

УДК 621.385.6  
P173

Рецензенты:

д-р техн. наук, профессор *А. П. Горбачев*  
д-р техн. наук, доцент, зав. кафедрой СибГУТИ *С. С. Абрамов*

**Разинкин В. П.**

P173 Пленочные СВЧ-аттенюаторы высокого уровня мощности: монография / В. П. Разинкин, В. А. Хрусталеv. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2023. – 138 с. (Монографии НГТУ).

ISBN 978-5-7782-4934-9

В работе рассмотрены современные и перспективные методы построения СВЧ-аттенюаторов и нагрузок высокого уровня мощности, выполненных на планарных пленочных резисторах. Изложены основы теории построения мощных многокаскадных и многоканальных СВЧ-аттенюаторов. Показано, что при равномерном распределении рассеиваемой мощности по всем каскадам аттенюатора обеспечивается существенное расширение полосы рабочих частот. Большое внимание уделено СВЧ-аттенюаторам, реализованным в виде фильтров нижних частот с диссипативными потерями и неотражающих фильтров с балластными резисторами. Представленные методики расчета широкополосных СВЧ-аттенюаторов базируются на использовании компьютерных САПР, поддерживающих проведение численного электромагнитного моделирования. Приведены примеры конструктивного выполнения широкополосных СВЧ-аттенюаторов на уровень мощности от 100 до 2000 Вт.

Полученные результаты полезны и применимы при разработке измерительного оборудования для радиопередающей аппаратуры, используемой в системах цифрового телевидения, связи, радиоканалах телекоммуникационных систем и радиолокации.

УДК 621.385.6

DOI 10.17212/978-5-7782-4934-9  
ISBN 978-5-7782-4934-9

© Разинкин В. П., Хрусталеv В. А., 2023  
© Новосибирский государственный  
технический университет, 2023

УДК 621.385.6  
P173

Reviewers:

Professor A. P. Gorbachev, D.Sc. (Eng.)

Associate Professor S. S. Abramov, D.Sc. (Eng.), Head of Department, SibGUTY

**Razinkin V. P.**

P173 Film microwave attenuators of high power level Monograph / V. P. Razinkin, V. A. Khrustalev. – Novosibirsk: NSTU Publisher, 2023. – 138 p. (NSTU Monographs)

ISBN 978-5-7782-4934-9

Modern and promising methods of constructing microwave attenuators and high-power loads made on planar film resistors are considered in the book. The fundamentals of the theory of construction of powerful multistage and multichannel microwave attenuators are described. It is shown that with a uniform distribution of the dissipated power across all attenuator cascades, a significant expansion of the operating frequency band is provided. Much attention is paid to microwave attenuators implemented in the form of low-pass filters with dissipative losses and non-reflective filters with ballast resistors. The proposed methods for calculating broadband microwave attenuators are based on the use of computer CAD systems that support numerical electromagnetic modeling. Examples of the constructive implementation of broadband microwave attenuators at a power level from 100 watts to 2000 watts are given.

The results obtained are useful and applicable in the development of measuring equipment for radio transmitting equipment used in digital television broadcasting, communications, radio channels of telecommunication systems and radiolocation.

УДК 621.385.6

DOI 10.17212/978-5-7782-4934-9  
ISBN 978-5-7782-4934-9

© Razinkin V. P., Khrustalev V. A., 2023  
© Novosibirsk State  
Technical University, 2023

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Основные сокращения и обозначения.....	7
Введение .....	8
<b>Глава 1. СВЧ-аттенюаторы на пленочных резисторах.....</b>	<b>13</b>
1.1. Пленочные СВЧ-аттенюаторы большой мощности.....	13
1.2. Параметры планарных пленочных резисторов .....	17
1.3. Согласованные аттенюаторы на пленочных резисторах .....	23
1.4. Конструктивная реализации пленочных аттенюаторов .....	26
Выводы.....	27
<b>Глава 2. СВЧ-аттенюаторы на основе фильтров с потерями.....</b>	<b>29</b>
2.1. Эквивалентные схемы пленочных резисторов .....	29
2.2. Синтез согласующих цепей для пленочных аттенюаторов.....	34
2.3. Оценка полосы частот согласования для пленочных аттенюаторов.....	41
2.4. Пленочные аттенюаторы на основе фильтров с потерями.....	44
2.5. Полоса рабочих частот аттенюаторов на МПЛ с потерями .....	56
2.6. Пленочные нагрузки и аттенюаторы декомпозиционного типа .....	58
2.7. Микрополосковая реализация многоэлементной нагрузки.....	65
Выводы.....	67
<b>Глава 3. Мощные многокаскадные СВЧ-аттенюаторы .....</b>	<b>69</b>
3.1. Синтез структуры пленочных аттенюаторов.....	69
3.2. Многокаскадные СВЧ-аттенюаторы .....	79
3.3. Электромагнитное моделирование пленочных аттенюаторов.....	85
3.4. Оптимизация параметров многокаскадных аттенюаторов.....	92
Выводы.....	97

---

<b>Глава 4. Мощные многоканальные СВЧ-аттенюаторы.....</b>	<b>99</b>
4.1. СВЧ-нагрузки и аттенюаторы на основе диплексеров .....	100
4.2. СВЧ-нагрузки на основе неотражающих фильтров.....	108
Выводы.....	113
<b>Глава 5. Конструкции мощных СВЧ-аттенюаторов .....</b>	<b>115</b>
5.1. Конструкции многокаскадных пленочных аттенюаторов.....	115
5.2. Аттенюаторы для передающей телевизионной аппаратуры.....	120
5.3. Широкополосная нагрузка в виде неотражающего ФНЧ.....	122
Заключение .....	125
Библиографический список .....	127

## CONTENTS

Basic abbreviations and designations .....	7
Introduction.....	8
<b>Chapter 1. Microwave attenuators on film resistors.....</b>	<b>13</b>
1.1. High-power film microwave attenuators.....	13
1.2. Parameters of planar film resistors .....	17
1.3. Matched attenuators on film resistors .....	23
1.4. Constructive implementation of film attenuators .....	26
Conclusions.....	27
<b>Chapter 2. Microwave attenuators based on filters with losses .....</b>	<b>29</b>
2.1. Equivalent circuits of film resistors .....	29
2.2. Synthesis of matching circuits for film attenuators.....	34
2.3. Estimation of the matching frequency band for film attenuators .....	41
2.4. Film attenuators based on filters with losses.....	44
2.5. The operating frequency band of attenuators on MSL with losses .....	56
2.6. Film loads and attenuators of the decomposition type .....	58
2.7. Microstrip implementation of the multi-element load.....	65
Conclusions.....	67
<b>Chapter 3. Powerful multistage microwave attenuators .....</b>	<b>69</b>
3.1. Synthesis of the film attenuator structure .....	69
3.2. Multistage microwave attenuators .....	79
3.3. Electromagnetic modeling of film attenuators .....	85
3.4. Optimization of parameters of multistage attenuators.....	92
Conclusions.....	97

---

<b>Chapter 4. Powerful multichannel microwave attenuators.....</b>	<b>99</b>
4.1. Microwave loads and attenuators based on diplexers .....	100
4.2. Microwave loads based on non-reflective filters .....	108
Conclusions.....	113
<b>Chapter 5. Designs of high-power microwave attenuators.....</b>	<b>115</b>
5.1. Designs of multistage film attenuators.....	115
5.2. Attenuators for transmitting television equipment .....	120
5.3. Broadband load in the form of a non-reflective low-pass filter (LPF) .....	122
Conclusion .....	125
References.....	127