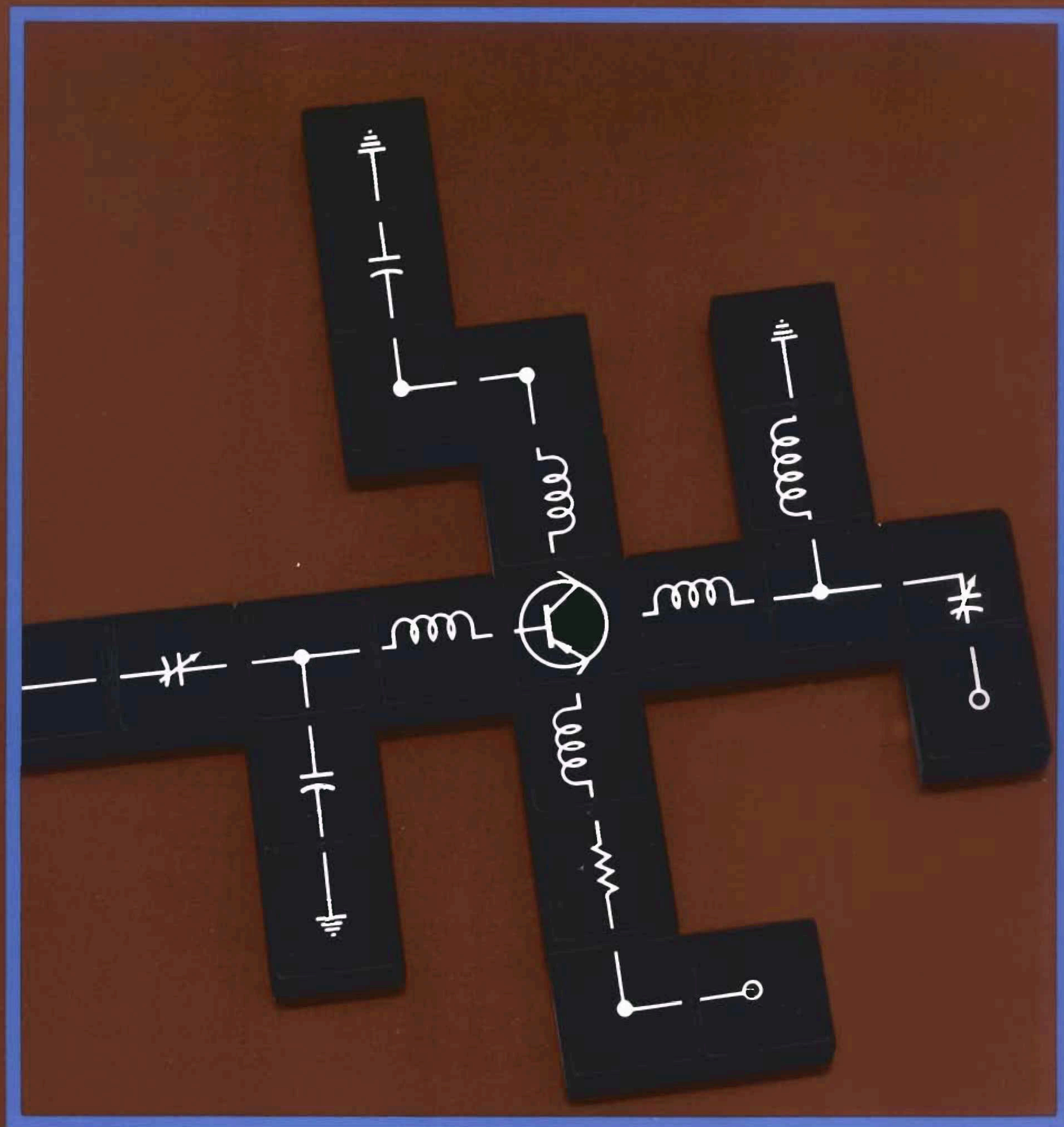


تصميم الدوائر الكهربائية للراديو

Chris سويك



RF CIRCUIT DESIGN

كريس بويك حاليا موظف كمدير هندسة المنتجات لمنتجات الهيدند في قسم الاتصالات الفيديو العلمية التابع لشركة ساينتفيك أتلانتا، الموجودة في نوركروس، جورجيا. مسؤولياته تشمل تصميم وتطوير منتجات محطات استقبال الأقمار الصناعية ومعدات الهيدند للاستخدام في صناعة التلفزيون الكابلي. سابقا، كان مرتبطا بشركة روكويل الدولية، قسم الأفيونيات كولينز، حيث كان مهندس تصميم في معدات الملاحة الجوية. خبرته في التصميم تشمل أيضا تصميم مستقبلات VHF، مركب تردد HF، تصميم مكبرات النطاق العريض، وتصميم راديو متر موجات المليمتر. السيد بويك حاصل على درجة البكالوريوس في الهندسة الكهربائية من جورجيا تك، وفي وقت فراغه، يعمل نحو الحصول على درجة الماجستير في الهندسة الكهربائية من جورجيا تك، مع التركيز على تصميم دوائر الراديو الترددي. هو مؤلف لعدة مقالات في مجلات هوايات مختلفة. هواياته تشمل الطيران، والراديو التخاطبي (WB4UHY)، وراكيت الكرة.

RF CIRCUIT DESIGN

by

Chris Bowick



Newnes

An imprint of Elsevier Science

نيونز هو علامة تجارية لشركة إلسيفير ساينس. حقوق النشر © 1982 بواسطة
كريس بويك. جميع الحقوق محفوظة.

لا يجوز استنساخ أي جزء من هذا النشر، أو تخزينه في نظام استرجاع، أو نقله بأي شكل أو وسيلة، سواء الإلكترونية، ميكانيكية، نسخ فوتوغرافي، تسجيل، أو غير ذلك، دون الحصول على إذن مسبق مكتوب من الناشر.

يمكن الحصول على الإذن مباشرة من قسم حقوق العلوم والتكنولوجيا التابع لشركة Elsevier في أكسفورد، المملكة المتحدة، هاتف: 00441865843830، فاكس: 00441865853333، البريد الإلكتروني: permissions@elsevier.co.uk. يمكنك أيضا إكمال طلبك عبر الإنترنت عبر صفحة البداية لشركة (http://www.elsevier.com Elsevier)، عن طريق اختيار "دعم العملاء" ثم "الحصول على الإذن".

 This book is printed on acid-free paper.

بيانات تصنيف المكتبة الكونغرس للنشر بويك، كريس. تصميم دوائر الراديو الترددي بواسطة كريس بويك. ص. سم. نشرت أصلا في إنديانابوليس؛ H.W. سامز، 1982. يتضمن مراجع بيليوغرافية وفهرس. رقم الايزن 0750699469 (ورق الكتب الرخامي) 1. تصميم وبناء دوائر الراديو. 2. التردد الراديوي. أنا. العنوان. CIP 621.384°12dc20 9651612 1997 TK6553.3633

الناشر يقدم خصومات خاصة على الطلبات الجماعية لهذا الكتاب. لمزيد من المعلومات، يرجى الاتصال بمدير المبيعات الخاصة في إلسيفير ساينس على العنوان التالي: 01803 200 Wheeler Road, Burlington, MA. الهاتف: 7813134700 الفاكس: 7813134802.

للحصول على معلومات حول جميع النشرات الجديدة المتاحة، يرجى الاتصال بصفحتنا الرئيسية على شبكة الإنترنت على الرابط التالي: http://www.newnespress.com

15 14 13 12 11 10

Printed in the United States of America

مقدمة

تصميم الدوائر الراديوية مكتوب لأولئك الذين يرغبون في نهج عملي لتصميم مكبرات الإرسال الراديوي، وشبكات تطابق الانطباعات، والمرشحات. إنه موجه تماما للمستخدم. إذا كنت فردا لديك خبرة قليلة في تصميم الدوائر الراديوية، يمكنك استخدام هذا الكتاب كدليل للدوائر، باستخدام قيم المكونات المصممة لتطبيقك. من ناحية أخرى، إذا كنت مهتما بالنظرية وراء تصميم الدوائر الراديوية، يمكنك استخدام المعلومات المفصلة التي تم توفيرها للدراسة العميقة. سيجد الخبير في مجال تصميم الدوائر الراديوية أن هذا الكتاب يعتبر دليل مرجعي ممتازا، يحتوي على معظم الصيغ المستخدمة بشكل شائع في تصميم الدوائر. ومع ذلك، سيجد طالب هندسة كهربائية أن هذا الكتاب يعتبر جسرا قيما بين الدراسات الصفية والعالم الحقيقي. وأخيرا، إذا كنت مهتما بتصميم معادتك الخاصة، سيوفر تصميم الدوائر الراديوية أمثلة عديدة لتوجيهك في كل خطوة. يبدأ الفصل الأول ببعض الأساسيات حول المكونات وكيفية سلوكها عند ترددات الراديو؛ كيف تصبح المكثفات ملفات، والملفات تصبح مكثفات، والأسلاك تصبح ملفات، مكثفات، ومقاومات. يتم تقديم التريودات وتغطية تصميم الملف الهرمي بالتفصيل. يقدم الفصل الثاني استعراضا للدوائر الاهتزازية وخصائصها بما في ذلك مناقشة حول Q، موج نطاق التردد، النطاق الترددي، والتزاوج. تتعلم كيفية تصميم دوائر اهتزازية فردية ومتعددة الاهتزازات، بال Q المحمل الذي ترغب فيه. فهم الدوائر الاهتزازية يؤدي بشكل طبيعي إلى المرشحات وتصميمها. لذا، يقدم الفصل الثالث إجراءات تصميم كاملة لمرشحات Chebyshev، Butterworth، و Bessel المتعددة بما في ذلك تصاميم منخفضة المرور، عالية المرور، نطاق المرور، وقطع النطاق. بعد دقائق قليلة من قراءة الفصل الثالث، ستكون قادرا على تصميم مرشحات متعددة لتلبية مواصفاتك. لم يكن تصميم المرشحات أسهل من ذلك. يغطي الفصل الرابع تطابق الانطباعات لكل من المقاومات الحقيقية والمعقدة. يتم ذلك عدديا وبمساعدة مخطط Smith. يتم تغطية شبكات التطابق عالية Q ومنخفضة Q بالتفصيل. يتم مناقشة سلوك الترانزستور عند ترددات الراديو في الفصل الخامس. يتم تحديد المقاومة الداخلية، المقاومة الخارجية، سعة التغذية الراجعة، وتغيراتها عبر التردد. يتم شرح ورقات بيانات الترانزستور بالتفصيل، ويتم تقديم معلمات S و Y. يوضح الفصل السادس إجراءات تصميم كاملة لمكبرات الإشارة الصغيرة للراديو، باستخدام كل من معلمات S و Y. يتم تغطية توجيه الترانزستور، الاستقرار، تطابق الانطباعات، وتقنيات التحيز بالتفصيل، مع أمثلة عملية. يتم تقديم دوائر الثبات الثابت ودوائر الاستقرار، كما ترسم على مخطط Smith، بينما يتم شرح إجراءات تصميم مكبر الإرسال للحد الأدنى من الضوضاء أيضا.

موضوع الفصل 7 هو مكبرات الطاقة الراديوية. يصف هذا الفصل الفروقات بين مكبرات الإشارة الصغيرة والكبيرة، ويوفر إجراءات خطوة بخطوة لتصميم الأخيرة. تتضمن أقسام التصميم التي تناقش تطابق معاوقة خط التغذية المحوري ومحولات النقل عريضة النطاق. المرفق A هو دليل رياضي على التلاعب بالأعداد المركبة مع التركيز على علاقتها بالمعاوقات المركبة. يوصى بقراءة هذا المرفق لأولئك الذين ليسوا على دراية بحساب الأعداد المركبة. ثم، يقدم المرفق B نهجا نظاميا لتصميم الضوضاء من خلال فحص معامل الشكل الضوضائي وعلاقته بتصميم الدوائر وتصميم الأنظمة الكلية. وأخيرا، في المرفق C، يتم تقديم قائمة مراجع للأوراق الفنية والكتب ذات الصلة بتصميم الدوائر الراديوية بحيث يمكنك، كقارئ، زيادة فهمك لإجراءات تصميم الدوائر الراديوية. كريس برويك

ACKNOWLEDGMENTS

المؤلف يود أن يعبر عن امتنانه للمساهمات التي قدمها العديد من الأفراد في إتمام هذا المشروع. أولا وقبل كل شيء، شكر خاص يذهب إلى زوجتي، مورين، التي لم تقم فقط بكتابة المخطوطة بأكملها مرتين على الأقل، ولكنها أيضا قامت بواجبات كل من محرر ومصدر تشجيع رئيسي للمؤلف طوال المشروع. من الواضح أنه بدون مساعدتها، لم يكن سيتم الانتهاء من هذا الكتاب. شكر إضافي يذهب إلى الأفراد والشركات التالية على مساهماتهم في شكل معلومات وورقات بيانات؛ بيل أميدن وجيم كوكس من شركة أميدن أسوشيتيس، ديف ستيوارت من شركة بيزو تكنولوجي، إيرفينغ كاديش من بيكنيكس، براين برايس من إنديانا جنرال، ريتشارد باركر من فير رايت بروكتس، جاك جودمان من سبراج جودمان إلكترونيكس، فيليب سميث من أنالوج إنسترومنتس، لوثر شتيرن من ماتيريلا، ولاري وارد من مايكروويف أسوشيتيس.

To my wife, Maureen, and daughter, Zoe . . .

CONTENTS

الفصل 1: المكونات - الأسلاك - المقاومات - السعات - الملفات اللولبية - الموصلات - تصميم الملف اللولبي الثلاثي الأبعاد - نصائح عملية للتفاف الأسلاك الفصل 2: الدوائر الرنينية

تعريفات بعض المصطلحات - الرنين (المكونات غير المفقودة) - محمل 0- إدراج الخسارة - تحويل المعاوقة - اقتران الدوائر الرنانة

CHAPTER 3

تصميم الفلتر © 44 الخلفية - تصميم فلتر حديث - التطبيع ونوع الفلتر المنخفض المرور - أنواع الفلاتر - تحجيم التردد والمقاومة - تصميم فلتر عالي المرور - الشبكة المزدوجة - تصميم فلتر مرور النطاق - ملخص لإجراء تصميم فلتر مرور النطاق - تصميم فلتر رفض النطاق - تأثير Q المحدود

CHAPTER 4

مطابقة الانتقال. 66 الخلفية - شبكة L - التعامل مع الأحمال المعقدة - مطابقة العناصر الثلاثة - مطابقة منخفضة الجودة أو واسعة النطاق - مخطط سميث - مطابقة الانتقال على مخطط سميث - ملخص

CHAPTER 5

المكون الإلكتروني عند ترددات الراديو. 98 الدائرة المكافئة للترانزستور - معلمات Y - معلمات S - فهم ورقات بيانات الترانزستور لترددات الراديو - ملخص

CHAPTER 6

مكبر الطاقة RF SmarLSicnar وصف تشويش ترانزستور ثنائي — التصميم باستخدام معلمات Y — التصميم باستخدام معلمات S

CHAPTER 7

RF POWER AMPLIFIERS	150
-------------------------------	-----

خصائص ترانزستور الطاقة - توجيه الترانزستور - تصميم مكبر الطاقة - مطابقة خطوط التغذية المحورية - دوائر إيقاف تلقائي - نقل عريض

Transformers — Practical winding hints — Summary

الملحق أ

الجبر الخطي

164

APPENDIX B

NOISE CALCULATIONS	167
------------------------------	-----

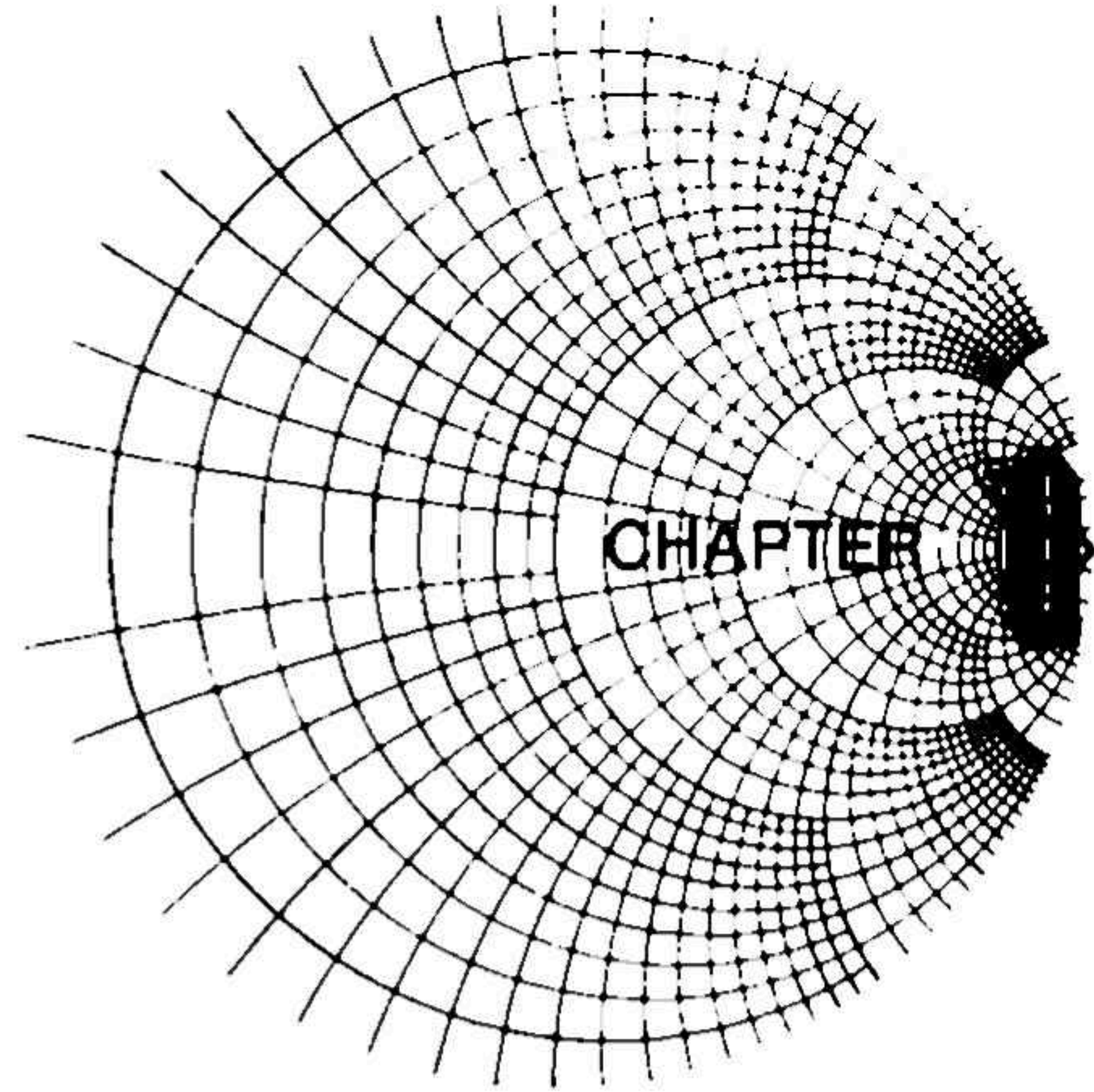
Types of Noise — Noise Figure — Receiver Systems Calculations

الملحق C

BIBLIOGRAPHY	170
------------------------	-----

Technical Papers — Books

INDEX	172
-----------------	-----



COMPONENTS

المكونات، تلك القطع والأجزاء التي تشكل دائرة التردد الراديوي، يبدو في بعض الأحيان أنها تؤخذ بشكل مفروض. فالمكثف، في النهاية، هو مكثف — أليس كذلك؟ مقاومة بقيمة 1 ميغا أوم تقدم معاوقة على الأقل بقيمة 1 ميغا أوم، أليس كذلك؟ الرد فعل لفائف الإندكتور يزيد دائما مع التردد، صحيح؟ حسنا، كما سنرى لاحقا في هذا النقاش، الأمور ليست دائما كما تبدو. المكثفات عند ترددات معينة قد لا تكون مكثفات على الإطلاق، بل قد تكون ذات طبيعة إندكثيفية، بينما قد تبدو لفائف الإندكتور كمكثفات، والمقاومات قد تكون تميل إلى أن تكون قليلا من كليهما. في هذا الفصل، سنناقش خصائص المقاومات، المكثفات، والإندكتورات عند ترددات الراديو كما تتعلق بتصميم الدوائر. ولكن، أولا، دعونا نلقي نظرة على أبسط مكون في أي نظام ونفحص مشاكله عند ترددات الراديو.

WIRE

السلك في دائرة الراديو الترددية يمكن أن يأخذ العديد من الأشكال. مقاومات السلك الملفوفة، الملفات اللولبية، والمكثفات ذات الأطراف المحورية والشعاعية تستخدم جميعا سلكا من نفس الحجم والطول إما في أطرافها، أو في الجسم الفعلي للمكون، أو في كليهما. يستخدم السلك أيضا في العديد من التطبيقات التوصيلية في الطيف الراديوي المنخفض. سلوك السلك في الطيف الراديوي يعتمد إلى حد كبير على قطر السلك وطوله. تقوم الجدول 11 بتسجيل، في نظام القياس الأمريكي للأسلاك (AWG)، كل مقياس للسلك، قطره المقابل، وخصائص أخرى مثيرة لاهتمام مصممي الدوائر الراديوية. في نظام AWG، يتضاعف قطر السلك تقريبا كل ستة مقاييس للأسلاك. وبالتالي، إذا كانت الستة الأخيرة

يمكن حفظ القياسات وقطراتها من الجدول، ويمكن تحديد جميع قطرات الأسلاك الأخرى بدون الحاجة إلى الجدول (مثال 11).

تأثير الجلد

يستخدم الموصل، عند ترددات منخفضة، كامل مساحته العرضية كوسيلة نقل لحاملي الشحنة. مع زيادة التردد، يؤدي زيادة الحقل المغناطيسي في وسط الموصل إلى تقديم معاوقة لحاملي الشحنة، مما يقلل من كثافة التيار في وسط الموصل ويزيد من كثافة التيار حول حافته. هذه الزيادة في كثافة التيار بالقرب من حافة الموصل تعرف باسم تأثير الجلد. يحدث هذا التأثير في جميع الموصلات بما في ذلك أسلاك المقاومة وأسلاك السعة وأسلاك الملف. العمق داخل الموصل الذي تنخفض فيه كثافة تيار حامل الشحنة إلى $e/1$ أو 37% من قيمته على السطح، يعرف بعمق الجلد وهو دالة للتردد والنفاذية والتوصيلية للوسط. وبالتالي، تختلف الموصلات المختلفة، مثل الفضة والألومنيوم والنحاس، في أعماق الجلد. النتيجة الصافية لتأثير الجلد هي انخفاض فعال في المساحة العرضية للموصل وبالتالي زيادة صافية في مقاومة التيار المتردد للسلك كما هو موضح في الشكل 1.1. بالنسبة للنحاس، يكون عمق الجلد حوالي 0.85 ميكرومتر عند 60 هرتز و 0.007 سم عند 1 ميغاهرتز. أو، لنعبر عنه بشكل آخر، 63% من تيار التيار العالي الترددي الذي يتدفق في سلك نحاسي سيتدفق على مسافة 0.007 سم من الحافة الخارجية للسلك.

Straight-Wire Inductors

في الوسط المحيط بأي موصل يحمل تيارا، يوجد حقل مغناطيسي. إذا كان التيار في الموصل تيارا متناوبا، فإن هذا الحقل المغناطيسي يتمدد وينكمش بشكل متناوب، وبالتالي، ينتج جهدا في السلك يعارض أي تغيير في تدفق التيار. هذا التعارض للتغيير يسمى الذاتي الاندكتانس، ونسمي أي شيء يمتلك هذه الخاصية مندكتور. الاندكتانس للسلك المستقيم قديدا تافها، ولكن كما سيرى لاحقا في هذا الفصل، كلما زادت الترددات، كلما زاد أهميته. الاندكتانس لسلك مستقيم يعتمد على طوله وقطره، ويحسب بواسطة

EXAMPLE 1-1

بما أن قطر سلك AWG 50 هو 1.0 ميل (0.001 بوصة)، فإن قطر سلك AWG 14 يمكن حسابه باستخدام العلاقة التالية بين

أقطار الأسلاك وأرقام $\left(\frac{39}{36-n} \right)^2 \times 0.005$ (AWG: d_{AWG}) حيث: -

$\left(\frac{39}{36-n} \right)^2 \times 0.005$ هو القطر بالبوصة لرقم AWG المحدد. - (ln) ورقم AWG. لذا، سنقوم بحساب القطر للسلك

Solution

$d_{\text{AWG 14}} = 0.01558$ $\left(\frac{39}{36-n} \right)^2 \times 0.005$ $\left(\frac{39}{36-14} \right)^2 \times 0.005$

$0.005 \times 2 = 0.01$ (ميل) $64 = 2 \times 32$ بوصة $14 = 2 \times 32$ ميل $32 = 2 \times 16$ ميل $20 = 2 \times 10$ ميل

$d_{\text{AWG 32}} = 0.003116$ ميل $16 = 2 \times 8$ ميل $26 = 2 \times 13$ ميل $8 = 2 \times 4$ ميل $32 = 2 \times 16$ ميل $14 = 2 \times 7$ ميل

بوصة إذا، قطر سلك $4 = 2 \times 2$ ميل $38 = 2 \times 19$ ميل $2 = 2 \times 1$ ميل $44 = 2 \times 22$ ميل $1 = 2 \times 0.5$ ميل

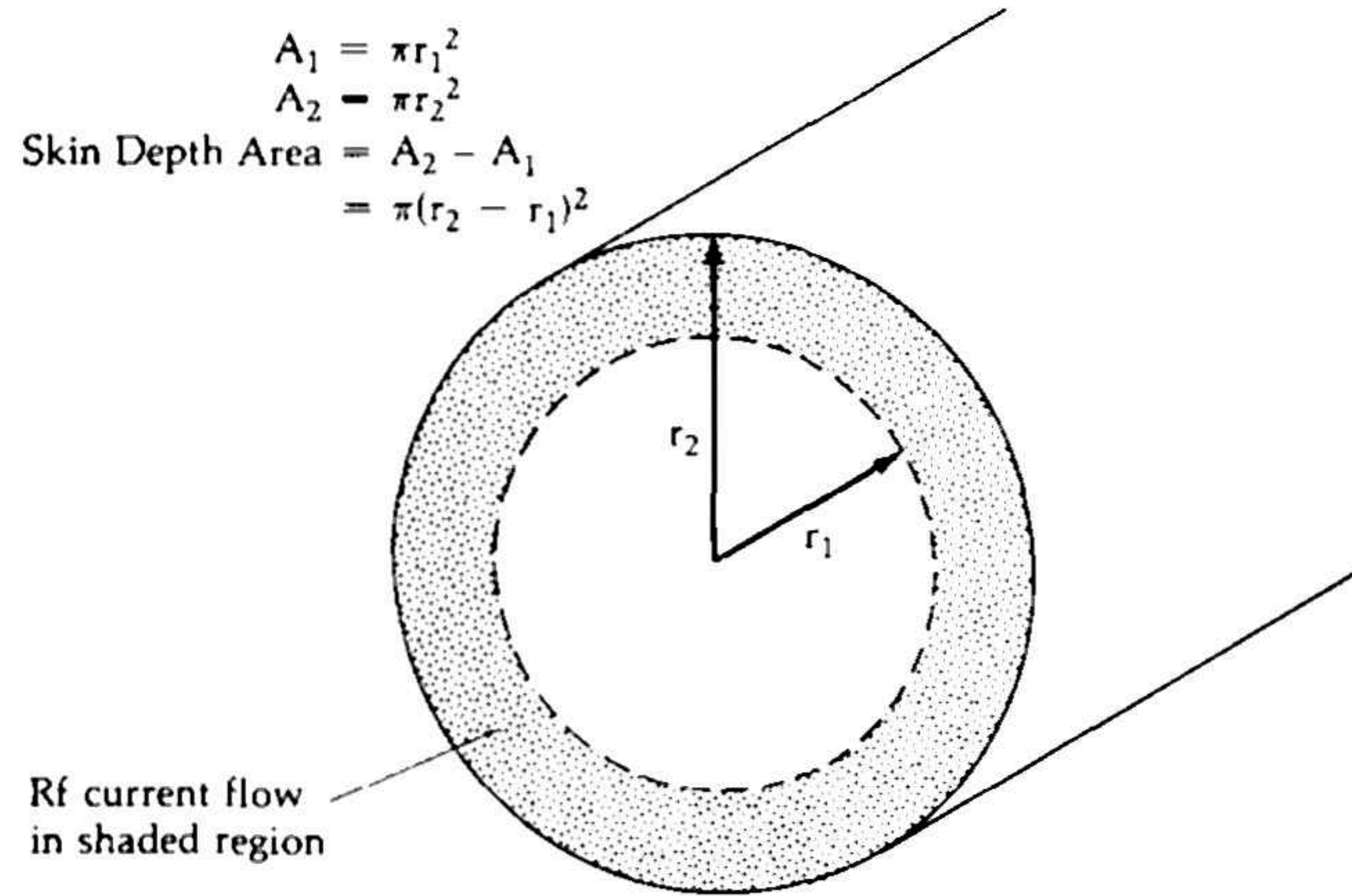


Fig. 1-1. Skin depth area of a conductor.

$$0.0021 \cdot 2.3 \lg(4 - 0.075) \text{ pH} \quad (\text{Eq. 1-1})$$

أين؟

قطر السلك بالسنتيمتر $d =$ طول السلك بالسنتيمتر $l =$ الاعتدال في

ميكروهنري $L =$

This is shown in calculations of Example 1-2.

EXAMPLE 1-2

Find the inductance of 5 centimeters of No. 22 copper wire.

Solution

من الجدول 11، قطر سلك النحاس رقم 22 هو 25.3 ميل. نظرا لأن 1 ميل يساوي 10×2.54 سم، فإن هذا يساوي 0.0843 سم. بوضعها في المعادلة 11 يعطي:

$$L = 0.0021 \cdot 2.3 \lg(4 - 0.075) \text{ pH} = 0.0021 \cdot 2.3 \lg(3.925) \text{ pH} = 0.0021 \cdot 2.3 \cdot 0.594 \text{ pH} = 0.0021 \cdot 1.366 \text{ pH} = 0.00286 \text{ pH} = 0.00286 \cdot 10^{-12} \text{ H} = 2.86 \text{ pH}$$

مفهوم التوصيل هو مهم لأن جميع الموصلات عند ترددات الراديو (بما في ذلك أسلاك الاتصال، وأسلاك السعة، إلخ) تظهر خاصية التوصيل. سيتم مناقشة الملفات اللولبية بتفصيل أكبر لاحقا في هذا الفصل.

RESISTORS

المقاومة هي الخاصية للمادة التي تحدد معدل تحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة حرارية لتيار كهربائي معين. بحسب التعريف.

$$1 \text{ volt across } 1 \text{ ohm} = 1 \text{ coulomb per second} = 1 \text{ ampere}$$

The thermal dissipation in this circumstance is 1 watt.

$$\begin{aligned} P &= EI \\ &= 1 \text{ volt} \times 1 \text{ ampere} \\ &= 1 \text{ watt} \end{aligned}$$

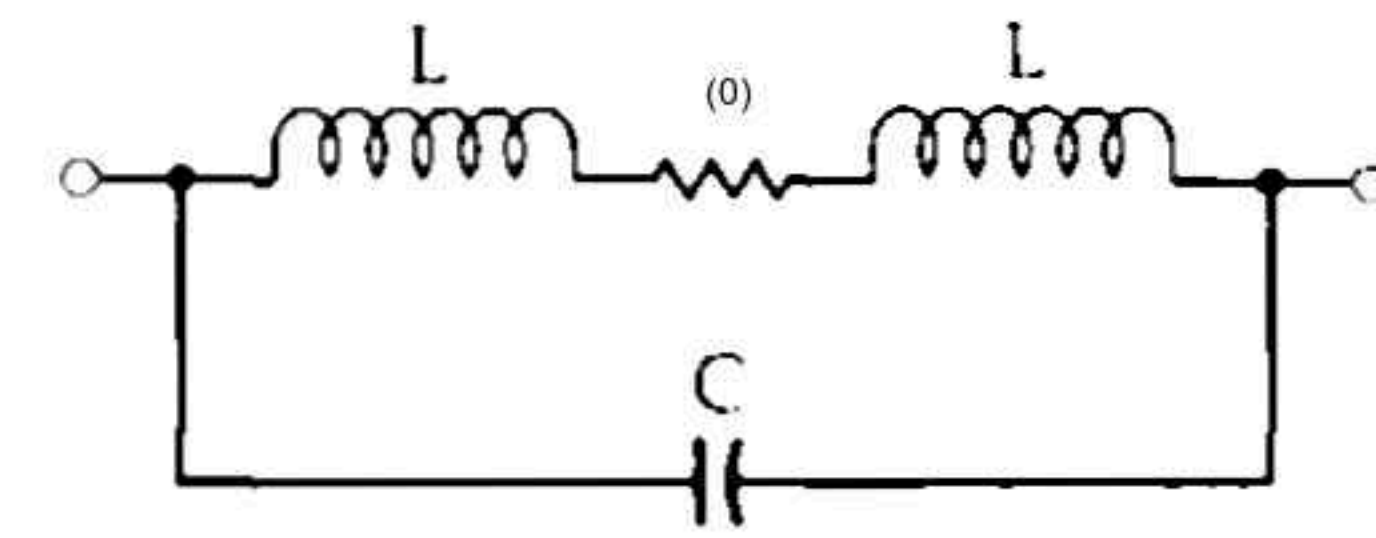


Fig. 1-2. Resistor equivalent circuit.

المقاومات تستخدم في كل مكان في الدوائر، كشبكات توجيه الترانزستورات، والأقراص، ومجموعات الإشارات. ومع ذلك، نادرا ما يتم إيلاء أي اهتمام لكيفية سلوك المقاومة فعليا عندما نبتعد عن عالم التيار المباشر (التيار المستمر). في بعض الحالات، مثل في شبكات توجيه الترانزستورات، ستستمر المقاومة في أداء وظيفتها في الدائرة التيار المستمر، ولكن قد تعطل نقطة التشغيل للترددات الراديوية في الدائرة أيضا.

Resistor Equivalent Circuit

الدائرة المكافئة لمقاومة في ترددات الراديو موضحة في الشكل 12. R هو قيمة المقاومة نفسها، L هو التردد الذي يتقدم، و C هو مجموعة من السعات الطفيلية التي تتغير من مقاومة إلى أخرى اعتمادا على هيكل المقاومة. المقاومات من تركيب الكربون تعتبر أداء عالي التردد. يمكن أن تتكون مقاومة تركيب الكربون من جزيئات عازلة معبأة بإحكام أو حبيبات كربون. بين كل زوج من حبيبات الكربون يوجد سعة طفيلية صغيرة جدا. هذه السعات الطفيلية، في مجموعها، ليست غير مهمة، وهي المكون الرئيسي للدائرة المكافئة للجهاز. المقاومات السلكية لها مشاكل عند ترددات الراديو. كما يمكن توقعه، تظهر هذه المقاومات مقاومات متغيرة بشكل واسع عبر ترددات مختلفة. وهذا ينطبق بشكل خاص على القيم المنخفضة للمقاومة في نطاق التردد من 10 ميغاهرتز إلى 200 ميغاهرتز. الملف L، الموضح في الدائرة المكافئة في الشكل 12، أكبر بكثير لمقاومة سلكية منه لمقاومة تركيب الكربون. يمكن حساب قيمته باستخدام صيغة التقريب للملف الهوائي ذو الطبقة الواحدة. سيتم مناقشة هذه الصيغة لاحقا في هذا الفصل. لأن المقاومات السلكية تبدو مثل الملفات، فإن مقاومتها ستزداد أولا مع زيادة التردد. في تردد معين (F_r)، ومع ذلك، ستترنح الاندكتانس (L) مع السعة الموازية.

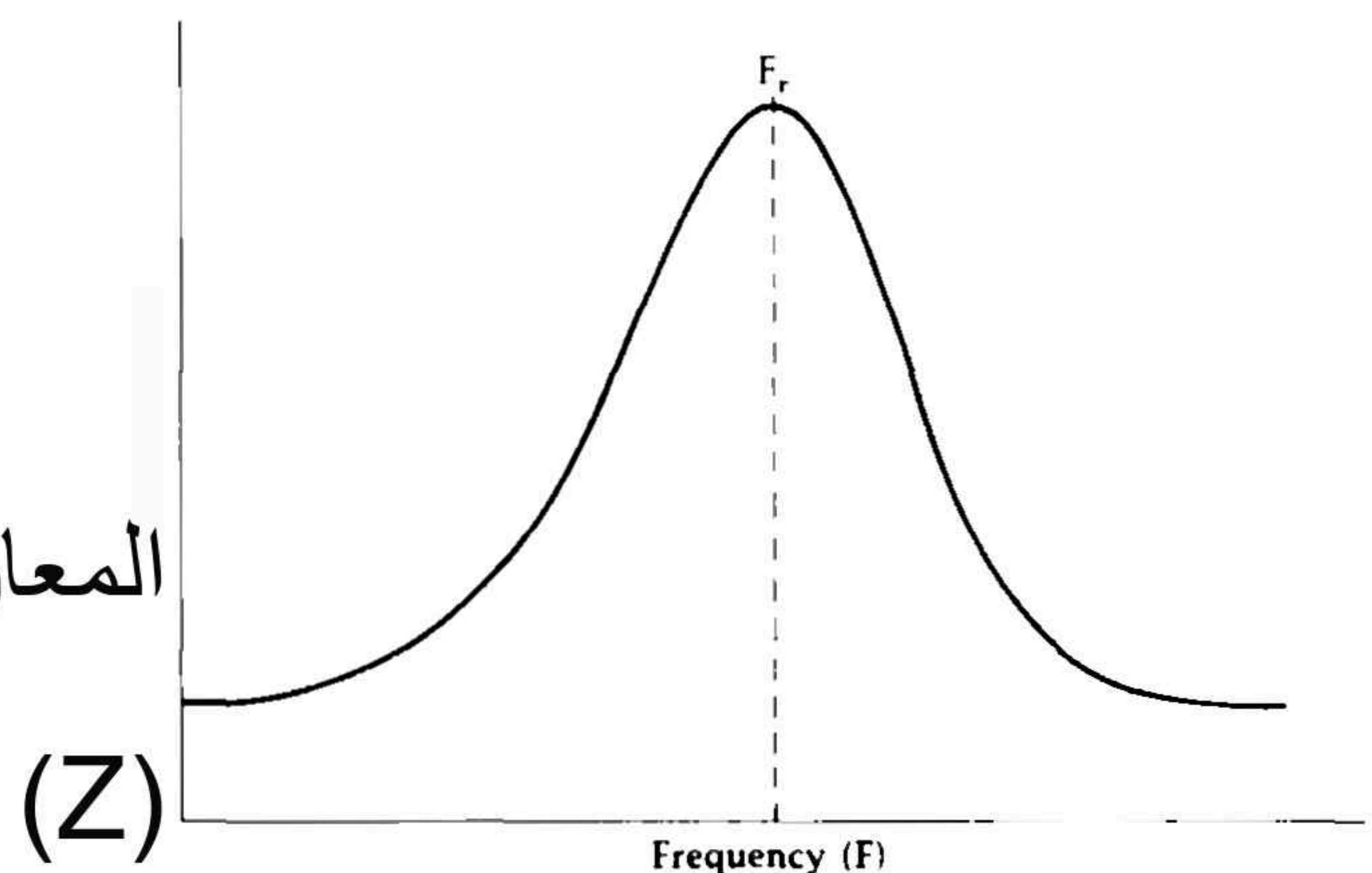
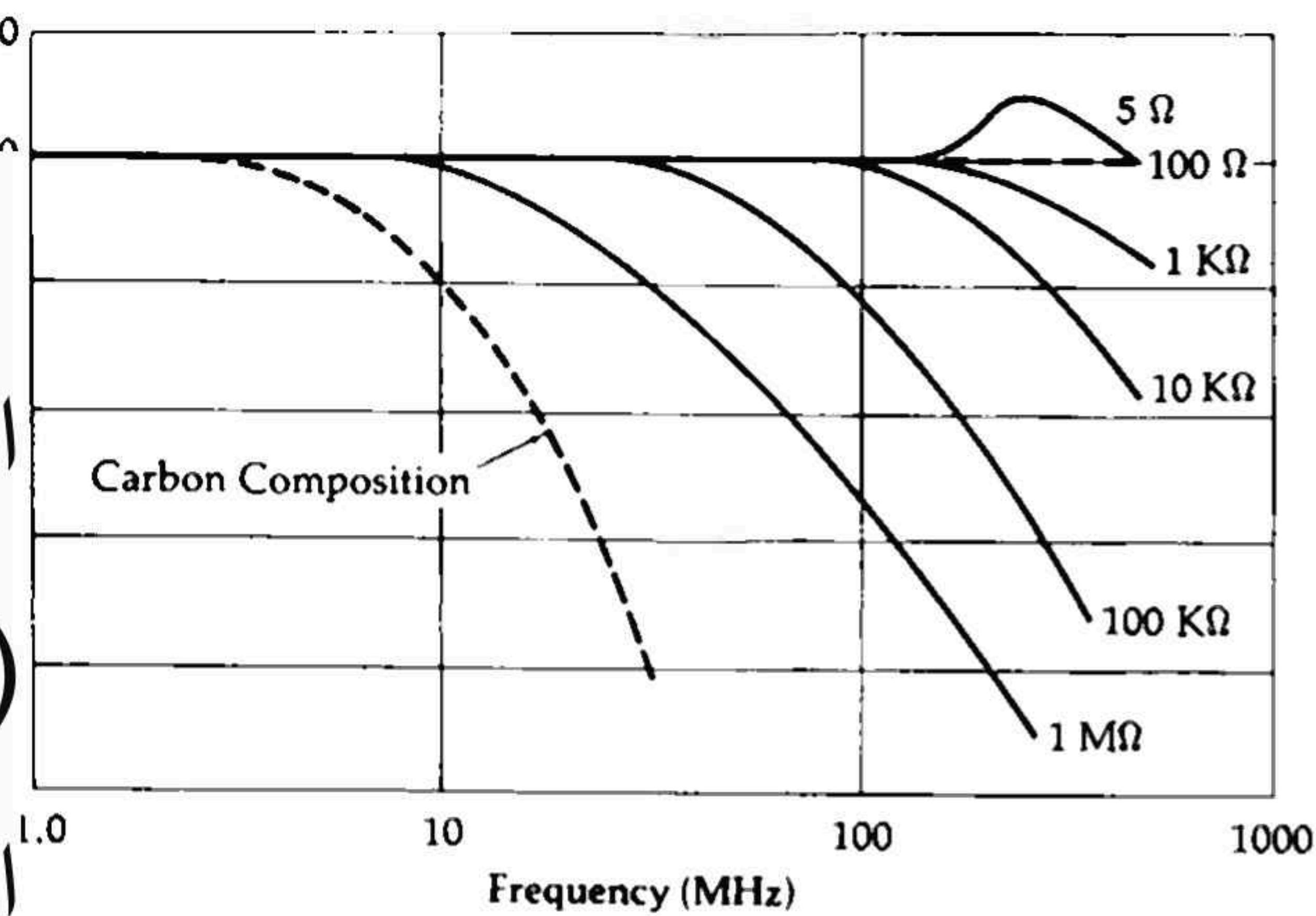


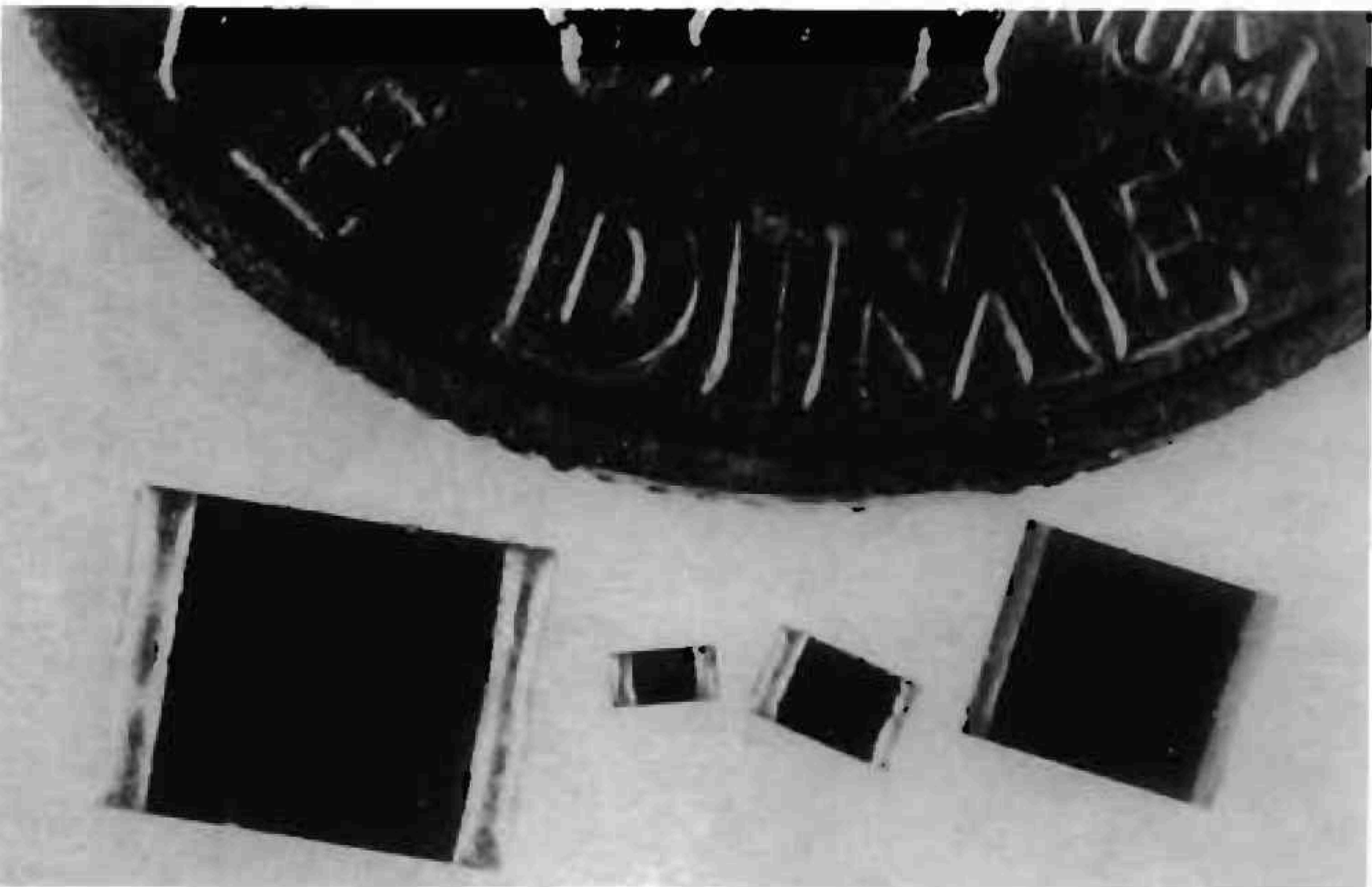
Fig. 1-3. Impedance characteristic of a wirewound resistor.

المعاوقة
(المقاومة)
التيار
المستمر



الشكل رقم 14. الخصائص الترددية لمقاومات الأفلام المعدنية مقابل تركيب المقاومات الكربونية. (معدل من كتيب مكونات الإلكترونيات، مكجروهيل).

المعاوقة تنتج قمة ارتجاعية، كما هو موضح للمقاومة 5 أوم في الشكل 14، وتقل ظاهرة الجلد من انحدار المنحنى مع انخفاض التردد. العديد من الشركات المصنعة ستقدم بيانات عن سلوك المقاومة عند الترددات الراديوية ولكن قد تكون مضللة في كثير من الأحيان. بمجرد فهمك للآليات المعنية بسلوك المقاومة، لن يهتمك كيفية تقديم البيانات. يوضح المثال 13 هذه الحقيقة. الاتجاه الحديث في تكنولوجيا المقاومات كان تقليل أو القضاء على التفاعلات العابرة المرتبطة بالمقاومات. هذا أدى إلى تطوير مقاومات رقاقية رقيقة الطبقة، مثل تلك الموضحة في الشكل 16. عادة ما يتم إنتاجها على قواعد من الألومينا أو البيريليا وتقدم قليلا جدا من التفاعل الطفيلي عند ترددات تتراوح من التيار المستمر إلى 2 جيجاهرتز.



شكرا لك على النص. شكل 18. مقاومات رقاقية ذات طبقة رقيقة. (بموافقة شركة بيكتيكس، شركة)

في الشكل 1.2، طول الأسلاك الرائدة على مقاومة الفيلم المعدني هو 1.27 سم (0.5 بوصة)، وتتكون من سلك رقم 14. السعة الكلية للتشويش الجانبي (C) هي 0.3 بيكوفاراد. إذا كانت قيمة المقاومة 10,000 أوم، فما هي معاوقتها المكافئة عند 200 ميغاهرتز؟

Solution

من الجدول 11، قطر سلك AWG رقم 14 هو 64.1 ميل (0.1628 سم). لذلك، باستخدام المعادلة 11،

$$X_L = \omega L = 2\pi f L = 2\pi (200 \times 10^6) (0.3 \times 10^{-12}) = 0.00377 \text{ ohms}$$
$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi (200 \times 10^6) (0.3 \times 10^{-12})} = 2653 \text{ ohms}$$
$$X_{eq} = X_L \parallel X_C = \frac{X_L X_C}{X_L + X_C} = \frac{0.00377 \times 2653}{0.00377 + 2653} = 0.00142 \text{ ohms}$$

الدائرة المكافئة المجتمعة لهذا المقاومة، عند 200 ميغاهرتز، موضحة في الشكل 15. من هذا الرسم، يمكننا أن نرى أن، في هذه الحالة، التردد الرائد غير مهم بالمقارنة مع المقاومة السلسلية 10 كيلو أوم وقد يكون

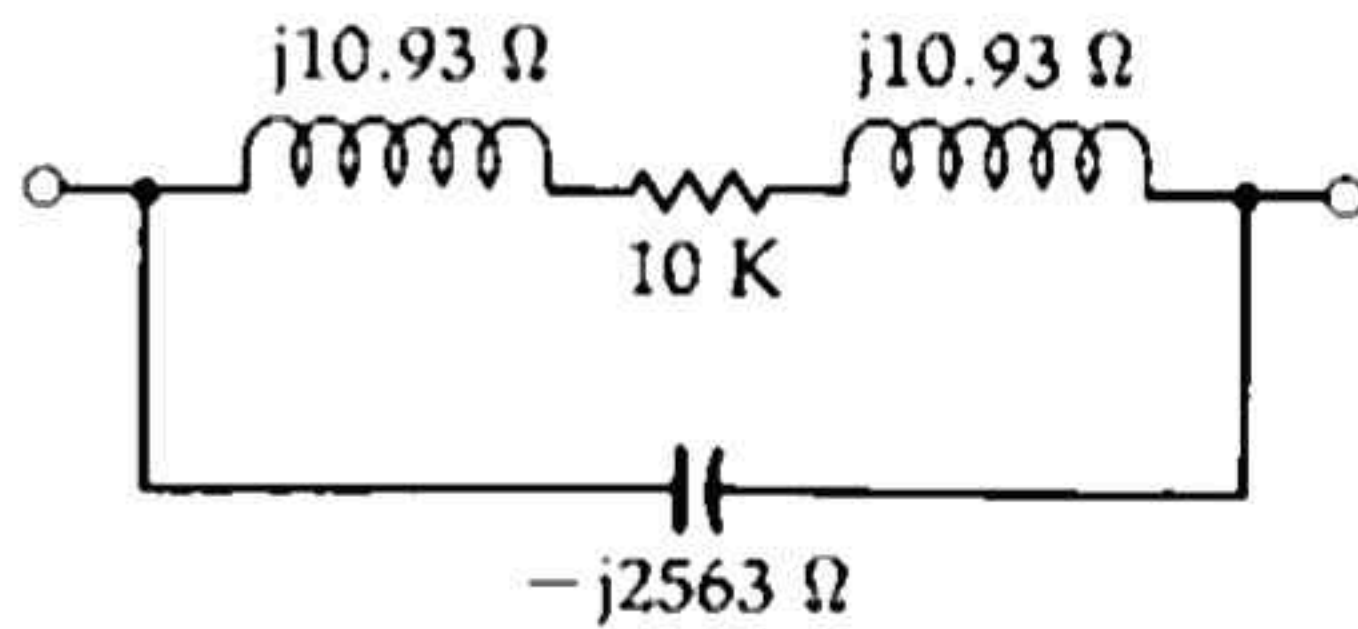


Fig. 1-5. Equivalent circuit values for Example 1-3.

السعة الطفيلية لا يمكن تجاهلها. مالدينا الآن، في الواقع، هو معاوقة بقيمة 25630 أوم موازية مع مقاومة بقيمة 10,000 أوم. قيمة المعاوقة المجتمعة هي

$$Z_{eq} = \frac{1}{\frac{1}{j10.93} + \frac{1}{10000} + \frac{1}{-j2563}} = \frac{1}{\frac{1}{j10.93} + \frac{1}{10000} - \frac{1}{j2563}}$$
$$Z_{eq} = \frac{1}{\frac{1}{j10.93} + \frac{1}{10000} - \frac{1}{j2563}} = \frac{1}{\frac{1}{j10.93} + \frac{1}{10000} - \frac{1}{j2563}}$$

CAPACITORS

المكثفات تستخدم على نطاق واسع في تطبيقات الراديو الترددية، مثل التجاوز، والتوصيل بين المراحل، وفي الدوائر الرنانة والمرشحات. من المهم أن نتذكر، ومع ذلك، أن ليس جميع المكثفات تصلح بنفس القدر لكل من التطبيقات المذكورة أعلاه. المهمة الأساسية لمصمم الدوائر الراديوية، فيما يتعلق بالمكثفات، هي اختيار أفضل مكثف لتطبيقه الخاص. تكلفة الحل تكون عادة عاملا رئيسيا في عملية الاختيار، وبالتالي، يحدث العديد من التنازلات. في هذا القسم، سنلقي نظرة على الدائرة المكافئة للمكثف وسنفحص بعض أنواع المكثفات المستخدمة في ترددات الراديو لنرى أيها الأنسب لبعض التطبيقات. ولكن أولا، دعونا نقوم بمراجعة سريعة.

Parallel-Plate Capacitor

المكثف هو أي جهاز يتكون من سطحين موصلين مفصولين بمادة عازلة أو مادة عازلة. المادة العازلة عادة ما تكون سيراميك، هواء، ورق، ميكافلاستيك، فيلم، زجاج، أو غير ذلك. السعة الكهربائية للمكثف هي تلك الخاصية التي تسمح بتخزين شحنة عندما يكون هناك فرق جهد بين الموصلين. يتم قياس السعة الكهربائية بوحدة الفاراد. عند شحن مكثف بسعة فاراد واحد، يرتفع جهده بمقدار فولت واحد عندما يتلقى شحنة بمقدار كولوم واحد.

c=2

الجهود بالفولت V=، الشحنة بالكولومب Q=، السعة بالفاراد C=

ومع ذلك، الفاراد هو وحدة غير عملية للعمل معها، لذا تم تصميم وحدات أصغر.

1 ميكروفاراد = 1 ميكروفاراد = 10⁻⁶ فاراد 1 بيكوفاراد = 10⁻¹² فاراد

كما ذكر سابقا، فإن المكثف في شكله الأساسي يتكون من لوحتين معدنيتين مفصولتين بمادة عازلة من نفس النوع. إذا كنا نعرف مساحة (A) كل لوح معدني، والمسافة (d) بين اللوح (بالإنش)، وثابت العزل (ε) للمادة العازلة بوحدة فاراد لكل متر (فاراد/متر)، يمكن إيجاد سعة المكثف الكهربائي لمكثف موازي الألواح بواسطة

المعادلة (12) حيث، ε0 = ثابت العزل في الفراغ = 8.854 × 10⁻¹² فاراد/متر.

في المعادلة 12، يجب أن تكون المساحة (A) كبيرة بالنسبة للمسافة (d). نسبة ε إلى ε0 تعرف باسم الثابت الكهربائي (k) للمادة. الثابت الكهربائي هو عدد يوفر مقارنة بين المادة العازلة المعطاة والهواء (انظر الشكل 1.7). النسبة لـ ε0 للهواء هي، بالطبع، 1. إذا كان الثابت الكهربائي لمادة ما أكبر من 1، فإن استخدامها في مكثف كعازل سيسمح بكمية أكبر من الشحنات.

العازل الهوائي 1 البوليسثيرين 2.5 الورق
4 الميكا 5 الخزف (معامل العزل) 10
Ceramic (high K) 100–10,000

Fig. 1-7. Dielectric constants of some common materials.

السعة لنفس سمك المادة العازلة كما في الهواء. لذلك، إذا كان ثابت المادة العازلة 3، فإنه سينتج سعة ثلاث مرات سعة واحدة تحتوي على الهواء كعازل لها. بالنسبة لقيمة معينة من السعة، فإن المواد ذات الثابت العازل الأعلى ستنتج ساعات أصغر حجما بشكل فعلي. ولكن، نظرا لأن المادة العازلة تلعب دورا كبيرا في تحديد السعة لمكثف، فإنه يتبع أن تأثير المادة العازلة في مكثف يعمل عبر التردد ودرجة الحرارة، غالبا ما يكون مهما.

Real-World Capacitors

استخدام المكثف يعتمد في المقام الأول على خصائص المادة المتعاملة معها. خصائص المادة المتعاملة تحدد أيضا مستويات الجهد والحدود الحرارية التي يمكن استخدام الجهاز عندها. وبالتالي، أي خسائر أو عيوب في المادة المتعاملة لها تأثير هائل على عمل الدائرة. يظهر الدائرة المكافئة للمكثف في الشكل 1.8، حيث يعبر C عن السعة، ويعبر R عن الخسارة في التحويل الحراري المعبر عنها إما بمعامل القدرة (PF) أو بمعامل التحويل (DF)، ويعبر R_s عن المقاومة العازلة، ويعبر L عن التوصيل الذاتي للأطراف والألواح. هناك بعض التعاريف المطلوبة الآن. معامل القدرة -في مكثف مثالي، سيقود التيار المتناوب التيار المطبق بزاوية 90 درجة. ستكون هذه الزاوية الفازية (φ) أصغر في مكثف حقيقي بسبب المقاومة الكلية في التسلسل (R_s+R_p) التي تظهر في الدائرة المكافئة. وبالتالي،

الرجاء تقديم سياق أو

عامل الطاقة هودالة لدرجة الحرارة والتردد ومادة العازل. مقاومة العزل -هذا هو قياس لكمية التيار المستمر الذي يمر من خلال العازل لمكثف مع تطبيق الجهد. لا يوجد مادة عازلة مثالية؛ لذا، يجب أن يتدفق بعض التيار التسربي. يتمثل هذا المسار الحالي بـR في الدائرة المكافئة وعادة ما يكون له قيمة تبلغ 100,000 ميغا أوم أو أكثر. المقاومة السلسلية الفعالة -تختصر بـESR، هذه المقاومة هي المقاومة المكافئة المجمعة لـR_s وR_p، وهي المقاومة المتناوبة لمكثف.

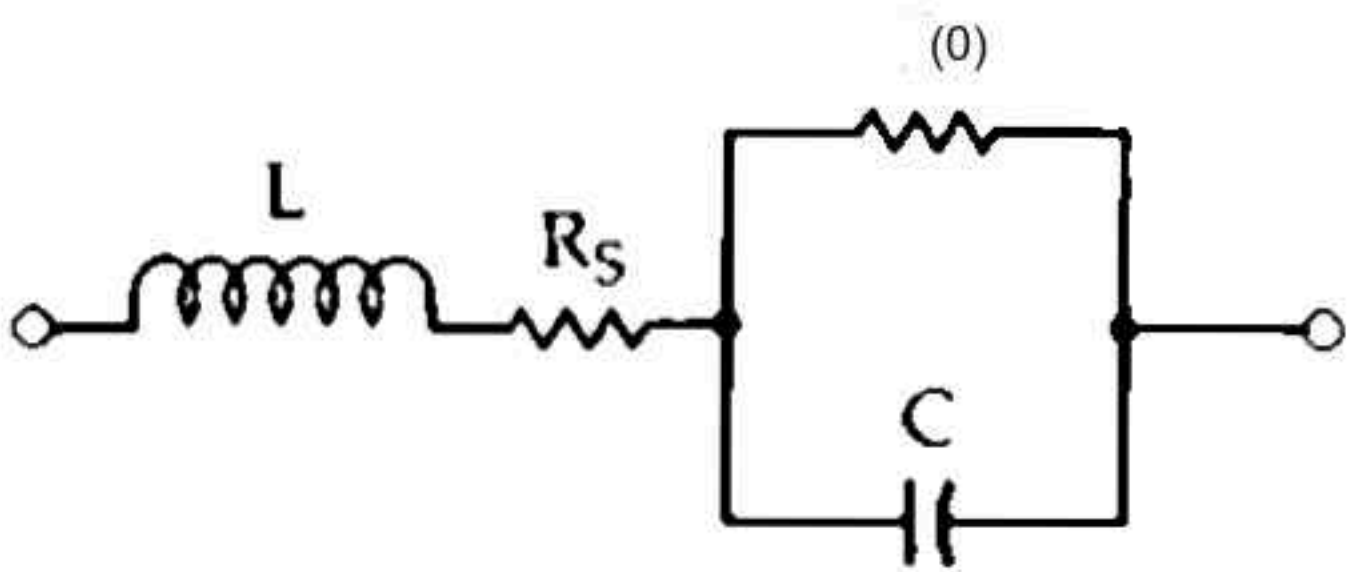


Fig. 1-8. Capacitor equivalent circuit.