

第一章

1-1 什么是电力系统？建立联合电力系统有哪些好处？

答：电力系统是由发电厂、变电所、输配电线路和电力用户组成的整体。建立联合电力系统的优点是：可以减少系统的总装机容量；可以减少系统的备用容量；可以提高供电的可靠性；可以安装大容量的机组；可以合理利用动力资源，提高系统运行的经济性。

1-2 电能生产的主要特点是什么？对电力系统有哪些要求？

答：电能生产的主要特点是：电能不能大量存储；过渡过程十分短暂；与国民经济各部门和人民一般生活的关系极为紧密。

对电力系统的根本要求是：保证供电的可靠性；保证良好的电能质量；为用户提供充分的电能；提高电力系统运行的经济性。

1-3 我国规定的三相交流电网额定电压等级有哪些？用电设备、发电机、变压器的额定电压与同级电网的额定电压之间有什么关系？为什么？

答：我国规定的三相交流电网额定电压等级，低压有 0.22/0.127 kV、0.38/0.22 kV 和 0.66/0.38kV；高压有 3 kV、6 kV、10 kV、35 kV、60 kV、110 kV、220 kV、330 kV、500 kV 和 750 kV。

用电设备的额定电压规定与同级电网的额定电压相同；发电机的额定电压应比同级电网额定电压高 5%；变压器一次绕组的额定电压，对于降压变压器，应等于电网的额定电压，对于升压变压器，应等于发电机的额定电压；变压器二次绕组的额定电压，当二次侧供电线路较长时，应比电网额定电压高 10%，当变压器二次侧供电线路较短时，应比同级电网额定电压高 5%。

1-4 衡量电能质量的主要指标有哪些？简述它们对电力系统的主要影响。

答：衡量电能质量的主要指标有：频率偏差、电压偏差、电压波动与闪变、高次谐波（波形畸变率）、三相不平衡度及临时过电压和瞬态过电压。

对电力系统的主要影响（略）。

1-5 什么叫小电流接地系统？什么叫大电流接地系统？小电流接地系统发生一相接地时，各相对地电压如何变化？这时为何可以临时继续运行，但又不同意长期运行？

答：中性点不接地和中性点经消弧线圈接地的系统称为小电流接地系统；中性点直接接地（或经低电阻接地）的系统称为大电流接地系统。

在小电流接地系统中发生单相接地时，故障相对地电压为零，非故障相对地电压升高 $\sqrt{3}$ 倍。此时三相之间的线电压仍旧对称，因此用户的三相用电设备仍能照常运行，但是，发生单相接地后，其运行时间不能太长，以免在另一相又发生接地故障时形成两相接地短路。

1-6 消弧线圈的补偿方法有几种？一般采纳哪种补偿方法？为什么？

答：消弧线圈的补偿方法有全补偿、欠补偿和过补偿，一般都采纳过补偿方法。因为在过补偿方法下，即使电网运行方法改变而切除局部线路时，也不会开展成为全补偿方法，致使电网发生谐振。同时，由于消弧线圈有肯定的裕度，即使今后电网开展，线路增多、对地电容增加后，原有消弧线圈仍可继续使用。

1-7 为什么我国规定 110kV 以上的高压电网和 380/220V 的低压电网要采纳大电流接地系统？各有什么优点？

答：大电流接地系统发生单相接地时中性点电位仍为零，非故障相对地电压不会升高，仍为相电压，因此电气设备的绝缘水平只需按电网的相电压考虑，故可以降低工程造价。所以我国 110kV 及以上的电力系统基本上都采纳中性点直接接地的方法。而在 380/220V 系统中采纳中性点直接接地方方法，主要是考虑人身平安问题，一旦发生单相接地故障，可以迅速跳开自动开关或烧断熔断丝，将故障局部切除。

1-8 试确定图 1-12 所示供电系统中发电机和全部变压器的额定电压。

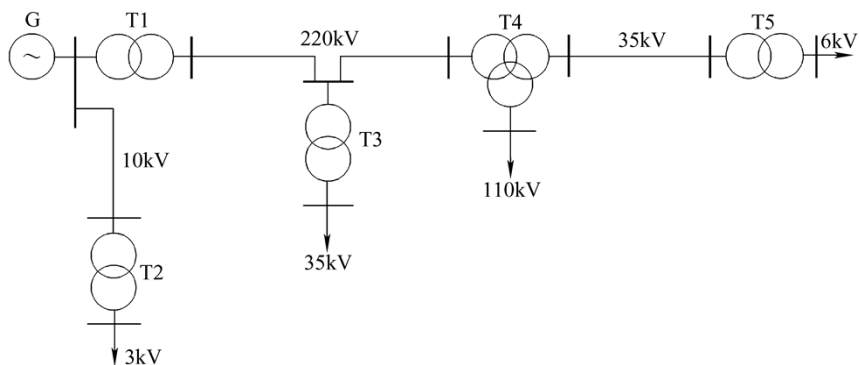


图 1-12 习题 1-8 附图

答：发电机 G：10.5kV；变压器 T1：10.5/242kV；变压器 T2：10/3.3kV；变压器 T3：220/38.5kV；变压器 T4：220/121/38.5kV；变压器 T5：35/6.6 kV

1-9 某 10kV 电网，架空线路总长度 70km，电缆线路总长度为 16km。试求此中性点不接地的电力系统发生单相接地时的接地电容电流，并推断此系统的中性点需不需要改为经消弧线圈接地。

答：由于
$$I_C = \frac{(I_{oh} + 35I_{cab})U_N}{350} = \frac{(70 + 35 \times 16) \times 10}{350} = 18A < 30A$$

因此，不需要改为经消弧线圈接地。

第二章

2-1 电力负荷按重要程度分为哪几级？各级负荷对供电电源有什么要求？

答：电力负荷按对供电可靠性的要求可分为一级负荷、二级负荷和三级负荷三类。一级负荷应由两个独立电源供电；二级负荷应由两回线路供电；三级负荷对供电电源无特别要求。

2-2 何谓负荷曲线？试述年最大负荷利用小时数和负荷系数的物理意义。

答：负荷曲线是表征电力负荷随时间变动情况的一种图形。

年最大负荷利用小时数 T_{\max} ，是一个假想时间，在此时间内，用户以年最大负荷 P_{\max} 延续运行所消耗的电能恰好等于全年实际消耗的电能，年负荷曲线越平坦， T_{\max} 值越大，年负荷曲线越陡； T_{\max} 值越小。因此， T_{\max} 的大小说明了用户用电的性质，也说明了用户负荷曲线的大致趋势。

平均负荷与最大负荷的比值叫负荷系数，它是表征负荷变化规律的一个参数，其值愈大，说明负荷曲线愈平坦，负荷波动愈小。

2-3 什么叫计算负荷？确定计算负荷的意义是什么？

答：计算负荷是依据已知的用电设备安装容量确定的、用以按发热条件选择导体和电气设备时所使用的一个假想负荷，计算负荷产生的热效应与实际变动负荷产生的热效应相等。

确定计算负荷时为正确选择供配电系统中的导线、电缆、开关电器、变压器等提供技术参数。

2-4 什么叫暂载率？反复短时工作制用电设备的设备容量如何确定？

答：暂载率是指设备工作时间与工作周期的百分比值。反复短时工作制用电设备的设备容量是指换算到统一暂载率下的额定功率。

对于吊车：是指统一换算到 $\varepsilon = 25\%$ 时的额定功率，其设备容量 $P_e = 2P_N \sqrt{\varepsilon_N}$ ；

对于电焊机：是指统一换算到 $\varepsilon = 100\%$ 时的额定功率，其设备容量 $P_e = P_N \sqrt{\varepsilon_N} = S_N \cos \varphi_N \sqrt{\varepsilon_N}$

2-5 需要系数法和二项式系数法各有什么计算特点？各适用哪些场合？

答：需要系数法计算较简单，应用较广泛，但计算结果往往偏小，适用于容量差异不大、设备台量较多的场合；二项式法考虑大容量用电设备对计算负荷的影响，主要适用于设备台数较少而容量差异悬殊较大的场合。

2-6 什么叫最大负荷损耗小时？它与哪些因素有关？

答：年最大负荷损耗小时数实际上也是一个假想时间，在此时间内，线路延续通过计算电流所产生的电能损耗，恰好与实际负荷电流全年在线路上产生的电能损耗相等。它与年最大负荷利用小时数 T_{\max} 和负荷的功率因数有关。

2-7 功率因数低的不良影响有哪些？如何提高企业的自然功率因数？

答：功率因数低将会引起线路的总电流增大，使供电网络中的功率损耗和电能损耗增大；使供电网络的电压损失增大，影响负荷端的电压质量；使供电设备的容量不能得到充分利用，降低了供电能力；使发电机的出力下降，发电设备效率降低，发电本钱提高。

提高企业的自然功率因数的方法有：正确选用感应电动机的型号和容量；限制感应电动机的空载运行；提高感应电动机的检修质量；合理使用变压器；感应电动机同步化运行。

2-8 并联电容器的补偿方法有哪几种？各有什么优缺点？

答：并联电容器的补偿方法有高压集中补偿、低压成组补偿和分散就地补偿（个别补偿）。

高压集中补偿方法的投资较少，电容器组的利用率较高，能够提高整个变电所的功率因数，但它的补偿范围小，只能补偿 6~10kV 母线以前的线路上的无功功率，不能补偿工业企业内部配电网路的无功功率。

低压成组补偿方法的投资不大，运行维护方便，能够减小车间变压器的容量，降低电能损耗，其补偿区大于高压集中补偿，能够补偿变电所低压母线前的变压器和全部有关高压系统的无功功率。

分散就地补偿方法的补偿范围最大，补偿效果最好，能够补偿安装地点以前的变压器和全部上下压线路的无功功率，但投资较大，且电容器组在被补偿的设备停止工作时也一并被切除，利用率较低。

2-9 某工厂车间 380V 线路上接有冷加工机床 50 台，共 200kW；吊车 3 台，共 4.5kW（ $\varepsilon=15\%$ ）；通风机 8 台，每台 3 kW；电焊变压器 4 台，每台 22kVA（ $\varepsilon=65\%$ ， $\cos\varphi_N=0.5$ ）；空压机 1 台，55kW。试确定该车间的计算负荷。

解：该车间的计算负荷如下表所示。

电力负荷计算表

序号	用电设备名称	台数	设备容量/kW		K_d	$\cos\varphi$	$\tan\varphi$	计算负荷			
			铭牌值	换算值				P_{30}/kW	Q_{30}/kvar	$S_{30}/\text{kV A}$	I_{30}/A
1	冷加工机床	50	200	200	0.16	0.5	1.73	32	55.36		
2	吊车	3	4.5	3.5	0.15	0.5	1.73	0.525	0.91		

优选文档

3	通风机	8	24	24	0.8	0.8	0.75	19.2	14.4		
4	电焊变压器	4	88	35.47	0.35	0.35	2.68	12.4	33.23		
5	空压机	1	55	55	0.85	0.8	0.75	46.75	35.06		

小计	66					110.87	138.96		
						5			
负荷总计 ($K_y = 0.9$)						99.8	125.06	160	243.1

2-10 有一条 380V 低压干线，供电给 30 台小批生产的冷加工机床电动机，总容量为 200kW，其中较大容量的电动机有 10kW1 台，7kW3 台，4.5kW8 台。试分别用需要系数法和二项式系数法计算该干线的计算负荷。

解：用需要系数法和二项式系数法所求计算负荷如下表所示。

电力负荷计算表〔需要系数法〕

用电设备名称	台数	设备容量/kW	K_d	$\cos \varphi$	$\tan \varphi$	计算负荷			
						P_{30}/kW	Q_{30}/kvar	S_{30}/kVA	I_{30}/A
冷加工机床	30	200	0.16	0.5	1.73	32	55.36	63.94	97.15

电力负荷计算表〔二项式系数法〕

用电设备名称	设备台数	设备容量		二项式系数	$\cos \varphi$	$\tan \varphi$	计算负荷			
		$\sum P_e/\text{kW}$	$\sum P_x/\text{kW}$				b/c	P_{30}/kW	Q_{30}/kvar	S_{30}/kVA
冷加工机床	30/5	200	35.5	0.14/0.4	0.5	1.73	42.2	73	84.32	128.1

2-11 有一条 10kV 高压线路供电给两台并列运行的 S9—800/10 (D_yn11 接线) 型电力变压器，高压线路采纳 LJ—70 铝绞线，水水平距离架设，线距为 1m，长 6km。变压器低压侧的计算负荷为 900kW， $\cos \varphi = 0.8$ ， $T_{\max} = 5000 \text{ h}$ 。试分别计算此高压线路和电力变压器的功率损耗和年电能损耗。

解：(1) 变压器的功率损耗和电能损耗

$$Q_{30(2)} = P_{30(2)} \tan \varphi = 900 \times \tan(\arccos 0.8) = 675 \text{ kvar}$$

$$S_{30(2)} = P_{30(2)} / \cos \varphi = 900 / 0.86 = 1125 \text{ kVA}$$

变压器的负荷率为： $\beta = \frac{1125}{2 \times 800} = 0.703$

查附录表 A-1 可知，S9-800/10 型 (D_yn11) 变压器的技术数据为：

$$\Delta P_0 = 1.4 \text{ kW}, \Delta P_k = 7.5 \text{ kW}, I_0 \% = 2.5, U_k \% = 5$$

则两台变压器的功率损耗为： $\Delta P_T = 2(\Delta P_0 + \beta^2 \Delta P_k) = 2 \times (1.4 + 0.703^2 \times 7.5) = 10.2 \text{ kW}$

$$\Delta Q_T = 2 \times \frac{S_N}{100} (I_0 \% + \beta^2 U_k \%) = 2 \times \frac{800}{100} (2.5 + 0.703^2 \times 5) = 79.54 \text{ kvar}$$

由 $T_{\max} = 5000 \text{ h}$ 和 $\cos \varphi = 0.8$ 查图 2-7 得: $\tau = 3650 \text{ h}$ 。因此, 两台变压器的电能损耗为:

$$W_a = 2(\Delta P_0 \times 8760 + \beta^2 \Delta P_k \tau) = 2 \times (1.4 \times 8760 + 0.703^2 \times 7.5 \times 3650) = 5.16 \times 10^4 \text{ kWh}$$

(2) 线路的功率损耗和电能损耗

变压器高压侧的计算负荷为: $P_{30(1)} = P_{30(2)} + \Delta P_T = 900 + 10.2 = 910.2 \text{ kW}$

$$Q_{30(1)} = Q_{30(2)} + \Delta Q_T = 675 + 79.54 = 754.54 \text{ kvar}$$

$$S_{30(1)} = \sqrt{910.2^2 + 754.54^2} = 1182.28 \text{ kVA}$$

$$I_{30} = \frac{S_{30(1)}}{\sqrt{3}U_N} = \frac{1182.28}{\sqrt{3} \times 10} = 68.26 \text{ A}$$

查附录表 A-12 可知, LJ-70 铝绞线的 $r_1 = 0.46 \Omega/\text{km}$, $S_{av} = 1.25 \text{ m}$ 时 $x_1 = 0.358 \Omega/\text{km}$ (实际上 $S_{av} = 1.26 \text{ m}$), 因此线路的功率损耗为:

$$\Delta P_{WL} = 3I_{30}^2 R_{WL} \times 10^{-3} = 3 \times 68.26^2 \times 0.46 \times 6 \times 10^{-3} = 38.58 \text{ kW}$$

$$\Delta Q_{WL} = 3I_{30}^2 X_{WL} \times 10^{-3} = 3 \times 68.26^2 \times 0.358 \times 6 \times 10^{-3} = 30 \text{ kvar}$$

线路的电能损耗为: $\Delta W_a = \Delta P_{WL} \tau = 38.58 \times 3650 = 1.41 \times 10^5 \text{ kWh}$

2-12 某电力用户 10kV 母线的有功计算负荷为 1200kW, 自然功率因数为 0.65, 现要求提高到 0.90, 试问需装设多少无功补偿容量? 如果用 BW10.5—40—1W 型电容器, 问需装设多少个? 装设以后该厂的视在计算负荷为多少? 比未装设时的视在计算负荷减少了多少?

解: (1) 需装设的 BWF10.5-40-1W 型并联电容器容量及个数

$$Q_C = 1200 \times [\tan(\arccos 0.65) - \tan(\arccos 0.9)] = 822 \text{ kvar}$$

$$n = \frac{Q_C}{q_C} = \frac{822}{40} = 20.55 \quad \text{取 } n = 21$$

则实际补偿容量为： $Q_C = 21 \times 40 = 840 \text{ kvar}$

(2) 无功补偿前后视在负荷的变化

补偿前： $Q_{30} = P_{30} \tan \varphi = 1200 \times \tan(\arccos 0.65) = 1403 \text{ kvar}$

$$S_{30} = \frac{P_{30}}{\cos \varphi} = \frac{1200}{0.65} = 1846 \text{ kVA}$$

$$\text{补偿后： } S'_{30} = \sqrt{P_{30}^2 + (Q_{30} - Q_C)^2} = \sqrt{1200^2 + (1403 - 840)^2} = 1325.5 \text{ kVA}$$

$$\text{补偿后视在负荷减少了： } S_{30} - S'_{30} = 1846 - 1325.5 = 520.5 \text{ kVA}$$

2-13 某降压变电所装有一台 Y_{yn}0 联结的 S9—800/10 型电力变压器，其二次侧（380V）的有功计算负荷为 520kW，无功计算负荷为 430kvar，试求此变电所一次侧的计算负荷和功率因数。如果功率因数未到达 0.9，问应在此变电所低压母线上装多大并联电容器容量才能到达要求？

解：(1) 变压器一次侧的计算负荷和功率因数

查附录表 A-1 可知，S9-800/10 型（Yyn0）变压器的技术数据为：

$$\Delta P_0 = 1.4 \text{ kW}, \quad \Delta P_k = 7.5 \text{ kW}, \quad I_0 \% = 0.8, \quad U_k \% = 4.5$$

$$S_{30(2)} = \sqrt{520^2 + 430^2} = 674.76 \text{ kVA}$$

$$\cos \varphi_{(2)} = \frac{P_{30(2)}}{S_{30(2)}} = \frac{520}{674.76} = 0.77$$

$$\beta = \frac{674.76}{800} = 0.843$$

则变压器的功率损耗为：

$$\Delta P_T = \Delta P_0 + \beta^2 \Delta P_k = 1.4 + 0.843^2 \times 7.5 = 6.73 \text{ kW}$$

$$\Delta Q_T = \frac{S_N}{100} (I_0 \% + \beta^2 U_k \%) = \frac{800}{100} (0.8 + 0.843^2 \times 4.5) = 32 \text{ kvar}$$

变压器高压侧的计算负荷为：

$$P_{30(1)} = P_{30(2)} + \Delta P_T = 520 + 6.73 = 526.73 \text{ kW}$$

$$Q_{30(1)} = Q_{30(2)} + \Delta Q_T = 430 + 32 = 462 \text{ kvar}$$

$$S_{30(1)} = \sqrt{526.73^2 + 462^2} = 700.6 \text{ kVA}$$

$$\cos \varphi_{(1)} = \frac{P_{30(1)}}{S_{30(1)}} = \frac{526.73}{700.6} = 0.75$$

(2) 确定无功补偿容量。由于要求变压器高压侧的功率因数 $\cos \varphi_{(1)} \geq 0.9$ ，在变压器低压侧进行补偿时，取低压侧补偿后的功率因数 $\cos \varphi'_{(2)} = 0.92$ ，则低压侧需装设的补偿容量为：

$$Q_c = 520 \times [\tan(\arccos 0.77) - \tan(\arccos 0.92)] = 209.4 \text{ kvar}$$

取 $Q_c = 210 \text{ kvar}$

第三章

3-1 试比拟架空线路和电缆线路的优缺点。

答：架空线路与电缆线路相比，具有投资少、易于维修和建设工期短等优点，但简单受到雷击和风雨等自然灾害的侵袭，且它需要占用大片土地作出线走廊，有时会影响交通、建筑和市容等；电缆线路具有运行可靠、不易受外力和自然环境的影响、不占地面空间和不影响市容等优点，但投资大、建设工期长、维修不便。

3-2 架空线路由哪几局部组成？各局部的作用是什么？

答：架空线路主要由导线、避雷线、杆塔、绝缘子和金具等部件组成。导线的作用是传输电能；避雷线的作用是将雷电流引入大地，以爱护电力线路免遭雷击；杆塔的作用是支撑导线和避雷线，并使导线与导线、导线与大地之间保持肯定的平安距离；绝缘子的作用是使导线与杆塔之间保持绝缘；金具是用来连接导线和绝缘子的金属部件的总称。

3-3 什么叫电压降落？什么叫电压损失？

答：电压降落是指线路始末端电压的相量差；电压损失是指线路始末端电压的代数差。

3-4 导线截面选择的根本原则是什么？

答：输配电线路导线截面的选择应满足以下根本原则：发热条件、电压损失条件、机械强度条件、经济条件和电晕条件。

3-5 什么是“经济截面”？如何按经济电流密度来选择导线和电缆截面？

答：使年运行费用到达最小、初投资费用又不过大而确定的符合总经济利益的

导线截面，称为经济截面。

按经济电流密度选择导线截面时，先按 $A_{ec} = I_{30}/j_{ec}$ 求出经济截面，然后选择与 A_{ec} 最接近而又偏小一点的标准截面，这样可节约初投资和有色金属消耗量。

3-6 有一条 110kV 的双回架空线路，长度为 100km，导线型号为 LGJ—150，计算外径为 16.72mm，水平排列，相间距离为 4m，试计算线路参数并作出其 π 型等效电路。

解： $r_1 = \frac{\rho}{A} = \frac{31.5}{150} = 0.21\Omega/\text{km}^2$

$$R = \frac{1}{2}r_1l = \frac{1}{2} \times 0.21 \times 100 = 10.5\Omega$$

$$s_{av} = 1.26 \times 4 = 5.04\text{m} = 5040\text{mm}, \quad r = \frac{16.72}{2} = 8.36\text{mm}$$

$$x_1 = 0.1445 \lg \frac{s_{av}}{r} + 0.0157 \mu_r = 0.1445 \lg \frac{5040}{8.36} + 0.0157 \times 1 = 0.42\Omega/\text{km}$$

$$X = \frac{1}{2}x_1l = \frac{1}{2} \times 0.42 \times 100 = 21\Omega$$

$$Z = R + jX = 10.5 + 21\Omega$$

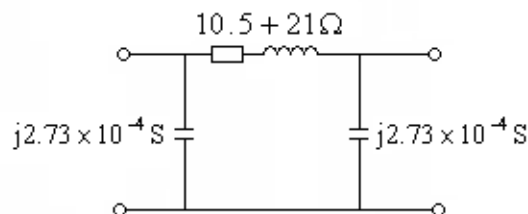
$$b_1 = \frac{7.58}{\lg \frac{s_{av}}{r}} \times 10^{-6} = \frac{7.58}{\lg \frac{5040}{8.36}} \times 10^{-6} = 2.73 \times 10^{-6}\text{S}/\text{km}$$

$$B = 2b_1l = 2 \times 2.73 \times 10^{-6} \times 100 = 5.46 \times 10^{-4}\text{S}$$

$$Y = jB = j5.46 \times 10^{-4}\text{S}$$

$$\frac{Y}{2} = j2.73 \times 10^{-4}\text{S}$$

对应的等效电路如右图所示。



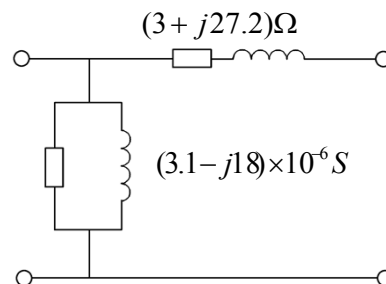
3-7 某变电所装有一台 S9—3150/35 型的三相双绕组变压器，额定电压为 35/10.5 kV，试求变压器的阻抗及导纳参数，并作出其等效电路。

解：查附录表 A-2 可知，S9-3150/35 型变压器的技术数据为：

$$\Delta P_0 = 3.8\text{kW}, \quad \Delta P_k = 24.3\text{kW}, \quad I_0\% = 0.7, \quad U_k\% = 7$$

$$X_T = \frac{10U_N^2 U_k\%}{S_N} = \frac{10 \times 35^2 \times 7}{3150} = 27.2\Omega$$

$$G_T = \frac{\Delta P_0}{U_N^2} \times 10^{-3} = \frac{3.8}{35^2} \times 10^{-3} = 3.1 \times 10^{-6}\text{S}$$



$$B_T = \frac{I_0 \% S_N}{U_N^2} \times 10^{-5} = \frac{0.7 \times 3150}{35^2} \times 10^{-5} = 1.8 \times 10^{-5} S$$

对应的等效电路如右图所示。

3-8 某变电所装有一台 SFSZ9—40000/110 型、容量比为 100/100/100 的三绕组变压器，试求变压器等效电路中各支路的电抗（归算到 110kV 侧）。

解：查附录表 A-4 可知，SFSZ9-40000/110 型变压器的技术数据为：

$$U_{k1-2} \% = 10.5, U_{k2-3} \% = 6.5, U_{k3-1} \% = 17.5, \text{ 则}$$

$$U_{k1} \% = \frac{1}{2}(10.5 + 17.5 - 6.5) = 10.75$$

$$U_{k2} \% = \frac{1}{2}(10.5 + 6.5 - 17.5) = -0.5$$

$$U_{k3} \% = \frac{1}{2}(6.5 + 17.5 - 10.75) = 6.75$$

$$\therefore X_{T1} = \frac{10U_{k1} \% U_N^2}{S_N} = \frac{10 \times 10.75 \times 110^2}{40000} = 32.5 \Omega$$

$$X_{T2} = \frac{10U_{k2} \% U_N^2}{S_N} = \frac{10 \times (-0.5) \times 110^2}{40000} = -1.5 \Omega \quad (\text{取 } 0 \Omega)$$

$$X_{T3} = \frac{10U_{k3} \% U_N^2}{S_N} = \frac{10 \times 6.75 \times 110^2}{40000} = 20.4 \Omega$$

3-9 某 10kV 线路如图 3-25 所示，已知导线型号为 LJ—50，线间几何均距为 1m， $p_1 = 250 \text{ kW}$ ， $p_2 = 400 \text{ kW}$ ， $p_3 = 300 \text{ kW}$ ，全部用电设备的 $\cos \varphi = 0.8$ ，试求该线路的电压损失。

解： $\cos \varphi = 0.8$ ， $\tan \varphi = 0.75$

$$p_1 = 250 \text{ kW}, q_1 = 250 \times 0.75 = 187.5 \text{ kvar}$$

$$p_2 = 400 \text{ kW}, q_2 = 400 \times 0.75 = 300 \text{ kvar}$$

$$p_3 = 300 \text{ kW}, q_3 = 300 \times 0.75 = 225 \text{ kvar}$$

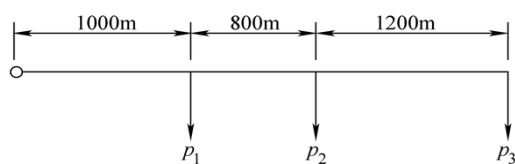


图 3-25 习题 3-9 附图

查附录表 A-12 得：LJ-50 型铝导线的 $r_1 = 0.64 \Omega / \text{km}$ ， $x_1 = 0.355 \Omega / \text{km}$ ，则

$$\Delta U = \sum_{i=1}^n \frac{p_i R_i + q_i X_i}{U_N} = \frac{r_1 \sum_{i=1}^3 p_i L_i + x_1 \sum_{i=1}^3 q_i L_i}{U_N}$$

$$= \frac{0.64 \times (250 \times 1 + 400 \times 1.8 + 300 \times 3) + 0.355 (187.5 \times 1 + 300 \times 1.8 + 225 \times 3)}{10}$$

$$= \frac{0.64 \times 1870 + 0.355 \times 1402.5}{10} = 169.47 \text{ V}$$

对应的电压损失百分数为

$$\Delta U\% = \frac{\Delta U}{U_N} \times 100 = \frac{169.47}{10000} \times 100 = 1.69\%$$

$$\text{或 } \Delta U\% = \frac{1}{10U_N^2} [r_1 \sum_{i=1}^n p_i L_i + x_1 \sum_{i=1}^n q_i L_i]$$

$$= \frac{1}{10 \times 10^2} [0.64(250 \times 1 + 400 \times 1.8 + 300 \times 3) + 0.355(187.5 \times 1 + 300 \times 1.8 + 225 \times 3)]$$

$$= 1.69\%$$

3-10 一条 10kV 线路向两个用户供电，同意电压损失为 5%，环境温度为 30℃，其他参数如图 3-26 所示，假设用相同截面的 LJ 型架空线路，试按同意电压损失选择其导线截面，并按发热条件和机械强度进行校验。

解：（1）按同意电压损失选择导线截面：

$$\text{设 } x_1 = 0.4 \Omega/\text{km}, \text{ 则 } \Delta U_{al} = \frac{5}{100} \times 10 \times 10^3 \text{ V} = 500 \text{ V}$$

$$\Delta U_r = \frac{0.4 \times (600 \times 4 + 300 \times 9)}{10} = 204 \text{ V}$$

$$\Delta U_a = \Delta U_{al} - \Delta U_r = 500 - 204 = 296 \text{ V}$$

$$A = \frac{800 \times 4 + 500 \times 9}{0.032 \times 10 \times 296} \text{ mm}^2 = 81.29 \text{ mm}^2$$

选 LJ-95 型铝绞线。

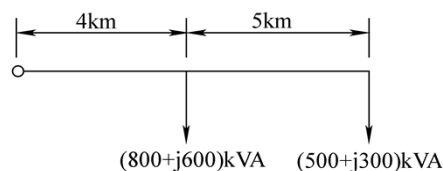


图 3-26 习题 3-10 附图

$$(2) \text{ 按发热条件进行校验: } P = p_1 + p_2 = 800 + 500 = 1300 \text{ kW}$$

$$Q = q_1 + q_2 = 600 + 300 = 900 \text{ kvar}$$

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{1300^2 + 900^2} = 1581 \text{ kVA}$$

$$I_{30} = \frac{S}{\sqrt{3}U_N} = \frac{1581}{\sqrt{3} \times 10} = 91.3 \text{ A}$$

查附录表 A-8 和 A-10 得，35℃时 LJ-95 导线的同意载流量为 $K_\theta I_{al} = 0.88 \times 325 = 286 \text{ A} >$

91.3A，因此满足发热条件要求。

(3) 按机械强度进行校验：查表 3-2 知，10kV 架空铝绞线的最小截面为 $25 \text{ mm}^2 < 95 \text{ mm}^2$ ，故满足机械强度条件。

3-11 某 110 架空线路，输送功率为 20MW，功率因数为 0.85，年最大负荷利用小时数为 5500h，试按经济电流密度选择其 LGJ 型钢芯铝绞线的导线截面。

解：线路的计算电流为

$$I_{30} = \frac{P_{30}}{\sqrt{3}U_N \cos \varphi} = \frac{20000}{\sqrt{3} \times 110 \times 0.85} = 123.5 \text{ A}$$

由表 3-3，查得 $j_{ec} = 0.9 \text{ A/mm}^2$ ，因此，导线的经济截面为

$$A_{ec} = \frac{123.5}{0.9} = 137.2 \text{ mm}^2$$

选 LGJ-120 型钢芯铝绞线。

第四章

4-1 什么叫短路？短路的类型有哪几种？短路对电力系统有哪些危害？

答：短路是指电力系统正常情况以外的一切相与相之间或相与地之间发生通路的情况。短路的类型有三相短路、两相短路、单相接地短路和两相接地短路。

短路对电力系统的危害有：短路电流的热效应可使设备因过热而损坏甚至烧毁；短路电流的力效应可引起设备机械变形、扭曲甚至损坏；影响电气设备的正常运行，造成产品报废甚至设备损坏；会导致并列运行的发电厂失去同步，破坏系统的稳定性；不对称接地短路所产生的不平衡电流会对邻近的平行线路电磁干扰。

4-2 什么叫标么值？在短路电流计算中，各物理量的标么值是如何计算的？

答：某一物理量的标么值，等于它的实际值与所选定的基准值的比值。

在短路电流计算中，常取基准容量 $S_d = 100 \text{ MVA}$ ，基准电压用各级线路的平均额定电压，即

$$U_d = U_{av}, \text{ 则基准电流 } I_d = S_d / \sqrt{3} U_d, \text{ 基准电抗 } X_d = U_d^2 / S_d。$$

4-3 什么叫无限大容量系统？它有什么特征？

答：无限容量系统亦称无限大功率电源，是指系统的容量为无限大，内阻抗为零。它是一个相对概念，真正的无限大功率电源是不存在的。

特征：在电源外部发生短路时，电源母线上的电压根本不变，即认为它是一个恒压源。当电源内阻抗不超过短路回路总阻抗的 5%~10%时，就可以认为该电源是无限大功率电源。

4-4 什么叫短路冲击电流 i_{sh} 、短路次暂态电流 I'' 和短路稳态电流 I_∞ ？在无限大容量系统中，它们与短路电流周期重量有效值有什么关系？

答：短路冲击电流 i_{sh} 是指在最严峻短路情况下三相短路电流的最大瞬时值；短路次暂态电流 I'' 是指短路瞬间（ $t=0s$ ）时三相短路电流周期重量的有效值；短路稳态电流 I_∞ 是指短路电流非周期重量衰减完后的短路全电流。在无限大容量系统中，有 $i_{sh} = \sqrt{2}K_{sh}I_p$ 和 $I'' = I_\infty = I_p$ 。

4-5 如何计算电力系统各元件的正序、负序和零序电抗？变压器的零序电抗与哪些因素有关？

答：发电机的正序电抗包含稳态时的同步电抗 X_d 、 X_q ，暂态过程中的 X'_d 、 X'_q 和 X''_d 、 X''_q 。负序电抗与故障类型有关，零序电抗和电机结构有关，查教材表 4-2；变压器的负序电抗与正序电抗相等，零序电抗与变压器的铁心结构及三相绕组的接线方法等因素有关；线路的负序电抗和正序电抗相等，零序电抗却与正序电抗相差较大，查教材表 4-3。

4-6 什么叫复合序网？各种简单不对称短路的复合序网是什么？

答：所谓复合序网，是指依据边界条件所确定的短路点各序量之间的关系，由各序网络相互连接起来所构成的网络。

单相接地短路的复合序网是由正序网、负序网和零序网串联而成的；两相短路的复合序网是由正序网和负序网并联而成的；两相接地短路的复合序网是由正序网、负序网和零序网并联而成的。

4-7 何谓正序等效定则？如何应用它来计算各种不对称短路？

答：在简单不对称短路的情况下，短路点的正序电流与在短路点每一相中接入附加电抗 $X_\Delta^{(n)}$ 而发生三相短路的电流相等，即 $I_{a1}^{(n)} = \frac{E_{a1\Sigma}}{X_{1\Sigma} + X_\Delta^{(n)}}$ ，这就是正序等效定则。

各种不对称故障时短路电流的绝对值 $I_k^{(n)}$ 为： $I_k^{(n)} = m^{(n)} I_{a1}^{(n)}$

附加电抗 $X_\Delta^{(n)}$ 和比例系数 $m^{(n)}$ 可查教材表 4-4。

4-8 什么叫短路电流的力效应？如何校验电器及母线的动稳定？

答：短路电流通过电气设备和导体时，会产生很大的电力，称为短路电流的力效应。

一般电器满足动稳定的条件是 $i_{\max} \geq i_{sh}$ 或 $I_{\max} \geq I_{sh}$ ；母线满足动稳定校的条件是 $\sigma_c \leq \sigma_{al}$ 。

4-9 什么叫短路电流的热效应？如何校验电器及母线的热稳定？短路发热的假想时间是什么意思？如何计算？

答：短路电流通过电气设备和导体时，会产生很高的温度，称为短路电流的热效应。

一般电器满足热稳定的条件是 $I_t^2 t \geq I_\infty^2 t_{ima}$ ；母线满足热稳定的条件是 $\theta_{k,max} \geq \theta_k$ 或 $A > A_{min}$ 。

假想时间 t_{ima} 是指用稳态短路电流 I_∞ 来替代实际短路电流 I_{kt} ，在该时间内产生的热量与实际短路电流 I_{kt} 在短路时间 t_k 内产生的热量 Q_k 相等。假想时间包含周期重量假想时间 $t_{ima.p}$ 和非周期重量假想时间两局部，即 $t_{ima} = t_{ima.p} + t_{ima.np}$ 。

4-10 某工厂变电所装有两台并列运行的 S9-800 (Y,yn0 接线) 型变压器，其电源由地区变电站通过一条 8km 的 10kV 架空线路供应。已知地区变电站出口断路器的断流容量为 500MVA，试用标幺制法求该厂变电所 10kV 高压侧和 380V 低压侧的三相短路电流 I_k 、 i_{sh} 、 I_{sh} 及三相短路容量 S_k 。

解：(1) 取 $S_d = 100 \text{ MVA}$ ， $U_{d1} = 10.5 \text{ kV}$ ， $U_{d2} = 0.4 \text{ kV}$ ，则

$$I_{d1} = \frac{S_d}{\sqrt{3}U_{d1}} = \frac{100}{\sqrt{3} \times 10.5} \text{ kA} = 5.5 \text{ kA}, \quad I_{d2} = \frac{S_d}{\sqrt{3}U_{d2}} = \frac{100}{\sqrt{3} \times 0.4} \text{ kA} = 144.3 \text{ kA}$$

(2) 计算各元件电抗标幺值

系统
$$X_S^* = \frac{S_d}{S_{oc}} = \frac{100}{500} = 0.2$$

线路
$$X_{WL}^* = x_1 l \frac{S_d}{U_{av}^2} = 0.4 \times 8 \times \frac{100}{10.5^2} = 2.9$$

变压器
$$X_T^* = \frac{U_k \%}{100} \frac{S_d}{S_N} = \frac{4.5}{100} \times \frac{100}{0.8} = 5.625$$

(3) k_1 点短路：
$$X_{\Sigma 1}^* = X_S^* + X_{WL}^* = 0.2 + 2.9 = 3.1$$

$$I_{k1} = \frac{I_{d1}}{X_{\Sigma 1}^*} = \frac{5.5}{3.1} \text{ kA} = 1.77 \text{ kA}$$

$$i_{sh} = 2.55 I_{k1} = 2.55 \times 1.77 \text{ kA} = 4.51 \text{ kA}$$

$$I_{sh} = 1.51 I_{k1} = 1.51 \times 1.77 \text{ kA} = 2.67 \text{ kA}$$

$$I_\infty = I_{k1} = 1.77 \text{ kA}$$

$$S_k = \frac{S_d}{X_{\Sigma 1}^*} = \frac{100}{3.1} \text{ MVA} = 32.26 \text{ MVA}$$

(4) k_2 点短路:
$$X_{\Sigma 2}^* = X_S^* + X_{WL}^* + \frac{X_T^*}{2} = 0.2 + 2.9 + \frac{5.625}{2} = 5.9125$$

$$I_{k2} = \frac{I_{d2}}{X_{\Sigma 2}^*} = \frac{144.3}{5.9125} \text{ kA} = 24.4 \text{ kA}$$

$$i_{sh} = 1.84 I_{k2} = 1.84 \times 24.4 \text{ kA} = 44.9 \text{ kA}$$

$$I_{sh} = 1.09 I_{k2} = 1.09 \times 24.4 \text{ kA} = 26.6 \text{ kA}$$

$$I_{\infty} = I_{k2} = 24.4 \text{ kA}$$

$$S_{k2} = \frac{S_d}{X_{\Sigma 2}^*} = \frac{100}{5.9125} \text{ MVA} = 16.9 \text{ MVA}$$

4-11 如图 4-32 所示网络, 各元件的参数已标于图中, 试用标幺值法计算 k 点发生三相短路时短路点的短路电流。

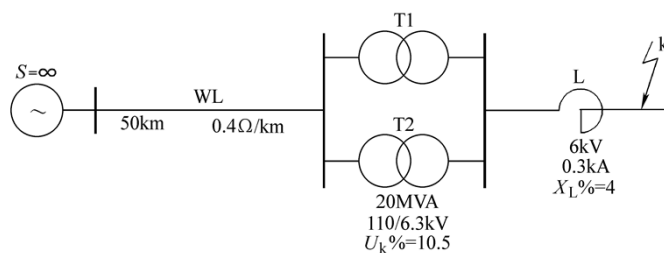


图 4-32 习题 4-11 附图

解: (1) 取 $S_d = 100 \text{ MVA}$, $U_d = U_{av}$, 则各元件电抗标幺值为

线路
$$X_{WL}^* = x_1 l \frac{S_d}{U_{av}^2} = 0.4 \times 50 \times \frac{100}{115^2} = 0.151$$

变压器
$$X_T^* = \frac{U_k \% S_d}{100 S_N} = \frac{10.5}{100} \times \frac{100}{20} = 0.525$$

电抗器
$$X_L^* = \frac{X_L \% S_d}{100 S_{NL}} \frac{U_{NL}^2}{U_d^2} = \frac{4}{100} \times \frac{100}{\sqrt{3} \times 6 \times 0.3} \times \left(\frac{6}{6.3}\right)^2 = 1.164$$

$$X_{\Sigma}^* = X_{WL}^* + \frac{X_T^*}{2} + X_L^* = 0.151 + \frac{0.525}{2} + 1.164 = 1.5775$$

$$I_k = \frac{S_d}{\sqrt{3} U_d} \frac{1}{X_{\Sigma}^*} = \frac{100}{\sqrt{3} \times 6.3} \times \frac{1}{1.5775} \text{ kA} = 5.81 \text{ kA}$$

4-12 在图 4-33 所示电力系统中, 全部发电机均为汽轮发电机。各元件的参数如下:

发电机 G1、G2 容量均为 31.25MVA， $X_d'' = 0.13$ ，发电机 G3 容量为 50MVA， $X_d'' = 0.125$ ；
 变压器 T1、T2 每台容量为 31.5MVA， $U_k\% = 10.5$ ，变压器 T3 容量为 50MVA， $U_k\% = 10.5$ ；线
 路 WL 的长度为 50km，单位长度电抗为 $0.4\Omega/\text{km}$ ，电压为 110kV 级，试用运算曲线法计算 10kV
 电压级的 k 点发生短路时 0s 和 0.2s 时的短路电流。

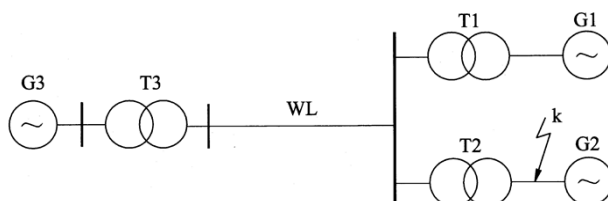


图 4-33 习题 4-12 附图

解：(1) 作等效电路 取 $S_d = 100 \text{ MVA}$ ， $U_d = U_{av}$ ，则各元件电抗标么值为

发电机 G1、G2
$$X_1^* = X_2^* = 0.13 \times \frac{100}{31.25} = 0.416$$

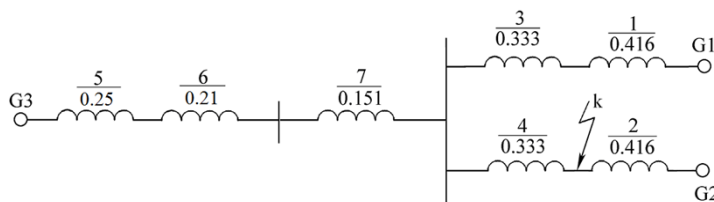
变压器 T1、T2
$$X_3^* = X_4^* = 0.105 \times \frac{100}{31.5} = 0.333$$

发电机 G3
$$X_5^* = 0.125 \times \frac{100}{50} = 0.25$$

变压器 T3
$$X_6^* = 0.105 \times \frac{100}{50} = 0.21$$

线路 WL
$$X_7^* = 0.4 \times 50 \times \frac{100}{115^2} = 0.151$$

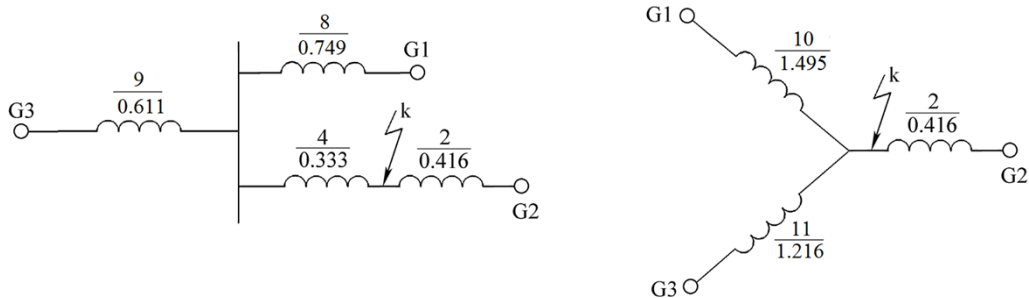
作等值电路如以下图所示。



(2) 化简网络，求各电源到短路点的转移电抗

$$X_8^* = X_1^* + X_3^* = 0.416 + 0.333 = 0.749$$

$$X_9^* = X_5^* + X_6^* + X_7^* = 0.25 + 0.21 + 0.151 = 0.611$$



将 X_4^* 、 X_8^* 、 X_9^* 作 Y- Δ 变换得：

$$X_{10}^* = 0.333 + 0.749 + \frac{0.333 \times 0.749}{0.611} = 1.49$$

$$X_{11}^* = 0.333 + 0.611 + \frac{0.333 \times 0.611}{0.749} = 1.216$$

因此，各发电机对短路点的转移电抗分别为

G1 支路 $X_{1k}^* = X_{10}^* = 1.49$

G2 支路 $X_{2k}^* = X_2^* = 0.416$

G3 支路 $X_{3k}^* = X_{11}^* = 1.216$

(3) 求各电源的计算电抗

$$X_{c1}^* = 1.49 \times \frac{31.25}{100} = 0.466$$

$$X_{c2}^* = 0.416 \times \frac{31.25}{100} = 0.13$$

$$X_{c3}^* = 1.216 \times \frac{50}{100} = 0.608$$

(4) 查计算曲线数字表，并用差值法求短路电流周期重量标么值

对汽轮发电机 G1， $X_{c1}^* = 0.467$ ，查附录表 B-1 可得

当 $X_c^* = 0.46$ 时 $I_0^* = 2.302$ ， $I_{0.2}^* = 1.95$

当 $X_c^* = 0.48$ 时 $I_0^* = 2.203$ ， $I_{0.2}^* = 1.879$

因此，当 $X_{c1}^* = 0.467$ 时， $t = 0s$ 和 $t = 0.2s$ 时的短路电流周期重量标么值分别为

$$I_0^* = 2.203 + \frac{2.302 - 2.203}{0.48 - 0.46} (0.48 - 0.466) = 2.27$$

$$I_{0.2}^* = 1.879 + \frac{1.95 - 1.879}{0.48 - 0.46} (0.48 - 0.466) = 1.93$$

同理，对汽轮发电机 G2， $X_{c2}^* = 0.13$ ，查附录表 B-1 可得 $t = 0s$ 和 $t = 0.2s$ 时的短路电流

电流周期重量标么值分别为

$$I_0^* = 7.718 + \frac{8.963 - 7.718}{0.14 - 0.12}(0.14 - 0.13) = 8.34$$

$$I_{0.2}^* = 4.878 + \frac{5.22 - 4.878}{0.14 - 0.12}(0.14 - 0.13) = 5.05$$

对汽轮发电机 G3, $X_{c3}^* = 0.608$, 查附录表 B-1 可得 $t = 0\text{s}$ 和 $t = 0.2\text{s}$ 时的短路电流电流周期重量标么值分别为

$$I_0^* = 1.61 + \frac{1.748 - 1.61}{0.65 - 0.6}(0.65 - 0.608) = 1.726$$

$$I_{0.2}^* = 1.431 + \frac{1.539 - 1.431}{0.65 - 0.6}(0.65 - 0.608) = 1.522$$

(5) 计算短路电流有名值

归算到短路点的各电源的额定电流为

G1、G2 支路
$$I_N = \frac{31.25}{\sqrt{3} \times 10.5} \text{kA} = 1.72 \text{kA}$$

G3 支路
$$I_N = \frac{50}{\sqrt{3} \times 10.5} \text{kA} = 2.75 \text{kA}$$

因此, $t = 0\text{s}$ 和 $t = 0.2\text{s}$ 时的短路电流电流周期重量有名值分别为

$$I_0 = 1.72 \times 2.272 \text{kA} + 1.72 \times 8.34 \text{kA} + 2.75 \times 1.726 \text{kA} = 23 \text{kA}$$

$$I_{0.2} = 1.72 \times 1.93 \text{kA} + 1.72 \times 5.05 \text{kA} + 2.75 \times 1.522 \text{kA} = 16.2 \text{kA}$$

4-13 已知某一不平衡的三相系统的 $\dot{U}_A = 80 \angle 10^\circ \text{V}$, $\dot{U}_B = 70 \angle 135^\circ \text{V}$, $\dot{U}_C = 85 \angle 175^\circ \text{V}$,

试求其正序、负序及零序电压。

解:

$$\begin{bmatrix} \dot{U}_{A1} \\ \dot{U}_{A2} \\ \dot{U}_{A0} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{U}_A \\ \dot{U}_B \\ \dot{U}_C \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & e^{j120^\circ} & e^{j240^\circ} \\ 1 & e^{j240^\circ} & e^{j120^\circ} \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 80e^{j10^\circ} \\ 70e^{j135^\circ} \\ 85e^{j175^\circ} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 36.86e^{j8.27^\circ} \\ 62.6e^{j346.13^\circ} \\ 29.96e^{j128.04^\circ} \end{bmatrix}$$

4-14 某 10kV 母线三相水平平放, 型号 LMY-60×8mm², 已知 $I'' = I_\infty = 21\text{kA}$, 母线跨距 1000mm, 相间距 250mm, 跨距数大于 2, 短路延续时间为 2.5s, 系统为无穷大, 试校验此母线的动稳定性和热稳定度。

解: (1) 热稳定校验: $t_{ima} = t_k = 2.5\text{s}$

查表 4-6 得, 铝母线的热稳定系数 $C = 87\text{A}\sqrt{\text{s}/\text{mm}^2}$, 因此最小同意截面为

$$A_{\min} = \frac{I_{\infty}}{C} \sqrt{t_{ima}} = \frac{21 \times 10^3}{87} \sqrt{2.5} \text{mm}^2 = 381.65 \text{mm}^2$$

母线的实际截面积 $A=60 \times 8 \text{mm}^2 = 480 \text{mm}^2 > A_{\min}$ ，所以热稳定满足要求。

(2) 动稳定校验： $i_{sh} = 2.55 \times 21 \text{kA} = 53.55 \text{kA}$

由 $\frac{s-b}{b+h} = \frac{250-60}{60+8} = 2.79 > 2$ ，故取 $K \approx 1$ 。

则母线受到的最大电动力为

$$F_{\max} = \sqrt{3} i_{sh}^2 \frac{l}{s} \times 10^{-7} = \sqrt{3} \times (53.55 \times 10^3)^2 \times 1 \times \frac{1000}{250} \times 10^{-7} \text{N} = 1986.7 \text{N}$$

母线的弯曲力矩为： $M = \frac{F_{\max} l}{10} = \frac{1986.7 \times 1}{10} \text{N} \cdot \text{m} = 198.67 \text{N} \cdot \text{m}$

母线的截面系数为： $W = \frac{b^2 h}{6} = \frac{0.06^2 \times 0.008}{6} \text{m}^3 = 48 \times 10^{-7} \text{m}^3$

母线的计算应力为： $\sigma_c = \frac{M}{W} = \frac{198.67}{48 \times 10^{-7}} \text{Pa} = 4.14 \times 10^7 \text{Pa}$

铝母线排的最大同意应力 $\sigma_{al} = 6.9 \times 10^7 \text{Pa} > \sigma_c$ ，所以动稳定满足要求。

第五章

5-1 熄灭电弧的条件是什么？开关电器中常用的灭弧方法有哪些？

答：灭弧的条件是去游离率大于游离率。开关电器中常用的灭弧方法有速拉灭弧法、冷却灭弧法、吹弧灭弧法、长弧切短灭弧法、粗弧分细灭弧法、狭缝灭弧法、采纳多断口灭弧法和采纳新型介质灭弧法等。

5-2 高压断路器、高压隔离开关和高压负荷开关各有哪些功能？

答：高压断路器不仅能通断正常负荷电流，而且能切断肯定的短路电流，并能在爱护装置作用下自动跳闸，切除短路故障；高压隔离开关的主要功能是隔离高压电源，保证人身和设备检修平安，同时还具有倒闸操作和通断小电流的功能；高压负荷开关可以通断肯定的负荷电流和过负荷电流，有隔离开关的作用，但不能断开短路电流。

5-3 倒闸操作的根本要求是什么？

答：倒闸操作的根本要求是：合闸送电时，先合上隔离开关，再合上断路器；跳闸断电时，先断开断路器，再断开隔离开关。

5-4 低压断路器有哪些功能？按结构型式可分为哪两大类？

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要
下载或阅读全文，请访问：

<https://d.book118.com/828021072102006071>