



Научно-технический центр
Единой энергетической системы

Моделирование воздушных и кабельных линий электропередачи от 6 кВ для расчёта аварийных режимов сети, установок устройств РЗА, определения места повреждения на линиях в программном комплексе ПВК «АРУ РЗА»

Санкт-Петербург, 2024

Докладчик:
Саввин Д.Н.



Развитие ПВК «АРУ РЗА»

- Октябрь 2014 г. - начата разработка ПВК;
- 2017 г. - ПВК «АРУ РЗА» включен в Единый реестр российских программ для электронных вычислительных машин и баз данных. Запись в реестре №4128 от 11.12.2017 произведена на основании приказа Министерства цифрового развития, связи и массовых коммуникаций РФ от 07.12.2017 №680;
- 2015-2019 гг. - в АО «СО ЕЭС» тестирование ПВК «АРУ РЗА». По результатам был сделан вывод: ПВК «АРУ РЗА» **программно-совместим** с корпоративным программным комплексом АО «СО ЕЭС» для расчётов ТКЗ и РЗА;
- 11.01.2021г. – по итогам успешной опытной эксплуатации ПВК «АРУ РЗА» **введён в промышленную эксплуатацию в АО «СО ЕЭС»** (распоряжение №151р от 30.12.2020);
- 2021 г. - ПВК «АРУ РЗА» **удостоен международной премии** «Время инноваций – 2021» в номинации «Проект года» (Дубай, 2021);
- 01.03.2021 - **ПВК «АРУ РЗА» - основной расчетный комплекс в АО «СО ЕЭС»**, ПВК АРМ СРЗА – становится архивным.





Уникальные особенности ПВК «АРУ РЗА»

- принципиально новые алгоритмы расчета электрических параметров сети;
- создание и расчёт сети с неограниченным количеством узлов и ветвей;
- моделирование различных устройства FACTS (позволяет моделировать источники солнечной и ветро-генерации, работу ВПТ, СТК);
- расчет параметров аварийного режима методами симметричных составляющих и фазных координат;
- модули по автоматизации выбора уставок и анализа срабатывания устройств РЗ;
- возможность функционирования ПВК «АРУ РЗА» не только на ОС Windows, но и на **отечественных операционных системах** семейства UNIX
- Полностью **самостоятельная отечественная программная разработка** (все модули программы, включая расчётное ядро и графический редактор) – что позволяет гарантировать многолетний жизненный цикл комплекса и своевременную поддержку;
- Наличие в программе дополнительных модулей, с интеграцией к основному функционалу программы.



Интерфейс программы

ПВК АРУ РЗА 7.0 31.01.2022 Сеть: "ТЕСТ.aru"

ТЕСТ.aru x Новая сеть x

Главная Рисование Расчет уставок Дополнительно Импорт и экспорт Нормативные документы Справка

поиск отобразить/скрыть ИГ автомасштабирование сетка Режим Работы

расчёт по выбору расчёт вдоль протокол повреждения коммутации эквивалент

Открыто окон: 0

базовый слой - текущий слой



Модуль расчёта параметров ВЛ/КЛ

Дополнительные модули

Предназначен для автоматизированного расчёта параметров схемы замещения воздушных и кабельных линий. Модуль позволяет учитывать факторы, влияющие на параметры активного сопротивления, индуктивности и ёмкости линии электропередач

Возможности:

- расчёт индуктивных групп большого порядка;
- ввод исходных данных путём выбора из базы паспортных параметров;
- экспорт результатов в модель сети;

Перечень физических явлений, влияющих на параметры, которые можно учесть в моделировании:

- взаимоиנדукция;
- скин-эффект (поверхностный эффект);
- нагрев проводов под действием окружающей среды



Структура данных. Интерфейс

Параметры группы взаимоиндукции

Участок_1

Ветвь	Номер	гор. смещ. (м.)	верт. смещ. (м.)	Угол
Ветвь_1	1	0.0	0.0	0
Ветвь_2	2	22.2	0.0	0

Ветвь: X смещение: Y смещение: Угол:

длина участка, км:

температура среды, °C:

имя:

сопротивление грунта Ом*м

эквивалентная глубина расположения обратного провода в земле, м

учитывать скин-эффект



База паспортных параметров оборудования

База паспортных параметров оборудования

Трансформатор | Авто/трёхобм. - трансформаторы | Генератор | Реактор | Кабель | Провод | Грозотрос | Изолятор | Опора

Добавить | Дублировать | Удалить | Очистить базу | Обновить | Разблокировать

Тип: часть строки

полное совпадение

Уном, кВ

От: До:

Тип	Уном, кВ
ПБ150-1	150.0
ПБ150-2	150.0
П150-1	150.0
П150-2	150.0
ПОГ-1150	1150.0
ПБ220-1	220.0
ПБ220-3	220.0
ПСБ220-1	220.0
ПУСБ220-1	220.0
ПБ220-4	220.0
УБ220-1	220.0
УБ220-3	220.0
УСБ220-1	220.0
П220-1	220.0
ПС220-1	220.0
П220-3	220.0
ПС220-3	220.0
П220-2	220.0

Сбросить | Поиск

Фазы: Добавить | Удалить | Очистить

Фаза	№ цепи	х, м	у, м
A	1	-2.5	13.5
B	1	-4.0	17.5

Грозотросы: Добавить | Удалить | Очистить

Фаза	№	х, м	у, м
T	1	0.0	24.5

Принять | Отмена

ОРGW 136-AL3 / 68-A20SA 48 | 19.0 | 0.5 | 0.201 | 1 | в двух и более точках | 21.5

Перейти к участку | Расчёт



Расчёт параметров кабельных линий.

База паспортных параметров оборудования

Трансформатор Авто/трёхобм. - трансформаторы Генератор Реактор **Кабель** Провод Грозотрос Изолятор Опора

Добавить Дублировать Удалить Очистить базу Обновить Разблокировать

Тип
часть строки
 полное совпадение

Уном, кВ
От До

Сж, мм2
От До

Тип	Производитель	Уном, кВ, Ом	Тип изоляции	Исполнение	Сж, мм2	Мат.жилы	Rлог.ж,
ПвПу2г-1х1200/185-110	Москабель	110.0	СПЭ	1	1200.0	Cu	0.0151
АПвП2г-1х1200/185-110	Севкабель	110.0	СПЭ	1	1200.0	Al	0.0247
ПвВнг-1х1200/185-110	Москабель	110.0	СПЭ	1	1200.0	Cu	0.0151
АПвПу2г-1х1200/185-110	Москабель	110.0	СПЭ	1	1200.0	Al	0.0247
FXLJ-1х1400/185-220	ABB	220.0	СПЭ	1	1400.0	Cu	0.0129
FXLJ-1х1600/185-220	ABB	220.0	СПЭ	1	1600.0	Cu	0.0113
FXLJ-1х2000/185-220	ABB	220.0	СПЭ	1	2000.0	Cu	0.009
FXLJ-1х2500/185-220	ABB	220.0	СПЭ	1	2500.0	Cu	0.0072
FXLJ-1х3000/185-220	ABB	220.0	СПЭ	1	3000.0	Cu	0.006
МВДТ 1х300		220.0	маслонаполн...	1	300.0	Cu	0.0604
МВДТ 1х400		220.0	маслонаполн...	1	400.0	Cu	0.0445
МВДТ 1х500		220.0	маслонаполн...	1	500.0	Cu	0.0357
МВДТ 1х550		220.0	маслонаполн...	1	550.0	Cu	0.0329
МВДТ 1х625		220.0	маслонаполн...	1	625.0	Cu	0.0284
МВДТ 1х700		220.0	маслонаполн...	1	700.0	Cu	0.0256
МВДТк 1х300		220.0	маслонаполн...	1	300.0	Cu	0.0604
МВДТк 1х400		220.0	маслонаполн...	1	400.0	Cu	0.0445

Сбросить Поиск

Принять Отмена



Интерпретация результатов расчёта ВЛ/КЛ

Протокол расчёта модуля расчёта параметров ВЛ/КЛ

Все | Выборочно

Матрица полных сопротивлений, Ом

	Ветвь_1 - цепь 1 - фаза А	Ветвь_1 - цепь 1 - фаза В	Ветвь_1 - цепь 1 - фаза С	Ветвь_2 - цепь 1 - фаза А	Ветвь_2 - цепь 1 - фаза В	Ветвь_2 - цепь 1 - фаза С
Ветвь_1 - цепь 1 - фаза А	4,759 +j5,5	0,444 +j1,284	0,418 +j0,886	0,473 +j1,486	0,426 +j0,887	0,425 +j0,935
Ветвь_1 - цепь 1 - фаза В	0,444 +j1,284	4,719 +j5,634	0,441 +j1,286	0,448 +j1,663	0,453 +j1,359	0,432 +j1,159
Ветвь_1 - цепь 1 - фаза С	0,418 +j0,886	0,441 +j1,286	3,683 +j5,346	0,432 +j1,021	0,488 +j1,701	0,446 +j1,086
Ветвь_2 - цепь 1 - фаза А	0,473 +j1,486	0,448 +j1,663	0,432 +j1,021	3,0 +j5,473	0,442 +j1,073	0,433 +j1,112
Ветвь_2 - цепь 1 - фаза В	0,426 +j0,887	0,453 +j1,359	0,488 +j1,701	0,442 +j1,073	3,035 +j5,301	0,458 +j1,165
Ветвь_2 - цепь 1 - фаза С	0,425 +j0,935	0,432 +j1,159	0,446 +j1,086	0,433 +j1,112	0,458 +j1,165	2,959 +j5,706

Матрица ёмкостных проводимостей, мкСм

	Ветвь_1 - цепь 1 - фаза А	Ветвь_1 - цепь 1 - фаза В	Ветвь_1 - цепь 1 - фаза С	Ветвь_2 - цепь 1 - фаза А	Ветвь_2 - цепь 1 - фаза В	Ветвь_2 - цепь 1 - фаза С
Ветвь_1 - цепь 1 - фаза А	24,418	-2,255	-0,76	-3,925	-0,838	-1,117
Ветвь_1 - цепь 1 - фаза В	-2,255	24,881	-2,244	-4,522	-2,87	-1,717
Ветвь_1 - цепь 1 - фаза С	-0,76	-2,244	26,012	-1,13	-5,671	-1,644
Ветвь_2 - цепь 1 - фаза А	-3,925	-4,522	-1,13	25,265	-1,534	-1,888
Ветвь_2 - цепь 1 - фаза В	-0,838	-2,87	-5,671	-1,534	26,153	-2,287
Ветвь_2 - цепь 1 - фаза С	-1,117	-1,717	-1,644	-1,888	-2,287	22,724

Параметры ветвей в симметричных составляющих:
Собственные параметры ветвей

Ветвь	R1, Ом	X1, Ом	b1, мкСм	R0, Ом	X0, Ом	b0, мкСм
Ветвь_1 - цепь 1	3,9527	4,3411	26,8564	5,2557	7,7976	21,5978
Ветвь_2 - цепь 1	2,5536	4,3764	26,6169	3,887	7,727	20,9078

Матрица взаимоиנדукции, Ом

ветвь/ветвь	Ветвь_1 - цепь 1	Ветвь_2 - цепь 1
Ветвь_1 - цепь 1	5,2557+j*7,7976	1,3408+j*3,7658
Ветвь_2 - цепь 1	1,3408+j*3,7658	3,887+j*7,727

Сохранить | Очистить | Закрыть | Печать | Автопрокрутка | Автоочистка



Определение места повреждения

По аварийным замерам электрических величин

Модуль ОМП предназначен для определения места повреждения в электрической сети на основе электрических величин (напряжение и ток прямой, обратной и нулевой последовательностей, фазные замеры), полученных с помощью фиксирующих приборов (ФИП) или любым другим способом.

Особенности:

- высокая скорость и точность расчёта;
- в качестве показаний фиксирующих приборов могут быть заданы любые виды замеров;
- элемент поиска может быть сложной конфигурации с различными вариантами ветвления. Анализируются все возможные пути расчёта.
- модуль самостоятельно определяет ошибочные данные замеров;
- число мест установки фиксирующих приборов не ограничено. Места установки приборов также могут быть заданы произвольно.



Возможности модуля ОМП

- просмотр всех видов КЗ;
- подбор переходного сопротивления;
- определение ошибочных замеров;
- определение вероятности места повреждения;
- возможность расчёта по фазным замерам;
- возможность расчёта в нескольких подрежимах;
- вывод наиболее вероятного и всех потенциально возможных мест повреждения;
- решение обратной задачи.

Протоколы расчётов

Все Выборочно

ПВК АРУ РЗА - версия 31.08.2021 - сеть ТЕСТ_ОМП
Дата: 14 сентября 2021 г. Время: 12:40 UTC : +7
Расчёт ОМП
Дата аварии : 29 декабря 2020 г. 15:23:21

Исходные данные:

Объект сети	Значение замера
900(ПСН15 3-ДИ-Ч)-18562(ПС 12А-110)	I2 = 8.521
922(ЛЕВАШОВСКАЯ N55)-18559(ПС 12А-110)	I2 = 5.206
900(ПСН15 3-ДИ-Ч)	U2 = 32.64
922(ЛЕВАШОВСКАЯ N55)	U2 = 34.76

Режим - исходный режим
Изменения

Команда
ОТКЛЮЧИТЬ (ЭЛЕМЕНТ=6;) (ЗАЕМЛИТЬ=ДА)
ОТКЛЮЧИТЬ (ЭЛЕМЕНТ=352;) (ЗАЕМЛИТЬ=ДА)
ИЗМЕНИТЬВЫКЛЮЧАТЕЛЬ (НОМЕР=18560-18561) НА (СОСТ=вкл)

Количество определенных мест повреждения - 1. Виды этих повреждений:

Путь поиска: Ветви поиска : 900-18562; 18562-18559; 18559-922
Тип повреждения: Зам. К32 900-18562[74.917%] (89.9 км. от узла 900)
Место повреждения: 89.9 км. от узла 900(ПСН15 3-ДИ-Ч)
Обход линии: с 81.9 по 97.9 км. на участке 900(ПСН15 3-ДИ-Ч) - 922(ЛЕВАШОВСКАЯ N55)

Замеры с допустимой погрешностью:

замер	значение в режиме	разница, %
900(ПСН15 3-ДИ-Ч)-18562(ПС 12А-110) I2 = 8.521	8.527	0.068
922(ЛЕВАШОВСКАЯ N55)-18559(ПС 12А-110) I2 = 5.206	5.201	0.104
900(ПСН15 3-ДИ-Ч) U2 = 32.64	32.639	0.004
922(ЛЕВАШОВСКАЯ N55) U2 = 34.76	34.759	0.004

Сохранить Очистить Закрыть Печать Автопрокрутка Автоочистка



Развитие взаимодействия с внешними информационными системами, функционирующими на базе CIM

задача импорта **параметров** элементов сети и устройств РЗА (платформа СК-11)

- возможность как создания новой сети, так и актуализации уже имеющейся
- настройка участка и объёма импорта
- отдельный импорт параметров элементов сети и устройств РЗА
- возможность эквивалентирования участка сети при импорте
- создание протокола импорта

задача импорта **состояния** сети и устройств РЗА (ОИК СК-11 и ИУС «CIM-ЗРП»)

- настройка участка и объёма импорта
- отдельный импорт состояния элементов сети и устройств РЗА
- возможность выбора момента времени, по состоянию на который требуется импорт
- обработка ситуаций возникновения различий в составе элементов сети при импорте
- создание протокола импорта

задача импорта **уставок** (система ИС СРЗА)

- возможность импорта данных основных и ступенчатых защит
- настройка участка и объёма импорта (отдельные устройства РЗА, набор функций РЗА, набор ступеней защит)
- возможность актуализации уставок всех имеющихся в сети РЗА
- режим сопоставления уже имеющихся в сети устройств РЗА и загружаемых устройств с выводом различий
- создание протокола импорта



Опыт внедрения ПВК «АРУ РЗА»

В рабочем процессе:

- АО «СО ЕЭС»
- НПП «ЭКРА»
- Быстринский ГОК
- Башкирская Генерирующая компания
- АО «Ачинский НПЗ ВНК»
- Иркутская нефтяная компания
- «Электрогазпроект» (филиал АО «Газпром электрогаз»)
- ТОО «Тяжпромэлектропроект» (Республика Казахстан)
- ООО "Прософт-Системы"
- ООО «Славнефть-Красноярскнефтегаз»
- АО «Норильско-Таймырская энергетическая компания»
- ООО «Юнигрин Инжиниринг»
- ПО «Россети Тюмень»
- ООО «Ленэлектромонтаж»
- ПАО «Юнипро»
- ООО «Ноябрьскэнергонефть»
- ООО «СМП Центр»
- ПАО «ТГК-1»
- АО «Энергосервис Юга»

В учебном процессе:

- Новосибирский государственный технический университет
- Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова
- Казанский государственный энергетический университет
- «Петербургский энергетический институт повышения квалификации» (ФГАОУ ДПО «ПЭИПК»), Новосибирский филиал
- НОУ «Научно-образовательный центр ЭКРА»
- **ПVK «АРУ РЗА» включен в программу повышения квалификации специалистов Служб РЗА АО «СО ЕЭС»**



Научно-технический центр
Единой энергетической системы



Саввин Дмитрий Николаевич

АО «Научно-технический центр Единой энергетической системы».

Телефон: +7 (383) 355-99-14;

E-mail: savvin-dn@ntcees.ru