

建筑电气设计

原理 30 讲

李旭东 梁金海 编著

中国建材工业出版社

建筑电气设计原理 30 讲

李旭东 梁金海 编著

中国建材工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

建筑电气设计原理 30 讲/李旭东, 梁金海编著.

北京: 中国建材工业出版社, 2018. 3 (2019. 1重印)

ISBN 978-7-5160-2176-7

I. ①建… II. ①李… ②梁… III. ①房屋建筑设备—电气设备—建筑设计 IV. ①TU85

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 036341 号

内 容 简 介

本书采用演绎论证和归纳论证的方法, 厘清了中外国家标准的一些差异与矛盾, 就国家标准和国家标准图集中存在的一些不足和问题进行了论证。

在建筑电气设计工作中, 电工学基础理论尤为重要, 本书针对零序电流、消弧线圈、TT 和 TN 系统保护原理、变压器过载保护、电梯负荷计算、CAN 总线报警技术等内容展开了篇幅较大的讨论, 意在巩固建筑电气从业人员理论基础。

本书有助于建筑电气设计工程师、施工图审查工程师、消防审查工程师、建筑电气施工工程师、规范编制人员等进一步了解建筑电气所涉及的基本原理、中外国家标准的差异与矛盾, 以及较为正确的设计规则与方法。

建筑电气设计原理 30 讲

李旭东 梁金海 编著

出版发行: 中国建材工业出版社

地 址: 北京市海淀区三里河路 1 号

邮 编: 100044

经 销: 全国各地新华书店

印 刷: 北京鑫正大印刷有限公司

开 本: 787mm×1092mm 1/16

印 张: 13.25

字 数: 320 千字

版 次: 2018 年 5 月第 1 版

印 次: 2019 年 1 月第 2 次

定 价: 56.00 元

本社网址: www.jcbs.com 微信公众号: [zjcgycbs](https://www.weixin.com/zjcgycbs)

本书如出现印装质量问题, 由我社市场营销部负责调换。联系电话: (010) 88386906

《建筑电气设计原理 30 讲》编写委员会

主 任 李旭东 梁金海

编委会成员 王国兴 刘福敬 龙广凤 李 蓬 马光胜 孙 震
苏 钢 郭鲁义 梁化军 罗金盛 吴 海 冯 峰
杨春霞 郭乃嘉 严江东 王金龙 王 培 王 云
罗卫东 梁淑芹 李 伟 刘文龙

序 言

《建筑电气设计原理 30 讲》主要讨论与建筑电气相关的基础性电气原理，涉及三个方面的内容：

1. 三相交流电路的计算。
2. 电器学基本原理在建筑电气领域内的应用。
3. 对 GB50 系列标准中相关条文的理解与争议的阐释。

全书文笔悉周完备，观点简明扼要，阐述了国家标准的特征：权威性、科学性、严谨性、严肃性以及标准的编制原则：工程技术、工程经济、使用安全相协调。国家标准是保证使用者基本安全的最低要求。

《标准化工作导则第 1 部分：标准的结构和编写》(GB/T 1.1—2009)中指出：国家标准条文编制的三个层次：要求层次、推荐层次、允许层次，正面用词“应”“宜”“可”，反面用词“不应”“不宜”“不可”。

第四个层次，由材料的、生理的或某种原因导致的可能性或能力，采用“能”“不能”“可能”“不可能”用于陈述电气现象的事实，不作为标准执行上的要求。

在现有 GB50 标准条文中，标准用语多采用：

表示很严格，非这样做不可：正面词采用“必须”（译自英语中的 must）；

表示严格，在正常情况下均应这样做：正面词采用“应”，（译自英语中的 should）；

表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做：正面词采用“宜”，（译自英语中的 may）；

表示有选择，在一定条件下可以这样做：采用“可”（译自英语中的 can）。这一选择项在西方国家标准中，仅用于陈述电气现象的事实，不作为标准执行上的要求。西方国家标准与 GB/T 1.1—2009 的要求相同。

就国家标准用词来讲，英文规范中的“must”相当于中文中的“应”；“should”相当于“宜”。GB/T 1.1—2009 标准明确，“应”就是“必须”，但不使用“必须”代替“应”，是因为“必须”是法定责任用语，“必须”作为标准的要求容易混淆“要求”与“责任”。“必须”强调责任上的不可推卸，“应”字偏于强调标准要求内容的不可更动。

作为国家注册咨询工程师、全国化工热工设计技术中心站常务委员、中国能源学会常务理事、中国勘察设计协会热工专委会委员、中国电机工程学会热电专业委员会委员、国家级压力管道设计鉴定评审员，笔者认为 GB/T 1.1—2009 的规定更为准确。

目前有关建筑电气审查要点、疑难解析、技术措施等内容的图书，版本繁多、且

观点多与规范相背离，这些资料既没有得到国家标准编写组的授权，也没有准确论述国家标准条文中存在的问题，令设计师更为困惑。

当对规范的理解出现纷争时，唯有编制组拥有解释权，并应公开发布解释的内容，否则任何个人的言论，都不具备标准的效用。

本书针对国家标准在实际工作应用中存在的一些问题提出质疑并加以讨论，以期改进与完善。在编写过程中，虽经反复推敲核正，仍难免有疏漏和不足，欢迎广大读者登录本书同名 QQ 群（群号：621185529）提出宝贵意见，共同讨论。

王国兴

2018 年 4 月于南京

目 录

1	零序电流计算方法解析	1
2	10kV 电缆线路中性点消弧线圈容量仿真计算示例	12
3	TN、TT 系统接地保护原理综述	19
4	变压器过载曲线与出口断路器的选配问题研究	26
5	电梯负荷计算方法的讨论	31
6	二表法测量三相三线制负载功率的计算原理	41
7	负荷分级双轨制下建筑电气设计师的困局	48
8	关于《火灾自动报警系统设计规范》(GB 50116—2013) 的讨论	53
9	《常用风机控制电路图》(16D303-2) 图集中关于双速风机控制原理的讨论	57
10	《常用风机控制电路图》(16D303-2) 图集中关于加压送风风机控制原理的讨论	65
11	关于国家标准电压偏差限值的理解	71
12	关于火灾自动报警系统的探究	77
13	关于火灾探测器的选择与保护范围的探究	81
14	关于过负荷校验公式 $I_2 \leq 1.45 I_n$ 的探究	86
15	《火灾自动报警系统设计规范》条文分析	94
16	间接接触防护措施中电器切断故障回路时间的探究	99
17	接地问题的相关研究	106
18	论消防类电动机负荷过载保护在工程实践中存在的问题	112
19	论消防水池液位监控系统设置的不足与改进	115
20	线路电压降计算方法详解	123
21	《火灾自动报警系统设计规范》解读及消防泵远程控制现状	127
22	以应急照明灯电路原理论建筑电气之乱象	142
23	再议住宅建筑负荷计算方法与指导意义	148
24	枣庄市居民用电负荷现状调查	154
25	短路隔离器的布线方法	168
26	关于《低压配电设计规范》(GB50054—2011) 6.2.3 的理解与应用	176
27	阻燃等级应用探究	181
28	灵敏度校验探究	185
29	上下级选择性探究	193
30	等电位的理念和应用探究	198
	参考文献	202

1 零序电流计算方法解析

阅读提示：本节给出序网计算在电能质量分析中的应用实例。

《民用建筑电气设计规范》(JGJ 16—2008)第 3.4 条电压选择和电能质量,承袭了《供配电系统设计规范》(GB 50052—95)第四章电压选择和电能质量,仅措词上略有差异,实质性内容并无不同。《供配电系统设计规范》(GB 50052—2009)第五章电压选择和电能质量,在谐波与三相电压不平衡度等电能质量方面有了较多的要求,其中 5.0.14 条,引述了推荐性标准《电能质量三相电压允许不平衡度》(GB/T 15543—2008),根据标准的应用规则,推荐性标准一经国家标准引用,即视为具有国家标准的效力,因为是全文引用,所以应视《电能质量三相电压允许不平衡度》全文为具有国家标准效力的规范条文。《供配电系统设计规范》(GB 50052—2009)第 5.0.9 条条文中给出了一个不对称电压相量图,见下图:

规范中 OO_1 为零序电压向量,零序电压向量既有方向也有大小。 OO_1 确定方向后,本图对分向量的求解分解方式,就不正确了。各分量始点应是 O_1 点, O 点是变压器中性点,中性点漂移只有大小没有方向,本图正确的求解如下图:

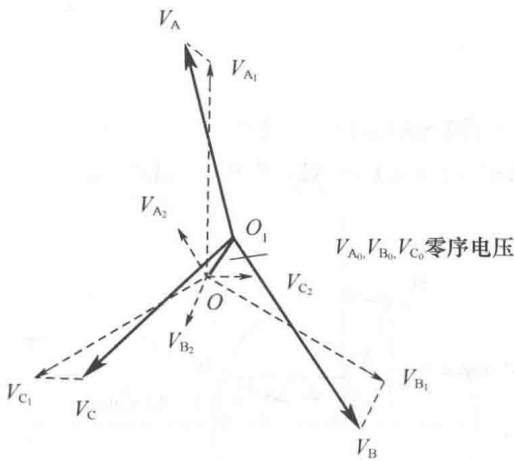


图 1-1 GB 50052—2009 第 5.0.9 条条文中给出的不对称电压相量图

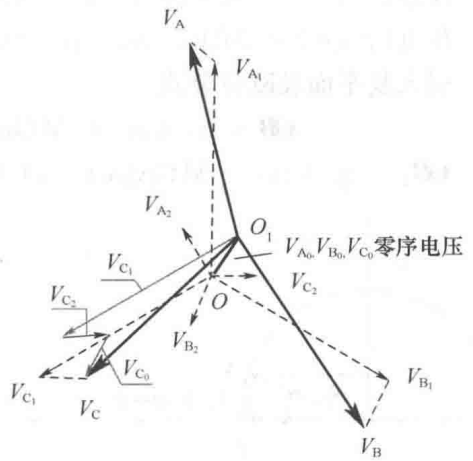


图 1-2 GB 50052—2009 第 5.0.9 条条文中给出的不对称电压相量图正确画法

《电能质量三相电压允许不平衡度》给出了三相电压允许不平衡度 $= \frac{V_{A2}}{V_{A1}}$, 因此, 电气设计人员应当懂得序网分析的基本手段。本文首先探讨《零序电流计算方法解析》文中未及原则, 其次给出三种分析思路:

1. 线路运行阶段, 通过测量相电压及其相位角, 计算分析三相电压不平衡度的方法。
2. 线路运行阶段, 通过测量线电压与任意两相相电压, 计算分析三相电压不平衡度。
3. 配电设计阶段, 给定各相负荷, 计算分析三相电压不平衡度的方法。

一、零序电流计算方法原则

1. 任何一个给定的正弦电路, 即幅值、频率给定, 其电气参数 $= K \sin(\omega t)$, 仅是时间的函数。任何一个给定的三相正弦交流电路, 其电气参数 $F_1 = K \sin(\omega_1 t), F_2 = M \sin(\omega_2 t), F_3 = N \sin(\omega_3 t)$, 电气参数仅是时间的函数。当我们研究同频率不同幅值不同相位角的三相正弦电路时, 有:

$$F_1 = K \sin(\omega t),$$

$F_2 = M \sin(\omega t + \alpha)$, 引入向量图直观可证, $M \sin(\omega t + \alpha)$ 即 M 绕原点由 ωt 角转过 α 角后的纵坐标值。

$F_3 = N \sin(\omega t + \beta)$, 引入向量图直观可证, $N \sin(\omega t + \beta)$ 即 N 绕原点由 ωt 角转过 β 角后的纵坐标值。

其中 K, M, N 为三相电路的峰值参数。

略证如下:

$$A \text{ 点 } (x_1, y_1) = K[\cos(\omega t), \sin(\omega t)]$$

$$A_1 \text{ 点 } = A \text{ 点 } (x_1, y_1) = K[\cos(\omega t), \sin(\omega t)]$$

引入复平面及欧拉公式

$$\mathbf{OA}_1 = x_1 + jy_1 = K \cos(\omega t) + jK \sin(\omega t) = Ke^{j(\omega t)}$$

$$A \text{ 点 } (x_1, y_1) = M[\cos(\omega t), \sin(\omega t)]$$

$$B \text{ 点 } (x_2, y_2) = M[\cos(\omega t + \alpha), \sin(\omega t + \alpha)]$$

引入复平面及欧拉公式

$$\mathbf{OB} = x_1 + jy_1 = M \cos(\omega t) + jM \sin(\omega t) = Me^{j(\omega t)}$$

$$\mathbf{OB}_1 = x_2 + jy_2 = M \cos(\omega t + \alpha) + jM \sin(\omega t + \alpha) = Me^{j(\omega t + \alpha)} = Me^{j(\omega t)} e^{j(\alpha)}$$

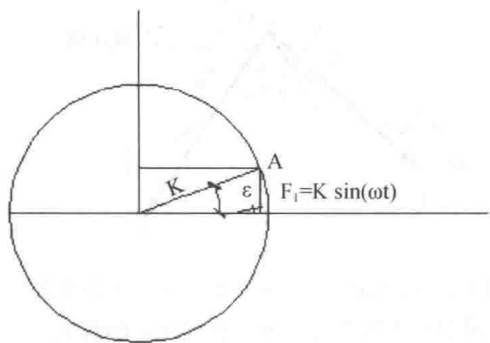


图 1-3 相量的旋转表示方法

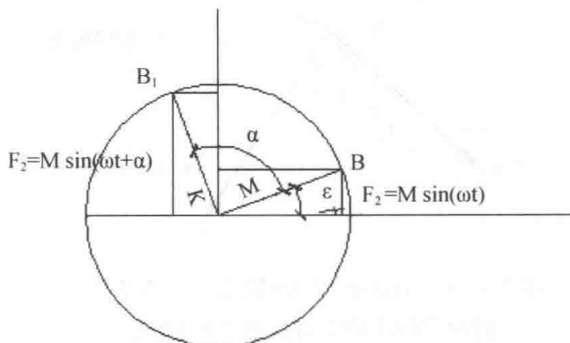


图 1-4 相量的旋转角度的叠加原理

$$C \text{ 点 } (x_1, y_1) = N[\cos(\omega t), \sin(\omega t)]$$

$$C_1 \text{ 点 } (x_2, y_2) = N[\cos(\omega t + \beta), \sin(\omega t + \beta)]$$

引入复平面及欧拉公式

$$OC = x_1 + jy_1 = N \cos(\omega t) + jN \sin(\omega t) = Ne^{j(\omega t)}$$

$$OC_1 = x_2 + jy_2 = N \cos(\omega t + \beta) + jN \sin(\omega t + \beta) = Ne^{j(\omega t + \beta)} = Ne^{j(\omega t)} e^{j(\beta)}$$

$$(OA_1 \quad OB_1 \quad OC_1) = Ke^{j(\omega t)} Me^{j(\omega t)} e^{j(\alpha)} Ne^{j(\omega t)} e^{j(\beta)} = e^{j(\omega t)} (K Me^{j(\alpha)} Ne^{j(\beta)})$$

对相量组 $(OA_1 \quad OB_1 \quad OC_1)$ 在任意时刻, 恒有 $(K Me^{j(\alpha)} Ne^{j(\beta)})$ 保持相角相对不变。 $(K Me^{j(\alpha)} Ne^{j(\beta)})$ 相量就是教科书中作相量图的基础。

2. 显而易见, $(K Me^{j(\alpha)} Ne^{j(\beta)})$ 相量组由于具有相同的 $e^{j(\omega t)}$, 即同频率同时序, 在任意瞬时, K, M, N 三个相量相位差角在同一个复平面上保持相对不变。当三个相量频率不相同或时序不相同, 不可以表达在同一个复平面上。

序网分析的方法, 与此相同。原相量、正序分量、负序分量、零序分量是同频率同时序的一组相量, 可以表达在同一个复平面上, 形如下列书写方式:

$$V_A = V_m \sin(\omega t)$$

$$V_B = V_m \sin(\omega t - 120)$$

$$V_C = V_m \sin(\omega t - 240)$$

其时序应为 C, B, A , 即 B 是对 C 的 $e^{j(120)}$ 旋转, A 是对 B 的 $e^{j(120)}$ 旋转, 当然各序分量也具有相同的旋转次序。

序网公式的简单推证, 如下图:

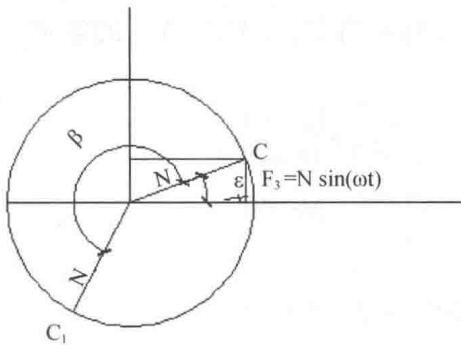


图 1-5 相量的旋转角度的叠加原理

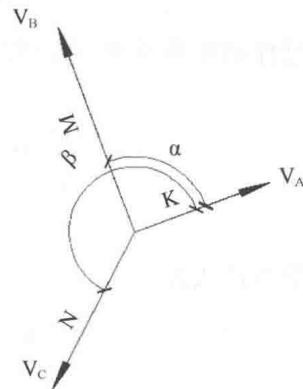


图 1-6 任意一组三相不对称相量 ($\beta > \alpha > 0$)

a) 当 $\beta > \alpha > 0$ 时

对 $V_A = K$

$$V_B = Me^{j(\alpha)}$$

$V_C = Ne^{j(\beta)}$ 相量组

V_{A_0} 表示 V_A 的零序分量。

V_{A_1} 表示 V_A 的正序分量。

V_{A_2} 表示 V_A 的负序分量。

根据对称相量的原则, 可以得出:

$$V_{B_0} = a^3 V_{A_0} = e^{j(360)} V_{A_0} \text{ 即 } V_{B_0} \text{ 超前 } V_{A_0} \text{ 360 度。}$$

$$V_{B_1} = a V_{A_1} = e^{j(120)} V_{A_1} \text{ 即 } V_{B_1} \text{ 超前 } V_{A_1} \text{ 120 度。}$$

$$V_{B_2} = a^2 V_{A_2} = e^{j(240)} V_{A_2} \text{ 即 } V_{B_2} \text{ 超前 } V_{A_2} \text{ 240 度。}$$

$V_{C_0} = a^3 V_{B_0} = e^{j(720)} V_{A_0}$ 即 V_{C_0} 超前 V_{B_0} 360 度。

$V_{C_1} = a V_{B_1} = e^{j(240)} V_{A_1}$ 即 V_{C_1} 超前 V_{B_1} 120 度。

$V_{C_2} = a^2 V_{B_2} = e^{j(480)} V_{A_2}$ 即 V_{C_2} 超前 V_{B_2} 240 度。

$e^{j(480)} V_{A_2} = e^{j(120)} V_{A_2}$ 数值上相等, 但是相位角是有区别的, 计算时仅考虑数值, 将原相量用各分量和表示, 并按角度大于等于 360° 时, 用角度值 -360° 代替原角度。简化如下:

$$V_A = K = V_{A_0} + V_{A_1} + V_{A_2}$$

$$V_B = Me^{j(\alpha)} = V_{B_0} + V_{B_1} + V_{B_2} = V_{A_0} + e^{j(120)} V_{A_1} + e^{j(240)} V_{A_2}$$

$$V_C = Ne^{j(\beta)} = V_{C_0} + V_{C_1} + V_{C_2} = V_{A_0} + e^{j(240)} V_{A_1} + e^{j(120)} V_{A_2}$$

因此, 对 $(K \quad Me^{j(\alpha)} \quad Ne^{j(\beta)})$ 相量组, 有:

$$\begin{pmatrix} V_A \\ V_B \\ V_C \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & e^{j(120)} & e^{j(240)} \\ 1 & e^{j(240)} & e^{j(120)} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V_{A_0} \\ V_{A_1} \\ V_{A_2} \end{pmatrix} \text{ 即}$$

$$\begin{pmatrix} K \\ Me^{j(\alpha)} \\ Ne^{j(\beta)} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & e^{j(120)} & e^{j(240)} \\ 1 & e^{j(240)} & e^{j(120)} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V_{A_0} \\ V_{A_1} \\ V_{A_2} \end{pmatrix}$$

通过伴随矩阵求解逆矩阵, 进而求解, 容易证明 V_{A_0} 、 V_{A_1} 、 V_{A_2} 的解唯一存在。解得:

$$\begin{pmatrix} V_{A_0} \\ V_{A_1} \\ V_{A_2} \end{pmatrix} = \frac{1}{3} \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & e^{j(240)} & e^{j(120)} \\ 1 & e^{j(120)} & e^{j(240)} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} K \\ Me^{j(\alpha)} \\ Ne^{j(\beta)} \end{pmatrix}$$

数学表达式为:

$$V_{A_0} = \frac{1}{3}(K + Me^{j(\alpha)} + Ne^{j(\beta)})$$

$$V_{A_1} = \frac{1}{3}(K + Me^{j(\alpha+240)} + Ne^{j(\beta+120)})$$

$$V_{A_2} = \frac{1}{3}(K + Me^{j(\alpha+120)} + Ne^{j(\beta+240)})$$

b) 当 $\beta < \alpha < 0$ 时

按照 B 的正负序分量是对 C 的正负序分量做 $e^{j(120)}$ 旋转, A 的正负序分量是对 B 的正负序分量做 $e^{j(120)}$ 旋转的原则, 重复 a) 的步骤, 有:

$$\begin{pmatrix} V_C \\ V_B \\ V_A \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & e^{j(120)} & e^{j(240)} \\ 1 & e^{j(240)} & e^{j(120)} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V_{C_0} \\ V_{C_1} \\ V_{C_2} \end{pmatrix} \text{ 即}$$

$$\begin{pmatrix} Ne^{j(\beta)} \\ Me^{j(\alpha)} \\ K \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & e^{j(120)} & e^{j(240)} \\ 1 & e^{j(240)} & e^{j(120)} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V_{C_0} \\ V_{C_1} \\ V_{C_2} \end{pmatrix}$$

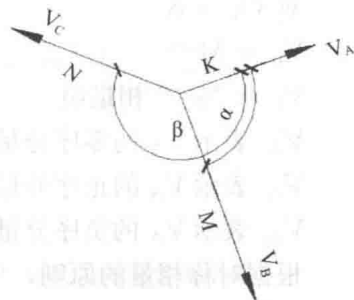


图 1-7 任意一组三相不对称相量 ($\beta < \alpha < 0$)

通过伴随矩阵求解逆矩阵，进而求解，容易证明 V_{C_0} 、 V_{C_1} 、 V_{C_2} 的解唯一存在。解得：

$$\begin{pmatrix} V_{C_0} \\ V_{C_1} \\ V_{C_2} \end{pmatrix} = \frac{1}{3} \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & e^{j(240)} & e^{j(120)} \\ 1 & e^{j(120)} & e^{j(240)} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} Ne^{j(\beta)} \\ Me^{j(\alpha)} \\ K \end{pmatrix}$$

数学表达式为：

$$V_{A_0} = \frac{1}{3} (Ne^{j(\beta)} + Me^{j(\alpha)} + K)$$

$$V_{A_1} = \frac{1}{3} (Ne^{j(\beta)} + Me^{j(\alpha+240)} + Ke^{j(120)})$$

$$V_{A_2} = \frac{1}{3} (Ne^{j(\beta)} + Me^{j(\alpha+120)} + Ke^{j(240)})$$

以上就是序分量的分解过程。

二、通过测量相电压及其相位角，计算分析三相电压不平衡度的方法

根据以上分析，对任意给定的三相线路，只需要测量其相电压及相位角，三相电压不平衡度即可直接算出。

比如测定， $K=200V$ ， $M=190V$ ， $N=172V$ ， $\alpha=90.3^\circ$ ， $\beta=222.16^\circ$

$$\begin{aligned} V_{A_0} &= \frac{(K + Me^{j(\alpha)} + Ne^{j(\beta)})}{3} \\ &= \frac{200 + 190e^{j(90.3)} + 172e^{j(222.16)}}{3} \\ &= \frac{200 + 190(\cos 90.3 + j \sin 90.3) + 172(\cos 222.16 + j \sin 222.16)}{3} \\ &= \frac{71.5 + 74.6j}{3} \end{aligned}$$

模=34.4，与 K 成角 46.3°

$$\begin{aligned} V_{A_1} &= \frac{K + Me^{j(\alpha+240)} + Ne^{j(\beta+120)}}{3} \\ &= \frac{200 + 190e^{j(90.3+240)} + 172e^{j(222.16+120)}}{3} \\ &= \frac{200 + 190(\cos 330.3 + j \sin 330.3) + 172(\cos 342.16 + j \sin 342.16)}{3} \\ &= \frac{529 - 146.8j}{3} \\ &= 176.3 - 48.94j \end{aligned}$$

模=183.0，与 K 成角 -15.5°

$$V_{A_2} = \frac{K + Me^{j(\alpha+120)} + Ne^{j(\beta+240)}}{3}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{200 + 190e^{j(90.3+120)} + 172e^{j(222.16+240)}}{3} \\
 &= \frac{200 + 190(\cos 210.3 + j \sin 210.3) + 172(\cos 462.16 + j \sin 462.16)}{3} \\
 &= \frac{-0.2 + 72.24j}{3} \\
 &= -0.07 + 24.0j
 \end{aligned}$$

模=24.0, 与 K 成角 90.0°

$$\epsilon = \frac{|V_{A2}|}{|V_{A1}|} = \frac{24}{183} = 13.1\%$$

这一结果严重超过了规范要求。

或直接用作图法, 见下图:

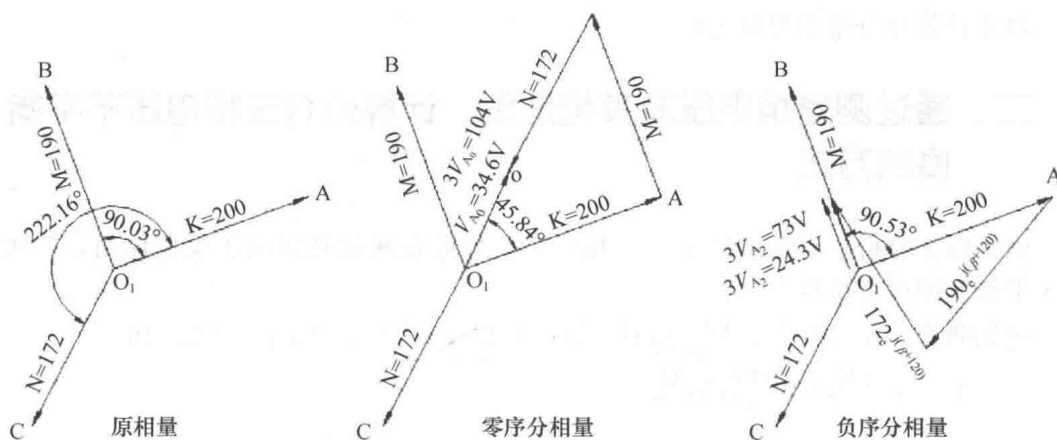


图 1-8 任意一组三相不对称相量零序分量、负序分量的求解过程

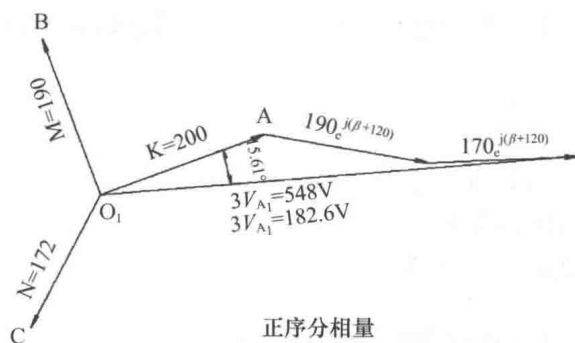


图 1-9 任意一组三相不对称相量正序分量的作图求解过程

由图中量取正负序分量线段长, 求得 $\epsilon = 24.3 \div 182.6 = 13.3\%$
 误差 0.2% 为可接受范围, 这是作图误差与计算误差的原因。
 此法需要测量相位角, 不适合一般性的电路分析。

三、通过测量线电压与任意两相相电压，计算分析三相电压不平衡度的方法

假定测量结果如图 1-10：

C 相电压可测量亦可不测量，通过作图法，测量 CO_1 的长度 $N=210V$ ，忽略线路动态变化因素与测量误差时，该值应和现场测量值相吻合。

解三角形或测量角度值，得 $\alpha = \angle AO_1B$ 、 $\beta = \angle AO_1B + \angle BO_1C$ ，采用上文方法计算易得不平衡度 $\epsilon = 13.1\%$ ，或直接用作图法，由图中量取正负序分量线段长，求得 $\epsilon = 24.3 \div 182.6 = 13.3\%$ ，不赘述。

本方法亦需判定 A、B、C 各相时序，方可完整分析计算三相电压的不平衡度，说明如下：

图 1-11 中左图相量分解已分析过，见上文。右图是沿 O_1A 镜像后得时序为 C、B、A 图 1-10 实际测量得到的一组三相不对称相量的一组相量，简单作图讨论如下：

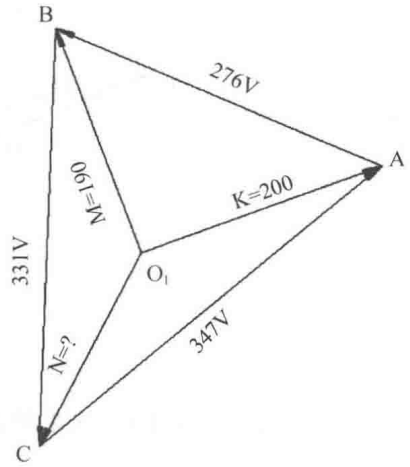


图 1-10 实际测量得到的一组三相不对称相量

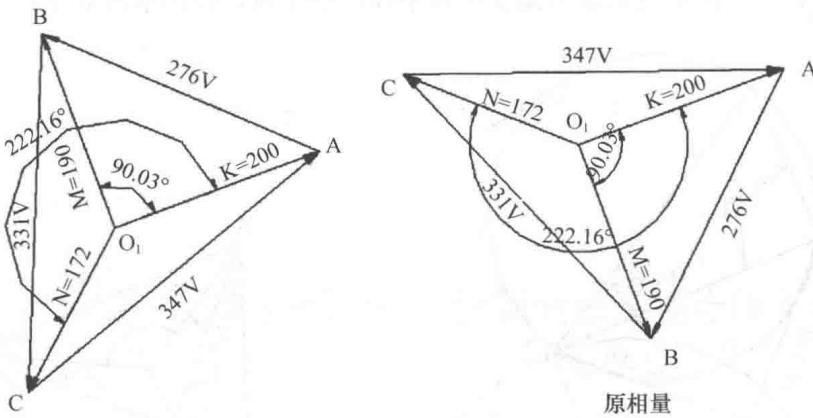


图 1-11 实际测量得到的一组三相不对称相量的两种可能性

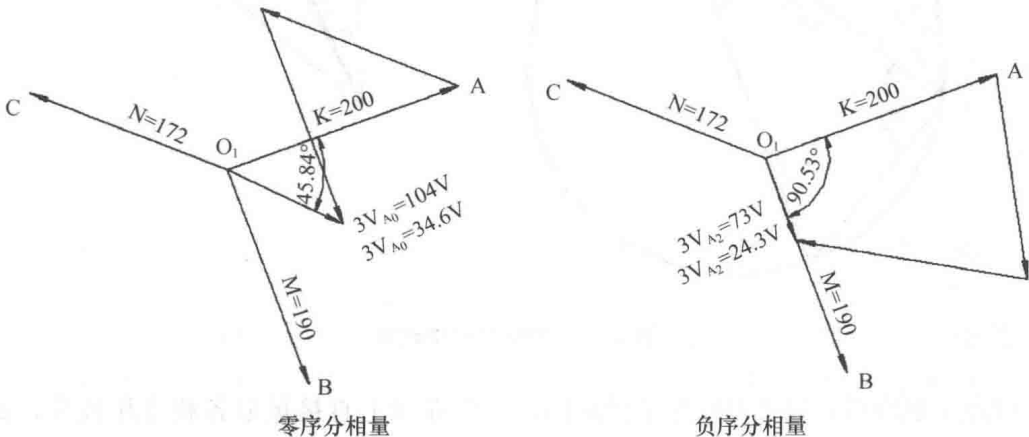


图 1-12 实际测量得到的一组三相不对称相量序分量求解

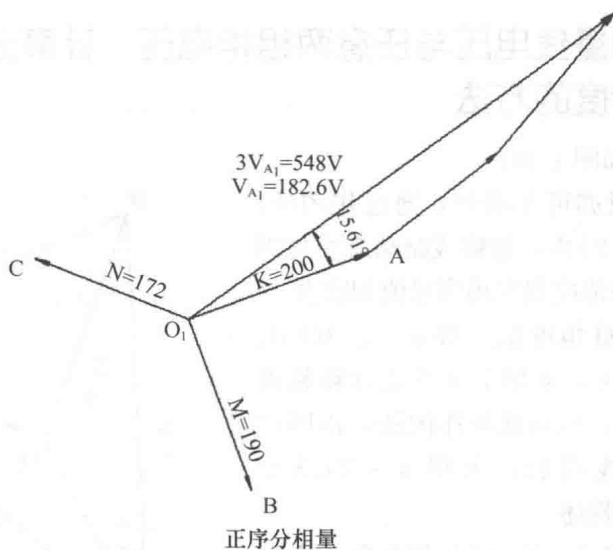


图 1-13 实际测量得到的一组三相不对称相量序分量求解

本法还可以进一步分析电压损失。原理是负荷处测得的线电压构成的 $\triangle ABC$ 顶点与变压器处测得的线电压构成的三角形顶点连线，必交于 $\triangle ABC$ 内（见图 1-14 左图），且交角互为 120° 。该交点表征的是变压器中性线端子点，作图求解如下：

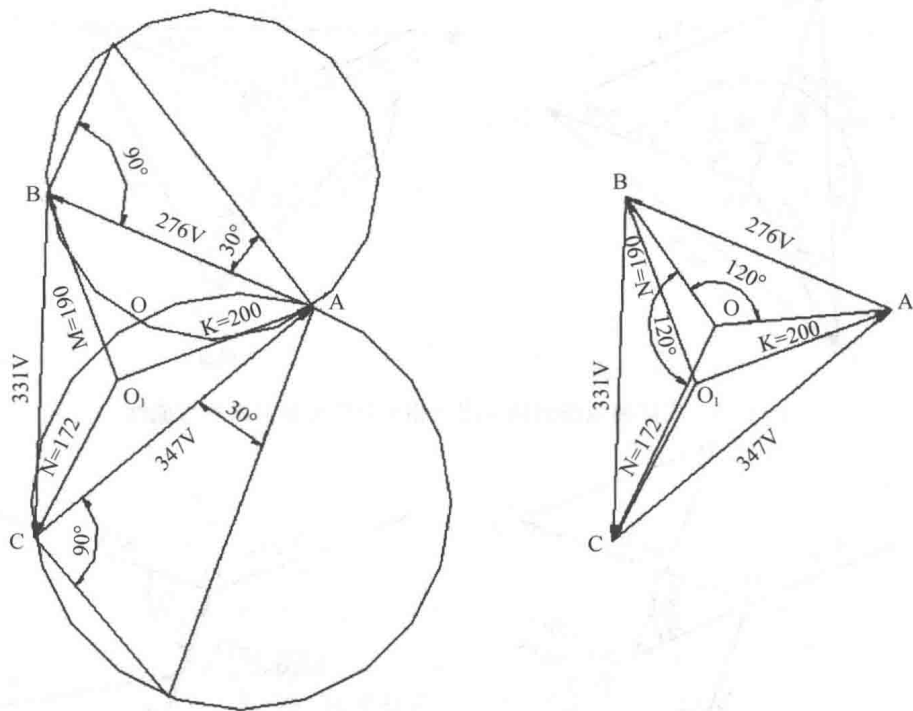
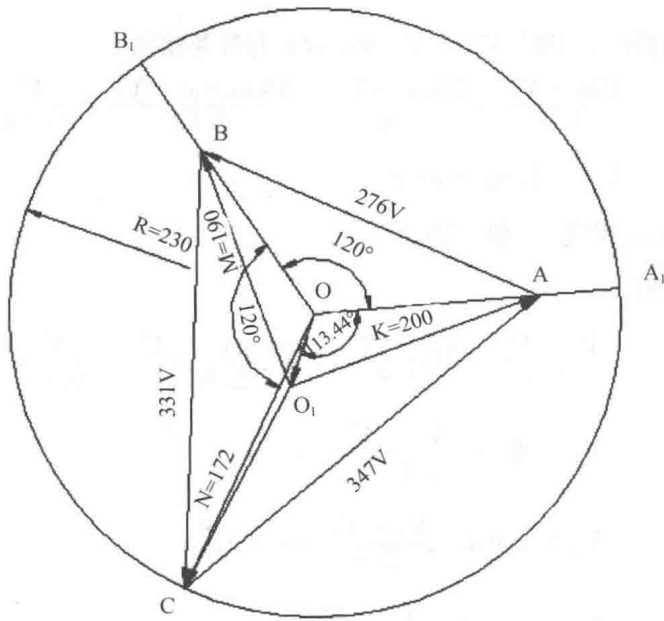


图 1-14 中性点 O 的求解

O 点求取以后，以 $230V$ 为半径画图，可以在圆上直接量取各相电压损失，如图 1-15：



中性点漂移 $OO_1=59V$ ，与点A夹角 113.44°
 A相电压损失 $61V$
 B相电压损失 $81V$

图 1-15 中性点漂移电压与各相电压损失的求解

图 1-14 左图，弧 AOB 上任意一点，构成的圆周角 $\angle AOB = 120^\circ$ ，再求 $\angle AOC = 120^\circ$ 。

两个圆的交点必然是中性点 O 。

四、设计阶段，给定各相负荷，计算分析三相电压不平衡度的方法

设某工程采用 $YJV-1.0-4 \times 70 + 1 \times 35$ 电缆埋地敷设，以配电线路长 100m 为例计算，各相负载如下：

A. N 相间连接设备，额定电流 120A，额定电压 230V，阻抗 $R=1.9\Omega$ ，在三相电路分析中，设备阻抗被认定为唯一不变量。端电压用 V_1 表示。

B. N 相间连接设备，额定电流 60A，额定电压 230V，阻抗 $R=3.8\Omega$ 。端电压用 V_2 表示。

C. N 相间连接设备，额定电流 90A，额定电压 230V，阻抗 $R=2.53\Omega$ 。端电压用 V_3 表示。

中性点漂移由中性线电流与中性线阻抗决定，中性线电流一定时，中性线截面越大，漂移越小；中性线截面越小，漂移越大。当中性线正常时，中性点漂移 OO_1 并不太大。相电压 $V_{A_1} \approx 230 - V_{AA_1}$

配电采用 $YJV-1.0-4 \times 70 + 1 \times 35$ 电缆埋地敷设，配电线路长 100m，单相阻

抗 0.031Ω 。

不考虑电缆压降时，均以 $V_a = V_m \sin(\omega t)$ 为参考相角

$$\frac{230 - V_0}{1.9} + \frac{230a - V_0}{3.8} + \frac{230a \times a - V_0}{2.53} = \frac{V_0}{0.031}$$

$$V_0 = 1.35 - j0.8$$

模 = 1.57，与 A 相成 V_2 角 -30.6°

考虑电缆压降时

$$\frac{V_1 - V_0}{1.9} + \frac{aV_2 - V_0}{3.8} + \frac{a \times aV_3 - V_0}{2.53} = \frac{V_0}{0.031}$$

$$V_1 = 230 - \frac{V_1 - V_0}{1.9} \times 0.031$$

$$V_2 = 230a - \frac{V_2 - V_0}{3.8} \times 0.031$$

$$V_3 = 230a^2 - \frac{V_3 - V_0}{2.53} \times 0.031$$

解方程组，简化为：

$$\frac{226.4 - 0.984V_0}{1.9} + \frac{228.2a - 0.992V_0}{3.8} + \frac{227.3a \times a - 0.988V_0}{2.53} = \frac{V_0}{0.031}$$

$$V_0 = 1.117 - j0.78$$

模 = 1.4，与 A 的夹角 -33.85°

$$\begin{aligned} V_1 &= 226.38 + 0.016V_0 \\ &= 226.38 + 0.016(1.117 - j0.78) \\ &= 226.4 - j0.012 \end{aligned}$$

模 = 226.4，与 A 的夹角 -0.003°

$$\begin{aligned} V_2 &= 228.2a + 0.008V_0 \\ &= 228.2a + 0.008(1.117 - j0.78) \\ &= 228.2a + 0.008(1.117 - j0.78) \\ &= -114.1 + j197.6 \end{aligned}$$

模 = 228.2，与 A 的夹角 120°

$$\begin{aligned} V_3 &= 227.3a^2 + 0.012V_0 \\ &= 227.3a^2 + 0.012(1.117 - j0.78) \\ &= -113.6 - j196.85 \end{aligned}$$

模 = 227.3，与 A 的夹角 240°