

# СОДЕРЖАНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ</b>	<b>3</b>
<b>1 АНАЛИЗ НАУЧНОЙ ИНФОРМАЦИИ И СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ</b>	<b>4</b>
1.1 Состояние вопроса самонастройки приводов . . . . .	5
<b>2 ОБОСНОВАНИЕ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ</b>	<b>9</b>
2.1 Постановка задачи . . . . .	10
2.1.1 Стадии наладки электроприводов постоянного тока . . .	10
2.2 Структура электропривода постоянного тока и желаемые настройки . . . . .	11
2.2.1 Контур тока якоря . . . . .	12
2.2.2 Контур скорости . . . . .	13
2.3 Идентификация параметров объекта . . . . .	14
2.3.1 Теоретическое обоснование возможности идентификации динамических параметров электропривода . . . . .	14
2.3.2 Методика идентификации параметров привода . . . . .	16
2.4 Подстройка параметров регуляторов по виду переходного процесса . . . . .	20
2.4.1 Методика подстройки . . . . .	20
2.4.2 Оценка качества настройки . . . . .	21
2.5 Алгоритм самонастройки электропривода . . . . .	26
<b>3 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ВНЕДРЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ</b>	<b>29</b>
3.1 Моделирование процесса самонастройки в Matlab . . . . .	30
3.2 Реализация алгоритма самонастройки на учебно-отладочном стенде цифровой системы управления . . . . .	34
3.2.1 Описание стенда . . . . .	34
3.2.2 Программа самонастройки электропривода . . . . .	35
3.3 Результаты экспериментальной настройки . . . . .	36
<b>4 ОХРАНА ТРУДА ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ИССЛЕДОВАНИЙ</b>	<b>40</b>
4.1 Законодательное регулирование охраны труда . . . . .	41
4.1.1 Внутренние нормативные документы предприятий . . . .	42
4.2 Расчет освещения в лаборатории привода . . . . .	42

4.2.1	Расположение и установка светильников . . . . .	43
4.2.2	Расчет осветительной установки методом коэффициента использования . . . . .	45
4.3	Расчет защитного заземления лаборатории привода . . . . .	46
4.3.1	Схема питания стенда электропривода . . . . .	46
4.3.2	Расчет заземляющего контура . . . . .	48
<b>5</b>	<b>ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИССЛЕДОВАНИЯ</b>	<b>50</b>
5.1	Выбор объекта исследования экономической эффективности проектных решений . . . . .	51
5.2	Технико-экономические показатели работы цеха . . . . .	52
5.3	Факторы, обуславливающие целесообразность принятых технических решений . . . . .	52
5.4	Определение методического подхода к оценке экономической целесообразности . . . . .	53
5.5	Обоснование экономической целесообразности мероприятий технического характера . . . . .	53
5.6	Расчет прироста чистой прибыли . . . . .	54
5.7	Выводы . . . . .	56
	<b>ПЕРЕЧЕНЬ ССЫЛОК</b>	<b>57</b>
	<b>ПРИЛОЖЕНИЯ</b>	<b>58</b>
	Тестовая модель самонастройки электропривода . . . . .	59

## ВВЕДЕНИЕ

Металлургический комплекс является одной из наиболее эффективно работающих отраслей промышленности на сегодняшний день в Украине. Продукция предприятий металлургического комплекса является конкурентоспособной на мировом рынке, что дает возможность получать значительные средства в бюджет государства в иностранной валюте.

Самым крупным предприятием данной отрасли в Украине является одно из крупнейших в мире «ВАТ Міттал Стіл Кривий Ріг».

Наиболее рациональной с точки зрения получения максимальной прибыли является реализация продукции в виде сортового проката и катанки. Следовательно, от эффективности работы прокатного передела, от качества именно готового сорта в первую очередь зависит конкурентоспособность продукции и эффективность работы комбината.

Качество проката зависит от двух таких основополагающих факторов, как точность геометрических размеров и механические свойства стали.

Как показывает практика, точность геометрических размеров можно существенно повысить за счет модернизации существующих систем управления верхнего уровня — внедрения современных компьютерных систем управления режимами прокатки. Данные системы позволяют добиться уменьшения разнотолщинности по длине заготовки за счет оптимальных алгоритмов петлерегулирования. Однако с внедрением таких систем резко возрастают требования и к системам низкого уровня — электроприводам прокатных клетей, поскольку существующие аналоговые системы не обеспечивают выполнения требований по точности регулирования. Поэтому на металлургических предприятиях сейчас производится постепенная замена аналоговых электроприводов на цифровые.

За последние годы мировые производители систем управления электроприводами ушли далеко вперед по сравнению с отечественными. Одним из существенных достоинств современных систем управления является возможность автоматической оптимизации контуров регулирования, что не требует наличия высококвалифицированного персонала для осуществления наладочных работ. Среди отечественных разработок приводы с автоматической оптимизацией (самонастройкой) отсутствуют. Поэтому разработка методики самонастройки электроприводов является важной актуальной задачей.

						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		3

# 1 АНАЛИЗ НАУЧНОЙ ИНФОРМАЦИИ И СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ

						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		4

## 1.1 Состояние вопроса самонастройки приводов

В конце 70-х годов разработчики систем автоматического управления получили средства микропроцессорной техники с их поистине безграничными возможностями. Тогда казалось, что наконец-то будут реализованы многообещающие идеи теории автоматического управления, в частности идеология оптимального адаптивного управления, позволяющая радикально повысить качество управления при априори неизвестной и к тому же непредвиденно меняющейся математической модели объекта. Последнее обстоятельство особенно радовало потребителей средств управления, поскольку оно, по существу, обещало устранение сложных и трудоемких работ по динамической настройке систем во время пуска, а затем по периодической подстройке в процессе эксплуатации.

И действительно, в первых серийных микропроцессорных системах управления технологическими процессами, примером которых может служить система <Novatune> (на рынке появилась в 1981 г.) шведской фирмы ASEA, были использованы модифицированные оптимальные адаптивные алгоритмы типа с цифровой моделью объекта. Согласно материалам фирмы эта система получила широкое распространение, правда, преимущественно в странах Северной Европы. Однако спустя некоторое время комментарии стали более сдержанными и даже скептическими а затем практически во всех появившихся на международном рынке микропроцессорных системах и индивидуальных контроллерах произошел возврат к традиционным ПИД алгоритмам регулирования. Принципиально новым в этих системах было появление модулей автоматизированной настройки; однако заложенные в этих модулях алгоритмы кардинально отличались от предсказывавшихся теорией адаптации. Создается впечатление, что разработчики новых микропроцессорных систем, разочаровавшись в теории, обратились к чисто прагматическим методам, взятым из опыта работы квалифицированных наладчиков систем автоматического регулирования. К настоящему времени господствующее положение заняли два подобных метода:

- Экспертные методы автоматизированной настройки (например, EX-AST алгоритм американской фирмы Foxboro, сходные алгоритмы контроллеров японских фирм Yokogawa и Hitachi, комплектные электроприводы Simoreg-K фирмы Siemens), учитывающие рекомендации опытных экспертов-наладчиков, осуществляющих

						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		5

настройку подачей на действующую систему автоматического регулирования ступенчатых воздействий и анализирующих затем характер получаемой реакции на такие воздействия

- Автоматизированный вариант полувековой давности эмпирического метода настройки Зиглера - Никольса, основанный на выводе действующей системы с П регулятором на границу устойчивости и расчете по критическим периодам колебаний и коэффициенту передачи регулятора оптимальных параметров настройки ПИД регулятора с использованием для этого простых эмпирических формул. Автоматизация метода состоит в замене настраиваемого регулятора двухпозиционным реле, что приводит к возникновению установившихся автоколебаний в контуре регулирования. На таком принципе работают блоки автонастройки контроллеров типа "Ремиконт" и "Протар".

В обоих методах не удалось реализовать адаптивное управление, которое, по самому определению этого термина, должно обеспечить слежение параметров настройки за непрерывно меняющимися свойствами объекта; успешно реализована лишь автоматизированная настройка параметров регулятора, осуществляемая только при практически неизменных во время настройки свойствах объекта. Наиболее важной особенностью реализованных методов настройки является то, что последние выполняются с использованием тех или иных активных воздействий на систему: в первом случае - подачей ступенчатых идентифицирующих воздействий, во втором - изменением алгоритма регулирования. Правда, в материалах фирмы Foxboro утверждается, что в качестве ступенчатых идентифицирующих воздействий могут использоваться и ступенчатые изменения возмущений, и задания, возникающие в процессе нормальной эксплуатации системы.

Таким образом, мировой опыт подтверждает сформулированную в России (В.Я. Ротач) более четверти века назад концепцию построения САУ на базе типовых ПИД регуляторов с применением алгоритмов автоматизированной настройки, базирующейся на периодически вводимом в систему активном воздействии (сигнальном, алгоритмическом, структурном). При этом было показано, что ПИД алгоритмы в большинстве случаев достаточно близки к оптимальным, а поиск улучшения качества управления следует искать на пути усложнения информационных структур систем управления (переходом к многоконтурным, каскадным схемам и схемам с компенсацией возмущений). Было также отмечено, что попытки реализовать адаптацию по данным нормального функционирования объекта

									Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата					6

без активного вмешательства в процесс регулирования из-за ряда причин системного характера обречены на неудачу. Реально существующая проблема состоит не в том, чтобы изобрести систему адаптации, функционирующую без вызванных идентифицирующими воздействиями добавочных отклонений регулируемой величины, а в том, чтобы сделать эти отклонения достаточно малыми, приемлемыми для практики.

Следовательно, в случае разработки самонастраивающейся системы управления для главных электроприводов прокатных станов получить полностью адаптивную систему простыми средствами скорее всего не удастся. Однако для данного случая такая постановка задачи не требуется. В условиях прокатного стана параметры систем управления изменяются незначительно. К значительным изменениям можно лишь отнести работу в режиме прерывистых — непрерывных токов и изменение динамических параметров, связанных с работой привода во второй зоне. Данные проблемы с успехом решаются адаптивными регуляторами.

Очень важным является обеспечения первоначальной настройки системы. Для условий отечественных прокатных станов этот вопрос приобретает большое значение еще и потому, что на существующих прокатных станах сейчас интенсивно идет замена систем управления на цифровые. Как показывает опыт проведения таких работ в цехах СПЦ-2 и Прокат-3 ВАТ «Міттал Стіл Кривий Ріг», данные работы проводятся, как правило, «на ходу», т. е. все работы по монтажу и наладке производятся на действующем оборудовании во время проведения профилактических работ и ремонтов, что предъявляет повышенные требования к сокращению сроков наладки.

Кроме этого, в настоящее время значительно возросли требования к качеству готовой продукции металлургических предприятий. Ужесточаются требования к обеспечению минимальной разнотолщинности раската по длине заготовки. Для современных прокатных станов задачи обеспечения минимальной разнотолщинности решаются системами петлерегулирования. Число межклетевых промежутков, в которых осуществляется поддержание заданного прогиба, может достигать 12. Поддержание прогиба осуществляется воздействием на предыдущие и последующие клетки по каналу регулирования скорости. Поскольку клетки связаны между собой через прокатываемый металл, и постоянно подвергаются динамическим воздействиям по заданию со стороны системы петлерегулирования, то динамические характеристики электроприводов должны быть идентичными с целью недопущения возникновения деформаций натяжения и сжатия в

									Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата					7

отдельных межклеточных промежутках.

Поскольку с течением времени динамические параметры систем управления могут изменяться (дрейф нулей в усилителях, старение полупроводников, конструктивные изменения объекта регулирования), то периодически требуется подстройка контуров регулирования, т. е. периодически процесс наладки необходимо повторять, что требует непроизводительных затрат времени. Наладка «вручную» — процесс довольно трудоемкий и требует определенной квалификации, поэтому зачастую проведением «профилактической» оптимизации пренебрегают. Реализация алгоритмов самонастройки позволит сделать данный процесс более доступным для эксплуатационных служб и значительно его ускорит, что приведет к повышению качества продукции и сокращению простоев.

						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		8



## 2 ОБОСНОВАНИЕ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		9

## 2.1 Постановка задачи

Для обеспечения сокращения сроков проведения наладочных работ и возможности многократного проведения оптимизации систем управления электроприводом в процессе эксплуатации, необходимо разработать инженерную методику автоматической оптимизации контуров регулирования.

Самонастройка должна основываться на опыте инженеров-наладчиков.

### 2.1.1 Стадии наладки электроприводов постоянного тока

Метод наладки регуляторов электроприводов постоянного тока, использующийся наладчиками, включает в себя следующие стадии:

а) Предварительный расчет динамических параметров объекта регулирования. Расчет, как правило, производится аналитическими методами, на основании известных параметров привода. Однако практика показывает, что с достаточной точностью получить значения параметров такими методами на практике не представляется возможным из-за неучета влияния различных малых постоянных времени, влияния погрешности измерительных приборов, пренебрежения малыми постоянными времени.

б) Приближенный расчет настроек регуляторов привода на основании расчетных значений динамических параметров и заданном критерии качества. Методика расчета параметров регуляторов хорошо известна [1, 2, 3]. Однако в качестве исходных параметров используются рассчитанные приближенно значения постоянных времени, и коэффициенты усиления звеньев системы, которые также в реальности могут отличаться от принятых в расчете. Поэтому возникает необходимость в проведении следующих этапов.

в) Установка настроек регуляторов в расчетные и анализ поведения системы. При анализе поведения системы, как правило, в качестве критерия используется переходная характеристика, т. е. реакция системы на ступенчатое воздействие.

г) На основании вида переходных характеристик наладчик изменяет значения настроек регулятора с целью обеспечения вида переходных характеристик заданному. На этой стадии правильность настройки целиком зависит от опыта специалиста-наладчика.

Указанные стадии наладки являются необходимыми и достаточными при производстве работ непосредственно на объекте. Все остальные стадии, как то установка начального угла, коэффициентов передачи датчиков и т.

						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		10

п. могут быть произведены заводом-изготовителем и при наладке на месте изменению не подлежат.

Недостатком такого процесса наладки является его сложность и связанные с этим большие затраты времени. Кроме того, для осуществления наладки требуется достаточно квалифицированный персонал, умеющий производить расчет регуляторов, оценивать правильность настройки контуров регулирования и производить их подстройку.

Учитывая вышесказанное, можно сделать вывод, что приведенные стадии наладки необходимо автоматизировать. То есть, самонастраивающаяся система должна уметь производить идентификацию динамических параметров (хотя бы приближенно), рассчитать начальные настройки регуляторов, и осуществить подстройку регуляторов по виду переходного процесса.

## 2.2 Структура электропривода постоянного тока и желаемые настройки

Как указывалось в разделе 1.1, для успешной реализации алгоритма автоматической оптимизации, необходимо предварительно задать структуру системы управления. Кроме того, перед началом настройки регуляторов задаются желаемыми настройками, обеспечивающими требуемый вид переходных процессов.

Для главного привода прокатных клетей чистовой группы используются электродвигатели постоянного тока с независимым возбуждением.

Электропривод обычно работает в двухзонном, т.е. двигательном режиме при вращении вперед (режиме прокатки) или генераторном режиме при вращении вперед (режиме рекуперативного торможения). Реверс момента достигается за счет изменения направления тока возбуждения электродвигателей. Система регулирования построена по принципу внутренних (подчиненных) контуров регулирования, причем контуру регулирования числа оборотов подчиняется контур регулирования тока якоря. Задание тока якоря берется от внешнего контура регулирования числа оборотов.

						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		11

### 2.2.1 Контур тока якоря

Структурная схема контура тока якоря показана на рисунке 2.1. В передаточную функцию тиристорного преобразователя включено апериодическое звено  $T_\mu$ , учитывающее некомпенсируемую малую постоянную времени контура тока. Данная постоянная времени обусловлена запаздыванием в различных преобразовательных звеньях - тиристорном преобразователе, датчиках и т.д. Как правило, для приводов конкретного типа  $T_\mu$  оценивается на стадии проектирования и при наладке является заданной величиной. В коэффициенте датчика тока  $K'_{дт}$  должны быть учтены особенности схемы преобразования тока в числовое значение.

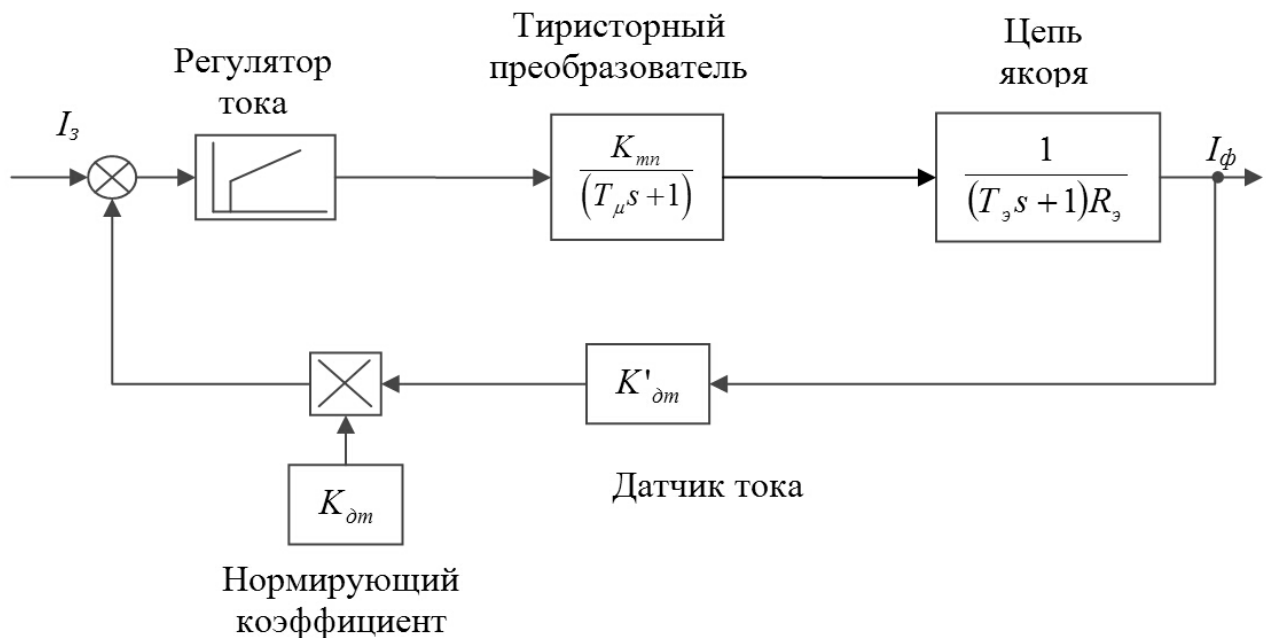


Рисунок 2.1- Структурная схема контура тока якоря

В качестве оптимальной настройки для контура тока как правило [4] используется настройка на технический оптимум, т. е. желаемая передаточная функция замкнутого контура тока выглядит следующим образом:

$$W_T(s) = \frac{1}{1 + 2sT_\mu + 2s^2T_\mu^2} \quad (2.1)$$

Колебательное звено 2.1 образуется замыканием входа и выхода звена с

передаточной функцией

$$W_{\text{тр}}(s) = \frac{1}{2sT_{\mu}(1 + s^2T_{\mu})} \quad (2.2)$$

### 2.2.2 Контур скорости

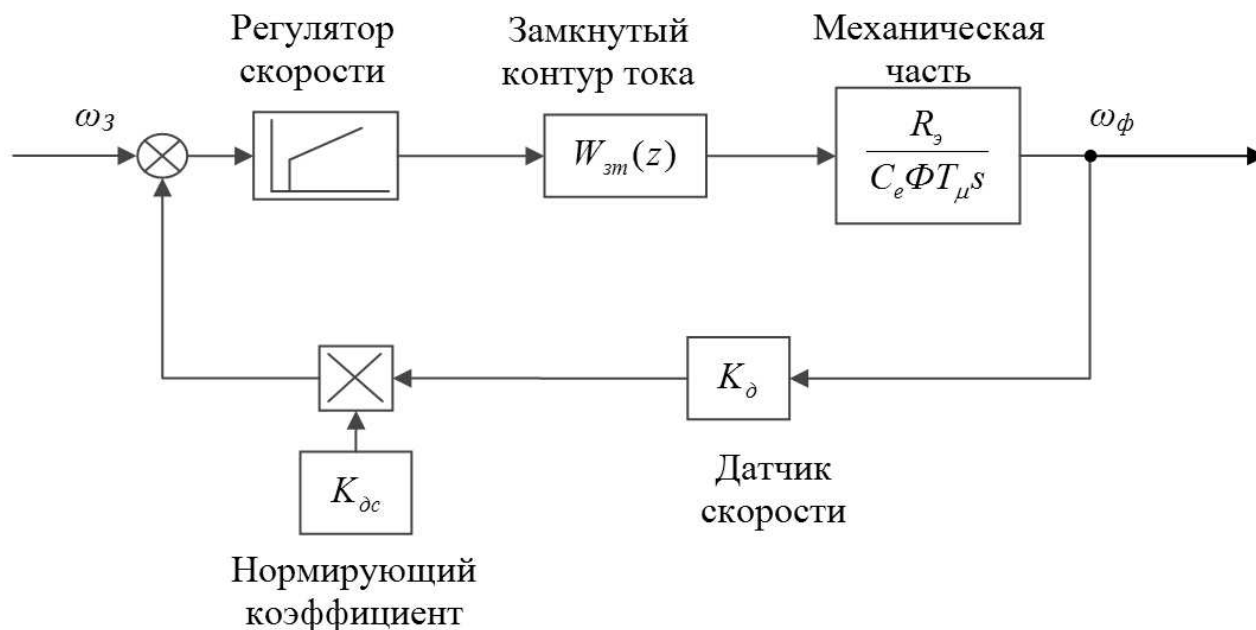


Рисунок 2.2- Структурная схема контура скорости

Также необходимым является задание стартовых значений параметров регуляторов. Поскольку значения уставок регуляторов рассчитываются на основании параметров объекта регулирования, необходимо провести автоматическую идентификацию этих параметров.

Желаемой настройкой контура скорости является настройка на симметричный оптимум. При настройке на симметричный оптимум передаточная функция разомкнутого контура регулирования преобразуется к виду:

$$W_{\text{ср}}(s) = \frac{1 + 4sT'_{\mu}}{4sT'_{\mu} \cdot 2sT'_{\mu}(1 + sT'_{\mu})} \quad (2.3)$$

Здесь через  $T'_{\mu}$  обозначена малая постоянная времени для этого случая. Системы, настроенные на симметричный оптимум, не имеют

статической ошибки, однако в такой системе при единичном сигнале на входе перерегулирование достигает 55%, что требует принятия специальных мер по формированию задающего сигнала [4].

Оптимизацию системы начинают с внутреннего контура, последовательно переходя к внешним.

При переходе к внешнему контуру передаточную функцию подчиненного контура упрощают, аппроксимируют контур звеном первого порядка, ошибка аппроксимации незначительна [3, 4]. Новую некомпенсируемую постоянную выбирают с учетом быстродействия внутреннего контура и датчиков обратной связи.

## 2.3 Идентификация параметров объекта

### 2.3.1 Теоретическое обоснование возможности идентификации динамических параметров электропривода

Проанализируем возможность определения динамических характеристик электропривода постоянного тока экспериментальным путем. Основными параметрами электропривода постоянного тока, учитываемыми при расчете регуляторов, являются сопротивление якорной цепи  $R_a$ , эквивалентная постоянная времени якорной цепи  $T_e$ , электромеханическая постоянная времени  $T_m$ . Ток якоря при пуске электродвигателя зависит от всех этих параметров, следовательно оценивать экспериментально значения их значения будем по кривой тока при подаче скачка напряжения на якорь двигателя. Структурная схема электродвигателя имеет вид, показанный на рисунке 2.3.

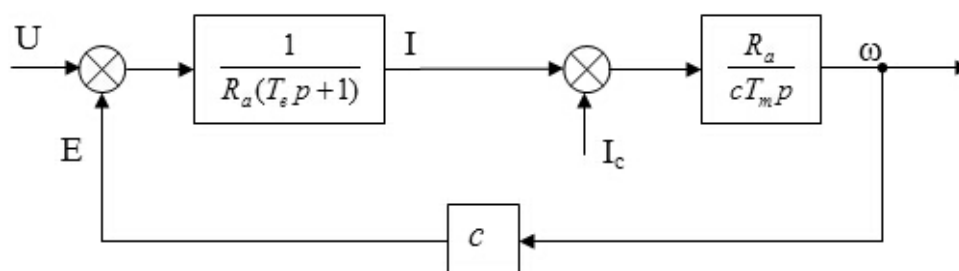


Рисунок 2.3- Структурная схема двигателя постоянного тока

Передаточная функция напряжение — ток:

$$W(p) = \frac{\frac{1}{R_a(T_e p + 1)}}{1 + \frac{1}{(T_e p + 1)T_m p}} = \frac{\frac{1}{R_a}}{\frac{(T_e p + 1)T_m p + 1}{T_m p}} = \frac{T_m p}{R_a(T_e T_m p^2 + T_m p + 1)} \quad (2.4)$$

Для получения универсальных переходных характеристик введем масштабный коэффициент по времени

$$M_T = \frac{1}{T_m} \quad (2.5)$$

Тогда:

$$p = \frac{1}{dt} \cdot \frac{M_T}{M_T} = \frac{p_m}{M_T} = p_m T_m \quad (2.6)$$

где  $p_m$  - оператор дифференцирования, учитывающий масштабный коэффициент по времени.

Заменяя в 2.4  $p$  выражением из 2.6, получим:

$$W(p_m) = \frac{p_m}{R_a(\frac{T_e}{T_m} p_m^2 + p_m + 1)} = \frac{p_m}{R_a(\alpha p_m^2 + p_m + 1)} \quad (2.7)$$

где  $\alpha = \frac{T_e}{T_m}$ .

Перейдем к относительным единицам. Базовое значение напряжения примем равным  $U_b = U_n$  Тогда напряжение в относительных единицах:

$$U^* = \frac{U}{U_n} \quad (2.8)$$

Базовое значение тока:

$$I_b = \frac{U_n}{R_a} \quad (2.9)$$

Ток в относительных единицах:

$$I^* = \frac{I}{I_b} \quad (2.10)$$

Базовое значение сопротивления примем равным  $R_b = R_a$ . Сопротивление в относительных единицах:

$$R_a^* = \frac{R_a}{R_b} = 1 \quad (2.11)$$

Тогда передаточная функция принимает вид:

$$W^*(p_m) = \frac{p_m}{R_a^*(\alpha p_m^2 + p_m + 1)} \quad (2.12)$$

Переходная функция звена 2.12 будет представлять собой ток, выраженный в относительных единицах, в масштабном времени:

$$i^*(t_m) = L^{-1} \left\{ W^*(p_m) \cdot \frac{U^*}{p_m} \right\} = L^{-1} \left\{ \frac{p_m}{R_a^*(\alpha p_m^2 + p_m + 1)} \cdot \frac{U^*}{p_m} \right\} \quad (2.13)$$

Приняв управляющее воздействие равным единице, получим:

$$i^*(t_m) = 2 \frac{e^{(-\frac{1}{2} \frac{\alpha}{t_m})} \cdot \alpha \cdot \lambda \cdot \sin \left( \frac{1}{2} \cdot \lambda \cdot t_m \right)}{4\alpha - 1} \quad (2.14)$$

где  $\lambda = \left( \frac{4\alpha - 1}{\alpha^2} \right)^{\frac{1}{2}}$ .

Производная тока:

$$\frac{di^*}{dt_m} = -e^{(-\frac{1}{2} \frac{t}{\alpha})} \frac{\alpha \cdot \lambda \cdot \sin \left( \frac{1}{2} \cdot \lambda \cdot t_m \right) - 4 \cos \left( \frac{1}{2} \cdot \lambda \cdot t_m \right) \cdot \alpha + \cos \left( \frac{1}{2} \cdot \lambda \cdot t_m \right)}{(4\alpha - 1) \cdot \alpha} \quad (2.15)$$

Приравняв 2.15 нулю и решив относительно  $t$ , получим зависимость времени максимума от соотношения постоянных времени  $\alpha$ :

$$t_{m \max} = 2 \frac{\arctg \left( \frac{4\alpha - 1}{\alpha \cdot \lambda} \right)}{\lambda} \quad (2.16)$$

Подставив 2.16 в 2.14, получим зависимость  $i^*(t_{m \max})$  от  $\alpha$ :

$$i_{\max}^* = \frac{e \left( -\frac{\arctg \left( \frac{4\alpha - 1}{\alpha \cdot \lambda} \right)}{\alpha \cdot \lambda} \right)}{\alpha^2} \quad (2.17)$$

По уравнениям 2.16, 2.17 построены кривые  $t_{\max} = f(\alpha)$  (рис. 2.4) и  $i_{\max} = f(\alpha)$  (рис. 2.5).

По данным кривым можно определить необходимые динамические параметры электропривода.

### 2.3.2 Методика идентификации параметров привода

Определение параметров производится следующим образом. Система регулирования размыкается, и производится пробный пуск объекта. Вначале



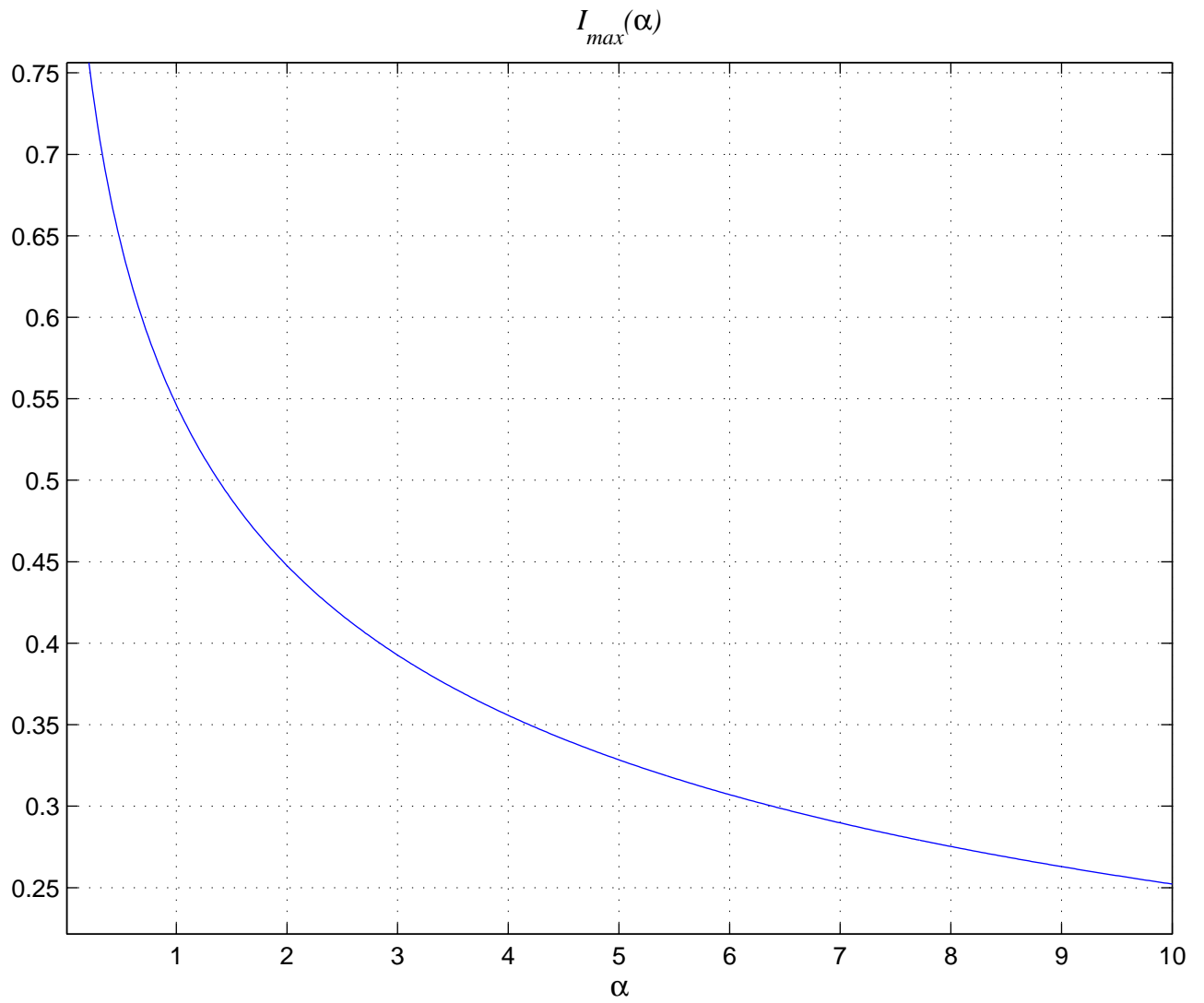


Рисунок 2.4- Зависимость времени максимума от соотношения постоянных времени привода

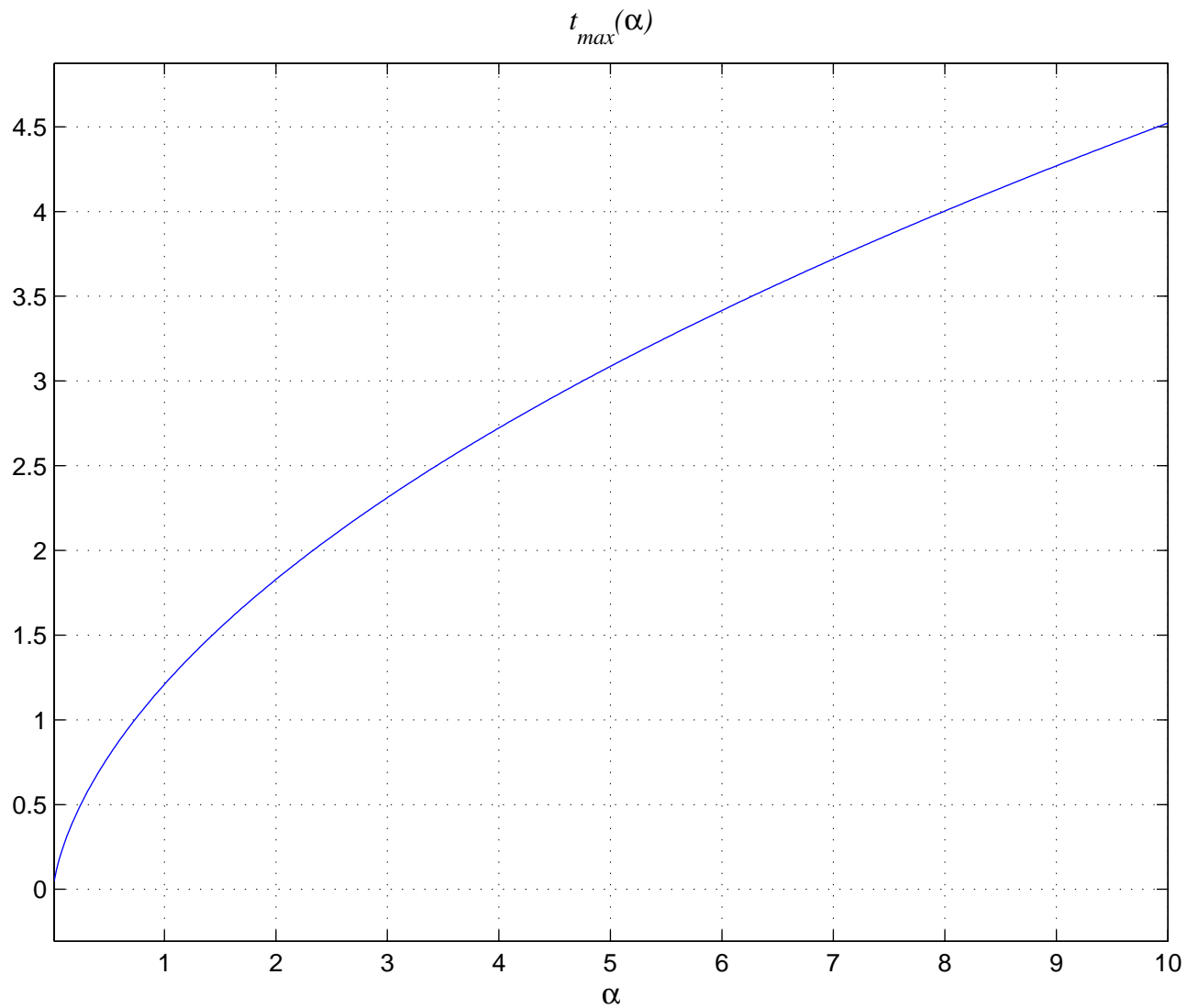


Рисунок 2.5- Зависимость максимального значения тока от соотношения постоянных времени привода

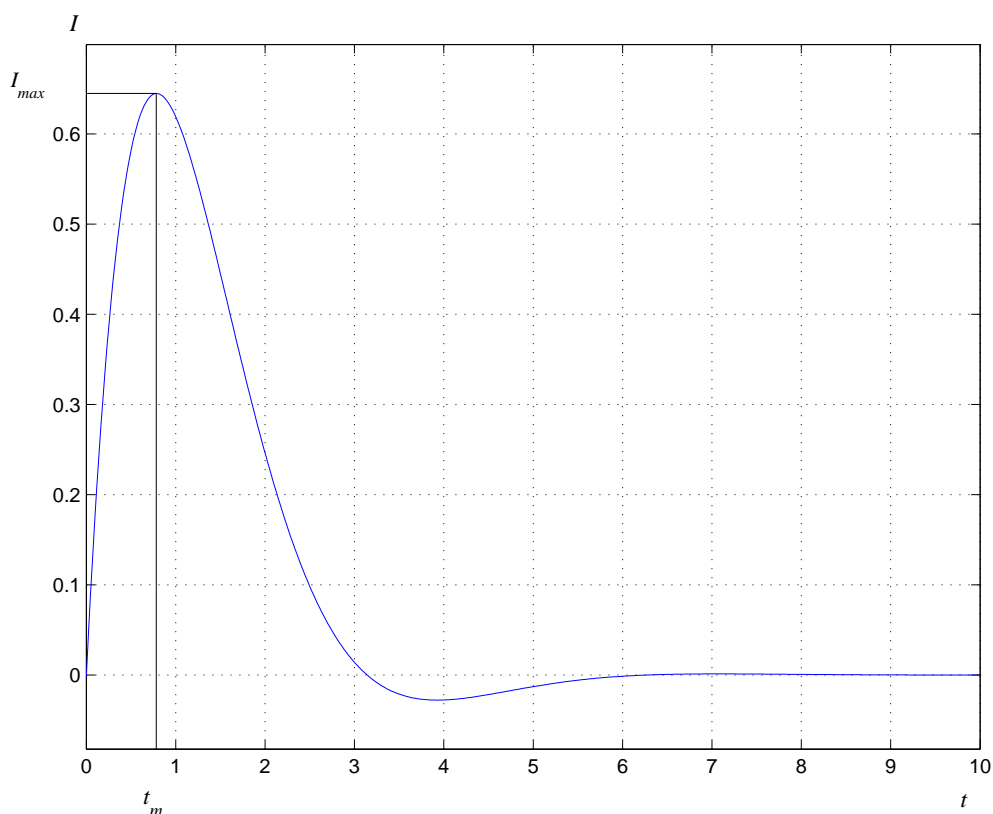


Рисунок 2.6- Кривая переходного процесса по току при подаче скачка напряжения

необходимо произвести кратковременный пуск на малое напряжение при отсутствии возбуждения, для определения сопротивления цепи якоря. Сопротивление определится по установившемуся значению тока:

$$R_a = \frac{U_a K_i}{I_{уст}} \quad (2.18)$$

где  $U_a$  — измеренное значение напряжения;

$I_{уст}$  — измеренное значение установившегося тока;

$K_i$  — коэффициент датчика тока.

Затем на двигатель подается номинальное возбуждение, производится пуск двигателя и снимается кривая тока. Допустимое напряжение, которое можно подать на двигатель, составляет:

$$U_d = I_n R_a \quad (2.19)$$

Кривая графика тока будет иметь вид, показанный на рисунке 2.6. Из этой кривой определяются значения  $I_{max}$  и  $t_m$ . Максимальное значение тока

приводится к нормированному значению:

$$I_{\max}^* = \frac{I_{\max} R_a}{K_i U_a} \quad (2.20)$$

По кривой  $i_{\max} = f(\alpha)$  (рис. 2.5) определяется значение  $\alpha$ , соответствующее измеренному максимуму тока. Затем по кривой  $t_{\max} = f(\alpha)$  (рис. 2.4) определяется значение  $t_{\max}$ , после чего можно найти  $T_m$ :

$$T_m = \frac{t_m}{t_{\max}} \quad (2.21)$$

Затем по значению  $\alpha$  определяется  $T_e$

$$T_e = T_m \alpha \quad (2.22)$$

Таким образом, все необходимые параметры определены.

## 2.4 Подстройка параметров регуляторов по виду переходного процесса

### 2.4.1 Методика подстройки

Проанализируем возможность осуществления подстройки параметров регулятора по виду переходного процесса. Структурная схема контура тока якоря представлена на рисунке 2.1.

При условии настройки на модульный оптимум в качестве регулятора необходимо принять ПИ-регулятор с передаточной функцией

$$W_{rt}(s) = K_p + \frac{K_i}{s} \quad (2.23)$$

Как следует из передаточной функции регулятора 2.23, настройке подлежат два параметра, которые можно настраивать независимо. Проанализируем, как влияет на вид переходного процесса изменение настроек регулятора. Анализ произведем для определенных числовых значений параметров структурной схемы. В качестве исходных примем следующие величины:  $T_e = 0.2$ ;  $R_a = 0.07$ ;  $T_\mu = 0.0033$ ;  $K_{dt} = 1$ ;  $K_{pr} = 10$ ;

В случае использования в качестве стандартной настройки настройку на модульный оптимум, коэффициенты ПИ-регулятора тока определяются следующим образом:

$$K_{pst} = \frac{1}{2} \frac{R_a \cdot T_e}{K_{pr} \cdot K_{dt} \cdot T_\mu} \quad (2.24)$$

						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		20

$$K_{ist} = \frac{1}{2} \frac{R_a}{K_{pr} \cdot K_{dt} \cdot T_\mu} \quad (2.25)$$

Исследуем четыре случая:

1.  $K_r = K_{rst}$ ,  $K_i$  – изменяется в пределах  $0.01K_{ist} \dots 2K_{ist}$  (рис. 2.7, а);
2.  $K_r = 0$ ,  $K_i$  – изменяется в пределах  $0.01K_{ist} \dots 2K_{ist}$  (рис. 2.7, б);
3.  $K_i = K_{ist}$ ,  $K_r$  – изменяется в пределах  $0.01K_{rst} \dots 2K_{rst}$  (рис. 2.8, а);
4.  $K_i = 0$ ,  $K_r$  – изменяется в пределах  $0.01K_{rst} \dots 2K_{rst}$  (рис. 2.8, б).

Как видно из графиков на рис. 2.7, 2.8, при ненулевой интегральной части произвольное изменение пропорциональной части приводит к значительному повышению колебательности и потере устойчивости. Следовательно, для того, чтобы осуществить настройку параметров регулятора по частям, необходимо начать с пропорциональной части, выведя при этом интегральную часть в ноль. После того, как пропорциональная часть настроена, можно увеличивать интегральную часть без опасности возникновения больших колебаний. Таким образом, можно предложить следующий алгоритм настройки:

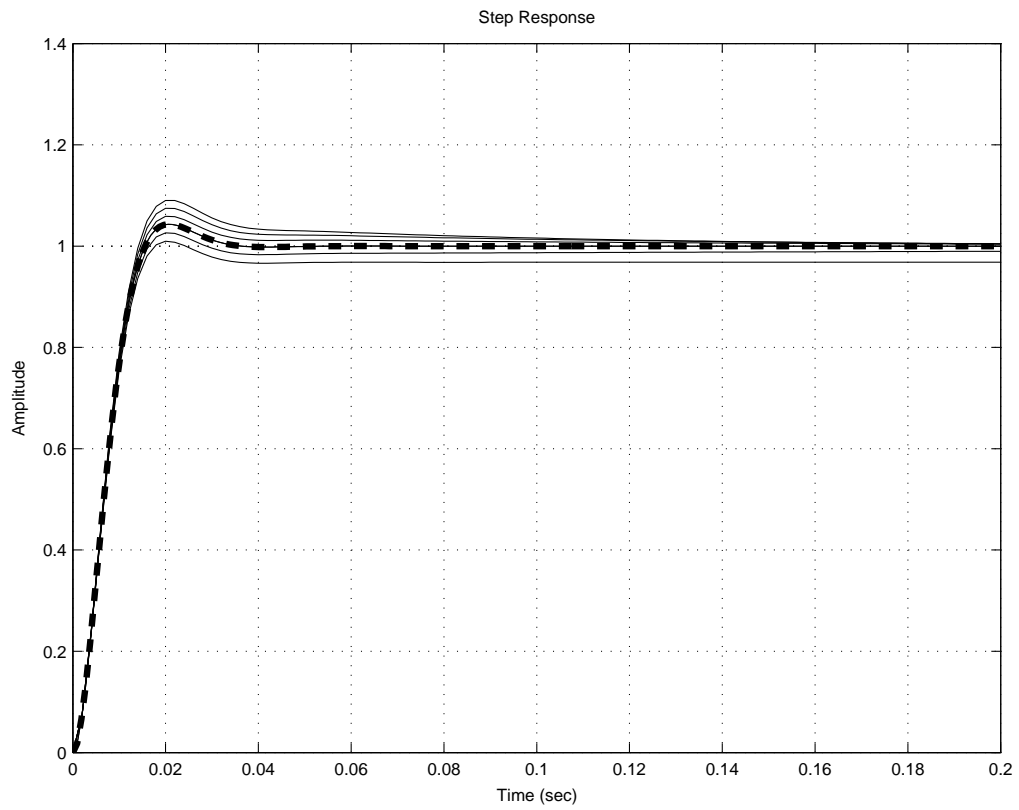
- Интегральная составляющая выводится в ноль, пропорциональная устанавливается меньше расчетной на 20% для устранения влияния возможной ошибки.
- Осуществляется пошаговое приближение переходной функции к желаемой путем постепенного увеличения пропорциональной части.
- После настройки пропорциональной части осуществляется последовательное увеличение интегральной части до достижения желаемого вида переходного процесса.

Проанализируем, по каким критериям можно оценить, имеет ли переходная функция желаемый вид.

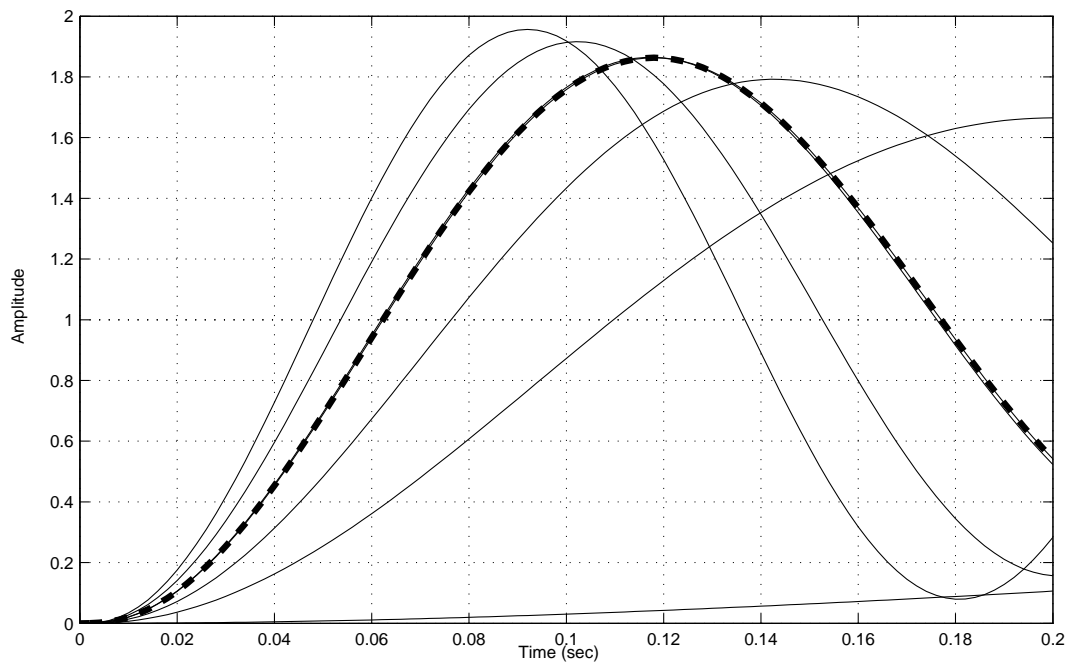
#### 2.4.2 Оценка качества настройки

В качестве критерия оценки правильности настройки регулятора предлагается использовать перерегулирование. Такой подход обеспечивает исключение всех ошибок, связанных с влиянием статических погрешностей, и

									Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата					21



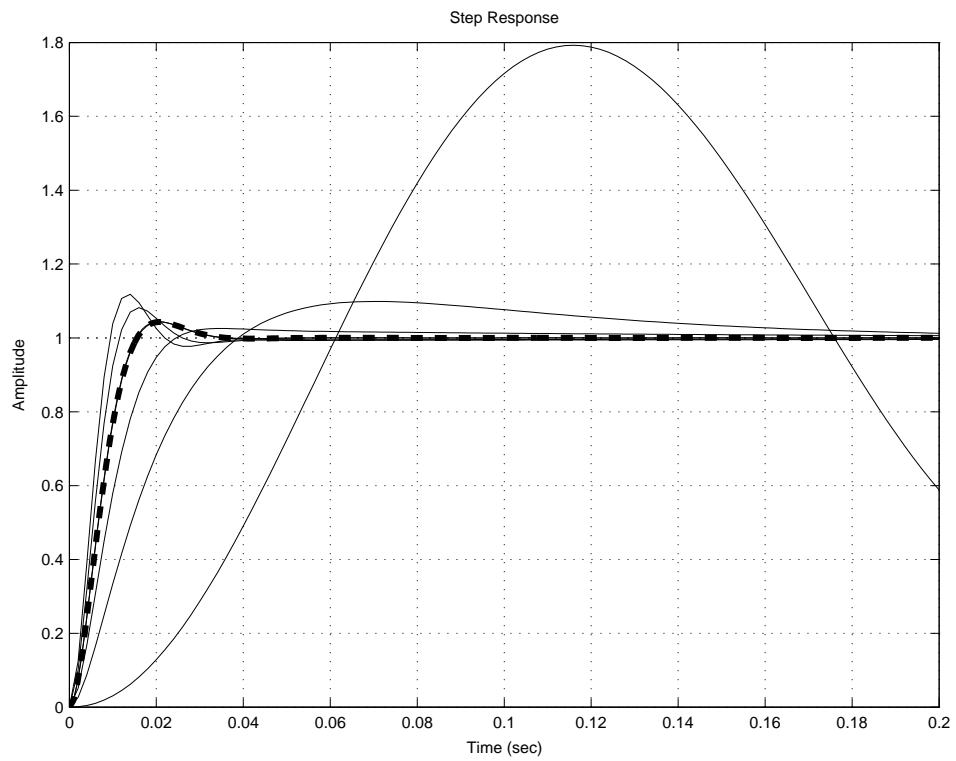
а)



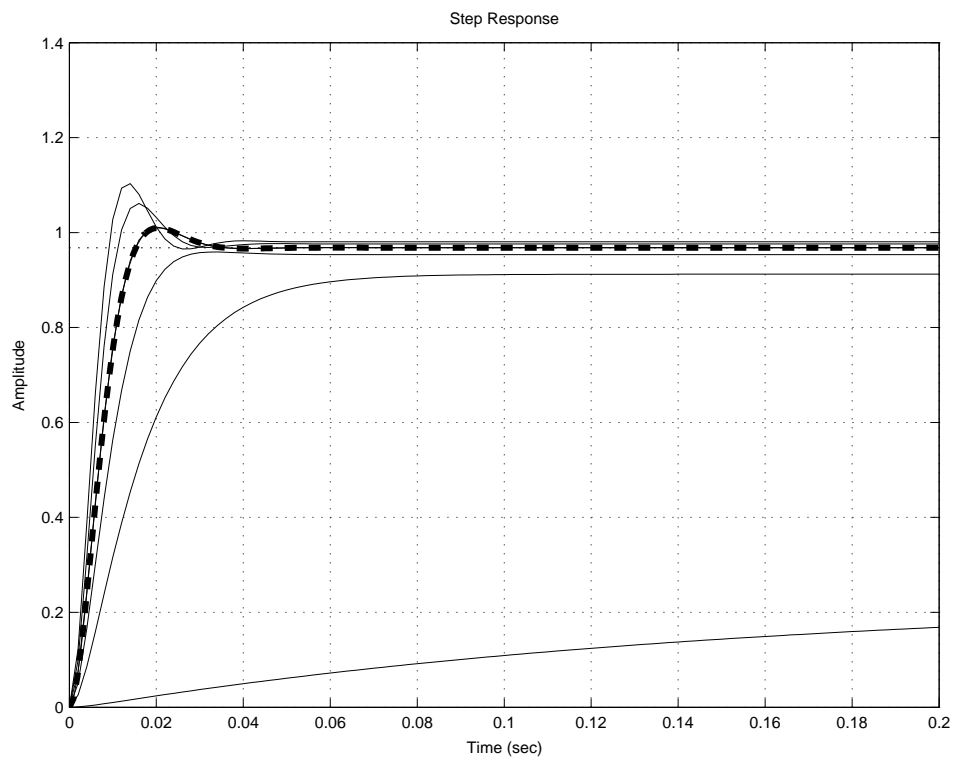
б)

Рисунок 2.7- Кривые переходного процесса при изменении  $K_i$ .  $K_r = K_{rst}$  (а),  $K_r = 0$  (б).

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата



a)



б)

Рисунок 2.8- Кривые переходного процесса при изменении  $K_r$ .  $K_i = K_{ist}$  (а),  $K_i = 0$  (б).

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

с возможной неточностью при определении коэффициентов усиления звеньев системы.

Покажем, от чего зависит значение перерегулирования системы при правильной настройке регулятора на модульный оптимум и затем выведенной интегральной части.

В случае правильной настройки передаточная функция разомкнутой системы будет равна:

$$W_{raz} = \frac{1}{2} \frac{T_e}{T_\mu (T_\mu s + 1) (T_e s + 1)} \quad (2.26)$$

Передаточная функция замкнутой системы:

$$W_{zam} = \frac{T_e}{2 T_\mu^2 s^2 T_e + (2 T_\mu^2 + 2 T_\mu T_e) s + T_e + 2 T_\mu} \quad (2.27)$$

Переходная функция, соответствующая 2.26, имеет вид:

$$I = -T_e \left( \gamma T_e^2 \cos(1/2 \sqrt{\beta} t) + 2 T_\mu \gamma T_e \cos(1/2 \sqrt{\beta} t) - T_\mu^2 \gamma \cos(1/2 \sqrt{\beta} t) + \right. \\ \left. + T_\mu \gamma T_e^2 \sqrt{\beta} \sin(1/2 \sqrt{\beta} t) + T_\mu^2 \gamma T_e \sqrt{\beta} \sin(1/2 \sqrt{\beta} t) - T_e^2 - 2 T_\mu T_e + T_\mu^2 \right) \times \\ \times (T_e^3 + 4 T_\mu T_e^2 + 3 T_\mu^2 T_e - 2 T_\mu^3)^{-1} \quad (2.28)$$

где:

$$\beta = \frac{T_e^2 + 2 T_\mu T_e - T_\mu^2}{T_\mu^2 T_e^2}$$

$$\gamma = e^{-1/2 \frac{(T_\mu + T_e)t}{T_\mu T_e}}$$

Для дальнейшего анализа удобно перейти к относительным единицам. В качестве базовой величины выберем некомпенсируемую малую постоянную  $T_\mu$ . Тогда выражение для тока в относительном времени:

$$I^* = -T_e^* \left( \gamma T_e^{*2} \cos\left(\frac{\beta}{2} t\right) + 2 \gamma T_e^* \cos\left(\frac{\beta}{2} t\right) - \gamma \cos\left(\frac{\beta}{2} t\right) + \gamma T_e^{*2} \beta \sin\left(\frac{\beta}{2} t\right) + \gamma T_e^* \beta \sin\left(\frac{\beta}{2} t\right) - \right. \\ \left. - T_e^{*2} - 2 T_e^* + 1 \right) (T_e^{*3} + 4 T_e^{*2} + 3 T_e^* - 2)^{-1} \quad (2.29)$$

где:

$$\beta = \sqrt{\frac{T_e^{*2} + 2 T_e^* - 1}{T_e^{*2}}}$$

$$\gamma = e^{\frac{(-1/2 T_e^* - 1/2)t}{T_e^*}}$$



Найдем максимум тока, для чего продифференцируем 2.29 по времени. Производная тока равна:

$$\partial I = \frac{e^{-1/2 \frac{(T_e^*+1)t}{T_e^*}} T_e^{*2} \sqrt{\frac{T_e^{*2}+2 T_e^*-1}{T_e^{*2}}} \sin\left(1/2 \sqrt{\frac{T_e^{*2}+2 T_e^*-1}{T_e^{*2}}} t\right)}{(T_e^{*2} + 2 T_e^* - 1)} \quad (2.30)$$

Для того, чтобы найти время максимума, необходимо приравнять 2.30 нулю и решить полученное уравнение относительно  $t$ . Из графиков переходных процессов видно, что интересующее нас решение будет при равенстве  $\pi$  аргумента синуса, т. е. достаточно решить уравнение

$$1/2 \sqrt{\frac{T_e^{*2} + 2 T_e^* - 1}{T_e^{*2}}} t = \pi \quad (2.31)$$

Решив 2.31 относительно  $t$ , получим:

$$t_{\max} = 2 \pi \frac{1}{\sqrt{\frac{T_e^{*2}+2 T_e^*-1}{T_e^{*2}}}} \quad (2.32)$$

Подставив выражение для  $t_{\max}$  из 2.32 в 2.29, получим выражение для максимального значения тока:

$$I_{\max} = -T_e^* \frac{(-e^\delta T_e^{*2} - 2 e^\delta T_e^* + e^\delta + 1 - T_e^{*2} - 2 T_e^*)}{(T_e^{*3} + 4 T_e^{*2} + 3 T_e^* - 2)} \quad (2.33)$$

где:

$$\delta = \frac{2(-1/2 T_e^* - 1/2)\pi}{T_e^* \sqrt{\frac{T_e^{*2}+2 T_e^*-1}{T_e^{*2}}}};$$

Значение установившегося значения тока найдем как предел передаточной функции замкнутого контура при  $s \rightarrow 0$ :

$$I_\infty = \lim_{s \rightarrow 0} W_{zam} = \frac{T_e^*}{T_e^* + 2} \quad (2.34)$$

Перерегулирование определим по формуле:

$$\sigma = \frac{I_{\max}}{I_\infty} - 1 \quad (2.35)$$

						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		25

Подставив выражения для  $I_{\max}$  и  $I_{\infty}$  в 2.35, и упростив выражение, получим:

$$\sigma = e^{-\frac{(T_e^*+1)\pi}{T_e^* \sqrt{\frac{T_e^{*2}+2T_e^*-1}{T_e^{*2}}}}} \quad (2.36)$$

Выражение 2.36 представляет собой зависимость максимума тока от соотношения постоянных времени  $T_e$  и  $T_{\mu}$ . График, построенный по выражению 2.36 представлен на рисунке 2.9

## 2.5 Алгоритм самонастройки электропривода

В окончательном виде алгоритм самонастройки электропривода представлен на рис. 2.10. Алгоритм основан на теоретических сведениях, полученных в предыдущих разделах. Вначале выполняется определение динамических характеристик по реакции привода на скачок напряжения. Затем последовательно выполняется четыре цикла, в которых настраиваются параметры регуляторов. Критерием оценки на достижение оптимальных значений уставок регуляторов служит величина перерегулирования. В каждом из циклов перерегулирование проверяется на достижение заданного значения. Если перерегулирование не достигнуто, значение соответствующего параметра регулятора увеличивается, и цикл повторяется.

						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		26

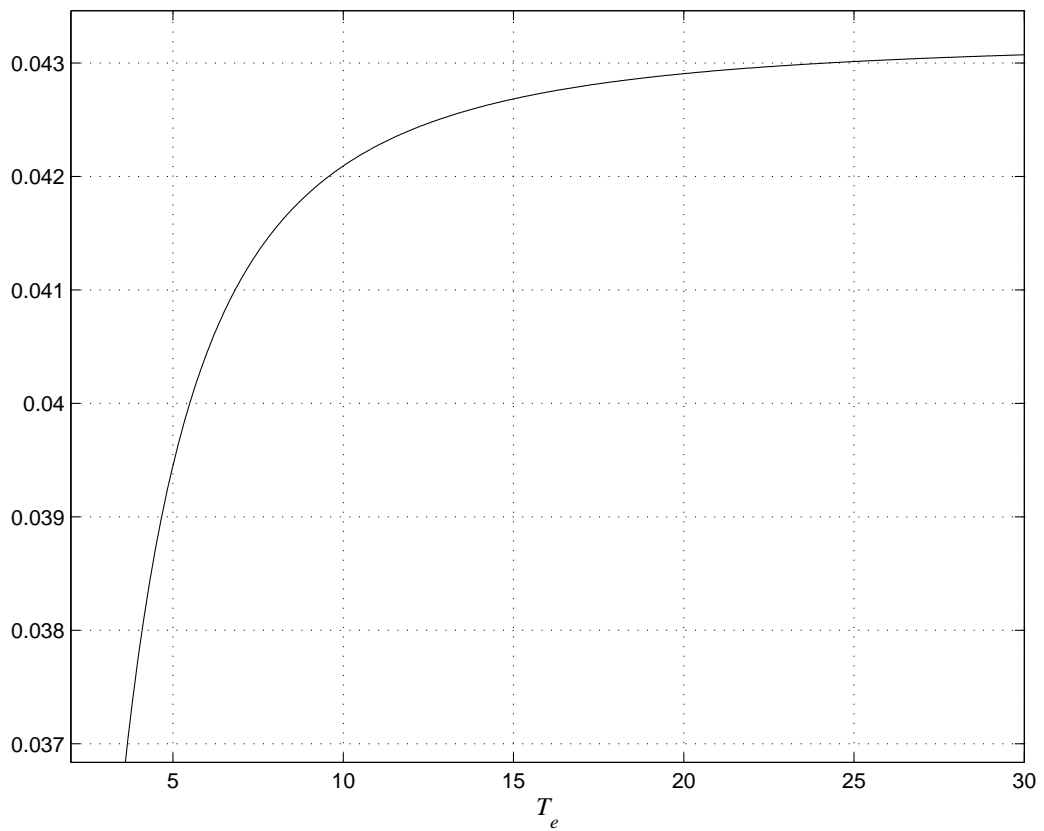


Рисунок 2.9- Зависимость величины перерегулирования тока от величины относительной постоянной времени  $T_e^*$

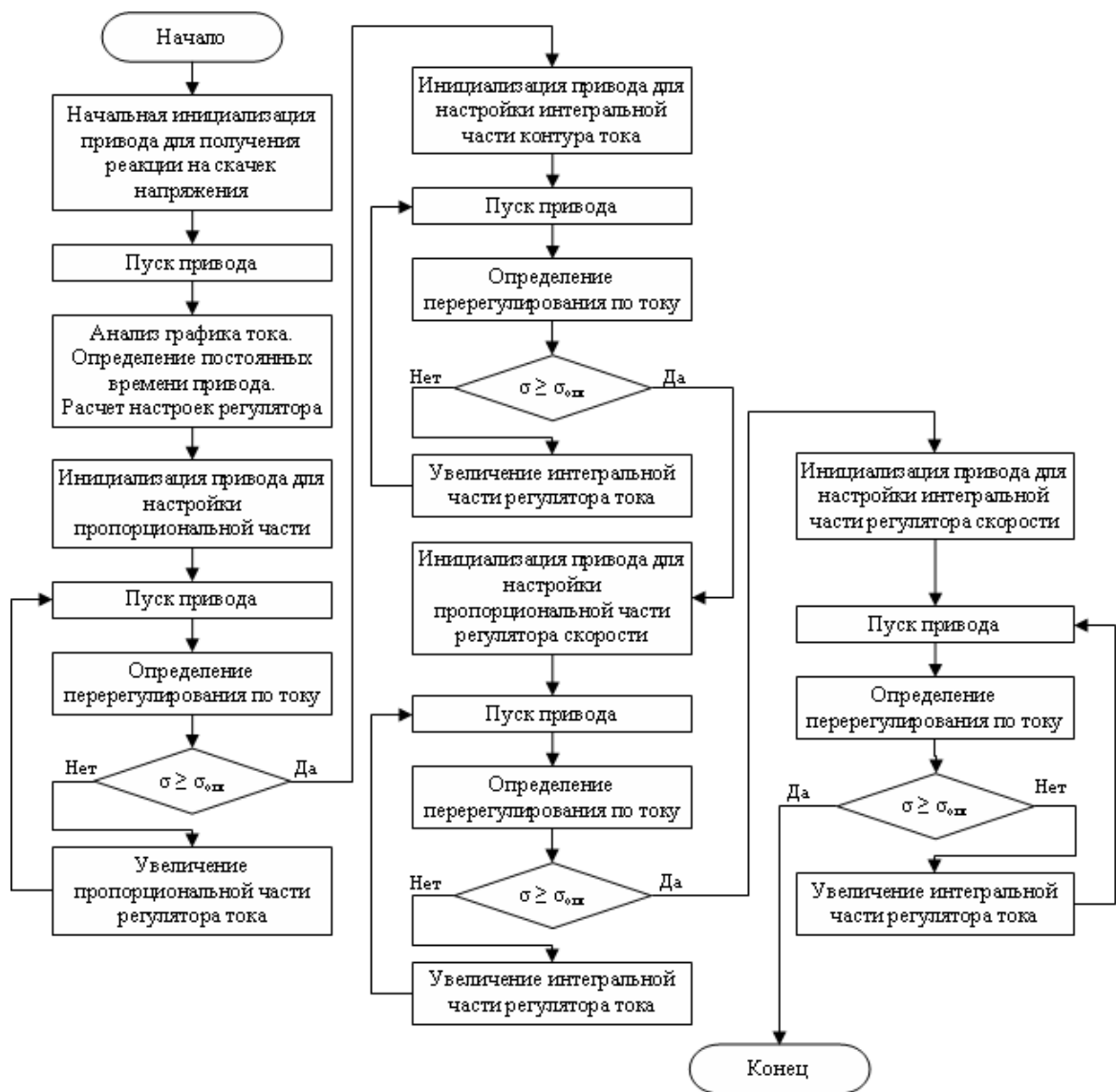


Рисунок 2.10- Блок-схема алгоритма самонастройки регуляторов электропривода

### 3 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ВНЕДРЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ

						Лист
						29
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

### 3.1 Моделирование процесса самонастройки в Matlab

На основании теоретических исследований, проведенных в разделах 2.3, 2.4 было произведено моделирование процесса самонастройки в среде MATLAB, с использованием пакета Control System Toolbox.

Использовался алгоритм самонастройки, приведенный на рисунке 2.10.

Идентификация параметров объекта управления на данном этапе не учитывалась.

Моделирование производилось по структурной схеме 2.1.

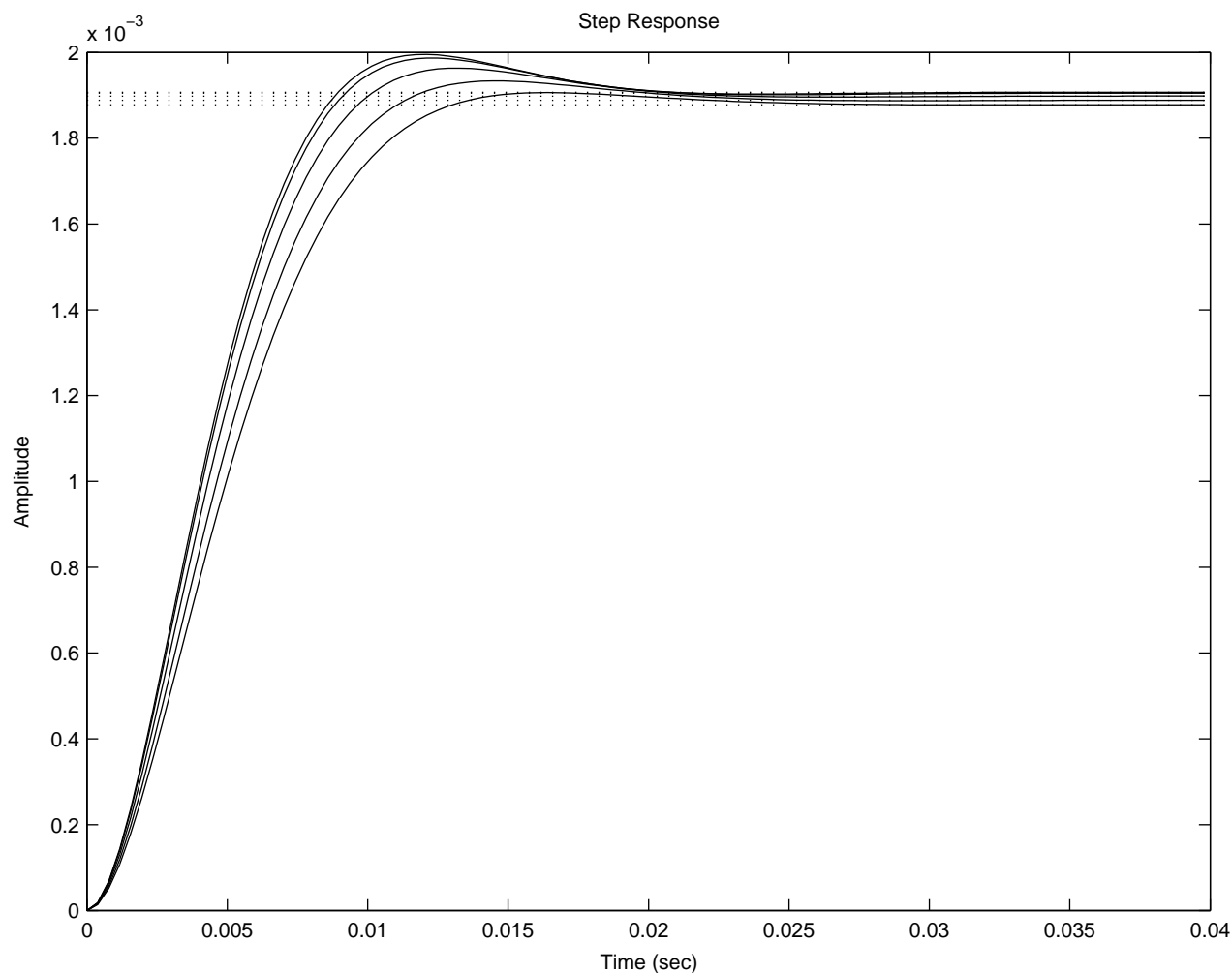


Рисунок 3.1- Результаты моделирования процесса самонастройки. Контур тока, пропорциональная часть.

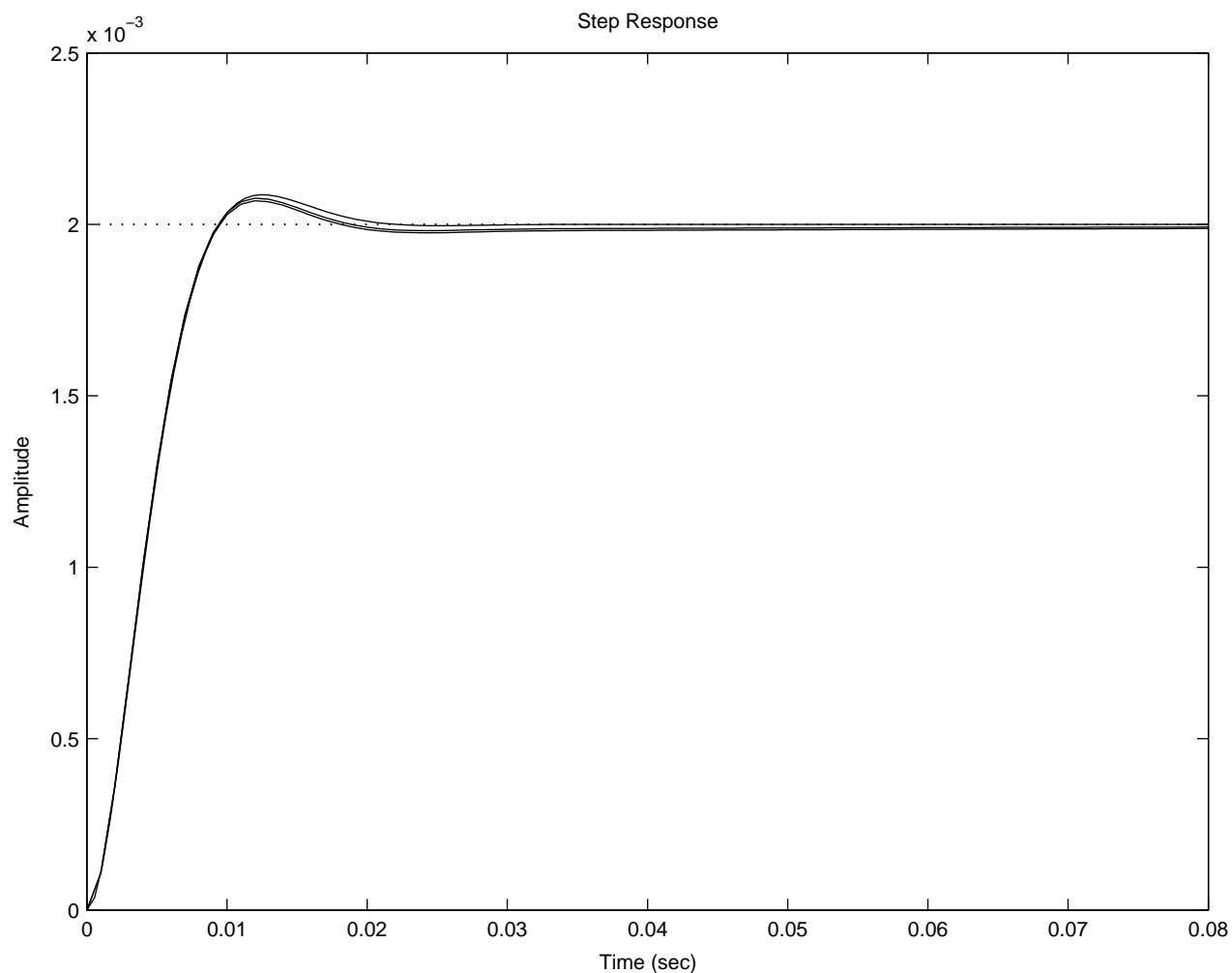


Рисунок 3.2- Результаты моделирования процесса самонастройки. Контур тока, интегральная часть.

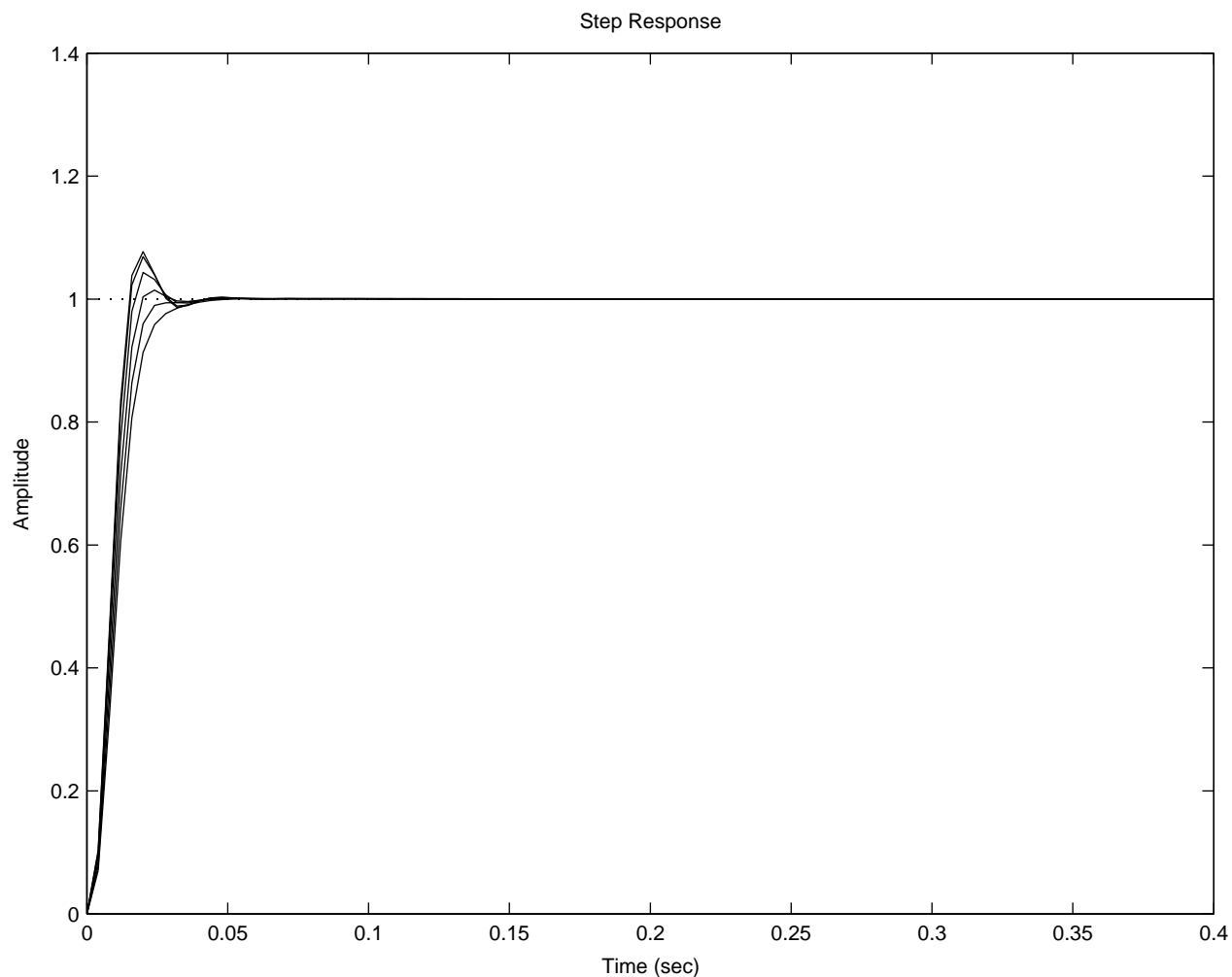


Рисунок 3.3- Результаты моделирования процесса самонастройки. Контур скорости, пропорциональная часть



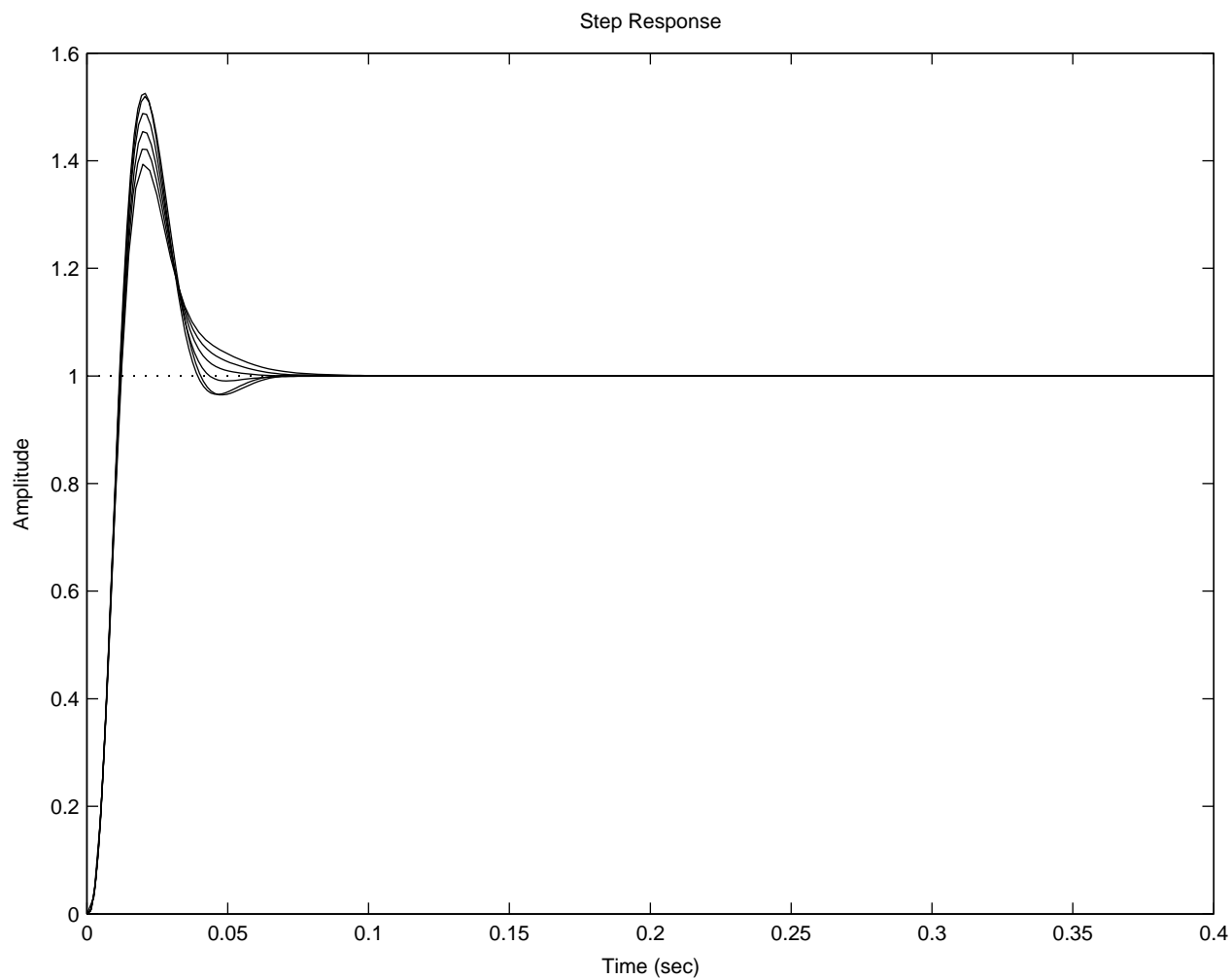


Рисунок 3.4- Результаты моделирования процесса самонастройки. Контур скорости, интегральная часть.

Для проведения моделирования с использованием Control System Toolbox был написан m-файл скрипта, который приведен в приложении А.

Результаты моделирования представлены на графиках, показанных на рисунках 3.1, 3.2, 3.3, 3.4.

Графики представлены для следующих параметров привода:

Электромагнитная постоянная,  $T_e$ , с, ..... 0.08;  
 Сопротивление якорной цепи  $R_a$ , Ом, ..... 0.03 ;  
 Некомпенсируемая постоянная  $T_{pr}$ , с, ..... 0.002 ;  
 Коэффициент датчика тока  $K_{dt}$ , ед., ..... 500 ;  
 Коэффициент преобразователя  $K_{pr}$ , ед., ..... 1000 ;  
 Электромеханическая постоянная  $T_m$ , с, ..... 0.5 ;  
 Коэффициент датчика скорости  $K_{ds}$ , ед., ..... 100 ;

Проводилось также моделирование для других значений параметров привода, результаты оказались аналогичными.

Как следует из графиков, данная методика может быть применена в качестве инженерной методики самонастройки электроприводов.

## 3.2 Реализация алгоритма самонастройки на учебно-отладочном стенде цифровой системы управления

### 3.2.1 Описание стенда

Общие сведения и назначение.

Учебно-отладочный стенд – цифро-аналоговый комплекс, объединяющий системы управления двигателем переменного и постоянного токов. Стенд ориентирован для применения в учебных целях по курсам: «Теория Электрического Привода», «Системы Управления Электрическим Приводом».

Технические характеристики.

Силовая цепь:  $\sim 380V = 110V$ ,  $= 25A$ .

Цепь управления:  $\sim 380V$ .

Система управления электроприводом постоянного тока представляет собой 3-х фазную реверсивную цифро-аналоговую систему управления с прямым цифровым управлением и программно-сменной структурой. Центральное вычислительное устройство выполнено на базе 8 разрядной,

полной микроЭВМ ATMEЛ ATMEGA16 AVR технологии. Система управления позволяет управлять электрическим приводом постоянного тока в системе следующих координат: частота вращения вала двигателя, ток якорной цепи двигателя, угол управления тиристорным ключом и, по желанию заказчика, положение вала двигателя. МикроЭВМ системы обеспечивает управление объектом, сбор, обработку и регистрацию координат и параметров работы привода, защиту объекта и вводных цепей, сигнализацию аварийных ситуаций и связь с ЭВМ верхнего уровня по интерфейсу RS232.

Стенд оснащен защитной и измерительной аппаратурой в цепи постоянного и переменного токов.

Наладка системы управления.

Наладка цифровой системы управления производится с помощью ЭВМ верхнего уровня, в данном случае - персональный компьютер.

Для наладки блока управления предназначена программа мастера настройки цифровой системы управления «Dss.exe». Данная программа позволяет удобно и быстро произвести процесс локальной наладки системы управления, имеет все функции доступа к центральному процессорному устройству блока и внутренней памяти данных, содержит базовые протоколы обмена информацией, как для режима наладки, так и для режима слежения.

Программа «Dss.exe» позволяет сохранять осциллограммы работы привода в файле «Dump.jug». Все настройки привода сохраняются в файле «config.jug».

### 3.2.2 Программа самонастройки электропривода

Для технической реализации алгоритма самонастройки электропривода на базе учебно-отладочного стенда была разработана программа самонастройки регуляторов «tunig.exe».

Программа выполнена в виде отдельного исполняемого модуля и используется совместно с сервисной программой «Dss.exe».

Взаимодействие программ осуществляется через файл конфигурации «config.jug». Для получения осциллограмм переходных процессов программа «tuning.exe» использует файл «dump.jug», созданный программой «Dss.exe» в процессе последнего запуска.

Программа «tuning.exe» работает в консольном режиме. Для осуществления взаимодействия с пользователем разработана простая

									Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата					35

система текстового меню, позволяющая полностью контролировать процесс настройки.

Программа разработана с применением объектно-ориентированного стиля. Модули, осуществляющие настройку регуляторов, выполнены в виде классов, независимых от интерфейсной части программы, что позволяет в случае необходимости подключить данные классы непосредственно к «Dss.exe» с минимальными затратами на модернизацию программы.

### 3.3 Результаты экспериментальной настройки

Результаты эксперимента показаны в виде графиков на рисунках ???. Как следует из графиков, результаты оказались вполне ожидаемыми, что позволяет сделать вывод о целесообразности проведения дальнейших работ в данном направлении.

Как показал эксперимент, одной из основных проблем при подобном методе настройки является анализ полученных кривых переходных процессов с целью вычисления перерегулирования. Это обусловлено большими помехами, проходящими по измерительным каналам. Для устранения помех оказалось необходимым обработать результаты измерений алгоритмом, соответствующим алгоритму цифрового однородного фильтра со следующей передаточной функцией:

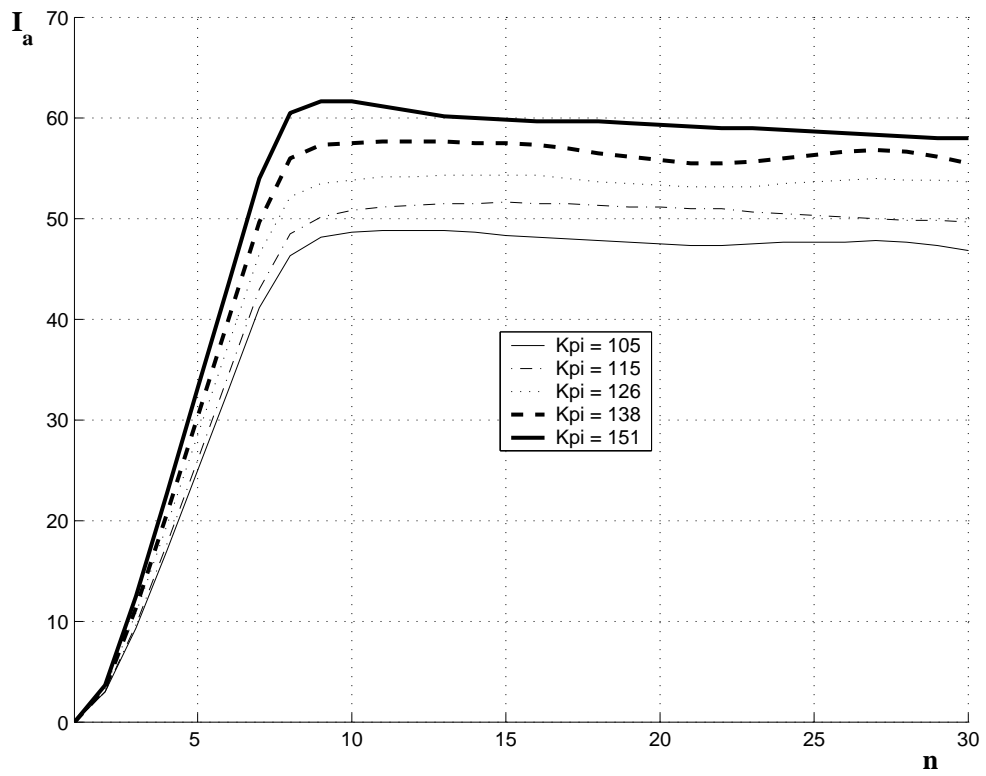
$$H_o(z) = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} z^{-i} \quad (3.1)$$

Учитывая технические особенности тиристорного преобразователя, коэффициент  $N$  взят равным 6, по количеству фаз преобразователя, что привело к следующему алгоритму фильтрации:

$$y(n) = \frac{1}{6}x(n) + \frac{1}{6}x(n-1) + \dots + \frac{1}{6}x(n-5) \quad (3.2)$$

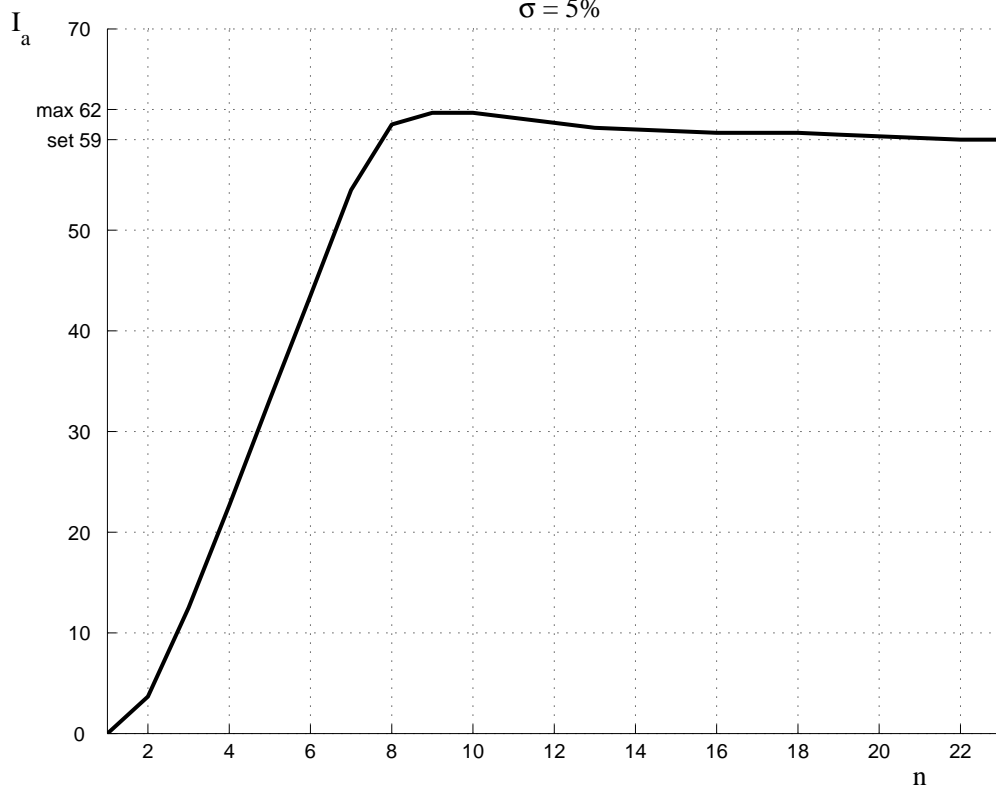
Как следует из приведенных графиков, алгоритм фильтрации оказался довольно эффективным.

Еще одной проблемой является влияние обратной связи по э.д.с., которое выражается в постепенном снижении установившегося значения тока и возникающих в связи с этим трудностях в определении установившегося значения тока при выведенной интегральной части. Для устранения данного явления можно осуществлять настройку контура при отсутствии тока возбуждения.



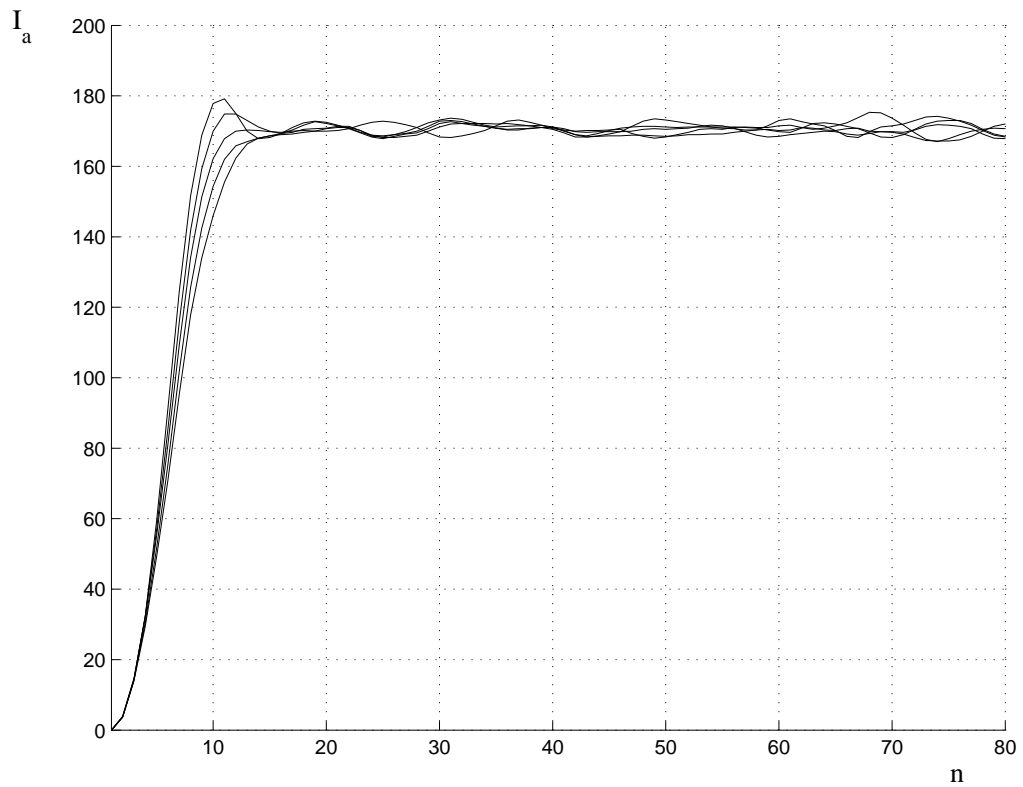
а)

$\sigma = 5\%$

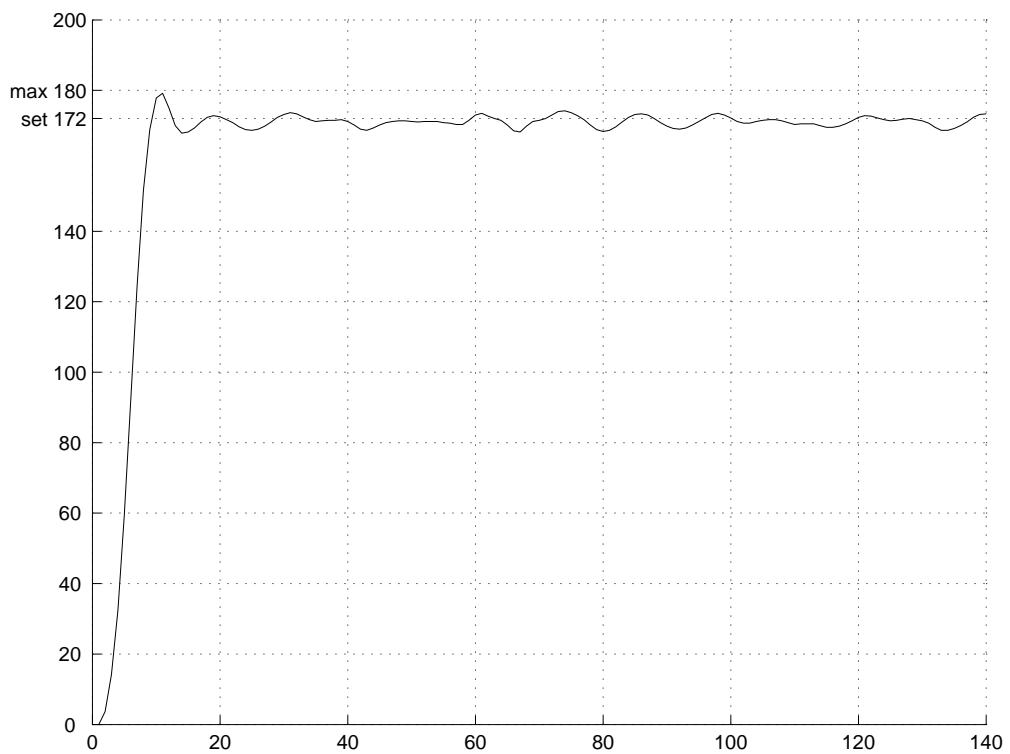


б)

Рисунок 3.5- Результаты эксперимента. Контур тока, пропорциональная часть. а) - ход процесса настройки; б) - настроенная пропорциональная часть



а)



б)

Рисунок 3.6- Результаты эксперимента. Контур тока, интегральная часть. а) - ход процесса настройки; б) - настроенный регулятор

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

В лаборатории данный метод не был опробован, так как в двигателях стенда в качестве возбудителей используются постоянные магниты.

В целом методика оказалась работоспособной и может быть применена для осуществления самонастройки главных электроприводов прокатных станов.

						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		39

## 4 ОХРАНА ТРУДА ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ИССЛЕДОВАНИЙ

						Лист
						40
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		



## 4.1 Законодательное регулирование охраны труда

Охрана труда — это система правовых, социально-экономических, организационно-технических, санитарно-гигиенических и лечебно-профилактических мероприятий и средств, направленных на сохранение жизни, здоровья и трудоспособности человека в процессе трудовой деятельности.

Ключевыми законодательными актами в сфере охраны труда являются: КЗоТ, Закон «Об охране труда», Закон «Об общеобязательном государственном социальном страховании от несчастного случая на производстве и профессионального заболевания, повлекших утрату трудоспособности», Закон Украины «О коллективных договорах и соглашениях», Закон Украины «О порядке разрешения коллективных трудовых споров (конфликтов)», Закон України «Про пожежну безпеку». Также сюда необходимо отнести «Правила безопасной эксплуатации электроустановок потребителей», «Правила устройства электроустановок», «Правила эксплуатации электротехнических средств», «Правила безопасной работы с инструментом и приспособлениями» и «Правила охорони праці під час експлуатації електронно-обчислювальних машин».

Нормативно-правовые акты по охране труда — это правила, нормы, регламенты, положения, стандарты, инструкции, перечни и другие документы, обязательные для выполнения, которые конкретизируют положение основных законов.

По сфере действия нормативно-правовые акты делятся на государственные (межотраслевые и отраслевые), ведомственные и внутренние акты предприятий.

Кроме того, в соответствии со специальным Постановлением ВР Украины, действуют государственные нормативные акты бывшего СССР в части, которая не противоречит действующему законодательству Украины. Среди них важное место занимает «Система стандартов безопасности труда» (сокращенно — ССБТ (приведено языком оригинала)). Ныне это свыше 300 государственных стандартов, занесенных в Реестр ГНАОТ.1 Основопологающим среди них является ГОСТ 12.0.001-82 ССТБ (также языком оригинала).

Действие этих законодательных и нормативных актов об охране труда распространяется на все предприятия, независимо от форм собственности. Кроме того, их нормы распространяются и на физические лица (СПД), использующие наемный труд.

						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		41

#### 4.1.1 Внутренние нормативные документы предприятий

Разрабатываются такие нормативы (положения, инструкции, перечни, приказы и т.п.) самим предприятием в соответствии с требованиями государственных межотраслевых и отраслевых нормативно-правовых актов об охране труда. При этом главным законным основанием должны быть ГНАОТ 0.00-8.03-93 «Порядок обработки и утверждение владельцем нормативных актов об охране труда, действующих на предприятии».

В случае необходимости владелец (руководитель) может на договорной основе привлечь к разработке проекта нормативного акта специалистов сторонних организаций.

Перечень таких документов приведен в рекомендациях Госнадзорхрантруда относительно применения вышеназванного Порядка.

Перед утверждением руководителем предприятия все проекты внутренних документов по охране труда обязательно согласовываются со службой по охране труда. На тех предприятиях, где такой службы нет, — со служебным лицом предприятия (инженером по технике безопасности), которое занимается этими вопросами, и юрисконсультком. Согласованные документы утверждаются приказом по предприятию. За исключением тех, которые утверждаются голосованием на общем собрании трудового коллектива.

Порядок финансирования работ относительно обработки и тиражирования нормативных актов предприятия об охране труда определяет владелец или по его поручению служебное лицо предприятия. Чаще всего — руководитель предприятия.

По решению трудового коллектива вопросы относительно охраны труда работников предприятия могут включаться в Коллективный договор. Степень их детализации зависит от коллективной воли работников. Кроме того, эти вопросы включаются в ежегодное соглашение, которое заключается между профсоюзом и администрацией предприятия.

Не менее важным внутренним документом по этим вопросам являются «Правила внутреннего трудового распорядка».

#### 4.2 Расчет освещения в лаборатории привода

Правильное выполнение осветительных установок способствует рациональному использованию электроэнергии, уменьшению количества аварий и случаев производственного травматизма, снижению утомляемости.

						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		42

#### 4.2.1 Расположение и установка светильников

Согласно [5] выбор расположения светильников является одним из основных вопросов, решаемых при устройстве осветительных установок, влияющим на экономичность, качество освещения и удобство эксплуатации. Кроме того, одним из основных требований при размещении светильников является доступность их при обслуживании [6, 5].

Поскольку высота помещения лаборатории (2,5 м) позволяет обслуживать светильники с пола при использовании лестниц, то возможно применение типовой схемы расположения светильников, показанной на рисунке 4.1.

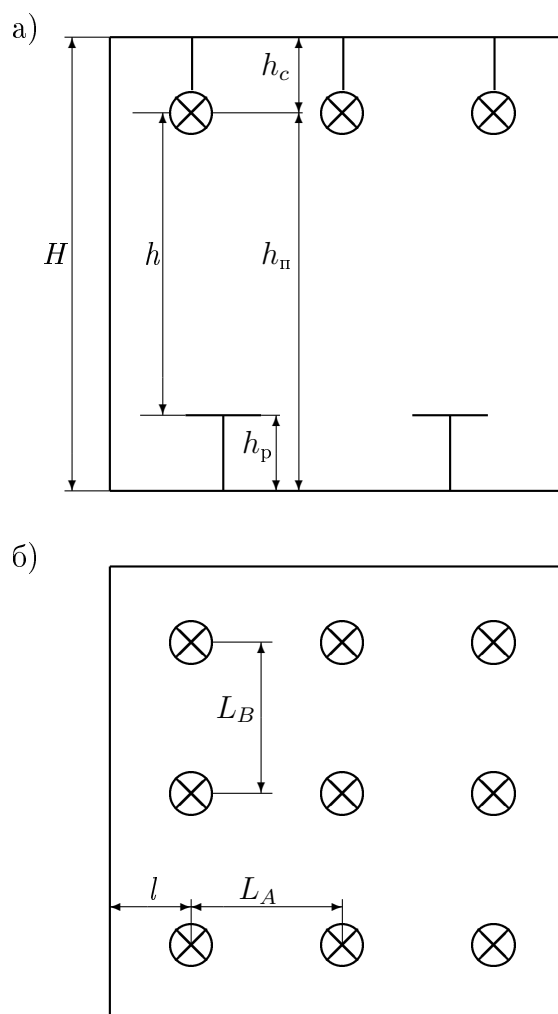


Рисунок 4.1- Типовая схема расположения светильников: а) в разрезе; б) в плане.

Для расчета используются следующие обозначения:  $H$  — высота помещения;  $h_c$  — расстояние светильников от перекрытия;  $h_p$  — высота рабочей поверхности над полом;  $h_{\Pi}$  — высота светильников над полом;

$h = h_{\text{п}} - h_{\text{р}}$  — расчетная высота,  $L_A, L_B$  — расстояния между светильниками вдоль и поперек помещения;  $l$  — расстояние крайних рядов светильников от стены.

В качестве источников света принимаем светильники с лампами накаливания типа ПО-02 с равномерной кривой силы света.

Исходные данные:

- Длина помещения,  $A$ , м, ..... 5;
- Ширина помещения  $B$ , м, ..... 4;
- Высота помещения  $H$ , м, ..... 2,5;
- Высота рабочей поверхности  $h_{\text{р}}$ , м, ..... 0,8 [6];
- Расстояние от светильников до перекрытия  $h_{\text{с}}$ , м, ..... 0,5.

Исходя из размеров помещения, принимаем схему расположения светильников в два ряда, расстояние между рядами  $L_B = 2\text{м}$ , расстояние от стен до светильников  $l = \frac{1}{2}L_A = 1\text{м}$  [6].

Из [6], табл. 4-16, стр. 123, принимаем значение  $\lambda = 0,2$  для светильников с равномерной кривой силы света.

Тогда расстояние между светильниками вдоль помещения:

$$L_A = \lambda(H - h_{\text{р}} - h_{\text{с}}) \quad (4.1)$$

$$L_A = 2 \cdot (2,5 - 0,8 - 0,5) = 2,4;$$

При  $L_A = 2,4\text{м}$  в ряду можно установить 3 светильника. Исходя из условия, что расстояние от стен до светильников должно быть не больше трети расстояния между светильниками при отсутствии проходов, окончательно принимаем расстояние  $L_A = 2\text{м}$ ,  $l_a = 0,5\text{м}$ . Коэффициент неравномерности:

$$\frac{L_A}{L_B} = \frac{2}{2} = 1 < 1,5$$

что является допустимым [5, 7].

Следовательно, общее число светильников для лаборатории электропривода:

$$n = 2 \cdot 3 = 6$$

План расположения светильников приведен на рисунке 4.2.

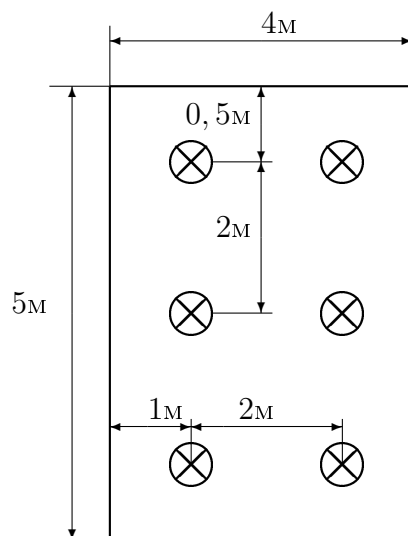


Рисунок 4.2- Схема расположения светильников для лаборатории электропривода

#### 4.2.2 Расчет осветительной установки методом коэффициента использования

Расчет осветительной установки произведем методом коэффициента использования с учетом рекомендаций [7, 6, 5]

При расчете методом коэффициента использования необходимый поток в каждой лампе  $\Phi$  находится по формуле:

$$\Phi = \frac{EkSz}{N\eta} \quad (4.2)$$

где  $E$  — заданная минимальная освещенность;

$k$  — коэффициент запаса;

$S$  — освещаемая площадь;

$z$  — отношение  $E_{\text{ср}} : E_{\text{мин}}$ ;

$N$  — число светильников;

$\eta$  — коэффициент использования.

Для данного типа помещений принимаем:

$E = 150 \text{лк}$ ,  $k = 1,3$ ,  $z = 1,15$  [6].

Освещаемая площадь:

$$S = A \times B = 5 \times 4 = 20 \text{м}^2$$

Зависимость  $\eta$  от площади помещения, высоты и формы учитывается

одной комплексной характеристикой:

$$i = \frac{S}{h(A + B)} \quad (4.3)$$

$$i = \frac{20}{1,2(5 + 4)} = 1,85$$

Данному значению  $i$  для светильников типа ПО-02 соответствует значение  $\eta = 0.55$ . Следовательно:

$$\Phi = \frac{150 \cdot 1.3 \cdot 20 \cdot 1.15}{6 \cdot 0.55} = 1359 \text{ лм}$$

По значению  $\Phi$  выбираем стандартную лампу таким образом, чтобы ее поток отличался от расчетного не более, чем на  $-10 \div +20\%$ .

Принимаем к установке лампы типа Б мощностью 100Вт со световым потоком 1350лм.

### 4.3 Расчет защитного заземления лаборатории привода

#### 4.3.1 Схема питания стенда электропривода

Для увеличения надежности, срока службы и электробезопасности в лаборатории привода напряжение питания на электроприводы стенда подается через разделительные трансформаторы (РТ).

Разделительным трансформатором является трансформатор, предназначенный для отделения сети, питающей электроприемник, от источника напряжения, а также от сети заземления или зануления. Трансформатор может быть разделительным при условии, когда ни одна из его вторичных обмоток не заземляется.

Схема питания электропривода стенда показана на рис. 4.3.

Разделительные трансформаторы существенно снижают вероятность поражения людей электрическим током, поскольку вторичные зажимы трансформатора гальванически развязаны от заземленной нейтрали источника напряжения, земли.

При возникновении пробоя электрического тока на корпус преобразователя, оборудование находится в рабочем состоянии. Возникающие при этом токи утечки не являются опасными для человека и не приводят к выходу из строя электрооборудования.

									Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата					46

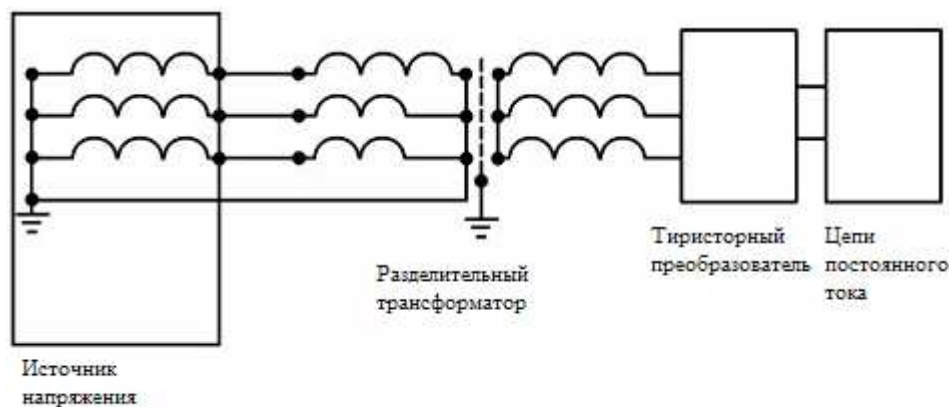


Рисунок 4.3- Схема питания стенда

Согласно [8], при применении разделительных трансформаторов, необходимо руководствоваться следующими условиями:

- Разделительные трансформаторы должны удовлетворять специальным техническим условиям в отношении повышенной надежности конструкции и повышенных испытательных напряжений.
- От разделительного трансформатора разрешается питание только одного приемника с номинальным током плавкой вставки на первичной стороне не более 15 А.
- Заземление вторичной обмотки разделительного трансформатора не допускается.

Кроме того, в приведенном выше источнике указано, что корпус разделительного трансформатора, в зависимости от режима нейтрали сети, питающей первичную обмотку, должен быть заземлен или занулен. Заземление корпуса приемника, подключенного к такому трансформатору, не требуется.

Следовательно, заземлению подлежит корпус разделительного трансформатора. Для реализации данного мероприятия необходимо произвести расчет заземляющего контура.

#### 4.3.2 Расчет заземляющего контура

В качестве заземлителей принимаем электроды из угловой стали  $50 \times 50 \times 5$  мм, соединенные полосой  $40 \times 4$  мм. Электроды заглублены на глубину  $h = 0,8$  м. Длину электродов  $L$  принимаю равной 2,5 м, поскольку более длинные электроды неудобны в монтаже, а увеличение длины электродов более 2,5 — 3 м оказывает незначительное влияние на уменьшение сопротивления [8]. Сопротивление грунта —  $80 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ . Коэффициент промерзания  $k_1$ , учитывающий сезонные колебания температуры грунта для вертикальных заземлителей, принимаю равным 1,5, для горизонтальных заземлителей  $k_2 = 5,4$ .

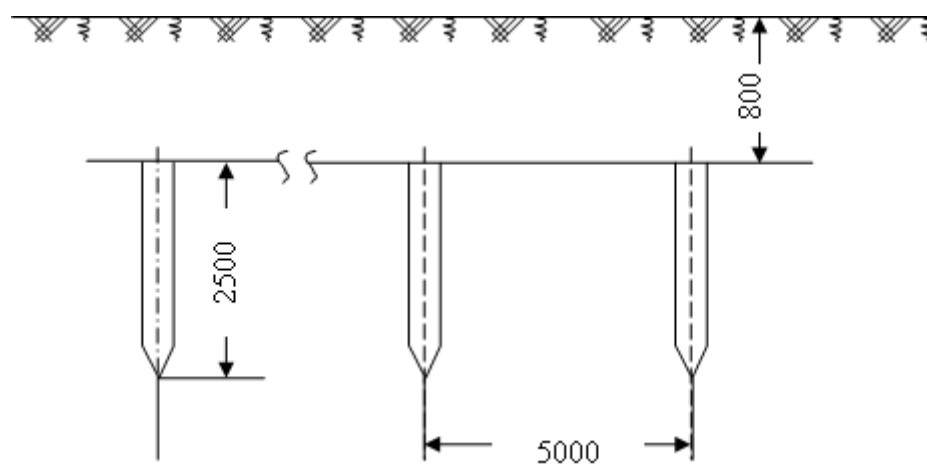


Рисунок 4.4- Схема заземляющего устройства

Сопротивление вертикального заземлителя, помещенного на глубину  $h$  от поверхности земли определяется по формуле:

$$R = k_1 \frac{\rho}{\pi L} \left[ \ln \left( 2 \frac{L}{b} \right) + 0.5 \ln \left( \frac{4L + 7h}{L + 7h} \right) \right] \quad (4.4)$$

Или

$$R = 1,5 \frac{80}{3,14 \cdot 2,5} \left[ \ln \left( 2 \frac{2,5}{0,05} \right) + 0.5 \ln \left( \frac{4 \cdot 2,5 + 7 \cdot 0,8}{2,5 + 7 \cdot 0,8} \right) \right] = 32,65 \text{ Ом}$$

Поскольку сопротивление не должно превышать 4 Ом, то число заземлителей:

					Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	48



$$N = \frac{37,4}{4} = 9,4$$

Принимаем  $R = 9$ .

Найдем длину соединительной шины для расстояния между электродами  $l = 5$  м:

$$L_{\text{ш}} = (N - 1) \cdot l = (9 - 1) \cdot 5 = 40 \text{ м}$$

Определим сопротивление горизонтального электрода по формуле:

$$R_{\text{г}} = k_2 \frac{\rho}{\pi L} \left[ 1 + \frac{\ln\left(\frac{L}{2h}\right)}{\ln\left(\frac{L}{b}\right)} \right] \ln\left(\frac{2L}{b}\right) \quad (4.5)$$

Получим:

$$R_{\text{г}} = 5,4 \frac{80}{3,14 \cdot 40} \left[ 1 + \frac{\ln\left(\frac{40}{2 \cdot 0,8}\right)}{\ln\left(\frac{40}{0,05}\right)} \right] \ln\left(\frac{2 \cdot 40}{0,05}\right) = 17,9 \text{ Ом}$$

Общее сопротивление заземляющего контура определится по формуле:

$$R_{\text{об}} = \frac{R_{\text{г}} R}{\eta_{\text{г}} R + N \eta_2 R_{\text{г}}} \quad (4.6)$$

где  $\eta_{\text{г}} = 0,82$  — коэффициент использования горизонтального заземлителя

Получим:

$$R_{\text{об}} = \frac{17,9 \cdot 32,65}{0,82 \cdot 32,65 + 9 \cdot 0,8 \cdot 17,9} = 3,75 \text{ Ом.}$$

Поскольку  $R_{\text{об}} < 4$  Ом, то заземлитель удовлетворяет поставленному условию.

						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		49

## 5 ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		50

## 5.1 Выбор объекта исследования экономической эффективности проектных решений

В настоящее время значительно возросли требования к качеству готовой продукции металлургических предприятий. Ужесточаются требования к обеспечению минимальной разнотолщинности раската по длине заготовки.

Для современных прокатных станов задачи обеспечения минимальной разнотолщинности решаются системами петлерегулирования. Число межклетевых промежутков, в которых осуществляется поддержание заданного прогиба, может достигать 10 - 12. Поддержание прогиба осуществляется воздействием на предыдущие и последующие клетки по каналу регулирования скорости. Поскольку клетки связаны между собой через прокатываемый металл, и постоянно подвергаются динамическим воздействиям по заданию со стороны системы петлерегулирования, то динамические характеристики электроприводов должны быть идентичными с целью недопущения возникновения деформаций натяжения и сжатия в отдельных межклетевых промежутках.

В наибольшей степени влияние неидентичности динамических характеристик будет сказываться на тех станах, на которых регулирование прогибов (петель) осуществляется против хода прокатки, т. е. воздействием на предыдущие клетки.

Для ВАТ «Міттал Стіл Кривий Ріг» таковым является цех Прокат-3. Поэтому обоснование экономической эффективности проектных решений целесообразно произвести для условий этого цеха.

Цех Прокат-3 является цехом, выпускающим товарную продукцию. На стане МПС-250/150-6 выпускаются следующие виды продукции:

- мелкосортный прокат круглого, шестигранного, квадратного сечения и арматура в бунтах сечением от 42 до 14мм;
- катанка в бунтах сечением от 5,5 до 14мм.

Внедрение методики самонастройки электроприводов призвано повысить точность геометрических размеров проката за счет снижения влияния неодинаковости динамических характеристик связанных через прокатываемый металл электроприводов.

									Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата					51

## 5.2 Техничко-экономические показатели работы цеха

Техничко-экономические показатели работы цеха за 2005 год приведены в таблице 5.1.

Таблица 5.1- Техничко-экономические показатели работы цеха Прокат-3.

Наименование	Ед. изм.	Обозначение	Значение
Объем продукции в натуральном выражении	т	А	412330
Объем продукции в стоимостном выражении	тыс.грн	Q	395836,8
Первичная стоимость основных фондов	тыс.грн	ОФ	279868,228
Численность персонала	чел	ЧП	810
Себестоимость	тыс.грн	С1	333543,2
Прибыль	тыс.грн	П	62293,6
Производительность труда	тыс.грн/чел	Пт	1,186763214
Фондовооруженность труда	тыс.грн/чел	Фв	345,5163309
Рентабельность продукции	у.е	Рп	0,186763214
Номинальное время	час	Вн	8184
Текущие простои	час	Прт	1391
Фактическое время, Вф	час	Вф	6793

При определении технико-экономических показателей использовался годовой отчет работы цеха за 2004 год

## 5.3 Факторы, обуславливающие целесообразность принятых технических решений

С точки зрения экономической целесообразности проведения модернизации можно указать следующий фактор: декларируемая точность мелкосортного проката на МПС – 250/150-6, составляющая в настоящее время  $\pm 0.3$ мм, соответствует действующим стандартам, однако уступает по точности одноименной продукции, выпускаемой на зарубежных мелкосортных станах; применение микропроцессорной системы стабилизации режима прокатки позволит поднять точность размеров до  $\pm 0.1$  мм, что позволит увеличить ее конкурентоспособность и положительно скажется на ее цене. Как показывает сравнительный анализ прайс-листов на

металлопродукцию различных производителей, при увеличении точности до 0.1 мм следует ожидать повышения цены раската до 9,5 процентов.

Таблица 5.2- Факторы, обуславливающие целесообразность принятых решений

Наименование показателей, что изменяются вследствие проектных решений	Изменения ( $\pm$ )		Источник информации
	абсолютн.	относ. (%)	
Увеличение цены проката за счет повышения точности геометрических размеров		0,05%	Прайс-листы комбината

#### 5.4 Определение методического подхода к оценке экономической целесообразности

Как указано в [9], проектные решения подразделяются на две части:

- инвестиционный проект;
- мероприятия технического, технологического, организационного характера.

Поскольку внедрение проекта не требуют значительных капитальных затрат и не приведет к изменению многих технико-экономических показателей (см. таблицу 5.2), то данное проектное решение можно отнести к мероприятиям технического характера.

#### 5.5 Обоснование экономической целесообразности мероприятий технического характера

Основным показателем эффективности мероприятий технического характера является срок окупаемости. Срок окупаемости определяется по следующей формуле:

$$T = \frac{K}{\Delta\Pi_{\text{ч}} + \Delta\text{АМ}} \quad (5.1)$$

где

$K$  — капитальные затраты на осуществление проектных решений;

$\Delta\Pi_{\text{ч}}$  — прирост чистой прибыли, грн;

$\Delta\text{АМ}$  — прирост амортизационных отчислений, грн.

Составляющие капитальных затрат и расчет амортизационных отчислений приведены в таблице 5.3

Таблица 5.3- Составляющие капитальных затрат и расчет амортизационных отчислений

Наименование фактора	Влияние на затраты, грн
Преобразовательная техника	
Стоимость оборудования	60000
Стоимость транспортировки	6000
Строительно - монтажные затраты	9000
Всего преобразовательная техника	75000
Компьютерная техника	
Стоимость оборудования	35000
Стоимость транспортировки	6000
Строительно - монтажные затраты	9000
Всего компьютерная техника	50000
Капитальные затраты, грн	125000
Амортизация основных фондов 3-й группы (24%)	18000
Амортизация компьютерной техники (60%)	30000
Суммарная амортизация	48000

Все капитальные затраты разделены на две группы - преобразовательная и компьютерная техника. Это связано с различными нормами амортизации для этих двух типов оборудования. Общая сумма капитальных затрат составляет 125 000 гривен.

Амортизационные отчисления определяются по формуле:

$$\Delta AM = \frac{K}{N_{AM}} \quad (5.2)$$

где  $N_{AM}$  — норма амортизации, составляющая 24% для преобразовательной, и 60% для компьютерной техники.

Производственная себестоимость изменится на сумму амортизационных отчислений по обеим группам.

$$C_1 = C_0 + \Delta AM_{пр} + \Delta AM_{к} \quad (5.3)$$

## 5.6 Расчет прироста чистой прибыли

Внедрение проекта в условиях цеха Прокат — 3 влечет за собой повышение качества готовой продукции, что в конечном итоге позволяет увеличить цену проката до 0,05%.

Таблица 5.4- Результаты расчета прироста чистой прибыли

Наименование показателя	Значение показателя в периоде	
	0	1
1. Фактическое время работы основного оборудования, Вф, часов	6793	6793
2. Удельная производительность основного оборудования, G, т/час	60,699	60,699
3. Годовой объем производства, А, т	412330	412330
4. Цена продукции, Ц, грн/т	960	960,48
5. Реализованная продукция, РП, грн	395 836 800,00	396 034 718,40
6. Производственная себестоимость годового объема реализованной продукции, С, грн	333 543 200,00	333 591 200,00
9. Прибыль к налогообложению, П, грн	62 293 600,00	62 443 518,40
10. Налог на прибыль, ПП, грн	18 688 080,00	18 733 055,52
11. Чистая прибыль, Пч, грн	43 605 520,00	43 710 462,88
12. Прирост чистой прибыли, ΔПч, грн		104 942,88
13. Прирост амортизации, ΔАМ, грн		18 000,00
14. Срок окупаемости, лет		1,017

Реализованную продукцию РП можно определить с учетом индексирования показателей:

$$I_{ц} = \frac{Ц_1}{Ц_0} \quad (5.4)$$

где

$Ц_0, Ц_1$  — цена продукции в базовом и отчетном периоде.

$$РП = РП_0 \cdot I_{ц} \quad (5.5)$$

где

$РП_0$  — реализованная продукция в базовом периоде.

Прибыль к налогообложению, налог на прибыль и чистая прибыль рассчитываются по формулам:

$$П = РП - \left( \sum C + \sum АВ + \sum ВЗ \right) \quad (5.6)$$

$$\text{ПП} = 0,3\text{П} \quad (5.7)$$

$$\text{П}_ч = \text{П} - \text{ПП} \quad (5.8)$$

## 5.7 Выводы

В окончательном виде эффективность проектных решений представлена в таблице 5.5.

Таблица 5.5- Эффективность проектных решений

Наименование показателя	Значение показателя		Изменения	
	"0"	"1"	абс.	отн.
Фактическое время работы, часов	6793	6793	0	0
Удельная производительность, т/час	60,699	60,699	0	0
Годовой объем производства	412330	412330	0	0
Капитальные затраты		125000	125000	
Цена единицы продукции, грн/т	960	960,48	0,48	0,05
Реализованная продукция, грн	395 836 800,00	396 034 718,40	197918,4	0,05
Себестоимость, грн	333 543 200,00	333 591 200,00	48000	0,01
Прирост амортизации, грн			18 000,00	
Чистая прибыль, грн	43 605 520,00	43 710 462,88	104 942,88	0,24
Срок окупаемости, лет			1,0	

Как следует из таблицы 5.5, внедрение проекта позволяет увеличить цену готового проката за счет улучшения качества продукции. Изменение цены положительно скажется на технико-экономических показателях работы цеха. Срок окупаемости проекта составляет 1,13 года. Кроме того, внедрение проекта позволит сохранить конкурентоспособность продукции в случае пересмотра стандартов на точность сортового проката и катанки.

Внедрение проекта для условий цеха Прокат — 3 является экономически выгодным.



## ПЕРЕЧЕНЬ ССЫЛОК

1. *Солодовников, В. В.* Микропроцессорные автоматические системы регулирования / В. В. Солодовников, В. Г. Коньков, В. А. Суханов, О. В. Шевяков; Под ред. В. В. Солодовников. — Высшая школа, 1991.
2. *Башарин, А. В.* Управление электроприводами / А. В. Башарин, В. А. Новиков, Г. Г. Соколовский. — Л.: Энергоиздат. Ленингр. отд.-е, 1982.
3. Справочник по проектированию автоматизированного электропривода и систем управления технологическими процессами / Под ред. В. И. Круповича, Ю. Г. Барыбина, М. Л. Самовера. — М.: Энергоатомиздат, 1982.
4. Справочник по автоматизированному электроприводу / Под ред. В. А. Елисеева, А. В. Шинявского. — М.: Энергоатомиздат, 1983.
5. *Кнорринг, Г. М.* Осветительные установки / Г. М. Кнорринг. — Л.: Энергоиздат, 1976.
6. *Кнорринг, Г. М.* Справочная книга для проектирования электрического освещения / Г. М. Кнорринг, Ю. Б. Оболенцев, В. М. Крючков; Под ред. Г. М. Кнорринга. — Л.: Энергия, 1976.
7. *Кладницкий, Д. А.* Справочник по осветительной аппаратуре / Д. А. Кладницкий, С. И. Чубатый. — К: Техніка, 1986.
8. *Карякин, Р. Н.* Заземляющие устройства промышленных электроустановок / Р. Н. Карякин, В. И. Солнцев. — М.: Энергоатомиздат, 1989.
9. Методичні вказівки до виконання економічної частини дипломного проекту (роботи) студентам технічних спеціальностей усіх форм навчання. — Дніпропетровськ: ДІПОмед, 2003.
10. *Гостев, В. И.* Системы управления с цифровыми регуляторами: Справочник / В. И. Гостев. — К.: Техніка, 1990.
11. *Гольденберг, Л. М.* Цифровая обработка сигналов: Учебное пособие для вузов / Л. М. Гольденберг, Б. Д. Матюшкин, М. Н. Поляк. — М.: Радио и связь, 1990.

							Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата			57

## ПРИЛОЖЕНИЯ

						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		58

## Приложение А

Тестовая модель самонастройки электропривода

Ниже приведено содержимое m-файла самонастройки электропривода.  
M-файл запускается на выполнение из рабочей среды MATLAB.

```
%Samonastr.m
%Моделирование самонастройки регуляторов
%Оценка настройки - по перерегулированию

clear
clc
%Исходные данные
Te = 0.08;
Ra = 0.03;
Tpr = 0.002;
Kdt = 500;
Kpr = 1000;
Tm = 0.5;
Kds = 100;
c = 10;

Kr1 = 1/2/Kpr*Ra/Kdt*Te/Tpr;
Tr1 = 1/2/Kpr*Ra/Kdt/Tpr;

s = tf('s'); %Переменная для передаточных функций

%Строим систему
Wr = tf([Kr1 Tr1], [1, 0]); %Регулятор
Wpr = tf(Kpr)/(Tpr * s + 1); %Преобразователь
Wa = 1/Ra/(Te * s + 1); %Цепь Якоря
Wdt = Kdt; %Датчик тока
W1 = Wr * Wpr * Wa; %Прямая цепь
W = feedback(W1, Wdt); %Замыкаем систему

figure(1)
hold on
step(W, 'b', 0.5)

%Сначала настраиваем пропорциональную часть,
%интегральную выводим в ноль.
%Оценку настройки будем производить по перерегулированию
Tr = 0;

%Строим систему
```

```

Wr = tf([Kr1 Tr], [1, 0]);           %Регулятор
W1 = Wr * Wpr * Wa;                %Прямая цепь
W = feedback(W1, Wdt);              %Замыкаем систему

figure(2)
hold on

%Переходная функция (правильно настроенный регулятор,
%приводится здесь для наглядности)
step(W, 'b')

%В расчетах возможна ошибка,
%поэтому уменьшаем коэффициент
%на 30%
Kr = 0.7*Kr1;
Wr = tf([Kr Tr], [1, 0]);
W1 = Wr * Wpr * Wa;
W = feedback(W1, Wdt);

[Y, T] = step(W);
X = max(Y);
Z = Y(end);
Picks = X/Z;

Pick_st = 1.042;

%Проверяем только приближение снизу,
while Picks <= Pick_st | Picks <= 1
    Kr = Kr * 1.1;                    %увеличиваем пропорциональную часть
                                     % с шагом 10%

    Wr = tf([Kr Tr], [1, 0]);
    W1 = Wr * Wpr * Wa;
    W = feedback(W1, Wdt);
    figure(2)
    pause(0.5)
    step(W, 'r');
    pause(1)                          %пауза чтобы посмотреть картинку
                                     %Осциллограмма, записанная в
                                     %памяти ЭВМ

    [Y, T] = step(W);
    sz = size(Y);

    for n = 1 : sz(1)
        Y(n) = rand(1)*0.02*Y(n) + Y(n);;
    end
    %Максимальное значение
    X = max(Y);
    %Установившееся значение

```

```

Z = Y(end);
%Перерегулирование
Picks = X/Z;

end

%Здесь пропорциональная часть уже настроена

%Строим интегральную

figure(1)

%Пусть наше расчетное значение отличается на 50%
Tr = 0.7 * Tr1;
Wr = tf([Kr Tr], [1, 0]);
W1 = Wr * Wpr * Wa;
W = feedback(W1, Wdt);

%Стандартное перерегулирование - технический оптимум
% - 4.3%
Pick_st = 1.043;

[Y, T] = step(W);
X = max(Y);
Z = Y(end);
Picks = X/Z;

%Подстраиваемся до достижения нужного перерегулирования
while Picks <= Pick_st | Picks <= 1
    Tr = Tr * 1.1;                                %увеличиваем постоянную
                                                    %интегрирования
                                                    %с шагом 10%

    Wr = tf([Kr Tr], [1, 0]);
    W1 = Wr * Wpr * Wa;
    W = feedback(W1, Wdt);

    step(W, 'r', 0.5);
    pause(0.5)                                    %пауза чтобы посмотреть картинку

%Осциллограмма, записанная в памяти ЭВМ
[Y, T] = step(W);
sz = size(Y);

for n = 1 : sz(1)
    Y(n) = rand(1)*0.02*Y(n) + Y(n);;
end
%Максимальное значение
X = max(Y);
%Установившееся значение
Z = Y(end);

```

						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		61

```

%Перерегулирование
Picks = X/Z;

end
pause(2)
figure(3)
grid on
step(W, 0.15)

Kr
Tr

%Регулятор скорости
Krs1 = 1/4/Trp*Tm*c*Kdt/Ra/Kds;
Trs1 = 1/32*Tm*c*Kdt/Trp^2/Ra/Kds;
pause(4)
figure(4)
hold on

%Строим систему
Wrs = tf([Krs1 Trs1], [1, 0])
Wmeh = Ra/s/Tm/c ;
Wds = Kds;
W1 = Wrs * W * Wmeh * Wds;
Ws = feedback(W1, 1);

%Регулятор
%Цепь Якоря
%Датчик скорости
%Прямая цепь
%Замыкаем систему

step(Ws, 0.4)
[Y, T] = step(Ws, 0.4);
X = max(Y);
Z = Y(end);
Picks_st_skor = X/Z

figure(5)
hold on
Trs = 0;
Krs = Krs1;
%Строим систему
Wrs = tf([Krs Trs], [1, 0])
W1 = Wrs * W * Wmeh * Wds;
Ws = feedback(W1, 1) ;

%Регулятор
%Прямая цепь
%Замыкаем систему

step(Ws, 0.4)

%Пусть наше расчетное значение отличается на 50%
Krs = 0.7 * Krs;
%Строим систему

```

```

Wrs = tf([Krs Trs], [1, 0]);           %Регулятор
W1 = Wrs * W * Wmeh * Wds;           %Прямая цепь
Ws = feedback(W1, 1);                 %Замыкаем систему

```

```
step(Ws, 0.4)
```

```

%Стандартное перерегулирование - технический оптимум
% - 4.3%
Pick_st = 1.043;

```

```

[Y, T] = step(Ws);
X = max(Y);
Z = Y(end);
Picks = X/Z;

```

```

%Подстраиваемся до достижения нужного перерегулирования
while Picks <= Pick_st | Picks <= 1
%увеличиваем постоянную интегрирования с шагом 10%
    Krs = Krs * 1.1;

```

```

    Wrs = tf([Krs Trs], [1, 0]);           %Регулятор
    W1 = Wrs * W * Wmeh * Wds;           %Прямая цепь
    Ws = feedback(W1, 1);                 %Замыкаем систему

```

```

step(Ws, 'r', 0.4);
pause(0.5) %пауза чтобы посмотреть картинку

```

```

%Осциллограмма, записанная в памяти ЭВМ
[Y, T] = step(Ws);
sz = size(Y);
X = max(Y)
for n = 1 : sz(1)
    Y(n) = rand(1)*0.02*Y(n) + Y(n);;
end
%Максимальное значение
X = max(Y)
%Установившееся значение
Z = Y(end);
%Перерегулирование
Picks = X/Z;

```

```
end
```

```

figure(4)
hold on
%Пусть наше расчетное значение отличается на 50%
Trs = 0.7 * Trs1;

```

									Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата					63

```

%Строим систему
Wrs = tf([Krs Trs], [1, 0]);           %Регулятор
W1 = Wrs * W * Wmeh * Wds;           %Прямая цепь
Ws = feedback(W1, 1);                 %Замыкаем систему

step(Ws, 'r', 0.4)

%Стандартное перерегулирование - технический оптимум
% - 4.3%

[Y, T] = step(Ws);
X = max(Y);
Z = Y(end);
Picks = X/Z;

%Подстраиваемся до достижения нужного перерегулирования
while Picks <= Picks_st_skor | Picks <= 1
%увеличиваем постоянную интегрирования с шагом 10%
    Trs = Trs * 1.1;

    Wrs = tf([Krs Trs], [1, 0]);       %Регулятор
    W1 = Wrs * W * Wmeh * Wds;       %Прямая цепь
    Ws = feedback(W1, 1);             %Замыкаем систему

    figure(4)
    step(Ws, 'r', 0.4);
    pause(0.5) %пауза чтобы посмотреть картинку

%Осциллограмма, записанная в памяти ЭВМ
[Y, T] = step(Ws, 0.4);
sz = size(Y);

for n = 1 : sz(1)
    Y(n) = rand(1)*0.02*Y(n) + Y(n);;
end
%Максимальное значение
X = max(Y);
%Установившееся значение
Z = Y(end);
%Перерегулирование
Picks = X/Z;

end
figure(6)
step(Ws, 0.4)

```