Министерство образования и науки РФ

**Нижнекамский химико-технологический институт (филиал)**

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения Высшего профессионального образования

«Казанский национальный исследовательский технологический университет»

**РАСЧЕТ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ И ВЫБОР ЭЛЕМЕНТОВ УПРАВЛЯЕМЫХ ВЫПРЯМИТЕЛЕЙ**

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

**Нижнекамск**

**2014**

**УДК 621.314.5**

**Т 83**

Печатается по решению редакционно-издательского совета Нижнекамского химико-технологического института (филиала) ФГБОУ ВПО «КНИТУ».

**Рецензенты:**

**Горбачевский Н.И.,** кандидат технических наук, заведующий кафедрой электротехники и энергообеспечения предприятий НХТИ;

**Касаткин И.И.,** главный энергетик ООО «Нижнекамский завод грузовых шин».

**Тумаева, Е.В.**

**Т 83** Расчет основных параметров и выбор элементов управляемых выпрямителей : методические указания / Е.В. Тумаева, Д.В. Горбунова. –Нижнекамск : Нижнекамский химико-технологический институт (филиал) ФГБОУ ВПО «КНИТУ», 2014. - 16 с.

Рассмотрены основные схемы силовых трехфазных выпрямителей, применяющихся на нефтехимических и нефтеперерабатывающих производствах. Приведена методика расчета и выбора элементов управляемых выпрямителей.

Предназначены для самостоятельной работы студентов очной и заочной формы обучения, изучающих дисциплины «Силовая электроника», «Преобразовательная техника нефтехимических производств». Могут быть использованы при проектировании синхронных электроприводов, а также электроприводов постоянного тока.

Подготовлены на кафедре электротехники и энергообеспечения предприятий НХТИ.

**УДК 621.314.5**

© Тумаева Е.В., Горбунова Д.В., 2014

© Нижнекамский химико-технологический институт

(филиал) ФГБОУ ВПО «КНИТУ», 2014

**СОДЕРЖАНИЕ**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 1 | Основные теоретические сведения о трехфазных выпрямителях... | 4 |
| 1.1 | Трехфазная нулевая схема ………………………………………….. | 4 |
| 1.2 | Трехфазная мостовая схема …………………………………........... | 6 |
| 1.3 | Сравнение многофазных схем выпрямления ………………............ | 8 |
| 1.4 | Управляемые выпрямители тока …………………………………... | 9 |
| 2 | Расчет основных параметров и выбор элементов разрабатываемого устройства …………………………………….... | 11 |
| 2.1 | Расчет и выбор элементов управляемого выпрямителя ………….. | 11 |
| 2.2 | Пример определения расчетных параметров и выбор элементной базы устройства преобразования электроэнергии перемен­ного тока в постоянный ток……………………………………...……….. | 14 |
|  | ЛИТЕРАТУРА ……………………………………………..………... | 16 |

1. **Основные теоретические сведения о трехфазных выпрямителях**

Выпрямителем называется статический преобразователь переменного тока в постоянный, в общем случае состоящий из следующих основных узлов:

1. трансформатора;
2. блока вентильных элементов;
3. выходного фильтра.

Выпрямители обычно классифицируют:

1. по мощности:

- маломощные (до 1кВт);

- средней мощности (до 100 кВт);

- мощные (свыше 100 кВт);

1. по напряжению:

- низкого (до 250 В);

- среднего (до 1000 В);

- высокого (свыше 1000 В);

1. по числу фаз первичной обмотки трансформатора:

- однофазные;

- трехфазные;

- многофазные;

1. по схеме выпрямления:

- со средней точкой;

- мостовые;

1. по способу регулирования выходного напряжения:

- управляемые;

- неуправляемые.

* 1. ***Трехфазная нулевая схема***

Трехфазная схема выпрямления с нулевым выводом приведена на рис. 1а, а временные диаграммы токов и напряжений при *Ld* ***=*** - на рис.1б. [1]

В каждый момент времени в схеме проводит вентиль той фазы, которая наиболее положительна. За нуль принят потенциал нулевого провода. Выпрямленное напряжение формируется из верхушек полуволн. Ток *Id* постоянен, т.к. *Ld* = .

Среднее значение выпрямленного напряжения

*Ud*0 = 1,17*U2ф*. (1.1)

Среднее и амплитудное значения выпрямленного тока

.  (1.2)

|  |  |
| --- | --- |
| 4.7.png  Рис.1. Трехфазная нулевая схема выпрямления (а) и диаграммы токов и напряжений, иллюстрирующие ее работу при *Ld* = (б). | 4.7.png |

Среднее и амплитудное значения тока через вентиль

*Ia*=; (1.3)

*Ia max* = *Id*. (1.4)

Амплитуда напряжения на вентиле

*Ua max*=*U2ф*= *2,09Ud0* . (1.5)

Действующее значение первичного напряжения:

*U1*= *U2·**n* =, (1.6)

где *n* – коэффициент трансформации.

Расчетные мощности обмоток и трансформатора:

*S2* = *3U2**I2* = *3*·= *1,48*·*Pd* . (1.7)

*S1*= *3U1I1* =*3*·=*1,21*·*Pd .* (1.8)

*ST* = = *1,34*·*Pd* . (1.9)

Коэффициент при *Pd* показывает, во сколько раз можно было бы увеличить мощность, пропускаемую через обмотки трансформатора, если бы он работал не на выпрямитель, а на активную нагрузку при синусоидальном токе.

Увеличение расчетной мощности трансформатора вызвано:

1) плохим использованием вторичных обмоток трансформатора, пропускающих ток не все время;

2) загрузкой трансформатора гармониками тока, которые не используются. На выходе выпрямителя нужна только постоянная составляющая.

Полученные результаты для расчетных мощностей не отражают реального расхода активных материалов, так как в трансформаторе имеется поток вынужденного намагничивания, который приводит к несимметричному перемагничиванию сердечника, увеличению тока холостого хода и потерь в стали. Это вызывает увеличение расхода меди и стали. Таковы **недостатки** схемы.

Схема широко применяется в электроприводах постоянного тока малой и средней мощности, а также для питания обмоток возбуждения синхронных двигателей.

**1.2 *Трехфазная мостовая схема***

Трехфазная мостовая схема выпрямления (схема Ларионова) приведена на рис. 2а, а временные диаграммы токов и напряжений при *Ld* = - на рис. 2б. Вентили *V2, V4, V6,*у которых соединены аноды, называют **анодной тройкой вентилей**; *V1, V3, V5*, у которых соединены катоды - **катодной тройкой вентилей**. В катодной тройке вентилей проводит вентиль, у которого анод самый положительный; в анодной тройке вентилей проводит вентиль, у которого катод самый отрицательный. Если в данный момент фаза ***а*** самая положительная, а ***с*** - самая отрицательная, то ток проходит от фазы ***а*** через *V1* в нагрузку, через *V2* на фазу ***с.*** Нумерация вентилей соответствует порядку их работы.

Выпрямленное напряжение *ud*формируется из верхушек линейных напряжений. Ток нагрузки *id*из-за наличия в схеме индуктивности сглажен. На рисунке он представлен прямой линией. Токи через вентили *ia1* ... *ia6* изображаются прямоугольниками, соответствующими участкам проводимости. Вторичный ток *i2a* переменный, а первичный *i1A*имеет такую же форму. В отличие от трехфазной нулевой схемы трансформатор работает в нормальных условиях.

В трехфазной мостовой схеме число пульсаций выпрямленного напряжения за период *m*= 6, тогда

*Ud*0 = *1,35U2Л* = *2,34U2ф* , (1.10)

где *U2Л* ***-*** линейное напряжение на вторичной стороне трансформатора.

Среднее значение выпрямленного тока:

 . (1.11)

Среднее и амплитудное значения тока через вентиль:

*Ia*=, (1.12)

*Ia max* = *Id*. (1.13)

Амплитуда напряжения на вентиле:

*Ua max* = ·*U*2*ф*= *1,045Ud0*. (1.14)

Действующее значение вторичного напряжения, с учетом (1.10)

*U2* =**. (1.15)

Действующее значение вторичного тока, с учетом диаграммы (см. рис.2б)

*I2=* =. (1.16)

Действующее значение первичного тока

*I1*=. (1.17)

Действующее значение первичного фазного напряжения

*U1= U2 ·n*. (1.18)

Расчетная мощность обмоток и расчетная (типовая) мощность трансформатора

*S1*= *S2= ST* =*3* =*1,045*·*Pd* . (1.19)

|  |  |
| --- | --- |
| 4.13 - копия.png  Рис.2. Трехфазная мостовая схема выпрямления (схема Ларионова) (а) и диаграммы токов и напряжений, иллюстрирующие ее работу  при *Ld*= (б). | 4.13.png |

**1.3 *Сравнение многофазных схем выпрямления***

**Преимущества трехфазной мостовой схемы:**

1) минимальная расчетная мощность трансформатора, трансформатор работает в хорошем режиме, нет потока вынужденного намагничивания;

2) самое большое выпрямленное напряжение при том же фазном;

3) малые пульсации;

4) возможность применения схемы без трансформатора.

**Недостаток:** двойное падение напряжения на вентилях, что особенно важно при малых напряжениях.

**Преимущества трехфазной нулевой схемы** (по сравнению с мостовой):

1) простота;

2) меньше падение напряжения на вентилях, что особо важно при низких напряжениях;

3) меньше вентилей, но они рассчитаны на большее напряжение.

**Недостаток:** наличие потока вынужденного намагничивания.

Трехфазные схемы выпрямления находят широкое применение в выпрямителях средней и большой мощности. В большинстве случаев применяется для работы в составе электроприводов постоянного тока.

**1.4 *Управляемые выпрямители***

Управляемые выпрямители позволяют не только выпрямлять напряжение, но и изменять его величину.

Регулировочная характеристика - это зависимость выпрямленного напряжения от угла управления α: *Ud = f* (α) .

На рис. 3а приведена схема управляемого выпрямителя, выполненного по трехфазной нулевой схеме. Временные диаграммы токов и напряжений при *Ld*= приведены на рис. 3б. При построении приняты допущения, что вентили и трансформатор идеальны.

Для регулирования выпрямленного напряжения нужно изменять угол управления. Диаграмма рис. 3б иллюстрирует работу выпрямителя в непрерывном режиме.

. (1.20)

Выражение (1.20) является уравнением регулировочной характеристики выпрямителя в непрерывном режиме. Его часто записывают в относительных единицах (/ = *f*(α)), принимая за базу напряжение :

= *cosα.* (1.21)

Диаграмма рис. 3в иллюстрирует работу выпрямителя в прерывистом режиме при *Ld*= . Из диаграммы видно, что если угол управления станет меньше 30, то прерывистый режим сменится непрерывным. Угол управления, при котором меняется режим, называется граничным.

На рис.4. представлены регулировочные характеристики в относительных единицах для различных схем выпрямления. За базовое принято выпрямленное напряжение неуправляемого выпрямителя *Ud0*. Таким образом, вид регулировочной характеристики зависит от режима

В непрерывном режиме регулировочная характеристика идеального выпрямителя не зависит от вида нагрузки. В прерывистом режиме регулировочная характеристика зависит от схемы (пульсности) и величины индуктивности. С ростом индуктивности нагрузки замедляется спад анодных токов, и, поэтому растет граничный угол. Одновременно из-за появления отрицательных участков выпрямленного напряжения уменьшается угол управления, при котором среднее значение выпрямленного напряжения становится равным нулю.

Таким образом, диапазон изменения угла управления, необходимый для полного регулирования выпрямленного напряжения определяется регулировочной характеристикой выпрямителя.

|  |  |
| --- | --- |
| управ - копия.png  Рис.3. Управляемый выпрямитель по трехфазной нулевой схеме (а) и диаграммы токов и напряжений, иллюстрирующие его работу при *Ld*= , *Lа*= 0 (б) и *Ld*= 0,  *Lа*= 0 (в). | управ.png |

|  |  |
| --- | --- |
| Рис.4. Регулировочные характеристики управляемых выпрямителей. | график.png |

**2. Расчет основных параметров и выбор элементов**

**разрабатываемого устройства**

Основная задача конструирования - реализация схемы устройства пу­тем выбора, размещения и обеспечения функциональных связей электриче­ских аппаратов, блоков модулей, узлов, связанных друг с другом силовыми цепями, цепями управления и информации. Важным этапом при этом явля­ется выбор аппаратной и элементной базы устройства. Выбор аппаратной и элементной базы производится по справочной литературе на аппараты и эле­менты с одновременным сравнением данных, указанных в справочниках по эксплуатационным характеристикам с соответствующими значениями, ука­занными в расширенном техническом задании (ТЗ) на разработку устройства или полученных рас­четным путем.[2]

При выборе элементов учитывается:

* совместимость аппаратов и элементов (конструктивная, электри­ческая, электромагнитная, по условиям эксплуатации);
* соответствие элементной базы условиям эксплуатации, указанным в расширенном ТЗ;
* совместимость элементной базы по надежности.

Для повышения надежности устройства при выборе элементов рабочий диапазон параметров элементов по паспорту должен иметь 20 % запас.

При выборе по справочникам элементной базы учитываются показате­ли качества с весовыми коэффициентами, заданными в индивидуальном за­дании.

По результатам анализа электрической принципиальной схемы и вы­бора аппаратов и элементов устройства составляется таблица сравнитель­ных технических характеристик элементной базы устройства. По суммарной установочной площади и массогабаритным показателям элементов произво­дится предварительная компоновка модулей, блоков и всего устройства в це­лом, в зависимости от степени защиты и условий эксплуатации.

* 1. *Расчет и выбор элементов управляемого выпрямителя*

Порядок расчета. По заданным параметрам сети переменного тока, напряжению на стороне постоянного тока (или необходимому диапазону его изменения), выходным значениям напряжения и тока (Ud, Id) производится расчет трансформатора преобразователя.

Расчетное значение фазного напряжения вторичной обмотки трансформатора *U*2ф определяют по формуле:

*U*2ф = kU ·kc ·kα ·kR· Ud . (2.1)

Коэффициент kU , характеризующий соотношение на­пряжений U2ф/Ud в идеальном выпрямителе, приведен в табл.2.1.

Коэффици­ент запаса kc =1,05-1,1 учитывает возможное снижение напряжения сети на 5-10 % от Uс.ном.

Коэффициент kα =1,05-1,1 учитывает неполное открыва­ние тиристоров.

Коэффициент kR=1,05-1,1 учитывает падение напряжения в обмотках трансформатора и в тиристорах.

**Таблица 2.1.**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Наименование схемы  выпрям­ления | Коэффициенты | | | | | |
| kU =  U2ф /Udo | kI =  I2ф /Id | ks=  Sтр /(Udo ·Id) | kUобр =  Uобр.макс /Udo | kф =  Iв.дейст /Iв.ср | Iср /Iдейст |
| Однофазная двух полупериодная (нулевая) | 1,11 | 0,707 | 1,34 | 3,14 | 1,41 | 0,5 |
| Однофазная  мостовая | 1,11 | 0,707 | 1,11 | 1,57 | 1,41 | 0,5 |
| Трехфазная  ну­левая | 0,855 | 0,577 | 1,35 | 2,09 | 1,73 | 0,33 |
| Трехфазная  мос­товая | 0,427 | 0,817 | 1,05 | 1,05 | 1,73 | 0,33 |

Расчетное действующее значение тока вторичной обмотки определяют по формуле:

*I*2.ф.расч= kI ·ki· Id . (2.2)

Коэффициент схемы kI (табл. 2.1), характеризует отношение токов I2ф /Id в идеальном выпрямителе.

Коэффициент ki = 1,05-1,1 учитывает отклонение формы анодного тока тиристоров от прямоугольной.

Действующее значение тока первичной обмотки:

*I*1.ф.расч = *I*2.ф.расч / kтр . (2.3)

Коэффициент трансформации трансформатора kтр=*w*1/*w*2=0,95 U1ф /U2ф.

Определяют расчетную типовую мощность трансформатора, кВА,

Sтр= ks ·kc ·kα ·ki· Ud ·Id ·**, (2.4)

где коэффициент ks - коэффициент схемы (табл.2.1), характеризующий соот­ношение мощностей Sтр/Ud ·Id для идеального выпрямителя с нагрузкой на противоЭДС.

На основании расчетных данных (I1, I2, U2, Sтр) выбирается по спра­вочнику силовой трансформатор.

Выбор тиристоров производится по предельному значению тока, про­текающего через прибор, и максимальному значению обратного напряже­ния с учетом условий охлаждения тиристора и отличия формы тока от полусинусоиды.

В трехфазных схемах тиристорных преобразователей при работе на якорь двигателя или на обмотку возбуждения со значительной индуктивностью си­ловой цепи, ток, протекающий через тиристоры, имеет форму близкую к прямоугольной, а угол проводимости λ составляет 120°. В этом случае дейст­вующее значение тока:

*I*д= *1,73*·Id /*3*. (2.5)

Среднее значение прямого тока тиристора в заданной схеме управле­ния определяется по формуле:

*I*ср.расч =. (2.6)

Коэффициент kзI = (2-2,5) - коэффициент запаса по току, учитывает крат­ность пускового тока;

*m*Т - число фаз преобразовательного силового транс­форматора.

*k*охл - коэффициент, учитывающий интенсивность охлаждения силового тиристора (*k*охл=1,0 при принудительном и *k*охл=0,33-0,35 при есте­ственном воздушном охлаждении со стандартным радиатором, соответствующим данному типу полупроводникового прибора).

Расчетное значение максимального обратного напряжения, прикладываемого к тиристорам, вы­числяется по формуле:

*U*обр.расч = kз.U ·kUобр· Udo .(2.7)

kз.U = (1,4 - 1,6) - коэффициент запаса по напряжению, учитывающий воз­можные повышения напряжения питающей сети и периодические выбросы (*U*обр, обусловленные процессом коммутации вентилей.

kUобр (табл.2.1) - ко­эффициент обратного напряжения, равный отношению напряжений Uобр.max /Udo  принятой схемы выпрямления.

Udo= U2ф / kU **-** напряжение на выходе преобразователя при α=0.

По полученным данным выбираются силовые тиристоры, имеющие параметры:

*I*ср.т *I*ср.расч ;

*U*п *U*обр.расч . (2.8)

Выбор сглаживающего реактора, включенного последовательно с яко­рем двигателя, производится из условий обеспечения непрерывности тока двигателя во всем диапазоне нагрузок от Idмин до Idном и изменении угла ре­гулирования от αмин до α=90°, а также ограничения пульсаций выпрямлен­ного тока id до (0,03-0,05)Id ном, которые ухудшают процессы коммутации на коллекторе двигателя и увеличивают потери, и, соответственно нагрев двига­теля.

С достаточной для инженерных расчетов точностью, требуемая сум­марная индуктивность якорной цепи преобразователь-двигатель, равная

Ld **=** Lдв +Lтр +Lс.р может быть определена по формуле:

Ld.необх ≥ . (2.9)

**-** действующее значение 1-й гармоники выпрямленного на­пряжения;

Id мин - минимальный ток нагрузки преобразователя, принимаемый равны (3-5) % от I*d*ном;

т- число пульсаций выпрямленного напряжения за период частоты напряжения сети.

Действующее значение 1-й гармоники выпрямленного напряжения Ud1 при предельном угле регулирования α = 90° для соответствующего значения числа пульсаций т определяется по известному значению Udo :

если т=2,Ud1/Udo=0,93;

если т=3, Ud1/Udo=0,52;

если *m*=6, Udl /Udo=0,26.

Необходимая индуктивность сглаживающего реактора будет равна:

Lc.p= Ld.необх **-** (*L*дв + *L*тр), (2.10)

где Lдв = Lя.д + Lд.п - индуктивность якоря и дополнительных полюсов дви­гателя для машин постоянного тока рассчитывается по формуле:

Lдв = . (2.11)

k - коэффициент, равный (0,5-0,6) для некомпенсированных и *k*=0,1 для компенсированных машин;

рпи ωном - число пар полюсов и номи­нальная угловая скорость двигателя.

Индуктивность фазы трансформатора, приведенная к кон­туру двигателя, приближенно можно определить по зависимости:

Lтр =.  (2.12)

Lтр 2·, (2.13)

где *uk* % - напряжение короткого замыкания трансформатора (*u*к %=(3-6)%),

ωс=2fc -угловая частота 1-ой гармоники напряжения сети при f1=50 Гц.

**2.2 *Пример определения расчетных параметров и выбор элементной базы устройства преобразования электроэнергии перемен­ного***

***тока в постоянный ток***

Расчеты параметров преобразователя и выбор элементов произведем для двигателя постоянного тока.

Исходные данные: параметры электродвигателя *Рн*=8,8 кВт, *U*н=220 В, *I*н=48 А, *n*н=1500 об/мин, 2р=4, rЯ+rД.П=0,274 Ом. Преобразователь собран по 3-фазной мостовой схеме. Uc=380 B, f1=50 Гц.

1. *Выбор силового трансформатора.*

Фазное напряжение вторичной обмотки трансформатора:

*U*2ф = kU ·kc ·kα ·kR· Ud = 0,427·1,1· 1,1· 1,1 ·220=125 (В).

Действующее фазное значение тока вторичной обмотки транс­форматора:

*I*2.ф.расч= kI ·ki· Id = 0,817·1,1·48=43,14 (А).

Действующее значение фазного тока первичной обмотки трансформа­тора:

*I*1.ф.расч = *I*2.ф.расч / kтр = *I*2.ф.расч · U2ф /0,95·U1ф =(43,14 ·125)/(0,95·220)=25,8 (A).

Типовая мощность трансформатора:

Sтр= ks ·kc ·kα ·ki· Ud ·Id · = 1,05· 1,1 ·1,1· 1,1 ·220·48·=14,76 (кВа).

С учетом не полной загрузки двигателя заданной в исходных данных М/Мн=0,9 выбираем силовой 3-фазный трансформатор типа ТТ-14 со сле­дующими параметрами: *Р*н= 14 кВА, *U*1л= 380 В, *U*2л = 208 В, *I*1л=25 А, *u*к = 10%.

*2) Выбор тиристоров.*

Среднее значение тока через тиристор:

*I*ср.расч = = = 91,4 (А)

Максимальное обратное напряжение на тиристоре:

*U*обр.расч = kз.U ·kUобр· Udo = kз.U ·kUобр· Udo·(*U*2ф /kU) = 1,6·1,05·(125/0,427) = 492 (В)

Следовательно, тиристоры должны быть не ниже 6 класса (квалификационное напряжение не ниже 600 В).

Выбираем тиристор типа Т151-100, который имеет длительно до­пустимое среднее значение номинального рабочего тока в классификацион­ной схеме равное 30 А, в условиях естественного охлаждения с типовым ох­ладителем типа 0151-80 - при Тос = 40 °С (в рассматриваемой схеме преобра­зователя длительный ток через тиристор: Id/3=48/3=16А)

*3) Расчет индуктивности сглаживающего реактора.*

Lс.р = – (Lдв + Lтр).

Индуктивность якоря электродвигателя вычисляем по формуле:

Lдв = *k* · = = 0,73·10-3 Гн ,

где =π·*n*н/30 = 3,14·1500/30 = 157 - угловая частота.

Индуктивность силового трансформатора:

Lтр  2· = 2= 1,85· Гн.

Необходимая индуктивность цепи якоря:

Lнеобх =  = 2,4·10-3 Гн ,

где при m=6 Ud1 = 0,26·U2фн/kф = 0,26·125/0,427 = 76,1 В.

Сумма индуктивностей *L*дв+*L*тр=2,58·10-3 Гн достаточна для обеспе­чения непрерывности тока и применять дополнительно сглаживающий реактор при заданных условиях нет необходимости.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Анисимов, В.А. Проектирование электротехнических устройств : учебное пособие / В.А. Анисимов, А.О. Горнов, А.А. Фролов; под ред. В.В. Москаленко. - М.: Изд-во МЭИ, 2001.
2. Гельман, М.В. Преобразовательная техника : учебное пособие / М.В. Гельман, М.М. Дудкин, К.А. Преображенский. – Челябинск : Издательский центр ЮУрГУ, 2009.

**Учебное издание**

**Тумаева Е.В.**

кандидат технических наук, доцент

**Горбунова Д.В.**

**РАСЧЕТ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ И ВЫБОР ЭЛЕМЕНТОВ УПРАВЛЯЕМЫХ ВЫПРЯМИТЕЛЕЙ**

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Корректор Габдурахимова Т.М.

Худ. редактор Федорова Л.Г.

Сдано в набор 2.06.2014

Подписано в печать 24.06.2014.

Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.

Тираж 100.

Заказ №33.

НХТИ (филиал) ФГБОУ ВПО «КНИТУ».

г. Нижнекамск, 423570, ул.30 лет Победы, д.5а.