

Список литературы

1. Буков В.Н. Вложение систем. Аналитический подход к анализу и синтезу матричных систем. – Калуга: Издательство Н.Ф. Бочкаревой, 2006. – 720 с.
2. Буков В.Н., Рябченко В.Н. Вложение систем. Синтез регуляторов // *АиТ*. – 2000. – № 7. – С. 3–14.
3. Аллаев К.Р., Мирзабаев А.М. Малые колебания электрических систем. – Т.: «Fan va texnologiya», 2011. – 316 с.
4. Мисриханов М.Ш. Инвариантное управление многомерными системами. – М.: Наука, 2007. – 284 с.
5. Икрамов Х.Д. Численное решение матричных уравнений. – М.: Наука, 1984. – 190 с.
6. Андреев Ю.Н. Управление конечномерными линейными объектами. – М.: Наука, 1976. – 423 с.
7. Дорф Р.К., Бишоп Р.Х. Современные системы управления // Пер.с англ. Б.И. Копылова. – М.: Лаборатория базовых знаний, 2004. – 832 с.

УДК 621.314

ИССЛЕДОВАНИЕ ДВУХЗВЕННЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ЧАСТОТЫ

О.Г. Брылина, М.В. Гельман

*Южно-Уральский государственный университет (НИУ), г. Челябинск
teolge@mail.ru, mwg30@mail.ru*

Аннотация

Статья посвящена исследованию двухзвенного преобразователя частоты (ДПЧ). Приведена его принципиальная схема и виртуальная модель. Показаны временные диаграммы работы ДПЧ с активным выпрямителем напряжения и с неуправляемым выпрямителем на входе. Проведен спектральный анализ осциллограмм напряжения сети.

Ключевые слова: двухзвенный преобразователь частоты, активный выпрямитель напряжения, виртуальная модель, временные диаграммы, спектральный анализ.

RESEARCH OF VARIABLE ADJUSTABLE FREQUENCY CONVERTERS

O.G. Brylina, M.V. Gelman

** South Ural State University (national research university), Chelyabinsk*

Abstract

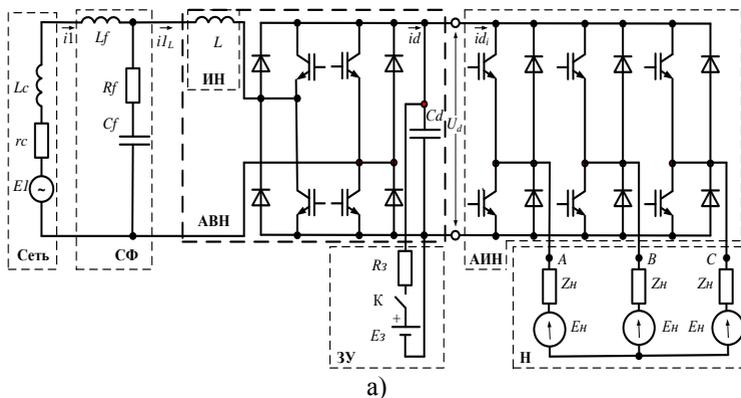
Variable adjustable frequency converters (FC) are considered in this article. The block diagram and virtual model of Variable adjustable frequency converter are given. Time characteristics of work of frequency converter with an active voltage rectifier and an uncontrolled rectifier at the input of FC are given. Spectral analysis of voltage oscilograms is made.

Keywords: variable adjustable frequency converter, active voltage rectifier, virtual model, timing diagrams, spectral analysis.

В настоящее время во многих вузах при изучении курса «Силовая электроника» широко применяются виртуальные лабораторные работы, обычно в сочетании с физическим моделированием [1-5].

На кафедре электропривода и автоматизации (ЮУрГУ (НИУ)) для обучающихся по магистерской программе в рамках учебного курса «Схемотехника преобразователей с высокими энергетическими показателями» поставлена новая работа по изучению двухзвенных преобразователей частоты (ДПЧ).

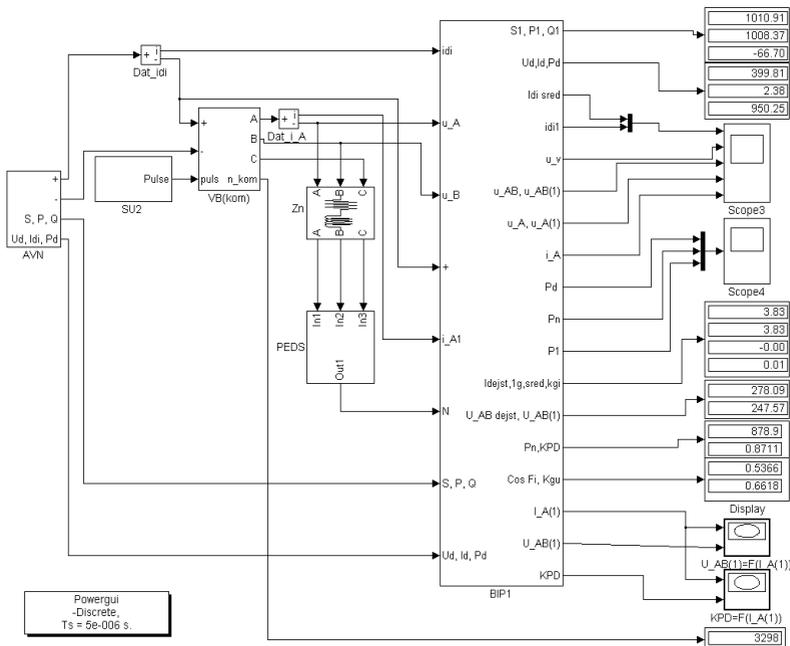
В работе изучаются нерекуперирующий ДПЧ с неуправляемым выпрямителем (НВ) на входе и рекуперирующий ДПЧ с активным выпрямителем напряжения (АВН) на входе [6-8].



Оба преобразователя выполнены по однофазно-трехфазной схеме и в ходе работы исследуется одна и та же виртуальная модель, но с небольшими изменениями в схеме и при различных параметрах ее элементов. Моделирование проводится с применением комплекса программ Matlab + Simulink.

Принципиальная схема силовых цепей ДПЧ с АВН на входе и виртуальная модель для исследования ДПЧ показаны на рис. 1. До-

полнительно на рис. 2 раскрыта структура АВН (AVN), приведенного на рис. 1б, в левой части схемы в виде субблока.



б)

Рис. 1. Принципиальная схема силовых цепей (а) и виртуальная модель двухзвенного преобразователя частоты (б)

На силовой части схемы (рис. 1 а) представлены:

- сеть (ЭДС $E1$ и внутреннее сопротивление rc, Lc),
- сетевой фильтр СФ (Lf, Cf, Rf) – обеспечивающий защиту сети от ШИМ сигнала;
- активный выпрямитель напряжения АВН (AVN), выпрямляющий сетевое напряжение с высоким коэффициентом мощности и стабилизирующий выпрямленное напряжение;
- автономный инвертор напряжения (АИН), преобразующий постоянное напряжение в трехфазное переменное регулируемой частоты и величины;
- активно-индуктивная нагрузка Н (Zn), содержащая противо-ЭДС ($Eн$);
- зарядное устройство ЗУ ($Rз, K, Eз$), служащее для предварительного заряда конденсатора Cd блока АВН. Конденсатор Cd служит

для сглаживания напряжения на выходе выпрямителя.

В состав АВН входят индуктивный накопитель ИН (L) и вентиляльный блок.

В модели на рис. 1 б и рис. 2, кроме ранее упомянутых, введены следующие блоки:

- вентиляльный блок ($VB(kom)$) – содержит вентиляльный блок (VB) в комплекте с блоком коммутационных потерь ($ВКР$), позволяющим учесть коммутационные потери в транзисторах.

На рис. 1 б функции АИН выполняет вентиляльный блок ($VB(kom)$) управляемый системой управления ($SU2$) с формированием фазных напряжений с помощью пространственного вектора [8].

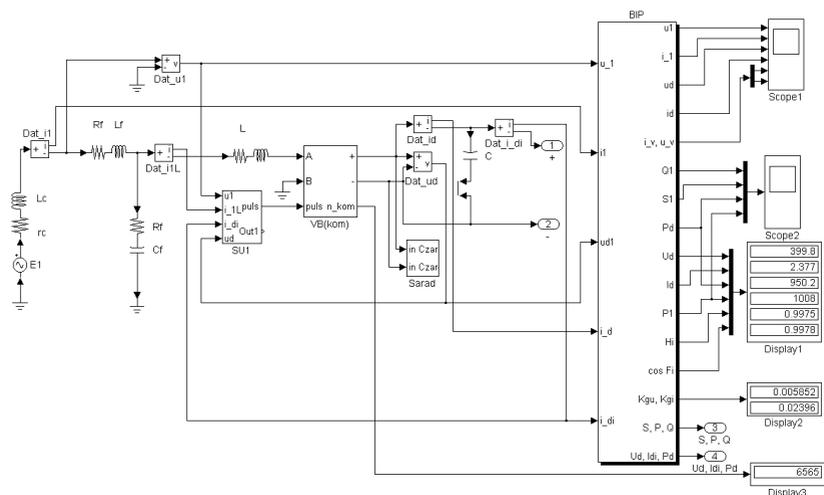


Рис. 2. Виртуальная модель активного выпрямителя напряжения

На рис. 2 функции АВН реализует вентиляльный блок ($VB(kom)$) совместно с системой управления ($SU1$). Система управления формирует ЧШИМ-сигнал на основе сравнения потребляемого и задаваемого синусоидального тока [5]. Задаваемый синусоидальный ток рассчитывается исходя из заданного напряжения на нагрузке с учетом напряжения сети и тока потребляемого инвертором. При $\cos\varphi = 1$ и $I_1 \approx U_d I_d / U_1$. Заданный ток уточняется с помощью обратных связей по току и напряжению на входе инвертора и величине напряжения сети [8, 9];

- датчики тока и напряжения (Dat_i1 , Dat_i1L , Dat_u1 , Dat_id , Dat_ud , Dat_Idi , Dat_i_A) – предназначены для измерения токов и напряжения в схемах и передачи их значений на осциллографы;

- блоки измерительных преобразователей ($BIP1$, BIP) – позволяют определять мощности, мгновенные, средние и действующие вели-

чины токов и напряжений в схеме, амплитуды первых гармоник тока и напряжения, коэффициенты гармоник, энергетические показатели схемы;

– осциллографы (*Scope1, Scope2, Scope3, Scope4*) – блоки, позволяющие наблюдать осциллограммы токов, напряжений и мощностей в схемах;

– дисплеи (*Display, Display1, Display2, Display3*) – блоки, предназначенные для цифрового отображения значений напряжений и токов, снимаемых с блоков *BIP* и *BIP1* и число включений одного транзистора в секунду (*n_kom*);

– графопостроители – блоки, используются для построения внешних и энергетической характеристики в автоматическом режиме.

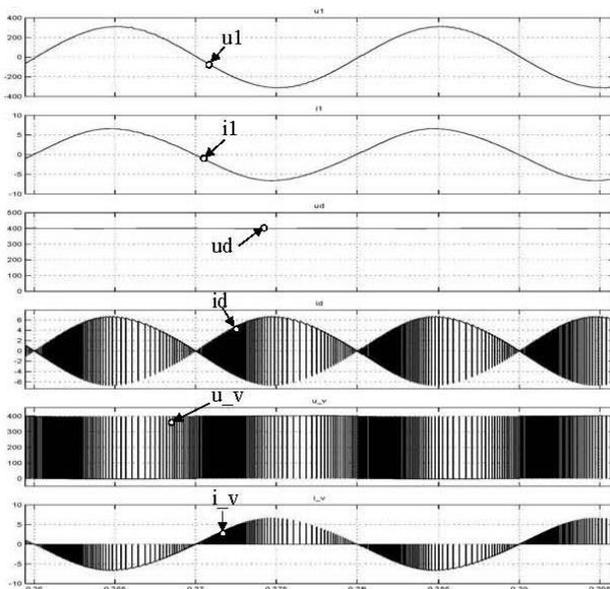


Рис. 3. Осциллограммы процессов в активном выпрямителе напряжения

Осциллограммы, иллюстрирующие процессы, происходящие в АВН (на входе ДПЧ) в выпрямительном режиме и в АИН (на выходе ДПЧ) при активно-индуктивной нагрузке без противо-ЭДС приведены на рис. 3 и 4 соответственно.

На рис. 5 изображены осциллограммы (рис. 5, а) и спектральный состав (рис. 5, б) напряжения сети *u1* при работе на входе ДПЧ АВН и на рис. 6 – неуправляемого выпрямителя с малой входной индуктивностью (рис. 6, а, б).

В табл. 1 приведены результаты измерений при работе ДПЧ на одинаковую активно-индуктивную нагрузку, но при разных выпрямителях на входе. Приведены три варианта: на входе включен АВН, неуправляемый выпрямитель с малой (НВ1) и большой (НВ2) входной индуктивностью.

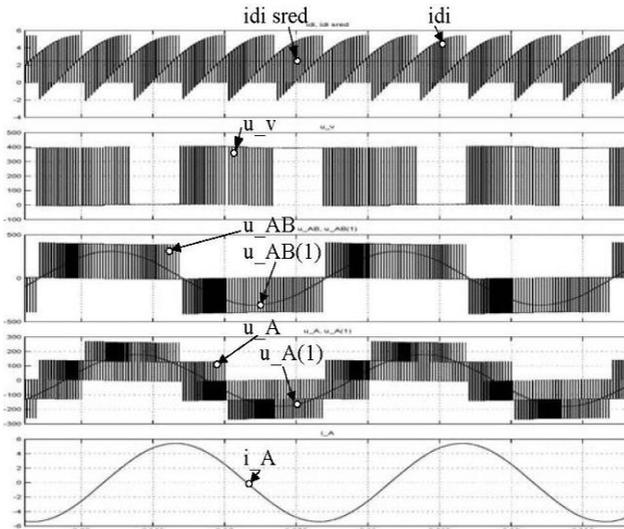


Рис. 4. Осциллограммы процессов в двухзвенном преобразователе частоты в номинальном режиме

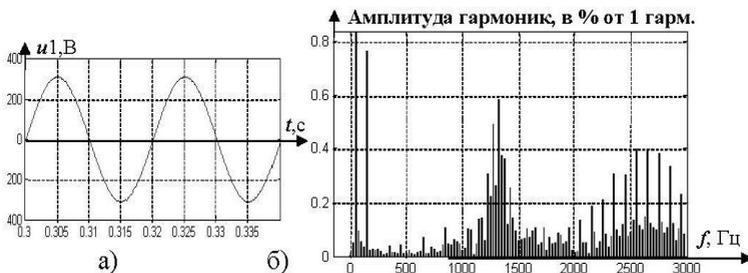


Рис. 5. Осциллограммы (а) и спектральный состав (б) напряжения сети u_1 при работе на входе ДПЧ АВН

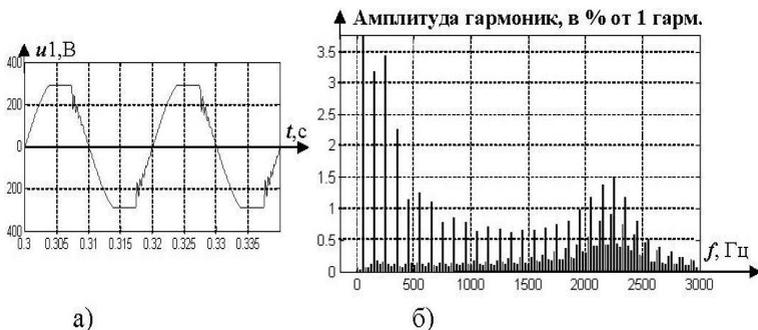


Рис. 6. Осциллограммы (а) и спектральный состав (б) напряжения сети u_1 при работе на входе ДПЧ неуправляемого выпрямителя с малой входной индуктивностью

Таблица 1

Наименование величины	Обознач.	Ед.изм.	АВН	НВ1	НВ2
Потребляемая полная мощность	S_1	ВА	1011	705	385
Потребляемая активная мощность	P_1	Вт	1008	478	301
Потребляемая реактивная мощность	Q_1	ВА	-67	137	193
Мощность выпрямленная	P_d	Вт	950	476	293
Выпрямленное напряжение	U_d	В	400	283	221
Выпрямленный ток	I_d	А	2,38	1,69	1,32
Коэффициент мощности	χ	-	0,998	0,69	0,78
$\cos\varphi$	$\cos\varphi$	-	0,998	0,962	0,84
Коэффициент гармоник напряжения сети	$K_{\Gamma U}$	%	0,59	8,4	2,24
Коэффициент гармоник потребляемого тока	$K_{\Gamma I}$	%	2,4	96,8	40,6
Действующее значение первой гармоники тока нагрузки	$I_{(1)н}$	А	3,83	2,7	2,11

Действующее значение первой гармоники напряжения на выходе	$U_{(1)л}$	В	248	174	136
Активная мощность в нагрузке	P_n	Вт	879	436	266
Активная мощность в нагрузке	P_n	Вт	879	436	266
$\cos\varphi$ нагрузки	$\cos\varphi_n$	-	0,54	0,54	0,54
Коэффициент гармоник выходного напряжения	$K_{ГU_n}$	%	66,2	66,3	66,4
Коэффициент гармоник выходного тока	$K_{ГI_n}$	%	1	1	1
КПД ДПЧ	η	-	0,87	0,89	0,88

Выводы

1. КПД ДПЧ несущественно зависит от вида выпрямителя.
2. Применение АВН позволяет существенно поднять выходное напряжение и выходную мощность ДПЧ.
3. Применение АВН существенно повышает коэффициент мощности и резко уменьшает искажение синусоидальности напряжения сети.
4. Проводимые эксперименты наглядно убеждают студента, что главное достоинство ДПЧ на основе АВН – это возможность улучшения использования сетевого напряжения и независимость от его колебаний, высокий коэффициент мощности ($\chi \approx 1$) и возможность рекуперации энергии.
5. Спектральный анализ осциллограмм напряжения сети показал, что при применении АВН на входе ДПЧ в спектре гармоник напряжения сети преобладают гармоники с максимальной амплитудой при частотах выше 1000 Гц. Повышение частот гармоник в спектре облегчает их фильтрацию.
6. В неуправляемом выпрямителе с малой входной индуктивностью напряжение сети отличается от синусоиды наличием плоской площадки при максимальных значениях, а в спектре преобладают гармоники с максимальной амплитудой при частотах ниже 1000 Гц. Причем их амплитуда значительно больше амплитуды гармоник в спектре напряжения сети для ДПЧ с АВН на входе.

Список литературы

1. Герман-Галкин С.Г. Силовая электроника [Текст]: лабораторные работы на ПК. – СПб.: КОРОНА принт, 2007. – 300 с.
2. Герман-Галкин С.Г. Matlab & Simulink. Проектирование мехатронных систем на ПК. – СПб.: КОРОНА-Век, 2008. – 368 с.
3. Усынин Ю.С., Григорьев М.А., Шишков А.Н. Вентильный электропривод с синхронной реактивной машиной независимого возбуждения // Электротехника. - 2013. - № 3. - С. 37-43.
4. Гельман М.В., Хусаинов Р.З., Дудкин М.М., Терещина О.Г. Совместное применение физического и виртуального моделирования при изучении устройств преобразовательной техники // Электромеханика. Известия вузов, вып. 5. Новочеркасск, 2007. – С.62-65.
5. Брылина О.Г., Гельман М.В., Пундик М.А. Исследование обратимого преобразователя напряжения // Электротехнические системы и комплексы: межвузовский сб. науч. трудов. Вып. 20. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2012. – С. 457 – 461.
6. Зиновьев Г.С. Силовая электроника [Текст]: Углубленный курс. Учебное пособие для бакалавров: учеб. пособие для вузов по специальности «Пром. электроника»; Новосиб. гос. техн. ун-т. - М.: Юрайт , 2012, - 697 с.
7. Розанов Ю.К., Рябчицкий М.В., Кваснюк А.А.. Силовая электроника [Текст]: учеб. для вузов по направлению «Электротехника, электромеханика и электротехнологии». - М.: Издательский дом МЭИ, 2009, - 631с.
8. Гельман М.В., Дудкин М.М., Преображенский К.А. Преобразовательная техника. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2009. – 424 с.
9. Усынин Ю.С., Григорьев М.А., Шишков А.Н., Гладышев С.П., Горожанкин А.Н. Синтез системы управления электроприводом с синхронной реактивной машиной независимого возбуждения // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Энергетика». – 2012. – Вып. 18. – №37(296). – С. 38-41.