

## ГЕНЕРАТОР ДЛЯ ФИЗИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ИМПУЛЬСНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ

Борцов А.В.

Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт "Молния"  
Национального технического университета "Харьковский политехнический институт"  
Украина, 61013, Харьков, ул. Шевченко, 47, НИПКИ "Молния" НТУ "ХПИ"  
тел. (057) 70-76-183, факс (057) 70-76-183, E-mail: eft@kpi.kharkov.ua

*Розроблений і виготовлений генератор імпульсних струмів для фізичного моделювання імпульсних електромагнітних полів. При розробці генератора використані новітні досягнення в області напівпровідникової техніки і комп'ютерне моделювання електромагнітних процесів в силовому контурі генератора. Отримані нові форми імпульсів розрядного струму - аперіодичний імпульс, одна напівхвиля гармонійного імпульсу, зрізана напівхвиля гармонійного імпульсу.*

*Разработан и изготовлен генератор импульсных токов для физического моделирования импульсных электромагнитных полей. При разработке генератора использованы новейшие достижения в области полупроводниковой техники и компьютерное моделирование электромагнитных процессов в силовом контуре генератора. Получены новые формы импульсов разрядного тока – аperiodический импульс, одна полуволна гармонического импульса, срезанная полуволна гармонического импульса.*

### ВВЕДЕНИЕ

В магнитно-импульсной обработке металлов (МИОМ) задача цилиндрической заготовки может быть осуществлена при помощи внешнего индуктора [1]. При этом эффективность технологической операции повышается путем формирования срезанного импульса внешнего магнитного поля. Создание магнитно-импульсных установок, генерирующих такие импульсы, является сложной технической задачей. Поэтому исследование электромагнитного поля системы "индуктор – заготовка" в случаях срезанных импульсов удобно выполнять на модели генератора импульсных токов (ГИТ).

В данной статье описан низковольтный ГИТ, который, благодаря применению новой элементной базы и дополнительных электронных блоков, обладает улучшенными характеристиками и более широкими функциональными возможностями, чем известные [2, 3]. К ним относятся, прежде всего, формирование срезанного импульса тока в виде только первой полуволны экспоненциально затухающей синусоиды или ее части, а также создание импульсов тока с частотой до 100 кГц при амплитуде до 1 кА.

Это достигается применением новейших разработок в области полупроводниковых приборов - быстродействующих мощных высоковольтных диодов, тиристоров и транзисторов, аналоговых и цифровых микросхем [4], усовершенствованием электрической схемы и конструкции ГИТ.

### ОБЩЕЕ ОПИСАНИЕ И КОНСТРУКЦИЯ ГИТ

Функциональная схема ГИТ включает следующие основные блоки (рис. 1):

- входной контур (ВК);
- зарядный контур (ЗК);
- конденсаторная батарея (КБ);
- разрядный контур (РК);
- нагрузка (Н);
- блок управления (БУ);
- измерительный блок (ИБ).

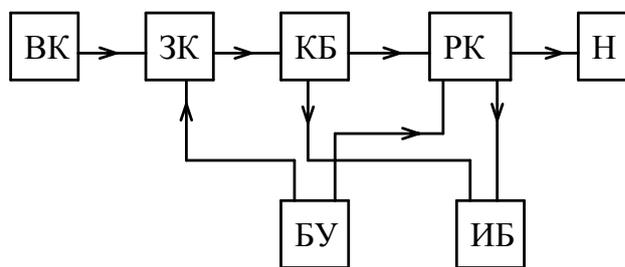


Рис.1. Функциональная схема ГИТ

Входной контур предназначен для подключения ГИТ к источнику энергии (220 В, 50 Гц) и включает в себя автомат токовой защиты, реле – пускатель и систему индикации.

Зарядный контур используется для зарядки конденсаторной батареи. Основными элементами зарядного контура являются зарядный резистор и зарядный тиристор.

В разрядном контуре формируются требуемые импульсы тока в нагрузке. РК состоит из конденсаторной батареи, разрядного тиристора, обратных диодов, измерительного шунта и клемм для подключения нагрузки.

Входной, зарядный и разрядный контуры вместе с нагрузкой образуют силовой контур ГИТ.

Блок управления и измерительный блок – составные части системы управления и измерений.

Конструктивно ГИТ выполнен на материнской плате, к которой жестко прикреплена передняя панель с органами управления, элементами индикации и измерений, клеммами для подключения нагрузки. Там же крепится блок управления в металлическом экране для защиты от электромагнитных помех.

Конденсаторная батарея С состоит из 5 бумажно-масляных конденсаторов емкостью 1 мкФ, 2 мкФ, 4 мкФ, 10 мкФ и 10 мкФ. Длительность импульса разрядного тока можно регулировать изменением емкости конденсаторной батареи.

Для уменьшения индуктивности разрядного контура и влияния скин-эффекта монтаж разрядного кон-

тура выполнен медными шинами шириной 30 мм, толщиной 0,3 мм минимальной длины. С этой же целью переключения конденсаторов и дополнительных элементов (диодов и резисторов) осуществляются отрезками таких же шин длиной 30 мм.

Сигнал импульса разрядного тока  $i(t)$  снимается с токового шунта двумя экранированными витыми парами на коаксиальный разъем и плату амплитудного амперметра. Аналогичной витой экранированной парой на плату амплитудного вольтметра подается напряжение с зажимов конденсаторной батареи.

Внешний вид ГИТ со снятым защитным кожухом показан на рис. 2.



Рис. 2. Внешний вид ГИТ (вид сверху)

Принцип работы ГИТ заключается в следующем. Во время действия положительной полуволны сетевого напряжения конденсаторная батарея заряжается до напряжения  $U_3$ . Зарядный ток ограничен зарядным резистором  $R_3$ . Величина зарядного напряжения  $U_3$  изменяется в диапазоне (0 – 300) В методом широтно-импульсного регулирования (временем включения зарядного тиристора  $VS1$ ). Так как ГИТ не имеет гальванической изоляции от питающей сети, электробезопасность при работе ГИТ обеспечивается реле – пускателем  $K1$ . Через (20 – 30) мкс после перехода сетевого напряжения через 0 тиристор  $VS1$  выключается и подается импульс управления на разрядный тиристор  $VS2$ . Начинается цикл разряда конденсаторной батареи  $C$  на индуктивную нагрузку  $L$ . Конденсаторная батарея  $C$ , разрядный тиристор  $VS2$ , измерительный шунт  $R_{ш}$  и нагрузка  $L$  постоянно включены в разрядный контур ГИТ.

В разрядном контуре ГИТ реализуются такие формы импульсов тока.

1. Экспоненциально затухающая синусоида

$$i(t) = I_0 e^{-\alpha t} \sin \omega t, \quad (1)$$

где  $I_0, \alpha, \omega$  - постоянные.

Для создания импульса (1) с помощью ключа  $SA1$  включаем диод  $VD1$ . Суммарное активное сопротивление разрядного контура  $R$  (с учетом сопротивления шунта  $R_{ш}$ ) должно соответствовать известному условию такого разряда [5]

$$R < 2 \cdot \sqrt{\frac{L}{C}}.$$

2. Аперриодический импульс

$$i(t) = I_0 (e^{-\alpha_1 t} - e^{-\alpha_2 t}), \quad (2)$$

где  $I_0, \alpha_1, \alpha_2$  - постоянные.

Для такого импульса при включенном диоде  $VD1$  необходимо выполнение условия [5]

$$R \geq 2 \cdot \sqrt{\frac{L}{C}}.$$

3. Первая полуволна зависимости (1)

$$i(t) = \begin{cases} I_0 e^{-\alpha t} \sin \omega t, & 0 \leq \omega t \leq \pi; \\ 0, & \omega t > \pi, \end{cases} \quad (3)$$

где  $I_0, \alpha, \omega$  - постоянные.

Импульс (3) получается при отключенном диоде  $VD1$  и включенной цепи  $VD2, R2$ .

4. Срезанная первая полуволна зависимости (1)

$$i(t) = \begin{cases} I_0 e^{-\alpha t} \sin \omega t, & 0 \leq \omega t \leq \omega t_c; \\ I_{0c} e^{-\alpha_c t}, & t > t_c, \end{cases} \quad (4)$$

где  $I_0, I_{0c}, \alpha, \omega, \alpha_c, t_c$  - постоянные.

Для получения импульса (4) необходимо включить диоды  $VD1$  и  $VD3$ .

Амплитуды зарядного напряжения  $U_3$  и тока в разрядном контуре  $I_m$  контролируются с помощью амплитудных вольтметра и амперметра (рис. 3 и 4).

Осциллограмму зарядного напряжения  $U_3(t)$  можно получить на экране электронного осциллографа с помощью стандартного аттенюатора 1:10, подключенного к зажимам конденсаторной батареи  $C$ .

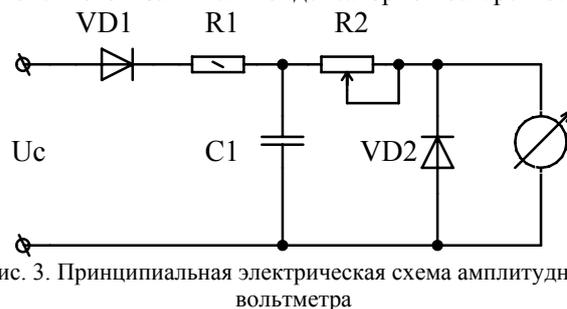


Рис. 3. Принципиальная электрическая схема амплитудного вольтметра

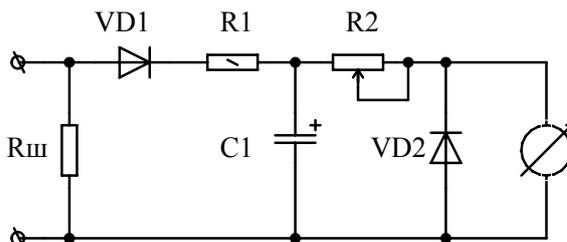


Рис. 4. Принципиальная электрическая схема амплитудного амперметра

Принципиальная электрическая схема силового контура ГИТ показана на рис.5.

Для исследования формы разрядного тока  $i(t)$  используются осциллограммы напряжения на бифилярном токовом шунте  $R_{ш}$  из нихромовой ленты. Сопротивление шунта  $R_{ш} = 10 \text{ МОМ} \pm 5\%$ .

Алгоритм работы силового контура ГИТ задается блоком управления.

Для исследования формы разрядного тока  $i(t)$  используются осциллограммы напряжения на бифилярном токовом шунте  $R_{ш}$  из нихромовой ленты. Сопротивление шунта  $R_{ш} = 10 \text{ МОМ} \pm 5\%$ .



## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ В РАЗРЯДНОМ КОНТУРЕ

Электромагнитные процессы в силовом контуре ГИТ теоретически исследованы с помощью пакета прикладных программ для ПК Electronics Work Bench Pro [6]. На рис. 7 показана расчетная модель силового контура ГИТ в среде Electronics Work Bench Pro. Расчетная модель позволяет оперативно изменять параметры разрядного контура и исследовать различные режимы работы ГИТ.

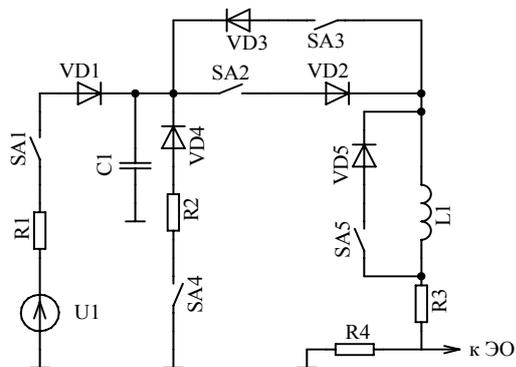


Рис. 7. Расчетная модель силового контура ГИТ

В расчетной модели зарядный и разрядный тиристоры смоделированы ключами, управляемыми по времени - SA1, SA2 и диодами VD1, VD2. Ключ SA1 замкнут во время действия положительной полуволны сетевого напряжения (0 – 10) мс, а ключ SA2 – во время действия отрицательной полуволны (10 – 20)мс. С помощью ключей SA3 – SA5 задается форма разрядного тока.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Теоретические исследования подтверждены экспериментально на изготовленном генераторе импульсных токов. На рис. 8, 9, 10, 11 представлены характерные осциллограммы импульсов тока ГИТ.

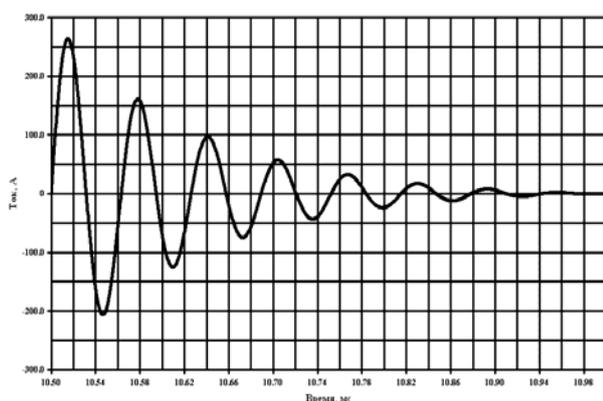


Рис. 8. Экспоненциально затухающая синусоида

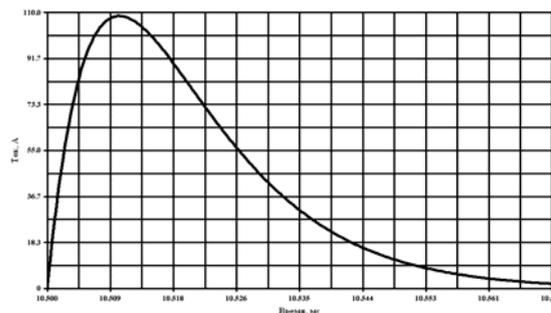


Рис. 9. Аperiodический импульс

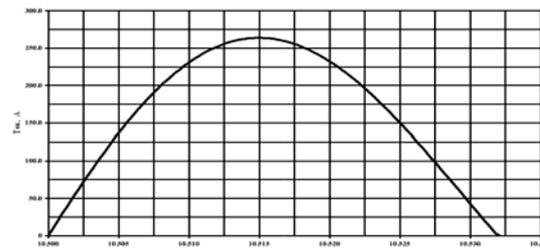


Рис. 10. Первая полуволна экспоненциально затухающей синусоиды

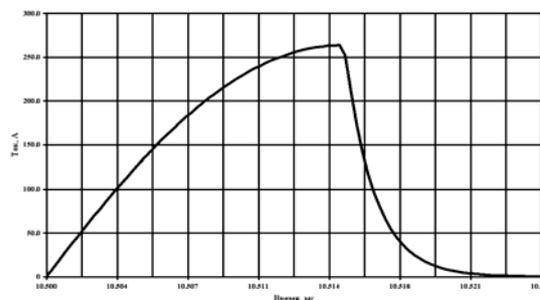


Рис. 11. Срезанная полуволна экспоненциально затухающей синусоиды

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Щеглов Б.А., Есин А.А. Раздача тонких трубчатых заготовок силами притяжения импульсного магнитного поля. // Кузнечно-штамповочное производство. – 1971. – № 4. – С. 15 – 18.
- [2] Михайлов В.М. Импульсные электромагнитные поля. – Харьков: Вища шк., 1979, - 138 с.
- [3] Бондаренко А.Ю., Сериков Г.С., Чаплыгин Е.А. Низковольтный генератор импульсов тока широкого частотного диапазона для физического моделирования. // Электротехніка і Електромеханіка. – 2007. - № 6. – С. 66 – 69.
- [4] Материалы сайта <http://www.irf.com>.
- [5] Нейман Л.Р., Демирчян К.С. Теоретические основы электротехники: В 2-х т. Учебник для вузов. Том 1. – 3-е изд., перераб. и доп. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1981. – 536с., ил.
- [5] Карлашук В.И. Электронная лаборатория на IBM PC. Программа Electronics Work Bench и ее применение. – М.: "Солон – Р", 2001. - 726 с.

Поступила 26.07.2007