

Министерство образования Российской Федерации
Дальневосточный государственный технический университет
им. В.В. Куйбышева

ИССЛЕДОВАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО
ЭЛЕКТРОПРИВОДА С РАЗЛИЧНЫМИ ОБРАТНЫМИ СВЯЗЯМИ

Методические указания к лабораторной работе для студентов
специальности 180400 “Электропривод и автоматика
промышленных установок и технологических комплексов “

Владивосток
2002

Одобрено методическим советом университета

УДК 621- 83.001. 2(03)

Методические указания содержат общие сведения о особенностях работы, элементах расчета и настройках электропривода по системе «ЭМУ-Д» с различными видами обратных связей. Приведены программа работы, описание лабораторной установки, методика проведения и обработки результатов экспериментов, рекомендации по оформлению отчета, список использованной литературы.

Методические указания предназначены для студентов специальности 180400 « Электропривод и автоматика промышленных установок и технологических комплексов».

Составили П.Я. Бункин, Л.С. Козлитин, канд. техн. наук, доценты кафедры автоматизации и управления техническими системами.

Печатается с оригинал-макета, подготовленного авторами.

© П.Я. Бункин,
Л.С. Козлитин. 2002

© Изд-во ДВГТУ. 2002

Целью лабораторной работы является проведение сравнительного анализа качества работы замкнутой системы управления на базе электропривода “ЭМУ-Д” с различными видами обратных связей, получение навыков в настройке и регулировке электропривода, снятии статических и динамических характеристик, определении показателей качества работы по экспериментальным зависимостям.

1 НАЗНАЧЕНИЕ И УСТРОЙСТВО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Электроприводы по схеме “ЭМУ-Д” предназначены для управления скоростью вращения электродвигателей постоянного тока с независимым возбуждением, используемых в качестве силовых исполнительных устройств в различных механизмах движения: механизмах подачи металлообрабатывающих станков и сварочных автоматов, копировальных следящих системах и т. д.

Существует несколько способов регулирования скорости вращения вала электродвигателя. Наиболее удобным является способ регулирования скорости за счет изменения подводимого к якорю электродвигателя М1 напряжения, которое должно вырабатываться специальным источником питания. В нашем случае таким источником питания является электромашинный усилитель ЭМУ, который на рис.1 показан как усилитель А. Изменение напряжения, снимаемого с потенциометра R1, приводит к изменению потока возбуждения на управляющей обмотке LA1 ЭМУ и, следовательно, к изменению ЭДС вырабатываемой якорем ЭМУ. Для якорной цепи (рис.1) справедливо уравнение баланса напряжений

$$E_A - I_{\text{я}} R_{\text{яа}} = E_M + I_{\text{я}} R_{\text{ям}}, \quad (1)$$

где E_A - ЭДС ЭМУ; $R_{\text{яа}}$ - активное сопротивление якоря ЭМУ; $I_{\text{я}}$ - ток в якорной цепи; $R_{\text{ям}}$ - активное сопротивление якоря электродвигателя М1. Уравнение (1) получено для случая, когда сопротивление $R_2=0$. Наводимая в якорю электродвигателя ЭДС, определяется как

$$E_M = K \omega \Phi, \quad (2)$$

где K - конструктивный коэффициент электродвигателя, Φ - магнитный поток обмотки возбуждения, ω - скорость вращения вала электродвигателя. В нашем приводе $\Phi = \text{const}$. Решая совместно уравнения (1) и (2) относительно скорости вращения, получим

$$\omega = \frac{E_A}{K\Phi} - \frac{I_{\text{я}} (R_A + R_{\text{ям}})}{K\Phi}, \quad (3)$$

Зависимость (3) получила название скоростной характеристики электродвигателя. Когда нагрузка на валу электродвигателя отсутствует, скорость его вращения называется скоростью идеального холостого хода

$$\omega_0 = \frac{E_A}{K\Phi}. \quad (4)$$

В этом режиме $E_A = E_d$. Из уравнения (4) следует, что ω_0 зависит от величины входного сигнала, которым является напряжение, снимаемое с потенциометра R1.

При увеличении нагрузки на вал электродвигателя M скорость его вращения начинает снижаться. Создается разность потенциалов между ЭДС ЭМУ и противо ЭДС электродвигателя и по якорной цепи потечет ток. Данный ток создает в якоре электродвигателя момент, который компенсирует момент создаваемый нагрузкой. Когда момент развиваемый электродвигателем будет соответствовать моменту нагрузки, падение скорости прекратится. Изменение скорости вращения электродвигателя под воздействием нагрузки считается ошибкой при работе электропривода и определяется уравнением (5).

$$\Delta\omega = \frac{R_A + R_{ям}}{K\Phi} I_{я}. \quad (5)$$

Так как сопротивление якорной цепи электропривода типа “ЭМУ-Д” больше, чем сопротивление якоря электродвигателя M, то наклон статической характеристики электропривода больше, чем у естественной характеристики электродвигателя M (рис.3).

Одним из главных показателей качества работы электропривода в статике является точность его работы. Под точностью работы понимают величину падения скорости при изменении статического тока на единицу, т. е. точность работы определяет величина наклона скоростной характеристики электропривода.

$$a = \frac{\Delta\omega}{I_{я}} = \frac{\omega_0 - \omega}{I_{я}}. \quad (6)$$

Оценка точности работы, определенная согласно уравнения (6), наиболее удобно использовать для электроприводов обладающих линейной скоростной характеристикой. Чем величина a меньше, тем точность работы выше, т.е. меньше величина ошибки. Иногда в качестве оценки точности работы используют величину статического падения скорости при номинальной нагрузке. показателем качества работы электропривода в статике является допустимый диапазон регулирования D. Этим показателем качества определяется

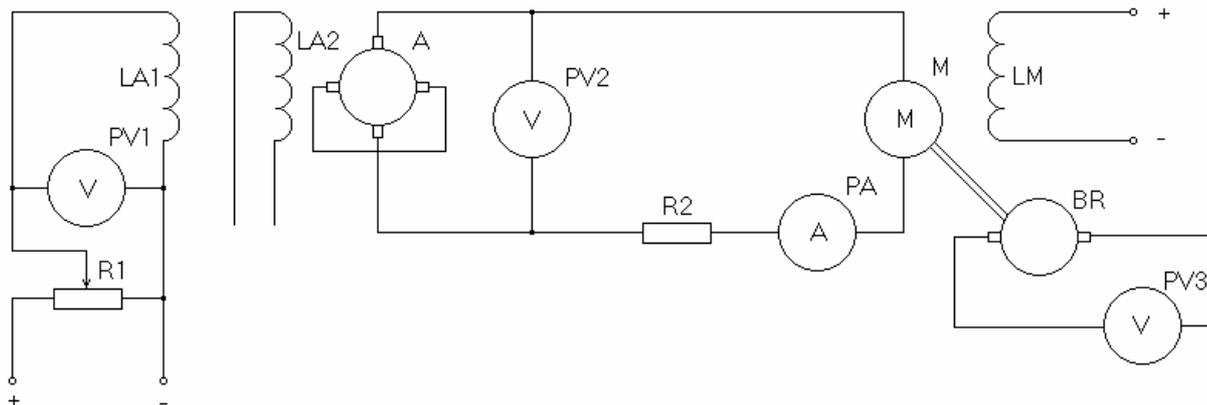


Рис.1 Схема электрическая принципиальная разомкнутой системы управления электроприводом

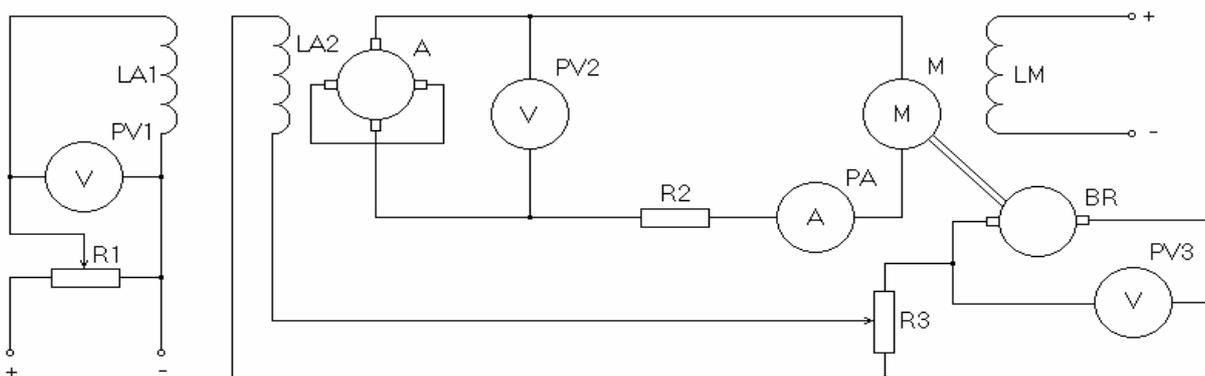


Рис.2 Схема электрическая принципиальная системы "ЭМУ-Д" с отрицательной обратной связью по скорости

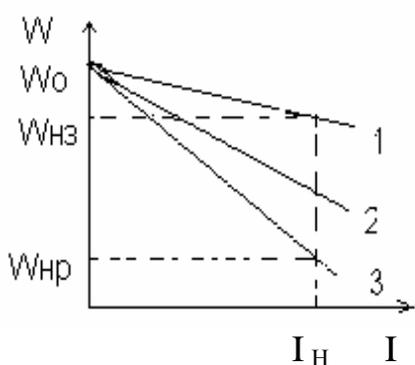


Рис.3 Скоростные характеристики электропривода; 1-в замкнутой системе, 2-естественная характеристика, 3-в разомкнутой системе.

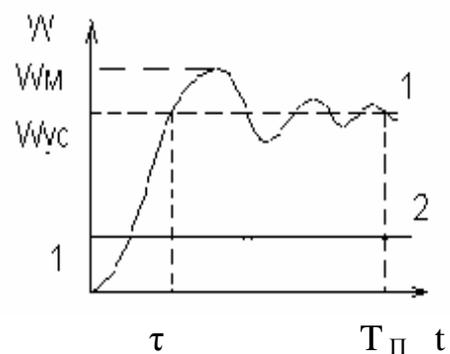


Рис.4 1-переходная характеристика; 2- задающий сигнал.

допустимый предел изменения скорости при изменении задающего сигнала. Верхним пределом обычно считается скорость соответствующая номинальному (паспортному) значению. Нижним пределом считается наименьшая возможная скорость вращения при номинальной нагрузке. В случае линейных скоростных характеристик можно считать наименьшей скоростью $\omega=0$ при $I=I_{ном}$, тогда диапазон может быть определен как

$$D = \frac{\omega_{OH}}{\omega_{Omin}}, \quad (7)$$

где ω_{OH} - скорость идеального холостого хода, через которую проходит скоростная характеристика имеющая точку соответственно с $\omega=\omega_n$ при $I=I_n$;

ω_{Omin} - скорость идеального холостого хода, через которую проходит скоростная характеристика имеющая точку с $\omega=0$ при $I=I_n$.

Лучшими считаются приводы имеющие большой диапазон регулирования и меньшую статическую ошибку.

Работа электропривода в динамике оценивается по характеру переходного процесса при подаче на вход системы единичного ступенчатого сигнала. Реакция привода на такой входной сигнал называется переходной характеристикой (рис.4). По ней определяются такие показатели качества как время переходного процесса T_n , время достижения первого значения установившейся величины τ , перерегулирование и показатель колебательности. Под величиной T_n понимают промежуток времени между моментом подачи входного воздействия и момента, когда выходной сигнал достигнет установившегося значения и не будет отличаться от него не более чем на 5%. Величина перерегулирования оценивает величину превышения выходного параметра над установившемся значением и определяется согласно уравнения (8).

$$\sigma\% = \frac{\omega_{MAX} - \omega_{уст}}{\omega_{уст}} 100. \quad (8)$$

Показатель колебательности M определяется по величине полных колебаний за время T_n на уровне установившегося значения. На рис. 4 величина $M=1.25$.

2. Повышение точности работы электроприводов

Одним из главных недостатков электроприводов на постоянном токе является сравнительно низкая точность работы из-за недостаточной жесткости их скоростных характеристик. Такой недостаток может быть значительно уменьшен за счет создания системы управления с различными видами обратных связей. В

качестве таковых используются обратные связи по скорости, по напряжению, положительная обратная связь по току или их комбинации.

Под ошибкой работы необходимо понимать разность между выходной величиной в системе и ее заданием, т.е.

$$\Delta X = X - X_{зад} , \quad (9)$$

где ΔX - ошибка в системе, X - выходная величина, $X_{зад}$ – сигнал задания. Согласно (4) ошибка на выходе замкнутой системы автоматического регулирования может быть определена как

$$\Delta X_з = \frac{\Delta X_{раз}}{1 + K * K_{oc}} , \quad (10)$$

где $\Delta X_{раз}$ – ошибка в системе без обратных связей, K - коэффициент передачи разомкнутого контура регулирования, K_{oc} – коэффициент обратной связи. Из формулы (10) видно, что ошибка $\Delta X < \Delta X_{раз}$. Ошибка будет тем меньше, а точность тем выше, чем больше коэффициент обратной связи.

1. Статические характеристики электропривода

Электропривод по системе «ЭМУ-Д» относится к электроприводам, математическая модель которых описывается линейными дифференциальными уравнениями. Если в этих уравнениях исключить время, то получим математическое описание статических характеристик. Одной из основных статических характеристик электропривода является скоростная характеристика $\omega = f(I_я)$. Для рассматриваемого привода данная характеристика в системе без обратных связей описывается уравнением (3). Зависимость выходного сигнала $р$ т входного $у$ ЭМУ определяется уравнением (14).

$$E_A = K_A U_y , \quad (14)$$

где U_y -результатирующее напряжение на обмотках управления ЭМУ, если все обмотки управления имеют одинаковое число витков, или напряжение задания скорости вращения в разомкнутой системе управления, K_A - коэффициент усиления ЭМУ. Если на систему управления действуют все основные обратные связи, тогда

$$U_y = U_з - U_{оосс} - U_{оосн} \pm U_{оост} , \quad (15)$$

где $U_з$ - напряжение задания скорости вращения электродвигателя в замкнутой системе, $U_{оосс}$ - напряжение отрицательной обратной связи по скорости, $U_{оосн}$ - напряжение отрицательной обратной связи по напряжению, $U_{оост}$ - напряжение

обратной связи положительной или отрицательной по току. Напряжение обратных связей определяется из соотношений

$$U_{\text{оосс}} = K_{\text{оосс}} \omega; \quad U_{\text{оосн}} = K_{\text{осн}} U_{\text{я}} = K_{\text{осн}} (K_{\Phi} \omega + R_{\text{яд}} I_{\text{я}}); \quad U_{\text{ост}} = \pm K_{\text{ост}} I_{\text{я}}; \quad (16)$$

где $K_{\text{оосс}}$, $K_{\text{осн}}$, $K_{\text{ост}}$ - коэффициенты обратных связей по скорости, напряжению и току соответственно. Совместное решение уравнений (3), (14), (15) и (16) относительно

$$w = \frac{K_A K_{\delta}}{1 + K_A (K_{\text{осн}} + K_{\text{оосс}} K_{\delta})} U_3 - \frac{K_{\delta} (R_{\text{я}} + K_A (K_{\text{осн}} R_{\text{я}} + K_{\text{ост}}))}{1 + K_A (K_{\text{осн}} + K_{\text{оосс}} K_{\delta})} I_{\delta}, \quad (17)$$

где $R_{\text{я}} = R_{\text{яа}} + R_{\text{ям}}$. Второе слагаемое в уравнении (17) представляет собой величину падения скорости в случае наброса нагрузки $\Delta\omega$, с помощью которой можно оценить точность работы привода. Обычно все показанные в (17) обратные связи одновременно не используются. Если перед системой управления электроприводом ставится задача обеспечения стабилизации скорости вращения, то используется или обратная связь по скорости, или обратная связь по напряжению, или комбинации какой то из этих обратных связей с положительной обратной связью по току. В каждом конкретном случае для расчета скоростных характеристик используется выражение (17), в котором коэффициенты передачи неиспользованных обратных связей приравняются нулю.

Использование системы управления с обратной связью по напряжению ни при каких значениях $K_{\text{осн}}$ не может обеспечить абсолютную жесткость скоростной характеристики. При этом величина ошибки будет зависеть от величины сопротивления $R_{\text{яд}}$. Величина падения скорости вращения $\Delta\omega_c$ в системе с обратной связью по скорости, при увеличении нагрузки, зависит от величины K_A и $K_{\text{оосс}}$. Только в том случае, когда $K_A K_{\text{оосс}} \rightarrow \infty$, мы получим абсолютно жесткую скоростную характеристику, но при этом система станет не устойчивой. Следовательно, в системе с отрицательной обратной связью по скорости всегда имеет место ошибка. Повышения жесткости скоростных характеристик можно добиться за счет увеличения $K_{\text{оосс}}$, но его значение ограничивается датчиком скорости. Если он использован полностью, тогда для повышения жесткости характеристик вводят положительную обратную связь по току. Токовая обратная связь позволяет сделать скоростную характеристику абсолютно жесткой, но запас устойчивости системы при этом снижается. При абсолютно жесткой характеристике система находится на границе устойчивости.

Второе слагаемое в уравнении (17) определяет величину статического падения скорости $\Delta\omega_c$, которую принимаем за величину ошибки в замкнутой системе управления. Величина статической ошибки рассчитывается при использовании формулы (18).

$$\Delta w_c = \frac{K_d(R_{я} + K_A K_{очн} R_{яА} - K_A K_{ост})}{1 + K_A (K_{очн} + K_{осс} K_d)} I_{я} . \quad (18)$$

Когда в системе управления не используется какая либо обратная связь, то ее коэффициент в (18) приравняется к нулю. Разделив левую и правую часть формулы (18) на ток якоря, получим оценку точности работы электропривода

$$\alpha = \frac{K_d (R_{я} + K_A K_{очн} R_{яА} - K_A K_{ост})}{1 + K_A (K_{очн} + K_{осс} K_d)} = \frac{\Delta \omega_c}{I_{я}} . \quad (19)$$

С помощью (19) определяется точность работы через параметры системы. Это выражение можно также использовать для расчета необходимых коэффициентов обратных связей для обеспечения заданной точности работы электропривода.

Диапазон регулирования может быть определен при совместном решении уравнений(8), (6) и (19) с учетом номинальных данных электропривода.

$$D = \frac{w_n}{aI_n} + 1 . \quad (20)$$

1 Динамика работы электропривода

Особенности изменения скорости вращения М1, тока якоря, напряжения в схеме управления во времени можно рассчитать или определить опытным путем, осциллографируя соответствующие переменные. Расчет переходных процессов производится при решении дифференциальных уравнений во временной форме или в операторной с помощью передаточных функций. Как в одной, так и в другой форме на вход системы подается типовой сигнал. В случае необходимости исследования системы на устойчивость, в качестве входного используется сигнал в виде дельта функции, когда необходимо определить показатели качества работы электропривода то на его вход подается сигнал в виде единичного ступенчатого воздействия. Реакция системы на такое воздействие называется переходной характеристикой. Необходимые показатели качества работы системы в динамике определяются по переходной характеристике (рис.4). К ним относятся показатели характеризующие быстродействие работы электропривода; время переходного процесса T_p , время достижения первого значения установившейся величины τ ; величина перерегулирования $\sigma\%$, показатель колебательности M . Время переходного процесса — это интервал между моментом подачи входного сигнала и моментом, когда выходная переменная достигнет уровня, который не будет отличаться от установившегося значения не более чем на 5%. Величина τ определяется как интервал времени между моментом подачи входного сигнала и моментом, когда выходная

переменная впервые достигнет установившегося значения. Для оценки быстродействия может использоваться как величина T_n , так и значение τ в зависимости от задач решаемых при использовании электропривода. Величина перерегулирования определяется по формуле

$$\sigma\% = \frac{X_{\max} - X_{\text{уст}}}{X_{\text{уст}}} 100, \quad (21)$$

где X_{\max} - максимальное значение выходной переменной, которого она достигает за время переходного процесса, $X_{\text{уст}}$ - установившееся значение выходной переменной. Колебательность M оценивается числом полных колебаний за время переходного процесса.

2 ПРОГРАММА ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

- 2.1. Ознакомление с устройством стенда.
- 2.2. Определение параметров электрических машин.
- 2.3. Определение паспортных данных электрических машин.
- 2.4. Исследование электропривода с системой управления без обратных связей.
- 2.5. Определить показатели качества работы электропривода для всех исследуемых схем управления в статике и динамике по результатам эксперимента.
- 2.6. Теоретический расчет статических характеристик для всех исследуемых схем.

Вариант работы 1

- 2.7. Исследовать работу электропривода, когда в систему управления введена отрицательная обратная связь по скорости.
- 2.8. Исследовать работу электропривода, когда в систему управления введена отрицательная обратная связь по скорости и положительная по току.

Вариант работы 2

- 2.9. Исследовать работу электропривода, когда в систему управления введена отрицательная обратная связь по напряжению
- 2.10. Исследовать работу электропривода, когда в систему управления введена положительная обратная связь по току и отрицательная обратная связь по напряжению.

3. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

3.1. Ознакомление с устройством стенда

Лабораторный стенд состоит из двух частей : переносного щита управления и трех агрегатного устройства.

На передней панели щита нанесена мнемоническая схема (рис.5), установлены измерительные приборы, задающие потенциометры и коммутирующая аппаратура. Внутри щита размещается блок питания и пускатели, сбоку слева – входной автоматический выключатель, розетка питания.

Трех агрегатное устройство состоит из каркаса, на котором закреплены: ЭМУ А1 для питания якоря исследуемого исполнительного электродвигателя М1, ЭМУ А2 для питания якоря нагрузочной машины М2 и трех машинный блок. В блок входят исследуемый электродвигатель М1, нагрузочный генератор М2 и тахогенератор ВР.

Перед включением стенда в цепь обмотки возбуждения М1 между клеммами ХТ14 и ХТ15 включить сопротивление 200÷600 Ом, величина которого задается преподавателем. Тумблер SA4 выключить. Между клеммами ХТ1 и ХТ2 включить резистор R3.

Вывести задающий потенциометр R1 в крайнее левое положение. Включить автомат QF. Нажать кнопку SB1 и включить тумблер SA1. Тумблером SA2 устанавливается требуемая полярность напряжения на выходе А1. Вращая ручку потенциометра R1, проверить работу схемы. Величина тока и напряжения на якоре машины М1 контролируется по приборам PA1 и PV1, скорость вращения по вольтметру PV3.

Нагрузочное устройство состоит из машины М2 и агрегата постоянной скорости на А2, включаемых встречно с помощью тумблера SA4. Для поддержания нагрузки на заданном уровне в схему введена отрицательная обратная связь по току, сигнал которой снимается с сопротивления R4 и подается на обмотку управления LA21 ЭМУ А2.

Для запуска нагрузочного устройства необходимо нажать кнопку SB3. Потенциометром R5 задать напряжение на выходе А2. С помощью переключателя SA3 по вольтметру PV5 проверяется равенство и одинаковая полярность напряжения на машине М2 и А2. При различной полярности переключателем SA5 ее согласовать. Потенциометром R5 добиться равенства напряжений. Включением тумблера SA4 исследуемый электродвигатель М1 нагружается. Величина и знак нагрузки определяется по амперметру PA2.

Для отключения стенда нажать кнопки SB4 и SB2, выключить тумблер SA1 и автомат QF.

3.2. Определение параметров электрических машин

Расчет скоростных характеристик исследуемого электропривода требует знания таких параметров как коэффициенты передач машины М1, усилителя А1, тахогенератора ВР, а так же сопротивления якоря машины М1 и усилителя А1 (рис.5). Эти данные можно рассчитать по паспортным данным или определить опытным путем. Воспользуемся вторым методом.

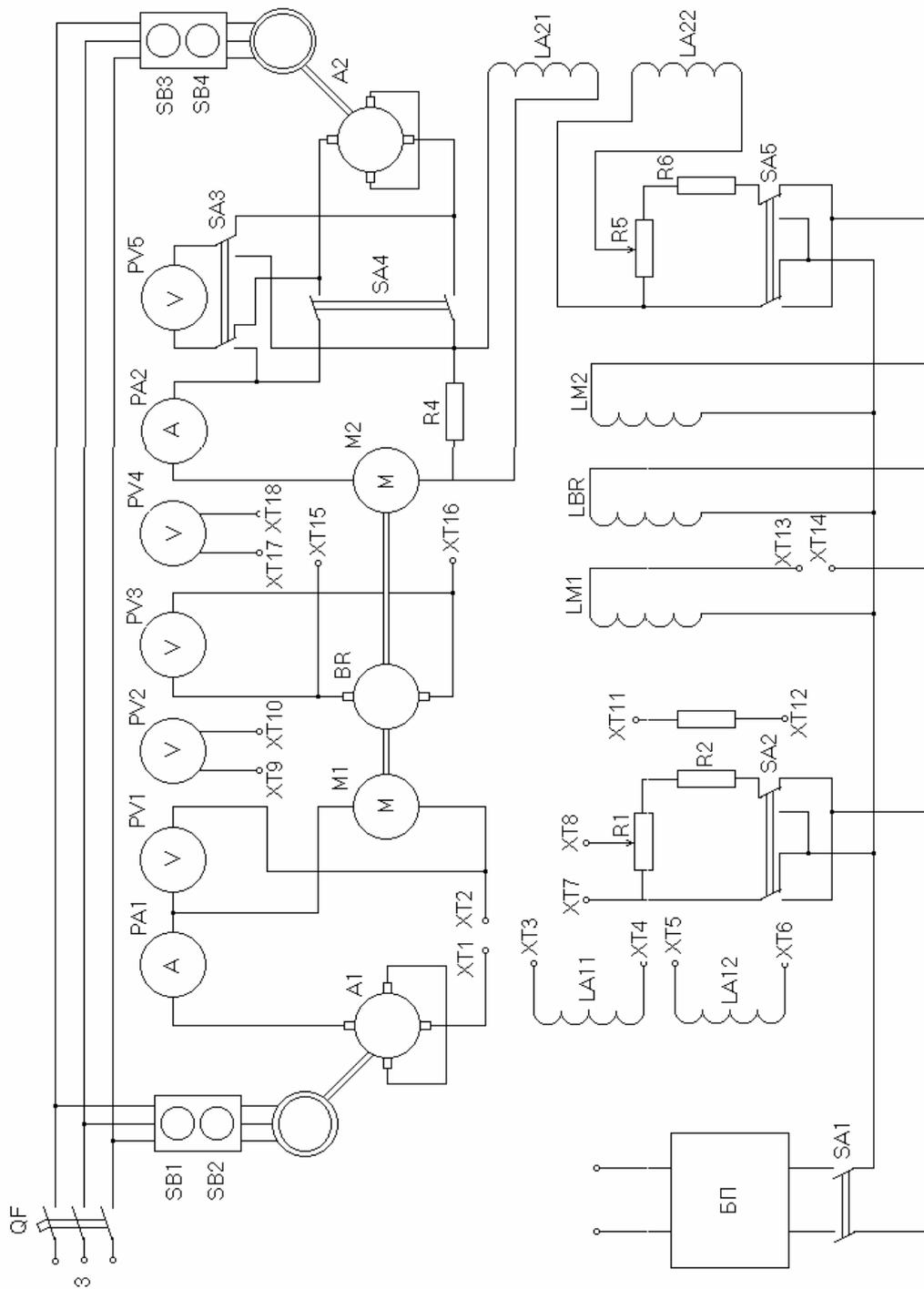


Рис. 5. Мнемоническая схема стенда

Коэффициент передачи исследуемой машины М1

$$K_{\omega M1} = \frac{W_{M1}}{E_{M1}}, \quad (22)$$

где ω_{M1} – скорость вращения, E_{M1} – ЭДС исследуемого электродвигателя. Эти данные можно получить с помощью схемы, в которой разомкнута цепь якоря машины М1 в точке ХТ1. Запустив нагрузочный агрегат кнопкой SB3, включить тумблер SA4 и потенциометром R5 по прибору PV3 выставить скорость вращения не менее 0,5 ω_n . Прибор PV3 отградуирован в об/мин, а в формулу (22) необходимо ставить величины в рад/сек, поэтому показания прибора необходимо разделить на 9,55. При помощи прибора PV4 измерить ЭДС машины М1 между точками ХТ2 и ХТ7. Подставив полученные значения в (22) получим искомую величину. Одновременно необходимо измерить ЭДС тахогенератора E_{BR} прибором PV4 между точками ХТ16 и ХТ17. Коэффициент передачи тахогенератора

$$K_{BR} = \frac{E_{BR}}{W_{M1}}. \quad (23)$$

Подставив снятые данные в формулу (23) получим величину коэффициента передачи тахогенератора.

Коэффициент усиления ЭМУ А1 наиболее удобно определить при наличии зависимости $U_{A1} = f(U_y)$. Данная зависимость может быть получена при подаче на обмотку LA11 напряжения с R1. Для этого необходимо соединить клеммы ХТ4 с ХТ8 и ХТ3 с ХТ9. Включить кнопку SB1. Изменяя напряжение U_y , снимаемое с R1, считываем его значение с PV2, а выходное напряжение U_{A1} измеряем прибором PV4. Напряжение управления U_y изменяем так, чтобы U_{A1} изменялось от 0 до 150 В. По результатам измерений строим искомую зависимость. Для наиболее характерного участка этой зависимости определяем значение ΔU_{A1} и для него величину участка ΔU_y . По формуле (24) определяем величину коэффициента усиления ЭМУ.

$$K_{A1} = \frac{\Delta U_{A1}}{\Delta U_y} \quad (24)$$

Величину сопротивления якоря машины М1 определяем при включенном сопротивлении R3 в якорную цепь машины А1 и М1, между контактами ХТ1 и ХТ2. При выключенном тумблере SA4, включаем кнопки SB1 и SB3. Потенциометром R1 задаем скорость вращения машины М1 в пределах

$(0,5 \div 0,8)\omega_n$. С помощью SA3 по PV5 уравниваем с помощью SA5 и R5 напряжение на M2 и A2. Включаем SA4 и потенциометром R5 снижаем ток на PA1 до нуля, одновременно поддерживая скорость вращения на M1 неизменной по показаниям прибора PV3 за счет изменения положения ручки потенциометра R1. Измеряем напряжение между точками XT1 и XT7 по прибору PV4. Данное напряжение является ЭДС машины E_{M1} при данной скорости вращения вала. Выставляем с помощью R5 и SA5 по PA1 номинальный ток нагрузки, одновременно поддерживая скорость вращения постоянной. Прибора PV 4 между точками XT1 и XT7 измеряем напряжение $U_{ям1}$ и ток якоря по прибору PA1. По формуле

$$R_{ям1} = \frac{U_{ям1} - E_{M1}}{I_{ян}}$$

определяем искомую величину.

Сопротивление якоря A1 определяется при использовании предыдущей схемы. Нагружаем A1 номинальным током машины M1, не поддерживая скорость постоянной. Снимаем показания прибора PA1 и прибора PV4 между точками ST1 и ST7, что дает нам напряжение U_{A1} на выходе A1. Тогда

$$R_{A1} = \frac{E_{A1} - U_{A1}}{I_{ян}}$$

3.3. Исследование электропривода со схемой управления без обратных связей

Для выполнения этого пункта необходимо собрать схему, приведенную на рис. 1. Исследование заключается в экспериментальном снятии скоростных характеристик для наиболее характерных режимов работы, переходных процессов по скорости и току при подаче на вход ступенчатого воздействия, при набросе номинальной нагрузки, при сбросе нагрузки и при остановке привода. По данным зависимостям необходимо определить показатели качества работы электропривода.

К наиболее характерным относятся номинальный режим и режим работы при номинальной нагрузке и нулевой скорости вращения. Снятие скоростной характеристики, проходящей через точку соответствующую номинальному режиму, производится при включенном нагрузочном устройстве. Между клеммами XT14 и XT15 включается регулируемое сопротивление, величина которого задается преподавателем. В якорную цепь машины M1 между клеммами XT1 и XT2 включается сопротивление R3 (рис. 5). Запускают ЭМУ A1 и A2 пусковыми кнопками SB1 и SB3. При включенном тумблере SA4, задающим потенциометром R1 на обмотку управления LA11 подается управляющее напряжение U_y . ЭМУ A1 возбуждается, к якорю машины M1 прикладывается напряжение U_y и она приходит во вращение. С помощью R5 возбуждаем ЭМУ A2 до тех пор, пока напряжение на якоре машины M2 и A1 не сравняется, что

контролируется по прибору PV5 с помощью переключателя SA3, после чего включается SA4. Одновременно вращая R1 и R5 по приборам PA1 и PV3 выставляют номинальные величины тока и скорости. По прибору PV2, подключенному к клеммам XT8 и XT9, сосчитывается величина управляющего напряжения, с помощью которого задается данная характеристика. В том случае если R5 полностью введено, а ток нагрузки по PA1 не достиг номинального значения, то для его увеличения необходимо переключить SA5 в противоположном направлении. Снятие скоростной характеристики производится изменением положения ручки потенциометра R5. Причем ток якоря машины M1 должен меняться от 0 до $1,2I_n$. Данные записываются в табличной форме. Вторая характеристика так же получается при одновременном изменении положения ручек потенциометров R1 и R5 так, чтобы прибор PA1 показывал номинальный ток, а прибор PV3 показывал 0 скорости вращения. При этом показания прибора PV2 соответствуют величине напряжения задания самой низкой скоростной характеристики. Методика снятия данной характеристики аналогична предыдущей.

Реверс привода выполняется изменением полярности напряжения приложенного к обмотке управления LA11 за счет переключения тумблера SA2.

Снятие переходных характеристик лучше всего выполнять с помощью двух лучевого осциллографа. Один луч получается при подключении одного из входов осциллографа к клеммам XT16 и XT17. С его помощью фиксируется на экране осциллографа характер изменения угловой скорости вращения вала электродвигателя во времени $\omega(t)$. Второй луч отображает изменение тока якоря машины M1 при подключении второго входа осциллографа к клеммам XT12 и XT13. Настройка осциллографа заключается в том, что вначале необходимо выставить нулевую линию, потом добиться того, чтобы лучи, фиксирующие переходные процессы не выходили бы за пределы экрана, но в то же время максимальное отклонение луча от нулевой линии было не меньше половины экрана. Этого добиваются изменением коэффициента усиления вертикальной развертки осциллографа. Необходимо так же подобрать соответствующую скорость развертки луча по экрану. Скорость развертки должна быть такой, чтобы весь переходной процесс вложился в экран и был не меньше $1/3$ длины экрана, эту настройку необходимо выполнить ручкой «Скорость развертки». После настройки необходимо определить масштабы по величине и по времени. Масштаб по величине определяется по величине отклонения луча от нулевой линии в установившемся режиме и по измерительному прибору, с помощью которого измеряют регулируемую величину. Отношение показаний прибора к величине отклонения луча дает нам масштаб построения искомой зависимости по амплитуде. Масштаб по времени лучше всего определить используя отметчик времени осциллографа. Если он отсутствует, то его можно определить с помощью секундомера или часов. Для фиксации луча необходимо использовать кальку, которая прикладывается к экрану осциллографа и на нее, благодаря длительному

послесвечению, легко переносится развертка лучей. Кроме развертки лучей на кальку необходимо нанести нулевые линии, под которыми необходимо понимать развертку лучей при отсутствии входных сигналов. На кальке должны быть записаны масштабы построения, установившиеся значения переменных, условия эксперимента.

Переходная характеристика снимается при отсутствии нагрузки. Для этого необходимо разомкнуть тумблер SA4. Выставить скорость вращения равную $0,75\omega_H$. Разомкнуть цепь питания обмотки LA11, сняв провод с клеммы XT4. После того, как схема придет в исходное состояние, замкнуть цепь питания LA11. Зарисовать характер изменения лучей на экране.

Чтобы зафиксировать переменные при набросе нагрузки на экране осциллографа необходимо предварительно выставить номинальную нагрузку, при U_y заданном в предыдущем эксперименте. Разомкнуть тумблер SA4. После достижения установившегося режима, замкнуть тумблер SA4 и зарисовать характер изменения $\omega(t)$ и $I_{я}(t)$. Снова разомкнуть SA4, зарисовать искомые зависимости. Остановку производить размыканием цепи LA11.

3.4. Исследование электропривода при введении в цепь управления отрицательной обратной связи по скорости

Исследование данного электропривода производится после сборки схемы соответствующей рис.2. Прежде чем начать снимать скоростные и динамические зависимости, необходимо настроить схему. Настройка заключается в установке знака обратной связи. В исследуемой схеме обратная связь по скорости должна быть отрицательной. Это легко установить, так как если она положительная, то при подаче задающего сигнала скорость будет возрастать до насыщения, т.е. система станет неустойчивой. После установки знака необходимо выставить заданный коэффициент обратной связи

$$K_{oc} = K_{BR} K_{дел},$$

где K_{BR} – коэффициент передачи тахогенератора, $K_{дел}$ – коэффициент деления потенциометра R3 (рис.2). Коэффициент передачи тахогенератора определяется опытным путем. $K_{дел}$ задается преподавателем и определяется согласно формулы (25). Следовательно настройка заключается в установке на R3 величины $K_{дел}$. Это несложно выполнить, если при помощи прибора PV4 замерять напряжение на выходе тахогенератора между клеммами XT16 и XT17 (рис.5) и на обмотке LA12. Подставив эти значения в формулу (25), определим величину коэффициента деления потенциометра R3.

$$K_{дел} = \frac{U_{ла2}}{U_{BR}} . \quad (25)$$

Если это значение не соответствует расчетному, вращать ручку потенциометра R3 до тех пор пока не получим необходимую величину $K_{дел}$. Необходимые характеристики снимаются по методике изложенной в предыдущем пункте программы. Скоростные характеристики для данного пункта программы должны проходить через точки со скоростями ω_{o1} и ω_{omin} каждая, соответствующим разомкнутой системе. Снятие переходных процессов должно производиться до тех же установившихся значений, что и в разомкнутой системе.

3.5. Исследование электропривода при введении в схему управления отрицательной по скорости и положительной по току обратных связей.

Данное исследование выполняется после сборки схемы согласно рис.6. В данной схеме источники задающего сигнала и сигнала обратной связи по скорости соединяются последовательно и результирующее напряжение подается на обмотку LA11. Настройка узла обратной связи по скорости выполняется аналогично предыдущему пункту программы. Настройка обратной связи по току начинается с определения знака обратной связи. Знак определяется по реакции системы в момент подключения сигнала обратной связи с клемм XT12, XT13 резистора R3 к клеммам XT5, XT6 обмотки управления ЭМУ LA12. Если в этот момент скорость вращения электродвигателя возрастет, то это говорит о наличии положительной обратной связи по току.

Величина коэффициента обратной связи по току рассчитывается с использованием формулы (18). В ней принимается $K_{осн}=0$. Формула решается относительно $K_{ост}$ при условии, что $I_{я}=I_{ян}$, а величина $\Delta\omega_c$ задается преподавателем. Тогда

$$K_{ост} = \frac{K_d R_z I_{ян} - (1 + K_A K_d K_{осн}) \Delta\omega_c}{K_A K_d I_{ян}}, \quad (26)$$

С другой стороны $K_{ост}=U_{LA12} / I_{ян}$. Следовательно, чтобы обеспечить заданный $K_{ост}$ необходимо, чтобы $R3=K_{ост}$ Ом. Но это условие не всегда соблюдается. Например у нас на стенде установлено постоянное сопротивление R3. Следовательно, для получения необходимого $K_{ост}$ требуется последовательно с обмоткой LA12 включить добавочное сопротивление, которое может быть рассчитано по формуле

$$R_{доб} = R_{LA12} \frac{R3 - R_{ост}}{K_{ост}}, \quad (27)$$

где R_{LA12} – сопротивление обмотки управления ЭМУ.

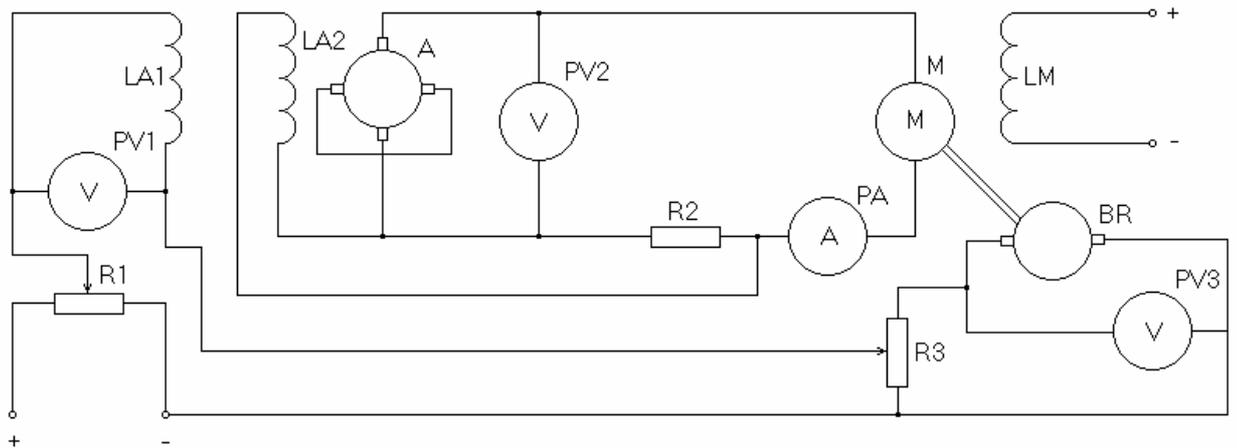


Рис.6 Схема электрическая принципиальная электропривода с системой управления, в которую введены отрицательная обратная связь по скорости и положительная по току

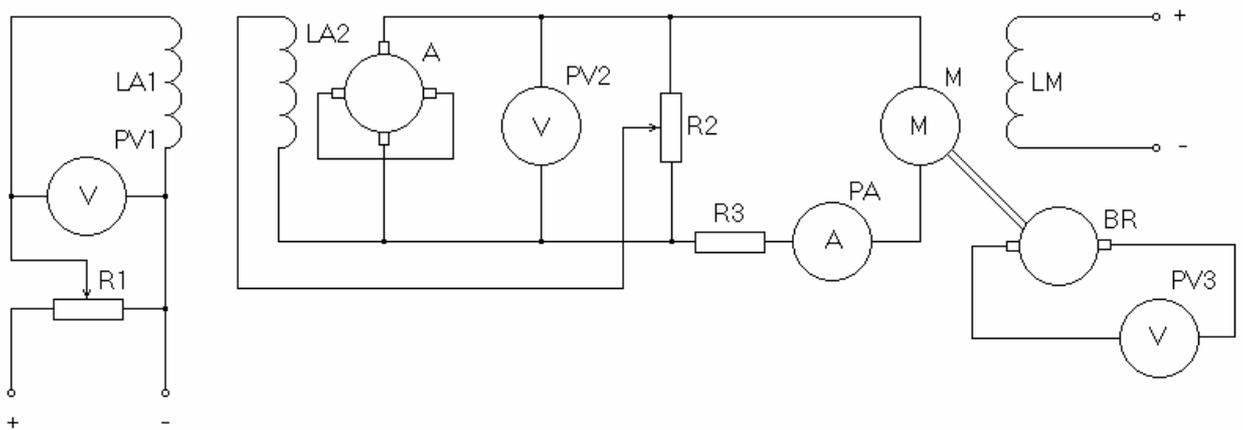


Рис.7 Схема электрическая принципиальная электропривода, в схему управления которого введена отрицательная обратная связь по напряжению

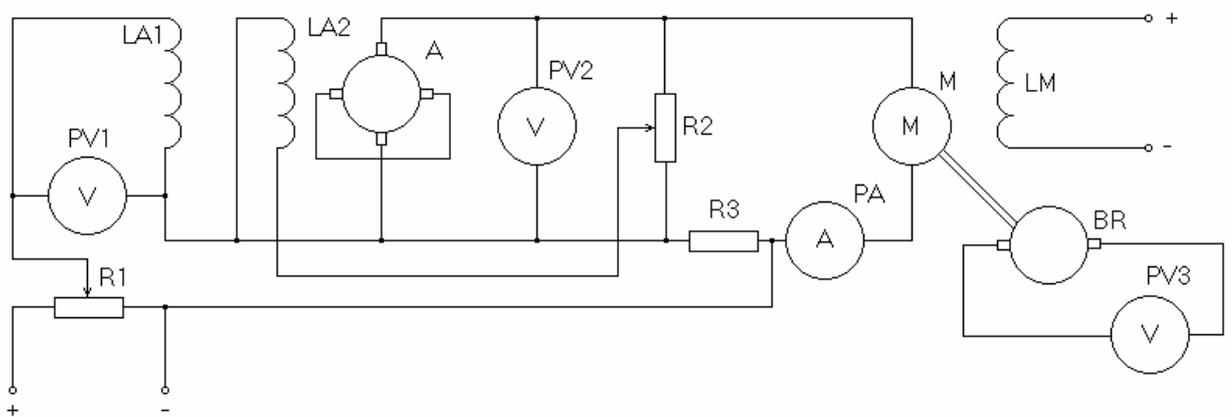


Рис.8 Схема электрическая принципиальная электропривода, в систему управления которой введены отрицательная обратная связь по напряжению и положительная по току

После настройки системы управления производится определение статических и динамических характеристик для заданных условий и по методике рассмотренной в предыдущих пунктах программы.

3.6. Исследование работы электропривода при введении в цепь управления отрицательной обратной связи по напряжению

Схема электрическая принципиальная данного электропривода приведена на рис.7. На ней сигнал отрицательной обратной связи по напряжению снимается с потенциометра R2, сопротивление которого должно быть порядка $600 \div 1000$ Ом, подключаемого к клеммам ХТ1 и ХТ7. Знак и величина коэффициента обратной связи по напряжению $K_{осн}$, заданного преподавателем, устанавливаются согласно методики настройки обратной связи по скорости. Характеристики так же снимаются аналогично.

3.7. Исследование работы электропривода при введении в цепь управления отрицательной обратной связи по напряжению и положительной по току

Схема электропривода приведена на рис.8. Методики настройки обратных связей и испытаний приведены в предыдущих пунктах программы.

4 СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет должен быть выполнен в соответствии с требованиями системы ЕСКД по оформлению технической документации (ГОСТ 7.3 – 77) и содержать: цель работы, паспортные данные основных устройств, использованные схемы расчетные формулы, исходные данные полученные как экспериментально с полным их обоснованием, так и расчетом по паспортным значениям, расчетные данные характеристик в табличной форме и таблицы данных натуральных испытаний, графики статических и динамических зависимостей, показатели качества работы электропривода в статике и динамике для всех схем. В конце отчета должны быть сделаны выводы по результатам работы.

5 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 5.1 . Назначение и область применения привода по системе ЭМУ-Д.
- 5.2 . Какие вы знаете показатели качества работы электропривода?
- 5.3 . Когда применяются обратные связи по скорости, току и напряжению и почему?
- 5.4 . Как влияет на работу системы управления введение обратной связи по скорости, по току?
- 5.5 . От чего зависит точность работы электропривода и как ее увеличить?
- 5.6 . Как влияет на время переходного процесса введение той или иной обратной связи?

- 5.7 Как влияет на устойчивость работы электропривода увеличение коэффициента усиления ЭМУ?
- 5.8 Принцип работы электропривода по системе «ЭМУ-Д» с обратными связями.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Башарин А.В., Новиков В.А., Соколовский Г.Г. Управление электроприводами. –Л.: Энергоиздат, 1982, -392с.
- 2 Москаленко В.В. Автоматизированный электропривод. – М.: Энергоатомиздат, 1986, -416с.
- 3 Зимин Е.Н., Яковлев В.И. Автоматическое управление электроприводами. –М.: Высшая школа, 1979, -318с.
- 4 Иващенко Н.Н. Автоматическое регулирование. – М.: Машиностроение, 1983.