

$$C = dZ_B^{-1} M_{\alpha\beta}^T Y_Y^{-1}, \quad (1)$$

где dZ_B – диагональная матрица сопротивлений;

$M_{\alpha\beta}$ – первая матрица инцидентности без балансирующего узла;

Y_Y – матрица узловых проводимостей.

На первый взгляд нахождение матрицы C не вызывает особых затруднений, но обращение матрицы Y_Y связано с серьезными трудностями, если учесть тот факт, что ее элементы в общем случае являются комплексными величинами. Данную операцию для схем достаточно большой размерности даже современные компьютеры будут выполнять довольно долгое время, поэтому при написании промышленных программ эту операцию стараются обходить или упрощать, используя различные более сложные алгоритмы обращения матриц. Также некоторое неудобство связано с хранением первой матрицы инцидентности и обратной ей, что связано с большим количеством нулевых элементов.

Еще одним методом нахождения матрицы C является последовательный расчет n -ого числа режимов, при задании некоторого единичного тока последовательно в каждом из узлов схемы. Таким образом, мы при каждом расчете режима получаем одну строку искомой матрицы, находя частичные токи в каждой ветви схемы. Но для такого расчета нам также необходима программа расчета режима. Отсюда можно заключить, что данный метод упирается в нахождение матрицы C .

Следует также отметить, что матрица коэффициентов распределения посчитанная для данной схемы один раз может использоваться для анализа работы данной схемы при различных параметрах узлов (нагрузках, напряжениях). Этот вывод вытекает из получения данной матрицы, которая как видно из формулы не зависит от параметров узлов и потоков мощностей на участках, а зависит только от конфигурации сети и сопротивлений ее элементов.

Литература

1. Шиманская, Т.А. Методическое пособие к курсовой работе по дисциплине «Математические задачи энергетики». – Минск: БНТУ, 2004.
2. Поспелов, Г.Е., Федин, В.Т., Лычев, П.В. Электрические системы и сети. – Минск: УП «Технопринт», 2004. – 720 с.

УДК 621.3

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ МЕЖСИСТЕМНЫМИ ПЕРЕТОКАМИ С ПОМОЩЬЮ УСТРОЙСТВ ПРОДОЛЬНО-ПОПЕРЕЧНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ, УСТАНОВЛИВАЕМЫХ В БЕЛОРУССКОЙ ЭНЕРГОСИСТЕМЕ

Лагун Н.А.

Научный руководитель – **МЫШКОВЕЦ Е.В.**

В настоящее время Республика Беларусь не обладает достаточным количеством топливно-энергетических ресурсов и вынуждена значительную их часть покупать у сопредельных государств. При этом важнейшим направлением государственной политики и экономики является экономное потребление энергоресурсов и требование обеспечения энергетической безопасности страны, под которой понимают комплекс условий,

обеспечивающих бесперебойное удовлетворение потребности в энергетических ресурсах (топливе, электрической и тепловой энергии) нужного качества и в необходимых количествах, без которых в соответствующих природно-климатических условиях невозможны жизнедеятельность населения и нормальное функционирование и развитие хозяйственного комплекса страны.

В таких условиях актуальной является задача управления перетоками с целью оптимизации соотношения величин потоков мощности поступающих в Республику Беларусь от различных сопредельных государств. В настоящее время данная задача решается только управлением генерацией на электрических станциях. Из-за ограничений, связанных с оптимизацией загрузки электрических станций по минимуму суммарного расхода топлива в энергосистеме, такое решение не является достаточным. В данной работе рассмотрена возможность применения трансформаторных устройств продольно-поперечного регулирования напряжения для оптимизации межсистемных перетоков.

Для оптимизации был принят режим зимнего максимума сетей 35–750 кВ Белорусской энергосистемы с внешними связями. Перед проверкой возможности управления межсистемными перетоками мощности была произведена оптимизация режима с помощью уже существующих средств. По [1] для большинства автотрансформаторов производится регулирование ответвлений на стороне среднего напряжения с диапазоном $\pm 6 \times 2\%$. На основе найденных автотрансформаторов приняли, что у всех рассматриваемых такой шаг и ступень регулирования.

Далее по методике, описанной в [2], произвели выбор оптимальных коэффициентов трансформации путем их поочередного изменения. Выбирался один из трансформаторов и изменялся его коэффициент трансформации в сторону увеличения. При снижении потерь данный шаг считался успешным. Вновь увеличивали коэффициент трансформации на ступень до тех пор, пока потери мощности не начинали повышаться по сравнению с предыдущим шагом. Новый коэффициент трансформации у данного трансформатора принимался, если на последнем удачном шаге снижение потерь по сравнению с потерями до оптимизации коэффициента трансформации данного трансформатора оказалось более 0,1 МВт. Если же потери на первом шаге увеличивались, то изменять коэффициент трансформации необходимо в сторону уменьшения. Далее переходили к следующему трансформатору. Одновременно контролировали не выходят ли напряжения за допустимые пределы.

В результате численных экспериментов, проведенных с помощью программы Rastr выяснено, что при задании разных исходных условий для расчета (начальное приближение напряжений в узлах) значения потерь мощности в сети для одного и того же режима отличаются на некоторую величину. Проверка показала, что она может достигать величины равной примерно десяти процентам от заданной точности расчета. Для данного режима задана точность расчета 1 МВт. Соответственно десять процентов от этой величины будет 0,1 МВт. При попытке задать вместо единицы другую величину точности расчета по программе Rastr (меньшее значение) в некоторых случаях режим расходится.

В результате оптимизации коэффициентов трансформации добились снижения потерь в Белорусской энергосистеме на 3,970 МВт и они составили 143,311 МВт, при допустимых величинах напряжений во всех узлах.

Для предварительно оптимизированной по продольным коэффициентам трансформации сети проверили возможность управления межсистемными перетоками с помощью поперечного регулирования напряжения. Продольное регулирование здесь не рассматривалось по следующим причинам:

– для воздушных сетей поперечная ЭДС оказывает основное влияние на потоко-распределение в части его активной составляющей, продольная ЭДС – реактивной со-

ставляющей, которая в общем случае по межсистемным линиям передаваться не должна;

– продольная составляющая в значительно большей мере влияет на модули напряжения в узлах, что очень сильно ограничивает диапазон регулирования.

С этой целью поочередно в рассматриваемые линейные и трансформаторные ветви вводился поперечный коэффициент трансформации $K_{ТМ}$ и определяются потери мощности в Белорусской энергосистеме $\Delta P_{Бел}$, а также в сети в целом ΔP_{Σ} , межсистемные перетоки активной мощности между Белорусской энергосистемой и соседними, потоки мощности по ветви, где установлено устройство. Для линейных ветвей в параметрах выбранной ветви задавался продольный коэффициент трансформации $K_{ТВ} = 1$ и производился расчет режима. Выписывался поток по ветви, где установлено устройство $(P + jQ)$. В той же ветви задается поперечный коэффициент трансформации $K_{ТМ} = \pm 0,09$ ($K_{ТВ} = 1$ остается). Выписываются поток по ветви $(P_1 + jQ_1)$, межсистемные перетоки энергосистемы Беларуси с Россией $P_{Б-Р}$ и с Литвой $P_{Б-Л}$, суммарные потери в сети ΔP_{Σ} .

Для трансформаторных ветвей алгоритм аналогичен, отличие состоит в том, что у трансформаторов величина $K_{ТВ}$ известна заранее.

Далее ветви были проранжированы (отдельно линейные и трансформаторные) по уровням влияния на перетоки и на потери мощности в сети в целом. Из всех ветвей были отобраны те, установка устройств в которых, оказывала наибольшее влияние на перетоки и потери. Результаты приведены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1. Результаты оптимизации коэффициентов трансформации по внутрисистемным ветвям

Ветвь	$K_{ТМ} = \pm 0,09$	$P_{Б-Р}$, МВт	$P_{Б-Л}$, МВт	ΔP_{Σ} , МВт
Исходный режим		-272,2	1 412,5	847,972
101-91	+	-264,6	1 406,7	855,118
	-	-276,4	1 428,8	853,073
101-201	+	-296,1	1 429,8	850,919
	-	-249,2	1 398,2	848,867
102-91	+	-273,1	1 417,9	854,859
	-	-269,9	1 413,8	851,154
401-428	+	-276,7	1 422,6	851,176
	-	-268,4	1 404,8	847,958
429-430	+	-273,0	1 413,1	848,138
	-	-271,5	1 412,3	847,975
503-505	+	-263,1	1 436,4	849,020
	-	-282,1	1 391,1	850,988
503-516	+	-263,9	1 399,3	847,987
	-	-279,7	1 428,6	853,298
598-292	+	-270,6	1 412,6	850,457
	-	-273,8	1 414,0	847,534
261-312	+	-270,8	1 411,8	847,684
	-	-273,9	1 415,4	850,864
418-312	+	-272,9	1 416,8	851,212
	-	-270,8	1 409,7	847,744
295-292	+	-332,8	1 493,3	837,699
	-	-208,7	1 331,8	869,235

По результатам, приведенным в таблицах 1 и 2 можно сделать следующие выводы:

Таблица 2. Результаты оптимизации коэффициентов трансформации по межсистемным связям

Ветвь	$K_{т.м} = \pm 0,09$	$P_{б.р.}, \text{МВт}$	$P_{б.л.}, \text{МВт}$	$\Delta P_{\Sigma}, \text{МВт}$
Исходный режим		-272,2	1 412,5	847,972
295-19519	+	-245,5	1 378,2	854,898
	-	-302,8	1 451,7	840,478
310-19504	+	-265,9	1 401,1	847,160
	-	-278,0	1 424,4	850,818
516-19506	+	-263,9	1 394,9	847,191
	-	-280,0	1 430,0	851,903
201-16831	+	-288,2	1 422,7	850,660
	-	-257,7	1 403,8	849,340
701-16836	+	-282,8	1 424,9	850,108
	-	-262,8	1 402,3	849,474
292-16840	+	-291,8	1 427,7	846,094
	-	-254,7	1 399,3	849,954
505-16551	+	-231,6	1 435,6	849,284
	-	-312,3	1 391,2	849,218
505-6844	+	-303,0	1 416,6	848,542
	-	-242,2	1 410,4	849,718
720-26840	+	-281,1	1 420,5	849,844
	-	-264,4	1 406,8	849,077

1. Наибольший эффект от управления потоками мощности достигается при установке устройств на межсистемных или прилегающих к ним внутрисистемных линиях электропередачи.

2. Для большинства приведенных ветвей управление оказывается неэффективным, так как даже при тех незначительных изменениях в межсистемных перетоках, которые имеют место при $K_{т.м} = \pm 0,09$ значительно растут потери мощности в сети.

3. Наиболее эффективным оказывается управление потоками на линии 292-16840 (ПС Белорусская – Смоленская АЭС, номинальное напряжение 750 кВ), и на трансформаторе за ней 295-292.

Литература

1. Справочник по проектированию электроэнергетических систем / Под ред. С.С. Рокотяна и И.М. Шапиро. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Энергия, 1977. – 288 с.
2. Поспелов, Г.Е., Федин, В.Т. Энергетические системы и сети. Проектирование: Учеб. пособие для вузов. – Изд. 2-е, испр. и доп. – Минск: Выш. шк., 1988. – 308 с.

УДК 621.311

ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОГО ДОМА

Заборский Г.А., Гулич А.О.

Научный руководитель – канд. техн. наук, доцент ФАДЕЕВА Г.А.

В современной динамике загородного строительства, связанных с ним исследований и соответствующего законодательства выделилось несколько аспектов, открывающих широкие перспективы прогрессивного развития этой отрасли. Среди них экологический аспект, подразумевающий как уменьшение антропогенного давления, оказываемого домом на окружающую среду, так и поддержание определенных гигиенических свойств жилой среды; аспект энергоэффективности, который напрямую связан с экологическим; социальный аспект, связанный с проблемой депопуляции села и по-