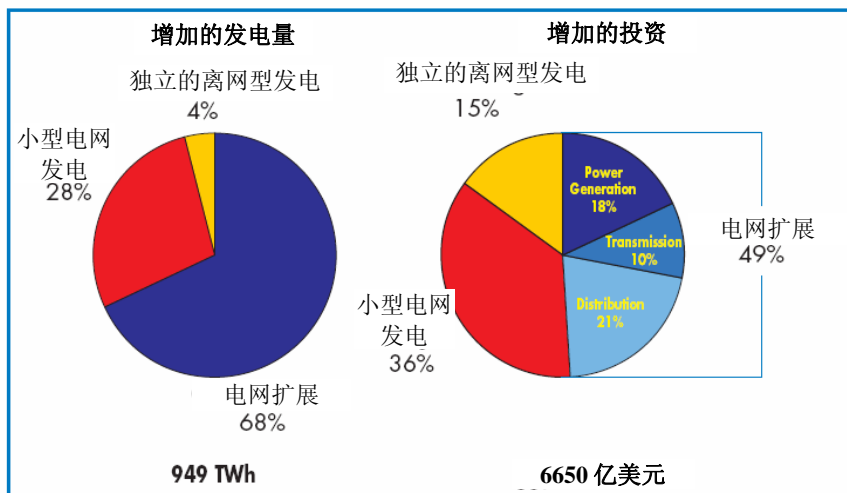


电力

1. 未来的能源前前景	1
2. 发电和配电	2
3. 电的相位	4
4. 有功功率和无功功率	5
5. 功率因数校正	5
6. 电气负载管理	7
7. 电力收费机制	9
8. 变压器	10
9. 电气公式	13
10. 参考文件	14

1. 未来的能源前前景

人均耗电通常被用作一个国家发展的指标。在发展中国家，工业是最大的电力消耗领域，大约有 30%的人还未用上电。



备注：增加的发电量是指 2030 年增加的，而增加的投资则是 2001-2030 年累计的投资增量。

图 1：到2030年增加的发电量和投资
(国际能源机构，2004年)

国际能源机构对2030年的电力情况进行了预测 (IEA, 2004年)：

电气能源设备：电力

- 发展中国家78%的人口都能用上电，人均电力消耗为2,136 kWh。
- 有14亿人口还用不上电。需要进一步投资6650亿美元，使百分之百的人口都可以用上电（见图1），并能够向这些人平均每人多提供526 kWh电。让每个用上电的人用电力替代传统燃料作为满足生活基本需要的动力来源。。大多数新增的电力供应都将满足非洲（437 TWh）和南亚（377 TWh）的需求，分别新增了25%和18%。

IEA 提出了以下建议以确保普遍用电（IEA，2004 年）：

- 用新型能源效率技术来改造传统电厂和建设现代化的电厂及传输和配电系统。
- 需求侧的管理：采用和持续能源效率技术和用电规则。
- 在能源用户当中建立采用节能措施和接受新技术的意识。

2. 发电和配电

图 2 说明，大多数的电能还是使用化石燃料（煤、气、油）的发电厂和使用铀的核电厂来生产的。由于环境和安全考虑，以及由于石油供应只依赖于少数国家的新近能源安全考虑，目前也正在开发新的能源替代品，可再生能源能满足世界 21% 的能源需求，包括水电（20%）、太阳能、风能、地热、生物质和潮汐能源（约占 1%，但这个比例仍在增长）。

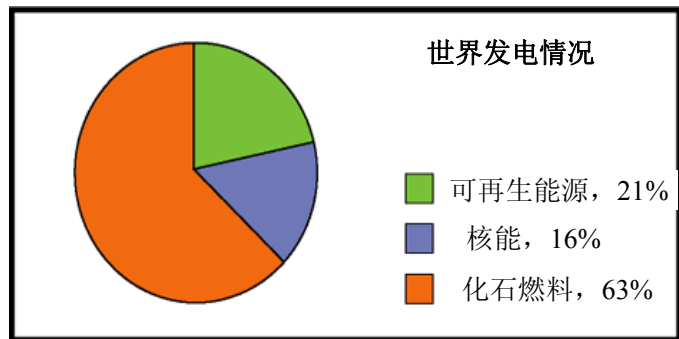


图 2. 世界发电情况
（美国能源信息管理局，2004 年）

图3说明了电气系统的简图，说明如下：

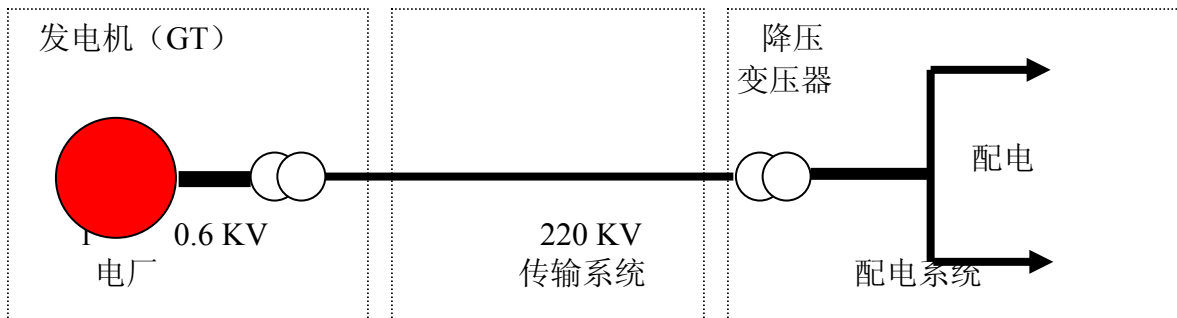


图3. 发电、输电和配电

大多数的电力都是由热电厂、水电厂或核电厂以每秒 50-60 转的 AC 发电机，即“交流发电机组”来生产的。一台发电机（以称机组）的发电能力一般在 67.5 MW、110 MW、220 MW 和 500 MW 范围内，但是也有 1000MW 的发电机组。由于更高发电能力的机组的辅助耗电以及生成每 MW 电量时的其它运行和维护费用较低，因此人们更倾向于高发电能力的发电机组。

电气能源设备：电力

由于电不能储存，因此在需要的时候就必须发电，然后将电通过输电和配电网送到用户，输电和配电网是由变压器、输电线路和控制设备组成的。所有的发电站都有在传输前把电压升到超高压（EHV，例如：132 KV、220 KV、400 KV）因为使用了更小、更经济的输电线路，从而降低了传输过程中的损耗。表1中列出了高压输电的好处。同样，变电站也有降压器，可以将电压降低向工业、商业和住宅用户通过配电线路进行配电。

输电线路和配电线路除了电压和功能处理能力不同外也没有其它的区别。输电线在超高压下运行，通常能远距离传输大量的电能。配电线一般是在短距离分配低压有限的电能。

表1. 高压输电的益处

原因	说明	益处
压降低	输电/配电线路的压降取决于电线的电阻、电抗和线的长度以及电流。对于要传输的相同电能来说，高压会导致低电流和低压降。	良好的电压调整，即发送电压与接收的电压之间的差较小。
功率损耗低	线路上的功率损耗与电阻（R）和电流（I）的平方成正比，即 $P_{Loss} = I^2R$ 。高压会导致低电流，因此也就使功率损耗降低。	高输电效率
导线细	高压会导致低电流，因此需要较细的导线来处理电流。	低资本和安装费用
例子 如果配电电压从 <u>11kV</u> 提高到 <u>33kV</u> ，那么压降就会降低 <u>1/3</u> ，线路损耗降低 <u>1/9</u> ，即 $(1/3)^2$ 。		

3. 电的相位

另一个需要说明的交流电供应的主要特性是：

总体来讲，交流供电可分为单相和三相电路。单相交流电路有两根线与电源相连。但是，不象电流方向保持不变的直流电，交流电的电流方向根据供电的频率不同，会每秒钟会变化很多次。供给家庭用的 240 伏（V）的电就是单相交流电，有两根电线，一根“火线”，一根“零线”。

但是，配电线是由四根电线组成的，三条线从三个电路中带电，他们共用一根零线（即三根火线，一根共用的零线）。三相系统有 3 个波形（通常都带电）有 $2/3 \pi$ 的弧度（120 度， $1/3$ 个圆）及时抵消了。

图 4 说明三相系统的圆，在时间轴上从零度到 360 度（ 2π 弧度）。图上的线代表即时电压（或电流）的随时变化。这个圆根据电力系统的频率每秒钟重复 50-60 次。线条颜色代表了美国三相系统的颜色代码：黑色 = V_{L1} ，红色 = V_{L2} ，蓝色 = V_{L3} 。

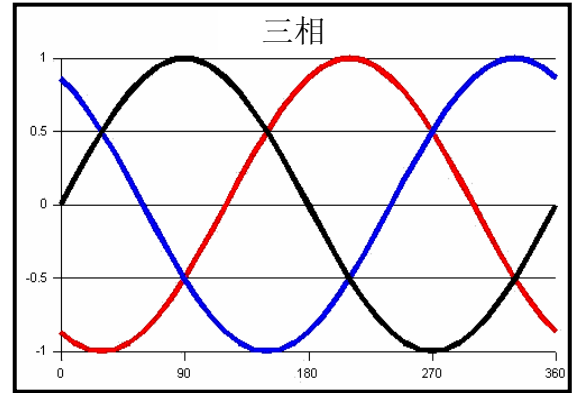
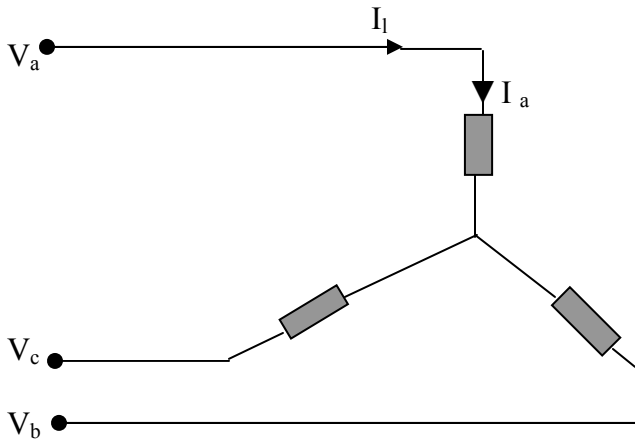


图 4. A 3 相供电系统
(Wikipedia contributors, 2005)

用星形和三角形连接进一步说明了三相供电系统，如图 5 所示。



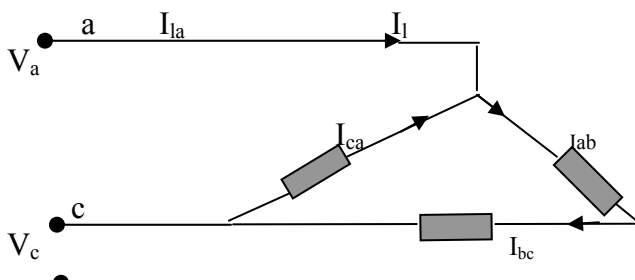
星状联接

$$I_L = \text{线电流} = I_a = \text{相电流}$$

$$V_a = V_b = V_c = \text{线电压}$$

n = 共用的中性点

$$\text{线电压} = 1.732 \times \text{相电压}$$



三角形连接

$$V_a = \text{线电压} = \text{相电压}$$

$$I_a = I_b = I_c = \text{线电流}$$

$$\text{线电流} = 1.732 \times \text{相电流}$$

图 5. 电气系统的星状和三角形连接法

4. 有功功率和无功功率

用千瓦 (kW) 计量的有功功率是负载使用的执行功能的实际功率 (轴功率, 真功率)。但是, 还有一种象马达等某些需要另一种形式的无功功率 (kVAR) 的负荷来产生磁场。虽然无功功率是虚拟的, 但是这确实能决定用电系统中的载荷 (需求), 如图 6 所示。

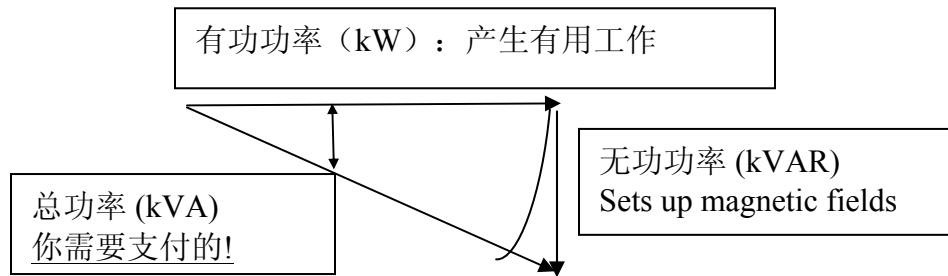


图 6. 功率三角形的表述

有功功率和无功功率的矢量和为总功率 (或显象功率), 单位是 kVA (千伏-安培)。这是由发电公司向顾客发送的总功率, 用数学示表示如下:

$$kVA = \sqrt{(KW)^2 + (KVAR)^2}$$

5. 功率因数校正

5.1 什么是功率因数?

功率因数是有功功率 (kW) 与总功率的比值, 或者有功功率与总功率所形成的角的余弦。如果无功功率较高, 那么这个角就增大, 因此功率因数就减少 (见图 7)。

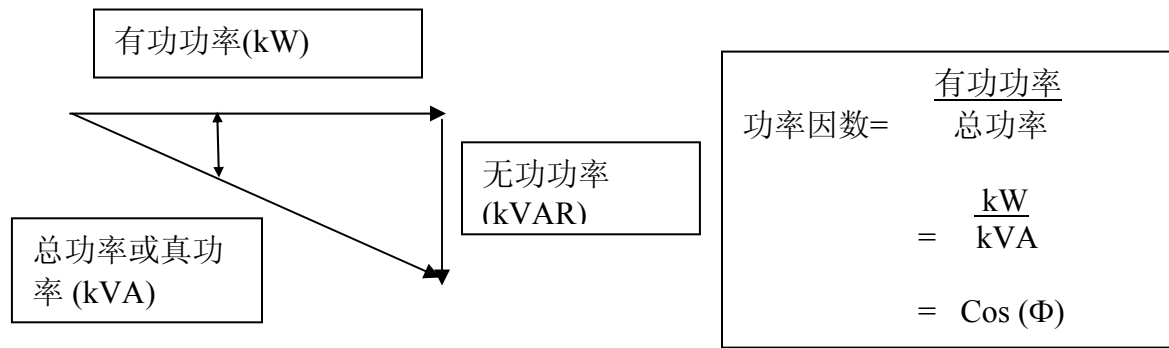


图 7. 电路的功率因数

功率因数总是小于等于 1。理论上讲，如果电力公司供电的所的载荷的功率因数都等于 1，那么转换的最大功率应等于配电系统的电容。但是，由于载荷都具有传导性，并且如果功率因数的范围为 0.2 到 0.3，就要重视配电网的能力了。因此，对于相同功率输出来说，无功功率（kVAR）应尽可能地低，这样才能使总的功率（kVA）需求尽可能地小。

5.2 提高功率因数的电容器

功率因数可以通过在工厂的配电系统上安装功率因素校正电容器得以提高（见图 8 和图 9）。他们充当无功功率发电机，从而降低了无功功率的数量，以及由电厂产生的总功率。

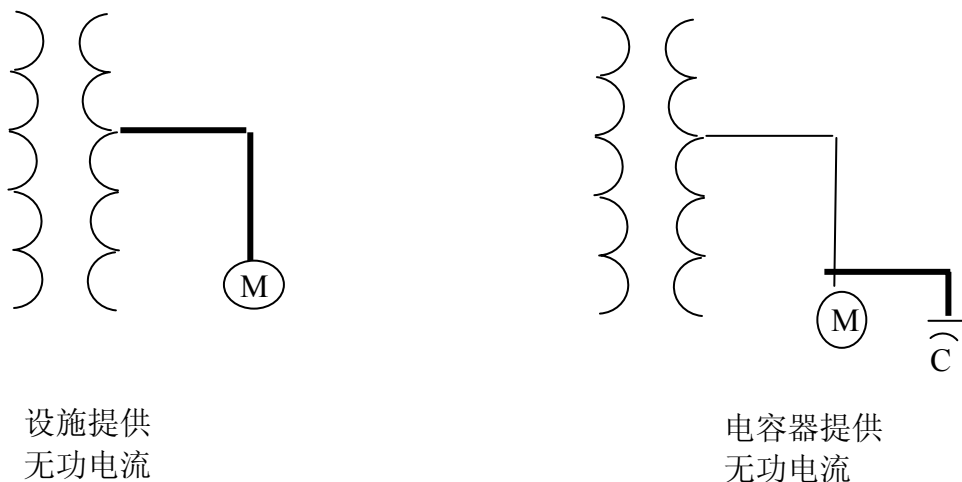


图 8. 电容器电流 kVAR



图 9: 片状电容器组
(铜业公司, 2000 年)

下面说明了通过安装电容器来提高功率因数的例子:

<p>例子</p> <p>化工厂安装了一个 1500 kVA 的变压器。工厂的初步需求是 1160 kVA，功率因数为 0.70。变压器的百分比载荷约为 78% ($1160/1500 = 77.3\%$) 要想提高功率因素，避免供电方收取罚款，工厂需要在马达载荷上增加约 410 kVAr。这样可以将功率因数提高到 0.89，将需要的功率 kVA 降低到 913，这个值就是 kW 和 kVAr 的矢量和。</p>	
<p>1500 kVA 的变压器过去的载荷只占其能力的 60%。这就允许工厂将来需要向变压器增加更多的载荷。(NPC 实地考察)</p>	

5.2 通过增加电容器来提高功率因素的优势

通过安装电容器来提高功率因数具有以下优势:

对于公司来讲:

- 需要一次性投资购买和安装电容器，但随后就没有运行费用了。
- 对于公司来讲降低了用电成本，因为 (a) 无功功率不再由电力公司提供，因此总需求 (kVA) 也降低了，并且 (b) 也避免了在低功率因数操作时所征收的罚金。
- 降低了工厂网络内的配电损耗 (kWh)。
- 负载端的电压水平增加，使马达的绩效提高。

对于公用供电:

- 网络上的无功因素以及系统中从电源端获得的总电流降低了。
- 由于电流降低了，因此系统中的 I^2R 功率损耗也降低了。
- 配电网络的容量提高了，减少了增加额外容量的需求。

6. 电气负载管理

电气能源设备：电力

从宏观角度来讲，电耗的不断增长以及在一天中某些时段的电力需求过盛都导致了电力不足以满足需求。由于容量增加的成本很高，并且只能在较长的时间框架内（特别是必须建设一个新电厂时）增加装机容量，用户端较好的负载管理有助于尽可能减少公用基础设施的高峰需求，并有助于应用电厂的容量。表 2 中给出了一些进行有效负载管理的技术。

表2：高峰期负载管理策略（能源效率局，2004年）

将非关键和非持续的流程负载转移到非高峰期进行。	重新安排大型电力负载和设备的运行，规划和实施不同的班次，尽可能使同时最大需求降到最低。为了实现这个目的，最好制作一张运行流程表和一个流程表。分析这些图表，并采用综合的方法，有可能会行政机安排操作和运行设备，使功率因数提高，从而降低最大需求。
在高峰期去掉非关键负载	当最大需求接近预设极限时，先临时去掉一些非关键的负载，有助于降低最大需求。有可能的话安装直接需求监控系统，当达到预设需求时，系统将自动关闭非关键负载。简单的系统可以报警，然后手动卸掉负载。高级的微处理器控制系统可以提供自动卸载功能。
在高峰期进行内部发电或利用柴油发电机（DG）组	当柴油发电机（DG）组用来补充由电力设施提供的功率时，最好在需求接近高峰值的期间连接一个 DG 机组。这会大大降低负载需求，使需求的电荷最小化。
在非高峰期使用空调装置并进行冷热储存	通过建立产品/材料/水/急冷水/热水以及非高峰期的用电储存容量，也有可能降低最大需求。非高峰期时段的运行由于环境温度较低等有力条件，也有助于节能。
安装功率因素矫正设备	通过在设备上使用电容器组以及维持最优化的功率因数也能降低最大需求。这些系统可以通过开关电容器组来保持系统期望的功率因素，因此优化最大需求。

消费者负载需求对时间的表述被称为“负载曲线”。如果负载需求在一天中分为24小时来绘制曲线，该曲线称为“小时负载曲线”（见图10），如果按月绘制日需求曲线，就称为“日负载曲线”。

负载曲线在预测一个车间、整个工厂和配电网等的高或低功率需求的方式时非常有用。

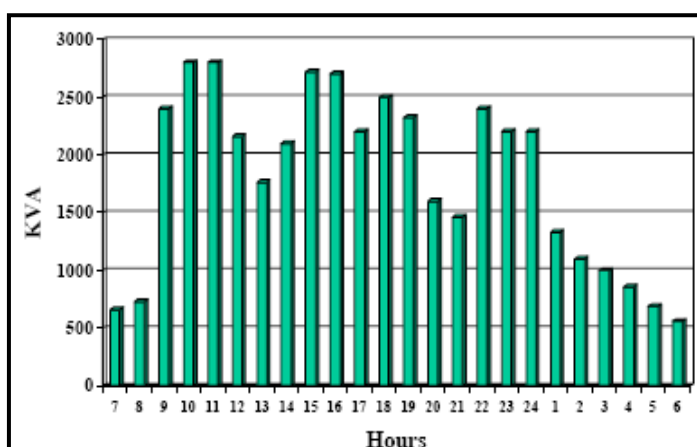


图10：一家工程工业公司的日负载曲线（印度国家生产力委员会）

7. 电力收费机制

公共机关通常在收费时对中型和大型企业实施两部分费率结构：

- **能源费**—这些收费是指每个月/收费周期实际能耗或有功功率（千瓦时或kWh）相关的费用。现在有些公共机关是根据显性能耗（kVAh），即kWh和kVArh的矢量和来收费的。
- **最大需求费**—这些费用是与每月/收费周期内注册的最大需求和相应的公用设施而收取的。在高峰期载荷收取罚金的目的是鼓励终端用户减少高峰期的负载。因此管理高峰期负载的公司（如通过降低功率因数）在不减少用电的情况下减少了每月的电费。

电缆的其它因素还包括：

- 由大多数公共机关征收的功率因素罚金或奖金比率也包含电网上的无功功率。
- **燃料成本**：由公共机关征收的调整费来调整超出基准参照值的燃料费。
- **电力税**：根据所消耗的电力单位的额外收费。
- **仪表租金**：安装电表每月征收的固定费用。
- **照明和风机功率损耗**：费用比通常的电费要高，可以按平价或实际电表读数来收取。
- **每日时间率 (TOD)**：在高峰时段和非高峰时段采用不同的费率。
- **超出合同需求的罚金**。

公共机关一般采用电磁或电力三向量表来计费，这种仪表可以测量以下参数：

- 每月登记的最大需求，在固定的时间间隔内测量（如30分钟）并且在每个收费周期末重新设定。
- 在计费周期内的有功能源，单位kWh
- 在计费周期内的无功能源，单位kVArh
- 在计费周期内的显性能源，单位kVAh

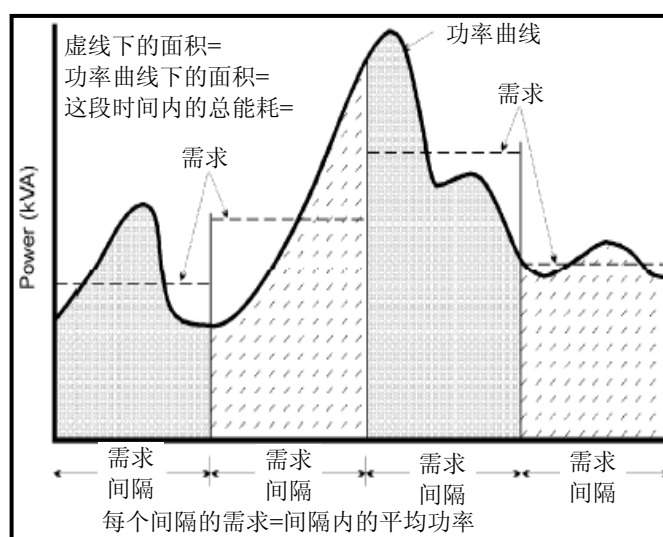


图11：典型的需求曲线（国家生产力委员会）

一定要注意以下这点，当记录最大需求时，不是我们经常误认为的即时需求而是预定的记录周期（如 30 分钟）的综合时间需求，例如：

在工业上，如果在30分钟的记录周期内的需求为：

4分钟2000 kVA

12分钟3600 kVA

6分钟5000 kVA

8分钟3500 kVA

最大需求将是下面计算的数值：

$$[(2000 \times 4) + (3600 \times 12) + (5000 \times 6) + (3500 \times 8)] / 30 = 3640 \text{ KVA}$$

图11为典型的需求曲线。需求是按预先设定的时间间隔来测量的，并且是水平实线所示的间隔的平均值。

最大需求是在计费月所记录的最高需求值。只有在需求值超过以前的最大需求值时，仪表才进行记录，因此即使平均最高需求很低，工业/工厂也会根据所测量的最高需求值被收费。

最近，大多数电力委员会都将传统的机电三向表改变成了电表，电表的计量对公共机关和工业都有帮助，它可以提供以下内容：

- 有重大记忆功能，可记录所有相关事件；
- 0.2级的高准确率
- 日时间费率
- 检测/记录
- 谐波和总谐波失真（THD）
- 表内活动零部件较少因此使用寿命长
- 远程数据使用/下载

购买电力的成本构成趋势分析有助于该行业发现在现有电力收费框架内降低费用的机会。

8. 变压器

8.1 变压器是什么？

变压器是一个静电装置，可以把电能从一个电压水平转变为另一个电压水平。这就使得在低压时发电，然后在高压和低电流条件下输电，从而降低线路损耗，在安全电压下使用（见图12）。



图 12：变压器图
(Indiamart.com)

变压器由两个或多个与电绝缘但与磁不绝缘的线圈组成。主线圈与电源相连，次级线圈与负载相连。变压器的物性如下：

- 匝数比：次级线圈匝数与主线圈匝数之间的比（见图13）。
- 次级电压：主电压乘以匝数比。
- 安匝：用线圈的电流乘以匝数计算。主安匝等于次安匝。
- 变压器的电压调节：从满载到空载电压的百分比增量。



图 13：变压器的三相芯和线圈组
(Kuhlman Electric)

8.2 变压器的类型

表3列出了各种不同类型的变压器

表 3：变压器的分类 (Bureau of Energy Efficiency, 2004)

标准	类型	备注
按输入电压分类	升压	将低压转变为高压
	降压	将高压转变为低压

按运行分类	功率变压器	位于发电站，将电压升高，并处理较大的功率，典型的电压级有400 kV、220kV、132KV、66 kV和33kV等。
	配电变压器	位于配电网络的变电站，处理低功率，典型的电压级有11kV、6.6 kV、3.3 kV、440V和230V etc.
	仪器变压器	用于测量高压和测量仪器中的电流
根据位置	室外	位于水泥结构外部或者铁杆结构上。
	室内	位于水泥结构内部。
根据连接方式	三相	输入和输出供电都是三相（R/Y/B），可以有中线也可以没有中线。
	单相	Input and output supply are of single phase

8.3 确定变压器的损耗和效率

由于变压器上没有转动部分，效率一般在96-99%之间，损耗主要在于：

- 常量损耗：也称为铁损或芯损，主要取决于变压器芯的材料以及焊接溶剂路径的磁路。磁滞现象和漩涡电流损耗也是常量损耗的两个元素。
- 变量损耗：也称作负载损耗或铜损，随着负荷电流平方的变化而变化。

备注：当常量损耗和变量损耗相等时的负荷下变压器达到最高效率。图14以载荷电流百分比说明了典型的变压器损耗。

变压器制造商通常提供无载损耗（ $P_{NO-LOAD}$ ）和满载损耗（ P_{LOAD} ）。下面的数学关系说明了变压器各种栽花时的总损耗（ P_{TOTAL} ）。

$$P_{TOTAL} = P_{NO-LOAD} + (\% \text{ 载荷}/100)^2 \times P_{LOAD}$$

$$P_{TOTAL} = P_{NO-LOAD} + (\text{载荷KVA}/\text{额定 KVA})^2 \times P_{LOAD}$$

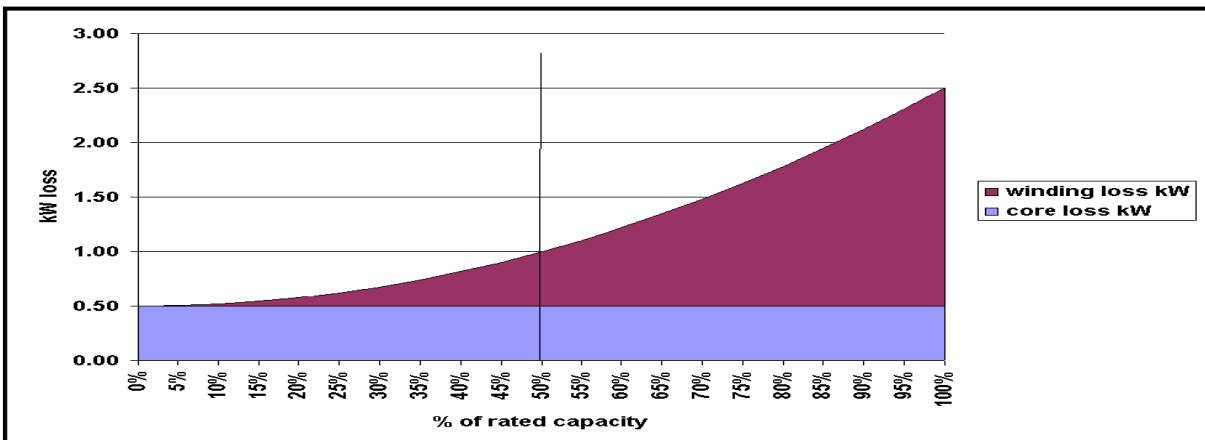


图 14：变压器损耗和百分比负载（能源效率局，2004年）

9. 电气公式

表 4列出了电气系统中最重要公式。

表4：与电气系统相关的基本公式（国家生产力委员会，未公布）

术语	命名法和单位	经验公式	备注
电阻	R (欧姆)	$= S L / A$	S=电阻系数 (Ohm-m) L=长度 (m) A=横截面积(m ²)
电压	V (伏特)	$= I R$	I=电流(安培) R=电阻(欧姆)
电抗	X _L (欧姆) (感应)	$= 2\pi FL$	$\pi = 3.142$ F = 供电频率 (Hz) L = 感应系数 (亨利)
	X _C (欧姆) (电容)	$= 1/(2\pi FC)$	$\pi = 3.142$ F = 供电占有率(Hz) C = 电容 (法拉第)
阻抗	Z (欧姆)	$= \sqrt{(R^2 + (X_L - X_C)^2)}$	
真功率	P (瓦特)	$= V I \cos\Phi$ (单相)	V=电压 (伏特) I=电流(安培) Cos Φ =功率因数
		$= 1.732 V I \cos\Phi$ (三相)	V=电压 (伏特) I=电流(安培) Cos Φ =功率因数
有功功率	VAR	$= 1.732 V I \sin\Phi$ (三相)	V=电压 (伏特) I=电流(安培) Φ =功率因数角
表观功率	VA	$= \sqrt{(P^2 + (VAR)^2)}$	P=真功率(瓦特) VAR=Reactive Power (VAR)
功率因数	Cos Φ	$= P/VA$	P=真功率 (瓦特) KVA=表观功率 (VA)
效率	η	$= P_{out}/P_{input}$	P _{out} = 输出功率 P _{input} =输入功率
变压器率		$V_1/V_2 = N_1/N_2$	V ₁ =主电压(伏特) V ₂ =次级电压(伏特) N ₁ =主线圈匝数 N ₂ =次级线圈匝数
线路上的电压降	ΔV (伏特)	$= IR$	I=线电流(安培) R=线电阻(欧姆)

术语	命名法和单位	经验公式	备注
线损	P_{Line} (瓦特)	$=I^2R$	I=线电流 (Amp) R=线电阻(欧姆)
星状连接		$V_{line}=1.732 V_{phase}$ $I_{line} = I_{phase}$	V_{line} =线电压(伏特) I_{line} =线电流
三角连接		$V_{line}=V_{phase}$ $I_{line} = 1.732 I_{phase}$	V_{phase} =相电压(伏特) I_{phase} =相电流(安培)

10. 参考文件

本章的内容主要依据印度政府电力部能源效率局的 2004 年《电力设施的能源效率》。

其它参考文件包括：

铜业公司：铜电力系统，2004 年。

www.cooperpower.com/Library/Literature/section.asp

Indiamart. www.indiamart.com/rowsons/index.html#oil-cooled-transformers

国际能源机构，世界能源展望，2004 年。

www.iea.org/textbase/nptoc/WEO2004.toc.pdf

库耳曼氏电力，库耳曼氏总目录，p 7.

www.kuhlman.com/clientdata/Kuhlman_General_Catalog1_1.pdf

US能源信息管理局www.eia.doe.gov/oiaf/ieo98/elect

Wikipedia contributors. 三相可变结构和基本定义，在自由百科全书中，2005 年。

<http://en.wikipedia.org/wiki/Three-phase>

电气能源设备：电力

Copyright:

Copyright © United Nations Environment Programme (year 2006)

This publication may be reproduced in whole or in part and in any form for educational or non-profit purposes without special permission from the copyright holder, provided acknowledgement of the source is made. UNEP would appreciate receiving a copy of any publication that uses this publication as a source. No use of this publication may be made for resale or any other commercial purpose whatsoever without prior permission from the United Nations Environment Programme.

版权声明:

本出版物可供任何形式的培训或非盈利活动全部或部分复制使用，无需经过版权所有者的特别许可，而只需在副本中注明出处即可。如需在其他出版物中引用本出版物中的内容，请向 UNEP 发送一份该出版物的副本。

未经联合国环境规划署的书面许可，禁止将此出版物用于转售或任何其他商业用途。

Disclaimer:

This energy equipment module was prepared as part of the project "Greenhouse Gas Emission Reduction from Industry in Asia and the Pacific" (GERIAP) by the National Productivity Council, India. While reasonable efforts have been made to ensure that the contents of this publication are factually correct and properly referenced, UNEP does not accept responsibility for the accuracy or completeness of the contents, and shall not be liable for any loss or damage that may be occasioned directly or indirectly through the use of, or reliance on, the contents of this publication, including its translation into other languages than English. This is the translated version from the chapter in English, and does not constitute an official United Nations publication.

免责声明:

该能源设备简介是“亚太地区工业温室气体排放削减计划”(GERIAP)的一部分，由印度国家生产力委员会编写。尽管 UNEP 为保证此出版物的内容的正确性做出了不懈的努力，但是 UNEP 不承担其内容的准确性和完整性的责任，对任何通过直接或间接使用或者依赖该出版物内容，包括其非英语译本，而遭受的损失或者伤害，UNEP 概不负责。本材料是英文原版的中文译本，不属于联合国的官方出版物。