2118808384

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ СССР ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

ИФВЭ 87-78

ОП

and the second s

14

÷

А.Б.Карданев, В.В.Сушков

ИССЛЕДОВАНИЕ НИЗКОЧАСТОТНЫХ ШУМОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СТАБИЛИТРОНОВ

Направлено в ПТЭ

Серпухов 1987

Аннотация

А.Б.Карданев, В.В.Сушков. Исследование низкочастотных шумовых характеристик стабилитронов: Препринт ИФВЭ 87-78. - Серпухов, 1987. - 11 с., 4 рис., библиогр.: 10,

В работе приведены результаты исследований связи уровня низкочастотных шумов прецизионных стабилитронов КС191Ф с их температурным коэффициентом нестабильности напряжения стабилизации (ТКН). Показано, что сушествует сильная корреляционная связь между этими параметрами, что сушественно облегчает отбор наиболее термостабильных устройств, необходимый в ряде применений.

Abstract

Kardanev A.B., Sushkov V.V. Study of Low-Frequency Noise Reference Diods Characteristics: IHEP Preprint 87-78. - Serpukhov, 1987. - p. 11, figs. 4, refs.: 10.

The investigation results of the dependence of low-frequency noise level and tempco of reference diodes KC1910 are presented. The existence of the strong correlative dependence of the values concerned is shown, this makes the selection of the devices with the lowest tempco much easier, that is necessary in some utilizations.

) Институт физики высоких энергий, 1987.

国語主にして

ВВЕДЕНИЕ

Термокомпенсированные зенеровские диоды (стабилитроны) являются наиболее распространенным базовым элементом для построения стабильных источников опорного напряжения. В этой работе исследовались стабилитроны типа КС191Ф, обладающие наивысшими показателями стабильности среди устройств подобного типа^{/1/}. Однако в ряде применений гарантированная стабильность этих устройств оказывается недостаточной. В результате исследования обнаружена сильная корреляционная связь температурного коэффициента нестабильности (ТКН) стабилитронов указанного типа с уровнем их низкочастотных шумов. Это дает возможность заменить трудоемкие измерения ТКН более быстрыми измерениями шумов при отборе наиболее стабильных устройств.

1. МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ

Структурная схема установки, использованной при исследовании низкочастотных шумов стабилитронов, приведена на рис. 1а. С выхода источника опорного напряжения, выполненного в конфигурации мостовой схемы формирования тока опорного элемента (см. рис. 16), напряжение стабилизации исследуемого диода подается на полосовой усилитель.

Схема усилителя и его амплитудно-частотная характеристика показаны на рис. 16, в. Усилитель и источник опорного напряжения помещены в электромагнитный экран. Усиленный сигнал преобразуется линейным детектором и затем интегрируется. На выходе интегратора значение интеграла оцифровывается АЦП. Схема управления установки осуществляет следующие операции:

1) подключает интегратор к выходу детектора;

2) задает время интегрирования;

ħ

3) задает моменты окончания интегрирования и начала запоминания значения интеграла;

4) сбрасывает заряд интегратора перед началом нового измерения и подключает АШП к выходу интегратора;



δ)



Рис. 1. (а) Блок-схема измерений: ИОН - источник опорного напряжения; У - полосовой усилитель; ДЕТ - линейный детектор; ИНТ - интегратор; УПР - схема управления; АШП - аналого-цифровой преобразователь; Г - генератор строб-импульсов. (б) Схема источника опорного напряжения и полосового усилителя A₁ ÷ A₃- ОУ К140 УД17А, A₄ - ОУ К140УД14А. (в) Амплитулно-частотная характеристика усилителя.

5) выдает импульсы начала оцифровки для АЦП в моменты запоминания значения интеграла и перед началом нового измерения шума.

Тактирует схему управления генератор строб-импульсов. Оцифрованные значения интеграла и нулевого уровня интегратора через магистраль КАМАК записываются в память ЭВМ.

Измерения фона производились непосредственно после измерений шума. Для этого вместо источника опорного напряжения на вход усилителя подключалось калибровочное проволочное сопротивление величиной 16 Ом, равное дифференциальному сопротивлению стабилитронов исследуемой партии при 20 °C и номинальном токе 10 мА.

Уровень шумового напряжения в измерениях вычислялся как среднее арифметическое разностей отсчетов интегратора при измерениях шума и нулевого уровня интегратора. Точность измерения уровня шумового напряжения оценивается по формуле^{/2/}

$$\frac{\delta U_{\mu}}{U_{\mu}} = \frac{1}{\sqrt{N}} \frac{1}{\sqrt{2BT}} ,$$

где **Т** = 0,9 с – время интегрирования; **В** – полоса фильтра усилителя; **N** – число отсчетов, равное в наших измерениях 64. Оценка ошибки измерений, равная 1,6%, хорошо согласуется с экспериментальными данными для ряда значений шумового сопротивления исследованных диодов.

Спектральное распределение шума измерялось селективным вольтметром на выходе усилителя. Калибровка установки осуществлялась подключением к калибровочному сопротивлению синусоидального напряжения известной амплитуды с частотой 15 Гц, лежащей в максимуме амплитудно-частотной характеристики усилителя. Расчет эффективного входного напряжения шумов стабилитронов производился по экспериментальным данным с учетом калибровки и амплитудой характеристики линейного детектора. Шумовое напряжение стабилитронов полагалось в этом расчете гауссовым (см. детальные исследования функции распределения в работе^{/3/}).

Полоса частот фильтра усилителя установки выбрана в области избыточных шумов **p** – **n** перехода^{/4/}. Проведенные измерения показали, что спектр шумового напряжения стабилитронов в этой области имеет распределение, присущее фликкер-шуму

$$S \sim \frac{1}{\omega^{\gamma}},$$

где у порядка 1.

На рис. 2а изображены типичные зависимости спектрального распределения шумового напряжения стабилитронов, полученные



4

5

te for answer the state of the

Рис. 2. (а) Типовые зависимости спектральной плотности шумового напряжения стабилитронов от частоты (для трех различных стабилитронов). Пунктирная линия соответствует у = 1 в выражении для спектральной плотности. (б) Зависимости действующего значения интегрального напряжения шумов стабилитронов в полосе фильтра установки от тока стабилизация для четырех различных стабилитронов.

4

5

ł

в эксперименте. В большинстве случаев наблюдается фликкерный шум в достаточно чистом виде. Однако в нескольких случаях он имеет значительную примесь взрывного шума, дающего завышенное примерно в два раза значение константы у.

Довольно неожиданным результатом оказалось различие на порядок величины уровня действующего значения интегрального шумового напряжения стабилитронов в полосе фильтра усилителя установки (см. разброс величины этого напряжения для различных диодов по оси абсцисс на рис. 3). В то же время зависимость действующего значения интегрального шумового напряжения стабилитрона в полосе фильтра усилителя установки от тока стабилитрона в диапазоне номинального тока является достаточно плавной, как показано на рис. 26. Изменение тока рез стабилитрон производилось варьированием сопротивления ветви моста с исследуемым стабилитроном (см. рис. 16).

Поскольку напряжение стабилизации имеет разброс $\delta U = \pm 45 \text{ мB}^{/1/}$, ток стабилитронов тоже меняется при включении различных исследуемых стабилитронов. Диапазон изменения тока при этом можно оценить следующим образом:

 $(\delta U/R_1 R_2)R_g < \pm 10 \mu A$,

где R_g – дифференциальное сопротивление исследуемых стабилитронов (равное 16 Ом), R_1 , R_2 – сопротивления ветвей моста источника опорного напряжения. Таким образом, рассматривая зависимости интегрального напряжения шума стабилитронов от их тока в полосе фильтра усилителя (рис. 26), можно сделать вывод о том, что уровень этого шумового напряжения, определяется внутренними свойствами исследуемых стабилитронов.

С целью установления связи температурной нестабильности стабилитронов с уровнем шумового напряжения были проведены исследования их температурной нестабильности. Для этого источник опорного напряжения с исследуемым стабилитроном нагревался в термостате в температурном диапазоне от +18 до +50 °C. Температурная нестабильность используемого источника определяется температурной нестабильностью стабилитрона^{/5/}. В измерениях наблюдалось монотонное изменение напряжения стабилизации, регистрируемое 5-значным вольтметром типа Solartron-7055 фирмы Schlumberger.

На рис. З приведена диаграмма, где по оси абсцисс отложен уровень действующего значения интегрального напряжения шумов в полосе фильтра усилителя установки, а по оси ординат – абсолютное значение температурной нестабильности исследуемого диода, вычисленное по значениям напряжения стабилизации на краях температурного диапазона нагрева. Каждый стабилитрон на диаграмме характеризует точка. Окружностью обведены точки,

5

A BURNING A CONTRACT



÷.

Рис. 3. Диатрамма соотношения низкочастотных шумов стабилитронов и их температурной исстабильности.

6

характеризующие стабилитроны с отрицательным температурным коэффициентом стабилизации напряжения. Рис. 3 демонстрирует сильную корреляционную зависимость между температурной нес: бильностью и уровнем низкочастотного шумового напряжения исследуемых стабилитронов. Коэффициент линейной корреляции R между этими величинами был подсчитан по данным выборки рис. 3 по формуле

$$R = \frac{\langle |\Delta U_{CT} / \Delta T | U_{ui} \rangle - \langle |\Delta U_{CT} / \Delta T | \rangle \langle U_{ui} \rangle}{\sqrt{D_{U_{ui}}} \cdot \sqrt{D_{|\Delta U_{CT}} / \Delta T|}},$$

где знак < > означает выборочное среднее, $D_{\Delta U_{CT}} \Delta \tau$ / ,

 $D_{U_{III}}$ - выборочные дисперсии величин $|\Delta U_{CT}/\Delta T|$ и U_{III} . Этот

коэффициент получается равным 0,76, а при отбрасывании аномальных точек, обведенных знаком , его значение возрастает до 0,89.

Стабилитроны исследуемого типа имеют значительное время выхода на режим стабильного напряжения, простирающееся до 20 мин с момента включения^{/1/}, в то время как уровень измеряемого шума изменяется в течение этого же времени на ±3%. Проведенные измерения релаксации напряжения стабилизации после включения обнаруживают ее логарифмический характер (рис. 4), где релаксация напряжения стабилизации происходит по закону

$$V(t) = V_{o} - a \cdot ln \frac{t}{t_{o}}$$
(1)

в интервале времен от t_o до t_m . Где t_o и t_m соответствуют началу и окончанию наблюдения релаксации. Для определенности рассматриваем релаксацию в направлении убывания напряжения стабилизации (один из двух наблюдаемых противоположных типов релаксации), а – постоянная, характерная для данного диода. Направления изменения напряжения стабилизации при нагревании и в измерениях релаксации совпадают.

Диссипируемая в процессе такой релаксации мощность выражается произведением $I(V(t) - V_o)$, где V(t) характеризует квазиравновесное состояние стабилитрона, I – ток через стабилитрон.

Рассмотрим стабилитрон как квазистационарную систему, подвергающуюся статическому воздействию I_o , где I_o – ток стабилитрона. Применим к этой системе флуктуационно-диссипационную теорему. Эта теорема дает следующее выражение спектральной плотности S квазиравновесных флуктуаций напряжения/6/

T) H

$$S = \frac{2 k T}{\omega} a^{\prime\prime}(\omega),$$

где a''(ω) – мнимая часть фурье-образа обобщенной восприимчивости, характеризующей диссипативные свойства системы при рассмотрении ее отклика на воздействие I_ο в виде

$$V(t) - V_o = \int_{0}^{\infty} a(t, r) I_o dr.$$

Учитывая постоянство воздействия, получаем для фурье-образа *α*(ω) выражение

$$a(\omega) = -\frac{a}{2I_o}\int_{-\infty}^{\infty} \theta(t - t_o)\theta(t_m - t)\ell n \frac{t}{t_o}\ell^{i\omega t} dt.$$

Беря интеграл и применяя разложение полученной функции при условии $t_m^{-1} \ll \omega \ll t_o^{-1}$, получаем выражение для а" (ω) в виде

$$a''(\omega) = \frac{\pi a}{I_o}.$$

При этом выражение для распределения спектральной плотнести квазиравновесных флуктуаций напряжения стабилизации принимает вид, присущий фликкер-шуму

$$S = \frac{2k \pi Ta}{\omega I_o}$$
 (2)

Обращает на себя внимание аналогия в характере релаксации напряжения (1) в стабилитронах и намагниченности спиновых стекол⁷⁷⁷. В обоих случаях логарифмическая релаксация (1) приводит к возникновению фликкер-шума (2). В работе⁷⁸⁷ возникновение фликкер-шума объясняется захватом носителей на ловушках в полевых МОП-транзисторах, что также приводит к логарифмической релаксации. Замеченная аналогия не выявляет физической сущности возникновения фликкер-шума в стабилитронах, но позволяет выдвинуть гипотезу, что механизм его возникновения в случаях стабилитронов и спиновых стекол одинаков.

Данные измерений рис. 4 соответствуют в общих чертах описанной модели, где бо́лышему уровню шумового напряжения соответствует большее значение константы а. Зависимость шумового напряжения от тока (рис. 26) является в ряде случаев более сильной, чем в предложенной модели. Это может свидетельствовать о наличии вклада в рассматриваемый шум компоненты взврывного шума.

8



Рис. 4. Зависимость относительного изменения напряжения стабилизации стабилитрона от времени после его включения для трех различных стабилитронов.

÷ IJ

2

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Обнаруженная сильная корреляционная зависимость между уровнем фликкерного шумового напряжения исследованного типа стабилитрона и его температурной нестабильностью позволяет установить связь физических механизмов, обуславливающих **ука**занные явления в данном типе полупроводниковых приборов. Из микроскопических теорий генерации фликкерной компоненты слектра шумового напряжения в полупроводниковых приборах наиболее близка описываемой модели логарифмической релаксации теория захвата носителей на ловушках в полевых МОП-транзисторах, приводящая к широкому диапазону времен релаксации 181.

2. Диагностика полупроводниковых приборов по низкочастотным шумам традиционно используется для прогнозирования их надежности⁹⁷ (времени до первого отказа). В отличие от этого, обнаруженная корреляционная зависимость позволяет эффективно использовать отбор наиболее термостабильных компонентов по их фликкерному шуму (причем возможен быстрый первичный отбор по осциллограмме на выходе усилителя У, рис. 1а). Описываемая методика применима как в лабораторной практике, так и при массовом изготовлении прецизионной аппаратуры, и может заменять или существенно облегчать известные трудоемкие методы отбора термостабильных стабилитронов^{/10/}.

Авторы благодарят Р.С.Шувалова за неформальные критические замечания, сделанные при чтении рукописи.

Список литературы

- 1. Диоды, тиристоры, оптоэлектронные приборы / Справочник под ред. Н.Н.Горюнова.-М.: Энергоатомиздат, 1984.
- 2. Ван дер Зил А. Шум. Источники, описание, измерение.-М.: Советское радио, 1973.
- 3. Voss R.F. // Phys. Rev. Lett. 1978. V. 40. P. 913.
- 4. Букингем М. Шумы в электронных приборах и системах.-М.: Мир, 1986.
- 5. Алимов Г.Р. и др. Прецизионный стабилизатор напряжения с мостовой схемой формирования тока опорного элемента: Препринт ОИЯИ Р10-85-798. - Дубна, 1985.
- 6. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Статистическая физика, часть 1.-М.: Наука, 1976.
- 7. Kogan Sh.M.// Sol. State Comm. 1981. V. 38. P. 1085.
- 8. Van der Ziel A. Flicker noise in electronic devices Advances in Electr. and Phys., 49, 225-297. 1979.

10

Ŋ

- 9. Пряников В.С. // Радиотехника. 1981. Т. 36, № 9. С. 63.
- 10. Gleichspannungs-Bezugnormal. Mess + Pruf/Automat, 1983, N 10.

Рукопись поступила 5 мая 1987 года.

А.Б.Карданев, В.В.Сушков.

; 1 Исследование низкочастотных шумовых характеристих стабилитронов.

Редактор Н.В.Ежела. Технический редактор Л.П.Тимкина. Корректор Т.Д.Галкина.

Подлисано к пе	чати 10.06.87.	T-13462.	Формат	60x90/16.
Офсетная лечат	ъ. Печ.л. 0,70.	Учизд.л. 0,90.	Тираж	240.
Заказ 557.	Индекс 3624.	Цена	13 коп.	

Институт физики высоких энергий, 142284, Серпухов Московской обл.

13 коп.

Индекс 3624.

۱

ПРЕПРИНТ 87-78, ИФВЭ, 1987.