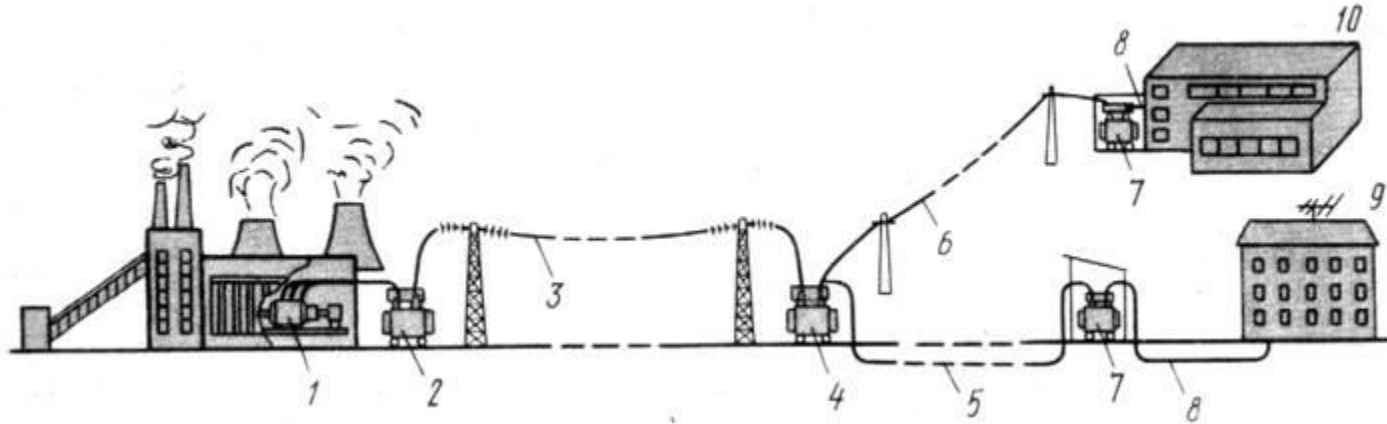


Трёхфазные электрические цепи

Трёхфазные электрические цепи

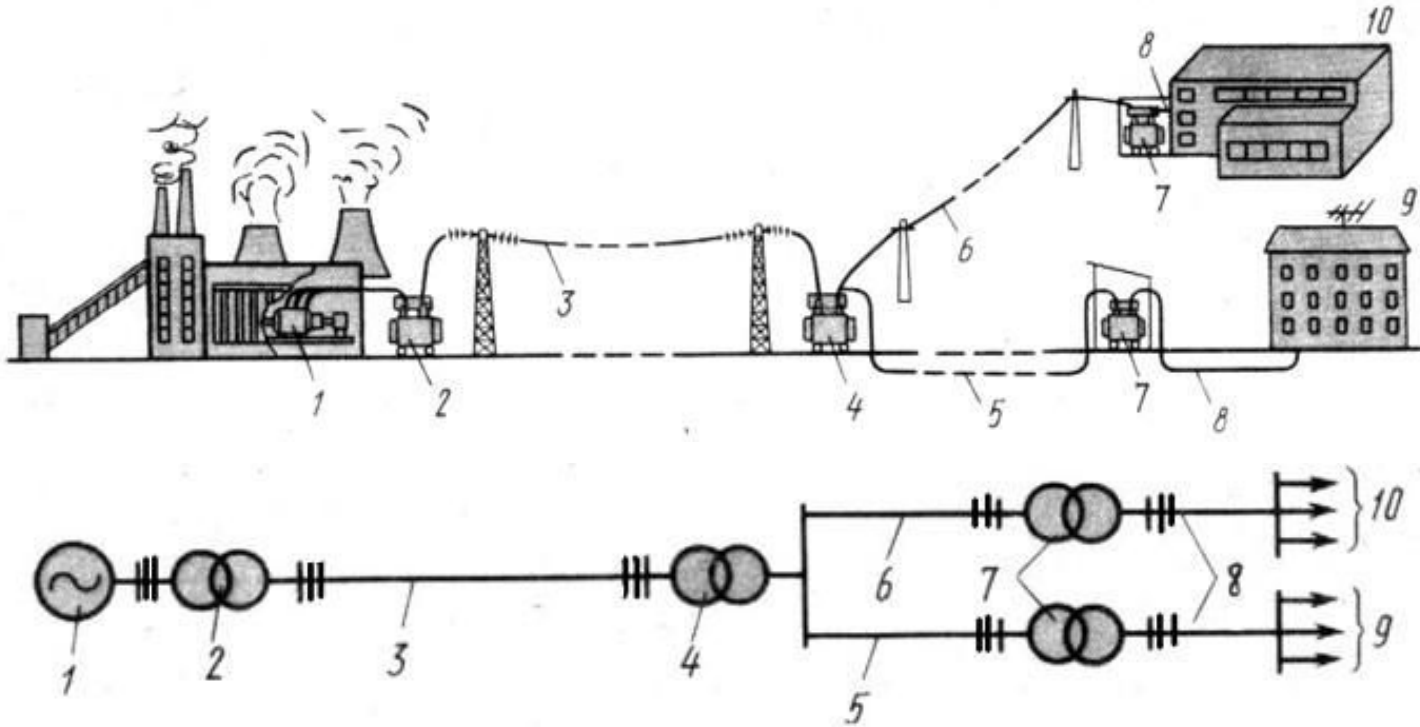
Трёхфазная цепь является частным случаем многофазных систем, представляющих собой совокупность электрических цепей, в которых действуют синусоидальные ЭДС одинаковой частоты, различающиеся по фазе и создаваемые источником энергии.

Трёхфазные электрические



Трёхфазная цепь состоит из трёх основных элементов: трёхфазного генератора (1), в котором механическая энергия преобразуется в электрическую, линии передачи (3, 5, 6, 8) и приёмников (потребителей), которые могут быть как трёхфазными (например, электродвигатели), так и однофазными (например, лампы освещения).

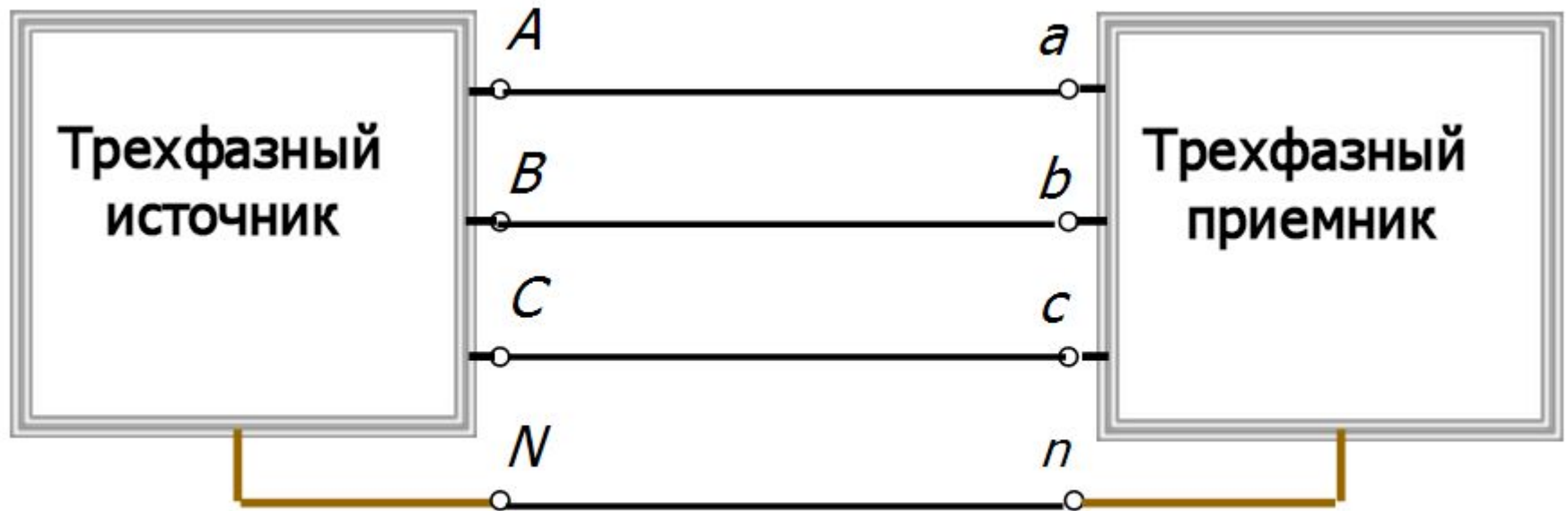
Трёхфазные электрические сети



Кроме этого в трёхфазную систему при подаче на большие расстояния входят повышающие (2) и понижающие (4,7) трансформаторы.

Трёхфазные электрические цепи

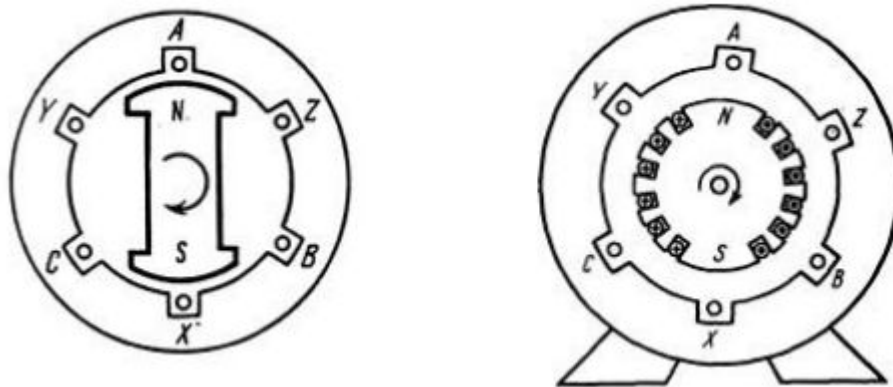
Каждый из трёх источников (потребителей) вместе с соединительными проводами принято называть фазой. Таким образом, понятие «фаза» имеет в электротехнике два значения: 1) аргумент синусоидально изменяющейся величины; 2) часть многофазной системы электрических цепей



Функциональная схема трехфазной цепи

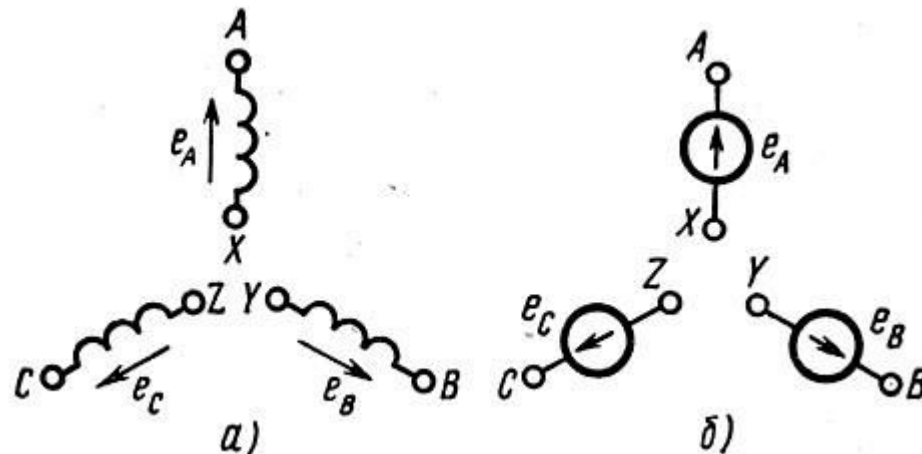
Трёхфазные электрические цепи

Трёхфазный переменный электрический ток получают в трёхфазных генераторах. Это устройство преобразующее механическую энергию вращения в электрическую (турбогенератор, гидрогенератор или др.). На рисунке схематически изображена модель трёхфазного генератора. Каждая фаза обмотки условно изображена одним витком, витки сдвинуты относительно друг друга на угол 120° . Начала фаз обозначены А, В, С, а концы – Х, Y, Z.



Трёхфазные электрические цепи

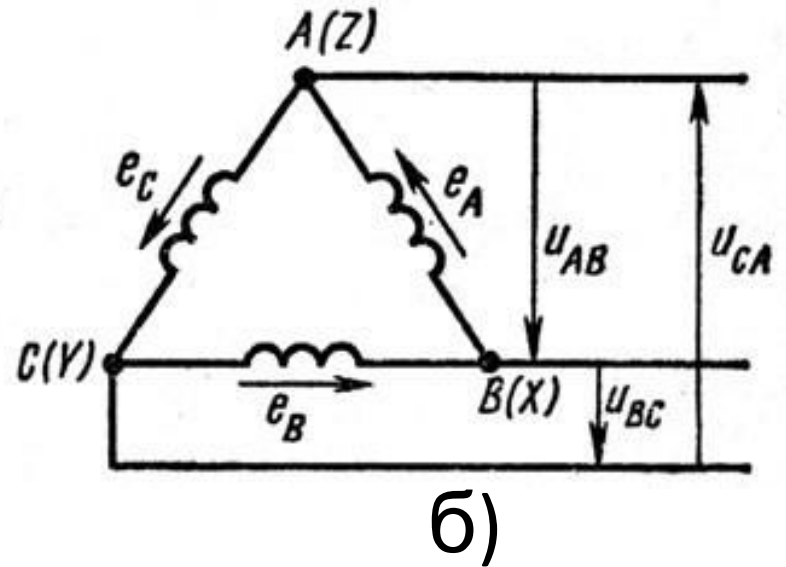
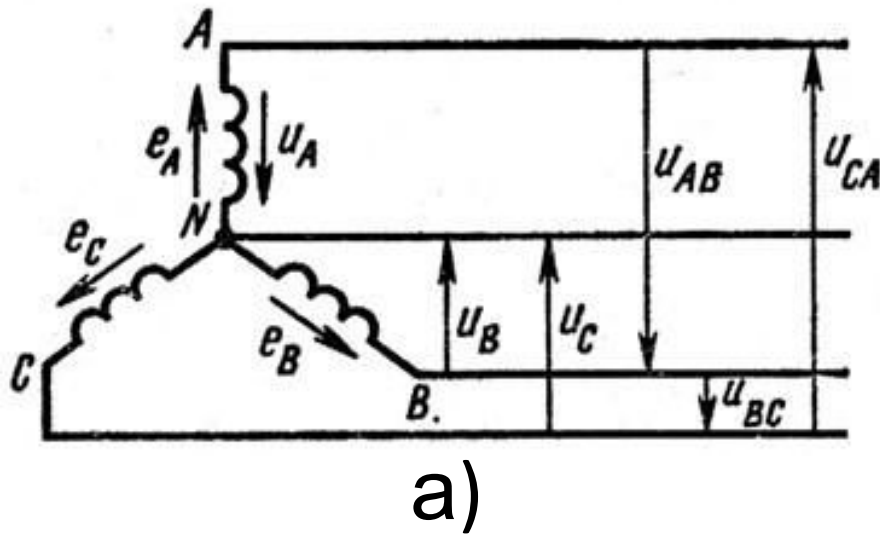
На схемах обмотку (или фазу) источника переменного ЭДС обозначают как показано ниже. За условное положительное направление ЭДС в каждой фазе принимают направление от конца к началу.



Трёхфазные электрические цепи

цепи

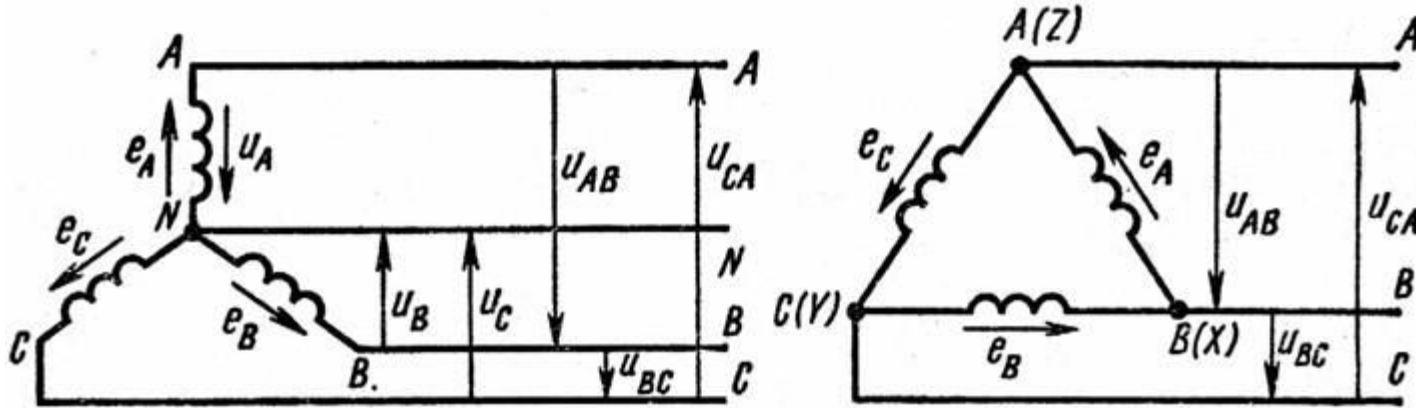
Основные схемы соединения трёхфазных цепей: соединение звездой (а) и треугольником (б).



Трёхфазные электрические цепи

Цепи

В схеме соединения звездой концы всех фаз (X, Y, Z) соединяют в одну точку N, а к началам (A, B, C) подключают провода, идущие к потребителям (рис. а). Схема соединения треугольником образуется последовательным подключением трёх фаз друг за другом, т.е. к концу X подключают начало C, к концу Z подключают начало A (рис. б).



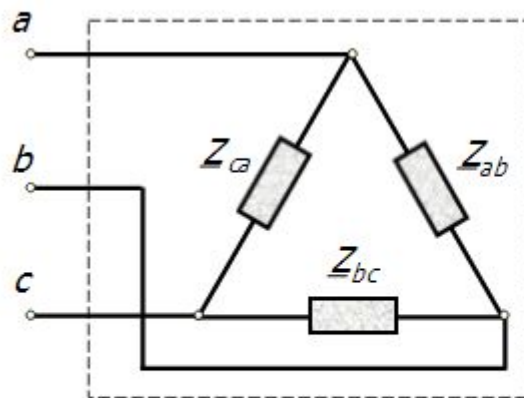
а)

б)

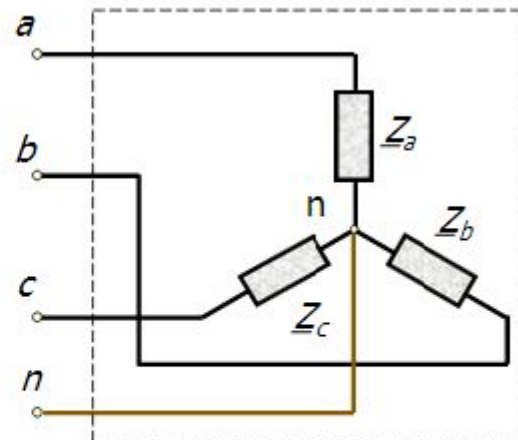
Трёхфазные электрические цепи

цепи

В приёмнике (потребителе) энергии начала фаз обозначают малыми буквами (a, b, c), а концы фаз (x, y, z).



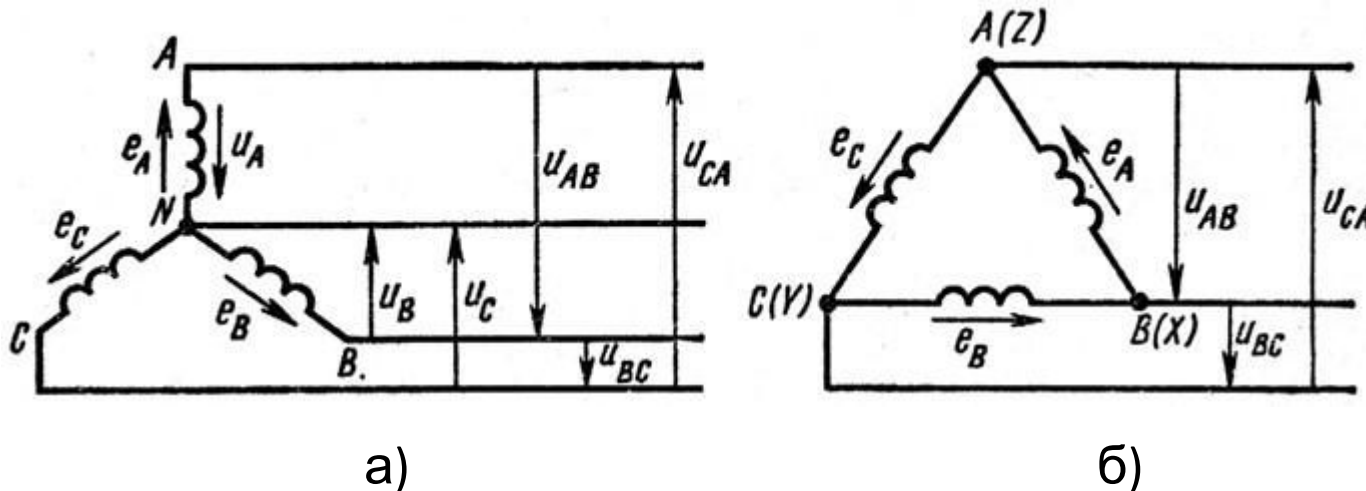
Соединение фаз
приемника треугольником



Соединение фаз
приемника звездой

Трёхфазные электрические цепи

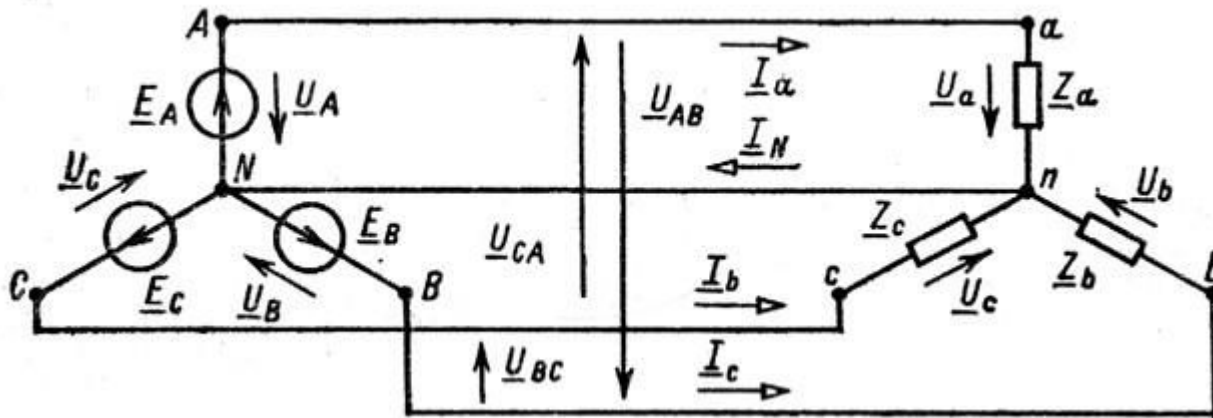
Начала фаз источника (A, B, C) соединяют с началом фаз потребителей (a, b, c) с помощью проводов. Данные провода называют линейными, а токи протекающие по ним соответственно линейными токами (I_l). Между линейными проводами, т.е. между началами разных фаз измеряют линейные напряжения (U_l) (U_{AB} , U_{BC} , U_{CA}). По обмоткам фаз источников и цепям фаз потребителей протекают фазовые токи (I_f). А напряжения между началом и концом каждой фазы- фазными напряжениями (U_f) (U_A , U_B , U_C).



Трёхфазные электрические цепи

Нейтральные точки могут соединять нейтральный провод. В данном случае цепь будет четырёхпроводной. При отсутствии данного соединительного провода, между нейтралью можно измерить напряжение смещения нейтрали. При этом цепь будет трёхпроводной.

За условное положительное направление фазных напряжений принимают направление от начала к концу фаз обмоток, а линейных напряжений



Трёхфазные электрические цепи

Сумма мгновенных ЭДС в симметричной системе равна нулю.

$$e_A(t) + e_B(t) + e_C(t) = 0$$

Если ЭДС какой-либо отдельной фазы трёхфазной обмотки, например фазы А, принять за исходную и считать её начальную фазу равной нулю, то выражения для мгновенных значений ЭДС можно записать в виде:

$$e_A(t) = E_m \cdot \sin(\omega t)$$

$$e_B(t) = E_m \cdot \sin\left(\omega t - \frac{2}{3}\pi\right)$$

$$e_C(t) = E_m \cdot \sin\left(\omega t - \frac{4}{3}\pi\right) = E_m \cdot \sin\left(\omega t + \frac{2}{3}\pi\right)$$

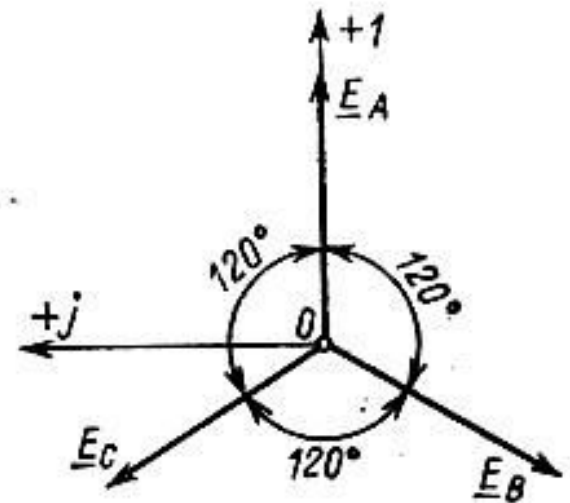
Трёхфазные электрические цепи

Выражения для ЭДС каждой фазы в комплексном виде можно записать:

$$\underline{E}_A = E_m \cdot e^{j \cdot 0} = E_m$$

$$\underline{E}_B = E_m \cdot e^{-j \cdot \frac{2}{3} \cdot \pi}$$

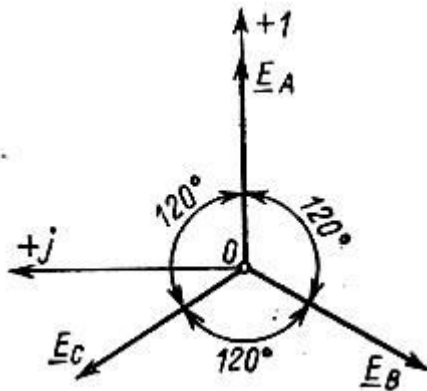
$$\underline{E}_C = E_m \cdot e^{-j \cdot \frac{4}{3} \cdot \pi} = E_m \cdot e^{j \cdot \frac{2}{3} \cdot \pi}$$



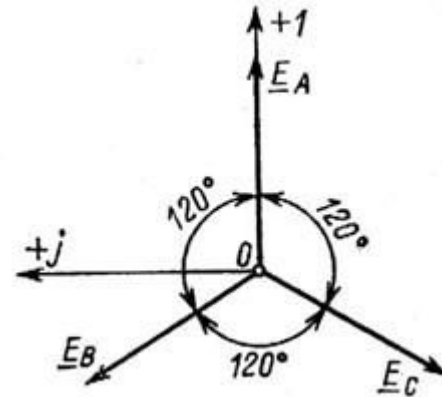
Трёхфазные электрические цепи

цепи

Систему ЭДС в которой фазы С отстаёт от ЭДС фазы В, а в свою очередь ЭДС фазы В отстаёт от ЭДС фазы А, называют системой прямой последовательности (рис. а). Если изменить направление вращения ротора генератора, то последовательность фаз изменится. Её называют системой обратной последовательности (рис. б).



а)



б)

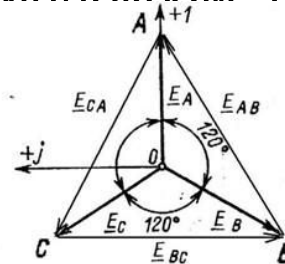
Трёхфазные электрические цепи

Мгновенные значения ЭДС источников различают на фазные $e(A)$, $e(B)$, $e(C)$ и линейные $e(AB)$, $e(BC)$, $e(CA)$. Между собой они связаны выражениями направлений в комплексном виде.

$$\underline{E}_{AB} = \underline{E}_A - \underline{E}_B \quad \underline{E}_{BC} = \underline{E}_B - \underline{E}_C$$
$$\underline{E}_{CA} = \underline{E}_C - \underline{E}_A$$

В соответствии с этими уравнениями построена векторная диаграмма фазных и линейных ЭДС генератора при соединении его фаз в звезду.

При построении диаграмм векторы линейных напряжений направляют противоположно индексам т.е. вектор E_{AB} будет направлен от B к A и т.д.



Трёхфазные электрические цепи

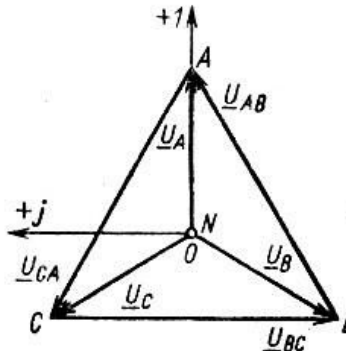
Напряжения генератора практически равны ЭДС:

$$\underline{E}_A = \underline{U}_A \quad \underline{E}_B = \underline{U}_B \quad \underline{E}_C = \underline{U}_C$$

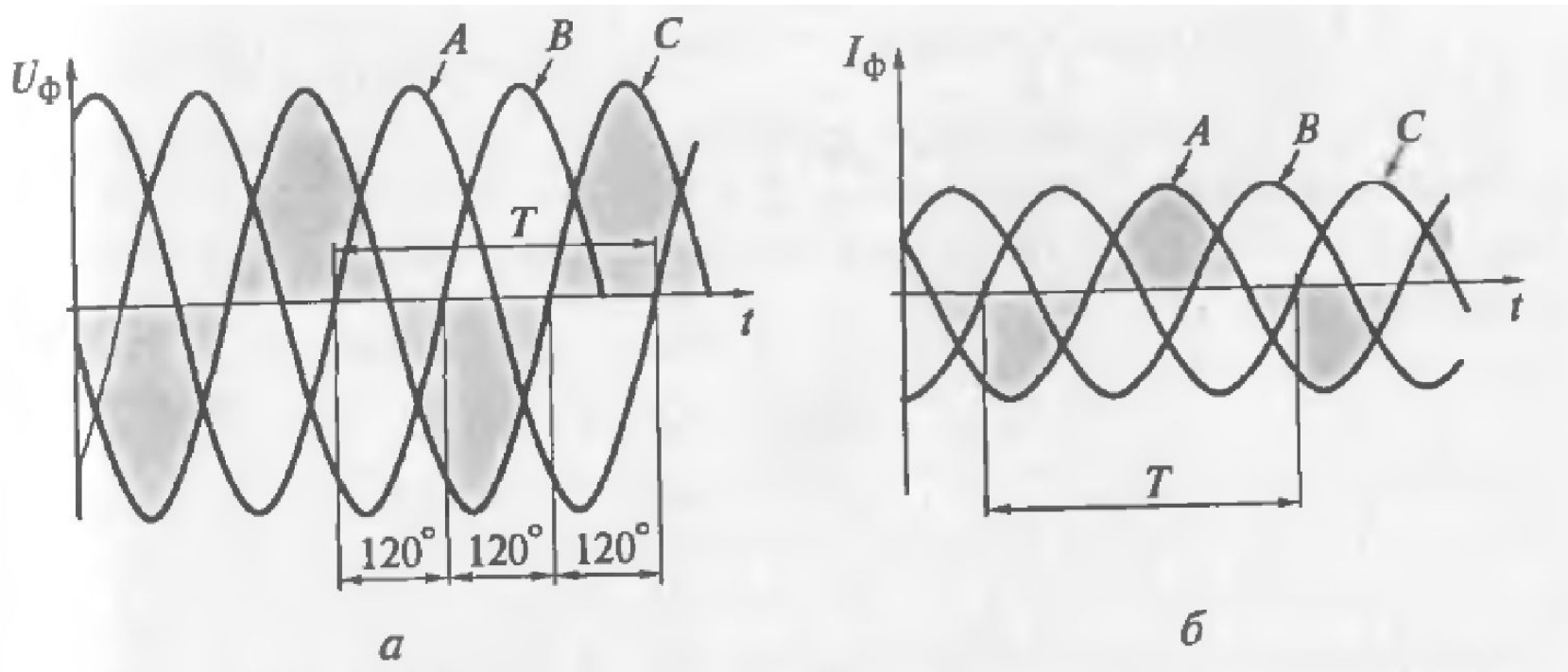
т.к. сопротивлениями обмоток статора можно пренебречь. Тогда комплексные значения линейных и фазных напряжений связаны между собой.

$$\underline{U}_{AB} = \underline{U}_A - \underline{U}_B \quad \underline{U}_{BC} = \underline{U}_B - \underline{U}_C$$
$$\underline{U}_{CA} = \underline{U}_C - \underline{U}_A$$

Эти уравнения позволяют определить линейные напряжения по известным фазным напряжениям. Данным уравнениям соответствует векторная диаграмма фазных и линейных напряжений источника при соединении его фаз звездой.



Напряжения и токи в трёхфазной цепи



Временные диаграммы:

а – фазных напряжений; б – фазных токов.

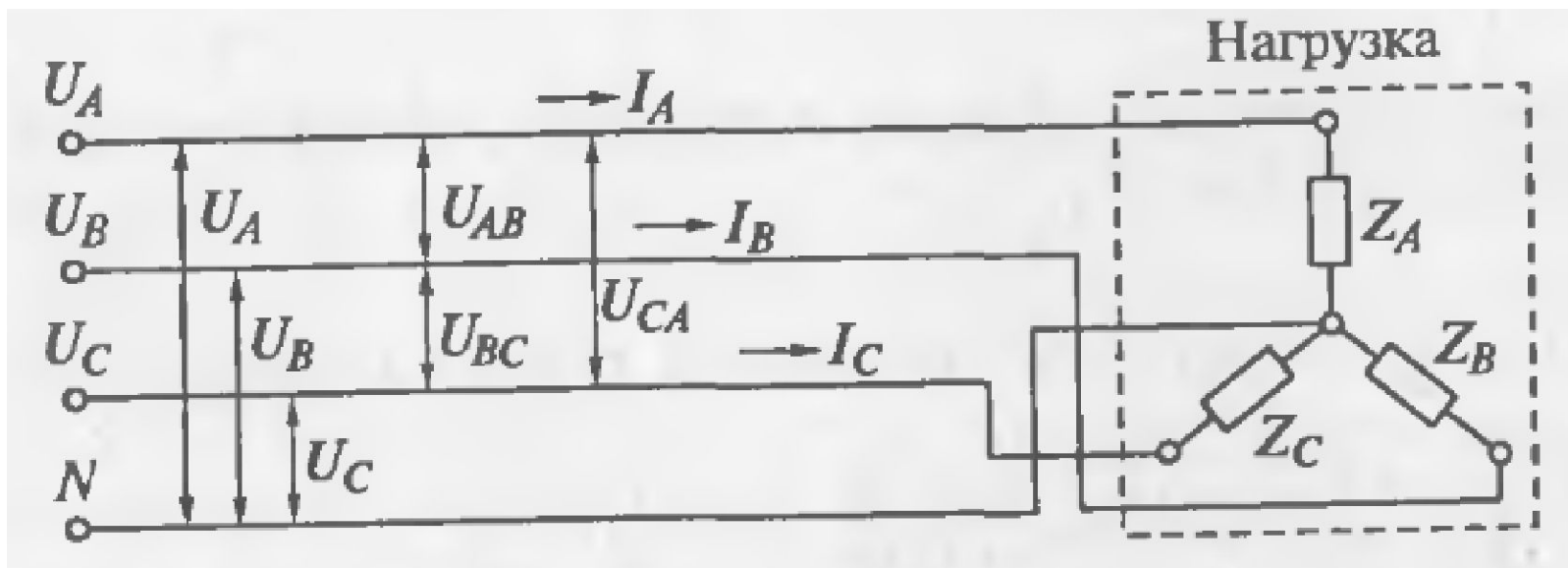
Напряжения и токи в трёхфазной цепи

$$U_{\text{л}} = \sqrt{3}U_{\text{ф}};$$

$$U_{\text{ф}} = U_{\text{л}}/\sqrt{3}.$$

$$U_A = U_B = U_C = U_{\text{ф}} = U_{\text{л}}/\sqrt{3};$$

$$I_A = I_B = I_C = I_{\text{ф}} = U_{\text{ф}}/Z_{\text{ф}}.$$



Мощность и энергия в трёхфазной цепи

$$P = 3U_{\phi}I_{\phi} \cos \varphi = \sqrt{3}U_{л}I_{л} \cos \varphi;$$

$$Q = 3U_{\phi}I_{\phi} \sin \varphi = \sqrt{3}U_{л}I_{л} \sin \varphi;$$

$$S = 3U_{\phi}I_{\phi} = \sqrt{3}U_{л}I_{л}.$$

$$\cos \varphi = R_{\phi}/Z_{\phi}.$$

$$P_{\Sigma} = P_1 + P_2 + P_3.$$

$$W_{\Sigma} = \int_{t_0}^{t_1} P_{\Sigma}(t)dt.$$

$$W_{\Sigma} = P_{\Sigma}(t)\Delta t.$$

Комплексные сопротивления

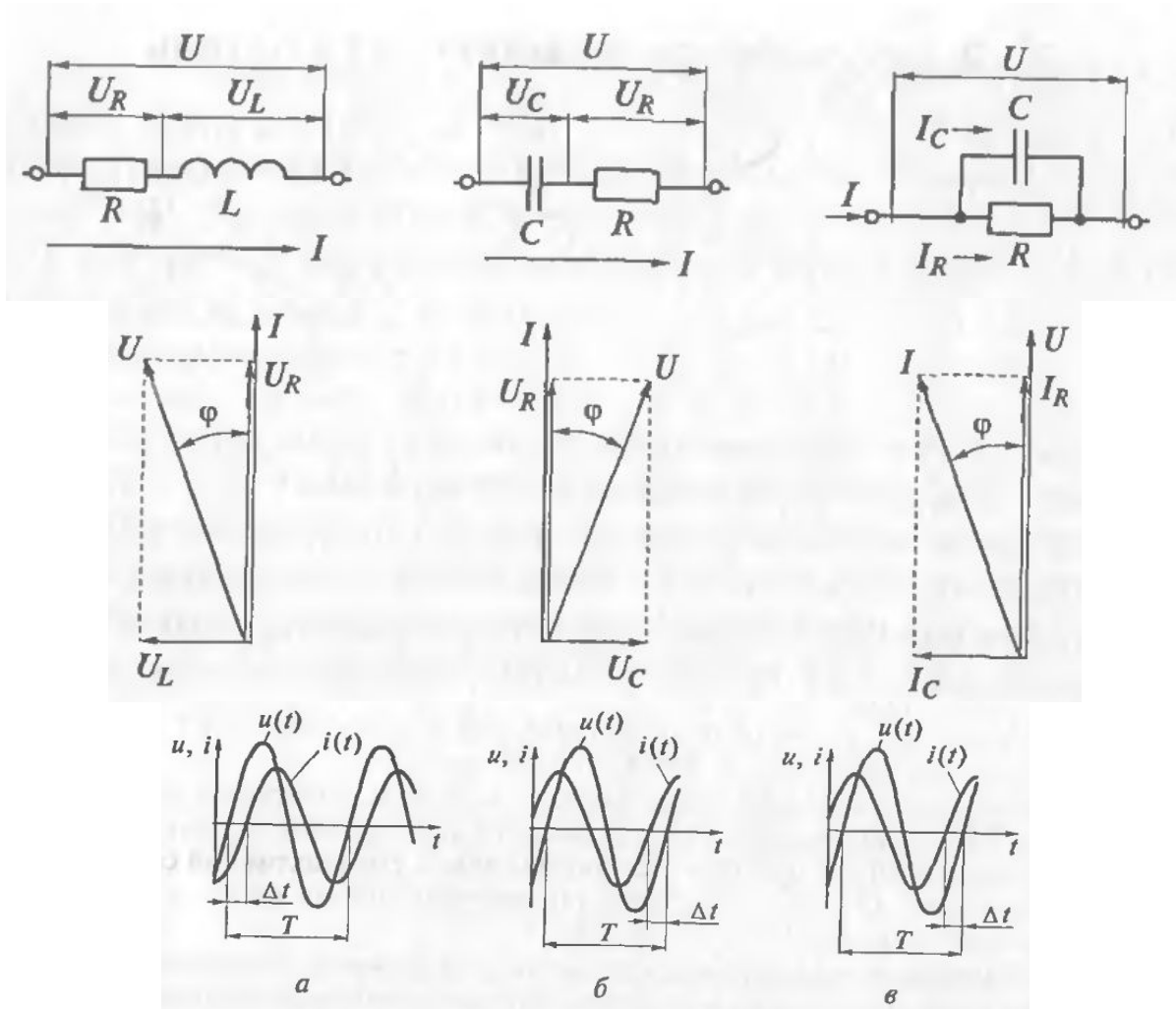


Графическое представление комплексной величины Z

$$Z = \underbrace{\text{Re}}_{\text{действительная часть}} + j \underbrace{\text{Im}}_{\text{мнимая часть}}$$
$$Z = \underbrace{R}_{\text{активная составляющая}} + j \underbrace{X}_{\text{реактивная составляющая}}$$

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2}$$

ФАЗОВЫЙ СДВИГ



Добротность и тангенс угла потерь

Для рисунков а и б добротность $Q = X/R$, а тангенс угла потерь $\operatorname{tg} \delta = 1/Q = R/X$.

Для рисунка в добротность $Q = R/X$, а тангенс угла потерь $\operatorname{tg} \delta = 1/Q = X/R$.

Параметрическое и функциональное представления

$$U = \sqrt{U_0^2 + U_1^2 + U_2^2 + \dots + U_n^2}$$

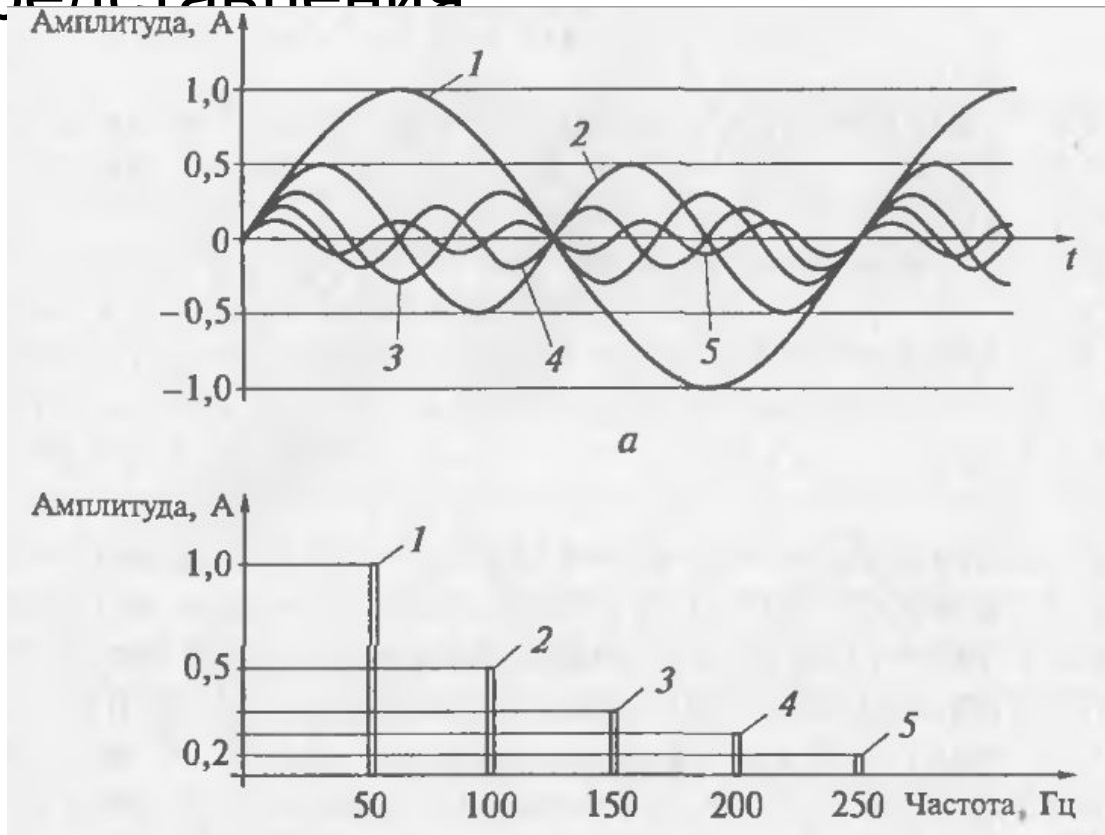


Рис. 2.15. Набор гармоник (а) и амплитудный спектр сигнала (б):
1 — первая гармоника (50 Гц); 2 — вторая гармоника (100 Гц); 3 — третья гармоника (150 Гц); 4 — четвертая гармоника (200 Гц); 5 — пятая гармоника (250 Гц)

Параметрическое и функциональное представление

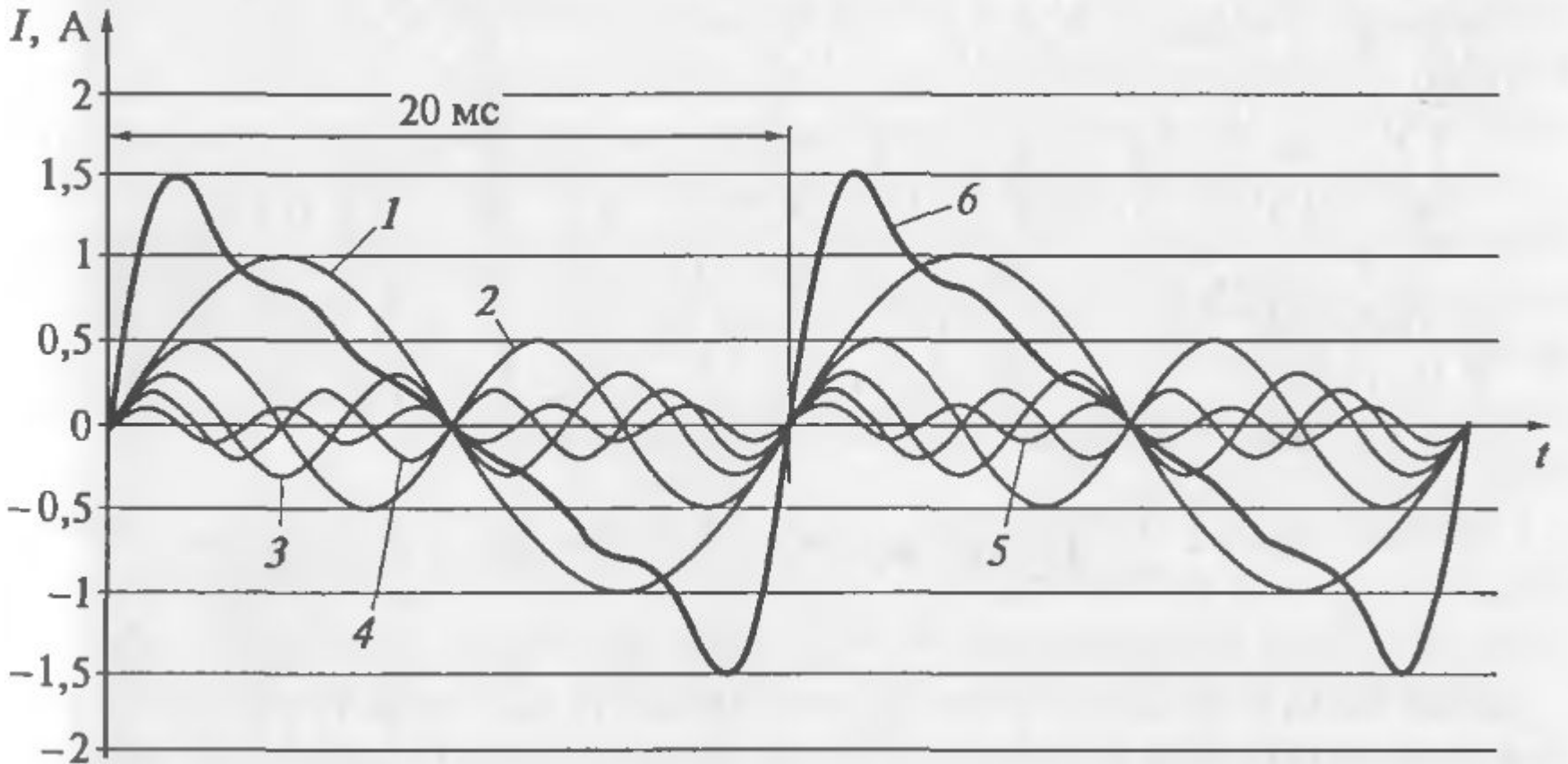


Рис. 2.16. Суммирование пяти гармоник

1 — первая (основная) гармоника частотой 50 Гц и амплитудой 1,0 А; 2 — вторая гармоника частотой 100 Гц и амплитудой 0,5 А; 3 — третья гармоника частотой 150 Гц и амплитудой 0,3 А; 4 — четвертая гармоника частотой 200 Гц и амплитудой 0,2 А; 5 — пятая гармоника частотой 250 Гц и амплитудой 0,1 А; 6 — сумма пяти гармоник

Параметрическое и функциональное представления

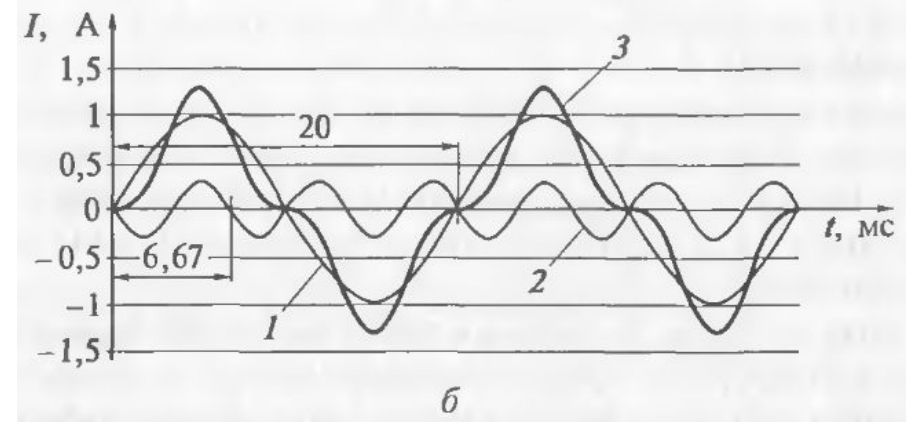
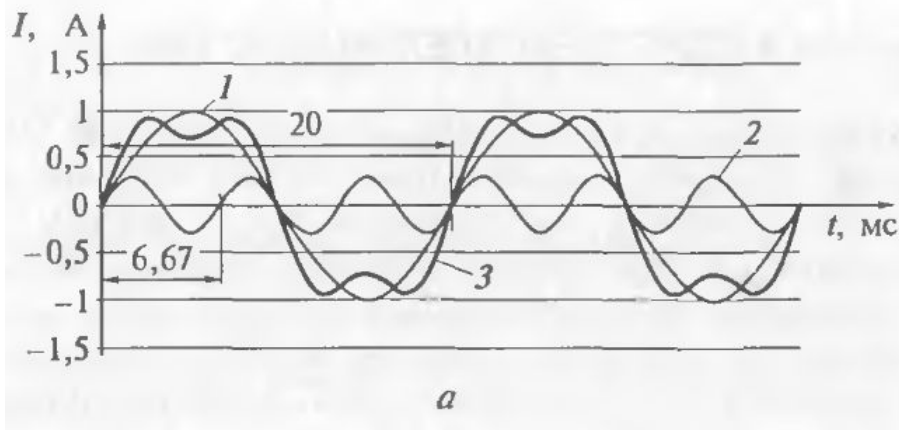


Рис. 2.17. Варианты (а и б) суммирования двух (первой и третьей) гармоник: 1 — первая (основная) гармоника частотой 50 Гц и амплитудой 1,0 А; 2 — третья гармоника частотой 150 Гц и амплитудой 0,3 А; 3 — сумма двух гармоник

Спасибо за внимание

Список использованных источников

В.А.Панфилов. Электрические измерения
// Учебник. Москва. – 2006.

<http://www.pptcloud.ru>

<http://eltechbook.ru>