

случае $T_{\text{вкл}} \ll \theta_v$ (для быстродействующих полупроводниковых ключей) зависимость $T_{\phi}(T_{\text{вкл}}, \xi)$ совпадает с зависимостью $T_{\phi}(\xi)$, полученной в [4].

Выводы.

1. В работе уточнена схема замещения импульсного трансформаторного источника. Для этого использована модель полупроводникового ключа с конечными временами включения и выключения.

2. Для уточненной схемы замещения получены интегро-дифференциальное уравнение для напряжения на нагрузке и расчетная модель в среде *Electronics Work Bench Pro*.

3. С помощью расчетной модели установлена зависимость длительности фронта импульса от коэффициента затухания и времени включения полупроводникового ключа.

Список литературы: 1. С.С.Водвин Проектирование импульсных трансформаторов. – Л.: Энергоатомиздат, 1991. 2. Л.А.Бессонов Теоретические основы электротехники. Изд. 6-е, перераб. и доп. Учебник для студентов энергетических и электротехнических вузов. – М., Высшая школа, 1973. – 752с. 3. В.И.Карлачук. Электронная лаборатория на IBM PC. Издание 2-е, дополненное и переработанное. – М.: Солон-Р, 2001. – 726 с. 4. Я.С.Иццоки Импульсные устройства. – М.: Советское радио, 1959 – 728 с.

Поступила в редколлегию 26.04.2008

УДК 621.315

В.С.БЫКОВ; НТУ «ХПИ»

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ УСИЛЕНИЯ СВЯЗЕЙ СИСТЕМООБРАЗУЮЩЕЙ СЕТИ ЮЖНОЙ ЭЭС УКРАИНЫ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ УПРАВЛЯЕМЫХ САМОКОМПЕНСИРУЮЩИХСЯ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ

В статті виконано розрахунки режимів роботи кільцевої мережі частини Південної ЕЕС з включенням електропередачі нового типу – УСВЛ, які показали доцільність їх застосування для посилення системоутворюючої мережі ОЕС України.

In given paper the calculations of modes of operations of a circle network of a part of Southern EES with inclusion of transmission line of a new type - USVL were executed which have shown expediency of their application for amplification of a system-forming network OES of Ukraine.

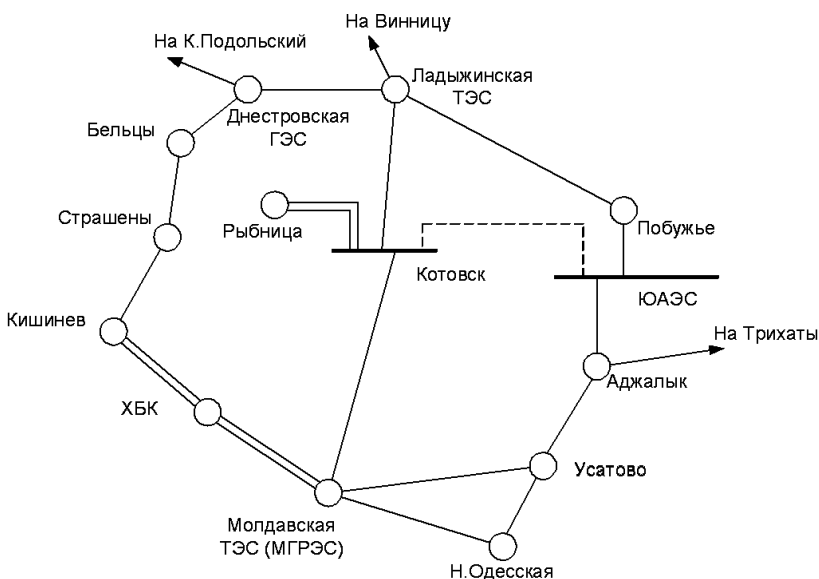
Введение и постановка задачи

Системообразующие сети ОЭС Украины обеспечивают необходимое распределение потоков мощности и выдачу мощности генерирующих источ-

ников. Однако в некоторых энергосистемах существуют «проблемные» участки сетей, пропускная способность которых недостаточна и необходимо усиление системообразующих связей. Одной из таких систем является Южная ЭЭС. В феврале 2001 г. в результате аварийного возмущения (отключения ЛЭП Аджалык – Усатово) произошло полное погашение данной ЭЭС, а также ЭЭС Молдовы. Данный факт подтверждает необходимость развития сетей в ОЭС Украины.

Целью данной статьи является исследование возможности применения управляемых самокомпенсирующихся электропередач в ОЭС Украины на примере новой ЛЭП ЮАЭС –Котовск напряжением 330 кВ.

В расчетах детально анализировалась схема кольцевой сети, состоящая из 12 узлов, входящих в Южную, Юго-Западную ЭЭС Украины и ЭЭС Молдовы (см. рисунок).



Расчет режимов производился для зимнего максимума нагрузок ОЭС Украины и ЭЭС Молдовы, а также части ЕЭС России и Беларуси. Общая генерация по энергосистемам составляет 160323 МВт, нагрузка – 160150 МВт.

Общие потери составляют 196 МВт активной мощности и 855 МВар реактивной [4].

Питание анализируемой сети осуществляется от Южноукраинской АЭС (3 x 1000 МВт), Молдавской ТЭС(МГРЭС) (2 x 200 МВт), Ладыжинской ТЭС (6 x 300 МВт), Днестровской ГЭС (6 x 117 МВт) и некоторых других

источников. В схеме Южной ЭЭС имеется дефицитный район: ПС Н.Одесская, Усатово, Аджалык.

Результаты расчетов режимов кольцевой сети 330 кВ

В нормальном режиме питание осуществляется по линиям ЮАЭС – Аджалык – Усатово – Н.Одесская и Молдавская ТЭС – Н.Одесская, Молдавская ТЭС – Усатово. Напряжения в узлах рассматриваемой части сети находятся в пределах допустимых значений ($\pm 5\%$). Перетоки по линиям также находятся в допустимых пределах, но ряд линий являются перегруженными. Так, например, по линиям ЮАЭС – Аджалык и Аджалык – Усатово протекают значительные мощности: 620 и 780 МВт соответственно, что почти в 2 раза больше их натуральной мощности. Также значительный переток наблюдается на линии ЮАЭС – Побужье – 535 МВт. Необходимо отметить, что натуральная мощность одноцепной ЛЭП 330 кВ с проводами 2 x 300 составляет 360 МВт [2].

Общеизвестно, что перегрузка ЛЭП выше ее натуральной мощности связана с повышенными потерями и неоптимальным распределением потоков мощностей в сетях. Ситуация усугубляется тем, что при выводе в ремонт или аварийном отключении отдельных ЛЭП, перетоки мощности по некоторым из оставшихся в работе возрастают, что свидетельствует о необходимости развития сетей.

При отключении линии Аджалык – Усатово потокораспределение в сети существенно изменяется. Линия ЮАЭС – Побужье загружается до 700 МВт, Побужье – Ладыжинская ТЭС – до 560 МВт. ПС Усатово и Н.Одесская оказываются в условиях дефицита мощности. Питание осуществляется через ЛЭП Молдавская ТЭС – Н.Одесская и Молдавская ТЭС – Усатово, которые загружаются до значений 230 МВт и 250 МВт соответственно. Однако во всех узлах сети значения напряжений находятся в пределах, выходящих за допустимые. Так, например, на ПС Котовск – 253 кВ, Молдавская ТЭС – 234 кВ, Ладыжинская ТЭС – 284 кВ, ПС Н.Одесская – 225 кВ. Режим в этих условиях существовать не может. Для сохранения устойчивости и предотвращения выхода генераторов из синхронизма в условиях снижения напряжения и изменения частоты, необходимо значительное погашение нагрузки потребителей в районе, что недопустимо.

Другим расчетным был рассмотрен вариант отключения линии Ладыжинская ТЭС – Котовск. При этом наблюдается значительное утяжеление режима. Переток по ЛЭП Молдавская ТЭС – Котовск меняет направление и становится равным 150 МВт. Линии Ладыжинская ТЭС – Днестровская ТЭС загружается до величины 410 МВт; ЮАЭС – Аджалык и Аджалык – Усатово загружаются до значений 700 и 900 МВт соответственно. Уровни напряжений в узлах схемы значительно снижаются.

Анализ выполненных расчетов показывает, что рассматриваемая часть

ЭЭС не удовлетворяет соответствующим требованиям. Вывод электрооборудования или ЛЭП в ремонт в некоторых случаях вызывает утяжеление режима, нарушения устойчивости и, как следствие, вынужденное отключение части потребителей. Кроме того, аварийное отключение определенных ЛЭП сопровождается недопустимым снижением параметров режима и возможным нарушением работы генерирующих источников. При возможных аварийных отключениях электрооборудования или ЛЭП, а также при наличии ремонтных схем в сети режим значительно утяжеляется.

Проведенный анализ показал, что интерес может представлять рассмотрение варианта ввода новой линии 330 кВ ЮАЭС – Котовск. Данную электропередачу можно выполнить обычной двухцепной трехфазной ЛЭП, но целесообразнее будет выполнить ее управляемой самокомпенсирующейся ВЛ (УСВЛ) [1]. Данные линии обладают рядом преимуществ и позволяют устранить описанные трудности.

Управляемые самокомпенсирующиеся высоковольтные линии электропередачи (УСВЛ) относятся к категории гибких электропередач. Но, в отличие от гибких электропередач переменного тока, регулирование характеристик ЭП достигается не за счет использования различных сосредоточенных средств управления и компенсации, а за счет регулирования параметров самих линий электропередачи, благодаря чему появляется возможность управления режимами работы и техническими показателями ЭП. УСВЛ, по сравнению с традиционными линиями, обеспечивают повышение пропускной способности на 30-50 % а также управление величиной и направлением потоков мощности по линиям и в замкнутых контурах электрической системы.

Повышенная пропускная способность достигается за счет новых конструкций, предусматривающих сближения фаз различных цепей и выбор оптимальной конфигурации расположения фаз и цепей линии, при которой сближенные цепи оказывают значительное взаимное электромагнитное влияние (наблюдается эффект самокомпенсации параметров электромагнитного поля одной цепи полем другой цепи) и, как следствие, изменение эквивалентных параметров линии, а их регулирование осуществляется за счет изменения величины углового сдвига между трехфазными системами векторов напряжений цепей [3].

Кроме того, данные электропередачи позволяют на 20-30 % снизить удельные капитальные вложения в строительство линий в расчете на единицу передаваемой мощности, и для них требуется существенно меньшая площадь отчуждения земельных угодий.

Предлагаемая электропередача УСВЛ – 330 кВ ЮАЭС – Котовск является двухцепной ЛЭП и выполнена проводами 3 x AC-240/32. Конструктивно линия выполнена на порталных опорах специальной конструкции, которые обеспечивают сближение фаз разных цепей на минимально допустимое по

электрической прочности расстояние. Фазы в пролетах фиксируются друг относительно друга с помощью изоляционных распорок (или стяжек), которые практически снимают проблему пляски и вибрации проводов линии. Фазовый сдвиг систем напряжений цепей обеспечивается специальными средствами фазового регулирования – фазорегуляторами [1].

Результаты расчетов режимов кольцевой сети 330 кВ с включенной УСВЛ -330 кВ ЮАЭС – Котовск

Анализ режимов при включенной УСВЛ – 330 кВ ЮАЭС – Котовск был произведен для трех характерных случаев, отличающихся различными значениями эквивалентных параметров УСВЛ: при нулевом угле сдвига между трехфазными системами векторов напряжений цепей (θ), а также при углах 120° и 180° .

Режим при $\theta = 180^\circ$ необходимо использовать в режиме максимальных нагрузок, когда требуется передача значительной мощности по линии. В данном режиме пропускная способность линии максимальна. В режимах, близких к х.х., большая пропускная способность ЛЭП не требуется. Поэтому достаточным является режим $\theta = 0^\circ$. Режим $\theta = 120^\circ$ – промежуточный.

Результаты расчетов приведены в таблице.

Напряжения в узлах сети во всех режимах при изменении угла θ находятся в пределах допустимых значений.

Изменение величин перетоков активной мощности (МВт)
по анализируемым линиям сети, а также потери мощности
в зависимости от различных значений угла θ

	$\theta = 0^\circ$	$\theta = 120^\circ$	$\theta = 180^\circ$
ЮАЭС– Аджалык	496	468	460
Аджалык–Усатово	576	529	518
ЮАЭС – Котовск	590	733	767
ЮАЭС– Побужье	400	365	357
Молдавская ТЭС – Котовск	210	253	263
Молдавская ТЭС – Усатово	96	116	130
Молдавская ТЭС – ПС Н.Одесская	166	184	192
Потери, МВА	171,83+ +j476,31	175,2+ +j346,18	175,4+ +j306,3

В режиме $\theta = 0^\circ$ в интересующих узлах – ПС Н.Одесская и Усатово – напряжения составили 333 кВ и 333,4 кВ, соответственно. Напряжений ниже 333 кВ в узлах сети не наблюдается. Несколько завышенными оказываются напряжения на ПС ЮАЭС, Побужье, Ладъжинская ТЭС, а также на ПС Котовск. Они составляют 351,4 кВ, 351,2 кВ, 350,8 кВ и 347,4 кВ соответственно.

Потери в сети по сравнению с нормальным режимом при отсутствии

линии ЮАЭС – Котовск снизились на 25,13 МВт активной мощности и на 378,94 МВар реактивной.

В режимах $\theta = 120^\circ$ и $\theta = 180^\circ$ напряжения в узлах сети практически не отличаются от режима $\theta = 0^\circ$. Потери в сети в режиме $\theta = 180^\circ$ составили: 175,4 МВт активной мощности и 306,3 МВар реактивной, что на 548,7 МВар меньше по сравнению с нормальным режимом при отсутствии линии ЮАЭС – Котовск.

При плановых выводах электрооборудования в ремонт или же аварийном его отключении, линия ЮАЭС – Котовск оказывает значительное влияние на потокораспределение в сети. Послеаварийный режим будем рассматривать для режима работы ЛЭП, при котором она обладает минимальной пропускной способностью, то есть для $\theta = 0^\circ$.

При отключении самой загруженной из линий – Аджалык – Усатово, режим возможен. Дефицитный район Южной ЭЭС – ПС Н.Одесская и Усатово – получает питание со стороны Молдавской ТЭС. Линии Молдавская ТЭС – Усатово и Молдавская ТЭС – ПС Н.Одесская загружены до 327 МВт и 315 МВт. По линии Молдавская ТЭС – Котовск протекает 423 МВт активной мощности, по УСВЛ-330 кВ ЮАЭС – Котовск – 795 МВт. Также загруженной становится ЛЭП ЮАЭС – Побужье – 460 МВт. По остальным линиям рассматриваемой сети протекают мощности, меньшие или равные натуральной. Питание Молдавской ЭЭС осуществляется в полном объеме.

Напряжения в узлах сети находятся в допустимых пределах. На ПС Котовск – 340,6 кВ, ПС Молдавская ТЭС – 329 кВ, ПС Побужье – 349 кВ. Незначительно понижены напряжения на ПС Н.Одесская и Усатово 320,2 и 320 кВ. В остальных узлах сети напряжения соответствуют норме.

Режимы УСВЛ – 330 кВ ЮАЭС – Котовск при $\theta = 120^\circ$ и $\theta = 180^\circ$ могут обеспечить нормальные параметры режимов энергосистемы и при более тяжелых аварийных ситуациях.

Заключение

Анализируя результаты выполненных расчетов, можно сделать вывод, что строительство новой ЛЭП ЮАЭС – Котовск необходимо не только с точки зрения сохранения режима при аварийных возмущениях, плановых выводах линий в ремонт и обеспечении при этом электроснабжения потребителей, но и с точки зрения перераспределения потоков мощности в сети и снижении потерь. Данную линию электропередачи целесообразнее выполнить с регулируемыми параметрами, т.е. управляемой (УСВЛ), что даст возможность повысить эффективность ее работы и режимные показатели энергосистемы.

Список литературы: 1. Астахов Ю.Н., Постолатий В.М., Комендант И.Т., Чалый Г.В.. Управляемые линии электропередачи // Под ред. В.А. Веникова, изд-во «Штиинца». – Кишинев 1984. – 296 с. 2. Справочник по проектированию электроэнергетических систем // Под ред. С.С.

Рокотяна и И.М.Шапиро – 3-ое изд., перераб. и доп. – М.: Энергия. 1985. – 350 с. 3. Управляемые электропередачи // Выпуск № 8 (23), труды Института энергетики АН Молдовы за 2001-2007 гг. Составители: Постолатий В.М., Быкова Е.В. – Кишинев, 2007. – С. 7-16. 4. Программный комплекс «RASTR», разработанный в УПИ (УГТУ), кафедра автоматизированных электрических систем (Екатеринбург) и файл исходных данных для расчетов установившихся режимов объединенной энергосистемы стран СНГ.

Поступила в редколлегию 14.05.2008

УДК 681.51:537.528

О.І.ВОВЧЕНКО, докт.техн.наук; ***С.С.КОЗИРЄВ***;

Інститут імпульсних процесів і технологій НАН України, Миколаїв

ПОБУДОВА ІНВЕРСНОЇ МОДЕЛІ ЕЛЕКТРОВИБУХОВОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ ЕНЕРГІЇ ЗАСОБАМИ FUZZY-АПРОКСИМАЦІЇ

На основі експериментального дослідження електровибухового перетворення енергії як об'єкта керування побудовано його інверсну модель засобами fuzzy-апроксимації.

The experimental research of the discharge energy conversion as an object of control was done. The inverse model of discharge energy conversion was built using fuzzy-approximation method.

Вступ. Реалізація основної переваги електровибухового перетворення енергії - керованості, потребує синтезу адаптивного керування, яке забезпечує необхідні режими в умовах нестационарності параметрів середовища та невизначеності зовнішніх збурень. Механізм адаптації можна реалізувати за рахунок використання інверсної моделі, яка генерує реакцію на збурення, що гарантує підтримку заданих режимів перетворення енергії.

Мета роботи – побудова інверсної моделі керування електровибуховим перетворенням енергії на основі експериментальних даних із застосуванням сучасних методів fuzzy-апроксимації, що базуються на теорії нечітких множин. Використання інверсної моделі при синтезі системи керування забезпечить адаптивність в умовах значних змін параметрів середовища і невизначеності збурюючих впливів, результатом чого стане розширення зони керованості, підвищення точності підтримки оптимальних технологічних режимів в реальних умовах.

Побудова інверсної моделі. Аналіз існуючих моделей та систем керування електровибуховим перетворенням енергії показав, що вони побудовані на основі лінеаризації об'єкта і забезпечують керування тільки в околі точки