

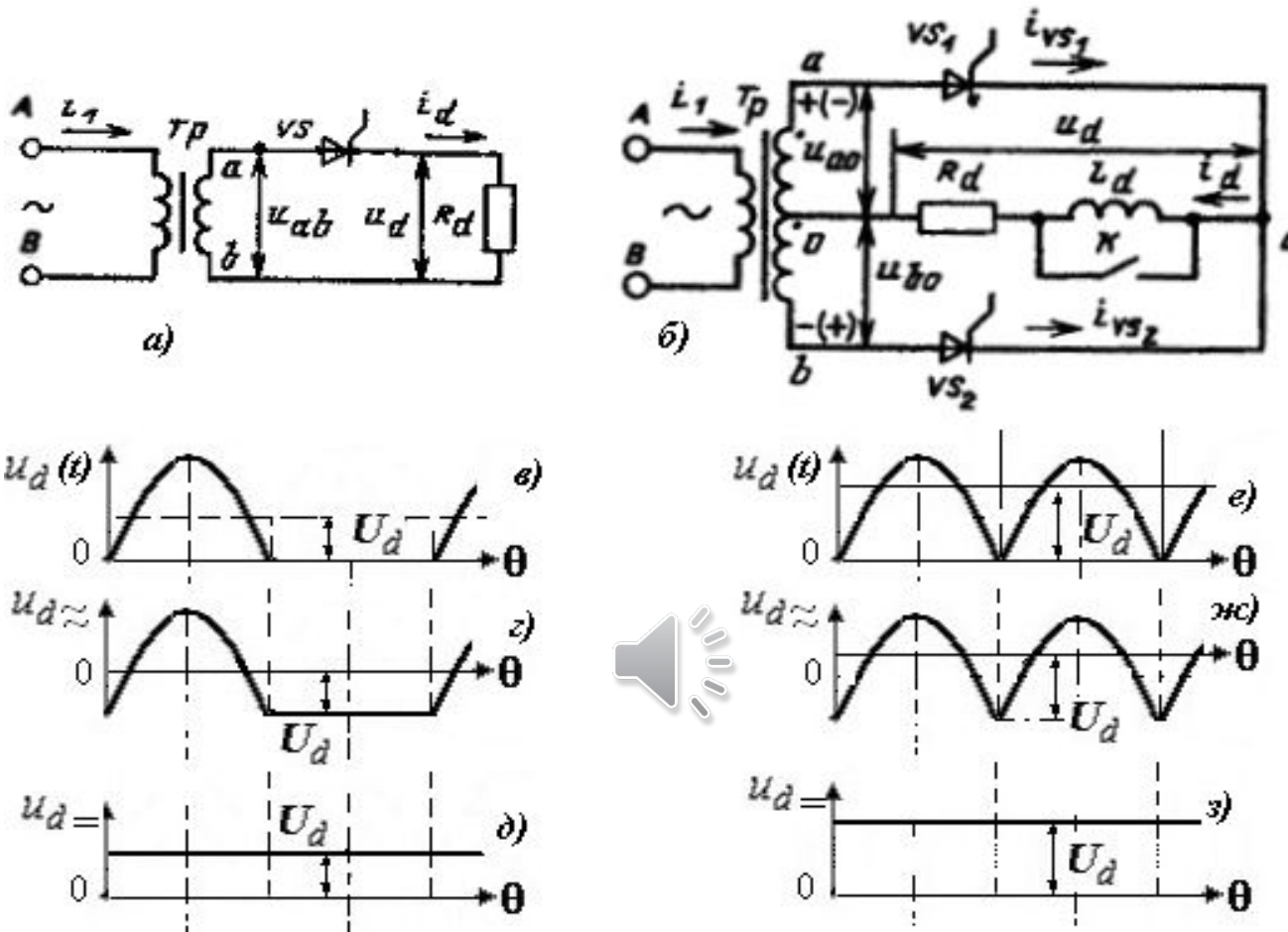


Тема 4

**Гармонический состав
напряжения и токов в схемах
выпрямления**



Понятие о гармониках тока и напряжения, спектре частот

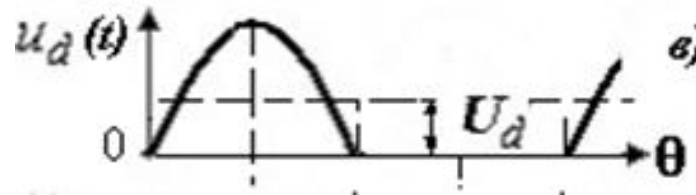


Форма напряжения U_d на нагрузке при различных схемах выпрямления

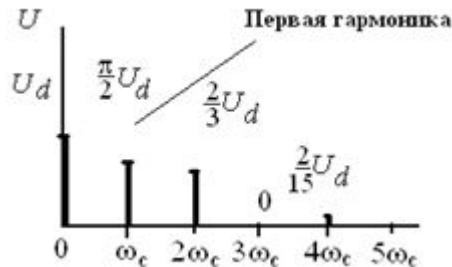
Понятие о законе (функции) Фурье для описывания формы напряжения

$$u_{\sim}(t, w_n, j_n) = \sum_{n=1}^{\infty} U_{nm} \cos(nm\omega t + \varphi_n)$$

где n – номер высшей гармоники; m – число пульсаций в выпрямленном напряжении за один период переменного напряжения *питающей сети*; w – угловая частота напряжения питающей сети; j_n – начальная фаза n -й гармоники.



$$u_d(t) = U_d + (U_d \pi/2) \cos \omega_c t + (U_d 2/3) \cos 2\omega_c t - (U_d 2/15) \cos 4\omega_c t + (U_d 2/35) \cos 6\omega_c t + \dots$$



Коэффициент пульсаций q (коэффициентом гармоник) : отношение амплитуды напряжения основной гармоники к среднему значению выпрямленного напряжения на нагрузке:

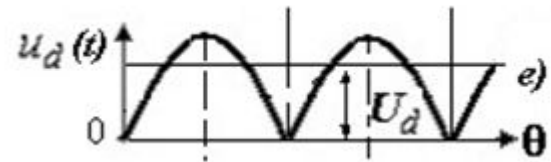
$$q' = \frac{U_{1\max}}{U_d}$$



Спектр частот напряжения при однополупериодном выпрямлении

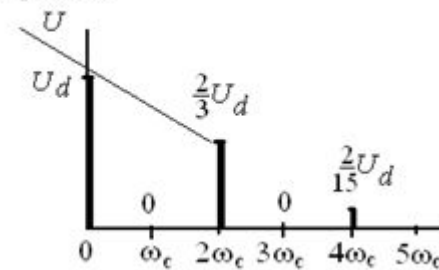
$$q' = U_d \pi / 2 U_d = 1,57$$

Двухполупериодная схема выпрямления



$$u_d(t) = U_d + U_d(2/3)\cos 2\omega_c t - U_d(2/15)\cos 4\omega_c t + U_d(2/35)\cos 6\omega_c t + \dots]$$

Первая гармоника

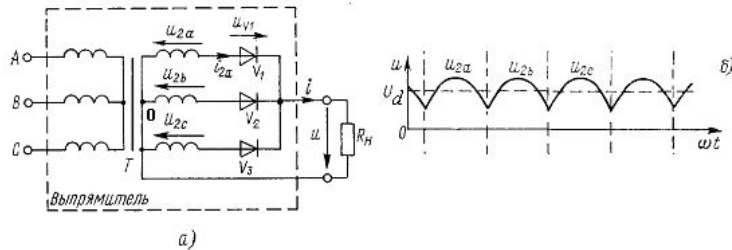


Спектр частот напряжения при двухполупериодном выпрямлении *Коэффициент пульсаций q*

$$q' = 2U_d/3U_d = 0,66$$

Трёхфазные схемы

Трёхфазная схема с выводом средней точки



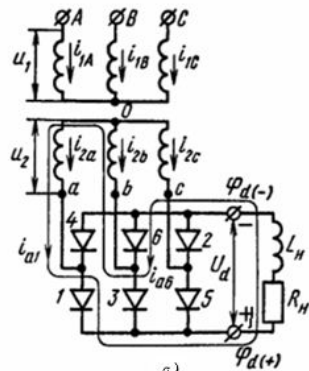
Коэффициент пульсаций q

$$q' = 1/16 = 0,0625$$

$$u_d(t) = U_d [1 + (1/16)\cos 3\omega_c t + (1/70)\cos 6\omega_c t + (1/160)\cos 9\omega_c t + \dots]$$



Трёхфазная мостовая схема



Коэффициент пульсаций q

$$q' = 2/35 = 0,057$$

$$u_d(t) = U_d [1 + (2/35)\cos 6\omega_c t - (2/141)\cos 12\omega_c t + (1/323)\cos 18\omega_c t + \dots]$$

Общие выводы

При частоте сети $f_c = 50$ Гц частота f_1 первой (основной) гармоники ($n = 1$) равна:

а) $f_1 = 100$ Гц для однофазной мостовой схемы ($m = 2$);

б) $f_1 = 150$ Гц для трехфазной схемы с нулевым выводом ($m = 3$);

в) $f_1 = 300$ Гц для трехфазной мостовой схемы ($m = 6$).



Амплитуда более высоких гармоник уменьшается по мере возрастания номера n . Наибольшую амплитуду имеет составляющая самой низкой частоты (основной гармоники) выпрямленного напряжения.

Амплитуда n -й гармоники напряжения для схем, работающих с углом управления $\alpha = 0$, определяется по соотношению:

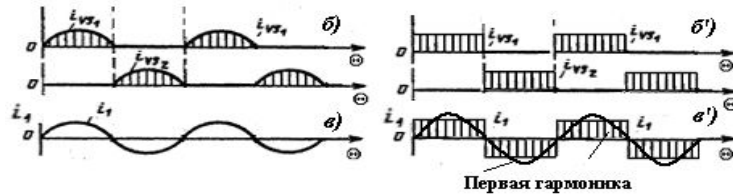
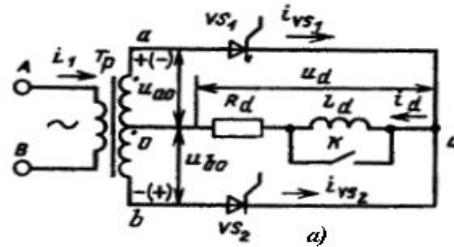
$$U_{nm} = 2U_{d0}/(n^2m^2 - 1),$$

где U_{d0} – среднее значение (потолочное значение) выпрямленного напряжения при $\alpha = 0$ (неуправляемый выпрямитель).

Наиболее важной для анализа является первая ($n = 1$) гармоника напряжения с максимально большой амплитудой при $\alpha = 0$:

$$U_{1m} = 2U_{d0}/(m^2 - 1).$$

Потребление высоких гармоник тока из питающей сети



Однофазный двухполупериодный выпрямитель при активной нагрузке и $\alpha = 0$ потребляет синусоидальный ток (б), а при активно-индуктивной нагрузке (при $\omega L \rightarrow \infty$) ток на нагрузке является постоянным, но в первичной обмотке $i_1(t)$ имеет прямоугольную форму (в) и может быть представлен в виде суммы гармонических составляющих (постоянная составляющая тока отсутствует):

$$i_1(t) = (4I_d / \pi K_T) [\sin \omega t + (1/3) \sin 3\omega t + (1/5) \sin 5\omega t \dots + (1/n) \sin n\omega t],$$

где K_T – коэффициент трансформации трансформатора; первое слагаемое относится к первой гармонике, последующие – к высшим.

Амплитуда первой гармоники максимальна и равна $I_{1\max} = 4I_d / \pi K_T$; амплитуды последующих гармоник убывают: $I_{nm} = I_{1\max} / n$.

Пример 2

Рассчитаем значения амплитуды первой гармоники пульсации выпрямленного напряжения в однофазной двухполупериодной схеме, работающей на активно-индуктивную нагрузку при средних значениях выпрямленного напряжения $U_{d0} = 110 \text{ В}$ ($\alpha = 0$); $U_{d1} = 60 \text{ В}$ (α_1); $U_{d2} = 30 \text{ В}$ (α_2).

При активно-индуктивной нагрузке потолочное значение напряжения U_{d0} и среднее напряжение при произвольном угле α связаны соотношением: $U_{da} = U_{d0} \cos \alpha$. Следовательно, определим углы α_1 и α_2 : $\alpha_i = \arccos U_{di} / U_{d0}$; $\alpha_1 = 57^\circ$; $\alpha_2 = 74^\circ$.

С учетом того, что $m = 2$, используя соотношения (определим амплитудные значения напряжения первых гармоник ($n = 1$) при соответствующих углах управления:

При $\alpha = 0$: $n = 1$; $U_{1m0} = 2U_{d0} / (1^2 m^2 - 1)$; $U_{1m0} = 73 \text{ В}$;

При $\alpha_1 = 57^\circ$: $n = 1$; $U_{1m1} = U_{d0} \frac{2}{1^2 m^2 - 1} \cos \alpha_1 \sqrt{1 + m^2 1^2 \operatorname{tg}^2 \alpha_1}$ $U_{1m0} = 129$

В

При $\alpha_1 = 74^\circ$:

$$U_{1m2} = U_{d0} \frac{2}{1^2 m^2 - 1} \cos \alpha_2 \sqrt{1 + m^2 1^2 \operatorname{tg}^2 \alpha_2}$$

$U_{1m0} = 142$

В

Влияние гармоник на сети и оборудование

- **СМ. ГЛАВА 13. ВЛИЯНИЕ ГАРМОНИК И СПОСОБЫ УЛУЧШЕНИЯ ФОРМЫ ВЫХОДНОГО НАПРЯЖЕНИЯ**