

## Лекция 8. Мощность потребителя трехфазного тока и схемы их измерения методом двух ваттметров

Вектор полной мощности трехфазного потребителя:

$$\underline{S} = \underline{S}_{\phi_1} + \underline{S}_{\phi_2} + \underline{S}_{\phi_3};$$

$$\underline{S}_{\phi_1} = U_{\phi_1} I_{\phi_1} \cos \varphi_{\phi_1} + j U_{\phi_1} I_{\phi_1} \sin \varphi_{\phi_1} = P_{\phi_1} + j Q_{\phi_1};$$

$$\underline{S}_{\phi_2} = U_{\phi_2} I_{\phi_2} \cos \varphi_{\phi_2} + j U_{\phi_2} I_{\phi_2} \sin \varphi_{\phi_2} = P_{\phi_2} + j Q_{\phi_2};$$

$$\underline{S}_{\phi_3} = U_{\phi_3} I_{\phi_3} \cos \varphi_{\phi_3} + j U_{\phi_3} I_{\phi_3} \sin \varphi_{\phi_3} = P_{\phi_3} + j Q_{\phi_3};$$

$$\underline{S} = (P_{\phi_1} + P_{\phi_2} + P_{\phi_3}) + j(Q_{\phi_1} + Q_{\phi_2} + Q_{\phi_3}) = P + jQ,$$

где  $P, P_{\phi_i}$  – активные мощности потребителя и его  $i$ -й фазы;

$Q, Q_{\phi_i}$  – реактивные мощности потребителя и его  $i$ -й фазы;

$\varphi_{\phi_i}$  – угол между векторами тока и напряжения  $i$ -й фазы потребителя.

$$\text{Модуль полной мощности} - S = |\underline{S}| = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

**Мощность при симметричной нагрузке фаз потребителя и любом способе их соединения ( $\Delta, \lambda$ )**

$$P_{\phi_1} = P_{\phi_2} = P_{\phi_3} = P_{\phi}; Q_{\phi_1} = Q_{\phi_2} = Q_{\phi_3} = Q_{\phi}; \varphi_{\phi_1} = \varphi_{\phi_2} = \varphi_{\phi_3} = \varphi_{\phi},$$

$$P = 3P_{\phi} = 3U_{\phi} I_{\phi} \cos \varphi_{\phi}; Q = 3Q_{\phi} = 3U_{\phi} I_{\phi} \sin \varphi_{\phi}.$$

При соединении фаз потребителя **звездой  $\lambda$** :  $I_{\phi} = I_{\lambda}$ ;  $U_{\lambda} = \sqrt{3}U_{\phi}$ ;

$$\text{треугольником } \Delta: I_{\lambda} = \sqrt{3}I_{\phi}; U_{\phi} = U_{\lambda}.$$

**Мощность потребителя соединенного звездой или треугольником:**

$$P = 3P_{\phi} = 3U_{\phi} I_{\phi} \cos \varphi_{\phi} = \sqrt{3}U_{\lambda} I_{\lambda} \cos \varphi_{\phi},$$

$$Q = 3Q_{\phi} = 3U_{\phi} I_{\phi} \sin \varphi_{\phi} = \sqrt{3}U_{\lambda} I_{\lambda} \sin \varphi_{\phi},$$

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{3}U_{\lambda} I_{\lambda} = 3U_{\phi} I_{\phi}.$$

**Вывод:** вид зависимости мощности симметричного потребителя не зависит от способа их соединения ( $\Delta, \lambda$ ).

### Измерение мощности в трехфазных электрических цепях

**Ваттметр** – прибор для измерения активной мощности (вещественная часть комплексной составляющей):

$$P_W = U_W I_W \cos \varphi = \operatorname{Re}[U_W (\pm I_W^*)],$$

где  $U_W$  – напряжение на вольтовой обмотке (1) ваттметра,  $I_W$  – ток через токовую обмотку (2) ваттметра;

$\varphi$  – угол между векторами  $\underline{I}_W$  и  $\underline{U}_W$ ;  $\underline{I}^*$  – сопряженный комплекс тока. Знак (+), если направление тока выбрано от \* (начала) токовой обмотки к ее концу; знак (–) – от конца токовой обмотки к её \* (началу).

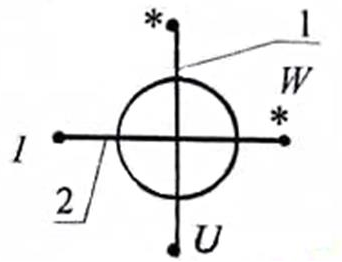


Рис. 1.38. Условное обозначение ваттметра  $W$ : 1 – вольтовая (высокоомная) обмотка включается *параллельно потребителю*, как вольтметр; 2 – токовая (низкоомная) обмотка включается *последовательно с потребителем*, как амперметр; \* – начало обмотки;  $U, I$  – концы обмоток

### Схемы измерения мощности симметричных трехфазных потребителей

#### схема 1

Показания мощности ваттметра по схеме 1 (рис. 1.39) симметричных потребителей

$Z_A = Z_B = Z_C$ , соединенных *звездой*:

$$P_W = P_A = U_A I_A \cos \varphi_A = \operatorname{Re}(\underline{U}_A \underline{I}_A^*).$$

Полная активная мощность трехфазного *симметричного потребителя* ( $P_A = P_B = P_C = P_\Phi$ ), соединенного *звездой* (схема 1):  $P = 3P_W$ .

*При несимметричной нагрузке*  $Z_A \neq Z_B \neq Z_C$  мощность измеряют в каждой фазе:

$$P = P_A + P_B + P_C.$$

Полная активная мощность трехфазного *симметричного потребителя*,  $P_{AB} = P_{BC} = P_{CA} = P_\Phi$  соединенного *треугольником* (схема 2):  $P = 3P_W$ .

*При несимметричной нагрузке*  $Z_A \neq Z_B \neq Z_C$  мощность измеряют в каждой фазе

$$P = P_{AB} + P_{BC} + P_{CA}$$

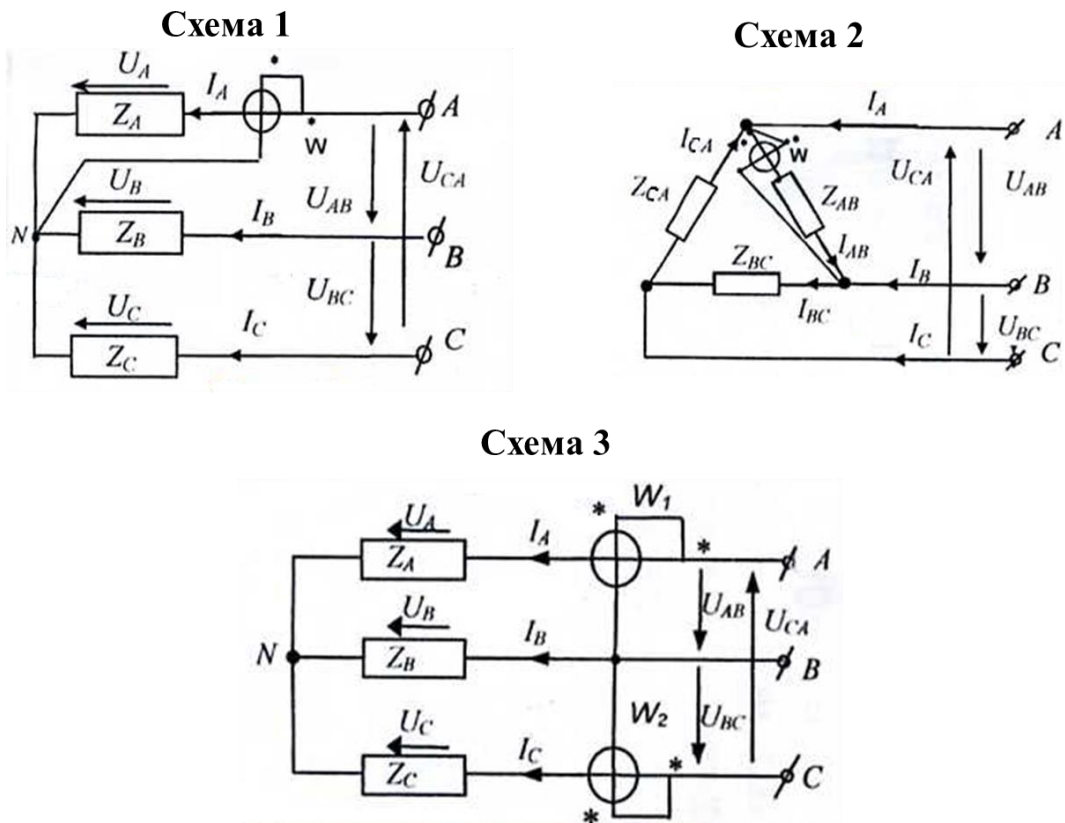


Рис. 1.39. Схемы измерения мощности трехфазных потребителей

### Измерение мощности методом двух ваттметров

Этот метод (схема 3) используется при симметричной или несимметричной нагрузках и соединении потребителей звездой или треугольником. **Метод не пригоден при соединении потребителей звездой с нейтральным проводом.**

Из схемы 3 (рис. 1.39) следует, что вольтовая обмотка *ваттметра*  $W_1$  находится под линейным напряжением  $U_{AB}$ , а по токовой обмотке протекает ток  $I_A$ :

$$P_{W1} = U_{AB} I_A \cos \varphi_1 = \operatorname{Re}(\underline{U}_{AB} \underline{I}_A^*).$$

Вольтовая обмотка *ваттметра*  $W_2$  при линейном напряжении ( $\underline{U}_{CB} = -\underline{U}_{BC}$ ) при линейном токе  $I_C$ :

$$P_{W2} = U_{CB} I_C \cos \varphi_2 = \operatorname{Re}[(\underline{U}_{CB}) \underline{I}_C^*].$$

**Активная мощность трехфазного потребителя:**

$$\begin{aligned} P &= P_A + P_B + P_C = U_A I_A \cos j_A + U_B I_B \cos j_B + U_C I_C \cos j_C = \\ &= \operatorname{Re}(\underline{U}_A \underline{I}_A^*) + \operatorname{Re}(\underline{U}_B \underline{I}_B^*) + \operatorname{Re}(\underline{U}_C \underline{I}_C^*). \end{aligned}$$

Исключим ток  $\underline{I}_B^*$  из этого уравнения, используя первый закон Кирхгофа

$$\underline{I}_A^* + \underline{I}_B^* + \underline{I}_C^* = 0, \text{ откуда } \underline{I}_B^* = -\underline{I}_A^* - \underline{I}_C^*.$$

Тогда:

$$P = \operatorname{Re}[(\underline{U}_A - \underline{U}_B) \underline{I}_A^*] + \operatorname{Re}[(\underline{U}_C - \underline{U}_B) \underline{I}_C^*] = \operatorname{Re}[\underline{U}_{AB} \underline{I}_A^*] + \operatorname{Re}[\underline{U}_{CB} \underline{I}_C^*]$$

Так как  $\underline{U}_{CB} = -\underline{U}_{BC}$ , то  $P = P_{W1} + P_{W2}$ .

Таким образом *мощность трехфазного потребителя есть алгебраическая сумма показаний двух ваттметров.*

*В основу принципа работы всех трехфазных ваттметров и электросчетчиков положен метод двух ваттметров.*