第5章 三相正弦交流电路

5.1 三相电源

目的与要求

掌握三相电源Y连接与△连接时线电压与 相电压的关系

重点与难点

重点:三相电源Y连接与△连接

难点:三相电源Y连接与△连接

5.1.1 三相对称正弦交流电压（一）

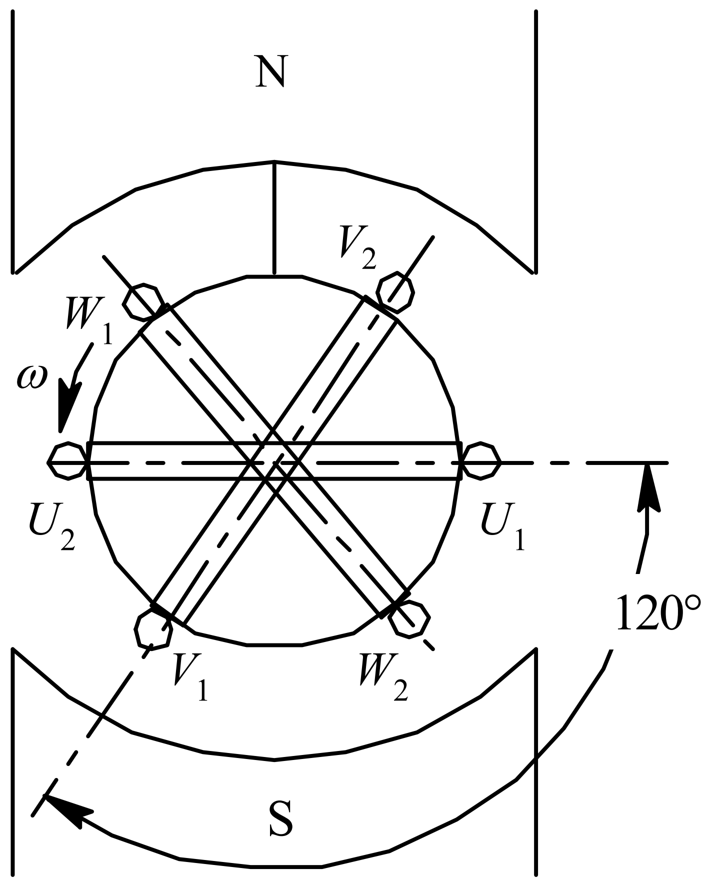


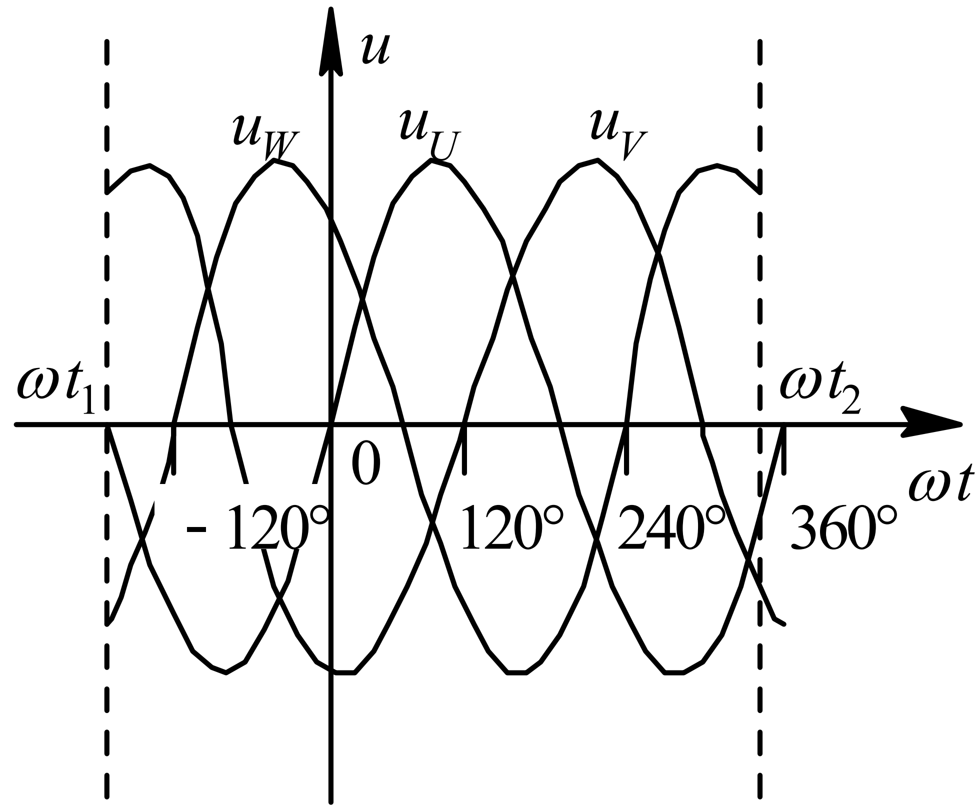
图 5.1 三相交流发电机的原理

5.1.1 三相对称正弦交流电压（二）

1、$u_U = u_{U_1U_2} = U_{pm} \sin \omega t$

$u_V = u_{V_1V_2} = U_{Pm} \sin(\omega t - 120°)$

$u_W = u_{W_1W_2} = U_{pm} \sin(\omega t + 120°)$



5.1.1 三相对称正弦交流电压（三）

2、 $\dot{U}_U = U_P\angle 0°,\ \ \dot{U}_V = U_p\angle -120°,\ \ \dot{U}_w = U_p\angle 120°$

$$\dot{U}_U + \dot{U}_V + \dot{U}_W = U_p\angle 0° + U_p\angle -120° + U_p\angle 120°$$

$$= U_p(1 - \frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2} - \frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}) = 0$$

$$u_U + u_V + u_W = 0$$

5.1.1 三相对称正弦交流电压（四）

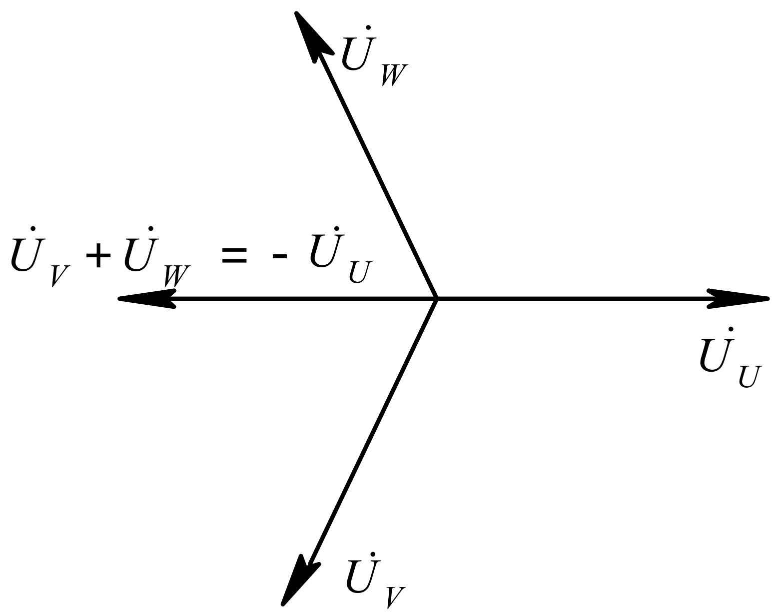


图 5.3 对称三相正弦量的相量图

3、相序：正序　　U超前于V，V超前于W

　　　　逆序　　U超前于W，W超前于V

5.1.2 三相电源的星形（Y）连接（一）

1、接法：三个绕组的末端接 在一起，从三个始端引出三根导线

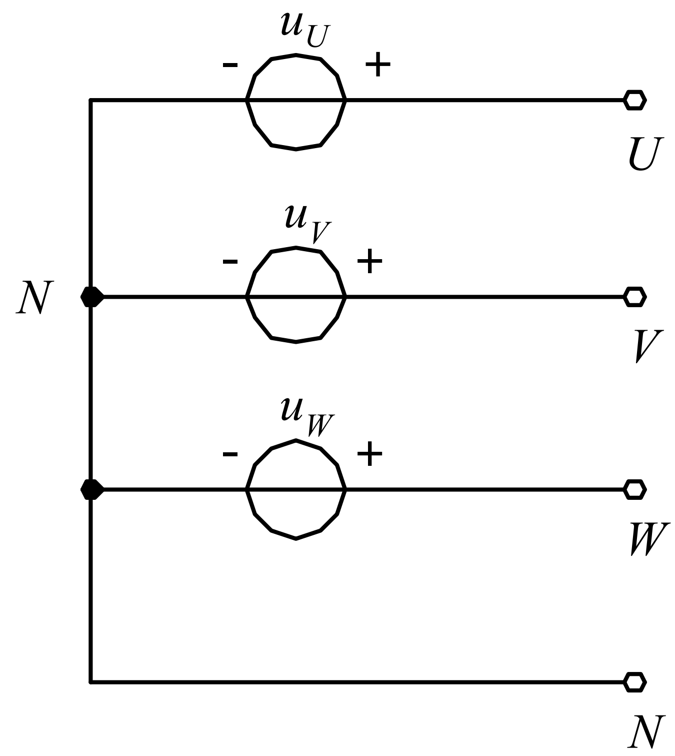


图 5.4 三相电源的星形连接

5.1.2 三相电源的星形（Y）连接（二）

2、名词解释

1） 端线（火线）：从始端引出的导线

2）中性点N：三个末端的节点

3）中线：从中性点引出的导线

5.1.2 三相电源的星形（Y）连接（三）

4）三相四线制：有中线，可提供两组对称三相电压

5）三相三线制：无中线，只能提供一组对称电压

6）线电压：端线与中线间的电压

7）相电压：两根端线间的电压

5.1.2 三相电源的星形（Y）连接（四）

$$\dot{U}_{UV} = \dot{U}_U - \dot{U}_V = \dot{U}_U - \dot{U}_V \angle -120^\circ$$

$$= \dot{U}_U [1-(1-\frac{1}{2}-j\frac{\sqrt{3}}{2})] = \dot{U}_U (\frac{3}{2}+j\frac{\sqrt{3}}{2})$$

$$= \sqrt{3}\,\dot{U}_V \angle 30^\circ$$

同理得

$$\dot{U}_{VW} = \sqrt{3}\,\dot{U}_V \angle 30^\circ$$

$$\dot{U}_{WU} = \sqrt{3}\,\dot{U}_W \angle 30^\circ$$

5.1.3 三相电源的三角形（△）连接（一）

三相发电机三个绕组依次首尾相连，接成一个闭合回路，从三个连接点引出的三根导线即为三根端线

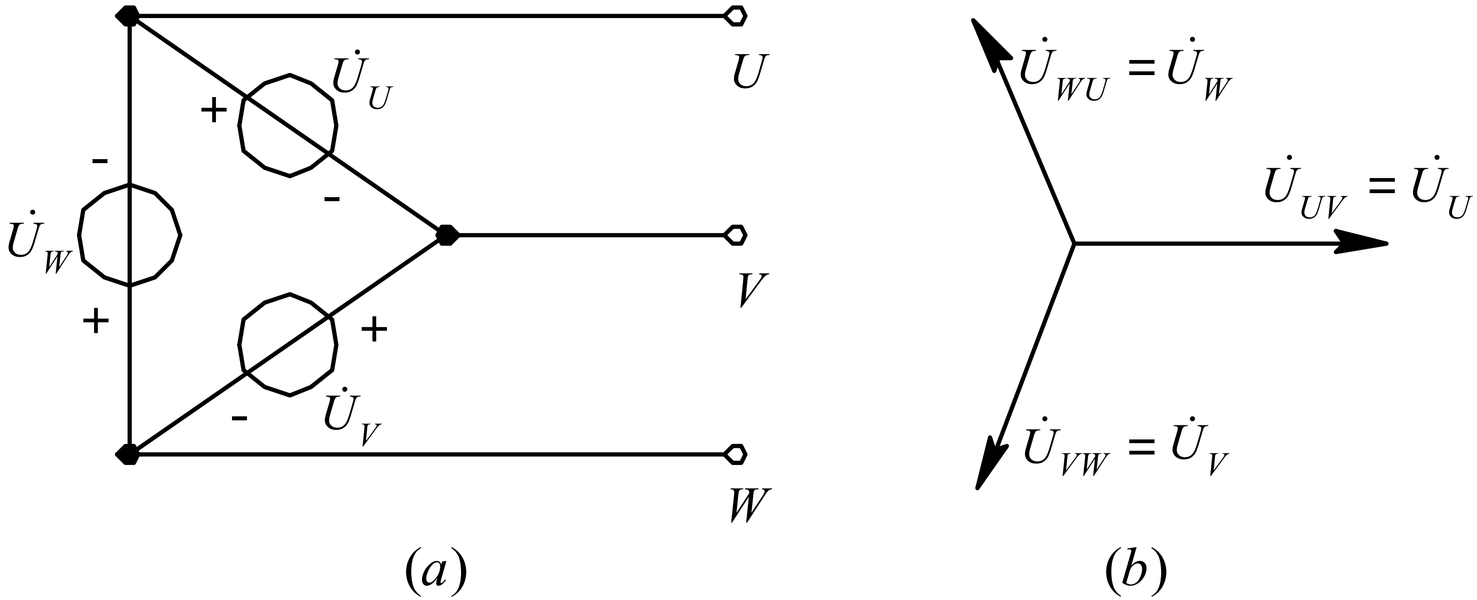


图 5.6 三相电源的三角形连接线电压等于相电压

5.1.3 三相电源的三角形（△）连接（二）

线电压的大小是相电压的$\sqrt{3}$倍，线电压的相位比相电压的相位超前30°

三个线电压之间的关系是

$$\dot{U}_{UV}+\dot{U}_{VW}+\dot{U}_{WU}=\dot{U}_{U}-\dot{U}_{V}+\dot{U}_{V}-\dot{U}_{W}+\dot{U}_{W}-\dot{U}_{U}=0$$

$$u_{UV}+u_{VW}+u_{WU}=u_{U}-u_{V}+u_{V}-u_{W}+u_{W}-u_{U}=0$$

5.1.3　三相电源的三角形（△）连接（三）

三相电源作△连接时，只能是三相三线制，线电压等于相电压。

$$\dot{U}_{UV}=\dot{U}_{U},\dot{U}_{VW}=\dot{U}_{V},\dot{U}_{WU}=\dot{U}_{W}$$

例5.2（一）

三相发电机接成三角形供电。如果误将U相接反, 会产生什么后果？如何使连接正确？

解 U相接反时的电路如图5.7(a)所示。此时回路中的电流为

$$\dot{I}_s = \frac{-\dot{U}_U + \dot{U}_V + \dot{U}_W}{3Z_{sp}} = \frac{-2\dot{U}_U}{3Z_{sp}}$$

例5.2（二）

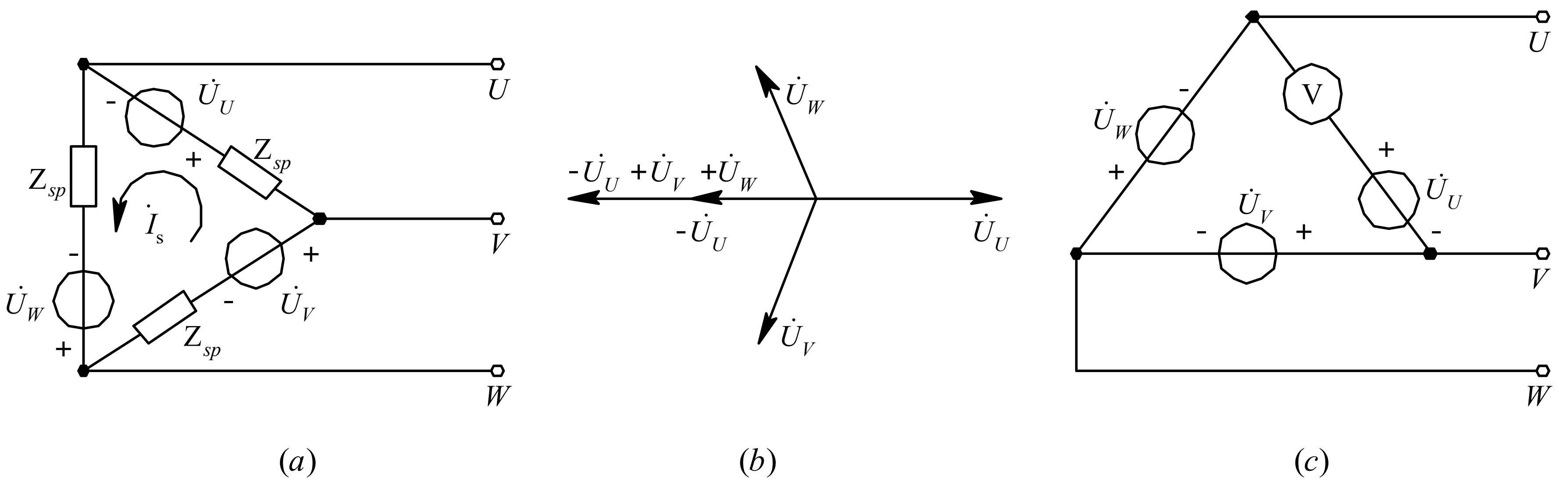


图 5.7 例 5.2 图

教学方法

与实际结合说明本节内容

思考题

1、对称三相电源的星形连接 时，U_l= __________U_P，线电压的相位超前于它所对应相电压的相位__________。

2、正序对称三相星形连接电源，若 $\dot{U}_{VW}=380\angle 30^\circ V$，则 $\dot{U}_{UV}$= __________V ，$\dot{U}_{U}$ =__________V，$\dot{U}_{W}$=__________V。

3、正序对称三相三角形连接电源， 相电压 $\dot{U}_{W}=220\angle 90^\circ V$ 则 $\dot{U}_{U}$=__________V，$\dot{U}_{V}$ =__________V，$\dot{U}_{UV}$ =__________V，

$\dot{U}_{VW}$ =__________V，$\dot{U}_{WU}$ =__________V，$\dot{U}_{UV}+\dot{U}_{VW}+\dot{U}_{WU}$ =__________ 。

5.2 三相负载

目的与要求

掌握三相负载Y连接与△连接的计算

重点与难点

重点:三相负载Y连接与△连接的计算

难点:三相负载Y连接的计算

5.2.1 负载的星形（Y）连接（一）

1. 三相四线制电路

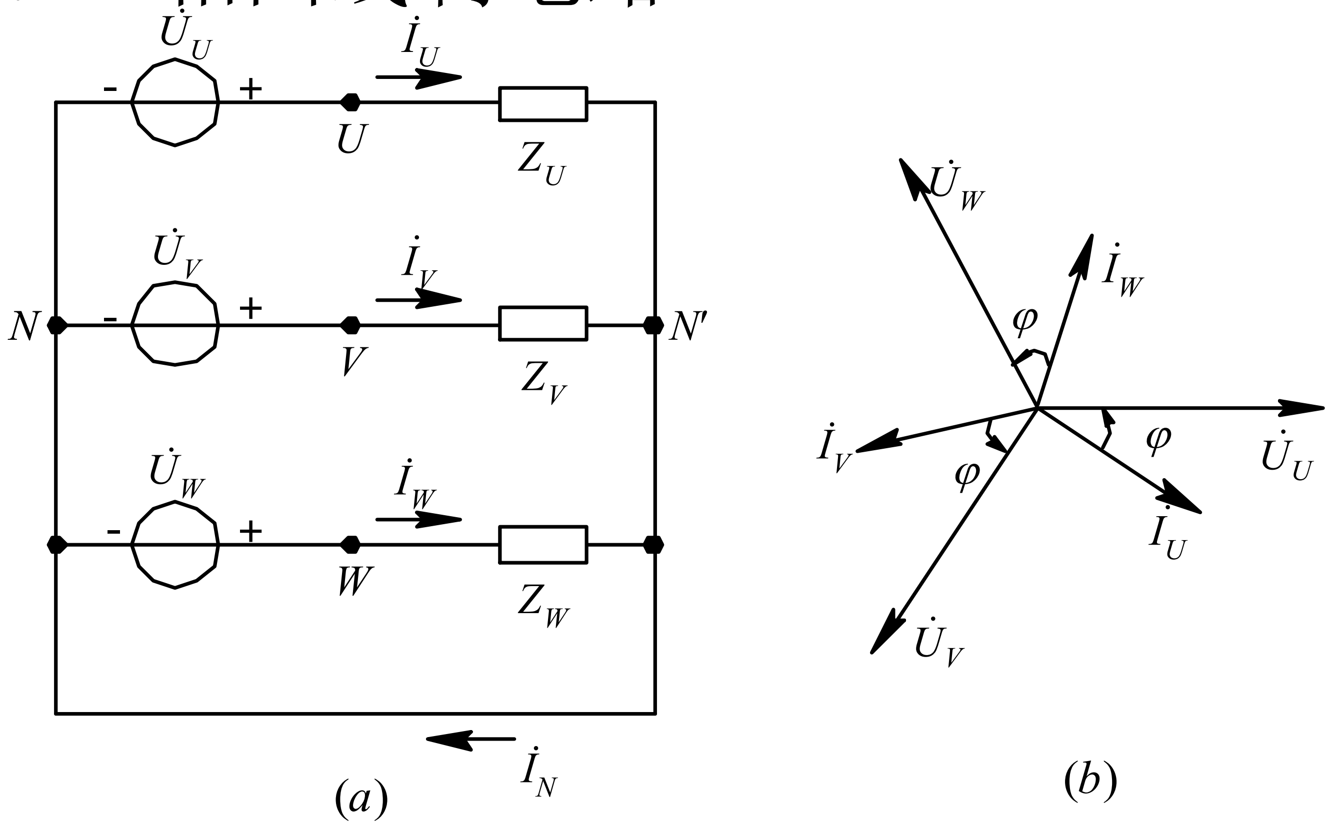


图 5.8 三相四线制电路及电压、电流相量图

5.2.1 负载的星形（Y）连接（二）

1） 负载的电压等于电源的电压

2） 线电流：通过端线上的电流

相电流：通过每相的负载的电流

$$\dot{I}_U=\frac{\dot{U}_U}{Z_U},\quad \dot{I}_V=\frac{\dot{U}_V}{Z_V},\quad \dot{I}_W=\frac{\dot{U}_W}{Z_W}$$

5.2.1 负载的星形（Y）连接（三）

3）中线电流 $\dot{I}_N = \dot{I}_U + \dot{I}_V + \dot{I}_W$

$$\dot{I}_U = \frac{\dot{U}_U}{Z}$$

4）若对称，则

$$\dot{I}_V = \frac{\dot{U}_U}{Z} = \frac{\dot{U}_U \angle -120^\circ}{Z} = \dot{I}_U \angle -120^\circ$$

$$\dot{I}_W = \frac{\dot{U}_W}{Z} = \frac{\dot{U}_U \angle -120^\circ}{Z} = \dot{I}_U \angle -120^\circ$$

$$\dot{I}_N = \dot{I}_U + \dot{I}_V + \dot{I}_W = \dot{I}_U + \dot{I}_U \angle -120^\circ + \dot{I}_U \angle 120^\circ = 0$$

例5.3（一）

三相四线制电路中, 星形负载各相阻抗分别为$Z_U=8+j6\Omega$, $Z_V=3-j4\Omega$,$Z_W=10\Omega$, 电源线电压为380V, 求各相电流及中线电流。

解 设电源为星形连接, 则由题意知

$$U_p=\frac{U_l}{\sqrt{3}}=220V$$

$$\dot{U}_U=220\angle 0^\circ V$$

例5.3（二）

$$\dot{I}_U=\frac{\dot{U}_U}{Z_U}=\frac{220\angle 0^\circ}{8+j6}=\frac{220\angle 0^\circ}{10\angle 36.9^\circ}=22\angle -36.9^\circ A$$

$$\dot{I}_V=\frac{\dot{U}_V}{Z_V}=\frac{220\angle -120^\circ}{3-j4}=\frac{220\angle -120^\circ}{5\angle -53.1^\circ}=44\angle -66.9^\circ A$$

$$\dot{I}_W=\frac{\dot{U}_W}{Z_W}=\frac{220\angle 120^\circ}{10}=\frac{220\angle 120^\circ}{10\angle 0^\circ}=22\angle 120^\circ A$$

例5.3（三）

$$
\begin{aligned}
\dot{I}_N &= \dot{I}_U + \dot{I}_V + \dot{I}_W \\
&= 22\angle{-36.9^\circ} + 44\angle{-66.9^\circ} + 22\angle{120^\circ} \\
&= 17.6 - j13.2 + 17.3 - j40.5 - 11 + j19.1 \\
&= 23.9 - j34.6 \\
&= 42\angle{-55.4^\circ}\,A
\end{aligned}
$$

5.2.1 负载的星形（Y）连接（四）

2. 三相三线制电路

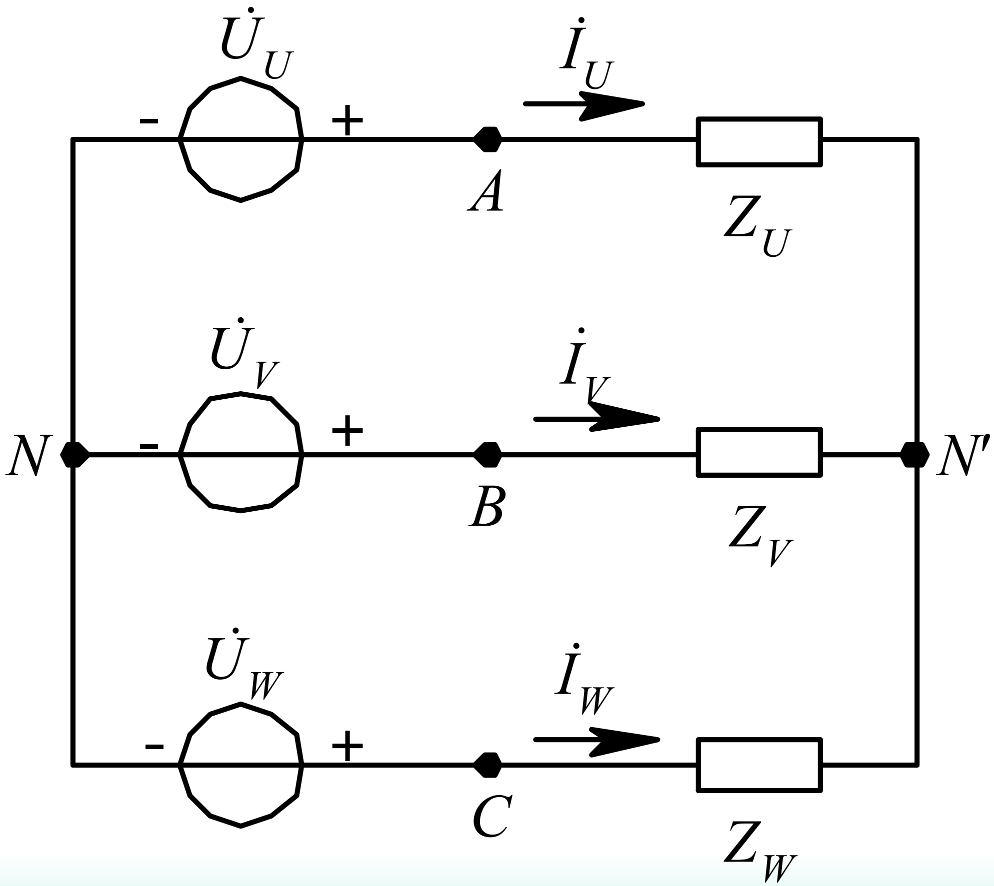


图 5.9 负载为Y形连接的三相三线制电路

5.2.1 负载的星形（Y）连接（五）

$$\dot{U}_{N'N} = \frac{\dfrac{\dot{U}_U}{Z_U} + \dfrac{\dot{U}_V}{Z_V} + \dfrac{\dot{U}_W}{Z_W}}{\dfrac{1}{Z_U} + \dfrac{1}{Z_V} + \dfrac{1}{Z_W}}$$

若负载对称, 即 $Z_U = Z_V = Z_W = Z = |Z|\angle\varphi$ ，则

5.2.1 负载的星形（Y）连接（六）

$$\dot{U}_{N'N}=\frac{\dfrac{\dot{U}_U}{Z_U}+\dfrac{\dot{U}_V}{Z_V}+\dfrac{\dot{U}_W}{Z_W}}{\dfrac{1}{Z_U}+\dfrac{1}{Z_V}+\dfrac{1}{Z_W}}=\frac{\dfrac{1}{Z}(\dot{U}_U+\dot{U}_V+\dot{U}_W)}{\dfrac{3}{Z}}=0$$

$$\dot{U}_{N'N}=\frac{\dfrac{\dot{U}_U}{Z_U}+\dfrac{\dot{U}_V}{Z_V}+\dfrac{\dot{U}_W}{Z_W}}{\dfrac{1}{Z_U}+\dfrac{1}{Z_V}+\dfrac{1}{Z_W}}\neq 0$$

5.2.2 负载的三角形（△）连接（一）

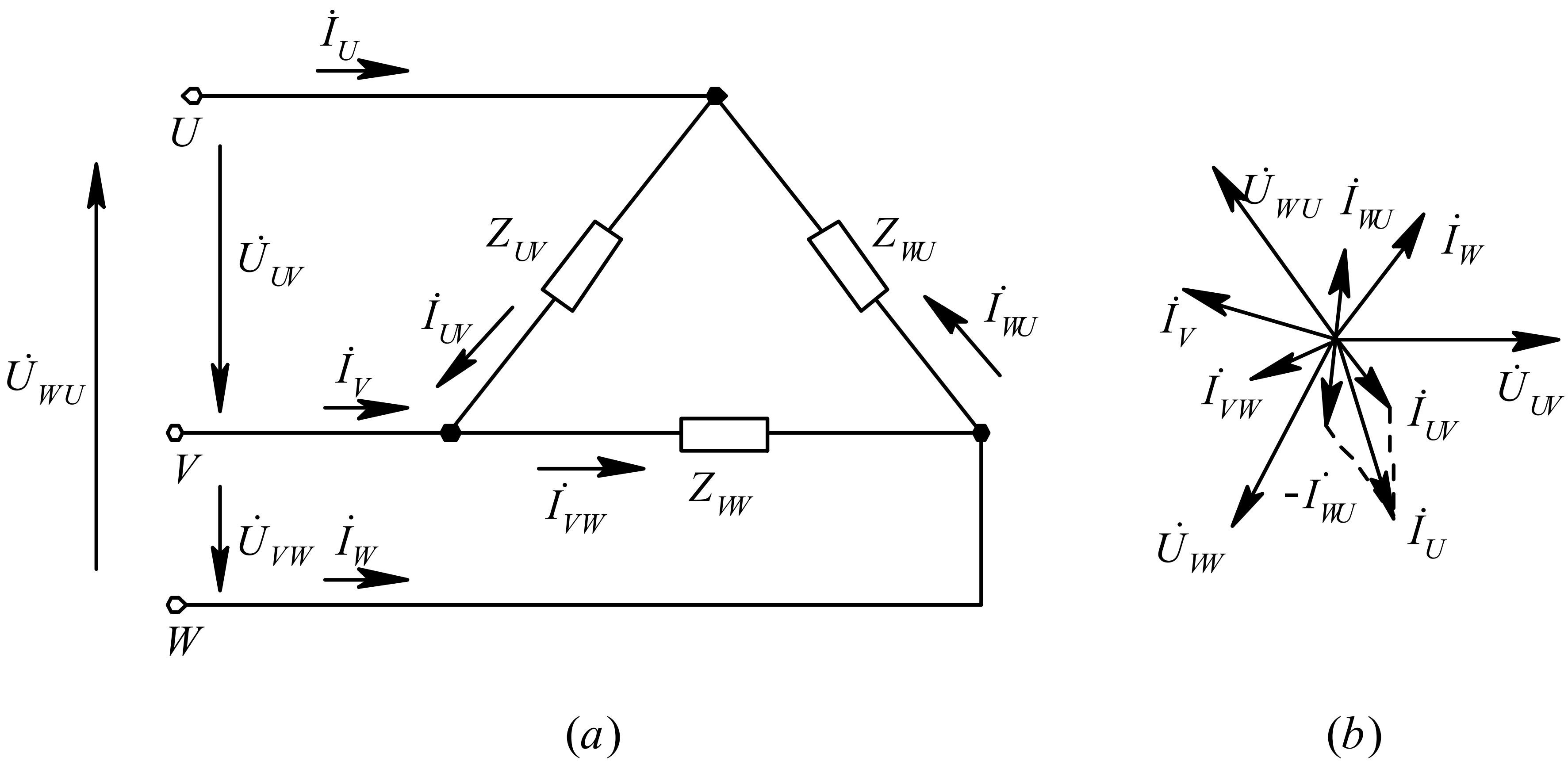


图 5.10 负载的三角形连接及电压、电流相量图

5.2.2 负载的三角形（△）连接（二）

1、负载的相电压等于电源的线电压

2、相电流为
$$\dot{I}_{UV}=\frac{\dot{U}_{UV}}{Z_{UV}},\quad \dot{I}_{VW}=\frac{\dot{U}_{VW}}{Z_{VW}},\quad \dot{I}_{WU}=\frac{\dot{U}_{WU}}{Z_{WU}}$$

3、线电流为

$$\dot{I}_{U}=\dot{I}_{UV}-\dot{I}_{WU}$$

$$\dot{I}_{V}=\dot{I}_{VW}-\dot{I}_{UV}$$

$$\dot{I}_{W}=\dot{I}_{WU}-\dot{I}_{VW}$$

5.2.2 负载的三角形（△）连接（三）

如果负载对称, 即 $Z_{UV} = Z_{VW} = Z_{WU} = Z$

$$\dot{I}_{UV} = \frac{\dot{U}_{UV}}{Z_{UV}} = \frac{\dot{U}_{UV}}{Z}$$

$$\dot{I}_{VW} = \frac{\dot{U}}{Z_{VW}} = \frac{\dot{U}_{VW}}{Z} = \frac{\dot{U}_{UV}\angle -120^\circ}{Z} = \dot{I}_{UV}\angle -120^\circ$$

$$\dot{I}_{WU} = \frac{\dot{U}_{WU}}{Z_{WU}} = \frac{\dot{U}_{WU}}{Z} = \frac{\dot{U}_{UV}\angle 120^\circ}{Z} = \dot{I}_{UV}\angle 120^\circ$$

5.2.2 负载的三角形（△）连接（四）

可得线电流

$$\dot{I}_U = \dot{I}_{UV} - \dot{I}_{WU} = \sqrt{3}\,\dot{I}_{UV}\underline{/-30^\circ}$$

$$\dot{I}_V = \dot{I}_{VW} - \dot{I}_{UV} = \sqrt{3}\,\dot{I}_{VW}\underline{/-30^\circ}$$

$$\dot{I}_W = \dot{I}_{WU} - \dot{I}_{VW} = \sqrt{3}\,\dot{I}_{WU}\underline{/-30^\circ}$$

线电流有效值为相电流的$\sqrt{3}$倍，相位滞后于相应的相电流30°

例 5.4

对称负载接成三角形，接入线电压为380V的三相电源,若每相阻抗Z=6+j8Ω, 求负载各相电流及各线电流。

解 设线电压 $\dot{U}_{UV}=380\angle 0^\circ V$ ，则负载各相电流

$$\dot{I}_{UV}=\frac{U_{UV}}{Z}=\frac{380\angle 0^\circ}{6+j8}=\frac{380\angle 0^\circ}{10\angle 53.1^\circ}=38\angle -53.1^\circ$$

$$\dot{I}_{VW}=\frac{\dot{U}_{VW}}{Z}=\dot{I}_{UV}\angle -120^\circ=38\angle -53.1^\circ-120^\circ=38\angle -173.1^\circ A$$

$$\dot{I}_{WU}=\frac{\dot{U}_{WU}}{Z}=\dot{I}_{UV}\angle 120^\circ=38\angle -53.1^\circ+120^\circ=38\angle 66.9^\circ A$$

教学方法

与负载的三角形连接比较

思考题

1、试述负载星形连接三相四线制电路和三相三线制电路的异同。

2、将图5.22的各相负载分别接成星形或三角形，电源的线电压为380V，相电压为220V。每台电动机的额定电压为380V。

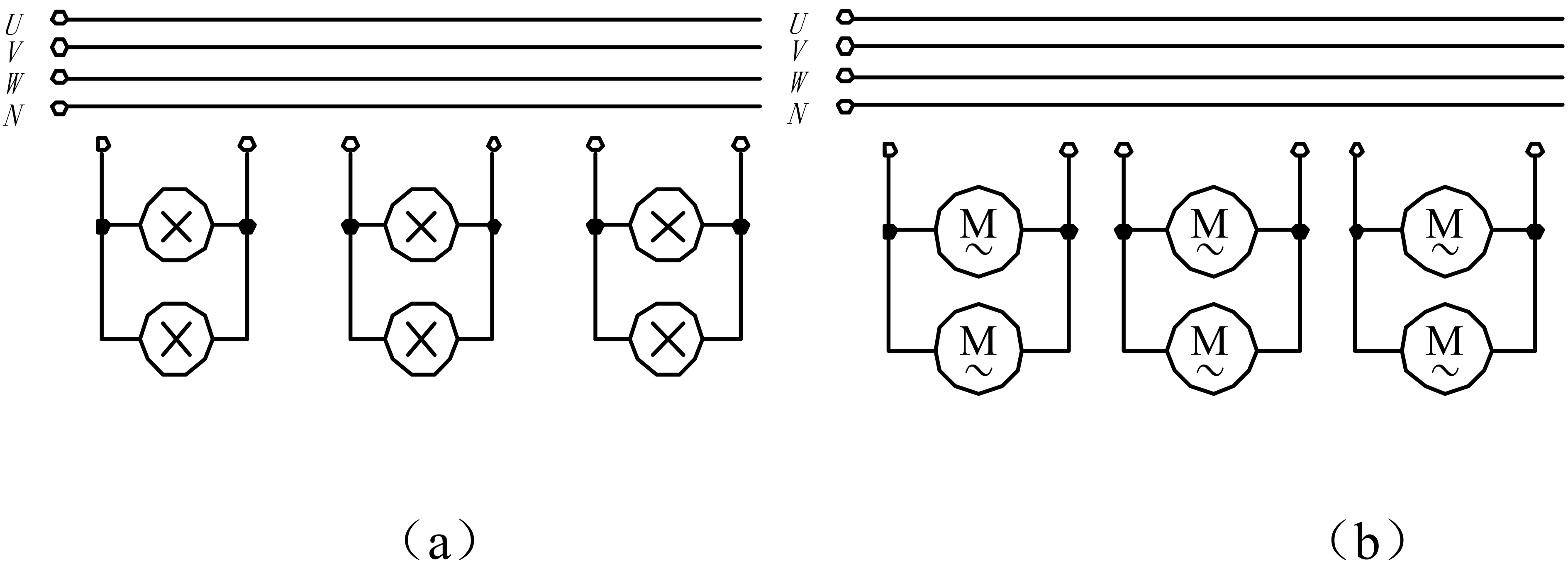


图5.11 思考题2图

5.3 对称三相电路的分析计算

目的与要求

会对对称电路进行分析

重点与难点

重点:对称电路的计算

难点:对称电路的计算

5.3.1 对称星形电路的特点（一）

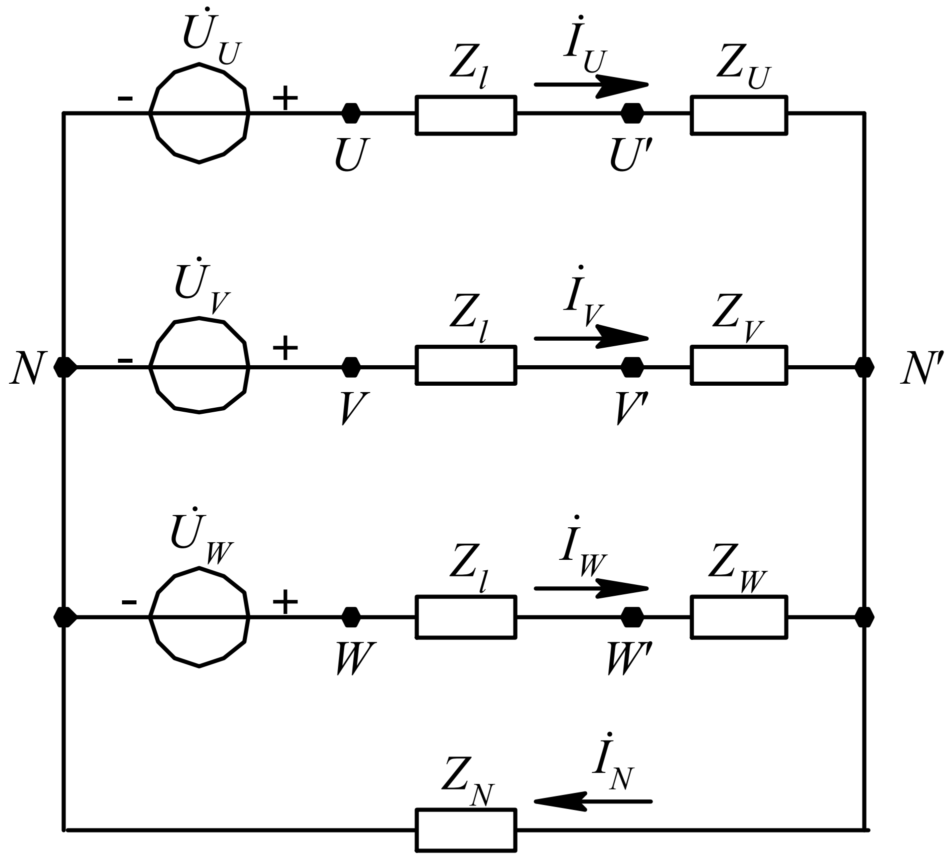


图5.12 是对称三相四线制电路

5.3.1 对称星形电路的特点（二）

$$\dot{U}_{N'N}=\frac{\dfrac{\dot{U}_U}{Z_U+Z_l}+\dfrac{\dot{U}_V}{Z_V+Z_l}+\dfrac{\dot{U}_W}{Z_W+Z_l}}{\dfrac{1}{Z_U+Z_l}+\dfrac{1}{Z_V+Z_l}+\dfrac{1}{Z_W+Z_l}+\dfrac{1}{Z_N}}$$

$$=\frac{\dfrac{1}{Z_l+Z}(\dot{U}_U+\dot{U}_V+\dot{U}_W)}{\dfrac{3}{Z_l+Z}+\dfrac{1}{Z_N}}$$

$$=0$$

5.3.1 对称星形电路的特点（三）

$$\dot{I}_N = \frac{\dot{U}_{N'N}}{Z_N} = 0$$

5.3.1 对称星形电路的特点（四）

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

$$\dot{I}_V = \frac{\dot{U}_U - \dot{U}_{N'N}}{Z_l + Z} = \frac{\dot{U}_V}{Z_l + Z} = \dot{I}_U \angle -120^\circ$$

$$\dot{I}_W = \frac{\dot{U}_W - \dot{U}_{N'N}}{Z_l + Z} = \frac{\dot{U}_W}{Z_l + Z} = \dot{I}_U \angle 120^\circ$$

5.3.1 对称星形电路的特点（五）

$$\dot{U}_{U'N'} = Z\dot{I}_U$$

$$\dot{U}_{V'N'} = Z\dot{I}_V = \dot{U}_{U'N'}\angle -120^\circ$$

$$\dot{U}_{W'U'} = Z\dot{I}_W = \dot{U}_{U'N'}\angle 120^\circ$$

$$\dot{U}_{U'V'} = \dot{U}_{U'N'} - \dot{U}_{V'N'}$$

$$\dot{U}_{V'W'} = \dot{U}_{V'N'} - \dot{U}_{W'N'} = \dot{U}_{U'V'}\angle -120^\circ$$

$$\dot{U}_{W'U'} = \dot{U}_{W'N'} - \dot{U}_{U'N'} = \dot{U}_{U'V'}\angle 120^\circ$$

5.3.2 对称三相电路的一般解法（一）

$$Z_2' = \frac{Z_2}{3}$$

5.3.2 对称三相电路的一般解法（二）

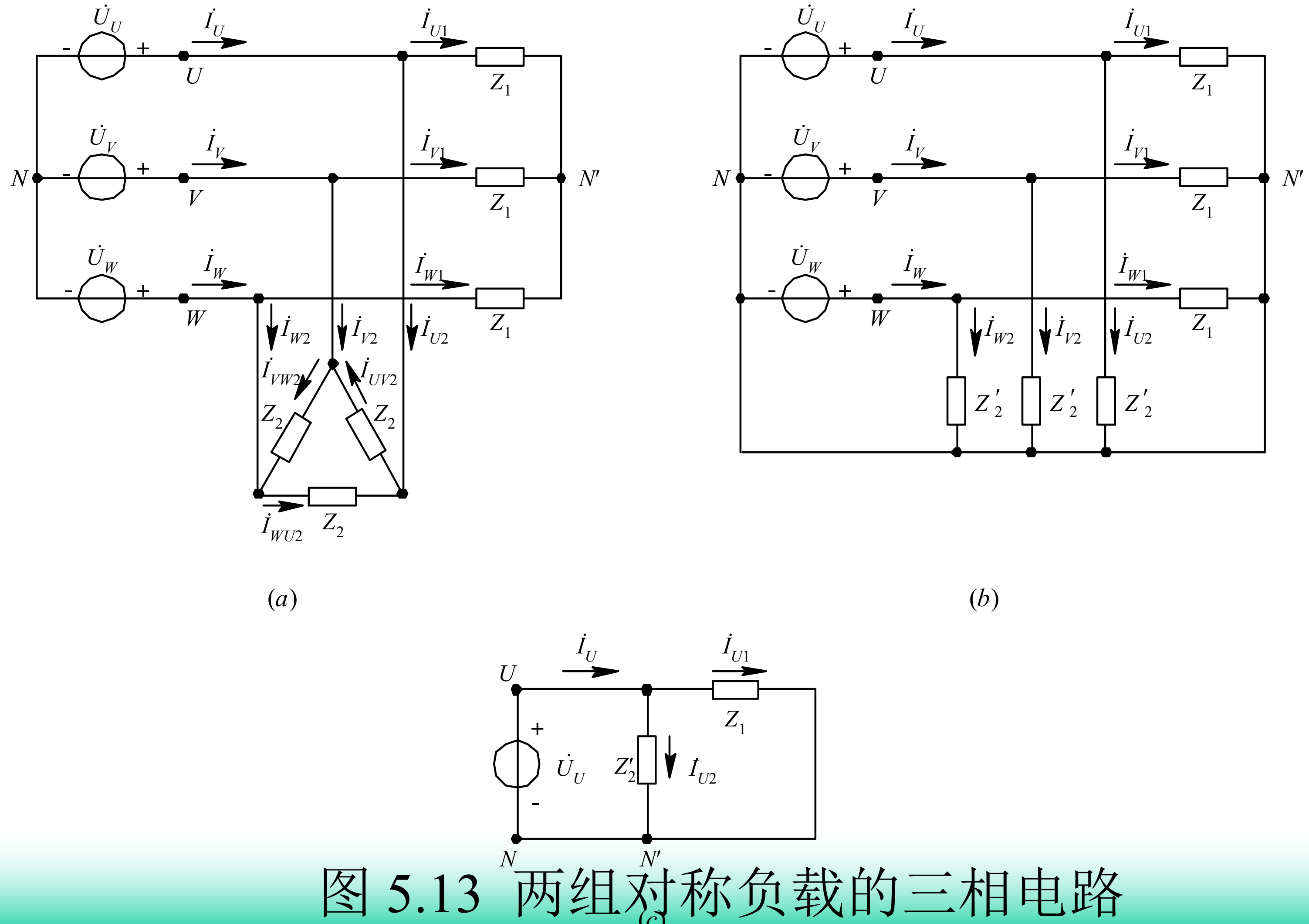


图 5.13 两组对称负载的三相电路

5.3.2 对称三相电路的一般解法（三）

$$\dot{I}_U = \frac{\dot{U}_U}{\dfrac{Z_1 Z_2}{Z_1 + Z_2}}$$

5.3.2 对称三相电路的一般解法（四）

$$\dot{I}_{U1} = \dot{I}_{U}\frac{Z_2^{'}}{Z_1 + Z_2^{'}} \ , \quad \dot{I}_{U2} = \dot{I}_{U}\frac{Z_1}{Z_1 + Z_2^{'}}$$

$$\dot{I}_{V} = \dot{I}_{U}\underline{/-120^\circ} \ , \quad \dot{I}_{W} = \dot{I}_{U}\underline{/120^\circ}$$

$$\dot{I}_{V1} = \dot{I}_{U1}\underline{/-120^\circ} \ , \quad \dot{I}_{V2} = \dot{I}_{U2}\underline{/-120^\circ}$$

$$\dot{I}_{W1} = \dot{I}_{U1}\underline{/120^\circ} \ , \quad \dot{I}_{W2} = \dot{I}_{U2}\underline{/120^\circ}$$

5.3.2 对称三相电路的一般解法（五）

$$\dot{I}_{UV_2} = \frac{\dot{I}_{U2}}{\sqrt{3}} \underline{/30^\circ}$$

$$\dot{I}_{VW_2} = \frac{\dot{I}_{V2}}{\sqrt{3}} \underline{/30^\circ}$$

$$\dot{I}_{WU_2} = \frac{\dot{I}_{W2}}{\sqrt{3}} \underline{/30^\circ}$$

用单相法求解的步骤（一）

对于具有多组负载的对称三相电路的分析计算, 一般可用单相法按如下步骤求解:

(1) 用等效星形连接的对称三相电源的线电压代替原电路的线电压; 将电路中三角形连接的负载, 用等效星形连接的负载代换。

用单相法求解的步骤（二）

(2) 假设中线将电源中性点与负载中性点连接起来，使电路形成等效的三相四线制电路。

(3) 取出一相电路，单独求解。

(4) 由对称性求出其余两相的电流和电压。

(5) 求出原来三角形连接负载的各相电流。

例 5.5（一）

图5.14（a）所示对称三相电路中，负载每相阻抗Z=6+j8Ω，端线阻抗Z_l=1+j1Ω，电源线电压有效值为380V。 求负载各相电流、 每条端线中的电流、 负载各相电压。

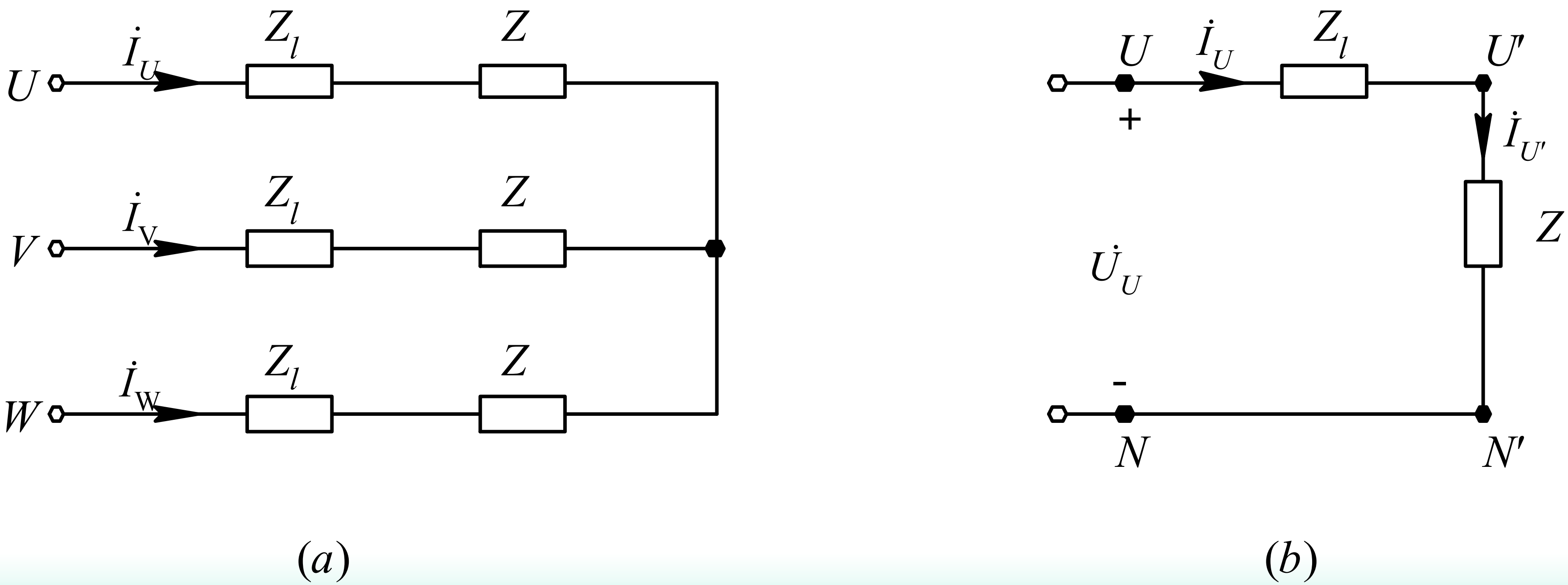


图 5.14 例 5.5 图

例 5.5（二）

解 由已知$U_l = 380V$，可得 $U_p = \dfrac{U_l}{\sqrt{3}} = \dfrac{380}{\sqrt{3}} = 220v$

单独画出U相电路, 如图5.14（b）所示。

设 $\dot{U}_U = 220\angle 0°V$, 负载是星形连接, 则负载端相电流和线电流相等。 即

例 5.5（三）

$$\dot{I}_U = \frac{U_U}{Z_l + Z} = \frac{220\angle 0^\circ}{(1+j1)+(6+j8)} = \frac{220\angle 0^\circ}{11.4\angle 52.1^\circ} = 19.3\angle -52.1^\circ A$$

$$\dot{I}_V = \dot{I}_U \angle -120^\circ = 19.3\angle -172.1^\circ A$$

$$\dot{I}_W = \dot{I}_U \angle 120^\circ = 19.3\angle 67.9^\circ A$$

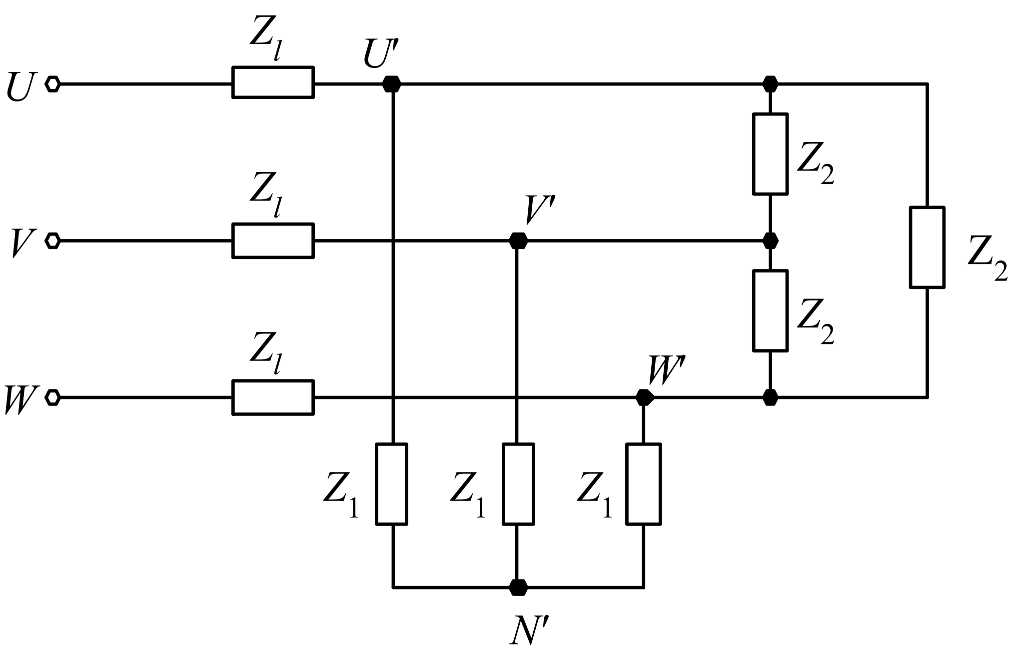
$$\dot{U}_{U'} = \dot{U}_{U'N'} = Z\dot{I}_U = 19.3\angle -52.1^\circ \times (6+j8) = 192\angle 1^\circ V$$

$$\dot{U}_{V'} = \dot{U}_{V'N'} = \dot{U}_{U'N'}\angle -120^\circ = 192\angle -119^\circ V$$

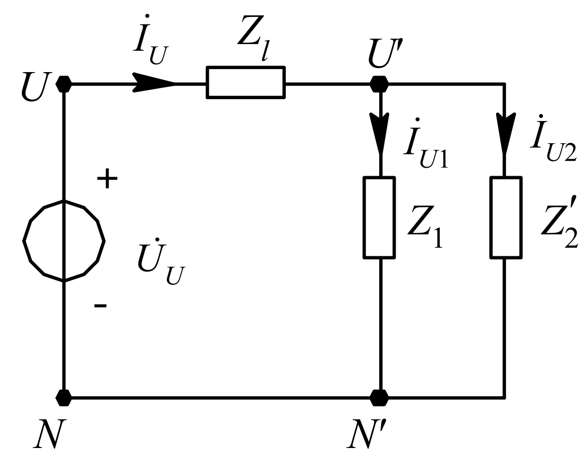
$$\dot{U}_{W'} = \dot{U}_{W'N'} = \dot{U}_{U'N'}\angle 120^\circ = 192\angle 121^\circ V$$

例5.6（一）

图5.15（*a*）所示电路中，电源线电压有效值为380V,两组负载$Z_1=12+j16\Omega$,$Z_2=48+j36\Omega$,端线阻抗$Z_l=1+j2\Omega$。分别求两组负载的相电流、线电流、相电压、线电压。



(*a*)



(*b*)

图 5.15 例 5.6 图

例5.6（二）

解 设电源为一组星形连接的对称三相电源,

$$U_l = 380V, \text{可得} U_p = \frac{U_l}{\sqrt{3}} = \frac{380}{\sqrt{3}} = 220V$$

将Z_2组三角形连接的负载等效为星形连接的负载, 则

例5.6（三）

$$Z_2' = \frac{Z_2}{3} = \frac{48 + j36}{3} = 16 + j12 = 20\angle 36.9^\circ \Omega$$

$$\dot{I}_U = \frac{\dot{U}_U}{Z_l + \dfrac{Z_1 Z_2'}{Z_1 + Z_2'}} = \frac{220\angle 0^\circ}{1 + j2 + \dfrac{(12 + j16)(16 + j12)}{(12 + j16) + (16 + j12)}}$$

$$= \frac{220\angle 0^\circ}{12.25\angle 48.4^\circ} = 17.96\angle -48.8^\circ A$$

例5.6（四）

$$\dot{I}_{U1}=\dot{I}_{U}\frac{Z_2^{'}}{Z_1+Z_2^{'}}=17.96\underline{/-48.4^{\circ}}\frac{20\underline{/36.9^{\circ}}}{(12+j16)+(16+j12)}=9.06\underline{/-56.5^{\circ}}A$$

$$\dot{I}_{U2}=\dot{I}_{U}-\dot{I}_{U1}=17.96\underline{/-48.4^{\circ}}-9.06\underline{/-56.5^{\circ}}=9.06\underline{/-40.3^{\circ}}A$$

$$\dot{I}_{U1}=9.06\underline{/-56.5^{\circ}}A$$

$$\dot{I}_{V1}=\dot{I}_{U1}\underline{/-120^{\circ}}=9.06\underline{/-175.5^{\circ}}A$$

$$\dot{I}_{W1}=\dot{I}_{U1}\underline{/120^{\circ}}=9.06\underline{/63.5^{\circ}}A$$

例5.6（五）

$$\dot{I}_{U2} = 9.06\angle{-40.3^\circ}\,A$$

$$\dot{I}_{V2} = \dot{I}_{U2}\angle{-120^\circ} = 9.06\angle{-160.3^\circ}\,A$$

$$\dot{I}_{W2} = \dot{I}_{U2}\angle{120^\circ} = 9.06\angle{139.7^\circ}\,A$$

$$\dot{I}_{U'V'} = \frac{\dot{I}_{U2}\angle{30^\circ}}{\sqrt{3}} = 5.32\angle{-10.3^\circ}\,A$$

$$\dot{I}_{U'W'} = \dot{I}_{U'V'}\angle{-120^\circ} = 5.32\angle{-130.3^\circ}\,A$$

$$\dot{I}_{W'U'} = \dot{I}_{U'V'}\angle{120^\circ} = 5.32\angle{109.7^\circ}\,A$$

例5.6（六）

$$\dot{U}_{U'N'} = Z_1 \dot{I}_{U1} = (12 + j16) \times 9.06 \underline{/-56.5^\circ} = 181.2 \underline{/-3.2^\circ} V$$

$$\dot{U}_{V'N'} = \dot{U}_{U'N'} \underline{/-120^\circ} = 181.2 \underline{/-123.2^\circ} V$$

$$\dot{U}_{W'N'} = \dot{U}_{U'N'} \underline{/120^\circ} = 181.2 \underline{/116.8^\circ} V$$

$$\dot{U}_{U'V'} = \sqrt{3} \dot{U}_{U'N'} \underline{/30^\circ} = 313.8 \underline{/26.8^\circ} V$$

$$\dot{U}_{V'W'} = \dot{U}_{U'V'} \underline{/-120^\circ} = 313.8 \underline{/146.8^\circ} V$$

$$\dot{U}_{W'U'} = \dot{U}_{U'V'} \underline{/120^\circ} = 313.8 \underline{/-93.2^\circ} V$$

教学方法

讲授法

思考题

1、什么情况下可将三相电路的计算转变为一相电路的计算？

2、三相负载三角形连接时，测出各相电流相等，能否说明三相负载是对称的？

3、对称三相电路中，为什么可将两点中性点N、N′短接起来？

5.4 不对称三相电路的分析计算

目的与要求

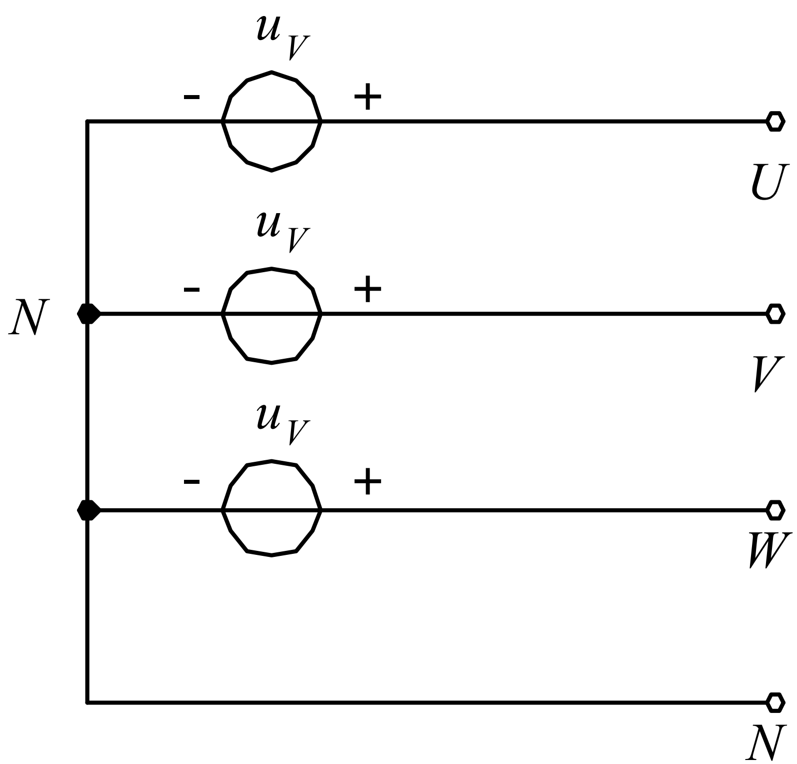
会用位形图法和中点电压法对不对称电 路分析

重点与难点

重点: 位形图法、中点电压法

难点: 位形图法、中点电压法

5.4.1 位形图



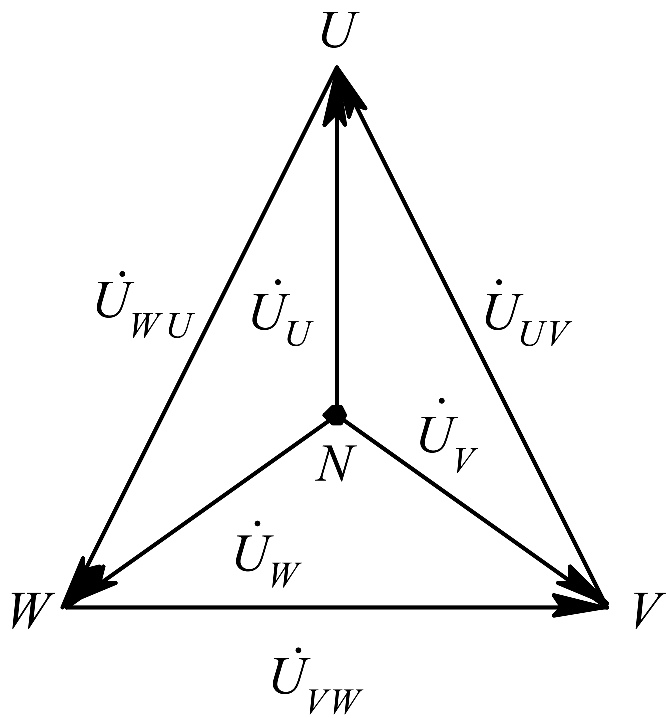


图 5.16 三相电路的位形图

5.4.2 中点电压法（一）

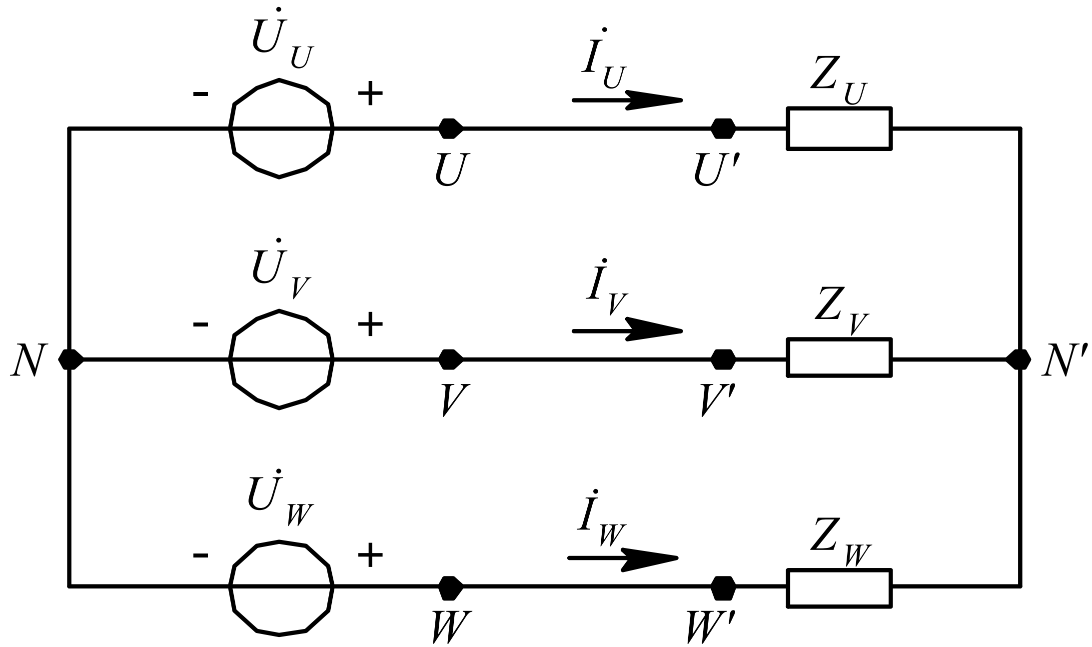


图 5.17 三相三线制电路

5.4.2 中点电压法（二）

$$\dot{U}_{N'N}=\frac{\dfrac{\dot{U}_U}{Z_U}+\dfrac{\dot{U}_V}{Z_V}+\dfrac{\dot{U}_W}{Z_W}}{\dfrac{1}{Z_U}+\dfrac{1}{Z_V}+\dfrac{1}{Z_W}}\neq 0$$

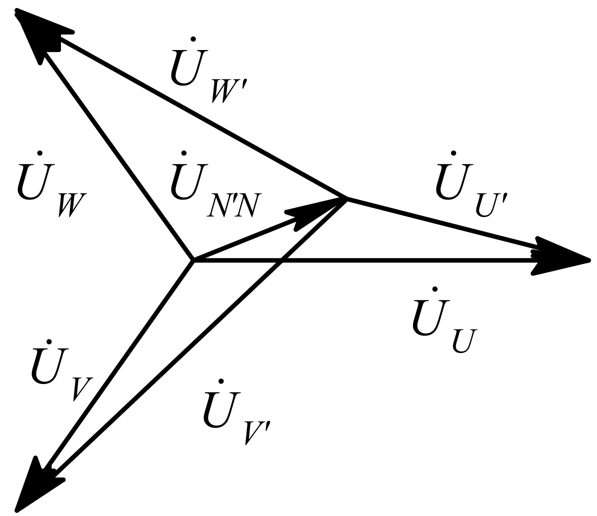


图 5.18 中点位移

5.4.2 中点电压法（三）

$$\dot{U}_{U'}=\dot{U}_{UN'}=\dot{U}_{U}-\dot{U}_{N'N}$$

$$\dot{U}_{V'}=\dot{U}_{VN'}=\dot{U}_{V}-\dot{U}_{N'N}$$

$$\dot{U}_{W'}=\dot{U}_{WN'}=\dot{U}_{W}-\dot{U}_{N'N}$$

$$\dot{I}_{U}=\frac{\dot{U}_{U'}}{Z_{U}}\ ,\dot{I}_{V}=\frac{\dot{U}_{V'}}{Z_{V}}\ ,\ \dot{I}_{W}=\frac{\dot{U}_{W'}}{Z_{W}}$$

例5.7（一）

图5.19（*a*）所示电路是用来测定三相电源相序的仪器, 称为相序指示器。任意指定电源的一相为U相,把电容C接到U相上, 两只白炽灯接到另外两相上。设R=1/ωC,试说明如何根据两只灯的亮度来确定V、W相。

例5.7（二）

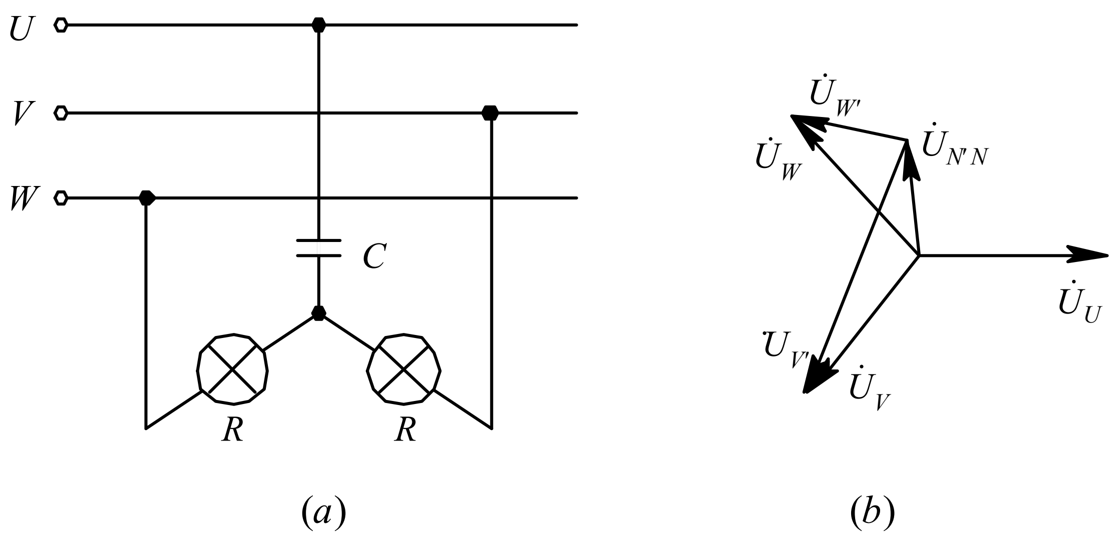


图 5.19 例 5.7 图

解 这是一个不对称的星形负载连接电路。设 $\dot{U}_U = U\angle 0°$

$$\dot{U}_{N'N} = \frac{\dot{U}_U\ j\omega C + \dot{U}_V\ G + \dot{U}_W\ G}{j\omega C + 2G}$$

例5.7（三）

$$\dot{U}_{N'N}=\frac{j+1\angle{-120^\circ}+1\angle 120^\circ}{2+j}U=\frac{-1+j}{2+j}U=0.632U\angle 108.4^\circ$$

$$\dot{U}_{V'}=\dot{U}_{V}-\dot{U}_{N'N}=U\angle{-120^\circ}-0.632U\angle 108.4^\circ=1.49U\angle{-101^\circ}$$

$$\dot{U}_{W'}=\dot{U}_{W}-\dot{U}_{N'N}=U\angle 120^\circ-0.632U\angle 108.4^\circ=0.4U\angle 138.4^\circ$$

显然，$\dot{U}_{V'}>\dot{U}_{W'}$，从而可知，较亮的灯接入的为$V$相，较暗的为$W$相。

例5.8（一）

试分析原对称星形连接的负载（无中线）有一相负载短路和断路时, 各相电压的变化情况。

解 有一相负载短路和断路时, 原对称三相电路成为不对称三相电路。

（1）设U相短路。

例5.8（二）

$$\dot{U}_{N'N} = \dot{U}_U$$

$$\dot{U}_{U'} = \dot{U}_U - \dot{U}_{N'N} = 0$$

$$\dot{U}_{V'} = \dot{U}_V - \dot{U}_{N'N} = \dot{U}_V - \dot{U}_U$$

$$\dot{U}_{W'} = \dot{U}_W - \dot{U}_{N'N} = \dot{U}_W - \dot{U}_U$$

$$U_{V'} = U_{W'} = 2U_U \cos 30° = \sqrt{3}U_U$$

例5.8（三）

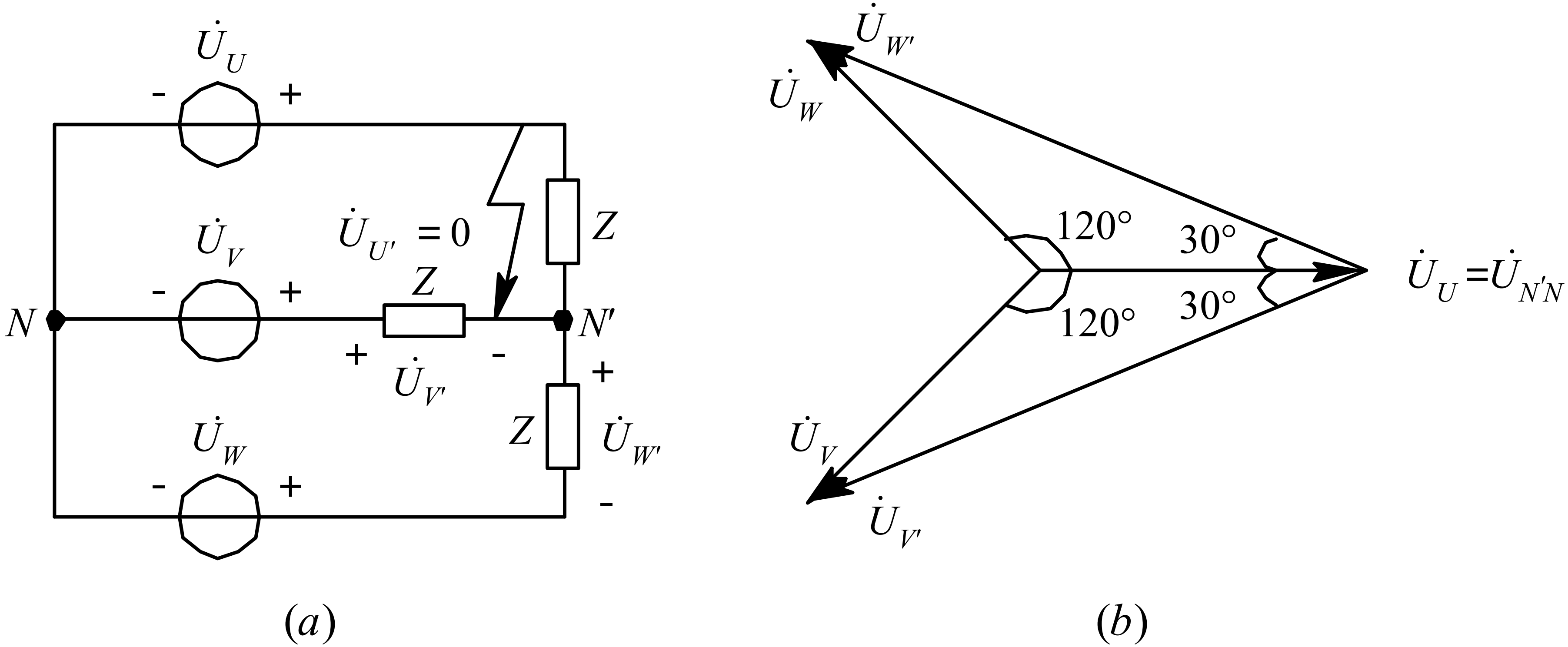


图 5.20 对称星形连接U相短路及其相量图

例5.8（四）

（2） 设U相断路。

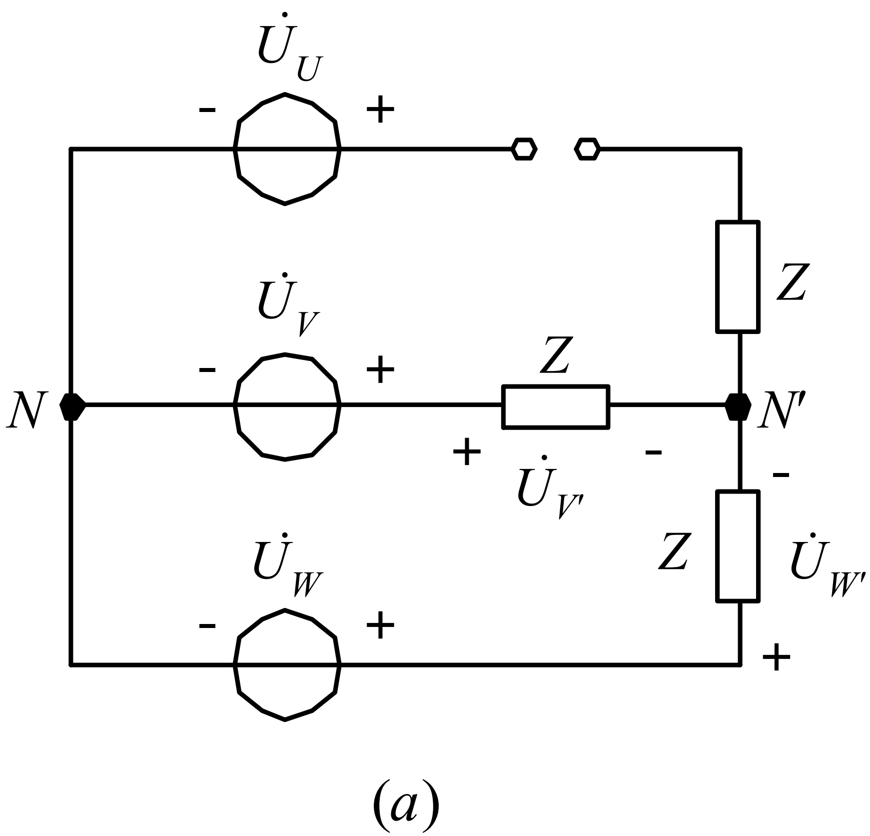
$$\dot{U}_{V'} = \frac{\dot{U}_{VW}}{2Z} \times Z = \frac{1}{2}\dot{U}_{VW}$$

$$\dot{U}_{W'} = -\frac{\dot{U}_{VW}}{2Z} \times Z = -\frac{1}{2}\dot{U}_{VW}$$

$$U_{VW} = \sqrt{3}U_{U}$$

$$U_{V'} = U_{W'} = \frac{\sqrt{3}}{2}U_{U}$$

例5.8（五）



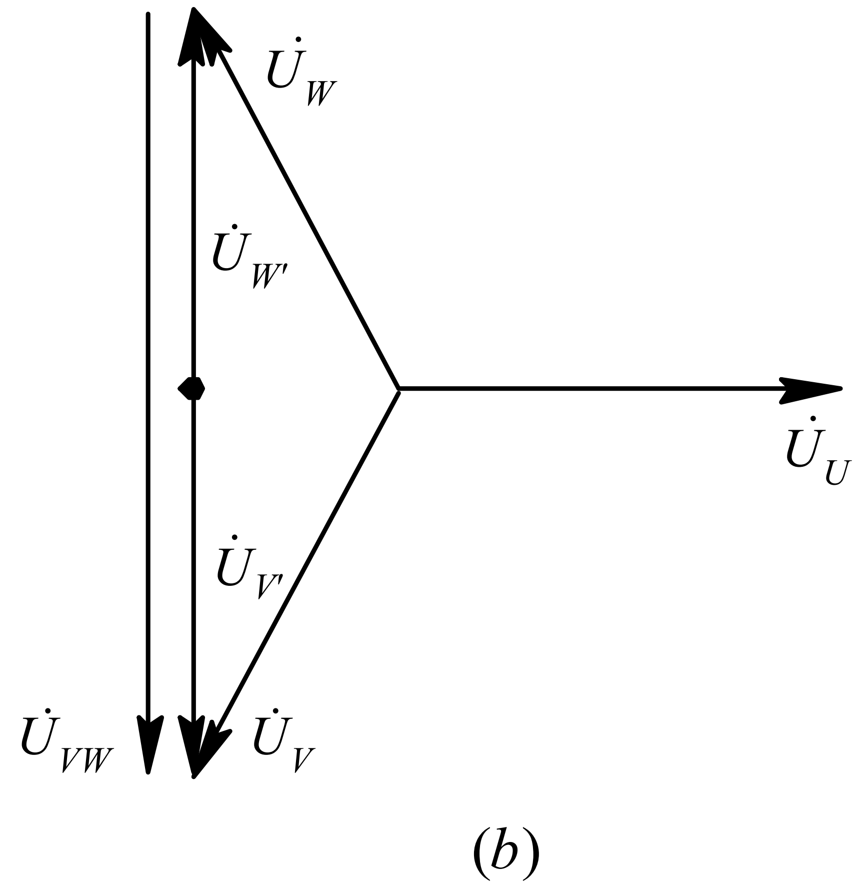


图 5.21 对称星形连接U相断路及其相量图

教学方法

结合单相电讲解本节

思考题

1、三相电路在何种情况下产生中点位移？中点位移对负载工作情况有何种影响？中线的作用是什么？

2、三相不对称负载作三角形连接时，若有一相短路，对其它两相工作情况有影响吗？

5.5 三相电路的功率

目的与要求

掌握三相电路功率的计算

重点与 难点

重点:电源Y △连接，负载Y △连接

难点:负载Y △连接

5.5.1 三相电路的有功功率、 无功功率、视在功率和功率因数（一）

三相负载有功功率等于各相负载有功功率之和。

三相负载无功功率等于各相负载无功功率之和。

5.5.1 三相电路的有功功率、无功功率、视在功率和功率因数（二）

1、三相负载的有功功率

$$P = P_U + P_V + P_W = U_U I_U \cos\varphi_U + U_V I_V \cos\varphi_V + U_W I_W \cos\varphi_W$$

若三相负载对称，则三相电压、电流分别对称、有效值相等

$$Z_U = Z_V = Z_W$$

$$P = P_U + P_V + P_W = 3U_P I_P \cos\varphi_P$$

5.5.1 三相电路的有功功率、无功功率、视在功率和功率因数（三）

当负载为星形连接时 $U_P = \frac{U_l}{\sqrt{3}}$ ，$I_P = I_l$

$$P = \sqrt{3} U_l I_l \cos \varphi_P$$

当负载为三角形连接时 $U_P = U_l$ ，$I_P = \frac{I_l}{\sqrt{3}}$

$$P = \sqrt{3} U_l I_l \cos \varphi_P$$

或 $P = P_U + P_V + P_W = 3 I_P^2 R_P$

5.5.1 三相电路的有功功率、无功功率、视在功率和功率因数（四）

2、三相负载的无功功率

$$Q = Q_U + Q_V + Q_W = U_U I_U \sin\varphi_U + U_V I_V \sin\varphi_V + U_W I_W \sin\varphi_W$$

$$Q = Q_U + Q_V + Q_W = I_U^2 X_U + I_V^2 X_V + I_W^2 X_W$$

若负载对称 $Q_P = U_P I_P \sin\varphi_P$

$$Q = Q_U + Q_V + Q_W = \sqrt{3} U_l I_l \sin\varphi_p$$

$$Q = Q_U + Q_V + Q_W = 3 I_P^2 X_P$$

5.5.1 三相电路的有功功率、无功功率、视在功率和功率因数（五）

3、三相负载的视在功率

三相负载的视在功率定为

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

若负载对称, 则

$$S = \sqrt{(\sqrt{3}U_l I_l \cos\varphi_P)^2 + (\sqrt{3}U_l I_l \cos\varphi_P)^2} = \sqrt{3}U_l I_l$$

5.5.1 三相电路的有功功率、无功功率、视在功率和功率因数（六）

4、三相负载的功率因数

三相负载的功率因数为

$$\lambda = \frac{P}{S}$$

若负载对称, 则 $$\lambda = \frac{\sqrt{3}U_l I_l \cos\varphi_P}{\sqrt{3}U_l I_l} = \cos\varphi_P$$

例5.9（一）

有一对称三相负载, 每相阻抗Z=80+j60Ω, 电源线电压U_l=380V。求当三相负载分别连接成星形和三角形时电路的有功功率和无功功率。

例5.9（二）

解（1） 负载为星形连接时

$$U_P = \frac{U_l}{\sqrt{3}} = \frac{380}{\sqrt{3}} = 220V$$

$$I_P = I_l = \frac{U_P}{|Z|} = \frac{220}{\sqrt{80^2 + 60^2}} = 2.2A$$

由阻抗三角形可得

$$\cos\varphi_P = \frac{80}{\sqrt{80^2 + 60^2}} = 0.8 \quad , \quad \sin\varphi_P = 0.6$$

例5.9（三）

所以

$$P=\sqrt{3}U_lI_l\cos\varphi_P=\sqrt{3}\times380\times2.2\times0.8=1.16kW$$

$$Q=\sqrt{3}U_lI_l\sin\varphi_P=\sqrt{3}\times380\times2.2\times0.6=0.87k\,\mathrm{var}$$

$$P=3I_P^2R_P=3\times2.2^2\times80=1.16kW$$

$$Q=3I_P^2X_P=3\times2.2^2\times60=0.87k\,\mathrm{var}$$

例5.9（四）

（2） 负载为三角形连接时

$$U_P = U_l = 380V$$

$$I_l = \sqrt{3} I_P = \sqrt{3} \frac{380}{\sqrt{80^2 + 60^2}} = 6.6A$$

$$P = \sqrt{3} U_l I_l \cos\varphi_P = \sqrt{3} \times 380 \times 6.6 \times 0.8 = 3.48kW$$

$$Q = \sqrt{3} U_l I_l \sin\varphi_P = \sqrt{3} \times 380 \times 6.6 \times 0.6 = 2.61k\,\mathrm{var}$$

5.5.2 对称三相电路的瞬时功率

$$p = p_U + p_V + p_W = u_U i_U + u_V i_V + u_W i_W$$

$$p = \sqrt{3} U_l I_l \cos\varphi_P$$

即瞬时功率的总和是不随时间变化而变化的恒定值,而且正好等于总有功功率.

例5.10（一）

图5.22的电路中，三相电动机的功率为3kW，$\cos\varphi=0.866$，电源的线电压为380V，求图中两功率表的读数。

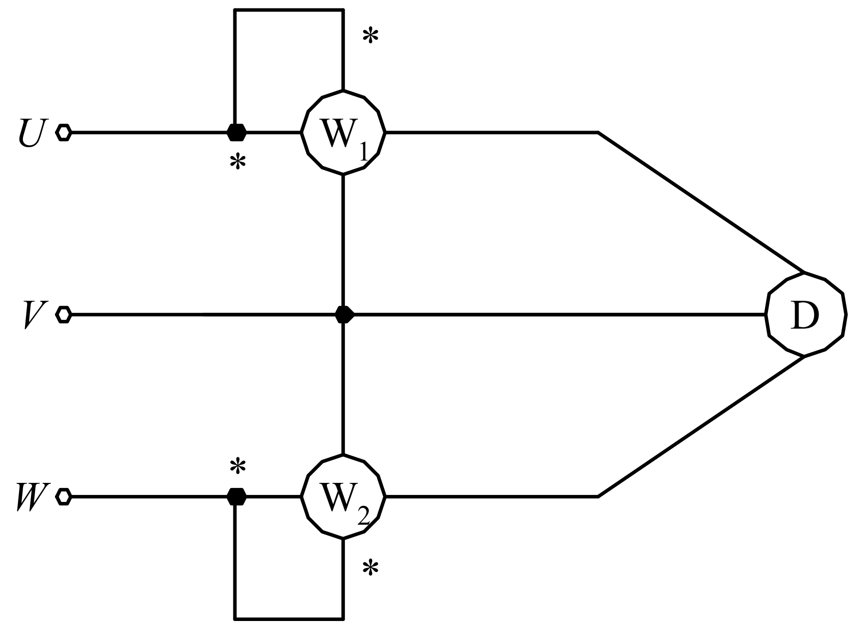


图 5.22 例 5.10 图

例5.10（二）

$$\dot{U}_{WV} = -\dot{U}_{VW} = -380\underline{/-90^\circ}\,A = 380\underline{/90^\circ}\,V$$

功率表W_1的读数为

$$P_1 = U_{UV} I_U \cos\varphi_1 = 380 \times 5.26 \cos[30^\circ - (-30^\circ)] = 1kW$$

功率表W_2的读数为

$$P_2 = U_{WV} I_W \cos\varphi_2 = 380 \times 5.26 \cos(90^\circ - 90^\circ) = 2kW$$

所以 $P_1 + P_2 = 1 + 2 = 3kW$

教学方法

结合单相电讲解三相电

思考题

1、试证明对称三相电路的瞬时功率等于总有功功率， 并说明三相电动机具有这一特点有什么好处。

2、画出除图5.22所示“二瓦计”法测量电路以外的其它两种 形式，并说明功率表的读数由哪些因素决定。