

Как следует из представленных данных, после облучения ионами криптона с энергией 145 МэВ и флюенсом  $10^{12}$  и  $5 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-2}$  в гетероэпитаксиальных пленках InSb на монокристаллических пластинах GaAs возникают значительные макро- и микронапряжения с ростом величины флюенса ионов криптона, достигающих, соответственно, значений 4 и 0,1 ГПа. Отличия температуры осаждения и структурные особенности исходных гетероэпитаксиальных пленок не влияют на динамику накопления микро- и макро напряжений в пленках под воздействием ионов криптона. Причиной таких возникающих высоких значений макро- и микронапряжений, а также отсутствия динамики с ростом флюенса облучения криптоном является формирование объемных трековых дефектов ионов криптона в пленке антимонида индия.

#### Л и т е р а т у р а

1. Болванович, Э. И. Полупроводниковые пленки и миниатюрные измерительные преобразователи / Э. И. Болванович. – Минск : Наука и техника, 1981. – 214 с.
2. Радиационная стабильность датчиков, изготовленных на основе n-InSb-i-GaAs / Е. А. Колесникова [и др.] // Взаимодействие излучений с твердым телом : материалы 14-й Междунар. конф., Минск, 21–24 сент. 2021 г. / Белорус. гос. ун-т. – Минск, 2021. – С. 530–533.
3. Effect of explosive thermal evaporation conditions on the phase composition, crystallite orientation, electrical and magnetic properties of heteroepitaxial InSb films on semi-insulating GaAs (100) / V. V. Uglov [et al.] // High Temperature Material Processes. – 2021. – Vol. 25 (1). – P. 71–80.
4. Heteroepitaxy of Semiconductors: Theory, Growth, and Characterization. Second edition / J. E. Ayer [et al.]. – New York : CRC Press, 2017. – 627 p.

## ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРАММЫ NI MULTISIM ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ РЕГУЛЯТОРОВ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ

Д. Ю. Мельников

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

Научный руководитель М. Н. Погуляев

*В программной среде NI Multisim представлены имитационные модели аналоговых регуляторов различного типа, используемых в системах управления электроприводами. Приведены результаты исследований регуляторов на имитационных моделях.*

**Ключевые слова:** имитационная модель, регулятор, система управления, преобразователь, электропривод.

Регулируемый электропривод сегодня является основным видом автоматизированного электропривода. Системы автоматического управления, применяемые в электроприводах и промышленных установках, должны обеспечить значение самых разных величин с заданной точностью. Основным элементом, позволяющим выполнить указанную функцию, является регулятор. Регулируя параметры преобразованной электрической энергии (частоту, напряжение, форму и длительность импульсов), удастся получить требуемые для регулируемого привода механические и динамические характеристики. В связи с этим правильный выбор регулятора и его параметров является актуальной задачей. Проведение исследований работы различных электромеханических устройств, не создавая физической модели, наиболее удобно проводить на имитационных моделях [1, 2]. Для этих целей разработано достаточно много различных программ.

## 22 Секция IV. Радиоэлектроника, автоматизация, телекоммуникации, связь

Одной из наиболее простых и легко осваиваемых программ, содержащих блоки элементов для моделирования электрических, электронных и цифровых устройств, является программа Multisim компании National Instruments [3].

Целью работы является разработка имитационных моделей аналоговых регуляторов в программной среде NI Multisim. С их помощью можно провести исследование наиболее широко применяемых регуляторов: интегрирующего (И-регулятор), пропорционально-интегрирующего (ПИ-регулятор) и пропорционально-интегрально-дифференцирующего (ПИД-регулятор). Для управления параметрами (напряжением, частотой) полупроводниковых преобразователей, входящих в состав регулируемого электропривода, служат внутренние контуры автоматического регулирования – это регуляторы тока, электродвижущей силы, тока возбуждения и т. д.

Регулятор осуществляет преобразование управляющего сигнала в соответствии с математической операцией, требуемой по условиям работы системы автоматического управления или регулирования.

Процедура создания имитационной модели сводится к следующим действиям:

1) формируется электрическая схема анализируемого устройства с помощью встроенного редактора, для этого необходимые компоненты из окна выбранного раздела копируются в рабочую область и соединяются друг с другом с помощью проводников, устанавливаются расчетные значения параметров компонентов;

2) к схеме подключаются необходимые приборы и инструменты: генератор, осциллограф, логический анализатор, пробник;

3) работа схемы активируется нажатием на виртуальный «выключатель питания»;

4) результаты анализа, например, осциллограмма периодического процесса или частотная характеристика устройства могут быть сохранены для документирования.

На рис. 1 для примера представлена модель ПИ-регулятора, выполненная на основе схемы регулятора с функциональным потенциометром. Особенностью данной модели является наличие в ней контрольно-измерительных приборов, по внешнему виду, органов управления и характеристик, максимально приближенных к их физическим аналогам. На рис. 2 приведены характеристики и диаграммы работы исследуемого ПИ-регулятора.

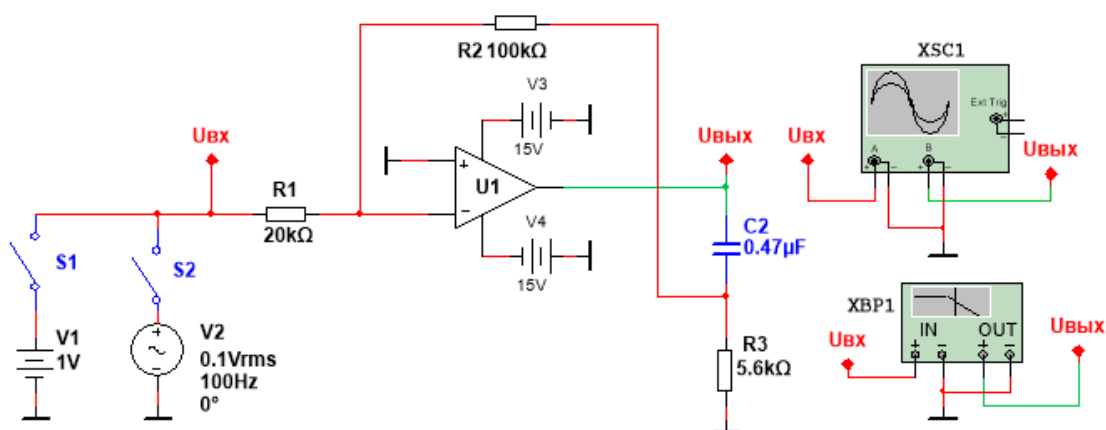


Рис. 1. Модель исследуемого пропорционально-интегрирующего регулятора в программе NI Multisim

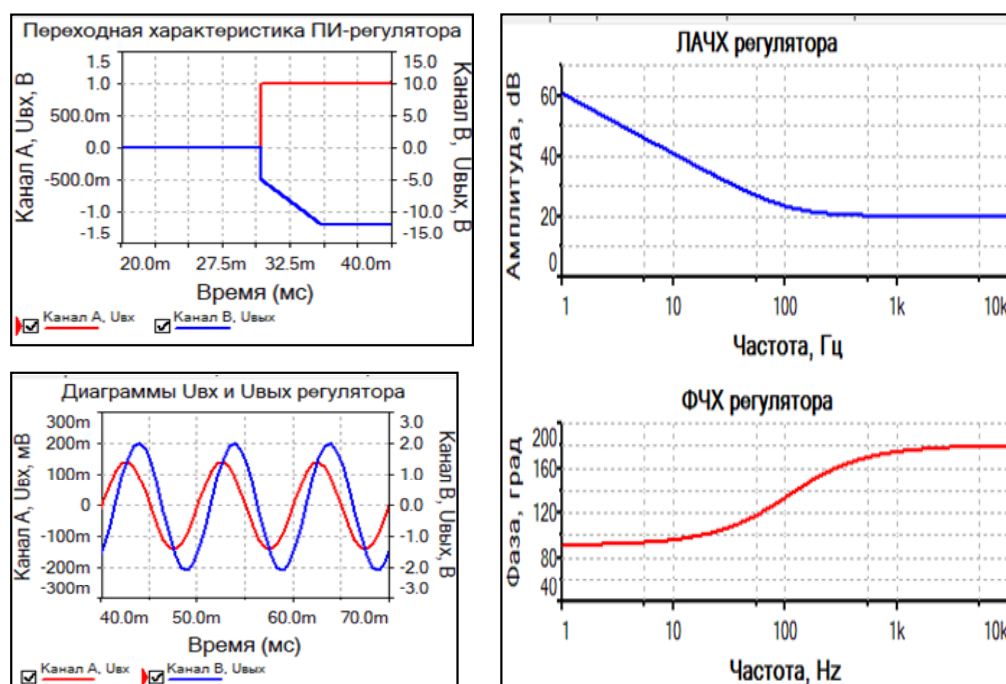


Рис. 2. Характеристики и диаграммы работы исследуемого пропорционально-интегрирующего регулятора

Были получены логарифмическая амплитудно-частотная и фазочастотная характеристики, диаграммы входного и выходного напряжений, а также переходная характеристика регулятора при единичном воздействии на его вход.

Среда Ni Multisim позволяет проводить сложные эксперименты, а также позволяет с небольшими затратами труда осуществлять замену компонентов схем, изменять значения их параметров, прогнозировать и отображать результаты моделирования. Модель также позволяет изучать процессы, протекающие в течение короткого промежутка времени, в частности переходные процессы. Исследование таких процессов традиционными способами представляет значительные трудности. Аналогично были разработаны модели и остальных регуляторов.

Созданные имитационные модели регуляторов позволяют детально производить анализ статических и динамических процессов, протекающих в их схемах. Верификация моделей была проведена на стендах в лаборатории кафедры «Автоматизированный электропривод» ГГТУ им. П. О. Сухого. Различие результатов моделирования и экспериментальных исследований не превышает 4–5%, что подтверждает адекватность представленных моделей.

#### Литература

1. Simulation model of an asynchronous machine with wound rotor in matlab simulink / M. Pогоуляев [et al.] // SUSE-2021 : E3S Web of Conferences, Kazan, 18–20 Feb. 2021 / Kazan Federal University. – Kazan, 2021. – Vol. 288. – Article 0110.
2. Погуляев, М. Н. Имитационная модель асинхронной машины с фазным ротором и Matlab Simulink / М. Н. Погуляев, И. В. Дорощенко // Вестн. Гомел. гос. техн. ун-та им. П. О. Сухого. – 2021. – № 2. – С. 99–106.
3. Введение в Multisim. Electronics Workbench Corporation. – Режим доступа: <http://www.electronicworkbench.com>.