



МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ АНАЛИЗА НЕСИММЕТРИЧНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ИЗОЛИРОВАННОЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

Р.О. Брижак, магистрант
ФГБОУ ВО «Калининградский государственный
технический университет»

В данной статье приведены обоснование, актуальность, описание разработанной математической модели электроэнергетической системы Калининградской области для расчетов несимметричного режима с подробным моделированием не учтенных в существующих моделях элементов энергосистемы:

- учет изменений в энергосистеме, вызванных вводом в эксплуатацию новых ТЭС (Приморская, Прегольская, Талаховская, Маяковская) и примыкающих к ним ЛЭП;
- взаимного сопротивления ЛЭП, в том числе нулевой последовательности;
- сопротивлений обратной, нулевой последовательности генераторов, трансформаторов;
- учет несимметрии нагрузки.

режимы работы, несимметрия, изолированный режим, взаимные сопротивления, математическая модель, энергосистема, перетоки мощности

В настоящее время энергосистема Калининградской области (КО) работает в составе единой энергосистемы со странами Балтии (Литвы, Латвии, Эстонии). В ближайшей перспективе энергосистема КО будет вынуждена работать в автономном режиме ввиду отключения от нас энергосистем стран Балтии [1]. В связи с этим на 2018–2019 гг. планируется ввод в эксплуатацию четырех новых ТЭС с целью обеспечения условия устойчивости работы энергосистемы [2].

Все эти изменения могут значительно отразиться на режимах работы энергосистемы в целом, практически непредсказуемо повлияв на перетоки мощностей, токи Кз внутри изолированной ЭЭС. Ситуацию усугубляет слабая изученность несимметричных режимов, а также неточность в настоящее время существующих моделей, ввиду отсутствия учета вышеописанных элементов.

Все эти факторы, накладываясь, могут привести к последствиям нестабильной работы ЭЭС КО в будущем, при выведении всей энергосистемы в изолированный режим, прогнозирование которых является целью разработки данной модели.

Практическая значимость модели состоит в том, что с ее помощью можно:

- проанализировать несимметричные режимы работы изолированной электроэнергетической системы (системообразующей сети 110/330 кВ) Калининградской области с учетом новых строящихся электростанций;
- оценить влияние несимметричного режима на величины: допустимых нагрузок электростанций, МДП (АДП) в контролируемых сечениях, требуемые величины управляющих воздействий противоаварийной автоматики (УВ ПА), устойчивость новообразованной энергосистемы в целом;
- рассчитать установившиеся и переходные электромеханические процессы с учетом возможной несимметрии трехфазной системы различной природы (несимметрия нагрузок, нелинейные нагрузки и т. п.);
- рассчитывать и проанализировать различные утяжеленные режимы работы энергосистемы.

Кроме того, предполагается оценить максимально возможную расчетную величину разницы между фазными напряжениями в сети 110/330 кВ и в контрольных пунктах по напряжению (шины 110/330 кВ крупных ПС 110/330 кВ и электростанций) в целях уточнения методики формирования графиков напряжения и контроля напряжения в контрольных пунктах.

В конечном итоге эти исследования позволят получить более реальную картину по процессам, происходящим в изолированной энергосистеме в несимметричном режиме, а также выявить наиболее эффективные способы компенсации и учета несимметрии для энергосистемы Калининградской области.

Для разработки модели был выбран программный комплекс RastrWin. Он предназначен для решения задач по расчету, анализу и оптимизации режимов электрических сетей и систем. RastrWin используется более чем в 150 организациях на территории России и СНГ. В Калининградской области основными пользователями являются АО «Янтарьэнерго» и его филиалы; «Региональное диспетчерское управление энергосистемы Калининградской области» (Балтийское РДУ).

Программный комплекс RastrWin, предназначенный для решения задач по расчету, анализу и оптимизации режимов электрических сетей и систем, лучше всего подходит для решения вышеперечисленных проблем с наименьшими временными затратами по причинам:

- представление электрической сети в виде однолинейной графической схемы, что обеспечивает наиболее удобное восприятие информации о расчетах режима.
- расчет установившихся и несимметричных режимов электрических сетей произвольного размера и сложности, любого напряжения (от 0.4 до 1150 кВ). Полный расчет всех электрических параметров режима (токи, напряжения, потоки и потери активной и реактивной мощности во всех узлах и ветвях электрической сети);
- расчет режимов с учетом сопротивления нулевой последовательности, взаимоиנדукции между параллельными ЛЭП, а также частоты;
- расчет предельных по передаваемой мощности режимов энергосистемы, определение опасных сечений;
- структурный анализ потерь мощности – по их характеру, типам оборудования, районам и уровням напряжения;
- проведение серийных (многовариантных расчетов) по списку возможных аварийных ситуаций.

Взаимные индуктивные и емкостные сопротивления ЛЭП прямой и нулевой последовательности, а также сопротивления обратной и нулевой последовательности генераторов, трансформаторов были рассчитаны аналитически по методике, описанной в [3]. Результаты расчета пяти случайно выбранных ЛЭП, рассчитанных по разработанной модели, представлены в табл. 1.

Параметры схем замещения тех же ЛЭП, используемые в существующей модели, представлены в табл. 2.

Сравнив табл. 1 и 2, видим, что в существующей модели отсутствуют параметры ЛЭП нулевой последовательности, а также поперечная активная проводимость. Остальные параметры отличаются не более чем на 5 %.

Сопротивления взаимоиנדукции учтены для ЛЭП, проходящих в одних «коридорах», т.е. находящихся на таких расстояниях друг от друга, на которых способны оказывать электромагнитное влияние друг на друга ввиду взаимодействия их электромагнитных полей. В качестве примера представим в табл. 3 взаимные индуктивные сопротивления, рассчитанные для ЛЭП, выходящих от Маяковской ТЭС.

Для проверки адекватности модели был произведен расчет эквивалентированной схемы энергосистемы Калининградской области, изображенной на рисунке в изолированном режиме, для оценки величины основных перетоков мощности как с учетом недостающих параметров, так и без них.

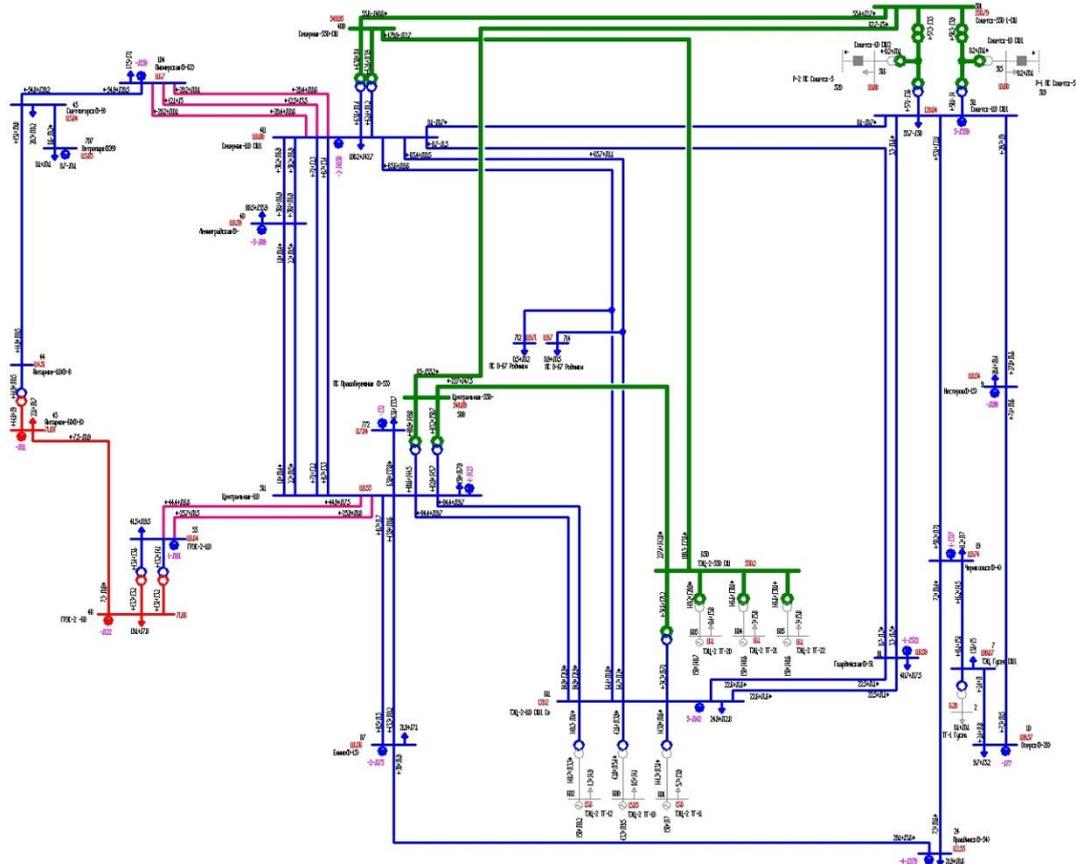


Рисунок – Эквивалентированная модель ЭЭС КО

Таблица 1 – Результаты расчета параметров ЛЭП по разработанной модели

Название ЛЭП	Параметры							
	R	X	G	B	r0	x0	g0	b0
ГВАРДЕЙСК 110-1 – УШАКОВСКАЯ 110-1	5,64	7,41	0,25	-48,2	9,727	25,314	0,33	-123,84
ВАСИЛЬКОВО Л116 – НЕВСКАЯ 110-1	0,09	0,2	0,007	-1,6	0,237	0,692	0,009	-4,128
ЛАДУШКИН 110 – МАМОНОВО 110	4,87	6,57	0,23	-44,3	8,635	16,694	0,31	-113,52
ГУСЕВ 110-1 – ОЗЕРСК 110	7,67	10,1	0,31	-69,6	14,14	28,198	0,418	-178,02
МАМОНОВО 110 – ЕНИНО 110	10,96	14,27	0,48	-92,6	19,134	49,129	0,648	-237,36
НЕСТЕРОВ 110-2 – ЧИСТЫЕ ПРУДЫ 110	6,17	8,772	0,35	-63,8	11,617	23,854	0,4725	-162,54

Таблица 2 – Параметры схем замещения ЛЭП, используемые в существующей модели

Название ЛЭП	Параметры							
	R	X	G	B	r0	x0	g0	b0
ГВАРДЕЙСК 110-1 – УШАКОВСКАЯ 110-1	5,65	7,41	-	-48,3	-	-	-	-
ВАСИЛЬКОВО Л116 – НЕВСКАЯ 110-1	0,09	0,21	-	-1,65	-	-	-	-
ЛАДУШКИН 110 – МАМОНОВО 110	4,87	6,57	-	-45,2	-	-	-	-
ГУСЕВ 110-1 – ОЗЕРСК 110	7,68	10,13	-	-70,2	-	-	-	-
МАМОНОВО 110 – ЕНИНО 110	10,96	14,27	-	-93,1	-	-	-	-
НЕСТЕРОВ 110-2 – ЧИСТЫЕ ПРУДЫ 110	6,17	8,77	-	-63,5	-	-	-	-

Таблица 3 – Взаимные сопротивления между ЛЭП Маяковской ТЭС и энергосистемой Калининградской области

	Л-№188	Л-№187	Л-№189	Л-№107
Л-№188	–	0.112+j0.195	0.093+j0.101	0.083+j0.065
Л-№187	0.112+j0.195	–	0.109+j0.181	0.093+j0.101
Л-№189	0.093+j0.101	0.109+j0.181	–	0.112+j0.193
Л-№107	0.083+j0.065	0.093+j0.101	0.112+j0.193	–

Результаты расчета основных перетоков мощности, а также их сравнение с результатами, полученными по существующей модели, представлены в табл. 4.

Исходя из сравнения в табл. 4, можно сделать вывод, что модель является адекватной. Впоследствии планируется провести более глубокую проверку на адекватность, сравнив результаты расчета с данными, полученными эмпирическим путем с помощью контрольных измерительных приборов.

Таблица 4 – Результаты расчета основных перетоков мощности по разрабатываемой и существующей моделям

Наименование ЛЭП	Перетоки мощности по существующей модели	Перетоки мощности по разработанной модели	Относительная разница между различными вариантами расчета, %
Советск – Северная 330кВ	17 – j21,4	17,7 – j21,4	4,3
Прегольская ТЭС – Советск 330кВ	17,5 – j33,7	18,4 – 36,4	7,2
Прегольская ТЭС – Центральная 330кВ	19,1 – j32,2	19,9 – j33,8	3,4
ТЭЦ-2 – Центральная 330кВ	77,8 + j4,9	80,9 + j5,2	5,2
Янтарное – Светлогорск 110кВ	6,3 + j1,5	6,6 + j1,6	4,7
ТЭЦ-2 – Центральная 110кВ	50,7 – j19,2	52,7 – j20,2	3,9
ТЭЦ-2 – Восточная-1 110кВ	40,5 + j12,6	42,1 + j13,2	4,7

Выводы:

1. Рассчитан необходимый перечень параметров схем замещения ЛЭП Калининградской ЭЭС (активные, индуктивные, емкостные) как для прямой, так и для нулевой последовательности, в том числе собственные и взаимные сопротивления.
2. Впервые разработана первичная модель для анализа несимметричных режимов работы изолированной электроэнергетической системы Калининградской области.
3. Проведена первая ступень проверки модели на адекватность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Соглашение между концерном «Белэнерго», ГАО «Latvenergo», РАО «ЕЭС России», АО «Eesti Energia» и АО «Lietuvos Energija» о параллельной работе энергосистем. Вильнюс (7 февраля 2001 г.).
2. Схема и программа перспективного развития электроэнергетики Калининградской области на 2016–2020 годы.
3. Руководящие указания по релейной защите. Расчеты токов КЗ для релейной защиты системной автоматики в сетях 110-750кВ. – Москва: Энергия, 1979. – 152 с.

MATHEMATICAL MODEL FOR THE ANALYSIS
OF NON-SYMMETRIC OPERATING MODES OF
THE INSULATED POWER ELECTRIC POWER SYSTEM OF KALININGRAD REGION

R. O. Brizhak, master student
brizhak12@gmail.com
Kaliningrad State Technical University

In this article, the substantiation, relevance and description of the developed mathematical model of the Kaliningrad region electric power system for calculations of an asymmetric mode with detailed modeling of the energy system elements not considered in the existing models are presented:

- accounting for changes in the energy system caused by the commissioning of new TPPs (Primorskaya, Pregolskaya, Talakhovskaya, Mayakovskaya) and adjacent power lines;
- mutual resistance of transmission lines, including zero sequence;
- resistance of the reverse, zero sequence of generators, transformers;
- allowance for load unbalance.

modes of operation, asymmetry, isolated mode, mutual resistance, mathematical model, power system, power flows