

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Минцаев Магомед Шавалович

Должность: Ректор

Дата подписания: 23.11.2023 14:58:02

Уникальный программный ключ:

236bcc35c296f119d6aafdc22836b21db52dbc07971a86865a5825f9fa4304cc

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования

«Уфимский государственный нефтяной технический университет»

Кафедра электротехники и электрооборудования предприятий

## **Методология проектирования в электроэнергетике и электротехнике**

Учебно-методическое пособие  
к выполнению практических работ

Уфа

2020

Учебно-методическое пособие содержит методические указания к выполнению практических работ и соответствует требованиям рабочей учебной программы по дисциплине «Методология проектирования в электроэнергетике и электротехнике».

В пособии приведен список литературы и необходимого оборудования, даны рекомендации по выполнению практических работ в аудитории под руководством преподавателя, а также для самостоятельной работы в кабинете. Описаны требования к оформлению результатов выполнения практических работ и рекомендации по подготовке к рубежному контролю.

Пособие предназначено для студентов магистратуры всех форм обучения, обучающихся по направлению подготовки 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника» (МАЭ02, МАЭ03, МАЭ04, МАЭ05) очной формы обучения.

*Публикуется в авторской редакции.*

Составители: Саттаров Р.Р., д-р техн. наук, проф. каф. ЭЭП  
Хазиева Р.Т., канд. техн. наук, доцент каф. ЭЭП  
Стрельников Д.С., магистрант группы МАЭ02-19-01

Рецензенты: Калимгулов А.Р., канд. физ.-мат. наук, доц. каф. ЭЭП  
Рябишина Л.А., канд. техн. наук, доц. каф. ЭЭП

## Содержание

Введение.....	4
Цели и задачи.....	5
Практическая работа №1. Математическое моделирование защиты минимального напряжения.....	7
Практическая работа №2. Математическое описание канала связи и упрощенная компьютерная модель передачи цифрового сигнала со временем.....	16
Требования к оформлению практических занятий.....	20
Список литературы.....	21
Приложение 1.....	22

## Введение

Дисциплина «Методология проектирования в электроэнергетике и электротехнике» тесно связана с другими дисциплинами – математическое моделирование в задачах электроэнергетики, теоретические и экспериментальные методы научных исследований, современные проблемы науки, техники и технологии, производственная (технологическая) практика, научно-исследовательская работа.

Методические указания помогут студентам понять логику и последовательность выполнения практических занятий. Приводится план и порядок выполнения практических занятий, излагаются требования к оформлению их результатов, дан список основной и дополнительной литературы.

В процессе выполнения практических занятий не только закрепляется теоретический материал, но и развиваются экспериментальные навыки, наблюдательность и умение вырабатывать обоснованные суждения, без которых невозможно обойтись в практической научной и производственной деятельности.

Методические указания позволят студентам лучше подготовиться к регулярным опросам, проводимым на практических занятиях, к рубежному модульному контролю, после прохождения соответствующих теоретических разделов, предусмотренных при изучении дисциплины «Методология проектирования в электроэнергетике и электротехнике».

## Цели и задачи

К квалификации магистра предполагает в процессе обучения выработку у студентов необходимых компетенций, которые предусмотрены при изучении дисциплины «Методология проектирования в электроэнергетике и электротехнике», а именно должен:

знать:

- основные понятия методов математического моделирования, используемых при изучении общетеоретических и специальных дисциплин и в инженерной практике;

- принципы формирования и анализа основных энергетических уровней математической физики;

- основные составляющие процессов производства, распределения и потребления электрической энергии;

- производственный потенциал электроэнергетики;

- основные методы, способы и средства получения, хранения и переработки энергии; актуальные задачи и проблемы электроэнергетики и электротехники;

- современные аналитические методы и модели комплексного инженерного анализа;

уметь:

- рассчитывать основные показатели производственной деятельности в электроэнергетике;

- рассчитывать основные показатели энергоэффективности и энергосбережения;

- пользоваться методами анализа технического уровня объектов техники и технологии для определения их соответствия действующим техническим условиям и стандартам;

- осуществлять подготовку исходных данных для проектирования систем электроснабжения промышленных предприятий;

владеть:

- методиками диагностирования электроэнергетического оборудования;
- навыками составления математических моделей и их информационно-технической адаптацией к реальным проблемам электроэнергетики;
- навыками оформления, представления и защиты результатов исследований, опытом разработки технической документации при решении определенных задач профессиональной деятельности

В связи с чем выполнение практических занятий направлено на:

- закрепление и углубление теоретических знаний, полученных студентами во время лекционных занятий;
- приобретение навыков самостоятельной работы по приложению теоретических знаний к решению конкретных экспериментальных задач;
- овладение методикой исследования, обобщения и логического изложения материала;
- приобретение и закрепление навыков пользования справочной, специальной научной литературой, руководящими документами газовой отрасли, ГОСТами, ОСТами, ТУ, РД и др.;
- обучение ясности и четкости письменного и устного изложения результатов выполненной работы.

## Практическая работа №1

### Математическое моделирование защиты минимального напряжения

Цель: рассчитать параметры защиты минимального напряжения

#### Определение исходных данных

Для того, чтобы рассчитать параметры защиты минимального напряжения, необходимо для начала задаться исходными данными элементов системы (электродвигателей, трансформатора, воздушных линий), а также перевести параметры энергосистемы в относительные единицы (индекс \* в обозначении параметров энергосистемы будет обозначать, что параметр рассчитан в относительных единицах).

В таблицах 1.1 – 1.3 представлены паспортные данные используемых в модели электродвигателей, трансформатора и линий электропередач.

Таблица 1.1 – Технические характеристики электродвигателей

Наименование и обозначение	Значение	
	АТД-5000	СТД-8000
Номинальное напряжение $U_{ном.}$ , кВ	10	10
Мощность двигателя $P$ , кВт	5000	8000
Полная мощность двигателя $S$ , кВ·А	9090	9130
Реактивная мощность двигателя $Q$ , квар	3667	3980
Номинальная скорость вращения $n$ , об/мин	2985	3000
Коэффициент мощности $\cos\varphi$ , о.е.	0,915	0,9
КПД $\eta$ , %	96,5	97,7
Кратность пускового момента $M_{пуск.}/M_{ном.}$ , о.е.	0,7	2,2
Кратность пускового тока $I_{пуск.}/I_{ном.}$ , о.е.	5,6	7,22
Кратность критического момента $\lambda$ , о.е.	2,4	2,07

Таблица 1.2 – Технические характеристики трансформатора типа ТРДН-

Наименование и обозначение	Значение
Номинальная мощность $S_{\text{ном.}}$ , кВ·А	40000
Напряжение обмотки высшего напряжения $U_{\text{ВН}}$ , кВ	115
Напряжение обмотки низшего напряжения $U_{\text{НН}}$ , кВ	11,0
Потери холостого хода $\Delta P_{\text{ХХ}}$ , кВт	30
Потери короткого замыкания $\Delta P_{\text{КЗ}}$ , кВт	200
Напряжение короткого замыкания $U_{\text{КЗ}}$ , %	10,5
Ток холостого хода $I_{\text{ХХ}}$ , %	0,55

Таблица 1.3 – Технические характеристики линий электропередач

Наименование и обозначение	Значение		
	ВЛ1	ВЛ2	КЛ
Длина $L$ , км	40	40	0,5
Удельное индуктивное сопротивление $X_0$ , Ом/км	0,434	0,43 4	0,07 9

Для построения математической модели использовался метод относительных единиц. Данная система упрощает сложные расчёты, придавая результатам наглядность и универсальность.

Относительная величина – это отношение некоторой исходной величины к некоторой одноимённой величине, принятой за единицу измерения (базисная единица).

Для расчёта необходимо задаться базисными величинами (базисная мощность, базисное напряжение, базисный ток), относительно которых и будут рассчитаны параметры элементов схемы замещения.

Значение базисной мощности принимают обычно таким, чтобы удобно было производить расчёты. Принимаем  $S_b = 100 \text{ МВ} \cdot \text{А}$ . Значение базисного напряжения принимают его равным среднему номинальному напряжению сети,



которое примерно на пять процентов выше номинального:

$$U_{б.1} = 1,05 \cdot U_{ном.} = U_{ср.} \quad (1.1)$$

Базисное напряжение на ступени II:

$$U_{б.1} = U_{ном.} \cdot U_{б.1} / U_{осн} \quad (1.2)$$

где  $U_{ном.}$  – среднее номинальное напряжение искомой ступени напряжения сети, кВ;

$U_{осн.}$  – среднее номинальное напряжение первой ступени напряжения сети, кВ;

$U_{б.1}$  – значение напряжения источника, кВ.

Базисный ток:

$$I_{б.n} = S_б / \sqrt{3} U_{бn} \quad (1.3)$$

где  $n$  – номер ступени.

После подстановки данных в (1.1) – (1.3), получим базисные величины, результат расчёта представлен в таблице 1.4.

Таблица 1.4 – Базисные величины для расчёта в системе относительных единиц

Наименование и обозначение	Значение
Базисная мощность $S_б.$ , МВ·А	100,0
Базисное напряжение первой ступени $U_{б.1}$ , кВ	115,0
Базисное напряжение второй ступени $U_{б.2}$ , кВ	10,5
Базисный ток первой ступени $I_{б.1}$ , кА	0,499
Базисный ток второй ступени $I_{б.2}$ , кА	5,475

#### Система уравнений и допущения

Для построения математической модели за основу была взята типовая схема электроснабжения нефтеперекачивающей станции для одной секции

шин (рисунок 2.1). С помощью данной модели возможно описать работу энергосистемы и защиты минимального напряжения при коротких замыканиях во внешней сети.

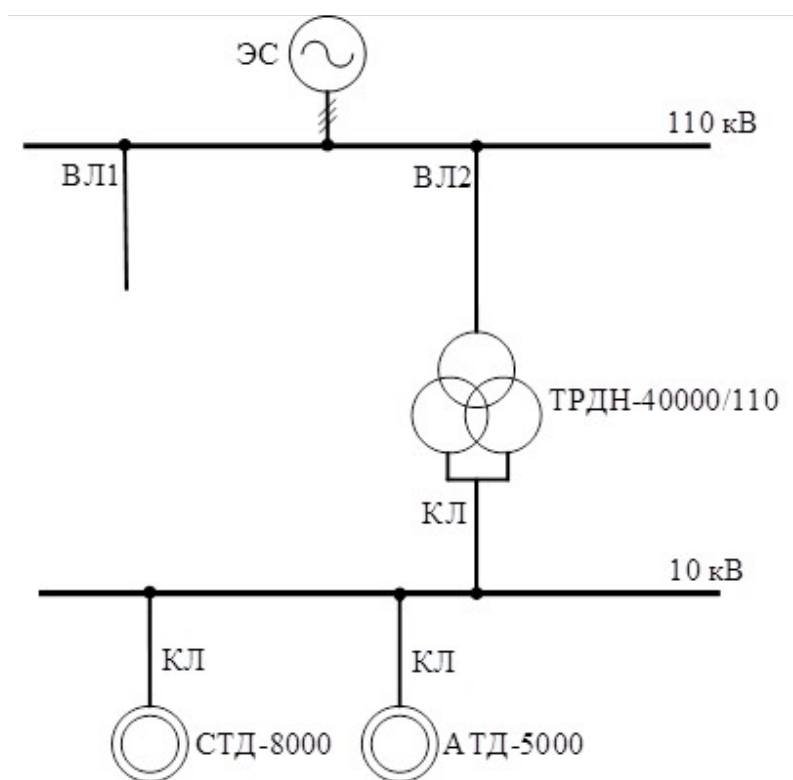


Рисунок 2.1 – Схема для проведения исследований

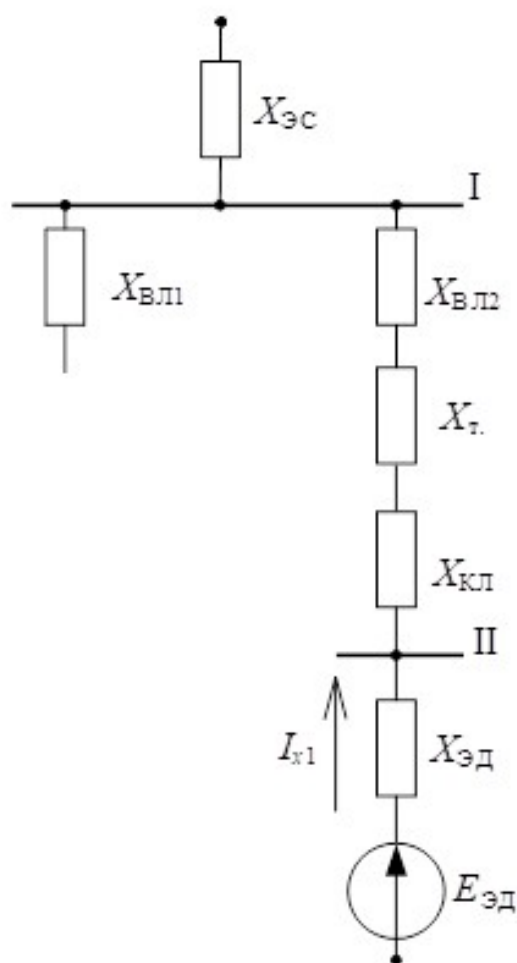
Закрытое распределительное устройство (ЗРУ) НПС получает питание от шин районной подстанции энергетической системы (ЭС) по воздушной линии (ВЛ) электропередач 110 кВ. Энергия к ЗРУ НПС подводится по кабельной линии (КЛ) напряжением 10 кВ. На секции шин 10 кВ установлены высоковольтный синхронный двигатель (СД) и высоковольтный асинхронный двигатель (АД).

Моделирование проводилось для потери питания в сети 110 кВ на смежной линии (ВЛ1) и питающей линии (ВЛ2).

Для составления математической модели и проведения с её помощью дальнейших расчётов необходимо составить схемы замещения выбранной энергосистемы при потере питания. Для этого элементы расчётной энергосистемы заменяются своими сопротивлениями, в дополнение в этому электродвигатели и питающая энергосистема задаются эквивалентными

источниками электродвижущей силы (ЭДС).

Для трёхфазного короткого замыкания на смежной линии ВЛ1 схема замещения будет выглядеть следующим образом (рисунок 1.2).



$X_{ВЛ1}$  – сопротивление ВЛ1 от шин 110 кВ;  $X_{Эс}$  – сопротивление сети;  $X_{ВЛ2}$  – сопротивление ВЛ2;  $X_{т.}$  – сопротивление трансформатора;  $X_{кЛ}$  – сопротивление кабельной линии;  $X_{Эд}$  – эквивалентное сопротивление двигателей;  $E_{Эс}$  – эквивалентная ЭДС энергосистемы;  $E_{Эд}$  – эквивалентная ЭДС двигателей

Рисунок 2.2 – Схема замещения расчёта режима потери питания

Расчёт уставки ЗМН будет проводиться в относительных единицах. После включения секционного выключателя при работе АВР в режиме самозапуска оказываются электродвигатели секции шин, терявшей питание. При этом не должны работать реле напряжения ЗМН-1 резервирующей (смежной) секции шин.

Напряжение  $U_{сзп}$  в этом случае определяется, во-первых, с учетом нагрузочного режима ЭД смежной секции шин, не терявшей питание. Во-вторых, при определении остаточного напряжения ЭД, участвующие в самозапуске, учитываются своими сверхпереходными сопротивлениями.

Ток самозапуска двигателей можно найти как ток, равный току трёхфазного короткого замыкания за двигателем (рисунок 2.3).

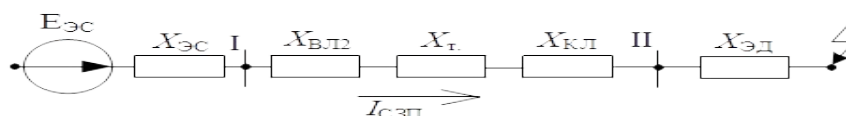


Рисунок 2.3 – Схема замещения для расчёта тока самозапуска двигателей

### Допущения

При расчёте параметров обычно принимают следующие основные допущения:

- Частота в энергосистеме неизменна.
- Высшие гармонические составляющие отсутствуют.
- Взаимоиндукция между элементами не учитывается (в случае использования однолинейных расчётных схем).
- Нагрузка по фазам симметрична (в случае использования однолинейных расчётных схем).
- Параметры установившегося режима не зависят от времени.
- Влияние внешних факторов (интенсивность освещения, скорость ветра, наличие гололёда, изменение электрические параметров при механических деформациях и т. д.) не учитывается.

## Система уравнений

$$E^*_{\text{ЭС}} = U_{\text{осн}} / U_{6.1}$$

$$X^*_{\text{ЭС}} = (S_6 / S_{\text{КЗ}}) * (U_{\text{осн}} / U_{6.1})^2$$

$$X^*_{n} = (S_6 / U_{6.1}^2) * X_0 * L$$

$$X^*_{T} = (U_{\text{КЗ}} / 100) * (S_6 / S_{\text{НОМ}})$$

$$X^*_{\delta} = X''^*_{\text{НОМ}} * (S_6 / S_{\text{НОМ}}^{\delta})$$

$$|E''^*_{\delta}| = \sqrt{((1 \pm K_{3.д.} * X''^*_{\text{НОМ}} * \sin \varphi_{\text{НОМ}})^2 + (K_{3.д.} * \cos \varphi_{\text{НОМ}} * X''^*_{\text{НОМ}})^2)}$$

$$\sin \varphi_{\text{НОМ}} = \sqrt{(1 - \cos \varphi_{\text{НОМ}})^2}$$

$$E^*_{\delta} = |E''^*_{\delta}| * (U_{\text{НОМ}}^{\delta} / U_{6.1}) * e^{-j\delta^{\circ}}$$

$$\delta_{д} = \arctg((X_{\text{СУМ}} * K_3 * P) / (U^2 \pm X_{\text{СУМ}} * K_3 * Q))$$

$$X_{\text{СУМ}} = (X^*_{\text{ЭС}} + X^*_{\text{ВЛ2}} + X^*_{T} + X^*_{\text{КЛ}}) * (U_{6.1}^2 / S_6) + X^*_{\delta} * (U_{6.1}^2 / S_6)$$

$$X^*_{\text{ЭД}} = (X^*_{\text{АД}} * X^*_{\text{СД}}) / (X^*_{\text{АД}} + X^*_{\text{СД}})$$

$$E^*_{\text{ЭД}} = (E^*_{\text{АД}} * X^*_{\text{СД}} + E^*_{\text{СД}} * X^*_{\text{АД}}) / (X^*_{\text{АД}} + X^*_{\text{СД}})$$

$$X^*_{\text{ЭКВ}} = X^*_{\text{ЭД}} + X^*_{T} + X^*_{\text{КЛ}}$$

$$U^*_{\text{ЗМН}} = U_{\text{СЗП}} / K_{\text{отс.}}$$

$$U_{\text{СЗП}} = I^*_{\text{СЗП}} * X^*_{\text{ЭД}}$$

$$I^*_{\text{СЗП}} = U^*_{\text{осн}} / X^*_{\text{СУМ}}$$

$$U_{\text{ЗМН}} = U^*_{\text{ЗМН}} * U_{6.1}$$

Для данной системы уравнений:

$E^*_{\text{ЭС}}$  - ЭДС энергосистемы рассчитывается по формуле:

$U_{\text{осн.}}$  – среднее номинальное напряжение первой ступени напряжения сети, кВ;

$U_{6.1}$  – значение напряжения источника, кВ.

$X^*_{\text{ЭС}}$  - индуктивное сопротивление системы

$S_{\text{КЗ}}$  – мощность, развиваемая энергосистемой при коротких замыканиях на её шинах 110 кВ при заданном в исходных данных напряжении (для данной энергосистемы мощность короткого замыкания  $S_{\text{КЗ}} = 2100 \text{ МВ} \cdot \text{А}$ ).

$X^*_{n}$  - сопротивление линии электропередачи

$n$  – индекс линии электропередач (ВЛ1, ВЛ2, КЛ);

$X_0$  – удельное индуктивное сопротивление линии, Ом/км;

$L$  – длина линии, км.

В модели используется трансформатор напряжением 110/10 кВ. У трансформаторов с таким напряжением и выше активным сопротивлением можно пренебречь, так как активное сопротивление по сравнению с индуктивным мало.

$X_{*T}$  – сопротивление трансформатора

$U_{K3}$  – напряжение КЗ трансформатора по паспортным данным, %;

$S_{ном.}$  – номинальная мощность трансформатора, МВ·А.

Синхронные и асинхронные двигатели вводятся сверхпереходными сопротивлениями и сверхпереходными ЭДС.

$X_{*\delta}$  – Сопротивление двигателя, приведённое к базисным условиям.

$X''_{*ном}$  – сверхпереходное сопротивление двигателя, приведённое к номинальным условиям, о.е.;

$S_{ном}^{\delta}$  – номинальная мощность двигателя, МВ·А.

$|E''_{*\delta}|$  – сверхпереходная ЭДС двигателя при номинальной нагрузке в относительных единицах, приведённых к номинальным условиям (для АД угол отставания ЭДС двигателя от напряжения в сети считается со знаком « $\leftarrow$ » в знаменателе, для СД – со знаком « $\rightarrow$ »)

$\cos\varphi_{ном.}$  – номинальный коэффициент мощности двигателя, о.е.;

$K_{з.д.}$  – коэффициент загрузки ЭД ( $K_{з.д.} = 1$ ).

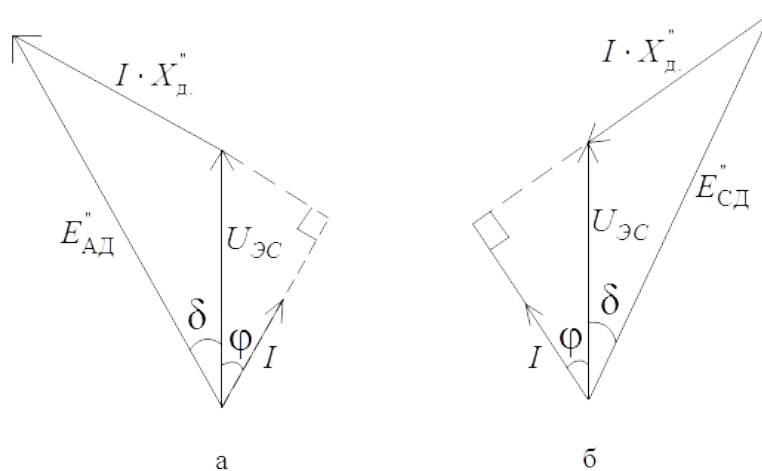
$\sin\varphi_{ном.}$  – коэффициент активной мощности

$E_{*\delta}$  – ЭДС двигателя в комплексной форме, приведённая к базисному напряжению

$\delta$  – угол рассогласования (угол нагрузки), град. Его необходимо учитывать, так как ЭДС электродвигателей и напряжение питания от сети не совпадают по фазе, разница между ними может достигать нескольких десятков градусов в зависимости от нагрузки на валу и длительности короткого замыкания (рисунок 2.1).

$X_{сум.}$  – суммарное сопротивление системы и двигателя, Ом;

$K_3$  – коэффициент загрузки;  
 $P$  – активная мощность, потребляемая из сети в номинальном режиме, кВт;  
 $U$  – напряжение на зажимах двигателя, кВ;  
 $Q$  – реактивная мощность, кВАр.



а – для асинхронного двигателя; б – для синхронного двигателя

Рисунок 2.2.1 – Угол рассогласования между ЭДС сети и двигателя

$X_{\text{сум}}$  - суммарное сопротивление системы в именованных единицах для выбранной схемы электроснабжения.

$U_{*ЗМН}$  - напряжение срабатывания ЗМН-1

$U_{\text{СЗП}}$  – напряжение самозапуска, равное остаточному напряжению питания на шинах при самозапуске электродвигателей;

$K_{\text{отс}}$  – коэффициент отстройки.

$U_{\text{СЗП}}$  -напряжение самозапуска

$I_{*СЗП}$  – ток самозапуска двигателей;

$X_{*ЭД}$  – эквивалентное сопротивление двигателей.

$U_{*осн.}$  – основное напряжение ( $U_{*осн.} = 1$ );

$X_{*сум.}$  – суммарное сопротивление питающей электрической сети и двигателей.

## Практическая работа №2

### Математическое описание канала связи и упрощенная компьютерная модель передачи цифрового сигнала со временем

Цель: математической стороны процесс передачи сигнала и увидеть слабые стороны, для которых требуется решение.

Точное математическое описание любого канала обычно весьма сложное. Вместо этого используют упрощенные математические модели, которые позволяют выявить все важнейшие закономерности реального канала.

Для описания канала связи, следует задать область  $V_x$  некоторого функционального пространства, которая называется областью допустимых входных воздействий. Указание этой области описывает характер входных сигналов, которые могут быть непрерывными, дискретными, цифровыми детерминированными или случайными. Аналогично должна быть определена область  $V_y$  допустимых выходных сигналов. Математической моделью системы (канала) называют совокупность системного оператора  $L$  и областей допустимых сигналов  $V_x$  и  $V_y$ . Классификацию систем (каналов) можно проводить на основании характерных свойств их математических моделей

Дискретно-непрерывный канал с независимыми символами  $b_i$  на входе и непрерывным сигналом  $z(t)$  на выходе описывается априорными вероятностями входных символов  $P(b_i)$  и переходными (условными) плотностями  $w[z/b_i]$  принимаемой реализации  $z(t)$  при условии передачи символа  $b_i$ . Дискретно-непрерывный канал можно описать апостериорными вероятностями  $P[b_i/z]$  передачи символа  $b_i$  при фиксации на приеме колебания  $z(t)$ . Согласно формуле Байеса:

$$P(b_i/z) = P(b_i) * w[z/b_i] / w(z),$$

$$\text{Где } w(z) = \sum_{i=0}^{m-1} P(b_i) * w[z/b_i]$$

Частным случаем дискретного канала является цифровой канал связи



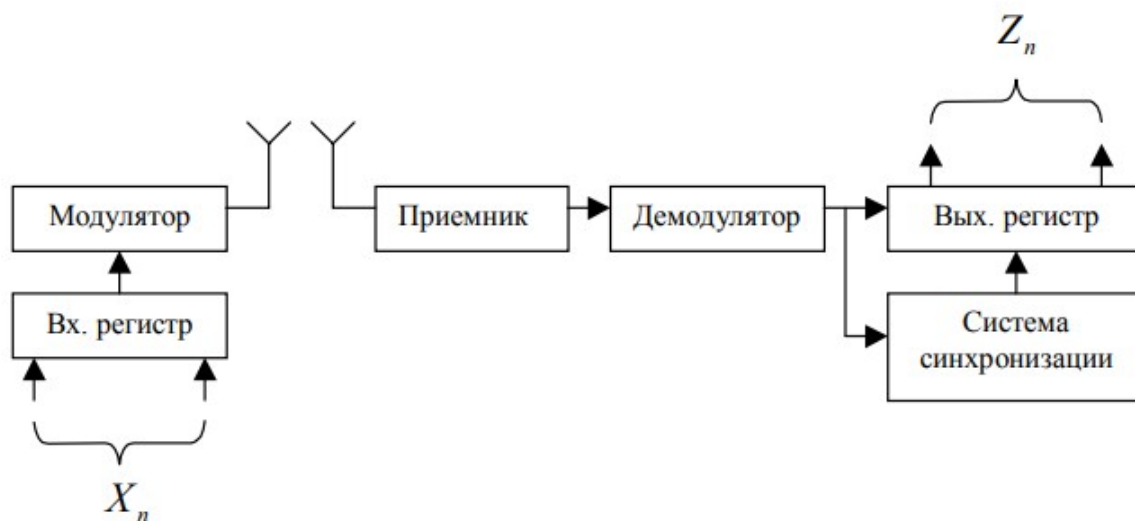


Рисунок 3 - Структура цифрового канала

Цифровой (бинарный) канал, на входе которого могут появляться последовательности двоичных сигналов 0 или 1, является наиболее типичным примером дискретного канала связи/

Аддитивные ошибки в цифровом канале проявляются в трансформации элементов кодовых векторов, которую можно представить в виде суммы:  $(z_1 z_2 \dots z_n) = (x_1 x_2 \dots x_n) + (w_1 w_2 \dots w_n)$ ,

где  $Z_n = (z_1 z_2 \dots z_n)$  – наблюдаемый вектор.

$X_n = (x_1 x_2 \dots x_n)$  - передаваемый вектор

$W_n = (w_1 w_2 \dots w_n)$  - вектор аддитивной ошибки

Несмотря на различную природу, аддитивные ошибки и ошибки синхронизации в цифровом канале приводят к одинаковому характеру воздействия на кодовый вектор. Следовательно, процесс возникновения ошибок синхронизации можно описать следующим образом

$$(z_1 z_2 \dots z_n) = (x_1 x_2 \dots x_n) + (c_1 c_2 \dots c_n)$$

$C_n = (c_1 c_2 \dots c_n)$  - вектор ошибки синхронизации.

Распределение вероятностей на группе может быть задано следующим образом

$$P(j) = \frac{P(w, n)}{C_n^w} = (1-p)^{n-w} p^w$$

$$X_{k+1}(g) = A(k+1, k)X_k(g)$$

$$Z_{k+1}(g) = X_{k+1}(g) + B(k+1, k)W_k(g)$$

$X(g)$  – вектор сообщения;

$Z(g)$  – вектор наблюдения;

$W(g)$  – вектор аддитивной ошибки;

$A(k+1, k)$  – переходная матрица источника сообщения;

$B(k+1, k)$  – переходная матрица источника ошибок канала связи;

$g$  – элемент группы

$k$  – отсчет времени

**На модель накладываются следующие ограничения.**

1. В каждый момент времени  $k = 0, 1, \dots$  заданы распределения вероятностей векторов сообщения и ошибки:

$$P_{k+1}[X(g)] = P_A P_k[X(g)]$$

$$P_{k+1}[W(g)] = P_B P_k[W(g)]$$

Где  $P_A, P_B$  – матрицы переходных вероятностей векторов сообщения и ошибок соответственно.

2. Размерность векторов имеет длину  $n$ .

**Начальные условия:**

$$X_0(g), W_0(g), P_0[X(g)], P_0[W(g)]$$

На каждом шаге  $k$  вид матриц  $A$  и  $B$  изменяется в соответствии с матрицами переходных вероятностей  $P_A$  и  $P_B$ . Таким образом, рассматриваемая модель позволяет в динамике описать систему, учитывая нестационарный характер канала связи.

Теперь перейдем к рассмотрению модели канала связи с неавтономным источником сообщений, описывающей управление. Цифровая система характеризуется тем, что управляющее воздействие представлено цифровым кодом параметра, посредством которого производится управление. Пусть вектор сообщения имеет длину  $n = m + r$  разрядов, где  $m$  – длина информационного

блока,  $r$  - длина блока управляющего воздействия. Следовательно, следует различать информационный вектор  $x_k(g)$  и вектор.

Тогда информационный вектор, вектор управления и вектор сообщения имеют следующие форматы:

$$x: xxx_m 00_r$$

$$u: 000_m uu_r$$

$$X: xxx_m uu_r$$

Где они принадлежат к диапазону  $\{0,1\}$ .

Уравнение сообщения преобразуется к виду:

$$X_{k+1}(g) = A(k+1, k)x_k(g) + \Gamma(k+1, k)u_k(g)$$

Где последнее связуемое это вектор управления.

С учетом этого на модель цифрового канала связи с управлением накладываются следующие *дополнительные ограничения*.

Распределение вероятности вектора управления  $u(g)$   $k$   $r$  может быть определено в каждый момент времени  $k = 0, 1, \dots$

2. Размерность вектора управления  $u_k(g)$  имеет длину  $n$

**Начальные условия:**

$$u_0(g), P_0[u(g)]$$

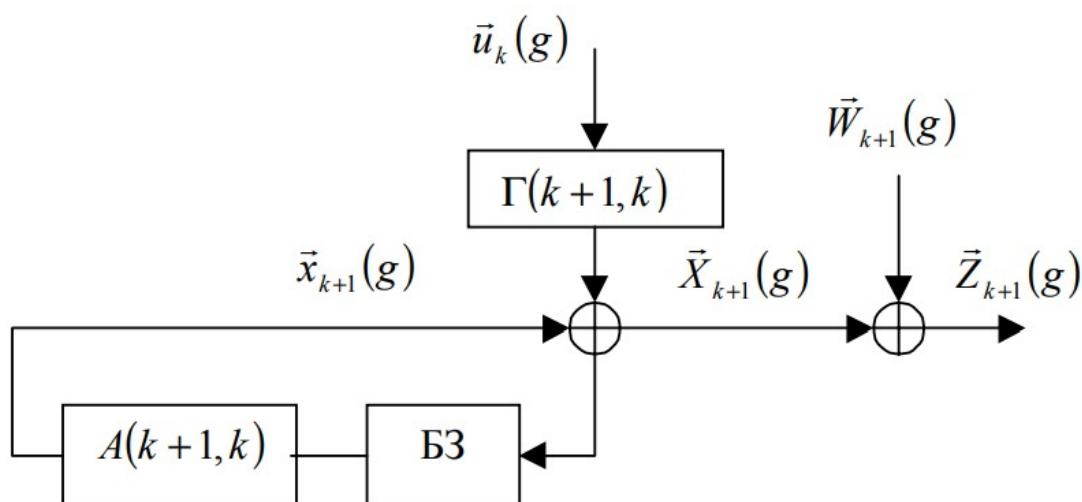


Рисунок 4 - Структура цифрового канала с возможностью управления

## **Требования к оформлению практических занятий**

Структура практических занятий:

- титульный лист (приложение 1);
- решение задач по вариантам (вариант выдается каждому студенту индивидуально);

При изложении материала и проведении необходимых расчетов нужно обосновывать правильность выбора исходных данных и методик, давать ссылки на используемые при этом литературные источники.

Практические занятия выполняются на листах формата А4 в соответствии с общими требованиями, предъявляемыми к оформлению курсовых заданий.

## Список литературы

- 1 Сооляттэ, А.Ю. Управление проектами в компании: методология, технологии, практика: учебник/ А.Ю. Сооляттэ. – М.: Синергия, 2012. – 860 с.
- 2 Гуторов, Ю.А. Математическое моделирование и САПР в нефтяной и газовой промышленности: учебное пособие/ Ю.А. Гуторов, Е.В. Воронова. – Уфа: УГНТУ, 2006. – 145 с.
- 3 Адлер, Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю.П. Адлер, Е.В. Маркова, Ю.В. Грановский. – изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Недра, 1976. – 280 с.
4. Удут Л. С. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Часть 1. Введение в технику регулирования линейных систем. Часть 2. Оптимизация контура регулирования: учебное пособие / Л. С. Удут, О. П. Мальцева, Н. В. Кояин. – 2-е изд., перераб. и доп. – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2007. – 156 с.
5. Удут Л. С., Кояин Н. В., Мальцева О. П. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Ч. 3. Электрические машины постоянного тока в системах автоматизированного электропривода: Учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2004. – 152 с.

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования

«Уфимский государственный нефтяной технический университет»

Кафедра электротехники и электрооборудования предприятий

ОТЧЕТ

**по практическим занятиям**

**по дисциплине «Методология проектирования в электроэнергетике  
и электротехнике»**

Вариант 1

Выполнил: ст. гр. МАЭ04-20-01

А.А. Иванов

Проверил: д.т.н., проф.

Р.Р. Саттаров

Уфа

2020