МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ГОРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Энергетический факультет
Кафедра «ТОЭ и электропривода»
Кафедра «Информатики и моделирования»

ЗАРУЦКИЙ В.М., ИКОЕВА Э.Ю.,
ХОДОВА Л.Д., ДАТИЕВА М.Ч.

МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ

для выполнения практических работ
с использованием информационных технологий

по теме – «Трехфазный асинхронный электродвигатель – рабочая машина» по дисциплинам – «Электропривод» и «Математическое моделирование»
для бакалавров по направлениям подготовки:
35.03.06 – «Агроинженерия», профиль подготовки – «Электрооборудование и электротехнологии в АПК»
и 13.03.01 – «Теплоэнергетика и теплотехника», профиль подготовки – «Энергообеспечение предприятий»
(очной и заочной форм обучения)

Владикавказ, 2019

УДК 621.34(075,8)
ББК 31.291

Разработали:
Заруцкий В.М., к.т.н. доцент каф. ТОЭ и ЭП,
Икоева Э.Ю., к.т.н., доцент каф. ТОЭ и ЭП,
Ходова Л.Д., к.э.н., доцент каф. информатики и моделирования,
Датиева М.Ч., к.э.н., доцент каф. информатики и моделирования.

Заруцкий В.М., Икоева Э.Ю., Ходова Л.Д., Датиева М.Ч. Методическое пособие для выполнения практических работ с использованием информационных технологий. / В.М. Заруцкий, Э.Ю. Икоева, Л.Д. Ходова, М.Ч. Датиева / - Владикавказ: Издательство ФГБОУ ВО «Горский госагроуниверситет», 2019. - 44 с.

Методическое пособие графорасчетной работы по теме – «Трехфазный асинхронный электродвигатель - рабочая машина» рассмотрено на заседании Центрального управления методической комиссии ФГОУ ВО «Горский ГАУ» протокол № 3 от 4 февраля 2019 г. и рекомендовано для использования в учебном процессе бакалавров очного и заочного форм обучения по специальности 35.03.06 – «Электрооборудование и электротехнологии в АПК» и по специальности 13.03.01 – «Энергообеспечение предприятий».

© Издательство ФГБОУ ВО «Горский госагроуниверситет», 2019

ВВЕДЕНИЕ

Электропривод осуществляет электромеханическое преобразование электрической энергии во всех областях человеческой деятельности, где нужны движение и механическая работа рабочих органов агрегатов различного назначения, и потребляет более 60% всей вырабатываемой энергии. Причем большинство машин и механизмов построены на массовом простом асинхронном электроприводе, используемом повсеместно в промышленности, сельском хозяйстве, жилищно-коммунальном хозяйстве и других отраслях.

Без понимания назначения и электромеханических свойств электродвигателей, на которых базируется электрический привод, невозможно проектирование электрических приводов, учитывающих технологические требования и конструктивные особенности исполнительных органов рабочих машин общепромышленного и сельскохозяйственного назначения.

Зная достоинства и недостатки, а также основные элементы конструкций различных типов электрических машин и их электрические и механические характеристики, студенты при изучении дисциплины «Электропривод» смогут более профессионально оценивать полученные результаты, выбирать оптимальные проектные решения при выполнении учебных и производственных заданий.

При решении задач данного задания по предлагаемой методической работе, с использованием рекомендуемой учебной литературы [1-5] студентами будут изучены механические характеристики основных элементов системы «асинхронный электродвигатель – рабочая машина», взаимодействие этих элементов при пуске электродвигателя при нагрузке, соответствие параметров электродвигателя параметрам рабочей машины, возможности электродвигателя выполнять свои функции при снижении напряжения в питающей сети. Эти знания позволят им правильно эксплуатировать системы электропривода и повышать их надежность на производстве после окончания учебного заведения.

КОМПЕТЕНЦИИ ПО ОБОИМ НАПРАВЛЕНИЯМ ПОДГОТОВКИ

По направлению подготовки - «Агроинженерия» 35.03.06., профилю подготовки - «Электрооборудование и электротехнологии в АПК»:

УК-1 – способен осуществлять поиск , критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач;

УК-2 – способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений;

ОПК-1 – способен решать типовые задачи профессиональной деятельности на основе знаний основных законов математических и естественных наук с применением информационно-коммуникационных технологий;

ОПК-2 – способен использовать нормативные правовые акты и оформлять специальную документацию в профессиональной деятельности;

ПК-5 – способность проводить и оценивать результаты измерений;

ПК-8 – владение основными методами организации защиты производственного персонала и населения от возможных последствий аварий, катастроф, стихийных бедствий;

ПК-10 – способность использовать информационные технологии и базы данных в агроинженерии.

По направлению подготовки - «Теплоэнергетика и теплотехника» 13.03.01., профилю подготовки - «Энергообеспечение предприятий»:

УК-1 – способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий;

УК-2 – способен управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла;

ОПК-2 – способен применять соответствующий физико-математический аппарат, современные методы анализа и моделирования,

теоретического и экспериментального исследования при решении профессиональных задач; исследования, оценивать и представлять результаты выполненной работы;

(ПК-2) – способностью проводить расчеты по типовым методикам, проектировать технологическое оборудование с использованием стандартных средств автоматизации проектирования в соответствии с техническим заданием.

ЗАДАНИЕ

Преподаватель выдает бакалавру номер варианта, согласно которому выбираются исходные данные из таблицы (Приложение 1).

Для системы «трехфазный асинхронный электродвигатель - рабочая машина» необходимо выполнить следующие расчеты и графические построения по ряду нижеперечисленных практических работ:

1. Рассчитать и построить механическую характеристику электродвигателя $M_д = f_1(\omega)$.

2. Рассчитать и построить на том же графике механическую характеристику рабочей машины, приведенную к угловой скорости вращения вала электродвигателя $M_c = f_2(\omega)$.

3. По построенным зависимостям $M_д = f_1(\omega)$ и $M_c = f_2(\omega)$ построить кривую динамического момента $M_{дин} = f_3(\omega)$.

4. Определить графоаналитическим методом продолжительность пуска двигателя с номинальной нагрузкой. Построить зависимости $\omega_д = f_4(t)$ и $M_д = f_5(t)$ при пуске двигателя.

5. Рассчитать потери энергии в асинхронном двигателе при пуске системы с нагрузкой, без нагрузки и при торможении противовключением.

6. Оценить условия запуска электродвигателя с нагрузкой при снижении питающего напряжения на заданное по варианту падение напряжения $\Delta U\%$.

7. Все практические работы необходимо выполнить в матричной лаборатории MATLAB или электронной таблице Excel.

Работа основывается на компетенциях:

ОПК-1 способностью осуществлять поиск, хранение, обработку и анализ информаций из различных источников и баз данных, представлять ее в требуемом формате с использованием информационных, компьютерных и сетевых технологий;

ПК-2 способностью проводить расчеты по типовым методикам, проектировать технологическое оборудование с использованием стандартных средств автоматизации проектирования в соответствии с техническим заданием.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ РАБОТЫ

При выполнении работы принять следующие обозначения:

$P_н$	номинальная мощность электродвигателя, кВт
$n_н$	номинальная частота вращения вала электродвигателя, об/мин
$n_{р.м.}$	номинальная частота вращения рабочей машины, об/мин
$\mu_к$	кратность максимального вращающего момента электродвигателя
μ_{min}	кратность минимального вращающего момента электродвигателя
$\mu_п$	кратность пускового момента электродвигателя.
$GД^2_д$	маховый момент ротора электродвигателя, кг м^2
$M_с$	момент статического сопротивления, Нм
$GД^2_м$	маховый момент рабочей машины, кг м^2
α	показатель степени, характеризующий изменение момента статического сопротивления рабочей машины
$\eta_{ПЕР}$	КПД механической передачи
U%	снижение питающего напряжения от номинальной величины
$\eta_н$	номинальный КПД электродвигателя, %.
$\omega_н$	номинальная угловая скорость вращения вала электродвигателя, с$^{-1}$
ω_0	угловая скорость вращения идеального холостого хода, с$^{-1}$
ω	текущее значение угловой скорости вращения, с$^{-1}$

Ниже приводится расчет и построение характеристик системы «асинхронный электродвигатель – рабочая машина» на примере электродвигателя мощностью 2,2 кВт. Все варианты из приложения 1 рекомендуется выполнять согласно методике нижеприведенного примера расчета.

Расчет системы «трехфазный асинхронный электродвигатель - рабочая машина» довольно трудоемкий и затратный по времени процесс. Необходимо во многих случаях определять одну и ту же величину для разных моментов, на что теряется много времени. Кроме того, расчеты требуется подкреплять диаграммами, при построении которых вручную не всегда удается выдержать точность построения. Выполнение данного расчета в приложении MATLAB существенно облегчает работу.

Методические указания представлены в виде расчетов, выполненных с помощью калькулятора и в матричной лаборатории Matlab.

Команды в матричной лаборатории заносятся в окне команд после символов >>. Данные вводятся в виде векторов и матриц. Недостаток матричной лаборатории: обозначение переменных только латинскими буквами и невозможность обозначения индексов. В таблице 1 указаны соответствия обозначения переменных с учетом требований матричной лаборатории и заданы значения исходных данных, в системе СИ.

Таблица 1. Таблица соответствия обозначения исходных данных и их значения

Обозначение переменных	Обозначение переменных в Matlab	Значение исходных данных в системе СИ	Наименование переменных
1	2	3	4
$P_н$	Pn	2200	номинальная мощность электродвигателя, Вт
n_0	n0	1500	частота вращения магнитного поля статора
$n_н$	nh	1430	номинальная частота вращения вала электродвигателя, об/мин
μ_k	muk	2.2	кратность максимального вращающего момента электродвигателя
μ_n	mun	1,8	кратность пускового момента электродвигателя
$GД^2_Д$	Gdv	0,04	маховый момент рабочей машины, кг м^2
M_c	Mc		момент статического сопротивления рабочей машины

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4
$M_{дв}$	Mdv		вращающий момент электродвигателя
$M_{дин}$	Mdin		динамический (избыточный) момент
$GД^2_{дв}$	Gdv	0,04	маховой момент двигателя
$G \cdot Д^2_{р.м.}$	Gdr	0,8	маховой момент рабочей машины
α	a1	1	показатель степени, характеризующий изменение момента статического сопротивления рабочей машины
$\eta_{пер}$	kpdper	0,75	КПД механической передачи
ΔU	dU	76	снижение питающего напряжения от номинальной величины
$\eta_н$	kpdn	0,83	номинальный КПД электродвигателя, %.
$\omega_Н$	Wn		номинальная угловая скорость вращения вала электродвигателя, с$^{-1}$
ω_0	W0		угловая скорость вращения идеального холостого хода, с$^{-1}$
ω	W		текущее значение угловой скорости вращения, с$^{-1}$
S	S	От 0 до 1 с шагом 0,01	величина скольжения
f	f	50	частота тока в электрической сети
π	pi	3,14	константа
$M_Н$	Mn		номинальный вращающий момент двигателя
M_k	Mk		максимальный (критический) вращающий момент электродвигателя
M_{min}	Mmin		минимальный вращающий момент электродвигателя
M_n	Mvr		пусковой вращающий момент
f	f	50	частота вращения
$S_Н$	Sn		номинальное скольжение электродвигателя
$J_{дв}$	Jdv		момент инерции электродвигателя и рабочей машины
k_n	kn	7	кратность пускового тока

ЗАДАЧА 1.
ПОСТРОЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

Данные электродвигателя: номинальная мощность $P_Н = 2{,}2$ кВт; номинальные обороты $n_н = 1430$ об/мин.; кратность пускового момента μ = 1,8; минимального момента μ = 1,5; критического момента μ = 2,2; маховый момент $GD^2 = 0{,}04$ кг/м^2; КПД $_{дв}$% = 0,81; падение напряжения при пуске Δ U% = 20; скольжение S = от 0 до 1.

Данные рабочей машины: номинальные обороты $n_{р.м.} = 358$ об/мин.; начальный и номинальный моменты $M_{М.О.} = 6{,}5$ Н.м. и $M_{М.Н.} = 42$ Н.м.; маховый момент $GD^2 = 0{,}8$ кг/м^2.

1.1 Расчеты, выполненные на калькуляторе

Механическую характеристику асинхронного двигателя $M_{дв} = f_1(\omega)$ строим на основании расчета его вращающих моментов для частот вращения, соответствующих скольжениям при пуске асинхронного электродвигателя до его номинальной частоты вращения, то есть при изменении скольжения от 0 до 1. Для построения механической характеристики примем следующие величины скольжения:

S = 0; S = $S_н$; S = 0,1; S = $S_к$; S = 0,3; S = 0,5; S = 0,8; S = 1.

Вращающие моменты электродвигателя при S=1,0 и 0,8 определяем, используя кратности пускового $\mu_П$ и минимального μ_{MIN} моментов. Номинальная угловая скорость вращения двигателя определяется по формуле:

$$\omega_Н = \frac{\pi \cdot n_Н}{30} = \frac{3{,}14 \cdot 1430}{30} = 149{,}7c^{-1}$$

Номинальный вращающий момент электродвигателя:

$$M_Н = \frac{P_Н}{\omega_Н} = \frac{2200}{149{,}7} = 14{,}7Н \cdot м$$

Максимальный (критический) вращающий момент электродвигателя определим с учетом кратности максимального момента $\mu_к$ по отношению к номинальному $M_Н$

$$M_К = M_Н \cdot \mu_К = 14{,}7 \cdot 2{,}2 = 32{,}34Н \cdot м$$

Минимальный вращающий момент электродвигателя (вращающий момент двигателя при S = 0,8) определим с учетом кратности минимального момента μ_{MIN} по отношению к номинальному Мн:

$$M_{MIN} = M_Н 1{,}5 \cdot 14{,}7 = 22{,}1Н \cdot м$$

Пусковой вращающий момент электродвигателя (вращающий момент при S = 1,0 ω = 0):

$$M_П = \mu_П \cdot M_Н = 1{,}8 \cdot 14{,}7 = 26{,}46Н \cdot м$$

Номинальное скольжение электродвигателя:

$$S_Н = \frac{n_0 - n_Н}{n_0} = \frac{1500 - 1430}{1500} = 0{,}047$$

где: n_0 - частота вращения магнитного поля статора;

$$n_0 = \frac{60 \cdot f}{p} = \frac{60 \cdot 50}{2} = 1500 об / мин$$

f - частота тока в электрической сети, равная 50 Гц;

p - число пар полюсов обмотки статора;

$p = \frac{60 \cdot f}{n_Н} = \frac{60 \cdot 50}{1430} = 2$, принимается равным целому числу.

Критическое скольжение электродвигателя (скольжение, соответствующее максимальному моменту):

$$s_К = s_Н \cdot \frac{\mu_К + \sqrt{\mu_К{}^2 - 1 + 2 \cdot s_Н \cdot (\mu_К - 1)}}{1 - 2s_Н \cdot (\mu_К - 1)} =$$

$$0{,}047 \cdot \frac{2{,}2 + \sqrt{2{,}2^2 - 1 + 2 \cdot 0{,}047 \cdot (2{,}2 - 1)}}{1 + 2 \cdot 0{,}047 \cdot (2{,}2 - 1)} = 0{,}105$$

Вращающие моменты двигателя для скольжения S = (0…0.5) рассчитываются на основании уточненной формулы Клосса, приняв в ней с достаточной степенью точности отношение активного сопротивления обмотки фазы статора к приведенному активному сопротивлению обмотки фазы ротора, равному единице:

$$M_{ДВ} = \frac{2 \cdot M_K \cdot (1 + s_K)}{\frac{s}{s_K} + \frac{s_K}{s} + 2s_K}.$$

Подставляем в формулу текущее значение скольжения S = (0…0,5) и определяем значение вращающих моментов двигателя. Данные расчета механической характеристики $M_{ДВ} = f_1(\omega)$ сводят в таблицу №1. Переход от скольжения S к угловой скорости вращения определяем по формуле:

$$\omega = \omega_0 \cdot (1 - S);$$

$$\omega_0 = \frac{2\pi \cdot n_0}{60} = \frac{3{,}14 \cdot 1500}{30} = 157 c^{-1}.$$

Таблица 2 – Данные к построению механической характеристики асинхронного электродвигателя

S	*0*	$S=S_Н$ *0,047*	*0,1*	$S=S_k$ *0,23*	*0,3*	*0,5*	*0,8*	*1,0*
ω, c^{-1}	$\omega=\omega_0$ *157*	$\omega=\omega_Н$ *149,7*	*141,3*	*125,6*	*110*	*78,5*	*31,4*	*0*
$M_{ДВ}$	*0*	$M=M_Н$ *14,7*	*22,6*	$M=M_к$ *32,34*	*29,3*	*26,5*	$M=M_{min}$ *22,1*	$M=M_{min}$ *26,46*

По данным таблицы 2 строим механическую характеристику электродвигателя $M_{ДВ} = f_1(\omega)$. При построении механической характеристики следует учесть, что при скольжении $S > S_к$ формула Клосса занижает действительные вращающие моменты.

1.2 Рассчеты, выполненные в матричной лаборатории MATLAB

Задаем исходные данные. После команды присвоения ставим (;), что запрещает выводить результат команды присвоения. Переменные можно видеть в рабочей области.

```
>> Pn=2200;
>> nh=1430;
>> muk=2.2;
```



```
>> Wn=(pi*nh)/30   [Номинальная угловая скорость вращения]
   двигателя
Wn =149.7492
>> Mn=Pn/Wn  [Номинальный вращающий момент электродви-
   гателя]
Mn =14.6912
>> Mk=Mn*muk [Максимальный вращающий момент электро-
   двигателя]
Mk =32.3207]
>> Mmin=1.5*Mn  [Минимальный вращающий момент электро-
   двигателя]
Mmin =22.0368
>> mun=1.8;
>> Mn=mun*Mn [Пусковой вращающий момент электродвига-
   теля]
Mn =26.4442
>> f=50;
>> p=(60*f)/nh
p =2.0979
>> p=2;
>> n0 = (60*f)/p
n0 =1500
>> Sn = (n0-nh)/n0
Sn =0.0467
>> Sk=Sn*(muk+sqrt(muk^2-1+2*Sn*(muk-1)))/(1-2*Sn*(muk-1))
Sk = 0.2201 [Критическое скольжение электродвигателя]
[Вращающие моменты двигателя для скольжения S= (0 ДО 1 шаг
   установили 0,01]
>> S=[0:0.01:1];
```

Вращающие моменты двигателя вычисляются для каждого значения **S**, в формуле обозначено (. - точкой). Все значения можно увидеть в рабочей области для переменной **Mdv**

```
>> Mdv=(2*Mk*(1+Sk))./((S./Sk)+(Sk./S)+2*Sk);
```

Для сравнения значения показаны ниже:

```
>> Mdv =[ 0,3.5061,6.8370,9.9672,12.8783
15.5586,18.0026,20.2104,22.1866,23.9392;
25.4790,26.8188,27.9726,28.9548,29.7802;
30.4631,31.0174,31.4563,31.7922,32.0365;
32.1997,32.2916,32.3207,32.2950,32.2216;
32.1067,31.9561,31.7748,31.5672,31.3373;
31.0885,30.8240,30.5464,30.2582,29.9614;
29.6578,29.3491,29.0367,28.7218,28.4054;
28.0885,27.7718,27.4561,27.1419,26.8298;
26.5202,26.2134,25.9098,25.6096,25.3130;
25.0203,24.7315,24.4468,24.1663,23.8900;
23.6179,23.3502,23.0868,22.8276,22.5728;
22.3222,22.0759,21.8338,21.5958,21.3620;
21.1322,20.9064,20.6846,20.4666,20.2525;
20.0421,19.8354,19.6323,19.4328,19.2367;
19.0441,18.8548,18.6688,18.4860,18.3064;
18.1298,17.9563,17.7857,17.6180,17.4532;
17.2911,17.1318,16.9751,16.8210,16.6695;
16.5204,16.3738,16.2295,16.0876,15.9480;
15.8106,15.6754,15.5424,15.4114,15.2825;
15.1556,0,0,0,0]
>> W0=(2*pi*n0)/60
W0 =157.0796
>> W0=(2*pi*n0)/60
W0 =157.0796
```

Вычисляем значения вращающих моментов двигателя

```
>> W=W0*(1-S);
>> W
W =
 Columns 1 through 5
 157.0796   155.5088   153.9380   152.3672   150.7964
 Columns 6 through 10
 149.2257   147.6549   146.0841   144.5133   142.9425
 Columns 11 through 15
 141.3717   139.8009   138.2301   136.6593   135.0885
```



```
Columns 16 through 20
133.5177   131.9469   130.3761   128.8053   127.2345
Columns 21 through 25
125.6637   124.0929   122.5221   120.9513   119.3805
Columns 26 through 30
117.8097   116.2389   114.6681   113.0973   111.5265
Columns 31 through 35
109.9557   108.3849   106.8142   105.2434   103.6726
Columns 36 through 40
102.1018   100.5310   98.9602   97.3894   95.8186
Columns 41 through 45
94.2478   92.6770   91.1062   89.5354   87.9646
Columns 46 through 50
86.3938   84.8230   83.2522   81.6814   80.1106
Columns 51 through 55
78.5398   76.9690   75.3982   73.8274   72.2566
Columns 56 through 60
70.6858   69.1150   67.5442   65.9734   64.4026
Columns 61 through 65
62.8319   61.2611   59.6903   58.1195   56.5487
Columns 66 through 70
54.9779   53.4071  51.8363   50.2655   48.6947
Columns 71 through 75
47.1239   45.5531   43.9823   42.4115   40.8407
Columns 76 through 80
39.2699   37.6991   36.1283   34.5575   32.9867
Columns 81 through 85
31.4159   29.8451   28.2743   26.7035   25.1327
Columns 86 through 90
23.5619   21.9911   20.4204   18.8496   17.2788
Columns 91 through 95
15.7080   14.1372   12.5664   10.9956   9.4248
Columns 96 through 100
7.8540   6.2832   4.7124   3.1416   1.5708
Column 101
  0
```

>> **plot(Mdv,W)** [команда вывода на печать диаграммы зависимости вращающего момента двигателя $M_{ДВ} = f_1(\omega)$] рис. 1.
>> **hold on;**
>> **gtext ('f1=Mdv(w)')**

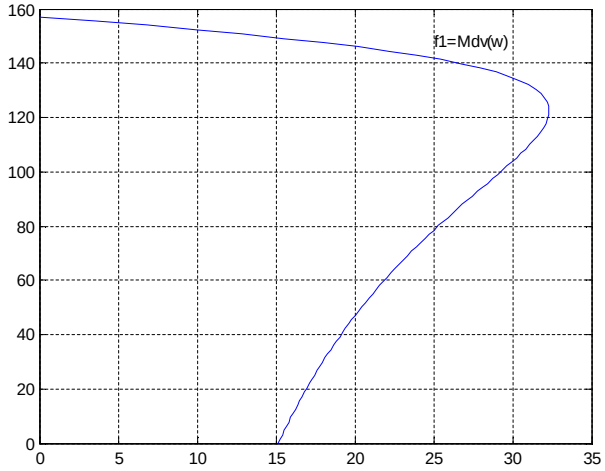


Рис. 1. Механическая характеристика электродвигателя $M_{ДВ} = f_1(\omega)$.

Вопросы для проверки знаний

1. Предназначение окон в матричной лаборатории.
2. Как вводится формула и в каком окне?
3. Зачем ставится знак (;) – точка с запятой?
4. Как построить диаграмму?

ЗАДАЧА 2.
ПОСТРОЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ РАБОЧЕЙ МАШИНЫ

2.1 Расчеты, выполненные на калькуляторе

Изменение момента статического сопротивления рабочей машины от частоты ее вращения принимают по следующей зависимости:

$$M_C = M_{M.C.} + (M_{M.H.} - M_{M.O.}) \cdot (\frac{n_M}{n_{M.H.}})^{\alpha}$$

где: α = 0; 1; 1,5; и 2 в соответствии с типом механической характеристики рабочей машины.

Для приведения моментов статических сопротивлений рабочей машины к частоте вращения вала электродвигателя необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$M_{C.ПР} = \frac{M_C}{i \cdot \eta_{ПЕР}},$$

где i - передаточное отношение передачи от электродвигателя к рабочей машине

$$i = \frac{n_H}{n_{M.H.}} = \frac{1430}{358} = 4.$$

Так как $\frac{n_H}{n_{M.H.}} = \frac{\omega}{\omega_H}$, то окончательно имеем следующее выражение, связывающее приведенный момент статистического сопротивления на валу электродвигателя M_c со скоростью вращения вала:

$$M_C = \frac{1}{i \cdot \eta_{ПЕР}} \cdot [M_{M.O} + (M_{M.H} - M_{M.O.}(\frac{\omega}{\omega_H})^{\alpha}].$$

Подставляя вместо ω значение от 0 до $\omega = \omega_0$, рассчитываем данные для построения зависимости $M_c = f_2(\omega)$. Результаты расчета сводят в таблицу, соответствующую таблице 1, если степень приведенной формулы будет равна 1,5 или 2. При построении этой характеристики она будет криволинейной.

В рассматриваемом примере расчета показатель степени $\alpha = 1$ (или, например, 0), то есть механическая характеристика рабочей машины прямолинейна. Для такой характеристики не надо строить таблицу, достаточно найти две точки для ее построения.

При $\omega = 0$ получаем:

$$M_C = \frac{1}{i \cdot \eta_{ПЕР}}[M_{M.O} + (M_{M.H} - M_{M.O.}(\frac{\omega}{\omega_H})^{\alpha}] = \frac{1}{4 \cdot 0,75}[6,5 + (42 - 6,5(\frac{0}{149,7})^{\alpha}] =$$

$$\frac{1}{4 \cdot 0,75} \cdot 6,5 = 2,2 H \cdot м$$

При $\omega = \omega_0$ получаем:

$$M_C = \frac{1}{i \cdot \eta_{ПЕР}}[M_{M.O} + (M_{M.H} - M_{M.O.}(\frac{\omega}{\omega_H})^{\alpha}] = \frac{1}{4 \cdot 0,75}[6,5 + (42 - 6,5(\frac{\omega}{\omega_H})^{\alpha}] =$$

$$\frac{1}{4 \cdot 0,75}[6,5 + (42 - 6,5(\frac{157}{149,7})^{1}] = 14,7 H \cdot м$$

По полученным двум точкам строим механическую характеристику рабочей машины

$$M_C = f_2(w).$$

2.2 Расчеты, выполненные в системе MATLAB

```
>> nrm=358;
```
[передаточное отношение передачи от электродвигателя к рабочей машине]

>> I=nh/nrm

I = 3.9944

>> I=round(I) [команда округления до целого числа]

0

I =4

>> a1=1;

>> kpdper=0.75;

>> Mmo=6.5;

>> Mmn=42;

Выражение, связывающее приведенный момент статистического сопротивления на валу электродвигателя M_c со скоростью вращения вала

>> Mc=(1/(I*kpdper)).*(Mmo+(Mmn-Mmo)*(W./Wn));

>> plot(Mc,W)

>> gtext (“f2=Mc(w)”) [команда печати текста на диаграмме]

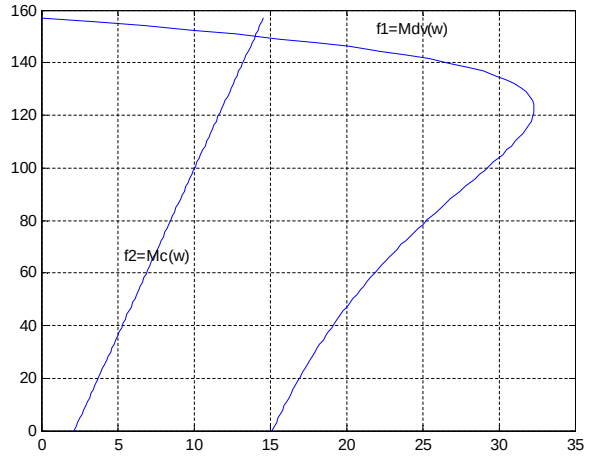


Рис. 2. Механическая характеристика рабочей машины $M_{C.} = f_2(\omega)$.

Вопросы для проверки знаний

1. Написать команду округления до целого числа.
2. Какой командой напечатать текст на диаграмме?
3. Предназначение точек в формуле.
4. Как задать команду печати диаграммы?

ЗАДАЧА 3.
ПОСТРОЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДИНАМИЧЕСКОГО МОМЕНТА

3.1 Расчеты, выполненные на калькуляторе

Характеристику динамического момента строим по зависимостям $M_{дв} = f_1(\omega)$ и $M_{с.} = f_2(\omega)$. Динамический (избыточный) момент равен разности между вращающим моментом электродвигателя и моментом статических сопротивлений рабочей машины:

$$M_{ДИН} = M_{ДВ} - M_C = f_3(\omega).$$

Для построения кривой динамического момента в системе координат с построенными зависимостями $M_{ДВ} = f_1(\omega)$ и $M_{с.} = f_2(\omega)$ проводят горизонтали с определенным значением шага ($\Delta\omega$) по оси ординат, в данном случае $\Delta\omega = 15$.

На каждой горизонтали от вращающего момента двигателя отнимаем момент статических сопротивлений рабочей машины. Получаем точку соответствующую динамическому моменту двигателя на данной частоте вращения. В точке пересечения характеристик $M_{дв} = f_1(\omega)$ и $M_{с.} = f_2(\omega)$ динамический момент равен нулю. Соединяя найденные точки плавной кривой, получаем характеристику динамического момента $M_{дин} = f_3(\omega)$.

3.2 Расчеты, выполнены в системе MATLAB

Динамический (избыточный) момент равен разности между вращающим моментом электродвигателя и моментом статических сопротивлений рабочей машины:

```
>>Mdin=Mdv-Mc;
>> plot(Mdin,W)
>> gtext ('f3=Mdin(w)')
>> plot(Mdin,W)
```

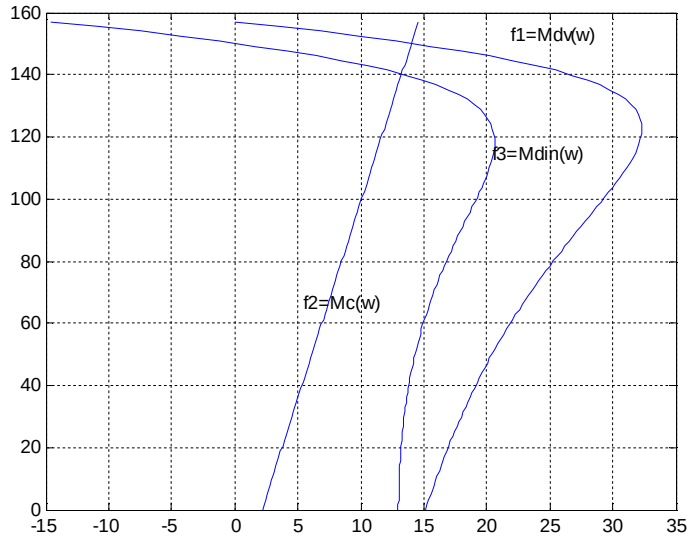



Рис 3. Характеристика динамического момента системы.

ЗАДАЧА 4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ПУСКА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ.

4.1 Расчеты, выполненные на калькуляторе

Для определения продолжительности пуска графоаналитическим методом предварительно необходимо определить приведенный момент инерции привода:

$$J_{ПР} = к \cdot J_{ДВ} + \frac{J_M}{i^2}$$

где: к - коэффициент, учитывающий момент инерции передачи от электродвигателя к рабочей машине. Принимается $k = 1{,}2$.

Определяем моменты инерции электродвигателя и рабочей машины через их маховые моменты, известные в технических справочниках, а в данном примере в задании.

$$J_{ДВ} = \frac{G \cdot Д_{ДВ}^2}{4} = \frac{0{,}04}{4} = 0{,}01 кг \cdot м^2$$

$$J_{ДВ} = \frac{G \cdot Д_{Р.М.}^2}{4} = \frac{0{,}08}{4} = 0{,}2 кг \cdot м^2$$

Тогда приведенный момент инерции системы будет:

$$J_{ПР} = к \cdot J_{ДВ} + \frac{J_M}{i^2} = 1{,}2 \cdot 0{,}01 + 0{,}2 \cdot \frac{1}{4^2} = 0{,}0245 кг \cdot м^2$$

Далее на построенных механических характеристиках электродвигателя и рабочей машины проводят горизонтали с шагом $\Delta\omega = (0{,}1\text{-}0{,}05)\ \omega_0$, в данном случае $\Delta\omega = 15$. В пределах этих участков считаем, что динамический момент постоянный и равен его средней величине $M_{дин}$. Продолжительность разгона электропривода на каждом участке рассчитываем по формуле:

$$\Delta t_i = J_{ПР} \cdot \frac{\Delta\omega_i}{M_{дин.i}},$$

где: $\Delta\omega$ - интервал скоростей на i-ом участке, 1/с,

$M_{дині}$- средний динамический момент на i-ом участке, Н · м.

Полная продолжительность разгона (пуска) равна сумме частичных продолжительностей на каждом участке разгона.

Результаты расчета сводятся в таблицу №2.

Таблица 2 – Данные расчета продолжительности пуска электропривода с нагрузкой

Участок	$\Delta\omega$, $с^{-1}$	ω, $с^{-1}$	Динамический момент, Н·м			J, $кг \cdot м^2$	Δt, с	t, с
			$M_{нач}$	$M_{кон}$	$M_{ср}$			
1-2	15	15	24	20	22	0,0245	0,0167	0,0167
2-3	15	30	20	17,5	18,75		0,0196	0,0363
3-4	15	45	17,5	16,5	17,0		0,022	0,0583
4-5	15	60	16,5	16,8	16,65		0,022	0,0803
5-6	15	75	16,8	17,7	17,25		0,021	0,1013
6-7	15	90	17,7	18,0	17,85		0,0206	0,1219
7-8	15	105	18,0	18,3	18,15		0,02	0,142
8-9	15	120	18,3	19,0	18,65		0,0197	0,162
9-10	15	135	19,0	14,0	16,5		0,0223	0,184
10-11	14,7	149,7	14,0	0	7		0,05	0,234

$$\sum \Delta t = t_П = 0{,}234 с.$$

Для построения зависимости $M_{дв} = f_4(t)$ вдоль оси времени последовательно откладываем частичные последовательности Δt_i. От конца каждого участка восстанавливаем перпендикуляр. Затем, перенесением значений вращающего момента двигателя на вышеуказанные перпендикуляры получаем точки нагрузочной характеристики электродвигателя при пуске $M_{дв} = f_5(t)$.

4.2 Расчеты, выполненные в приложении MATLAB

Рассчитываем моменты инерции электродвигателя и рабочей машины

```
>> Gdv=0.04;
>> Jdv=Gdv/4;
>> Gdr=0.8;
>> Gdr=0.8;
```

```
>> Jm=Gdr/4;
>> k=1.2;
>> I=4;
```

Приведенный момент инерции системы

```
>> Jpr=k*Jdv+Jm/I^2
Jpr = 0.0245
>> dti=Jpr*dWi./Mcr
dti =
 Columns 1 through 3
 0.0167 0.0196 0.0216
 Columns 4 through 6
 0.0221 0.0213 0.0206
 Columns 7 through 9
 0.0202 0.0197 0.0223
 Column 10
 0.0514
>> dWi=[15,15,15,15,15,15,15,15,15,14.7];
```

Полная продолжительность разгона (пуска) равна сумме частичных продолжительностей на каждом участке разгона

```
>> W=cumsum(dWi)
W =
 Columns 1 through 3
 15.0000 30.0000 45.0000
 Columns 4 through 6
 60.0000 75.0000 90.0000
 Columns 7 through 9
 105.0000 120.0000 135.0000
 Column 10
 149.7000
>> M0=[24,20,17.5,16.5,16.8,17.7,18,18.3,19,14];
>> Mk=[20.0,17.5,16.5,16.8,17.7,18.0,18.3,19.0,14.0,0.0];
>> Mcr=(M0+Mk)/2
Mcr =
```



```
 Columns 1 through 3
 22.0000 18.7500 17.0000
 Columns 4 through 6
 16.6500 17.2500 17.8500
 Columns 7 through 9
 18.1500 18.6500 16.5000
 Column 10
 7.0000
>> t=cumsum(dti)
t =
 Columns 1 through 3
 0.0167 0.0363 0.0579
 Columns 4 through 6
 0.0800 0.1013 0.1219
 Columns 7 through 9
 0.1421 0.1618 0.1841
 Column 10
 0.2356
>> W=cumsum(dWi)
W =
 Columns 1 through 3
 15.0000 30.0000 45.0000
 Columns 4 through 6
 60.0000 75.0000 90.0000
 Columns 7 through 9
 105.0000 120.0000 135.0000
 Column 10
 149.7000
```

Строим зависимость $\omega_{дв} = f_4(t)$

```
>> plot(t,W)
>> grid on
>> gtext('W=f4(t)')
```

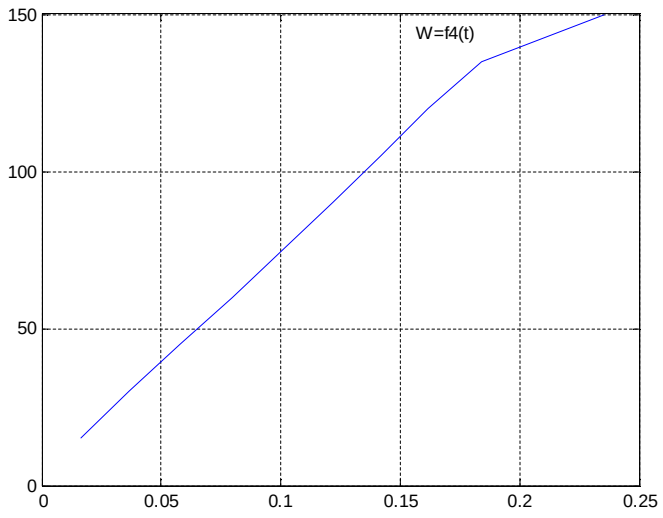


Рис. 4. Зависимость $\omega_{дв} = f_4(t)$.

ЗАДАЧА 5.
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТЕРЬ В АСИНХРОННОМ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕ

5.1 Расчеты. выполненные на калькуляторе

Потери энергии в асинхронном двигателе при пуске с нагрузкой определяются по формуле:

$$\Delta W_П = 0,81 \cdot P_П \cdot \frac{1-\eta_П}{\eta_П(1+\alpha)} \cdot \kappa_П^2 \cdot t_П$$

где: k_n - кратность пускового тока $k_n = 7$;

η - К.П.Д. электродвигателя;

t_n - время пуска электродвигателя;

$\alpha = 0,6$ - отношение постоянных потерь мощности в двигателе к переменным.

$$\Delta W_П = 0,81 \cdot 2200 \cdot \frac{1-0,83}{0,83(1+0,6)} \cdot 7^2 \cdot 0,234 = 2616 Дж.$$

Потери энергии в асинхронном двигателе при пуске системы без нагрузки:

$$\Delta W_{П.О.} = I \cdot \omega_0^2 = 0,0245 \cdot 157^2 = 603,9 Дж$$

Потери энергии в асинхронном двигателе при торможении противовключением :

$$\Delta W_{П.О.} = 3 \cdot I \cdot \omega_0^2 = 3 \cdot 0,0245 \cdot 157^2 = 1812 Дж$$

5.2 Расчеты, выполнены в системе MATLAB

Потери энергии в асинхронном двигателе при пуске с нагрузкой

```
>> tn = 0,234;
>> kn =7;
>> a1 = 0,6;
>> kpdn = 0,83;
```

Потери энергии в асинхронном двигателе при торможении противовключением:

```
>> dWn=0,81*Pn*((1-kpdn)/(kpdn*(1+a1)))*kn^2*tn
dWn =
 2.6156e + 03
>> dWn = 2616;
>> I=0.0245;
>> W0=157;
>> dWpo = I*W0^2
dWpo =
 603.9005
>> dWm = 3*I*W0^2
dWm =
 1.8117e + 03
>> dWm =1812;
```


ЗАДАЧА 6.
ПОСТРОЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ПРИ СНИЖЕНИИ НАПРЯЖЕНИЯ ПИТАЮЩЕЙ СЕТИ

6.1 Расчеты, выполненные на калькуляторе

Вращающий момент асинхронного электродвигателя пропорционален квадрату приложенного напряжения:

$$M_{(U)} = M_{(U_H)} \cdot (\frac{U}{U_H})^2$$

где: $M_{(Uн)}$ - вращающий момент асинхронного электродвигателя при номинальном напряжении, Н·м;

$M_{(u)}$ - вращающий момент асинхронного электродвигателя при сниженном напряжении U, Н·м.

Для оценки возможности запуска электродвигателя при снижении напряжения на ΔU% необходимо пересчитать вращающие моменты и построить зависимости $M_{дв(U)} = f_6(\omega)$. Совместив эту характеристику с механической характеристикой рабочей машины

$M_{C.} = f_2(\omega)$ можно сделать заключение: электродвигатель запустится или не запустится; будет пуск затяжным или электродвигатель «застрянет» и не разгонится до скорости вращения, соответствующей рабочей зоне его механической характеристики.

Вращающие моменты при сниженном напряжении пересчитываются по формуле:

$$M_{(U)} = M_{(U_H)} \cdot (\frac{U_H - \Delta U}{U_H})^2 = M_{(U_H)} \cdot (\frac{380 - 76}{380})^2 = M_{(U_H)} \cdot 0,64$$

где: U_H - номинальное напряжение 380 В, а ΔU, заданное по варианту падение напряжения при пуске электродвигателя.

Данные $M_{(Uн)}$ и ω, c^{-1} переносим из таблицы 1 в таблицу 3 и определяем значения моментов при падении напряжения, которые также сводим в таблицу 3.

Таблица 3 – Данные для построения механической характеристики двигателя при снижении напряжения

ω, c^{-1}	157	149,7	141,3	125,6	110	78,5	31,4	0
$M_{(Uн)}$ Н · м	0	14,7	22,6	32,34	29,3	26,5	22,1	26,46
$M_{(u)}$, Н · м	0	9,4	14,5	20,7	18,8	16,5	14,1	16,9

По данным таблицы строится зависимость $M_{д(U)} = f_6(\omega)$.

6.2 Расчеты выполнены в системе MATLAB

Вращающие моменты при сниженном напряжении

```
>> Un=380;
>> dU=76;
>> U=((Un-dU)/Un)^2
U =0.6400
>> Mu=Mdv*U;
>> W=W0*(1-S);
>> plot(Mu,W,Mdv,W)
>> grid on
>> hold on
>> gtext('Mdv=f5(W)')
>> gtext('Mu=f6(W)')
```

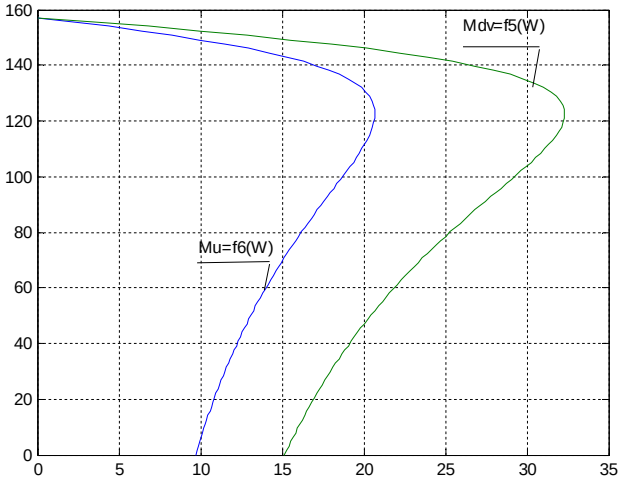


Рис. 5. Вращающие моменты при сниженном напряжении.

7. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Электродвигатель при снижении напряжения на 20% запустится и будет работать устойчиво.

Выполнение расчетов в матричной лаборатории значительно ускоряет выполнение работы и обеспечивает построение диаграмм по заданному количеству точек, что улучшает точность и наглядность графиков.

Ниже дается выполнение расчетов и построение графиков по данной работе в табличном процессоре Excel.

Это связано с тем, что не все пользователи владеют как программным обеспечением матричной лаборатории, так и навыками работы в нем.

8. РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ В ТАБЛИЧНОМ ПРОЦЕССОРЕ EXCEL

При выполнении работы в табличном процессоре необходимо использовать следующий комплекс знаний:

1. Необходимо ввести исходные данные, для этого в отдельную ячейку вводится обозначение параметра и рядом его значение.
2. При выполнении расчетов в отдельную ячейку печатается обозначение расчетной искомой.
3. Формула начинается всегда со знака равенства, затем указывается адрес переменной и знак арифметического действия.
4. При копировании формул обязательно учитывать неизменяемые (абсолютные) адреса, для этого ставить знак $ по этому адресу.

Справка по выполненной работе:

Исходные данные введены в диапазон адресов с A3:C21.

Выполнить расчеты в диапазоне D24:D33, рядом в примечаниях указаны формулы с указанием адресов (исходные формулы смотреть в тексте задачи).

По адресам, указанным ниже, выполнить:

F3)внести значение близкое к нулю, например 0,0000001

F4) 0,2

F5) 0,4

Выделить в блок F4: F5 и автокопированием продолжить до F53, там должна получиться единица.

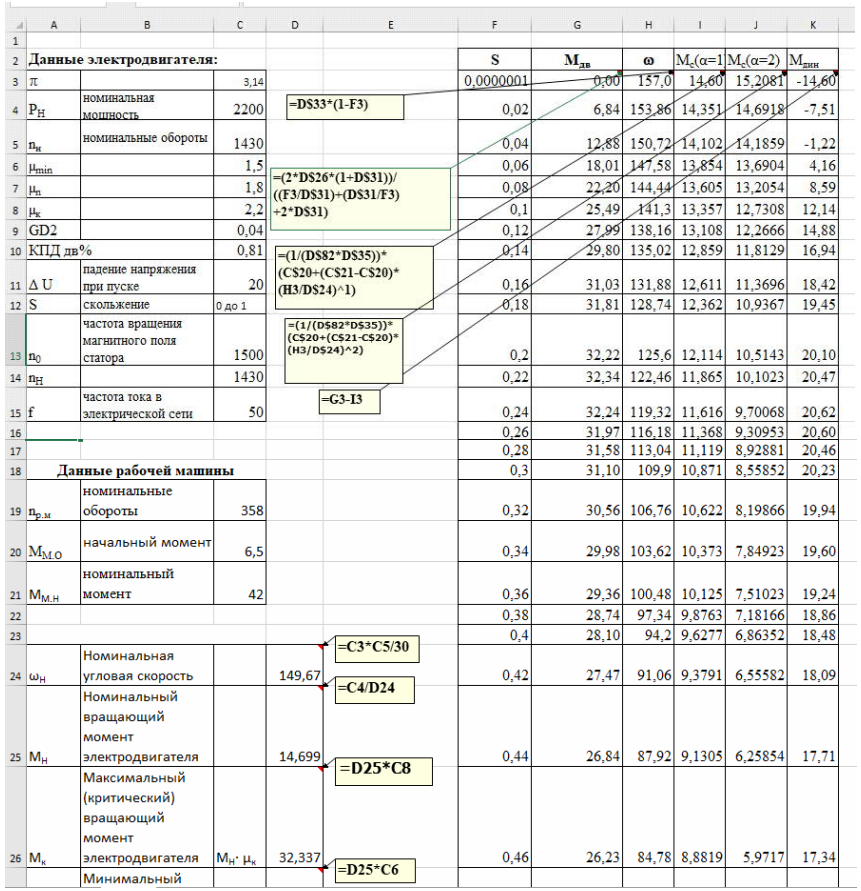
G3) = (2*D$26*(1+D$31))/ ((F3/D$31)+(D$31/F3)+2*D$31) автокопированием распространить до G53

H3) = D$33*(1-F3) автокопированием распространить до H53

I3) = (1/(D$82*D$35))*(C$20+(C$21-C$20)*(H3/D$24)^1) автокопированием распространить до I53)

J3) = (1/(D$82*D$35))*(C$20+(C$21-C$20)*(H3/D$24)^2) автокопированием распространить до J53)

K3) = G3-I3 автокопированием распространить до K53)



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1											
2	**Данные электродвигателя:**					**S**	**$M_{дв}$**	**ω**	$M_c(\alpha=1$	$M_c(\alpha=2)$	$M_{дин}$
3	π		3,14			0,0000001	0,00	157,0	14,60	15,2081	-14,60
4	P_H	номинальная мощность	2200		=D$33*(1-F3)	0,02	6,84	153,86	14,351	14,6918	-7,51
5	$n_к$	номинальные обороты	1430			0,04	12,88	150,72	14,102	14,1859	-1,22
6	μ_{min}		1,5		=(2*D$26*(1+D$31))/ ((F3/D$31)+(D$31/F3) +2*D$31)	0,06	18,01	147,58	13,854	13,6904	4,16
7	$\mu_п$		1,8			0,08	22,20	144,44	13,605	13,2054	8,59
8	$\mu_к$		2,2			0,1	25,49	141,3	13,357	12,7308	12,14
9	GD2		0,04			0,12	27,99	138,16	13,108	12,2666	14,88
10	КПД дв%		0,81		=(1/(D$82*D$35))* (C$20+(C$21-C$20)* (H3/D$24)^1)	0,14	29,80	135,02	12,859	11,8129	16,94
11	Δ U	падение напряжения при пуске	20			0,16	31,03	131,88	12,611	11,3696	18,42
12	S	скольжение	0 до 1			0,18	31,81	128,74	12,362	10,9367	19,45
13	n_0	частота вращения магнитного поля статора	1500		=(1/(D$82*D$35))* (C$20+(C$21-C$20)* (H3/D$24)^2)	0,2	32,22	125,6	12,114	10,5143	20,10
14	n_H		1430			0,22	32,34	122,46	11,865	10,1023	20,47
15	f	частота тока в электрической сети	50		=G3-I3	0,24	32,24	119,32	11,616	9,70068	20,62
16						0,26	31,97	116,18	11,368	9,30953	20,60
17						0,28	31,58	113,04	11,119	8,92881	20,46
18	**Данные рабочей машины**					0,3	31,10	109,9	10,871	8,55852	20,23
19	$n_{р.м}$	номинальные обороты	358			0,32	30,56	106,76	10,622	8,19866	19,94
20	$M_{М.О}$	начальный момент	6,5			0,34	29,98	103,62	10,373	7,84923	19,60
21	$M_{М.Н}$	номинальный момент	42			0,36	29,36	100,48	10,125	7,51023	19,24
22						0,38	28,74	97,34	9,8763	7,18166	18,86
23					=C3*C5/30	0,4	28,10	94,2	9,6277	6,86352	18,48
24	ω_H	Номинальная угловая скорость		149,67	=C4/D24	0,42	27,47	91,06	9,3791	6,55582	18,09
25	M_H	Номинальный вращающий момент электродвигателя		14,699	=D25*C8	0,44	26,84	87,92	9,1305	6,25854	17,71
26	$M_к$	Максимальный (критический) вращающий момент электродвигателя	$M_H \cdot \mu_к$	32,337	=D25*C6	0,46	26,23	84,78	8,8819	5,9717	17,34
		Минимальный									

Рис. 1. Фрагмент 1 листа табличного процессора.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
27	M_{min}	Минимальный вращающий момент электродвигателя	$M_н \cdot \mu_{min}$	22,048	=D25*C6 =D25*C7	0,48	25,62	81,64	8,6333	5,69528	16,99
28	$M_п$	Пусковой вращающий момент электродвигателя	$M_н \cdot \mu_п$	26,458	=(C13-C14)/C13	0,5	25,03	78,5	8,3847	5,4293	16,65
29	$S_н$	Номинальное скольжение электродвигателя		0,0467	=60*C15/C5	0,52	24,46	75,36	8,1361	5,17375	16,32
30	p	число пар полюсов обмотки статора		2	=D29*((C8÷((C8^2)-1÷2*D29*(C8-1))^(1/2))/(1-2*D29*(C8-1)))	0,54	23,90	72,22	7,8875	4,92862	16,01
31	S_k	Критическое скольжение электродвигателя		0,2201		0,56	23,36	69,08	7,6389	4,69393	15,72
32	$M_{дв}$	Вращающие моменты двигателя		см столбец G	=2*C3*C13/60	0,58	22,84	65,94	7,3903	4,46967	15,45
33	ω_0			157		0,6	22,33	62,8	7,1417	4,25584	15,19
34	ω			столбец H		0,62	21,84	59,66	6,8931	4,05244	14,95
35	$\eta_{пер}$			0,75		0,64	21,37	56,52	6,6445	3,85947	14,73
36	α			1		0,66	20,92	53,38	6,3959	3,67694	14,52
37	α			2		0,68	20,48	50,24	6,1473	3,50483	14,33
38						0,7	20,05	47,1	5,8987	3,34315	14,15
39						0,72	19,64	43,96	5,6501	3,19191	13,99
40						0,74	19,25	40,82	5,4015	3,05109	13,84
41						0,76	18,86	37,68	5,1529	2,92071	13,71
42						0,78	18,50	34,54	4,9043	2,80076	13,59
43						0,8	18,14	31,4	4,6557	2,69123	13,48
44						0,82	17,79	28,26	4,4071	2,59214	13,39
45						0,84	17,46	25,12	4,1585	2,50348	13,30
46						0,86	17,14	21,98	3,9099	2,42525	13,23
47						0,88	16,83	18,84	3,6613	2,35745	13,17
48						0,9	16,53	15,7	3,4127	2,30008	13,12
49						0,92	16,24	12,56	3,1641	2,25314	13,07
50						0,94	15,96	9,42	2,9155	2,21664	13,04
51						0,96	15,68	6,28	2,6669	2,19056	13,02
52						0,98	15,42	3,14	2,4183	2,17491	13,00
53						1	15,16	0	2,1697	2,1697	12,99
54											
55											

Рис. 2. Фрагмент 2, продолжение листа табличного процессора.

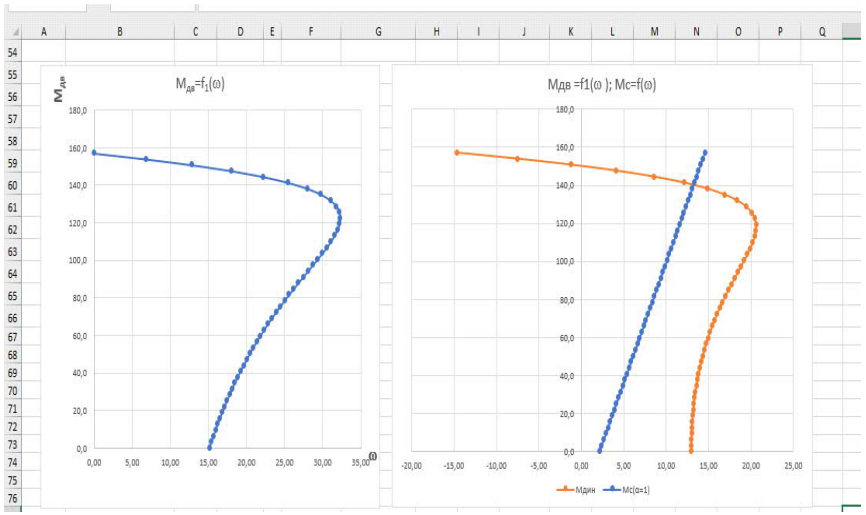


Рис 3. Фрагмент 3, продолжение листа табличного процессора.

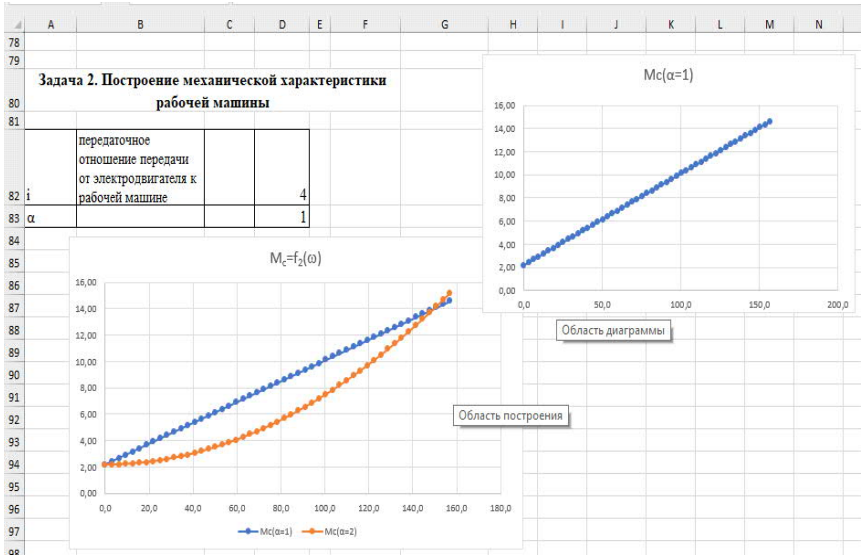


Рис. 4. Фрагмент 4, продолжение листа табличного процессора.

8.1 Построение характеристики динамического момента

Для построения характеристик динамического момента необходимо построить первую диаграмму, например, $M_{дв} = f(\omega)$. Для этого выделяем эти столбцы с данными вместе с наименованием данных. Затем, выполняем команду ***Вставка – диаграмма – точечную.*** При этом значения данных из столбца w должны быть в строке Y. Если этого не произошло, то выполнить следующее.

В области диаграммы, из контекстного меню вызвать команду «Выбрать данные». Появится окно «Выбор источника данных» рис. 5.

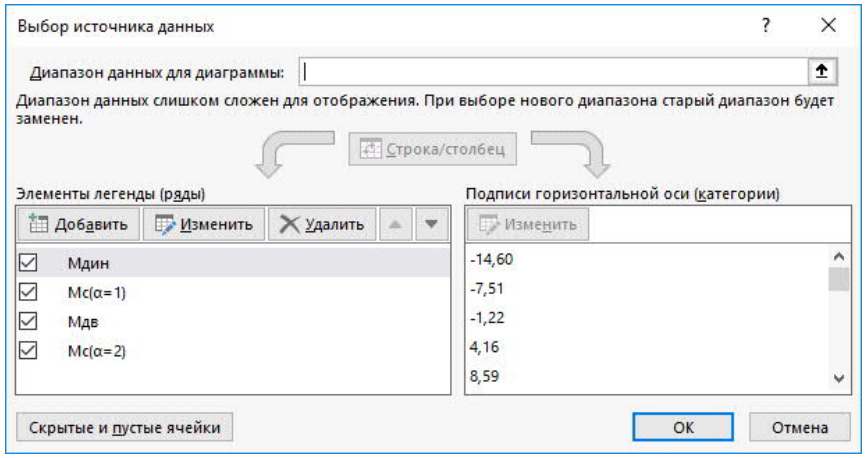


Рис. 5. Выбор источника данных.

Через это окно можно просматривать данные, изменять их и добавлять данные для построения нового графика в том же окне. Для этого использовать кнопки изменить, добавить или удалить. В этом случае появляется окно (рис. 6).

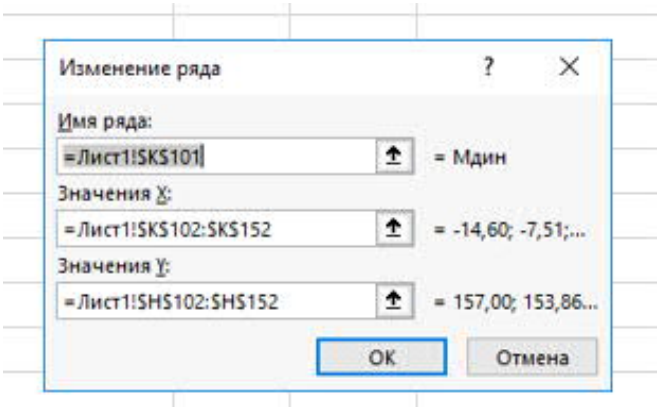


Рис. 6. Окно изменения ряда.

В результате можно построить следующие графики.

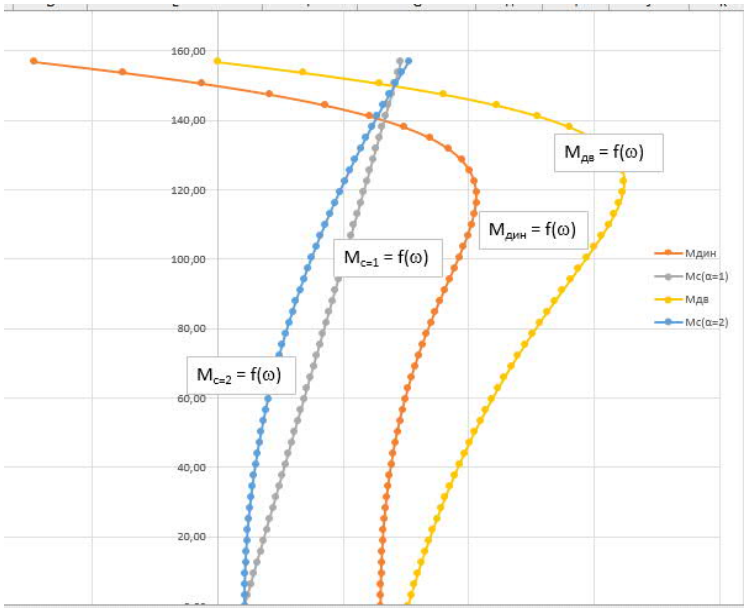


Рис. 7. Графики динамических характеристик.

Остальные расчеты, требуемые в задачах, выполнить самостоятельно.

8.2 Выводы

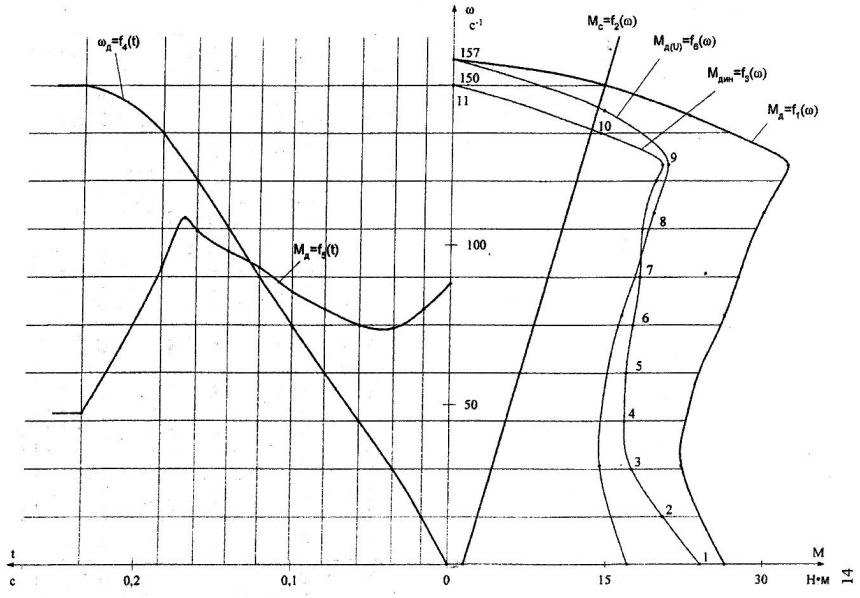
1. Сравнивая инструменты расчета: ручной , Excel, Matlab хочется отметить, в эпоху информационных технологий не использовать ручной расчет по мере возможности.

2. Интерактивный расчет в матричной лаборатории предпочтительнее табличного процессора.

3. Достоинство MATLAB заключается в том, что расчет для любой формулы можно выполнить одной командой для всех значений, описанных вектором или матрицей.

4. Изображение переходных процессов в виде диаграмм повышают наглядность восприятия характеристик рассматриваемой системы, а простота их построения выполняется обращением к стандартным функциям.

Результаты построения всех характеристик переходного режима в системе «Асинхронный электродвигатель – рабочая машина»



Исходные данные к выполнению задания

Вариант	$P_н$, кВт	$p_н$, об/мин	$\mu_К$	μ_{min}	$\mu_П$	$GД^2_{дв}$ кг · м²	$n_{р.м.}$ об/мин	$M_{м.о.}$ Н · м	$M_{м.о.}$ Н · м	$GД^2_{рн}$ кг · м²	α	$\eta_{пер}$	ΔU %	η_n %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	18,5	965	1,8	1,0	1,2	1,3	322	400	400	12	0	0,81	24	89
2	18,5	1450	2,0	1,2	1,3	0,5	1450	15	95	0,75	1,5	0,88	17	89,5
3	18,5	2900	2,2	1,1	1,2	0,25	1450	10	105	1,5	1,5	0,95	10	88
4	30	1455	2,0	1,1	1,2	0,96	1450	30	166	1,5	1,5	0,86	19	90,5
5	18,5	2900	2,2	1,1	1,2	0,3	1450	20	100	1,5	2	0,94	15	90
6	30	1455	2,0	1,1	1,2	1,2	243	960	960	60	0	0,82	30	91
7	30	2900	2,2	1,0	1,1	0,38	1450	16	180	1,6	1,5	0,93	12	90
8	30	970	1,8	1,0	1,1	2,7	323	70	700	27	1,0	0,79	26	90
9	30	2900	2,2	1,0	1,1	0,55	1450	18	175	2,5	1,5	0,9	15	89
10	3,0	2880	2,2	1,5	1,7	0,033	1440	3,5	17,5	0,16	2	0,91	10	87
11	1,1	2815	2,2	1,7	1,9	0,006	1407	1,0	6,5	0,03	2	0,9	10	86
12	0,75	2815	2,2	1,7	1,9	0,005	1408	0,5	4,8	0,03	1,5	0,92	13	78
13	22	2900	2,2	1,0	1,1	0,46	1450	15	130	2,0	1,5	0,91	14	88
14	15	1450	2,0	1,2	1,3	0,4	1450	8	75	0,6	1,5	0,89	16	88,5
15	22	1450	2,0	1,1	1,2	0,7	1450	25	120	1,0	1,5	0,87	18	90
16	1,1	1360	2,2	1,5	1,8	0,008	1360	4,6	4,6	0,01	0	0,84	21	74,5
17	11	965	1,8	1,1	1,2	0,7	322	245	245	7,0	0	0,83	22	87
18	1,1	930	2,2	1,5	1,8	0,019	310	2,5	18,5	0,2	1,0	0,76	29	73
19	1,5	930	2,2	1,6	1,8	0,024	310	3,0	25	0,25	1,0	0,75	30	76
20	15	965	1,8	1,1	1,2	0,9	322	310	310	9	0	0,82	23	88
21	15	2900	2,2	1,3	1,5	0,18	1450	15	76	0,9	2	0,94	15	89
22	11	2900	2,2	1,3	1,5	0,15	1450	10	58	0,75	2	0,93	15	89
23	0,55	915	2,2	1,5	1,8	0,008	305	1,0	9,7	0,08	1,0	0,78	27	68
24	0,75	915	2,2	1,5	1,8	0,009	305	20	14,4	0,1	1,0	0,77	28	70
25	5,5	1450	2,0	1,3	1,5	0,12	242	15	150	4,8	1	0,7	25	86
26	1,5	1400	2,2	1,5	1,8	0,002	350	6	28	0,44	1	0,7	20	81
27	4	2800	2,2	1,5	1,7	0,041	1440	5,0	24	0,2	2	0,92	10	89
28	22	2900	2,2	1,0	1,1	0,28	1450	12	135	1,2	1,5	0,94	11	89
29	22	965	1,8	1,0	1,2	1,6	322	50	520	16	1,0	0,8	25	89,5
30	22	1450	2,0	1,0	1,2	1,0	243	685	685	46	0	0,8	30	90
31	0,75	1360	2,2	1,6	1,8	0,007	1360	3,5	3,5	0,01	0	0,085	20	72
32	1,5	2850	2,2	1,5	1,8	0,011	1430	1,5	9,0	0,05	2	0,9	10	88
33	7,5	1450	2,0	1,2	1,4	0,23	242	20	200	9,2	1	0,72	25	87
34	15	970	1,8	1,0	1,2	1,0	121	800	800	100	0	0,84	30	88
35	4,0	960	1,8	1,0	1,3	0,17	120	250	250	15	0	0,8	30	83
36	5,5	970	1,8	1,0	1,3	0,33	121	300	300	30	0	0,81	30	85,5
37	4,0	1450	2,0	1,3	1,5	0,094	362	10	85	1,9	1	0,85	20	85
38	2,2	2860	2,2	1,5	1,8	0,014	1430	2,5	13	0,07	2	0,91	10	80
39	15	1450	2,0	1,0	1,3	0,45	242	40	385	18	1	0,76	25	89
40	1,1	1400	2,2	1,5	1,8	0,017	350	3	19	0,34	1	0,65	20	80
41	18,5	970	1,8	1,0	1,2	1,6	121	1000	1000	160	0	0,79	30	90
42	22	1455	2,0	1,0	1,2	1,0	243	688	685	46	0	0,8	30	90
43	7,5	970	1,8	1,0	1,3	0,44	121	450	450	40	0	0,82	30	87

ЛИТЕРАТУРА

1. А.Ф. Дащенко, В.Х. Кириллов, Л.В. Коломиец, В.Ф. Оробей. MATLAB в инженерных расчетах. Одесса, «Астропринт»: 2003. - 214 с.
2. В.П. Дьяконов. MATLAB +SIMULINK в математике и моделировании. М., СОЛОН-Пресс: 2005г. – 575 с.
3. Налдикоев Э.Д., Сланов В.М. Методическое пособие для выполнения графо-расчетной работы по дисциплине «Электропривод». Издательство ФГОУ ВПО «Горский ГАУ». 2008. – 14 с.
4. Курбатова Е.А. MATLAB 7. Самоучитель. Издательство: Вильямс. Год издания: 2005г.
5. Ходова Л.Д., Датиева М.Ч. Методические указания «Математическое моделирование в матричной лаборатории Matlab» для бакалавров энергетического факультета. Изд-во «Горский госагроуниверситет». Владикавказ, 2016. - 63с.
6. Зангиев Т.Р., Ходова Л.Д.,Заруцкий В.М. Информационные технологии расчета в системе «асинхронный электродвигатель - рабочая машина». Научные труды студентов ГГАУ, выпуск № 53(ч. 2) Владикавказ, 2016. - Стр. 57-62.

ГЛОССАРИЙ ЭЛЕКТРОПРИВОДА СИСТЕМЫ

Электропривод – это электромеханическая система, предназначенная для приведения в движение рабочих органов машины и целенаправленного управления рабочими процессами, состоящая из электродвигательного, передаточного, преобразовательного и информационно-управляющего устройства.

Электродвигательное устройство – это электрический двигатель, преобразующий электрическую энергию в механическую.

Передаточное устройство – это механическое устройство, служащее для передачи движения от электродвигателя к рабочей машине в виде редуктора, канатной передачи, кривошипно-шатунного механизма, передачи винт – гайка или другого устройства.

Преобразовательное устройство – это устройство, преобразующее энергию электрической сети в электрическую энергию того вида, которая необходима для питания данного электродвигателя.

Информационно-управляющее устройство – предназначено для формирования законов управления потоком энергии и движения рабочих органов машин.

Механическая характеристика электродвигателя – это зависимость частоты вращения $n = f(M)$ или угловой скорости $\omega = f(M)$ электродвигателя от электромагнитного момента на его валу.

Динамическая или инерционная характеристика системы «электродвигатель – рабочая машина» $M_{дин}$ – это разница между механической характеристикой электродвигателя $M_д$ и механической характеристикой рабочей машины $M_С$, то есть $M_{дин} = M_д - M_С = f(\omega)$ как функция от угловой скорости.

Приведенный момент инерции – это сумма кинетических энергий всех звеньев механизма.

Содержание

Введение 3
Компетенции по обоим направлениям подготовки 4
ЗАДАНИЕ..... 5
МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ РАБОТЫ 7
Задача 1. Построение механической характеристики электродвигателя ... 10
1.1 Расчеты, выполненные на калькуляторе 10
1.2 Рассчеты, выполненные в матричной лаборатории MATLAB 12
Задача 2. Построение механической характеристики рабочей машины 17
2.1 Расчеты, выполненные на калькуляторе 17
2.2 Расчеты, выполненные в системе MATLAB 18
Задача 3. Построение характеристики динамического момента 20
3.1 Расчеты, выполненные на калькуляторе 20
3.2 Расчеты, выполнены в системе MATLAB 20
Задача 4. Определение продолжительности пуска электродвигателя. 22
4.1 Расчеты, выполненные на калькуляторе 22
4.2 Расчеты, выполненные в приложении MATLAB 23
Задача 5. Определение потерь в асинхронном электро-двигателе 27
5.1 Расчеты, выполненные на калькуляторе 27
5.2 Расчеты, выполнены в системе MATLAB 27
Задача 6. Построение механической характеристики электродвигателя при снижении напряжения питающей сети 29
6.1 Расчеты, выполненные на калькуляторе 29
6.2 Расчеты, выполнены в системе MATLAB 30
7. Заключение 31
8. Решение задачи в табличном процессоре Excel 32
8.1 Построение характеристики динамического момента 36
8.2 Выводы 38
Приложение 39
Исходные данные к выполнению задания 40
Литература 41
Глоссарий электропривода системы 42

б б б

ЗАРУЦКИЙ В.М., ИКОЕВА Э.Ю.,
ХОДОВА Л.Д., ДАТИЕВА М.Ч.

МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ

для выполнения практических работ
с использованием информационных технологий

б б б

Лицензия: ЛР. № 020574 от 6 мая 1998 г.

Подписано в печать 26.03.2019 г. Бумага офсетная. Печать трафаретная.
Бумага 60x84 1/16. Усл. печ. л. 2,75. Тираж 75. Заказ 20.

362040, Владикавказ, ул. Кирова, 37.
Типография ФГБОУ ВО «Горский госагроуниверситет»