

# 功率因数 与无功补偿



陆安定 主编



POWER  
FACTOR  
AND REACTIVE  
POWER COMPENSATE

上海科学普及出版社

1.3

0

# 功率因数与无功补偿

陆安定 主编  
陆安定 胡康银 曹士杰 编著  
周颖 曹伟

上海科学普及出版社

## 图书在版编目(CIP)数据

功率因数与无功补偿/陆安定主编. —上海: 上海科学普及出版社, 2004. 2

ISBN 7-5427-2608-0

I. 功... II. 陆... III. 交流电机—功率—无功补偿 IV. TM34

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 099858 号

责任编辑 陈英黔

## 功率因数与无功补偿

陆安定 主编

上海科学普及出版社出版发行

(上海中山北路 832 号 邮政编码 200070)

<http://www.pspsh.com>

---

各地新华书店经销

商务印书馆上海印刷股份有限公司印刷

开本 787×1092 1/18 印张 10 字数 223 000

2004 年 2 月第 1 版 2004 年 2 月第 1 次印刷

印数 1-5 200

---

ISBN 7-5427-2608-0/TK·2 定价: 18.00 元

本书如有缺页、错装或坏损等严重质量问题

请向出版社联系调换

# 内容提要

交流电是工矿企业、商店商厦、饭店宾馆、交通、运输等单位必须使用的能源,无功功率变化影响功率因数与供电电压质量。本书从无功率基础知识开始,全面介绍如何提高工矿企事业各种不同用电设备功率因数方法及电容器补偿技术。详细介绍了如何设计、安装、调试无功就地补偿装置。

本书内容都从工矿企业和各种单位实际出发,帮助开拓视野,介绍新技术,易懂易采纳,能收到明显的改善功率因数、稳定电压、节电的效果。

作者深入基层从事电力技术工作,曾在高校讲授现代无功功率课程,并在国内外交流。归纳在本书中是较成熟的技术成果。其中,电动机无功就地补偿器的设计、安装、调试来自于几位作者研究与实际工作的积累。

## 出版说明

科学技术是第一生产力。21 世纪,科学技术和生产力必将发生新的革命性突破。

为贯彻落实“科教兴国”和“科教兴市”战略,上海市科学技术委员会和上海市新闻出版局于 2000 年设立“上海科技专著出版资金”,资助优秀科技著作在上海出版。

本书出版受“上海科技专著出版资金”资助。

上海科技专著出版资金管理委员会

# 序

交流电功率：包含着两个内容，一种是有功功率，另一种是无功功率。有功功率的变化影响着电网周波，有功出力大于负荷，电网周波上升；有功出力小于负荷，电网周波下降。无功功率的变化则影响着用户的功率因数及供电电压质量。无功负荷大于供电出力的无功容量则功率因数下降，供电电压下降；反之则功率因数上升，电压上升。

在交流电力系统的发电、输电、配电、用电整个过程中，随着有功功率 (Active Power) 的产生，同时孪生无功功率 (Reactive Power)。20 世纪 40~50 年代书籍杂志上 Reactive Power 被翻译为无效电力，从 20 世纪 50 年代后期才采用“无功功率”名称并沿用至今，从 20 世纪 90 年代起也有称为无功电力的。

无功功率不做功，并可分为感性无功功率和容性无功功率，它们实际上是线圈电感性磁场贮能与电容器电容性电场储能。交流系统的无功功率应保持平衡，由于用户大多是电动机、变压器等电感性负荷，必须用容性功率来平衡电感性无功负载。因此，无功电源必然是调相机、电容器等。

有功功率电网损耗不超过负荷的 10%，而无功功率电网损耗却占无功负荷的 30%~50%。无功功率总损耗要比有功功率总损耗大 3~5 倍。

第一章介绍有功功率、无功功率、功率因数及相关基础知识。

第二章介绍如何对工矿企业、农业、市政、生活的各种不同用电设备提高功率因数的方法及采用电容器等几种补偿设备的技术。

第一二章曾在大学讲课中应用，并在国内、外作技术交流；部分内容也在国内外书刊上发表，是较为成熟的经验。

电动机无功就地补偿技术虽然很简单，数十年前人们早已在工厂应用，但真正得到大规模推广应用，仅不过十多年历史。就地补偿效益虽好，但推广应用电动机无功就地补偿技术却经过了漫长的时间，在国内如此，在国外工业发

达国家亦如此。1979年水电部曾派一个考察团去西欧、北美、日本,发现极少应用无功就地补偿,仅在美国北部一个州有工厂应用,回国后也无法推广。作者在20世纪80年代中、后期曾去莫斯科和柏林、鲁尔及西门子公司总部所在地调查,发现这些配电网末端电动机没有采用无功就地补偿,而仍由变电所中集中装置的电容器或调相机供应无功功率。到20世纪末作者去英国伦敦、剑桥、爱丁堡等地访问,才发现无功就地补偿技术在西欧也是到20世纪90年代才蓬勃发展起来的。

电动机无功就地补偿技术的蓬勃发展到今天不过十多年历史,这是由于传统电力电容器损坏率较高。电动机寿命极长,很少故障损坏,安装在电动机边上的电容器却常出故障而工人不愿使用。第二个不能推广无功就地补偿的原因是传统电力电容器能损较大,因为电容器功率小,相对能损要比由变电所安装的大容量电容器或调相机供给无功功率的能损要大。第三个原因是传统电力电容器造价较高,而又经常损坏,相对就不经济了,这个因素也影响了无功就地补偿技术推广应用。第四个原因是传统小功率电力电容器尺寸较大,在电动机旁安装要占较大空间,增加厂房造价。由于以上4个原因电动机无功就地补偿技术迟迟不能推广。

到20世纪80年代,研制成功低造价、小尺寸、低损耗、高寿命的小功率电容器之后,20世纪80年代末到90年代,在工业发达国家电动机无功就地补偿技术推广极快。

我国在20世纪90年代,从国外引进了多条这种新颖的电力电容器生产线,为电动机无功就地补偿技术的推广应用创造了条件。1996年5月国家科委、电力部在上海召开电动机无功就地补偿技术大会,在会上上海宝龙节能电器厂介绍了推广应用无功就地补偿技术的经验。

第三章介绍三相异步电动机无功就地补偿装置选用、设计、安装、检测的实用技术,由上海宝龙节能电器厂在实际工作中总结而成。

希望本书的出版,能普及功率因数及无功就地补偿的知识,引起人们对改善功率因数达到节能稳压这一技术措施的重视,从而帮助各行各业,稳定用电电压质量、节约电能、提高工效,增加经济效益。

本书反映的技术成果虽经作者多年积累,囿于编写时间,若有不详之处,欢迎读者联系(电话021-56801910 56491290 邮政编码201901 上海市宝山区杨行镇影园路1号 曹士杰)。

陆安定

2004年元旦于上海

# 目 录

<b>1</b>	<b>无功功率的基础知识</b>	<b>/ 1</b>
1.1	交流电阻电路	/ 2
1.1.1	电阻电路中电压与电流的关系	/ 2
1.1.2	瞬时功率与平均功率	/ 3
1.1.3	电阻电路的能量转换	/ 4
1.2	交流电感电路	/ 4
1.2.1	电感电路中电压与电流的关系	/ 4
1.2.2	感性无功功率与磁场储能	/ 6
1.3	交流电容电路	/ 7
1.3.1	电容电路中电压与电流的关系	/ 7
1.3.2	容性无功功率与电场储能	/ 8
1.4	复合电路	/ 10
1.4.1	电阻与电感串联的电路	/ 10
1.4.2	电阻、电感、电容串联的电路	/ 11
1.4.3	并联补偿电路	/ 12
1.5	有功功率、无功功率及视在功率	/ 13
1.5.1	$Q$ 、 $S$ 与 $P$ 及 $\cos\varphi$ 的关系	/ 14
1.5.2	复数与极坐标换算	/ 15
1.5.3	无功功率补偿计算	/ 16
1.6	功率因数的确定	/ 17
1.6.1	功率因数的瞬时值	/ 17
1.6.2	功率因数的平均值	/ 18
1.6.3	加权平均功率因数	/ 18



1.7	无功功率的并联补偿	/ 19
1.7.1	并联补偿电容器的选用	/ 19
1.7.2	并联补偿容量的确定	/ 20
1.8	按功率因数调整电费	/ 22
1.9	无功功率的经济当量	/ 24
1.10	无功负荷的测量	/ 25
1.11	提高用户功率因数的经济效益	/ 27
1.12	检查用户自然功率因数的节能意义	/ 28
1.13	电网低电压运行的危害性及其防止对策	/ 29
1.13.1	对电网电压规定	/ 29
1.13.2	电网低电压运行的危害	/ 30
1.13.3	防止电网低电压的对策	/ 31
1.14	电网频率对于无功负荷的影响	/ 32
1.15	技术经济比较方法	/ 34
1.15.1	折回年限法	/ 34
1.15.2	计算费用法	/ 34
1.15.3	考虑时间因素的计算费用法	/ 35
<b>2</b>	<b>提高功率因数的方法与无功补偿</b>	<b>/ 36</b>
2.1	按设备分类看无功负荷的构成	/ 36
2.2	工矿企业中提高功率因数的节能效益	/ 37
2.3	感应电动机的负荷率与功率因数的关系	/ 38
2.4	感应电动机的合理使用与节能	/ 39
2.5	降低轻负载感应电动机的电压	/ 42
2.5.1	降低电动机的电源电压	/ 43
2.5.2	改变电动机的内部接线	/ 43
2.6	感应电动机的定子绕组由 $\Delta$ 型改为Y型	/ 43
2.7	$\Delta$ -Y接线的自动切换	/ 46
2.8	感应电动机定子绕组的几种改接方式	/ 48
2.8.1	双路并联定子绕组改接成单路串联	/ 48
2.8.2	并联双路星形绕组改成串联单路三角形	/ 49
2.8.3	并联双路三角形绕组改成并联双路星形	/ 49
2.8.4	并联双路三角形绕组改成串联单路星形	/ 49
2.8.5	其他改接方法	/ 50
2.9	怎样控制感应电动机的空载损失	/ 51

2.10	几种常用的切除空载电动机的装置	/ 52
2.10.1	机床半自动停机装置	/ 52
2.10.2	故障电控切除电动机装置	/ 52
2.10.3	冲床空载自动停机装置	/ 53
2.11	感应电动机检修质量对功率因数的影响	/ 54
2.12	异步电动机同步化	/ 55
2.13	同步电动机在工矿企业中的应用	/ 58
2.14	变压器的无功损耗	/ 59
2.14.1	避免变压器轻载运行	/ 59
2.14.2	切除空载变压器	/ 61
2.15	工频感应电炉	/ 62
2.16	电焊机与弧焊变压器	/ 63
2.16.1	交流电焊机手控式及简易自动式开、停机装置	/ 64
2.16.2	三种交流电焊机空载自停装置的接线图	/ 65
2.16.3	三种直流电焊机空载自停装置的接线图	/ 68
2.17	晶闸管串级调速引起的无功损耗	/ 71
2.17.1	采用晶闸管串级调速的节能意义	/ 71
2.17.2	常规串调与超前导通串调的无功损耗	/ 72
2.18	跟随馈电系统与功率因数控制器	/ 73
2.18.1	电气传动系统中的跟随馈电	/ 73
2.18.2	功率因数控制原理	/ 73
2.18.3	Frank Nola 型功率因数控制器	/ 74
2.19	功率因数控制器的应用实例	/ 75
2.20	变频调速技术的推广应用	/ 78
2.20.1	电动机变频调速技术的发展前景	/ 78
2.20.2	变频器的功率因数	/ 78
2.21	三种变频器功率因数分析	/ 79
2.21.1	PAM(Pulse Amplitude Modulation)脉幅调制方式 调节电压	/ 79
2.21.2	PWM(Pulse Width Modulation)脉宽调制逆变方式	/ 80
2.21.3	PWM 脉宽调制整流器	/ 80
2.21.4	三类变频器的功率因数	/ 80
2.22	大型硅整流装置的功率因数	/ 81
2.23	采用移相电容器的三种补偿方式	/ 82
2.23.1	集中补偿	/ 82
2.23.2	分组补偿	/ 83

2.23.3	就地补偿	/ 83
2.24	移相电容器及其辅助电气设备计算	/ 84
2.24.1	移相电容器的容量计算	/ 84
2.24.2	移相电容器的辅助电气设备与保护	/ 85
2.24.3	移相电容器的放电设备	/ 86
2.25	移相电容器组的运行	/ 87
2.25.1	正常运行电压	/ 87
2.25.2	允许过电流	/ 87
2.25.3	电网谐波的影响	/ 88
2.25.4	电容器投入时的涌流	/ 89
2.25.5	防止电容器组投切引起的操作过电压	/ 89
2.26	功率因数自动调节	/ 89
2.26.1	按功率因数控制	/ 90
2.26.2	按母线电压控制	/ 91
2.26.3	按负荷电流控制	/ 92
2.26.4	按昼夜时间控制	/ 93
2.26.5	按无功功率的超前与滞后控制	/ 94
2.26.6	按功率因数控制并按电压及负荷校正	/ 95
2.27	同步调相机	/ 95
2.28	静止无功补偿装置(SVC)	/ 97
2.28.1	静止无功补偿装置的性能	/ 97
2.28.2	静止无功补偿装置的种类	/ 99
2.28.3	TCR+TSC+FC组合型静止无功补偿装置	/ 99
2.29	国外无功静止补偿装置发展概况	/ 100
2.29.1	西欧几种无功静止补偿装置	/ 100
2.29.2	负荷型静止无功补偿装置	/ 102
<b>3</b>	<b>异步电动机无功功率就地补偿</b>	<b>/ 106</b>
3.1	三相异步电动机	/ 106
3.1.1	三相异步电动机分类	/ 106
3.1.2	三相异步电动机的型号	/ 108
3.1.3	三相异步电动机的铭牌	/ 109
3.2	三相异步电动机运行状况	/ 110
3.2.1	三相异步电动机的性能水平	/ 110
3.2.2	三相异步电动机配套	/ 110

3.2.3	三相异步电动机运行功率因数	/ 112
3.3	无功就地补偿原理	/ 113
3.3.1	无功就地补偿节电原理	/ 113
3.3.2	三种无功功率补偿度	/ 114
3.4	无功就地补偿的效果	/ 114
3.4.1	减少线路电能损耗及相应电费	/ 114
3.4.2	提高功率因数及减少相应电费	/ 115
3.4.3	增加电功率和减少用电贴费	/ 116
3.4.4	改善电压质量和电动机运行状况	/ 117
3.4.5	减轻电器、开关和供电线路负荷,减少维修量延长 使用寿命,提高安全可靠	/ 117
3.4.6	使调速系统的节能效果提高	/ 118
3.4.7	变压器损耗降低	/ 118
3.5	无功就地补偿器容量的确定	/ 119
3.5.1	用实测有功功率和功率因数方法确定	/ 119
3.5.2	按异步电动机空载电流的计算方法确定	/ 119
3.5.3	查无功功率补偿率的方法确定	/ 122
3.5.4	按经验表格方法确定	/ 123
3.6	无功就地补偿的节电计算	/ 123
3.6.1	按补偿后电能损耗减少方法计算	/ 123
3.6.2	按异步电动机有功、无功功率计算	/ 124
3.6.3	按无功功率经济当量计算	/ 127
3.7	三相异步电动机无功就地补偿综合计算步骤	/ 128
3.7.1	计算步骤	/ 128
3.7.2	实例	/ 129
3.8	无功就地补偿器与异步电动机的接线方式	/ 131
3.8.1	对于直接起动的电动机	/ 131
3.8.2	对于新装且有热保护器的电动机	/ 132
3.8.3	对于已装有热保护器的电动机	/ 132
3.8.4	补偿器接在断路器下端的接线方式	/ 132
3.8.5	对于Y- $\Delta$ 起动的电动机	/ 133
3.8.6	其他接线方式	/ 133
3.9	三相异步电动机无功就地补偿的测试	/ 134
3.9.1	电能综合分析测试仪接线	/ 134
3.9.2	测试点的位置	/ 135
3.10	运行电压变化对补偿器的影响	/ 136

3.10.1	电压对补偿器无功功率的影响	/ 136
3.10.2	电压对补偿器功率损耗、发热及寿命影响	/ 137
3.11	电源谐波对无功就地补偿器的影响	/ 137
3.11.1	电源谐波的产生	/ 138
3.11.2	谐波对无功补偿器的危害	/ 138
3.11.3	供电系统的谐波限制标准	/ 139
3.11.4	防止谐波危害的措施	/ 140
3.12	防止自励磁	/ 142
3.12.1	自励磁现象的产生	/ 142
3.12.2	防止电动机自励磁的措施	/ 143
3.13	低压无功就地补偿器	/ 143
3.13.1	使用环境及主要技术参数	/ 143
3.13.2	主要结构部件	/ 144
3.14	高压无功就地补偿器	/ 145
3.14.1	使用环境及主要技术参数	/ 145
3.14.2	主要结构部件	/ 145
3.15	无功就地补偿应用实例	/ 146
实例 1		/ 146
实例 2		/ 150
实例 3		/ 152
实例 4		/ 153

## 附录

表 1	SL7-35 kV 及以下系列电力变压器有关技术数据	/ 155
表 2	SJL1 系列电力变压器有关技术数据	/ 157
表 3	YX 系列(IP44)三相异步电动机额定效率、功率因数保证值	/ 159
表 4	Y 系列中型高压三相异步电动机额定效率、功率因数保证值	/ 160
表 5	YR 系列中型高压三相异步电动机额定效率、功率因数保证值	/ 160
表 6	Y 系列(IP44)三相异步电动机额定效率和空载损耗值	/ 161
表 7	JO2 系列三相异步电动机额定效率和空载损耗值	/ 162
表 8	量的单位符号与单位中文符号对照	/ 162
表 9	SI 词头	/ 163

# 1

## 无功功率的基础知识

当电能转换成其他类型能量时,例如电流通过白炽灯发光;通过电动机的传动使电能转换成机械能;通过钢厂电弧炉使电能转换成热能;通过化工厂的电解槽使电能转换成化学能;以及工频电流通过电台的高频发射台转换成电磁波等;这些在能量的转变过程中做功的电能,叫做有功电能.我们习惯上称其为“有功电功率”,或简称“有功功率”.

在交流电路中,除了电阻负载以外,还有电感负载和电容负载.例如在电力网中使用最多的电动机与变压器,在运行中要产生磁场;而电容器及空载输电线则产生电场.交流电在电源与这类电感或电容负载之间往返流动,在流动中通过磁场或电场时,不会使电能转换成热能、机械能、化学能或其他任何类型的能量.此电能既不做功也不消耗,这种电能我们称它为无功电能,习惯上称为“无功电功率”,简称“无功功率”.

发电厂和电力网就是一个多种能量转换的系统.在火电厂的锅炉中燃烧油或煤,使水获得热能变成高压蒸汽,高压蒸汽推动汽轮机转动,将它所具有能量转换成机械能,汽轮机传动发电机又将机械能转换成电能.在水电站中将水的位能通过水轮机转换为机械能,水轮机再传动发电机又将机械能转换成电能.其他诸如燃气轮机发电、受控热核发电等都是将各种能量通过数次有功能量转换,最后转换成电能.电能由电力网传送给用户,用户如前所述又将电能转换成各种其他类型的能量,而在此转换过程中为人们做功,各种能量环绕有功电功率互相转换.

在交流电的发电、输电、配电、用电整个过程中,随着有功功率产生,必然同时孪生无功功率。

在理论上,有功功率是电压与电流间夹角的余弦与电压电流的乘积;无功功率是该夹角的正弦与电压电流的乘积。由于无功功率在电源、电网、用户之间往返流动,该功率与网络内各元件的电阻又产生了有功损耗。更值得注意的是在实际应用中由于无功功率问题,使电网投资增加,年运行费用增加;而且由于无功容量缺乏(指电容性无功),造成电压质量下降,甚至发生故障,给工农业生产造成极其严重的后果。

## 1.1 交流电阻电路

### 1.1.1 电阻电路中电压与电流的关系

当一个交流电压  $u$  加在线性电阻  $R$  的两端,如图 1-1 所示:由于电压  $u$  是随着正弦函数瞬时变化的,如果其最大值是  $U_m$ ,则其交流电压的瞬时值为:

$$u = U_m \sin \omega t$$

式中  $\omega$  是角速度,单位 rad/s; 式中  $t$  是时间,单位 s。

角速度与频率成正比:  $\omega = 2\pi f$ 。

式中  $f$  是交流电频率,我国交流电频率为 50 Hz/s,根据欧姆定律,电阻两端电压和它通过的电流成正比,对于交流电路来说,这个关系在任何一瞬间都应该成立,因此通过此电阻的电流瞬时值为:

$$i = \frac{u}{R} = \frac{U_m}{R} \sin \omega t = I_m \sin \omega t$$

在上式中  $I_m = \frac{U_m}{R}$  (1-1)

从上面几个关系式中不难看出,电路中的电流也是按正弦规律变化的,它变化的速度(即角速度),也与电源电压一致,而且电压与电流之间也不存在相角差,即两者周期性完全吻合。电压与电流曲线如图 1-2 所示;电压与电流矢量如图 1-3 所示。

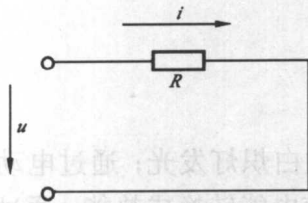


图 1-1 交流电阻电路

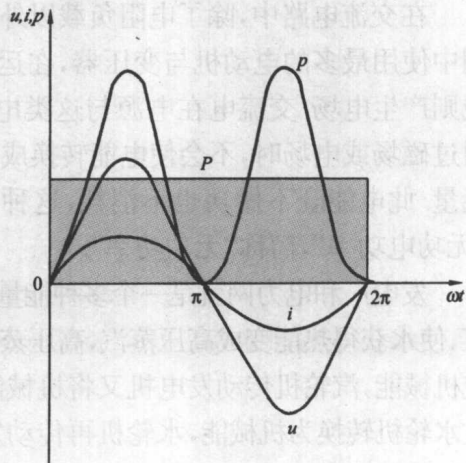


图 1-2 交流电阻电路的电压、电流、功率曲线

将式(1-1)两边都除以 $\sqrt{2}$ ,则可以导出电压有效值与电流有效值两者之间的关系:即在电阻电路中,电流有效值等于电阻两端电压的有效值除以电阻,如式(1-2)所示:

$$I = \frac{U}{R} \quad (1-2)$$

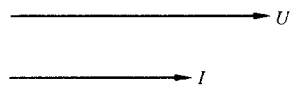


图 1-3 交流电阻电路的电压与电流矢量图

### 1.1.2 瞬时功率与平均功率

在电阻中每一瞬间消耗的功率称为瞬时功率,它是电压瞬时值与电流瞬时值的乘积,即:

$$p = ui$$

将  $u$  及  $i$  代入并经三角函数演算可得:

$$\begin{aligned} p &= U_m \sin \omega t \cdot I_m \sin \omega t \\ &= U_m I_m \left( \frac{1 - \cos 2\omega t}{2} \right) \\ &= UI - UI \cos 2\omega t \end{aligned} \quad (1-3)$$

式(1-3)把瞬时功率分成了两部分:第一部分是常数  $UI$ ,表示一条直线.第二部分是交变分量  $UI \cos 2\omega t$ ,表示一条余弦曲线,其频率是电压频率的二倍,图 1-2 中的曲线  $p$  即是瞬时功率曲线.

由于电压与电流相序完全吻合,所以瞬时功率恒为正值.从物理概念来看,不论电流如何交变,电阻总是吸收能量,不断地把电能转换成热能.它在一个周期内吸收电能为:

$$W_T = \int_0^T p dt$$

因为瞬时功率时刻在变化,实用上意义不大.在电工技术中为了计算能量,采用瞬时功率在一个周期内的平均值来衡量功率,称之为平均功率,用下式表示:

$$\begin{aligned} P &= \frac{1}{T} \int_0^T p dt \\ &= \frac{1}{T} \int_0^T UI(1 - \cos 2\omega t) dt \\ &= UI = I^2 R = \frac{U^2}{R} \end{aligned} \quad (1-4)$$

图 1-2 中的直线  $P$  表示平均功率.这个平均功率就等于电压与电流有效值的乘积.平均功率简称功率,在实用上都采用此平均功率.功率表计测定的



也是此平均功率；不论电灯、电动机或者其他电气设备，其铭牌上表示的也都是平均功率。

### 1.1.3 电阻电路的能量转换

前面讲到在电阻电路中不论电流如何交变，电阻总是吸收能量，并不断地把电能转换成为热能，在转换过程中为人们做功。

通过实验得知，电流通过电阻时所产生的热量可以由下式表示：

$$Q = Pt \quad (1-5)$$

式中： $Q$ —热量 J

$P$ —功率 kW

这个关系式即是著名的焦耳-楞次定律，常数  $k$  的物理意义是：相当于电阻为  $1\ \Omega$  的导体中通过  $1\ \text{A}$  电流时，每秒钟产生的热量。

例如一台  $450\ \text{kW}$  的电炉，它一个小时内将  $450\ \text{kW}\cdot\text{h}$  电转换成  $1\ 620\ 000\ \text{J}$  热量。

$$Q = 450 \times 3\ 600 = 1\ 620\ 000\ \text{J}$$

在有功功率生产、传输及消费过程中，由于各类电气元件都有电阻，因此亦造成了电能转换热能，这就是有功损耗。无功功率在电力系统中往返流动同样也造成了相当可观的有功功率损耗，这也是本书拟讨论的课题之一。

## 1.2 交流电感电路

### 1.2.1 电感电路中电压与电流的关系

如果一个电感线圈接在直流电路中，由于电流和磁通都恒定不变，所以在线圈中不产生自感电动势；此时仅有线圈中的电阻起作用，由于线圈中电阻是很小的，所以实际上这一个回路成了短路。

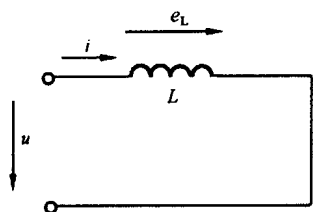


图 1-4 交流电感电路

但是以一个交流电压加在这个线圈  $L$  的两端，则线圈中将出现一个自感电动势，这个自感电动势正好与所加的交流电压大小相等、方向相反。图 1-4 表示这个电感电路。图中箭头表示

电感电压  $u$ 、电流  $i$  与自感电动势  $e_L$  的正方向； $L$  是线性电感。

交流电流的瞬时值为：

$$i = I_m \sin \omega t$$