

Лабораторная работа №4. Моделирование скалярной системы управления асинхронным электродвигателем

Часть 2. Статические и динамические характеристики при законе регулирования $U_1/f_1^2 = \text{const}$

Искусственные статические характеристики системы преобразователь-двигатель при законе регулирования $U_1/f_1^2 = \text{const}$

Механические характеристики $\omega(M)$ разомкнутой системы преобразователь частоты – асинхронный двигатель при законе регулирования $U_1/f_1^2 = \text{const}$ для ряда выбранных значений выходной частоты инвертора в интервале от 50 до 5 Гц (соответствует диапазону регулирования скорости двигателя 1:10) рассчитываются по выражениям:

$$M(s, f_1) = \frac{3 \cdot U_1^2(f_1) \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot \frac{f_1}{f_{1H}} \cdot s \cdot \left[\left(X_{KH} \cdot \frac{f_1}{f_{1H}} \right)^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{s} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_{\mu} \cdot \frac{f_1}{f_{1H}}} \right)^2 \right]}$$

где

$$U_1(f_1) = U_{1фH} \cdot \left(\frac{f_1}{f_{1H}} \right)^2 = 220 \cdot \left(\frac{f_1}{50} \right)^2 ; \quad \omega(s, f_1) = \omega_0 \cdot \frac{f_1}{f_{1H}} \cdot (1-s).$$

Пример для Маткада:

f11 := 50 f12 := 40 f13 := 30

f14 := 20 f15 := 10 f16 := 5

$$M11(s) := \frac{3 \cdot \left[U \cdot \left(\frac{f11}{f} \right)^2 \right]^2 \cdot R2}{\omega_0 \cdot \frac{f11}{f} \cdot s \cdot \left[\left(X_{kn} \cdot \frac{f11}{f} \right)^2 + \left(R1 + \frac{R2}{s} \right)^2 + \left(\frac{R1 \cdot R2}{s \cdot X_m \cdot \frac{f11}{f}} \right)^2 \right]}$$

$$M13(s) := \frac{3 \cdot \left[U \cdot \left(\frac{f13}{f} \right)^2 \right]^2 \cdot R2}{\omega_0 \cdot \frac{f13}{f} \cdot s \cdot \left[\left(X_{kn} \cdot \frac{f13}{f} \right)^2 + \left(R1 + \frac{R2}{s} \right)^2 + \left(\frac{R1 \cdot R2}{s \cdot X_m \cdot \frac{f13}{f}} \right)^2 \right]}$$

$$M12(s) := \frac{3 \cdot \left[U \cdot \left(\frac{f12}{f} \right)^2 \right]^2 \cdot R2}{\omega_0 \cdot \frac{f12}{f} \cdot s \cdot \left[\left(X_{kn} \cdot \frac{f12}{f} \right)^2 + \left(R1 + \frac{R2}{s} \right)^2 + \left(\frac{R1 \cdot R2}{s \cdot X_m \cdot \frac{f12}{f}} \right)^2 \right]}$$

$$M14(s) := \frac{3 \cdot \left[U \cdot \left(\frac{f14}{f} \right)^2 \right]^2 \cdot R2}{\omega_0 \cdot \frac{f14}{f} \cdot s \cdot \left[\left(X_{kn} \cdot \frac{f14}{f} \right)^2 + \left(R1 + \frac{R2}{s} \right)^2 + \left(\frac{R1 \cdot R2}{s \cdot X_m \cdot \frac{f14}{f}} \right)^2 \right]}$$

$$M15(s) := \frac{3 \cdot \left[U \cdot \left(\frac{f15}{f} \right)^2 \right]^2 \cdot R2}{w0 \cdot \frac{f15}{f} \cdot s \cdot \left[\left(X_{km} \cdot \frac{f15}{f} \right)^2 + \left(R1 + \frac{R2}{s} \right)^2 + \left(\frac{R1 \cdot R2}{s \cdot X_{km} \cdot \frac{f15}{f}} \right)^2 \right]}$$

$$M16(s) := \frac{3 \cdot \left[U \cdot \left(\frac{f16}{f} \right)^2 \right]^2 \cdot R2}{w0 \cdot \frac{f16}{f} \cdot s \cdot \left[\left(X_{km} \cdot \frac{f16}{f} \right)^2 + \left(R1 + \frac{R2}{s} \right)^2 + \left(\frac{R1 \cdot R2}{s \cdot X_{km} \cdot \frac{f16}{f}} \right)^2 \right]}$$

Характеристику нагрузки «вентиляторного» типа рассчитываем в общем виде по выражению:

$$M_c(\omega) = 0,15 \cdot M_H + 0,85 \cdot M_H \cdot \left(\frac{\omega}{\omega_H} \right)^2$$

$$w11(s) := w0 \cdot \frac{f11}{f} \cdot (1 - s) \quad w13(s) := w0 \cdot \frac{f13}{f} \cdot (1 - s) \quad w15(s) := w0 \cdot \frac{f15}{f} \cdot (1 - s)$$

$$w12(s) := w0 \cdot \frac{f12}{f} \cdot (1 - s) \quad w14(s) := w0 \cdot \frac{f14}{f} \cdot (1 - s) \quad w16(s) := w0 \cdot \frac{f16}{f} \cdot (1 - s)$$

$$Wn := 303.164$$

$$Mn = 24.752$$

$$MM(ww) := 0.15 \cdot Mn + 0.85 \cdot Mn \cdot \left(\frac{ww}{Wn} \right)^2$$

$$ww := 0,0.001..400$$

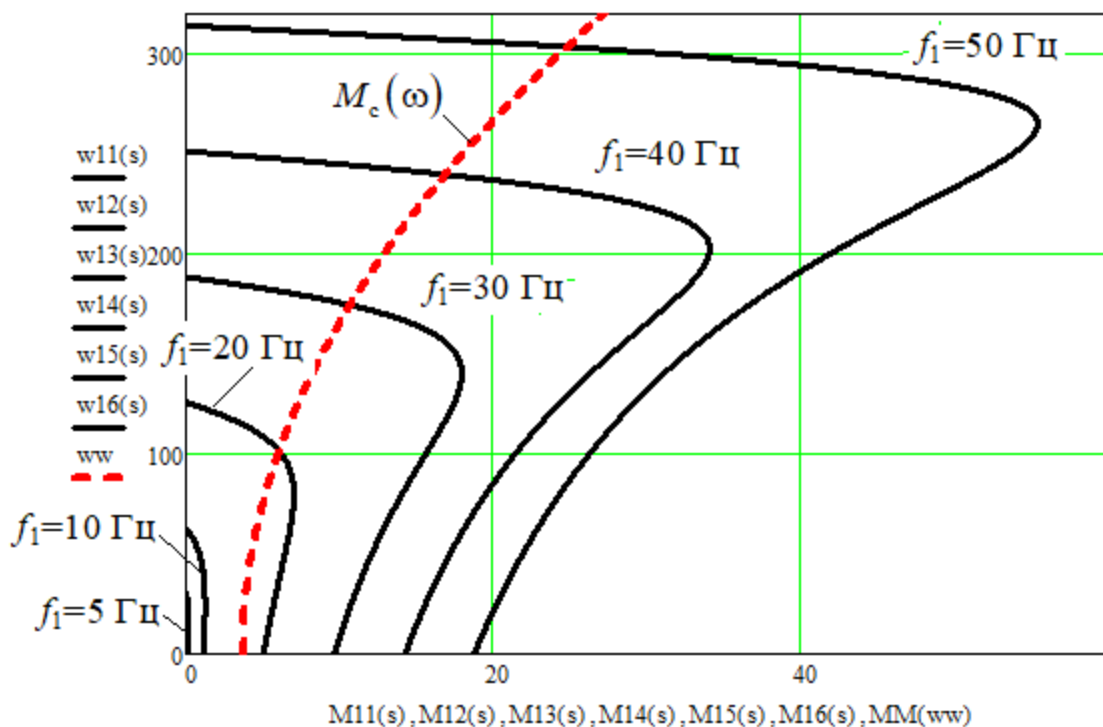


Рисунок 19 – Механические характеристики $\omega(M)$ системы преобразователь – двигатель при законе регулирования $U_1/f_1^2 = \text{const}$

Анализ приведенных на рисунке 19 механических характеристик электропривода и нагрузки показывает, что при законе регулирования $U_1/f_1^2 = \text{const}$ не удастся обеспечить пуск электропривода при частотах 5 и 10 Гц (**момент нагрузки превышает пусковой момент**).

С целью увеличения пускового момента вольт - частотную характеристику представляем зависимостью:

$$U_1(f_1) = U_{1\text{МИН}} + (U_{1\text{ФН}} - U_{1\text{МИН}}) \cdot \left(\frac{f_1}{f_{1\text{Н}}}\right)^2 = 10 + (220 - 10) \cdot \left(\frac{f_1}{50}\right)^2.$$

Пример для Маткада

$$f_{11} := 50 \quad f_{12} := 40 \quad f_{13} := 30$$

$$f_{14} := 20 \quad f_{15} := 10 \quad f_{16} := 5$$

$$M_{11}(s) := \frac{3 \cdot \left[10 + 210 \cdot \left(\frac{f_{11}}{f}\right)^2\right]^2 \cdot R_2}{w_0 \cdot \frac{f_{11}}{f} \cdot s \cdot \left[\left(X_{\text{кн}} \cdot \frac{f_{11}}{f}\right)^2 + \left(R_1 + \frac{R_2}{s}\right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2}{s \cdot X_m \cdot \frac{f_{11}}{f}}\right)^2 \right]}$$

$$M_{12}(s) := \frac{3 \cdot \left[10 + 210 \cdot \left(\frac{f_{12}}{f}\right)^2\right]^2 \cdot R_2}{w_0 \cdot \frac{f_{12}}{f} \cdot s \cdot \left[\left(X_{\text{кн}} \cdot \frac{f_{12}}{f}\right)^2 + \left(R_1 + \frac{R_2}{s}\right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2}{s \cdot X_m \cdot \frac{f_{12}}{f}}\right)^2 \right]}$$

$$M_{15}(s) := \frac{3 \cdot \left[10 + 210 \cdot \left(\frac{f_{15}}{f}\right)^2\right]^2 \cdot R_2}{w_0 \cdot \frac{f_{15}}{f} \cdot s \cdot \left[\left(X_{\text{кн}} \cdot \frac{f_{15}}{f}\right)^2 + \left(R_1 + \frac{R_2}{s}\right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2}{s \cdot X_m \cdot \frac{f_{15}}{f}}\right)^2 \right]}$$

$$M_{13}(s) := \frac{3 \cdot \left[10 + 210 \cdot \left(\frac{f_{13}}{f}\right)^2\right]^2 \cdot R_2}{w_0 \cdot \frac{f_{13}}{f} \cdot s \cdot \left[\left(X_{\text{кн}} \cdot \frac{f_{13}}{f}\right)^2 + \left(R_1 + \frac{R_2}{s}\right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2}{s \cdot X_m \cdot \frac{f_{13}}{f}}\right)^2 \right]}$$

$$M_{14}(s) := \frac{3 \cdot \left[10 + 210 \cdot \left(\frac{f_{14}}{f}\right)^2\right]^2 \cdot R_2}{w_0 \cdot \frac{f_{14}}{f} \cdot s \cdot \left[\left(X_{\text{кн}} \cdot \frac{f_{14}}{f}\right)^2 + \left(R_1 + \frac{R_2}{s}\right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2}{s \cdot X_m \cdot \frac{f_{14}}{f}}\right)^2 \right]}$$

$$M_{16}(s) := \frac{3 \cdot \left[10 + 210 \cdot \left(\frac{f_{16}}{f}\right)^2\right]^2 \cdot R_2}{w_0 \cdot \frac{f_{16}}{f} \cdot s \cdot \left[\left(X_{\text{кн}} \cdot \frac{f_{16}}{f}\right)^2 + \left(R_1 + \frac{R_2}{s}\right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2}{s \cdot X_m \cdot \frac{f_{16}}{f}}\right)^2 \right]}$$

Механические характеристики системы преобразователь – двигатель с учетом выбранной настройки вольт-частотной характеристики приведены на рисунке 20.

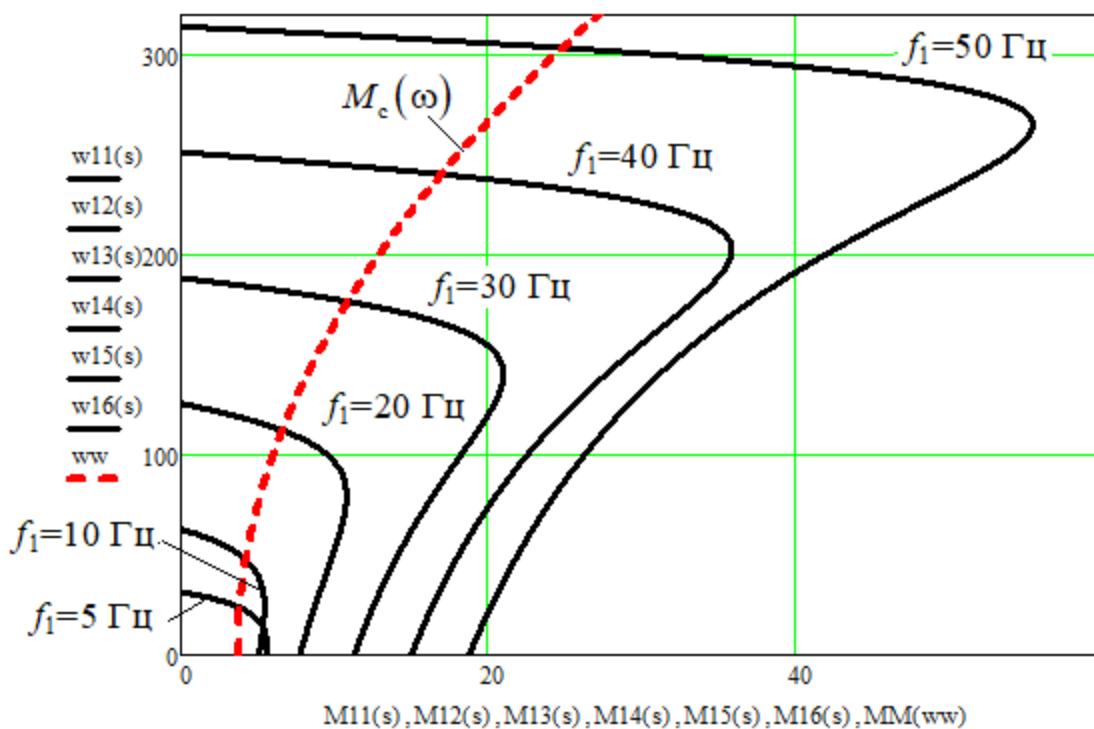


Рисунок 20 – Механические характеристики $\omega(M)$ системы преобразователь – двигатель после коррекции вольт - частотной характеристики

Моделирование скалярной системы управления

Функциональная схема частотно-регулируемого асинхронного электропривода со скалярным управлением приведена на рисунке 21. В состав электропривода входят: преобразователь частоты и асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором. Настраиваемыми параметрами электропривода являются: тип и параметры задатчика интенсивности скорости (ЗИС), значение минимальной частоты преобразователя $f_{\text{мин}}$, закон регулирования U_1/f_1 и коррекция вольт-частотной характеристики.

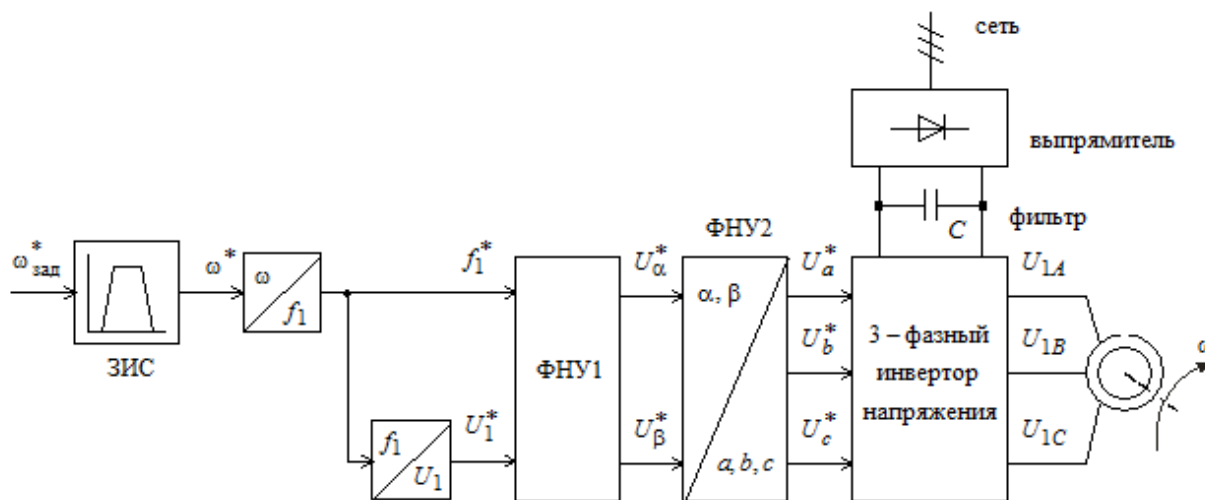


Рисунок 21 – Функциональная схема частотно-регулируемого асинхронного электропривода со скалярным управлением

Имитационная модель асинхронного электропривода со скалярным управлением без датчика интенсивности в программной среде MATLAB Simulink представлена на рисунке 22.

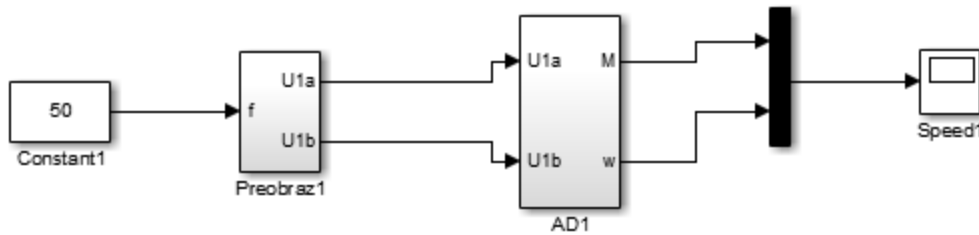


Рисунок 22 – Имитационная модель асинхронного электропривода со скалярным управлением без датчика интенсивности

Имитационная модель асинхронного двигателя (подсистема «AD») с вентиляторной нагрузкой представлена на рисунке 23.

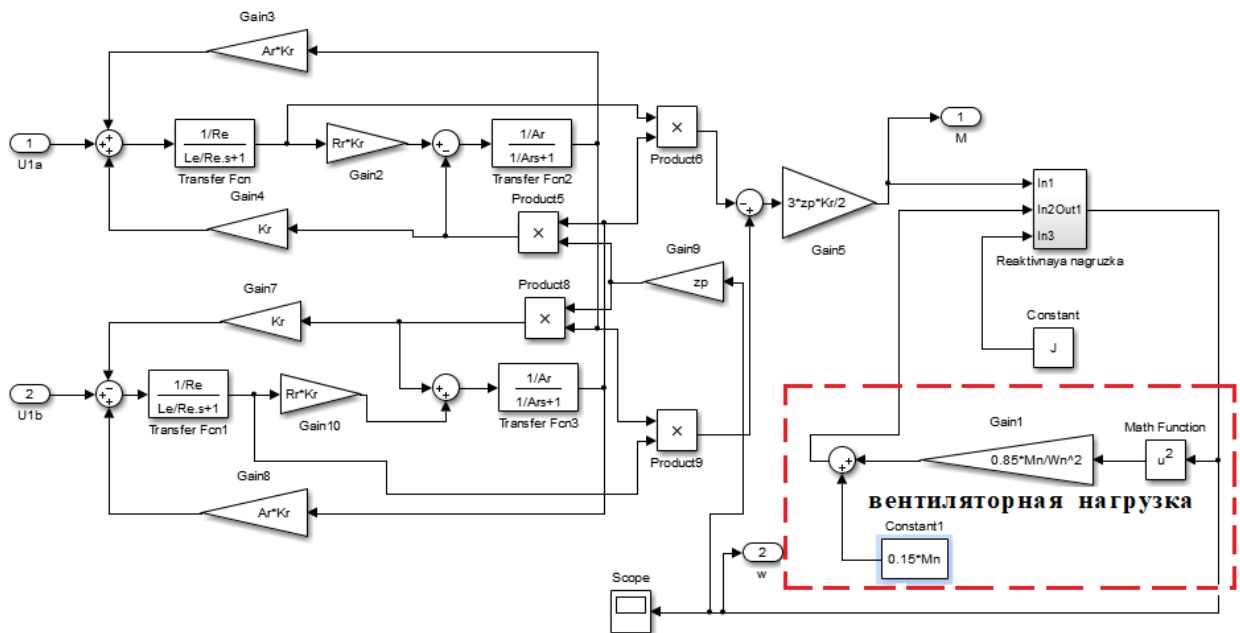


Рисунок 23 – Имитационная модель асинхронного двигателя с вентиляторной нагрузкой

Имитационная модель преобразователя частоты (подсистема «Preobraz») представлена на рисунке 24.

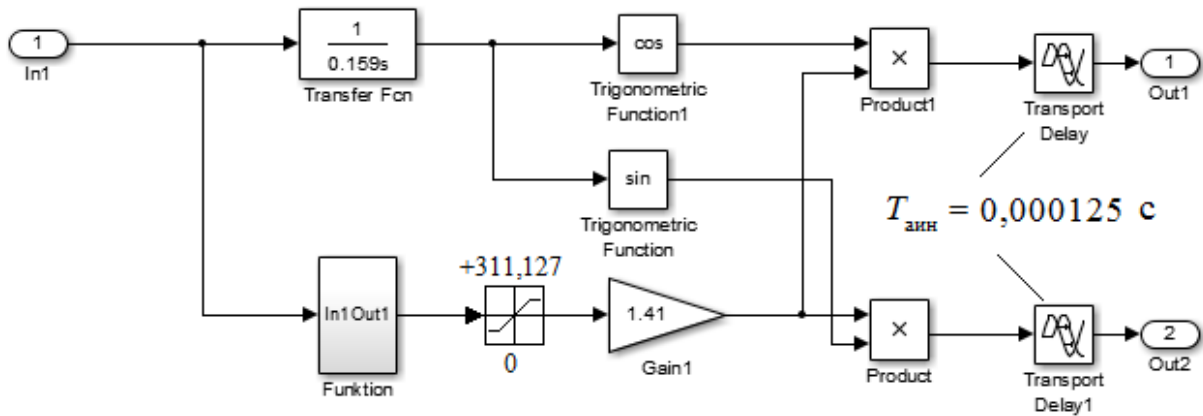


Рисунок 24 – Имитационная модель преобразователя частоты

Подсистема «Funktion» реализует математическую функцию

$$U_{\text{мин}} + (U_{\text{фн}} - U_{\text{мин}}) \cdot \frac{f_1^2}{f_{1н}^2} = 10 + (220 - 10) \cdot \frac{x^2}{50^2} = 10 + 0,084x^2 \text{ В}$$

при законе регулирования $U_1/f_1^2 = \text{const}$ и принятой ранее настройке вольт-частотной характеристики (рисунок 25).

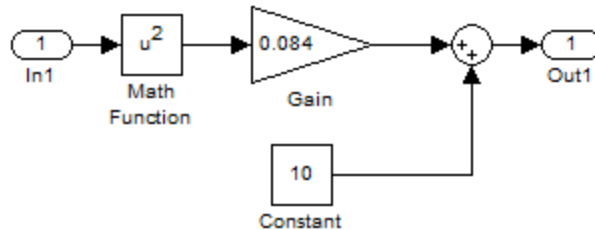


Рисунок 25 – Подсистема «Funktion» при законе регулирования

$U_1/f_1^2 = \text{const}$ и коррекции вольт-частотной характеристики

Или математическую функцию

$$U_{\text{фн}} \cdot \frac{f_1^2}{f_{1н}^2} = 220 \cdot \frac{x^2}{50^2} = 0,088x^2 \text{ В}$$

при законе регулирования $U_1/f_1^2 = \text{const}$ без коррекции вольт-частотной характеристики (рисунок 26).

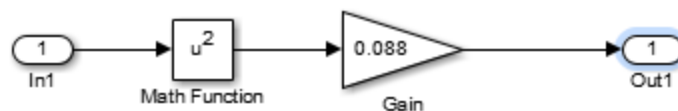


Рисунок 26 – Подсистема «Funktion» при законе регулирования

$U_1/f_1^2 = \text{const}$ без коррекции вольт-частотной характеристики

```

%Параметры двигателя
f=50;
Rs=0.574;
Rr=0.564;
Ls_=1.491/(2*pi*f);
Lr_=2.022/(2*pi*f);
Lm=50.379/(2*pi*f);
p=2;
J=0.01*2.5; %эквивалентный момент инерции = 2.5Jдв
Ls=Ls_+Lm;
Lr=Lr_+Lm;
zp=p/2;
Kr=Lm/Lr;
Re=Rs+Rr*Kr^2;
Le=Ls-Lm^2/Lr;
Uamp=220*sqrt(2);
Ar=Rr/Lr;
Wref=2*pi*f;

Wn=303.164;
Mn=24.739;

```

Переходные процессы в системе скалярного управления с ИР-компенсацией и без неё представлены на рисунках 27 – 32.

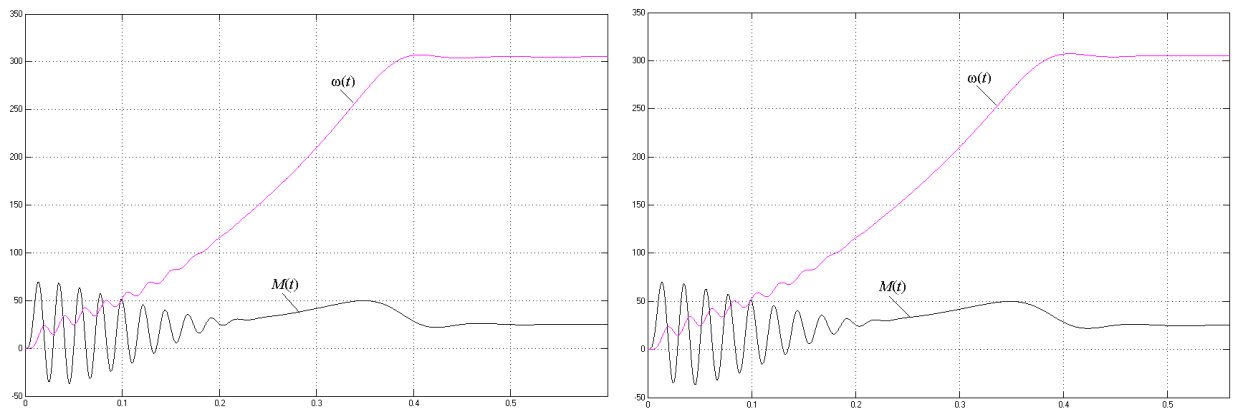


Рисунок 27 – Переходные процессы при пуске электропривода с частотным законом регулирования скорости $U/f^2 = \text{const}$ при значении частоты $f=50$ Гц

- а) без коррекции вольт-частотной характеристики;
- б) с коррекцией вольт-частотной характеристики

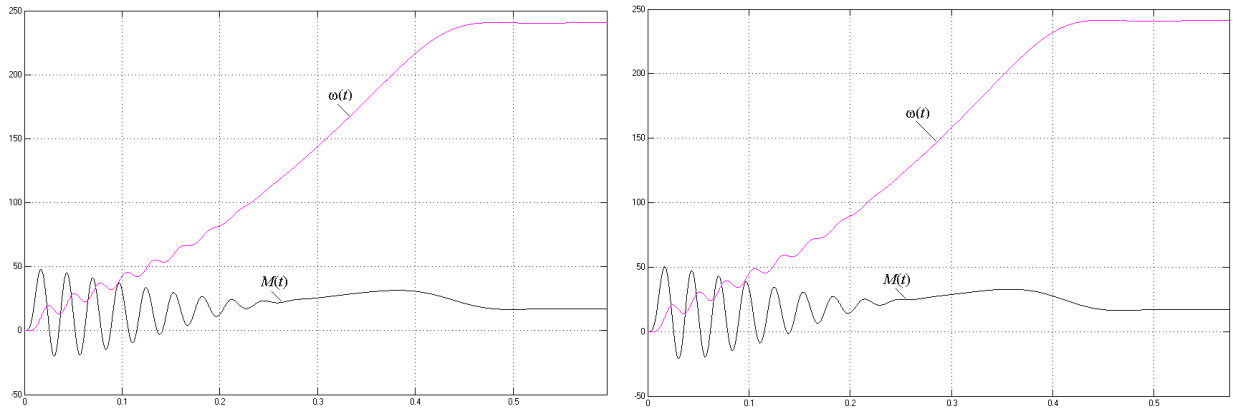


Рисунок 28 – Переходные процессы при пуске электропривода с частотным законом регулирования скорости $U/f^2 = \text{const}$ при значении частоты $f=40$ Гц
 а) без коррекции вольт-частотной характеристики;
 б) с коррекцией вольт-частотной характеристики

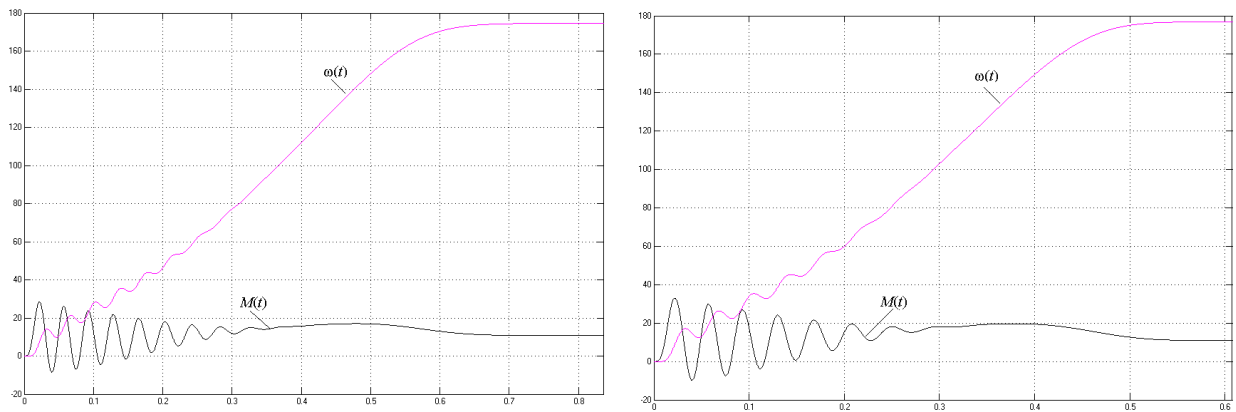


Рисунок 29 – Переходные процессы при пуске электропривода с частотным законом регулирования скорости $U/f^2 = \text{const}$ при значении частоты $f=30$ Гц
 а) без коррекции вольт-частотной характеристики;
 б) с коррекцией вольт-частотной характеристики

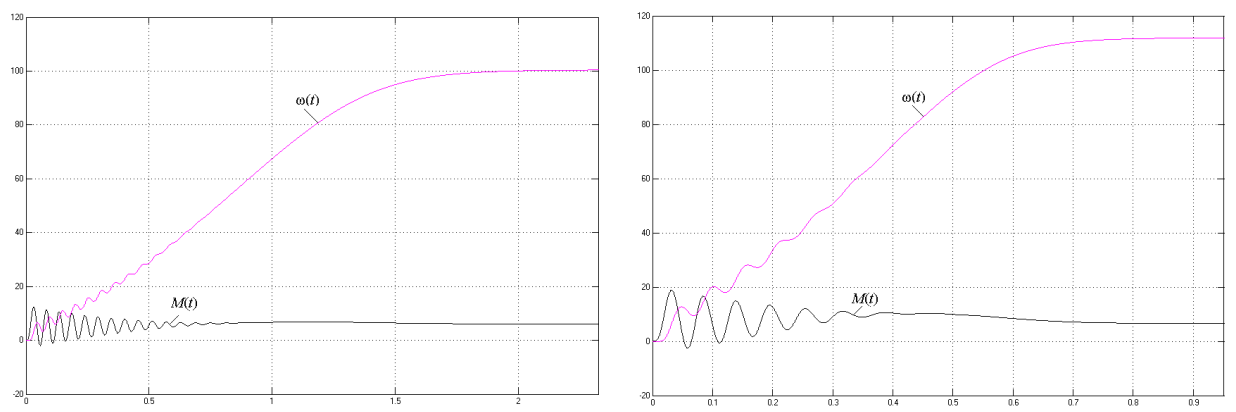


Рисунок 30 – Переходные процессы при пуске электропривода с частотным законом регулирования скорости $U/f^2 = \text{const}$ при значении частоты $f=20$ Гц
 а) без коррекции вольт-частотной характеристики;
 б) с коррекцией вольт-частотной характеристики

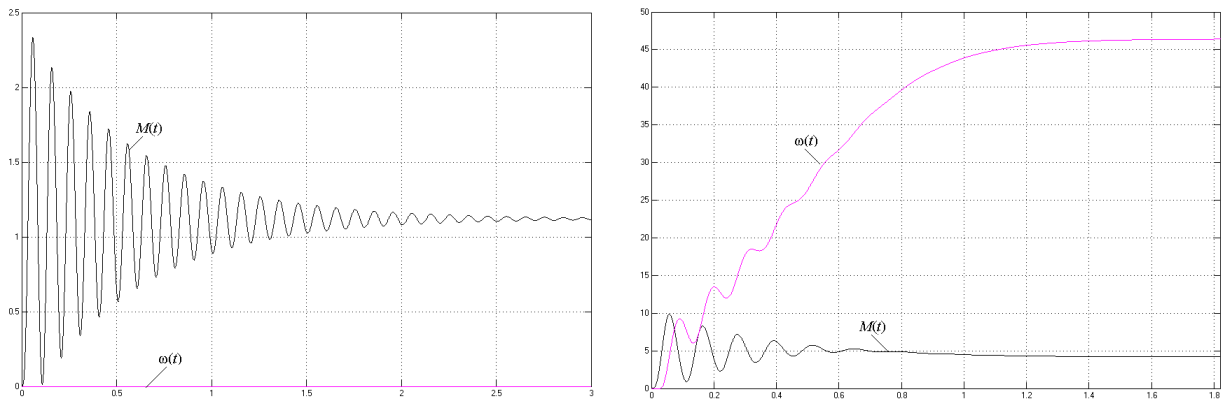


Рисунок 31 – Переходные процессы при пуске электропривода с частотным законом регулирования скорости $U/f^2=\text{const}$ при значении частоты $f=10$ Гц

- а) без коррекции вольт-частотной характеристики;
- б) с коррекцией вольт-частотной характеристики

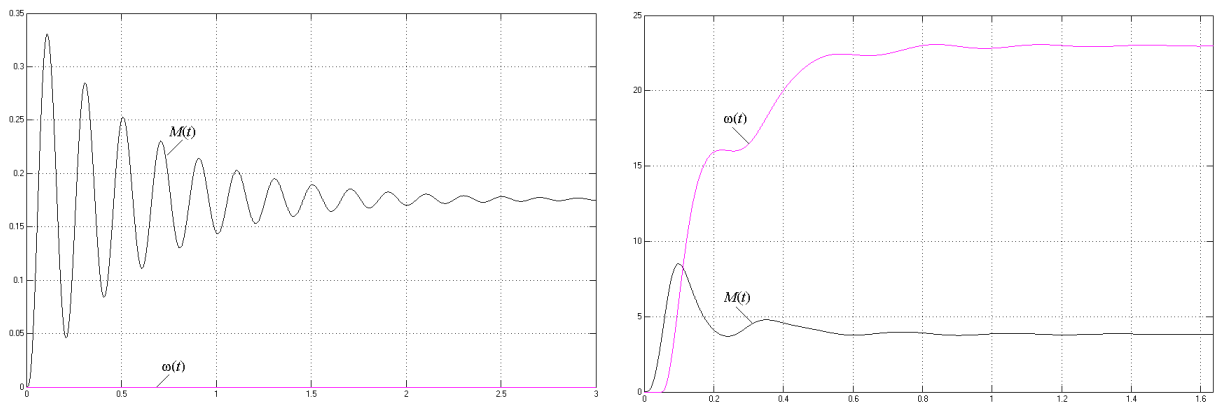


Рисунок 32 – Переходные процессы при пуске электропривода с частотным законом регулирования скорости $U/f^2=\text{const}$ при значении частоты $f=5$ Гц

- а) без коррекции вольт-частотной характеристики;
- б) с коррекцией вольт-частотной характеристики

Как видно из результатов моделирования, в электроприводе со скалярным управлением и законом регулирования $U/f^2=\text{const}$ при отсутствии коррекции вольт-частотной характеристики действительно невозможен пуск на частоты 5 и 10 Гц (рисунки 31 и 32).