

## **FEATURES ASYMMETRICAL OPERATING MODES OF CONVERTERS OF FREQUENCY**

**O. Z. Alchinbayeva, N. Alymov**

International Kazakh-Turkish university of H.A. Yasavi, Turkistan  
Kazakh agrotechnical university of S. Seyfullin, Astana  
oishagul59@mail.ru

**Keywords:** asymmetrical office, transformers of frequency, terms of work of transformers hours, peak, phase and in a due form asymmetry.

**Summary.** It is investigational asymmetrical modes of operations of thruster transformers of frequency. Three types of symmetry, characteristic for the different terms of work transformers are distinguished. An offer classification of the modes of operations of thruster transformers provides possibility of realization of analysis of influence of different factors of unsymmetrical on work and inverter options.

УДК 62-83-52

## **ОСОБЕННОСТИ НЕСИММЕТРИЧНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ЧАСТОТЫ**

**О.З. Альчинбаева, Н. Алымов**

Международный Казахско-турецкий университет им. Х.А. Ясави, г. Туркестан  
Казахский агротехнический университет им. С.Сейфуллина, г.Астана

**Ключевые слова:** несимметричные режимы работы, преобразователей частоты, условия работы преобразователей, виды несимметрии: амплитудная, фазовая и по форме.

**Аннотация.** Исследовано несимметричных режимов работы тиристорных преобразователей частоты. Выделено три вида симметрии, характерных для разных условий работы преобразователей.

Предложенная классификация режимов работы тиристорных преобразователей обеспечивает возможность проведения анализа влияния различных факторов несимметрии на работу и преобразовательных установок.

**Введение.** Исследованию несимметричных режимов работы ведомых сетью переменного тока статических вентильных преобразователей параметров электрической энергий (т.е. неуправляемых и управляемых выпрямителей, зависимых инверторов, непосредственных преобразователей частоты и тиристорных регуляторов переменного тока) посвящено значительное количество научных работ [1], в которых отмечается возможность существенных отклонений величин напряжений и токов на входах и выходах, преобразователей и у различных элементов их силовых цепей от теоретических значений, которые соответствуют симметричным режимам, рассматриваемым в классической теории преобразователей. В частности, установлено, что

различные типы несимметрии вызывают изменения гармонического состава выпрямленных величин напряжения и тока, переменного тока, потребляемого преобразователями из сети, вызывают неравномерность токовой нагрузки полупроводниковых вентилях, обмоток преобразовательного трансформатора и фаз питающей сети, оказывают влияние на форму регулировочных характеристик, диапазон изменения угла регулирования и на энергетические показатели преобразователей. Кроме того, установлено, что некоторые типы преобразователей обладают повышенной чувствительностью к определенным видам несимметрии, которые могут вызвать нарушение работоспособности преобразовательных установок [2]. Все это свидетельствует о важности исследования несимметричных режимов и необходимости учёта факторов, характеризующих виды и степень несимметричности режимов.

Особо следует отметить несимметричные режимы работы вентильных преобразователей, которые вызваны заложенной в конструкции силовых цепей преобразователей не идентичностью значений параметров фаз сети или величин фазных-напряжений либо являются следствием используемого способа управления, предусматривающего работ преобразователя с неодинаковыми значениями углов регулирования в разных фазах преобразователя. Такие режимы, как следует из этого определения, создаются преднамеренно для получения определённого положительного эффекта и поэтому являются штатными. В большинстве случаев такие режимы используются для повышения энергетических показателей и улучшения некоторых других характеристик преобразователей [3]. К этой группе преобразовательных устройств, относятся:

преобразователи, в составе которых для повышения коэффициента мощности используются неоднородные вентильные группы и несимметрия конструкции - несимметричные анодные напряжения [4];

преобразователи, в которых, с целью упрощения, удешевления и улучшения энергетических показателей, используются полуправляемые или неполнофазные вентильные схемы [2];

преобразователи с несимметричным и пофазным управлением вентилями, обеспечивающие повышенное значение коэффициента мощности при глубоком регулировании выпрямленного напряжения [3].

В этих специальных типах преобразователей определённые виды несимметрии являются обязательными условиями их нормального функционирования. Во всех остальных случаях любые признаки несимметрии являются свидетельством отклонения от нормального режима работы, которое вызывает отмеченные выше нежелательные изменения параметров, и характеристик преобразователей. Поскольку количественные показатели этих изменений зависят от типа и степени несимметрии, необходима определенная система учета параметров, характеризующих несимметрию.

В качестве основных факторов несимметрии режимов преобразователей обычно рассматриваются: несимметрия напряжений фаз питающей сети, несимметрия управления и несимметрия параметров элементов схемы. Иногда в несимметрии питающего напряжения выделяют асимметрию "фазовую", "амплитудную" и по искажению формы [1]. Соответственно за меру амплитудной несимметрии принимаются отклонения величины напряжений фаз от их номинального (среднего) значения, а за меру фазовой несимметрии - отклонение фазового сдвига между напряжениями сета от теоретического значения (120 эл. градусов).

В других работах [3] за меру несимметрии напряжения сети принимается относительное значение амплитуды напряжения обратной последовательности. Вместе с другими дополнительными условиями (постоянство величин одного из линейных напряжений и среднего выпрямленного напряжения) это позволяет при симметричном управлении однозначно охарактеризовать рассматриваемые частные случаи несимметрии сети.

Обычно под несимметрией управления понимается неравенство углов управления отдельных фаз многофазного преобразователя при одинаковом сигнале управления [1], которое, как показано

во многих работах [1-4], оказывает неблагоприятное влияние на факторы, определяющие условия работы элементов схемы и характеристики преобразователя. Отмечается также повышенная чувствительность к несимметрии управления некоторых типов схем преобразователей [4], для которых в качестве допустимого значения несимметрии указывается величина  $\approx 1\%$  эл. град.

Отдельную группу несимметричных режимов преобразователей составляют режимы, связанные с нарушениями нормального функционирования силовых схем преобразователей, питающей сети или систем управления вентилями. Сюда входят неполнофазные режимы работы, связанные с обрывом фазы сети или с частичными отказами в преобразователе, внутренние или внешние (на стороне переменного тока) короткие замыкания, потеря управляемости вентиля и другие подобные случаи, которые обычно относятся к аварийным режимам преобразователей [2]. Их анализ представляет интерес, главным образом, для создания надежных и эффективных систем защиты преобразовательных установок. В литературе наиболее полно рассмотрены три вида таких режимов [3]:

- 1) короткие замыкания на стороне переменного или постоянного тока;
- 2) обрыв одной из фаз питания;
- 3) пропуски включения одного или нескольких вентиля, возникающие в результате повреждения вентиля (их силовых цепей, цепей управления) или из-за нарушения в работе системы управления.

В выпрямителях первый вид аномальных режимов работы сопровождается возникновением сверхтоков и перенапряжения во всех силовых элементах, поэтому он является наиболее тяжелым аварийным режимом.

Вторые два вида аномальных режимов выпрямителя вызывают резкие ухудшения формы кривой выпрямленного напряжения, перегрузку по току отдельных элементов схемы преобразователя (в том числе вентиля), что может привести к их повреждению.

В инверторах все три вида аномальных режимов приводят к опрокидыванию инвертора, т.е. к тяжелому аварийному режиму.

Большой объем исследований работы тиристорных преобразователей в несимметричных режимах выполнен в работе [3]. Автором рассмотрено влияние несимметрии напряжений питающей сети на работу различных вариантов 6-пульсных схем преобразователей переменного тока в постоянный, таких как:

- а) нулевая схема преобразователя с соединением обмоток трансформатора по схеме "звезда - двойной зигзаг";
- б) преобразователь с соединением вентиля по "кольцевой" схеме при соединении обмоток трансформатора по схеме "звезда - две вторичные звезды";
- в) нулевая схема преобразователя с соединением обмоток трансформатора по схеме "звезда - две обратные звезды с уравнительным реактором";
- г) 3-фазная мостовая управляемая и полуправляемая схемы.

Для этих схем был проведен анализ влияния несимметрии на гармонический состав выпрямленного напряжения и сетевого тока и на токовую нагрузку вентиля и обмоток питающего преобразователя силового трансформатора. В качестве параметра, характеризующего степень несимметрии напряжений сети, автором выбран коэффициент несимметрии, равный отношению напряжения обратной последовательности к напряжению прямой последовательности. Величины питающих напряжений, соответствующих определенным значениям коэффициента несимметрии, автор определял при допущениях, что одно из линейных напряжений сети и величина среднего значения выпрямленного напряжения при данном угле регулирования остаются постоянными.

**Основная часть.** Рассмотрев работу различных типов систем импульсно-фазового управления тиристорами в условиях несимметрии сети, автор отметил их различную степень чувствительности к значению коэффициента несимметрии. В работе без строгого вывода приведены следующие

расчетные значения разброса углов регулирования ( $\Delta\alpha$ ) в зависимости от значений коэффициента несимметрии напряжений сети ( $K_\alpha$ ) (таблица 1):

Таблица 1 - Разброс углов регулирования ( $\Delta\alpha$ ) в зависимости от значений коэффициента несимметрии напряжений сети ( $K_\alpha$ )

$K_\alpha$	0,1	0,2	0,3
$\Delta\alpha$	$\pm 12^\circ$	$\pm 18^\circ$	$\pm 27^\circ$

Эти значения сильно завышены, если исходить из смещения моментов естественной коммутации диодов под влиянием несимметрии питающих напряжений. Если же исходить из повышенной чувствительности системы управления, то непонятно к какому конкретному типу такая система управления относится. Кроме того, сославшись на принципиальную возможность такого построения схемы системы импульсно-фазового управления тиристорами, которое обеспечит её полную нечувствительность к несимметрии питающей сети, автор принял в качестве исходного допущения к анализу симметрию управления для всех типов исследуемых схемы режимов работы преобразователей. Поэтому во всех последующих исследованиях несимметричных режимов несимметрия управления не учитывалась.

При принятых допущениях неравномерность токовой нагрузки тиристорov в 6-пульсных схемах преобразователей при значениях коэффициента несимметрии питающих напряжений 0,1, 0,2 и 0,3, по данным автора, может достигать  $\pm 2\%$ ,  $\pm 8\%$  и  $\pm 18\%$  соответственно. Было также отмечено появление в составе выпрямленного напряжения и сетевого тока преобразователя гармонических составляющих, порядок которых не характерен для симметричных режимов шестипульсных преобразователей. При определённых условиях относительное значение третьей гармоники сетевого тока в одной из фаз может достигать величины коэффициента несимметрии. Отмечена необходимость использования управления тиристорами широких отпирающих импульсов.

Различные виды несимметричных режимов разных типов тиристорных преобразователей, используемых в бытовых и производственных установках, рассмотрены в одной из последних работ [3], посвященных этой теме. Приведена классификация в которой выделены четыре основных вида несимметричных несимметрии по углам управления, несимметрия питающего напряжения, несимметрия параметров силовой схемы преобразователей, частичные отказы элементов схемы. Каждый из этих видов несимметрии, в свою очередь, подразделяется на более узкие частные случаи несимметрии. Так например, к числу видов несимметрии, связанных с несимметрией питающего напряжения, отнесены: асимметрия по амплитуде, асимметрия по фазе, асимметрия сопротивления фаз, искажение формы, короткое замыкание в системе, передачи электроэнергии. В работе рассмотрены несимметричные схемы и режимы трансформаторно-тиристорного оборудования, в которых несимметрия выступает дестабилизирующим фактором, так и характерной особенностью конструкции устройства или его эксплуатационного режима. Рассмотрены несимметричные режимы тиристорных выпрямителей однофазного и 3-фазного переменного напряжения для разных вариантов - схем преобразователей, включая 6-пульсные преобразователи выполненные по нулевым, кольцевым и мостовым схемам.

Рассматривая несимметрию углов регулирования тиристорov, автор выделяет три группы систем управления, для которых приводит следующие значения симметрии:

а) в многоканальных системах управления, реагирующих на среднее значение сигнала управления несимметрия углов достигает 10...12 эл. град.;

б) в многоканальных системах управления "вертикального" принципа действия несимметрия углов, вызванная разбросом параметров элементов схемы и влиянием несимметрии напряжений сети, может составить 8 ...10 эл. град.;

в) в одноканальных системах управления "вертикального принципа" действия несимметрия управления, обусловленная только несимметрией напряжений сети, составляет 4...5 эл. град.;

При анализе, влияния несимметричных режимов на трансформаторно-тиристорное оборудование автором принимались наибольшими значениями несимметрии углов регулирования  $\pm 3^\circ$  и  $\pm 7^\circ$  и несимметрии по величине питающих напряжений  $\pm 10\%$  и  $\pm 30\%$ . Большое внимание уделено влиянию несимметрии на магнитное состояние сердечника преобразовательного трансформатора и на его токо- и потоко распределение.

Исследование несимметричных режимов работы непосредственных преобразователей частоты в системах электропривода переменного тока, изложенное в работе [2], выполнено для случаев ограниченных по величине несимметрии напряжения питающей сети и несимметрии управления и направлено, главным образом, на анализ влияния несимметрии на гармонический состав выходного напряжения и тока преобразователя и на обоснование и разработку системы управления преобразователем частоты нечувствительной к несимметрии питающей сети. В работе несимметрия напряжений сети без должного обоснования рассматривается как амплитудно-фазовые искажения и собственно подразделяется на амплитудную и фазовую, причем учитывается, главным образом, только амплитудная асимметрия. Оставлены без внимания такие вопросы как понятие симметрии и несимметрии управления в условиях несимметрии сети и определение коэффициента мощности в несимметричной 3-фазной системе напряжений и токов. В работе практически отсутствует количественная оценка влияния показателей несимметрии на основные характеристики и показатели работы преобразователей.

В работе [4] приводятся результаты исследований, направленных на минимизацию гармоник в цепи постоянного тока 6-фазных и многофазных тиристорных преобразователей при несимметрии питающих напряжений путём создания необходимой несимметрии углов регулирования тиристорных. Показано, что используя численные методы решения систем нелинейных уравнений на ЭВМ, можно определить такие сочетания значений углов регулирования, которые обеспечат, подавление в кривой выпрямленного напряжения некоторых неканонических гармоник низких порядков, появление которых обусловлено несимметрией напряжений питающей сети. Показано также, что одновременно с этим можно исключить влияние несимметрии сети на среднее значение выпрямленного напряжения.

Достоинствами работы являются: строгий математический подход к решению поставленной задачи с использованием разложения несимметричной 3-фазной системы напряжений на симметричные составляющие и экспериментальная проверка полученных результатов.

К числу недостатков работы следует отнести её теоретический характер, поскольку практическое использование её результатов в условиях изменяющейся несимметрии сети и управления, необходимости точного изменения параметров несимметрии и углов регулирования, а также численного решения сложной системы нелинейных уравнений не представляется возможным. Кроме того, улучшение гармонического состава кривой выпрямленного напряжения предлагаемым методом вызывает неоднозначное изменение гармоник сетевого тока и может заметно ухудшить энергетические показатели преобразователя.

Таким образом, проведенный обзор литературных источников позволяет сделать вывод о недостаточной степени изученности работы преобразователей в несимметричных режимах, которые связаны с ограниченной степенью несимметрий напряжений питающей сети и управления вентилями и поэтому могут существовать длительное время, оказывая заметное влияние практически на все характеристики преобразовательных установок и на условия работы элементов схемы.

Приведенный выше обзор научно-технической литературы по теории и практическому использованию тиристорных электроприводов дает основание для следующих выводов.

Широкое и повсеместное использование регулируемых электроприводов постоянного и переменного тока, содержащих в своем составе выпрямители или ведомые сетью инверторы, ярко высветило проблему электромагнитной совместимости таких преобразователей с питающей, сетью. Разным аспектам этой проблемы за последние десятилетия было посвящено большое число научных работ. Однако, несмотря на то, что работа управляемых и неуправляемых, выпрямителей и ведомых сетью инверторов в условиях ограниченной несимметрии питающих напряжений и

управления также является составной частью этой проблемы, она к настоящему времени исследована недостаточно глубоко и полно.

Классическая теория выпрямителей и ведомых сетью инверторов исходит из того, что в установившихся режимах работы все электромагнитные процессы протекают в каждой из фаз преобразователя совершенно одинаково отличаясь только соответствующим порядковому номеру фазы сдвигом во времени. Это обеспечивается полной идентичностью параметров всех элементов электрических цепей всех фаз преобразователя и полной симметрией управления и напряжений фаз питающей сети. Именно такие режимы работы преобразователей принято считать нормальными и поэтому на основу анализа таких режимов определяются все основные параметры и характеристики преобразователей.

Учитывая, что реальным условиям работы преобразователей всегда соответствует некоторая несимметрия напряжений сети и управления что ограниченное значение несимметрии сети регламентируется государственным стандартом на качество электрической энергии (в виде нормально допускаемых значений коэффициента несимметрии напряжений по обратной последовательности и коэффициента напряжений по нулевой последовательности на уровне 2% и предельно допускаемых значений этих коэффициентов на уровне 4%) [3], работу преобразователей при такой несимметрии сети следует считать их основным рабочим режимом, и, исходя из этих условий осуществлять выбор параметров элементов схемы преобразователей и определять все основные рабочие характеристики.

Кроме того, следует учитывать возможность возникновения нештатных ситуаций, при которых отмеченные требования стандартов к симметрии напряжений сети могут на протяжении достаточно длительного отрезка времени не выполняются вследствие особых обстоятельств, сложившихся в системе электроснабжения, например, в результате аварий или стихийных бедствий, при которых, сохранение работоспособности электроприводов и преобразовательных установок может оказаться необходимым или крайне желательным.

Поэтому необходимо уточнить все основные математические выражения, определяющие характеристики преобразователей и требуемые параметры элементов схемы, введя в них дополнительные параметры, которые могут количественно характеризовать степень несимметрии напряжений сети.

Аналогичным образом следует учитывать влияние на характеристики и условия работы элементов схемы преобразователя реально существующей несимметрии управления вентилями, которая проявляется в виде разброса значений углов регулирования вентилей и может зависеть от наличия и степени несимметрии напряжений питающей сети. Степень несимметрии управления также должна количественно характеризоваться значениями дополнительных параметров.

Следует особо отметить следующие обстоятельства, не нашедшие должного освещения в научно-технической литературе. Поскольку несимметрия питающей сети и несимметрия управления вентилями могут наблюдаться одновременно (что обычно и имеет место), возникают трудности с количественной оценкой величины несимметрии управления и степени влияния на работу преобразователя каждого из этих двух факторов несимметрии. Это связано, во-первых, с отсутствием четкого определения симметрии управления в условиях несимметрии напряжения сети, когда равенство углов регулирования вентилей и равенство интервалов времени между моментами включения вентилей не могут выполняться одновременно. Соответственно отсутствует и четкий критерий для определения величины несимметрии управления в таких случаях. Во-вторых, поскольку несимметрия питающей сети может по разному (в зависимости от способа синхронизации системы управления с сетью) влиять на значения моментов времени генерации отпирающих импульсов в системе управления вентилями (т.е. на углы регулирования разных фаз), оценка степени влияния несимметрии напряжений сети на работу преобразователей также становится неоднозначной. И, в-третьих, отсутствует четкий и строгий ответ на вопрос о том, какую величину, угла регулирования в этих условиях следует принять в качестве обобщенного ("усредненного" или "эквивалентного") параметра для характеристики режима работы преобразователя. Выбор в качестве такой величины средне арифметического значения углов

регулирования всех фаз, как это делается в большинстве работ, не является в должной мере аргументированным и обоснованным, поскольку при этом не обеспечивается однозначности даже регулировочных характеристик преобразователей.

Как установлено в ряде работ [1-4], при разных видах несимметрии управления и питающей сети тиристорный преобразователь потребляет из 3-фазной сети несимметричные токи, причем степень несимметрии токов зависит как от степени несимметрии сети, так и от степени несимметрии управления. Это может служить свидетельством того, что тиристорный преобразователь подобно вращающимся машинам переменного тока характеризуется со стороны сети различными значениями сопротивления для напряжений (или для токов) прямой и обратной последовательности. К такому выводу можно придти также путем чисто логических умозаключений. Поскольку при соизмеримой мощности преобразователя и питающей сети несимметрия потребляемых преобразователем токов будет оказывать влияние на степень несимметрии напряжений сети, которая окажет обратное влияние - на степень несимметрии токов, для решения задачи о взаимовлиянии питающей сети и преобразователя в условиях несимметрии необходимо знание соотношения сопротивлений преобразователя для токов прямой и обратной последовательности и их зависимости от параметров несимметричности режима.

Существенный недостаток подавляющего большинства работ, посвященных несимметричным режимам тиристорных преобразователей, состоит в том, что в них последовательно проводится анализ таких режимов в разных типах схем преобразователей и не ставится задача получения обобщенного результата в виде математических соотношений, применимым к разным схемам преобразователей.

**Заключение.** Целью настоящей работы является исследование электромагнитных процессов и статических характеристик преобразователей в несимметричных режимах, связанных с ограниченными по величине несимметрией напряжений питающей сети и несимметрией управления вентилями, и получение на основе такого исследования практических рекомендаций по оценке допустимости различных режимов и различных показателей несимметрии и по оптимальному построению систем управления преобразователями.

Результатом исследования должны стать математические уравнения технических показателей и характеристик преобразователей, которые позволяют оценить количественно влияние факторов несимметрии в рассматриваемых танцах режимов работы, которые могут использоваться для различных типов несимметрии и которые позволят получить путем их анализа желаемые практические рекомендации.

Важной задачей на пути к поставленной цели является разработка методики анализа несимметричных режимов, которая должна включать всебя классификацию рассматриваемых типов режимов работы преобразователей, выбор и обоснование обобщенных параметров, количественно характеризующих степень несимметрии режимов преобразователей, расчет значений этих параметров, общие принципы проведения анализа показателей и характеристик преобразователей для основных типов несимметричных режимов пути и методы использования, результатов этого анализа для других типов несимметричных режимов и для других вариантов схем тиристорных преобразователей.

Таким образом, достижение поставленной цели связано с решением следующих задач:

- а) разработка методов анализа несимметричных режимов работы преобразователей и методов оценки обобщенных параметров, характеризующих эти несимметричные режимы;
- б) уточнение статических и энергетических характеристик преобразователей при разных типах несимметрии;
- в) уточнение расчетных соотношений для выбора параметров элементов схемы;
- г) уточнение требований к качеству напряжений сети и к системам управления;
- д) разработка рекомендаций, но построению системы управления преобразователями.

При проведении анализа рассматриваемых режимов работы преобразователя используются обычно применяемые допущения в отношении "идеальности" вентиля, синусоидальности напряжений питающей сети и идентичности параметров электрической цепи всех фаз преобразователя. При этом исключаются используемые в классической теории преобразователей

допущения о симметрии управления вентилями и напряжений фаз сети. Другие специальные виды допущений, касающиеся условий работы преобразователей или параметров силовой схемы (как, например, степень сглаживания выпрямленного тока) будут оговариваться по мере их использования.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Hisanori Taguchi A., et al., “APS Control Method for Gas Turbine Startup by SFC”, International Power Electronics Conference, pp.264+ 269 IEEE, 2010.
- [2] Shin+Hyun Park, Seon+Hwan Hwang, Jang+Mok Kim, Ho+SeonRyu, Joo+Hyun Lee, “A Starting+up control algorithm of large synchronous generation motor for Gas Turbosets”, IEEE International Symposium on Industrial Electronics ISIE, pp.502+508, 2008.
- [3] Zhang Yu+Zhi, “Study of Process of Starting Pumped Storage Machines by Static Frequency Converter with Field Current Controlled”, International Conference on Signal Processing Systems, pp. V1+224 – V1+227, IEEE 2010.
- [4] Robert B., Fisher, P.E., “Introduction of Static Frequency Converters on SEPTA’s 25Hz Commuter Rail System”, pp.149+155, IEEE.

#### REFERENCES

- [1] Hisanori Taguchi A., et al., “APS Control Method for Gas Turbine Startup by SFC”, International Power Electronics Conference, pp.264+ 269 IEEE, 2010.
- [2] Shin+Hyun Park, Seon+Hwan Hwang, Jang+Mok Kim, Ho+SeonRyu, Joo+Hyun Lee, “A Starting+up control algorithm of large synchronous generation motor for Gas Turbosets”, IEEE International Symposium on Industrial Electronics ISIE, pp.502+508, 2008.
- [3] Zhang Yu+Zhi, “Study of Process of Starting Pumped Storage Machines by Static Frequency Converter with Field Current Controlled”, International Conference on Signal Processing Systems, pp. V1+224 – V1+227, IEEE 2010.
- [4] Robert B., Fisher, P.E., “Introduction of Static Frequency Converters on SEPTA’s 25Hz Commuter Rail System”, pp.149+155, IEEE.

ӘОЖ 62-83-52

### ЖИЛІКТІ ТҮРЛЕНДІРГІШІНІҢ СИММЕТРИЯ ЕМЕС РЕЖИМДЕ ЖҰМЫС ІСТЕУДІҢ ЕРЕКШЕЛІКТЕРІ

**О.З. Альчинбаева, Н. Алымов**

Қ.А.Ясауи атындағы халықаралық қазақ-түрік университеті, Түркістан қ.  
С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті, Астана қ.

**Түйін сөздер:** жұмыстың істеудің симметрия емес режимі, жиілік түрлендіргіші, түрлендіргіштің жұмыс істеу шарттары, симметрия еместіктің амплитудасы, фазасы және формасы бойынша.

**Аңдатпа.** Тиристорлы жиілік түрлендіргішінің симметрия емес режимде жұмыс істеуін зерттеген. Түрлендіргіштің жұмыс істеу жағдайының сипаттамасына қарай симметрияның үш түрін бөлектеп қарастырылған.

Ұсынылып отырған тиристорлы жиілік түрлендіргішінің симметрия емес режимде жұмыс істеуі жұмысқа симметрия еместіктің әртүрлі факторлардың жұмысқа және түрлендіргіш қондырғыға әсерін зерттеп талдауға мүмкіндік береді.

*Поступила 13.04.2016 г.*