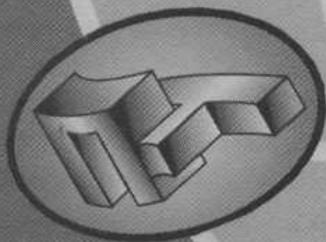


N  
ap

№ 4 (92)  
август 2011 г.

SAE  
SAE  
INTERNATIONAL®



МЕЖДУНАРОДНАЯ  
ПРИВОДНАЯ ТЕХНИКА.



ПРИВОДНАЯ



ТЕХНИКА

ТЕХНИКО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ ИНФОРМАЦИОННЫЙ ЖУРНАЛ

# СОДЕРЖАНИЕ № 4



ЖУРНАЛ «ПРИВОДНАЯ ТЕХНИКА» ВКЛЮЧЕН В ПЕРЕЧЕНЬ  
ВАЖНЕЙШИХ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИХ ИЗДАНИЙ РОССИИ

## ИССЛЕДОВАНИЯ И НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ РАЗРАБОТКИ В ЭЛЕКТРОТЕХНИКЕ

**О.В.Крюков**

Опыт применения систем безопасного пуска  
электродвигателей большой мощности.....2

**Е.Ю. Анишев, С.М. Дмитриев**

Крутильные деформации валопроводов главных  
циркуляционных насосов АЭС с частотнорегулируемым  
электроприводом.....14

**А.Е.Сакбаев**

Расчет механических характеристик электропривода  
механизма подъема мостового крана по системе  
ПЧ-АД при скалярном управлении.....22

**А.В.Титаренко**

Анализ перенапряжений нулевой последовательности  
при работе тиристорных пусковых устройств по схеме  
ведомого инвертора.....26

## ИССЛЕДОВАНИЯ И НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ РАЗРАБОТКИ В МАШИНОСТРОЕНИИ

**И.О.Аверьянова, А.В.Виноградов, Р.К.Продан**

Разработка управляющих программ для системы  
управления класса CNC с применением DXF-файлов.....29

**В.В.Зинёва**

Обоснование выбора оборудования при  
диверсификации производства.....32

## ОБЗОРНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

**В.В.Буренин**

Новые конструкции теплообменных аппаратов для  
объемного гидропривода машин и механизмов.....35

**В.В.Буренин**

Новые конструкции грязесъемников и защитных  
кожухов для штоков силовых гидроцилиндров.....41

**М.А.Босинзон**

Создание металлорежущих станков и обрабатывающих  
центров с мехатронными обрабатывающими головками....46

**Устройство** цифровой индикации ПроЭмулятор.....40, 45

**М.Злоткий**

Использование измерительных систем RENISHAW  
на станках с ЧПУ.....57

## ПУБЛИКАЦИИ

О публикациях в журнале «Приводная техника».....34

**Б.С.Лезнов**

Методика оценки эффективности применения  
регулируемого электропривода в водопроводных  
и канализационных насосных установках.....60

**Аннотация** и ключевые слова статей, опубликованных  
в журнале «Приводная техника» № 4, 2011.....61



Главный редактор -  
**Георгий Борисович  
Онищенко**

Заместитель главного редактора -  
**Марк Аркадьевич  
Босинзон**

Журнал «Приводная техника»  
является партнером  
Ассоциации инженеров по  
Электроприводу (АИЭ)

Журнал зарегистрирован в  
Комитете Российской Федерации  
по печати.

Свидетельство  
о регистрации № 015004  
от 5 марта 1998 г.  
**Заказ 253**

Включен в Реферативный  
журнал и базы данных ВИНТИ

Редакция:  
107996, Москва,  
ул. Павла Корчагина, д. 22, ком. 308.  
Тел.: (495) 682-8418  
E-mail: eapu@mail.ru

© Издатель 000 НПФ «ОБРИС»,  
107996 Москва,  
ул. Павла Корчагина, 22, к.308;  
Тел.: (495) 682-8418  
E-mail: eapu@mail.ru

**ISSN 2077-6411**

© «Приводная техника» 2011 г.



## АНАЛИЗ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ НУЛЕВОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ПРИ РАБОТЕ ТИРИСТОРНЫХ ПУСКОВЫХ УСТРОЙСТВ ПО СХЕМЕ ВЕДОМОГО ИНВЕРТОРА

А.В.Титаренко (ЗАО СП «АО Ансальдо-ВЭИ», Москва)

Работа тиристорных пусковых устройств (ТПУ) по схеме ведомого инвертора (ВИ) связана с возникновением перенапряжений на изолированных нейтралях питающего трансформатора и нагрузки относительно потенциала земли [1]. Возникновение подобных перенапряжений обусловлено разностью мгновенных значений напряжений на стороне постоянного тока между выпрямителем и инвертором. Разность этих напряжений проявляет себя как эквивалентный источник ЭДС нулевой последовательности, включенный между трансформатором и нагрузкой.

Под действием этого источника с несинусоидальной формой и частотой 150 Гц в цепи, содержащей индуктивности преобразовательной схемы и паразитные емкости, в моменты коммутации тока возникают процессы, сопровождающиеся скачками фазного напряжения относительно нулевого потенциала земли. Свободная составляющая напряжения, характеризующаяся слабозатухающим колебательным процессом частотой порядка нескольких кГц, накладывается на вынужденную составляющую напряжения нулевой последовательности и может существенно увеличить уровень напряжения силовых цепей относительно потенциала земли. Эти перенапряжения, без учета их влияния на выбор класса изоляции статора и подводящих кабелей, вызывают повышенные токи утечки и ведут к появлению озонирования, ухудшающего изоляцию. Повышенные токи утечки с высокочастотным спектром оказывают влияние на работу устройств защиты, приводя к увеличению помех в системе управления тиристорных преобразователей. В итоге снижается надежность работы всего ТПУ [2].

На практике ёмкость нейтрали двигателя на землю обычно больше ёмкости нейтрали питающего трансформатора. Данное соотношение ёмкостей приводит к тому, что большая часть напряжения нулевой последовательности прикладывается между нейтралью трансформатора и землей, не утяжеляя воздействие на изоляцию синхронной машины. Однако наличие больших собственных емкостей подводящих кабелей в питающей сети может исказить подобный характер деления напряжения.

Для оценки ожидаемых перенапряжений можно воспользоваться электрической схемой ТПУ, представленной на рис.1, с учетом паразитных емкостей. Здесь: Снтз, Сфвз, Спз, Сфиз, Снмз – соответственно ёмкости относительно потенциала земли нейтрали трансформатора, фазы выпрямителя, полюса преобразователя, фазы инвертора и нейтрали машины, Е1 – источник напряжения питания, L1 – трехфазный токоограничивающий реактор выпрямителя, L2 – двухсекционный сглаживающий реактор, L3 – трехфазный токоограничивающий реактор инвертора, SM1 – синхронная машина.

В [3] рассмотрен вопрос формирования напряжения нулевой последовательности при вращении машины с синхронной скоростью, когда выходная частота инвертора совпадает с промышленной частотой питания выпрямителя. Однако при этом рассмотрении упускается из анализа характер изменения напряжения нулевой последовательности во всем диапазоне изменения выходной частоты от 5 до 50 Гц при плавном пуске, что является существенным при построении системы защит от замыкания на землю. Для исследования этого вопроса в программном пакете PSIM 9 предложена



математическая модель привода синхронного двигателя на базе ВИ.

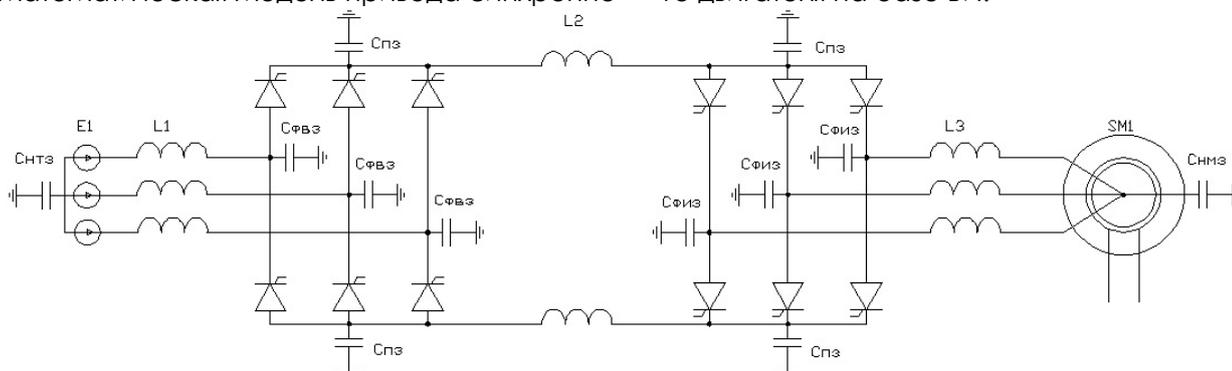


Рис.1. Схема тиристорного пускового устройства.

Модель включает в себя: ВИ с явно выраженным звеном постоянного тока на базе шестипульсовой мостовой схемы Ларионова, синхронный двигатель SM1 (для исследования использованы параметры машины типа СДС3-14-59-6), типовой системы автоматического регулирования (САР) и формирования импульсов управления тиристорами. Обмотка возбуждения машины получает питание от управляемого источника тока.

Процесс частотного пуска осуществляется в режиме стабилизации пускового тока в звене постоянного тока при изменении действующего значения напряжения ЭДС двигателя. Данный режим реализовался за счет поддержания фиксированного значения угла опережения и плавного изменения от максимального значения к минимальному угла управления тиристорами. Соотношение

между величиной ЭДС двигателя и выходной частотой определялось как  $U/f \approx const$ .

САР построена по принципу подчиненного регулирования и включает в себя три ПИ-регулятора. Задающим сигналом внешнего регулятора скорости является уставка в виде зависимости скорости вращения машины от времени. Выходной сигнал внутреннего регулятора тока статора определяет угол управления выпрямителем. Третьим регулятором является регулятор тока возбуждения синхронного двигателя.

## Результаты моделирования

На рис. 2 показана кривая изменения скорости и напряжения нулевой последовательности в течение всего пуска двигателя в режиме работы ТПУ начиная с 10% от номинальной скорости вращения.

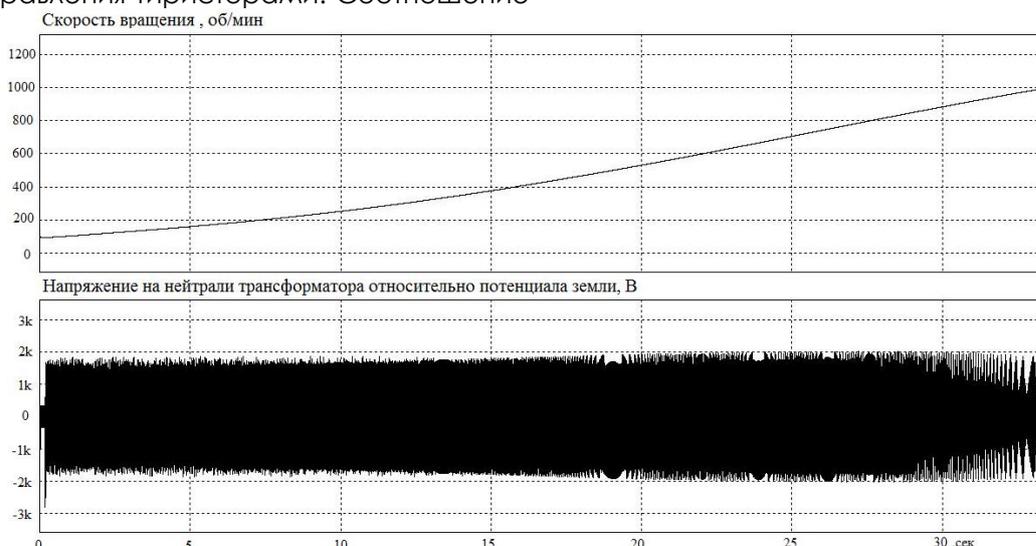


Рис.2. Временная диаграмма изменения скорости вращения машины и напряжения нулевой последовательности



Амплитуда вынужденной составляющей напряжения нулевой последовательности максимальна на начальном этапе пуска. При уменьшении угла управления уменьшается и амплитуда напряжения на нейтрали трансформатора относительно земли, достигая своего минимума при выходе напряжения инвертора на частоту 50 Гц в момент

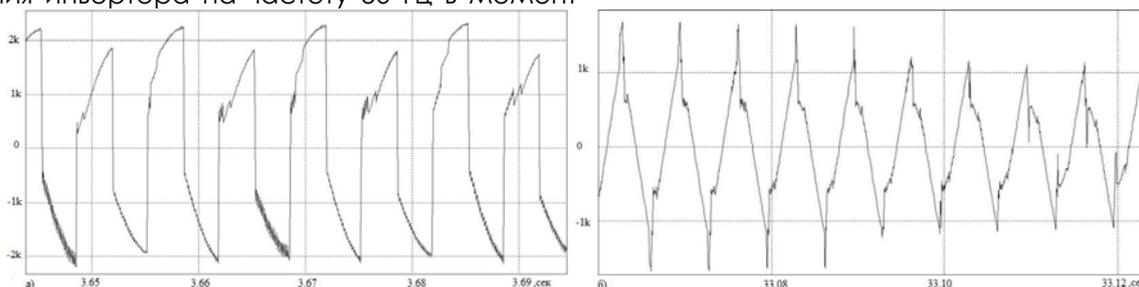


Рис.3. Напряжение нулевой последовательности при частотах напряжения инвертора 25 Гц (а) и 50 Гц (б).

Из-за неравенства меняющейся частоты напряжения инвертора фиксированной частоте питающего напряжения наблюдаются биения напряжения нулевой последовательности. Частота биений напряжения имеет переменный характер и меняется при пуске от 5 до 50 Гц. На вынужденную составляющую напряжения нулевой последовательности в течение всего пуска накладываются коммутационные провалы напряжения с частотой 300 Гц. Это отчетливо видно на подсинхронных частотах, когда амплитуда колебаний напряжения нулевой последовательности минимальна.

Колебательная составляющая напряжения нулевой последовательности для данной схемы имеет частоту 6.3 кГц и низкий декремент затухания, так как добротность паразитных LC-контуров, образованных индуктивностями преобразовательной схемы и емкостями силового оборудования относительно земли, весьма высока. Появление свободной составляющей обусловлено процессами ударного возбуждения этих контуров при коммутациях в тиристорных мостах выпрямителя и инвертора [3].

#### Выводы

В результате моделирования в программной среде PSIM 9 системы ТПУ с учетом паразитных емкостей силового оборудования показано:

1. Скачки напряжения нулевой последовательности на начальном этапе пуска

совпадения по фазе выходного напряжения инвертора с питающим напряжением.

Процесс пуска сопровождается не только изменением амплитуды скачков напряжения нулевой последовательности, но и качественным изменением формы напряжения (рис. 3).

имеют вид прямоугольной трапеции и по мере увеличения скорости двигателя на подсинхронных частотах принимают треугольную форму. Биения вынужденной составляющей напряжения нулевой последовательности обусловлены скольжением частоты инвертора относительно частоты выпрямителя. Частота биений меняется на протяжении пускового процесса в интервале от 5 до 50 Гц. При этом максимальное значение вынужденной составляющей напряжения нулевой последовательности может достигать амплитуды фазного напряжения.

2. Коммутационные процессы в мостах оказывают влияние, как на вынужденную составляющую напряжения нулевой последовательности, так и на свободную. Влияние на вынужденную составляющую проявляется в форме появления характерных провалов на кривой её напряжения. Влияние на свободную составляющую проявляется в форме ударного возбуждения паразитных LC-контуров.

#### Литература

1. Виницкий Ю.Д., Гельфанд Я.С., Сытин А.П., Тиристорные пусковые устройства в электроэнергетике. – Энергоатомиздат, 1992.
2. Забровский С.Г., Лазарев Г.Б. Перенапряжения относительно земли в системах с высоковольтными тиристорными преобразователями. – Электричество №11, 1976.
3. Тарасов А.Г. Анализ перенапряжений относительно земли в тиристорных пусковых устройствах. – Электричество №7, 1992.