

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Методические указания

по организации лабораторных работ обучающихся
по дисциплине «Цифровая обработка сигналов и их анализ» для студентов
направления подготовки /специальности
13.03.02 Электроэнергетика и электротехника
Направленность (профиль) Цифровые технологии в электроэнергетике

Ставрополь

2025

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

COMTRADE-ФОРМАТ ЗАПИСИ ПРОЦЕССОВ В ЭНЕРГЕТИКЕ

Цель и содержание

Цель работы – знакомство Comtrade-форматом записи процессов энергетике.

Содержание работы:

1. Изучение документации по Comtrade-формату записи процессов энергетике.

2. На примере записи осциллограмм аварийных процессов произвести их обработку с помощью приложения FastView 4.2.

Теоретическое обоснование

COMTRADE (Common format for Transient Data Exchange for power systems) - это международный формат предназначенный для хранения информации о значениях и параметрах электрических сигналов (типа "ток", "напряжение", и "дискретные (контактные) сигналы"), которые были получены с помощью цифровых устройств регистрации аварийных событий в электроэнергетике.

Существует несколько версий формирования Comtrade-файлов:

- международный формат COMTRADE в рамках стандарта IEEE C37.111-1991
- международный формат COMTRADE в рамках стандарта IEEE C37.111-1999.

Краткая информация по структуре «*.cfg» файла

«*.cfg» файл является конфигурационным файлом, который содержит основную информацию о регистраторе аварийных событий, общих параметров записи аналоговых и цифровых сигналов (каналов).

1. В первой строчке *.cfg файла описывается основная информация об устройстве: место установки, наименование устройства регистрации и версию стандарта Comtrade файла.

|station_name|,|rec_dev_id|,|rev_year|

|station_name| – (Необязательный параметр) – параметр, который определяет наименование объекта или местоположение объекта.

|rec_dev_id| – (Необязательный параметр) – параметр, который определяет наименование устройства регистрации.

|rev_year| – (Обязательный параметр) – параметр, который характеризует версию стандарта Comtrade. Например, в случае если Comtrade файл создан в рамках стандарта IEEE 37.111-1999, то данный параметр будет содержать 1999. В случае если Comtrade файл создан в рамках стандарта IEEE C37.111-1991, то данный параметр будет содержать 1991.

2. На второй строчке *.cfg файла описывается количество аналоговых и дискретных сигналов. При описании используют 3 параметра, которые разделены друг от друга запятой (,):

|TT|,|##A|,|##D|

|TT| – (Обязательный параметр) – параметр, который определяет общее количество записанных аналоговых и дискретных сигналов в файле.

|##A| – (Обязательный параметр) – параметр, который определяет количество аналоговых сигналов в файле.

|##D| – (Обязательный параметр) – параметр, который определяет количество дискретных сигналов в файле.

3. Далее в *.cfg файле производится описание аналоговых каналов. При описании аналогового канала используют 13 параметров, которые разделены друг от друга запятой (,):

|An|,|ch_id|,|ph|,|ccbm|,|uu|,|a|,|b|,|skew|,|min|,|max|,|primary|,|secondary|,|P
S|

|An| – (Обязательный параметр) – порядковый номер аналогового канала, который состоит из целого числа.

|ch_id| – (Необязательный параметр) – параметр, который определяет название аналогового канала. Название может состоять из буквенно-цифровых символов.

|ph| – (Необязательный параметр) – параметр, который определяет фазу аналогового канала. Название может состоять из буквенно-цифровых символов.

|ssbm| – (Необязательный параметр) – параметр, который определяет элемент схемы с которого осциллографируется аналоговый сигнал.

|uu| – (Обязательный параметр) – параметр, который определяет тип измеряемого аналогового сигнала (например, кВ, В, кА, А и т.д.). Для обозначения типов аналоговых сигналов должны использоваться сокращения в соответствии со стандартами: IEEE Std 260.1-1993 [B4] or IEEE Std 280-1985 (R1996).

|a| – (Обязательный параметр) – параметр, который определяет множитель аналогового канала.

|b| – (Обязательный параметр) – параметр, который определяет суммарное смещение канала.

|skew| – (Необязательный параметр) – параметр, который определяет смещение (временный сдвиг) выборки в данном канале внутри периода дискретизации. Данный параметр измеряется в микросекундах [мкс].

|min| – (Обязательный параметр) – минимальное значение в диапазоне изменения значений для аналогового данного канала.

|max| – (Обязательный параметр) – максимальное значение в диапазоне изменения значений для аналогового данного канала.

|primary| – (Обязательный параметр) – коэффициент трансформации трансформатора тока или трансформатора напряжения для первичных величин.

|secondary| – (Обязательный параметр) – коэффициент трансформации трансформатора тока или трансформатора напряжения для вторичных величин.

|PS| – (Обязательный параметр) – параметр, который отражает в каких значениях осциллографируется аналоговый сигнал: в первичных значениях (primary value – P) или во вторичных значениях (secondary value – S). Допустимы для ввода только следующие символы: p,P,s,S.

4. Далее в *.cfg файле производится описание дискретных каналов. При описании дискретного канала используют 5 параметров, которые разделены друг от друга запятой (,):

|Dn|,|ch_id|,|ph|,|scbm|,|y|

|Dn| – (Обязательный параметр) – порядковый номер дискретного канала, который состоит из целого числа.

|ch_id| – (Необязательный параметр) – параметр, который определяет название дискретного канала. Название может состоять из буквенно-цифровых символов.

|ph| – (Необязательный параметр) – параметр, который определяет фазу аналогового канала. Название может состоять из буквенно-цифровых символов.

|scbm| – (Необязательный параметр) – параметр, который определяет элемент схемы с которого осциллографируется аналоговый сигнал.

|y| – (Обязательный параметр) – параметр, который определяет нормальное состояние дискретного канала: 0/1.

5. Заключительный блок текста содержит информацию о номинальной частоте сети, частоте дискретизации сигнала, времени записи и типе хранения информации.

|Lf|

|nrates|

|samp|,|endsamp|

|dd1/mm1/yyyy1|,|hh1:mm1:ss.ssssss1|

|dd2/mm2/yyyy2|,|hh2:mm2:ss.ssssss2|

|ft|

|timemult|

› 7 строчка с конца файла

|Lf| – (Необязательный параметр) – параметр, который определяет частоту сети.

› 6 строчка с конца файла

|nrates| – (Обязательный параметр) – параметр, который определяет количество используемых частот дискретизации в исходном файле.

› 5 строчка с конца файла

|samp| – (Обязательный параметр) – параметр, который определяет частоту дискретизации в герцах (Гц) исходного сигнала.

|endsamp| – (Обязательный параметр) – параметр, который определяет номер последнего записанного значения в массиве данных.

› 4 строчка с конца файла

|dd1/mm1/yyyy1| – (Обязательный параметр) – параметр, который определяет информацию о времени начала записи файла.

|hh1:mm1:ss.ssssss1| – (Обязательный параметр) – параметр, который определяет информацию о времени начала записи файла.

› 3 строчка с конца файла

|dd2/mm2/yyyy2| – (Обязательный параметр) – параметр, который определяет информацию о времени пуска осциллографа по факту аварийного сигнала

|hh2:mm2:ss.ssssss2| – (Обязательный параметр) – параметр, который определяет информацию о времени пуска осциллографа по факту аварийного сигнала.

› 2 строчка с конца файла

|ft| – (Обязательный параметр) – параметр, который определяет информацию об используемом типе хранения информации: либо ASCII, либо двоичный файл.

Приложение FastView 4.2 предназначено для отображения осциллограмм, записанных в формате COMTRADE (*.CFG) и OSC_2 (*.OSC), расчета и анализа сигналов на частотной, векторной и круговой диаграммах, определения места повреждения (ОМП) в сетях с изолированной и заземленной нейтралью, объединения осциллограмм.

Для предварительного просмотра служит пункт меню «Предварительный просмотр». При этом отображается диаграмма, предварительно выделенная щелчком мыши. В данном режиме можно просмотреть распечатываемый документ, применить увеличение или уменьшение страницы, или распечатать результат.

Для отображения диаграмм используются кнопки в разделе «Диаграммы». В данной версии доступны частотная, векторная и круговая диаграммы. Кнопка «Комментарии» служит для просмотра и редактирования комментариев, расположенных в файле с расширением hdr.

Раздел «Вычисления» определяет режим отображения выделенного канала. Кнопки служат для показа мгновенного минимального, максимального и среднего значения, значения первой гармоники в заголовке канала, а так же переключают режим отображения канала между мгновенными, действующими значениями и значением первой гармоники. Кнопки служат для инверсии и удаления постоянной составляющей сигнала в отображении канала. Кнопки служат для задания коэффициентов трансформации и переключения между режимами отображения - первичными и вторичными значениями. Если в файле нет данных по коэффициентам трансформации, то принимается, что они равны единице, а данные отображены во вторичных значениях. Используя клавиши «Ctrl» и «Shift» можно выделить и изменить одновременно несколько значений.

Аппаратура и материалы

Для выполнения лабораторной работы используются:

- компьютеризированный универсальный стенд для выполнения базовых экспериментов.

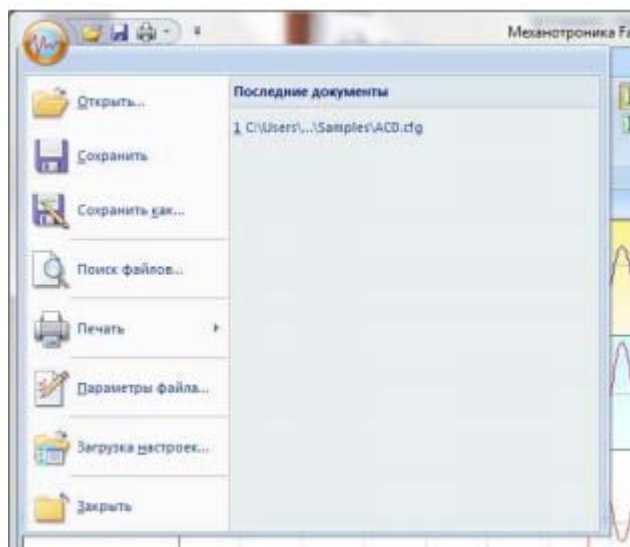
Указания по технике безопасности

Указания по технике безопасности приведены в приложении А.

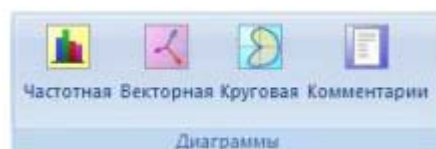
Внимание. Подача и снятие напряжения с исследуемых схем осуществляется с общего пульта управления стенда!

Методика и порядок выполнения работы

1. Для заданной осциллограммы определить основную информацию о регистраторе аварийных событий и общих параметрах записи.
2. Запустить программу FastView 4.2.
3. Открыть заданную осциллограмму.

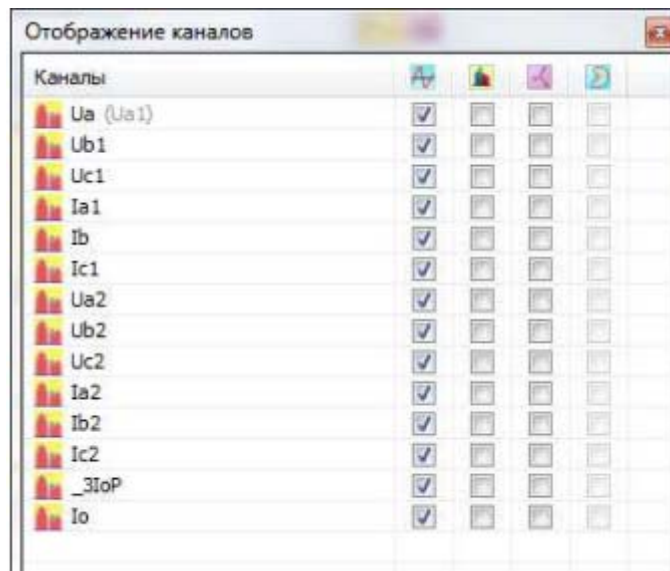


4. Отобразить диаграммы и комментарии к осциллограмме



Для отображения диаграмм используются кнопки в разделе «Диаграммы». В данной версии доступны частотная, векторная и круговая диаграммы. Кнопка «Комментарии» служит для просмотра и редактирования комментариев, расположенных в файле с расширением *hdr*.

5. С помощью раздела «Видимость» отобразить сначала только аналоговые и затем только цифровые каналы.



Для настройки отображения каналов служит раздел панели инструментов «Видимость». В данном разделе можно выбрать каналы для отображения, скрыть или показать все каналы, или скрыть каналы, значение которых не менялось в течении всего времени, настроить масштаб отображения, включить или выключить горизонтальные или вертикальные визиры.

Окно «Отображение каналов», появляющееся при нажатии на кнопку «Каналы» позволяет переименовывать каналы и управлять их видимостью на диаграммах. Для переименования канала нужно выделить его название двойным щелчком, и ввести новое. Ввод пустого значения возвращает старое имя канала, которое иначе отображается в скобках серым цветом.

6. С помощью раздела «Вычисления» изменить режим отображения выделенного канала. Кнопки служат для показа мгновенного

минимального, максимального и среднего значения, значения первой гармоники в заголовке канала, а так же переключают режим отображения канала между мгновенными, действующими значениями и значением первой гармоники. Кнопки  служат для инверсии и удаления постоянной составляющей сигнала в отображении канала. Кнопки  служат для задания коэффициентов трансформации и переключения между режимами отображения - первичными и вторичными значениями. Если в файле нет данных по коэффициентам трансформации, то принимается, что они равны единице, а данные отображены во вторичных значениях. Используя клавиши «Ctrl» и «Shift» можно выделить и изменить одновременно несколько значений.

Содержание отчета и его форма

Отчет должен иметь титульный лист с указанием темы лабораторной работы, ФИО студента, номер группы и дату выполнения работы.

Отчет должен содержать:

1. Название и цель работы.
2. Используемые в экспериментах схемы.
3. Таблицы с экспериментальными данными и соответствующими расчетами.
4. Письменные выводы и ответы на поставленные в работе вопросы.

Письменные ответы на выданные студенту индивидуальные вопросы из перечня вопросов для защиты лабораторной работы.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

КОМПЬЮТЕРНАЯ ОБРАБОТКА ДАННЫХ И АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Цель и содержание

Цель работы – знакомство с фильтрами ортогональных составляющих и освоение методики разложения электрического сигнала на ортогональные составляющие.

Содержание работы:

1. Изучение принципов построения фильтров ортогональных составляющих.
2. Выполнение расчетов параметров гармонических составляющих при имитации различных сигналов.

Теоретическое обоснование

Определение параметров гармоник, входящей в структуру сигнала изменяющегося по периодическому несинусоидальному закону, является одной из задач, связанной с оценкой поведения на этой гармонике конкретной технической системы.

К задачам подобного класса следует отнести установившиеся нормальный или аварийный режимы функционирования электроэнергетической системы промышленной частоты $f = 50$ Гц, когда при определенных условиях напряжения и токи в системе изменяются по периодическим несинусоидальным законам с периодом повторения $T = 1/f$. Как правило, в этом случае количественную и качественную оценку режима функционирования системы или ее конкретного элемента осуществляют на основе использования параметров основных гармоник с частотой f , входящих в структуру несинусоидальных сигналов напряжения и тока [1].

Общепринятым математическим выражением для отображения реального периодического несинусоидального электрического сигнала является функция $f(t) = \sum_{k=1}^{\infty} F_{m,(k)} \sin(2k\pi ft + \psi_{(k)})$, состоящая из суммы k -х синусоидальных гармоник с параметрами: амплитуда $F_{m,(k)}$ и начальная фаза колебаний $\psi_{(k)}$. Получение информации о параметрах k -ой гармоники связывают с представлением выражения для $f(t)$ в виде суммы ортогональных простых синусоидальных и косинусоидальных гармоник двойного ряда Фурье $f(t) = \sum_{k=1}^{\infty} F_{m,(k),s} \sin(2k\pi ft) + \sum_{k=1}^{\infty} F_{m,(k),c} \cos(2k\pi ft)$ [1, 2].

Конечные информативные параметры k -ой гармоники получают в результате выполнения нелинейных математических операций: $F_{m,(k)} = \sqrt{(F_{m,(k),s})^2 + (F_{m,(k),c})^2}$; $\psi_{(k)} = \arctg(F_{m,(k),c} / F_{m,(k),s})$. Для получения неизвестных значений каждой из амплитуд $F_{m,(k),s}$ и $F_{m,(k),c}$ ортогональных составляющих сигнала $f_{(k)}(t)$ синусной $f_{(k),s}(t) = F_{m,(k),s} \sin(k\omega t)$ и косинусной $f_{(k),c}(t) = F_{m,(k),c} \cos(k\omega t)$, вычисляют определенный интеграл на интервале времени, равном периоду T , от произведения двух функций, первая из которых является функцией времени $f(t)$, при этом при определении $F_{m,(k),s}$ в качестве второго сомножителя используют функцию синуса, а при определении $F_{m,(k),c}$ функцию косинуса:

$$\begin{aligned} F_{m,(k),s} &= \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \cdot \sin(k\omega t) \cdot d(k\omega t); & \grave{a}) \\ F_{m,(k),c} &= \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \cdot \cos(k\omega t) \cdot d(k\omega t), & \acute{a}) \end{aligned} \quad (1)$$

при чем в качестве аргумента функций синуса и косинуса используют произведение угловой частоты $\omega_{(k)}$ k -ой гармоники и времени t $\omega_{(k)}t = 2\pi f_{(k)}t$.

В отдельных случаях при выполнении некоторых технических измерительных систем на основе методов и средств цифровой обработки сигналов в вычислительном алгоритме нежелательно использовать такие нелинейные математические операции как возведение в степень, извлечение квадратного корня, деление и ряд других [1]. В условиях предъявляемого к конкретной измерительной системе требуемого быстродействия это может негативно повлиять на точность получения конечного результата.

В [3] предложен способ определения параметров входящей в структуру периодического несинусоидального сигнала $f(t)$ k -ой гармоники, при этом достижение результата может быть получено с использованием одного из трех базовых алгоритмов. Эти алгоритмы отличаются разными подходами, но при этом исключено применение таких математических операций, как возведение в степень, извлечение квадратного корня, и в зависимости от принятого алгоритма, могут быть также исключены такие нелинейные математические операции, как деление, вычисление обратной тригонометрической функции.

Основой новых алгоритмов определения параметров входящей в структуру несинусоидального периодического сигнала $f(t)$ параметров k -ой гармоники являются следующие теоретические положения.

Пусть в качестве второго сомножителя подынтегрального произведения, например в выражении (1, а), используем синусоидальную функцию, у которой аргумент состоит из двух слагаемых, при этом первое определяется произведением $k\omega t$, а в качестве второго слагаемого используют некоторый дополнительно вводимый изменяемый угол θ . В этом случае в отличие от (1) согласно [3] для решения задачи используют

результаты, получаемые на основе выполнения соответствующих вычислительных процедур над выражением следующей структуры

$$f_{(k)}(\theta) = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \cdot \sin(k\omega t + \theta) \cdot d(k\omega t). \quad (2)$$

Если выражение (2) условно поделить на амплитуду $F_{m,(k)}$ k -ой гармоники, то выражение (2) можно представить в относительных единицах

$$f_{(k)}^*(\theta) = \left(\frac{2}{T} \int_0^T f(t) \cdot \sin(k\omega t + \theta) \cdot d(k\omega t) \right) / F_{m,(k)}, \quad (3)$$

численное решение которого будет связано только с параметрами присутствующей в периодическом несинусоидальном сигнале $f(t)$ k -ой гармоники:

$$f_{(k)}^*(\theta) = 1 \cdot \cos(\psi_{(k)} - \theta). \quad (4)$$

Выражения (3) и (4) отображают некоторую косинусоидальную зависимость. На рис. 1 приведена построенная в относительных единицах зависимость $f_{(k)}^*(\theta)$ (4) для k -ой гармоники с начальной фазой колебания $\psi_{(k)}$ (условно принято $\psi_{(k)} = 45^\circ$).

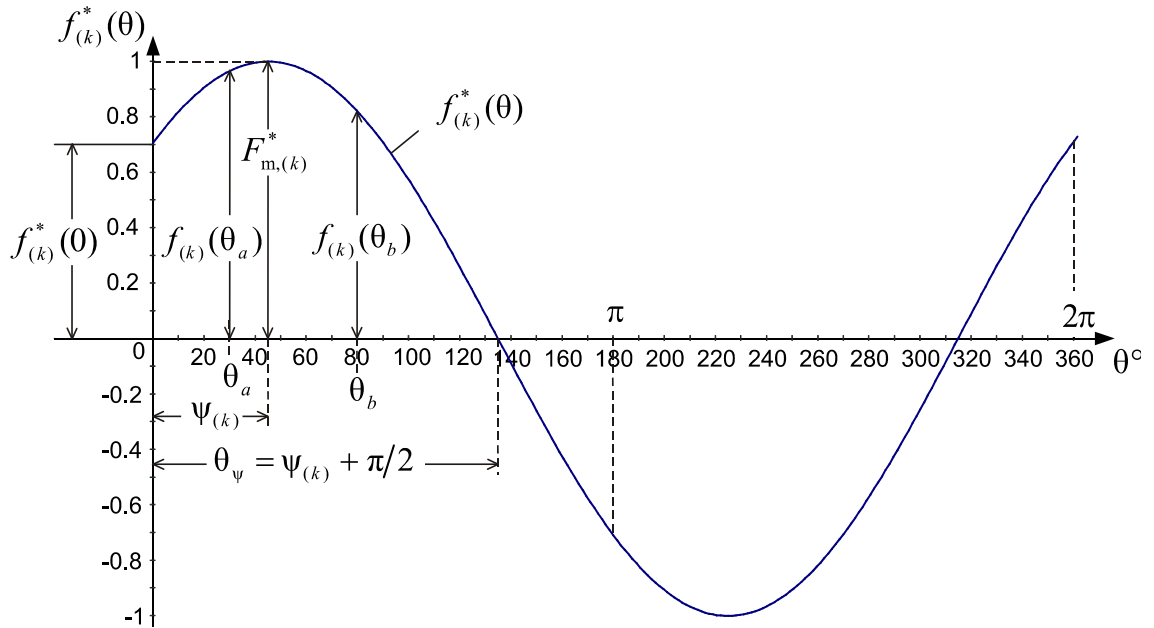


Рис. 1. К определению параметров k -ой гармоники, входящей в структуру периодического несинусоидального сигнала $f(t)$

Из структуры функции (3) и рис. 1 следуют новые возможные варианты определения параметров k -ой гармоники [3], которые отличаются от метода ортогональных составляющих [1, 2].

В основе практической реализации нового метода получение параметров k -ой гармоники могут быть рекомендованы следующие базовые алгоритмы, отличающиеся разной степенью сложности своего выполнения.

Первый и наиболее простой алгоритм определения параметров $F_{m,(k)}$ и $\psi_{(k)}$ k -ой гармоники основан на поиске параметров экстремума функции (2) в диапазоне изменения фазового угла θ от 0 до 2π , которое имеют место при значениях угла θ (рис. 1), равном

$$\theta = \psi_{(k)} - \pi n, \quad \text{где } n = 0, 1. \quad (5)$$

Значение n определяет последовательность наступления экстремумов функции (2) на диапазоне изменения угла θ от 0 до 2π , при этом $n = 0$ соответствует положительное значения амплитуды функции (4), а значению $n = 1$ – отрицательное значения амплитуды функции.

Для определения параметров k -ой гармоники достаточно получить координаты максимума функции (2) на интервале от 0 до 2π изменения дополнительного угла θ . Полученные координаты однозначно определяют численные значения амплитуды $F_{m,(k)}$ и начального фазового угла $\theta = \psi_{(k)}$ колебания k -ой гармоники (рис. 1).

Второй алгоритм определения значений амплитуды $F_{m,(k)}$ и начального фазового угла $\psi_{(k)}$ колебаний k -ой гармоники основан на решении относительно этих неизвестных системы двух уравнений (6):

$$\left. \begin{aligned} f_{(k)}(\theta_a) &= F_{m,(k)} \cos(\psi_{(k)} - \theta_a) \\ f_{(k)}(\theta_b) &= F_{m,(k)} \cos(\psi_{(k)} - \theta_b) \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

В системе (6) за известные параметры принимают предварительно рассчитанные (рис. 1) по выражению (2) для некоторых углов $\theta = \theta_a$ и $\theta = \theta_b$ соответствующие значения $f_{(k)}(\theta_a)$ и $f_{(k)}(\theta_b)$ при соблюдении условия $\theta_a \neq \theta_b$.

Третий возможный алгоритм определения значений амплитуды $F_{m,(k)}$ и начального фазового угла $\psi_{(k)}$ колебаний k -ой гармоники отличается большей сложностью своей реализации в сравнении с первыми двумя. В его основе лежит первоначальное выполнение математической операции согласно выражению

$$F_{(k), \text{ср. по мод.}} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \left| \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \cdot \sin(k\omega t + \theta) \cdot d(k\omega t) \right| \cdot d\theta = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} |f_{(k)}(\theta)| \cdot d\theta = \frac{2}{\pi} F_{m,(k)} \quad (7)$$

которое определяет среднее по модулю значение площади фигуры, ограниченной кривой $f_{(k)}(\theta)$ (рис. 1) на интервале времени равном периоду T .

Из (7) следует формула для определения амплитуды k -ой гармоники

$$F_{m,(k)} = \frac{\pi}{2} F_{(k), \text{ср. по мод.}} \quad (8)$$

Значение начального фазового угла $\psi_{(k)}$ колебаний k -ой гармоники определяют на основе решения выражения (9) с использованием в качестве известных значение амплитуды $F_{m,(k)}$ (8) и одного значения функции (6), например, для угла θ_a , т. е. $f_{(k)}(\theta_a)$ (рис. 1).

Для определения угла $\psi_{(k)}$ следует использовать выражение:

$$\psi_{(k)} = \theta_a + \arccos \frac{f_{(k)}(\theta_a)}{F_{m,(k)}} \quad (9)$$

Из-за относительной сложности программной реализации третьего алгоритма в сравнении, например, с описанным выше первым алгоритмом,

его практическое применение в вычислительном процессе конкретного технического устройства может найти ограниченное применение и представляет больше теоретический интерес.

При практической реализации определения параметров k -ой гармоники может быть создан комбинированный алгоритм, состоящий из соответствующих фрагментов приведенных выше алгоритмов.

Изложенные в статье новые подходы к определению амплитуды и начального фазового угла колебаний k -ой гармоники, входящей в структуру периодического несинусоидального сигнала, могут найти применение в микропроцессорных измерительных устройства, так как при этом исключается сложность практической реализации свойственная алгоритму на основе применения ортогональных составляющих.

Аппаратура и материалы

Аппаратура, оборудование и материалы

Для выполнения лабораторной работы используются:

- компьютеризированный универсальный стенд для выполнения базовых экспериментов.

Указания по технике безопасности

Указания по технике безопасности приведены в приложении А.

Внимание. Подача и снятие напряжения с исследуемых схем осуществляется с общего пульта управления стенда!

Методика и порядок выполнения работы

- Задайте данные исходного сигнала и частоты определяемой гармоники в соответствии с заданием, полученным у преподавателя.
- Рассчитайте параметры сигнала по четырем базовым алгоритмам.

- Задайте дополнительно гармоническую составляющую превышающую частоту Найквиста.
- Рассчитайте параметры сигнала по четырем базовым алгоритмам.
- Сравните полученные результаты

Содержание отчета и его форма

Отчет должен иметь титульный лист с указанием темы лабораторной работы, ФИО студента, номер группы и дату выполнения работы.

Отчет должен содержать:

5. Название и цель работы.
6. Используемые в экспериментах схемы.
7. Таблицы с экспериментальными данными и соответствующими расчетами.
8. Письменные выводы и ответы на поставленные в работе вопросы.
9. Письменные ответы на выданные студенту индивидуальные вопросы из перечня вопросов для защиты лабораторной работы.

Вопросы для защиты работы

1. Какая система базисных функций называется ортогональной (ортонормальной)?
2. Как определяется норма сигнала, и какой физический смысл имеет это понятие?
3. Запишите обобщенный ряд Фурье по системе ортогональных функций?
4. Как определяются коэффициенты обобщенного ряда Фурье?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

Определение текущей частоты сигнала по изменению фазы изображающего вектора

Цель и содержание

Цель работы – изучить процесс фильтрации высокочастотных помех в сигнале с использованием Фурье-преобразования.

Теоретическое обоснование

Дискретное преобразование Фурье представляет собой не только инструмент анализа, но и алгоритм цифровой обработки сигналов. На его основе фильтрация сигналов в частотной области может быть реализована следующим образом: для входного сигнала вычисляется ДПФ, полученные спектральные отсчеты умножаются на АЧХ фильтра, а результат умножения подвергается обратному ДПФ.

При этом задав некоторое прореживание по выборке (т.е. искусственно снизив частоту дискретизации) можно понизить частоту Найквиста для данной выборки и тем самым осуществить функцию высокочастотных составляющих.

Порядок выполнения работы

Для заданного в виде дискретных отсчетов сигнала, содержащего высокочастотную помеху (с частотой близкой к 20-й гармонике) произвести анализ с использованием алгоритма ДПФ. Затем удалив, из спектра гармоники с номерами выше 9-й, произвести обратное преобразование. Построить график сигнала.

Для заданного сигнала произвести прореживание по частоте таким образом, чтобы частота Найквиста соответствовала 10-й гармонике.

Произвести прямое и обратное Фурье-преобразование. Построить график сигнала и сравнить его с графиком, полученным в предыдущем пункте.

Содержание отчета и его форма

Отчет должен иметь титульный лист с указанием темы лабораторной работы, ФИО студента, номер группы и дату выполнения работы.

Отчет должен содержать:

1. Название и цель работы.
2. Приведите краткие выводы и ответы по содержанию лабораторной работы.
3. Письменные ответы на выданные студенту индивидуальные вопросы из перечня вопросов для защиты лабораторной работы.
4. Самостоятельно, по учебной литературе изучить принципы построения схем и выбор уставок дистанционной защиты.

Вопросы для защиты работы

1. Для чего применяется в данной задаче прямое Фурье-преобразование?
2. Для чего применяется в данной задаче обратное Фурье-преобразование?
3. По какому принципу работает фильтр на основе Фурье-преобразования?
4. Влияет ли подавление высокочастотных составляющих на величину основной гармоники при использовании данного вида фильтрации?

Список рекомендуемой литературы

Основная [1, 2].

Дополнительная [3, 4, 5].

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТА ПОВРЕЖДЕНИЯ НА ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЯХ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ НА ОСНОВЕ ЦИФРОВОЙ РЕГИСТРАЦИИ

Цель и содержание

Цель работы – Изучить принципы действия простейших защит от замыканий на землю в сетях с малыми токами замыкания.

Содержание работы:

1. Изучить принципы действия простейших защит от замыканий на землю в сетях с малыми токами замыкания.
2. Исследование неселективной сигнализации о появлении замыканий на землю на компьютеризированной стенде.

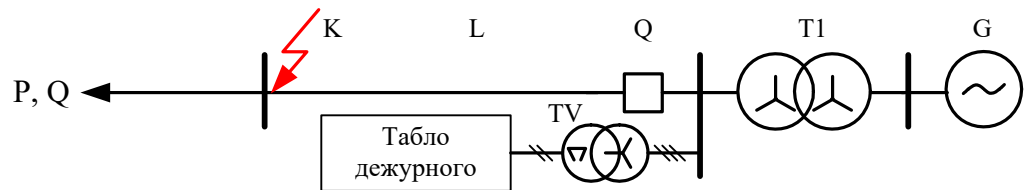
Теоретическое обоснование

Сети с малым током замыкания на землю работают с изолированной или с заземленной через дугогасящую катушку нейтралью. В таких сетях замыкание на землю одной фазы не приводит к появлению значительного тока короткого замыкания и не сопровождается при этом понижением междупазных напряжений.

Требования к защите от замыканий на землю в сети с малым током замыкания на землю существенно отличаются от требований, предъявляемых к защитам от коротких замыканий (КЗ). Поскольку замыкания на землю не вызывают появления сверхтоков, они не отражаются на питании потребителей, не влияют на устойчивость энергосистемы и не сопровождаются перегрузкой оборудования опасными токами. Поэтому в отличие от КЗ замыкания на землю не требуют немедленной ликвидации.

Простейшей защитой от замыкания на землю является общая неселективная сигнализация о появлении замыкания на землю без указания поврежденного участка.

Такое устройство состоит из трех реле минимального напряжения, включенных на напряжение фаз относительно земли.



В данном эксперименте рассматривается сеть, работающая с изолированной нейтралью. От сети через выключатель Q (см. рис.) получает питание активно-индуктивная нагрузка. Замыкание на землю можно осуществлять на шинах этой нагрузки.

На компьютере с помощью специальной программы моделируется неселективная сигнализация от замыканий на землю, которая подает сигнал в случае появления «земли» в защищаемой сети. Сигнализация срабатывает по критерию превышения суммой фиксируемых напряжений значения заданной уставки.

Аппаратура и материалы

Обозначение	Наименование	Тип	Параметры
G1	Трехфазный источник питания	201.2	400 В ~; 16 А
A1	Трехфазная трансформаторная группа	347.1	3 x 80 В·А; 230 (звезда) / 242, 235, 230, 126, 220, 133, 127 В
A2	Линейный реактор	314.2	220/380 В; 50 Гц; 0,3 А;

			0,5 Гн/10 Ом
A3, A6	Трехполюсный выключатель	301	400 В ~; 10 А
A4	Модель линии электропередачи	313.2	400 В ~; 3 × 0,5 А
A5	Активная нагрузка	306.1	220/380 В; 50Гц; 3×0...50 Вт;
A7	Блок измерительных трансформаторов тока и напряжения	401.1	600 В / 3 В (тр-р напряж.) 0,3 А / 3 В (тр-р тока)
A8	Коннектор	330	8 аналог. диф. входов; 2 аналог. выхода; 8 цифр. входов/ выходов
A9	Персональный компьютер	310	IBM совместимый, Windows 9*, монитор, мышь, клавиатура, плата сбора информации PCI 6024E

Указания по технике безопасности

Указания по технике безопасности приведены в приложении А.

Внимание. Подача и снятие напряжения с исследуемых схем осуществляется с общего пульта управления стенда!

Методика и порядок выполнения работы

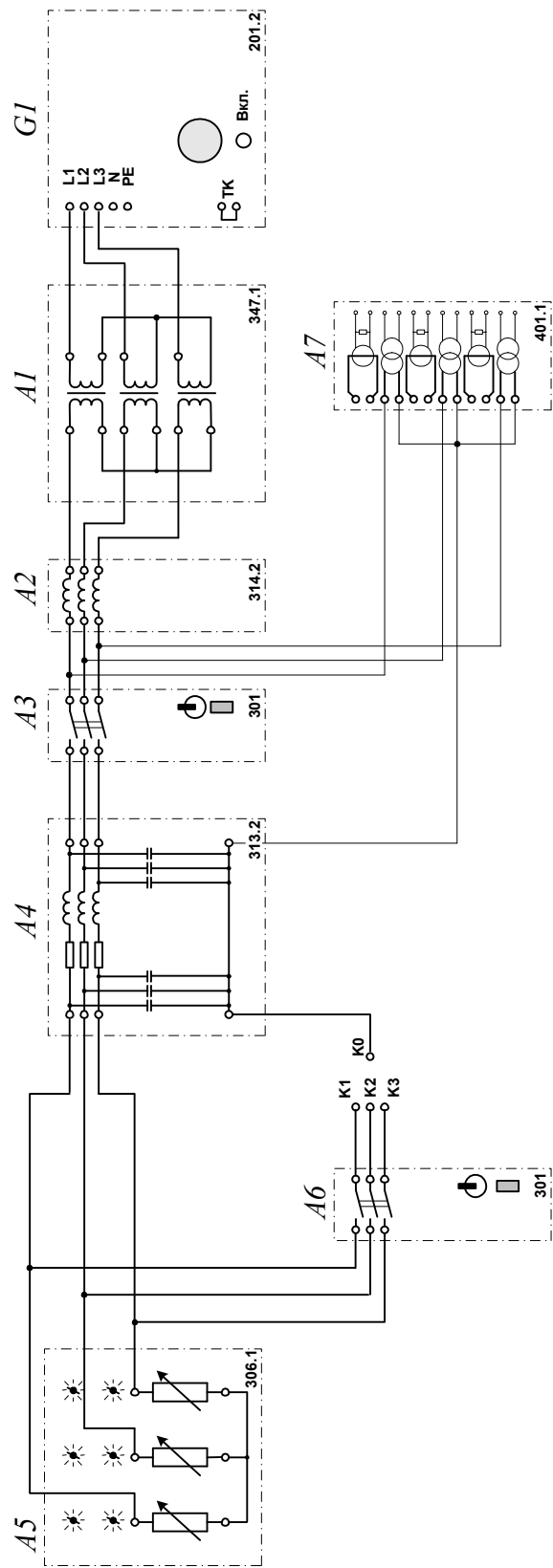
Активная нагрузка, смоделированная блоком А5, подключена к трехфазному источнику питания G1 через последовательно соединенные трехфазную трансформаторную группу А1, линейный реактор А2, модель линии электропередачи А4 и трехполюсный выключатель А3.

Выключатель А6 включен параллельно активно-индуктивной нагрузке как короткозамыкатель.

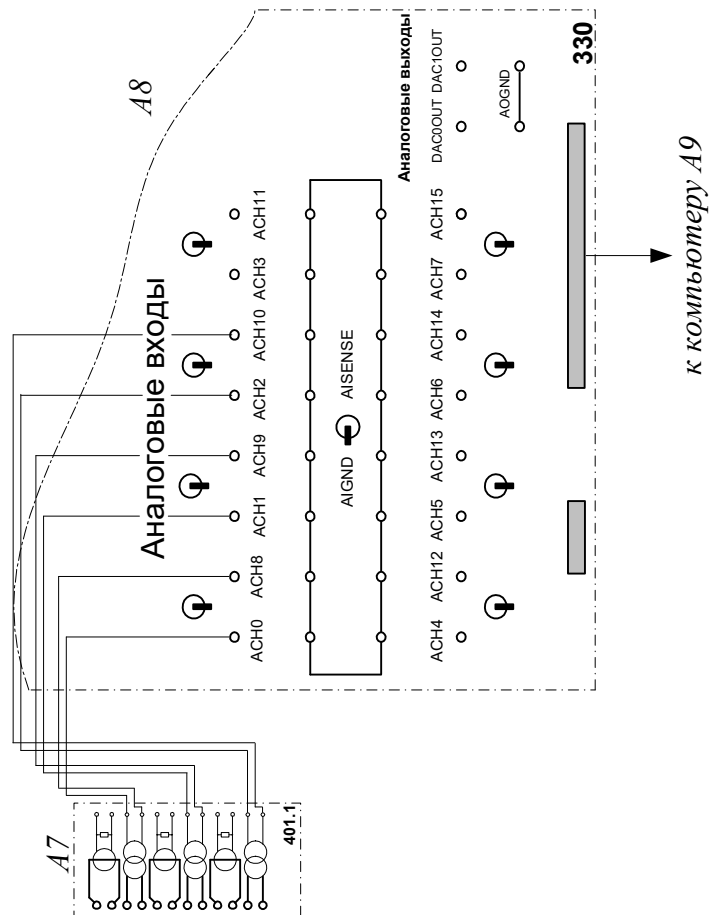
К фазам выключателя А3 подключены три соединенные звездой трансформатора напряжения блока А7.

Вторичные обмотки трансформаторов напряжения блока А7 подключены к аналоговым входам коннектора А8, соединенного гибким шлейфом с платой ввода/вывода PCI6024Е персонального компьютера А9.

Электрическая схема соединений



Продолжение электрической схемы соединений



Указания по проведению эксперимента

- Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
- Соедините гнезда «ТК» источника G1.
- Соедините гнезда защитного заземления " $\oplus$ " устройств, используемых в эксперименте, с гнездом «РЕ» источника G1.

- Соедините аппаратуру в соответствии с электрической схемой соединений.
- Переключатель режимов работы трехполюсных выключателей А3 и А6 установите в положение «РУЧН.». Номинальные напряжения обмоток трансформаторов блока А4 выставьте равными, например, 230/230 В. Параметры линии электропередачи А2 переключателями установите, например, следующими: $R = 200 \text{ Ом}$, $L/R_L = 1,2/32 \text{ Гн/Ом}$, $C1=C2=0,15 \text{ мкФ}$. Выберите мощность активной нагрузки А5, например 60% от 50 Вт во всех трех фазах.
- Смоделируйте интересующий вид замыкания (короткого замыкания). Например, для замыкания фазы А на землю соедините клеммы К1 и К0 между собой.
- Включите источник G1. О наличии напряжений на его выходе должны сигнализировать светящиеся лампочки.
- Включите выключатели «СЕТЬ» выключателей А3 и А6. Включите выключатель А3.
- Приведите в рабочее состояние персональный компьютер А9, войдите в соответствующий каталог и запустите прикладную программу «Неселективная сигнализация от замыканий на землю.exe».
- Задайте уставки защиты, нажав на соответствующую виртуальную кнопку. Например, используйте уставки, заданные по умолчанию.
- Нажмите на виртуальную кнопку «Начать запись»; введите защиту нажатием на соответствующую кнопку. После этого смоделируйте замыкание, включив выключатель А7. После срабатывания сигнализации нажмите виртуальную кнопку «Сквитировать», проанализируйте появившиеся на экране осциллограммы, просмотрите журнал работы защит.
- При работе с программой следует пользоваться ее возможностями:

- Масштабирование осциллограмм производится путем нажатия на графике левой клавиши мыши и, не отпуская ее, перемещения манипулятора слева направо и сверху вниз. Возврат к начальному масштабу осуществляется обратным перемещением манипулятора – справа налево и снизу вверх.
- Двигать график осциллограмм относительно осей координат можно путем нажатия и удержания на нем правой кнопки мыши и ее одновременного перемещения в нужную сторону.
- Для удобства определения значений величин по графикам на экране отображаются текущие координаты указателя мыши.
- Точные значения любых времен следует определять по осциллограмме, а не по журналу работы защит.
- Уставку напряжения следует задавать амплитудным значением.
- При возникновении неправдоподобных результатов эксперимент следует повторить.
- Запись электромагнитных процессов в схеме производится программой в циклический буфер. Параметры буфера, а именно его полную длину и длину «эпилога» (фактически – время записи после свершения интересующего события, в данном случае – срабатывания защиты) можно изменять в пункте меню «Настройки». Например, если срабатывание защиты ожидается через 0,1-0,5 секунды после начала короткого замыкания, то для того, чтобы увидеть предаварийный режим, режим короткого замыкания и режим после отключения повреждения длину буфера в целом можно принять равной 1 секунде, а длину эпилога (по сути, это длина записи режима после отключения КЗ) – 0,5 секунды.
- По завершении экспериментов отключите источник G1 и выключатели «СЕТЬ» блоков А3 и А7.

Содержание отчета и его форма

Отчет должен иметь титульный лист с указанием темы лабораторной работы, ФИО студента, номер группы и дату выполнения работы.

Отчет должен содержать:

10. Название и цель работы.
11. Используемые в экспериментах схемы.
12. Таблицы с экспериментальными данными и соответствующими расчетами.
13. Письменные выводы и ответы на поставленные в работе вопросы.
14. Письменные ответы на выданные студенту индивидуальные вопросы из перечня вопросов для защиты лабораторной работы.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Основная учебная литература:

1. Андреев, В. А. Релейная защита, автоматика и телемеханика в системах электроснабжения: Учебник для вузов / В. А. Андреев. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 2006.
2. Басс Э. М., Дорогунцев В.Г. Релейная защита электроэнергетических систем: Учебное пособие. Под ред. А. Ф. Дьякова – 2-е изд., стер. – М.: Издательство МЭИ., 2006.

Дополнительная учебная литература:

3. Чернобровов, Н. В., Семенов, В. А. Релейная защита энергетических систем: Учеб. пособие для техникумов. – М.: Энергоатомиздат, 1998.
4. Электротехнический справочник: В. 4 т. Т. 3. Производство, передача и распределение электрической энергии / Под общ. ред. профессоров МЭИ В. Г. Герасимова и др. (гл. ред. А. И. Попов). – 8-е изд., испр. и доп. – М.: Издательство МЭИ, 2002.
5. Барзам, А. Б., Пояркова, Т. М. Лабораторные работы по релейной защите и автоматике: Учеб. пособие для техникумов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1984.
6. Елфимов, В. М., Векторные диаграммы в релейной защите. – М.: «Энергия», 1967.

Указания по технике безопасности

1. Перед началом занятий в лаборатории необходимо, чтобы студент прошел инструктаж по «Технике безопасности для студентов, выполняющих учебные занятия в лабораториях кафедры теоретической и общей электротехники Северо-Кавказского государственного технического университета». Факт прохождения инструктажа фиксируется в журнале по технике безопасности лаборатории подписями студента и преподавателя. Студенты, не прошедшие инструктаж по технике безопасности, к работе не допускаются.

2. Лабораторная работа выполняется бригадой, состоящей не менее чем из двух студентов.

3. Перед началом выполнения лабораторной работы необходимо ознакомиться с экспериментальной установкой и четко уяснить схему подачи и снятия напряжения со стенда. Перед началом сборки схемы по сигнальной аппаратуре, положению автоматов и соответствующих тумблеров необходимо убедиться в отсутствии напряжения на стенде.

4. Сборку схемы осуществлять исправными соединительными проводами, используя при этом приведенные в лабораторной работе принципиальные схемы экспериментов. Если в процессе сборки схемы возникают неясности, то необходимо обращаться к преподавателю.

5. Собранная электрическая схема должна быть проверена преподавателем и ставится под напряжение только с его разрешения и после разбора методики изменения параметров в схеме, в частности регулируемых напряжением, резисторами и т. д. О включении на стенде напряжения предупреждаются все члены бригады. Если в методических указаниях к лабораторной работе имеются особые указания по проведению какого-либо режима только под наблюдением преподавателя, то соблюдение этого

условия является обязательным. После завершения эксперимента напряжение на схеме снижают до нуля, напряжение отключают от стенда.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Методические указания

по организации самостоятельной работы обучающихся
по дисциплине «Цифровая обработка сигналов и их анализ» для студентов
направления подготовки /специальности
13.03.02 Электроэнергетика и электротехника
Направленность (профиль) Цифровые технологии в электроэнергетике

Ставрополь, 2025

Вопросы для собеседования

по дисциплине: Цифровая обработка сигналов
(наименование дисциплины)

1. Какую функцию выполняют входные преобразователи в цепях цифровой РЗ?
2. Для чего служат делители напряжения?
3. Поясните назначение и принцип работы токовых измерительных шунтов?
4. Какие функции выполняет АЦП?
5. Какие типы АЦП вам известны?
6. Что такое частота дискретизации?
7. Какие виды погрешности АЦП вы знаете?
8. Что такое «передаточная характеристика АЦП»?
9. Поясните термин «погрешность квантования».
10. Что описывает АЧХ фильтра?
11. Какую функцию выполняет полосовой фильтр?
12. Дайте определение структуры цифрового устройства РЗА
13. Для чего применяют входные преобразователи дискретных сигналов?
14. Что представляет собой аналоговая фильтрация сигнала?
15. Что представляет собой цифровая фильтрация сигнала?
16. Что такое «разрядность АЦП»?
17. Поясните термин «процесс децимации сигнала».
18. Какие вам известны методы линейного кодирования?
19. Какие особенности имеет сигнал при отсутствии в его спектре четных гармоник?
20. Что такое «постоянная составляющая сигнала» и как она выявляется?
21. Что такое «финитный сигнал»?
22. Что такое «эффект Гиббса» и когда он возникает?
23. Что такое «амплитудный и фазовый спектры сигнала»?
24. Почему число последовательных отсчетов отрезка для использования БПФ должно быть степенью двойки?
25. Для чего при использовании алгоритмов БПФ и ДПФ применяют оконные функции?
26. Какие оконные функции вам известны?
27. Какие из свойств вейвлета вам известны?
28. Поясните термин «частота Найквиста».
29. Как связана частота дискретизации и максимально возможная частота определяемой гармоники сигнала?
30. Сколько единичных измерений за период основной частоты сигнала требуется сделать для гарантированного выделения основной гармоники?
31. Какие топографические методы ОМП вам известны?
32. Перечислите известные вам импульсные методы ОМП.
33. Дайте характеристику односторонних методов ОМП по ПАР.
34. Какие источники погрешностей могут быть при расчете мест повреждения?
35. Что подразумевает понятие «зона обхода»?
36. Какие итерационные методы ОМП вам известны?
37. Каково назначение цифровых реле?

Повышенный уровень

1. Дайте сравнительную характеристику трансформаторов тока и токовых шунтов.
2. Поясните принцип работы АЦП поразрядного взвешивания?
3. Что такое частота передискретизации?
4. Чем определяется разрядность Δ - Σ АЦП?
5. Какие виды нелинейности передаточной характеристики АЦП вам известны?
6. Поясните термин «гистерезис переключений».
7. Для чего осуществляется фильтрация во входных цепях цифровых УРЗА?
8. Какова цель фильтрация входных сигналов в релейной защите?
9. Что включает в себя тракт аналого-цифрового преобразования?
10. Какие преимущества перед трансформаторами тока имеет датчик, выполненный по принципу катушки Роговского?
11. Почему при аналого-цифровом преобразовании из входного сигнала должны быть исключены все гармоники с частотой, более высокой, чем частота квантования?
12. Какие особенности работы цифровых реле позволяют проводить измерения при насыщении магнитной системы первичных трансформаторов тока?
13. В чем принципиальное отличие методов кодирования «с возвратом к нулю» и «без возврата к нулю»?
14. Сколько бит кодируется в каждом такте трехуровневого кодирования?
15. Что такое «базисные функции» в теории анализа сигналов?
16. При помощи какого математического инструментария производится перевод временной формы представления сигнала в частотную форму?
17. Поясните принцип базовой процедуры БПФ.
18. Что собой представляет процесс мультиплексирования?
19. Поясните термин «ортогональные функции».
20. Поясните математическую природу появления отрицательных частот при спектральном анализе сигнала.
21. Поясните термин «энергия сигнала».
22. Какие свойства преобразований Фурье вам известны?
23. Что собой представляет функция, известная как «ядро Хартли»?
24. Какова основная область применения вейвлетных преобразований?
25. Основное свойство спектра непериодического сигнала.
26. Что характеризует равенство Парсеваля?
27. Какой способ существует для устранения эффекта наложения частот (aliasing-effect)?
28. Кратко охарактеризуйте двухсторонние методы ОМП по ПАР.
29. Какие факторы влияют на точность математической модели для ОМП?
30. Кратко опишите функционал программно-аппаратного комплекса "ЦПРС".
31. Поясните принцип работы метода хранирующих импульсов.
32. Как влияет наличие взаимной индукции в схеме нулевой последовательности на требования к ОМП?

Комплект разноуровневых задач (заданий)

по дисциплине Цифровая обработка сигналов
(наименование дисциплины)

1 Задачи репродуктивного уровня

Задача 1.

Сигнал синусоидальной формы частотой f_c с амплитудой U_m без постоянной составляющей требуется представить в виде дискретных отсчетов с частотой f_0 .

Произвести квантование сигнала по уровням для 6-разрядного АЦП с диапазоном измерения $\pm U_{изм.}$

Произвести цифро-аналоговое преобразование сигнала для двух случаев:

- 1) при идеальной передаточной характеристике АЦП;
- 2) при смещенной характеристике АЦП (смещение $\frac{1}{2}$ LSB).

Построить графики дискретных сигналов. Посчитать действующие значения дискретных сигналов и сравнить с действующим значением исходного сигнала. Оценить погрешность.

Определить количество неиспользуемых состояний АЦП.

Задача 2

Для заданного в виде дискретных отсчетов сигнала, приняв частоту дискретизации f_d , определить основную частоту сигнала. Оценку провести по периоду сигнала и по полупериоду. Результаты сравнить.

Задача 3

Для двух, заданных в виде дискретных отсчетов, сигналов с частотой 50 Гц, при различных частотах дискретизации (f_{d1} , f_{d2} и f_{d3}) определить фазовый сдвиг. Результаты сравнить.

Задача 4

Для заданного в виде дискретных отсчетов сигнала произвольной формы построить автокорреляционную функцию. По виду АКФ определить частоту исследуемого сигнала.

Задача 5

Для заданного в виде дискретных отсчетов сигнала, содержащего высокочастотную помеху (с частотой близкой к 20-й гармонике) произвести анализ с использованием алгоритма ДПФ. Затем удалив, из спектра гармоники с номерами выше 9-й, произвести обратное преобразование. Построить график сигнала.

Задача 6

Для заданного в задаче 6 сигнала произвести прореживание по частоте таким образом, чтобы частота Найквиста соответствовала 10-й гармонике. Произвести прямое и обратное

Фурье-преобразование. Построить график сигнала и сравнить его с графиком, полученным в задаче 5.

Задача 7

Используя метод Ньютона конечных разностей построить интерполирующий полином первой, второй и третьей степени для следующих значений функции. Найти значение функции в заданном значении.

а. $f(8.4)$ если $f(8.1)=16.94410$, $f(8.3)=17.56492$, $f(8.6)=18.50515$, $f(8.7)=18.82091$

б. $f(0,9)$ если $f(8.6)=-0,17694460$, $f(0,7)=0,01375227$, $f(0,8)=0,22363362$, $f(1,0)=0,65809197$

Задача 8

Построить интерполирующий полином четвертой степени для следующих значений функции

x	$f(x)$
0,0	-6,00000
0,1	-5,89483
0,3	-5,65014
0,6	-5,17788
1,0	-4,28172

б) Построить интерполирующий полином пятой степени добавив значение $f(1,1)=-3,99583$.

Задача 9

Для некоей функции $f(x)$ даны конечные разности

$x_0 = 0,0$	$f(x_0)$		
		$f(x_0, x_1)$	
$x_1 = 0,4$	$f(x_1)$		$f(x_0, x_1, x_2) = \frac{50}{7}$
		$f(x_1, x_2) = 10$	

$x_2 = 0,7$	$f(x_2) = 6$		
-------------	--------------	--	--

Определить пропущенные значения.

Задача 10

Покажите что интерполирующий полином имеет третью степень.

x	-2	-1	0	1	2	3
$f(x)$	1	4	11	16	13	-4

Задача 11

Натуральный кубический сплайн на интервале $[0,2]$ имеет вид

$$S(x) = \begin{cases} S_0(x) = 1 + 2x - x^3, & 0 \leq x < 1 \\ S_1(x) = 2 + b(x-1) + c(x-1)^2 + d(x-1)^3, & 1 \leq x < 2 \end{cases}$$

Найдите b , c и d .

Задача 12

Найдите с максимальной точностью каждое пропущенное значение

а)

x	$f(x)$	$f'(x)$
2,1	-1,709847	
2,2	-1,373823	
2,3	-1,119214	
2,4	-0,9160143	
2,5	-0,7470223	
2,6	-0,6015966	

б)

x	$f(x)$	$f'(x)$
-3,0	9,367879	
-2,8	8,233241	
-2,6	7,180350	
-2,4	6,209329	
-2,2	5,320305	
-2,0	4,513417	

Задача 13

Для функции

x	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
$f(x)$	0,97	0,91	0,80	0,63	0,38
	98652	77710	8038	86093	43735

а) Найдите $f'(0,4)$ и $f''(0,4)$ всеми возможными способами

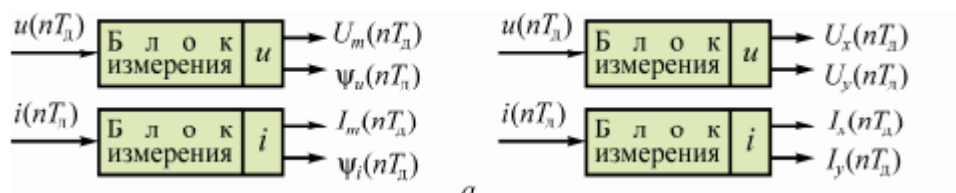
б) Найдите $f'(0,6)$ и $f''(0,6)$ всеми возможными способами

Задача 14

Определить возможную погрешность вычисления параметров входной воздействующей величины реле тока, блок измерения которого выполняет цифровые преобразования по алгоритму

$$\underline{U}(nT) = \left(\frac{N}{2\pi} + j \right) u(nT) - \frac{N}{2\pi} u[(n-1)T].$$

Входная воздействующая величина – синусоидальный ток частоты 50 Гц – дискретизируется 12 отсчётами за период ($T_d \gg 1,667$ мс).



Задача 15

Какими будут на протяжении 1-й четверти периода результаты вычислений блока измерений, цифровые преобразования в котором осуществляются по алгоритму

$$\underline{U}(nT) = \frac{1}{2} \left(\frac{N}{\pi} + j \right) u(nT) - \frac{1}{2} \left(j - \frac{N}{\pi} \right) u[(n-1)T],$$

если на вход блока поступают с периодом дискретизации $T_d \gg 1,667$ мс ($N=12$) отсчёты синусоидального тока частоты 50 Гц $i(0)=0$;

$i(1)=0,5$; $i(2)=0,866$; $i(3)=1,0$?

2 Задачи реконструктивного уровня

Задача 1.

Задан периодический сигнал в виде амплитудного и фазного спектра (см. таблицу). Сигнал ограничен 7-ю гармониками и не имеет постоянной составляющей. Основная частота сигнала - f_c

Таблица 1.1 – Амплитудный и фазовый спектр сигнала

№ гармоники	1	2	3	4	5	6	7
Амплитуда, В	U_1	U_2	U_3	U_4	U_5	U_6	U_7
Фаза, град.	Ψ_1	Ψ_2	Ψ_3	Ψ_4	Ψ_5	Ψ_6	Ψ_7

Требуется:

По заданному спектру синтезировать один период сигнала в виде дискретных отсчетов с частотой дискретизации f_d . Исключить из спектра сигнала все четные гармоники и повторно синтезировать период сигнала. Построить графики полученных сигналов, сравнить между собой. Сформулировать вывод об изменении формы сигнала при наличии/отсутствии четных гармоник.

Задача 2.

Однополярный сигнал прямоугольной формы частотой f_c с амплитудой U_m требуется представить в виде дискретных отсчетов с частотой f_d . Скважность импульсов – 0,5.

Требуется:

- 1) Произвести спектральный анализ сигнала с ограничением гармоник до 20-й включительно.
- 2) Построить графики амплитудного и фазового спектров сигнала.
- 3) Построить график аппроксимирующего сигнала.
- 4) Рассчитать абсолютную погрешность аппроксимации. Построить график погрешности.
- 5) Определить среднеквадратичную погрешность аппроксимации.

Задача 3

Решить задачу 2 используя алгоритм быстрого преобразования Фурье. Для корректной работы алгоритма подобрать соответствующую частоту дискретизации. Результаты сравнить с результатами, полученными в задаче 2.

Задача 4

Для заданной синусоидальной функции напряжения с амплитудой U_{max} провести спектральный анализ при фиксированном прямоугольном окне интегрирования с длительностью 20 мс. Анализ провести с использованием алгоритма ДПФ при частоте дискретизации f_d . Оценку провести до 10-й гармоники включительно. Расчет провести

дважды. Частоту исследуемого сигнала принять равной 49,6 и 50,4 Гц. Оценить величину спектральных утечек.

Задача 5

Токи в сети частотой 50 Гц измерены с частотой дискретизации 7,5 кГц. Действующие значения токов и их начальные фазы приведены в таблице.

Фаза сети	A	B	C
Ток, А			
Нач. фаза, град			

Требуется:

- 1) По заданным значениям токов в сети произвести расчет нулевой последовательности с использованием комплексных чисел
- 2) Смоделировать токи в виде последовательностей дискретных отсчетов при заданной частоте дискретизации
- 3) Произвести расчет нулевой последовательности по дискретным отсчетам
- 4) Сравнить результаты п.1 и п.3

Комплект заданий для контрольной работы

Для заданного участка осциллограммы:

- 1) определить параметры сигнала по файлу конфигурации;
- 2) произвести сглаживание по 5 точками;
- 3) определить частоту процесса двумя методами для исходного сигнала и сглаженного;
- 4) определить ортогональные составляющие по мгновенным значениям и методом ФОС.