

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

ПАВЛОДАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ им.С.ТОРАЙГЫРОВА



2'2003

НАУКА И ТЕХНИКА КАЗАХСТАНА



КАЗАХСТАН
ҒЫЛЫМЫ МЕН ТЕХНИКАСЫ

МАЗМҰНЫ

ЖАРАТҒЫЛЫСТАНУ ҒЫЛЫМДАРЫ

Б.Т. Абдрахманов, В.Н. Фандюшин
Сандар теориясындағы кейбір есептерді шешуде
ЭЕМ-ды қолдану 7

**А.Ж. Әбдідаева, Ш.Б. Қасенова, Ж.К. Тұхметова,
С.М. Әдекенов, Б.К. Қасинов, Н.А. Талжанов**
96%-тік этанолда аустрициннің инталниялық еруінің
термохимиялық зерттелуі 10

Л.К. Биболова
Тікелей және тізбектелген файлдарды ұйымдастыру
және қолдану 13

**Е.А. Бектұров, Н.Г. Бельникевич,
Т.В. Будтова, Н.Э. Сүлейменов, Т.А. Тимофеева**
Полиэлектролитті гидрогелдердің көп сыңарлы
ергінділермен өзара әрекеттерінің кинетикалық
ерекшеліктері 20

Л.К. Биболова
Паскалдағы графикалық режим 28

**В.М. Глазов, В.П. Малышев, Т. Сүлейменов,
К.С. Какенов, Н.С. Бектурганов**
Жұқа құрылымның тұрақтысы және оның жай
металлдық балқымаларда таралатын серпінді толқын
жылдамдығымен байланысы 33

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Нухулы А., д.х.н., проф. (*главный редактор*)
 Утегулов Б.Б., д.т.н., проф. (*зам. гл. редактора*)
 Ельмуратова А.Ф., к.т.н., доц. (*отв. секретарь*)
 Члены редакционной коллегии:
 Бойко Ф.К., д.т.н., проф.
 Газалиев А.М., д.х.н., проф., член-корр. НАН РК
 Гамарник Г.Н., д.т.н., проф.
 Глазырин А.И., д.г.н., проф.
 Даукеев Г.Ж., к.т.н., проф.
 Ергожин Е.Е., д.х.н., проф., академик НАН РК
 Кислов А.П., к.т.н., доц.
 Клецель М.Я., д.г.н., проф.
 Кудерин М.К., к.т.н., доц.
 Мансуров З.А., д.х.н., проф.
 Мурзагулова К.Б., д.х.н., проф.
 Пивень Г.Г., д.т.н., проф.
 Сагинов А.С., д.т.н., проф., академик НАН РК
 Сүлеев Д.К., к.т.н., проф.
 Сейтахметова Г.Н. (*тел. редактор*)

Адрес редакции:
 637034, г. Павлодар,
 ул. Ломоноса, 64
 Тел.: (3182) 45-11-43
 (3182) 45-38-60
 Факс: (3182) 45-11-23
 E-mail: publish@psu.kz
 nauka@psu.kz

С. Торайғыров атындағы ПМУ-дің
ғылымдары институтының
атындағы ғылыми
КІТАПХАНАСЫ

Подписано в печать 09.02.2003 г.
Формат 297×420/2. Бумага книжно-журнальная.
Объем 6,0 уч.-изд. л. Тираж 300 экз.
Заказ № 0372.

Научный издательский центр
Павлодарского государственного университета
им. С. Торайгырова
637034, г. Павлодар, ул. Ломова 64.

УДК 621.317

ОСОБЕННОСТИ УЧЕТА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В СЕТЯХ С ИЗОЛИРОВАННОЙ НЕЙТРАЛЬЮ В РЕЖИМЕ ЗАМЫКАНИЯ НА ЗЕМЛЮ

Е.Н. Рыжкова, В.П. Рыжков

Павлодарский государственный университет имени
С. Торайгырова

Мақалада кең тараған қос элементті схемалардағы нейтралі оқшауланған электр тораптарындағы электроэнергияны есепке алуды ұйымдастыру сұрақтары қарастырылған. Жерге түйықтау режимінде тораптарда тізбекті нолдік тогының пайда болуынан, электроэнергия есебінің өзгеруі мүмкін, бұл төмен жүктелген торап фидерлерінде айқын көруге болады.

В статье рассматриваются вопросы организации учета электроэнергии в электрических сетях с изолированной нейтралью с помощью наиболее распространенной двухэлементной схемы. Показано, что в режиме замыкания на землю в этих сетях из-за возникновения токов нулевой последовательности возможно искажение учета электроэнергии, особенно заметное для слабозагруженных фидеров сети.

In clause (article) questions of the organization of the account of the electric power in electric networks with isolated neutral with the help of the most widespread two-element circuit are considered(examined). It is shown, that in a mode of short circuit on the ground in these networks because of occurrence of currents of a zero sequence distortion of the account of the electric power, especially appreciable for слабозагруженных feeders of a network is possible.

Учет электроэнергии по фидерам сети с изолированной нейтралью в большинстве случаев организован по двухэлементной схеме с использованием трансформаторов тока, которые устанавливаются в фазах А и С (см. рисунок 1). Применяемые двухэлементные схемы, как известно, предполагают полную уравновешенность трехфазной трехпроводной системы, то есть выполнение условия для фазных токов любого фидера $I_A + I_B + I_C = 0$.

Это условие соблюдается в симметричных нормальных режимах работы сети с изолированной нейтралью. Однако при замыкании на землю на

одном из фидеров сети трехпроводная система токов становится как бы четырехпроводной – роль четвертого провода начинает выполнять земля, и учет энергии по двухэлементной схеме становится некорректным. Время существования режима замыкания на землю до отыскания и отключения места повреждения может составлять от единиц до десятков часов, и поэтому неточность учета может оказаться заметной.

Механизм образования погрешности учета в режиме замыкания на землю рассмотрим на примере простейшей схемы замещения (см. рисунок 2), в которой для упрощения выделен аварийный фидер 2, а остальные фидеры представлены одним эквивалентным с током нагрузки I_1 и суммарной емкостью C_{01} .

В нормальном режиме вращающий момент двухэлементного счетчика активной энергии $M_{\text{вр}}$, пропорциональный трехфазной мощности фидера $P_{\text{фид}}$, составляет:

$$\begin{aligned} M_{\text{вр}} &\equiv P_{\text{фид}} = P_A + P_C = \\ &= U_{AB} \cdot I_A \cdot \cos(I_A U_{AB}) + U_{CB} \cdot I_C \cdot \cos(I_C U_{CB}) = \sqrt{3} \cdot U_{\text{лин}} \cdot I_{\text{лин}} \cdot \cos\varphi, \end{aligned}$$

т.е. показания счетчика пропорциональны проекциям фазных токов на соответствующие линейные напряжения.

С учетом емкостного тока сети $I_C = U_{\text{ф}} \cdot \omega \cdot C_0$ для любого фидера имеем:

$$\begin{aligned} \vec{I}_A &= \vec{I}_{A1} + \vec{I}_{A0} \\ \vec{I}_C &= \vec{I}_{C1} + \vec{I}_{C0}, \end{aligned}$$

где $\vec{I}_{A1}, \vec{I}_{C1}$ – токи нагрузки фаз А и С;

$\vec{I}_{A0}, \vec{I}_{C0}$ – токи емкостной проводимости фаз А и С.

Следовательно,

$$\begin{aligned} P_{\text{фид}} &= U_{AB} \cdot (I_{A1} \cdot \cos(I_{A1} U_{AB}) + I_{A0} \cdot \cos(I_{A0} U_{AB})) + \\ &+ U_{CB} \cdot (I_{C1} \cdot \cos(I_{C1} U_{CB}) + I_{C0} \cdot \cos(I_{C0} U_{CB})). \end{aligned}$$

Но как показано на рисунке 3, влияние емкостного тока на показания активного счетчика в симметричном режиме работы равно нулю, потому что проекции емкостных токов на соответствующие линейные напряжения равны по величине и противоположны по знаку:

$$I_{A0} \cdot \cos(I_{A0} U_{AB}) = I_{A0} \cdot \cos 60^\circ$$

$$I_{C0} \cdot \cos(I_{C0} U_{CB}) = I_{C0} \cdot \cos 120^\circ = -I_{C0} \cdot \cos 60^\circ$$

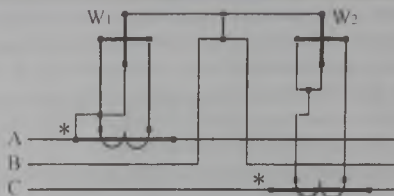


Рис. 1

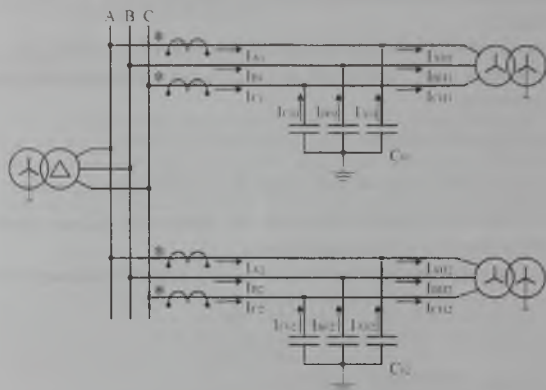


Рис. 2

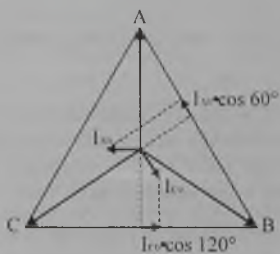


Рис. 3

В режиме замыкания на землю нагрузочный ток, как известно, не изменяется, а емкостные составляющие токов фидеров изменяются в соответствии с изменением фазных напряжений. Поэтому изменение показаний счетчиков активной энергии в режиме замыкания на землю оценим через изменение емкостных составляющих токов сети.

Для случая замыкания на землю фазы С фидера 2 векторная диаграмма для емкостных токов приведена на рисунке 4, а сама расчетная схема приобретет вид, показанный на рисунке 5.

Ток $I_{\text{отт}}$ замыкается через емкости здоровых фаз и обмотки трансформатора питающей подстанции. При этом емкостной ток фазы С равен нулю, так как $U_c = 0$, а в фазах А и В емкостные токи увеличиваются в $\sqrt{3}$ раз и изменяются по фазе.

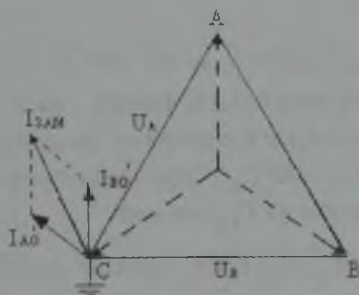


Рис. 4

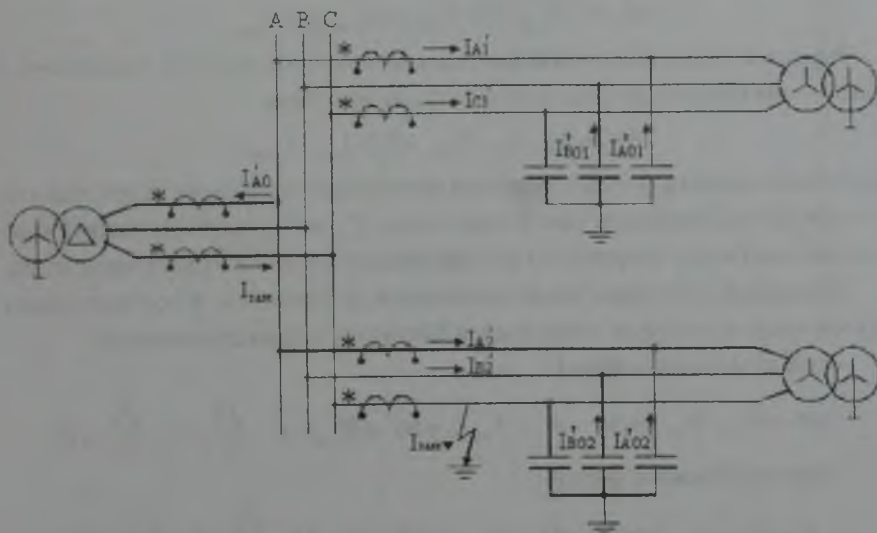


Рис. 5

Проекция емкостного тока в фазе А фидера 1 на линейное напряжение с учетом направления тока относительно разметки выводов трансформатора тока составит

$$I'_{A01} \cdot \cos(I'_{A0} U_{AA}) = -I_{A01} \cdot \sqrt{3} \cdot \cos 30^\circ = -U_{\phi} \cdot \omega \cdot C_{01} \cdot \sqrt{3} \cdot \sqrt{3} \cdot 0,5 = -1,5 \cdot I_{A01}.$$

Ток I_{C01} , а значит и его проекция на U_{CB} , равны нулю, так как $U_c = 0$, поэтому показания счетчиков эквивалентного фидера (то есть всех фидерных счетчиков, кроме аварийного) уменьшатся на величину, пропорциональную $\Delta P_1 = -1,5 \cdot U_{\text{лин}} \cdot I_{A0}$. Эта погрешность распределяется между всеми фидерами пропорционально их емкости.

Проекция емкостного тока фазы А фидера 2 на линейное напряжение с учетом направления тока относительно разметки выводов трансформатора тока составляет

$$I'_{A02} \cdot \cos(I'_{A02} U_{AB}) = -I_{A02} \cdot \sqrt{3} \cdot \cos 30^\circ = -1,5 \cdot I_{A02}.$$

Проекция емкостного тока фазы С фидера 2 на $U_{\text{лин}}$ также равна нулю, так как $U_c = 0$, однако, по фазе С протекает емкостной ток замыкания на землю $I_{\text{зам}} = 3 \cdot U_{\phi} \cdot \omega \cdot C_{0\Sigma}$, где $C_{0\Sigma}$ – суммарная емкость нулевой последовательности, и проекция его на U_{CB} составит

$$I_{\text{зам}} \cdot \cos(I_{\text{зам}} U_{CB}) = I_{\text{зам}} \cdot \cos 60^\circ = 0,5 \cdot I_{\text{зам}}.$$

Поэтому показания счетчика аварийного фидера в режиме замыкания изменяются на величину, пропорциональную

$$\Delta P_2 = -U_{AB} \cdot 1,5 \cdot I_{A02} + U_{CB} \cdot 0,5 \cdot I_{\text{зам}}.$$

Аналогичными рассуждениями можно показать, что при замыкании в фазе А показания счетчика изменяются на величину

$$\Delta P_2 = 1,5 \cdot I_{C0} \cdot U_{CB} - 0,5 \cdot I_{\text{зам}} \cdot U_{AB},$$

а при замыкании в фазе В изменения показаний счетчика не будет, так как в этом случае проекции емкостных токов I'_{A0} и I'_{C0} на соответствующие напряжения и для здоровых, и для аварийных фидеров будут равны нулю.

Показания счетчиков ввода изменяться не будут, т.к. в соответствии с изменением емкостных токов в цепи питающего трансформатора:

– при замыкании в фазе С

$$\Delta P = -U_{AB} \cdot I'_{A0} \cdot \cos 30^\circ + U_{CB} \cdot I_{\text{зам}} \cdot \cos 60^\circ = U_{\text{лин}} \left(-I'_{A0} \frac{\sqrt{3}}{2} + I_{\text{зам}} \frac{\sqrt{3}}{2} \right) = 0;$$

– при замыкании в фазе А

$$\Delta P = U_{AB} \cdot I_{\text{зам}} \cdot \cos 60^\circ - U_{CB} \cdot I'_{C0} \cdot \cos 30^\circ = U_{\text{лин}} \left(I_{\text{зам}} \frac{\sqrt{3}}{2} - I'_{C0} \frac{\sqrt{3}}{2} \right) = 0.$$

При замыкании в фазе В изменений показаний также наблюдаться не будет, т.к. проекции I'_{AO} и I'_{CO} соответствующие напряжения равны нулю.

Из изложенного следует, что при замыкании на землю в слабозагруженной разветвленной сети с изолированной нейтралью возможно искажение учета электроэнергии, пропорциональное мощности от тока нулевой последовательности (тока замыкания на землю). Это искажение может быть особенно заметным для аварийного фидера с малым потреблением электроэнергии.
