

7/M782
0014

电力系统运行操作和计算

(修订版)

东北电业管理局调度通信中心 编著

辽宁科学技术出版社

沈阳

序

电力工业发展很快,1949年全国发电装机容量仅185万千瓦,年发电量43亿千瓦时,分别列世界第25位和21位。至1995年装机容量已超过2亿千瓦,进入世界第三位。年发电量达到一万亿千瓦时,跃居世界第二位。电力的生产、运输与消费各环节是在发电、供电、用电等各单位组成的一个有机的联合体——电网来完成的。我国电网发展也很快,现全国已有6个跨省电网和山东、新疆、西藏等省(区)电网。可以说我国电力工业现在已跨入大电网、高电压、大机组的现代化行列。

当然,我们也应该清醒地看到,我国的人均用电量还很低,我国的个别地区还严重缺电,电力行业工作人员的素质还有待提高,等等。

东北电业管理局调度通信中心编写的《电力系统运行操作和计算》是按原水电部安排编写的培训教材,理论结合实际,反映了全国电网特别是东北电网的实践经验,是一本好教材。书中着重叙述运行工作内容和操作方法,这是国内外同类书籍中少见的。此书对全国各电网调度人员以及发电厂、变电站运行人员的培训与提高曾发挥了很好的作用,现在重新修订又增加了部分新的内容。

重新修订后的这本书,不仅可以继续作为现代电网各级调度运行人员、各发电厂、变电站运行技术人员很好的培训教材,而且这本书对从事电网规划、设计、科研、管理工作的同志和电力大专院校的师生也具有重要的参考价值。

电力工业和其他行业不同,是个高度自动化连续进行生产的行业。它需要素质高的技术人员在24小时运行岗位上对电网实现监视、控制与管理。我相信《电力系统运行操作和计算》一书的重新修订出版,必将为电网各方面运行人员在深切理解运行岗位的重要性,热爱运行工作,加强培训,钻研技术,不断更新知识更新,努力做好本岗位运行工作,为提高电力工业的运行管理水平发挥积极的作用。

史大祯

1996年元月

序 言

随着电力工业的发展,电网逐步互联和扩大,电力系统调度运行管理的任务日益繁重。为了提高电网运行人员的技术工作水平,原水利电力部在1972年委托东北电业管理局及调度局举办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,作为电力系统调度人员和发电厂、变电站运行技术人员的培训教材,亦可供从事电力系统设计、规划以及大中专高等院校有关专业师生参考。原书出版后,受到读者的欢迎,2.5万余册销售一空。

今日修订重版,是适应电网发展及有关人员的需要。当今世界,各国家、地区相邻的电网都在互联。欧洲、北美电网互联跨越国界,几千个公司所属大小电网,通过高压交直流线路、海底电缆,或背靠背直流互联,形成10亿千瓦容量级的大电网,供电区域超千万平方公里,实现联合电网,分层控制的调度管理体制,取得了高质量、低消耗、价格低廉、保障供应和最佳的社会效益。近年来我国电网的发展也很快,已互联成千万千瓦容量级的六大跨省电网,华中和华东电网已通过高压直流输电线路互联,当三峡电站建成后,在中国大地上将出现一个几亿千瓦容量的全国电网。为保证电网的安全经济运行,我国已建立五级电力调度——国调、网调、省(区)调、地(市)调、县调——对电网实行统一调度、分级管理、优化运行。电子计算机及其在电网自动化方面的应用,虽已成为各级调度在运行管理中的重要手段,但电力网的基本概念和计算方法,仍然是我们管理好、运行好大电网的基础。

值此重版之际,难以忘怀为本书作过贡献的人们。原书的编写者与参与者,在知识无用的年代中,不求名利、同心协力、出谋献策、克服困难、千方百计完成出书任务,为电网运行做出了贡献。重版中,东北电业管理局及其调度通信中心的领导又给予有力的支持,在有关同志的努力下,对原书进行修订、补充、完善,使之切合电网发展的实际情况,更好满足读者需要。

原书与重版的编写者和参与者,早已成为电力系统中领导或骨干力量,现已接近或已经离退休,俱往矣,诚望中青年电网调度工作者,根据电网的发展,新技术的应用,在下一个十年中,重编或新编一本更完善、更实用的电网运行教材。历史规律是:青出于蓝而胜于蓝,数风流人物还看今朝。

国家电力调度通信中心 蔡洋

1995年8月17日

前 言

本书是一本供电网调度人员和发电厂、变电所电气运行人员使用的培训教材。本书第一版是根据东北电业管理局为全国举办的电力系统调度学习班的教学资料以及东北电网多年运行经验写出的。我们接受任务之后,先按照水电部的要求,进行整体策划,确立内容,然后组织编写。大家通力合作,在极端困难条件下于1974年写出了第一版初稿。从70年代至90年代,国内国外电网都有很大的发展,应广大读者要求,东北电业管理局组织修编领导小组,由原东北电管局副局长兼总工程师、电网专家花承文任组长,东北电业管理局副总工程师兼辽宁省电力局总工程师、电网专家金玉声、东北电网调度通信中心主任电网专家王世祯和原东北电业管理局调度通讯局局长电网自动化专家杨颂淇任副组长。在小组的具体领导与支持下,邀请了原编写人员将第一版进行了修订,增加了必要的内容,吸收和选入了国内外其他电网的运行经验,力求能在当前电网新形势下,使本书起到人员培训和运行参考的应有作用。

本书务求讲清概念,交待好各种电网现象,同时也向运行人员提供主要的计算分析方法,且辅以国内电力系统的运行实例。所以本书也可以作为大专院校、科研设计部门了解电力系统实际运行情况的参考书。

东北电业管理局愿趁此机会对本书的组织出版与编写人员致以谢忱。他们是本书第一版主编:蔡洋、高元楷、刘方兴;各章编写者:高元楷、刘方兴、吴官星、丁道齐、金世义、张克勤、许有方、袁中和、樊恭良、陈正光同志以及湖南大学的刘福生、张勋干教授;对本书提供素材资料的:朱万国、蒙定中、毛锦庆、邓兰儒、黄英炬、孔庆东、罗松铨、李伟清、龚庆、徐志发、王世祯、田景林、马庆平等同志。参加本书评审工作的有:冀升山、薛卫、于洪德、苏云智、安裕民、叶春和、安立道、李光源、蒋士勤同志。应该向本书编写合作单位湖南大学的刘福生教授和贵州省电力职工教育培训中心的吴官星老师致以谢意。他们以高校教师的治学精神对本书修订版进行了仔细的审查与校订,这不仅提高了本书的水平,纠正了不少错误,也使本书更符合高校师生的要求。还应向关心本书编写、给本书提出指导性意见的两位老专家表示敬意与感谢,他们是原东北电业管理局副总工程师、调度局副局长、中国科学院学部委员蔡昌年同志和原调度局总工程师、电网专家戴明宇同志。

这次修订再版,聘请此书第一版主编之一的原东北电业管理局调度通信局

副局长兼总工程师、长期从事电力调度和电网分析的电网专家高元楷任主编，聘请此书第一版担任主编之一的原东北电业管理局调度局副局长、原电力部国家电力调度通信中心总工程师，我国著名的电网专家蔡洋同志任顾问。聘请原东北电业管理局调度通信局局长、现任电力部国电通信中心主任、电网调度自动化专家、清华大学兼职教授丁道齐同志任主审。电力工业部部长史大桢同志关心电力工业职工的培训，在百忙之中审阅了书稿，并为本书撰写了序，在此表示衷心的感谢。

由于本书的组织与编写者水平有限，时间匆促，错误缺点在所难免，请国内学者、电网运行各界有以教之。

东北电业管理局

1995年10月17日

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_e	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
$U_D\%$	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_0	发电机的空载电势
b_0	线路单位长度的电纳	E'_q	发电机横轴暂态电势
C	电容,分布系数	E''_q	发电机横轴次暂态电势
C_0	线路单位长度的电容	E_F	发电机的感应电势
D_{rj}	几何平均距离	E_{sc}	发电机剩磁产生的空载电势
d	中性点经消弧线圈接地网络的阻尼率	E_δ	发电机气隙电势
e	自然对数的底, $e = 2.7183$	f	频率
E	电势	F	磁势
E'	暂态电势	G	电导

符号	意 义	符号	意 义
E_0	线路单位长度的电导	M	转矩,互感
g	重力加速度	M_{DL}	三相短路时的发电机转矩
GD^2	飞轮惯量	M_{FTB}	非同步转矩
I_C	电容电流,充电电流	M_Q	起动转矩
I_{DL}	短路电流	M_{TB}	同步转矩
I''_{DL}	突然三相短路时次暂态电流的有效值	M_{TK}	拖入转矩
I_e	额定电流	M_{YB}	异步转矩
I_{FH}	负荷电流	$M_{YB.P}$	平均异步转矩
I''_{FTB}	非同步并列时发电机次暂态电流	M_{YD}	原动机转矩
I_j	基准电流	M_{ZU}	阻力矩
I''_m	突然三相短路时次暂态电流的最大值	n	转速
I_0	变压器的励磁电流(空载电流)	n_L	电流互感器的变流比
	电动机的励磁电流	ρ	发电机磁极的对数
	零序电流	P	有功功率
I_P	电流的有功分量	P_m	有功功率的最大值
I_Q	电流的无功分量	P_{FH}	负荷的有功功率
	启动电流	P_J	极限功率
I_1	正序电流	ΔP	有功功率损耗
I_2	负序电流	ΔP_B	变压器的有功损耗
I_d	发电机定子电流的纵轴分量	ΔP_D	变压器的短路损耗
I_q	发电机定子电流的横轴分量	ΔP_{Fe}	变压器铁芯的有功损耗
i_L	发电机励磁(转子)电流	ΔP_0	变压器的空载损耗
i_{FZO}	短路瞬间,短路电流非周期分量的瞬时值	Q	无功功率
i_{ZO}	短路瞬间,短路电流周期分量的瞬时值	Q_C	电容的无功功率
J	发电机组的转动惯量	Q_{FH}	负荷的无功功率
K	中性点经消弧线圈接地网络的调谐度 (脱谐度)	Q_0	电动机的励磁功率
K_{CH}	冲击系数	ΔQ	无功损耗
K_{DL}	发电机的短路比	ΔQ_B	变压器的无功损耗
K_P	功率的静态储备系数	ΔQ_0	变压器的空载无功损耗
K_U	电压的静态储备系数	R	电阻
K_{fU}	频率的电压效应系数	r_0	线路单位长度的电阻
K_{PJ}	有功负荷的频率静态调节效应系数 (当 $U = \text{常数}$)	S	功率,容量,复功率
K_{PU}	有功负荷的电压调节效应系数 (当 $f = \text{常数}$)		调差系数
K_{Qf}	无功负荷的频率调节效应系数 (当 $U = \text{常数}$)	S_C	充电功率
K_{QU}	无功负荷的电压调节效应系数 (当 $f = \text{常数}$)	S_e	额定容量
K_{Uf}	电压的频率效应系数	S_{FH}	负荷功率
k	变压器变比系数	S_j	基准容量
L_0	线路单位长度的电感	s	滑差
l	线路长度	ΔS	均衡功率,空载损耗,网损
		ΔS_B	变压器的功率损耗
		ΔS_0	变压器的空载损耗
		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

符号	意 义	符号	意 义
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_P	包梯电抗
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_S	发电机定子漏电抗
T'_{d0}	发电机定子绕组开路时的纵轴暂态时间常数(秒)	X_{LS}	发电机励磁绕组漏电抗
T''_{d0}	发电机定子绕组开路时的纵轴次暂态时间常数(秒)	X_{ad}	发电机纵轴电枢反应电抗
T'_d	发电机定子绕组短路时纵轴暂态时间常数(秒)	X_{aq}	发电机横轴电枢反应电抗
T''_d	发电机定子绕组短路时纵轴次暂态时间常数(秒)	X_{ld}	发电机转子纵轴阻尼绕组漏电抗
T''_q	发电机定子绕组短路时横轴时间常数(秒)	X_{lq}	发电机转子横轴阻尼绕组漏电抗
T_{ld}	发电机纵轴阻尼绕组回路时间常数(秒)	$X_2^{(2)}$	发电机出线端两相短路时的负序电抗
T_f	系统频率变化的时间常数(秒)	$X_2^{(-)}$	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
T_g	机械惯性时间常数(秒)	$X_2^{(a)}$	正弦电压非正弦电流下异步制动时的负序电抗
$U_D\%$	变压器的短路电压百分值	$X_2^{(1)}$	单相对中性点短路时的负序电抗
U_{DP}	变压器短路电压的有功分量	$X_2^{(2-0)}$	两相对中性点短路时的负序电抗
U_{DQ}	变压器短路电压的无功分量	X_{LJ}	临界电抗
U_e	额定电压	Z_{Bt}	变压器的特性阻抗, $Z_{Bt} = \sqrt{\frac{L}{C}}$
U_j	基准电压	Z_{FH}	负荷阻抗
U_{LJ}	临界电压	δ	两电势间的夹角
U_m	电压最大值	δ_H	合闸角
U_N	中性点电压	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
U_P	平均电压	σ_i	不对称运行时电流的不对称度
U_X	相电压	σ_L	漏磁系数
U_{X-X}	相间(线)电压	u_0	网络的不对称度
U_{XT}	系统电压	u_{01}	由于一相电容减小引起的网络不对称度
U_1	正序电压	u_{02}	由于两相电容减小引起的网络不对称度
U_2	负序电压	u	中性点消弧线圈接地系统网络的脱谐度
U_0	零序电压	ω	工频角频率
ΔU	电压降的纵分量	ω_0	同步电角速度(角频率), 变压器的自振(角)频率
δU	电压降的横分量	Φ	磁通
X_B	变压器短路电抗	$\Psi_{ad}(\Phi_{ad})$	纵轴电枢反应磁链(通)
X_{BZ}	自耦变压器的短路电抗	$\Psi_d(\Phi_d)$	主磁链(通)
X_F	发电机电抗	$\Psi_{LS}(\Phi_{LS})$	励磁绕组的漏磁链(通)
X_m	励磁电抗	$\Psi_L(\Phi_L)$	励磁绕组产生的总磁链(通)
X_{XL}	线路电抗	$\Psi_s(\Phi_s)$	定子绕组的漏磁链(通)
X_{XT}	系统电抗	Ω	机械角速度
X_d	发电机纵轴同步电抗	Ω_0	系统等值机的机械角速度
X'_d	发电机纵轴暂态电抗	B	变压器
X''_d	发电机纵轴次暂态电抗	D	电动机
X_q	发电机横轴同步电抗	DK	电抗器
X''_q	发电机横轴次暂态电抗	F	发电机
		K	开关

符号	意 义
<i>LH</i>	电流互感器
<i>YH</i>	电压互感器
<i>RD</i>	熔断器
<i>XH</i>	消弧线圈
<i>XL</i>	线路
<i>CJ</i>	差动继电器

符号	意 义
<i>GJ</i>	方向(功率)继电器
<i>PJ</i>	平衡继电器
<i>SJ</i>	时间继电器
<i>XJ</i>	信号继电器
<i>ZJ</i>	中间继电器
<i>ZKJ</i>	阻抗继电器

目 录

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	21
第五节 变压器的操作	27
第六节 环形网络的并解列	32
第七节 电源的并解列	40
第八节 发电机的自励磁和发电机向空载线路从零起加压	66
第二章 电力网的潮流计算	77
第一节 电力网元件的阻抗和导纳	77
第二节 输电线和变压器的功率损耗	88
第三节 输电线和变压器的电压损耗	94
第四节 开式电力网的潮流计算	102
第五节 闭式电力网潮流计算的力矩法	106
第六节 闭式电力网潮流计算的分布系数法	110
第七节 闭式电力网潮流计算的网路变换法	121
第八节 闭式电力网内考虑变压器变比时的功率分布	125
第九节 长线路的计算	127
第十节 复杂系统潮流计算的一般步骤	132
第三章 电力系统短路的分析和计算	134
第一节 短路电流的变化过程	134
第二节 暂态电势和暂态电抗	137
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	142
第四节 应用对称分量法分析不对称短路的原理	146
第五节 电力系统元件的序阻抗	149
第六节 电力系统各序网络的建立	154
第七节 简单不对称短路故障的分析和计算	156
第四章 电力系统继电保护	164
第一节 继电保护的主要任务和对它的基本要求	164
第二节 电流电压保护	167
第三节 方向过电流保护	178
第四节 零序电流保护	183

第五节 双回线路的横差保护	188
第六节 距离保护	194
第七节 高频保护	204
第八节 母线保护	210
第五章 电力系统稳定	219
第一节 静态稳定和暂态稳定的概念	219
第二节 电力系统的功率特性和发电机转子运动方程	234
第三节 静态稳定计算	245
第四节 暂态稳定计算	274
第五节 提高稳定措施	298
第六章 同步发电机的运行	314
第一节 同步发电机的基本特性和电磁关系	314
第二节 同步发电机的励磁系统	325
第三节 发电机的温升和出力	336
第四节 发电机的进相运行	351
第五节 发电机失磁后的异步运行	357
第六节 发电机的主要参数	365
第七节 发电机的次同步振荡和轴系扭振	374
第七章 调相机的运行和启动	390
第一节 调相机概述	390
第二节 调相机的启动方式	392
第三节 调相机在异步启动过程中的转矩和拖入同步过程	394
第四节 发电机改作调相运行时工频异步启动的特点和计算	399
第五节 发电机改作调相运行时变频启动的分析和计算	406
第六节 发电机调相运行的其他方式	417
第八章 变压器的运行	420
第一节 变压器的连接组别	420
第二节 变压器的并列运行	423
第三节 自耦变压器	432
第四节 特殊连接的变压器组	436
第五节 Y/Y 接线的三相变压器组的运行	447
第六节 变压器的负荷能力	452
第九章 交流高压开关的运行	455
第一节 交流高压开关中电弧的熄灭过程	456
第二节 交流高压开关在正常工作下的工作状态	458
第三节 交流高压开关在短路情况下的工作状态	461
第四节 交流高压开关在开断短路电流情况下的工作状态	464
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	469
第六节 交流高压开关的重合闸性能	471
第十章 消弧线圈的运行	476

第一节	中性点绝缘系统单相接地时的电容电流	476
第二节	中性点绝缘系统的中性点位移电压	477
第三节	消弧线圈的作用原理	480
第四节	消弧线圈接地系统的谐振过电压	482
第五节	消弧线圈接地系统对临近通讯线路的影响	493
第六节	消弧线圈的整定原则、容量和安装地点的选择	496
第七节	电容电流的测量	497
第十一章	电力系统的内部过电压	501
第一节	工频电压升高	501
第二节	操作过电压	506
第三节	弧光接地过电压	516
第四节	铁磁谐振过电压	518
第十二章	电力系统的不对称运行	532
第一节	不对称运行时电压电流的计算	533
第二节	应用重叠原理进行不对称运行的计算	540
第三节	变压器的两相运行	546
第四节	参数不同的单相变压器组的运行	553
第五节	发电机的不对称运行	560
第六节	输电线一相断线又同时短路接地的分析	565
第十三章	频率及其调整	571
第一节	电力系统的频率特性	571
第二节	电力系统的频率调整	580
第三节	按频率自动减负荷装置的整定计算	585
第十四章	电压及其调整	602
第一节	负荷的电压静态特性	602
第二节	电压调整的方法和电压中枢点的确定	604
第三节	发电机调压	605
第四节	利用变压器分接头进行调压	606
第五节	调压变压器调压	619
第六节	其他调压措施	629
第七节	电力系统调压的相互配合	637
第八节	电力系统的人工调压	643
第九节	无功功率的平衡及补偿	645
第十节	频率调整与电压调整的相互关系	650
第十一节	电力系统负荷静态特性曲线的实测	652
第十五章	电力系统的事故处理	654
第一节	消除事故的一般要求	654
第二节	输电线路及变压器跳闸	657
第三节	频率突然下降	659
第四节	电压下降	662
第五节	电源联络线过负荷	663

第六节 系统解列	665
第七节 母线事故或全厂、全所停电	667
第八节 系统振荡(异步运行)	668
第九节 单相接地故障的寻找	676
附录 常用图表及计算公式	679
参考文献	710

第一章 电力系统的运行操作^{1~11}

电力系统的运行操作有许多方面的内容,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他有关章节。

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(包括调整装置的整定、调整方式的改变、发电机的发电与调相方式的相互转变、调压设备的电压和容量的变化等);
- (2) 系统与系统间、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,线路两侧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、工整，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,当无远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作为唯一的依据。

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。广大调度运行人员,在系统运行工作中,以高度的责任心,集中精力完成各项操作任务,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 的相位或相位角, φ 称为初相角或初相。交流三相系统的电压的瞬时值按正弦规律变化,在某一瞬间各相数值并不完全相同。三相交流对称系统的电压当 A 相的初相角为零时,可写为

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

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

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

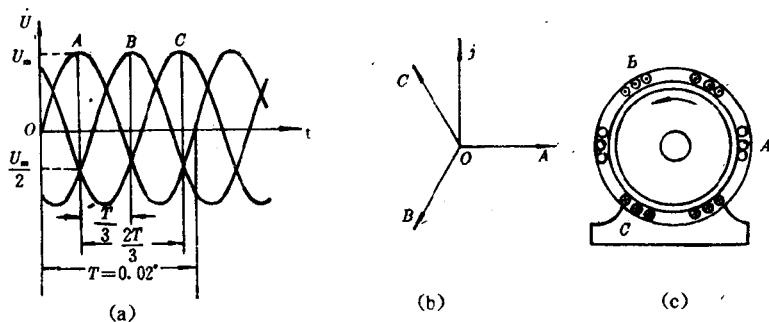
式中正弦函数的角度 ωt 、 $\omega t - 120^\circ$ 、 $\omega t + 120^\circ$ 即各电压的相位或相位角。可见这里所指的相位是随时间不断变化的,相位的变化引起瞬时值的变化。图 1-1(a) 示出三相电压瞬时值的变化。

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。



(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

图 1-1 三相系统各相电压的相序

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。

(2) 加低电压法如图 1-2 (b)，一侧轮流加低电压 (100~3000V) 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：