

УДК 621.316.625

ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ОРГАНОВ ЦИФРОВЫХ УСТРОЙСТВ БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩЕГО АВТОМАТИЧЕСКОГО ВКЛЮЧЕНИЯ РЕЗЕРВА ДЛЯ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ С ДВИГАТЕЛЬНОЙ НАГРУЗКОЙ

В. Ф. СивокобыленкоДонецкий национальный технический университет
пл. Шибанкова, 2, г. Красноармейск, 85300, Украина. E-mail: svf1934@gmail.com**С. В. Деркачев**Донецкий национальный технический университет
ул. Артема, 58, г. Донецк, 83001, Украина. E-mail: sergey_derkachev@mail.ru

В настоящее время большую часть вырабатываемой электроэнергии потребляют асинхронные и синхронные электродвигатели, используемые в установках с непрерывным технологическим процессом. Для таких потребителей требуется обеспечение успешного самозапуска двигателей после кратковременных нарушений электропитания, вызванных короткими замыканиями или потерей питания по любой причине. В данной работе рассмотрены особенности построения цифровых измерительных органов тока, напряжения, мощности, входящих в состав устройства быстродействующего автоматического включения резерва. Для повышения быстродействия и помехоустойчивости измерительных органов усовершенствован алгоритм определения комплексных значений токов и напряжений, основанный на усреднении мгновенных значений ряда нечетного количества выборок, по которым также численно находят центральные производные. Приведены результаты реализации изложенного подхода, полученные на математических моделях и в действующих системах электропитания с двигательной нагрузкой, которые показывают, что предложенный способ определения комплексных величин позволяет в переходных режимах ускорить затухание аperiodических составляющих токов и ослабить влияние случайных помех, что в результате повышает быстродействие устройств подачи резервного питания.

Ключевые слова: система электропитания, быстродействующее автоматическое включение резервного питания, цифровой измерительный орган, двигательная нагрузка.

ОСОБЛИВОСТІ ВІМІРЮВАЛЬНИХ ОРГАНІВ ЦИФРОВИХ ПРИСТРОЇВ ШВИДКОДІЮЧОГО АВТОМАТИЧНОГО ВКЛЮЧЕННЯ РЕЗЕРВУ ДЛЯ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ З ДВИГУННИМ НАВАНТАЖЕННЯМ

В. Ф. СивокобыленкоДонецький національний технічний університет
пл. Шибанкова, 2, м. Красноармійськ, 85300, Україна. E-mail: svf1934@gmail.com**С. В. Деркачов**Донецький національний технічний університет
вул. Артема, 58, м. Донецьк, 83001, Україна. E-mail: sergey_derkachev@mail.ru

На сьогодні більшу частину електроенергії, що виробляється, споживають асинхронні й синхронні електродвигуни, які використовуються в установках із безперервним технологічним процесом. Для таких споживачів потрібне забезпечення успішного самозапуску двигунів після короточасних порушень електропостачання, викликаних короткими замиканнями або втратою живлення за будь-якої причини. У даній роботі розглянуто особливості побудови цифрових вимірювальних органів струму, напруги, потужності, що входять до складу пристрою швидкодіючого автоматичного включення резерву. Для підвищення швидкодії та завадостійкості вимірювальних органів удосконалено алгоритм визначення комплексних значень струмів і напруг, заснований на усередненні миттєвих значень низки непарної кількості вибірок, по яких також чисельно знаходять центральні похідні. Наведено результати реалізації викладеного підходу, отримані на математичних моделях і в діючих системах електропостачання з руховим навантаженням, які показують, що запропонований спосіб визначення комплексних величин дозволяє в перехідних режимах прискорити загасання аperiodичних складових струмів і послабити вплив випадкових перешкод, що в результаті підвищує швидкодійність пристроїв подачі резервного живлення.

Ключові слова: система електропостачання, швидкодіюче автоматичне включення резервного живлення, цифровий вимірювальний орган, двигунне навантаження.

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ. В настоящее время одними из основных потребителей электрической энергии являются системы электропитания с асинхронными и синхронными двигателями, которые используются в установках с непрерывным технологическим процессом (на металлургических и химических заводах, нефтедобывающих и газотранспортных установках, в системах собственных

нужд электростанций и др.). Для такого типа потребителей требуется обеспечение успешного самозапуска двигателей при кратковременных нарушениях электропитания, вызванных короткими замыканиями или потерей питания по любой причине. Во многих случаях решение этой проблемы весьма затруднительно, что требует поиска новых подходов в её решении.

Один из таких подходов связан с развитием микропроцессорной техники и созданием быстродействующей коммутационной аппаратуры на напряжения 6–10 кВ. На этой основе рядом фирм созданы и получили положительный опыт эксплуатации устройства быстродействующего автоматического включения резерва (БАВР) [1–5], благодаря которым удастся существенно сократить перерыв питания и предотвратить нарушение устойчивой работы двигательной нагрузки. Устройства БАВР должны обладать высоким быстродействием и чувствительностью, а также помехоустойчивостью. Основные принципы построения цифровых измерительных органов устройств РЗА рассмотрены в [6], однако с учетом требований к БАВР актуальными являются вопросы дальнейшего их развития и совершенствования.

Целью данной работы является изложение ряда особенностей построения измерительных органов тока, напряжения, мощности, входящих в состав устройства БАВР, структурная схема которого пока-

зана на рис. 1.

МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ. При коротких замыканиях в питающей сети (точка К1) или при потере питания по любой другой причине устройство БАВР должно отключить выключатель Q1 и обеспечить подачу резервного питания путем включения секционного выключателя Q3. При этом во избежание возникновения недопустимых значений токов и моментов в электродвигателях должны быть выполнены условия синфазности объединяемых напряжений. Эти условия зависят от особенностей конкретных систем электроснабжения, но в общем виде их можно сформулировать следующим образом: разность модулей векторов напряжений секций не должна превышать $0,3 U_n$, а их угловое отклонение – не более 60° .

Для реализации этих операций требуется измерение токов и напряжений на вводе каждой секции и определение направления потока мощности, потребляемой в нормальном режиме или генерируемой выбегающими электродвигателями при КЗ.

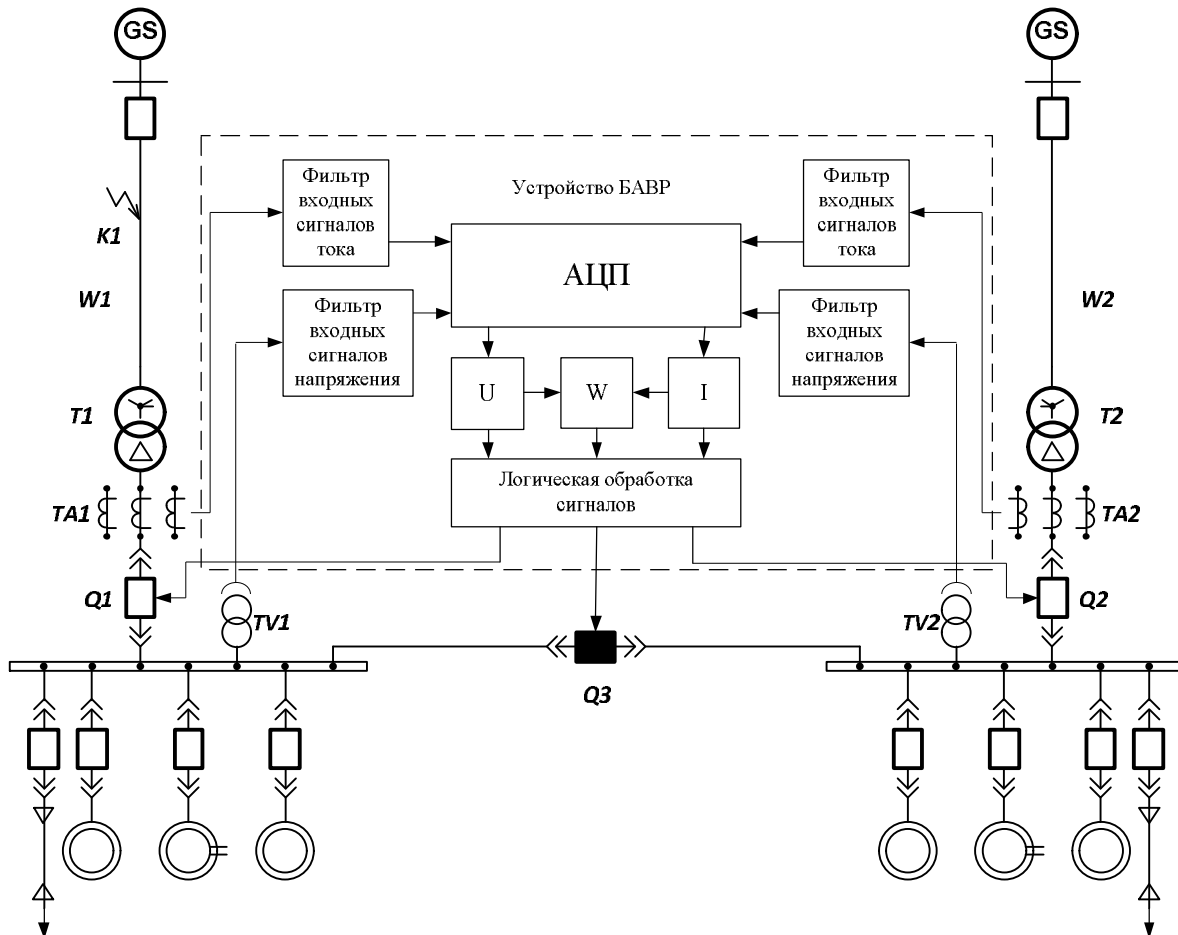


Рисунок 1 – Структурная схема устройства БАВР

Аналоговые токи и напряжения от трансформаторов тока и напряжения после предварительной фильтрации и обработки в устройствах аналого-цифровых преобразователей (АЦП) поступают в виде цифровых дискретных значений в буфер памяти (рис. 1). Принимая допущения о синусоидальном характере изменения токов и напряжений, требуется представить их в виде векторных величин, для чего следует по мгновенным значениям определить амплитуды и фазы при известной частоте сети. Для

этой цели используются в основном два алгоритма [6]. В одном из них используются две выборки измеренных мгновенных значений напряжения или тока (рис. 2), которые можно представить, например, для токов в виде уравнений

$$\left. \begin{aligned} i_1 &= I_m \sin(\omega t_1 + \varphi) \\ i_2 &= I_m \sin(\omega(t_1 + \Delta t) + \varphi) \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

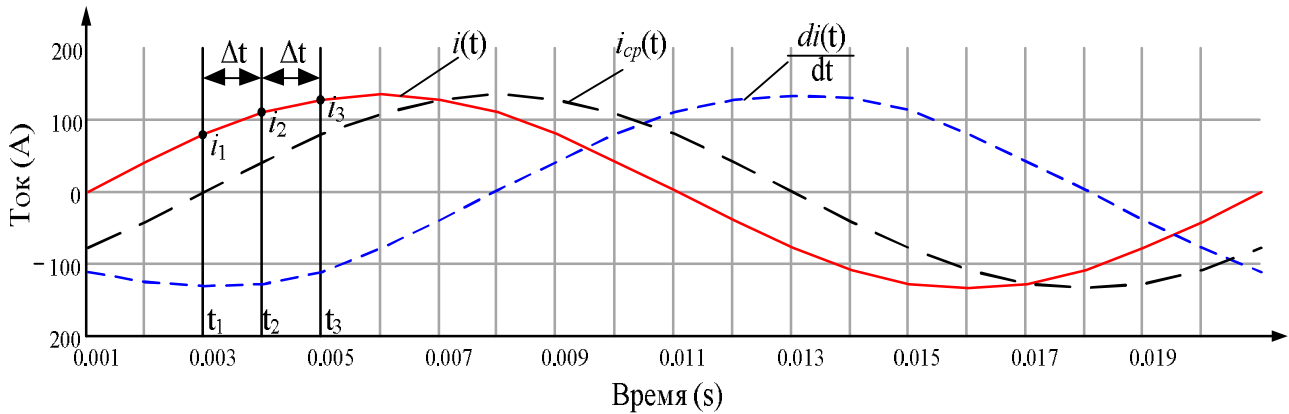


Рисунок 2 – Определение составляющих комплексов тока по дискретным мгновенным значениям

Из решения системы уравнений (1) находим амплитуду и начальную фазу как

$$\begin{aligned} I_m &= \frac{1}{\sin(\omega \Delta t)} \sqrt{i_1^2 - 2i_1 i_2 \cos(\omega \Delta t) + i_2^2}; \\ \varphi &= \arcsin\left(\frac{i_1}{I_m}\right) - \omega t_1. \end{aligned} \quad (2)$$

Тогда в векторной или комплексной форме ток можно представить в виде

$$\begin{aligned} \underline{I}(t) &= |I_m| e^{j(\omega t + \varphi)} = \\ &= I_m \cos(\omega t + \varphi) + j I_m \sin(\omega t + \varphi). \end{aligned} \quad (3)$$

Во втором алгоритме кроме мгновенных значений тока (напряжения) используются и их производные:

$$I_m = \sqrt{\left(\frac{i'(t)}{\omega}\right)^2 + i^2(t)}; \quad \varphi = \arctg\left(\frac{\omega i(t)}{i'(t)}\right); \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \underline{I}(t) &= |I_m| e^{j(\omega t + \varphi)} = \frac{i'(t)}{\omega} + j i(t); \\ i'(t) &= \omega I_m \cos(\omega t + \varphi). \end{aligned} \quad (5)$$

В [6] справедливо отмечается, что при чисто синусоидальном сигнале первый алгоритм позволяет получить более точные значения амплитуды и начальной фазы, тогда как второй менее точен из-за приближенного численного определения производной. Однако наши исследования показали, что для быстродействующих защит и для БАВР большими преимуществами обладает второй алгоритм, т.к.

обеспечивает более быстрое затухание аperiodических составляющих в токе в переходных режимах и тем самым устраняет их влияние на искажение синусоид, поэтому этот метод был принят нами за основу для его дальнейшего совершенствования.

Известно, что для повышения точности численного определения производной необходимо использовать три и более текущих выборок, взятых через одинаковые промежутки времени. При этом большей точностью обладают центральные производные, в которых используют нечетное количество выборок. Уравнения численного определения центральных производных, например, для трех (n=3) и пяти (n=5) выборок имеют вид:

$$i'(t) = \frac{1}{2h} (i(t_3) - i(t_1)); \quad (6)$$

$$i'(t) = \frac{1}{12h} (i(t_1) - 8i(t_2) + 8i(t_4) - i(t_5)). \quad (7)$$

Так как по (6) и (7) находят производные для моментов времени t_2 или t_3 , то для этих же моментов времени требуется использовать мгновенные значения токов. Последние целесообразно взять как усредненные из тех же трех или пяти выборок, что дополнительно позволит ослабить влияние случайных помех. Однако в связи с тем, что выборки производятся с одинаковым шагом h , а синусоидальная функция является нелинейной, коэффициент усреднения будем находить как отношение суммы токов всех выборок к току центральной выборки:

$$A_n = \frac{\sum_{r=0}^{n-1} \sin(\omega(t_1 + hr) + \varphi)}{\sin(\omega(t_1 + h\frac{n-1}{2}) + \varphi)}. \quad (8)$$

Как видно из (8), коэффициент усреднения A_n зависит от длины шага h и количества выборок n . Так, например, для $\omega=314$ рад, $h=0,0005$ с для $n=3, 5, 7$ из (8) получим $A_3=2,975$, $A_5=4,878$, $A_7=6,66$. Если же шаг принять $h=0,001$ с, тогда получим $A_3=2,902$, $A_5=4,521$, $A_7=5,697$. Без уточненного усреднения эти коэффициенты были бы соответственно равны $A_3=3$, $A_5=5$, $A_7=7$.

Упростив (8), можно также получить следующие выражения для коэффициентов A :

$$\begin{aligned} A_3 &= 1 + 2 \cos(\omega h); \\ A_5 &= 1 + 2(\cos(\omega h) + \cos(2\omega h)); \\ A_7 &= 1 + 2(\cos(\omega h) + \cos(2\omega h) + \cos(3\omega h)). \end{aligned} \quad (9)$$

Все полученные выражения (1)–(9) справедливы также и для напряжений. Таким образом, алгоритм определения комплексных величин будет заключаться в следующем. Для заданных ω , h и количества выборок тока n (например, $n=5$) находим производную для тока по (7). По (8) или (9) вычисляем A_5 , а с помощью замеренных мгновенных значений токов $i(t_1)–i(t_5)$ находим усредненное мгновенное значение для $i(t_3)$ как

$$i(t_3) = \frac{1}{A_5}(i(t_1) + i(t_2) + i(t_3) + i(t_4) + i(t_5)). \quad (10)$$

Затем по (4) находим вещественную и мнимую составляющие комплекса тока. Для следующего шага h расчеты повторяются в той же последовательности. Описанный подход обеспечивает ортогональность составляющих векторных величин.

Для трехфазной системы электроснабжения можно теперь определить мгновенные значения вещественных и мнимых составляющих токов (напряжений) прямой и обратной последовательностей, которые могут быть использованы в качестве пусковых органов или в логической части БАВР:

$$Re(\underline{i1}) = \frac{1}{2} \left(\frac{i'_a(t)}{\omega} + \frac{i_b(t) - i_c(t)}{\sqrt{3}} \right); \quad (11)$$

$$Re(\underline{i2}) = \frac{1}{2} \left(\frac{i'_a(t)}{\omega} - \frac{i_b(t) - i_c(t)}{\sqrt{3}} \right);$$

$$Im(\underline{i1}) = \frac{1}{2} \left(i_a(t) - \frac{i'_b(t) - i'_c(t)}{\sqrt{3}\omega} \right); \quad (12)$$

$$Im(\underline{i2}) = \frac{1}{2} \left(i_a(t) + \frac{i'_b(t) - i'_c(t)}{\sqrt{3}\omega} \right).$$

По найденным векторам тока и напряжения для

каждой из фаз можно определить мощность:

$$\begin{aligned} S(t) &= \underline{U}(t) \underline{I}(t)^* = \\ &= \left(\frac{u'(t)}{\omega} + ju(t) \right) \left(\frac{i'(t)}{\omega} - ji(t) \right) = \\ &= P(t) + jQ(t), \end{aligned} \quad (13)$$

где:

$$\begin{aligned} P(t) &= \frac{u'(t)i'_b(t)}{\omega^2} + u(t)i(t); \\ Q(t) &= u(t) \frac{i'_b(t)}{\omega} - \frac{u'(t)}{\omega} i(t). \end{aligned} \quad (14)$$

На основе (13) и (14) можно сформировать реле направления мощности косинусного, синусного или смешанного типа, используя известные схемы (тридцати-, шестидесяти-, девяностоградусные и др.). Например, направление мощности, определяемое по знаку синуса или косинуса угла между током и напряжением, можно найти как

$$\begin{aligned} \sin(\varphi(t)) &= \frac{Q(t)}{\sqrt{P(t)^2 + Q(t)^2}}; \\ \cos(\varphi(t)) &= \frac{P(t)}{\sqrt{P(t)^2 + Q(t)^2}}. \end{aligned} \quad (15)$$

Исследования алгоритмов направленных реле мощности или тока с использованием предложенного формирования измерительных органов показали, что они не нуждаются в напряжении подпитки от резервного источника, как это требуется в некоторых БАВР, например, в [7, 8.]. Алгоритм направленного реле мощности, включенного по девяностоградусной схеме с током I_a и напряжением U_{bc} , может быть реализован по (13) с учетом углового сдвига 90° между U_a и U_{bc} и угла α , обычно принимаемого для этого типа реле порядка $30–60^\circ$:

$$\begin{aligned} S(t) &= \left[\frac{j}{\omega} U'_{bc}(t) - U_{bc}(t) \right] \times \\ &\times \left[\frac{1}{\omega} i'_a(t) - ji_a(t) \right] \exp(-j\alpha). \end{aligned} \quad (16)$$

Из (16) с учетом (14) получим условие фиксации положительного направления мощности с помощью реле, выполненного по алгоритму

$$Im[S(t)] = P(t) \cos(\alpha) + Q(t) \sin(\alpha) \geq 0. \quad (17)$$

На рис. 3 показан график суммарной мощности трех фаз, полученный при моделировании по (17), для трехфазного короткого замыкания в питающей сети (рис. 1, точка К1) длительностью 0,4 с. Из-за подпитки места КЗ двигателями мощность меняет свое направление и по величине близка к потребляемой в нормальном режиме. Орган направления мощности, сформированный по выражению (17), весьма быстродействующий, что очень важно для БАВР. Причина колебаний мощности вызвана взаимодействием между собой периодических и аperiodических составляющих в токах, что также имеет место при пуске двигателей и в других режимах (рис. 8).

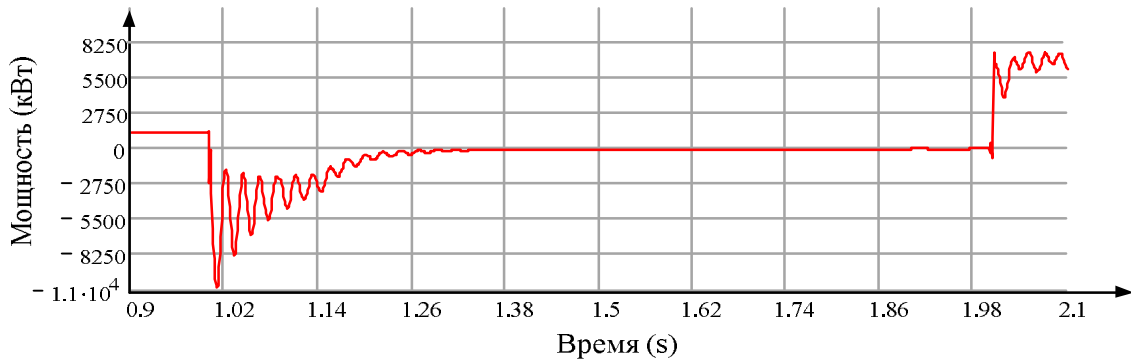


Рисунок 3 – График изменения активной мощности при коротком замыкании в питающей сети

Изложенный способ определения векторов тока, напряжения, мощности по текущим мгновенным значениям позволяет использовать их в качестве пусковых органов в логической части устройства БАВР.

Приведем примеры реализации изложенных подходов, полученные на математических моделях и в действующих системах электроснабжения с двигательной нагрузкой. Так, например, на рис. 4 приве-

дена реальная осциллограмма пускового тока статора асинхронного двигателя мощностью 200 кВт, а на рис. 5 – полученные по изложенным алгоритмам модули токов прямой и обратной последовательностей. На рис. 6, 7 аналогичные данные приведены для напряжений на секции 6 кВ при пуске двигателя. а на рис. 8 – полученная по (14) активная мощность для этого же режима

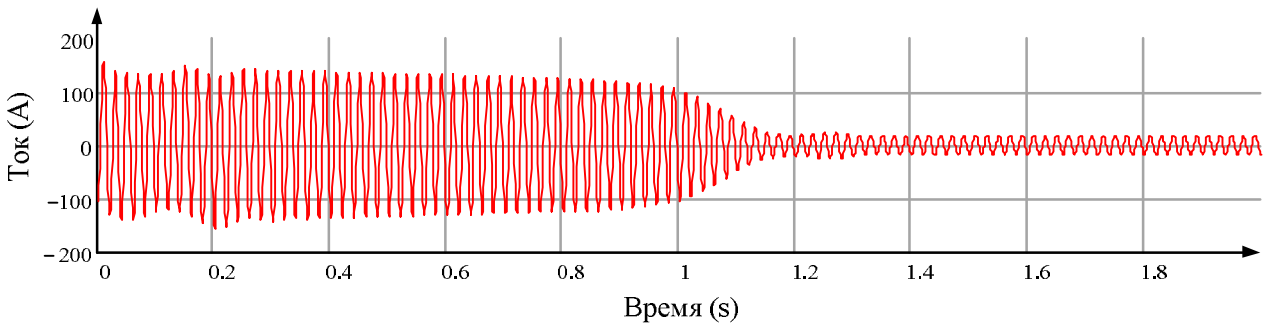


Рисунок 4 – Осциллограммы пускового тока в фазе А

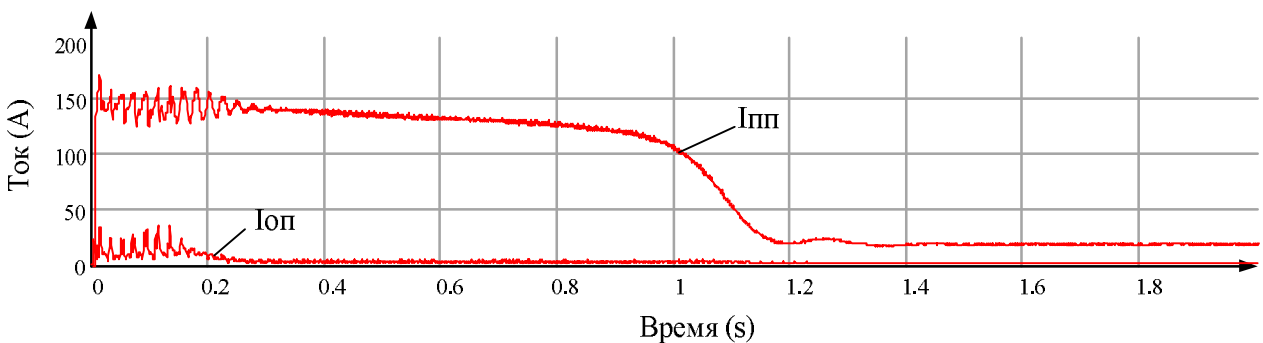


Рисунок 5 – Токи прямой и обратной последовательностей

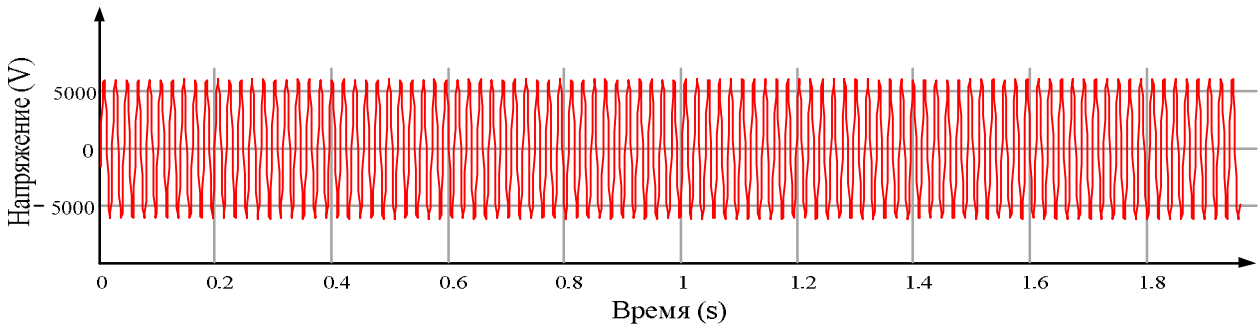


Рисунок 6 – Напряжение фазы А на секции 6 кВ

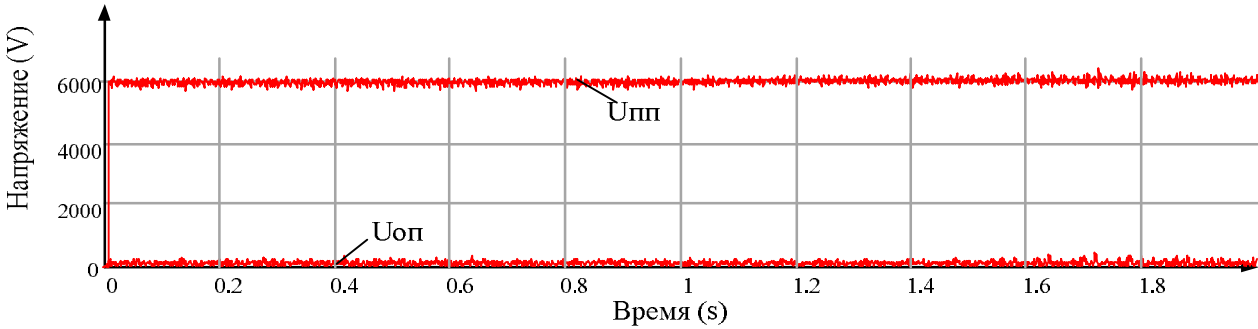


Рисунок 7 – Напряжения прямой и обратной последовательностей

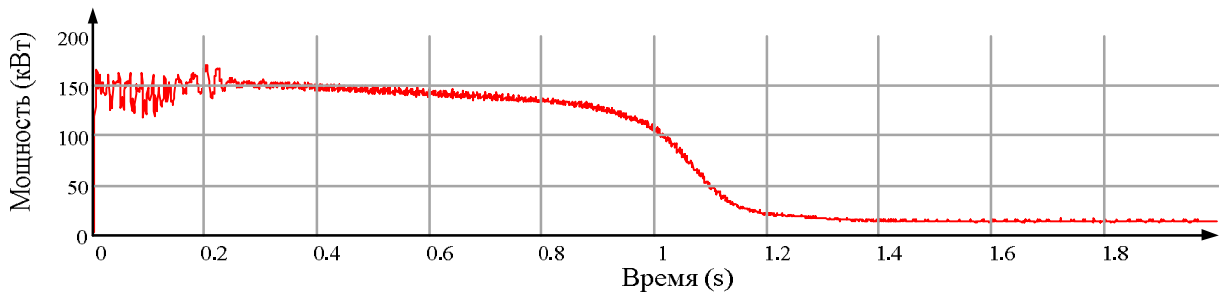


Рисунок 8 – Потребляемая двигателем активная мощность в фазе А

Рассмотрим теперь режим трехфазного короткого замыкания в точке К1 для схемы, показанной на рис. 1, и работу устройства БАВР с пусковыми органами, реагирующими на направление мощности. Для этого воспользуемся математической моделью сети (рис. 1), состоящей из математических моделей отдельных элементов (источников питания, линий электропередач, трансформаторов, выключателей, синхронных и асинхронных электродвигателей). Принципы составления математических моделей отдельных элементов и схемы в целом подробно описаны в [9]. Результаты моделирования представлены на рис. 9.

Из рис. 9 видно, что при возникновении трехфазного короткого замыкания в момент времени $t=2$ с напряжение на секции значительно снижается. В момент времени $t_1=2,005$ с срабатывает пусковой орган устройства БАВР и дает команду на отключение вводного выключателя Q1 первой секции шин 6 кВ. В момент времени $t_2=2,018$ с после отключения вводного выключателя напряжение на секции повы-

шается за счет остаточной ЭДС, генерируемой выбегающими двигателями. Одновременно с этим происходит проверка условия синфазности подачи резервного напряжения и в момент времени $t_2=2,018$ с подается команда на включение секционного выключателя Q3. При $t_3=2,042$ с включается секционный выключатель и происходит успешный самозапуск двигательной нагрузки. При моделировании работы устройства БАВР в качестве коммутационной аппаратуры были приняты быстродействующие вакуумные выключатели с временем отключения 0,01 с и временем включения 0,022 с. Таким образом, суммарное время определения появления аварийного режима и переключения на резервный источник составило 0,042 с. Из графиков токов синхронного и асинхронного двигателей видно, что их пусковые токи не превысили значений 5 о.е. и 3 о.е. соответственно, что не превышает их номинальные пусковые токи и не вызывает дополнительного перегрева обмоток двигателей в режиме самозапуска после восстановления питания на секции.

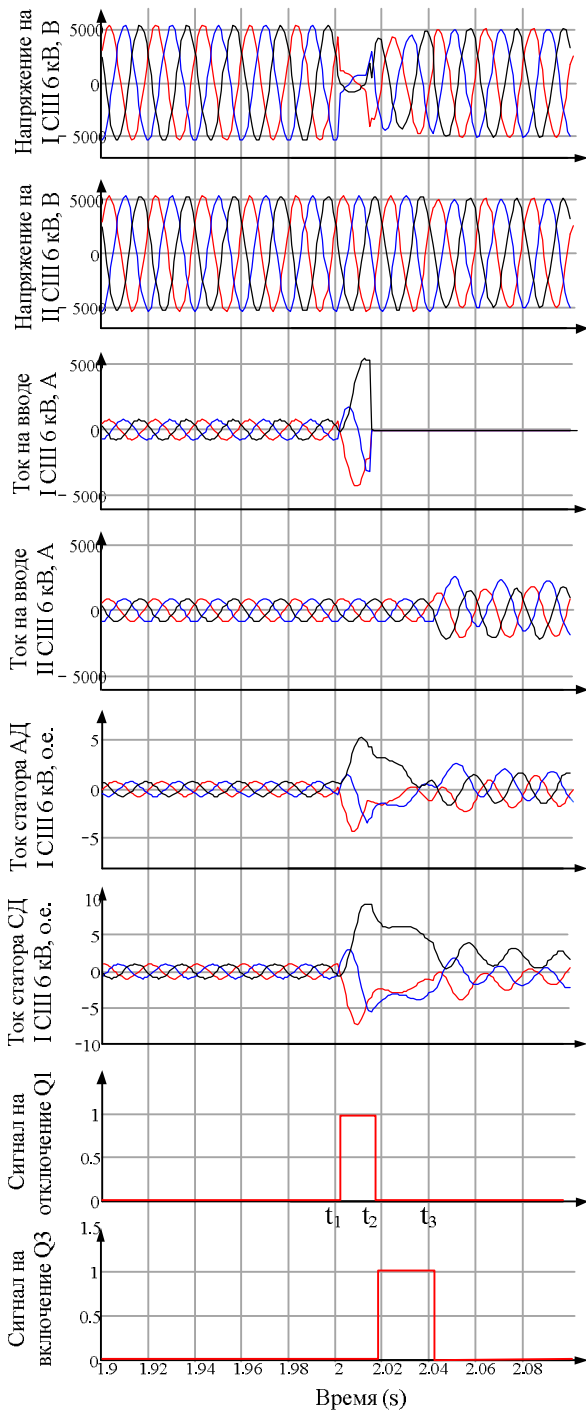


Рисунок 9 – Графики токов, напряжений и сигналов пусковых органов БАВР

ВЫВОДЫ. 1. Определение комплексных величин на основе центральных производных регистрируемых параметров в сочетании с предложенным способом усреднения параметров позволяет в переходных режимах ускорить затухание апериодических составляющих токов, ослабить влияние случайных помех и в результате повысить быстроту действия БАВР.

2. Результатами исследований на математических моделях и на действующих установках подтверждена эффективность предложенного подхода к построению пусковых органов БАВР.

ЛИТЕРАТУРА

1. Киреева Э., Пупин В., Гумиров Д. Современные устройства быстродействующего АВР // Главн-ный энергетик. – 2005. – Вып. 11. – С. 23–25.
2. Никулов И., Жуков В., Пупин В. Комплекс БАВР. Быстродействие повышает надёжность электроснабжения // Новости электротехники. – 2012. – Вып. 4. – С. 2–4.
3. Жуков В.А., Пупин В.М., Гамазин С.И. Быстродействующее устройство АВР с однократным принципом определения нарушения нормального электроснабжения потребителей // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. – 2011. – Вып. 9. – С. 11–18.
4. 30 ms High Speed Transfer System (HSTS): Product Description [Электронный ресурс] // ABB Power and productivity for a better world. – 2011. – 12 с. – Режим доступа: <http://www.abb.ua/>
5. SUE3000 High Speed Transfer Device: Product Description [Электронный ресурс] // ABB Power and productivity for a better world. – 2010. – 24 с. – Режим доступа: <http://www.abb.ua/>
6. Шнеерсон Э.М. Цифровая релейная защита. – М.: Энергоатомиздат, 2007. – 549 с.
7. Патент на изобретение 2326481(13) С1, Российская федерация, МПК H02J 9/06. Способ автоматического включения резервного электропитания потребителей и устройство для его осуществления / С.А. Цырук, С.И. Гамазин, В.М. Пупин и др.; заявитель и правообладатель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский энергетический институт (технический университет)» (ГОУВПО «МЭИ (ТУ)»). – № 2006139086/09; заявка 07.11.2006; опубл. 07.11.2006.
8. Патент на изобретение 2447565(13) С1, Российская федерация, МПК H02J 9/06. Способ автоматического включения резервного электропитания потребителей и устройство для его осуществления / С.И. Гамазин, В.А. Жуков, А.И. Куликов и др.; заявитель и правообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ» (ФГБОУ ВПО «НИУ МЭИ»). – № 2011105886/07; заявка 17.02.2011; опубл. 17.02.2011.
9. Сивокобыленко В.Ф., Деркачев С.В. Математическая модель многомашиной системы для анализа поведения электродвигателей в режимах БАВР // Наукові праці ДонНТУ, серія «Електротехніка та енергетика». – Вип. 1/2014 (16). – С. 171–178.

MEASUREMENT FEATURES OF DIGITAL DEVICE OF FAST-ACTING ATS FOR POWER SUPPLY SYSTEMS WITH MOTOR LOAD

V. Sivokobilenko

Donetsk National Technical University

pl. Shibankova, 2, Krasnoarmeisk, 85300, Ukraine. E-mail: svf1934@gmail.com

S. Derkachev

Donetsk National Technical University

ul. Artema, 58, Donetsk, 83001, Ukraine. E-mail: sergey_derkachev@mail.ru

For today most of the generated electricity is consumed by asynchronous and synchronous motors which are used in installations with a continuous technological process. For such consumers need is ensure a successful self-starting of motors after short time failure of electric supply caused by short circuits or loss of power for any reason. In this paper is considered the construction feature of digital measurement devices of current, voltage, power, which are members of automatic transfer switch device. For increasing rapidity and noise stability of digital measurement of current, voltage, power direction in Fast-acting ATS devices is improved algorithm of definition complex values, based on averaging a number of instantaneous values of odd number of samples, which also using for numerically define central of derivatives. In the paper is shown results of the implementation of the above approach, received on mathematical models and in the existing power supply systems with the motor load, which show that the proposed method of determining the complex values allows to accelerate the attenuation of aperiodical component in the transient processes and reduce the influence of random noise, which in turn improves the performance of the backup power supply device.

Key words: power supply system, fast-acting automatic transfer switch, digital measuring element, motor load.

REFERENCES

1. Kireeva, E., Pupin, V. and Gumirov, D. (2005), "Modern devices of fast-acting ATS", *Glavnyy energetik*, Vol. 11, pp. 23–25. (in Russian)
2. Nikulov, I., Zhukov, V. and Pupin, V. (2012), "Fast-acting ATS: rapidity is increasing reliability of power supply", *Novosti elektrotehniki*, Vol. 4, pp. 2–4. (in Russian)
3. Zhukov, V.A., Pupin, V.M., Gamazin, S.I. et al. (2011), "Fast-acting ATS devices with a single principle determining disruption of the normal electricity supply to consumers", *Elektrooborudovaniye: Ekspluatatsiya i remont*, Vol. 9, pp. 11–18. (in Russian)
4. 30 ms High Speed Transfer System (HSTS): Product Description, *available at*: <http://www.abb.ua/> (accessed March 30, 2015).
5. SUE3000 High Speed Transfer Device: Product Description, *available at*: <http://www.abb.ua/> (accessed March 30, 2015).
6. Shneerson, E.M. (2007), *Tsifrovaya reley naya zashchita* [Digital relay protection], Energoatomizdat, Moscow. (in Russian)
7. Tsyirik, S.A., Gamazin, S.I., Pupin, V.M. et al. (2006), Patent na izobrenenie 2326481(13) C1, Rossiyskaya federatsiya, MPK H02J 9/06, Sposob avtomaticheskogo vklyucheniya rezervnogo elektropitaniya potrebiteley i ustroystvo dlya ego osuschestvleniya, *Zayavitel i pravoobladatel Gosudarstvennoe obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshogo professionalnogo obrazovaniya "Moskovskiy energeticheskiy institut (tehnikeskii universitet)" (GOUVPO "MEI(TU))"*, № 2006139086/09; zayavka 07.11.2006; opubl. 07.11.2006. (in Russian)
8. Gamazin, S.I., Zhukov, V.A., Kulikov, A.I. et al. (2011), Patent na izobrenenie 2447565(13) S1, Rossiyskaya federatsiya, MPK H02J 9/06, Sposob avtomaticheskogo vklyucheniya rezervnogo elektropitaniya potrebiteley i ustroystvo dlya ego osuschestvleniya, *Zayavitel i pravoobladatel Federalnoe gosudarstvennoe byudzhethnoe obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshogo professionalnogo obrazovaniya "Natsionalnyy issledovatel'skiy universitet "MEI" (FGBOU VPO "NIU MEI)"*, № 2011105886/07; zayavka 17.02.2011; opubl. 17.02.2011. (in Russian)
9. Sivokobilenko, V.F. and Derkachev, S.V. (2014), "Mathematical model of multimachine system to analyze the behavior of electric motors in fast-acting automatic transfer switch mode" *Naukovy pratsi DonNTU, Seriya Elektrotehnika i energetika*, vol. 1, no. 16, pp. 171–178. (in Russian)

Стаття надійшла 11.06.2015