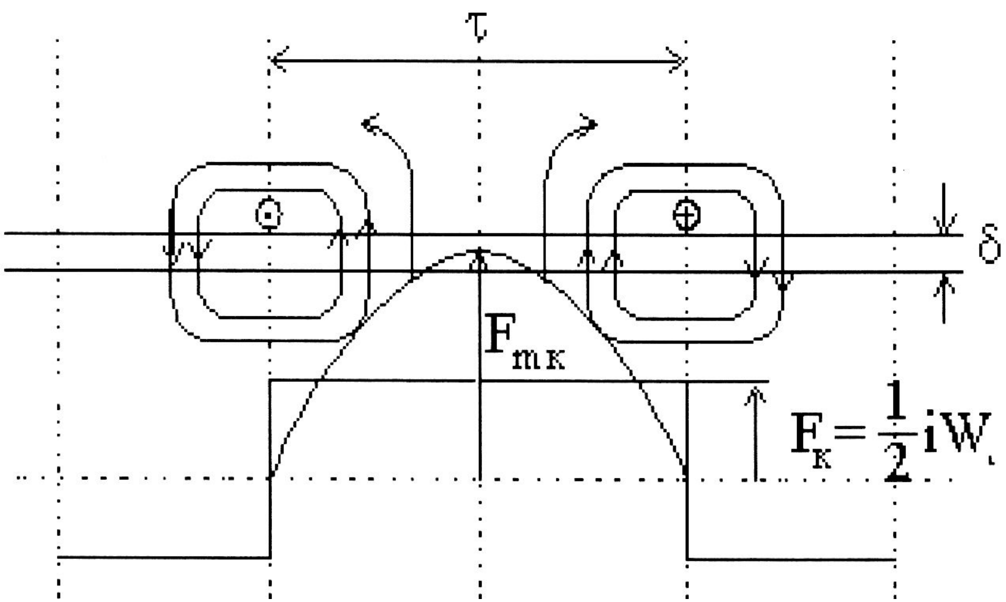
Намагничивающая сила одно фазной обмотки



$$F_k = \frac{1}{2} iW_k = \frac{1}{2} I\sqrt{2} \cdot Sin\omega t \cdot W_k \,.$$

Максимум $F_k = \frac{\sqrt{2}}{2} I \cdot W_k$

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

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

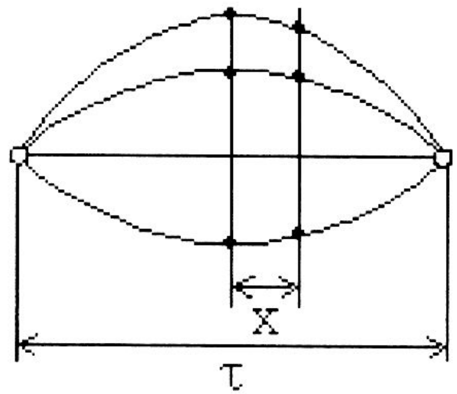
Намагничивающая сила фазы для двухслойной обмотки

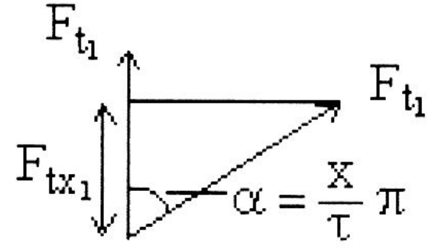
$$F = 2P \cdot 0{,}9 \cdot I \cdot W_k \cdot 2q \cdot K_0 = 1{,}8 \cdot I \cdot \underbrace{2P \cdot W_k}_{W} \cdot q \cdot K_0 = 1{,}8 \cdot I \cdot W \cdot K_0$$

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

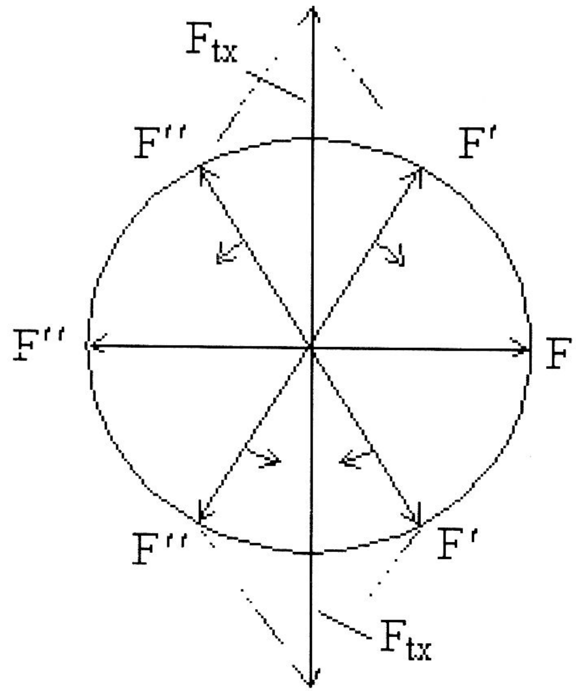




Для оси фазы $F_{t_1} = F_{m_1} \cdot Sin\omega t$

Намагничивающая сила Е в любой момент времени и в любой точке пространства определиться:

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



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

$$Sin\alpha + Sin\beta = 2Sin\frac{\alpha+\beta}{2}Cos\frac{\alpha-\beta}{2},$$ отсюда

$$Sin\frac{\alpha+\beta}{2}Cos\frac{\alpha-\beta}{2}=\frac{1}{2}Sin\alpha+\frac{1}{2}Sin\beta$$, 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

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

$V'=\frac{\omega\tau}{\pi}=\frac{2\pi\cdot f\cdot\tau}{\pi}=2f\cdot\tau$, 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

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

$$F_{Btx_1} = F_m \cdot Sin\left(\omega t - \frac{2}{3}\pi\right) \cdot Cos\left(\frac{x}{\tau}\pi - \frac{2}{3}\pi\right) =$$

$$= \frac{1}{2}F_m Sin\left(\omega t - \frac{x}{\tau}\pi\right) + \frac{1}{2}F_m Sin\left(\omega t + \frac{x}{\tau}\pi - \frac{4}{3}\pi\right)$$

$$F_{Ctx_1} = F_m \cdot Sin\left(\omega t - \frac{4}{3}\pi\right) \cdot Cos\left(\frac{x}{\tau}\pi - \frac{4}{3}\pi\right) =$$

$$= \frac{1}{2}F_m Sin\left(\omega t - \frac{x}{\tau}\pi\right) + \frac{1}{2}F_m Sin\left(\omega t + \frac{x}{\tau}\pi - \frac{2}{3}\pi\right)$$

сложив прямые волны получим.

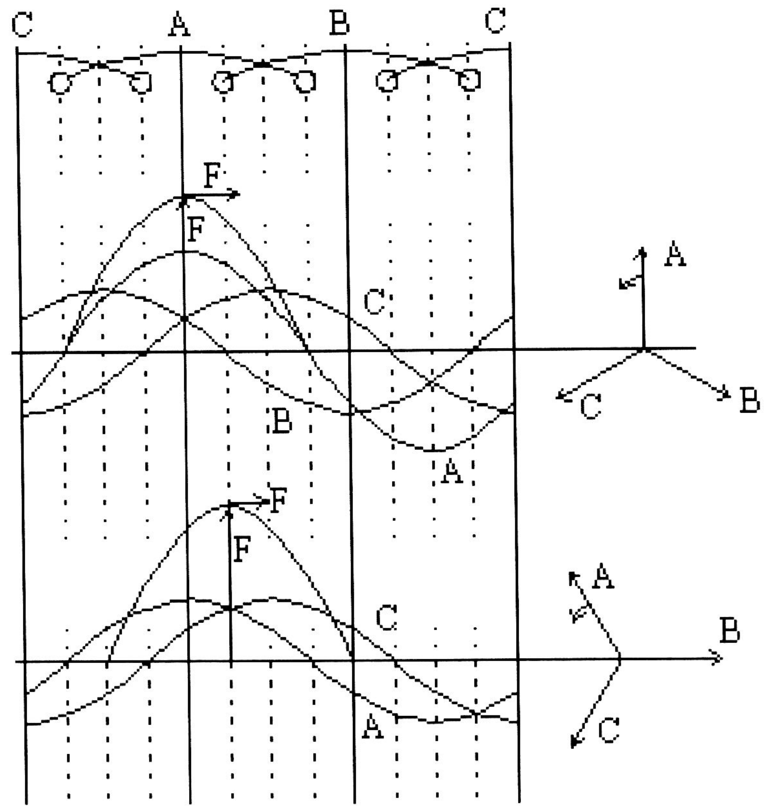
$$\boxed{F_{tx(3)} = \frac{3}{R} F_m \cdot Sin\left(\omega t - \frac{x}{\tau}\pi \right)} + 0,$$

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

$$F_{tx}\nu = F_m \nu Sin\omega t Cos\frac{\nu x}{\tau}\pi ,$$

разложим на две бегущие волны

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

Здесь тоже будет прямая и обратная волна.

Скорость прямой волны

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

$$n'_\nu = \frac{60 f_1}{P\nu} = \frac{n_1}{\nu}$$

Скорость обратной волны

$$n''_\nu = -\frac{n_1}{\nu}$$

т.е. скорость н.с. ν гармоники в ν 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.

$$F_{Atx}\nu = F_m\nu Sin\omega t Cos\frac{\nu x}{\tau}\pi$$

$$F_{Btx}\nu = F_m\nu Sin\left(\omega t - \frac{2}{3}\pi\right)Cos\left(\frac{\nu x}{\tau}\pi - \nu\frac{2}{3}\pi\right)$$

$$F_{Ctx}\nu = F_m\nu Sin\left(\omega t - \frac{4}{3}\pi\right)Cos\left(\frac{\nu x}{\tau}\pi - \nu\frac{2}{3}\pi\right)$$

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

2. Гармоники кратные 3-м выпадут. $\nu = 3$, т.к. $Cos\frac{\nu x}{\tau}\pi$ - 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.

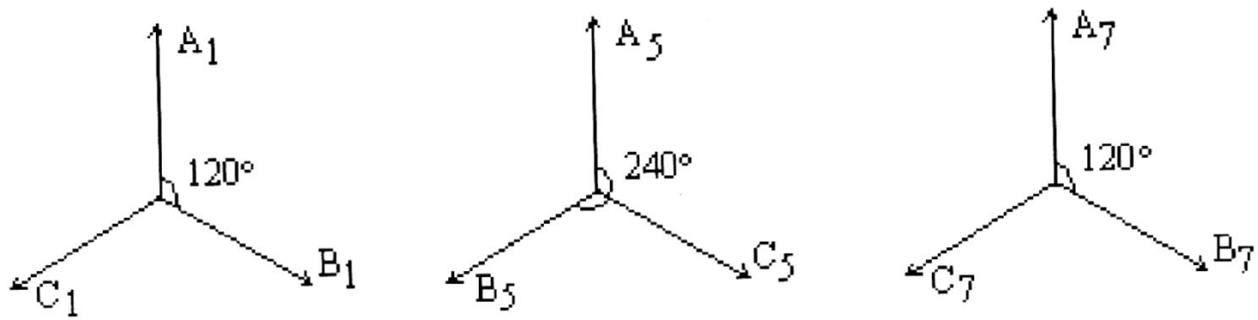
Другие гармоники будут вести себя по разному, одни будут вращаться в одну сторону, другие в другую при одном чередовании фаз.

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

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

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

Посмотрим чередование фаз.



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

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