

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ – МСХА имени К.А. ТИМИРЯЗЕВА



**СБОРНИК
СТУДЕНЧЕСКИХ НАУЧНЫХ РАБОТ**

ВЫПУСК 26

Москва 2019

УДК 63. 001-57(082)
ББК4я431
С 23

**Сборник студенческих научных работ. Вып. 26. / М.: Издательство
РГАУ-МСХА, 2019. 787 с.**

ISBN 978-5-9675-1724-2

Редакционная коллегия

**Проф. А.В.Голубев, проф. Ю.Г. Иванов, доц. Ю.В. Катаев,
проф. В.В.Бутырин, проф. В.И. Леунов, проф. Б.А. Борисов,
проф. П.Ф.Кубрушко, проф. Ю.А. Юлдашбаев, проф. А.Г. Раджабов,
доц. В.Г.Борулько, доц. Д.Ю. Мартынов, асс. И.С. Чууксин,
доц. А.В.Бочкарев, ст. преп. А.С. Заикина, доц. С.В. Купцова,
доц. Е.Ф. Малыха, доц. А.А. Мамедов, доц. А.А. Манохина, доц. С.В.Тазина,
рук. СНО, доц. А.Е. Харитонова**

В сборнике представлены статьи, подготовленные по материалам докладов, 72-й Международной студенческой научно-практической конференции, посвященной 145-летию со дня рождения А.Г. Дояренко, которая проходила в РГАУ МСХА имени К.А. Тимирязева 26-29 марта 2019 г.

Сборник предназначен для студентов бакалавриата, магистратуры аспирантов, преподавателей, научных работников.

ISBN 978-5-9675-1724-2

© Коллектив авторов, 2019
© ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени
К.А. Тимирязева, 2019
© Издательство РГАУ-МСХА, 2019

ТРЕХФАЗНЫЙ ФЕРРОМАГНИТНЫЙ УТРОИТЕЛЬ ЧАСТОТЫ ДЛЯ ПИТАНИЯ ВЫСОКОСКОРОСТНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Линник Артём Александрович, магистрант 2 года обучения института механики и энергетики имени В.П. Горячкина, ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева

Научный руководитель – Забудский Е.И., профессор кафедры электропривод и электротехнологии, ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева

Аннотация: *Разработано устройство и основы теории статического утроителя частоты, основанного на принципе выделения 3-й гармоники индукции при насыщении магнитопровода. Использование утроителя частоты в электроприводе дает экономический эффект, так как повышается производительность труда и уменьшаются масса и габариты электрооборудования.*

Ключевые слова: *утроитель частоты, магнитопровод, насыщение, электропривод.*

Электропривод повышенной частоты – перспективное направление в области электрификации сельского хозяйства. Велика потребность промышленности в высокоэффективных, высокоскоростных электродвигателях. Утроитель частоты предназначен для использования в качестве источника питания асинхронных двигателей и другого электрооборудования напряжением с частотой 150 Гц.

Разработаны ферромагнитные статические утроители частоты, состоящие из трех одинаковых модулей. Их отличают невысокая стоимость, долговечность, простота устройства, надежность и приемлемые технико-экономические показатели. Конструкция одного модуля утроителя частоты (УЧ) подобна конструкции силового трансформатора с трехстержневым магнитопроводом. Поэтому производство УЧ может быть освоено на трансформаторостроительных заводах без изменения технологического цикла. Далее кратко рассматриваются устройство и основы теории одного из разработанных утроителей частоты [1].

На рис. 1,а представлена электромагнитная схема активной части УЧ, включающей три одинаковых модуля. Она состоит из магнитной системы, трёхфазной первичной обмотки основной частоты f_1 и трёхфазной вторичной обмотки утроенной частоты $3f_1$. Магнитная система содержит три отдельных, одинаковых, планарных шихтованных бронестержневых магнитопровода, по три стержня в каждом (цифрами 9, 1, 2; 3, 4, 5; 6, 7, 8 обозначены номера стержней). Отношение сечения ярма к сечению стержня составляет 0,5...0,52, при этом амплитуда первой гармоники магнитной индукции в сечении ярма не больше, чем в сечении стержня. Указанное соотношение сечений определено по результатам расчета магнитного поля методом конечных элементов.

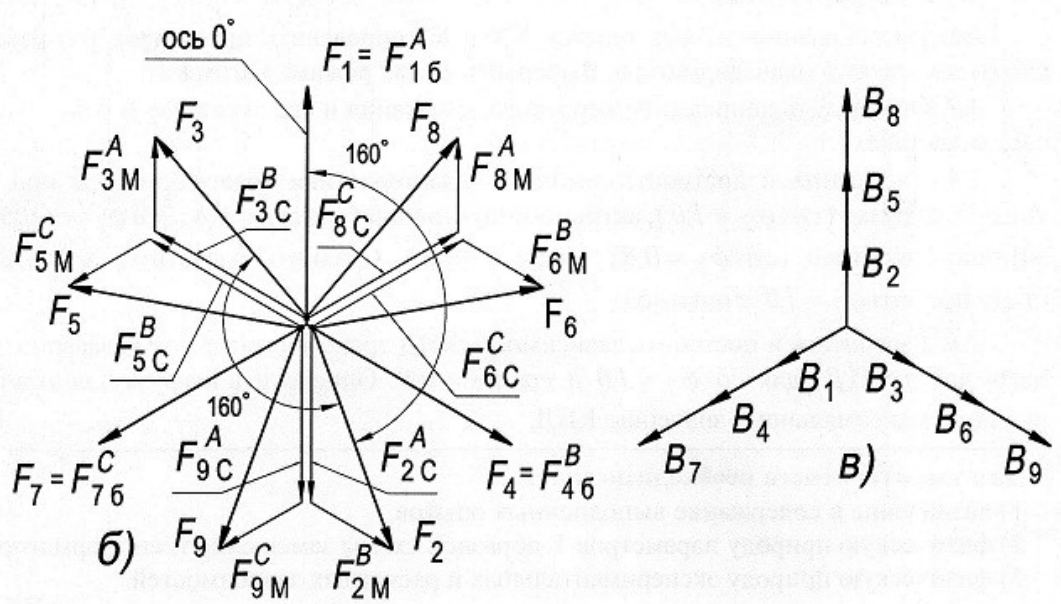
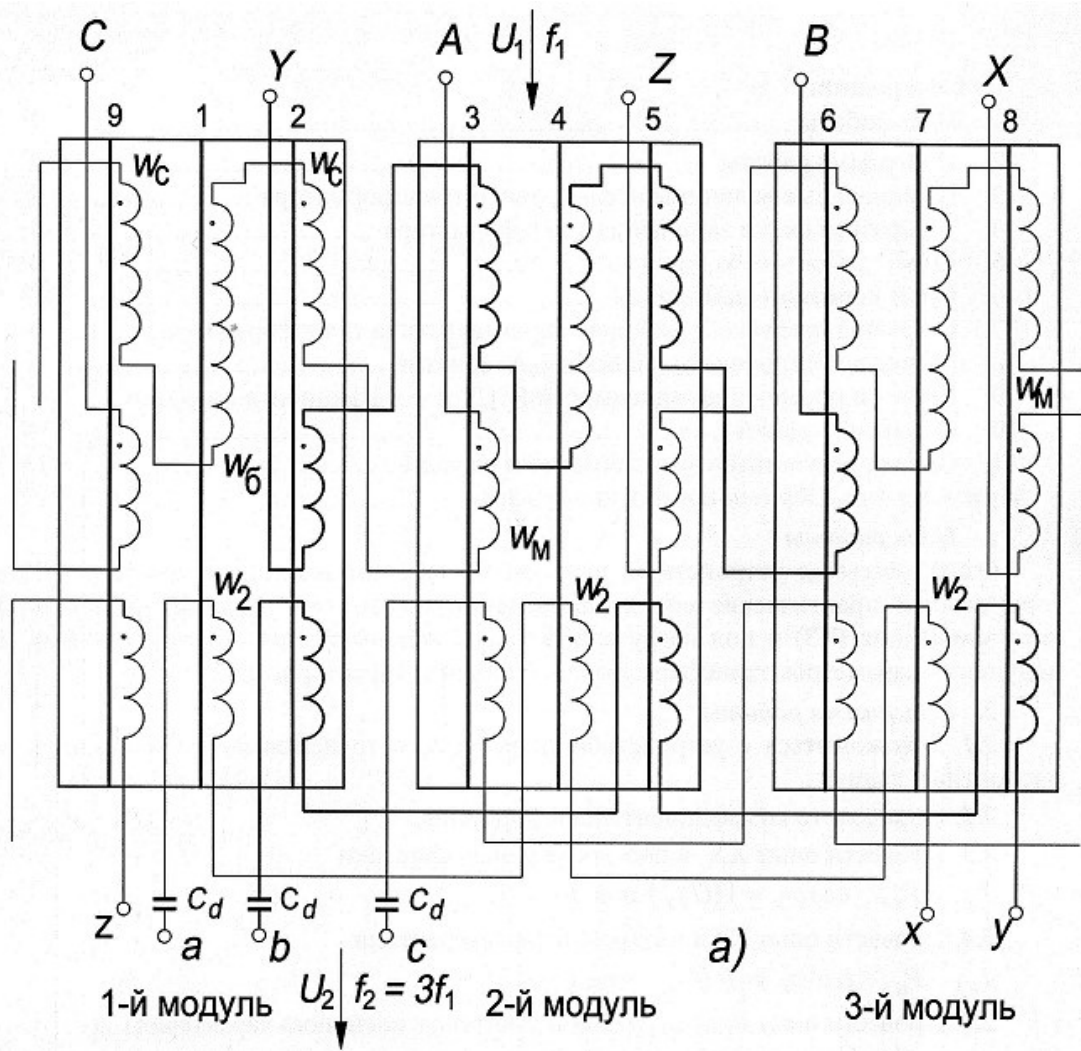


Рис. 1 Трёхфазный утроитель частоты:

а – электромагнитная схема; *б* – звезда векторов магнитодвижущих сил стержней; *в* – звезда векторов третьей гармоники магнитной индукции

Каждая фаза обмотки основной частоты состоит из пяти встречно-последовательно соединённых катушек, соотношение чисел витков которых составляет $W_M : W_C : W_6 : W_C : W_M = 0,395 : 0,743 : 1 : 0,743 : 0,395$, где W_M , W_C , W_6 – малое, среднее и большее число витков соответственно. Три катушки фазы с числами витков W_C , W_6 , W_C охватывают соответственно левый, средний, правый стержни магнитопровода, а другие две катушки фазы с числами витков W_M расположены по одной на левом и правом стержнях, принадлежащих двум другим магнитопроводам.

Каждая фаза обмотки утроенной частоты состоит из трёх согласно-последовательно соединённых катушек с числом витков W_2 . Каждая катушка фазы охватывает соответствующий одноимённый стержень (левый, средний или правый), принадлежащий одному из трех магнитопроводов.

Работа УЧ основана на глубоком насыщении стержней магнитопроводов первой гармоникой индукции ($B_1 = 2,15 \dots 2,25$ Тл), которая обусловлена симметричной трехфазно-расщепленной системой векторов МДС стержней, созданных током основной частоты. Звезда векторов МДС стержней показана на рис. 1,б. На рис. 1,в приведена звезда векторов третьей гармоники магнитной индукции.

Вследствие нелинейности кривой намагничивания стали магнитопровода магнитная индукция будет содержать спектр временных нечётных гармоник насыщения. Из высших гармоник наибольшую амплитуду будет иметь третья гармоника, которая обусловит трёхфазное симметричное напряжение утроенной частоты практически синусоидальной формы. Гармоники порядков $6 \cdot k \pm 1$, где $k = 1, 2, 3, \dots$, не обуславливают результирующее напряжение в фазах вторичной обмотки, так как в трёх катушках каждой фазы этой обмотки они индуцируют ЭДС, взаимно сдвинутые во времени на 120 градусов.

Разработаны на основе теории поля Дж. К. Максвелла и метода конечных элементов математическая модель, алгоритм и программная реализация модели. Учтены нелинейность среды и продольная геометрия магнитопровода модуля. Установлены взаимосвязи между конструктивными и схемотехническими особенностями и характеристиками утроителя частоты.

На основе теории цепей разработана математическая модель электромагнитных режимов умножителей частоты. Составлены алгоритм и программная реализация модели. Устройства эквивалентруются электрической и магнитной схемами замещения с нелинейными сосредоточенными параметрами. Выполнен анализ нормальных рабочих режимов утроителя, анализ влияния несимметрии устройства, несимметрии трёхфазного первичного напряжения и нагрузки.

Исследован трёхфазный утроитель частоты со следующими данными: $P_2 = 1,5$ кВт, $U_1 = 380$ В, $f_1 = 50$ Гц, $f_2 = 150$ Гц, $U_2 = 380$ В. Результаты испытаний согласуются с данными теоретического анализа и свидетельствуют о приемлемых технико-экономических показателях разработанного утроителя частоты.

Библиографический список

1. Забудский Е.И. Математическое моделирование управляемых электромагнитных реакторов: Монография. – М.: ООО «Мегаполис», 2018. – 356 с.