

第 1 章 概论

供配电系统是电力系统的重要组成部分。电力系统及供配电系统的基本概念、电力系统的额定电压、电力系统中性点运行方式、电能质量指标，是学习供配电系统的基础。

1.1 电力系统与供配电系统的基本概念

电能是当今人们生产和生活的重要能源，易由其他形式的能源转换而来。电能的输送和分配既简单经济，又便于控制、调节和测量，有利于实现生产过程自动化。因此，电能工业、农业、国防、军事、科技、交通及人们生活等领域被广泛应用。

供配电系统是电力系统的重要组成部分，其任务是向用户和用电设备供应和分配电能。用户所需的电能绝大多数是由公共电力系统供给的，故在介绍供配电系统前，先介绍电力系统的基本知识。

1.1.1 电力系统

由发电厂、电力线路、变电所和电能用户组成的发电、输电、变电、配电和用电的整体，称为电力系统，如图 1-1 所示。图 1-2 为大型电力系统示意图。

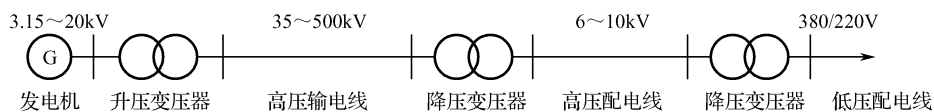


图 1-1 电力系统

电力系统中各级电压的电力线路及其联系的变电所，称为电力网或电网。习惯上，电网或系统往往以电压等级来区分，如 10kV 电网或 10kV 系统、110kV 电网或 110kV 系统等电力系统加上发电厂的动力部分及其热能系统的热能用户，称为动力系统。为了充分利用动力资源，降低发电成本，发电厂往往远离城市和电能用户，例如，火力发电厂大多建在靠近一次能源的地区，水力发电厂一般建在水利资源丰富的地区，核能发电厂选址则受到很多条件的限制。因此，需要输送和分配电能，将发电厂发出的电能经过升压、输送、降压和分配，最后送到用户。

1. 发电厂

发电厂是将自然界蕴藏的各种一次能源转换为电能（二次能源）的工厂。常见的有水力发电厂、火力发电厂、核能发电厂、风力发电厂、地热发电厂和太阳能发电厂等。表 1-1 介绍了几种常见的发电厂类型及主要特征。

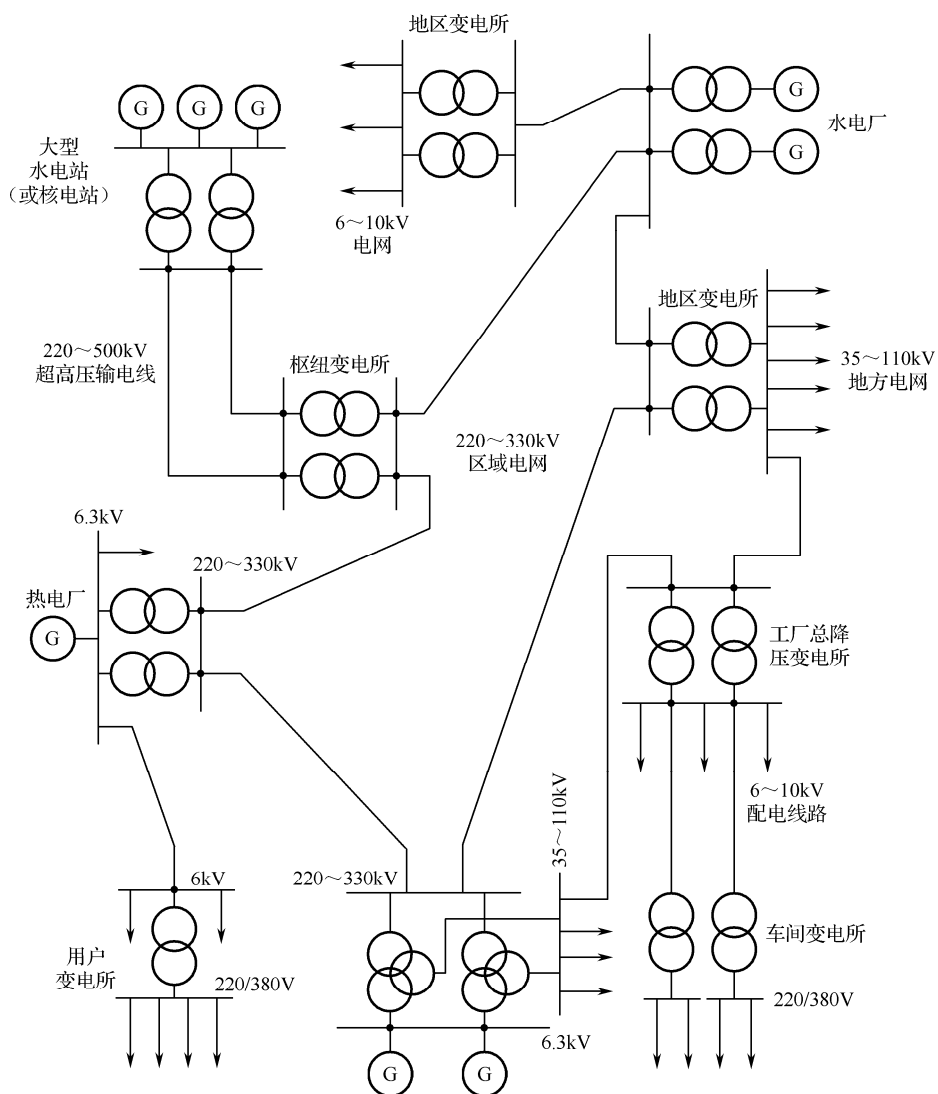


图 1-2 大型电力系统示意图

表 1-1 几种常见的发电厂类型及主要特征

类 型	能 量 来 源	工 作 原 理	能 量 转 换 过 程	优 点	缺 点
水力发电厂	水流的上下水位差（落差），即水流的位能	当控制水流的闸门打开时，水流沿进水管进入水轮机蜗壳室，冲动水轮机，带动发电机发电	水流位能→机械能→电能	清洁，环保，发电效率高，成本低，综合价值高	建设初期投资高，建设周期长
火力发电厂	燃料燃烧产生的化学能	将锅炉内的水烧成高温、高压的蒸汽，推动汽轮机转动，使与它连轴的发电机旋转发电	燃料的化学能→热能→机械能→电能	建设周期短，工程造价低，投资回收快	发电成本高，污染环境
核能发电厂	原子核的裂变能	与火电厂基本相同，只是以核反应堆代替了燃煤锅炉，以少量的核燃料代替了大量的煤炭	核裂变能→热能→机械能→电能	安全，清洁，经济，燃料费用所占的比例较低	投资成本高，会产生放射性废料，不适宜做尖峰、离峰随载运转

续表

类 型	能 量 来 源	工 作 原 理	能量转换过程	优 点	缺 点
风力发电厂	风力的动能	利用风力带动风车叶片旋转，再透过增速机将旋转的速度提升，进而促使发电机发电	风力的动能 → 机械能 → 电能	清洁，廉价，可再生，取之不尽	需有蓄电装置，造价高
地热发电厂	地球内部蕴藏的大量地热能	基本与火力发电的原理一样。不同的是利用的能源是地热能（天然蒸汽和热水）	地下热能 → 机械能 → 电能	无须消耗燃料，运行费用低	热效率不高，需对所排热水环保处理
太阳能发电厂	太阳光能或太阳热能	通过太阳能电池板等直接将太阳的辐射能转换为电能	太阳的辐射 能 → 电能	安全，经济，环保，取之不尽	效率低，成本高，稳定性差

目前世界各国建立的电力系统越来越庞大，甚至出现了跨国的电力系统或联合电网。我国规划在水电、火电、核电和新能源合理利用和开发的基础上，加强风能和太阳能的开发和建设，并形成全国联合电网，实现电力资源在全国范围内的合理配置和可持续发展。

2. 变电所（配电所）

变电所的功能是接收电能、变换电压和分配电能。为了实现电能的远距离输送和将电能分配到用户，需将发电机电压进行多次电压变换，这个任务由变电所完成。变电所由电力变压器、配电装置和二次装置等构成。按变电站的性质和任务不同，可以分为升压变电所和降压变电所。按变电所的地位和作用不同，又分为枢纽变电所、地区变电所和用户变电所。仅用于接收电能和分配电能的场所称为配电所，而用于交流电流与直流电流相互转换的场所称为换流站。

3. 电力线路

电力线路将发电厂、变电所和电能用户连接起来，完成输送电能和分配电能的任务。电力线路有各种不同的电压等级：通常将 220kV 及以上的电力线路称为输电线路；110kV 及以下的电力线路称为配电线路；交流 1000kV 及以上和直流 ±800kV 及以上的输电线路称为特高压输电线路；220~800kV 输电线路称为超高压输电线路。配电线路又分为高压配电线路、中压配电线路和低压配电线路，前者一般作为城市配电网和特大型企业供电线路，中者一般作为城市主要配电网和大中型企业供电线路，后者一般作为城市和企业的低压配电网。

除上述交流输电线路外，还有直流输电线路。直流输电线路主要用于远距离输电，连接两个不同频率的电网和向大城市供电。直流输电线路具有线路造价低，损耗小，调节和控制迅速、简便及无稳定性问题等优点，但其换流站造价高。

4. 电能用户

电能用户又称电力负荷，所有消耗电能的用电设备或用电单位均称为电能用户。电能用户按行业可分为工业用户、农业用户、市政商业用户和居民用户等。

1.1.2 供配电系统

企业内部供配电系统由高压和低压配电线路、变电所（或配电所）及用电设备构成。它通常是由电力系统或企业自备发电厂供电的。

一般中型企业的电源进线电压为 6~10kV。电能先经高压配电所集中，再由高压配电线路将电能分送到各车间变电所，或由高压配电线路直接供给高压用电设备。车间变电所内装设有

配电变压器，将 6~10kV 的电压降为低压用电设备所需的电压（如 220/380V），然后由低压配电路将电能分送给各用电设备使用。图 1-3 所示的是典型的中型企业的供电系统。

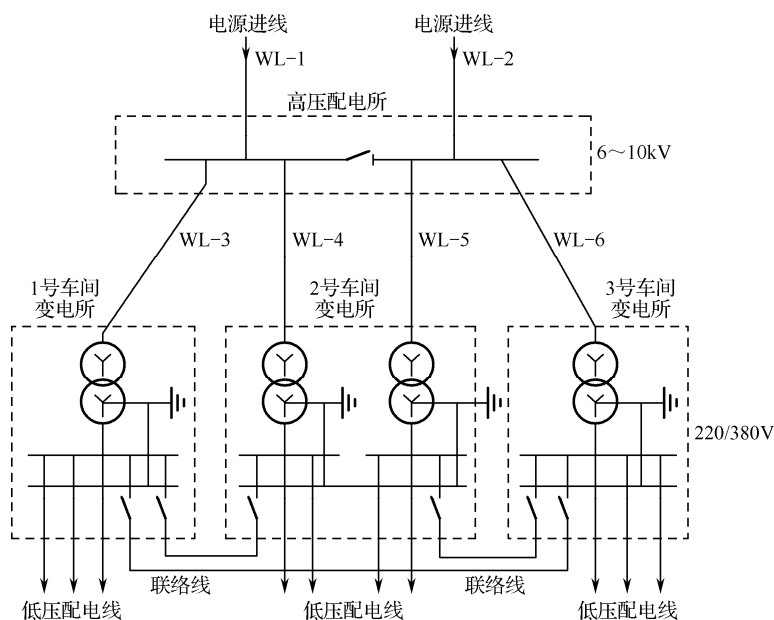


图 1-3 中型企业的供电系统

1.1.3 对供电系统的基本要求

做好供配电工作，对于促进工业生产、降低产品成本、实现生产自动化和工业现代化及保障人民生活有着十分重要的意义。对供电系统的基本要求如下。

- （1）安全。在电能的供应、分配和使用中，不应发生人身事故和设备事故。
- （2）可靠。应满足电能用户对供电可靠性（即连续供电）的要求。
- （3）优质。应满足电能用户对电压和频率等质量的要求。
- （4）经济。供电系统的投资要少，运行费用要低，并尽可能地节约电能和减少有色金属的消耗量。

1.2 电力系统的额定电压

电力系统中的所有电气设备都是在一定的电压下工作的。额定电压是使电气设备长期运行经济效果最好的电压，是国家根据国民经济发展的需要、电力工业的水平和发展趋势，经全面技术经济分析后确定的。

按照国家标准规定，我国三相交流电网和电力设备的额定电压如表 1-2 所示。表 1-2 中变压器一、二次绕组的额定电压是根据我国生产的电力变压器标准产品规格确定的。

表 1-2 我国三相交流电网和电力设备的额定电压

分类	电网与用电设备额定电压/kV	发电机额定电压/kV	电力变压器额定电压/kV	
			一次绕组	二次绕组
低压	0.38	0.40	0.38	0.40
	0.66	0.69	0.66	0.69
高压	3	3.15	3 及 3.15	3.15 及 3.3
	6	6.3	6 及 6.3	6.3 及 6.6
	10	10.5	10 及 10.5	10.5 及 11
	—	13.8, 15.75, 18, 20, 22, 24, 26	13.8, 15.75, 18, 20, 22, 24, 26	—
	35	—	35	38.5
	66	—	66	72.6
	110	—	110	121
	220	—	220	242
	330	—	330	363
	500	—	500	550
	750	—	750	825 (800)
	1000	—	1000	1000

1. 线路（电网）的额定电压

由于线路运行时（有电流通过）要产生电压降，因此线路上各点的电压都略有不同，如图 1-4 中虚线所示。由于线路始端比末端电压高，因此供电线路的额定电压采用始端电压和末端电压的算术平均值，这个电压也就是电网的额定电压。

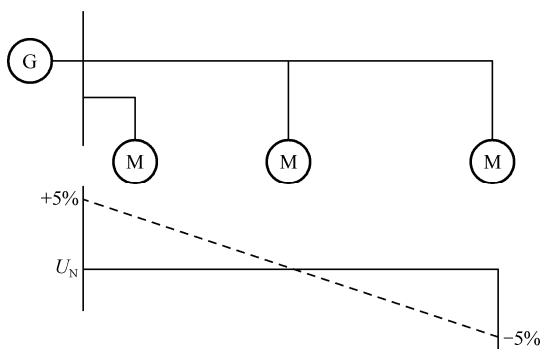


图 1-4 用电设备与发电机额定电压的说明

电网的额定电压是确定各类电力设备额定电压的基本依据。

2. 用电设备的额定电压

由于线路上各点的电压都略有不同，因此成批生产的用电设备，其额定电压不可能按使用处线路的实际电压来制造，而只能按线路首端与末端的平均电压（即电网的额定电压）来制造。规定用电设备的额定电压与同级电网的额定电压相同。

3. 发电机的额定电压

由于电力线路允许的电压偏差一般为 $\pm 5\%$ ，即整个线路允许存在 10% 的电压损失值，因此为了使线路的平均电压保持在额定值，线路首端（电源端）的电压可较线路额定电压高 5%，而线路末端则可较线路额定电压低 5%，如图 1-4 所示。规定发电机的额定电压高于同级电网额定电压的 5%。

4. 电力变压器的额定电压

(1) 电力变压器一次绕组的额定电压。

当变压器直接与发电机相连时，如图 1-5 中的变压器 T1，其一次绕组额定电压应与发电机额定电压相同，即高于同级电网额定电压的 5%。

当变压器不与发电机相连而是连接在线路上时，可以将图 1-5 中的变压器 T2 看成线路的用电设备，因此其一次绕组额定电压应与电网额定电压相同。

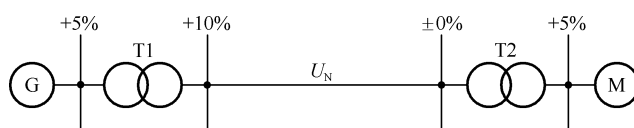


图 1-5 电力变压器的额定电压说明

(2) 电力变压器二次绕组的额定电压。

当变压器二次侧供电线路较长（如 35kV 及以上线路）时，图 1-5 中的变压器 T1 的二次绕组额定电压应比相连线路的额定电压高 10%，其中 5% 是用于补偿变压器满负荷运行时绕组内部的电压降，另外 5% 用于补偿线路上的电压降。

当变压器二次侧供电线路不长（如 10kV 及以下线路，或直接供电给用电设备）时，图 1-5 中的变压器 T2 的二次绕组额定电压只需高于所连电网额定电压的 5%，这时仅考虑补偿变压器满负荷运行时绕组内部 5% 的电压降。

1.3 电力系统中性点运行方式

三相交流系统的中性点是指星形连接的变压器或发电机的中性点。中性点的运行方式主要分为两类：小接地电流系统和大接地电流系统，又分别称为中性点非有效接地系统和中性点有效接地系统，前者又分为中性点不接地系统、中性点经消弧线圈接地系统和中性点经电阻接地系统，后者为中性点直接接地系统。中性点的运行方式主要取决于对电气设备绝缘水平的要求及供电可靠性和运行安全性的要求。

我国的 3~66kV 系统特别是 3~10kV 系统，一般采用中性点不接地的运行方式。若单相接地电流大于一定数值（3~10kV 系统中接地电流大于 30A、20kV 及以上系统中接地电流大于 10A）时，则应采用中性点经消弧线圈接地的运行方式。我国 110kV 及以上的系统都采用中性点直接接地的运行方式。

1.3.1 中性点不接地的电力系统

图 1-6 是中性点不接地的电力系统在正常运行时的电路图和相量图，为讨论问题简化起见，假设如图 1-6(a)所示三相系统的电源电压和线路参数（ R 、 L 、 C ）都是对称的，而且将各相与地

之间存在的分布电容用一个集中电容 C 来表示。各相间存在的电容对所讨论的问题无影响因此予以略去。

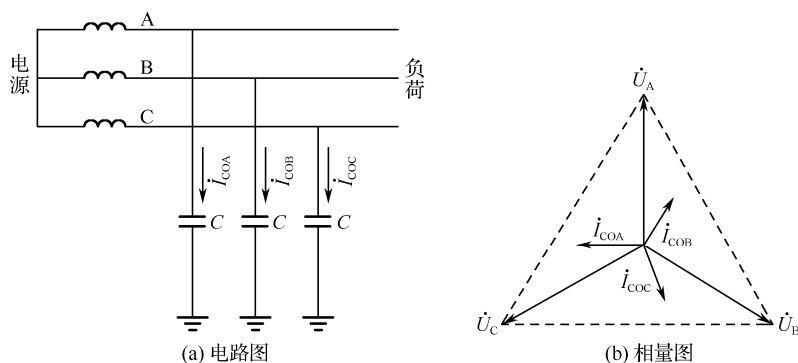


图 1-6 中性点不接地的电力系统在正常运行时的电路图和相量图

系统正常运行时，三相的相电压 $\dot{U}_A$ 、 $\dot{U}_B$ 、 $\dot{U}_C$ 都是对称的，三相的对地电容电流为 $\dot{i}_{CO}$ ，该电流也是平衡的，因此三相的电容电流的相量和为零，即没有电流在地中流动。各相对地的电压等于各相的相电压。

系统发生单相接地时，如 C 相单独接地，如图 1-7(a)所示。这时 C 相对地电压为零，而 A 相对地电压 $\dot{U}'_A = \dot{U}_A + (-\dot{U}_C) = \dot{U}_{AC}$ ，B 相对地电压 $\dot{U}'_B = \dot{U}_B + (-\dot{U}_C) = \dot{U}_{BC}$ ，如图 1-7(b)所示。由图 1-7(b)可见，C 相接地时，完好的 A、B 两相对地电压都由原来的相电压升高到线电压，即升高为原对地电压的 $\sqrt{3}$ 倍。

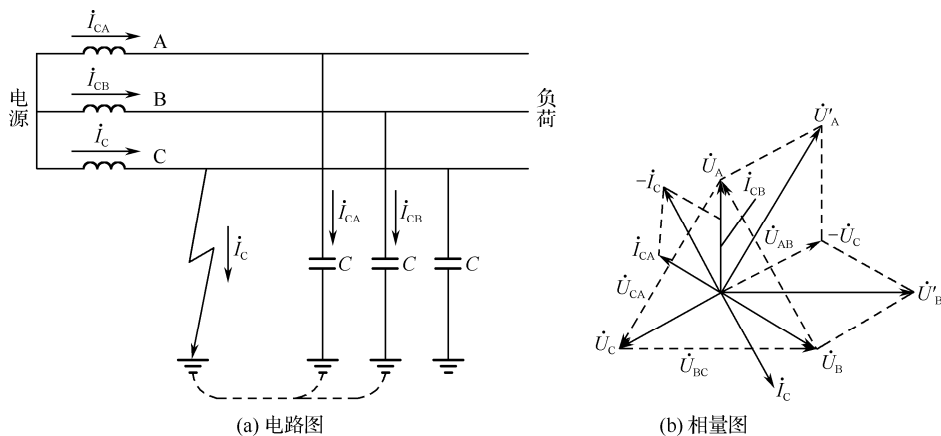


图 1-7 单相接地时的中性点不接地的电力系统

C 相接地时，系统的接地电流（电容电流） $\dot{I}_C$ 应为 A、B 两相对地电容电流之和。由于一般习惯将从电源到负荷的方向及从相线到大地方向取为电流的参考方向，因此

$$\dot{I}_C = -(\dot{I}_{CA} + \dot{I}_{CB}) \quad (1-1)$$

由图 1-7(b)的相量图可知， $\dot{I}_C$ 在相位上正好超前 $\dot{U}_C$ 90° ；而在数值上，由于 $I_C = \sqrt{3}I_{CA}$ ，

而 $I_{CA} = \frac{U'_A}{X_C} = \frac{\sqrt{3}U_A}{X_C} = \sqrt{3}I_{CO}$ ，因此

$$I_C = 3I_{CO} \quad (1-2)$$

即单相接地的接地电流为正常运行时每相对地电容电流的 3 倍。 I_C 通常采用经验公式来确定，需要时可查阅相关资料。

当系统发生不完全接地（即经过一些接触电阻接地）时，故障相的对地电压值将大于零而小于相电压，而其他完好相的对地电压值则大于相电压而小于线电压，接地电容电流 I_C 值也略小。

当中性点不接地的电力系统发生单相接地时，三相用电设备的正常工作并未受到影响，这是因为线电压的相位和数值均未发生变化，从图 1-7(b)的相量图中可以看出，所以三相用电设备仍能照常运行。中性点不接地的电力系统在单相接地故障情况下不能长期运行，原因是如果再有一相发生接地故障，则形成两相接地短路，这是不允许的。因此，在中性点不接地的系统中，应该装设专门的单相接地保护或绝缘监视装置，在系统发生单相接地故障时，给予报警信号，提醒供电值班人员注意并进行及时处理。当危及人身和设备安全时，单相接地保护则应动作于跳闸。

1.3.2 中性点经消弧线圈接地的电力系统

在上述中性点不接地的电力系统中，当发生单相接地时若接地电流较大，则将出现断续电弧，这可能使线路发生电压谐振现象。由于电力线路既有电阻和电感又有电容，因此在线路发生单相弧光接地时，可能形成 RLC 的串联谐振电路，从而使线路上出现危险的过电压（可达相电压的 2.5~3 倍），可能导致线路上绝缘薄弱地点的绝缘击穿。为了防止单相接地时接地点出现断续电弧，引起过电压，在单相接地电容电流大于一定值（如前所述）的电力系统中，中性点必须采取经消弧线圈接地的运行方式。图 1-8 为中性点经消弧线圈接地的电力系统单相接地时的电路图和相量图。

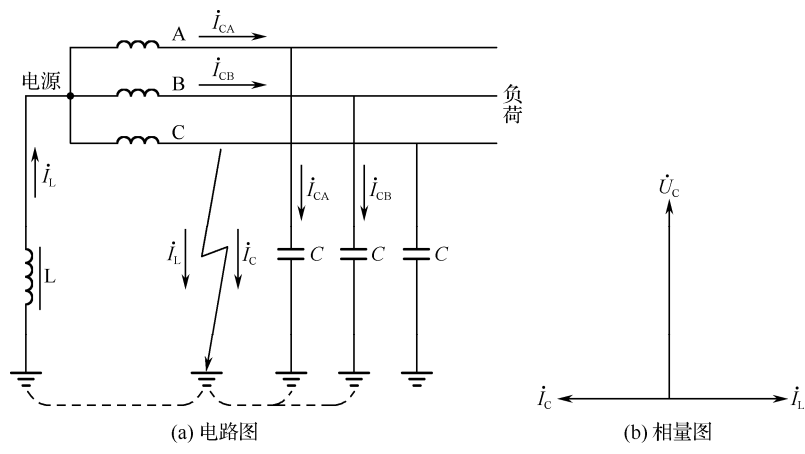


图 1-8 中性点经消弧线圈接地的电力系统单相接地时的电路图和相量图

消弧线圈实际上就是铁芯线圈，其电阻很小，感抗很大。当系统发生单相接地时，流过接地点的电流是接地电容电流 $\dot{I}_C$ 与流过消弧线圈的电感电流 $\dot{I}_L$ 之和。由于 $\dot{I}_C$ 超前 $\dot{U}_C 90^\circ$ ，而 $\dot{I}_L$ 滞后 $\dot{U}_C 90^\circ$ ，因此 $\dot{I}_L$ 与 $\dot{I}_C$ 在接地点互相补偿。当 $\dot{I}_L$ 与 $\dot{I}_C$ 的量值差小于发生电弧的最小电流（称为最小起弧电流）时，电弧就不会发生，也就不会出现谐振过电压现象。

在中性点经消弧线圈接地的三相系统中，与中性点不接地的系统一样，允许在发生单相接地故障时（一般规定为两小时）继续运行。在此时间内，应积极查找故障，在暂时无法消除故障时，应设法将负荷转移到备用线路上去。若发生单相接地危及人身和设备安全时，则应动作于跳闸。

对于中性点经消弧线圈接地的电力系统，在单相接地时，其他两相对地电压也要升高到线电压，即升高为原对地电压的 $\sqrt{3}$ 倍。

1.3.3 中性点直接接地的电力系统

图 1-9 为中性点直接接地的电力系统发生单相接地故障的电路图。中性点直接接地系统发生单相接地故障时,通过接地中性点形成单相短路。单相短路电流 $I_k^{(1)}$ 比线路的正常负荷电流大得多,因此在系统发生单相短路时保护装置应动作于跳闸,切除短路故障,使系统的其他部分恢复正常运行。

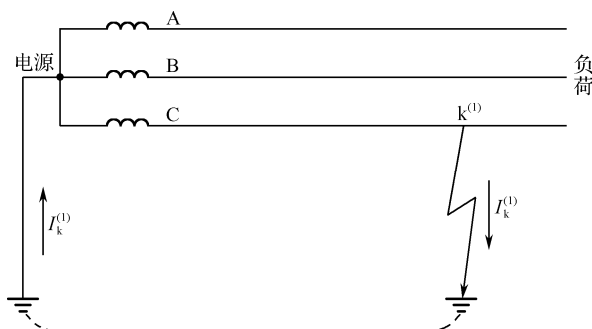


图 1-9 中性点直接接地的电力系统发生单相接地故障的电路图

中性点直接接地的系统发生单相接地时,其他两个完好相的对地电压不会升高,这与上述中性点不直接接地的系统不同。因此,凡是中性点直接接地系统中的供用电设备,其绝缘只需按相电压考虑,而无须按线电压考虑。这对 110kV 及以上的超高压系统是很有经济技术价值的。因为高压电器特别是超高压电器,其绝缘问题是影响电器设计和制造的关键问题。电器绝缘要求的降低,直接降低了电器的造价,同时改善了电器的性能。因此我国 110kV 及以上的高压、超高压系统的电源中性点通常都采取直接接地的运行方式。在低压配电系统中,均采用中性点直接接地的运行方式,在发生单相接地故障时,一般能使保护装置迅速动作,切除故障部分。

1.3.4 中性点经电阻接地的电力系统

中性点经电阻接地,按接地电流大小又分为中性点经高电阻接地和中性点经低电阻接地。

(1) 中性点经高电阻接地

中性点经高电阻接地方式以限制单相接地电流为目的,电阻值一般为数百至数千欧姆。中性点经高电阻接地系统可以消除大部分谐振过电压,对单相间隙弧光接地过电压有一定的限制作用,但对系统绝缘水平要求较高,主要用于发电机回路,有些大型发电机的中性点采用经高电阻接地方式,以提高运行的稳定性。

(2) 中性点经低电阻接地

城市 6~35kV 配电网主要由电缆线路构成,其单相接地故障电流较大,可达 100~1000A,若采用中性点经消弧线圈接地方式,则无法完全消除接地故障点的电弧和抑制谐振过电压,故采用中性点经低电阻接地方式。该方式具有切除单相接地故障快、过电压水平低的优点。

中性点经低电阻接地方式适用于以电缆线路为主,不容易发生瞬时性单相接地故障且系统电容电流较大的城市电网,以及发电厂用电系统和企业配电系统。

1.4 电能质量指标

电力系统的电能质量是指电压、频率和波形的质量。电能质量指标主要包括电压偏差、电

压波动、闪变、三相电压不平衡、频率偏差和谐波等。

1.4.1 电压质量指标

电压质量是以电压偏差、电压波动、闪变和三相电压不平衡等指标来衡量的。

1. 电压偏差

电压偏差是实际运行电压对系统标称电压的偏差相对值，一般以百分数表示，即

$$\Delta U\% = \frac{U - U_N}{U_N} \times 100 \quad (1-3)$$

其中， $\Delta U\%$ 为电压偏差百分数； U 为实际电压； U_N 为系统标称电压（额定电压）。GB/T 12325—2008《电能质量 供电电压偏差》规定了我国供电电压偏差的限值，如表 1-3 所示。供电电压是指供电点处的线电压或相电压。

表 1-3 供电电压偏差的限值（GB/T 12325—2008）

系统标称电压/kV	供电电压偏差的限值/%
≥35 三相（线电压）	正、负偏差绝对值之和
≤20 三相（线电压）	±7
0.22 单相（相电压）	+7、-10

注：若供电电压偏差均为正偏差或均为负偏差，则以较大的偏差绝对值作为衡量依据。对供电点短路容量较小且供电距离较长及供电电压偏差有特殊要求的用户，由双方协商确定。

当用电设备端子电压实际值偏离额定值时，其性能将受到影响，影响的程度视电压偏差的大小而定。在正常运行情况下，用电设备端子电压偏差限值应符合表 1-4 的要求。

表 1-4 用电设备端子电压偏差的限值（GB 50052—2009）

名 称	供电电压偏差的限值/%
电动机	±7
照明	
一般工作场所	±5
远离变电所的小面积一般工作场所	+5、-10
应急照明、道路照明和警卫照明	+5、-10

2. 电压波动和闪变

（1）电压波动。电压波动是指电压方均根值（有效值）一系列的变动或连续的变化。它是波动负荷（生产或运行过程中从电网中取用快速变动功率的负荷，如炼钢电弧炉、轧机、电弧焊机等）引起的电压的快速变动。电压波动程度用电压变动和电压变动频度衡量，并规定了电压波动的限值。

电压变动 d 是以电压方均根值变动的时间特性曲线上相邻两个极值电压最大值 $U_{\max}$ 与电压最小值 $U_{\min}$ 之差，与系统标称电压 U_N 比值的百分数表示，即

$$d = \frac{U_{\max} - U_{\min}}{U_N} \times 100\% \quad (1-4)$$

电压变动频度 r 是指单位时间内电压波动的次数(电压由大到小或由小到大各算一次变动),一般以次/h 作为电压变动频度的单位。对于同一方向的若干次变动,若间隔时间小于 30ms,则算一次变动。

GB/T 12326—2008《电能质量 电压波动和闪变》对电压变动限值做了规定,电力系统公共连接点处(电力系统中一个以上用户的连接处)由波动负荷产生的电压变动限值与电压变动频度和电压等级有关,详见表 1-5。

表 1-5 电压变动限值 (GB/T 12326—2008)

电压变动频度 r / (次/h)	电压变动限值 $d/\%$	
	LV ($U_N \leq 1\text{kV}$), LV ($1\text{kV} < U_N \leq 35\text{kV}$)	LV ($U_N \leq 1\text{kV}$), LV ($1\text{kV} < U_N \leq 35\text{kV}$)
$r \leq 1$	4	3
$1 < r \leq 10$	3*	2.5*
$10 < r \leq 100$	2	1.5
$100 < r \leq 1000$	1.25	1

注: ① 很小的变动频度(每日小于一次),电压变动限值还可以放宽,但不在本标准中规定。
② 对于随机性不规则的电压波动,如电弧炉负荷引起的电压波动,表中标有“*”为其限值。
③ 对于 220kV 以上的超高压(EHV)系统的电压波动限值可参照高压(HV)系统执行。

(2) 电压闪变。电压闪变是电压波动在一段时间内的累计效果,它通过灯光照度不稳定造成的视觉感受来反映。电压闪变程度主要用短时间闪变值和长时间闪变值来衡量,并规定了闪变的限值。短时间闪变值 P_{st} 是衡量短时间(若干分钟)内闪变强弱的一个统计值,短时间闪变值的基本记录周期为 10min。长时间闪变值 P_{lt} 是由短时间闪变值 P_{st} 推算出来的,它是反映长时间(若干小时)闪变强弱的量值,长时间闪变值的基本记录周期为 2h。

GB/T 12326—2008《电能质量-电压波动和闪变》对电压闪变限值做了如下规定。

- ① 电力系统公共连接点处,在系统正常运行的较小方式下,以一周(168h)为周期,所有的长时间闪变限值 P_{lt} 都应满足表 1-6 闪变限值的要求。
- ② 任何一个波动负荷用户在电力系统公共连接点单独引起的闪变,一般应满足的要求,包括 LV 和 MV 用户的闪变限值见表 1-7;对于 HV 用户,需要满足 $(\Delta S / S_{PCC})_{\max} < 0.1\%$;对于单个波动负荷用户,需要满足 $P_{lt} < 0.25$ 。

表 1-6 闪变限值 (GB/T 12326—2008)

P_{lt}	
$\leq 110\text{kV}$	$> 110\text{kV}$
1	0.8

表 1-7 LV 和 MV 用户的闪变限值 (GB/T 12326—2008)

$r/(\text{次}/\text{min})$	$K = (\Delta S / S_{PCC})_{\max} / \%$
$r < 10$	0.4
$10 \leq r \leq 200$	0.2
$200 < r$	0.1

3. 三相电压不平衡

在三相交流系统中，若三相电压的幅值不等或相位差不为 120° ，则称为三相电压不平衡。不平衡的三相电压用对称分量法可分解为正序分量、负序分量和零序分量。三相电压不平衡会引起旋转电机的附加发热和振动，使变压器容量得不到充分利用，并对通信系统产生干扰。

三相电压不平衡度用电压负序基波分量 U_2 或零序基波分量 U_0 与正序基波分量 U_1 的百分比表示，即负序电压不平衡度 ε_{U_2} 为

$$\varepsilon_{U_2} = \frac{U_2}{U_1} \times 100\% \quad (1-5)$$

零序电压不平衡度 ε_{U_0} 为

$$\varepsilon_{U_0} = \frac{U_0}{U_1} \times 100\% \quad (1-6)$$

GB/T 15543—2008《电能质量 三相电压不平衡》规定：

(1) 电力系统的公共连接点电压不平衡度限值为：电网正常运行时，负序电压不平衡度不超过 2%，运行时间较短时不得超过 4%。低压系统零序电压不平衡度限值暂不做规定，但各相电压必须满足 GB/T 12325 的要求。

(2) 接于公共连接点的每个用户引起该点负序电压不平衡度允许值一般为 1.3%，短时不得超过 2.6%。

1.4.2 频率质量指标

目前，世界上电网的额定频率有两种：50Hz 和 60Hz。欧洲、亚洲等大多数地区采用 50Hz，北美采用 60Hz，我国采用的额定频率为 50Hz。GB/T 15945《电能质量 电力系统频率偏差》规定了我国电力系统频率偏差的限值，相关规定如下。

(1) 电力系统正常运行条件下频率偏差限值为 $\pm 0.2\text{Hz}$ 。当系统容量较小时，偏差限值可以放宽到 $\pm 0.5\text{Hz}$ 。

(2) 冲击负荷引起的系统频率变化为 $\pm 0.2\text{Hz}$ ，根据冲击负荷的性质、大小及系统的条件系统频率可适当变动，但应保证近区电力网、发电机组和用户的安全、稳定运行以及正常供电。

1.4.3 波形质量指标

供电电力系统中，由于有大量非线性负荷，其电压、电流波形不是正弦波形，而是不同程度畸变的非正弦波。非正弦波通常是周期性交流量，含基波和各次谐波。对周期性交流量进行傅立叶级数分解，得到频率与工频相同的分量，称为基波；得到频率为基波频率整数倍的分量，称为谐波；得到频率为基波频率非整数倍的分量，称为间谐波。

波形的质量指标是以谐波电压含有率、间谐波电压含有率和电压波形畸变率来衡量的。GB/T 14549—1993《电能质量 公共电网谐波》规定了我国公用电网谐波电压含有率应不大于表 1-8 的限值。

表 1-8 公用电网谐波电压（相电压）含有率限值（GB/T 14549—1993）

电网额定电压/kV	电压总谐波畸变率/%	各次谐波电压含有率/%	
		奇次	偶次
0.38	5.0	4.0	2.0
6、10	4.0	3.2	1.6
35、66	3.0	2.4	1.2
110	2.0	1.6	0.8

GB/T 12326—2008《电能质量-公共电网间谐波》规定了我国 220kV 及以下电力系统公共连接点（PCC）各次间谐波电压含有率应不大于表 1-9 的限值。

表 1-9 间谐波电压含有率限值（%）（GB/T 24337—2009）

电压等级	频率/Hz	
	<100	100~800
1000V 及以下	0.2	0.5
1000V 以上	0.16	0.4

本章小结

电力系统是由发电厂、电力线路、变电所和电能用户组成的发电、输电、变电、配电和用电的整体。对电力系统的基本要求是：安全、可靠、优质和经济。

额定电压是指用电设备处于最佳运行状态的电压。我国规定了电网和用电设备的额定电压、发电机的额定电压和电力变压器的额定电压。

按中性点运行方式，电力系统分为中性点不接地系统、中性点经消弧线圈接地系统、中性点经电阻接地系统、中性点直接接地系统。中性点的运行方式主要取决于对电气设备绝缘水平的要求及供电可靠性和运行安全性的要求。

电能质量指标主要包括电压偏差、电压波动、闪变及三相电压不平衡、频率偏差和谐波等。

习题 1

1. 什么是发电厂？目前在我国应用最广泛的发电厂有哪几种？
2. 什么是电力系统？什么是动力系统？
3. 对电力系统的基本要求是什么？
4. 发电机的额定电压、用电设备的额定电压和变压器额定电压是如何规定的？为什么这样规定？
5. 三相交流电力系统的电源中性点有哪些运行方式？中性点不直接接地的电力系统与中性点直接接地的电力系统在发生单相接地时各有什么特点？
6. 中性点不接地的电力系统在发生一相接地时有什么危险？中性点经消弧线圈接地后，如何能消除单相接地故障点的电弧？
7. 试确定如图 1-10 所示的供电系统中变压器 T1 和线路 WL1、WL2 的额定电压。

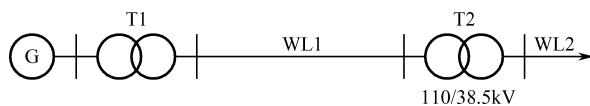


图 1-10 题 7 图

8. 试确定如图 1-11 所示的供电系统中发电机和所有变压器的额定电压。

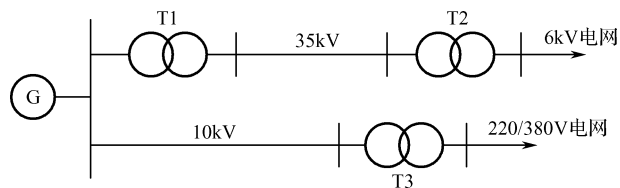


图 1-11 题 8 图

9. 画出中性点不接地系统 A 相发生单相接地时的相量图。
10. 衡量电力系统电能质量的三个重要指标是什么？具体包括哪些内容？
11. 什么叫电压偏移、电压波动及电压闪变？如何计算电压偏移和电压波动？