

УДК 621.317

Частотные свойства резисторов

Чубурков Александр Евгеньевич

chuburkov2015@mail.ru

Кузнецов Вадим Вадимович

vadim.kuznetsov@bmstu.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Рассмотрено поведение резисторов в условиях быстроменяющихся сигналов и высоких частот. Частотные свойства, такие как индуктивные и емкостные эффекты, особенно важны в импульсном режиме, где резисторы подвержены резким изменениям напряжения и тока, что может привести к перегреву и искажению сигналов. Исследуется зависимость активного и реактивного сопротивления от заданной частоты. В статье обсуждается необходимость учитывания конструкторской особенности различных типов резисторов. В исследовании делается вывод о том, что активное и реактивное сопротивления изменяются в зависимости от частоты, что влияет на качество работы схем и надежность электронных устройств.

Ключевые слова: активное сопротивление, реактивное сопротивление, конструкторская особенность, измерение, частота

В современном мире электроника проникает во все сферы нашей жизни, от бытовых приборов до сложных систем управления и связи. Одним из основных компонентов, обеспечивающих надежную работу электрических схем, является резистор [1]. Несмотря на свою простоту, резисторы играют ключевую роль в формировании электрических сигналов, их распределении и регулировании. Однако в условиях быстроменяющихся сигналов и высоких частот поведение резисторов становится более сложным и требует более глубокого понимания. [2].

Частотные свойства резисторов, такие как индуктивные и емкостные эффекты, становятся особенно актуальными при работе в импульсном режиме. В этом режиме резисторы подвергаются резким изменениям напряжения и тока, что может привести к нежелательным эффектам, таким как перегрев, искажение сигналов и даже выход из строя компонентов [2]. Введение в данную тему позволяет не только рассмотреть основные характеристики резисторов, но и проанализировать, как эти характеристики влияют на работу схем в реальных условиях. [3].

Понимание этих взаимодействий имеет важное значение для разработчиков и инженеров, стремящихся создавать надежные и эффективные электронные устройства, способные функционировать в условиях высоких частот и быстрого изменения сигналов. [4].

Частотные свойства резисторов становятся заметными при работе на переменном токе, когда полное сопротивление представляет собой комплексное значение $Z = R_s + jX_s$, где Z — полное сопротивление резистора на переменном токе; R_s — активная составляющая сопротивления резистора; jX_s — ре-

активная составляющая сопротивления резистора. При использовании резисторов в цепях переменного тока с высокой частотой или в импульсных устройствах с короткими импульсами необходимо учитывать зависимость полного сопротивления от частоты. Эта зависимость возникает из-за наличия реактивных компонентов, связанных с собственными емкостями и индуктивностями резисторов. В частности, для непроволочных резисторов с номинальным сопротивлением в несколько кОм и выше реактивная составляющая в основном определяется их собственной емкостью, тогда как для низкоомных резисторов важную роль играют индуктивности элемента и его конструкции. [5].

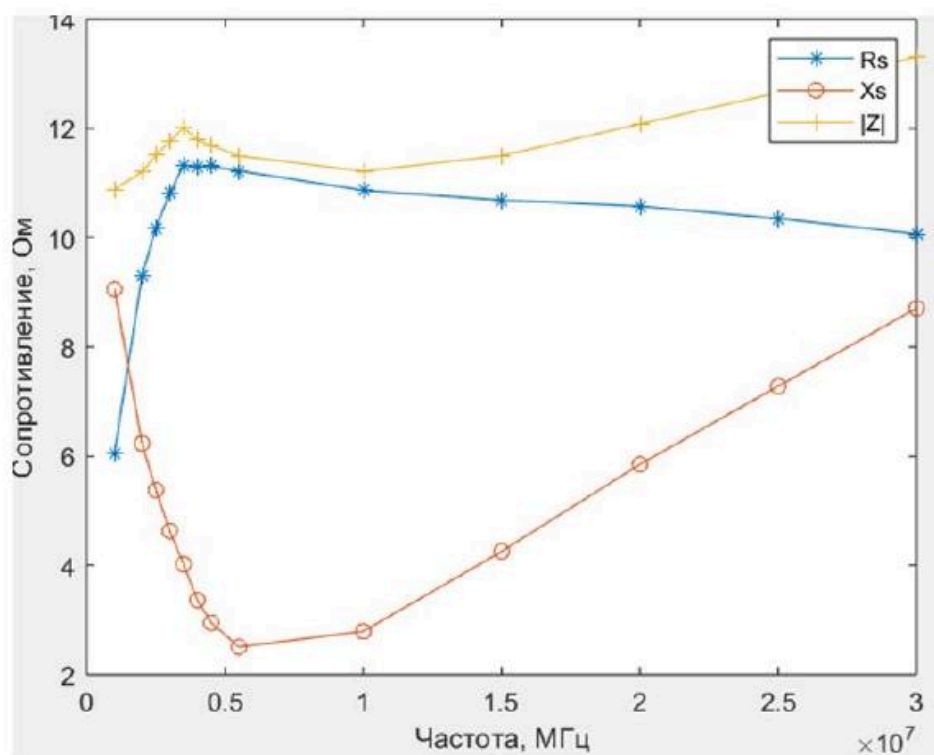
Резисторы, применяемые в аттенюаторах, колебательных контурах и усилителях высокой частоты, должны обладать исключительно активным сопротивлением, то есть быть как можно более реактивными и сохранять свое значение постоянным на протяжении всего необходимого диапазона частот. Однако, несмотря на использование специальных технологий производства, на высоких частотах резисторы подвержены влиянию собственной емкости и индуктивности. Кроме того, возникают потери на вихревые токи в металлических частях резисторов и диэлектрические потери в керамических основаниях и покрытиях. [5].

В таблице приведены значения R_s , X_s , Z_p , измеренные с помощью антенного анализатора и измерителя импедансов MINI1300.

Таблица с измеренными параметрами

Резисторы C2-33H 10 Ом 2 Вт			
Частота f , МГц	Z_p	R_s	X_s
1	10,8856	6,0457	9,0524
2	11,1989	9,3038	6,2333
2,5	11,5117	10,1781	5,3782
3	11,7581	10,8095	4,6269
3,5	12,0151	11,3226	4,0201
4	11,7890	11,2992	3,3627
4,5	11,6897	11,3120	2,9476
5,5	11,4973	11,2214	2,5036
10	11,2162	10,8638	2,7894
15	11,5017	10,6857	4,2550
20	12,0837	10,5733	5,8500
25	12,6527	10,3484	7,2801
30	13,3148	10,0729	8,7074

На рисунке приведена оптимизация данных таблицы. На данном графике приведена зависимость активного и реактивного сопротивления резистора 10 Ом от частоты.



Зависимость активного и реактивного сопротивления от частоты

На основе полученных данных, приведенных в таблице и рисунке, делается вывод, что активное сопротивление имеет свое минимальное значение на частоте 1 МГц, затем достигает своего максимального значения на частоте 3,5 МГц. После этого с увеличением частоты начинается постепенное снижения показателя. Реактивное сопротивление, в свою очередь, имеет минимальное значение на частоте 1 МГц, затем достигает своего минимального значения на частоте 0,5 МГц. При прохождении минимального значения начинается увеличение данного сопротивления на протяжении всего измеренного диапазона.

Влияние частотных свойств резисторов и их особенности работы в импульсном режиме оказывают заметное влияние на качество работы электронных схем. Увеличение частоты и быстрые изменения сигналов требуют более детального анализа и выбора резисторов, способных эффективно справляться с такими условиями. Понимание этих факторов способствует созданию надежных и эффективных электронных устройств, которые могут работать в широком диапазоне условий.

Литература

- [1] Salman E. Switching noise and timing characteristics in nanoscale integrated circuits. Degree Dr. (Phil.), 2011, pp. 135–140.
- [2] Муромцев Д.Ю., Тюрин И.В., Белоусов О.А. *Конструирование устройств электронных средств*. Ростов-на-Дону, Феникс, 2013, 540 с.
- [3] Уваров А.С. PCAD-2002 и SPECCTRA. *Проектирование печатных плат*. Москва, СОЛОН-Пресс, 2003, 524 с.

- [4] Пасынков В.В., Сорокин В.С. *Материалы электронной техники*. Санкт-Петербург, Лань, 2002, 481 с.
- [5] Четверткова И.И., Терехова В.М. *Резисторы*. Москва, Радио и связь, 1991, 528 с.

Frequency properties of resistors

Chuburkov A.E.

chuburkov2015@mail.ru

Kuznetsov V.V.

vadim.kuznetsov@bmstu.ru

BMSTU, Moscow, Russia

The parasitic parameters of pin through hole resistors in RF domain are considered in this article. The parasitic capacitance and inductance are especially important for RF domain operation and pulsed currents and voltages. This may cause signal waveform distortion. The frequency dependency of the resistor impedance and reactance is investigated. The article states that the resistor parasitics should be taken into the consideration. The resistor parasitic reactance frequency dependency may affect the quality and reliability of electronic devices.

Keywords: active resistance, reactance, design feature, measurement, frequency