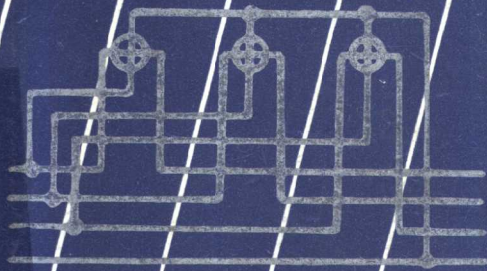


三相功率及其测量 三相功率及其测量

[德] Hans-Joachim Gaus 著

王乃观 译



中南工业大学出版社

三相功率及其测量

三相功率及其测量

〔德〕 Hans-Joachim Gaus 著

王乃观 译

中南工业大学出版社

三相功率及其测量

王乃观 译

责任编辑：薛少青

*

中南工业大学出版社出版发行
中南工业大学出版社印刷厂印装
湖南省新华书店经销

*

开本：787×1092 1/32 印张：2.125 字数：50千字
1989年1月第1版 1989年1月第1次印刷

印数：0001—3000

*

ISBN 7-81020-198-0/TM·001

定价：0.70元

译者的话

一、本书原为德文本 *Die Drehstromleistung und ihre Messung*，作者为 Hans-Joachim Gaus。译者根据其英文本 *Three-phase Power and its Measurement* 译出。

二、本书叙述简明，偏重实用。尤其是无功功率的测量，读者如能加以应用，为节能提供数据，则作用更大。

三、本书既可作为技术人员实际工作的参考书，也可作为高校的教学参考材料。

四、全书共20讲，每讲后有问题和答案。这些问题和答案实质上是每讲中的精粹，有时是每讲的补充，读者需加注意。

五、书后面附录中“有功功率和无功功率用仪表变压器的测量线路”，具有一定的参考价值。

六、原书中错、漏之处，译者已加更正。

七、书中有“*”号处，为译者加释。

译者

1987年7月

绪 论

这本程序化指导书讨论了三相功率的分路及其计算，然后阐述测量三相功率的常用电路和仪表。

为了理解此书，需要具备如下一些基础知识：

磁学

直流电路

单相交流电路

三相交流电路

与上述内容有关的数学知识。

你可以直接学习此套丛书中的相应教科书来获得这些基础知识，特别是如下几本：

电流、电压、电阻

基尔霍夫定律

磁路

交流电压与电流

交流电路

交流电路中的功率与能量

三相电

本教学程序的目的是为了阐明星形与三角形联接的三相电路中功率消耗有关的定律，解释各种功率测量的方法，并使你能根据不同电路类型以及你所遇到的功率中的特殊组成部分来采用正确的测量技术。

程序化方法就是将书中的材料分解成一些小的步骤，并通过回答每一步骤后的提问，即能比较容易地检验出自己的进

步。你可按照适合于本人的速度进行学习。若对某一步还没有理解，则可反复学习直到弄清为止。

使用本书时宜采取下列方式：

1. 透彻地掌握每一讲的内容。
2. 回答每一讲后面的问题。
3. 将自己的答案与下一页给出的答案对照。
4. 回答期中测验题与期末测验题。
5. 校核自己的答案，并重新学习那些你尚未完全理解的那几讲。

附录中列有通过仪表变压器测量功率的线路，同时给出一些应用实例和线图中用以表示各线与联接端符号的说明。还提供了一份本书所用公式的汇总表。

目 录

第一讲	星形接法与三角形接法.....	(1)
第二讲	关于星形负载的三相功率.....	(3)
第三讲	关于三角形负载的三相功率.....	(5)
第四讲	有功功率、无功功率及视在功率.....	(7)
第五讲	瓦特计.....	(9)
	期中测验 1	(11)
第六讲	三相三线制的功率测量.....	(12)
第七讲	三相四线制的功率测量.....	(14)
第八讲	三相供电制中所呈现的实际负载.....	(16)
第九讲	不平衡三相三线负载的功率测量.....	(18)
第十讲	不平衡三相四线负载的功率测量.....	(20)
第十一讲	三相三线制中测量功率的“两瓦特计法”	(22)
	期中测验 2	(24)
第十二讲	单瓦特计测量三相三线制电源供应平衡 负载时的功率.....	(25)
第十三讲	实例.....	(27)
第十四讲	无功功率的测量.....	(29)
第十五讲	平衡的三相三线制中无功功率的测量.....	(31)
第十六讲	平衡的三相四线制中无功功率的测量.....	(33)
第十七讲	不平衡的三相三线制中无功功率的测量	(34)

期中测验 3	(36)
第十八讲 不平衡三相四线制中无功功率的测量	(37)
第十九讲 三相电路中瓦特计的保护	(38)
第二十讲 测试仪的优点	(40)
期末测验	(42)
附录	(45)
有功功率和无功功率用仪表变压器的测	
量线路	(45)
线图中所用的符号	(56)
单相及三相交流测量仪表在线图中各端的	
符号、用以计算的公式	(57)
与接法无关的公式	(58)
附录	
附录一	
附录二	
附录三	
附录四	
附录五	
附录六	
附录七	
附录八	
附录九	
附录十	
附录十一	
附录十二	
附录十三	
附录十四	
附录十五	
附录十六	
附录十七	
附录十八	
附录十九	
附录二十	
附录二十一	
附录二十二	
附录二十三	
附录二十四	
附录二十五	
附录二十六	
附录二十七	
附录二十八	
附录二十九	
附录三十	
附录三十一	
附录三十二	
附录三十三	
附录三十四	
附录三十五	
附录三十六	
附录三十七	
附录三十八	
附录三十九	
附录四十	
附录四十一	
附录四十二	
附录四十三	
附录四十四	
附录四十五	
附录四十六	
附录四十七	
附录四十八	
附录四十九	
附录五十	
附录五十一	
附录五十二	
附录五十三	
附录五十四	
附录五十五	
附录五十六	
附录五十七	
附录五十八	
附录五十九	
附录六十	
附录六十一	
附录六十二	
附录六十三	
附录六十四	
附录六十五	
附录六十六	
附录六十七	
附录六十八	
附录六十九	
附录七十	
附录七十一	
附录七十二	
附录七十三	
附录七十四	
附录七十五	
附录七十六	
附录七十七	
附录七十八	
附录七十九	
附录八十	
附录八十一	
附录八十二	
附录八十三	
附录八十四	
附录八十五	
附录八十六	
附录八十七	
附录八十八	
附录八十九	
附录九十	
附录九十一	
附录九十二	
附录九十三	
附录九十四	
附录九十五	
附录九十六	
附录九十七	
附录九十八	
附录九十九	
附录一百	

第一讲

星形接法与三角形接法

在三相电路中，我们假设负载是三个等值电阻，所以在供电网络中负载是平衡的。如在图1-1图1-2中，

$$R_{P1} = R_{P2} = R_{P3}$$

这种等值电阻的星形接法（图1-1）接于三线制上或四线制上是一样的，没有什么不同。各电阻的末端接在一个公共点上从而形成‘星点’。当接于四线制上时，星点联接于中线。

三角形接法（图1-2）是由每个电阻的末端接于下一个电阻的始端而成，三条电源线各联接于电阻的三个结点上。

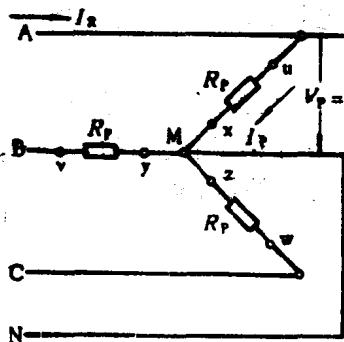


图 1—1

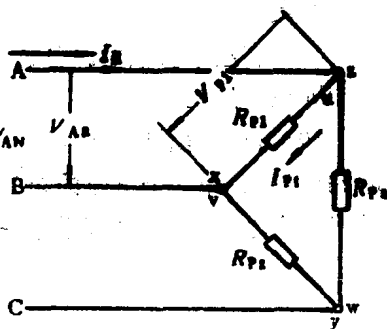


图 1—2

参考下列算式

	星形接法	三角形接法
线电压(线与线)	$V_L = V_{AB}, V_{BC}, V_{CA}$	$V_L = V_{AB}, V_{BC}, V_{CA}$
相电压(线与中线)	$V_P = V_{AN}, V_{BN}, V_{CN}$	$V_P = V_{P1}, V_{P2}, V_{P3}$
线电流	$I_L = I_A, I_B, I_C$	$I_L = I_A, I_B, I_C$
相电流	$I_P = I_{P1}, I_{P2}, I_{P3}$	$I_P = I_{P1}, I_{P2}, I_{P3}$
线电压	$V \sqrt{3} \times V_P$	$V_L = V_P$
线电流	$I_L = I_P$	$I_L = \sqrt{3} \times I_P$

问题 1

(a) 在星形接法中

(b) 在三角形接法中

各负载分路或各电阻的始端和末端是如何联接的?

答案 1

(a) 在星形接法中, 各负载电阻的末端 x, y 和 z 都联接于中点即星形的星点。

(b) 在三角形接法中, 第一个电阻的末端 x 接于第二个电阻的始端 v , 第二个电阻的末端 y 接于第三个电阻的始端 w , 而第三个电阻的末端 z 接于第一个电阻的始端 u 。

第二讲

关于星形负载的三相功率

建立星形负载的三相功率公式,我们先从图2-1开始说起,图中所示为每相中有一个电阻,共三个等值电阻。三个安培计与各电阻串联,用以测量其中的相电流;三个伏特计与电阻相并联,用以测量跨于电阻上的相电压。我们假设为了便于测量,星点已用导线引出。关于单相负载电阻,我们可以用功率公式:

$$P_P = V_P I_P$$

求出功率。

星形接法中三个等值电阻接成的负载,其功率为单相负载的三倍。

$$P = 3V_P I_P$$

各相中的 V_P 和 I_P 各量由相应的线电压 V_L 和线电流 I_L ——替代,我们得到:

$$P = 3 \frac{V_L}{\sqrt{3}} I_L$$

而 $3 = \sqrt{3} \times \sqrt{3}$, 上式可以简化为:

$$P = \sqrt{3} V_L I_L$$

量	P	V_L	I_L
单位	瓦	伏	安

纯电阻负载 ($\phi = 0^\circ$, $\cos\phi = 1$) 中的功率完全是有功功率, 该功率将转化为热, 有功功率的单位是瓦 (W)。

如上式所示, 星形负载中线路的三相功率可以从各线量 (指线电流、线电压)*加以计算, 所以不需测量各个相的量。

在实际中, 各线量总是能够测量得到的, 但不一定能找到星点的引出端 (例如星点隐藏在机壳内部)*, 所以并不能测出相电压。

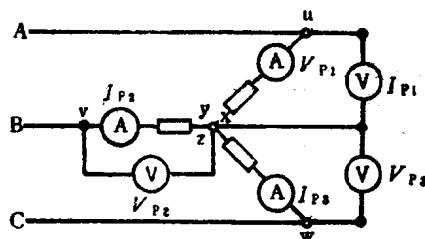


图 2—1

问题 2

如何计算平衡的三相负载线路的总功率?

答案 2

首先, 单相功率可以用公式 $P_P = V_P \cdot I_P$ 进行计算。至于三相功率的总功率, 可以由单相功率乘 3, 即 $P = 3V_P I_P$ 进行计算。也可以选择从更容易测量到的线量, 即 $P = \sqrt{3} I_L V_L$ 来计算三相功率。

第三讲

关于三角形负载的三相功率

为建立三角形接法的三相功率的公式,我们从图3-1开始。如前所述,三个安培计与各相负载串联测量相电流,三个伏特计跨接在每相的负载上测量相电压,而这三相负载是纯电阻并且是等值的。

再次说明,消耗于单相负载的功率,可以由功率公式

$$P_P = V_P I_P$$

求得。

关于三角形接法的三个电阻接成的负载,其功率消耗为单相负载的三倍:

$$P = 3P_P = 3V_P I_P$$

如果 V_P 和 I_P 各量由相应的线量 V_L 和 I_L 所替代,则:

$$P = 3 \frac{V_L}{\sqrt{3}} I_L$$

但因 $3 = \sqrt{3} \times \sqrt{3}$,所以此式可以简化为:

$$P = \sqrt{3} V_L I_L$$

量	P	V_L	I_L
单位	瓦	伏	安

如果我们比较这两个公式,平衡的星形接法功率公式和平

衡的三角形接法功率公式，我们发现它们是相同的公式。换言之，假设负载是平衡的，这公式的应用与负载无关。

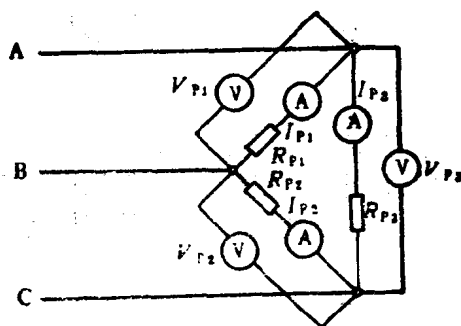


图 3—1

问题 3

为什么平衡的星形接法和平衡的三角形接法的三相功率公式是相同的？

答案 3

推导这两种接法的三相功率公式时，我们都是从单相负载电路中的功率开始推算的，再乘以 3，然后以线电压和线电流替代负载电路中的相电压和相电流，从而得出可用于两种不同接法的同一公式，即 $P = \sqrt{3} \cdot V_L \cdot I_L$ 。

第四讲

有功功率、无功功率及视在功率

交流电路理论中我们已知，负载电路中含有电阻和电抗，或者电阻和电容，吸收有功功率及无功功率，因为其中电压与电流之间存在着相位差。如果将功率的有功部分和无功部分进行几何相加，则我们得到视在功率。若在三相制中每一相的情况恰好是一样的。设相电压和相电流的相位角是 ϕ 。

利用从单相交流电路的公式，乘以 $\sqrt{3}$ ，可以得到如下的三相制中功率的各组成部分，即：

	单相	三相	单位
视在功率	$S = VI$	$S = \sqrt{3} V_L I_L$	伏安(VA)
有功功率	$P = VI \cos \phi$	$P = \sqrt{3} V_L I_L \cos \phi$	瓦(W)
无功功率	$Q = VI \sin \phi$	$Q = \sqrt{3} V_L I_L \sin \phi$	乏(var)
无功功率常由有功功率和 $\tan \phi$ 的乘积来表示，其公式为：			

$$Q = VI \sin \phi = \frac{P}{\cos \phi} \cdot \sin \phi = P \tan \phi$$

有功功率与无功功率几何相加得视在功率，

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

最后，大家熟悉的单相电路中关系，同样可用于三相电路：

$$\cos \phi = \frac{\text{有功功率}}{\text{视在功率}} = \frac{P}{S}, \quad \sin \phi = \frac{\text{无功功率}}{\text{视在功率}} = \frac{Q}{S}$$

参看图4-1:

$\cos\phi$ 称为功率因数, $\sin\phi$ 有时称为无功功率因数。

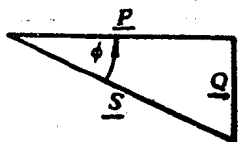


图 4 — 1

问题 4

功率因数如何用功率的两个组成部分之比来表示?

答案 4

$$\text{功率因数} = \cos\phi = \frac{\text{有功功率}}{\text{视在功率}} = \frac{P}{S}$$

第五讲

瓦 特 计

功率用瓦特计测量，瓦特计通常为一空芯动力型仪表，其中定圈（电流线圈，图5—1中1所示）载有负载电流；动圈（电压线圈，图中2），载有与负载电压成比例的电流。由于这两股电流形成的两个磁场之间的相互作用，从而使动圈偏转，而这偏转又受到绕成螺旋形的弹簧（图中3）所制约。



图 5—1

固定于动圈上的指针在固定的标度尺上指示消耗于负载中的功率。