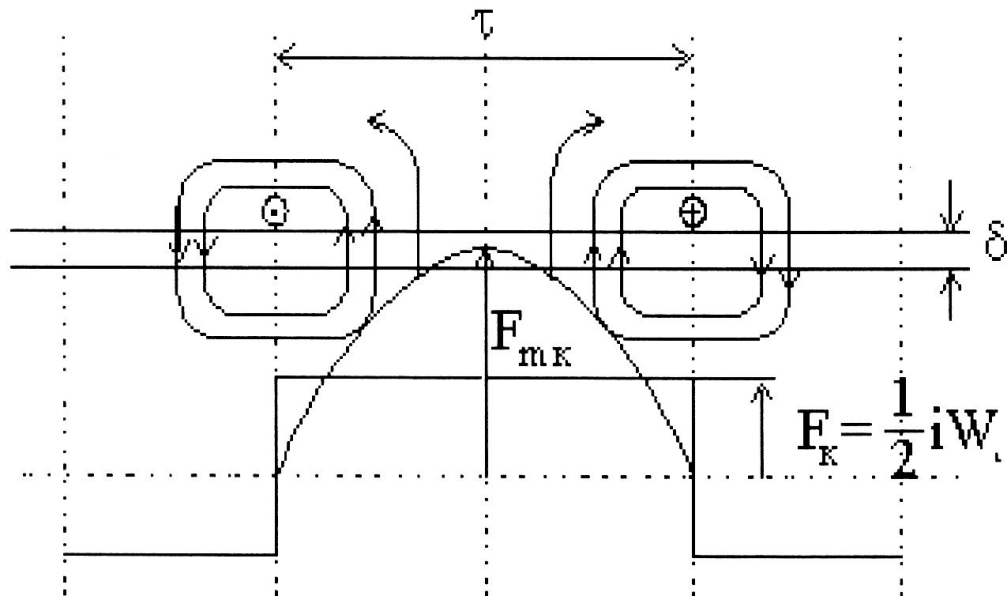


Намагничивающая сила одно фазной обмотки



$$F_k = \frac{1}{2} i W_k = \frac{1}{2} I \sqrt{2} \cdot \sin \omega t \cdot W_k \cdot \quad \text{Максимум} \quad F_k = \frac{\sqrt{2}}{2} I \cdot W_k$$

Первая пространственная гармоника $F_{mk} = \frac{4}{\pi} F_k$;

$$F_{mk} = \frac{4}{\pi} \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} I \cdot W_k = 0,9 \cdot I \cdot W_k$$

Амплитуда намагничивающей силы катушечной группы однослойной обмотки

$$F_{mq_1} = 0,9 \cdot I \cdot W_k q K_p$$

Амплитуда намагничивающей силы катушечной группы двухслойной обмотки с укороченным шагом

$$F_{mq_1} = 0,9 \cdot I \cdot W_k 2q K_p K_y = 0,9 \cdot I \cdot W_k 2q K_0$$

Намагничивающая сила фазы для двухслойной обмотки

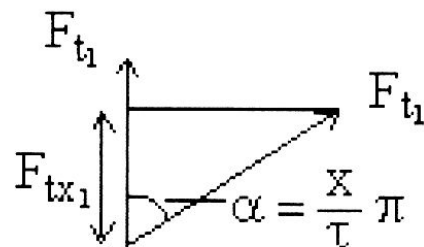
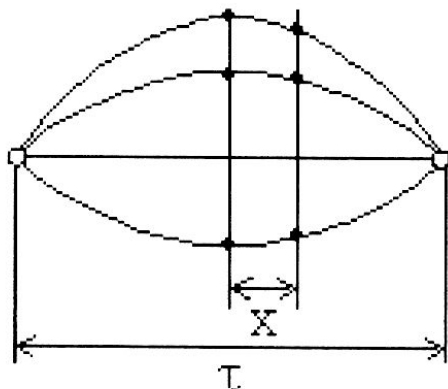
$$F = 2P \cdot 0,9 \cdot I \cdot W_k \cdot 2q \cdot K_0 = 1,8 \cdot I \cdot \underbrace{2P \cdot W_k}_{W} \cdot q \cdot K_0 = 1,8 \cdot I \cdot W \cdot K_0$$

Чаще используют амплитуду на один полюс

$$F_{m_1} = \frac{1,8 \cdot I \cdot W \cdot K_0}{2P} = 0,9 \cdot I \frac{W \cdot K}{P}$$

или

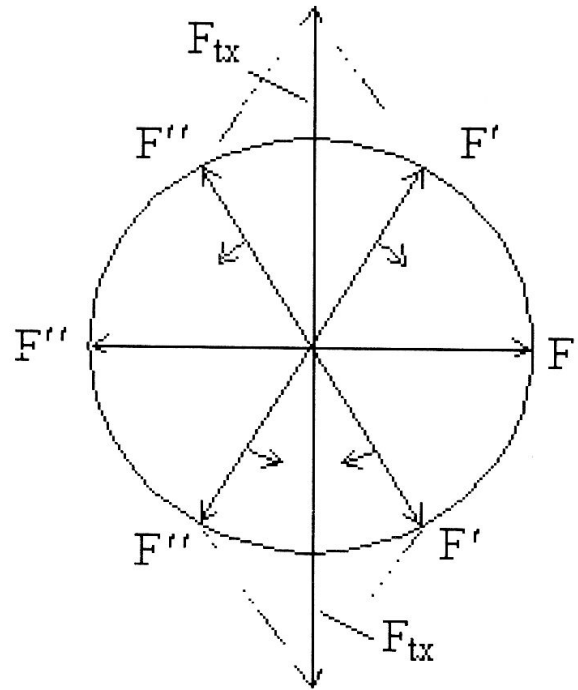
$$F_{m_1} = 0,9 \cdot I \frac{W \cdot K_0}{P}$$



Для оси фазы $F_{t_1} = F_{m_1} \cdot \text{Sin}\omega t$

Намагничивающая сила E в любой момент времени и в любой точке пространства определится:

$$F_{tx_1} = F_{t_1} \cdot \text{Cos} \frac{x}{\tau} \pi, \text{ или } F_{tx_1} = F_{m_1} \cdot \text{Sin}\omega t \cdot \text{Cos} \frac{x}{\tau} \pi$$



Это выражение пульсирующей волны намагничивающей силы фазы. Более удобно иметь дело с вращающейся намагничивающей силой, но с постоянной амплитудой. Заменяем пульсирующую н.с. двумя бегущими волнами, используя тригонометрическую формулу:

$$\sin\alpha + \sin\beta = 2\sin\frac{\alpha + \beta}{2}\cos\frac{\alpha - \beta}{2}, \text{ отсюда}$$

$$\sin \frac{\alpha + \beta}{2} \cos \frac{\alpha - \beta}{2} = \frac{1}{2} \sin \alpha + \frac{1}{2} \sin \beta, \text{ тогда}$$

$$F_{tx_1} = \underbrace{\frac{1}{2} F_m \cdot \sin \left(\omega t - \frac{x}{\tau} \pi \right)}_{F'} + \underbrace{\frac{1}{2} F_m \cdot \sin \left(\omega t + \frac{x}{\tau} \pi \right)}_{F''}$$

F' - прямая волна, F'' - обратная волна,

Представим графически, что пульсирующая волна равна сумме двух бегущих волн в разные стороны с постоянной амплитудой. Условием бегущей волны является постоянство аргумента при синусе, т.е. для прямой волны

$$\omega t - \frac{x}{\tau} \pi = C, \text{ продифференцируем } \omega - \frac{\pi}{\tau} \cdot \frac{dx}{dt} = 0, \quad \omega = \frac{\pi}{\tau} \cdot \underbrace{\frac{dx}{dt}}_{V'}$$

$$V' = \frac{\omega \tau}{\pi} = \frac{2\pi \cdot f \cdot \tau}{\pi} = 2f \cdot \tau, \quad \text{число оборотов } n_1 = \frac{V'}{2P \cdot \tau} = \frac{2f \cdot \tau}{2P \cdot \tau} = \frac{f}{P},$$

об/сек
в минуту $n_1 = \frac{60f}{P}$.

Для обратной волны $V'' = -2f \cdot \tau$, $n_1 = -\frac{60f}{P}$.

Намагничивающая сила трех фазной обмотки

Запишем намагничивающие силы для трех фаз в виде пульсирующих волн, а затем разложим их на прямую и обратную волну, затем их сложим, то получим намагничивающую силу трехфазной обмотки

$$F_{Atx_1} = F_m \cdot \text{Sin}\omega t \cdot \text{Cos}\frac{x}{\tau}\pi = \frac{1}{2}F_m \text{Sin}\left(\omega t - \frac{x}{\tau}\pi\right) + \frac{1}{2}F_m \text{Sin}\left(\omega t + \frac{x}{\tau}\pi\right)$$

$$\begin{aligned} F_{Btx_1} &= F_m \cdot \text{Sin}\left(\omega t - \frac{2}{3}\pi\right) \cdot \text{Cos}\left(\frac{x}{\tau}\pi - \frac{2}{3}\pi\right) = \\ &= \frac{1}{2}F_m \text{Sin}\left(\omega t - \frac{x}{\tau}\pi\right) + \frac{1}{2}F_m \text{Sin}\left(\omega t + \frac{x}{\tau}\pi - \frac{4}{3}\pi\right) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_{Ctx_1} &= F_m \cdot \text{Sin}\left(\omega t - \frac{4}{3}\pi\right) \cdot \text{Cos}\left(\frac{x}{\tau}\pi - \frac{4}{3}\pi\right) = \\ &= \frac{1}{2}F_m \text{Sin}\left(\omega t - \frac{x}{\tau}\pi\right) + \frac{1}{2}F_m \text{Sin}\left(\omega t + \frac{x}{\tau}\pi - \frac{2}{3}\pi\right) \end{aligned}$$

сложив прямые волны получим.

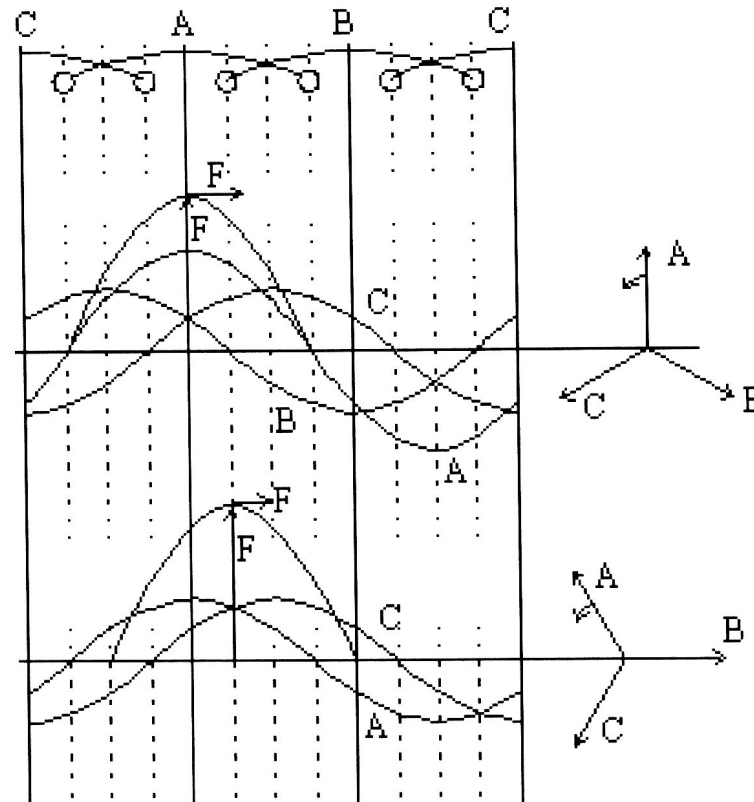
$$F_{tx(3)} = \frac{3}{R} F_m \cdot \text{Sin}\left(\omega t - \frac{x}{\tau} \pi\right) + 0,$$

сумма обратных волн равна 0, т.к. сдвиг на $\frac{2}{3}\pi$ и $\frac{4}{3}\pi$

Намагничивающая сила трехфазной обмотки есть сумма прямых волн, что это бегущая волна, которая двигается вдоль зазора с синхронной скоростью и с постоянной амплитудой. Эта н.с. создает вращающееся магнитное поле, которое движется вдоль зазора с синхронной скоростью и постоянной амплитудой.

Намагничивающие силы высших гармоник

$$F_m \nu = 0,9 \frac{WK_0 \nu}{\nu P}$$



Высшие гармоники намагничивающих сил однофазной обмотки

Пульсирующая волна

$$F_{tx} v = F_m v \sin \omega t \cos \frac{v x}{\tau} \pi,$$

разложим на две бегущие волны

$$F_{tx} v = \frac{1}{2} F_m v \sin \left(\omega t - \frac{v x}{\tau} \pi \right) + \frac{1}{2} F_m v \sin \left(\omega t + \frac{v x}{\tau} \pi \right)$$

Здесь тоже будет прямая и обратная волна.

Скорость прямой волны

$$\omega t - \frac{v x}{\tau} \pi = c, \quad \omega = \frac{v \pi}{\tau} \left(\frac{dx}{dt} \right)^{v'}; \quad v' = \frac{\omega \tau}{v \pi} = \frac{2 \pi f \tau}{v \pi} = \frac{2 f \tau}{v}; \quad n'_v = \frac{2 f \tau}{v 2 P \tau} = \frac{f}{v P}$$

$$n'_v = \frac{60 f_1}{P v} = \frac{n_1}{v}$$

Скорость обратной волны

$$n_v'' = -\frac{n_1}{v}$$

т.е. скорость н.с. v гармоники в v раз меньше основной гармоники.

Высшие гармоники намагничивающих сил трехфазной обмотки

Если намагничивающие силы высших гармоник трех фаз разложить на прямую и обратную волну, а затем их сложить, то будет видно, что высшие гармоники н.с. будут вести себя по-разному.

$$F_{Atx} v = F_m v \sin \omega t \cos \frac{vx}{\tau} \pi$$

$$F_{Btx} v = F_m v \sin \left(\omega t - \frac{2}{3} \pi \right) \cos \left(\frac{vx}{\tau} \pi - v \frac{2}{3} \pi \right)$$

$$F_{Ctx} v = F_m v \sin \left(\omega t - \frac{4}{3} \pi \right) \cos \left(\frac{vx}{\tau} \pi - v \frac{2}{3} \pi \right)$$

1. Гармоники четные исчезнут, т.к. гармоники симметричны оси абсцисс.

2. Гармоники кратные 3-м выпадут. $\nu = 3$, т.к. $\text{Cos}\frac{\nu x}{\tau}\pi$ - для всех трех фаз будет иметь cos одного и того же угла, а сумма же амплитуд сдвинутых на угол $\frac{2}{3}\pi$ и $\frac{4}{3}\pi$ с одинаковыми амплитудами равна нулю.

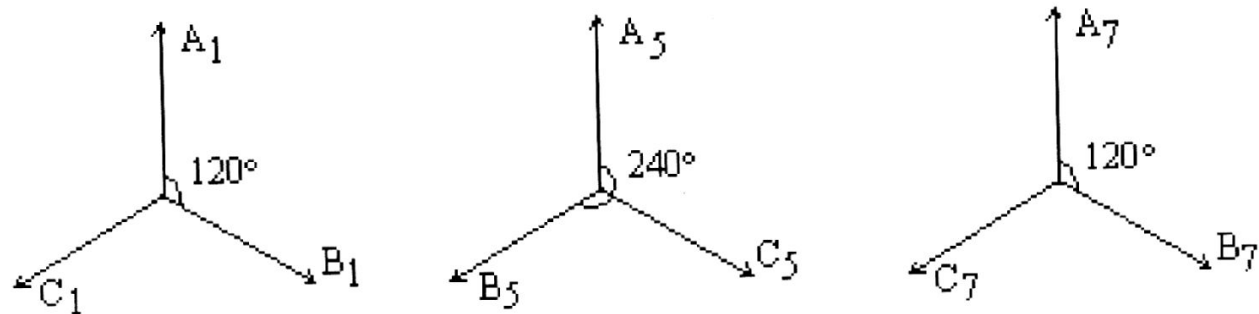
Другие гармоники будут вести себя по разному, одни будут вращаться в одну сторону, другие в другую при одном чередовании фаз.

Гармоники порядка $\nu = 6a - 1$, где $a = 1, 2, 3$. $\nu = 5, 11, 17 \dots$ которым соответствует выражение

$$F_{tx} \nu = \frac{3}{2} F_m \nu \text{Sin}\left(\omega t + \frac{\nu x}{\tau} \pi\right)$$

Эти гармоники будут вращаться в обратную сторону по отношению к н.с. первой гармоники.

Посмотрим чередование фаз.



Для первой гармоники	$A_5 - B_5 = 120 \cdot 5 = 600 = 360 + 240^\circ$	$A_7 - B_7 = 120 \cdot 7 = 840 = 2 \cdot 360 + 120^\circ$
$A_1 - B_1 = 120^\circ$	обратное чередование фаз	прямое чередование фаз

Гармоники порядка $\nu = 6a + 1$, $\nu = 7, 13, 19$ будут вращаться в сторону первой гармоники.