

П6 Программа «*zipch2fad.m*»

Переходные процессы в системе “Преобразователь частоты – асинхронный двигатель” с задатчиком интенсивности.

Система ПЧ-АД состоит из асинхронного двигателя АД с короткозамкнутым ротором и преобразователя частоты ПЧ со звеном постоянного тока с управляемым УВ или неуправляемым НВ выпрямителем (рис. П.14).

На рис. П.15 приведена структурная схема системы ПЧ-АД. Асинхронный двигатель АД представлен функциональным звеном, на входе которого частота f_1 и амплитуда U_1 напряжения, на выходе – токи статора I_1 , ротора I_2 , момент M и скорость ω двигателя.

Регулирование выходной частоты f_1 преобразователя частоты и синхронной скорости $\omega_0 = 2 \cdot \pi \cdot f_1 / p_n$ обеспечивается напряжением управления U_y . Преобразователь ПЧ будем считать безынерционным пропорциональным звеном с коэффициентом усиления по частоте $K_{yч} = f_1 / U_y$.

Формирование напряжения на статоре возлагается на функциональный преобразователь ФП (рис. П.16), который реализует регулировочную характеристику ПЧ – зависимость амплитуды выходного напряжения от частоты $U_1 = \varphi(f_1)$.

Система ПЧ-АД обеспечивает двухзонное регулирование скорости (до естественной характеристики – по закону $U_1 / f_1 = const$, выше естественной – по закону $U_1 = const$).

Задатчик интенсивности ЗИ – пропорционально-интегрального типа. При пуске двигателя пропорциональный канал ЗИ обеспечивает подачу скачка синхронной скорости $\Delta\omega_0$ (рис. П.17) и напряжения U_1 , затем интегральный канал обеспечивает линейное нарастание ω_0 и U_1 . При достижении интегральным каналом заданных значений $\omega_{0кон}$ скачок $\Delta\omega_0$ снимается, и устанавливается заданное значение $\omega_{0кон}$.

При торможении сначала скачком снижается $\Delta\omega_0$, затем по линейному закону снижаются ω_0 и U_1 до величин $\omega_{0мин}$ и $U_{0мин}$, соответствующих минимальной частоте ПЧ $f_{1мин}$. Дальнейший процесс торможения выполняется по характеристике с частотой $f_{1мин}$.

Для математического описания процесса электромеханического преобразования в асинхронном двигателе использован идеализированный двухфазный электромеханический преобразователь, который обычно называют обобщенной электрической машиной [7]. Токи и напряжение реального двигателя приведены к осям x, y обобщенной двухфазной машины, вращающимся со скоростью поля машины. Инерционность преобразователя частоты при расчёте не учитывается.

Система дифференциальных и алгебраических уравнений, описывающих работу системы ПЧ-АД [1] с ЗИ в программе “*zipch2fad.m*”, приведена в табл. П.8.

Дифференциальные уравнения в программе решаются методом Эйлера.

На основе уравнений на рис. П.15 построена структурная схема двухфазной обобщенной машины асинхронного двигателя.

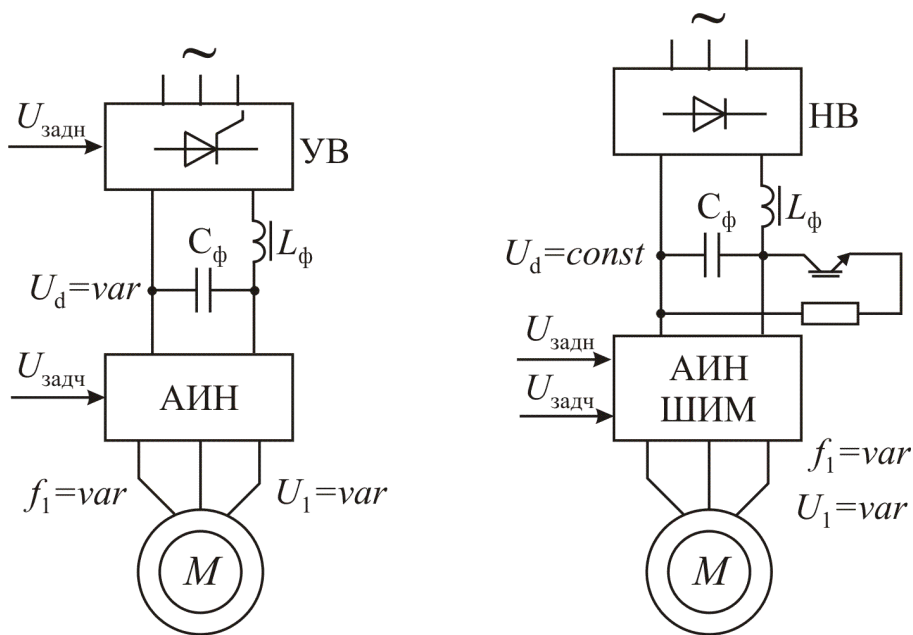


Рис. П.14. Схемы преобразователей частоты со звеном постоянного тока

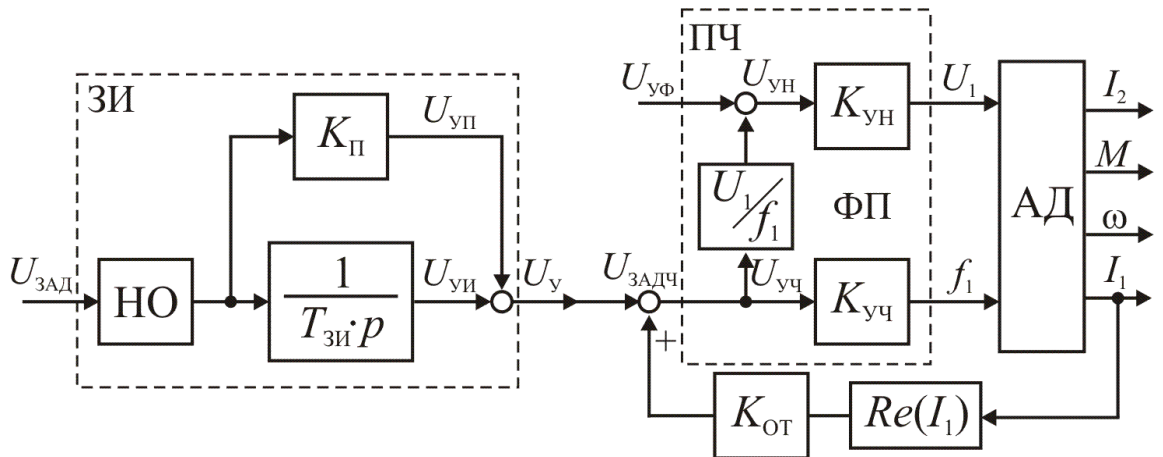


Рис. П.15. Структурная схема системы ПЧ-АД

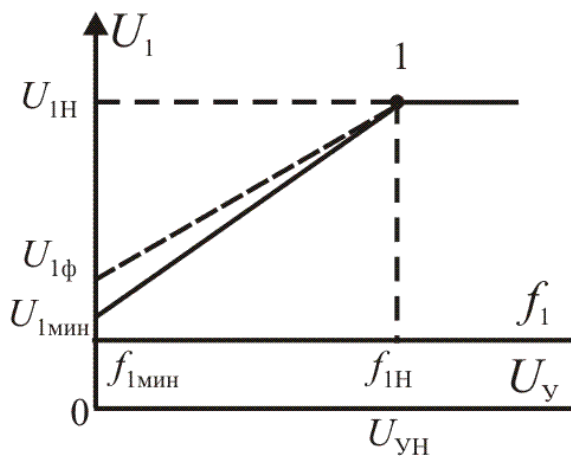


Рис. П.16. Регулировочная характеристика ПЧ $U_1 = \varphi(f_1)$
1 а.ул. П.8

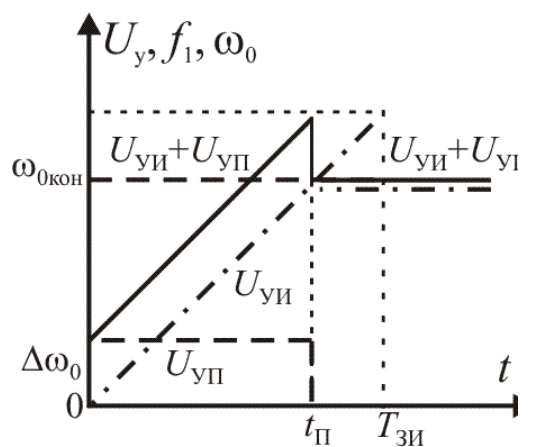


Рис. П.17. Напряжение $U_y(t)$ на выходе ПИ задатчика

Уравнения АД в модели двухфазной обобщенной машины

В физических величинах	В программе <i>zipch2fad</i>
Знак изменения ω_0	
$s_2 = \text{sign}(\omega_{0\text{кон}} - \omega_{0\text{нач}})$	$s2 = \text{sign}(woko - wona)$.
Формирование линейного закона нарастания синхронной скорости ω_0	
$\omega_0 = \omega_{0\text{нач}} + s_2 \cdot \Delta \cdot \omega_0 + s_2 \cdot \frac{t}{T_{3И}}$	$wo = wona + s2 * dwo + won * s2 * t / Tzi + ks$;
Приращение частоты от активной составляющей тока статора	$dfi = f1n * I1x / (1.73 * I1n * \cos fi1n)$;
Компенсация скольжения	$ks = kot * sn * dfi$.
Взаимная индуктивность	
$L_\mu = x_{\mu n} / (3 \cdot \pi \cdot f_{1n})$	$Lm = xmn / (3 * pi * f1n)$.
Индуктивное сопротивление контура намагничивания, Ом	
$x_{\mu n} = u_{1n} / I_{\mu n} - x_1$	$xmn = u1n / Imn - x1$.
Индуктивность рассеяния статора	
$L_1 = x_1 / (2 \cdot \pi \cdot f_{1n})$	$L1 = x1 / (2 * pi * f1n)$.
Приведенная индуктивность рассеяния ротора	
$L_2 = x_{2p} / (2 \cdot \pi \cdot f_{1n})$	$L2 = x2p / (2 * pi * f1n)$.
Группировка индуктивностей – для удобства представления в программе	
$L_4 = (L_1 + L_\mu) \cdot (L_2 + L_\mu) - L_\mu^2$ $L_{11} = (L_1 + L_\mu) / L_4$ $L_{22} = (L_2 + L_\mu) / L_4$ $L_{33} = L_\mu / L_4$	$L4 = (L1 + Lm) * (L2 + Lm) - Lm^2$ $L11 = (L1 + Lm) / L4$ $L22 = (L2 + Lm) / L4$ $L33 = Lm / L4$
Проекция токов статора и ротора на прямоугольные оси x, y	
$I_{1x} = \Psi_{1x} \cdot L_{22} - \Psi_{2x} \cdot L_{33}$ $I_{2x} = \Psi_{2x} \cdot L_{11} - \Psi_{1x} \cdot L_{33}$ $I_{1y} = \Psi_{1y} \cdot L_{22} - \Psi_{2y} \cdot L_{33}$ $I_{2y} = \Psi_{2y} \cdot L_{11} - \Psi_{1y} \cdot L_{33}$	$I1x = psi1x * L22 - psi2x * L33$ $I2x = psi2x * L11 - psi1x * L33$ $I1y = psi1y * L22 - psi2y * L33$ $I2y = psi2y * L11 - psi1y * L33$
Проекция напряжения статора на оси x	
$U_{1x} = \sqrt{3} \cdot u_1$	$U1x = 1.73 * u1$;

В физических величинах	В программе “zipch2fad.m”
Формирование закона изменения напряжения $\alpha = U_1/f_1 = const$ с возможностью форсировки напряжения $u_{1for} = u_{1\phi}/u_{1n}$	$a=abs(wo/won);$ $u1=(u1for+a-u1for*a)*u1n;$ $if u1>u1n \quad u1=u1n.$
Проекции на прямоугольные оси x,y	
Токов статора и ротора	$I1x=psi1x*L22-psi2x*L33;$ $I2x=psi2x*L11-psi1x*L33;$ $I1y=psi1y*L22-psi2y*L33;$ $I2y=psi2y*L11-psi1y*L33;$
Напряжения статора	$U1x=1.73*u1.$
Производные проекций потокосцеплений статора и ротора	Проекции потокосцеплений статора и ротора
$\frac{d\Psi_{1x}}{dt} = U_{1x} - I_{1x} \cdot r_1 + \Psi_{1y} \cdot \omega_0$	$psi1x=psi1x+h*(U1x-I1x*r1+psi1y*pp*wo);$
$\frac{d\Psi_{2x}}{dt} = -I_{2x} \cdot r_{2p} + \Psi_{2y} \cdot (p_n \cdot \omega_0 - p_n \cdot \omega)$	$psi1y=psi1y+h*(-I1y*r1-psi1x*pp*wo);$
$\frac{d\Psi_{1y}}{dt} = -I_{1y} \cdot r_1 - \Psi_{1x} \cdot \omega_0$	$psi2x=psi2x+h*(-I2x*r2p + psi2y * (pp *wo-pp*w));$
$\frac{d\Psi_{2y}}{dt} = -I_{2y} \cdot r_{2p} + \Psi_{2x} \cdot (p_n \cdot \omega_0 - p_n \cdot \omega)$	$psi2y=psi2y+h*(-I2y*r2p-psi2x*(pp*wo-pp*w)).$
Электромагнитный момент двигателя	
$M = 1.5 \cdot p_n \cdot L_\mu \cdot (I_{2x} \cdot I_{1y} - I_{1x} \cdot I_{2y})$	$M=1.5*pp*Lm*(I2x*I1y-I1x*I2y).$
Действующие значения токов	
$I_1 = \sqrt{I_{1x}^2 + I_{1y}^2}$ $I_2 = \sqrt{I_{2x}^2 + I_{2y}^2}$	$I1=sqrt((I1x^2+I1y^2)/3);$ $I2=sqrt((I2x^2+I2y^2)/3).$

В физических величинах	В программе <i>zipch2fad</i>
Уравнение движения	
$\frac{d\omega}{dt} = (M - M_c)/J$	dw = (M–Mc)/J; dMx=abs(dMxn)*sign(w); Mc=Mc1+dMx – активный; Mc=abs(Mc1)*sign(w)+dMx – реактивный w=w+h*dw.
Угол поворота вала двигателя	
$\frac{d\alpha}{dt} = \omega$	al=al+w*h.
Механическая мощность и энергия на валу двигателя	
$P_v = \int_{t_{нач}}^{t_{кон}} (M - \Delta M_x) \cdot \omega dt$	Pv1=(M–dMx)*w; Pv=Pv+Pv1*h.
Активная мощность и энергия двигателя	
$P_d = 3 \cdot \int_{t_{нач}}^{t_{кон}} U_1 \cdot I_1 \cdot \cos\varphi_1 dt$	Pd1=1,42*U1x*I1x; Pd=Pd+Pd1*h.
Среднеквадратичный ток статора	
$I_{1сркв} = \sqrt{\int_{t_{нач}}^{t_{кон}} \frac{I_1^2}{(t_{кон} - t_{нач})} dt}$	I1kvt=I1kvt+h*I1 ² . I1kv= sqrt(I1kvt/(tкон – tнач))
Потери мощности и энергии в преобразователе частоты	
$\Delta P_p = 0.5 \cdot \Delta P_{pn} \int_{t_{нач}}^{t_{кон}} \left(1 + (I_1/I_{pn})^2\right) dt$	dPp1 = 0.5*(1+(I1/Ipn) ²)*dPpn; dPp=dPp+dPp1*h;
Активная энергия сети	Pc=Pd+dPp;
Мгновенный КПД двигателя	kpdd=Pv1/Pd1;
Цикловый КПД системы ПЧ-АД	kpд= Pv /Pc;
Мгновенный коэффициент мощности двигателя	kmd = I1x/(1.73*I1);
Мгновенный km системы	km=cos(alfa)=u1/(0.6075*Upn);
Реактивная энергия системы	Qc=Pc*sqrt(1-km ²)/km;
Цикловый коэффициент мощности системы ПЧ-АД	km1=km1+km*h; km2=km1/t.

Текст программы “*zipch2fad.m*” приведен в [13].

Работа с программой имеет следующие этапы:

1. Расчёт характеристик выполняется с помощью программного обеспечения *Matlab*.

ВНИМАНИЕ!

Перед началом расчетов сохранить “*zipch2fad.m*” под другим именем (например, “*zipch2fad1.m*”) и в ней выполнять свои расчеты.

В отладочной “*zipch2fad.m*”
НИЧЕГО НЕ ИЗМЕНЯТЬ!!!!!!!!!!!!

Её следует использовать в качестве образца при наладке своей программы

2. Внимательно прочитайте свою программу. Обозначения физических величин, примененные в программе, часто не совпадают с общепринятыми. Следует разобраться с их обозначениями по комментариям в программе и по табл. П.8.

Уясните алгоритм расчета по структурной схеме (рис. П.15), по регулировочной характеристике ПЧ (рис. П.16) и по способу формирования напряжения на выходе ЗИ (рису. П.17).

3. Введите (курсивом показаны параметры, которые следует предварительно рассчитать):

- каталожные и обмоточные данные двигателя;
- каталожные данные преобразователя частоты;
- тип выпрямителя преобразователя частоты (управляемый, неуправляемый);
- *постоянную времени задатчика интенсивности T_{zi}* ;
- *скачок синхронной скорости $d\omega_0$* при ПИ – задатчике;
- *напряжение форсировки, о.е.*;
- для компенсации скольжения – коэффициент обратной связи по активной составляющей тока статора (0...1);
- расчетные данные рабочего органа РО. Выбрать характер статического момента M_C .

4. Начинать работу с программой следует с переходного процесса пуска. Установить $n_i = 0$.

Ввести начальные условия для пуска:

- начальную скорость идеального холостого хода w_{0n} , рад/с ;
- конечную скорость идеального холостого хода w_{0k} , рад/с ;
- начальную скорость вала двигателя w_{na} , рад/с ;
- шаг интегрирования h (можно не изменять);
- предполагаемое время пуска t_k с выходом на установившийся режим и предполагаемое время торможения t_t с достижением остановки двигателя.

1. Запустить программу в работу, нажав кнопку со знаком

“*Save and Run*”, далее «ОК».

Программа начинает работать. О работе программы сигнализирует бегущая строка $t = \dots$.

2. По окончании расчета программа выводит два графика (рис. П.19):

- *figure 1* – нагрузочные диаграммы ω_0 , ω , M , I , kpd , $km = f(t)$ и интегральные

показатели пуска;

– figure 2 – динамические механические характеристики $\omega = f(M, I_1, I_2, I_\mu, \text{kpd}, \text{km})$.

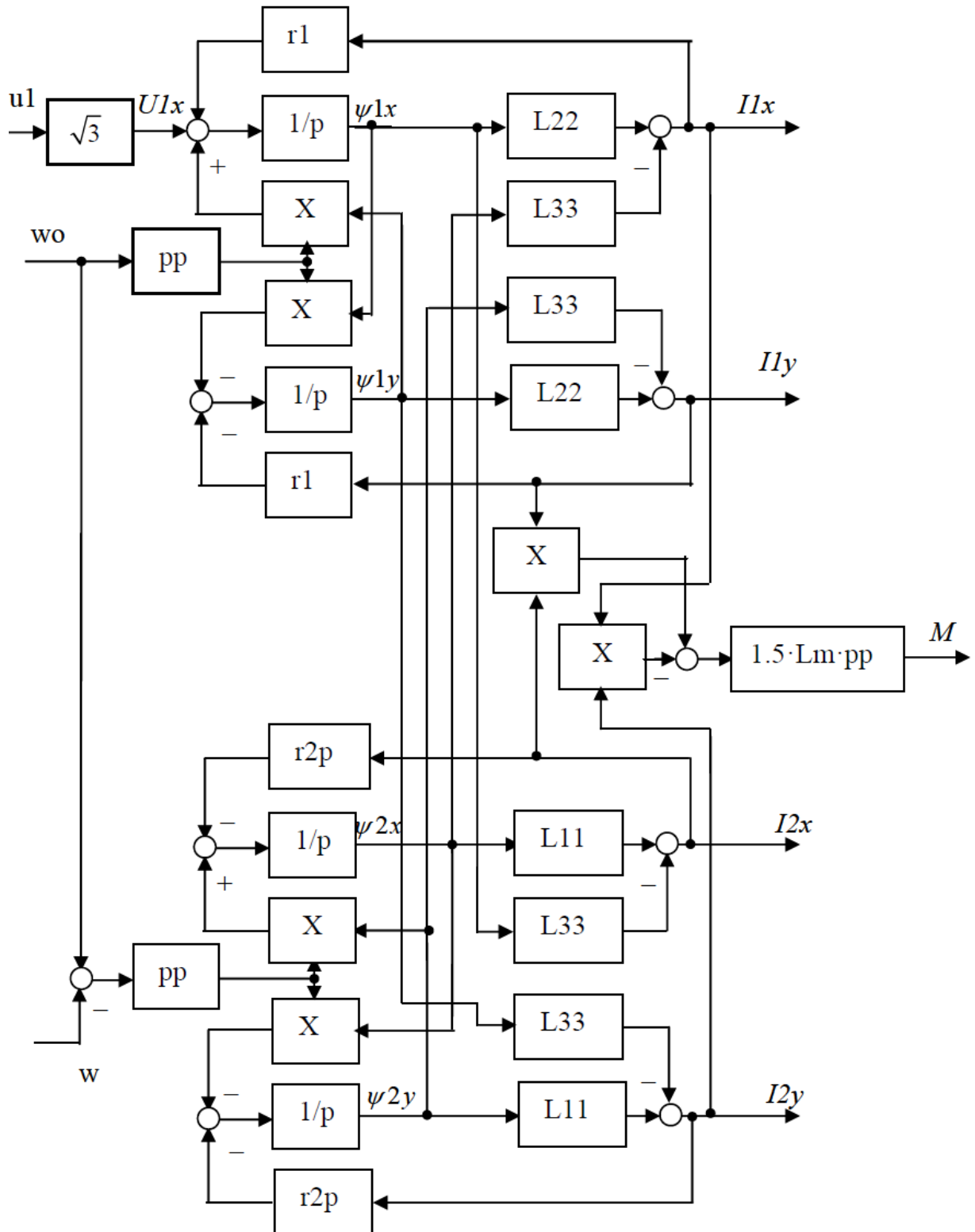


Рисунок П.18. Структурная схема двухфазной модели

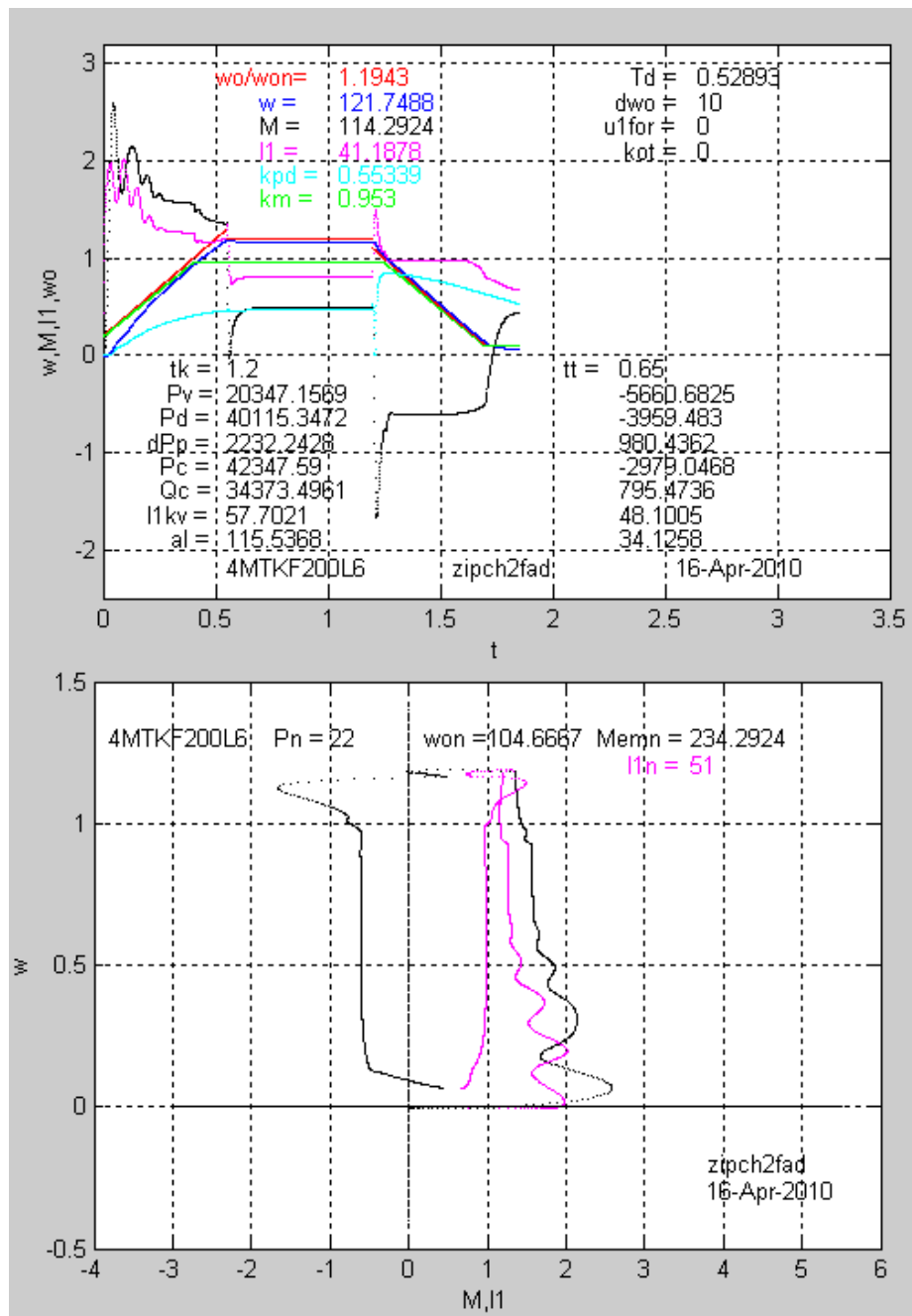


Рисунок П.19. Результаты расчета переходного процесса в программе “zipch2fad.m”

7. На графике *figure 1* в верхней части приводятся название программы и тип двигателя. В конце пуска выводятся значения параметров установившегося режима цветом одинаковым с кривыми переходного процесса:

- скорость идеального холостого хода ω_0/ω_{on} ;
- скорость вала двигателя ω ;
- электромагнитный момент M ;
- ток статора $I1$;
- k_{pd} ;
- коэффициент мощности km .

8. Правее выведены постоянная времени двигателя T_d , скачок скорости $d\omega$ при ПИ – задатчике интенсивности, напряжение форсировки $u1for$ и коэффициент

обратной связи по току статора *kot* при введении компенсации скольжения.

9. В левой нижней части графика выводятся интегральные показатели пуска: значения энергий на различных участках преобразования, энергетические показатели и показатели нагрева.

10. Не убирайте с экрана *figure1* и *figure2*, перейдите к расчету торможения. Установив $nu=1$ и вновь нажать знак "*Save and Run*". По окончании торможения *figure1* и *figure2* правой нижней части графика будут дополнены данными переходного процесса торможения.

11. Сохраните *figure1* и *figure2*. На них будут выводиться результаты следующих расчетов. Выберите нужные зависимости для вывода на печать и для сравнения с другими расчетами.