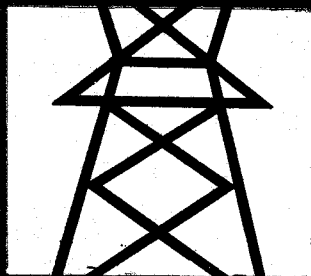


强电线对通信 线影响的计算



.3

内 容 提 要

本书介绍国内几种不同制式的强电线对通信线影响的计算方法,全书共分六章。

第一、二章介绍进行计算必须掌握的基本知识,如强电线及通信设备的简介,危险影响干扰影响的容许标准和专用名词的定义等。

第三、四、五章介绍应用的计算公式、公式的推导和计算例题。

第六章介绍几种防护措施的保护效果的计算方法和例题。

本书用大量例题说明各种情况下的计算方法,全书共有例题70则。

读者对象:电力和通信部门的技术人员。

强电线对通信线影响的计算

(原理、标准和计算例题)

严晋德 编 著

人民邮电出版社出版

北京东长安街27号

河北省邮电印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

开本: 787×1092 1/32 1982年4月 第 一 版

印张: 14 12/32 页数: 230 1982年4月河北第一次印刷

字数: 329 千字 印数: 1—5,000 册

统一书号: 15045·总2554—有5234

定价: 1.40 元

前 言

近年来,我国强电线和通信线的发展都很快,研究强电线对通信线的影响,已成为线路工程中一项重要技术课题。不少同志希望有一本结合我国实际情况的强电线对通信线影响计算的参考书,这本书就是为此目的而编写的。

本书介绍国内几种不同制式的强电线对通信线影响的计算方法,并用例题说明计算公式的用法。有关的技术标准和计算公式,尽量取材于我国的现行规范,尚未纳入现行规范的较新技术标准和计算方法,则取材于国内较成熟的经验。希望能通过这本书,较系统和实用地介绍强电线对通信线影响的计算技术。

请读者同志们阅后,提出宝贵意见,指出本书中错误和不妥之处,以便再版时加以修正与提高,谢谢。

作 者

本书所用的符号及说明

- a —强电线与通信线之间的间隔距离, 米;
- a_1, a_2 —强电线与通信线斜接近两端的间隔距离, 米;
- A —通信线由于静电感应所产生的音响冲击能量, 毫焦耳;
- b —强电线路导线对地平均高度, 米;
- B —对称输电线路的换位系数;
- b_A —通信电缆的铠装钢带厚度, 米;
- b_c —通信电缆铠装钢带的等效厚度, 米;
- C —通信线路导线的对地平均高度, 米;
- C_{aa} —同杆架挂的多根通信导线中的任一根通信导线的对地电容, 法/公里;
- C_{1A} —一线一地制输电线与单线通信回路之间的电容耦合系数, 法/公里;
- C_{123A} —三相对称输电线与单线电话回路之间的电容耦合系数, 法/公里;
- C_{123T} —三相对称输电线与双线电话回路之间的电容耦合系数, 法/公里;
- d —双线电话回路两导线之间的距离, 米;
- D —钢带铠装通信电缆的平均直径, 米;
- d_s —屏蔽线的直径, 米;
- d_c —通信导线直径, 米;
- E —感应纵电动势, 伏;
- E_c —等值于800赫的纵电动势, 伏;
- f —频率, 赫;
- F_c —强电线的杂音电压波形因数;
- F_i —强电线的杂音电流波形因数;
- H —磁场强度, 安/米;
- h_0 —导线—大地回路在地中的假想等效导线与真正导线之间的对称轴, 位于地下
的深度, 米;
- h —电缆的埋深, 米;
- I —不对称强电线正常运行时的最大负荷电流, 安;

I_0 —强电线的故障短路电流, 安;
 I_E —强电线的等值干扰电流, 安;
 I_0 —流经电报机的静电感应干扰电流, 毫安;
 I_{m0} —流经电报机的磁感应干扰电流, 毫安;
 I_C —交流电气化铁路接触网中的电流, 安;
 I_R —铁轨中的回归电流, 安;
 i_e —通信导线—大地回路中诱生的等效于800赫的杂音电流, 安;
 I_{λ} —流经人体的静电感应电流, 毫安;
 I_L —流经消弧线圈的电流, 安;
 I_z —流经接地装置的电流, 安;
 K —吸流变压器—回流线装置的屏蔽系数;
 l_P —强电线与通信线平行接近段的长度, 公里;
 l_S —双线电话线路上相邻两交叉点间最大交叉间隔的长度, 公里;
 l'_S —双线电话线路交叉间隔的计算用长度, 公里;
 l —通信线路的计算用长度, 公里;
 $L_{外}$ —导线(或电缆)—大地回路的外电感, 亨/公里;
 $L_{内}$ —导线(或电缆铠装层)的内电感, 亨/公里;
 M —强电线和通信线之间的互感系数, 亨/公里;
 M_{-} —电流为800赫时强电线与通信线之间的互感系数, 亨/公里;
 M_d —双线电话回路与强电线之间在800赫时的互感系数, 亨/公里;
 m —通信线路的导线总数;
 n —通信线路上接地导线的数目;
 n' —人碰触通信回路的导线数目, 如单线回路 $n' = 1$, 双线回路 $n' = 2$, 双
 幻线回路 $n' = 4$;
 N —接近段的数目;
 N_1 —通信线路的分段数目;
 P —接近段内架空地线对静电感应的屏蔽系数;
 Q —通信导线上的感应电荷, 库;
 q —接近段内树木对静电感应的屏蔽系数;
 q_1 —强电线路导线1上所带的电荷, 库;
 q_A —通信导线A上的感应电荷, 库;
 r_E —通信电缆的固有屏蔽系数;

r —通信电缆的实际屏蔽系数;
 $r_{\text{正}}$ —不对称强电线正常运行时通信电缆的实际屏蔽系数;
 $r_{\text{短}}$ —强电线短路故障时通信电缆的实际屏蔽系数;
 r_{800} —800赫时通信电缆的实际屏蔽系数;
 R_0 —双线回路的直流电阻, 欧/公里;
 R'_0 —单根导线的直流电阻, 欧/公里;
 R' —单根导线的交流电阻, 欧/公里;
 R_z —接地电阻, 欧;
 R_l —电缆铝装层的滞磁和涡流损失所增加的电阻, 欧/公里;
 R_i —通信电缆外护层的绝缘电阻, 欧·公里;
 R_K —通信电缆外皮的对地接触电阻, 欧·公里;
 R_g —通信电缆外皮和铠装的交流有效电阻, 欧/公里;
 R_A —通信导线的电阻, 欧/公里;
 R_C —电缆外皮—大地回路的特性阻抗, 欧;
 R_{λ} —四端网络的开路输入阻抗, 欧;
 r_c —通信电缆外皮的半径, 米;
 s —电力电缆外皮对磁感应的实际屏蔽系数;
 S —同杆接地通信导线对电感应的屏蔽系数;
 t_0 —架空地线对磁感应的固有屏蔽系数;
 t —架空地线对磁感应的实际屏蔽系数;
 $U_{\text{相}}$ —输电线的相电压, 伏;
 $U_{\text{线}}$ —输电线的线电压, 伏;
 $U_{\text{音}}$ —杂音计电动势, 毫伏;
 U_a —由静电感应在通信线上诱生的对地电压, 伏;
 U_s —由静电感应所引起的杂音电动势, 毫伏;
 U_m —由磁感应所引起的杂音电动势, 毫伏;
 U_{sm} —由静电感应和磁感应所引起的总杂音电动势, 毫伏;
 U_o —强电线路的不平衡电压, 伏;
 U_{sc} —单线电话回路内感应的杂音电动势, 毫伏;
 U_{m1} —由于双线电话线对强电线位置不对称所引起的磁感应杂音电动势, 毫伏;
 U_{m2} —由于双线电话线对地不对称所引起的磁感应杂音电动势, 毫伏;
 U_{s1} —双线电话回路由于对强电线路不对称所引起的静电杂音电动势分量, 毫

伏；

U_2 —双线电话回路由于对地不对称所引起的静电杂音电动势分量，毫伏；

$U_{\text{试}}$ —通信电缆的试验电压，伏；

$V_{\text{杂}}$ —杂音计电压，毫伏；

W —杂音功率，微微瓦；

Y —通信导线的对地导纳，姆/公里；

Z_0 —电话机在800赫时的阻抗，欧；

Z'_0 —电报机在50赫时的阻抗，欧；

Z_c —单线—大地回路在800赫时的阻抗，欧/公里；

Z_N —通信导线束阻抗，欧/公里；

$Z_{\text{铜}}$ —在通信导线束中单根铜线的全阻抗，欧/公里；

$Z_{\text{铁}}$ —在通信导线束中单根铁线的全阻抗，欧/公里；

Z_m —强电线与通信线之间的互感阻抗，欧/公里；

Z_{12} —输电线与架空地线之间的互感阻抗，欧/公里；

Z_{22} —架空地线—大地回路的阻抗，欧/公里；

γ_A —通信线的传播常数， $\frac{1}{\text{公里}}$ ；

γ —铁轨—大地回路的传播常数， $\frac{1}{\text{公里}}$ ；

δ —输电线路各相导线间的几何平均距离，米；

δ_{12} —输电线路的第一根相导线与第二根相导线之间的距离，米；

δ_{23} —输电线路的第二根与第三根相导线之间的距离，米；

η —双线电话回路对杂音的敏感系数；

λ —交流电气化铁路的铁轨屏蔽系数；

μ —金属的相对导磁系数；

π —圆周率；

ρ —大地电阻率，欧·米；

σ —大地导电率， cgsm （绝对电磁单位）；

ϕ —强电线与通信线的交越角，度；

ψ —通信回路导线平面对水平面的倾斜角，度；

ω —等于 $2\pi f$ ， f 为电流频率；

目 录

前言

本书所用的符号及说明	(1)
------------------	-------

第一章 强电线和有线通信设备简介	(1)
------------------------	-------

1.1 强电线设备	(1)
-----------------	-------

1.1.1 电力网	(1)
-----------------	-------

1.1.2 Y形联接与△形联接	(8)
-----------------------	-------

1.1.3 对称与不对称制强电线	(8)
------------------------	-------

1.1.4 中性点接地方式	(13)
---------------------	--------

1.1.5 输电线的杆面型式	(22)
----------------------	--------

1.1.6 交流电气化铁路接触网	(23)
------------------------	--------

1.2 有线电通信设备	(26)
-------------------	--------

1.2.1 电话	(28)
----------------	--------

1.2.2 电报	(30)
----------------	--------

1.2.3 线路	(32)
----------------	--------

第二章 名词定义和容许标准	(46)
---------------------	--------

2.1 影响	(46)
--------------	--------

2.1.1 电磁影响	(46)
------------------	--------

2.1.2 静电影响	(47)
------------------	--------

2.1.3 直接传导影响	(48)
--------------------	--------

2.1.4 危险影响	(49)
------------------	--------

2.1.5 干扰影响	(49)
------------------	--------

2.2 强电线	(50)
---------------	--------

2.2.1 强电线的工作电压	(50)
----------------------	--------

2.2.2 对称强电线路	(51)
--------------------	--------

2.2.3 不对称强电线路	(52)
---------------------	--------

2.2.4	交流电气化铁路接触网的供电方式	(52)
2.2.5	交流电气化铁路接触网的三种工作状态	(52)
2.3	接近与交越	(53)
2.3.1	平行接近	(53)
2.3.2	接近段	(53)
2.3.3	接近距离	(54)
2.3.4	斜接近线段	(54)
2.3.5	斜接近段长度	(55)
2.3.6	斜接近段的等值距离	(55)
2.3.7	交越	(56)
2.4	纵电动势与杂音电动势	(57)
2.4.1	纵电动势	(57)
2.4.2	跨步电压	(57)
2.4.3	杂音计电压与杂音计电动势	(57)
2.4.4	等值干扰电压	(64)
2.4.5	杂音电压的波形因数	(64)
2.4.6	等值干扰电流	(65)
2.4.7	杂音电流的波形因数	(65)
2.4.8	杂音敏感系数	(66)
2.5	强电线与通信线必须满足的条件	(66)
2.5.1	强电线必须满足的条件	(66)
2.5.2	铁路自动闭塞装置的输电线路必须满足的条件	(67)
2.5.3	通信设备必须满足的条件	(68)
2.6	容许标准	(69)
2.6.1	危险影响的容许标准	(69)
2.6.2	干扰影响的容许标准	(75)
2.7	小结	(80)

第三章 强电线上电压的静电场对通信线感应影响的计算

(88)

3.1 中性点不直接接地的对称输电线在一相接地故

障时及不对称输电线在正常运行时	(88)
3.1.1 通信线上感应电位和电流的计算公式	(88)
3.1.2 经人体放电电流的计算	(107)
3.1.3 音响冲击能量的计算	(112)
3.1.4 对直流电报线干扰影响的计算	(114)
3.1.5 对单线电话线干扰影响的计算	(116)
3.1.6 对双线电话线干扰影响的计算	(118)
3.1.7 在交越段对通信线干扰的计算	(128)
3.2 对称输电线路在正常运行情况下对通信线干扰影响的计算	(150)
3.2.1 通信线上感应电位的计算公式	(150)
3.2.2 对称三相输电线路与通信线路之间的电容耦合系数	(155)
3.2.3 对单线通信回路干扰影响的计算	(157)
3.2.4 对双线电话回路的干扰影响计算	(162)
第四章 强电线上电流的磁场对通信线感应影响的计算	(175)
4.1 通信线上的感应纵电动势的基本计算公式	(175)
4.2 沿通信导线的感应电压	(176)
4.2.1 基本方程式	(176)
4.2.2 通信导线两终端对地绝缘	(183)
4.2.3 通信导线两终端与地连接	(187)
4.2.4 通信导线一端接地、一端对地绝缘	(188)
4.3 线路间的互感系数	(191)
4.3.1 平行接近段	(191)
4.3.2 斜接近段和交越	(201)
4.3.3 电磁危险影响的临界距离	(221)
4.4 大地导电率	(225)
4.4.1 大地导电率与土壤导电率有什么不同?	(225)
4.4.2 经大地返回的交流电流	(227)
4.4.3 大地导电率的测量方法	(231)

4.5	交流电气化铁路对通信线路的磁影响	(245)
4.5.1	磁影响的计算公式	(245)
4.5.2	在接触网上安装吸流变压器	(251)
4.6	强电线对通信线的电磁干扰影响	(260)
4.6.1	对单线电话回路的杂音干扰	(260)
4.6.2	对直流电报回路的干扰	(263)
4.6.3	对双线电话回路的杂音干扰	(268)
第五章	不同类型强电线对通信线的各种影响的计算	(272)
5.1	中性点不直接接地制对称三相输电线对通信线影响的计算	(273)
5.2	中性点直接接地制对称三相输电线对通信线影响的计算	(283)
5.3	两线一地制三相输电线对通信线影响的计算	(293)
5.4	交流电气化铁路接触网对通信线影响的计算	(310)
第六章	几种防护措施的计算	(342)
6.1	输电线杆上的架空地线	(342)
6.1.1	架空地线的屏蔽系数	(343)
6.1.2	架空地线实际屏蔽系数的计算公式	(343)
6.1.3	良导体架空地线防护设计步骤	(348)
6.1.4	防护设计计算例题	(350)
6.1.5	各种线质架空地线屏蔽系数数据	(358)
6.2	通信电缆护套屏蔽作用的计算	(360)
6.2.1	固有屏蔽系数的计算	(361)
6.2.2	固有屏蔽系数公式中各参数的计算	(365)
6.2.3	固有屏蔽系数的测量	(376)
6.2.4	通信电缆实际屏蔽系数的计算	(378)
6.2.5	电缆对地接触电阻的计算与测定	(385)
6.3	沿通信线配置放电器的计算	(388)
6.3.1	放电器配置计算的目的	(388)

6.3.2	放电器配置计算的几项主要内容	(389)
6.3.3	放电器配置的计算公式	(390)
6.3.4	放电器配置计算例题	(400)
6.3.5	强电线短路点附近终端效应的计算	(419)
附录一	通信导线的直流电阻	(434)
附录二	通信导线的交流电阻	(438)
附录三	导线—大地通信回路的电感	(441)
附录四	架空强电线路与通信线路之间的电容耦合系 数	(443)

第一章 强电线和有线通信设备简介

本书所讨论的强电线路，指的是输电线路和交流电气化铁路接触网，它们的电流频率都是50赫。其中，输电线路按电压等级可以分为35千伏至500千伏的高压输电线路、10千伏的农村输电线路，3~10千伏的高压配电线路和线电压为380伏的用户配电网。而交流电气化铁路接触网的供电电压则为25千伏，采用单相制，以铁轨为返回导体。

1.1 强电线设备

在本节中，我们将为通信工作者介绍一些有关强电线的知识。

1.1.1 电 力 网

电力系统由发电机、配电设备、升压或降压变电站、电力网线路和电能用户所组成。电力系统和动力系统的区别在于：电力系统不包括系统的热力和水力部分，也就是不包括与原动机及其能源有关的部分。

电力系统中的线路部分称为电力网，电力网将电能从发电地点输送到需要地点，并在用户之间分配电能。

连接降压变电站和发电站之间的线路称为输电线。作为地区电力网的一部分并担负向高压配电网送电的线路，也称为输电线。目前我国输电线路的电压等级，有500、330、220、

154、110、35和10千伏几种。其中10千伏这一级只用于农村输电线。在农村输电线中有些线路采用了两线一地制输电方式，用大地代替一根导线。

下面，我们举例说明电力系统的组成（见图1-1）。图中，

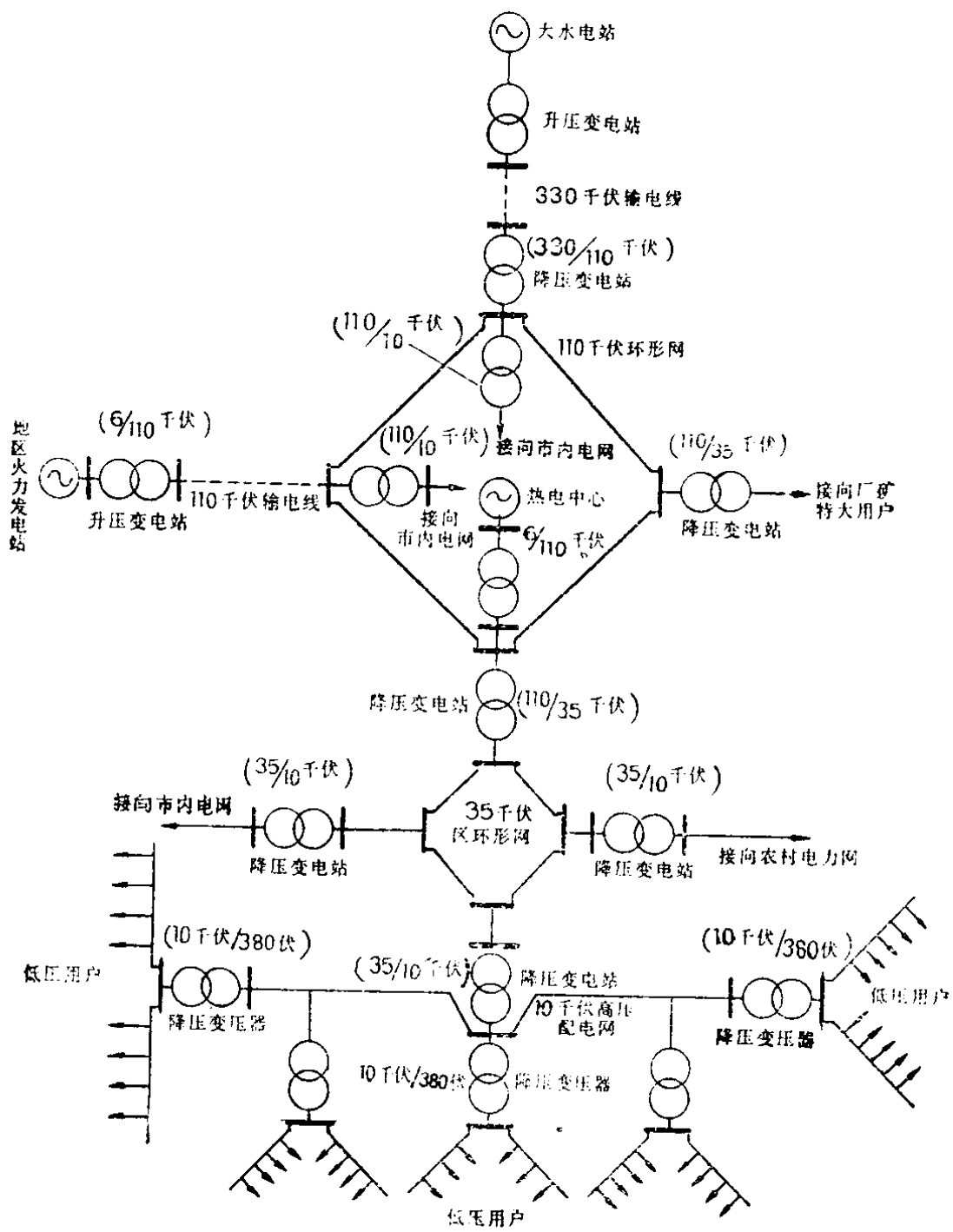


图 1—1 电力系统的组成（示例）

由大水电站发出的电力，经过升压变压器将电压提高到 330 千伏，送到数百公里以外的一次变电所。经过降压变压器将电压降至 110 千伏，再输送到 110 千伏的地区环形网。有时，也可以从地区的火电站将电能经过升压变压器由 6 千伏升至 110 千伏，以供给环形网。在 110 千伏环形网内，一般都有许多 110/10 千伏降压变电站，在大工业区中心有热电中心，它使用外来燃料，将电能与热能供给附近的工业区用户。

从 110 千伏的地区环形网，经过降压变压器将电力供给 35 千伏区环形网。从区环形网，通过降压变压器，将电压降至 10 千伏，供给农村输电网和城市配电网的用电。在配电网上的适当地点，安装有配电变压器将电压降低为线电压 380 伏的三相四线制配电线路。三相四线制配电线，有三根对地电压为 220 伏的相导线，还有一根接地的中性线。我们在办公室和宿舍里用的电灯，都是由一根 220 伏相导线（俗称火线）和一根中性线（俗称地线）接在电灯两端来完成供电的。

1.1.2 Y 形联接与 Δ 形联接

目前的电力网，几乎都是三相制的。三相发电机的三个线圈有两种连接法，即 Y 形（星形）连接法与 Δ 形连接法。三相负载也同样有上述两种连接法。

1. 若发电机的三个线圈用 Y 形（星形）连接法向负载供电，这三个线圈的尾端均应连接在一点 0 点上，0 点称为三相电源的中性点。同样用 Y 形接法，三个负载的首端应分别接三相电源，其尾端均连接在一点 0' 点上，则 0' 就是三相负载的中性点。0 与 0' 的连接线称为中性线，这种供电方式称为三相四线制，如图 1-2 所示。若三相负载相等，则中性线 00' 上应无电流，中性线遂可省去不用，成为三相三线制如图 1-3 所示。

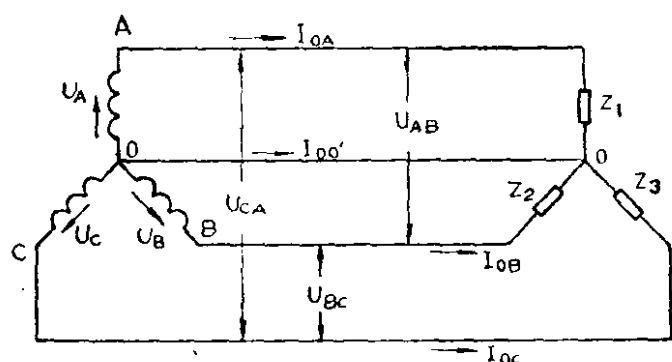


图 1—2

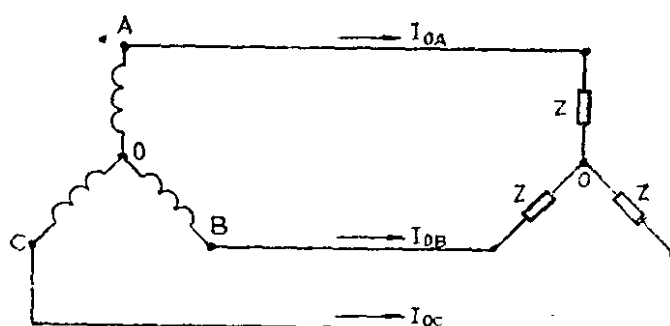


图 1—3

在图1-2中， U_A 、 U_B 、 U_C 是发电机三个线圈的电压，称为相电压。每两根线路导线间的电压，各为 U_{AB} 、 U_{BC} 、 U_{CA} 称为线电压。通常我们称某输电线路的电压是110千伏或220千伏，指的就是它的线电压的有效值。

三相发电机所产生的三个相电压 U_A 、 U_B 和 U_C ，其绝对值相等，相位互差 120° 。如令 $U_A=U$ ，则 $U_B=U / -120^\circ$ 、 $U_C=U / +120^\circ$ 。三个相电压之和应等于零，即：

$$\begin{aligned} U_A + U_B + U_C &= U \{ 1 + [\cos(-120^\circ) + j \sin(-120^\circ)] \\ &\quad + [\cos 120^\circ + j \sin 120^\circ] \} \\ &= U \{ 1 + [\cos 120^\circ - j \sin 120^\circ] \\ &\quad + [\cos 120^\circ + j \sin 120^\circ] \} \\ &= U \{ 1 + [\cos(180^\circ - 60^\circ) - j \sin(180^\circ - 60^\circ)] \} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& +\{\cos(180^\circ-60^\circ)+j\sin(180^\circ-60^\circ)\}\} \\
& =U\{1-\cos 60^\circ-j\sin 60^\circ-\cos 60^\circ \\
& \quad +j\sin 60^\circ\} \\
& =U\left\{1-\frac{1}{2}-j\frac{\sqrt{3}}{2}-\frac{1}{2}+j\frac{\sqrt{3}}{2}\right\} \\
& =0
\end{aligned}$$

如果三相的负载都等于 Z ，在图1-2中，每各个线圈上的电流为：

$$I_{0A}=\frac{U_A}{Z}, \quad I_{0B}=\frac{U_B}{Z}, \quad I_{0C}=\frac{U_C}{Z}.$$

$$\begin{aligned}
\text{故: } I_{0A}+I_{0B}+I_{0C} & =\frac{U}{Z}\left(1-\frac{1}{2}-j\frac{\sqrt{3}}{2}-\frac{1}{2}+j\frac{\sqrt{3}}{2}\right) \\
& =0
\end{aligned}$$

证明中性线 $00'$ 内并无电流，因而中性线可以省去不用。
三个线电压：

$$\begin{aligned}
U_{BC} & =U_{B0}+U_{C0}=U_C-U_B \\
& =U(\angle 120^\circ-\angle -120^\circ) \\
& =U\left(-\frac{1}{2}+j\frac{\sqrt{3}}{2}+\frac{1}{2}+j\frac{\sqrt{3}}{2}\right) \\
& =j\sqrt{3}U \\
U_{CA} & =U_{C0}+U_{0A}=U_A-U_C \\
& =U(1-\angle 120^\circ) \\
& =U\left(1+\frac{1}{2}-j\frac{\sqrt{3}}{2}\right) \\
& =j\sqrt{3}U\left(-\frac{1}{2}-\frac{j\sqrt{3}}{2}\right)
\end{aligned}$$