

中国高等教育培训中心
高职信息类专业国际合作组织

联合引进



德国国家远程教育中心 (ZFU) 批准

电气技术人员认证远程教育课程

【德】Robert Eckert博士远程教育学院 编著

电工技术 (第三册)



ECKERT
SCHULEN
Fernlehrinstitut
GmbH



华文出版社
Sinoculture Press

电气技术人员认证远程教育课程

电工技术

第三册

[德] Robert Eckert博士远程教育学院 编著
北京泛华德教育科技有限公司 翻译

华文出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

电工技术/德国Robert Eckert博士远程教育学院编著;
北京泛华德教育科技有限公司译—北京: 华文出版社, 2009.12

电气技术人员认证远程教育课程
ISBN 978-7-5075-2961-6

I. ①电… II. ①德…②北… III. ①电工技术—工程技术人员—远程教育—教材 IV.
①TM

中国版本图书馆CIP数据核字 (2009) 第213410号

电气技术人员认证远程教育课程：电工技术（第三册）

编 著： 德国Robert Eckert博士远程教育学院
翻 译： 北京泛华德教育科技有限公司
责任编辑： 吴 晶
责任校对： 华 一
出版发行： 华文出版社
社 址： 北京市宣武区广安门外大街305号8区2号楼
邮政编码： 100055
网 址： <http://www.hwcbcs.com>.
投稿邮箱： hwcbcs@126.com
电 话： 010-58336255 010-58336259
经 销： 新华书店
印 刷： 北京市艺辉印刷有限公司
开 本： 210×297 1/16
印 张： (全套3册)23.5
字 数： (全套3册)1063千字
版 次： 2010年2月第1版
印 次： 2010年2月第1次印刷
标准书号： ISBN 978-7-5075-2961-6
定 价： (全套3册)232.00 元

版权所有，侵权必究

德国《电气技术人员认证远程教育课程》中文版

导言：光荣与梦想

众所周知，德国是一个高度发达的工业化国家，在德国工业化进程中，德国政府始终如一地把职业教育作为国家经济发展的中坚力量，这不仅体现在理论上，更重要的是在教育实践中创造出闻名于世的“双元制”职业教育模式。进入新世纪后又发起了“职业教育攻势国家行动”，设立了全国“职业教育日”，颁布实施了新的《联邦职业教育法》等发展职业教育的重大举措。摆在我们面前的这套11000页，1800万字完整的电气技术专业课程，由中国高等教育培训中心、高职信息类专业国际合作组织联合引进，经德国国家远程教育中心批准，Robert Eckert博士远程教育学院编写的电气技术人员认证远程教育课程，就是在这样的经济社会环境制约下的德国职业教育课程一个具有代表性的建设成果。

在欧洲颇具影响的Robert Eckert博士远程教育学院根据职业院校培训框架计划开发的课程充分体现了学校配合企业的培训设计学习领域，实施项目教学。可以看出，这套课程是对学科体系的调整与改革，课程内容侧重知识的应用与技能的培养。我国很多优秀的院校都曾选派教师赴德国ECKERT教育集团Robert Eckert博士远程教育学院进行课程建设培训，国家示范性高职院校邢台职业技术学院、成都航空职业技术学院、淄博职业学院、常州信息工程学院、浙江工商职业技术学院、包头职业技术学院等院校的教师赴德归国后普遍感到受益匪浅。

《国务院关于大力推进职业教育改革与发展的决定》指出：“积极引进国（境）外优质职业教育资源。鼓励国（境）外组织和个人依照我国法律和办学资格要求，同我国境内职业教育机构和其他社会组织，合作举办高水平的职业学校或职业培训机构。努力拓展职业学校毕业生国（境）外就业市场”。在中德职业教育合作30年后的今天，中国职业教育已经站在了一个新的历史起点上，积极引进国际上先进的职业教育理念和优质教学资源将对我国职教未来发展起到很重要的作用。教材作为一种重要的教学资源，不仅是体现教育思想、实现教育目标的载体，也是人才培养过程中掌握知识、发展能力和提高素质的重要信息载体，是课程最具体的形式。德国基于工作过程导向理念、“双元制”职业教育模式的落脚点都聚焦在课程体系和课程内容上。对于日益重视职业教育课程建设的中国职业教育事业而言，系统地了解德国专业的课程体系、结构和课程内容，破解德国核心教育技术，无疑会对我们本土化的课程改革与建设，取得“他山之石，可以攻玉”的功效。

我们坚信，通过这套电气技术人员的认证教材，从中可以研究德国工作过程导向思想在职业学校的专业课程体系中是如何落实的，德国职业学校的教育活动如何应对经济技术发展。对比分析中国相应的专业课程体系，寻找相似与差异；系统分析教材的内容架构，研究课程设置依据、课程与课程之间的内在教育技术逻辑关系，比较研究中德职业教育在设计专业课程体系的内在逻辑思路的异同；分析教材的编写结构、传递技术信息的逻辑思路、编写方法、教材的形式、体例和模式，与国内同类教材比较各自的特色。所有这一切，都将为推动中国当代的职教课程改革提供新颖的视角、建设性的借鉴与参考。

高职信息类专业国际合作组织已开始与Robert Eckert博士远程教育学院、国际教育技术

研发机构北京泛华德教育科技有限公司合作开发与上述课程相配套的课件、教案及多媒体教学资源、教学参考、实训手册等。这套课程发行后将陆续举办与其配套的师资培训班、通过中德职教专家上示范课、开展交流研讨和观摩等途径，为职业院校以及职业培训机构的教师借鉴德国的职业教育理念、教育模式以及教学方法等提供切实有效的参考，本着洋为中用的原则，最终旨在提升广大教师驾驭本土化课程建设的能力。

对于那些区域经济条件不尽如人意，渴望交流学习的职业学校以及培训机构，高职信息类专业国际合作组织愿将其多年来的成功经验与丰硕成果以及对德国乃至其他发达国家职业教育合作的良好资源，无私地奉献出来。

我们的行动宗旨是：运用国家示范性高职院校的建设成果、借鉴德国的职业培训模式和课程体系、依托新媒体的远程教育平台、面向不发达地区扶持职业教育的弱势群体、整合国内外的教学、实习、实训与就业资源，为中国职业教育的宏图伟业做出自己的贡献。

德国《电气技术人员认证远程教育课程》中文版编委会

2009年12月 北京

德国《电气技术人员认证远程教育课程》

中文版编委会

- 主 编:** 钟玉琢 清华大学深圳研究生院信息学部主任
- 执行主编:** 曲克敏 中国高等教育培训中心副主任
高职信息类专业国际合作组织秘书长
- 副 主 编:** 周长海 中国高等教育培训中心教育技术部首席顾问
徐玉彬 工业与信息化部电子教育与考试中心主任
左志成 中国电子科技集团公司人力资源部主任
刘 丛 国家示范性高职院校邢台职业技术学院院长
张学库 国家示范性高职院校宁波职业技术学院副院长
李学锋 国家示范性高职院校成都航空职业技术学院
院长助理\教务处长\国家级教学名师
- 委 员:** 姜义林 国家示范性高职院校淄博职业学院副院长
(按姓氏笔画排序)
- 吴志荣 宁波职业技术学院电子系主任
- 邱寄帆 成都航空职业技术学院计算机系主任
- 宗美娟 淄博职业学院示范建设办公室专职副主任
- 林训超 成都航空职业技术学院电子工程系主任
- 祝登义 成都航空职业技术学院教务处副处长
- 郭震震 中国高等教育培训中心教育技术部主任助理
- 高爱国 淄博职业学院信息工程系主任
- 曾照香 淄博职业学院电子电气系主任\国家级教学名师
- 褚建立 邢台职业技术学院信息工程系主任

电气技术人员认证远程教育课程

《电工技术》

审校委员会

主任：林训超

副主任：李明富

委员：梁颖 周兴 黄燕

第5分册a部分	交流电	郑婉恬翻译	梁颖主审、终审
第5分册b部分	矢量曲线与波特图	郑婉恬翻译	梁颖主审、终审
第6分册	交流电与功率	郑婉恬翻译	梁颖主审、终审
第7分册	计算机辅助电路设计——PSPICE	蒋笑天翻译	梁颖主审、终审

第5分册a部分

交流电

目 录

引 言.....	1
1 交流电的基本概念.....	2
1.1 变化参数的种类	2
1.2 正弦交流电的本质和特性	3
1.2.1 周期, 频率, 角频率, 峰值, 初相位	4
1.2.2 算术平均值, 绝对值和有效值	6
1.3 非正弦周期电压和电流的计算	10
1.4 周期信号的其它特性参数	19
1.5 正弦交变量的表示方法	22
1.5.1 波形图	22
1.5.2 矢量图	25
2 交流电路的计算.....	29
2.1 交流电阻	29
2.1.1 欧姆电阻	29
2.1.2 感 抗	30
2.1.3 容 抗	32
2.2 串联电路中的交流电阻	34
2.3 并联电路中的交流电阻	38
2.4 复数的计算方法	42
2.4.1 电压和电流的复数描述	42
2.4.2 复数电阻和电导率	44
2.5 电阻电路的综合计算	46
2.5.1 欧姆定律	46
2.5.2 基尔霍夫第一定律	52
2.5.3 等效电路图	56
2.6 混合交流电路的计算	59
2.6.1 基尔霍夫定律的运用	59

2.6.2	网孔电流法	60
2.6.3	叠加定理	65
2.6.4	等效电源法	65
2.6.5	绘图解题法	69
2.7	共振和谐振回路	74
2.7.1	串联谐振回路	75
2.7.2	并联谐振和并联谐振回路	82
2.7.3	有多个无功电阻的电路中的共振	84
2.8	工程交变电阻	84
复习题答案		86
练习题答案		87

引言

在上一本自学教材中，您应该熟悉了交变电流学科中的概念及交变电流电路中的计算方法。同时，您应把数学知识范围内的公式均作详细的推导，因为作为使用者来说，如何应用推导的结果和公式处理问题是最重要的。正如在课堂上授课那样，详细的推导是必要且有意义的。对于一个技术人员来说，仅会像使用菜谱那样运用公式而不了解其来源和使用范围是不够的。此外，推导能加深对问题和答案的理解，并且是一种很好的练习方式。对于实践中出现的一些问题并不能马上在书中找到相应的公式，通过对公式的推导，您将学会如何着手处理问题并解决它。

对于您来说，检查您是否真正理解了教材、尤其是能否将所学的正确地运用于一个给定的任务，是十分重要的。要做到这点，你必须在规定时间内独立完成练习。查看参考答案，是为了检查您算出的结果，或者是为了确定除了您的解答方法外是否有更快捷、更灵活的方法。如此设计的练习题也是最好的考试复习材料。将练习题融入每个章节之中，以便您能及时对所学内容进行自测。参考答案位于本书的最后。在您开始学习这本书前，建议您应该先学完所有关于直流电知识的自学教材。此外，对复杂计算的掌握也是学习本书的前提，您应该已掌握积分和微分的计算。相应的数学自学教材在本书中相应内容处指出。

1 交流电的基本概念

在第一章我们介绍有关交流电的一些基本定义，主要内容为正弦曲线数值的变化，此外还有非正弦变化参数的处理和计算方法。

1.1 变化参数的种类

与直流电路不同，交流电参数不再是时间的常数，而是随时间的变化而变化。我们已经知道计算网状电路或者环形电路中可以运用基尔霍夫定律或使用叠加定理和等效电压。这些定律和方法同样适用于交流电的瞬时值。然而交流电瞬时值的计算非常繁琐，我们在数学自学指导教材7的第三部分已经讲述过。

在公式中某一时刻的电压或电流的表示为：

$U(t)$ 或 $I(t)$ 。

由此可以看出，电压和电流是随时间变化而变化的。在此书的公式中也将用其用小写字母表示，即：

u 或者 i

u 表示某一固定时刻的电压值，所以也称作瞬时值。

现在我们来观察一些时间与电压的关系图

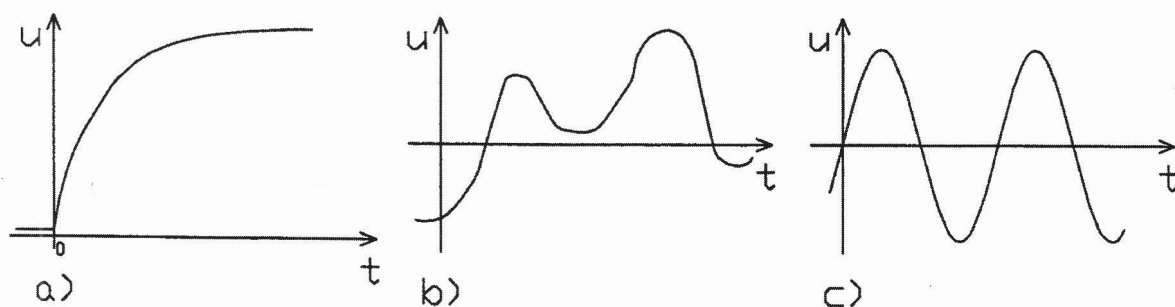


图1.1：随时间变化的电压

图1.1a) 所示的是电压由一个时刻到另一个时刻的变化图。这些都是通电过程中一次性产生的。举两个我们已经学过的例子：电容器的充放电过程图和电感连接断开图。这些图的计算要借助微分方程或者拉普拉斯变换，这些都不属于本教材的范围。

图1.1b) 所示的是无规律的电压变化图，它在电子技术中很少出现，所以在本教材中我们不予关注。

然而在图1.1c) 所示的电压变化是在一定时间内以曲线的形式往复，我们说它是个周期性的过程。我们将具体描述此类呈周期变化的电学参数。这种电压的另外两个特性是：正弦形式、没有直流电压。具备这三个特性是我们教材观察研究的基础。

通过图1.2我们可以看到三种可能性。

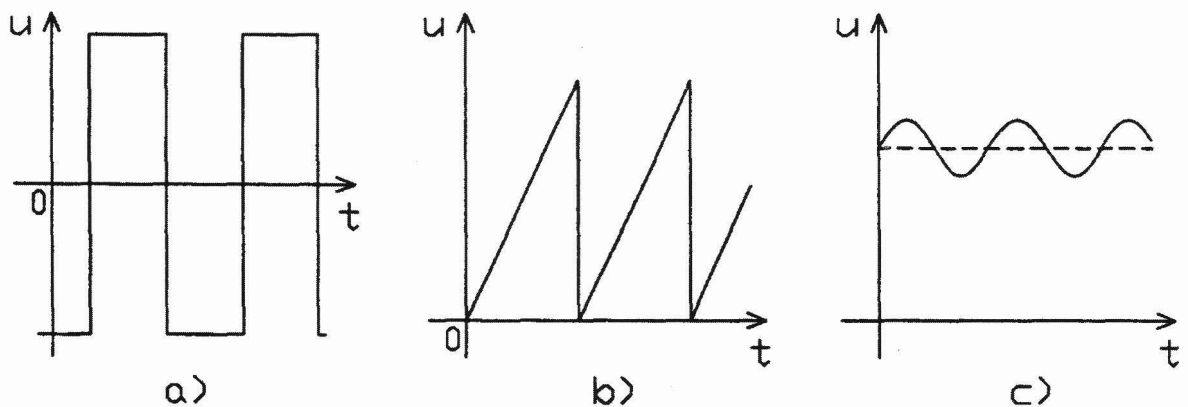


图1.2: 随时间呈周期变化的电压

图1.2a) 中的电压呈周期变化且无直流电压存在, 但它不是正弦形式。

图1.2b) 不是正弦形式的, 并且直流与交流电压叠加在一起。混合电压与混合电流有一个对应的直流量 (见 1.2.2 章节, 公式 1.4), 所以 b) 和 c) 所示的都是既有直流电又有交流电的混合电压。图 1.1c) 和图 1.2a) 没有直流部分。

1.2 正弦交流电的本质和特性

首先我们对纯交流电 (没有直流部分) 进行观察。此外还要注意的, 交流电数值不仅可以通过正弦函数表示, 作为延伸还可以用余弦函数表示。

下面给出的时间电流关系图是借助示波器绘制的。

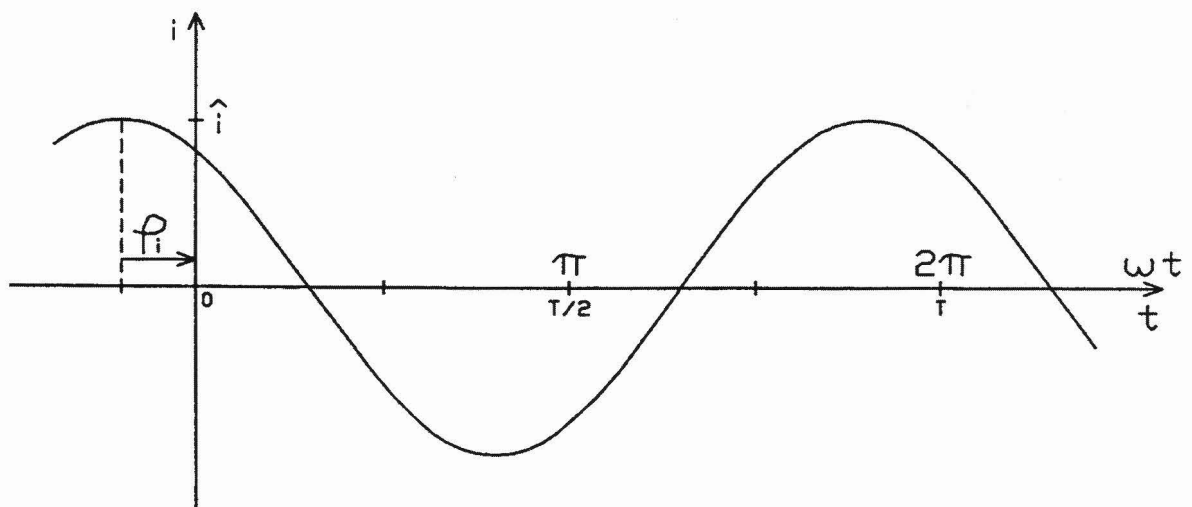


图1.3: 电流波形图

$t=0$ 是任意选取的时刻, 零时刻右边为正, 左边为负。

由于时间点是任意选取的, 所以我们选波峰作为零时刻, 就得到了一个完整的余弦曲线或者经过原点的正弦曲线。如下图 1.4 所示:

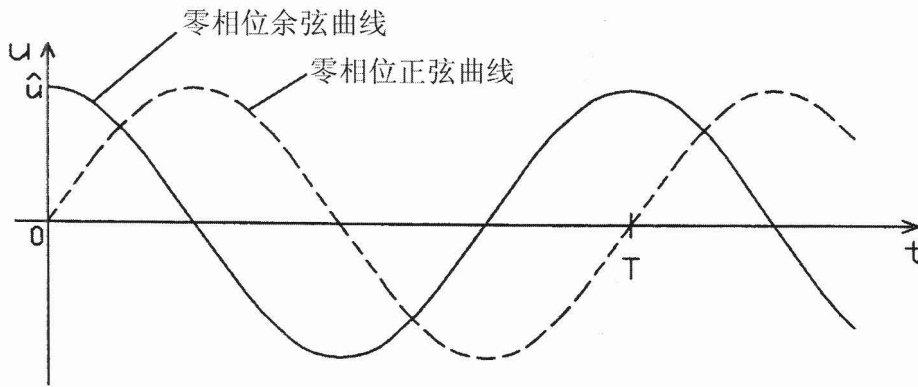


图1.4: 零相位正弦、余弦曲线

表现交流值随时间t变化而变化的图叫做波形图。从此图中我们可以看出一系列重要指标。

1.2.1 周期，频率，角频率，峰值，初相位

周期（时间）T是时间值，是图像重复一次的时间。

周期的倒数为频率f

$$f = \frac{1}{T} \quad (1.1)$$

频率的单位是赫兹（Hz），它表示一秒重复变化的次数。

交流电可由旋转向量表示。交流发电机旋转一周，正弦交流电重复变化一次，因此正弦交流电变化一周可用 360° （ 2π ）来衡量。

注意：在电子技术中用弧度表示角度很常见，本教材遵循此规则。

角频率用 ω 来表示。弧与角的关系为 2π ，周期T与角频率的关系（或者角速度）为：

$$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T} \quad (1.2)$$

角频率的单位是rad/s

我们也可以将图1.3时间轴上的t用变量 ωt 表示。所以 $T=2\pi$ ， $T/2=\pi$ 。请将例题与习题1作对比。

根据横轴 ωt ，初相位很容易求，因为弧度是可以从图中读出的。角度可以用初始时间和相移时间来表达。

现在不难用公式表达电流和时间的关系，图1.3中的曲线是向时间轴的正向移动的，所以我们得到一个完整的余弦曲线：

$$i = \hat{i} \cos(\omega t + \varphi_i) = \hat{i} \sin\left(\omega t + \varphi_i + \frac{\pi}{2}\right)$$

角 φ_i （在电压作用下为 φ_u ）叫做零相位角或初相位。初相位的取值范围为： $-\pi \leq \varphi_i \leq \pi$ 。我们一般选择最大值或者零点为 $t=0$ 时刻的初相位。为了得到零时刻的正弦或者余弦 $\varphi_i=0$ ，我们规定沿时间轴的方向运动的曲线为正向，反之为负向。

公式中的峰值为电流 \hat{i} 的振幅。

如图1.3中的初相位为正，所以波峰比零时刻的波出现得早。在实际中经常一个波形图中有两个波出现，比如电压和电流，在同一时刻作比较。通过对这两条曲线的观察，我们得到了一个相位差。

通常我们这样表示瞬时电压或者瞬时电流：

$$\begin{aligned} u &= \hat{u} \cos(\omega t + \varphi_u) \quad \text{或} \quad u = \hat{u} \sin\left(\omega t + \varphi_u + \frac{\pi}{2}\right) \\ i &= \hat{i} \cos(\omega t + \varphi_i) \quad \text{或} \quad i = \hat{i} \sin\left(\omega t + \varphi_i + \frac{\pi}{2}\right) \end{aligned} \quad (1.3)$$

初相位 φ_u 或者 φ_i 的值可正可负。

练习题

1.1 从图1.5中找出

周期

频率

角频率

初相位的角度和弧度

电压的峰值

用公式表示 u

在波形图中绘出零时刻的曲线

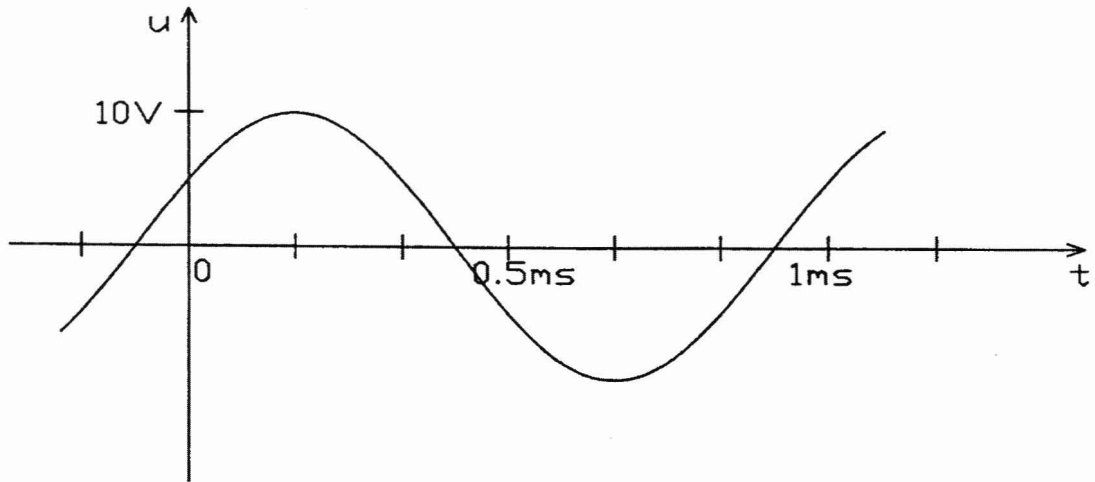


图1.5:

1.2.2 算术平均值, 绝对值和有效值

正弦或余弦曲线由以下量构成:

峰值

周期或频率

初相位

这几个量在实际运用中很常见, 在测量学中尤为重要。其它量由于功能各不相同所以要借助其它测量工具确定。

下面的三个量引自数学自学教材7的第二部分。

算术平均值, 等效电压或电流为:

$$\bar{u} = \frac{1}{T} \int_0^T u dt \quad \text{或} \quad \bar{i} = \frac{1}{T} \int_0^T i dt \quad (1.4)$$

图1.3或者1.5中交流电的大小不必经过复杂计算就可以推测其算术平均值为零。我们要从积分的角度理解, 一个完整周期内正负面积刚好抵消, 这种情况适用于比较简单的波形计算, 即 $\Phi_u = 0$ 时。

例1.1

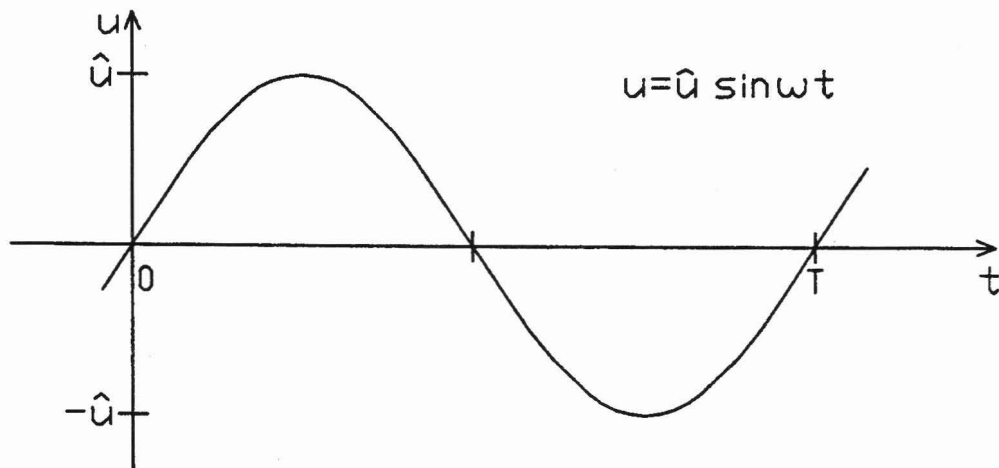


图1.6: 初相位为零的电压波形图

$$\begin{aligned}
 \bar{u} &= \frac{1}{T} \int_0^T u dt = \frac{1}{T} \int_0^T \hat{u} \sin \omega t dt \\
 &= \frac{1}{T} \hat{u} \int_0^T \sin \omega t dt \\
 &= \frac{1}{T} \hat{u} \left(-\frac{1}{\omega}\right) [\cos \omega t]_0^T \\
 &= \frac{1}{T} \hat{u} \left(-\frac{1}{\omega}\right) (\cos \omega T - \cos 0) \\
 &= \frac{1}{T} \hat{u} \left(-\frac{T}{2\pi}\right) (\cos \omega T - \cos 0) = -\frac{\hat{u}}{2\pi} (\cos \omega T - \cos 0)
 \end{aligned}$$

当 $t=T$ 和 $t=0$ 时, T 的余弦值为1, 即:

$$\cos \omega T = \cos \frac{2\pi}{T} T = \cos 2\pi = 1$$

因为 $\cos 0 = 1$, 所以

$$\bar{u} = \frac{\hat{u}}{2\pi} (1-1) = 0$$

注意: 完整的正弦量的算术平均值永远为零。

如图1.7所示，电压和电流的绝对值可以通过对两条曲线的整流得到。

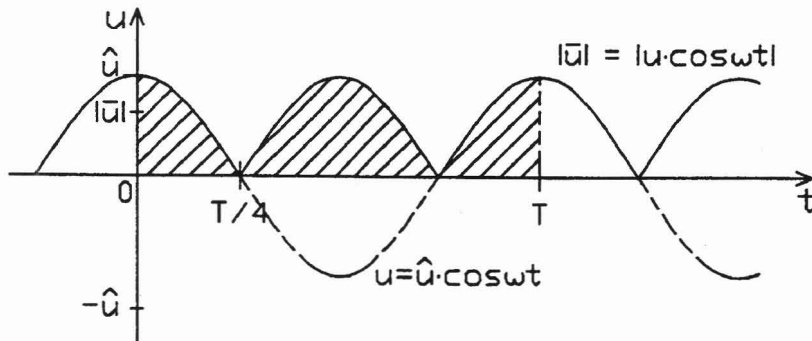


图1.7：绝对值

绝对值为：

$$|\bar{u}| = \frac{1}{T} \int_0^T |\hat{u} \cos \omega t| dt \quad (1.5)$$

图1.7所示的阴影部分为整流后的绝对值，除以T，得到一个矩形平面，它的绝对值为 $|\bar{u}|$ ，为了将计算简单化，我们只要求出T/4，从t=0积到t=T/4，再把结果乘以4（因为直到T，新一个周期开始）。之后消去负号，因为这个区域内的余弦为正。

$$\begin{aligned} |\bar{u}| &= 4 \cdot \frac{1}{T} \int_0^{T/4} \hat{u} \cos \omega t dt \\ &= \frac{4\hat{u}}{T} \cdot \frac{1}{\omega} (\sin \frac{\omega T}{4} - \sin 0) \end{aligned}$$

正弦值为 $t = \frac{T}{4}$ ，所以 $\sin \frac{\omega T}{4}$ 为1， $t=0$ ，所以 $\sin 0 = 0$ 。因此得到：

$$|\bar{u}| = \frac{4\hat{u}}{\omega T} (1 - 0) = \frac{4\hat{u}}{\omega T}$$

根据公式1.2得出 $\omega T = 2\pi$ ，则

$$|\hat{u}| = \frac{4\hat{u}}{2\pi} = \frac{2\hat{u}}{\pi}$$

注意：完整正弦值的绝对值为峰值大小与 $2/\pi$ 的乘积。

交流电的有效值或者交流电的二次平方根与电流或电压的绝对值相等，它在一个或者多个欧姆电阻的作用下产生同等的热能。有效值在公式中的符号用大写字母表示，所以有效电压和有效电流这样表示：