

## НИЗКОВОЛЬТНЫЙ ГЕНЕРАТОР ИМПУЛЬСОВ ТОКА ШИРОКОГО ЧАСТОТНОГО ДИАПАЗОНА ДЛЯ ФИЗИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Бондаренко А.Ю., к.т.н., с.н.с.,

Национальный технический университет "Харьковский политехнический институт"

Украина, 61002, Харьков, ул. Фрунзе, 21, НТУ "ХПИ", Кафедра "Инженерная электрофизика"

тел. (057) 707-62-45, E-mail: baiu@kharkov.ua

Сериков Г.С., Чаплыгин Е.А.

Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

Украина, 61002, Харьков, ул. Петровского, 25, тел. 700-38-52

*Описана схема и принцип действия разработанного низковольтного генератора импульсов тока, предназначенного для экспериментальных исследований индукторных систем в широком частотном диапазоне 1 – 50 кГц, предназначенных для выполнения технологических операций при магнитно-импульсной обработке металлов.*

*Описана схема та принцип дії розробленого низковольтного генератора імпульсів струмів, призначеного за для експериментальних досліджень індукторних систем у широкому частотному відрізьку 1 – 50 кГц, призначених для виконання технологічних операцій при магніто-імпульсній обробці металів.*

Результаты теоретических исследований распределения напряженности магнитного поля и тока в индукторных системах при магнитно-импульсной обработке металлов (МИОМ) и в других устройствах, работающих в импульсном режиме, требуют экспериментальной проверки. Исследование сложных систем с трехмерным распределением магнитного поля и токов наиболее просто осуществляется экспериментальным путем [1]. Для физического моделирования используются устройства, позволяющие генерировать либо незатухающий синусоидальный сигнал [1], либо импульс заданной формы: затухающую синусоиду [2 - 4] или униполярный импульс [5] при низком напряжении (обычно 220 В) источника питания. Принцип действия указанных устройств основан на управляемом разряде емкости на индуктивную нагрузку, основной недостаток – узкий частотный диапазон разрядного тока и сложность его регулирования.

Высокая частота разрядного тока характерна для классических операций МИОМ, при моделировании процессов электромагнитного притяжения обрабатываемой заготовки к индуктору требуется низкая частота [6]. Кроме того, для создания измерительного комплекса, позволяющего автоматически определять топологию магнитного поля индукторной системы, необходимо управление работой низковольтного генератора импульсов тока (НГИТ) и координатного устройства, с перемещающимся индукционным преобразователем, с помощью персонального компьютера (ПК).

Целью работы является создание НГИТ для получения импульсов тока в виде затухающей синусоиды в диапазоне частот 1 – 50 кГц и униполярных в режимах непрерывной генерации импульсов с частотой следования 50 Гц или меньше и под управлением ПК для получения однократного импульса и генерации заранее заданного количества импульсов.

Принципиальная схема НГИТ представлена на рис. 1.

НГИТ состоит из трех модулей, выполненных на

отдельных платах. Силовой модуль (рис. 1а) включает в себя зарядную цепь батареи конденсаторов  $C$ , состоящую из 29 конденсаторов марки К75–40 1,0 x 500 В, силового трансформатора Т1, выпрямителя VD6 (диод марки Д133) и разрядный контур емкостного накопителя энергии, который содержит батарею конденсаторов, тиристорный коммутатор типа ТБ153-80-12, измерительный шунт  $R_{SH}$  и нагрузку -  $L$ . Диод VD7 служит для пропуска обратного полуволны разрядного тока.

Модуль синхронизации (рис. 1в) предназначен для согласования момента включения тиристорного ключа с фазой зарядного напряжения батареи конденсаторов. Работа его иллюстрируется эпюрами токов и напряжений, представленными на рис. 2 и состоит в следующем. Напряжение синхронизации выпрямляется диодом VD2 и отрицательная полуволна напряжения  $U_s$  поступает на компараторы DD1.1. Компаратор DD1.1 сравнивает сигнал  $U_s$  с опорным напряжением  $U_{op1}$  делителя R2-R3 и вырабатывает сигнал, инициирующий запуск с персонального компьютера, служащего в качестве счетчика и задатчика числа импульсов. ПК, выполняя заданную программу, вырабатывает импульс открытия транзистора VT1 на первый вход переключателя режима работы SB1. Сигналы гальванически развязаны при помощи оптопар VE1 и VE2. Компаратор DD1.2 сравнивает сигнал  $U_s$  с опорным напряжением  $U_{op2}$  делителя R5-R6 и выдает напряжение  $U_{RC}$  на цепочку R8-C4. Компаратор DD1.3 сравнивает напряжение  $U_{R8}$  с опорным напряжением  $U_{op3}$  делителя R9-R10 и вырабатывает узкий импульс открытия транзистора VT1 на второй вход кнопки переключения режима работы SB1. При помощи кнопки SB1 выбирается режим работы генератора: непрерывная генерация или программируемая последовательность. В режиме генерации программируемой последовательности к модулю подключается ПК. Кнопка SB2 служит для разрешения выдачи импульса открытия транзистора VT1 в режиме счетчика импульсов. Тем самым она дублирует манипулятор типа "мышь".

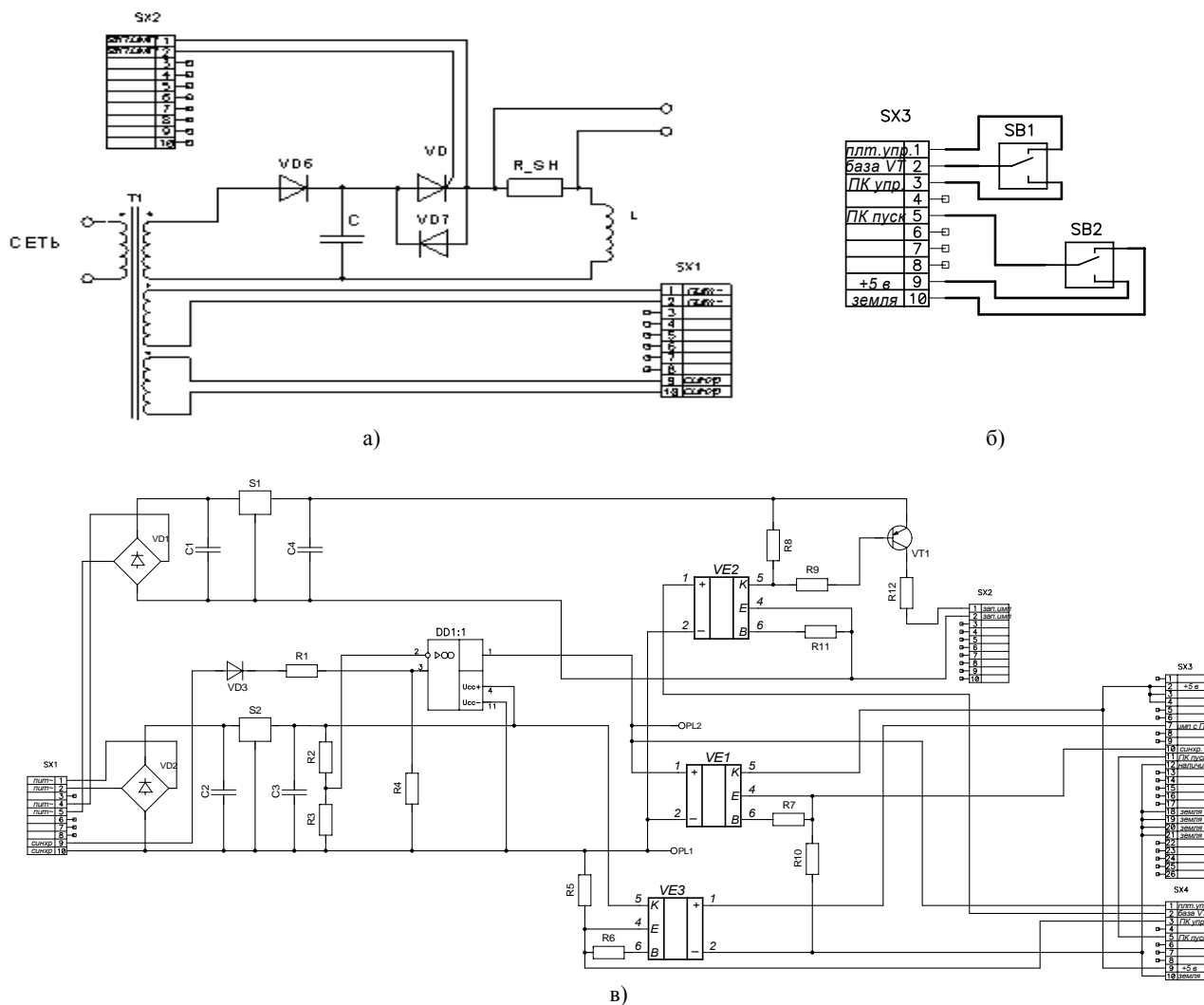


Рис. 1. Принципиальная схема НГИТ: а) силовой модуль; б) модуль управления режимом работы; в) модуль синхронизации с сетевым напряжением

В любом режиме работы импульс подается на транзистор VT1, работающий в ключевом режиме. Трансформатор T2 применен в качестве гальванической развязки. Изменение тока первичной обмотки вызывает импульс  $U_{start}$ , открывающий мощный ключ - тиристор VD. Диод VD7 служит для пропускания обратной полуволны разрядного тока. Резисторы R1, R2, R7, R11, R13 шунтируют импульсные наводки в цепях.

Батарея конденсаторов заряжается на положительной полуволне зарядного напряжения. При переходе через "ноль" в начале отрицательной полуволны блок управления включает тиристор, и батарея конденсаторов разряжается на индуктивную нагрузку. Ток в цепи разряда измеряется при помощи шунта  $R_{SH}$ .

Модуль управления режимом работы (рис. 1б) предназначен для переключения генератора в требуемый режим работы. Его работа заключается в коммутации сигнала запуска, пришедшего с ПК и сигнала запуска, пришедшего с модуля синхронизации. Тот или другой сигнал подается на схему управления тиристорным ключом.

Схема питается от силового трансформатора T1. Напряжение питания выпрямляется с помощью диода VD1 и стабилизируется последовательно включенными интегральными стабилизаторами серии кр142ен. Такая компоновка обеспечивает питание схемы +5В при изме-

нении напряжения на входе силового трансформатора в диапазоне 130–230 В.

Для управления работой НГИТ с помощью ПК составлена программа, алгоритм которой приведен на рис. 3.

Управление программой осуществляется как непосредственно с компьютера, так и с панели управления НГИТ. Кнопка "пуск" на панели управления генератора (рис. 4) и на экране монитора дублируют друг друга. НГИТ работает в двух режимах: непрерывной генерации импульсов (без контроллера импульсов), генерация заранее заданного количества импульсов или их неограниченная генерация с подсчетом до ручной остановки. Программа позволяет контролировать количество импульсов. Предусмотрено два режима работы контроллера: в окне количества импульсов на экране монитора задан "ноль" – по нажатию какой-либо из кнопок "пуск" программа инициирует импульсы и ведет их подсчет, пока не нажата кнопка "пуск" повторно; в окне количества импульсов на экране монитора задано целое положительное число – программа инициирует заданное количество импульсов. В случае необходимости работу можно прервать нажатием кнопки "пуск" повторно.

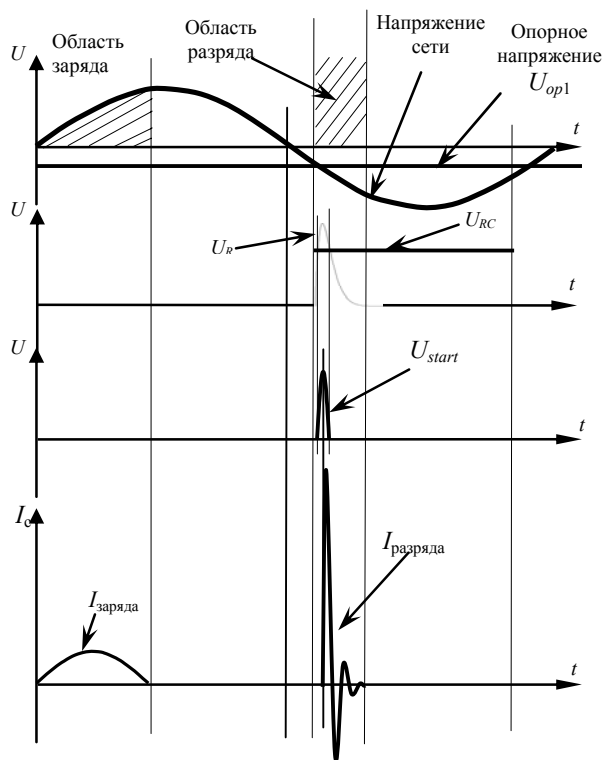


Рис. 2. Эпюры токов и напряжений работы НГИТ

На рис. 4 представлена фотография внешнего вида НГИТ.

Разработанный НГИТ генерирует импульсы тока в широком частотном диапазоне 1 – 50 кГц. Собственные параметры НГИТ следующие: емкость конденсаторной батареи  $C_c = 29$  мкФ, индуктивность разрядного контура  $L_c = 300$  нГн, активное сопротивление разрядного контура  $R_c = 0,027$  Ом, частота разрядного тока  $f_c = 50$  кГц, декремент затухания  $\beta = 0,14$ , максимальное значение разрядного тока  $I_m = 3,5$  кА напряжение заряда батареи конденсаторов  $U_c = 250 - 500$  В.

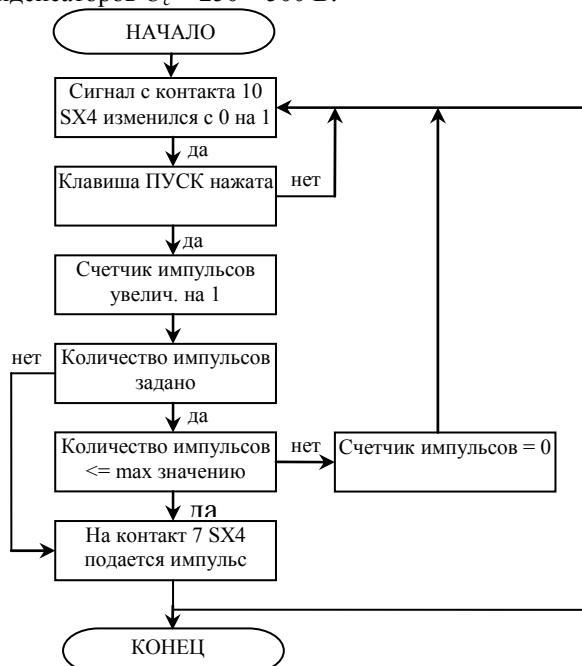


Рис. 3. Алгоритм программы управления режимами работы НГИТ

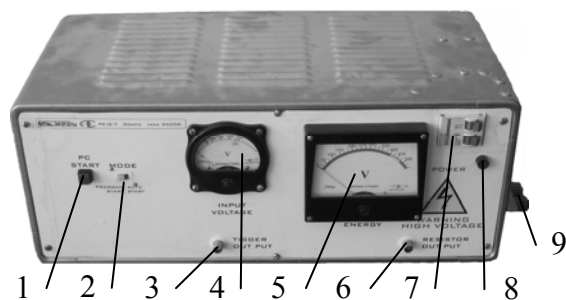


Рис. 4. Внешний вид НГИТ и схема расположения приборов на его лицевой панели (1 – кнопка "пуск" в режиме управления счетчиком импульсов; 2 - кнопка выбора режима работы (непрерывный или управляемый счетчиком импульсов); 3 – разъем синхронизирующего импульса для запуска осциллографа; 4 – вольтметр для измерения напряжения питания НГИТ; 5 – вольтметр для измерения напряжения заряда батареи конденсаторов; 6 – разъем подключения осциллографа для регистрации напряжения с шунта; 7 – автоматы включения прибора; 8 – лампа индикации включения прибора; 9 – выводы для подключения согласующих устройств и нагрузки)

Применение поясов Роговского для измерения параметров разрядного тока в широком частотном диапазоне приводит к усложнению измерительного тракта и повышению погрешности измерений [7], поэтому был изготовлен коаксиальный шунт из нихромовой фольги толщиной 0,1 мм [8], включенный в разрядную цепь. Сопротивление шунта 0,005 Ом.

Для моделирования электромагнитных процессов в широком частотном диапазоне при малоиндуктивной нагрузке в НГИТ используются согласующие трансформаторы, подключаемые к его выводам (поз 9 на рис. 5). В известных низковольтных генераторах [2-4] регулировка частоты разрядного тока осуществлялась включением различного числа конденсаторов емкостного накопителя энергии.

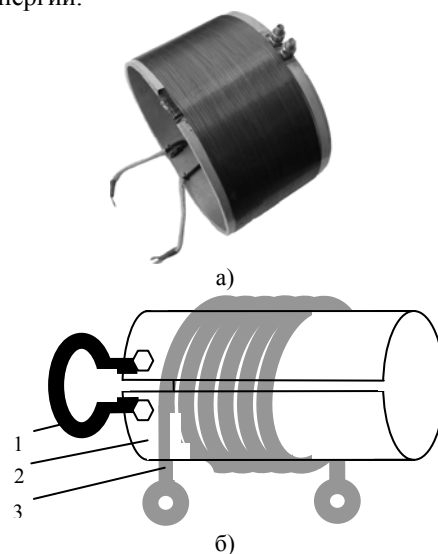


Рис. 5. Цилиндрический согласующий трансформатор: а) внешний вид; б) схематическое изображение (1-нагрузка (исследуемая индукторная система), 2-вторичная обмотка согласующего трансформатора, 3-первичная обмотка согласующего трансформатора)

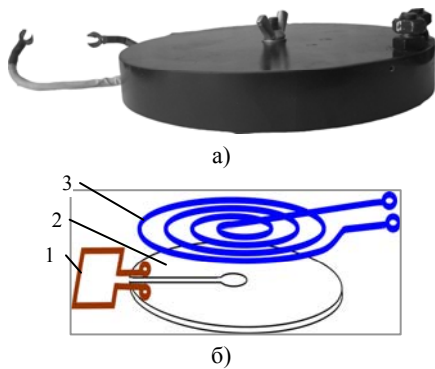


Рис. 6. Внешний вид и схематическое изображение плоского согласующего трансформатора (1-нагрузка (исследуемая индукторная система), 2-вторичная обмотка согласующего трансформатора, 3-первичная обмотка согласующего трансформатора)

Согласующий трансформатор представляет собой воздушный трансформатор, первичная обмотка которого выполнена в виде многовитковой спирали, а вторичная – имеет вид разрезного витка [9]. Рассчитаны по методике работы [10] и созданы два типа согласующих трансформаторов: цилиндрический (рис. 5) с диаметром 225 мм и длиной 140 мм, первичная обмотка которого содержит 60 витков медного провода диаметром 0,5 мм, и плоский (рис. 6) с диаметром 215 мм и высотой 30 мм, первичная обмотка которого состоит из 12 витков медного провода диаметром 4 мм. Первичные обмотки трансформаторов имеют несколько отводов, что позволяет достаточно просто изменять дискретно частоту и амплитуду разрядного тока НГИТ при проведении экспериментов.

#### ВЫВОДЫ

1. Созданный НГИТ позволяет проводить исследование распределения напряженности магнитного поля в индукторных системах в широком диапазоне частот разрядного тока и достаточной для качественных измерений амплитудой сигнала.

2. Встроенные приборы позволяют контролировать основные рабочие параметры НГИТ.

3. Применение согласующих трансформаторов различной геометрии и параметров позволяет получить любую необходимую частоту разрядного тока в заданном частотном диапазоне.

4. Режим непрерывной генерации импульсов позволяет получить устойчивую картину сигнала с шунта или индукционного преобразователя на экране осциллографа, что облегчает исследование топологии магнитного поля индукторных систем.

5. Встроенный интерфейс управления генератором с помощью ПК позволяет использовать НГИТ в измерительном комплексе с автоматическим перемещением индукционного преобразователя для снятия топологии магнитного поля индукторных систем.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Распределение переменного магнитного поля в массивных одновитковых катушках / Б.Г. Сафронов, В.А. Чураев, Ю.С. Азовский и др. // Приборы и техника эксперимента. – 1961. - №3. – С. 133–138.
- [2] Магнитное поле концентратора с короткой деталью/ Ю.В. Батыгин, В.И. Коган, Е.В. Токарев и др. // Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт. – 1974. - №4. – С. 112–116.
- [3] Баранов М.И., Белый И.В., Хименко Л.Т. Эквивалентные электрические параметры коаксиальных систем различной формы с однородным азимутальным магнитным полем в зазоре // Теоретическая электротехника. – 1976. – Вып. 20. – С. 67–74.
- [4] Золотых В.И., Михайлов В.М. Низковольтный генератор импульсных токов для моделирования электромагнитных процессов // Изв. вузов. Электромеханика. – 1978. – №11. – С. 1251–1253.
- [5] Ушаков И.И., Ушаков В.Я. Получение импульсов магнитного поля непосредственно от сети переменного тока // Приборы и техника эксперимента. – 1972. - №4. – С. 203–205.
- [6] Батыгин Ю.В., Лавинский В.И., Чаплыгин Е.А. Особенности токов индуцированных низкочастотным полем одновиткового соленоида в плоских листовых металлах // Слектротехніка і електромеханіка. – 2005. - №3. – С. 69-73.
- [7] Окунь И.З. Измерение разрядных токов поясами Роговского // Приборы и техника эксперимента. – 1968. - №6. – С. 120–126.
- [8] Осмоловский С.Р., Ушаков И.И., Краев Ю.В. Трубочатый шунт из манганина для измерения больших импульсов тока // Измерительная техника. – 1971. – С. 41–42.
- [9] Кнопфель Г. Сверхсильные импульсные магнитные поля. – М.: Мир, 1972. – 392 с.
- [10] Вдовин С.С. Проектирование импульсных трансформаторов. – 2-е изд., перераб. и доп. - Л.: Энергия, 1991. – 208 с.

Поступила 6.04.2007