



# ВЛИЯНИЕ КАЧЕСТВА НАПРЯЖЕНИЯ ПИТАНИЯ НА РАБОТУ СИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

*Кафедра автоматизации  
управления электротехническими  
комплексами*

*Институт энергосбережения и  
энергоменеджмента*



*Авторы: асп. Оборонов Т. Ю.,  
к.т.н. Закладной О.А.,  
ст. Ильчук О.С.*

*Руководитель:*

*к.т.н., доц. Закладной А.Н.*



# Цель работы

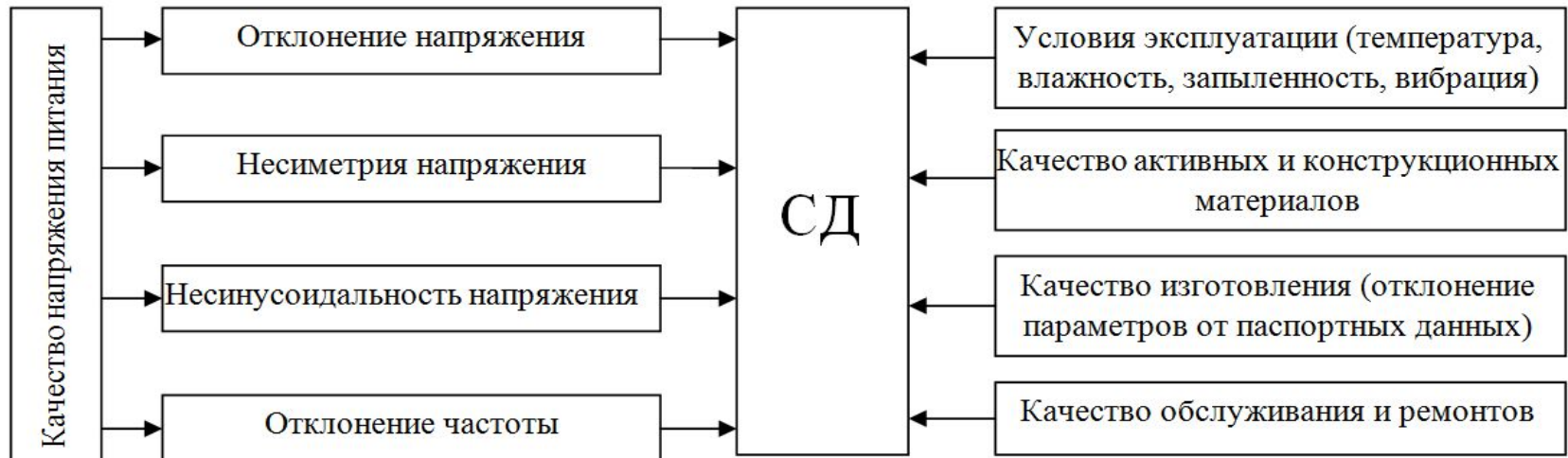
- *Целью работы является определение факторов влияния на работу синхронных двигателей*

## Постановка задачи

1. *Определить факторы влияния на работу двигателей*
2. *Выделить факторы зависящие от качества напряжения питания*
3. *Моделирование работы двигателя*
4. *Визуализация результатов*



# Факторы влияния на энергоэффективность и техническое состояние СД





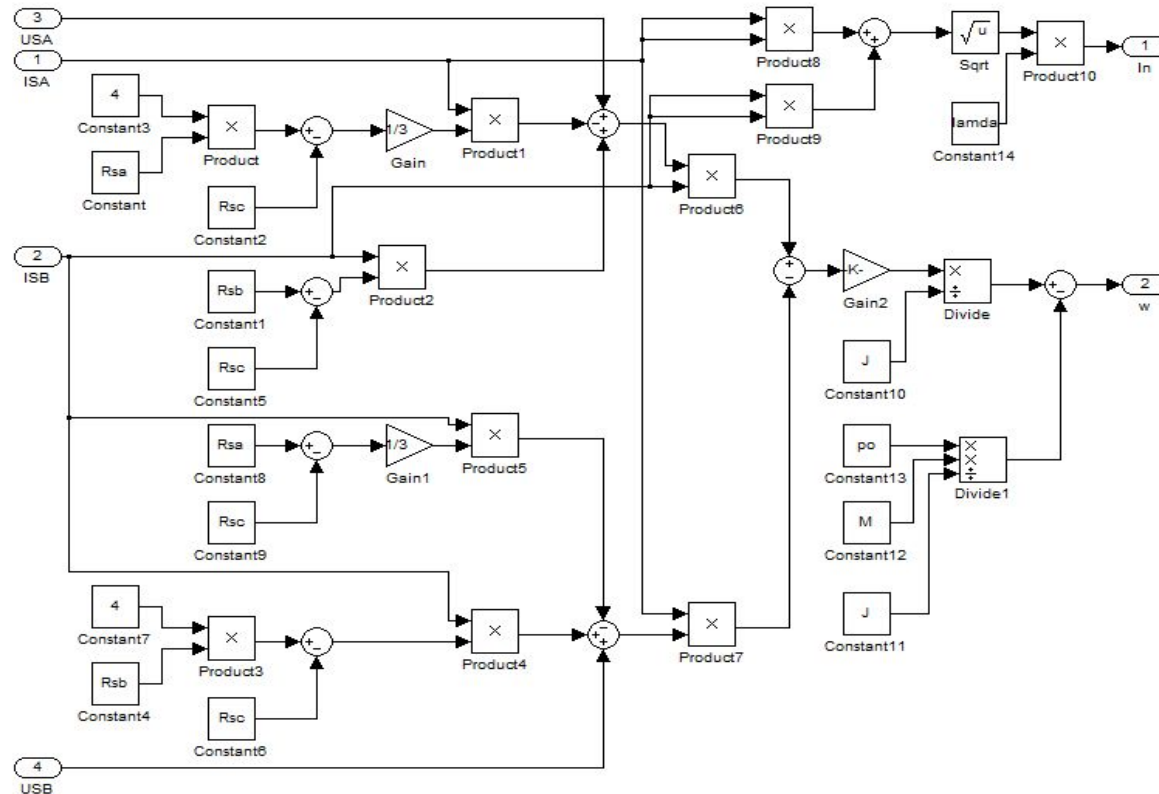
## Математическая модель синхронного двигателя при несинусоидальном напряжении питания

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{d\psi_{cA}}{dt} = u_{cA} - \frac{1}{3} \left( (4R_{cA} - R_{cC})i_{cA} + (R_{cB} - R_{cC})i_{cB} \right); \\ \frac{d\psi_{cB}}{dt} = u_{cB} - \frac{1}{3} \left( (R_{cA} - R_{cC})i_{cB} + (4R_{cB} - R_{cC})i_{cB} \right); \\ \frac{d\psi_f}{dt} = u_f - R_f i_f; \quad \frac{d\psi_d}{dt} = -R_d i_d; \quad \frac{d\psi_q}{dt} = -R_q i_q; \\ \frac{d\omega}{dt} = \frac{p_0^2}{J} \sqrt{3} (\psi_{cA} i_{cB} - \psi_{cB} i_{cA}) - \frac{p_0 M}{J}; \quad \frac{d\gamma}{dt} = \omega \end{array} \right.$$

# Несинусоидальность напряжения

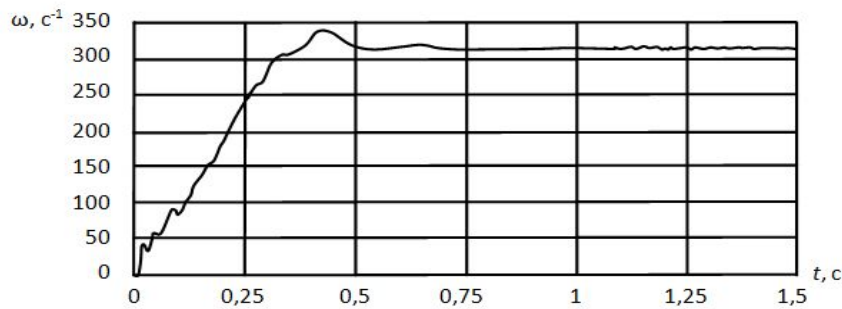
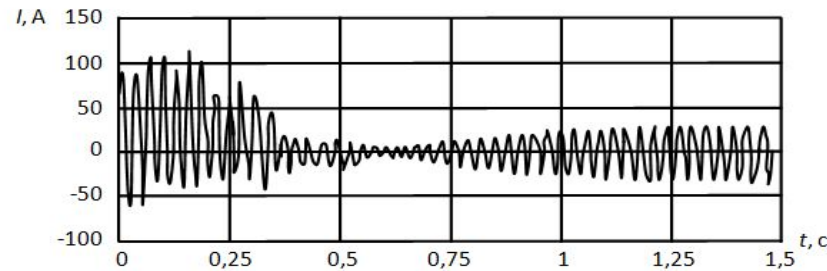


## Модель синхронного двигателя при несинусоидальном напряжении питания в среде matlab

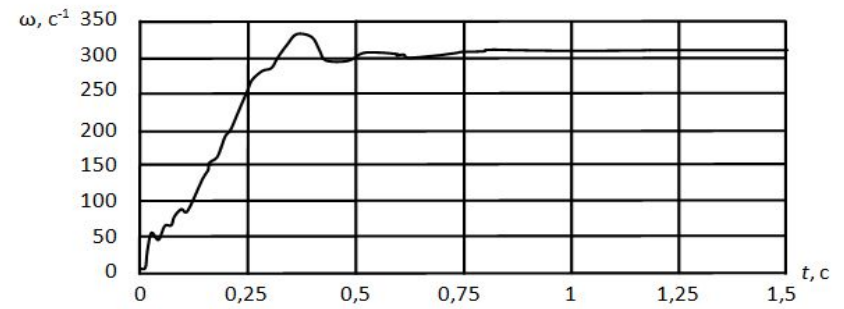
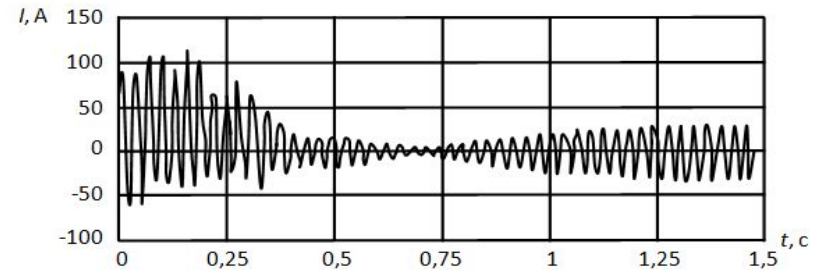




## Временные диаграммы пускового тока и скорости



а



б



## Изменение сопротивления $x_d$ и тока возбуждения при отклонении напряжения

С уменьшением значения  $x_{ad}$  снижается и сопротивление  $x_d = x_{ad} + x_\sigma$ , что вызывает непропорциональное снижение тока возбуждения

$$I_{в*}^2 = \frac{1 + \beta^2 \cdot x_d^2 \cdot \cos^2 \varphi_{ном} + \alpha^2 \cdot x_d^2 \cdot \sin^2 \varphi_{ном} + 2 \cdot \alpha \cdot x_d \cdot \sin \varphi_{ном}}{1 + x_d^2 + 2 \cdot x_d^2 \cdot \sin \varphi_{ном}}$$

Для синхронных электродвигателей увеличение напряжения на 10% приводит к зависимости составляющей индуктивного сопротивления двигателя по продольной оси полюсов от загрузки двигателей  $K_p$

$$x_{ad} = \frac{k_{ad} \cdot 0,9 \cdot m \cdot \frac{\omega_1 \cdot k_{01}}{p} \cdot I_{ном} \cdot K_p}{1,1 \cdot F_{\delta 0}} = 1,091 K_p$$

# Несимметрия напряжений

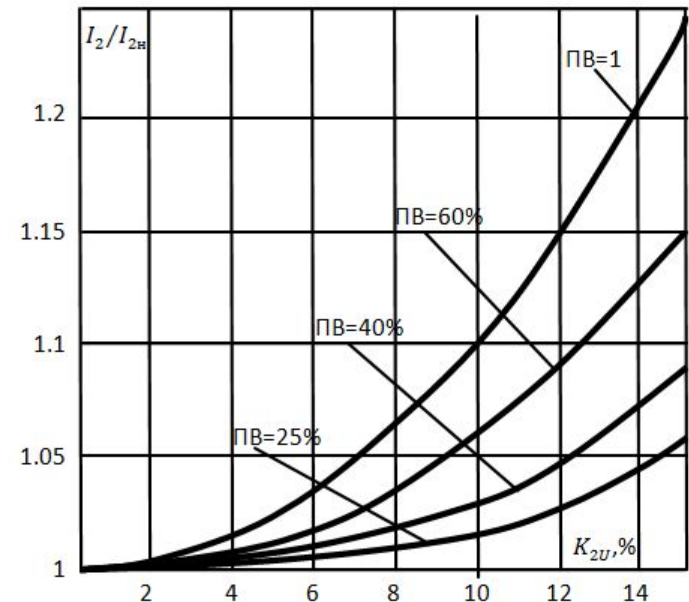


## Относительное значение тока при различной продолжительности включения

Ток основной частоты представляет собой ток обратной последовательности и определяется равенством

$$I_2 = \frac{Z_{d2} + Z_{q2}}{2Z_{d2}Z_{q2}} U_2 \text{ПВ}$$

Относительное значение тока снижается при увеличении продолжительности включения.



Зависимость тока обратной последовательности при различной продолжительности включения





## Изменение реактивной мощности и тока статора при отклонении частоты

- Ток намагничивания СД при отклонении частоты

$$I_*^2 = k_f(\beta^2 \cos^2 \varphi_{\text{НОМ}} + \alpha^2 \sin^2 \varphi_{\text{НОМ}})$$

- изменение реактивной составляющей тока статора с учетом изменения насыщения

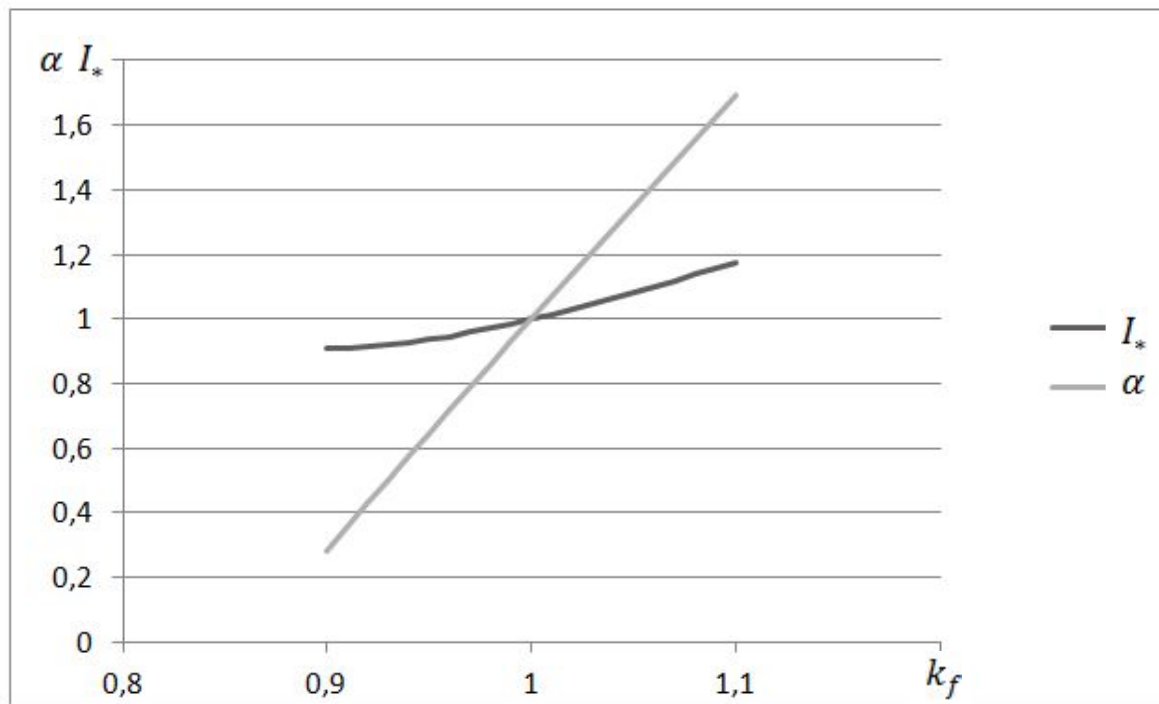
$$\left(\frac{I_{\text{Вf}}}{I_{\text{В.НОМ}}}\right)^2 = \left(\frac{k_{\text{ВХ}}}{k_{\mu}}\right)^2 \left[ \left(\frac{1}{k_f}\right)^2 + \frac{2x_d \sin \varphi_{\text{НОМ}}}{k_f} \alpha + x_d^2 \sin^2 \varphi_{\text{НОМ}} \alpha^2 + x_d^2 \cos^2 \varphi_{\text{НОМ}} \beta^2 \right]$$

- реактивная мощность в долях номинальной реактивной мощности

$$\alpha = \frac{\sqrt{\left(\frac{k_{\text{Вf}} k_{\mu}}{k_{\text{ВХ}}}\right)^2 - (\beta x_d \cos \varphi_{\text{НОМ}})^2} - \frac{1}{k_f}}{x_d \sin \varphi_{\text{НОМ}}}$$



## Изменение реактивной мощности и тока статора при отклонении частоты



Зависимость реактивной мощности и тока статора синхронного двигателя при отклонении частоты



# Выводы

- Рассмотрено влияние показателей качества электроэнергии на работу синхронных двигателей.
- Наличие высших гармоник напряжения приводит к возникновению колебания скорости в установившемся режиме, а значит к ухудшению энергоэффективности работы электропривода.
- Установлено, что относительное значение тока обратной последовательности снижается при увеличении продолжительности включения.
- При понижении частоты на 5% реактивная мощность, отдаваемая двигателем в сеть, уменьшается на 30%.



# ВЛИЯНИЕ КАЧЕСТВА НАПРЯЖЕНИЯ ПИТАНИЯ НА РАБОТУ СИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ



Аспирант:

*Оборонов Т.Ю.*

**СПАСИБО ЗА  
ВНИМАНИЕ!**