

## ИЗМЕРЕНИЕ МОЩНОСТИ ТРЕХФАЗНОЙ СИСТЕМЫ

Вопросы лекции:

1. Общие сведения о мощности в трехфазной системе.
2. Измерение активной мощности при симметричной нагрузке.
3. Измерение активной мощности при несимметричной нагрузке
4. Измерение реактивной мощности при симметричной нагрузке.
5. Измерение реактивной мощности при несимметричной нагрузке.

### Мощность в трехфазной системе.

Мощность трехфазной системы равна сумме мощностей, потребляемых нагрузками каждой фазы:

$$P = P_A + P_B + P_C$$
$$Q = Q_A + Q_B + Q_C$$

В случае симметричной нагрузки общая активная мощность равна утроенной мощности какой-либо фазы:

$$P = 3P_\phi = 3I_\phi U_\phi \cos \phi \quad (1)$$

где  $I_\phi$  и  $U_\phi$  — фазные ток и напряжение.

Но в трехфазных установках в большинстве случаев приходится выражать активную мощность устройства не через фазные, а через линейные величины. Это легко сделать на основании соотношений фазных и линейных величин, заменив в выражении активной мощности фазные величины линейными. При соединении звездой  $U_\phi = U_L / \sqrt{3}$ ,  $I_\phi = I_L$  а при соединении треугольником  $U_\phi = U_L$ ;  $I_\phi = I_L / \sqrt{3}$ . После подстановки этих выражений в формулу (1) получим одно и то же выражение для активной мощности трехфазной симметричной установки:

$$P = \sqrt{3}IU \cos \phi \quad (2)$$

где  $I$  и  $U$  — линейные ток и напряжение.

Реактивная мощность в симметричной системе, так же как и полная мощность, выражается через линейные величины подобно активной мощности:

$$Q = 3Q_\phi = 3I_\phi U_\phi \sin \phi \quad (3) \quad Q = \sqrt{3}UI \sin \phi \quad (4)$$

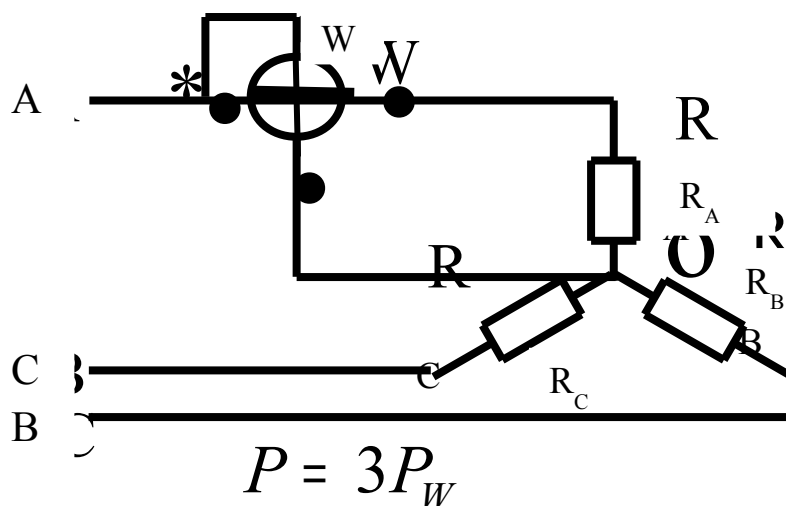
### Измерение активной мощности.

Для измерения активной мощности трехфазной системы применяют различные способы:

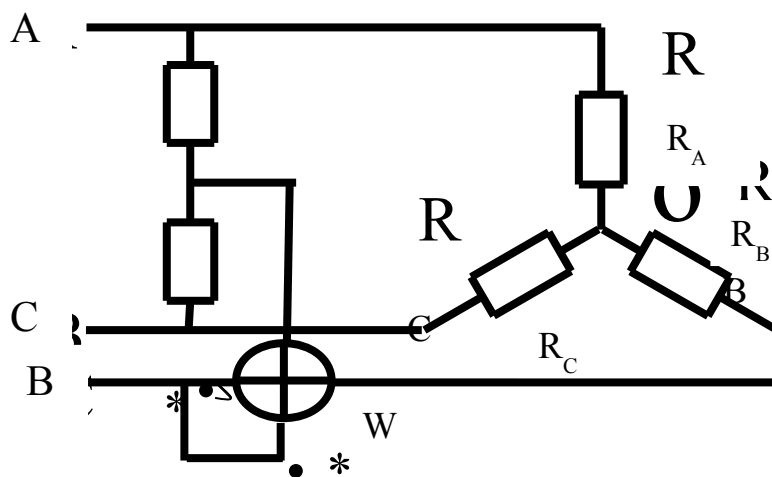
1. *Способ одного ваттметра* применяют для измерения мощности при

симметричной нагрузке в четырехпроводной или трехпроводной линии, если доступна для подключения нейтральная (нулевая) точка нагрузки. При этом общая мощность равна утроенному показанию ваттметра:

$$P = 3P_{\phi} = 3I_{\phi}U_{\phi} \cos\phi$$



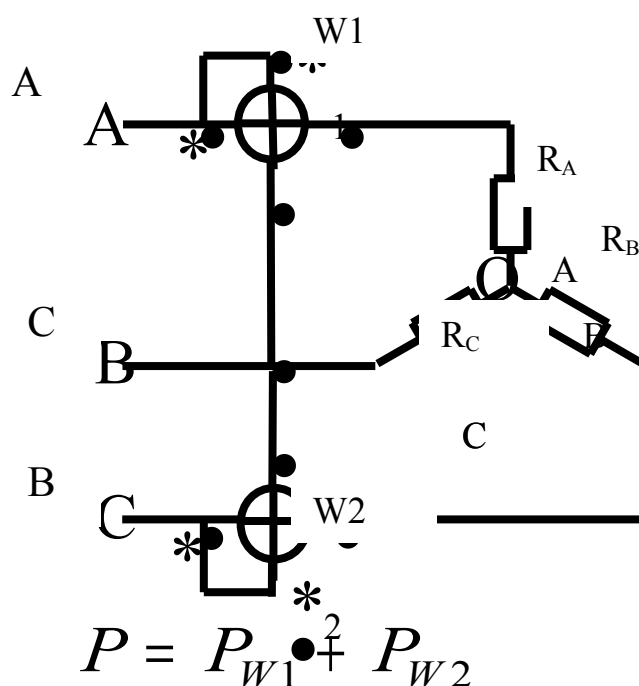
Способ одного **ваттметра** с созданием искусственной нулевой точки применяют для измерения мощности при симметричной нагрузке в тех случаях, когда нулевая (нейтральная) точка доступна или вообще отсутствует (например, в соединении треугольником). При этом в одну из фаз включают токовую обмотку ваттметра, а нулевую (нейтральную точку) получают включением двух одинаковых сопротивлений между двумя другими фазами. В этом случае общая мощность равна утроенному показанию ваттметра.



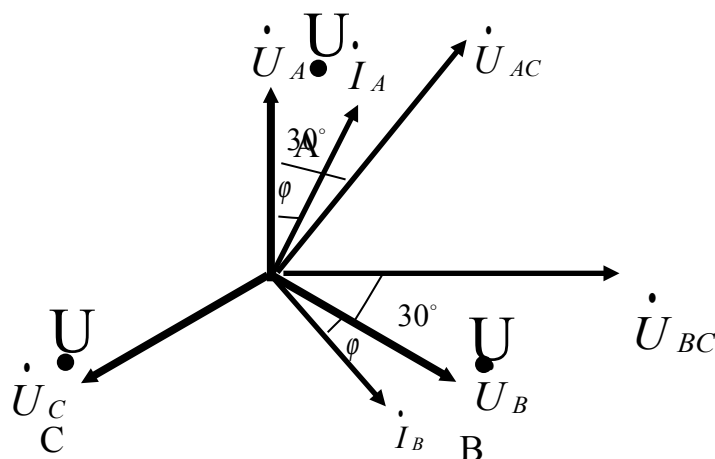
$$P = 3P_W$$

2. Способ **двух ваттметров** может быть применен в трехпроводных линиях во всех случаях при измерении мощности трехфазных приемников. По

этой схеме токовые обмотки ваттметров включают в какие-либо две фазы, а обмотки напряжения между третьей (незанятой) фазой и той фазой, в которую включена токовая обмотка данного ваттметра. Общая мощность при этом равна сумме показаний обоих ваттметров.



Для доказательства последнего утверждения построим векторную диаграмму токов и напряжений, действующих на измерительные системы приборов. Для простоты примем нагрузку, симметричную с разностью фаз между током и напряжением в каждой фазе  $\varphi$ . Тогда в соответствии с векторной диаграммой показание первого ваттметра равно



$$P_1 = I_A U_{AC} \cos(30^\circ - \varphi)$$

показание

второго —

$$P_2 = I_B U_{BC} \cos(30^\circ + \varphi)$$

Сумма показаний ваттметров равна

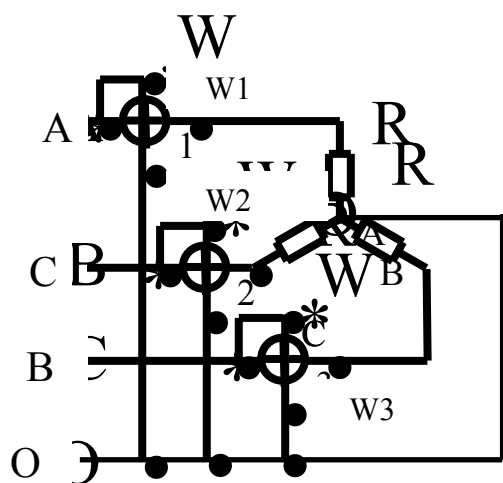
$$P = P_1 + P_2 = I_A U_{AC} \cos(30^\circ - \varphi) + I_B U_{BC} \cos(30^\circ + \varphi) = 2IU \cos 30^\circ \cos \varphi = \sqrt{3}IU \cos \varphi = 3I_\phi U_\phi \cos \varphi$$

Полученный результат справедлив и для нагрузки, соединенной треугольником. В последнем случае для доказательства надо вместо векторов линейных напряжений строить на диаграмме векторы линейных токов. Таким образом, способ двух ваттметров позволяет измерить общую мощность трехфазной системы.

При сдвиге фаз более  $60^\circ$  (работа многих электрических машин в режиме холостого хода) в формуле  $\cos(30^\circ + \varphi)$  — величина отрицательная, стрелка первого ваттметра отклонится в обратную сторону от нуля. Для отсчета отрицательных значений мощности по первому ваттметру переключают зажимы одной из его обмоток (токовой или обмотки напряжения), и общая мощность в этом случае равна разности показаний ваттметров:

$$P = P_2 - P_1$$

4. Способ трех ваттметров применяют для измерения мощности при несимметричной нагрузке в четырехпроводной линии. Общая мощность при этом равна сумме показаний всех трех ваттметров.

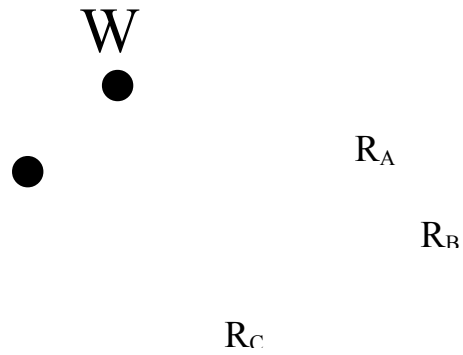


$$P = P_{W1} + P_{W2} + P_{W3}$$

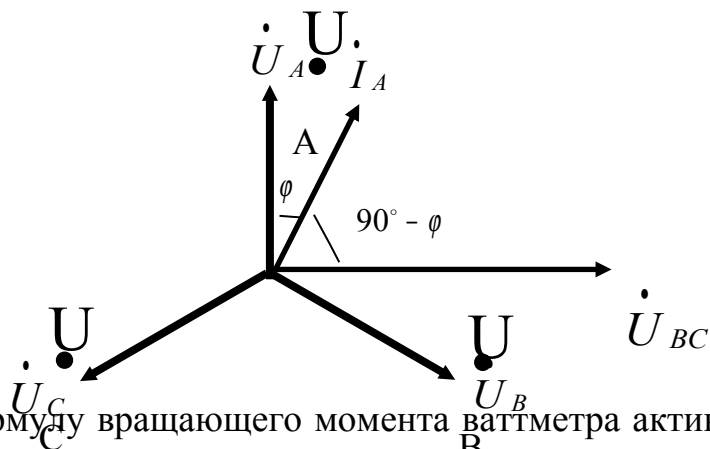
Измерение реактивной мощности.

Способ одного ваттметра применяют для измерения реактивной мощности трехфазной системы при симметричной нагрузке. При этом токовую обмотку включают в одну из фаз, а обмотку напряжения — между двумя другими фазами.





Векторная диаграмма величин, действующих на измерительную систему ваттметра, представлена на рисунке, где сдвиг фаз между током и напряжением равен  $\varphi$ .



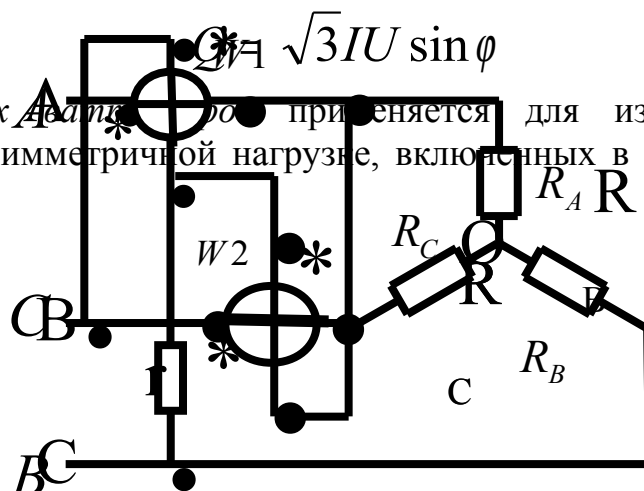
Применяя формулу вращающего момента ваттметра активной мощности ( $M_{BP} = cIU \cos \varphi$ ) и рассматривая векторную диаграмму для данного способа включения, имеем:

$$P = I_A U_{CB} \cos(90^\circ - \varphi) = IU \sin \varphi$$

Если показание ваттметра умножим на  $\sqrt{3}$ , то получим общую реактивную мощность трехфазной цепи:

$$Q = \sqrt{3} IU \sin \varphi$$

Способ двух ваттметров применяется для измерения реактивной мощности при несимметричной нагрузке, включенных в цепь как показано на рисунке.



Для получения реактивной мощности трехфазной системы нужно сумму показаний двух ваттметров умножить на  $\sqrt{3}$

$$Q = \sqrt{3}(Q_{W_1} + Q_{W_2})$$

Дополнительное сопротивление в схеме выбирается равным внутреннему сопротивлению катушек напряжения ваттметров для создания искусственной нулевой точки  $r_{W_1} = r_{W_2} = r_D$