



变化,观察和记录每一个电容值下日光灯支路的电流读值、电容支路的电流读值以及总电流读值,观察功率表是否发生变化,将数值全部记录在自制表格中。(注意日光灯支路的电流和电路总电流的变化情况。)

4. 对所测数据进行技术分析。分别计算出各电容值下的功率因数 $\cos \varphi$, 并进行对比,判断电路在各 $\cos \varphi$ 下的性质(感性或容性)。

五、问题与思考

1. 通过实验,你能说出提高感性负载功率因数的原理和方法吗?
2. 日光灯电路并联电容后,总电流减小,根据测量数据说明为什么当电容增大到某一数值时,总电流却又上升了?
3. 根据所学知识及实验效果,你能很快说出日光灯电路中启辉器和镇流器的作用吗?

3.5 三相负载电路的分析

在工程应用和实际生产中,广泛使用的是三相交流电,因此学习和掌握三相负载电路的分析和计算十分必要。

3.5.1 三相电源的连接

三相电源通常有两种连接方法:星形和三角形。

1. 三相电源的星形(Y)连接方式

三相电源的星形(Y)连接方式如图 3.32 所示。

把三相电源绕组的尾端 X、Y、Z 连在一起向外引出一根输电线 N,称这根 N 线为电源的中性线,简称中线(俗称零线);由三相电源绕组的首端 A、B、C 分别向外引出 L_1 、 L_2 、 L_3 3 根输电线,称为电源的端线(或相线,俗称火线)。电源绕组按照图 3-32 所示的 Y 接方式向外供电的体制称为三相四线制。

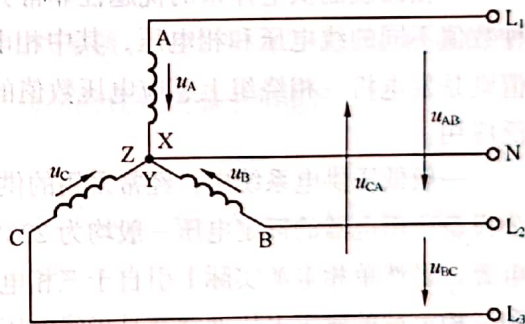


图 3.32 三相绕组的星形连接

在三相四线制中,向负载供出的电压可以取自两根火线之间,也可以取自火线与零线之间。我们把火线与火线之间的电压称为线电压,分别用 u_{AB} 、 u_{BC} 、 u_{CA} 表示。各线电压的注脚字母顺序表示各线电压的参考方向;火线与零线之间的电压叫做相电压,若忽略输电线上的阻抗,则 3 个相电压就等于发电机三相绕组的感应电压。相电压分别用 u_A 、 u_B 、 u_C 表示。

线电压采用的是双注脚,因为它们取自于两根火线之间;相电压之所以采用单注脚,原因是电源绕组中性点通常接“地”,各相火线端到零线端的电压实际上等于各相火线出线端的电位值。因为发电机发出来的三相电压通常是对称的,对称 3 个相电压数量上相等,可用“ U_p ”统一表示。在相电压对称的情况下,对应 3 个线电压也是对称的,对称的 3 个线电压的数量可用“ U_l ”统一表示。



三相电源绕组在 Y 接情况下, 向外电路提供的两种电压之间关系如何? 下面我们研究一下。

图 3.33 所示相量图说明了三相电源绕组 Y 接时线、相电压之间的数量关系和相位关系。

在电源中性点接“地”情况下, 各相电压即等于 L_1 、 L_2 、 L_3 3 根火线端的电位值, 则 AB 两相间的线电压、BC 两相间的线电压和 CA 两相间的线电压分别为

$$\dot{U}_{AB} = \dot{U}_A - \dot{U}_B = \dot{U}_A + (-\dot{U}_B)$$

$$\dot{U}_{BC} = \dot{U}_B - \dot{U}_C = \dot{U}_B + (-\dot{U}_C)$$

$$\dot{U}_{CA} = \dot{U}_C - \dot{U}_A = \dot{U}_C + (-\dot{U}_A)$$

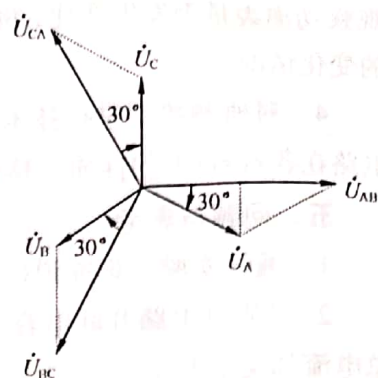


图 3.33 绕组 Y 接时的电压相量图

3 个相电压总是对称的, 如图 3.33 所示。根据上述关系式, 应用平行四边形法则相量求和的方法作出相量图, 根据相量图上的几何关系可求得各线电压分别为

$$\dot{U}_{AB} = \sqrt{3}\dot{U}_A/30^\circ$$

$$\dot{U}_{BC} = \sqrt{3}\dot{U}_B/30^\circ$$

$$\dot{U}_{CA} = \sqrt{3}\dot{U}_C/30^\circ$$

上式说明: 线电压在相位上超前与其相对应的相电压 (即线、相电压的第一个注脚相同) 30° , 在数量上是各相电压的 $\sqrt{3}$ 倍。

线、相电压之间的数量关系可用下式表示:

$$U_l = \sqrt{3}U_p = 1.732U_p \quad (3.28)$$

三相四线制供电体系的优越性非常大, 电源绕组 Y 接三相四线制供电时, 可向负载提供两种数值不同的线电压和相电压, 其中相电压等于发电机一相绕组上的感应电压; 而线电压的数值则是发电机一相绕组上感应电压数值的 $\sqrt{3}$ 倍。这一显著的优越性使三相四线供电体制得以广泛应用。

一般低压供电系统中, 经常采用的供电线电压为 380V, 对应相电压为 220V。人们生活和办公设备所用电器的额定电压一般均为 220V, 因此应接在火线和零线之间, 这就是我们常说的单相电源, 显然单相电源实际上引自于三相电源的火线和零线之间。必须注意: 不加说明的三相电源和三相负载的额定电压通常都是指线电压的数值。

2. 三相电源的三角形 (Δ) 连接方式

如图 3.34 所示, 将三相电源绕组的 6 个引出端依次首尾相连接成一个闭环, 由 3 个连接点分别向外引出 3 根火线 L_1 、 L_2 和 L_3 的供电方式称为三相电源的三角形连接。显而易见, 这种连接方式只能向负载提供一种电压, 由于电压均取自于两根火线之间, 因此称为线电压。注意: 电源 Δ 接时的线电压在数值上等于一相电源绕组上的感应电压值, 仅为电源作 Y 接时线电压的 $1/\sqrt{3}$ 。

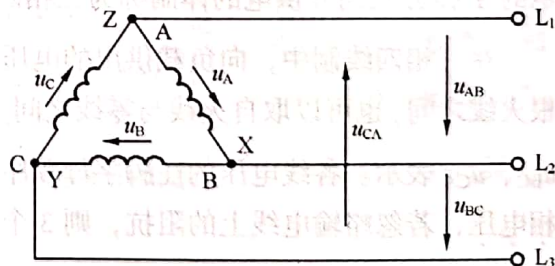


图 3.34 三相电源绕组的 Δ 接

电源绕组作 Δ 接时, 各相绕组的首尾端绝不能接反, 否则将在电源内部引起较大的环流把电源烧损, 读者可利用相量图自行分析。



实际生产应用中,三相发电机和三相配电变压器的副边都可以作为负载的三相电源。发电机绕组很少接成三角形,一般都接成星形,而三相电力变压器的副边大多连接成三相四线制的Y接,少数情况下也有采用 Δ 接的。

3.5.2 三相负载的连接

1. 负载的星形连接

负载作星形连接时电路的相量模型如图 3.35 所示。忽略导线上的电阻,各相负载两端的电压相量等于电源相电压相量。显然,A 相负载和 A 相电源通过火线和零线构成一个独立的单相交流电路;B 相负载和 B 相电源通过火线和零线构成一个独立的单相交流电路;C 相负载和 C 相电源通过火线和零线构成一个独立的单相交流电路。其中 3 个单相交流电路均以中线作为它们的公共线。

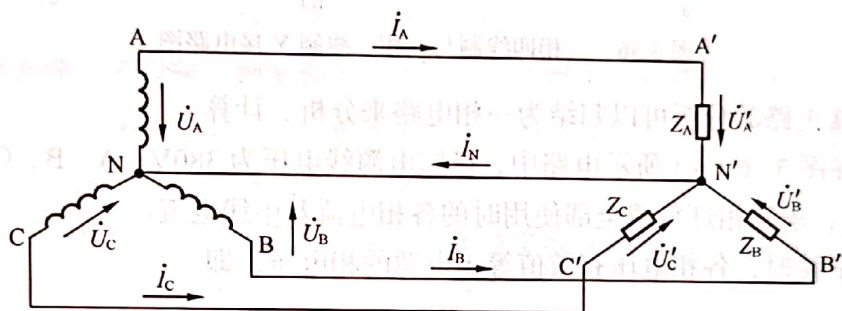


图 3.35 负载 Y 接时的三相电路图

在负载的 Y 接电路中,我们把火线上通过的电流称为线电流,一般用“ I_l ”表示;把各相负载中通过的电流叫做相电流,用“ I_p ”表示。显然负载 Y 接时的线电流等于相电流,即

$$I_{Yl} = I_{Yp} \quad (3.29)$$

Y 接三相四线制电路的相量模型中,设各负载复阻抗分别为 Z_A 、 Z_B 、 Z_C ,由于各相负载端电压相量等于电源相电压相量,因此各复阻抗中通过的电流相量为

$$\dot{I}_A = \frac{\dot{U}_A}{Z_A}, \quad \dot{I}_B = \frac{\dot{U}_B}{Z_B}, \quad \dot{I}_C = \frac{\dot{U}_C}{Z_C} \quad (3.30)$$

在相量模型中,根据相量形式的 KCL 可得中线上通过的电流相量

$$\dot{I}_N = \dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C \quad (3.31)$$

在相量模型中,中线上通过的电流相量 \dot{I}_N 有两种情况。

(1) 对称 Y 接三相负载时

复阻抗符合 $Z_A = Z_B = Z_C = Z = |Z| \angle \varphi$ 的对称负载条件时,由于复阻抗端电压相量也是对称的,因此构成 Y 接对称三相电路。对称三相电路中,3 个复阻抗中通过的电流相量也必然对称,因此

$$\dot{I}_N = \dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C = 0 \quad (3.32)$$

中线电流相量为零,说明中线中无电流通过,因此中线不起作用。这时中线的存在与否对电