

АЭП переменного тока на базе АД с КЗР

Скалярные АЭП

Законы частотного управления

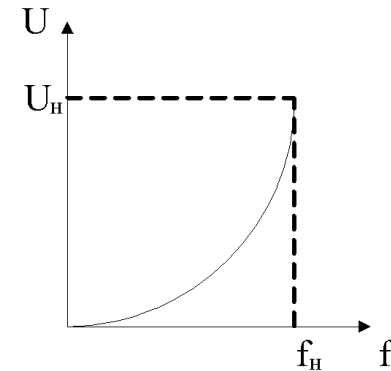
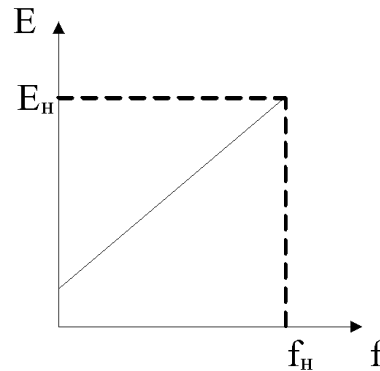
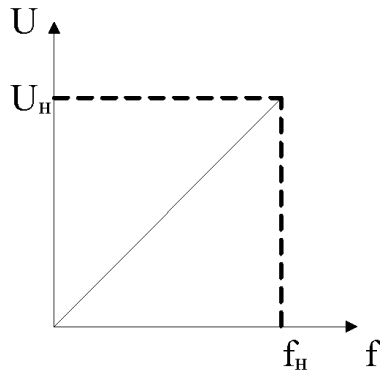
- Параметрическое скалярное управление

$$Д < 20$$

$$\frac{U}{f} = const,$$

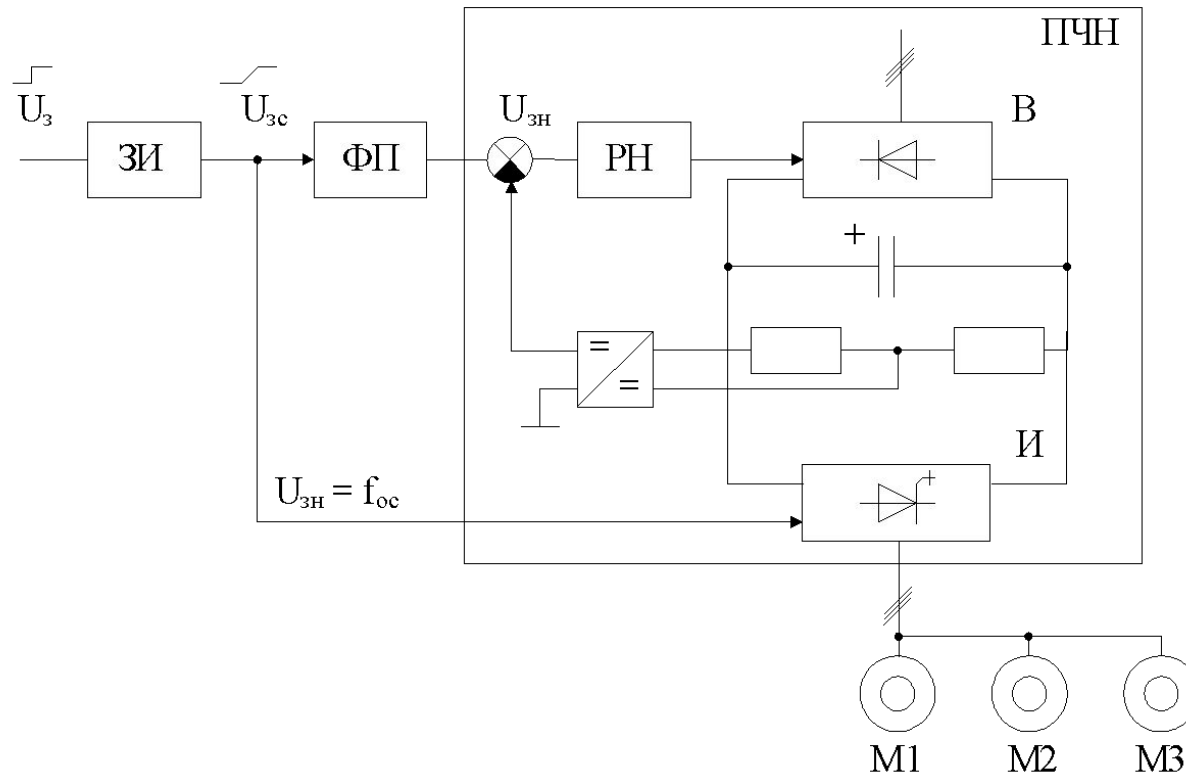
$$\frac{E}{f} = const,$$

$$\frac{U}{f^2} = const$$



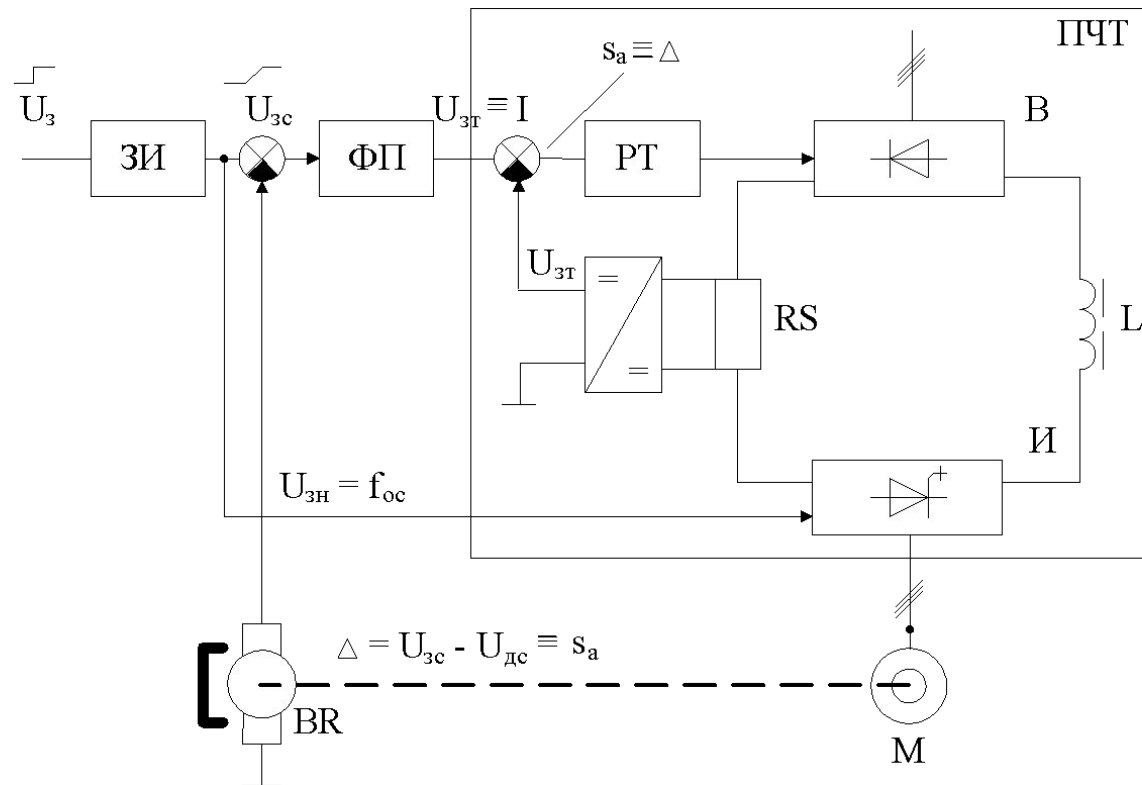
АЭП с частотно параметрическим регулированием скорости

- ПЧ с свойствами источника напряжения (ПЧН)



Частотно-токовые АЭП (ПЧ со свойствами источника тока)

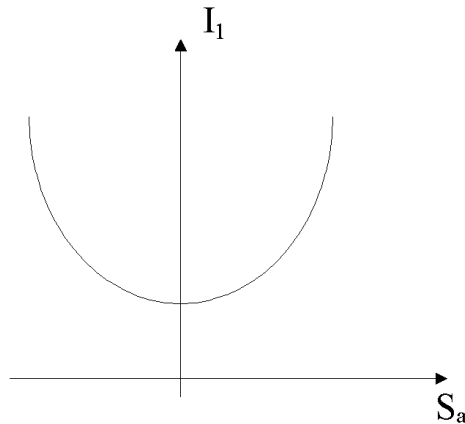
Без регулятора скорости (без контура скорости)



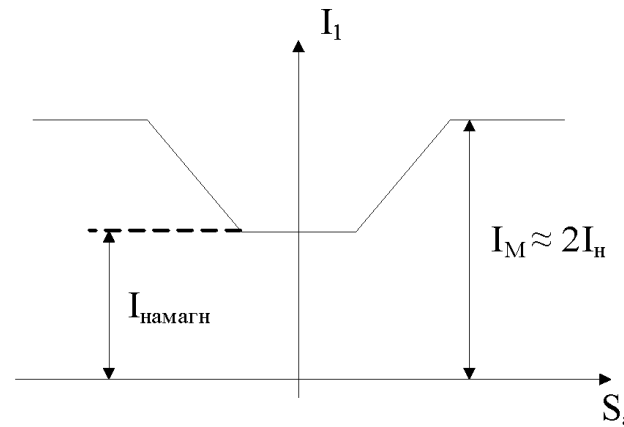
Частотно-токовые АЭП

Зависимость тока статора от абсолютного скольжения

теоретическая
реализация

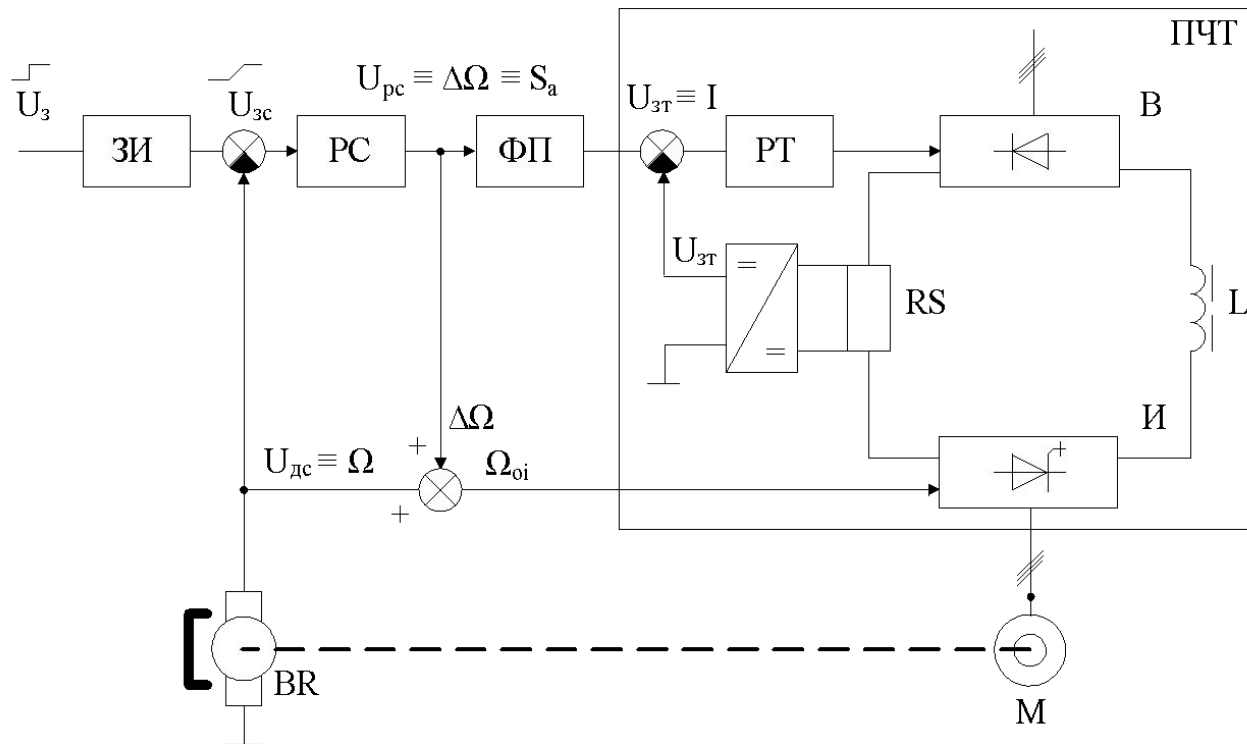


практическая



Частотно-токовые АЭП (ПЧ со свойствами источника тока)

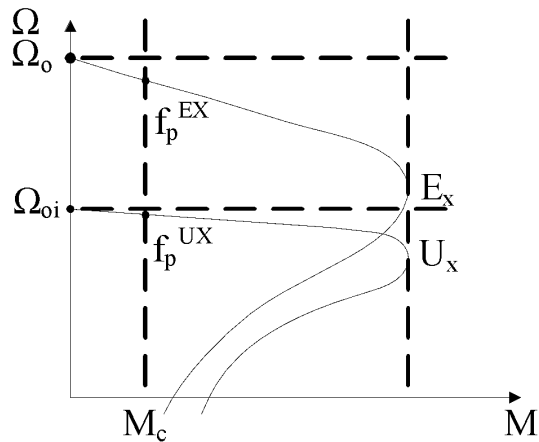
С контуром скорости



Абсолютное скольжение

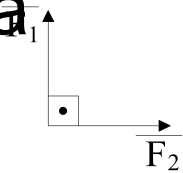
- Частота токов ротора на любой характеристике пропорциональна абсолютному скольжению!!!

$$S_a^{UX} = \frac{\Delta\Omega}{\Omega_o} = \frac{\Omega_{oi} - \Omega}{\Omega_o} \cdot \frac{\Omega_{oi}}{\Omega_{oi}} = S^{UX} \cdot \alpha \quad f_{\text{рот}}^{UX} = f_{\text{стат}}^{UX} \cdot S^{UX} = f_{\text{H}} \cdot \alpha \cdot \frac{S_a^{UX}}{\alpha} = f_{\text{H}} \cdot S_a^{UX}$$

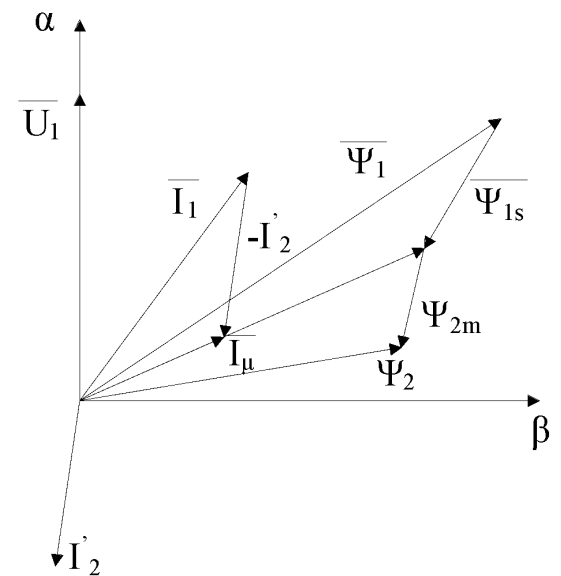
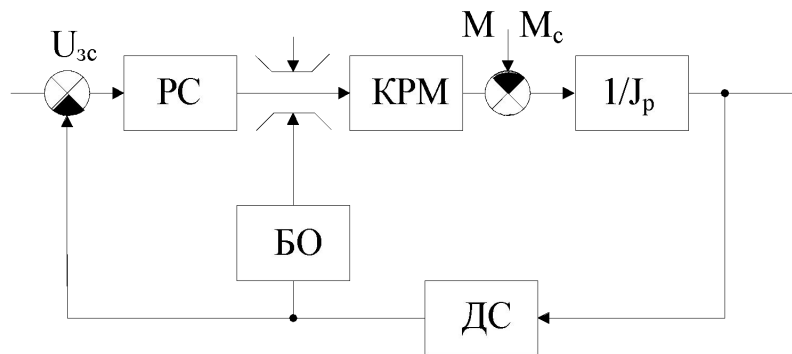
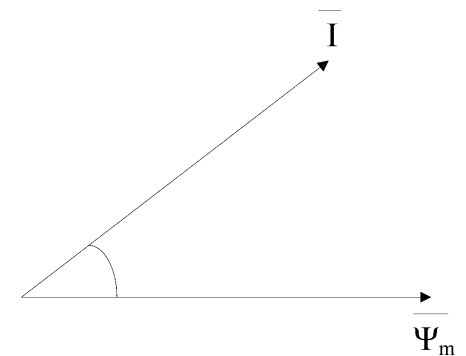


АЭП с векторным управлением

Векторные диаграммы, обобщенная структурная схема

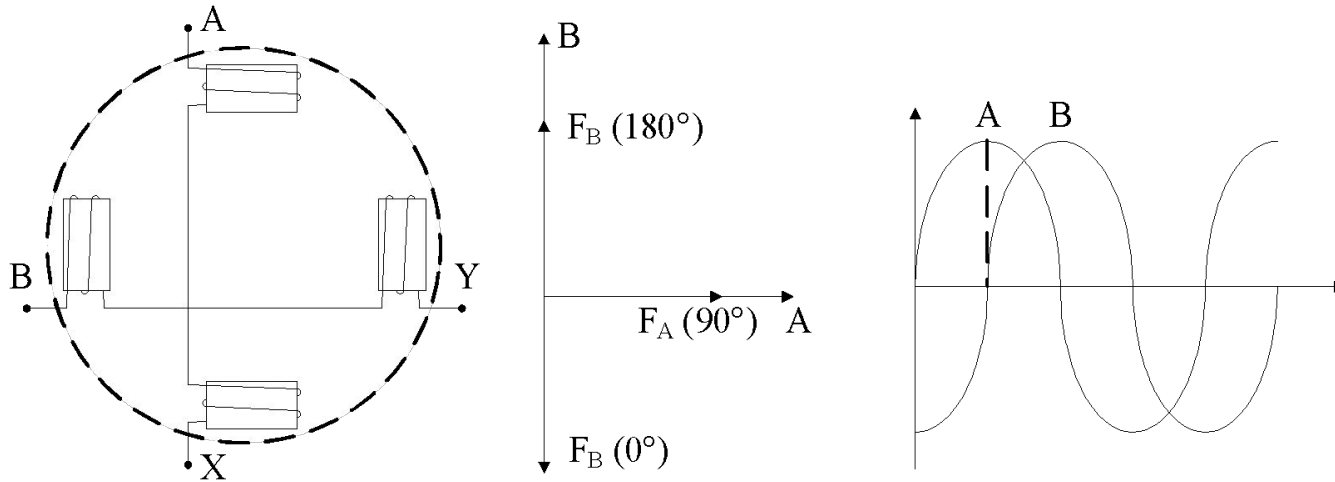


$$M = K_m \cdot |\bar{F}_1 \times \bar{F}_2| = K_m \cdot |\bar{F}_1| \times |\bar{F}_2| \times \sin \lambda$$



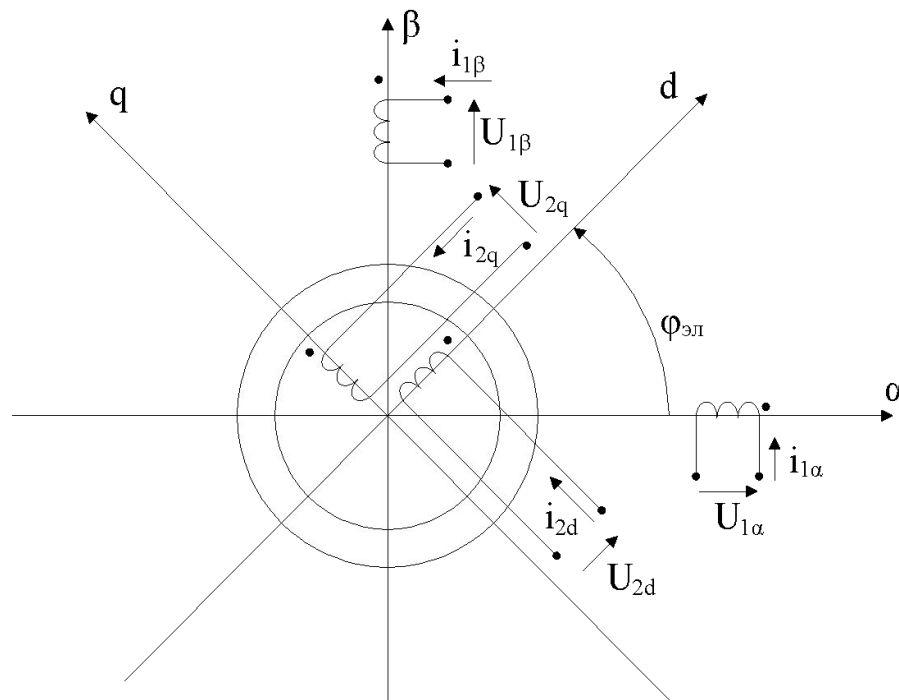
Обобщенная электрическая машина

ОЭМ – двухфазный ЭД переменного тока



Обобщенная электрическая машина

Схема замещения



Обобщенная электрическая машина

Уравнения электрического равновесия

$$\left\{ \begin{array}{l} U_{1\alpha} = R_1 \cdot i_{1\alpha} + \frac{d\Psi_{1\alpha}}{dt} \\ U_{1\beta} = R_1 \cdot i_{1\beta} + \frac{d\Psi_{1\beta}}{dt} \\ U_{2d} = R_2 \cdot i_{2d} + \frac{d\Psi_{2d}}{dt} \\ U_{2q} = R_2 \cdot i_{2q} + \frac{d\Psi_{2q}}{dt} \end{array} \right.$$

Обобщенная электрическая машина

Потокосцепления фаз двигателя

$$\begin{cases} \Psi_{1\alpha} = L_{1\alpha,1\alpha} \cdot i_{1\alpha} + L_{1\alpha,1\beta} \cdot i_{1\beta} + L_{1\alpha,2d} \cdot i_{2d} + L_{1\alpha,2q} \cdot i_{2q} \\ \Psi_{1\beta} = L_{1\beta,1\alpha} \cdot i_{1\alpha} + L_{1\beta,1\beta} \cdot i_{1\beta} + L_{1\beta,2d} \cdot i_{2d} + L_{1\beta,2q} \cdot i_{2q} \\ \Psi_{2d} = L_{2d,1\alpha} \cdot i_{1\alpha} + L_{2d,1\beta} \cdot i_{1\beta} + L_{2d,2d} \cdot i_{2d} + L_{2d,2q} \cdot i_{2q} \\ \Psi_{2q} = L_{2q,1\alpha} \cdot i_{1\alpha} + L_{2q,1\beta} \cdot i_{1\beta} + L_{2q,2d} \cdot i_{2d} + L_{2q,2q} \cdot i_{2q} \end{cases}$$

Обобщенная электрическая машина

Уравнения равновесия ЭДС

$$\begin{cases} U_{1\alpha} = R_1 \cdot i_{1\alpha} + p \cdot L_1 \cdot i_{1\alpha} + p \cdot L_{12} \cdot (\cos \varphi_{\text{эл}}) \cdot i_{2d} - p \cdot L_{12} \cdot (\sin \varphi_{\text{эл}}) \cdot i_{2q} \\ U_{1\beta} = R_1 \cdot i_{1\beta} + p \cdot L_1 \cdot i_{1\beta} + p \cdot L_{12} \cdot (\cos \varphi_{\text{эл}}) \cdot i_{2d} - p \cdot L_{12} \cdot (\sin \varphi_{\text{эл}}) \cdot i_{2q} \\ U_{2d} = R_2 \cdot i_{2d} + p \cdot L_2 \cdot i_{2d} + p \cdot L_{12} \cdot (\cos \varphi_{\text{эл}}) \cdot i_{2d} - p \cdot L_{12} \cdot (\sin \varphi_{\text{эл}}) \cdot i_{2q} \\ U_{2q} = R_2 \cdot i_{2q} + p \cdot L_2 \cdot i_{2d} + p \cdot L_{12} \cdot (\sin \varphi_{\text{эл}}) \cdot i_{1\alpha} + p \cdot L_{12} \cdot (\cos \varphi_{\text{эл}}) \cdot i_{1\beta} \end{cases}$$

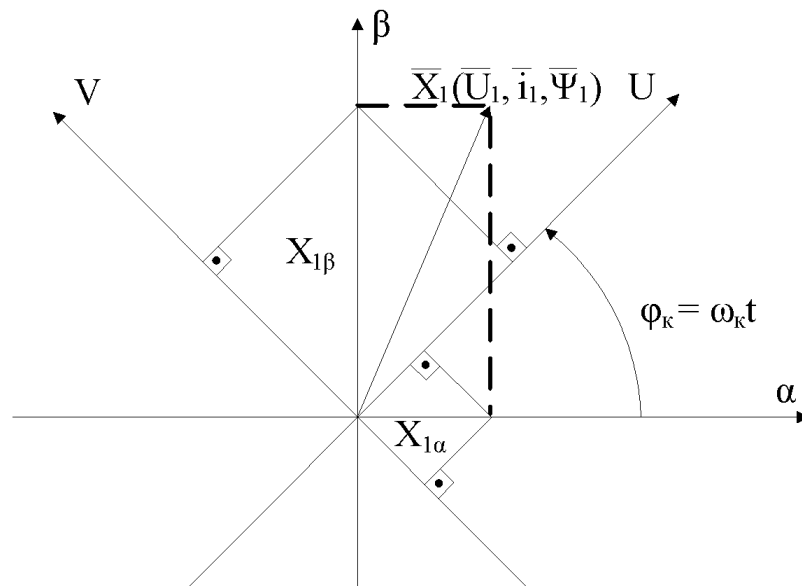
Обобщенная электрическая машина

Математическое описание ОЭМ

$$\left\{ \begin{array}{l} U_i = R_i \cdot i_i + p \cdot \sum_{i,j=1\alpha}^{i,j=2q} L_{i,j} \cdot i_{i,j} \\ M_{\text{эл}} = \frac{1}{2} \cdot \sum_{i,j=1\alpha}^{i,j=2q} i_{i,j} \cdot \sum \frac{\partial L_{i,j}}{\partial \varphi_{\text{эл}}} \cdot i_{i,j} \end{array} \right. \quad (7)$$

Обобщенная электрическая машина

Линейные (координатные) преобразования



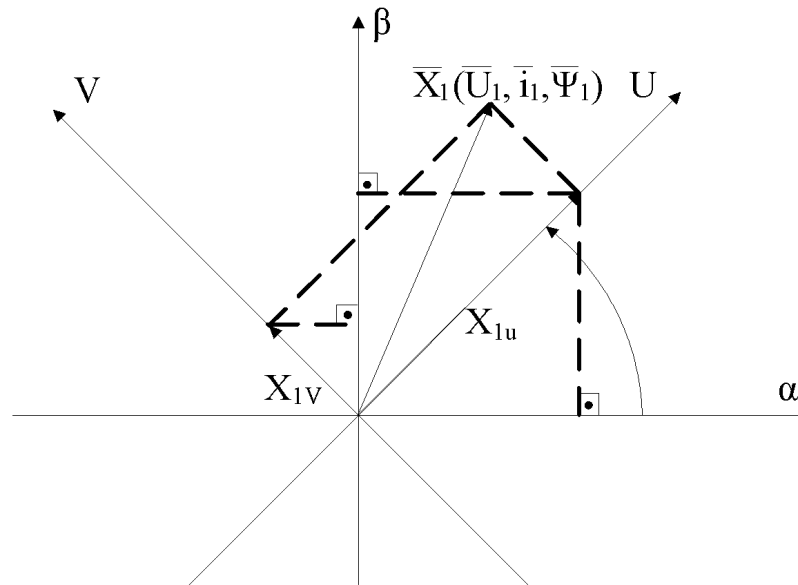
Обобщенная электрическая машина

Проекция вектора в новых (вращающихся) осях
U, V

$$\begin{cases} X_{1U} = X_{1\alpha} \cdot \cos\varphi_{\kappa} + X_{1\beta} \cdot \sin\varphi_{\kappa} \\ X_{1V} = -X_{1\alpha} \cdot \sin\varphi_{\kappa} + X_{1\beta} \cdot \cos\varphi_{\kappa} \end{cases}$$

Обобщенная электрическая машина

Обратные координатные преобразования



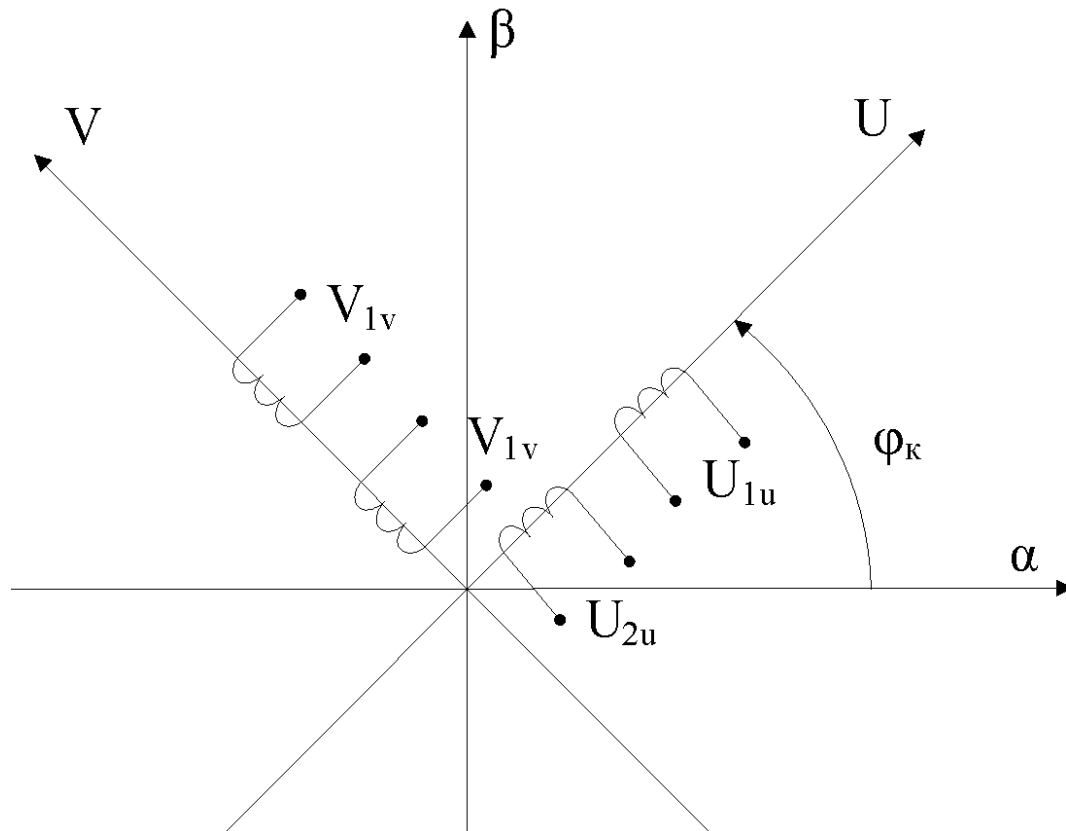
Обобщенная электрическая машина

Обратные координатные преобразования

$$\begin{cases} X_{1\alpha} = X_{1U} \cdot \cos\varphi_{\text{К}} - X_{1V} \cdot \sin\varphi_{\text{К}} \\ X_{1\beta} = X_{1U} \cdot \sin\varphi_{\text{К}} + X_{1V} \cdot \cos\varphi_{\text{К}} \end{cases}$$

Обобщенная электрическая машина

Схема замещения ОЭМ во вращающихся осях U, V



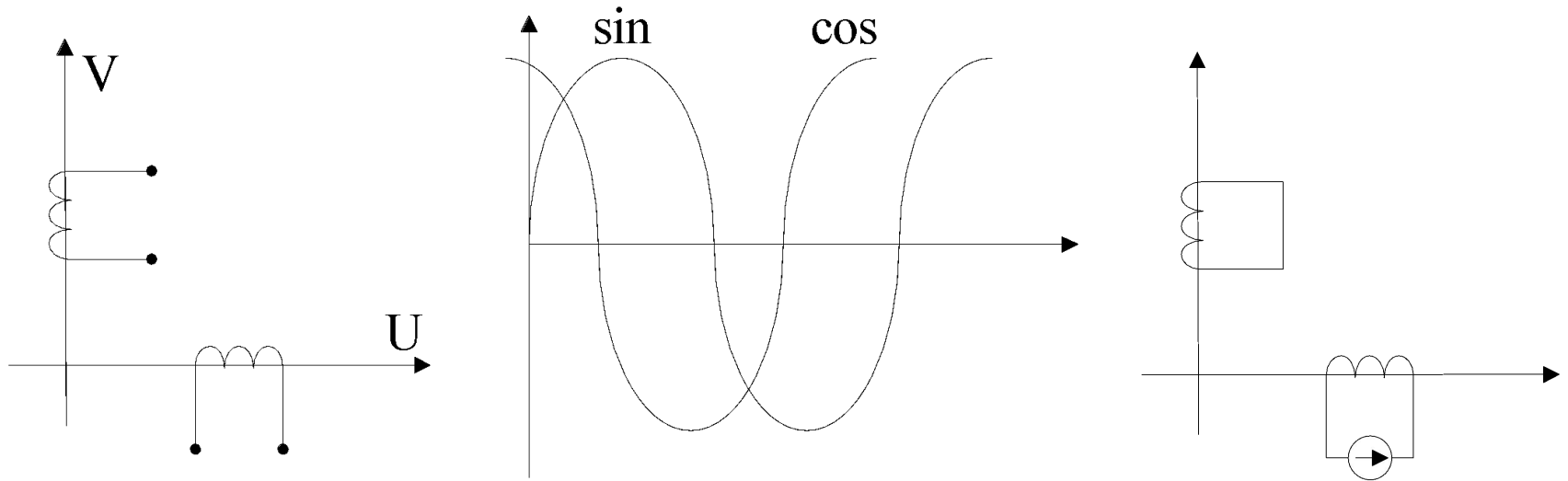
Обобщенная электрическая машина

Математическое описание ОЭМ в осях U, V

$$\left\{ \begin{array}{l} U_{1U} = R_1 \cdot i_{1U} + \frac{d\Psi_{1U}}{dt} - \omega_{\text{к}} \cdot \Psi_{1V} \\ U_{1V} = R_1 \cdot i_{1V} + \frac{d\Psi_{1V}}{dt} + \omega_{\text{к}} \cdot \Psi_{1U} \\ U_{2U} = R_2 \cdot i_{2U} + \frac{d\Psi_{2U}}{dt} - (\omega_{\text{к}} - \omega_{\text{эл}}) \cdot \Psi_{2V} \\ U_{2V} = R_2 \cdot i_{2V} + \frac{d\Psi_{2V}}{dt} + (\omega_{\text{к}} - \omega_{\text{эл}}) \cdot \Psi_{2U} \\ M_{\text{эл}} = p_{\text{п}} \cdot L_{12} \cdot (i_{1V} \cdot i_{2U} - i_{1U} \cdot i_{2V}) \end{array} \right. \quad (21)$$

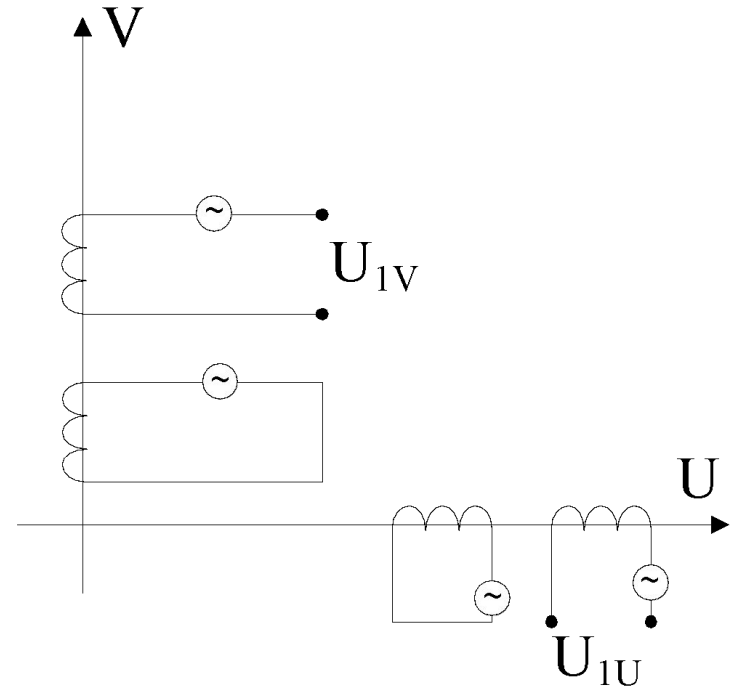
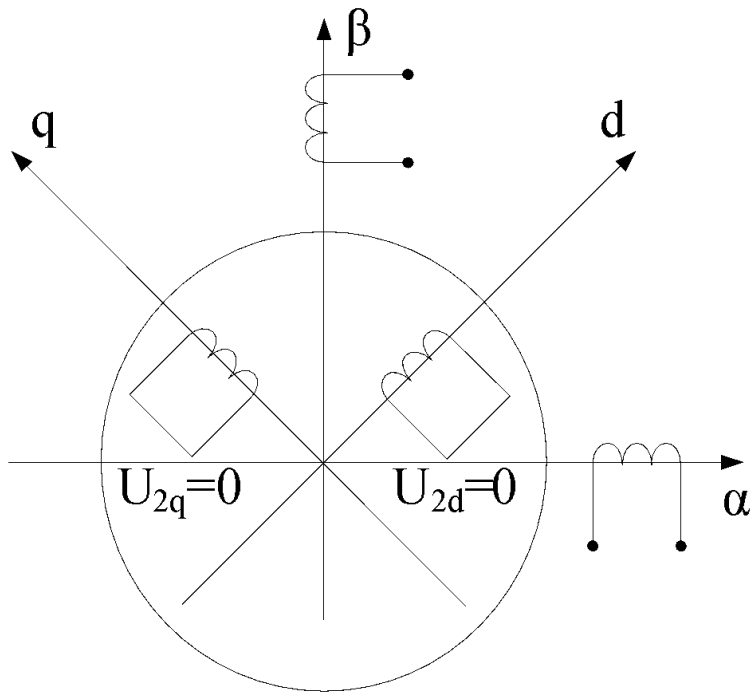
Обобщенная электрическая машина

Формирование вращающегося поля при разных скоростях вращения координатных осей



Двухфазный АД с КЗР

Схема замещения в неподвижных и вращающихся координатных осях

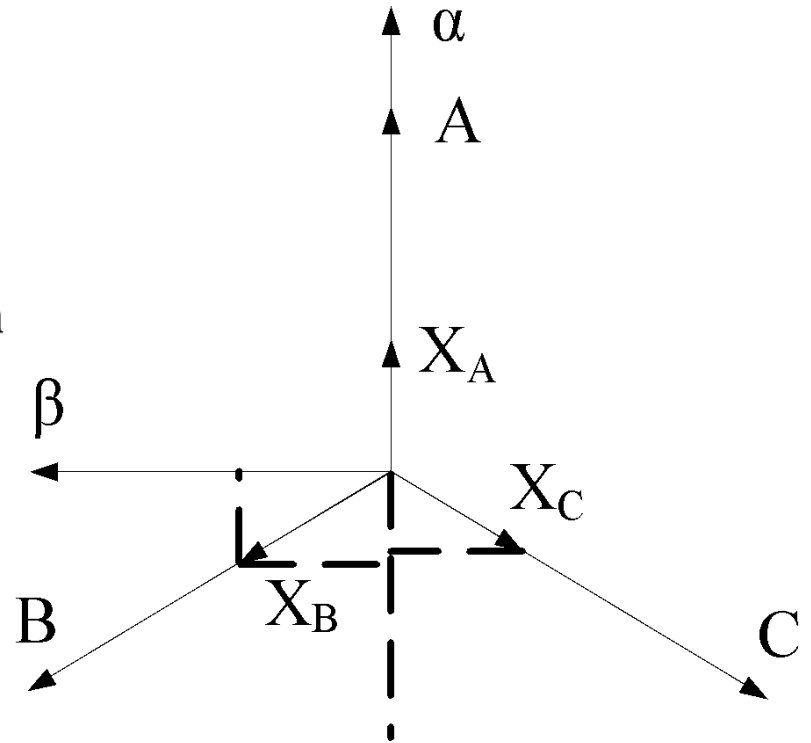


Фазные преобразования переменных

Прямое фазное преобразование: $a, b, c \rightarrow \alpha, \beta$.

$$X_{\alpha} = \left[X_a - \frac{1}{2} \underbrace{(X_B + X_C)}_{-X_a} \right] = \frac{3}{2} X_a$$

$$X_{\beta} = \frac{\sqrt{3}}{2} (X_B - X_C)$$



Фазные преобразования переменных. Обобщенный вектор многофазных машин

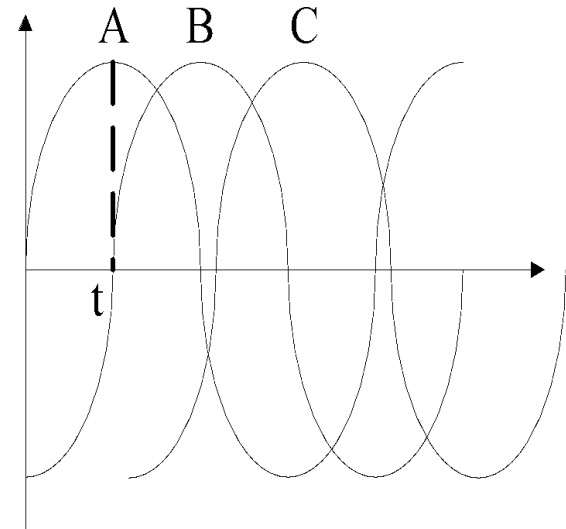
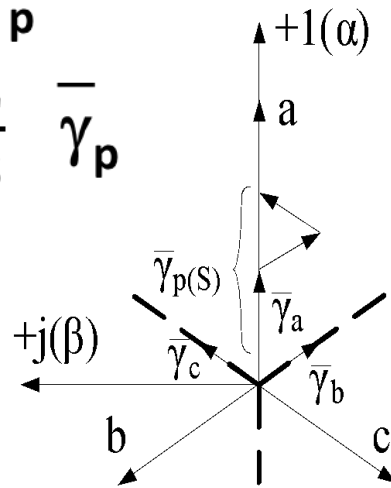
• $\bar{\gamma}_p = \bar{\gamma}_a + \bar{\gamma}_b + \bar{\gamma}_c$ - результирующий вектор

$\gamma_0 = \frac{2}{m} \gamma_p$ - обобщенный вектор,

m – число фаз машины

При $m = 2$ $\bar{\gamma}_0 = \bar{\gamma}_p$

При $m = 3$ $\bar{\gamma}_0 = \frac{2}{3} \bar{\gamma}_p$



Фазные преобразования переменных

Формулы прямого фазного преобразования

$$X_{\alpha} = \frac{2}{3} \frac{3}{2} X_a = X_a$$

$$X_{\beta} = \frac{2}{3} \frac{\sqrt{3}}{2} (X_B - X_C) = \frac{(X_B - X_C)}{\sqrt{3}} = \frac{(2X_B - X_a)}{\sqrt{3}}$$

т.к. $X_a + X_B + X_C = 0$, то $-X_C = X_B + X_a$, поэтому

В результате:

$$X_{\alpha} = X_a$$

$$X_{\beta} = \frac{(2X_B - X_a)}{\sqrt{3}}$$

Фазные преобразования переменных

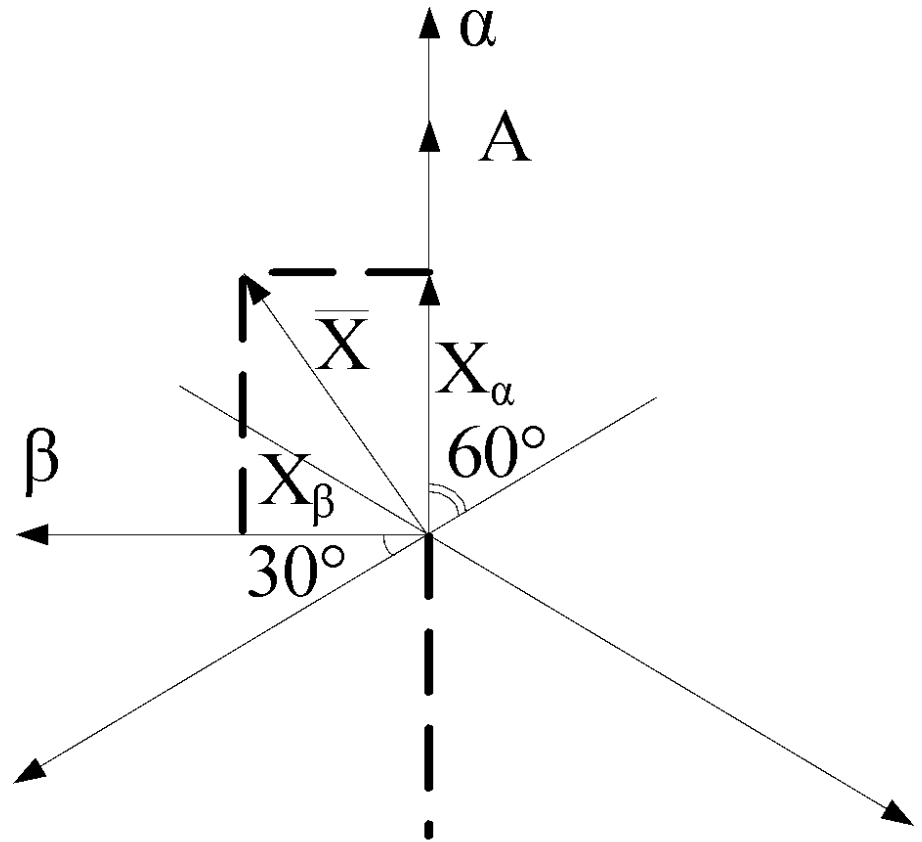
Обратное фазное преобразование

$\alpha, \beta \rightarrow a, b, c$.

$$X_a = X_{1\alpha}$$

$$X_b = \left(-\frac{1}{2} X_\alpha + \frac{\sqrt{3}}{2} X_\beta \right)$$

$$X_c = \left(-\frac{1}{2} X_\alpha - \frac{\sqrt{3}}{2} X_\beta \right)$$



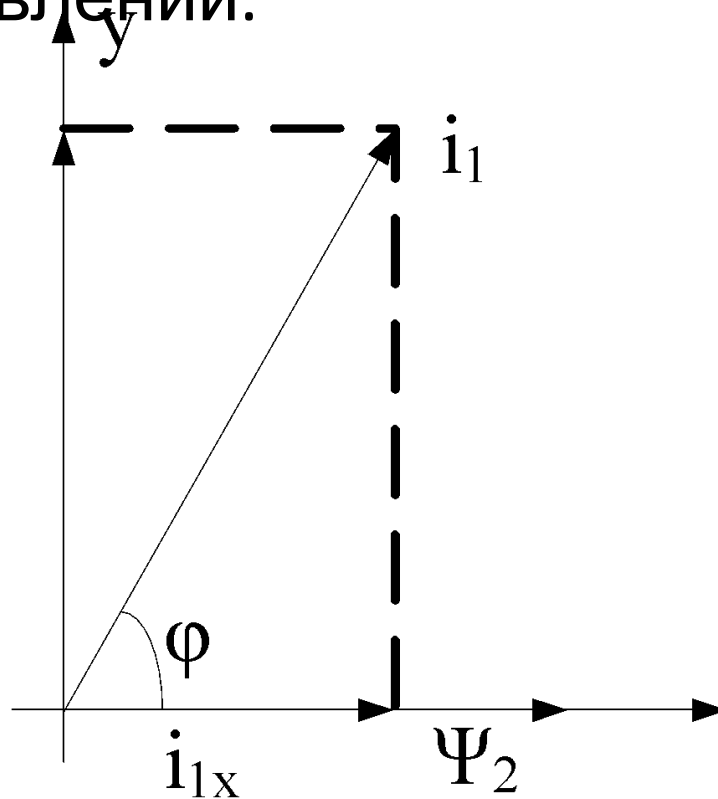
Двухфазный АД с КЗР

Математическое описание 2-х фазного АД с КЗР во вращающихся со скоростью поля координатных осях

$$\left\{ \begin{array}{l} U_{1x} = R_1 i_{1x} + p\Psi_{1x} - \omega_{0эл} \Psi_{1y} \\ U_{1y} = R_1 i_{1y} + p\Psi_{1y} + \omega_{0эл} \Psi_{1x} \\ \\ 0 = R_2 i_{2x} + p\Psi_{2x} - (\omega_{0эл} - \omega_{эл}) \Psi_{2y} \\ 0 = R_2 i_{2y} + p\Psi_{2y} + (\omega_{0эл} - \omega_{эл}) \Psi_{2x} \\ M = P_n L_{12} (i_{1y} i_{2x} - i_{1x} i_{2y}) \end{array} \right.$$

Двухфазный АД с КЗР

Принцип ориентирования по полю при частотном управлении.



Двухфазный АД с КЗР

Математическое описание 2-х фазного АД с КЗР
во вращающихся со скоростью поля координатных
ОСЯХ

$$U_{1x} = R_1 i_{1x} - \omega_{0эл} \Psi_{1y}$$

$$U_{1y} = R_1 i_{1y} + \omega_{0эл} \Psi_{1x}$$

$$0 = R_2 i_{2y} + (\omega_{0эл} - \omega_{эл}) \Psi_{2(\max)}$$

$$M = P_{п} i_{1y} \Psi_{2(\max)}$$

Двухфазный АД с КЗР

При совмещении координатной оси X с вектором Ψ_2 основные взаимосвязи в АД будут аналогичны таковым в двигателе постоянного тока.

$$M = P_n i_{1y} \Psi_{2(\max)} \equiv i_{1y}$$

$$M \equiv i_{1y}$$

$$\Psi_{2x} = L_2 i_{2x} + L_{12} i_{1x} = L_{12} i_{1x}$$

$$\Psi_{2x} \equiv i_{1x}$$

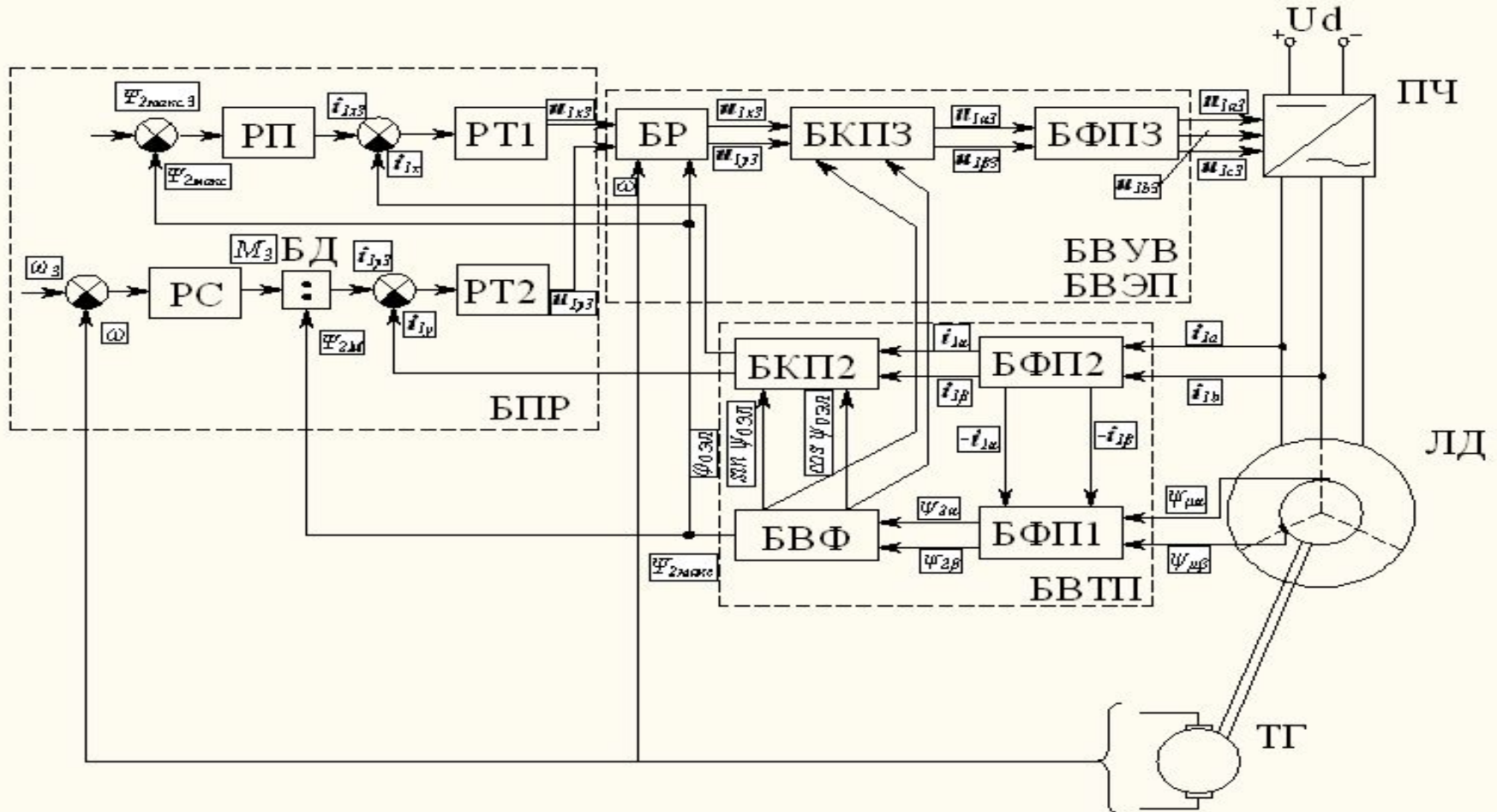
АЭП переменного тока на базе АД с КЗР

Если при управлении АД в цепях регулирования оперировать не с реальными синусоидальными сигналами, а с виртуальными, то можно отдельно управлять Ψ и M , воздействуя на составляющие тока статора i_{1x} и i_{1y} .

В этом случае вместо переменных синусоидальных величин в системе управления можно оперировать с постоянными сигналами, что позволяет строить систему регулирования аналогично двухзонному АЭП постоянного тока.

Для реализации должны быть доступны для измерения: I_1 , Ψ , скорость.

Функциональная схема АЭП с векторным управлением



Переменные,
ориентированные по
полю

Коорди-
натные
преобра-
зования

Переменные,
ориентированные
относительно
статора

АЭП переменного тока на базе АД с КЗР

В предложенном АЭП для реализации векторного управления (ВУ) решаются шесть задач.

1. Измерение мгновенных значений: $I_{\text{стат}}$ и Ψ в воздушном зазоре.
2. Преобразование сигналов из трехфазной системы координат (а, в, с) в двухфазную (α, β): $a, b, c \rightarrow \alpha, \beta$.
3. Преобразование переменных, записанных в осях α, β к осям x, y : $\alpha, \beta \rightarrow x, y$.
4. Сравнение виртуальных сигналов i_{1x}, i_{1y} , а также Ψ, Ω с заданными значениями.
5. Обратное координатное преобразование: $x, y \rightarrow \alpha, \beta$.
6. Обратное фазное преобразование: $\alpha, \beta \rightarrow a, b, c$.

АЭП переменного тока на базе АД с КЗР

Для осуществления этих преобразований необходимо управляющее вычислительное устройство (УВУ) $УВУ = БВТЗП + БРП + БВУВ$.

БВТЗП – блок вычислений текущих значений переменных.

БРП - блок регуляторов переменных.

БВУВ – блок вычисления управляющих воздействий

Блок векторного фильтра

