

А. Б. Бурыкин, к.т.н.; В. А. Выдыш; П. П. Медяный

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТЕРЬ МОЩНОСТИ ОТ ТРАНЗИТНОГО ПЕРЕТОКА В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

В статье предложена методика определения потерь мощности от транзитных перетоков в сетях электрической системы. В основу методики положен метод наложения. Расчеты выполнены на базе токораспределения для линейной модели нормального режима ЭС, что полностью эквивалентно начальной нелинейной модели для заданного момента времени.

Ключевые слова: электроэнергетическая система, транзит мощности, распределение потерь мощности.

Введение

В условиях параллельной работы электрических систем (ЭС) в составе объединенных энергетических систем (ОЭС) Украины для реализации межсистемного эффекта, рационального использования энергоресурсов, а также для покрытия дефицитов мощности и электроэнергии в отдельных регионах возникает необходимость в значительных перетоках электроэнергии транзитом по сетям энергосистем. При этом имеют место дополнительные (по сравнению с режимом без транзита электроэнергии) технологические расходы электроэнергии в сетях транзитера – потери электроэнергии от транзитных перетоков [1].

Последние не учитываются как отдельная характеристика экономичности режима работы ОЭС Украины в целом, поскольку оптимальные режимы разрабатываются службой оптимизации электрических режимов НЭК «Укрэнерго» по критерию минимума суммарного расхода топлива с учетом суммарных потерь в основных магистральных (системообразующих) электрических сетях.

Следовательно, прирост (или уменьшение) потерь электроэнергии от транзитных перетоков в сетях транзитера по сравнению с начальным значением может быть вызван изменением величины транзита электроэнергии по экономическим соображениям, а также аварийными ситуациями в смежных энергосистемах.

Еще одним случаем влияния на величину потерь электроэнергии от транзитных перетоков является изменение напряжения в контрольных точках транзитной энергосистемы за счет оптимизации ее режимов по реактивной мощности и коэффициентами трансформации. Такая оптимизация в пределах одной энергосистемы может противоречить оперативным указаниям службы оптимизации НЭК «Укрэнерго» относительно ведения режимов, поскольку уменьшение потерь электроэнергии в транзитной энергосистеме может приводить к росту общесистемных потерь и, как следствие, суммарного расхода топлива.

Таким образом, на объемы транзитных перетоков и, соответственно, на потери электроэнергии от них, практически не влияют диспетчерские службы энергосистемы, через сети которой они проходят [2].

В то же время технологический расход электроэнергии в сетях энергосистем является одним из плановых показателей. По результатам их выполнения, в соответствии с коллективным договором между администрацией и трудовым коллективом, оценивается эффективность работы персонала и осуществляется премирование.

Следовательно, для объективной оценки деятельности персонала энергосистемы по снижению технологического расхода электроэнергии в сетях необходимо выделить из балансовых потерь потери электроэнергии от транзитных перетоков как такие которые объективно не могут быть уменьшены имеющимися средствами.

Потери электроэнергии от транзитных перетоков нельзя измерить счетчиками или

определить по балансу электроэнергии. Их значение можно найти расчетным путем, исходя из объемов и характера транзитного перетока, а также режимов электрических сетей энергосистемы.

Соотношение допустимых и транзитных потерь электроэнергии в сетях энергосистем

Расчеты допустимых потерь электроэнергии в сетях энергосистем выполняют для определения обоснованного уровня потерь электроэнергии по отчетным балансовым и схемно-режимным данным работы линий в течение отчетного периода. Для получения конечной величины потерь необходимо просуммировать потери, вызванные нагрузкой потребителей, потери на корону и потери в измерительных трансформаторах [3]. При расчете потерь на корону используются данные Гидрометцентра и типичные зависимости удельных потерь на корону от напряжения и влияния окружающей среды. Потери электроэнергии в измерительных трансформаторах вычисляют, исходя из их количества и нормативных значений средних потерь. Для вычисления нагрузочной составляющей потерь электроэнергии по отчетным данным используют метод поэлементного расчета или его модификации. При этом потери, вызванные транзитом электроэнергии, входят в нагрузочные, но в отдельную составляющую не выделяются.

В соответствии с указанными составляющими допустимых потерь намечают проведение организационно-технических мероприятий, таких как, оптимизацию схемы электрической сети, применение устройств регулирования напряжения и компенсации реактивной мощности, замену измерительных трансформаторов, не соответствующих классу точности в результате отсутствия проектной нагрузки и пр.

Как показывают расчеты [4], изменение потерь электроэнергии от транзитных перетоков во многих случаях является соразмерным с эффектом, полученным от организационно-технических мероприятий, которые внедряются персоналом энергосистемы. Увеличение транзитного перетока мощности в соответствии с оперативными указаниями по оптимальному ведению режимов может нивелировать эффект от проведения указанных мероприятий и необъективно занижить эффективность работы персонала энергосистемы.

Таким образом, выделение потерь электроэнергии от транзитных перетоков в отдельную составляющую с помощью существующих расчетных методов является актуальной задачей, поскольку позволит сформировать более эффективную систему материального поощрения работников энергосистем.

Определение потерь мощности в ЭС от транзитных перетоков

Задача определения потерь электроэнергии от транзитных перетоков может быть представлена как задача определения соответствующих составляющих потерь в ветвях схемы замещения ЭС, по которым передается транзитная электроэнергия. В [4] разработан метод выделения потерь мощности от взаимных перетоков на основе коэффициентов распределения потерь мощности, который базируется на применении выражения:

$$\Delta \dot{S}_i = 3 \cdot \left(\sum_{j=1}^m I_{ij}'^2 \mu_j' + \sum_{j=1}^m I_{ij}''^2 \mu_j'' \right) \cdot \dot{Z}_i, \quad (1)$$

где, $\mu_j' = I + \frac{\sum_{i \neq j} I_{in}'}{I_{ij}'}$, $\mu_j'' = I + \frac{\sum_{i \neq j} I_{in}''}{I_{ij}''}$ – коэффициенты влияния; \dot{Z}_i – сопротивление i-ой ветви; I_{ij}' , I_{ij}'' – активная и реактивная составляющие тока в i-й ветви от тока нагрузки j-го узла.

Из (1) видно, что потери мощности в ветвях схемы замещения ЭС, вызванные током j-го узла, зависят не только от протекания по ним токовой нагрузки этого узла, но и от значений

других частичных токов, которые протекают в этой ветви, то есть наблюдается взаимовлияние частичных токов. Мера этого влияния характеризуется коэффициентами μ'_j и μ''_j .

Применяя этот метод для определения потерь мощности от отдельного транзитного перетока, необходимо учитывать, что до появления транзита потери мощности от взаимовлияния токов, вызванных транзитной мощностью, и токов нагрузки были нулевыми. То есть, транзит мощности предопределяет как дополнительные потери от протекания тока транзита, так и потери от взаимовлияния. Поэтому потери мощности от транзита должны включать потери от собственно токовой нагрузки транзита и от взаимовлияния токов основного и транзитного токораспределения.

Рассмотрим пример схемы электрической сети с транзитом мощности из узла 1 в узел 4 (рис. 1). Токовые нагрузки узлов электрической сети определены, благодаря использованию известных из расчета режима напряжений \hat{U} и мощностей нагрузки узлов схемы. Поперечная составляющая схемы замещения эквивалентизируется в расчетных нагрузках узлов.

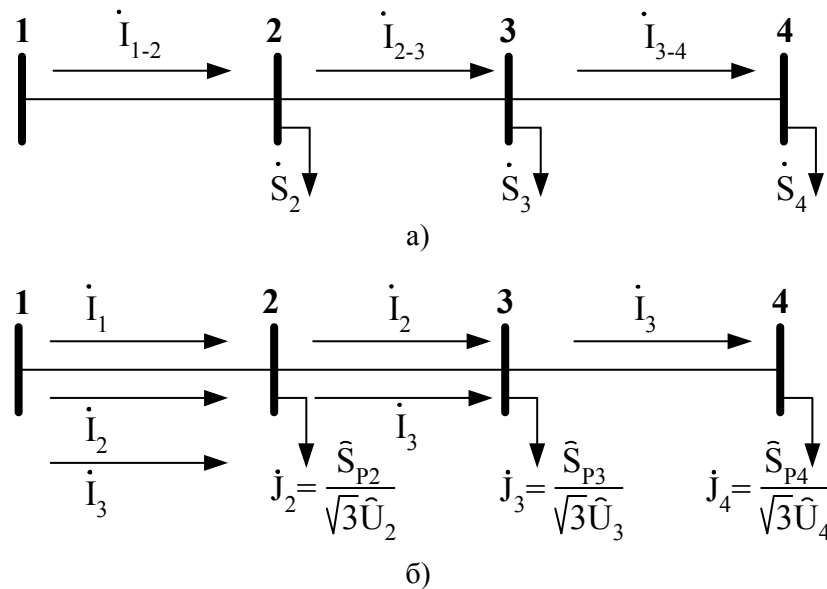


Рис. 1 Схема самого простого случая транзита мощности

Согласно методу наложения в линии 1 – 2 будут протекать согласованнонаправленные частичные токи \dot{I}_1 , \dot{I}_2 , которые предопределены нагрузкой отдельных потребителей, а также ток \dot{I}_3 , вызванный протеканием транзитной мощности. В данном случае частичные токи (см. рис. 1 б) равны соответствующим задающим токам $\dot{I}_1 = \dot{J}_2$, $\dot{I}_2 = \dot{J}_3$, $\dot{I}_3 = \dot{J}_4$. Таким образом, потери мощности в линии 1 – 2 определяются:

$$\Delta \dot{S} = 3 \cdot |\dot{I}_{1-2}|^2 \cdot \dot{Z}_{1-2} = 3 \cdot |\dot{I}_1 + \dot{I}_2 + \dot{I}_3|^2 \cdot \dot{Z}_{1-2}.$$

В действительной плоскости уравнение примет вид:

$$\Delta \dot{S} = 3 \cdot [(I'_1 + I'_2 + I'_3)^2 + (I''_1 + I''_2 + I''_3)^2] \cdot \dot{Z}_{1-2}, \quad (2)$$

где I' , I'' – действительные и мнимые составляющие частичных токов.

Выполнив ряд алгебраических преобразований, данное выражение можно свести к виду (3):

$$\Delta \dot{S} = 3 \cdot [I_1'^2 + 2I_1'I_2' + I_2'^2 + I_1''^2 + 2I_1''I_2'' + I_2''^2 + I_3'^2 + 2I_1'I_3' + 2I_2'I_3' + I_3''^2 + 2I_1''I_3'' + 2I_2''I_3''] \cdot \dot{Z}_{l-2}, \quad (3)$$

в котором выделяются составляющие от транзитного перетока (с учетом взаимовлияния) и токов нагрузки:

$$\begin{aligned} \Delta \dot{S}' &= 3 \cdot [(I_1' + I_2')^2 + (I_1'' + I_2'')^2] \cdot \dot{Z}_{l-2}; \\ \Delta \dot{S}_{mp} &= 3 \cdot [I_3'^2 + 2I_1'I_3' + 2I_2'I_3' + I_3''^2 + 2I_1''I_3'' + 2I_2''I_3''] \cdot \dot{Z}_{l-2}, \end{aligned} \quad (4)$$

или

$$\begin{aligned} \Delta \dot{S}' &= 3 \cdot |\dot{I}_{l-2} - \dot{I}_3|^2 \cdot \dot{Z}_{l-2}; \\ \Delta \dot{S}_{mp} &= 3 \cdot [I_3'^2 + 2I_3'(I_1' + I_2') + I_3''^2 + 2I_3''(I_1'' + I_2'')] \cdot \dot{Z}_{l-2}, \end{aligned} \quad (5)$$

где $\Delta \dot{S}'$ – потери мощности от токовых нагрузок узлов электрической сети транзитера без транзита; $\Delta \dot{S}_{mp}$ – потери мощности от транзита.

После упрощений, выполнив замену $(I_1' + I_2') = (I_{l-2}' - I_3')$, $(I_1'' + I_2'') = (I_{l-2}'' - I_3'')$ и $I_3' = J_4'$, $I_3'' = J_4''$, получим:

$$\Delta \dot{S}_{mp} = 3 \cdot \left[J_4'^2 \left(2 \frac{I_{l-2}'}{J_4'} - 1 \right) + J_4''^2 \left(2 \frac{I_{l-2}''}{J_4''} - 1 \right) \right] \cdot \dot{Z}_{l-2}. \quad (6)$$

Обобщим выражение вида (6) по аналогии с (1) для произвольного количества частичных токов, протекающих по элементу электрической сети:

$$\Delta \dot{S}_{mpi} = 3 \cdot (J_{mp}'^2 \mu_{mpi}' + J_{mp}''^2 \mu_{mpi}'') \cdot \dot{Z}_i, \quad (7)$$

где $\mu_{mpi}' = \left(2 \frac{I_i'}{J_{mp}'} - 1 \right)$, $\mu_{mpi}'' = \left(2 \frac{I_i''}{J_{mp}''} - 1 \right)$ – коэффициенты потерь мощности от транзитного перетока; I_i' , I_i'' – активная и реактивная составляющие суммарного тока в i -й ветви; p – количество веток, по которым протекает транзитная мощность.

Выражение (7) является справедливым для случая определения потерь мощности от одного отдельного транзитного перетока, так как результат содержит в себе также потери мощности от взаимовлияния, вызванные этим транзитом.

В качестве транзитного перетока мощности, который используется для определения \dot{J}_{mp} , принимается меньшее из значений суммарной мощности, которая получается энергосистемой или выдается ею в смежные энергосистемы, либо в соответствии с существующими договорённостями между участниками энергообмена.

В случае протекания сетями транзитера нескольких транзитов возникает взаимовлияние, как между самими транзитными перетоками, так и между токами нагрузки сети транзитера и транзитными перетоками, что требует использования методики [4] и выражения (1).

Для определения потерь электроэнергии возможны два варианта проведения расчетов: когда осуществляется постоянный мониторинг потерь по данным телеизмерений и когда расчеты осуществляются с использованием характеристик графиков нагрузок [5]. В последнем варианте осуществляется расчет потерь мощности для режима максимальных нагрузок ΔP_{max} или для средних нагрузок ΔP_{cp} . Используя указанные потери мощности рассчитывают потери электроэнергии ΔW для периода T по соответствующим формулам:

$$\Delta W = \Delta P_{max} \tau, \quad (8)$$

$$\Delta W = \Delta P_{cp} T k_{\phi}^2, \quad (9)$$

где τ – число часов наибольших потерь; k_{ϕ}^2 – коэффициент формы графика нагрузок.

Выводы

1. Параметры транзитных перетоков и соответственно потери электроэнергии от них практически не могут корректироваться регулировочными средствами энергосистемы, сетями которой они протекают, а также не могут быть измерены счетчиками или определены из баланса электроэнергии. Указанная составляющая потерь может определяться расчетным путем, исходя из объемов и характера транзитного перетока, а также режимов основной сети энергосистемы.

2. Увеличение транзитного перетока мощности в соответствии с оперативными указаниями по ведению режимов энергосистемы может привести к нивелированию эффекта от внедрения организационно-технических мероприятий. Поэтому выделение потерь электроэнергии от транзитных перетоков в отдельную составляющую с помощью расчетных методов позволит адекватно оценивать работу по снижению технологического расхода электроэнергии в сетях энергосистем.

3. Метод определения потерь мощности от отдельного транзитного перетока базируется на физически обоснованной схеме расчета потерь, основных понятиях электротехники и общепринятых методах расчета устоявшегося режима. В отличие от многих других методов, он позволяет определить потери мощности от транзитного перетока для заданного момента времени на основе результатов расчета текущего режима электрической сети и измеренной (заданной) мощности транзита.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лежнюк П.Д. Додаткові втрати електроенергії як результат взаємовпливу електричних мереж / Лежнюк П.Д., Кулик В.В., Бурикін О.Б., Поліщук А.Л. // Енергетика: проблеми та перспективи. Погляд громадськості. – К.: ГРІФРЕ. – 2007. – №4. – С. 180 – 184.
2. Указания о расчете расхода электроэнергии на транзитные межсистемные перетоки: РД 34.09.252 / Министерство энергетики и электрификации СССР. – Офиц. изд. – М.: ЦДУ ЕЭС СССР, 1979. – 8 с.
3. Методичні вказівки з аналізу технологічних витрат електроенергії та вибору заходів щодо їх зниження: ГНД 34.09.204-2004 / М-во палива та енергетики України. – Офіц. вид. – К.: ГРІФРЕ: М-во палива та енергетики України, 2004. – 159 с.
4. Лежнюк П.Д. Взаємовплив електричних мереж в процесі оптимального керування їх режимами / Лежнюк П.Д., Кулик В.В., Бурикін О.Б. – Монографія. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2008. – 123 с. – ISBN 978-966-641-253-2.
5. Железко Ю.С. Расчёт, анализ и нормирование потерь электроэнергии в электрических сетях: Руководство для практических расчетов // Железко Ю.С., Артемьев А.В., Савченко О.В. – М.: ЭНАС, 2008. – 280 с. – ISBN 978-5-93196-910-7.

Бурыкин Александр Борисович – к. т. н., старший преподаватель кафедры электрических станций и систем.

Выдмыш Владимир Андреевич – ассистент кафедры электрических станций и систем.

Медяный Павел Павлович – магистрант кафедры электрических станций и систем.
Винницкий национальный технический университет.