

## ОСОБЕННОСТИ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ В ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА С ПАРАМЕТРИЧЕСКИМ АКТИВНЫМ СОПРОТИВЛЕНИЕМ

*Чернецкая Е.Ю., асп., Кореньков Э.В., студ.*

*Кременчугский государственный политехнический университет  
имени Михаила Остроградского*

*39600, г. Кременчуг, Полтавская обл., ул. Первомайская, 20*

*E-mail: saue@polytech.poltava.ua.*

**Введение.** Электрические цепи переменного тока различных электромеханических устройств могут включать линейные, нелинейные и параметрические элементы.

К линейным относятся цепи, которые описываются уравнениями с постоянными коэффициентами. Последние, в свою очередь, выражаются через параметры элементов описываемой цепи, величины которых не зависят ни от времени, ни от протекающих через них токов и приложенных напряжений.

Нелинейные цепи включают элементы, параметры которых зависят от изменяемого тока или напряжения. К ним относятся электронные и полупроводниковые приборы.

В параметрических цепях присутствуют элементы, параметры которых зависят от времени [1, 2].

В параметрических цепях откликом на входной сигнал, состоящий из нескольких компонент, является сумма откликов на действие каждой компоненты. В нелинейных цепях отклик отличается от суммы откликов на действие каждой составляющей в отдельности наличием компоненты, появляющейся в случае одновременного воздействия всех составляющих сигнала.

Рассматривая параметрические элементы, следует отметить, что если параметр меняется с одной частотой, а возбуждаемые или усиливаемые колебания имеют другую частоту, то параметрические цепи оказываются преобразователями энергии переменного напряжения одной частоты в энергию колебаний другой частоты.

Параметрические сопротивления находят свое применение в радиотехнике, что обусловлено их способностью преобразовывать спектры входных сигналов, а также возможностью создания маломощных параметрических усилителей и преобразователей частоты [1-3].

Трудности расчета нелинейных и параметрических цепей обусловлены тем, что элементы цепи являются генераторами высших гармоник.

В последнее время все чаще для анализа энергетических процессов в электромеханических системах используют метод мгновенной мощности, отличающийся высокой информативностью и позволяющий учитывать характеристики элементов схемы, независимо от того линейный это элемент или нелинейный [4, 5].

**Цель работы** – исследование энергопроцессов в цепи переменного тока с параметрическим активным сопротивлением.

**Материал и результаты исследования.** Рассмотрим электрическую схему замещения (рис. 1), включающую:

$U(t)$  – источник полигармонического напряжения;

$R(t)$  – параметрическое активное сопротивление.

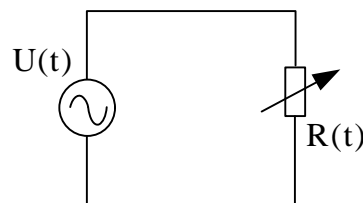


Рисунок 1 – Электрическая цепь переменного тока с параметрическим активным сопротивлением

Пусть к активной периодически меняющейся нагрузке вида

$$R(t) = R_0 + R_m \cos(\omega t - j) \quad (1)$$

приложено синусоидальное напряжение

$$U(t) = U_m \cos(\omega t), \quad (2)$$

где  $R_0$  – значение постоянной составляющей активного сопротивления;  $R_m$  – амплитудное значение сопротивления;  $U_m$  – амплитудное значение напряжения;  $\omega$  – круговая частота;  $j$  – угол сдвига фаз.

На рис. 2, 3 приведены кривые изменения задающего напряжения и сопротивления во времени для различных значений угловой частоты  $\omega$  и угла сдвига фаз  $\varphi$  при  $U_m = 200$  В,  $R_m = 9,8$  Ом,  $R_0 = 10$  Ом. Электрический ток в цепи переменного тока равен:

$$I(t) = \frac{U(t)}{R(t)} = \frac{U_m \cos(\omega t)}{R_0 + R_m \cos(\omega t - j)}. \quad (3)$$

Тогда мощность на активном сопротивлении получим в виде:

$$P(t) = I^2(t)R(t) = \frac{\frac{1}{2}U_m^2 + \frac{1}{2}U_m^2 \cos(2\omega t)}{R_0 + R_m \cos(j) \cos(\omega t) + R_m \sin(j) \sin(\omega t)} \quad (4)$$

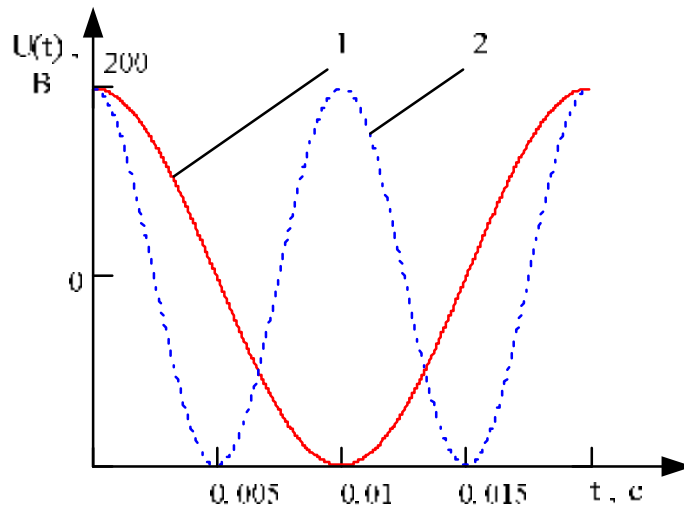


Рисунок 2 – Кривые изменения входного напряжения во времени: 1 – при  $w = 314 \text{ c}^{-1}$ ; 2 – при  $w = 628 \text{ c}^{-1}$

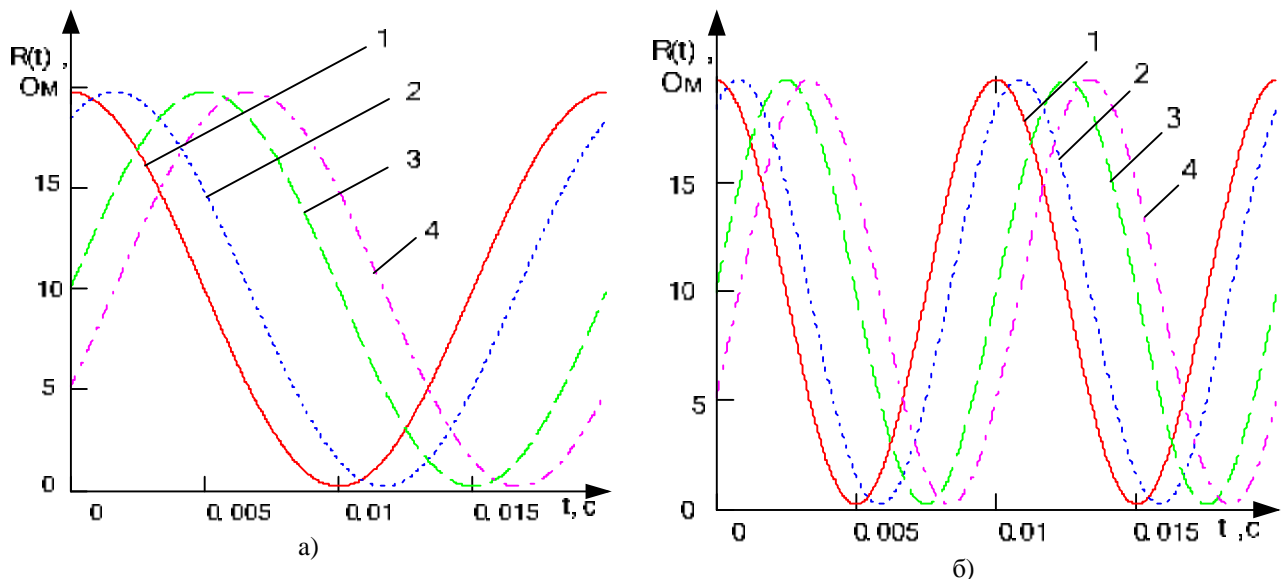


Рисунок 3 – Кривые изменения сопротивления от времени при: 1)  $j = 0$ , 2)  $j = \frac{P}{6}$ , 3)  $j = \frac{P}{2}$ , 4)  $j = \frac{2P}{3}$ ;  
а)  $w = 314 \text{ c}^{-1}$ ; б)  $w = 628 \text{ c}^{-1}$

В общем случае при приложенном напряжении вида:

$$U(t) = \sum_{k=1}^n U_k \cos(kw_U t),$$

и параметрическом сопротивлении:

$$R(t) = R_0 + \sum_{k=1}^m R_k \cos(kw_R t - j),$$

когда частоты сигнала сопротивления и напряжения будут отличаться, зависимость (4) примет вид:

$$P(t) = \frac{\frac{1}{2} \sum_{k=1}^n U_k^2 + \frac{1}{2} \sum_{k=1}^n U_k^2 \cos(2kw_U t)}{R_0 + \sum_{k=1}^m R_k \cos(j) \cos(kw_R t) + \sum_{k=1}^m R_k \sin(j) \sin(kw_R t)},$$

где  $R_k$  – амплитудное значение  $k$ -ой гармоники сопротивления;  $U_k$  – амплитудное значение  $k$ -ой гармоники входящего напряжения;  $w_U$  – частота изменения напряжения;  $w_R$  – частота изменения параметрического сопротивления;  $m$  – номер гармоники сопротивления;  $n$  – номер гармоники напряжения.

На рис. 4 приведены кривые периодически меняющегося тока в электрическом контуре.

На рис. 5 приведены кривые изменения мгновенной мощности в цепи с параметрическим активным сопротивлением.

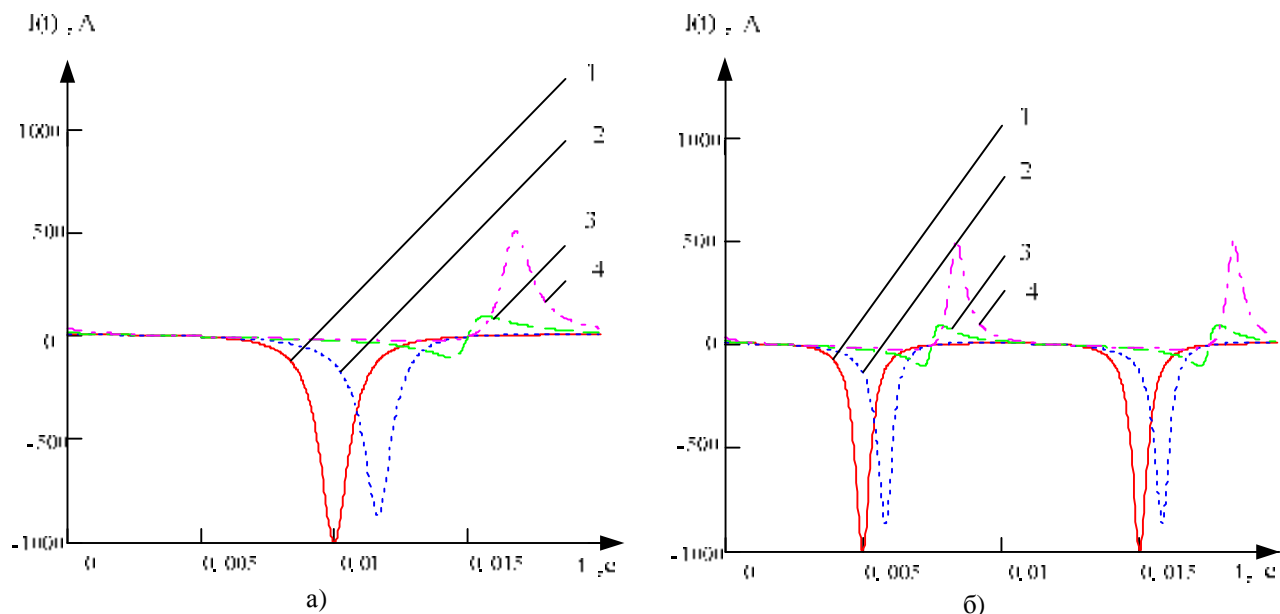


Рисунок 4 – Кривые изменения электрического тока от времени при: 1)  $j = 0$ , 2)  $j = \frac{p}{6}$ , 3)  $j = \frac{p}{2}$ ,

$$4) j = \frac{2p}{3}; \text{ а) } w = 314 \text{ c}^{-1}; \text{ б) } w = 628 \text{ c}^{-1}$$

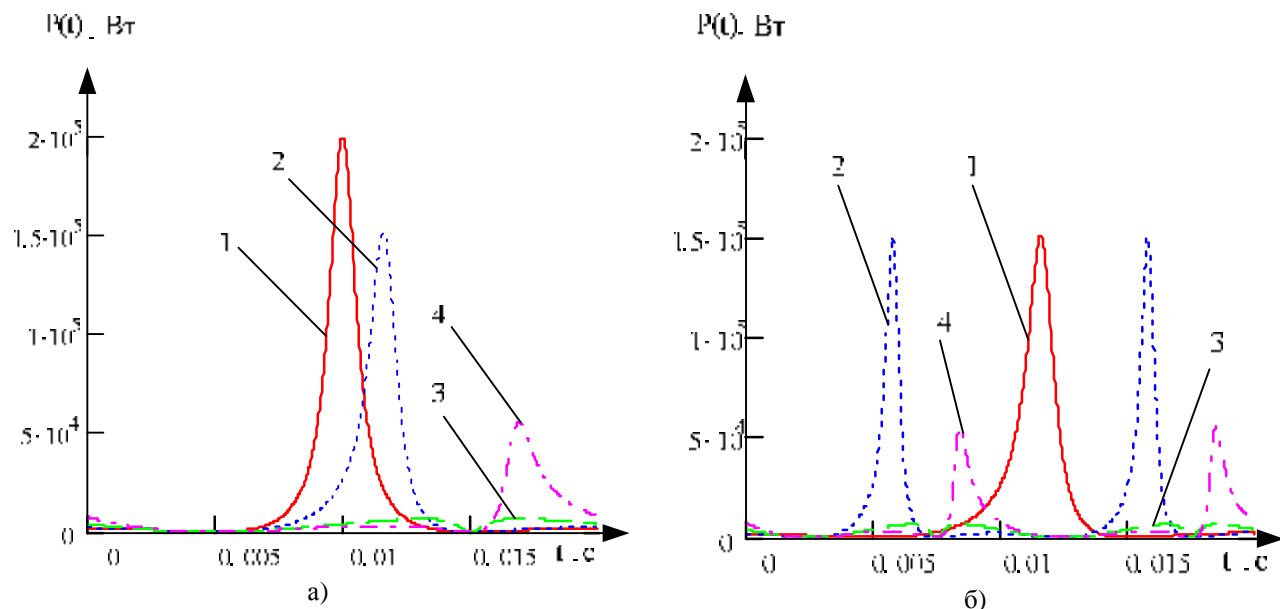


Рисунок 5 – Кривые изменения мгновенной мощности от времени при: 1)  $j = 0$ , 2)  $j = \frac{p}{6}$ , 3)  $j = \frac{p}{2}$ ,

$$4) j = \frac{2p}{3}; \text{ а) } w = 314 \text{ c}^{-1}; \text{ б) } w = 628 \text{ c}^{-1}$$

Рассчитаем среднюю мощность на периоде  $T = 0,02 \text{ с}$ :

$$P_{cp} = \frac{1}{T} \int_0^T P(t) dt. \quad (5)$$

В зависимости от изменения угла сдвига фаз средняя мощность равна:  $P_1 = 16,8 \text{ кВт}$ ;  $P_2 = 13,4 \text{ кВт}$ ;  $P_3 = 3,3 \text{ кВт}$ ;  $P_4 = 6,7 \text{ кВт}$ .

Используя быстрое преобразование Фурье, представим мощность в виде ряда:

$$P(t) = P_0 + 2 \left[ \sum_{k=1}^z (P_k \cos(kwt) - P_k \sin(kwt)) \right], \quad (6)$$

где  $k$  – номер гармоники;  $z$  – количество учитываемых при анализе гармоник.

На рис. 6 приведены спектры мгновенной мощности для различных значений угловой частоты и угла сдвига фаз.

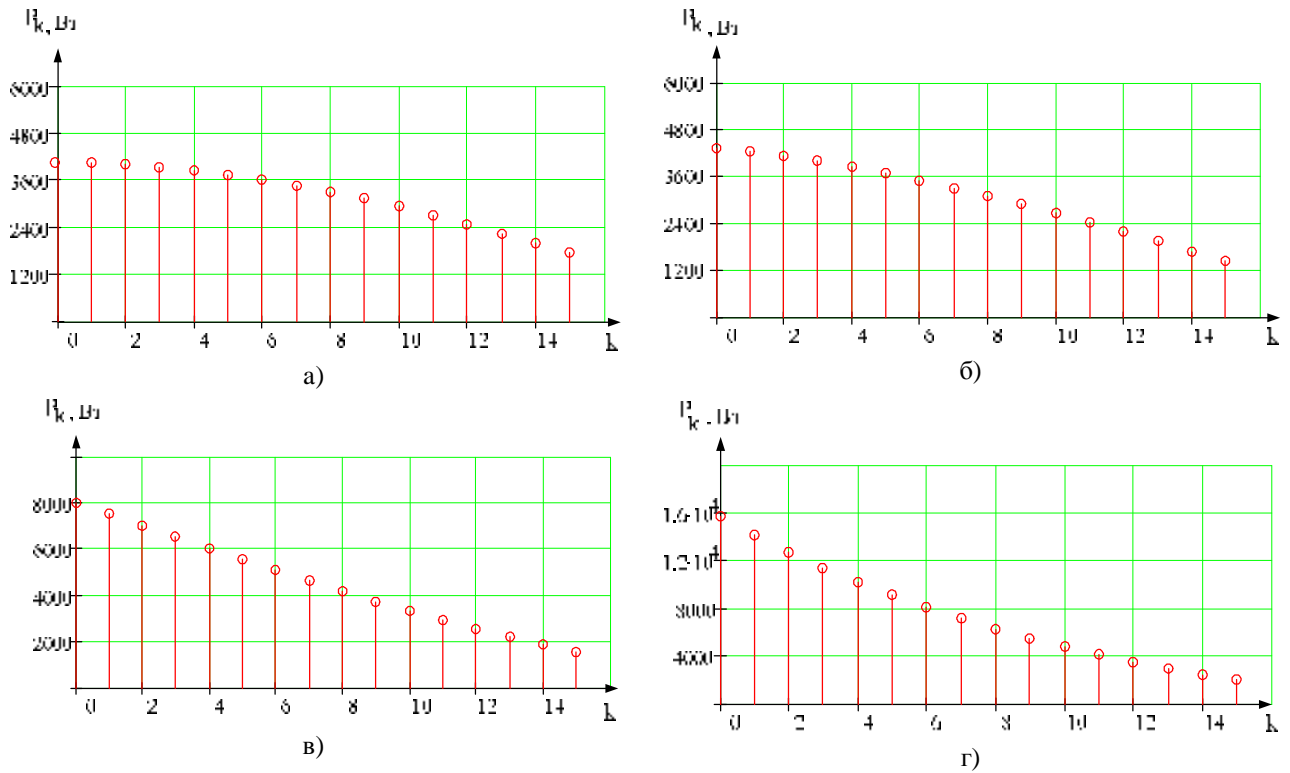


Рисунок 6 – Спектры мгновенной мощности для различных углов  $\varphi$  : а)  $j = 0$ , б)  $j = \frac{p}{6}$ , в)  $j = \frac{p}{2}$ , г)  $j = \frac{2p}{3}$

На рис. 7 показано изменение гармонических составляющих мощности для разных углов сдвига  $\varphi$ .

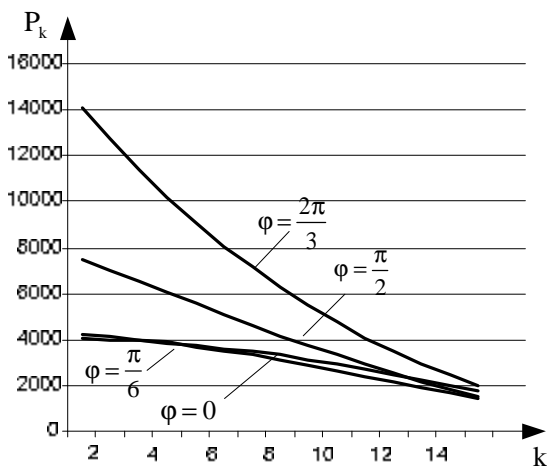


Рисунок 7 – Изменение гармонических составляющих мощности при изменении угла сдвига  $\varphi$

**Выводы.** Выполненные исследования показали, что при приложенном синусоидальном напряжении ток, протекающий через параметрическое сопротивление, будет несинусоидальным, имеющим высшие гармонические. Мгновенная мощность для элемента электрической цепи определяется произведением сигналов напряжения и тока и включает в себя три составляющие: постоянную, косинусную и синусную.

Спектральный анализ сигнала мощности показал рост амплитудных значений гармонических составляющих при увеличении угла сдвига  $\varphi$  в активной, периодически меняющейся нагрузке. Метод мгновенной мощности позволяет исследовать режимы энергопотребления в цепях переменного тока при различных параметрах входного сигнала и нагрузки, расширяет возможности энергодиагностики линейных и нелинейных систем.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Андреев В.С. Теория нелинейных электрических цепей. – М.: Связь, 1972. – 328 с.
2. Бессонов Л.А. Нелинейные электрические цепи. – М.: Высшая школа, 1964. – 430 с.
3. Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы. – М.: Высшая школа, 2004. – 462 с.
4. Родькин Д.И. Уравнения баланса составляющих мгновенной мощности // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету.– Кременчук, 2006. – Вип. 4 (39). – Ч. 1. – С. 92–98.
5. Родькин Д.И. Принцип суперпозиции в процессах преобразования энергии // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. – Кременчук, 2003. – Вип. 1. – С. 80–85.

Стаття надійшла 08.04.2009 р.  
Рекомендовано до друку д.т.н., проф.  
Родькіним Д.І.