

Министерство образования и науки Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Оренбургский государственный университет»

Кафедра теоретической и общей электротехники

Л.В.Быковская, Н.Ю.Ушакова

РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ НЕСИНУСОИДАЛЬНОГО ПЕРИОДИЧЕСКОГО ТОКА

Рекомендовано Редакционно-издательским советом федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Оренбургский государственный университет» в качестве методических указаний для студентов, обучающихся по программам высшего профессионального образования, по направлению подготовки 140100.62 Теплоэнергетика и теплотехника

Оренбург

2012

УДК 621.3.011.7(076)
ББК 31.211я7
Б 95

Рецензент - кандидат технических наук, доцент В.М. Нелюбов

Б 95 **Быковская, Л.В.**
Расчёт электрических цепей несинусоидального периодического тока: методические указания/ Л.В.Быковская, Н.Ю.Ушакова; Оренбургский гос. ун-т. – Оренбург : ОГУ, 2012. – 41 с.

Методические указания содержат методику расчёта линейных электрических цепей несинусоидального периодического тока.

Методические указания предназначены для самостоятельного изучения и выполнения расчётно-графического задания по разделу курса электротехника – периодические несинусоидальные токи в линейных электрических цепях; для студентов электроэнергетического факультета, направления подготовки 140100.62 Теплоэнергетика и теплотехника всех форм обучения.

Методические указания могут быть использованы при изучение курса электротехники студентами не электротехнических направлений подготовки.

УДК 621.3.011.7(076)
ББК 31.211я7

©Быковская Л.В.,
Ушакова Н.Ю., 2012
© ОГУ, 2012

Содержание

1 Основные понятия и определения	4
2 Гармонический анализ и разложение функций	4
3 Свойства периодических кривых, обладающих симметрией	7
4 Коэффициенты, характеризующие форму несинусоидальных кривых	8
5 Действующее и среднее значения несинусоидальных величин	10
6 Особенности расчета линейной электрической цепи с несинусоидальными источниками	11
7 Мощность при несинусоидальных напряжениях и токах	13
8 Задание к выполнению РГЗ.....	15
9 Пример выполнения расчётно-графического задания	25
10 Разложение несинусоидальной функции в ряд Фурье.....	34
Список использованных источников	41

1 Основные понятия и определения

На практике мы часто встречаемся с несинусоидальными периодическими ЭДС и токами, которые изменяются во времени по не гармоническому закону, но значения которых регулярно повторяются через равные промежутки времени, называемые периодом - T , как это показано на рисунке 1.

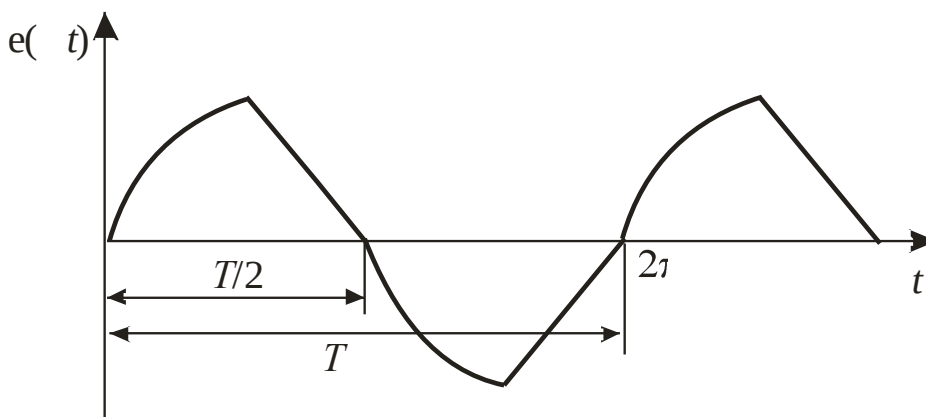


Рисунок 1

Несинусоидальные ЭДС и токи возникают в следующих случаях:

- а) при включении в цепь переменного тока элемента с насыщенным стальным (ферромагнитным) сердечником;
- б) при наличии нелинейных сопротивлений в цепи;
- в) если источник ЭДС или источник тока выдаёт несинусоидальное напряжение или ток.

В этой части курса ТОЭ мы будем обсуждать свойства линейных электрических цепей, на входе которых действуют периодические несинусоидальные ЭДС и токи.

2 Гармонический анализ и разложение функций

Из курса высшей математики известно, что любая периодическая функция $f(t)$ с периодом $2 \cdot \pi$, удовлетворяющая условиям Дирихле (то есть имеющая на конечном интервале $f(t)$ конечное число максимумов,

минимумов и разрывов первого рода), может быть разложена в ряд Фурье. Проверку выполнения условий Дирихле производить не будем, так как все периодические функции, используемые в электротехнике, им удовлетворяют.

Периодическая несинусоидальная ЭДС в общем случае может быть представлена тригонометрическим рядом Фурье:

$$\begin{aligned} e(t) &= E_0 + E_{1m} \sin(\omega t + \psi_1) + E_{2m} \sin(2\omega t + \psi_2) + \dots + E_{km} \sin(k\omega t + \psi_k) = \\ &= E_0 + \sum_{k=1}^{\infty} E_{km} \sin(k\omega t + \psi_k) \end{aligned} \quad (1)$$

где E_0 - постоянная составляющая;

$E_1 \sin(\omega t + \psi_1)$ - первая (основная) гармоническая составляющая, имеющая частоту $\omega = 2 \cdot \pi / T$;

$E_{km} \sin(k\omega t + \psi_k)$ - при $k \geq 2$ высшие гармонические составляющие (гармоники);

E_{km} - амплитуда k-й гармоники;

ψ_k - начальная фаза k-й гармоники.

k - номер гармоники.

Совокупность постоянной составляющей, основной гармоники и высших гармонических составляющих называется **спектром несинусоидальной величины**.

Тригонометрический ряд Фурье, как правило, быстро сходится, поэтому для инженерных расчетов количество гармоник ограничивают и учитывают только первые 3 – 5 гармоник ряда.

Второй вид ряда Фурье может быть получен из первого путём тригонометрических преобразований:

$$\sin(\alpha + \beta) = \sin \alpha \cdot \cos \beta + \cos \beta \cdot \sin \alpha .$$

То есть

$$E_{km} \sin(k\omega t + \psi_k) = E_{km} \cos(\psi_k) \cdot \sin(k\omega t) + E_{km} \sin(\psi_k) \cdot \cos(k\omega t) \quad C$$

Следовательно, второй вид ряда Фурье будет иметь вид:

$$e(t) = E_0 + \sum_{k=1}^{\infty} B_{km} \sin(k\omega t) + \sum_{k=1}^{\infty} C_{km} \cos(k\omega t) \quad (2)$$

Где $B_{(k)m} = E_{(k)m} \cdot \cos(\psi_{(k)})$ - синусная составляющая k -ой гармоники;

$C_{(k)m} = E_{(k)m} \cdot \sin(\psi_{(k)})$ - косинусная составляющая k -ой гармоники;

$B_{(k)m}$ и $C_{(k)m}$ - коэффициенты разложения.

Для определения постоянной составляющей и коэффициентов разложения используют следующие формулы:

$$E_0 = \frac{1}{T} \int_0^T f(t) dt = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} f(\omega t) d(\omega t)$$

$$B_{(k)m} = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(\omega t) \cdot \sin(k\omega t) d(\omega t)$$

$$C_{(k)m} = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(\omega t) \cdot \cos(k\omega t) d(\omega t)$$

Зная значения $B_{(k)m}$ и $C_{(k)m}$, определяем $E_{(k)m}$ и $\psi_{(k)}$:

$$E_{(k)m} = \sqrt{B_{(k)m}^2 + C_{(k)m}^2}$$

$$\psi_{(k)} = \arctg \frac{C_{(k)m}}{B_{(k)m}}.$$

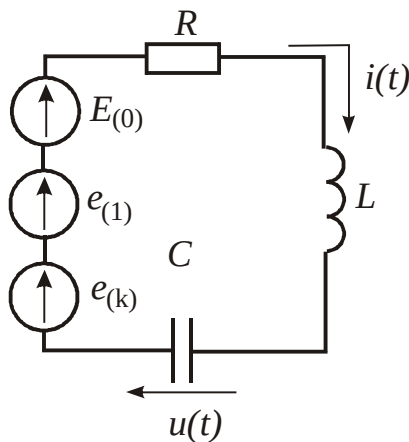


Рисунок 2

Таким образом, несинусоидальный источник напряжения можно представить упрощенно как схему, изображенную на рисунке 2.

3 Свойства периодических кривых, обладающих симметрией

Коэффициенты ряда Фурье для стандартных функций могут быть взяты из справочной литературы или в общем случае рассчитаны по приведенным выше формулам. Однако в случае кривых, обладающих симметрией, задача существенно упрощается, поскольку из их разложения выпадают целые спектры гармоник. Знание свойств таких кривых позволяет существенно сэкономить время и ресурсы при вычислениях.

а) Кривые, симметричные относительно оси абсцисс.

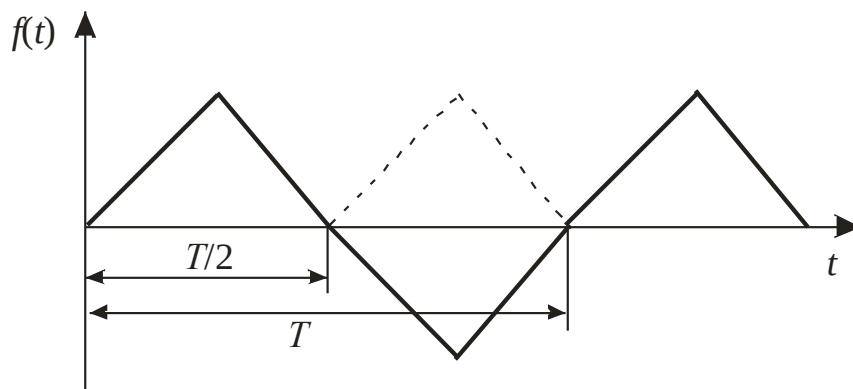


Рисунок 3

К данному типу относятся кривые, удовлетворяющие равенству $f(t) = -f(t + T/2)$ или $f(\omega t) = -f(\omega t + \pi)$ (рисунок 3). В их разложении отсутствует постоянная составляющая и четные гармоники, т.е.

$$e(t) = B_1 \sin \omega t + B_3 \sin 3\omega t + C_1 \cos \omega t + C_3 \cos 3\omega t + \dots$$

б) Кривые, симметричные относительно оси ординат.

К данному типу относятся кривые, для которых выполняется равенство $f(t) = f(-t)$ или $f(\omega t) = f(-\omega t)$ (рисунок 4). В их разложении отсутствуют синусные составляющие, т.е.

$$e(t) = E_0 + C_1 \cos \omega t + C_2 \cos 2\omega t + \dots$$