

Балаковский инженерно – технологический институт
филиал федерального государственного автономного образовательного
учреждения высшего профессионального образования
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

Кафедра « Энергетика »

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
К ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ**

по дисциплинам «Автоматизированный электропривод» и «Электропривод
производственных машин и механизмов»
для студентов направления «Электроэнергетика и электротехника»
заочной формы обучения

Балаково 2015

ЗАДАНИЕ 1.

Для электропривода с электродвигателем постоянного тока независимого возбуждения требуется:

1.1. Рассчитать и построить естественную механическую характеристику приводного электродвигателя $\omega = f(M_c)$. Нанести на полученный график механическую характеристику приводного механизма $M_c = f(\omega)$. Определить рабочую скорость электропривода.

Параметры приводного электродвигателя выбираются из таблицы 1 в соответствии с последней цифрой номера зачетной книжки.

Таблица 1- Технические данные электродвигателей постоянного тока серии П с номинальной скоростью $n_n = 1500$ об/мин и номинальным напряжением $U_{нн} = 220$ В (значения сопротивлений обмоток указаны при температуре 15°C)

№ варианта	Тип	P_n , кВт	I_n , А	P	GD^2 , кг*м ²	$R_{я}$, Ом	$R_{дп}$, Ом	$R_{сер}$, Ом	R_B , Ом
0	П21	0.7	4.3	2	0.045	5.33	1.36	0.184	824
1	П22	1.0	5.9	2	0.055	2.97	0.79	0.137	440
2	П31	1.5	8.7	2	0.085	1.85	0.501	0.08	490
3	П32	2.2	12.0	2	0.105	1.06	0.3	0.0476	412
4	П41	3.2	18.4	4	0.15	0.67	0.246	0.0603	156
5	П42	4.5	25.4	4	0.18	0.403	0.17	0.0441	109
6	П51	6.0	33.0	4	0.35	0.34	0.102	0.0268	132
7	П52	8.0	43.0	4	0.4	0.198	0.068	0.0192	101
8	П61	11.0	59.5	4	0.56	0.15	0.066	0.019	121
9	П62	14.0	73.5	4	0.65	0.0875	0.048	0.01	100

В таблице 1 использованы следующие обозначения: P_n - номинальная мощность двигателя, кВт; I_n - номинальный ток якоря, А; p - число пар полюсов электродвигателя; GD^2 - маховой момент двигателя, кг*м²; $R_{я}$ - сопротивление обмотки якоря, Ом; $R_{дп}$ - сопротивление обмотки дополнительных полюсов, Ом; $R_{сер}$ - сопротивление последовательной (серийной) обмотки якоря, Ом; R_B - сопротивление обмотки возбуждения, Ом

1.2. Рассчитать и построить механические характеристики приводного электродвигателя $\omega = f(M)$ при напряжении на его обмотке возбуждения, равном: $U_{вн} = 220$ В; $U_{в1} = 200$ В и $U_{в2} = 170$ В.

При выполнении расчета можно допустить, что:

- в рассматриваемом диапазоне изменения напряжения на обмотке возбуждения двигателя, величина магнитного потока Φ пропорциональна току в обмотке возбуждения I_B , $\Phi = K_B \cdot I_B$;

- напряжение на обмотке якоря двигателя и_я неизменно и равно номинальному значению $U_{я} = U_{ян} = 220В$;

1.3. Определить, как изменяется рабочая скорость двигателя при изменении напряжения на обмотке возбуждения электродвигателя, и построить график $\omega = f(U_{в})$;

1.4. Определить минимальное значение потока возбуждения Φ_{MIN} и минимальное напряжение на обмотке возбуждения $U_{\text{ВMIN}}$ при котором происходит «опрокидывание регулирования»;

1.5. Определить максимальный диапазон регулирования скорости электродвигателя при изменении напряжения на его обмотке возбуждения с $U_{\text{ВН}} = 220В$ до $U_{\text{ВMIN}}$.

1.6. Разработать принципиальную электрическую схему управления электроприводом, позволяющую регулировать скорость изменением напряжения на обмотке возбуждения. Определить, какие технические средства необходимы для обеспечения пуска двигателя и регулирования его скорости. Кратко пояснить работу схемы и назначение используемых в ней технических средств.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО РЕШЕНИЮ ЗАДАНИЯ

Механической характеристикой двигателя называют зависимость скорости его вращения от момента сопротивления на его валу $\omega = f(M_c)$ при стационарном режиме работы.

Уравнение механической характеристики электродвигателя постоянного тока независимого возбуждения записывается в виде:

$$\omega = \frac{U_{я}}{C \cdot \Phi} - \frac{R_{\text{дв}} + R_{\text{доп}}}{(C \cdot \Phi)^2} \cdot M_{\text{дв}}$$

где ω - скорость вращения вала двигателя, рад/с, $\omega = 2\pi \cdot n / 60$;

При постоянных значениях $U_{я}$, Φ , $R_{\text{дв}}$ и $R_{\text{доп}}$ зависимость $\omega = f(M_c)$ для двигателя постоянного тока с независимым возбуждением является линейной, поэтому для построения графика механической характеристики достаточно определить координаты двух любых её точек.

Из уравнения механической характеристики электродвигателя постоянно-

го тока независимого возбуждения (1) следует, что при изменении магнитного потока двигателя Φ изменяются скорость идеального холостого хода ω_0 и жесткость механической характеристики электродвигателя β .

Значения ω_0 и β определяются по выражениям:

$$\omega_0 = -\frac{U_{\text{Я}}}{C\Phi}$$
$$\beta = -\frac{(C\Phi)^2}{R_{\text{ДВ}} + R_{\text{ДОП}}}$$

При изменении потока возбуждения остается неизменным ток короткого замыкания двигателя:

$$I_{\text{КЗ}} = -\frac{U_{\text{Я}}}{R_{\text{ДВ}} + R_{\text{ДОП}}}$$

Следует обратить внимание на то, что ток возбуждения двигателя $I_{\text{В}}$, а значит, и поток возбуждения Φ могут изменяться лишь в сторону уменьшения по сравнению с номинальными значениями, так как по условиям нормальной работы обмотки возбуждения ток в ней не может длительно превышать номинальное значение. Кроме того, даже кратковременное увеличение $I_{\text{В}}$ оказывается неэффективным, так как магнитные цепи электрических машин уже при номинальном потоке $\Phi_{\text{Н}}$ близки к насыщению.

Основным достоинством рассматриваемого метода регулирования является то, что мощность обмотки возбуждения невелика и составляет, как правило, 2 - 5 % мощности двигателя. Для изменения величины $I_{\text{В}}$ в цепь возбуждения вводят дополнительное сопротивление или подключают обмотку возбуждения к источнику питания с регулируемым напряжением.

Для лучшего понимания, как изменяется механическая характеристика двигателя при изменении $U_{\text{В}}$ и, соответственно, магнитного потока Φ , механические характеристики двигателя при различных значениях Φ целесообразно строить по координатам точек идеального холостого хода и короткого замыкания.

Координаты точки идеального холостого хода:

$$M_{\text{ДВ}} = 0;$$

$$\omega = \omega_0$$

Координаты точки короткого замыкания двигателя:

$$M_{дв} = M_{кз};$$

$$\omega = 0$$

Значение момента короткого замыкания двигателя $M_{кз}$ определяется по уравнению:

$$M_{кз} = I_{кз} C\Phi = -\frac{U_{я} C\Phi}{R_{дв} + R_{доп}}$$

Для расчета и построения механической характеристики двигателя предварительно нужно определить несколько параметров, не указанных в таблице 1:

1. Суммарное сопротивление обмоток якорной цепи двигателя, приведенное к температуре 75°C :

$$Y_{дв} = (R_{я} + Y_{дп}) \cdot K$$

Значения поправочного температурного коэффициента K указаны в таблице 2.

Таблица 2

Тип двигателя	П1-П3	П4-П6	П7-П11
Значение K	1.24	1.32	1.4

2. Номинальные значения тока возбуждения и тока якоря двигателя:

$$I_{вн} = -\frac{U_{вн}}{R_{в} \cdot K}$$

$$I_{ян} = I_{н} - I_{вн}$$

3. Произведение $C\Phi_{н}$ (при номинальном значении $U_{вн} = 220 \text{ В}$):

$$C\Phi_{н} = -\frac{U_{н} - I_{ян} R_{дв}}{\omega_{н}}$$

На рис. 1 показана естественная механическая характеристика электродвигателя с независимым возбуждением при $\Phi = \Phi_{ном}$ (1) и механические характеристики двигателя при ослаблении потока возбуждения Φ до значений $\Phi 1 < \Phi_{ном}$ (2) и до значения $\Phi 2 < \Phi 1$ (3). Все характеристики двигателя построены при $R_{доп} = 0$ и $U_{я} = U_{ян} = 220 \text{ В}$.

Здесь же показана механическая характеристика приводной машины (4), построенная по уравнению:

$$M_C = M_{СП} + \beta_c \cdot \omega,$$

Где $M_{СП}$ - момент сопротивления приводной машины при скорости $\omega=0$ (момент трогания); β_c - жесткость механической характеристики приводной машины.

При решении задачи следует использовать следующие численные значения параметров механической характеристики приводной машины:

$$M_{СП} = 0,5 M_H;$$

$$\beta_c = (1,6 \cdot 10^3) \cdot M_H.$$

Пересечение естественной механической характеристики электродвигателя и механической характеристики приводной машины определяет положение рабочей точки P1, по которой можно найти рабочую скорость двигателя $\omega_p = \omega_1$ при $U_B = 220$ В (см. рис. 1).

Учитывая, что величина конструктивного коэффициента C не зависит от напряжения U_B , при изменении напряжения U_B и, соответственно, потока возбуждения Φ величины $C\Phi$, ω_0 и $M_{КЗ}$ изменяются пропорционально значению U_B .

Как видно из рис. 1, при уменьшении магнитного потока возбуждения Φ до значения Φ_1 , а затем до значения Φ_2 рабочая скорость двигателя ω_p возрастает сначала до величины ω_2 (точка P2), а затем до величины ω_3 (точка P3).

Однако увеличение рабочей скорости ω_p при снижении Φ происходит лишь до определенного значения потока возбуждения $\Phi = \Phi_{MIN}$

Начиная с некоторого значения $\Phi = \Phi_{MIN}$ при дальнейшем уменьшения потока возбуждения Φ , происходит так называемое «опрокидывание регулирования» - рабочая скорость двигателя ω_p не растёт, а снижается.

Это вызвано тем, что ослабление потока Φ приводит к уменьшению момента короткого замыкания двигателя и снижению модуля жесткости его механической характеристики.

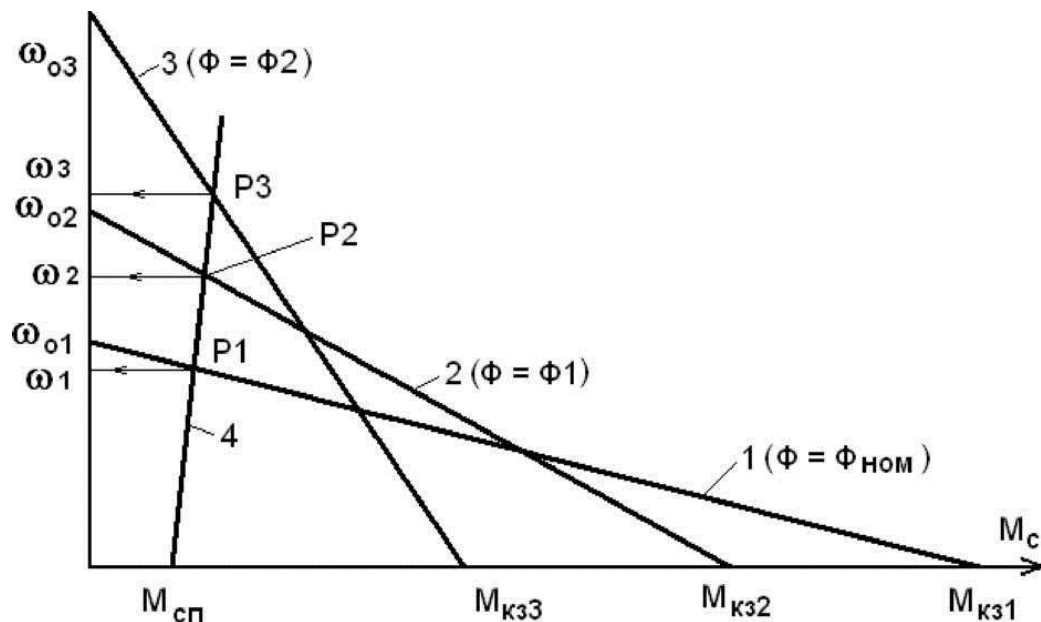


Рис.1. Механические характеристики двигателя постоянного тока независимого возбуждения при различном потоке возбуждения Φ

Для определения численного значения потока возбуждения $\Phi = \Phi_{\text{MIN}}$ при котором происходит «опрокидывание регулирования» нужно:

1. Подставить в уравнение механической характеристики двигателя (1) зависимость момента сопротивления M_c от скорости:

$$M_c = M_{\text{СП}} + \beta c * \omega,$$

2. Из полученного уравнения определить производную $d\omega/d(C\Phi)$ и, приравняв её нулю, определить величину Φ_{MIN} .

Для определения максимального диапазона регулирования скорости двигателя D при изменении напряжения на его обмотке возбуждения нужно построить механическую характеристику двигателя при минимально-возможном значении потока Φ_{MIN} и определить из этой характеристики максимальное значение рабочей скорости $\omega_p = \omega_{\text{MAX}}$.

Величина диапазона регулирования скорости D определяется по выражению:

$$D = - \frac{\omega_{\text{max}}}{\omega_1}$$

ЗАДАНИЕ 2.

Для технологического оборудования, оснащенного электроприводом с электродвигателем постоянного тока независимого возбуждения, параметры которого указаны в таблице 1, требуется:

2.1. Рассчитать и построить диаграмму ступенчатого пуска электродвигателя с числом ступеней 3 или 4 по выбору студента. При расчете принять $U_{\text{я}} = U_{\text{ян}} = 220\text{В}$ и $U_{\text{в}} = U_{\text{вн}} = 220\text{В}$.

2.2. Определить величины дополнительных пусковых сопротивлений, включаемых в цепь якоря приводного электродвигателя.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО РЕШЕНИЮ ЗАДАНИЯ

Электродвигатель постоянного тока (ДПТ) не допускает прямого пуска при подключении обмотки якоря на полное напряжение питающей сети, так как возникающий при этом бросок тока превышает допустимое для коллектора значение.

По условиям коммутации коллектора пусковой ток $I_{\text{п}}$ электродвигателя постоянного тока не должен превышать значения $I_{\text{п}} < (2 - 2,5) \cdot I_{\text{н}}$. При номинальном напряжении на обмотке возбуждения, пусковой момент ДПТ также не будет превышать величины $M_{\text{п}} < (2 - 2,5) \cdot M_{\text{н}}$.

Для ограничения пускового тока ДПТ нужно на время пуска снижать напряжение источника питания обмотки якоря или включать последовательно с обмоткой якоря дополнительное сопротивление $R_{\text{доп}}$. Обычно используют сопротивление $R_{\text{доп}}$, состоящее из нескольких последовательно соединенных ступеней $R_{\text{д1}}, R_{\text{д2}}, \dots, R_{\text{дн}}$.

В начале пуска в цепь якоря включены все ступени сопротивления:

$$R_{\text{доп}} = R_{\text{д1}} + R_{\text{д2}} + \dots + R_{\text{дн}}.$$

По мере разгона ступени сопротивления $R_{\text{доп}}$ поочередно отключают при помощи пусковых реле. Таким образом, пуск ДПТ осуществляется в несколько ступеней - при этом двигатель переводится с одной искусственной характеристики на другую.

В конце пуска сопротивление $R_{\text{доп}}$ полностью шунтируется контактами пусковых реле, двигатель переходит на естественную механическую характеристику и работает при $R_{\text{доп}} = 0$ со скоростью, определяемой моментом сопротивления $M_{\text{с}}$ на его валу.

На рис. 2 приведена пусковая диаграмма электродвигателя постоянного тока независимого возбуждения, включающая естественную механическую характеристику электродвигателя с независимым возбуждением (4) и искусственные пусковые механические характеристики ДПТ (1, 2 и 3), получаемые введе-

нием в цепь якоря дополнительных сопротивлений. Здесь же показана механическая характеристика приводной машины (5).

Каждой искусственной характеристике соответствует определенное сопротивление в якорной цепи. Пусковая диаграмма характеризуется пределами изменения момента двигателя при пуске - величинами M_{Π} и M_1 , а также числом пусковых ступеней. Чем больше ступеней, тем меньше пределы изменения момента при пуске, тем плавней происходит процесс разгона двигателя.

Чем больше максимальный пусковой момент M_{Π} , тем выше значение ускорение двигателя. Величина момента переключения M_1 должна превышать максимально возможное значение рабочего момента сопротивления M_p настолько, чтобы не затягивать процесс пуска из-за малых ускорений перед переключением ступеней. Можно рекомендовать выбирать значение M_1 из условия $M_1 = (1,2 - 1,5)M_p$.

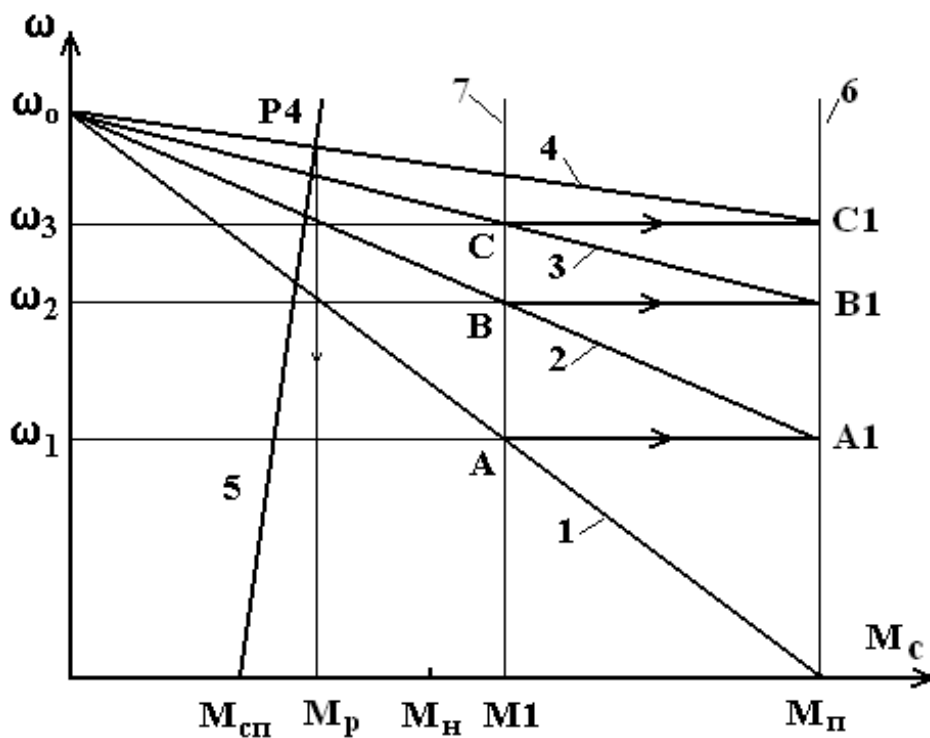


Рис. 2. Пусковая диаграмма электродвигателя постоянного тока

Горизонтальные отрезки прямых линий между характеристиками 1 и 2, 2 и 3, 3 и 4 показывают переход двигателя с одной характеристики на другую при отключении соответствующей ступени пускового сопротивления.

Величина сопротивления каждой ступени определяется значениями пускового тока и скорости ДПТ. На пусковой характеристике 1 в цепь якоря введено все сопротивление $R_{доп}$. Величину $R_{доп}$ можно определить по уравнению:

$$R_{доп} = \frac{U_{я}}{I_{п}} - R_{дв}$$

Для построения пусковой диаграммы нужно сначала построить естественную механическую ДПТ (4 на рис. 2) и механическую характеристику приводной машины (5 на рис. 2).

Затем, по приведенному выше условию, выбрать значение $I_{п}$ и определить соответствующие значения $M_{п} = C\Phi I_{п}$ и $R_{доп}$. Провести линию пускового момента (6 на рис. 2).

После этого можно построить первую пусковую механическую характеристику двигателя (характеристика 1 на рис. 2), соединив точку идеального холостого хода двигателя ($M_c = 0$; $\omega_0 = U_{я}/C\Phi$) с точкой пускового момента ($M_c = M_{п}$; $\omega = 0$).

Затем нужно выбрать величину момента переключения M_1 , провести линию момента переключения (7 на рис. 2) и определить из пусковой диаграммы скорость ω_1 перехода двигателя на вторую пусковую характеристику (точка А на рис. 2).

Величина противо-э.д.с. двигателя E_1 при скорости ω_1 определяется по уравнению (4):

$$E_1 = C \cdot \Phi \cdot \omega_1 \quad (4)$$

Величина дополнительного сопротивления $R_{д2}$ в цепи якоря на пусковой характеристике 2 определяется по уравнению (5):

$$R_{д2} = \frac{U_{я} - C\Phi\omega_1}{I_{п}} - R_{дв}$$

Теперь можно построить искусственную механическую характеристику 2, проведя горизонтальную прямую из точки А до пересечения с линией пускового момента и соединив полученную точку (А1 на рис. 2) с точкой холостого хода.

Определить из диаграммы скорость ω_2 перехода двигателя на третью пусковую характеристику (точка В на рис. 2).

Величина противо-э.д.с. двигателя E_2 при скорости ω_2 определяется по уравнению (6):

$$E_2 = C \cdot \Phi \cdot \omega_2 \quad (6)$$

Величина дополнительного сопротивления в цепи якоря на пусковой характеристике 3 определяется по уравнению (7):

$$R_{ДЗ} = \frac{U_{Я} - C\Phi\omega_2}{I_{П}} - R_{ДВ}$$

Теперь можно построить искусственную механическую характеристику 3. Для этого нужно провести горизонтальную прямую из точки В до пересечения с линией пускового момента и соединить полученную точку (В1 на рис. 2) с точкой холостого хода.

Определить из диаграммы скорость двигателя ω_3 при его переходе на естественную механическую характеристику (точка С на рис. 2).

Если при переключении на естественную механическую характеристику 4 (точка С на рис.2) двигатель переходит на естественную характеристику при значении момента, отличающегося по величине от $M_{П}$, значения моментов $M_{П}$ и $M1$ нужно изменить, используя приведенные выше рекомендации. Можно также изменить число пусковых ступеней.

После изменения значений $M_{П}$ и $M1$ процедуру построения пусковой диаграммы нужно выполнить заново.

После определения значений сопротивлений $R_{доп}$, $R_{д2}$ и $R_{д3}$ можно рассчитать величину сопротивления ступеней пускового реостата $R1$, $R2$, $R3$.

Схема включения дополнительных сопротивлений в цепь якоря двигателя показана на рис. 3. Значения ступеней пускового реостата $R1$, $R2$, $R3$ можно определить из следующих соотношений:

$$\begin{aligned} R_{доп} &= R3 + R2 + R1; \\ R_{д2} &= R3 + R2; \\ R_{д3} &= R3. \end{aligned}$$

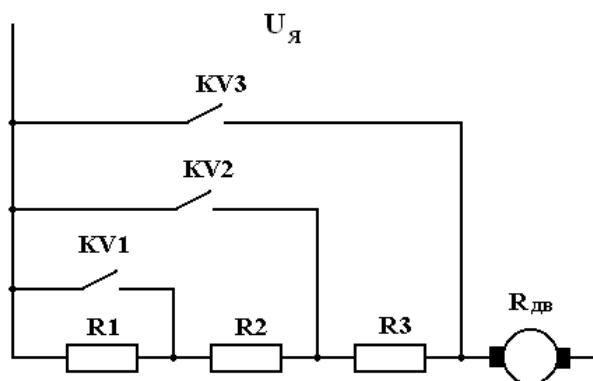


Рис.3. Схема включения дополнительных сопротивлений в цепь якоря

СПИСОК ОСНОВНОЙ И ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Основная литература:

Зайцев А.В. Асинхронный электропривод подъемно-транспортных машин: учебн. пособие / А.В. Зайцев – Саратов: ООО «АН ВЭ», 2011. - 248 с.

1. Никитенко Г. В. Электропривод производственных механизмов: учебн пособие. - М: Лань, 2013.- 224 с. (ЭБС издательства «Лань». Договор на оказание услуг по предоставлению доступа к электронным изданиям №20-14-910 от 01.09.2014)

2. Елифанов А. П., Малайчук Л. М., Гуцинский А. Г. Электропривод: учебник для вузов - М: Лань, 2012.- 400 с. (ЭБС издательства «Лань». Договор на оказание услуг по предоставлению доступа к электронным изданиям №20-14-910 от 01.09.2014)

Дополнительная литература:

3. Фролов Ю.М., Шелякин В. П. Проектирование электропривода промышленных механизмов: учебное пособие. - М: Лань, 2012.- 400 с. (ЭБС издательства «Лань». Договор на оказание услуг по предоставлению доступа к электронным изданиям №20-14-910 от 01.09.2014).

4. Фролов Ю.М., Шелякин В. П. Сборник задач и примеров решений по электрическому приводу: учебное пособие. - М: Лань, 2012.- 432 с. (ЭБС издательства «Лань». Договор на оказание услуг по предоставлению доступа к электронным изданиям №20-14-910 от 01.09.2014).

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
К ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ**

по дисциплинам «Автоматизированный электропривод» и «Электропривод
производственных машин и механизмов»
для студентов направления «Электроэнергетика и электротехника»
заочной формы обучения

Составила: И. В. Стельмах
Рецензент М.С. Губатенко