

**Федеральное агентство по атомной энергии  
Северская государственная технологическая академия**



Кафедра ЭиАФУ

**МОДЕЛИРОВАНИЕ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА В МАТЛАВ**

Презентация ВКР  
МАЭ.200600.070 П

Студент: Баурин К. С.

Руководитель: Терёхин В.Б

Северск 2006

# Математическое описание обобщенной асинхронной машины

## Второй закон Кирхгофа:

Для статора:

$$\begin{cases} u_A = R_A i_A + \frac{d\Psi_A}{dt}, \\ u_B = R_B i_B + \frac{d\Psi_B}{dt}, \\ u_C = R_C i_C + \frac{d\Psi_C}{dt}. \end{cases} \quad 1)$$

Для ротора:

$$\begin{cases} u_a = R_a i_a + \frac{d\Psi_a}{dt}, \\ u_b = R_b i_b + \frac{d\Psi_b}{dt}, \\ u_c = R_c i_c + \frac{d\Psi_c}{dt}. \end{cases} \quad 2)$$

# Математическое описание обобщенной асинхронной машины

## Закон Ампера

Для статора:

$$\begin{aligned}\Psi_A &= L_{AA}i_A + L_{AB}i_B + L_{AC}i_C + L_{Aa}i_a + L_{Ab}i_b + L_{Ac}i_c, \\ \Psi_B &= L_{BA}i_A + L_{BB}i_B + L_{BC}i_C + L_{Ba}i_a + L_{Bb}i_b + L_{Bc}i_c, \\ \Psi_C &= L_{CA}i_A + L_{CB}i_B + L_{CC}i_C + L_{Ca}i_a + L_{Cb}i_b + L_{Cc}i_c.\end{aligned}\tag{3)}$$

Для ротора:

$$\begin{aligned}\Psi_a &= L_{aA}i_A + L_{aB}i_B + L_{aC}i_C + L_{aa}i_a + L_{ab}i_b + L_{ac}i_c, \\ \Psi_b &= L_{bA}i_A + L_{bB}i_B + L_{bC}i_C + L_{ba}i_a + L_{bb}i_b + L_{bc}i_c, \\ \Psi_c &= L_{cA}i_A + L_{cB}i_B + L_{cC}i_C + L_{ca}i_a + L_{cb}i_b + L_{cc}i_c.\end{aligned}\tag{4)}$$

# Математическое описание обобщенной асинхронной машины

---

## Второй закон Ньютона

$$J \frac{d\vec{\omega}_m}{dt} = \vec{M} - \vec{M}_c \quad 5)$$

## Правило левой руки Ленца

$$\vec{M} = k(\vec{\Psi} \times \vec{i}) \quad 6)$$

# Математическое описание обобщенной асинхронной машины

## Обобщённая система уравнений

$$\left\{ \begin{array}{l} u_A = R_A i_A + \frac{d\Psi_A}{dt}, \\ u_B = R_B i_B + \frac{d\Psi_B}{dt}, \\ u_C = R_C i_C + \frac{d\Psi_C}{dt}, \\ u_a = R_a i_a + \frac{d\Psi_a}{dt}, \\ u_b = R_b i_b + \frac{d\Psi_b}{dt}, \\ u_c = R_c i_c + \frac{d\Psi_c}{dt}. \end{array} \right.$$

7)

$$\Psi_A = L_{AA}i_A + L_{AB}i_B + L_{AC}i_C + L_{Aa}i_a + L_{Ab}i_b + L_{Ac}i_c,$$

$$\Psi_B = L_{BA}i_A + L_{BB}i_B + L_{BC}i_C + L_{Ba}i_a + L_{Bb}i_b + L_{Bc}i_c,$$

$$\Psi_C = L_{CA}i_A + L_{CB}i_B + L_{CC}i_C + L_{Ca}i_a + L_{Cb}i_b + L_{Cc}i_c,$$

$$\Psi_a = L_{aA}i_A + L_{aB}i_B + L_{aC}i_C + L_{aa}i_a + L_{ab}i_b + L_{ac}i_c,$$

$$\Psi_b = L_{bA}i_A + L_{bB}i_B + L_{bC}i_C + L_{ba}i_a + L_{bb}i_b + L_{bc}i_c,$$

$$\Psi_c = L_{cA}i_A + L_{cB}i_B + L_{cC}i_C + L_{ca}i_a + L_{cb}i_b + L_{cc}i_c,$$

$$J \frac{d\vec{\omega}_m}{dt} = \vec{M} - \vec{M}_c,$$

$$\vec{M} = k(\vec{\Psi}_i \times \vec{i}_k).$$

# Математическое описание обобщенной асинхронной машины

## Применение метода пространственного вектора

$$\vec{u}_S = R_S \vec{i}_S + \frac{d\vec{\Psi}_S}{dt},$$

$$\vec{u}_R = R_R \vec{i}_R + \frac{d\vec{\Psi}_R}{dt},$$

8)

$$\vec{\Psi}_S = L_S \vec{i}_S + L_m(\theta) \vec{i}_R,$$

$$\vec{\Psi}_R = L_R \vec{i}_R + L_m(\theta) \vec{i}_S,$$

# Математическое описание обобщенной асинхронной машины

## Преобразование системы координат

$$\vec{u}_S = R_S \vec{i}_S + \frac{d\vec{\Psi}_S}{dt} + j\omega_k \vec{\Psi}_S,$$

$$\vec{u}_R = R_R \vec{i}_R + \frac{d\vec{\Psi}_R}{dt} + j(\omega_k - p\omega_m) \vec{\Psi}_R, \quad 9)$$

$$\vec{\Psi}_S = L_S \vec{i}_S + L_m \vec{i}_R,$$

$$\vec{\Psi}_R = L_R \vec{i}_R + L_m \vec{i}_S,$$

# Математическое описание обобщенной асинхронной машины

## Пары векторов для определения момента

$$\left(\vec{i}_S, \vec{i}_R\right), \left(\vec{\Psi}_S, \vec{\Psi}_R\right), \left(\vec{i}_S, \vec{\Psi}_S\right), \left(\vec{i}_S, \vec{\Psi}_R\right), \left(\vec{i}_R, \vec{\Psi}_S\right), \left(\vec{i}_R, \vec{\Psi}_R\right) \quad 10)$$

## Примеры моментов

$$\vec{M} = \frac{3}{2} p L_m \cdot \text{Mod}(\vec{i}_R \times \vec{i}_S),$$

$$\vec{M} = \frac{3}{2} p \cdot \text{Mod}(\vec{\Psi}_S \times \vec{i}_S), \quad 11)$$

$$\vec{M} = \frac{3}{2} p k_R \cdot \text{Mod}(\vec{\Psi}_R \times \vec{i}_S).$$



# Математическое описание обобщенной асинхронной машины

## Обобщенная система уравнений в относительных единицах

$$\bar{u}_S = r_S \bar{i}_S + \frac{d\bar{\psi}_S}{dt} + j\alpha_k \bar{\psi}_S,$$

$$\bar{u}_R = r_R \bar{i}_R + \frac{d\bar{\psi}_R}{dt} + j(\alpha_k - p\vartheta_m) \bar{\psi}_R,$$

$$\bar{\psi}_S = x_S \bar{i}_S + x_m \bar{i}_R,$$

$$\bar{\psi}_R = x_R \bar{i}_R + x_m \bar{i}_S,$$

$$m = k \cdot \text{Mod}(\bar{\psi}_i \times \bar{i}_k),$$

$$\bar{T}_m \frac{d\vartheta_m}{dt} = m - m_c$$

12)

# Математическое описание обобщенной асинхронной машины

## Система уравнений АКЗ двигателя

$$\left\{ \begin{array}{l} \bar{u}_S = r_S \bar{i}_S + \frac{d\bar{\psi}_S}{dt} + j\alpha_k \bar{\psi}_S, \\ 0 = r_R \bar{i}_R + \frac{d\bar{\psi}_R}{dt} + j(\alpha_k - p\vartheta_m) \bar{\psi}_R, \\ \bar{\psi}_S = x_S \bar{i}_S + x_m \bar{i}_R, \\ \bar{\psi}_R = x_R \bar{i}_R + x_m \bar{i}_S, \\ m = k \cdot \text{Mod}(\bar{\psi}_R \times \bar{i}_S), \\ \bar{T}_m \frac{d\vartheta}{dt} = m - m_H \end{array} \right. \quad 13)$$

# Математическое описание обобщенной асинхронной машины

## Вид СУ АКЗ двигателя после упрощения

$$\left\{ \begin{array}{l} \bar{u}_S = r \bar{i}_S + x'_S \frac{d\bar{i}_S}{dt} + j\alpha_k x'_S \bar{i}_S - \frac{k_R}{T_R} \bar{\psi}_R + jp\vartheta_m k_R \bar{\psi}_R, \\ 0 = \frac{1}{T_R} \bar{\psi}_R + \frac{d\bar{\psi}_R}{dt} - k_R r_R \bar{i}_S + j(\alpha_k - p\vartheta_m) \bar{\psi}_R, \\ m = k_R (\bar{\psi}_{R\alpha} \bar{i}_{S\beta} - \bar{\psi}_{R\beta} \bar{i}_{S\alpha}), \\ \bar{T}_m \frac{d\vartheta_m}{dt} = m - m_n. \end{array} \right. \quad 14)$$

# Математическое описание обобщенной асинхронной машины

**СУ АКЗ двигателя в удобной для ввода форме**

$$\left\{ \begin{array}{l}
 i_{Sx} = (u_{Sx} + x'_S \alpha_k i_{Sy} + \frac{k_R}{T_R} \psi_{Rx} + p \mathcal{G}_m k_R \psi_{Ry}) \frac{1}{(1 + T'_S s)}, \\
 i_{Sy} = (u_{Sy} - x'_S \alpha_k i_{Sx} + \frac{k_R}{T_R} \psi_{Ry} - p \mathcal{G}_m k_R \psi_{Rx}) \frac{1}{(1 + T'_S s)}, \\
 \psi_{Rx} = (k_R r i_{Sx} + (\alpha_k - p \mathcal{G}_m) \psi_{Ry}) \frac{T_R}{(1 + T_R s)}, \\
 \psi_{Ry} = (k_R r i_{Sy} - (\alpha_k - p \mathcal{G}_m) \psi_{Rx}) \frac{T_R}{(1 + T_R s)}, \\
 m = k_R (\psi_{Rx} i_{Sy} - \psi_{Ry} i_{Sx}), \\
 \mathcal{G}_m = \frac{1}{s} \left( \frac{1}{T_m} \right) (m - m_n).
 \end{array} \right. \quad 15)$$

# Расчёт параметров асинхронного двигателя

## Программа для расчёта параметров АКЗ двигателя

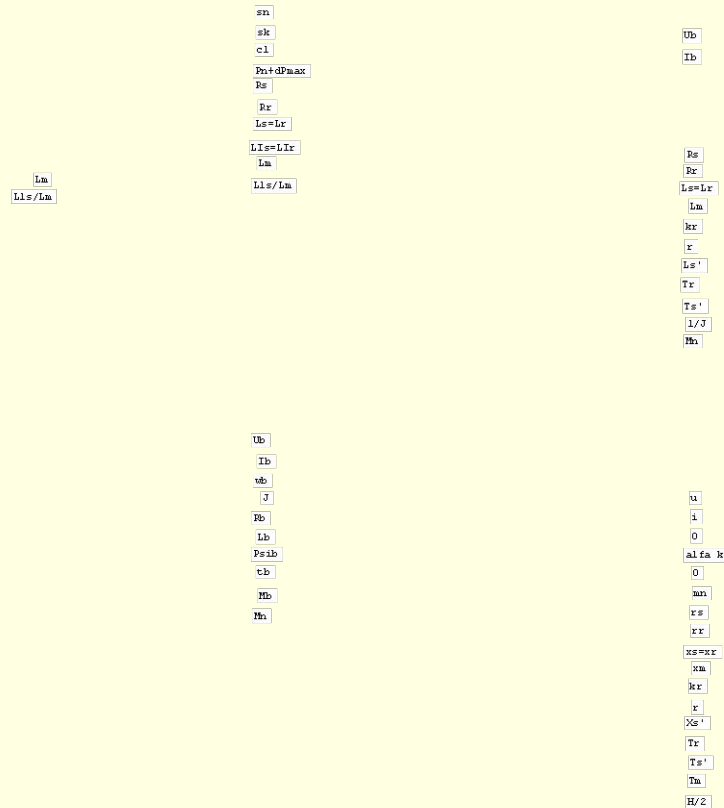


Рисунок 1 – Расчёт параметров АКЗ в Simulink

# Расчёт параметров асинхронного двигателя

Таблица 1 - Каталожные данные двигателя RA90S6

Тип двигателя	$P_n$ , кВт	Масса, кг	$n_n$ , об/мин	$\eta$ , %	$\cos \varphi$	$I_n$ , А	$\frac{I_n}{I_n}$	$\frac{M_n}{M_n}$	$\frac{M_{max}}{M_n}$	J, кгм <sup>2</sup>
RA90S6	0,75	13	935	70	0,72	2	4	2,2	2,5	0,0040

Таблица 2 - Параметры двигателя RA90S6 в абсолютных единицах

Параметр	$r_S$	$r_R$	$L_S = L_R$	$L_m$	$k_R$	$r$	$Mn$	$T_R$	$T'_S$	$1/J$
Абсолют	7,742	10,52	0,6422	0,6097	0,9493	17,671	7,66	0,06104	0,003685	125

Таблица 3 - Базовые параметры двигателя RA90S6

Параметр	$U_b$	$I_b$	$\omega_b$	$R_b$	$L_b$	$\Psi_b$	$M_b$	$t_b$
Значение	310,3	2,828	314,2	109,7	0,3492	0,9876	12,57	0,003183

Таблица 4 - Параметры двигателя RA90S6 в относительных единицах

Параметр	$r_S$	$r_R$	$x_S = x_R$	$x_m$	$k_R$	$r$	$x'_S$	$T_R$	$T'_S$	$m_n$	$\bar{T}_m$
Относит	0,07057	0,09592	1,839	1,746	0,9493	0,157	0,1618	19,18	1,158	0,6094	62,81

# Схемы моделей АКЗ двигателя

---

**Модель для исследования переходных процессов в асинхронном электродвигателе, работающего на активную нагрузку**

Рисунок 2 – Модель для исследования переходных процессов в асинхронном электродвигателе, работающего на активную нагрузку

# Схемы моделей АКЗ двигателя

Модель для исследования переходных процессов в асинхронном электродвигателе, работающего на реактивную нагрузку

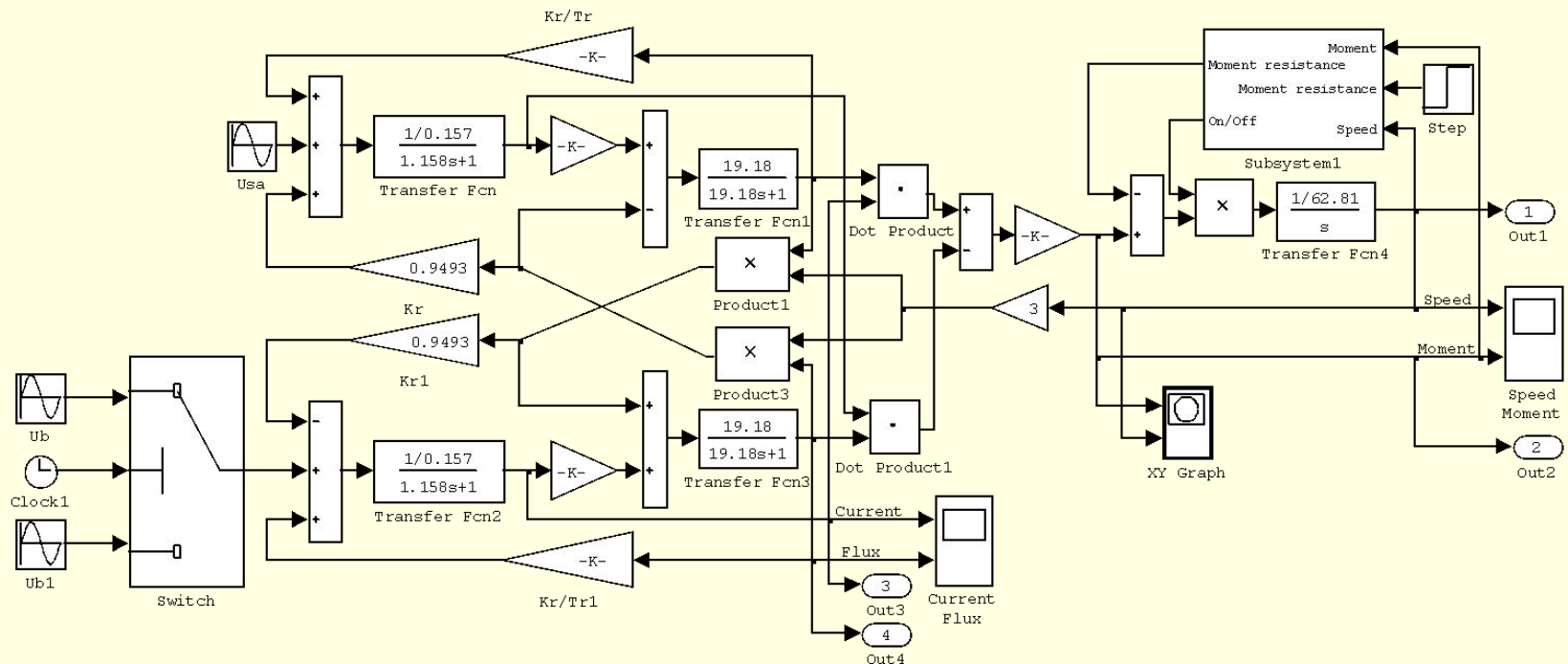


Рисунок 3 – Модель для исследования переходных процессов в асинхронном электродвигателе, работающего на реактивную нагрузку



# Схемы моделей АКЗ двигателя

---

## Модель реактивной нагрузки

2

Рисунок 4 – Модель реактивной нагрузки

# Механические характеристики асинхронного двигателя

## Работа двигателя в двигательном режиме

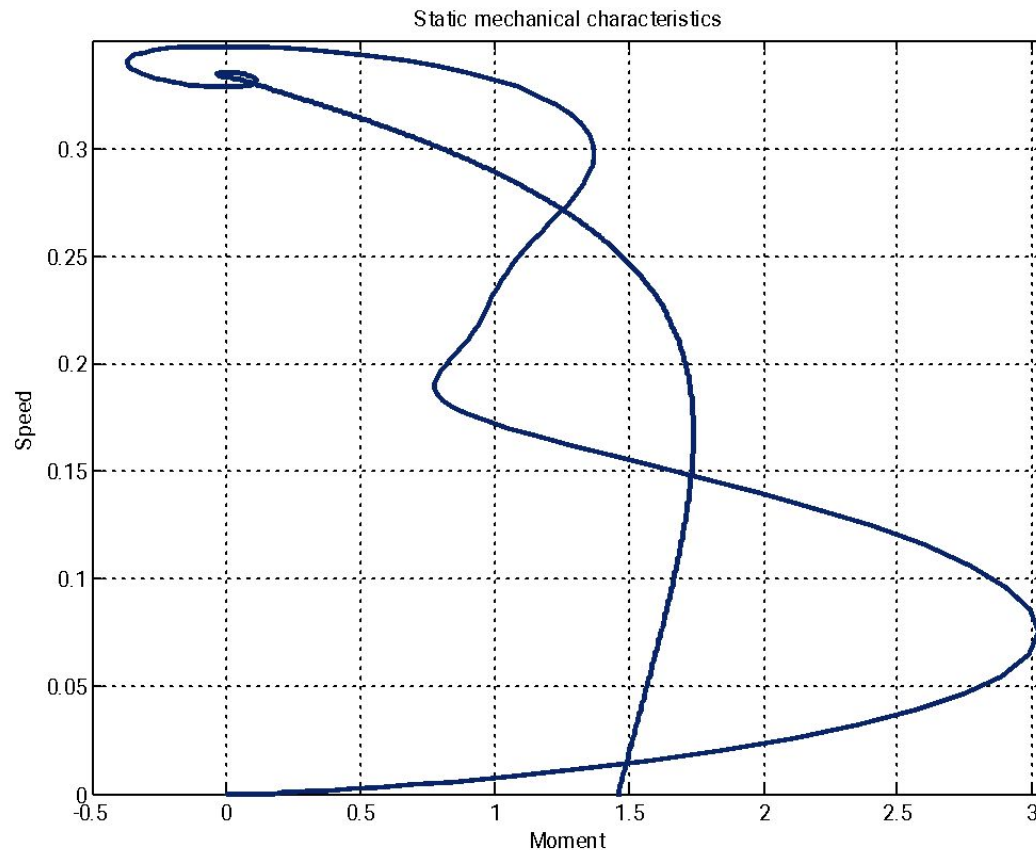


Рисунок 5 – Двигательный режим работы двигателя

# Механические характеристики асинхронного двигателя

## Генераторный режим работы двигателя

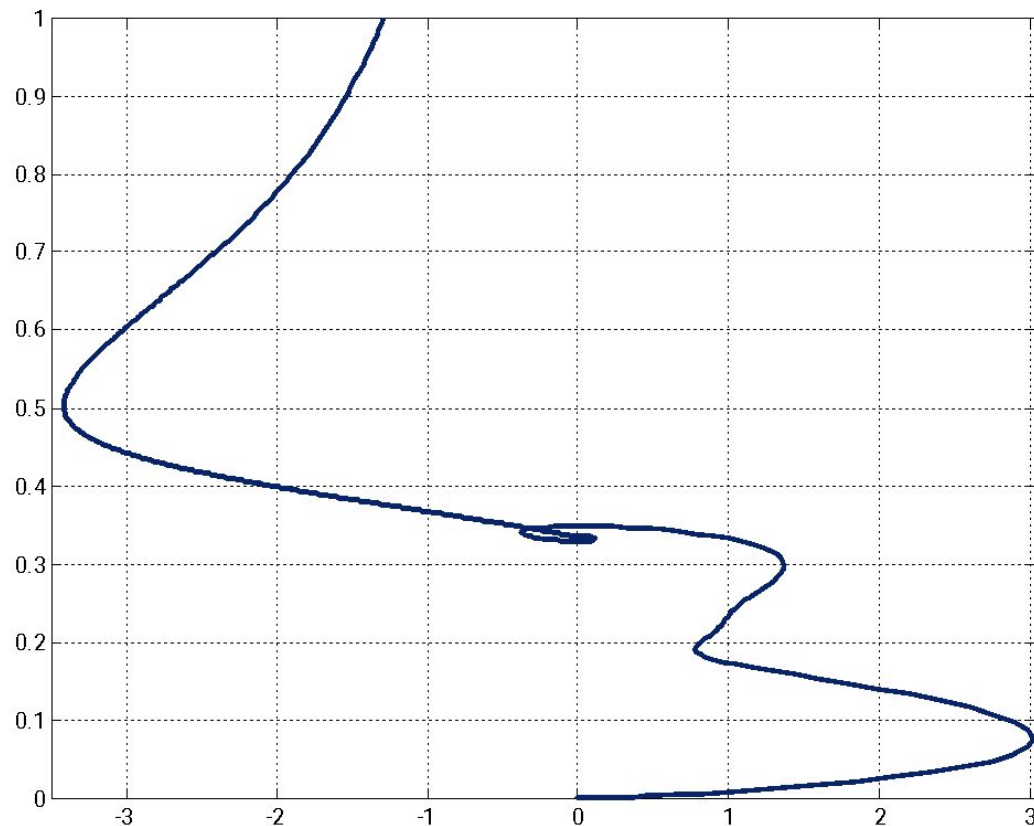


Рисунок 6 – Генераторный режим работы двигателя

# Динамические характеристики асинхронного двигателя

## Пуск АКЗ двигателя работающего на активную нагрузку

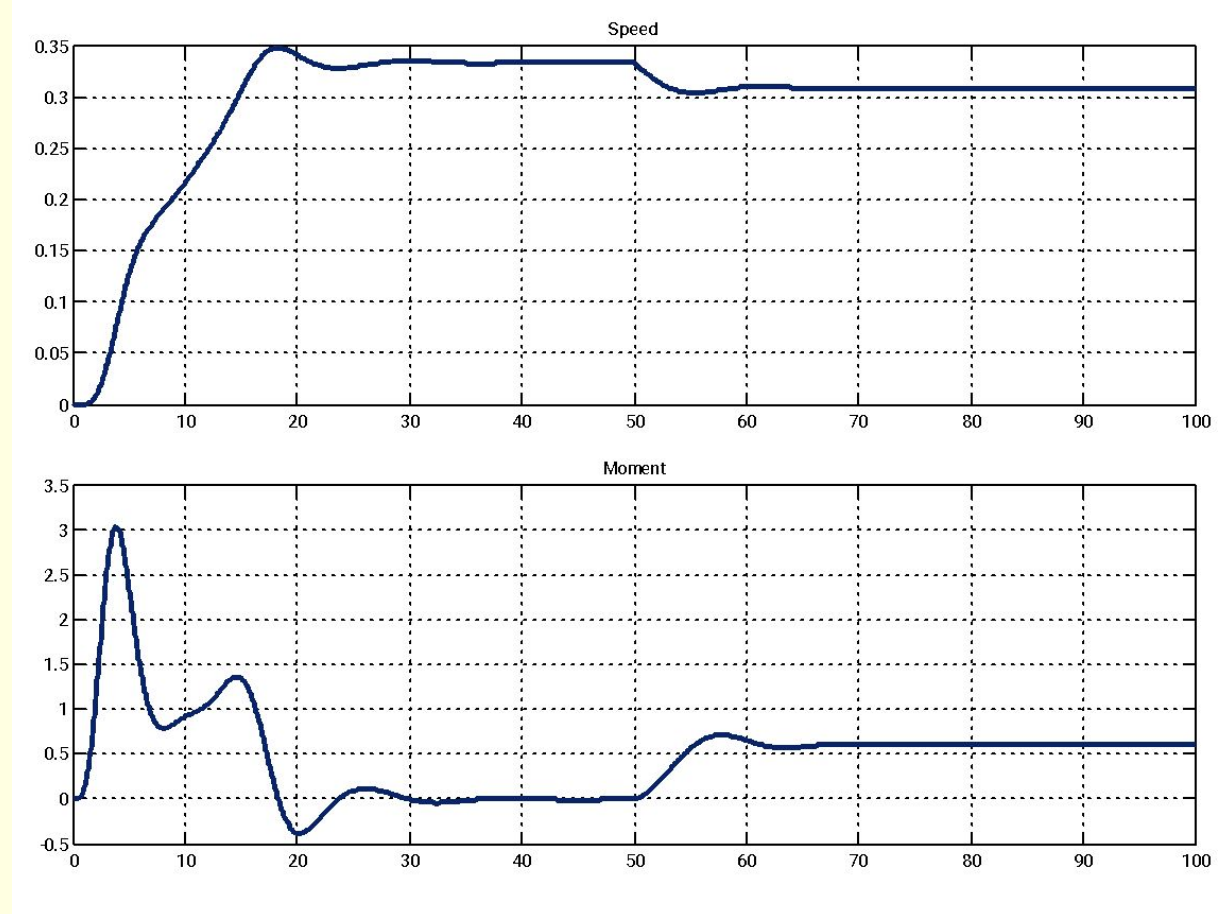


Рисунок 7 – Пуск АКЗ двигателя работающего на активную нагрузку

# Динамические характеристики асинхронного двигателя

Пуск и реверс АКЗ двигателя работающего на активную нагрузку

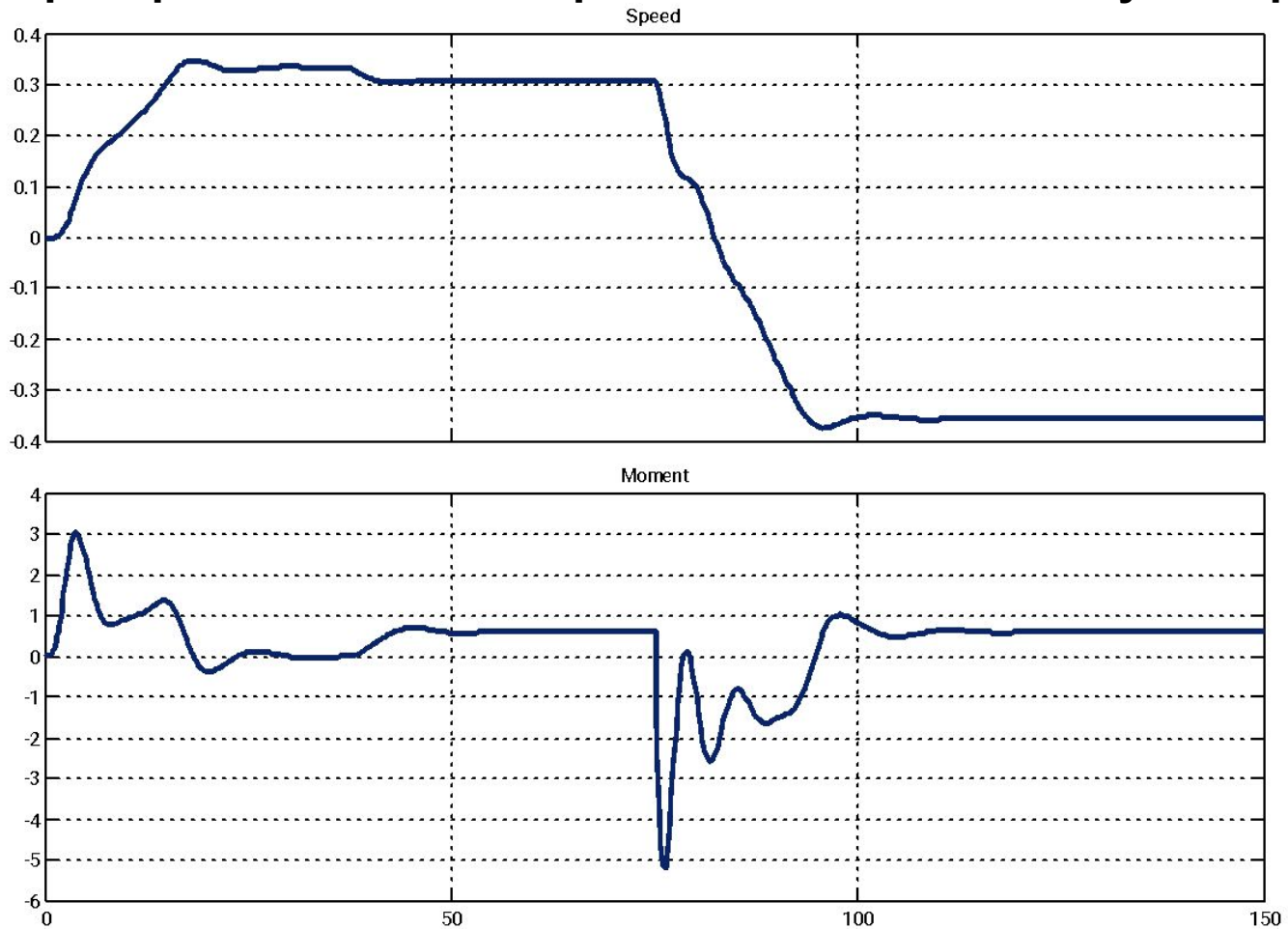


Рисунок 8 – Пуск и реверс АКЗ двигателя работающего на активную нагрузку

# Динамические характеристики асинхронного двигателя

Пуск АКЗ двигателя работающего на реактивную нагрузку

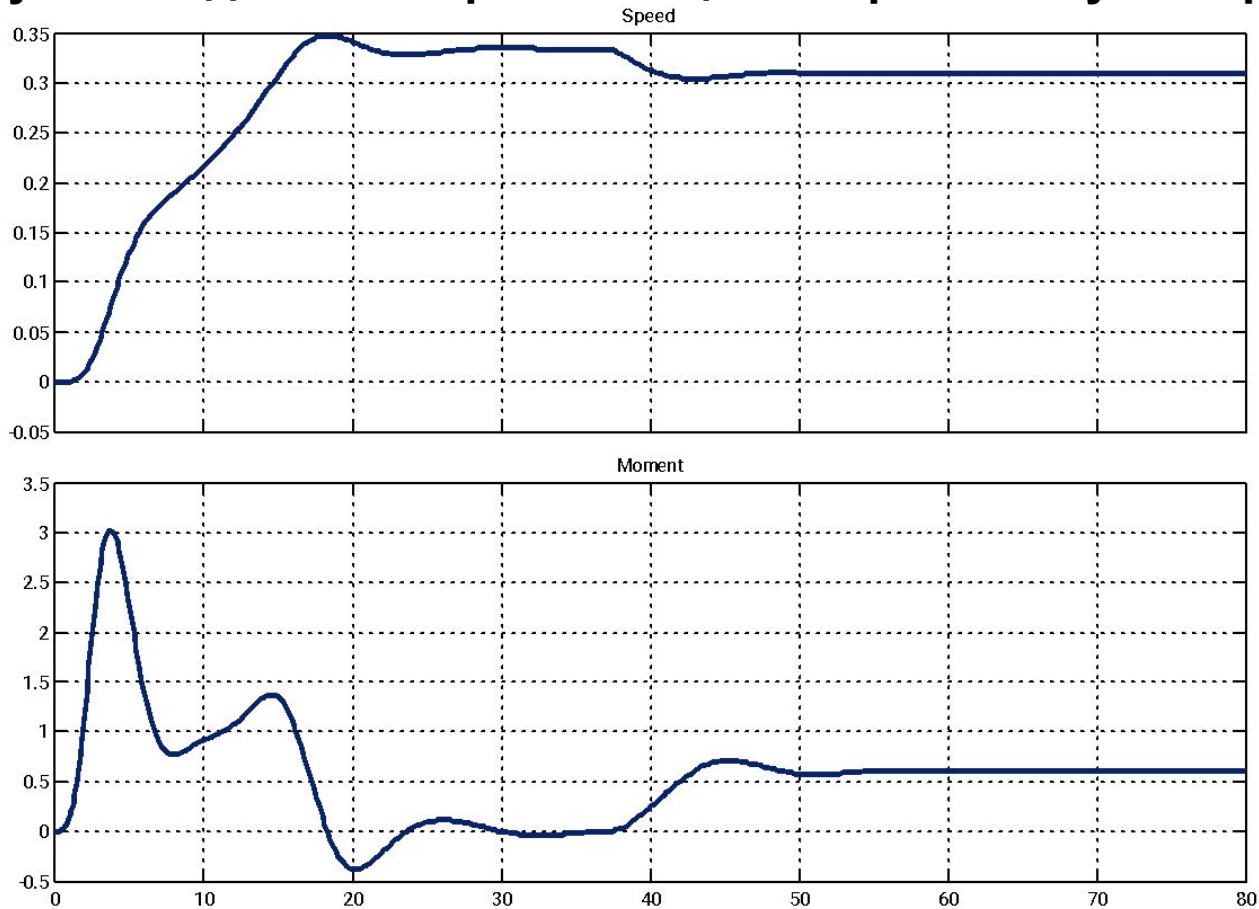


Рисунок 9 – Пуск АКЗ двигателя работающего на реактивную нагрузку

# Динамические характеристики асинхронного двигателя

Пуск и реверс АКЗ двигателя работающего на реактивную нагрузку

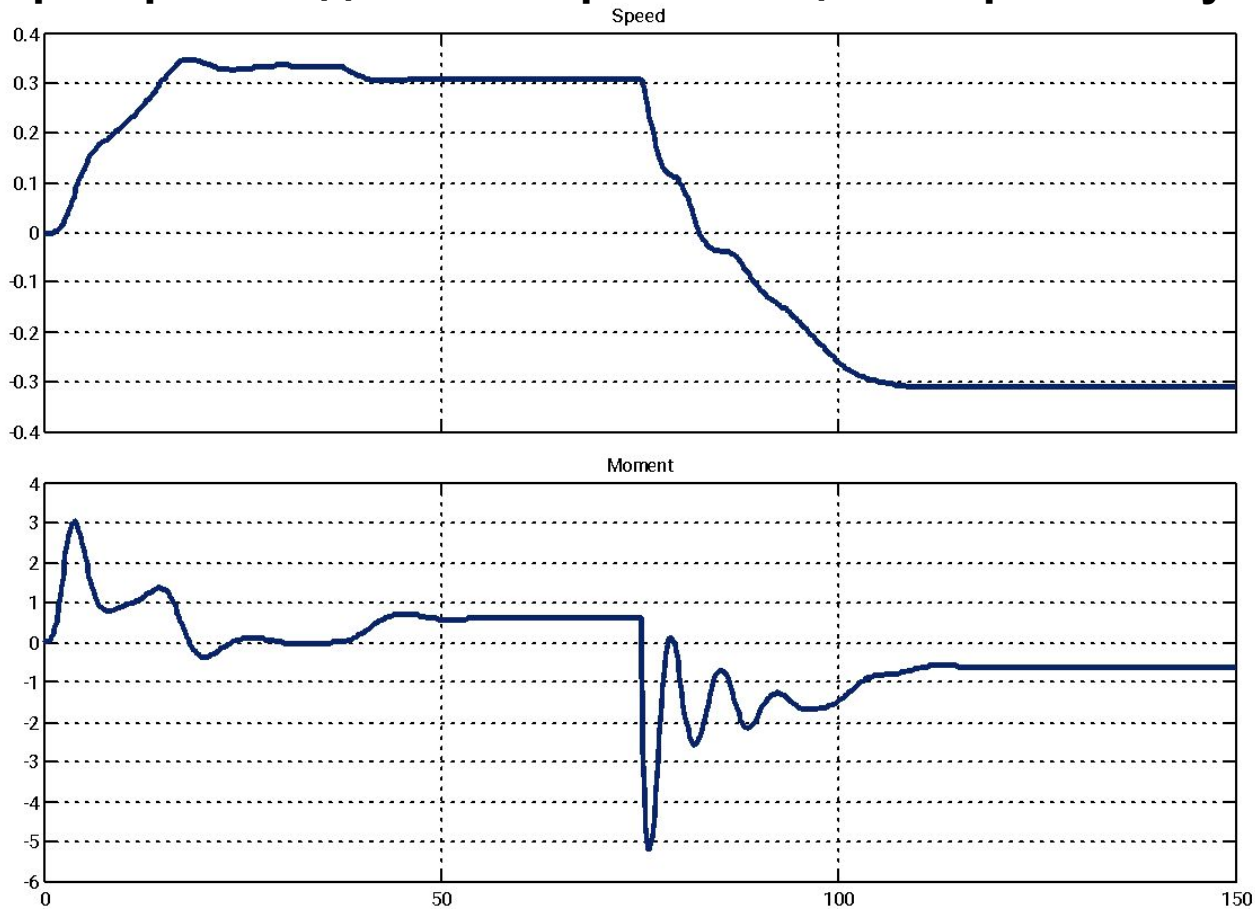


Рисунок 10 – Пуск и реверс АКЗ двигателя работающего на реактивную нагрузку