

УДК 621.316.925

Е.В. ЧОРНОУС
Донецкий национальный технический университет
EMiTOE@yandex.ua

О ДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВАХ БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩЕГО АЛГОРИТМА ВЫБОРА ПОВРЕЖДЕННОЙ ФАЗЫ СЕТИ С ИЗОЛИРОВАННОЙ НЕЙТРАЛЬЮ

Исследована устойчивость работы алгоритма определения поврежденной фазы в сети с изолированной нейтралью в условиях воздействия помех и искажений реальной сети, обусловленных ее динамическим режимом при возникновении утечки, а также высшими гармониками в составе потенциала нейтрали.

В [1] описан быстродействующий способ и алгоритм выбора (идентификации) поврежденной фазы сети с изолированной нейтралью. Его сущность заключается в определении аргумента (начальной фазы) ψ потенциала нейтрали по двум его смежным мгновенным значениям $u_N(t_1)$, и $u_N(t_2)$, разница по фазе между которыми $\Delta\omega t$ фиксирована и находится в пределах от 10 до 15 градусов. В качестве опорного напряжения, задающего отсчет времени (или угла), удобно принять одно из линейных напряжений, u_{AB} , например.

Требования к устройству выбора фазы (УВФ) достаточно жесткие и, в определенной мере, противоречивые [3]. С одной стороны возможное пребывание человека под фазным напряжением требует максимального быстродействия. С другой стороны, ошибочное определение поврежденной фазы при еще не отключенной сети может привести к развитию аварийной ситуации, недопустимой в шахтных условиях и несовместимой с требованиями электробезопасности.

Цель данной работы заключается в оценке работоспособности предложенного алгоритма в условиях воздействия помех и искажений реальной сети, обусловленных ее динамическим режимом при возникновении утечки, а также высшими гармониками в составе потенциала нейтрали.

Предварительный анализ показал, что характеристическое уравнение системы [2], описывающей модель шахтной участковой сети в области рабочих параметров, содержит два комплексных корня с частотой свободных колебаний от 7 до 20 кГц и два действительных корня, величина которых составляет от нескольких десятков до нескольких сотен. Однако, динамическая составляющая потенциала нейтрали определяется, по сути, только одним из действительных корней, а постоянная интегрирования, связанная с другим действительным корнем в десятки и сотни раз меньше. Что же касается высокочастотных колебаний, обусловленных комплексными корнями, то они почти не ощущаются в составе потенциала нейтрали, что объясняется шунтирующим действием емкости “фаза – земля”. Фактически это значит, что длительность переходного процесса можно характеризовать только одним действительным корнем или, вернее, величиной ему обратной и взятой по модулю (постоянной времени) $\tau = 1/|p|$.

Методика исследования заключается в следующем. Согласно математической модели, описанной в [2], определяется начальная фаза установившейся составляющей потенциала нейтрали, являющаяся фактическим значением его аргумента $\psi_{фак}$. Одновременно, через каждые 20⁰ с момента коммутации (момента возникновения утечки) фиксируются пары мгновенных значений потенциала нейтрали $u_N(t_1)$, $u_N(t_2)$, по которым в модели УВФ, согласно алгоритму [1, 2], определяются расчетные значения аргумента $\psi_{расч}$, представляющие совокупность промежуточных результатов, несущие в себе весь груз помех и искажений сети. Дополнительно моделью УВФ определяется мгновенное расчетное значение амплитуды потенциала нейтрали u_N^p , используемое алгоритмом УВФ для отбрасывания “лишних” корней, и интегральное (среднее по модулю) значение этой амплитуды U_N^{cp} , являющееся добавочным источником информации для оценки работоспособности УВФ.

Таким образом, исследование, по своей сути, заключается в сопоставлении фактического значения аргумента, полученного из “чистой” синусоиды, и расчетного, несущего в себе все искажения реальной сети.

Основные результаты. На рис. 1 приведены результаты одного из наиболее неблагоприятных численных экспериментов, когда на УВФ одновременно воздействуют два наиболее интенсивных возмущающих фактора в составе потенциала нейтрали – динамическая составляющая и третья гармоника. Из-за большого сопротивления утечки ($R_h = 20$ кОм) практическая длительность переходного процесса составляет от 120 до 150 мс (6...7 периодов), а коммутация соответствует переходу через максимум установившейся составляющей основной гармоники u_y . Кроме того, амплитуда третьей гармоники составляет 10% от амплитуды основной гармоники. Угол между смежными точками отсчета мгновенных значений – 20⁰, что соответствует частоте следования промежуточных результатов 900 Гц.

Для этого эксперимента характерно то, что часть результатов, находящихся в области от 280 до 340 градусов, выходят за пределы границ (диаграмма рис. 4Б), что обусловлено не только влиянием переходного

© Черноус Е.В., 2011

режима и воздействием третьей гармоники, но также и тем, что из-за большого сопротивления утечки фактическое значение аргумента ($\psi_\phi \approx 94^\circ$) находится в непосредственной близости от нижнего граничного значения ($\psi_{zp} = 75^\circ$), причем, значения аргумента ψ_p , полученные УВФ, совершают колебания относительно ψ_ϕ . Но это значит, что УВФ имеет неиспользованный резерв устойчивости. Действительно, если границы сместить “вниз” согласно условию $\psi_{zp} = \psi_\phi \pm 60^\circ$, то, как следует из рис. 2 В, все точки полученных результатов аргумента ψ_p будут находиться в зоне аварийной фазы.

Таким образом, устойчивость УВФ в условиях воздействия динамических составляющих и высших гармоник при большом (> 10 кОм) сопротивлении утечки может быть повышена.

Интегральное значение амплитуды потенциала нейтрали U_N^{cp} , получаемое в процессе работы УВФ, также как и ψ_p искажено помехами и возмущениями (рис. 1 А). Тем не менее, это значение устойчиво стремится к значению амплитуды установившейся составляющей и является добавочным источником информации, которую можно использовать для оценки устойчивости алгоритма или для смещения границ аргумента.

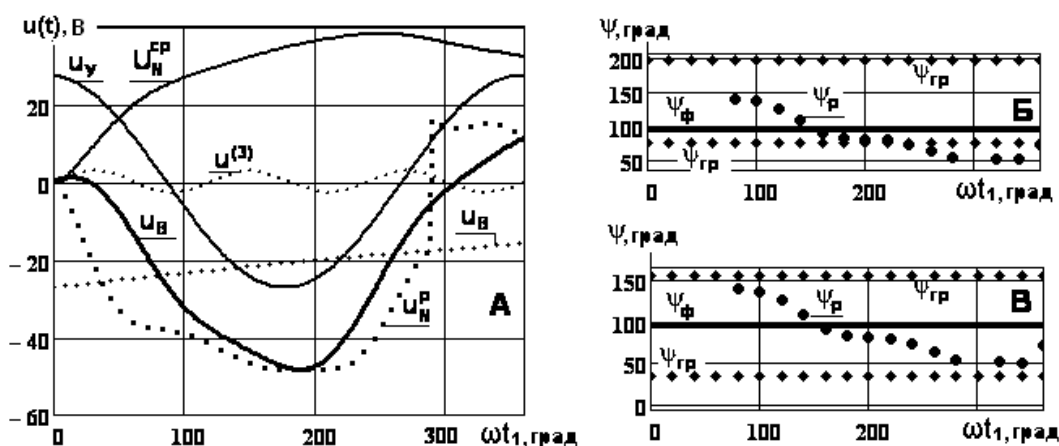


Рисунок 1 - Работа УВФ при переходном режиме сети и наличии в составе потенциала нейтрали третьей гармоники. А – мгновенные значения: u_N – потенциал нейтрали; u_B – его динамическая составляющая; u_ϕ – основная гармоника, $u^{(3)}$ – третья гармоника, u_N^δ – расчетная амплитуда по данным УВФ; U_N^{cp} – интегральное (среднее по модулю) значение амплитуды. Б – значения аргумента: ψ_p – расчетное по данным УВФ, $\psi_\phi \approx 94^\circ$ – фактическое; ψ_{zp} – граничные 75° и 195° . В – та же диаграмма, но с границами, смещенными согласно условию: $\psi_{zp} = \psi_\phi \pm 60^\circ$.

Сопротивление человека, оказавшегося под напряжением, может изменяться в широких пределах. Причем, характер и величину этих изменений, а также моменты их возникновения предусмотреть невозможно. Переходные процессы, ими обусловленные, следуют один за другим. Худшие условия для работы УВФ возникают в том случае, когда сопротивление утечки меняется скачкообразно при неблагоприятной фазе очередной коммутации.

На рис. 2 приведены результаты эксперимента с тройной коммутацией. На рис. 2А обозначено: 1 – момент первой коммутации, имитирующий попадание человека под напряжение при максимальном сопротивлении ($R_{h1} = 15$ кОм). 2 – момент второй коммутации, наступающий через 175° (≈ 9.7 мс) после первой и имитирующий пробой обуви или одежды. Сопротивление утечки при этом скачком уменьшается до $R_{h2} = 5$ кОм. 3 – момент третьей коммутации, наступающий через 120° (≈ 6.6 мс) после второй и имитирующий пробой кожи человека, вследствие чего сопротивление утечки снижается до $R_{h3} = 1$ кОм.

На рис. 3Б обозначено: ψ_ϕ – фактическое значение аргумента, меняющее свое значение при каждой коммутации и составляющее $\approx 65^\circ$, 72° и 106° ; ψ_p – расчетное значение по результатам работы УВФ; ψ_{zp} – граничные значения значения 45° и 165° . Частота следования результатов 900 Гц.

Характерная особенность данного опыта заключается в том, что все результаты вычисления ψ_p находятся в пределах своих границ. Решение о поврежденной фазе может быть принято уже на первом этапе (в интервале $90 \dots 180$ градусов). Однако, в случае действия добавочных искажений, в виде высших гармоник или резкой поперечной асимметрии, часть результатов может выйти за пределы границ и принятие решения может затянуться. На втором этапе в интервале $180 \dots 300$ градусов переходный процесс более скоротечен, влияние помех уменьшается и принятие решения упрощается. Что касается третьего этапа, то переходный процесс его наступления весьма скоротечен и практически все результаты находятся вблизи фактического значения $\psi_\phi = 106^\circ$ и принятие решения не представляет проблемы.

Таким образом, ухудшение состояния человека (пробой одежды, кожи, резкий рост тока) улучшает технические возможности УВФ. Это действительно так (хотя и выглядит кощунственно), уменьшение сопротивления утечки, снижая действие помех и искажений, ускоряет процесс достоверной идентификации аварийной фазы, и, следовательно, ускоряет процесс освобождения человека от действия тока.

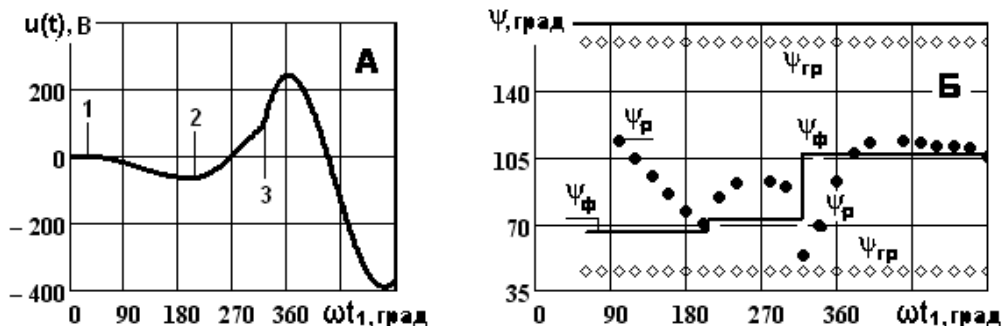


Рисунок 2 - Работа УВФ в переходном режиме возникновения однофазной утечки с тройной коммутацией. А – мгновенное значение потенциала нейтрали. Б – значения аргумента: ψ_p – расчетное по данным УВФ, ψ_ϕ – фактическое $\approx 65^\circ, 72^\circ, 106^\circ$, ψ_{zp} – граничные значения 45° и 165° .

Основные выводы. Выполнено исследование работоспособности алгоритма идентификации поврежденной фазы шахтной участковой сети, основанное на определении аргумента потенциала нейтрали по двум его мгновенным значениям, в условиях динамических возмущений и высших гармонических составляющих. Исследование построено на моделировании динамики сети с одновременным моделированием алгоритма идентификации фазы с утечкой. Установлено:

1. Предложенный алгоритм обеспечивает устойчивую и надежную идентификацию поврежденной фазы на всем исследованном диапазоне изменения сопротивления утечки.
2. Максимальное время идентификации при наиболее неблагоприятных условиях не превышает 15 мс.
3. Уменьшение сопротивления утечки ($R_h < 2.5$ кОм) более благоприятно для ускорения идентификации. Время определения поврежденной фазы может быть уменьшено до 7...10 мс.

ЛИТЕРАТУРА

1. Патент UA на винахід № 51307, МПК H02H 3/16, G01R 31/08 - опубл. 12.07.2010.
2. Черноус Е.В. Об альтернативном варианте защиты шахтной участковой сети от однофазной утечки / Е.В. Черноус // Электричество.- 2009. - №8. - С.33-36
3. Шущий В. И. Защитное шунтирование однофазных повреждений электроустановок / В. И. Шущий, В.О. Жидков, Ю. Н. Ильин. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 152 с.:ил.

Надійшла до редколегії 11.09.2010

Рецензент: О.П.Ковальов

Є.В. ЧОРНОУС
Донецький національний технічний університет

E. CHORNOUS
Donetsk National Technical University

Про динамічні властивості швидкодіючого алгоритму вибору ушкодженої фази мережі із ізольованою нейтраллю. Досліджена стійкість роботи алгоритму визначення пошкодженої фази в мережі з ізольованою нейтраллю в умовах дії перешкод і спотворень реальної мережі, обумовлених її динамічним режимом при виникненні витоку, а також вищими гармоніками у складі потенціалу нейтралі.

About the Dynamic Properties of High-Speed Algorithm of Deteriorated Phase in a Network with Isolated Neutral. We have studied the stability of the algorithm for defining a faulted phase in a network with isolated neutral under the influence of interference and distortion of a real network due to its dynamic mode in case of leakage and higher harmonics in the neutral potential.