

**ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ
ИССЛЕДОВАНИЯ ОСОБЕННОСТЕЙ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ РЕЛЕ
ЧАСТОТЫ ИВЧ-011**

Бутина Ю.А., Гордиенко И.С.,

научный руководитель ассистент Прутик А.Ф.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

Исследование процессов в оборудовании электроэнергетических систем (ЭЭС), а также аппаратной части РЗ и ПА осложнено невозможностью проведения большинства натуральных экспериментов в связи с их технологической сложностью. При этом необходимость проведения данных исследований весьма велика, так как они позволяют оптимизировать процесс настройки средств релейной защиты (РЗ) и противоаварийной автоматики (ПА). Указанные средства в значительной мере определяют надежность и эффективность функционирования ЭЭС в целом.

Моделирование всегда являлось основным инструментом в решении различных инженерных задач. Широкое распространение компьютерных технологий значительно упрощает реализацию задач получения математических описаний исследуемых объектов и выполнения анализа их функционирования на базе полученных моделей, что позволяет не только спрогнозировать поведение моделируемых объектов, но и определить, какие управляющие воздействия приведут к наиболее благоприятному развитию событий.

На сегодняшний день существует ряд программ (Mustang, Rastr, Evrostag), а также программно-аппаратных комплексов, таких как Всережимный моделирующий комплекс реального времени (ВМК РВ ЭЭС) [1], выполняющих моделирование процессов в ЭЭС. Моделирование средств РЗ и ПА в описанных средствах сводится к реализации основных алгоритмов их функционирования. При этом, как правило, не учитывается влияние погрешностей, вносимых измерительными преобразователями и аппаратной частью средств РЗ и ПА. Поэтому получение математических моделей РЗ и ПА с учетом их аппаратных реализаций и измерительных преобразователей и применение данных моделей совместно с указанными средствами моделирования ЭЭС весьма актуально.

Решение обозначенной проблемы может быть осуществлено путем моделирования процессов в оборудовании ЭЭС, а также в аппаратной части РЗ, ПА и измерительных преобразователях.

Для реализации задачи моделирования средств РЗ и ПА с учетом аппаратной реализации и измерительных преобразователей целесообразно применение следующей методики:

- анализ принципиальных схем РЗ и ПА для выявления особенностей функционирования и формирования адекватных схем замещения с учетом особенностей конкретной реализации;
- получение передаточных функций используемых измерительных преобразователей и органов РЗ и ПА, выполняющих непрерывное преобразование сигналов; или же составление логических функций для описания элементов, которые согласно выполненному анализу не вносят существенных погрешностей;
- составление математических описаний моделируемых устройств на основе полученных передаточных и логических функций с целью их анализа во временной или в частотной областях;

- проведение тестовых исследований полученных математических моделей при помощи существующих программ, например MATLAB, для подтверждения правильности их функционирования.

Ниже приведен пример применения описанной методики для моделирования реле частоты ИВЧ-011.

На рисунке 1 представлена схема замещения реле ИВЧ-011 и трансформатора напряжения (ТВ).

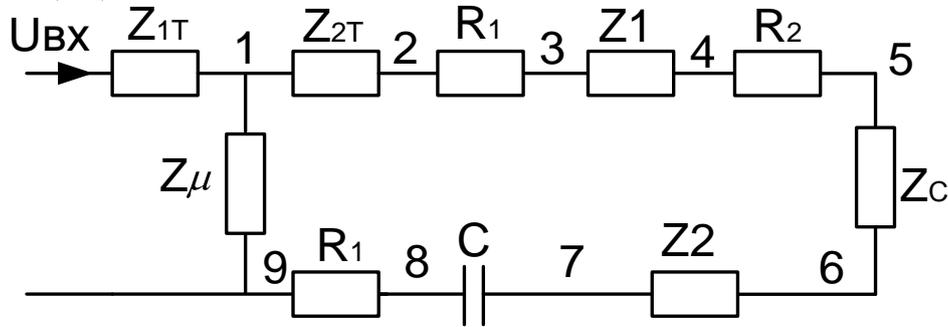


Рисунок 1 – Схема замещения трансформатора напряжения и реле

На рисунке 2 приведен граф рассматриваемой схемы.

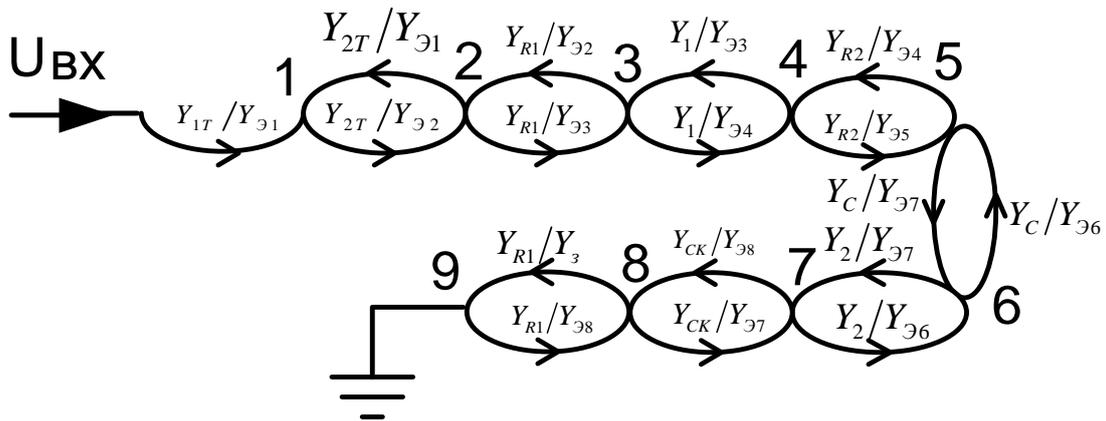


Рисунок 2 – Граф для рассматриваемой схемы замещения

Для графа (рис.2) согласно [2] получена передаточная функция

$$W(p) = \frac{Y_{1T}/Y_{Э1} \cdot Y_{2T}/Y_{Э2} \cdot Y_{R1}/Y_{Э3} \cdot Y_1/Y_{Э4} \cdot Y_{R2}/Y_{Э5} \cdot (1-j+k)}{1-\Delta} + \frac{Y_{1T}/Y_{Э1} \cdot Y_{2T}/Y_{Э2} \cdot Y_{R1}/Y_{Э3} \cdot Y_1/Y_{Э4} \cdot Y_{R2}/Y_{Э5} \cdot Y_C/Y_{Э6} \cdot (1-k)}{1-\Delta}$$

где $1-\Delta = 1 - (b+c+d+e+f+j+k) + b \cdot (d+e+f+j+k) + c \cdot (e+f+j+k) + d \cdot (f+j+k) + e \cdot (j+k) + f \cdot k - b \cdot d \cdot (f+j+k) + c \cdot e \cdot (j+k) + d \cdot f \cdot k + b \cdot d \cdot f \cdot k$.

$b = Y_{2T}^2 / Y_{Э1} \cdot Y_{Э2}$, $c = Y_{R1}^2 / Y_{Э2} \cdot Y_{Э3}$, $d = Y_1^2 / Y_{Э3} \cdot Y_{Э4}$, $e = Y_{R2}^2 / Y_{Э4} \cdot Y_{Э5}$, $f = Y_C^2 / Y_{Э5} \cdot Y_{Э6}$, $j = Y_2^2 / Y_{Э6} \cdot Y_{Э7}$, $k = Y_{CK}^2 / Y_{Э7} \cdot Y_{Э8}$.

На рисунке 3 построены амплитудно-частотная (АЧХ) и фазово-частотная (ФЧХ) характеристики в программе MathCAD.

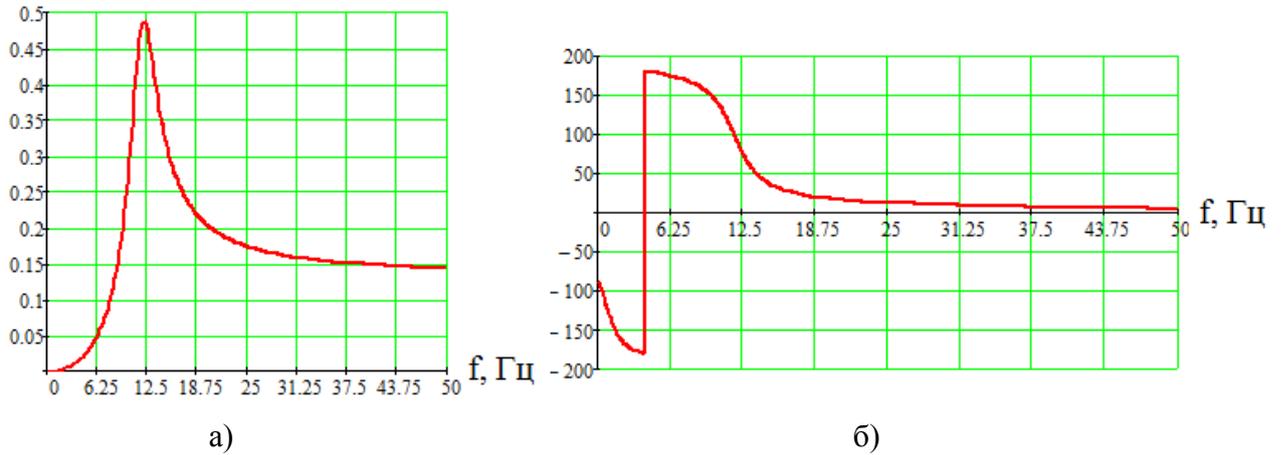


Рисунок 3 – а) АЧХ, б) ФЧХ

На рисунке 4 представлена схема реализации передаточной функции, составленная в программе MATLAB, построены АЧХ и ФЧХ (рис.5).

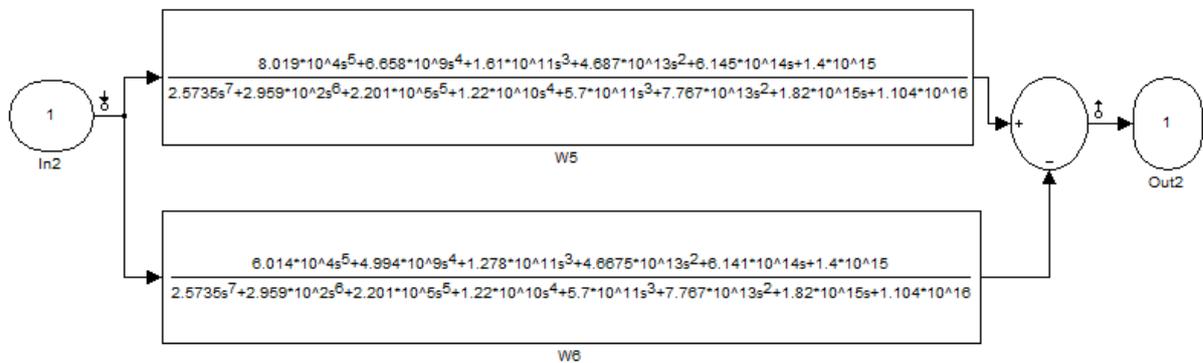


Рисунок 4 – Схема, составленная в программе MATLAB

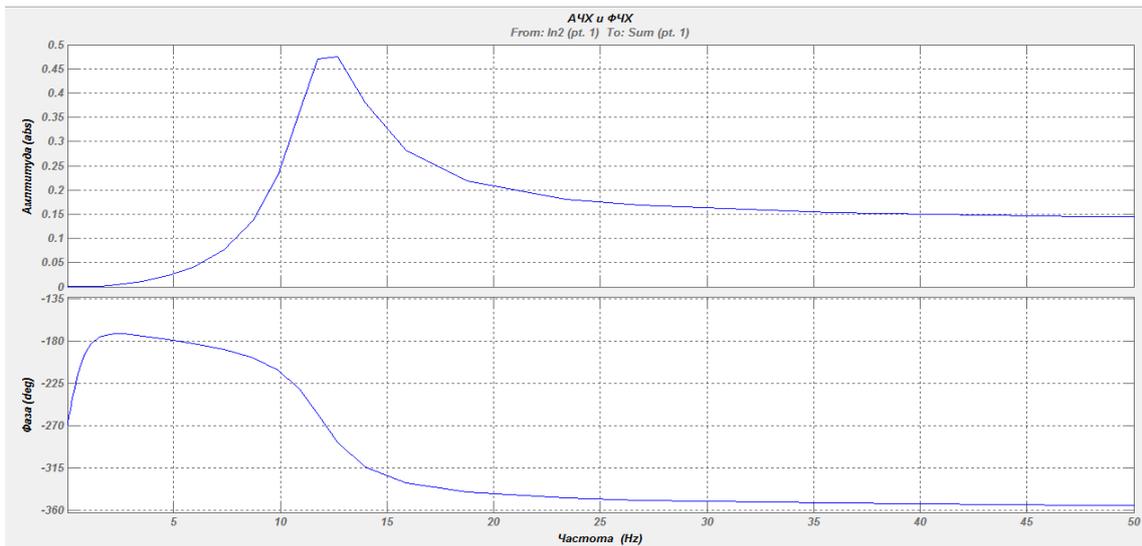


Рисунок 5 – АЧХ и ФЧХ, полученные в программе MATLAB

Согласно полученным частотным характеристикам моделируемая схема, включающая TV и реле частоты ИВЧ-011, при частоте 50 Гц имеет значение коэффициента передачи 0,15, сдвиг по фазе равный нулю. АЧХ и ФЧХ полученные в программах MATLAB и MathCAD близки к характеристикам, приведенным в [3], чем подтверждается правильность разработанной математической модели.

Представленный пример реализации методики моделирования подтверждает целесообразность её применения для разработки математических моделей РЗ и ПА с целью исследования особенностей функционирования моделируемых устройств.

Данный уровень моделирования позволяет реализовать адекватные математические модели средств РЗ и ПА с учетом аппаратной реализации и измерительных преобразователей, и как следствие, более достоверный учет их влияния на надежность и эффективность функционирования ЭЭС.

В перспективе возможна программная реализация разработанной математической модели совместно со средствами моделирования, например, ВМК РВ ЭЭС, позволяющими формировать необходимые измеряемые режимные величины в непрерывном спектре процессов при различных условиях работы оборудования ЭЭС в реальном времени.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Гусев А.С., Свечкарев С.В., Плодистый И.Л. Многопроцессорная программно-техническая система реального времени гибридного типа для всережимного моделирования энергосистем // Технологии управления режимами энергосистем XXI века: Сб. докладов Всеросс. науч.-практич. конф. - Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2006. - С.125-131.
2. Дж. Абрахамс, Дж. Каверли. Анализ электрических цепей методом графов. М., «Мир», 1967.
3. Барзам А.Б. Системная автоматика. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – с. 446.
4. Инструкция по проверке и настройке реле частоты типа ИВЧ-011, 1962.