

Министерство образования и науки Российской Федерации

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
имени Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра физики и методико-  
информационных технологий

**Разработка макета «Электронного лабораторного трехфазного генератора»**

**Автореферат**

выпускной квалификационной работы

студента 5 курса 533 группы

специальности 44.03.01 – «Физика»

физического факультета

**Коновалова Андрея Александровича**

Научный руководитель

к.ф.-м н., доцент

должность, уч. степень, уч. звание



7.06.17г.

подпись, дата

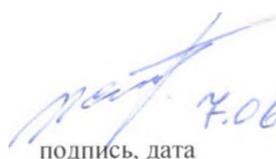
**В.Б. Гаманюк**

инициалы, фамилия

Заведующий кафедрой

д.ф.-м.н., профессор

должность, уч. степень, уч. звание



7.06.17г.

подпись, дата

**Б.Е. Железовский**

инициалы, фамилия

Саратов-2017

## Введение

Выпускная квалификационная работа посвящена созданию лабораторного электронного трехфазного генератора, который позволил бы проводить экспериментальные исследования трехфазных систем в образовательных учреждениях. **Объектом** исследования являются источники трехфазного переменного тока. **Предметом** исследования является поиск наиболее оптимального пути создания электронных трехфазных генераторов. В процессе решения поставленной задачи был проведен критический анализ возможных способов создания лабораторного трехфазного генератора, выявлены преимущества и недостатки каждого из них.

**Актуальность.** В связи с повсеместным распространением трехфазных сетей электроснабжения, каждый человек, даже не подозревая об этом, ежедневно пользуется, по сути, трехфазным переменным током. Поэтому с целью получения полноценного технического образования эта тема включается в учебные программы некоторых школ и ВУЗов.

Для экспериментального исследования свойств и особенностей трехфазных систем требуется соответствующее оснащение. Таковым, например, может быть специальный трехфазный трансформатор, с помощью которого напряжение сети понижается до безопасного значения (42В). Однако, подобное оборудование является достаточно дорогим и редким. Кроме того оно, будучи стационарным, накладывает определенные ограничения на организацию лабораторного практикума. Наилучшим решением этой проблемы было бы создание мобильного генератора небольшой мощности.

**Цель.** Разработать и создать на этой основе лабораторную установку с преобразованием однофазного гармонического сигнала в трехфазную систему.

**Практическая значимость выпускной квалификационной работы** заключается в разработке оптимальной экспериментальной базы для исследования трехфазных систем.

**Структура дипломной работы.** Работа объемом 53 страницы состоит из введения, двух глав и заключения. Первая глава содержит необходимый для понимания сути работы теоретический материал. Вторая глава посвящена конструированию лабораторного электронного трехфазного генератора. В заключении подводится итог проделанной работе.

## КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ

Первая глава «Трехфазный переменный ток» содержит три раздела, посвященные теоретическим основам работы трехфазных систем. Здесь помещены математические выкладки, которые показывают, что при сложении трех гармонических функций одной амплитуды и частоты, начальные фазы которых отличаются друг от друга последовательно на  $120^{\circ}$  (или  $2\pi/3$ ), получается ноль. Отсюда следует два вывода:

1. При протекании по одному проводу переменных токов одинаковой величины, но сдвинутых друг относительно друга по фазе на  $120^{\circ}$  суммарный ток отсутствует. Стало быть, этот провод вовсе не нужен.

2. В замкнутой цепи, состоящей из трех включенных последовательно источников переменной ЭДС одинаковой частоты и одинаковой амплитуды, но со сдвигом фаз друг относительно друга в  $120^{\circ}$ , суммарная ЭДС будет равна нулю. Сквозной ток через источники протекать не будет, но напряжение на зажимах каждого из них остается равным ЭДС. Эти выводы побудили создать генератор, статор которого содержит три одинаковых обмотки, размещенные на нем с пространственным сдвигом их осей на  $120^{\circ}$  друг относительно друга. В результате обеспечивался требуемый сдвиг фаз при равенстве амплитуд ЭДС. Обмотки такого генератора можно соединять двумя типами способами – «треугольником» и «звездой». Подобным образом соединяют и приемники энергии.

Напряжение на концах каждой обмотки трехфазного генератора называют **фазным**. Система проводов, соединяющих трехфазный генератор с

нагрузками, называется *линией*. Напряжение между проводами линии и токи в них называют *линейным*.

Соединение «звезда» получается если одни концы обмоток генератора соединить в одну точку, которая называется «нейтралью», а вторые оставить свободными. Для такого соединения *эффективное значение линейного напряжения оказывается больше фазного в  $\sqrt{3}$  раз, а фазные и линейные токи одинаковы:*

$$U_{\text{л}} = \sqrt{3}U_{\text{ф}}, I_{\text{л}} = I_{\text{ф}}.$$

Характерным недостатком схемы «звезда» является «*перекос фаз*», который возникает в результате несимметричной нагрузки фаз со стороны потребителя. Его можно устранить путем соединения нейтральных точек генератора и потребителя.

Если обмотки генератора соединить последовательно друг с другом то получим соединение «треугольник». В итоге имеем – *линейные токи больше фазных в  $\sqrt{3}$  раз, в то время как фазные напряжения равны линейным:*

$$I_{\text{л}} = \sqrt{3}I_{\text{ф}}, U_{\text{л}} = U_{\text{ф}}.$$

Вторая глава «**Конструирование электронного лабораторного трехфазного генератора**» содержит анализ предшествующих попыток выбора путей создания лабораторного трехфазного генератора. Отмечаются их преимущества и недостатки. В результате было принято решение апробировать схему получения трехфазных напряжений из сигнала однофазного генератора.

Известно, что в цепи переменного тока, содержащей реактивные элементы, наблюдается фазовый сдвиг  $\Delta\varphi$  между током и напряжением. В случае генератора ЭДС с нулевым внутренним сопротивлением величина этого сдвига определяется отношением реактивной составляющей полного сопротивления цепи к её активному сопротивлению, причем, когда активное сопротивление последовательно соединено с емкостью, ток опережает напря-

жение, а с индуктивностью – наоборот, ток отстает от напряжения. Таким образом, подключая к одному полюсу такие цепочки можно получить напряжения, сдвинутые по отношению друг к другу и одновременно относительно другого полюса однофазного генератора на 120 градусов (рис. 1).

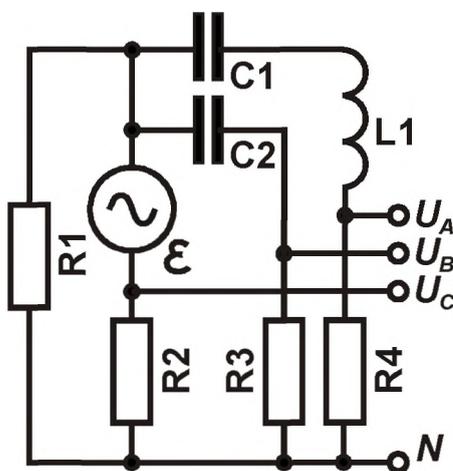


Рис. 1 Источник трехфазных напряжений

Здесь конденсатор  $C1$  нужен для гальванической развязки фаз. Для того чтобы он не влиял на работу  $LR$  – цепочки емкость  $C1$  сознательно выбирается весьма большой.

Исследование предложенного способа с помощью компьютерной программы «Начала ЭЛЕКТРОНИКИ» продемонстрировало плодотворность намерений. Более того, виртуальный эксперимент подсказал практическое решение поставленной задачи: использовать транзисторный усилитель с разделенной нагрузкой в качестве аналога однофазного генератора компьютерной модели. Частоту первичного напряжения, с целью уменьшения номиналов деталей и их габаритов выбрали равной 400 Гц, что не выходит за рамки стандарта в авиации и соответствует верхней границе частотного диапазона стрелочных электроизмерительных приборов переменного тока.

В результате удалось разработать схему преобразования однофазного сигнала в трехфазную систему. Она представлена на рис. 2. На вход устройства подается внешний сигнал, на его выходе формируется три фазы. Рассмотрим, как работает эта схема.

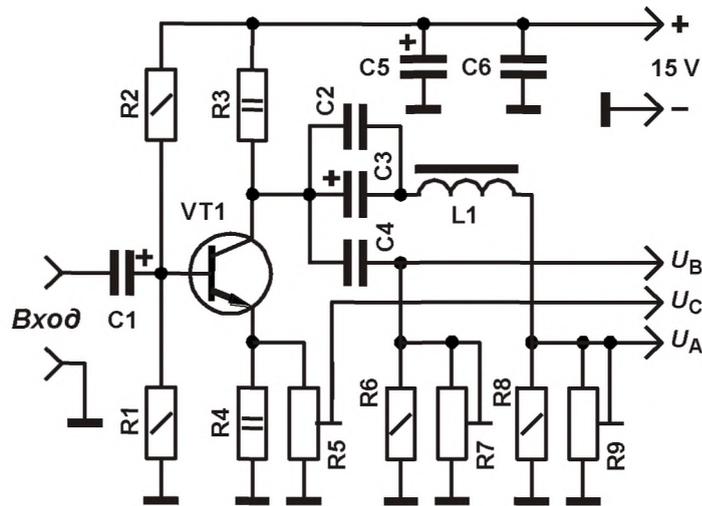


Рис. 2. Схема трехфазного преобразователя (фазовращателя)

К коллектору транзистора присоединены две фазосдвигающие цепочки: первая состоит из индуктивности  $L1$  и сопротивлений  $R8, R9$ , а вторая из конденсатора  $C4$  и сопротивлений  $R6, R7$ , которые обеспечивают сдвиг фазы снимаемого с коллектора переменного напряжения на  $\Delta\varphi = \pm 60^\circ$ . В свою очередь сигналы на эмиттере и коллекторе противофазны. Таким образом, на выходе имеем трехфазную систему напряжений. Переменные резисторы служат для подстройки фаз и амплитуд.

Основным недостатком данного фазовращателя является довольно высокое выходное сопротивление. Поэтому для расширения его возможностей было принято решение для каждой фазы использовать усилитель мощности с трансформаторным выходом, что позволит работать с низкоомными нагрузками и соединять фазы как звездой, так и треугольником. Кроме того, для достижения автономности конструкции было решено ввести в состав устройства собственный задающий генератор на 400 Гц. В итоге сформировалась следующая функциональная схема трехфазного генератора (рис 3).

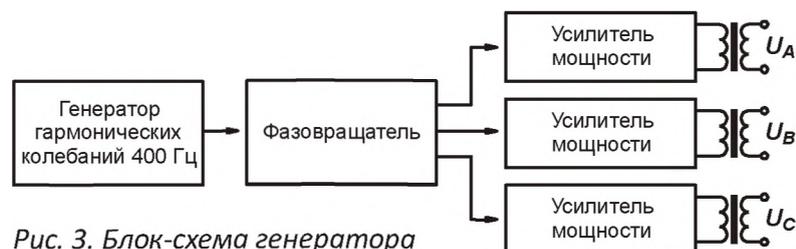


Рис. 3. Блок-схема генератора

Для задающего генератора ( $ЗГ$ ) использовано стандартное схемное решение – операционный усилитель с мостом Вина. Такой генератор один из наиболее простых и известных, его достоинство – малое количество используемых деталей и высокое постоянство частоты. Для стабилизации амплитуды в цепи обратной связи применен нелинейный элемент в виде коммутаторной лампы накаливания, которая питается от усилителя мощности выполненного по схеме эмиттерного повторителя.

Теперь, соединив  $ЗГ$  с фазовращателем, имеем трехфазный источник переменного синусоидального напряжения с частотой 400 Гц. Для каждой фазы запланировано использовать трансформаторный усилитель мощности ( $УМ$ ). Вполне понятно, что эти усилители должны иметь одинаковые характеристики. На наш взгляд наиболее оптимальным решением является использование в качестве  $УМ$  микросхемы TDA2030A фирмы ST Microelectronics. Обладая высокими электрическими характеристиками и низкой стоимостью, она позволяет при минимальных затратах собирать на ней высококачественные усилители низкой частоты. В  $УМ$  использовалась стандартная схема подключения TDA2030A.

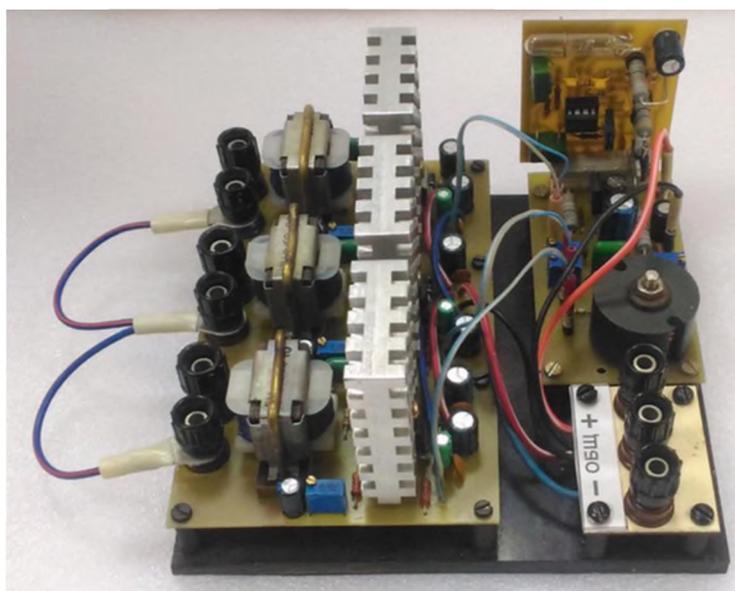
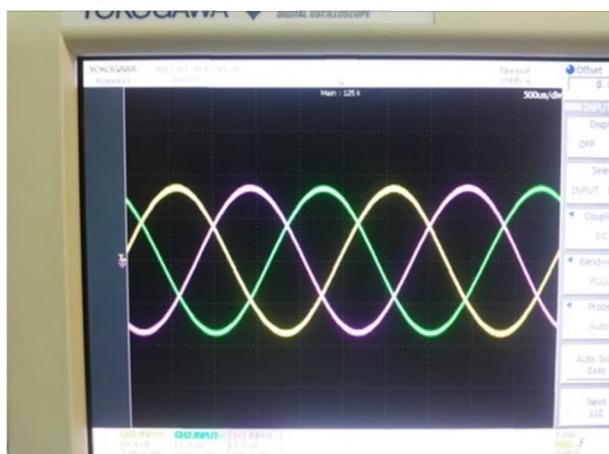


Рис. 4. Общий вид трехфазного генератора

При конструировании трехфазного генератора согласно разработанным электрическим схемам был принят модульный принцип: гармонический генератор, фазовращатель и комплекс из трех усилителей мощности представляют собой автономные устройства. Общий вид макета генератора представлен на рис 4.

Изготовленный генератор был подвергнут испытаниям с целью проверки величины сдвига фаз вырабатываемых колебаний, величины их амплитуд и временной зависимости. Результаты испытаний приведены в виде осциллограмм напряжений фаз на рис. 5.



*Рис. 5. Осциллограммы напряжений фаз выходных сигналов*

Рис. 5 свидетельствует о том, что разработанный прибор можно считать трехфазным генератором.

Оказалось, что при разумных нагрузках потребляемый трехфазным генератором ток не превышает полутора ампер. В соответствие с этой информацией был разработан и создан двуполярный трансформаторный стабилизированный источник питания от сети 220 В на микросхемах 78 серии. Одновременно с этим в работе обсуждаются возможные способы питания трехфазного генератора от низковольтной сети 42 В, которой согласно технике безопасности должны оснащаться кабинеты физики. Наиболее перспективной идеей представляется применение импульсных стабилизаторов напряжений. С точки решаемой задачи наибольший интерес может представлять микросхемы серии LM2576, которая подкупает своей ценовой доступностью, хо-

рошими электрическими характеристиками, простотой настройки и малым количеством применяемых радиодеталей.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании анализа различных способов создания лабораторного трехфазного генератора переменного тока предложен наиболее оптимальный из них. Он состоит в преобразовании гармонического напряжения, созданного опорным генератором, в три сдвинутых по фазе на  $120^{\circ}$  сигнала, мощность который увеличивается усилителями низкой частоты с трансформаторным выходом. Тем самым появляется возможность изучать оба способа соединения фаз – звездой и треугольником.

Идея создания такого устройства возникла в результате осмысления компьютерной модели, построенной с помощью программы «Начала ЭЛЕКТРОНИКИ», что лишний раз свидетельствует о пользе сочетания виртуального и живого экспериментов.

Испытания созданного генератора показали, что он в первом приближении действительно является трехфазным. Конечно, было бы желательным убедиться в этом не по осциллограмме, то есть «на глазок», а на основании измерений сдвига фаз и коэффициента нелинейных искажений. К сожалению, подобной аппаратурой кафедра не обладает. Тем не менее, можно заключить, что предложенный прием конструирования плодотворен.

Одновременно создавался и источник питания установки. По причине нехватки времени здесь было не до изысков: проектирование пошло по накатанной дорожке – остановились на традиционной схеме с силовым трансформатором и линейными стабилизаторами. Что касается других принципов реализации блоков питания, то в работе была проведена лишь оценка их преимуществ и возможностей.

Полученные результаты можно считать определенном этапом на пути создания учебного лабораторного оборудования по изучению трехфазных цепей.

### Список использованных источников

1. Гаманюк В.Б., Недогреева Н.Г. Цепи переменного тока: учебное пособие. [Текст] / В.Б.Гаманюк, Н.Г.Недогреева. Саратов: Издательство.СРОО «Центр» Просвещение», 2014. с. 82.
2. Гаманюк В.Б. Лабораторная установка для изучения цепей трехфазного переменного тока: сб. научных статей. [Текст] / В.Б.Гаманюк, Н.Г. Недогреева, В.И.Чабан. Саратов: ООО Издательский Центр «Наука», 2010. с. 33-37.
3. Гаманюк В.Б., Недогреева Н.Г., Нурлыгаянова М.Н. О возможности использования виртуального конструктора «Начала ЭЛЕКТРОНИКИ» для исследования цепей трёхфазного тока. [Текст] / Национальная ассоциация ученых (НАУ). Ежемесячный научный журнал. 2015, № 7(12), с. 50-53
4. Литвиненко Е.П. Исследование возможности создания виртуальных и электронных трехфазных генераторов. Выпускная квалификационная работа бакалавра, кафедра ФиМИТ СГУ, 2015.
5. Гуревич В. И. Вторичные источники электропитания: анатомия и опыт применения. [Текст] / В.И. Гуревич. «Электротехнический рынок», 2009, № 1 (25), с. 50-54.
6. Костиков В. Г., Парфенов Е. М., Шахнов В. А. Источники электропитания электронных средств. Схемотехника и конструирование: Учебник для ВУЗов. 2. [Текст] / В.Г. Костиков, Е.М. Парфенов, В.А. Шахнов. М.: Телеком, 2001, 344 с.
7. Генераторы синусоидальных колебаний. [Электронный ресурс]. URL:<http://radiomaster.ru/stati/radio/gen.php> (дата обращения 20.04.2017.)
8. Р.Манчини, Р.Палмер. Генераторы гармонических сигналов на операционных усилителях.[Электронный ресурс].URL:[http://zpostbox.ru/sine\\_wave\\_oscillators.html](http://zpostbox.ru/sine_wave_oscillators.html) (дата обращения 02.05.2017.)

9. Синусоидальный генератор по схеме моста Вина. [Электронный ресурс]. URL: [https://frompinski.wordpress.com/2014/04/18/sinus\\_generator/](https://frompinski.wordpress.com/2014/04/18/sinus_generator/) (дата обращения 20.04.2017.)
10. Источник питания: импульсный или линейный? за и против [Электронный ресурс]. URL: [http://bvp.com.ua/Art\\_PulseOrLinear.php](http://bvp.com.ua/Art_PulseOrLinear.php) (дата обращения 22.02.2017.)
11. Импульсный регулятор на LM2576. [Электронный ресурс]. URL: <http://radio-hobby.org/modules/news/article.php?storvid=445> (дата обращения 02.05.2017.)
12. Понижающие преобразователи напряжения SIMPLE SWITCHER. [Электронный ресурс]. URL: [http://www.gaw.ru/html.cgi/txt/ic/National\\_Semi/power/SIMPLE\\_SWITCHER/LM2574-2576.htm](http://www.gaw.ru/html.cgi/txt/ic/National_Semi/power/SIMPLE_SWITCHER/LM2574-2576.htm) (дата обращения 02.05.2017.)
13. Возможности TDA2030. [Электронный ресурс]. URL: <http://cxem.net/sound/amps/amp136.php> (дата обращения 06.03.2017.)
14. Зарубежные интегральные усилители низкой частоты. Микросхемы серии TDA. [Электронный ресурс]. URL: <http://ra4a.narod.ru/portal/tda.htm> (дата обращения 06.03.2017.)
15. Касаткин Г.С. К 140-летию М.О. Доливо-Добровольского. [Электронный ресурс]. URL: <http://scbist.com/xx2/9871-sozdatel-tehniki-trehfaznogo-toka.html> (дата обращения 11.03.2017.)
16. Трехвыводные стабилизаторы напряжения. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.ruselectronic.com/news/stabilizatory-napriazhjenija/> (дата обращения 27.02.2017.)