

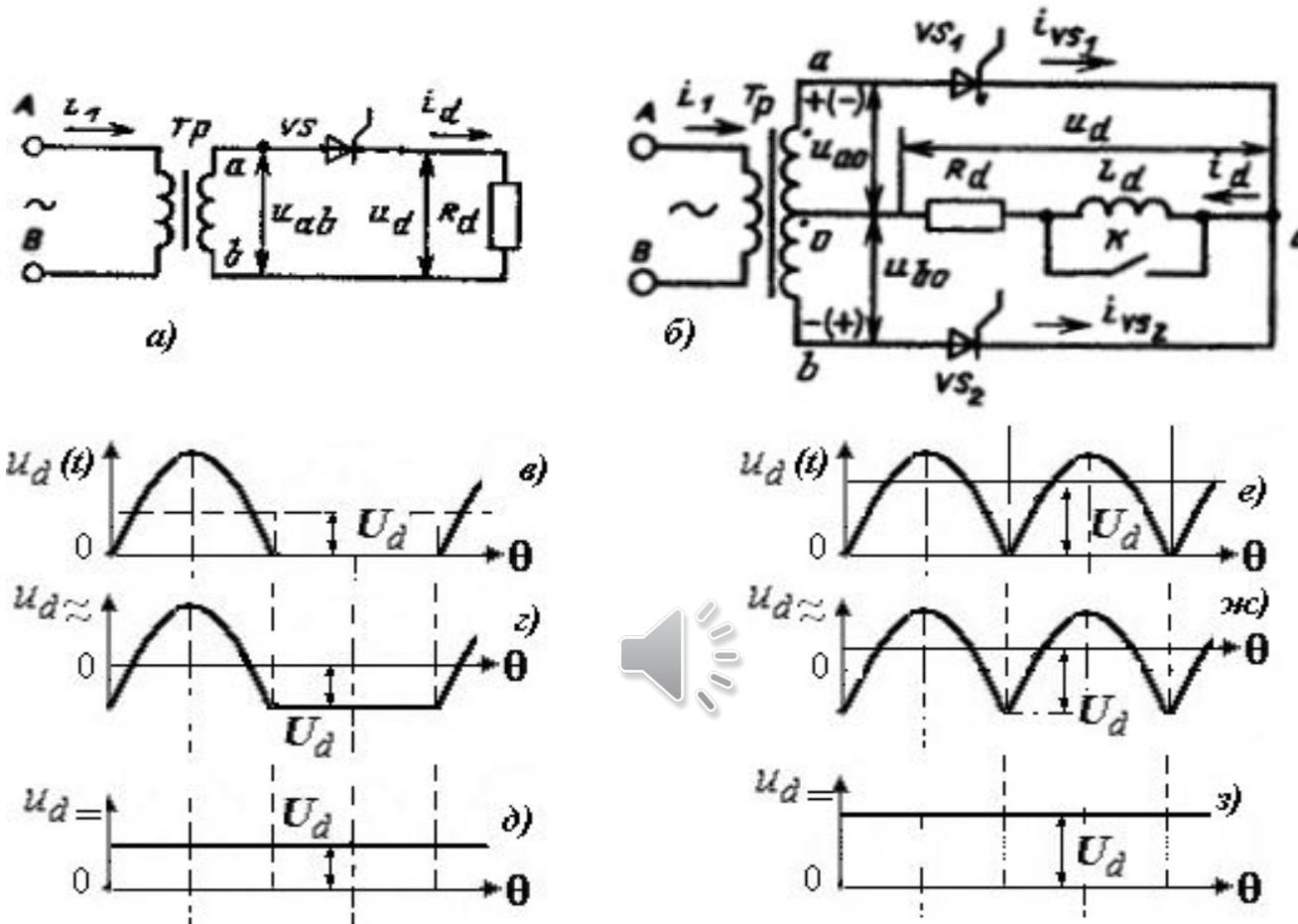


# Тема 4

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



# Понятие о гармониках тока и напряжения, спектре частот

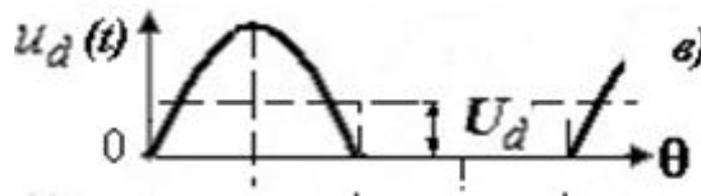


Форма напряжения  $U_d$  на нагрузке при различных схемах выпрямления

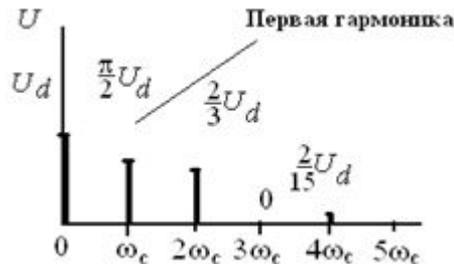
# Понятие о законе (функции) Фурье для описывания формы напряжения

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

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:

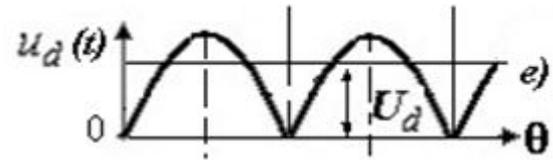


$$q' = \frac{U_{1\max}}{U_d}$$

Спектр частот напряжения при однополупериодном выпрямлении

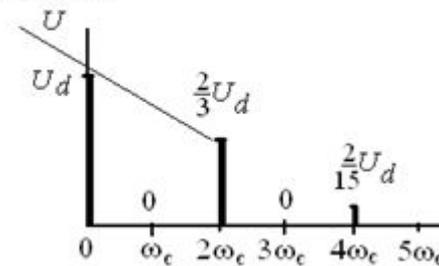
$$q' = U_d \pi / 2 U_d = 1,57$$

# 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

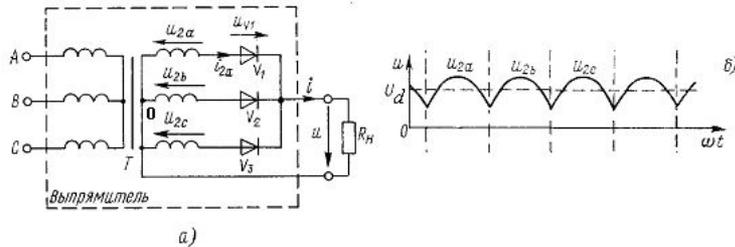


Спектр частот напряжения при двухполупериодном выпрямлении Коэффициент пульсаций  $q$

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

# Трёхфазные схемы

Трёхфазная схема с выводом средней точки



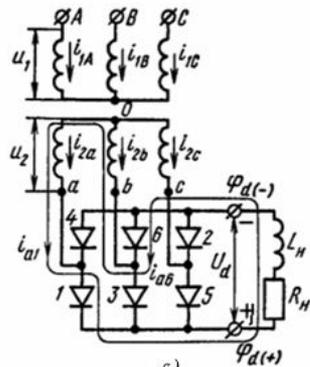
Коэффициент пульсаций  $q$

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

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



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  $\alpha = 0$ :

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



## Пример 2

Рассчитаем значения амплитуды первой гармоники пульсации выпрямленного напряжения в однофазной двухполупериодной схеме, работающей на активно-индуктивную нагрузку при средних значениях выпрямленного напряжения  $U_{d0} = 110 \text{ В}$  ( $\alpha = 0$ );  $U_{d1} = 60 \text{ В}$  ( $\alpha_1$ );  $U_{d2} = 30 \text{ В}$  ( $\alpha_2$ ).

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

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**