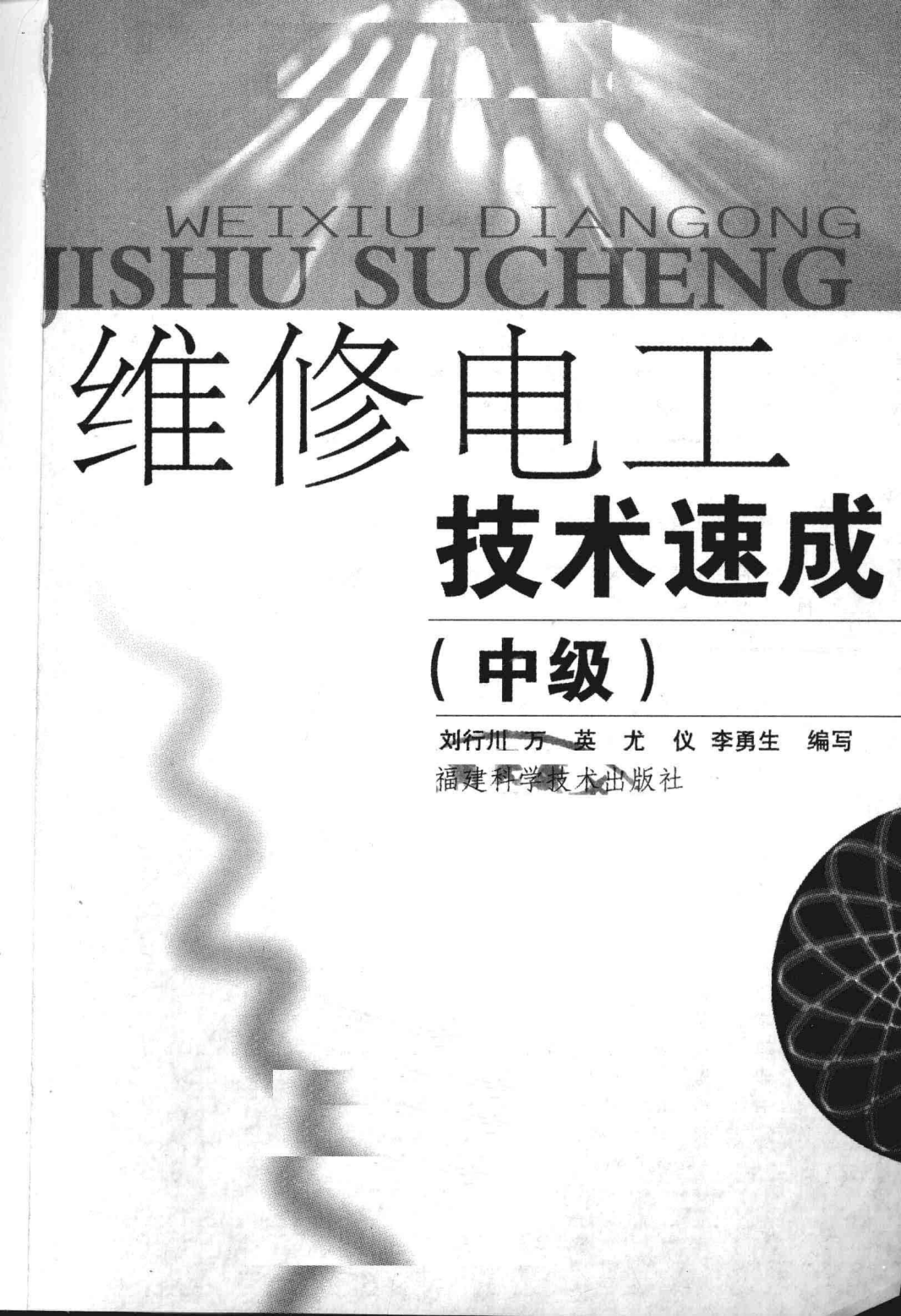
维修电工

技术速成

(中级)

福建科学技术出版社





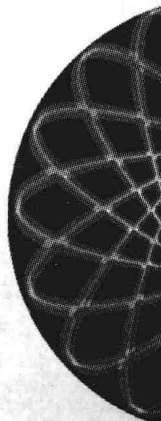
WEIXIU DIANGONG
JISHU SUCHENG

维修电工 技术速成

(中级)

刘行川 万 英 尤 仪 李勇生 编写

福建科学技术出版社



内 容 提 要

本书是根据《维修电工国家职业标准》对中级维修电工（国家职业资格四级）的工作内容、技能要求和相关知识的规定而编写的，共分7章。主要内容包括电工基础知识、常用电工仪器仪表、变压器、电动机、低压电器、电力拖动与自动控制、电子技术等，附录介绍常用电工图形符号、常用电工文字符号等。

图书在版编目（CIP）数据

维修电工技术速成．中级/刘行川等编著．—福州：
福建科学技术出版社，2004.1（2004.7重印）

ISBN 7-5335-2278-8

I．维… II．刘… III．电工—维修 IV．TM07

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2003）第 095609 号

书 名	维修电工技术速成（中级）
作 者	刘行川 万英 尤仪 李勇生
出版发行	福建科学技术出版社（福州市东水路 76 号，邮编 350001）
经 销	各地新华书店
排 版	福建科学技术出版社排版室
印 刷	福州晚报社印刷厂
开 本	850 毫米×1168 毫米 1/32
印 张	9.25
字 数	215 千字
印 次	2004 年 7 月第 1 版第 2 次印刷
印 数	4 001—8 000
书 号	ISBN 7-5335-2278-8/TN·296
定 价	17.00 元

书中如有印装质量问题，可直接向本社调换

前 言

随着我国社会主义现代化建设向深度和广度不断推进拓展，社会对各级各类人才的需求愈来愈迫切，尤其是具有熟练操作技能的各级技术人才更为短缺，因此近年来各种类型的技术工人培训班遍地开花。为了给各级各类职业培训提供科学规范的依据，国家陆续颁布了一系列具体工种的职业标准，组成比较完善的国家职业标准体系。2002年2月11日颁布的《维修电工国家职业标准》（以下简称《标准》）就是其中的一种。

本书就是根据《标准》对中级维修电工（国家职业资格四级）的工作内容、技能要求和相关知识的规定而编写的。其中，操作技能方面的内容（包括设计、安装与调试、故障检修、仪器仪表使用与维修等），多取材于劳动和社会保障部编写的《职业技能鉴定国家题库·维修电工操作技能考试手册》；而电工、电子基础范围则与中等技工学校的要求相适应。所以，本书可作为中级维修电工（国家职业资格四级）的培训教材和自学读本，亦可供相关专业中等专业学校、中等技工学校广大师生参考。

刘行川负责全书的统稿工作，并撰写第七章和附录，万英撰写第五、六章，尤仪撰写第一、三章，李勇生撰写第二、四章。马斌、林丛绘制了全部图稿。

由于时间仓促，书中或有疏漏舛误，敬请读者批评指正。

编者

2003年8月

目 录

第一章 电工基础知识	(1)
一、戴维南定理	(1)
二、正弦交流电及其表示方法	(4)
(一) 正弦交流电的产生	(4)
(二) 正弦交流电的有效值和峰值	(5)
(三) 正弦交流电的向量表示方法	(5)
三、正弦交流电路中的电阻、电感和电容	(7)
(一) 纯电阻电路	(8)
(二) 纯电感电路	(9)
(三) 纯电容电路	(10)
四、RLC 串联、并联电路	(12)
(一) RL 串联电路	(12)
(二) RC 串联电路	(16)
(三) RLC 串联电路、串联谐振	(17)
(四) RC 并联电路	(21)
(五) RLC 并联电路、并联谐振	(22)
五、正弦交流电复数表示	(24)
六、交流欧姆定律	(25)
(一) 复阻抗	(25)
(二) 交流欧姆定律	(26)

(三) 各种电路的复阻抗	(26)
七、提高功率因数的方法	(29)
(一) 提高用电设备功率因数	(29)
(二) 用户设置无功电源	(31)
八、三相交流电	(32)
(一) 相电压和线电压	(32)
(二) 相电流和线电流	(34)
(三) 三相电功率	(37)
第二章 常用电工仪器仪表	(39)
一、电桥	(39)
(一) 直流电桥	(40)
(二) 双臂电桥	(42)
(三) 交流电桥	(43)
二、功率表	(45)
(一) 功率表量程选择	(45)
(二) 功率表使用	(45)
(三) 无功功率测量	(46)
三、示波器	(49)
(一) 示波器操作面板	(49)
(二) 示波器的使用	(51)
四、晶体管特性图示仪	(56)
(一) 组成原理	(56)
(二) 使用方法	(58)
(三) 晶体管参数测量	(60)
(四) 使用注意事项	(65)

五、接地电阻测量仪	(65)
第三章 变压器	(69)
一、电力变压器的分类和结构	(69)
(一) 分类	(69)
(二) 基本结构	(69)
二、电力变压器运行技术指标和连接组	(76)
(一) 变压器额定值与负载运行	(76)
(二) 变压器运行外特性和电压变化率	(76)
(三) 变压器的损耗和效率	(77)
(四) 电力变压器运行指标监测	(78)
(五) 电力变压器连接组	(78)
三、电力变压器的检查维护	(81)
四、电力变压器常见故障	(84)
五、电力变压器检修	(88)
(一) 小修	(88)
(二) 大修(吊心检修)	(93)
六、电力变压器试验	(99)
(一) 交流耐压试验	(99)
(二) 变比测试	(101)
(三) 直流电阻测试	(101)
(四) 极性测定	(102)
(五) 连接组测定	(102)
七、三相变压器并联运行	(103)
八、交流弧焊变压器	(104)
第四章 电动机	(111)
一、三相多速异步电动机	(111)

(一) 三相异步电动机变速原理·····	(111)
(二) 单绕组变极方法·····	(111)
(三) 反向变极接线·····	(112)
(四) 单绕组多速电动机故障检修·····	(116)
二、同步电机·····	(119)
(一) 同步电动机构造·····	(119)
(二) 同步电动机工作原理·····	(120)
(三) 同步电动机起动·····	(121)
三、直流电机·····	(121)
(一) 直流电机结构·····	(121)
(二) 直流电动机工作原理·····	(127)
(三) 直流电动机分类及接线图·····	(128)
(四) 直流电动机机械特性·····	(130)
(五) 直流电机拆装、接线与试验·····	(132)
(六) 直流电动机常见故障·····	(138)
四、测速发电机·····	(141)
(一) 交流测速发电机·····	(141)
(二) 直流测速发电机·····	(144)
五、伺服电动机·····	(144)
(一) 交流伺服电动机·····	(145)
(二) 直流伺服电动机·····	(148)
六、电磁调速异步电动机·····	(151)
(一) 电磁转差离合器基本结构·····	(151)
(二) 电磁转差离合器工作原理·····	(153)
(三) 电磁调速异步电动机特性·····	(155)
七、交磁电机扩大机·····	(155)

(一) 交磁电机扩大机基本结构·····	(155)
(二) 交磁电机扩大机工作原理·····	(157)
(三) 交磁电机扩大机常见故障·····	(158)
第五章 低压电器 ·····	(162)
一、晶体管时间继电器 ·····	(162)
(一) 晶体管时间继电器的特点和种类·····	(162)
(二) JS20 型单结晶体管时间继电器 ·····	(162)
(三) JSJ 型晶体管时间继电器 ·····	(163)
二、接近开关 ·····	(165)
(一) 接近开关用途·····	(165)
(二) 接近开关分类·····	(165)
(三) 高频振荡型接近开关工作原理·····	(165)
三、电弧的产生及熄灭 ·····	(167)
(一) 电弧的产生及危害·····	(167)
(二) 灭弧原理·····	(168)
(三) 灭弧措施·····	(168)
四、低压电器常见故障 ·····	(171)
(一) 低压电器主要零部件故障检查与排除·····	(171)
(二) 断路器故障·····	(176)
(三) 热继电器故障·····	(177)
(四) 交流接触器故障·····	(177)
(五) 时间继电器故障·····	(178)
第六章 电力拖动与自动控制 ·····	(179)
一、三相异步电动机的起动 ·····	(179)

(一) 笼型异步电动机的起动	(179)
(二) 三相绕线式异步电动机的起动	(187)
二、三相笼型异步电动机的调速	(195)
(一) 变极调速	(195)
(二) 电磁调速	(200)
三、直流电力拖动	(201)
(一) 基础知识	(201)
(二) 直流电动机控制概述	(202)
(三) 直流电动机的保护电路	(206)
四、串励直流电动机的控制	(207)
(一) 串励直流电动机起动控制	(207)
(二) 串励直流电动机制动控制	(208)
(三) 串励直流电动机正反转控制	(210)
(四) 串励直流电动机的调速控制	(211)
(五) 串励直流电动机应用实例	(212)
五、并励直流电动机的控制	(213)
(一) 并励电动机起动控制	(213)
(二) 并励电动机正反转控制	(214)
(三) 并励电动机调速控制	(216)
(四) 并励电动机制动控制	(220)
六、典型机床的电气控制	(223)
(一) X62W 万能铣床电气控制	(223)
(二) T68 型卧式镗床电气控制	(233)
(三) M1432 型外圆磨床电气控制	(239)

第七章 电子技术

一、晶闸管	(244)
-------------	-------

(一) 晶闸管构造及工作原理·····	(244)
(二) 晶闸管主要参数·····	(245)
(三) 晶闸管可控整流·····	(247)
(四) 晶闸管触发电路·····	(249)
(五) 双向晶闸管及其开关性能·····	(253)
二、门电路 ·····	(254)
(一) 数字电子电路特点·····	(254)
(二) 逻辑门电路·····	(255)
三、放大器 ·····	(259)
(一) 多级放大器·····	(259)
(二) 负反馈放大器·····	(263)
(三) 功率放大器·····	(265)
四、实用电子电路 ·····	(270)
(一) 晶闸管调光电路·····	(270)
(二) 逻辑测试电路·····	(272)
(三) 准互补乙类功放电路·····	(274)
(四) 集成运放组成的准互补对称 OCL 功放电路 ··· ·····	(276)

附录

一、常用电工图形符号 ·····	(279)
二、常用电工文字符号 ·····	(283)

第一章 电工基础知识

一、戴维南定理

从《维修电工技术速成（初级）》中，读者已经了解了计算简单电路的欧姆定律和计算复杂电路的基尔霍夫定律。但在某些场合，我们只需计算一个复杂电路中某一支路的电流，为了使计算简便，常常应用戴维南定理。

戴维南定理又称等效电源定理，它把一个有源二端线性网络（如图 1-1a 所示），简化为一个具有电动势 E 的理想电源和内阻为 R_0 的电阻串联的等效电源（如图 1-1b 所示）。等效电源的电动势 E 就是有源二端网络的开路电压 U ，即把负载断开后 a、b 两端之间的电压。等效电源的内阻 R_0 等于有源二端网络中所有电源均除去后所得到的无源网络 a、b 两端之间的等效电阻。经过这样处理后，计算通过负载电阻 R_L 上的电流变得很简便，如图 1-1（b）所示。

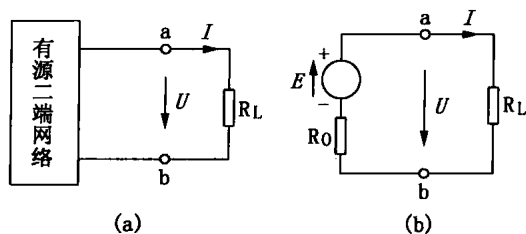


图 1-1 等效电源

$$I = \frac{E}{R_{ii} + R_l}$$

以下用两个例子来说明戴维南定理的应用。

例 1 如图 1-2 (a) 所示线路, $E_1 = 140\text{V}$, $E_2 = 90\text{V}$, $R_1 = 20\Omega$, $R_2 = 5\Omega$, $R_3 = 6\Omega$. 求通过 R_3 的电流 I_3 。

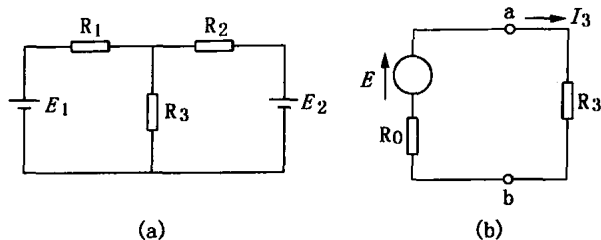


图 1-2 等效线路

解: 把 R_3 看成负载电阻, 与 E_1 和 E_2 等效成图 1-2 (b) 所示线路。等效电动势 E 和等效内阻 R_0 的计算参照图 1-3 (a) 和 (b)。

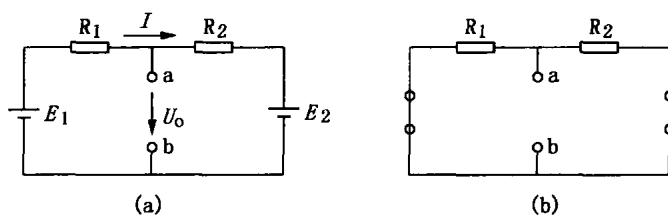


图 1-3 计算等效电动势 E 和等效内阻 R_0 的线路

$$E = U_0 = E_1 - IR_1 = 140 - \frac{140 - 90}{20 + 5} \times 20 = 100 \text{ (V)}$$

$$\text{或 } E = U_0 = E_2 + IR_2 = 90 + \frac{140 - 90}{20 + 5} \times 5 = 100 \text{ (V)}$$

$$R_0 = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = \frac{20 \times 5}{20 + 5} = 4 \text{ } (\Omega)$$

$$\text{所以 } I_3 = \frac{E}{R_0 + R_3} = \frac{100}{4 + 6} = 10 \text{ (A)}$$

例 2 如图 1-4 (a) 所示桥式线路中, $E = 12\text{V}$, $R_1 = R_2 = 5\Omega$, $R_3 = 10\Omega$, $R_4 = 5\Omega$, 电流计电阻 $R_G = 10\Omega$, 求通过电流计电流 I_G 。

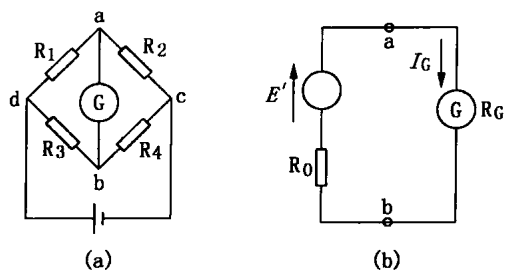


图 1-4 电桥及其等效线路

解：先把电桥等效线路图（如图 1-4b 所示）画出。等效 E' 和 R_0 的计算参考图 1-5 (a) 和 (b)。

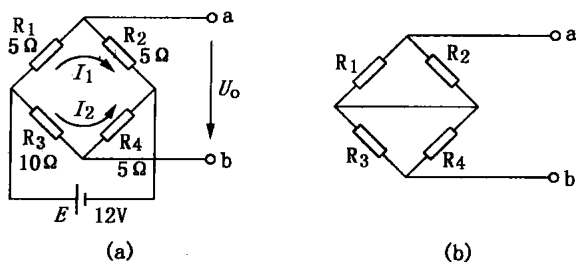


图 1-5 计算等效电动势 E' 和等效电阻 R_0 的线路

$$\begin{aligned}\text{等效电动势 } E' = U_0 &= I_2 R_3 - I_1 R_1 = \frac{E}{R_3 + R_4} \cdot R_3 - \frac{E}{R_1 + R_2} \cdot R_1 \\ &= \frac{12}{10+5} \times 10 - \frac{12}{5+5} \times 5 = 2 \text{ (V)}\end{aligned}$$

$$\text{或者 } E' = U_0 = I_1 R_2 - I_2 R_1 = \frac{12}{5+5} \times 5 - \frac{12}{10+5} \times 5 = 2 \text{ (V)}$$

$$\text{等效电阻 } R_0 = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} + \frac{R_3 R_4}{R_3 + R_4} = \frac{5 \times 5}{5+5} + \frac{10 \times 5}{10+5} = 5.8 \text{ (}\Omega\text{)}$$

所以，通过电流计 $\odot$ 的电流 I_G 为：

$$I_G = \frac{E'}{R_0 + R_G} = \frac{2}{5.8 + 10} = 0.126 \text{ (A)}$$

由以上两例可见，用戴维南定理计算比基尔霍夫方程组方法要简便。另外，等效电动势和内阻也可以通过实验的方法测得。

二、正弦交流电及其表示方法

(一) 正弦交流电的产生

电流（或电压）随时间作正弦函数变化的交流电称为正弦交流电。以 i 表示瞬时电流； ω 表示圆频率， $\omega = 2\pi f$ ， f 称赫兹（Hz）频率，它的倒数 $T = \frac{1}{f}$ 为交流电周期； I_m 表示交流电峰值（或称幅值）； φ 为初位相角。则正弦交流电的电流可表示为

$$i = I_m \sin(\omega t + \varphi) \quad (1-1)$$

我国电力系统交流电的标准频率为 50Hz；称为工业频率，简称工频。

交流电的产生主要有两种方式，一种是用交流发电机产生，另一种是用含有电子器件（如电子管、晶体管或集成电路）的电子振荡器产生。

交流发电机利用电磁感应的原理产生交流电。由原动机带动的发电机转子上有直流励磁的磁极，转子外的定子内侧上设有固

定的导体线圈，当转子以一定转速旋转时，线圈回路中磁通因磁极的旋转而周期地变化，于是线圈回路中便有交流电动势产生。发电机输出的电能是由输入到原动机的能量转换而来的，这种发电机是以一定的转速 n （转/分）旋转的，称为同步发电机，它所产生的交流电频率 $f = pn/60$ ， p 表示发电机转子的磁极对数，由于转子转速受机械强度的限制，所以同步发电机所产生的交流电频率一般都在 10000Hz 以下。

电力系统中的交流电都是利用交流同步发电机产生的。高频的交流电一般都采用电子振荡器来产生的。

(二) 正弦交流电的有效值和峰值

工程上常用交流电的有效值来衡量交流电的量值。正弦交流电的有效值定义为：一周期中，电流 i 流经交流电路中电阻 R 所消耗的电能与某直流电电流 I 流经同一电阻在一周期内所消耗的电能相等，则此直流电流的量值就被定义为该交流电流的有效值。根据这个定义有：

$$RI^2 T = \int_0^T i^2 R dt \quad (1-2)$$

于是有效值 I 为：

$$I = \sqrt{\frac{1}{RT} \int_0^T i^2 R dt} \quad (1-3)$$

把 (1-1) 代入 (1-3) 积分后可得：

$$I = \frac{1}{\sqrt{2}} I_m \quad (1-4)$$

对于交流电压，其有效值 U 与峰值 U_m 的关系为：

$$U = \frac{1}{\sqrt{2}} U_m \quad (1-5)$$

正弦交流电路中的电压、电流的频率与电源相同。

(三) 正弦交流电的向量表示方法

正弦交流电有许多种表示方法。(1-1) 式是正弦函数表示

法，根据 (1-1) 式作出电流（或电压）随时间变化的正弦曲线 又称波形表示法。现在介绍一种向量表示法。

设有一正弦电压量 $u = U_m \sin(\omega t + \varphi)$ ，其波形如图 1-6 (b) 所示。图 1-6 (a) 是一旋转的有向线段，其长度等于电压峰值 U_m ，它的初始位置 ($t=0$) 与横坐标轴 x 之间的夹角等于电压的初位相角 φ ，并且，有向线段以正弦交流电的角频率 ω 作逆时针方向旋转。这样，任一瞬间正弦电压值可以由这个旋转有向线段在纵坐标 (y 轴) 上的投影来表示。例如， $t=0$ ， $u_0 = U_m \sin \varphi$ ； $t=t_1$ ， $u_1 = U_m \sin(\omega t_1 + \varphi)$ 。

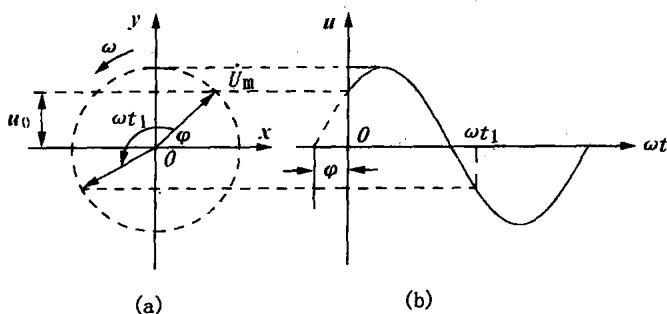


图 1-6 正弦波形与旋转向量

通常只需给出初始位置 ($t=0$) 的向量 $\dot{U}_m$ ，就可表示一个正弦量。 $\dot{U}_m$ 称为电压向量，它的长度等于电压的峰值（或幅值），它与横坐标夹角等于初位相角，通常表示为 $\dot{U}_m = U_m \angle \varphi_0$ 。当它以 ω 角速度绕转时，任一时刻在纵坐标上的投影就代表该瞬时时刻电压的瞬时值。同样，也可以用类似的方法表示电流向量 $\dot{I}_m$ ，记为 $\dot{I}_m = I_m \angle \varphi_i$ 。此处表示电压、电流的向量的符号通常是在 U_m 或 I_m 上面打一“ $\cdot$ ”来表示。在实际问题中我们所