

67-68 Коэффициент мощности

Отношение активной мощности P к полной S называют *коэффициентом мощности*. В цепях синусоидального напряжения он численно равен $\cos \varphi$ и показывает, какую долю всей вырабатываемой источником мощности составляет активная мощность.

Большинство потребителей электрической энергии представляют собой *электромагнитные механизмы*, в которых переменный ток индуцирует реактивные ЭДС, обуславливающие *сдвиг по фазе между током и напряжением*, вследствие чего *коэффициент мощности $\cos \varphi < 1$* .

При низком коэффициенте мощности имеет место неудовлетворительное использование установленной активной мощности электрических приемников. *Повышение коэффициента мощности важно с экономической стороны*. Поскольку ток в линии

$$I_{\text{л}} = \frac{P_{\text{н}}}{U \cos \varphi},$$
 то при неизменных активной мощности $P_{\text{н}} = \text{const}$ и

напряжении источника $U = \text{const}$ *с повышением коэффициента мощности $\cos \varphi$ уменьшается ток линии*, а это приведет к *уменьшению потерь мощности в линии* $\Delta P_{\text{л}} = I_{\text{л}}^2 R_{\text{л}}$, где $R_{\text{л}}$ – активное сопротивление проводов линии (см. пример 10.3). Как правило, *крупным потребителям* электрической энергии электроснабжающие организации *задают* средневзвешенное *значение коэффициента мощности*, обеспечение которого контролируется, и *невыполнение его оборачивается применением штрафных санкций*. Коэффи-

коэффициент мощности электроэнергетических систем достаточно высок: $\cos \varphi = 0,9-0,95$.

Для повышения коэффициента мощности проводится ряд мероприятий: заменяются недостаточно нагруженные двигатели двигателями меньшей мощности, ограничивается работа их на холостом ходу, применяются компенсирующие устройства и т. д.

Эффективным способом достижения этой цели, наряду с другими, является применение компенсирующих устройств, в частности, параллельное подключение к приемнику с низким коэффициентом мощности конденсаторов. В таком случае энергия в магнитном поле приемника частично или полностью накапливается за счет энергии электрического поля конденсатора и наоборот, а генератор и провода линии разгружаются от обменной энергии, что позволяет лучше использовать установленную мощность, т. е. увеличить активную мощность, развиваемую генераторами.

С увеличением емкости ток конденсатора $I_C = \omega CU$ увеличивается так, что при некоторой емкости он может стать равным индуктивной составляющей тока приемника I (режим резонанса тока). В этом случае произойдет полная компенсация сдвига фаз. Ток линии будет минимальным, равным активной составляющей тока приемника I_a . При дальнейшем увеличении емкости I_C станет больше I , что приведет к росту тока линии. Наступает режим перекомпенсации. На рисунке 10.14 показано, как изменяется ток линии $I_{л}$ и $\cos \varphi$ при изменении параллельно подключаемой емкости конденсатора C при $P = \text{const}$ и $U = \text{const}$. На рисунке 10.14 $C_{п}$ – емкость полной компенсации.

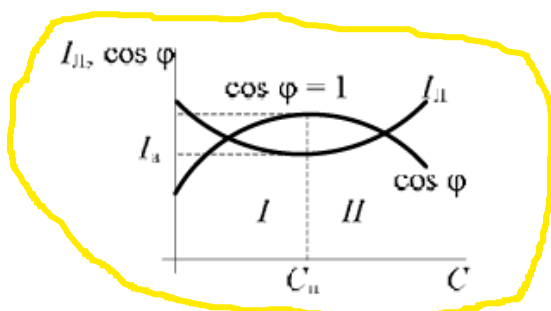


Рис. 10.14. Зависимость тока линии и коэффициента мощности от емкости:

I – область недокомпенсации; II – область перекомпенсации

Для обеспечения заданного значения коэффициента мощности необходимо рассчитать требуемую емкость конденсатора. Если электроприемники имеют мощность $P = \text{const}$ и коэффициент мощности $\cos \varphi_1$, то их реактивная индуктивная мощность $Q_1 = P \operatorname{tg} \varphi_1$. При заданном значении $\cos \varphi_2$ ($\cos \varphi_1 > \cos \varphi_2$) реактивная мощность должна быть $Q_2 = P \operatorname{tg} \varphi_2$.

Разность реактивных мощностей $Q_1 - Q_2$ компенсируется емкостной реактивной мощностью конденсаторов:

$$Q_C = Q_1 - Q_2 = P(\operatorname{tg} \varphi_1 - \operatorname{tg} \varphi_2).$$

Реактивную мощность конденсаторов можно также определить по формуле

$$Q_C = b_C U^2 = \omega C U^2.$$

Приравняв правые части уравнений (10.10) и (10.11), определяем емкость конденсаторов:

$$C = \frac{P(\operatorname{tg} \varphi_1 - \operatorname{tg} \varphi_2)}{\omega U^2}. \quad (10.18)$$

Подключение конденсаторов для компенсации сдвига фаз осуществляется в месте ввода линии питания в распределительное устройство. Экономически выгодно, как следует из формулы (10.18), подключать конденсаторы на возможно более высокое напряжение. Угол сдвига фаз обычно доводят до величины, при которой $\cos \varphi = 0,9-0,95$.

Пример 10.3. Коэффициент мощности приемника энергии повышают с 0,7 до 0,91. Потери мощности в двухпроводной линии передачи равны 8 % от мощности приемника (при $\cos \varphi = 0,7$). На сколько процентов можно увеличить активную мощность при передаче энергии с той же потерей мощности в линии, но при повышении $\cos \varphi$ до 0,91? Сколько процентов будут составлять потери мощности, если активную мощность приемника не увеличивать при повышении $\cos \varphi$ до 0,91?

Решение. Выразим потери мощности в линии:

$$\Delta P = 2RI^2,$$

где R – сопротивление одного провода линии;

I – ток в проводах линии.

Поскольку ток должен оставаться неизменным, тогда его можно выразить из формулы мощности:

$$I = \frac{P_1}{U \cos \varphi_1} = \frac{P_2}{U \cos \varphi_2}$$

(здесь индекс 1 относится к режиму до компенсации, индекс 2 – после увеличения коэффициента мощности).

Следовательно, после повышения $\cos \varphi$ мощность приемника может иметь значение

$$P_2 = P_1 \frac{\cos \varphi_2}{\cos \varphi_1} = P_1 \frac{0,91}{0,7} = 1,3P_1,$$

т. е. повысив коэффициент мощности, активную мощность приемников можно увеличить на 30 % путем присоединения новых приемников энергии.

Если активную мощность приемников оставить прежней:

$$P = UI_1 \cos \varphi_1 = UI_2 \cos \varphi_2, \quad (10.19)$$

то в результате повышения коэффициента мощности ток в проводах линии уменьшится.

Действительно, из выражения (10.19)

$$I_2 = I_1 \frac{\cos \varphi_1}{\cos \varphi_2} = I_1 \frac{0,7}{0,91} = 0,77I_1.$$

В формулу потери мощности в линии этот ток входит в квадрате:

$$\Delta P = 2RI^2;$$

$$\Delta P_2 = 2RI_2^2 = 2R(0,77I_1)^2.$$

Новая величина потери мощности в линии составляет от прежней

$$\frac{\Delta P_2}{\Delta P_1} = (0,77)^2 = 0,59,$$

поэтому $\Delta P_2 = 0,59 \cdot 8 = 4,72 \%$, т. е. потери мощности в линии уменьшатся с 8 % от мощности приемников до 4,72 %.



Вопросы и задачи для самоконтроля

1. Приведите примеры построения векторных диаграмм синусоидальных напряжений и тока при последовательном соединении R и L , R и C , L и C .

2. Постройте графики мгновенной мощности в цепи синусоидального тока для различных значений сдвига фаз между напряжением и током.

3. Поясните, как используют при расчете электрических цепей прямоугольный треугольник сопротивлений, треугольник проводимостей.

4. Запишите формулу для расчета активной мощности. Назовите, в каких единицах измеряется активная мощность.

5. Дайте определения полной мощности, коэффициента мощности.

6. Расскажите, что такое резонанс напряжений, резонанс токов. Объясните условия возникновения резонанса напряжений, резонанса токов в электрической цепи.

7. Объясните, как определяются волновое сопротивление, добротность колебательного контура.

8. Приведите примеры компенсации угла сдвига фаз в цепи с низким коэффициентом мощности.

9. Определите действующее значение тока в цепи с последовательно соединенными резистором $R = 4$ Ом и конденсатором, реактивное сопротивление которого $X_C = 3$ Ом. К электрической цепи приложено синусоидальное напряжение $U = 25$ В. Ответ: 5 А.

10. В цепи переменного тока с последовательным соединением элементов R и L измерены напряжение на входе $U = 100$ В, ток $I = 5$ А, мощность $P = 300$ Вт. Определите сопротивление X_L (Ом). Ответ: 16 Ом.

11. В электрической цепи последовательно соединены резистор $R = 6$ Ом, катушка индуктивности и конденсатор, реактивные сопротивления которых $X_L = 12$ Ом, $X_C = 4$ Ом. Если на входе электрической цепи синусоидальное напряжение, действующее значение которого $U = 80$ В, то какое действующее напряжение на конденсаторе? Ответ: 32 В.

12. В электрической цепи (рис. 10.15) имеет место резонанс. Действующее значение синусоидального напряжения источника питания $U = 100$ В, $R = 10$ Ом, $X_C = 10$ Ом. Определите величину сопротивления X_L , токи и напря-

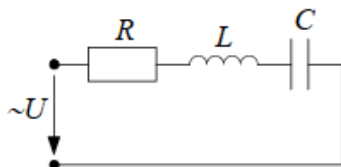


Рис. 10.15

жения на участках цепи, постройте векторную диаграмму напряжений и токов. Ответ: 10 Ом; 10 А; $U_R = U_L = U_C = 100$ В.

13. В электрической цепи имеет место резонанс (рис. 10.16). Действующее значение синусоидального напряжения источника питания $U = 100$ В, $R = 10$ Ом, $X_C = 20$ Ом. Определите величину сопротивления X_L , токи на участках цепи, постройте векторную диаграмму напряжения и токов. Ответ: 10 Ом; 5 А; 7,05 А; 5 А.

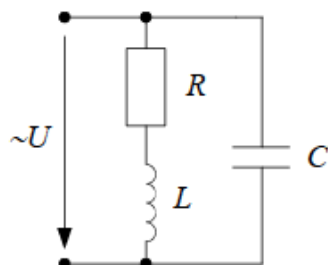


Рис. 10.16