

内 容 提 要

全书共分十五章：介绍了电力系统的运行操作和事故处理，以及与此有关的一些必要理论和基本计算方法：潮流、短路电流计算，继电保护原理、整定原则和电力系统稳定、提高稳定的措施及发电机、调相机、变压器、高压开关、消弧线圈的运行、电力系统内部过电压和不对称运行等。此外，还叙述了频率、电压的调整等。

为了理论密切联系实际，各章均有典型的计算实例。《附录》中提供了各种图表与设备型号、参数，可供有关人员查阅。

本书可作为电力系统调度、运行人员的培训教材，对从事电力系统工作的人员也有参考价值。

电力系统运行操作和计算

东北电业管理局调度局

*

水利电力出版社出版

(北京德胜门外六铺炕)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

中国建筑工业出版社印刷厂排字

天水新华印刷厂印刷

*

1977年10月北京第一版

1977年10月甘肃第一次印刷

印数 00001—15710 册 每册 4.00 元

书号 15143·3102

毛主席语录

鼓足干劲，力争上游，多快好省地建设社会主义。

在生产斗争和科学实验范围内，人类总是不断发展的，自然界也总是不断发展的，永远不会停止在一个水平上。因此，人类总得不断地总结经验，有所发现，有所发明，有所创造，有所前进。

自力更生，艰苦奋斗，破除迷信，解放思想。

前 言

电力工业是国民经济的“先行官”。在毛主席无产阶级革命路线指引下，电力工业得到了迅速发展。特别是无产阶级文化大革命以来，电力工业战线上的广大职工高举“鞍钢宪法”光辉旗帜，深入开展“工业学大庆”群众运动，进一步加快了电力工业步伐。大型、中小型火力发电厂和水力发电厂不断建成，各级电压送电线路和变电所遍及城乡，全国各地已连成许多大小不同的电力系统。

随着电力工业的迅速发展，电力系统调度的任务日益繁重。为了提高调度人员的路线觉悟和工作水平，水利电力部在东北举办了两期全国电力系统调度学习班，并要求把学习班讲义和各单位交流的经验整理出版，作为电力系统办学习班的资料，供具有中等专业水平的调度运行人员学习参考。

本书着重讨论电力系统的运行操作和事故处理以及与此有关的一些必要的概念和理论，同时也介绍了电力系统调度人员经常使用的一些基本计算方法。

参加本书编写和整理工作的还有吉林省电力局、黑龙江省电力局东部电网调度局、丰满发电厂、旅大、四平、延边、抚顺、本溪、朝阳、铁岭电业局以及东北电业管理局技术改进局的同志。湖南大学电力教研室的同志编写了本书第三章、第六章和第十二章。来自全国各地的电力系统调度同志，对本书内容提供了宝贵意见，为本书出版给予很大帮助和支持。对此，我们表示衷心感谢。

由于我们对马列主义和毛主席著作学的不够，对广大群众的创造了解不多，对电力系统运行缺乏经验，所以本书只整理编写了电力系统运行操作和计算的一部分内容，而且肯定会存在缺点和错误，希望广大读者提出意见，以便进一步修改。

东北电业管理局调度局

一九七四年十月

符 号 说 明

一、编 制 原 则

1. 设备名称符号

本书采用的设备名称符号系以汉语拼音第一（或第一、二）个字母表示。

【例】F	发电机	T	调相机
B	变压器	K	开关
D	电动机	DK	电抗器
L	励磁机	XH	消弧线圈

2. 专门名词符号

用国际统一或通用的符号。

【例】U(u)	电压	S(s)	复功率,容量,滑差,调差系数
I(i)	电流	f	频率
R(r)	电阻	T	周期,时间常数
X(x)	电抗	F	截面积
Z(z)	阻抗		

3. 符号下标

(1) 用国际统一的下标。

【例】 X_d	纵轴同步电抗	U_{max}	最大电压
X_q	横轴同步电抗	U_{min}	最小电压

(2) 用汉语拼音标注的下标。

【例】 U_N	额定电压	R_b	变压器的短路电阻
U_j	基准电压	X_b	变压器的短路电抗
$U_b\%$	变压器短路电压的百分值		

二、符 号 意 义

符 号	意 义	符 号	意 义
B	电纳	E	电势
b_0	线路单位长度的电纳	E'	暂态电势
C	电容,分布系数	E_0	发电机的空载电势
C_0	线路单位长度的电容	E'_d	发电机纵轴暂态电势
D_{p1}	几何平均距离	E''_d	发电机纵轴次暂态电势
d	中性点经消弧线圈接地网络的 阻尼率	E_f	发电机的感应电势
e	自然对数的底, $e=2.7183$	E_{sc}	发电机剩磁产生的空载电势
		E_δ	发电机气隙电势

符 号	意 义
f	频率
F	磁势
G	电导
g_0	线路单位长度的电导
g	重力加速度
GD^2	飞轮惯量
I_C	电容电流, 充电电流
I_{DL}	短路电流
I'_{DL}	突然三相短路时次暂态电流的有效值
I_e	额定电流
I_{FH}	负荷电流
I'_{FTB}	非同步并列时发电机次暂态电流
I_j	基准电流
I'_m	突然三相短路时次暂态电流的最大值
I_0	变压器的励磁电流(空载电流), 电动机的励磁电流, 零序电流
I_p	电流的有功分量
I_Q	电流的无功分量, 起动电流
I_1	正序电流
I_2	负序电流
I_d	发电机定子电流的纵轴分量
I_q	发电机定子电流的横轴分量
i_L	发电机励磁(转子)电流
i_{FZO}	短路瞬间, 短路电流非周期分量的瞬时值
i_{ZO}	短路瞬间, 短路电流周期分量的瞬时值
J	发电机组的转动惯量
K	中性点经消弧线圈接地网络的调谐度(脱谐度)
K_{CH}	冲击系数
K_{DL}	发电机的短路比
K_P	功率的静态储备系数
K_U	电压的静态储备系数
K_{fu}	频率的电压效应系数
K_{Pf}	有功负荷的频率静态调节效应系数(当 U =常数)
K_{PU}	有功负荷的电压调节效应系数(当 f =常数)

符 号	意 义
K_{Qf}	无功负荷的频率调节效应系数(当 U =常数)
K_{QU}	无功负荷的电压调节效应系数(当 f =常数)
K_{Uf}	电压的频率效应系数
k	变压器变比系数
L_0	线路单位长度的电感
l	线路长度
M	转矩, 互感
M_{DL}	三相短路时的发电机转矩
M_{FTB}	非同步转矩
M_Q	起动转矩
M_{TB}	同步转矩
M_{TR}	拖入转矩
M_{YB}	异步转矩
$M_{YB.P}$	平均异步转矩
M_{YD}	原动机转矩
M_{ZO}	阻力矩
n	转速
n_L	电流互感器的变流比
p	发电机的对数
P	有功功率
P_m	有功功率的最大值
P_{FH}	负荷的有功功率
P_J	极限功率
ΔP	有功功率损耗
ΔP_B	变压器的有功损耗
ΔP_D	变压器的短路损耗
ΔP_{Fe}	变压器铁芯的有功损耗
ΔP_0	变压器的空载损耗
Q	无功功率
Q_C	电容的无功功率
Q_{FH}	负荷的无功功率
Q_0	电动机的励磁功率
ΔQ	无功损耗
ΔQ_B	变压器的无功损耗
ΔQ_0	变压器的空载无功损耗
R	电阻
r_0	线路单位长度的电阻
S	功率, 容量, 调差系数, 复功率
S_C	充电功率
S_0	额定容量

符 号	意 义	符 号	意 义
S_{FH}	负荷功率	U_1	正序电压
S_j	基准容量	U_2	负序电压
s	滑差	U_0	零序电压
ΔS	均衡功率, 空载损耗, 网损	ΔU	电压降的纵分量
ΔS_B	变压器的功率损耗	δU	电压降的横分量
ΔS_0	变压器的空载损耗	X_B	变压器短路电抗
T	全系统转动质量惯性时间常数 (归算到额定功率, 用秒表示), 电容器年运行小时数, 周期	X_{H2}	自耦变压器的短路电抗
T_a	发电机定子回路非周期分量 (自由电流) 衰减的时间常数 (秒)	X_F	发电机电抗
T_{d0}	发电机定子绕组开路时励磁绕组 (转子) 回路的时间常数 (秒)	X_m	励磁电抗
T'_{d0}	发电机定子绕组开路时的纵轴暂态时间常数 (秒)	X_{XL}	线路电抗
T''_{d0}	发电机定子绕组开路时的纵轴次暂态时间常数 (秒)	X_{XT}	系统电抗
T'_d	发电机定子绕组短路时纵轴暂态时间常数 (秒)	X_d	发电机纵轴同步电抗
T''_d	发电机定子绕组短路时纵轴次暂态时间常数 (秒)	X'_d	发电机纵轴暂态电抗
T'_q	发电机定子绕组短路时横轴时间常数 (秒)	X''_d	发电机纵轴次暂态电抗
T''_q	发电机定子绕组短路时横轴时间常数 (秒)	X_q	发电机横轴同步电抗
T_{1d}	发电机纵轴阻尼绕组回路时间常数 (秒)	X''_q	发电机横轴次暂态电抗
T_f	系统频率变化的时间常数 (秒)	X_p	包梯电抗
T_g	机械惯性时间常数 (秒)	X_s	发电机定子漏电抗
$U_D\%$	变压器的短路电压百分值	X_{Ls}	发电机励磁绕组漏电抗
U_{DP}	变压器短路电压的有功分量	X_{ad}	发电机纵轴电枢反应电抗
U_{DQ}	变压器短路电压的无功分量	X_{aq}	发电机横轴电枢反应电抗
U_0	额定电压	X_{1d}	发电机转子纵轴阻尼绕组漏电抗
U_j	基准电压	X_{1q}	发电机转子横轴阻尼绕组漏电抗
U_{LJ}	临界电压	$X_2^{(2)}$	发电机出线端两相短路时的负序电抗
U_m	电压最大值	$X_2^{(\sim)}$	线路上两相短路或正弦电流非正弦电压下异步制动时的负序电抗
U_N	中性点电压	$X_2^{(a)}$	正弦电压非正弦电流下异步制动时的负序电抗
U_P	平均电压	$X_2^{(1)}$	单相对中性点短路时的负序电抗
U_X	相电压	$X_2^{(2-0)}$	两相对中性点短路时的负序电抗
U_{X-X}	相间 (线) 电压	X_{LJ}	临界电抗
U_{XT}	系统电压	Z_{Bt}	变压器的特性阻抗, $Z_{Bt} = \sqrt{\frac{L}{C}}$
		Z_{FH}	负荷阻抗
		δ	两电势间的夹角

符 号	意 义
δ_H	合闸角
ρ	备用容量系数, 等于全系统发电机额定功率总和与全系统总负荷(包括厂用电及网损)之比
σ_1	不对称运行时电流的不对称度
σ_L	漏磁系数
v_0	网络的不对称度
$v_{0.1}$	由于一相电容减小引起的网络不对称度
$v_{0.2}$	由于两相电容减小引起的网络不对称度
$\dot{v}$	中性点消弧线圈接地系统网络的脱谐度
ω	工频角频率
ω_0	同步电角速度(角频率), 变压器的自振(角)频率
Φ	磁通
$\Psi_{ad}(\Phi_{ad})$	纵轴电枢反应磁链(通)
$\Psi_d(\Phi_d)$	主磁链(通)
$\Psi_{ls}(\Phi_{ls})$	励磁绕组的漏磁链(通)
$\Psi_L(\Phi_L)$	励磁绕组产生的总磁链(通)

符 号	意 义
$\Psi_s(\Phi_s)$	定子绕组的漏磁链(通)
Ω	机械角速度
Ω_0	系统等值机的机械角速度
B	变压器
D	电动机
DK	电抗器
F	发电机
K	开关
LH	电流互感器
YH	电压互感器
RD	熔断器
XH	消弧线圈
XL	线路
CJ	差动继电器
GJ	方向(功率)继电器
PJ	平衡继电器
SJ	时间继电器
XJ	信号继电器
ZJ	中间继电器
ZKJ	阻抗继电器

目 录

前 言

符号说明

第一章 电力系统的运行操作	1
第一节 操作概述	1
第二节 电网的相位	3
第三节 开关、刀闸、母线的操作	8
第四节 输电线路的操作	22
第五节 变压器的操作	29
第六节 环形网络的并解列	33
第七节 电源的并解列	41
第八节 发电机的自励磁和发电机向空载线路从零起加压	69
第二章 电力网的潮流计算	81
第一节 电力网元件的阻抗和导纳	81
第二节 输电线和变压器的功率损耗	93
第三节 输电线和变压器的电压损耗	100
第四节 开式电力网的潮流计算	107
第五节 闭式电力网潮流计算的力矩法	111
第六节 闭式电力网潮流计算的分布系数法	116
第七节 闭式电力网潮流计算的网路变换法	128
第八节 闭式电力网内考虑变压器变比时的功率分布	131
第九节 长线路的计算	134
第十节 复杂系统潮流计算的一般步骤	139
第三章 电力系统短路的分析和计算	142
第一节 短路电流的变化过程	142
第二节 暂态电势和暂态电抗	145
第三节 短路电流计算的基本假设和三相短路次暂态电流的计算	149
第四节 应用对称分量法分析不对称短路的原理	153
第五节 电力系统元件的序阻抗	155
第六节 电力系统各序网络的建立	161
第七节 简单不对称短路故障的分析和计算	164
第四章 电力系统继电保护	172
第一节 继电保护的主要任务和对它的基本要求	172
第二节 电流电压保护	175
第三节 方向过电流保护	188

第四节 零序电流保护.....	193
第五节 双回线路的横差保护.....	199
第六节 距离保护.....	205
第七节 高频保护.....	215
第八节 母线保护.....	222
第五章 电力系统稳定	231
第一节 静态稳定和动态稳定的概念.....	231
第二节 电力系统的功率特性和发电机转子运动方程.....	247
第三节 静态稳定计算.....	258
第四节 动态稳定计算.....	288
第五节 提高稳定措施.....	314
第六章 同步发电机的运行	331
第一节 同步发电机的基本特性和电磁关系.....	331
第二节 同步发电机的励磁系统.....	342
第三节 发电机的温升和出力.....	354
第四节 发电机的进相运行.....	368
第五节 发电机失磁后的异步运行.....	375
第六节 发电机的主要参数.....	383
第七章 调相机的运行和起动	394
第一节 调相机概述.....	394
第二节 调相机的起动方式.....	396
第三节 调相机在异步起动过程中的转矩和拖入同步过程.....	398
第四节 发电机改作调相运行时工频异步起动的特点和计算.....	404
第五节 发电机改作调相运行时变频起动的分析和计算.....	411
第六节 发电机调相运行的其他方式.....	423
第八章 变压器的运行	426
第一节 变压器的连接组别.....	426
第二节 变压器的并列运行.....	430
第三节 自耦变压器.....	440
第四节 特殊连接的变压器组.....	444
第五节 Y/Y接线的三相变压器组的运行.....	454
第六节 变压器的负荷能力.....	460
第九章 交流高压开关的运行	463
第一节 交流高压开关中电弧的熄灭过程.....	464
第二节 交流高压开关在正常工作下的工作状态.....	466
第三节 交流高压开关在短路情况下的工作状态.....	469
第四节 交流高压开关在开断短路电流情况下的工作状态.....	472
第五节 交流高压开关切断空载变压器、空载长线、近区故障、 发展性故障情况下的工作状态.....	478
第六节 交流高压开关的重合闸性能.....	480

第十章 消弧线圈的运行	485
第一节 中性点绝缘系统单相接地时的电容电流	485
第二节 中性点绝缘系统的中性点位移电压	486
第三节 消弧线圈的作用原理	490
第四节 消弧线圈接地系统的谐振过电压	491
第五节 消弧线圈接地系统对临近通讯线路的影响	503
第六节 消弧线圈的整定原则、容量和安装地点的选择	506
第七节 电容电流的测量	508
第十一章 电力系统的内部过电压	512
第一节 工频电压升高	512
第二节 操作过电压	517
第三节 弧光接地过电压	528
第四节 铁磁谐振过电压	530
✓ 第十二章 电力系统的不对称运行	547
第一节 不对称运行时电压电流的计算	548
第二节 应用重迭原理进行不对称运行的计算	555
第三节 变压器的两相运行	561
第四节 参数不同的单相变压器组的运行	569
第五节 发电机的不对称运行	576
第六节 输电线一相断线又同时短路接地的分析	582
✓ 第十三章 频率及其调整	588
第一节 电力系统的频率特性	588
第二节 电力系统的频率调整	598
第三节 按频率自动减负荷装置的整定计算	603
第十四章 电压及其调整	622
第一节 负荷的电压静态特性	622
第二节 电压调整的方法和电压中枢点的确定	624
第三节 发电机调压	625
第四节 利用变压器分接头进行调压	626
第五节 调压变压器调压	640
第六节 其它调压措施	651
第七节 电力系统调压的相互配合	656
第八节 电力系统中的人工调压	664
第九节 无功功率的平衡及补偿	666
第十节 频率调整与电压调整的相互关系	671
第十一节 电力系统负荷静态特性曲线的实测	673
第十五章 电力系统事故处理	675
第一节 消除事故的一般要求	675
第二节 输电线路及变压器跳闸	678
第三节 频率突然下降	680

第四节	电压下降.....	683
第五节	电源联络线过负荷.....	684
第六节	系统解列.....	687
第七节	母线事故或全厂、全所停电.....	688
第八节	系统振荡（异步运行）.....	689
第九节	单相接地故障的寻找.....	698
附录 I	常用图表及计算公式	701
附录 II	设备规范和参数	773

第一章 电力系统的运行操作

电力系统的运行操作有许多方面的内容。遵照毛主席关于“认识从实践始，经过实践得到了理论的认识，还须再回到实践去”的教导，本章将着重讨论调度运行实践的基本操作。其中所涉及的一些概念和计算除作必要的阐述外，还将在以下各有关章节内对提到的某些问题作进一步的论述和分析。读者可以根据自己的具体情况，在阅读本章的同时，参考或详细阅读本书的其它有关章节。

第一节 操作概述

一、调度员指挥操作的主要内容

电力系统的设备经常要按照用户的需要改变运行情况，要进行检修、调整、试验和消除异常现象，也要根据社会主义建设事业的发展不断投入新设备。这些设备运行状态的改变有些是涉及到几个甚至是几十个单位的工作，所以必须在系统调度员的统一指挥下，系统内各单位相互配合协同动作才能完成。因此指挥系统操作是调度员的主要工作之一。

调度员指挥操作的主要内容有：

1. 发电厂有功、无功出力的增减，频率、电压的调整（包括调整频率设备的整定、调整方式的改变、发电机的发电、调相方式的相互转变、调压设备的电压和容量的变化等）；
2. 系统间和发电厂与系统间的并列与解列；
3. 输电线路和变压器的停送电；
4. 网络的合环与解环；
5. 母线接线方式的改变；
6. 中性点接地方式的改变和消弧线圈补偿度的调整；
7. 继电保护和自动装置使用状态的改变；
8. 线路检修开工前，线路所有电源端接地线的连接及竣工后的拆除。

二、调度员指挥操作的基本要求

调度员指挥操作的基本要求如下：首先是指运行人员完成操作任务达到操作目的，其次是在操作过程中不应引起事故或异常现象；再就是操作完毕系统状态改变之后应该符合电力系统的安全、优质、经济等各方面的要求。其具体内容是：

- 1.完成操作任务，保证运行接线的正确合理；
 - 2.要保证用户、特别是重要用户和发电厂厂用电的供电可靠性；
 - 3.要保持系统有功、无功功率的平衡，并使全系统和系统各部分都具有一定的备用容量；
 - 4.充分估计系统频率、电压和功率潮流在操作每一步骤中和操作后的变化程度，并应在操作前通知现场注意监视和调整；
 - 5.保持继电保护和自动装置的配合协调和使用的合理，并应特别注意掌握继电保护的允许潮流数值；
 - 6.中性点直接接地点的合理分布和消弧线圈的合理使用；
 - 7.长距离输电线路的稳定性；
 - 8.线路相位的正确性，特别是由于检修、扩建或新设备投入有可能造成相位混乱时，要进行相位的测定；
 - 9.根据改变后的运行方式，重新确定事故处理办法，特别是对那些由于为尽快消除事故而不须与调度联系、现场可以自行采取措施的规定。
- 应该指出，上述各点仅是一般的原则，还必须针对当时系统运行的具体情况，考虑采取其他方面的措施。

三、操 作 制 度

需要由调度统一指挥的操作，各现场运行人员只有在得到调度员的命令后才能执行本单位的操作。调度操作命令分单项命令和综合命令两种方式。

1.单项命令 操作时由调度员逐项下达操作命令，一项完成后，再由调度员下达下一项。

2.综合命令 调度员下达操作目的和要求，由现场运行人员自行操作，在得到调度员允许之后即可开始执行，完毕后再向调度员汇报。

在实际操作中，凡不需要其他单位直接配合的都应采取综合命令方式。只有一个项目操作完毕，必须由其他单位操作之后该单位才能再进行下一项目操作的，方采取单项命令的方式。一个较为复杂的操作，常常是综合命令方式兼有单项命令方式。

调度员在发布操作命令时，必须根据事先拟制的完整的操作票进行。现场人员则根据调度员预先发布的操作票，制定本单位的详细的倒闸操作票，再按倒闸操作票进行操作。

正确地拟制操作票是非常重要的。操作票应包括下面内容的全部或一部：

- 1.开关和刀闸的操作次序；
- 2.有功、无功电源的调整；
- 3.继电保护和自动装置的起用、停用和整定值的改变；
- 4.中性点接地方式的调整；
- 5.输电线路在电源出口装设接地线的情况；
- 6.输电线路作业单位数的说明。

应该严肃认真地对待操作票的拟制工作。操作票通常由一人填写而由另一人审查核准。有的还组织班组间互审，有的还规定要从现场条件、现行规程、典型操作卡片和过去的同类型操作票等几个方面来检查核对。拟制好的操作票应进行操作预演，以鉴定是否正确无误。

操作票字迹必须清楚，使他人操作不致产生疑问。

多年来，广大运行人员在运行实践中总结了不少保证安全操作的经验，例如还有：

1. 操作监护制度 调度员操作时，应由一或二人指挥操作，另有专人监护。实践证明，几个调度员分头操作只要稍一疏忽就容易发生操作顺序颠倒的误操作。

2. 复诵制度 调度员指挥操作时，除采用专用的调度术语以外，还应采用复诵制度，即在调度员发布命令或现场人员汇报执行结果时，双方均应逐字逐句的重复一遍，双方认为无误，方算联系完毕。严格执行复诵制度，可以及时纠正由于听错造成的误解。

3. 记录制度 每进行一项操作，调度员和现场人员都要做详细的记录，如人员姓名、时间及操作情况等，然后再进行下一步操作。这里，不仅是操作情况，操作执行的时间也是很重要的，当无运动设备且无其他象征（如仪表指示等）可做参考时，调度员常以收到现场人员汇报操作完毕的时间做为唯一的依据。

上述制度和经验，都是调度运行人员的实践总结，是防止误操作的有效措施。消灭误操作，最根本的一条还是依靠人的思想觉悟。“思想上政治上的路线正确与否是决定一切的。”广大调度运行人员，认真读马列的书和毛主席著作，努力提高思想政治觉悟，在系统运行工作中，做到全心全意为人民服务，集中精力地完成各项操作任务，这是保证系统安全、优质、经济运行的根本因素。

第二节 电网的相位

一、相序和相位

我们知道，交流系统的电压、电流等参数的瞬时值都是按正弦规律随时间变化的，电压的瞬时值的数学表示式一般写成

$$u = U_m \sin(\omega t + \varphi)$$

式中 $\omega t + \varphi$ 称为 u 的相位角或相位， φ 称为初相角或初相。交流三相系统的电压的瞬时值除了按正弦规律变化之外，在某一瞬间各相数值也并不完全相同。三相交流对称系统的电压当A相的初相角为零时，可写为

$$u_A = U_m \sin \omega t$$

$$u_B = U_m \sin(\omega t - 120^\circ)$$

$$u_C = U_m \sin(\omega t + 120^\circ)$$

式中正弦函数的角度 ωt 、 $\omega t - 120^\circ$ 、 $\omega t + 120^\circ$ 称为各电压的相位或相位角。可见这里所指的相位是随时间不断变化的，相位的变化引起瞬时值的变化。图1-1(a)示出三相电压瞬时

值的变化。

在电路中常要进行相位比较，同频率且都用正弦函数（也有的同用余弦函数）表示的两个量的相位之差称为相位差。虽然相位是时间的函数，但相位差却是不随时间变化的常数。上述三相电压的相位差各为 120° ，即B相滞后A相 120° ，C相滞后B相 120° ，A相又滞后C相 120° 。图1-1(b)为上述三相电压的向量图。

电力设备的某一部分标以A相、B相或C相，系指此设备运行时该部分的电压为A相、B相或C相。设备的三个相标以不同的颜色，用黄、绿、红三种颜色分别代表A、B、C三相。

三相系统中，三个相的电压某一瞬间的数值虽然不同，但其他两相各经过一定时间（即经过相位角 120° 和 $120^\circ \times 2$ 的时间，在50周/秒系统为 $0.02 \times \frac{1}{3} = 0.00667$ 秒和 $0.02 \times \frac{2}{3} = 0.01333$ 秒）将分别达到该数值。此三个相电压瞬时值达到某一数值的先后次序，亦即它们的向量由越前相位置到相邻的滞后相位置的轮换次序，称为相序。上述三相系统的相序即为A-B-C（或B-C-A，或C-A-B）。将相序为A-B-C的三相电压接入三相交流电机，则在电机中产生的旋转磁场经过各相绕组的次序亦为A-B-C。图1-1(c)为A、B、C三相电压接入三相异步电动机相应各相，定子旋转磁场带动转子同方向旋转的示意图。

电力设备互相连接时，相位应该一一对应，即A相与A相连接，B相与B相连接，C相与C相连接。若此设备只一侧与电网连接并不形成环网时至少应相序相同。如果不能满足上述要求，设备将无法运行甚至产生事故。因此，在初次合环操作，新设备投入运行前和进行可能引起相位改变的检修后，常用实测的方法判别设备端子的相序、相位。

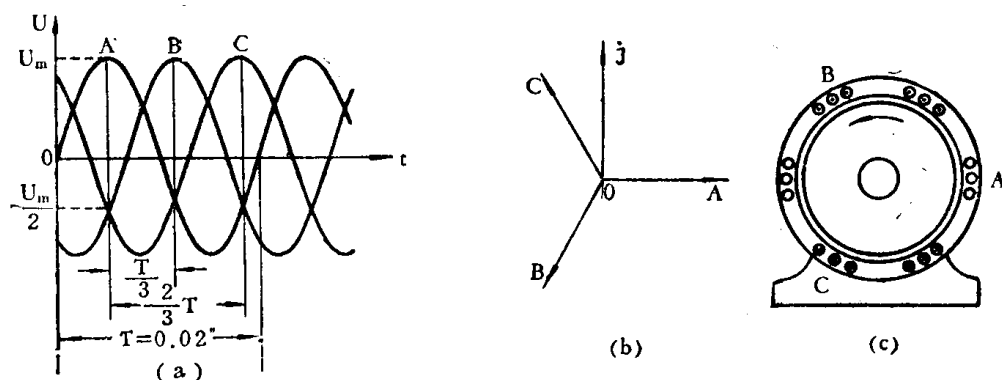


图 1-1 三相系统各相电压的相序

(a)瞬时值；(b)向量图；(c)将A-B-C三相电压接入感应电动机相应相，转子的旋转方向

二、线路的定相

线路的定相实质上就是测量线路一侧的端子与另一侧的哪一个端子属于同一根导线。定相常由现场试验人员或运行人员进行。由于送电线路相位的变更涉及到送端、受端、作业单位，调度员应了解其测定方法及测定结果，以便帮助判定相位是否正确。定相的方法如下：

1. 摇表测量法如图 1-2(a)，先将线路一侧三个端子中的一个接地，另一侧分别对三个端子用摇表测绝缘，指示为零者表明与接地侧的端子为同一个相位。



图 1-2 单回线路的定相
(a) 一侧各相轮流接地，另一侧用摇表测对地绝缘电阻；
(b) 一侧各相轮流对地加低电压，另一侧测量对地电压

2. 加低电压法如图1-2(b)，一侧轮流加低电压（100～3000伏）于一个端子，则与另一侧有电压的端子为同一个相位。

上述两种方法常用在单回线路上，若有其他运行线路与被测线路平行，被测线路可能有感应电压，易于损坏测量仪表和威胁人身安全，不宜采用这些方法。

双回线或环网常采用加运行电压的方法：

1. 电压表法 线路由一侧充电后，在另一侧测量与其并列运行的线路（或环网的其他部分）三个相的电压差，分析这些电压差，即可找出它们之间的相位关系。

对于直接测量或经二次线圈中性点接地的电压互感器测量时，找出三对端子中电压差最小而其数值又彼此约略相等的每对端子，则该对端子即为同一相，参见图 1-3。

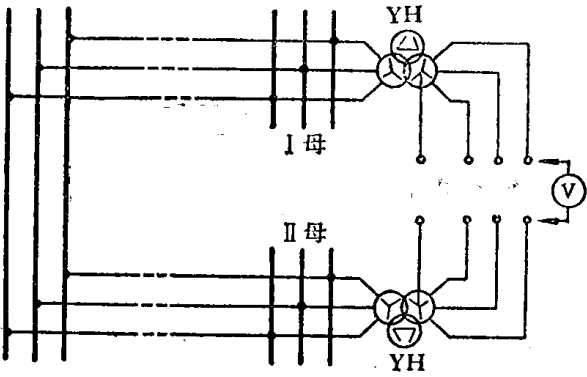


图 1-3 双回线或环网的定相

【例1-1】某双回66千伏线路，其中一回大修后，由A变电所将该线路充电至B变电所的Ⅱ段母线上（参看图1-4a），经两组二次中性点接地的电压互感器测得与另一回线间的电压如表1-1所示，试检验其相位是否正确。

解：参见图1-4(b)

表 1-1 端子间的电压数值

端 子	A-A'	A-B'	A-C'	B-A'	B-B'	B-C'	C-A'	C-B'	C-C'
电压(V)	11	90	101.5	102	11	91	90	101.5	12

端 子	O-O'	A-B	B-C	C-A	A'-B'	B'-C'	C'-A'
电压(V)	0	95	95	95	97.5	97	97.5

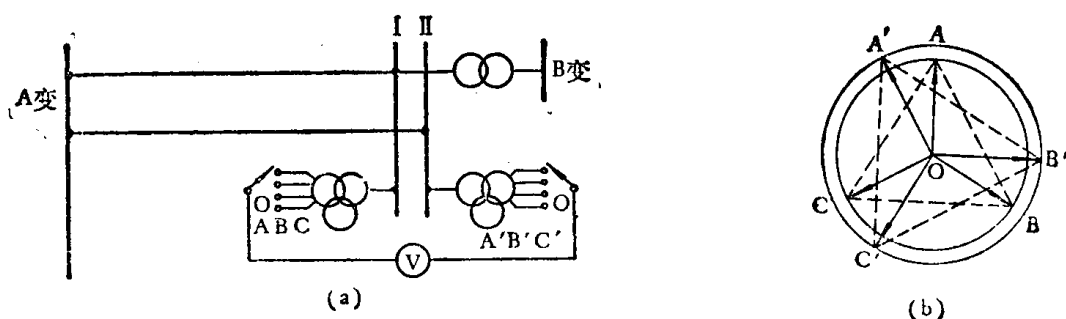


图 1-4 某双回线的定相

(a)试验接线图; (b)向量图

$$\text{YH变比: } \frac{66}{\sqrt{3}} : \frac{0.1}{\sqrt{3}} : \frac{0.1}{3}$$

用适当的比例尺, 作出 $A-B=95$ 、 $B-C=95$ 、 $C-A=95$ 的三角形 ABC , 其几何中心为 O 点, 分别以 A 、 B 、 C 三点为圆心, 以相应的 $A-A'=11$ 、 $B-A'=102$ 、 $C-A'=90$ 为半径画弧, 此三弧应交于一点或近似的会于一点, 此点即 A' 点。同理, 以 $A-B'$ 、 $B-B'$ 、 $C-B'$ 为半径画三弧, 相交之点为 B' ; 以 $A-C'$ 、 $B-C'$ 、 $C-C'$ 为半径画三弧, 相交之点为 C' 。于是可得 $\triangle A'B'C'$, 因 $O-O'=0$, 故 $\triangle A'B'C'$ 的几何中心应与 $\triangle ABC$ 的几何中心相重合。连 O 与各三角形的顶点即得出各相电压 $\dot{U}_A$ 、 $\dot{U}_B$ 、 $\dot{U}_C$ 、 $\dot{U}_{A'}$ 、 $\dot{U}_{B'}$ 、 $\dot{U}_{C'}$ 。由此可见 $\dot{U}_{A'}$ 超前于 $\dot{U}_A$, $\dot{U}_{B'}$ 超前于 $\dot{U}_B$, $\dot{U}_{C'}$ 超前于 $\dot{U}_C$, 且皆超前约 9° , 故知相位正确。

【例 1-2】某环网的 220 千伏线路大修后充电至线路受端, 将在该处合环, 合环开关两侧电压互感器二次测得电压如表 1-2, 电压互感器 B 相接地, 试检验相位是否正确。

表 1-2 端子间的电压数值

端 子	A-A'	B-B'	C-C'	A-B'	A-C'	B-A'	B-C'	C-A'	C-B'	O-O'
电 压 (V)	190	0	85	90	160	95	95	160	90	90

解: 由于缺乏相电压及线电压数据, 故按运行系统的电压是平衡的原则进行分析 (这是符合一般情况的, 即或有误差也不影响对问题的判断)。由 $B-B'=0$, 可知 $A-B'=A-B=90\text{V}$ 。以适当的比例尺, 作边长为 90V 的正三角形 $\triangle ABC$ (参见图 1-5)。其几何中心为 O , 则 OA , OB , OC 即为运行系统 $\dot{U}_A$ 、 $\dot{U}_B$ 、 $\dot{U}_C$ 。然后, 以 $A-A'=190$, $B-A'=95$, $C-A'=160$ 画三弧, 其近似的交点即为 A' 点; 以 $A-C'=160$, $B-C'=95$, $C-C'=85$ 作弧, 可得 C' 点。 B' 点与 B 点重合, 即 B' 点已知。由 A' 、 B' 、 C' 三点, 可画 $\triangle A'B'C'$, 由 $\triangle A'B'C'$ 的几何中心 O' 连 $O'A'$ 、 $O'B'$ 、 $O'C'$ 即为大修后线路的 $\dot{U}_{A'}$ 、 $\dot{U}_{B'}$ 、 $\dot{U}_{C'}$ 的向量。

由图可见 $\dot{U}_A \not\parallel \dot{U}_{A'}$, $\dot{U}_B \not\parallel \dot{U}_{B'}$, $\dot{U}_C \not\parallel \dot{U}_{C'}$, 说明线路 AB 两相接反了。若将两组向量平行移动使 O' 与 O 重合, 能更清楚的看出来 (图 1-5c)。

2. 同步表法 若合环或双回线并列的开关处装有同步表, 可以利用同步表测量相位。但接单相电源的单相分相式的同步表不能测出三相全部相位, 故只能用接三相电压或线间电压的同步表检验线路相位 (图 1-6)。同步表指针指示的位置与“合车点”的夹角为零或