第十一章　三相电路

第一部分　要点、考点归纳

§11-1　三相电路

三相电路由 3 个部分组成：三相电源、三相输电线和三相负载。

1．对称三相电源

对称三相电源由 3 个等幅、同频率、初相位依次相差 120° 的正弦电压源连接而成的电源，按连接的形式有星形（Y 形）和三角形（△形）之分，如图 11-1（a）、（b）所示，分别称为 Y 形电源和△形电源。这 3 个电源依次称为 A 相、B 相和 C 相，若以 A 相的电压为参考正弦量，各相电压为：

$$u_A=\sqrt{2}U\cos(\omega t)$$
$$u_B=\sqrt{2}U\cos(\omega t-120^\circ)$$
$$u_B=\sqrt{2}U\cos(\omega t+120^\circ)$$

对应的相量形式为：

$$\dot{U}_A=U\angle 0^\circ$$
$$\dot{U}_B=U\angle -120^\circ=\alpha^2\dot{U}_A$$
$$\dot{U}_C=U\angle 120^\circ=\alpha\dot{U}_A$$

式中$\alpha=\angle 120^\circ$，它是为计算方便引入的单位相量算子。图 11-1（c）、（d）为对称三相电压源的波形和相量图。由相量图可知，对称三相电压满足：

$$\dot{U}_A+\dot{U}_B+\dot{U}_C=0$$

即 $$u_A+u_B+u_C=0$$

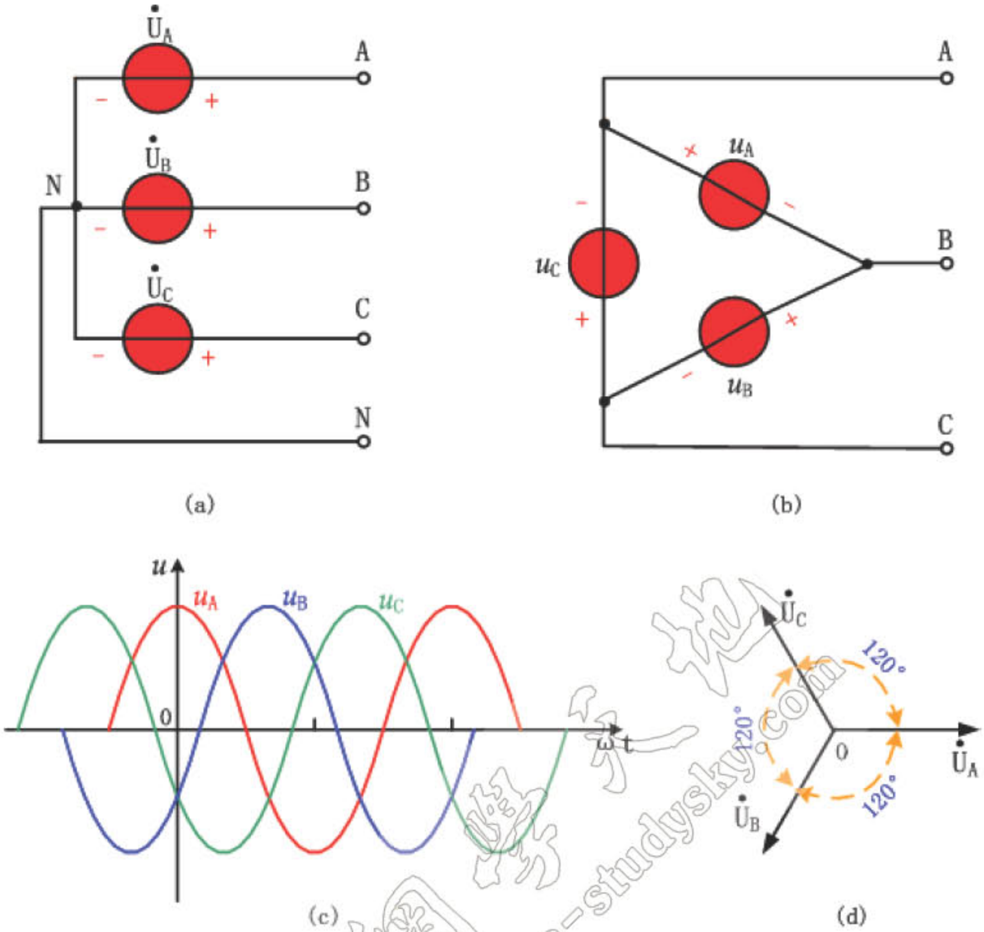


图11-1 对称三相电压及其波形和相量图

三相电压有一个相序问题，上式描述的三相电压源，是以 A 相为参考，B 相滞后 A 相 $120°$，C 滞后 B 相 $120°$，A、B、C 的这种次序称为**正序**（顺序）。若 B 相超前 A 相 $120°$，C 超前 B 相 $120°$，则称为**反序**（逆序）。电力系统一般采用正序。

在图 11-1（a）所示的 Y 形电源中，从 3 个正极性端子 A、B、C 引出的导线称为端线，从中（性）点 N 引出的导线称为中线。端线 A、B、C 之间的电压称为**线电压**，电源中每一相电压称为**相电压**，端线中电流称为**线电流**，各相电源中的电流称为**相电流**。对图 11-1（b）所示的△形电源也有同样的概念，但要注意，△形电源不能引出中线。

2. 三相负载

类似三相电源，3 个阻抗连接成 Y 形（△形）就构成三相的 Y 形（△形）负载，见图 11-2。当 3 个阻抗相等时，称为对称三相负载。三相负载的 3 个端子向外出的导线中的电流称为负载的线电流，任意两个端子之间的电压称为负载的线电压，而各阻抗的电压和电流称为相电压和相电流。

3. 三相输电线

就是将三相电源与三相负载向外引出的端子连接起来的电线。

由于三相电源和三相负载各都有 Y 形和△形两种连接形式，于是三相电路的电源与负载之间有 Y-Y、Y-△、△-△和△-Y 四种连接方式。如图 11-2（a）为 Y-Y 连接方式，图 11-2（b）为 Y-△连接方式。

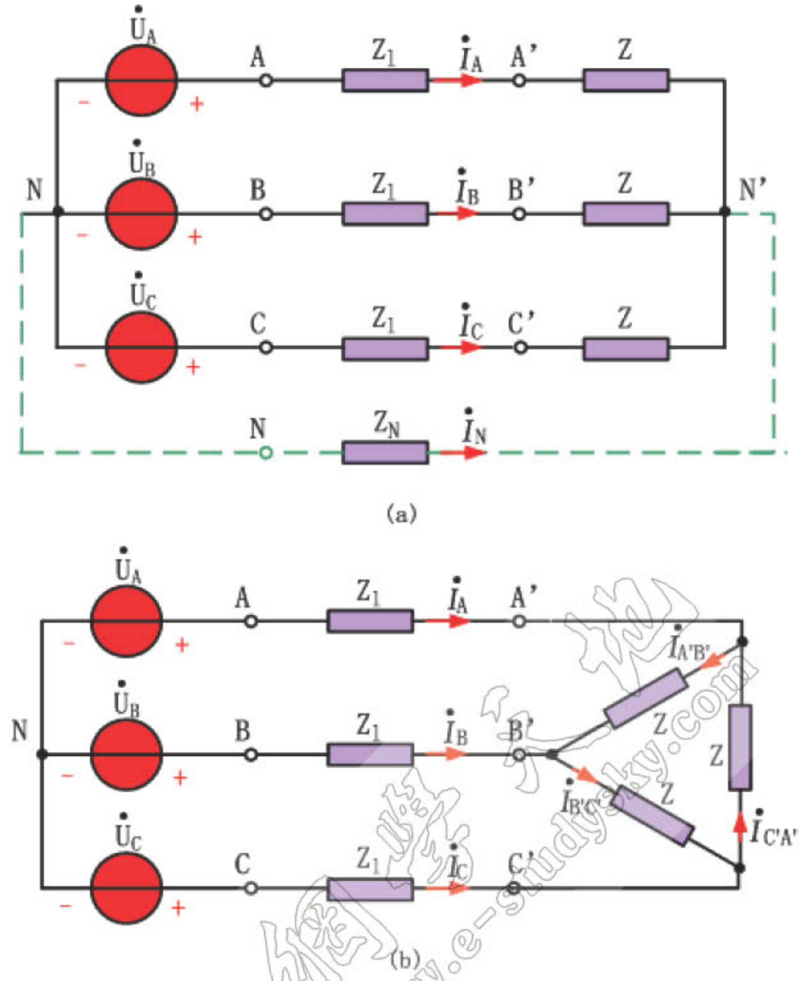


图11-2　对称三相电路

对 Y-Y 连接方式，因可将电源的中点 N 和负载的中点 N′用一条阻抗为 Z_N 的中线连接起来，故有所谓的**三相四线制**连接方式。其余 3 种连接方式均只能是**三相三线制**连接方式。

§11-2　线电压（电流）与相电压（电流）的关系

线电压（电流）与相电压（电流）之间的关系，与三相电源（或三相负载）的连接形式有关。下面就对称三相电源（包括对称三相负载）分两种情况进行分析。分析中需用到下述关系。

$$1-\alpha^2=1-e^{j240^\circ}=1+\cos 60^\circ+j\sin 60^\circ=\sqrt{3}\angle 30^\circ$$

$$1-\alpha=1-e^{j120^\circ}=1+\cos 60^\circ-j\sin 60^\circ=\sqrt{3}\angle -30^\circ$$

1．对称 Y 形三相电源（负载）

见图 11-3（a），线电压依次为 $\dot{U}_{AB}$、$\dot{U}_{BC}$、$\dot{U}_{CA}$，相电压为 $\dot{U}_A$、$\dot{U}_B$、$\dot{U}_C$，根据 KVL，并注意到 $\dot{U}_B==\alpha^2\dot{U}_A$、$\dot{U}_C=\alpha\dot{U}_A$ 有

$$\dot{U}_{AB}=\dot{U}_A-\dot{U}_B=(1-\alpha^2)\dot{U}_A=\sqrt{3}\dot{U}_A\angle30^\circ$$
$$\dot{U}_{BC}=\dot{U}_B-\dot{U}_C=(1-\alpha^2)\dot{U}_B=\sqrt{3}\dot{U}_B\angle30^\circ$$
$$\dot{U}_{CA}=\dot{U}_C-\dot{U}_A=(1-\alpha^2)\dot{U}_C=\sqrt{3}\dot{U}_C\angle30^\circ \quad (11\text{-}1)$$

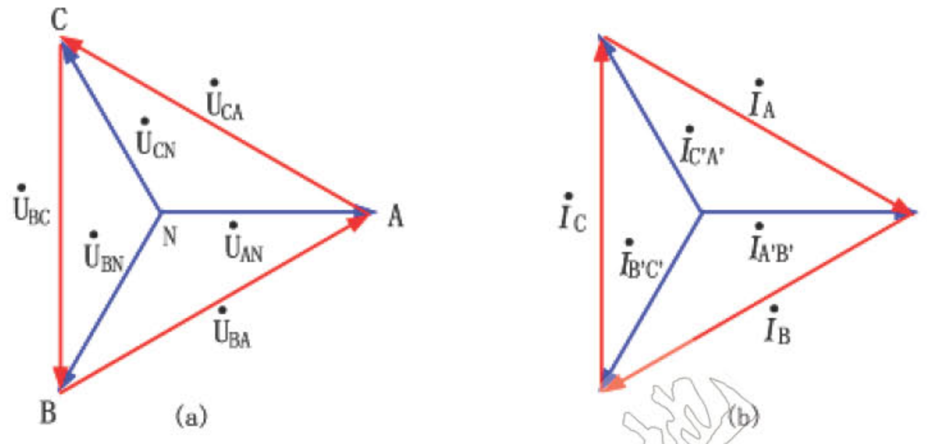


图11-3　线值与相值的关系

因$\dot{U}_{AB}+\dot{U}_{BC}+\dot{U}_{CA}=0$，所以上式中只两个方程是独立的。$\dot{U}_{AB}$、$\dot{U}_{BC}$、$\dot{U}_{CA}$构成一个正三角形，相位也依次相差$120^\circ$，这说明相电压对称时，线电压也对称，是相电压的$\sqrt{3}$倍，依次超前$\dot{U}_A$、$\dot{U}_B$、$\dot{U}_C$的相位为$30^\circ$。并且$\dot{U}_{AB}$、$\dot{U}_{BC}$、$\dot{U}_{CA}$满足下关系

$$\dot{U}_{BC}=\alpha^2\dot{U}_{AB}$$
$$\dot{U}_{CA}=\alpha\dot{U}_{AB}$$

故计算时只要算出$\dot{U}_{AB}$，由上式即可依次写出$\dot{U}_{BC}$、$\dot{U}_{CA}$。

对称Y形三相电源（负载）的线电流等于相电流。

2．对称△形三相电源（负载）

见图11-3（b），相电流分别为$\dot{I}_{AB}$、$\dot{I}_{BC}$、$\dot{I}_{CA}$，在对称情况下，相位也是依次相差120°，并且也有$\dot{I}_{BC}=\alpha^2\dot{I}_{AB}$，$\dot{I}_{CA}=\alpha\dot{I}_{AB}$。根据KCL，线电流等于

$$\dot{I}_A=\dot{I}_{AB}-\dot{I}_{CA}=(1-\alpha)\dot{I}_{AB}=\sqrt{3}\dot{I}_{AB}\angle-30^\circ$$
$$\dot{I}_B=\dot{I}_{BC}-\dot{I}_{AB}=(1-\alpha)\dot{I}_{BC}=\sqrt{3}\dot{I}_{BC}\angle-30^\circ$$
$$\dot{I}_C=\dot{I}_{CA}-\dot{I}_{BC}=(1-\alpha)\dot{I}_{CA}=\sqrt{3}\dot{I}_{CA}\angle-30^\circ \quad (11\text{-}2)$$

因$\dot{I}_A+\dot{I}_B+\dot{I}_C=0$，所以上式中只两个方程是独立的。$\dot{I}_A$、$\dot{I}_B$、$\dot{I}_C$构成一个正三角形，相位依次相差$120^\circ$，这说明相电流对称时，线电流也对称，是相电流的$\sqrt{3}$倍，依次滞后$\dot{I}_{AB}$、$\dot{I}_{BC}$、$\dot{I}_{CA}$的相位为$30^\circ$。并且$\dot{I}_A$、$\dot{I}_B$、$\dot{I}_C$满足下关系

$$\dot{I}_B = \alpha^2 \dot{I}_A$$

$$\dot{I}_C = \alpha \dot{I}_A$$

故计算时只要算出 $\dot{I}_A$，由上式即可依次写出 $\dot{I}_B$ 、 $\dot{I}_C$ 。

对称△形三相电源（负载）的线电压等于相电压。

§11-3 对称三相电路的计算

三相电路是正弦电流电路的一种特殊形式，故前面对正弦电流电路的分析方法对三相电路完全适应。由对称三相电路的特点，可以简化其计算。

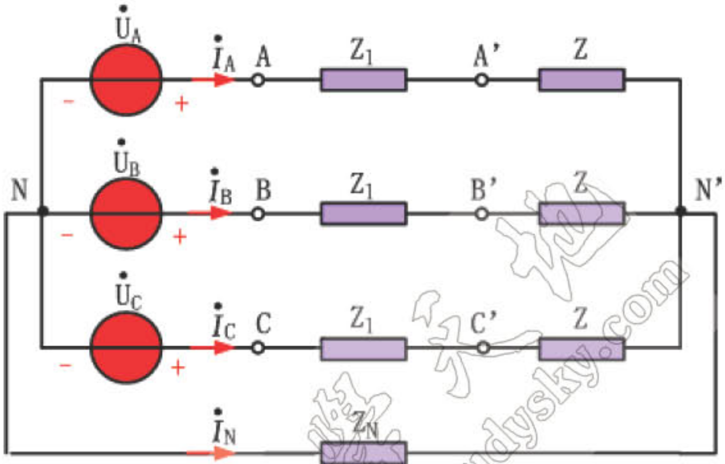


图11-4 对称三相四制Y－Y电路

首先，考虑对称三线四制 Y-Y 形电路。如图 11-4 所示，以 N 点为参考结点，由结点电压法得

$$\left(\frac{1}{Z_N}+\frac{3}{Z_N+Z_1}\right)\dot{U}_{N'N} = \frac{1}{Z_l+Z}(\dot{U}_A+\dot{U}_B+\dot{U}_C)$$

因对称情况下有 $\dot{U}_A+\dot{U}_B+\dot{U}_C=0$，故 $\dot{U}_{N'N}=0$。而

$$\dot{I}_A = \frac{\dot{U}_A-\dot{U}_{N'N}}{Z+Z_l} = \frac{\dot{U}_A}{Z+Z_l}$$

$$\dot{I}_B = \frac{\dot{U}_B-\dot{U}_{N'N}}{Z+Z_l} = \frac{\dot{U}_B}{Z+Z_l} = \alpha^2 \dot{I}_A$$

$$\dot{I}_C = \frac{\dot{U}_C-\dot{U}_{N'N}}{Z+Z_l} = \frac{\dot{U}_C}{Z+Z_l} = \alpha \dot{I}_A$$

所以中线电流为

$$\dot{I}_N = \dot{I}_A+\dot{I}_B+\dot{I}_C = 0$$

可见，在对称 Y-Y 三相电路中，中线可视为开路。

由于中线电流 $\dot{I}_N=0$，各相电流相互独立；又因为是对称的三相电路，所以相电流构成对称组。因此，只要分析计算三相中任一相，其它两相中的电压和电流就能按相序依次写

出。这就是对称三相电路归结为一相的计算方法。图 11-5 给出对称 Y-Y 三相电路中其中一相计算电路。考虑到电流的连续性，N′、N 两点用短路线连接，并非原电路的中线，与中线阻抗 Z_N 无关。

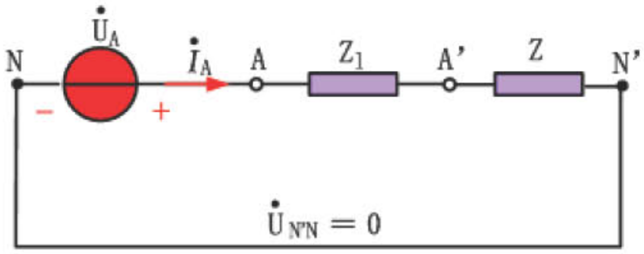


图11-5　一相计算电路

对于其它连接方式的对称三相电路，可用 Y-△的等效变换，转化成对称 Y-Y 三相电路，再用归结为一相的计算方法。

§11-4　不对称三相电路的概念

在三相电路中的 3 个部分，只要有一部分不对称就称为**不对称三相电路**。不对称三相电路的分析计算为能采用上节介绍的一相计算电路方法，在这种情况下电路的分析计算较为复杂。实际中往往是负载的不对称，本节只简要地介绍由于负载的不对称而起的一些特点。

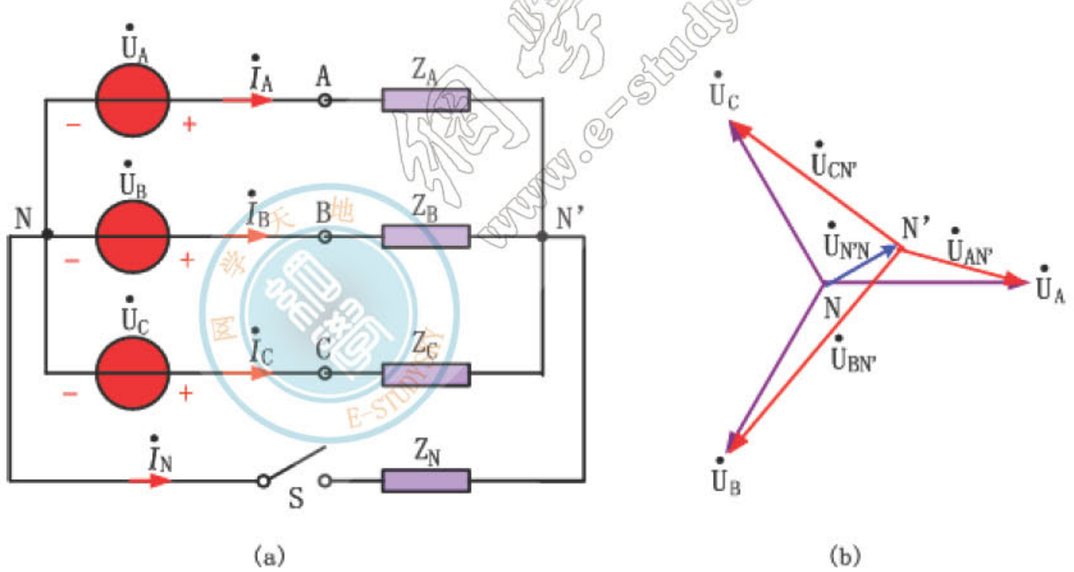


图11-7　不对称三相电路

如图 11-7（a）所示，电路为 Y-Y 连接方式，其中负载的阻抗 Z_A、Z_B、Z_C 互不相等，并忽略传输线的阻抗。分两种情况讨论：

1. 无中线情况（S 打开）

取 N 点为参考点，对 N′点列结点电压方程，有

$$(Y_A+Y_B+Y_C)\dot{U}_{N'N}=Y_A\dot{U}_A+Y_B\dot{U}_B+Y_C\dot{U}_C$$

$$\therefore \quad \dot{U}_{N'N}=\frac{Y_A\dot{U}_A+Y_B\dot{U}_B+Y_C\dot{U}_C}{Y_A+Y_B+Y_C}$$

可见，一般情况下$\dot{U}_{N'N}\neq 0$，即 N 点与 N'点的电位不同，这从图 11-7（b）所示的相量图可形象的看到，这种现象称为**中点位移**。由相量图可求得各负载上的电压为：

$$\dot{U}_{AN'}=\dot{U}_A-\dot{U}_{N'N} \qquad Z_A \text{ 上的电压}$$

$$\dot{U}_{BN'}=\dot{U}_B-\dot{U}_{N'N} \qquad Z_B \text{ 上的电压}$$

$$\dot{U}_{CN'}=\dot{U}_C-\dot{U}_{N'N} \qquad Z_C \text{ 上的电压}$$

可见，三个负载上的电压不再对称，并且中点的位移（$|\dot{U}_{N'N}|$）越大，不对称程度越大。并且一相的负载变化时，$\dot{U}_{N'N}$将发生变化，从而会引起其它两相负载的电压变化。所以，在负载不对称情况下不宜采用三相三线制供电方式。

2．有中线情况（S 闭合）

这种情况下，若中线阻抗$Z_N\approx 0$，则近似有$\dot{U}_{N'N}=0$，三个负载上的电压基本对称，各相负载保持独立性，从而提高了供电质量。并且在分析时各相可以分别独立计算。所以当不对称三相负载为 Y 形连接时，为获得较稳定的相电压，必须要有中线（三相四线制）。生活中的民用电就是这种情况。

虽然中线可维持三相负载的相电压基本对称，但 3 个负载也不能相差太大，否则中线电流很大，$\dot{U}_{N'N}$不可忽略，而使得负载的相电压不对称程度增加。

由于相电流不对称，中线电流一般不为零，即

$$\dot{I}_N=\dot{I}_A+\dot{I}_B+\dot{I}_C\neq 0$$

§11-5　三相电路的功率

根据复功率守恒，三相负载吸收的复功率等于各相复功率之和，即

$$\overline{S}=\overline{S}_A+\overline{S}_B+\overline{S}_C$$

如 Y-Y 三线三相制的电路，参见图 11-7（a）（S 打开），有

$$\overline{S}=\dot{U}_{AN'}\dot{I}_A^*+\dot{U}_{BN'}\dot{I}_B^*+\dot{U}_{CN'}\dot{I}_C^*$$

若为对称三相电压，有

$$\overline{S}_A=\overline{S}_B=\overline{S}_C$$

$$\overline{S}=3\overline{S}_A$$

三相电路的瞬时功率为各相瞬时功率之和，如图 11-4 所示的对称三相电路，各相电源的瞬时功率为

$$p_A=u_Ai_A=\sqrt{2}U_A\cos(\omega t)\times\sqrt{2}I_A\cos(\omega t-\varphi_A)$$

$$p_B=u_Bi_B=\sqrt{2}U_B\cos(\omega t-120^\circ)\times\sqrt{2}I_B\cos(\omega t-120^\circ-\varphi_B)$$

$$p_C=u_Ci_C=\sqrt{2}U_C\cos(\omega t+120^\circ)\times\sqrt{2}I_C\cos(\omega t+120^\circ-\varphi_C)$$

式中φ_A、φ_B、φ_C为 A、B、C 相中电压与电流的相位差。由于是对称三相电路，有

$$\varphi_A=\varphi_B=\varphi_C=\varphi$$

$$U_A=U_B=U_C$$

$$I_A=I_B=I_C$$

则有

$$p=p_A+p_B+p_C=3U_AI_A\cos\varphi$$

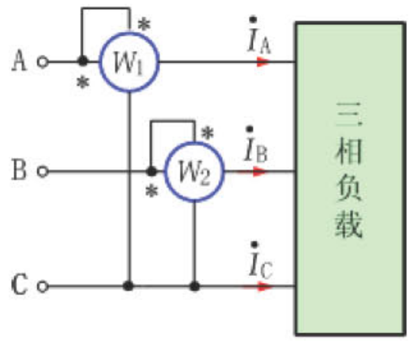


图11-9　二瓦计法

可见瞬时功率等于平均功率（有功功率），这是对称三相电路的一个优越的性能，这一性能称为**瞬时功率平衡**。

对三相电路功率的测量，有一种**二瓦计法**。如图 11-9 所示，两个功率表的电流线圈分别串入两相的端线中，两个表的电压线圈的非源端（无*端）一同连接在第三相的端线上。下面证明两个功率表读数的代数和为三相三制中右侧电路吸收的平均功率。

设两功率表的读数分别为P_1和P_2，有

$$P_1=\mathrm{Re}[\dot{U}_{AC}\dot{I}_A^*],\qquad P_2=\mathrm{Re}[\dot{U}_{BC}\dot{I}_B^*]$$

$$\therefore\quad P_1+P_2=\mathrm{Re}[\dot{U}_{AC}\dot{I}_A^*+\dot{U}_{BC}\dot{I}_B^*]$$

$$\because\quad \dot{U}_{AC}=\dot{U}_A-\dot{U}_C,\qquad \dot{U}_{BC}=\dot{U}_B-\dot{U}_C$$

$$\therefore\quad P_1+P_2=\mathrm{Re}[\dot{U}_A\dot{I}_A^*+\dot{U}_B\dot{I}_B^*-\dot{U}_C(\dot{I}_A^*+\dot{I}_B^*)]$$

因三相三线制电路无中线，有$\dot{I}_A+\dot{I}_B+\dot{I}_C=0$，即$\dot{I}_A+\dot{I}_B=-\dot{I}_C$，代入上式得

$$P_1+P_2=\mathrm{Re}[\dot{U}_A\dot{I}_A^*+\dot{U}_B\dot{I}_B^*+\dot{U}_C\dot{I}_C^*]$$
$$=\mathrm{Re}[\overline{S}_A+\overline{S}_B+\overline{S}_C]=\mathrm{Re}[\overline{S}]$$

$\mathrm{Re}[\overline{S}]$为右侧三相负载的有功功率，即平均功率。

上述证明中并不要电路对称，所以二瓦计法适用于对称和不对称的三相三线制电路。对三相四线制电路，因一般情况下三相负载不对称，$\dot{I}_A+\dot{I}_B+\dot{I}_C\neq0$，故不能采用二瓦计法测量三相功率。这时应在三相中接入三个功率表，功率表的电流线圈的接法与图 11-9 一样，但三个表的电压线圈的非电源端都连接在中线上。

若为对称三相三线制电路，有

$$P_1=\mathrm{Re}[\dot{U}_{AC}\dot{I}_A^*]=U_{AC}I_A\cos(\varphi-30^\circ)$$

$$P_2=\mathrm{Re}[\dot{U}_{BC}\dot{I}_B^*]=U_{BC}I_B\cos(\varphi+30^\circ)$$

证明如下，设负载的各相阻抗为 Z，并注意到

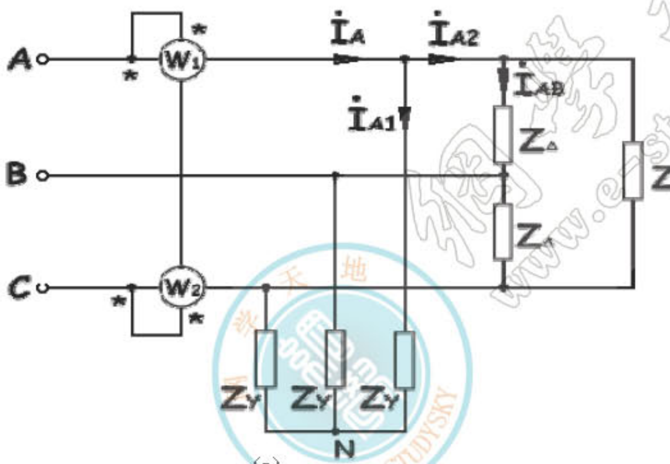
$$\dot{U}_{AC}=\dot{U}_A-\dot{U}_C=(1-\alpha)\dot{U}_A=\sqrt{3}\dot{U}_A\angle-30^\circ$$

$$\therefore\quad P_1=\mathrm{Re}[\dot{U}_{AC}\dot{I}_A^*]$$
$$=\mathrm{Re}[\sqrt{3}\dot{U}_A\dot{I}_A^*e^{-j30^\circ}]$$
$$=\mathrm{Re}[\sqrt{3}Z\dot{I}_A\dot{I}_A^*e^{-j30^\circ}]$$
$$=\mathrm{Re}[\sqrt{3}I_A^2\,|Z|\,e^{j\varphi}e^{-j30^\circ}]$$
$$=\mathrm{Re}[\sqrt{3}I_A^2\,|Z|\,e^{j(\varphi-30^\circ)}]$$
$$=\sqrt{3}I_A^2\,|Z|\cos(\varphi-30^\circ)$$
$$=\sqrt{3}U_AI_A\cos(\varphi-30^\circ)$$
$$=U_{AC}I_A\cos(\varphi-30^\circ)$$

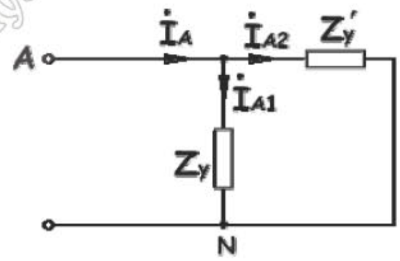
同理可证明第二式。

第二部分　例题

例 1　如图所示电路中，已知线电压 U_l =380V，$Z_Y=10\sqrt{3}\angle30^\circ\Omega$，$Z_\Delta=30\sqrt{3}\angle-30^\circ\Omega$，求电流 I_{A1}、I_{A2}，I_A，I_{AB} 和两个瓦特表的读数及三相总功率。



(a)



（b）

解：方法一

将对称三角形负载变换成星形负载，则 $Z_Y'=\frac{1}{3}Z_\Delta=\frac{1}{3}Z_\Delta=10\sqrt{3}\angle-30^\circ\Omega$，画出三相归一相电路，如图（b）所示。

$$\because U_1=300V,\therefore U_p=\frac{300}{\sqrt{3}}=100\sqrt{3}V，\text{可设}\dot{U}_{AN}=100\sqrt{3}\angle0^\circ，\text{则：}$$

$$\dot{I}_{A1}=\frac{\dot{U}_{AN}}{Z_Y}=\frac{100\sqrt{3}\angle 0^\circ}{10\sqrt{3}\angle 30^\circ}=10\angle -30^\circ A,$$

$$\dot{I}_{A2}=\frac{\dot{U}_{AN}}{Z'_Y}=\frac{100\sqrt{3}\angle 0^\circ}{10\sqrt{3}\angle -30^\circ}=10\angle 30^\circ A,$$

$$\therefore \dot{I}_A=\dot{I}_{A1}+\dot{I}_{A2}=10\angle -30^\circ+10\angle 30^\circ=10\sqrt{3}\angle 0^\circ A$$

$$\because \dot{I}_{A2}=\sqrt{3}\dot{I}_{AB}\angle -30^\circ \therefore \dot{I}_{AB}=\frac{1}{\sqrt{3}}\dot{I}_{A2}\angle 30^\circ=\frac{10}{\sqrt{3}}\angle 60^\circ A$$

$$\dot{I}_C=10\sqrt{3}\angle 120^\circ A, \dot{U}_{AB}=300\angle 30^\circ, \dot{U}_{CB}=300\angle 90^\circ$$

$$\therefore P_{W1}=300\times 10\sqrt{3}\cos 90^\circ=4500W, P_{W2}=300\times 10\sqrt{3}\cos 30^\circ=4500W$$

三相总功率　$P=P_{W1}+P_{W2}=9000W$

或$P=3U_pI_p\cos\varphi=3\times 100\sqrt{3}\times 10\sqrt{3}\cos 0^\circ=9000W$

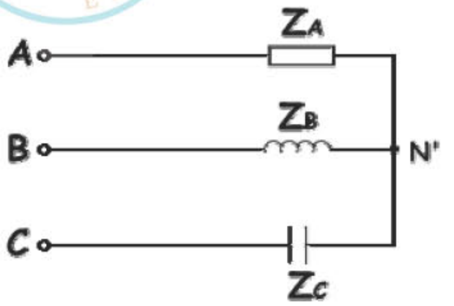
方法二：

$$\dot{I}_{A1}=\frac{\dot{U}_{AN}}{Z_Y}=10\angle -30^\circ A, \dot{U}_{AB}=300\angle 30^\circ, \therefore \dot{I}_{AB}=\frac{\dot{U}_{AB}}{Z_\Delta}=\frac{10}{\sqrt{3}}\angle 60^\circ A$$

$$\therefore \dot{I}_{A2}=\sqrt{3}\dot{I}_{AB}\angle -30^\circ=10\angle 30^\circ, \therefore \dot{I}_A=\dot{I}_{A1}+\dot{I}_{A2}=10\sqrt{3}\angle 0^\circ A$$

求功率的方法同方法一

例 2　如图所示电路中，线电压为 380V，三相负载阻抗分别为 $Z_A=76\Omega, Z_B=j76\Omega, Z_C=-j76\Omega$, 求各相电流各相负载相电压和三相总功率。



解：本题所示电路为不对称三相电路，故不能采用三相归一相的办法求解。

$\because U_1=380V \therefore U_2=220V$

设$\dot{U}_A=220V\angle 0°$，则可由节点法得：

$$\dot{U}_{N'N}=\frac{\dot{U}_{AN}/Z_A+\dot{U}_{BN}/Z_B+\dot{U}_{CN}/Z_C}{1/Z_A+1/Z_B+1/Z_C}=\dot{U}_{AN}(1-\sqrt{3})=-161\angle 0°V$$

$$\therefore \dot{U}_{AN'}=\dot{U}_{AN}-\dot{U}_{NN'}=381\angle 0°V, \dot{U}_{BN'}=\dot{U}_{BN}-\dot{U}_{NN'}$$

$$=198\angle -75°V, \dot{U}_{CN'}=\dot{U}_{CN}-\dot{U}_{NN'}=198\angle 75°V$$

各相电流

$$\dot{I}_A=\frac{\dot{U}_{AN}'}{Z_A}=5\angle 0°A，\dot{I}_B=\frac{\dot{U}_{BN}'}{Z_B}=2.6\angle -165°A，\dot{I}_C=\frac{\dot{U}_{CN}'}{Z_C}=2.6\angle 165°A$$

因三相负载中只有 A 相为电阻，故三相总功率$P=I_A^2 Z_A=5^2\times 76=47500W$

例 3 电路如图 11-4 所示，已知：$Z_l=(1+j2)\Omega$，$Z=(5+j6)\Omega$，$u_{AB}=380\sqrt{2}\cos(\omega t+30°)V$。试求负载中各电流相量。

解：为一对对称 Y-Y 三相电路，用归结为一相的计算方法（见图 11-5）。由式（11-1）有

$$\dot{U}_A=\frac{\dot{U}_{AB}}{\sqrt{3}}\angle -30°=220\angle 0°V$$

$$\therefore \dot{I}_A=\frac{\dot{U}_A}{Z+Z_l}=\frac{220\angle 0°}{6+j8}=22\angle -53.1°A$$

由对称性可写出

$$\dot{I}_B=\alpha^2\dot{I}_A=22\angle -173.1°A$$

$$\dot{I}_C=\alpha\dot{I}_A=22\angle 66.9°A$$

例 4 图 11-8 所示，一种测定相序的电路，图中 R 为两指示灯的电阻，并有$R=1/\omega C$。在三相电源对称情况下，如何根据两个指示灯的亮度确定电源的相序。

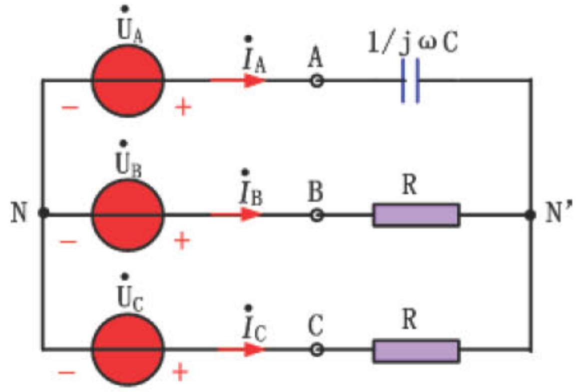


图11-8　一种相序器原理图

解：本题为不对称三相负载情况，负载的各相电压不相等，故两个指示灯的亮度不一样。设电容所在的一相为 A 相，并令$\dot{U}_A = U\angle 0°$，则中点电压为（$G = 1/R$）

$$\dot{U}_{N'N} = \frac{j\omega C\dot{U}_A + G\dot{U}_B + G\dot{U}_C}{j\omega C + 2G}$$

$$= (-0.2 + j0.6)U = 0.63U\angle 108.4°$$

所以，两指示灯上相电压为

$$\dot{U}_{BN'} = \dot{U}_B - \dot{U}_{N'N} = 1.5U\angle -101.5°$$

$$\dot{U}_{CN'} = \dot{U}_C - \dot{U}_{N'N} = 0.4U\angle 133.4°$$

可见，两指示灯上相电压的有效值相差较大，较亮的指示灯所连接的为 B 相，较暗的指示灯所连接的为 C 相。

若作相量图，由$\dot{U}_{N'N}$可直观地判断出$\dot{U}_{BN'} > \dot{U}_{CN'}$，参见图 11-7（b）。