

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ УНИТАРНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ РАДИО

ТРУДЫ НИИР

СБОРНИК НАУЧНЫХ СТАТЕЙ

№4, 2014

WWW.NIIR.RU



О ПОВЫШЕНИИ
ДОСТОВЕРНОСТИ
ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЯЗЫКА
АУДИОСООБЩЕНИЯ

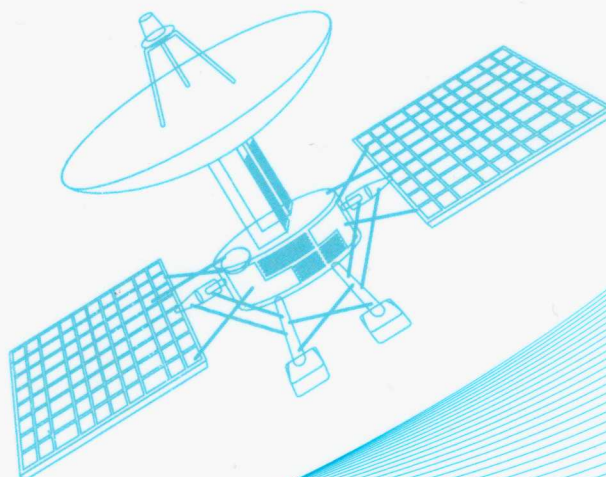
Стр. 2

ТЕХНИЧЕСКИЕ РИСКИ ПРИ
КООРДИНАЦИИ
ГЕОСТАЦИОНАРНЫХ
СПУТНИКОВЫХ АНТЕНН

Стр. 8

АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ
ЦИФРОВОГО
ТЕЛЕВИЗИОННОГО
ВЕЩАНИЯ В СОСЕДНИХ
КАНАЛАХ

Стр. 23



ISSN 0134-5583

ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ · ТЕОРИЯ И ТЕХНИКА РАДИОСВЯЗИ
ТЕЛЕВИЗИОННОЕ ВЕЩАНИЕ · СПУТНИКОВЫЕ СИСТЕМЫ СВЯЗИ И ВЕЩАНИЯ

**Главный редактор/
В.В. Бутенко,
доктор тех. наук**

Зам. главного редактора/
А.П. Назаренко,
канд. тех. наук

Редакционная коллегия/
А.С. Багдасарян, д.т.н.
академик НАН РА
Л.Я. Кантор, д.т.н.
М.И. Кривошеев, д.т.н.
М.Г. Локшин, д.т.н.
П.А. Михайлов, к.т.н.
В.К. Сарьян, д.т.н.,
академик НАН РА
М.Ю. Сподобаев, к.т.н.
Ю.А. Чернов, д.т.н.
В.В. Юдин, д.т.н.

Подписка на сайте
www.niir.ru

По вопросам размещения
публикаций пишите на ori@niir.ru

Труды НИИР : сб. ст. — М. :
НИИР. 2014. № 4. — 80 с.

В сборнике рассматриваются
научные проблемы и
результаты исследований
в области спутниковой
связи, электромагнитной
совместимости радиосредств,
антенно-волноводной техники,
телевидения, построения
аппаратуры связи.
Издается для инженерно-
технических работников
радиосвязи, телевизионного и
звукового вещания.
Входит в Перечень ВАК
ведущих рецензируемых
научных журналов и изданий с
2010 г.

© Ордена Трудового Красного Знамени
Федеральное государственное предприятие
Научно-исследовательский институт радио.

Свидетельство о регистрации
ПИ №ФС77-28970 от 19.07.2007

СОДЕРЖАНИЕ

Инфокоммуникационные технологии

- И.А. Шалимов, М.А. Бессонов, А.И. Костенко, Д.В. Босомыкин **2**
О повышении достоверности определения языка аудиосообщения на
основе просодической классификации

Спутниковые системы связи и вещания

- Н.А. Хохлачев **8**
Оценка технических рисков при проведении координации
геостационарных спутниковых сетей
- А.М. Сомов, К.М. Волгаткин **17**
Внеосевая зеркальная многолучевая бортовая антенна с
разнесенными облучателями

Телевизионное вещание

- И.Н. Красносельский **23**
Анализ особенностей цифрового телевизионного вещания в соседних
каналах

Теория и техника радиосвязи

- А.Н. Тихонов, С.У. Увайсов, И.А. Иванов, С.С. Увайсова **32**
Диагностическая модель стабилитрона для исследования
радиоэлектронных средств в условиях неисправностей
- Н.В. Лемешко, С.С. Захарова **37**
Расчет излучений типовых излучающих элементов печатных узлов при
численном анализе помехоэмиссии
- В.С. Ефремов, И.В. Ильичев **43**
Мощный емкостной преобразователь напряжения
- А.С. Сивков, Ю.М. Сподобаев **49**
Принципы моделирования и расчеты контурных диаграмм
направленности антенн современными программными комплексами
- А.П. Воронцов **54**
Моделирование и оценка пространственного и пространственно-
временного адаптивного алгоритмов при воздействии помехи
- А.А. Лосев **66**
Проблемы линеаризации усилителей мощности
по методу дефазирования

ТЕОРИЯ И ТЕХНИКА РАДИОСВЯЗИ

УДК 621.387.322.2

ДИАГНОСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СТАБИЛИТРОНА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ В УСЛОВИЯХ НЕИСПРАВНОСТЕЙ

А.Н. Тихонов, акад. РАО, НИУ ВШЭ, д.т.н., atikhonov@hse.ru.**С.У. Увайсов**, профессор, НИУ ВШЭ, д.т.н., s.uvaysov@hse.ru.**И.А. Иванов**, ст. преподаватель, НИУ ВШЭ, к.т.н., i.ivanov@hse.ru.**С.С. Увайсова**, студентка МГТУ им. Н. Э. Баумана, uvay@yandex.ru.

Аннотация: работа посвящена обоснованию необходимости разработки оригинальной математической модели стабилизатора, которая позволяет проводить диагностическое моделирование радиоэлектронных средств в широком диапазоне неисправностей. Предлагаемая модель может быть включена в состав базы математических моделей комплектующих элементов современных компьютерных программ схемотехнического анализа. Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант №14-07-00414).

Ключевые слова: радиоэлектронные средства, диагностическое моделирование, математическая модель, стабилизатор.

Введение. Существенно возросшая сложность радиоэлектронных (РЭ) систем, расширение круга решаемых задач и повышение требований к ним вызвали необходимость совершенствования средств технического диагностирования и обслуживания устройств вторичного электропитания (УВЭП), среди которых отдельное место занимают импульсные УВЭП.

Диагностирование технического состояния УВЭП в процессе производства и эксплуатации включает в себя множество трудоемких операций, связанных с контролем различных параметров напряжения и тока. Отклонения контролируемых параметров УВЭП от требуемых значений оказывают существенное влияние на качество функционирования РЭ систем.

С целью повышения эффективности контроля и диагностирования УВЭП еще на стадиях проектирования необходимо обеспечить контролепригодность [1, 2]. Методика контролепригодного проектирования детально описана в [3, 4].

Процедура обеспечения контролепригодности подразумевает проведение диагностического моделирования, которое для современных импульсных УВЭП затруднено отсутствием адекватных математических моделей ряда элементов и функциональных узлов (ФУ).

При автоматизированном проектировании импульсный характер работы устройства обуславливает необходимость моделирования УВЭП в динамическом режиме, что требует значительных временных затрат, связанных с большой размерностью задачи.

Анализ схемотехнических решений УВЭП показал, что наибольшее количество узлов в математическую модель устройства вторичного электропитания вносят цепи управления, а критические режимы работы элементов чаще всего возникают в силовой части УВЭП. Рассмотрены математические модели электрорадиоэлементов (ЭРЭ) и макромоделей функциональных узлов с точки зрения правомерности их применения для: 1) схемотехнического анализа; 2) построения диагностической модели УВЭП. Среди полученных результатов можно отметить, что для получения опорного напряжения в УВЭП, как правило, используют стабилизаторы. Применяемые модели

стабилитрона приводят к переполнению разрядной сетки ЭВМ при диагностическом моделировании из-за наличия экспоненциальной составляющей в вольт-амперной характеристике. Использовать в качестве модели стабилитрона цепь из последовательно соединенных идеального источника напряжения и дифференциального сопротивления при диагностическом моделировании также нельзя, т.к. данная модель адекватна реальной лишь в рабочей точке.

Новая модель стабилитрона. В известных моделях стабилитрона при прямом включении и напряжениях, меньших напряжения стабилизации, вольт-амперная характеристика стабилитрона аппроксимируется функцией вида

$$I = I_T \cdot (e^{\frac{U}{m\varphi_T}} - 1), \quad (1)$$

где I_T – тепловой ток p - n -перехода;

m – коэффициент, зависящий от материала и принимающий, как правило, значения от 1 до 2;

φ_T – температурный потенциал перехода, причем

$$\varphi_T = \frac{k \cdot T}{e}, \quad (2)$$

где k – постоянная Больцмана;

T – температура перехода в Кельвинах;

e – заряд электрона.

Аппроксимация вольт-амперной характеристики стабилитрона выражением (1) уже при нескольких вольтах прямого и обратного падений напряжения приводит к переполнению разрядной сетки ЭВМ из-за малости значений $m\varphi_T$.

Поэтому участки характеристики (рис. 1) между точками В (соответствующей напряжению стабилизации) и С (соответствующей началу координат), а также правее точки D, где дифференциальная проводимость перехода равна прямой проводимости Y_m стабилитрона, необходимо заменить прямыми. Как известно, обратная ветвь стабилитрона при напряжениях, превышающих напряжение стабилизации, также близка к прямой с углом наклона, определяемым дифференциальным сопротивлением $R_{дифф}$ p - n -перехода. Для выполнения условия непрерывности производной вольт-амперной характеристики участок АВ предлагается аппроксимировать кривой второго порядка.

Таким образом, предлагается модель стабилитрона в виде нелинейного сопротивления, вольт-амперная характеристика которого аппроксимирована пятью функциями, «сшитыми» с соблюдением требований непрерывности характеристики и ее производной.

Ниже приведены виды указанных функций в соответствии с их нумерацией на рис. 1.

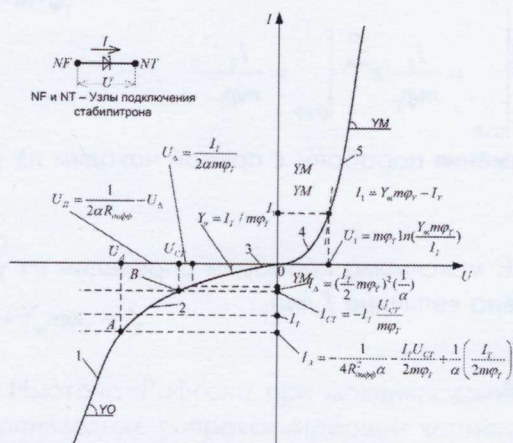


Рис. 1. Кусочно-нелинейная аппроксимация вольт-амперной характеристики стабилитрона

$$\text{«1»}: I = \frac{1}{R_{48DD}} \cdot U,$$

где $R_{\text{дифф}}$ – дифференциальное сопротивление стабилитрона;
 I и U – соответственно ток и напряжение на стабилитроне;

$$\text{«2»}: I = -\alpha \cdot U^2$$

где α – некоторый коэффициент размерности $[A/B^2]$;

$$\text{«3»}: I = Y_n U$$

где Y_n – коэффициент, характеризующий наклон прямой на участке ВС с размерностью проводимости;

$$\text{«4»}: I = I_T \cdot (e^{\frac{U}{m\varphi_T}} - 1),$$

где I_T , m и φ_T – параметры, описанные выше;

$$\text{«5»}: I = Y_m \cdot U,$$

где Y_m – максимальная проводимость p - n -перехода в прямом включении.

Найдем координаты (U, I) точки D «сшивания» экспоненты и прямой с углом наклона, равным Y_m (рис. 1). Дифференциальная проводимость стабилитрона в прямом включении в точке D равна производной (1) в данной точке по напряжению U :

$$\frac{dI}{dU} = \frac{I_T}{m\varphi_T} e^{\frac{U}{m\varphi_T}}. \quad (3)$$

Так как $\left. \frac{dI}{dU} \right|_{U=U_1} = Y_m$, то можем записать, что

$$Y_m = \frac{I_T}{m\varphi_T} e^{\frac{U_1}{m\varphi_T}}. \quad (4)$$

Логарифмируя выражение (4), найдем U_1 :

$$U_1 = m\varphi_T \ln\left(\frac{Y_m m\varphi_T}{I_T}\right). \quad (5)$$

Подставив (5) в (1) получим значение I_1 :

$$I_1 = I_T (e^{\frac{m\varphi_T \ln(Y_m m\varphi_T / I_T)}{m\varphi_T}} - 1) = I_T \left(\frac{Y_m m\varphi_T}{I_T} - 1\right) = Y_m m\varphi_T - I_T. \quad (6)$$

Проводимость Y_n в обратной ветви найдем из условия гладкости функции в точке С. Другими словами, Y_n должна равняться дифференциальной проводимости или производной функции (1) в точке С.

$$Y_n = \left. \frac{dI}{dU} \right|_{U=0} = \left. \frac{d[I_T \cdot (e^{\frac{U}{m\varphi_T}} - 1)]}{dU} \right|_{U=0} = \left. \frac{I_T}{m\varphi_T} e^{\frac{U}{m\varphi_T}} \right|_{U=0} = \frac{I_T}{m\varphi_T}. \quad (7)$$

Координаты точки В сопряжения параболы с прямой находим из условия, что $U = \lambda - U_{CT}$:

$$I_{CT} = Y_n U|_{U=U_{CT}} = -\frac{I_T}{m\varphi_T} U_{CT}. \quad (8)$$

Отклонения U_Δ и I_Δ точки Е максимума параболы определим из условия, что в точке В производная функции $I = -\alpha U$ равна величине $I_T/m\varphi_T$:

$$\frac{dT}{dU} = \frac{d(-\alpha U^2)}{dU} = -2\alpha U = \frac{I_T}{m\varphi_T}. \quad (9)$$

Тогда

$$U_\Delta = \left| -\frac{I_T}{2\alpha \cdot m \cdot \varphi_T} \right| = \frac{I_T}{2\alpha \cdot m \cdot \varphi_T}$$

и, соответственно,

$$I_A = \alpha(U_A)^2 = \alpha\left(\frac{I_T}{2\alpha \cdot m \cdot \varphi_T}\right)^2 = \frac{1}{\alpha} \left(\frac{I_T}{2 \cdot m \cdot \varphi_T}\right)^2. \quad (10)$$

В точке А парабола сопрягается с прямой ветвью стабилизации с углом наклона, который определяется дифференциальным сопротивлением $R_{\text{дифф}}$ стабилитрона.

Как видно из рис. 1, $U_A = U_{CT} + U_{II}$. Найдем U_{II} из условия, что

$$\left. \frac{dI}{dU} \right|_{U=U_T} = \frac{1}{R_{\text{дифф}}}, \quad (11)$$

$$\frac{dI}{dU} = \frac{d(-\alpha U^2)}{dU} = -2\alpha U = \frac{1}{R_{\text{дифф}}}.$$

Тогда

$$U_{II} = \frac{1}{2\alpha R_{\text{дифф}}} - U_A = \frac{1}{2\alpha R_{\text{дифф}}} - \frac{I_T}{2\alpha \cdot m \cdot \varphi_T} \quad (12)$$

и, соответственно,

$$U_A = U_{CT} + \frac{1}{2\alpha R_{\text{дифф}}} - \frac{I_T}{2\alpha \cdot m \cdot \varphi_T};$$

$$I_A = -\frac{I_T}{4\alpha \cdot R_{\text{дифф}}^2} - \frac{I_T U_{CT}}{m \cdot \varphi_T} + \frac{1}{\alpha} \left(\frac{I_T}{2 \cdot m \cdot \varphi_T}\right)^2 \quad (13)$$

Таким образом, используя полученные значения координат точек «сшивания» выбранных функций аппроксимации, можем окончательно написать выражения для модели стабилитрона в виде системы уравнений:

$$I = \frac{1}{R_{\text{дифф}}} \left(U + U_{CT} + \frac{1}{2\alpha R_{\text{дифф}}} - \frac{I_T}{2\alpha \cdot m \cdot \varphi_T} \right) - \frac{I_T}{4\alpha \cdot R_{\text{дифф}}^2} - \frac{I_T U_{CT}}{m \cdot \varphi_T} + \frac{1}{\alpha} \left(\frac{I_T}{2 \cdot m \cdot \varphi_T}\right)^2 \quad (14)$$

$$\text{при } U \leq -U_{CT} - \frac{1}{2\alpha R_{\text{дифф}}} + \frac{I_T}{2\alpha \cdot m \cdot \varphi_T};$$

$$I = -\alpha \left(U + U_{CT} - \frac{I_T}{2\alpha \cdot m \cdot \varphi_T} \right)^2 - \frac{I_T U_{CT}}{m \cdot \varphi_T} + \frac{1}{\alpha} \left(\frac{I_T}{2 \cdot m \cdot \varphi_T}\right)^2 \quad (15)$$

$$\text{при } -U_{CT} - \frac{1}{2\alpha R_{\text{дифф}}} + \frac{I_T}{2\alpha \cdot m \cdot \varphi_T} \leq U \leq -U_{CT};$$

$$I = \frac{I_T U_{CT}}{m \cdot \varphi_T} \quad (16)$$

$$\text{при } -U_{CT} \leq U \leq 0;$$

$$I = I_T \cdot \left(e^{\frac{U}{m\varphi_T}} - 1 \right) \quad (17)$$

$$\text{при } 0 \leq U \leq m\varphi_T \ln\left(\frac{Y_m m\varphi_T}{I_T}\right);$$

$$I = Y_m \left[U - m\varphi_T \ln\left(\frac{Y_m m\varphi_T}{I_T}\right) \right] + Y_m m\varphi_T + I_T \quad (18)$$

$$\text{при } U \geq UI.$$

Для реализации метода Ньютона–Рафсона при моделировании нелинейной схемы необходимо знать также первые производные аппроксимирующих характеристик на каждом участке:

$$\frac{dI}{dU} = \frac{1}{R_{\text{дифф}}} \quad (19)$$

$$\text{при } U \leq -U_{\text{ст}} - \frac{1}{2\alpha R_{\text{дифф}}} + \frac{I_T}{2\alpha \cdot m \cdot \varphi_T};$$

$$\frac{dI}{dU} = -2\alpha(U + U_{\text{ст}} - \frac{I_T}{2\alpha \cdot m \cdot \varphi_T}) \quad (20)$$

$$\text{при } -U_{\text{ст}} - \frac{1}{2\alpha R_{\text{дифф}}} + \frac{I_T}{2\alpha \cdot m \cdot \varphi_T} \leq U \leq -U_{\text{ст}};$$

$$\frac{dI}{dU} = \frac{I_T}{m\varphi_T} \quad (21)$$

$$\text{при } -U_{\text{ст}} \leq U \leq 0;$$

$$\frac{dI}{dU} = \frac{I_T}{m\varphi_T} e^{\frac{U}{m\varphi_T}} \quad (22)$$

$$\text{при } 0 \leq U \leq m\varphi_T \ln\left(\frac{Y_m m\varphi_T}{I_T}\right);$$

$$\frac{dI}{dU} = Y_m \quad (23)$$

при $U \geq U_1$.

Подставив в выражения (14-18) и (19-23) значения напряжений в точках «сопряжения», можно убедиться, что предлагаемая модель удовлетворяет условиям непрерывности аппроксимирующей функции и ее производной.

Заключение. Разработанная модель стабилитрона обладает следующими преимуществами:

- модель достаточно точна как в рабочем диапазоне, так и в диапазоне тестовых воздействий при диагностическом моделировании УВЭП. Погрешность воспроизведения ВАХ в 5–10 раз меньше технологического разброса характеристики. Вместе с тем модель проста для расчетов;
- ВАХ модели учитывает особенности работы программ расчета статического режима, а также нелинейной динамики;
- характеристика проходит через начало координат и не имеет скачков функции и производной;
- модель позволяет вести итерационное диагностическое моделирование УВЭП, не приводя к неопределенностям вида деления на ноль, а также исключает возможность переполнения разрядной сетки ЭВМ;
- модель пригодна для представления в базе данных любых модификаций стабилитронов;
- параметры модели могут быть получены непосредственно из справочника или технических условий на стабилитрон без проведения специальных измерений на стендах и установках.

ЛИТЕРАТУРА

1. Иванов И.А., Увайсов С.У. Информационная модель процесса проектирования контролепригодных радиоэлектронных средств // Информационные технологии. 2011. № 12. С. 45–47.
2. Иванов И.А., Увайсов С.У., Абрамешин А.Е. Контролепригодное проектирование источников вторичного электропитания с релейным регулированием // Труды международного симпозиума «Надежность и качество». 2012. Т. 2. С. 457–458.
3. Увайсов С.У., Иванов И.А., Кошелев Н.А. Методика обеспечения диагностируемости электронных средств космических аппаратов по ранговому критерию на ранних этапах проектирования // Качество. Инновации. Образование. 2012. № 1 (80). С. 60–63.
4. Увайсов Р.И., Увайсов С.У., Иванов И.А. Обеспечение контролепригодности радиоэлектронных средств в рамках CALS-технологий // Качество. Инновации. Образование. 2011. № 1 (68). С. 43–47.