

**ДИАГНОСТИЧЕСКИЙ
НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ
РЕЗИСТОРОВ
ПО УРОВНЮ НЕЛИНЕЙНОСТИ**

САМАРА 1994

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ПО ВЫСШЕМУ ОБРАЗОВАНИЮ

САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С.П.КОРОЛЕВА

ДИАГНОСТИЧЕСКИЙ
НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ
РЕЗИСТОРОВ
ПО УРОВНЮ НЕЛИНЕЙНОСТИ

Методические указания к лабораторной работе

САМАРА 1994

Составитель **Н. Г. Чернобровна**

УДК 621.3:658.5.681.3

Диагностический неразрушающий контроль резисторов по уровню нелинейности: Метод. указания к лабор. работе/ Самар. гос. аэрокосм. ун-т; Сост. *Н. Г. Чернобровна*; Самара, 1994. 12 с.

Рассмотрены типовые дефекты и отказовые ситуации в непроволочных резисторах и методы их диагностирования. Изложена методика определения пороговых отбраковочных уровней информативных параметров диагностируемых резисторов, а также аппаратурных средств ДНК резисторов по уровню нелинейности методом третьей гармоники.

Предназначены для студентов спец. 23.03. Составлены на кафедре "Микроэлектроника и технология радиоэлектронной аппаратуры".

Печатаются по решению редакционно-издательского совета Самарского государственного аэрокосмического университета имени академика С. П. Королева

Рецензент доц. **А. В. Зеленский**

Цель работы – изучение метода, технологии и технических средств диагностического неразрушающего контроля (ДНК) резисторов по уровню нелинейности.

Задания:

1. Изучить устройство и принцип действия прибора для измерения нелинейности электрорадиоизделий (ЭРИ) типа СЛГ-1а.

2. Для заданной выборки резисторов провести измерение уровня нелинейности.

3. Определить отбраковочные (пороговые) уровни нелинейности.

4. Провести отбраковку резисторов по установленным уровням нелинейности.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

В элементной базе РЭС доля резисторов традиционно велика, причем рост объема производства, числа конструктивных и технологических вариантов сопровождается ростом требований к их надежности.

Резисторам присущи как внезапные (70-80%), так и постепенные (20-30%) отказы. Постепенные отказы, проявляющиеся в виде изменения сопротивления, обусловлены в углеродистых пленочных, металло-пленочных и оксидно-пленочных резисторах в основном процессами окисления, диффузии и электромиграции. Наличие дефектов резистивной пленки и основания ускоряет перечисленные процессы изменения сопротивления. Это может вызвать локальные перегревы и внезапные отказы, например, обрыв резистивной дорожки. При наличии в резисторе дефектов типа трещин, царапин резистивной пленки, неустойчивости контактов, а также в результате процессов окисления и диффузии примесей на границах зерен материала резистивной пленки возникают микросбои и флуктуации проводимости, проявляющиеся в увеличении уровня избыточного шума. Слабый контакт между соединительными выводами и колпачками, неплотный контакт между колпачками и пленкой, неоднородности пленки, дефекты нарезки, дефекты керамики приводят к изменению линейности вольт-амперной

характеристики (ВАХ) резисторов. Аномальный состав резистивного слоя, механические повреждения, плохая адгезия резистивного слоя к подложке, дефекты контактных узлов определяют параметры тепловых переходных характеристик резисторов.

Указанные обстоятельства определяют применимость методов ДНК резисторов, в основу которых положен контроль следующих информативных параметров:

уровень нелинейности ВАХ;

уровень низкочастотных шумов;

параметры переходной тепловой характеристики.

В данной работе рассматривается метод ДНК резисторов по уровню нелинейности ВАХ. Выбор меры нелинейности функциональных характеристик ЭРИ зависит от применяемых методов измерения (прямых, основанных на параметрическом представлении нелинейности, и косвенных, основанных на ее спектральном представлении). При использовании прямых методов в качестве меры нелинейности используют для двухполюсников резисторного типа логарифм кривизны (коэффициент нелинейности), определяемый соотношением

$$K_{\text{нел}} = \frac{\lg I_2 - \lg I_1}{\lg U_2 - \lg U_1},$$

где I_1 и I_2 — токи через нелинейный элемент при соответствующих значениях напряжения U_1 и U_2 .

Прямые методы применимы к изделиям с существенной нелинейностью. Косвенные методы основаны на свойстве нелинейности преобразовывать спектры испытательных сигналов. В зависимости от используемой в качестве меры нелинейности новой составляющей спектра сигнала-отклика различают методы: третьей гармоники; высших гармоник; разностной частоты; нулевых биений; белого шума. Наибольшее распространение для диагностирования резисторов получил метод третьей гармоники.

МЕТОД ТРЕТЬЕЙ ГАРМОНИКИ

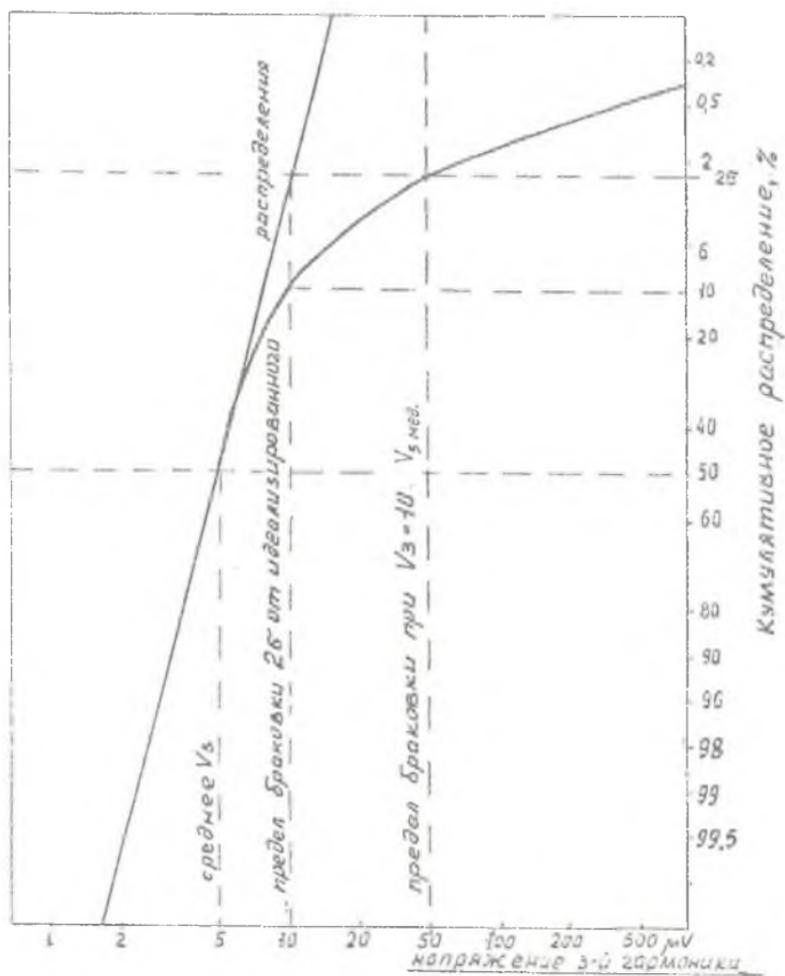
Нелинейность определяется как отношение между напряжением 3-й гармоники и амплитудой основного напряжения, выраженное в дБ.

$$\text{Имеем } K_{\text{нел}} = 20 \lg \frac{U_3}{U_1} = 20 \lg U_3 - 20 \lg U_1,$$

где U_1 , U_3 — среднеквадратичные напряжения основного сигнала и третьей гармоники.

Метод достаточно прост в реализации, обеспечивает удовлетворительную достоверность, производительность и оперативность. Недостатком является снижение информативности из-за невозможности фиксации квадратичной нелинейности. Так как нелинейность некоторых типов ЭРИ может достигать 120 дБ, то необходимо использовать средства измерения, остаточная нелинейность которых более 140 дБ. Для градуации контролируемых резисторов по уровням потенциальной надежности необходимо установить пороговый, отбраковочный уровень нелинейности. Чаще всего эти уровни устанавливают в диапазоне от 80 до 120 дБ. Для новых типов резисторов отбраковочный уровень может быть установлен на основе выборочного контроля. При этом элемент классифицируется как менее надежный, если его нелинейность больше средней для выборки. Результаты измерений выборки изделий могут быть представлены в виде кумулятивного распределения (рис. 1) напряжения третьей гармоники U_3 в логарифмических координатах. На рисунке прямая линия соответствует идеальной партии с чисто нормальным диапазоном распределения. Изгиб кривой реального распределения свидетельствует о неравномерности в выборке. Кривой выше изгиба соответствуют сомнительные образцы, и задача сводится к установлению обоснованных отбраковочных уровней. Так, для порога, равного $10 U_{3 \text{ мед}}$, где $U_{3 \text{ мед}}$ — медианное значение напряжения U_3 , для приведенного распределения отбраковке подлежат около 2% экземпляров. При более жестких требованиях к надежности

порог отбраковки может быть установлен как напряжение U_3 , соответствующее точке пересечения линии 2σ и кривой идеального

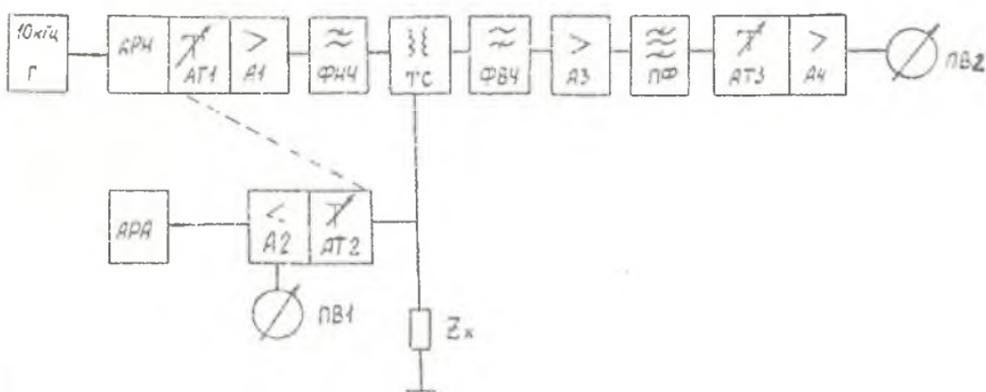


Р и с. 1. Кумулятивное распределение значений напряжения 3-й гармоники

распределения. При этом брак составит около 5%. Уточнение порогов отбраковки проводят на основе испытаний на надежность по критериям минимума вероятности ошибочных решений и ошибок 1 и 2 рода.

ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ

Для контроля уровня нелинейности резисторов используется прибор типа GLT-1a фирмы Radiometer (Дания), имеющий чувствительность по третьей гармонике 180 дБ, при диапазоне измеряемого сопротивления 1 Ом - 10 МОм и напряжении основной частоты (10 кГц) до 560 В. Принцип действия прибора иллюстрируется структурной схемой (рис.2). Напряжение с выхода генератора (10 кГц) поступает через



Р и с. 2. Структурная схема установки

автоматический регулятор напряжения (АРН), и ослабитель АТ1 поступает на усилитель мощности А1. Фильтр нижних частот (ФНЧ) предназначен для подавления третьей гармоники в исходном испытательном сигнале. Чисто синусоидальное напряжение частотой 10 кГц через согласующий трансформатор (ТС) прикладывается к испытываемому элементу Z_x . Вольтметр, состоящий из ослабителя АТ2, усилителя А2 и измерителя ПВ1, предназначен для измерения напряжения частотой 10 кГц, приложенного к элементу Z_x . Автоматический регулятор амплитуды (АРА) подключен к вольтметру и управляет АРН, обеспечивая стабильность входного напряжения и независимость его от колебаний импеданса испытываемого элемента. Механическая связь ослабителей АТ1 и АТ2

обеспечивает автоматическую установку чувствительности вольтметра в соответствии с выбранным диапазоном напряжения для генератора. Напряжение, снимаемое с образца через ТС, поступает на фильтр верхних частот (ФВЧ), подавляющий напряжение основной гармоники. Затем напряжение третьей гармоники частотой 30 кГц подается через усилитель А3 на полосовой фильтр (ПФ), подавляющий шумы. Отфильтрованное напряжение подается на вольтметр (30 кГц), состоящий из ослабителя АТ3, усилителя А4 и измерителя ПВ2. Усилитель А4 обеспечивает два режима работы: линейный и логарифмический.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Получить у преподавателя выборку резисторов и ознакомиться со справочными данными исследуемого типономинала.
2. Ознакомиться с экспериментальной установкой.
3. Включить прибор в сеть и установить выключатель питания в положение *ON* (ВКЛ).
4. После прогрева произвести проверку работоспособности в порядке, изложенном в приложении.
5. Установить переключатель *N* согласующего трансформатора в положение, соответствующее номиналу резистора.
6. Рассчитать нужное **напряжение**, при котором на резисторе рассеивается номинальная мощность $P_{ном} = \frac{U_{ном}^2}{R}$.
7. Повернуть переключатель LEVEL AND METER RANGE (ДИАПАЗОН УРОВНЕЙ ИЗМЕРЕНИЯ) так, чтобы сектор, определяющий предел измерения, в котором находится $U_{ном}$, оказался напротив зажженной лампы индикации.
8. Нажать нефиксирующуюся **кнопку** MEASURING VOLTAGE (ИЗМЕРИТЕЛЬНОЕ НАПРЯЖЕНИЕ) и с помощью потенциометра LEVEL (УРОВЕНЬ) установить нужное напряжение $U_{ном}$. Снять показания вольтметра в

дБ А(10 кГц). Прибавить эту величину к величине, обозначенной на секторе диапазона, который находится напротив зажженной лампы на вольтметре В (10 кГц). Освободить кнопку MEASURING VOLTAGE.

9. При отключенном измерительном напряжении подсоединить резистор к измерительным выводам установки. Подключение испытываемого резистора к выводам, находящимся под напряжением, опасно и недопустимо!!!

10. С помощью METER INDICATION (ОБОЗНАЧЕНИЕ ИЗМЕРИТЕЛЯ) выбрать нужный вид показания (LIN-LOG) для вольтметра А (30 кГц).

11. Нажать нефиксирующуюся кнопку MEASURING VOLTAGE (ИЗМЕРИТЕЛЬНОЕ НАПРЯЖЕНИЕ) и повернуть переключатель METER RANGE (ДИАПАЗОН ИЗМЕРЕНИЙ) до достижения показания вольтметра А (30 кГц), удобного для считывания.

12. Величину 3-й гармоники считывают в дБ по нижней шкале вольтметра А (30 кГц), если выбрана линейная шкала, и верхней, если выбрана логарифмическая шкала. Снятое показание добавляют к величине, обозначенной на секторе диапазона, который находится напротив зажженной индикаторной линии вольтметра В (30 кГц).

13. Освободить кнопку MEASURING VOLTAGE (ИЗМЕРИТЕЛЬНОЕ НАПРЯЖЕНИЕ).

14. Вычесть величину, полученную в п. 9, от величины, полученной в п. 13. В результате можно определить ослабление третьей гармоники контролируемого резистора, выраженное в виде отношения напряжения третьей гармоники (30 кГц) к приложенному напряжению основной гармоники (10 кГц).

15. Результаты замеров и вычислений занести в таблицу.

16. Построить кумулятивное распределение напряжения третьей гармоники U_3 в логарифмических координатах. Принять за порог отбраковки напряжение третьей гармоники, соответствующее ординате 95% кумулятивной кривой. Определить соответствующее ему значение ослабления третьей гармоники из таблицы с помощью соотношения

$$n = 20 \lg U_3 - 20 \lg U_1.$$

№ п/п	$U_1, В$	$20 \lg U_1, дБ$	$U_3, МВ$	$20 \lg U_3, дБ$	$n, дБ$
1					
.					
.					
.					
.					
N					

17. Экземпляры, значения информативных параметров $U_3(n)$ которых выходят за пределы отбраковочного уровня, отнести к потенциально ненадежным.

18. Сформулировать основные выводы.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Основные виды отказов непроволочных резисторов.
2. Что понимается под постепенным и внезапным отказами резисторов?
3. Информативные параметры для ДНК резисторов и их связь с дефектами.
4. Методы контроля нелинейности ЭРИ.
5. Суть метода третьей гармоники, его достоинства и недостатки.
6. Принцип действия экспериментальной установки.
7. Порядок определения и уточнения пороговых уровней информативных параметров.

Рекомендуемый библиографический список

1. Данилин Н. С., Гусев Л. И., Загоровский Ю. И. Обеспечение качества РЭА методами диагностики и прогнозирования. М.: Изд-во стандартов, 1983. 224 с.
2. Сердюк Г. Б. Интегральная диагностика электрорадиоизделий по эффектам нелинейности (обзор) //Автоматика и телемеханика. 1980. № 12. С. 132-157.
3. Бруевич А. Н., Евтяков С. И. Аппроксимация нелинейных характеристик и спектры при гармоническом воздействии. М.: Сов. радио, 1965. 344 с.

Приложение

ПОРЯДОК ПРОВЕРКИ РАБОТОСПОСОБНОСТИ УСТАНОВКИ

1. Установить переключатель согласующего трансформатора в положение $N=1$.
2. Переключатель LEVEL AND METER RANGE (ДИАПАЗОН УРОВНЕЙ И ИЗМЕРЕНИЯ) повернуть таким образом, чтобы сектор 10 В оказался напротив горящей индикаторной лампы.
3. Кнопкой METER INDICATION (ОБОЗНАЧЕНИЕ ИЗМЕРЕНИЯ) включить линейную шкалу вольтметра А (30 кГц) (LIN).
4. Повернуть переключатель METER RANGE (ДИАПАЗОН ИЗМЕРЕНИЯ) так, чтобы сектор диапазона 10 мВ оказался напротив зажженной индикаторной лампы.
5. Нажать фиксирующуюся кнопку MEASURING VOLTAGE ON-OFF (ИЗМЕРИТЕЛЬНОЕ НАПРЯЖЕНИЕ ВКЛ-ВЫКЛ) на блоке вольтметра В (10 кГц) и потенциометром LEVEL (УРОВЕНЬ) установить напряжение до отклонения на всю шкалу на вольтметре А (10 кГц).
6. Нажать нефиксирующуюся кнопку STANDARD, при этом вольтметр А (30 кГц) должен показывать значения $10 \text{ мВ} \pm 4\%$.

7. Нажимая кнопку METER INDICATION (ОБОЗНАЧЕНИЕ ИЗМЕРЕНИЯ), включить логарифмическую шкалу вольтметра А (30 кГц).

8. Снять показания вольтметра А (30 кГц) в дБ. Уменьшать чувствительность вольтметра В (30 кГц) ступенями по 10 дБ, отмечая показания вольтметра А (30 кГц) и соответствующие секторы диапазона вольтметра В (30 кГц). Их сумма должна быть равной 120 ± 1 дБ.

9. Освободить фиксирующуюся кнопку MEASURING VOLTAGE ON-OFF (ИЗМЕРИТЕЛЬНОЕ НАПРЯЖЕНИЕ ВКЛ-ВЫКЛ).

ДИАГНОСТИЧЕСКИЙ НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ РЕЗИСТОРОВ ПО УРОВНЮ НЕЛИНЕЙНОСТИ

Составитель *Чернобровин Николай Григорьевич*

Редактор Т. И. Кузнецова
Техн. редактор Г. А. Усачева
Корректор Т. И. Щелокова

Лицензия ЛР № 020301 от 28.11.91.

Подписано в печать 16.05.94. Формат 60x84 1/16.
Бумага офсетная. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 0,7. Усл. кр.-отг. 0,8. Уч.-изд. л. 0,75.
Тираж 300 экз. Заказ № 70/94. Бесплатно. Арт. С.-70/94.

258.

Самарский государственный аэрокосмический
университет имени академика С. П. Королева.
443086 Самара, Московское шоссе, 34.

Участок оперативной полиграфии ИПО
Самарского государственного аэрокосмического университета.
443001 Самара, ул. Ульяновская, 18.