

微波集成电路计算机 辅助设计手册

周文强 编著

人民邮电出版社

R/511142
351

微波集成电路计算机辅助 设计手册

周文表 编著

人民邮电出版社

内 容 提 要

本手册比较详细地介绍了微波集成电路的各种传输线, 包括近年提出的许多新颖传输线和阻抗变换器、定向耦合器、功率分配器及滤波器等重要部件的计算机辅助设计。不仅提供了通用网络分析程序及40余份专用设计程序, 还给出了大量的曲线及数表。程序用FORTRAN语言编写, 在CDC170/750计算机上调试通过, 并给出了典型计算结果。

本手册可供从事微波技术工作的科研、试制、生产的工程技术人员及大专院校有关专业的师生查阅参考。

2030/04

微波集成电路计算机辅助设计手册

周文表 编著

责任编辑: 赵力颀

*

人民邮电出版社出版

北京东长安街27号

河北省邮电印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

*

开本: 787×1092 1/16 1988年5月 第一版
印张: 64 8/16 页数: 516 1988年5月 河北第1次印刷
字数: 1632千字 印数: 2 000 册

ISBN7115—03319—6/TP

定价: 15.00元

前 言

随着微波应用的发展,可采用的有源及无源元件的种类日益繁多,微波系统也越来越复杂,因而微波电路的设计工作变得日益繁杂。加之近十余年来广泛采用了集成化技术,使微波集成电路一旦制造完成以后,很难再进行修改或调整。因此为了确保微波系统的高性能,要求微波集成电路的设计比以往更为精确可靠。在这种背景要求下,近年来微波集成电路的计算机辅助设计(以后简称CAD)有了很大的进展,在杂志上已发表了大量的文献资料,其优越性是不言而喻的。但目前国内尚缺乏关于微波集成电路CAD的专著。

CAD大致有两类。一类是根据电路模型进行分析,然后使之优化。因此如果编写了一个通用分析程序,加上优化程序,就可分析设计许多类型的电路。但往往需要多次反复计算,计算工作量较大。另一类是根据某些电路或部件的综合理论,直接进行设计,即编写专用的设计程序。这一类计算工作量较小,可在微型机上进行,但要求使用者在设计理论方面有较好的基础。考虑到各方面的需要与现况,本手册提供了40多份关于各类传输线及重要微波部件的专用设计程序,并提供了一个通用分析程序。读者可根据各自的情况选用参考,发展自己的专用程序,逐步形成自己的程序库。

本手册内容分为三部份。第一部份讨论了各种微波集成电路用传输线的分析及综合。不仅提供了计算机程序,还给出了大量的设计曲线与数表。其中许多种传输线是近几年杂志上才发表的,国内尚缺乏这些新颖传输线的设计资料,本手册作了详尽的介绍。其中一部份根据文献资料补充计算了大量数据,很大一部份则采自编者尚未发表的工作成果。第二部份详细讨论了分析微波电路特性的通用网络分析程序,并给出了重要微波部件的综合理论及综合设计程序。对所涉及的基本原理,根据需要作了简明扼要的叙述,尽量注明出处,使有兴趣的读者可作进一步钻研。第三部份是所有程序及子程序的汇编及有关使用的说明。大部份程序给出了典型的计算结果。所有程序及子程序均用FORTRAN语言编写,并在CDC Dual Cyber170/750计算机上调试通过。通用网络分析程序GMNA(MC-101)及编号为TL- $\times\times\times$ 的大部份程序还在ALPHA MICRO 1000微机上调试通过。当读者使用本书的主程序时,要象书中给出的通用网络分析程序GMNA(见§13.1)那样,把主程序中列出的所有子程序与主程序组合在一起,才能形成一个可执行的完整程序。为了节省篇幅及便于灵活应用,书中把主程序(第11及13章)与子程序(第12及14章)分开编排。

为了照顾读者的不同需要,本书在内容上作了不同的安排,在精度要求较低时,可直接查阅手册中的曲线进行计算。曲线的特点是直观性,可指明改进的方向或定出优化计算的初始方案。在不具备计算机又需较精确的计算时,可查阅手册中的数表,借助袖珍计算器或可编程序计算器,利用内插法进行计算。具备FORTRAN语言微型机的读者,就可直接利用书中的程序进行设计计算,并以此为基础,逐步建立并完善自己的程序库。把手册中的程序翻译为BASIC语言以适应其它微型机也是很容易的。

由于编者水平所限,书中一定存在许多缺点错误,诚恳地希望同志们批评指正。

编 者

1983年12月

目 录

第一章 带状线

§ 1.1 带状线	(1)
§ 1.2 侧边耦合带状线	(21)
§ 1.3 宽边耦合带状线	(39)
§ 1.4 宽边耦合垂直带状线	(55)
§ 1.5 偏置平行耦合带状线	(64)
§ 1.6 夹层平行耦合带状线	(82)
§ 1.7 耦合厚矩形杆	(95)
§ 1.8 带状线的不连续性	(96)
§ 1.9 带状线的损耗	(105)
参考文献	(106)

第二章 微带线

§ 2.1 TEM波传输线参量	(107)
§ 2.2 微带线的TEM波近似公式	(108)
§ 2.3 微带线的精确数字解	(124)
§ 2.4 微带线综合实例	(136)
§ 2.5 带厚度及金属屏蔽对微带线特性的影响	(136)
§ 2.6 各向异性介质基片的微带线	(140)
§ 2.7 微带线的色散	(142)
§ 2.8 微带线工作频率的上限	(148)
§ 2.9 微带线的损耗与辐射	(149)
§ 2.10 多层介质微带线	(153)
§ 2.11 悬置微带线	(154)
§ 2.12 反置微带线	(174)
§ 2.13 耦合微带线	(175)
§ 2.14 不等宽度耦合微带线	(249)
§ 2.15 各向异性介质基片耦合微带线	(250)
§ 2.16 介质覆盖耦合微带线	(253)
§ 2.17 耦合悬置微带线	(264)
§ 2.18 耦合反置微带线	(288)
§ 2.19 宽边耦合微带线	(306)
§ 2.20 宽边耦合双芯微带线	(319)

§ 2.21 宽边耦合反置微带线·····	(332)
§ 2.22 宽边侧边耦合微带线·····	(345)
§ 2.23 宽边侧边耦合反置微带线·····	(368)
§ 2.24 三微带线·····	(390)
参考文献·····	(391)

第三章 微波集成电路用其它传输线

§ 3.1 共面波导 ·····	(392)
§ 3.2 屏蔽共面波导 ·····	(415)
§ 3.3 半导体基片共面波导 ·····	(417)
§ 3.4 蓝宝石基片共面波导 ·····	(419)
§ 3.5 共面带状线 ·····	(420)
§ 3.6 槽线 ·····	(430)
§ 3.7 双层介质悬置槽线 ·····	(438)
§ 3.8 夹层悬置槽线 ·····	(440)
§ 3.9 双层介质悬置耦合槽线 ·····	(442)
§ 3.10 夹层悬置耦合槽线·····	(443)
§ 3.11 介质覆盖宽边耦合悬置槽线·····	(445)
§ 3.12 单侧鳍线·····	(447)
§ 3.13 双侧鳍线·····	(450)
§ 3.14 单侧耦合鳍线·····	(453)
§ 3.15 双侧耦合鳍线·····	(455)
§ 3.16 微带—槽线·····	(456)
§ 3.17 耦合微带—槽线·····	(465)
§ 3.18 镜像波导·····	(471)
§ 3.19 陷波镜像波导·····	(473)
参考文献·····	(474)

第四章 微带电路的不连续性

§ 4.1 微带不连续性的主要形式 ·····	(475)
§ 4.2 微带开路不连续性 ·····	(476)
§ 4.3 串联间隙 ·····	(481)
§ 4.4 微带弯头 ·····	(488)
§ 4.5 微带宽度的阶梯改变 ·····	(491)
§ 4.6 T型接头 ·····	(496)
§ 4.7 十字型接头 ·····	(501)
§ 4.8 横向窄槽 ·····	(506)
§ 4.9 圆孔 ·····	(506)

参考文献	(507)
------	---------

第五章 微波电路特性的计算

§ 5.1 两端口网络的矩阵参数及其转换	(508)
§ 5.2 常用两端口网络的矩阵参数	(514)
§ 5.3 对称电路的奇、偶模分析法	(515)
§ 5.4 级联两端口网络的分析	(517)
§ 5.5 任意联结两端口网络的分析	(518)
§ 5.6 通用网络分析程序	(519)
参考文献	(526)

第六章 集总元件及有关电路

§ 6.1 电阻元件	(527)
§ 6.2 集总电感元件	(528)
§ 6.3 集总电容元件	(530)
§ 6.4 直流通路	(532)
§ 6.5 隔直流电路	(543)
参考文献	(548)

第七章 阻抗变换器

§ 7.1 引言	(549)
§ 7.2 多段阶梯阻抗变换器的最大驻波比和段数及频宽的关系	(549)
§ 7.3 二、三及四段阻抗变换器的设计	(555)
§ 7.4 任意段数阶梯阻抗变换器的近似理论	(565)
§ 7.5 切比雪夫多段阶梯阻抗变换器的频响特性	(568)
§ 7.6 短阶梯阻抗变换器	(568)
§ 7.7 微带线低通滤波阻抗变换器	(584)

第八章 功率分配器

§ 8.1 对称分支网络	(602)
§ 8.2 直接耦合桥路	(603)
§ 8.3 环形电桥	(617)
§ 8.4 共线功率等分器	(625)
§ 8.5 不等分共线功率分配器	(627)
§ 8.6 多段共线功率等分器	(635)

第九章 定向耦合器

§ 9.1 耦合线定向耦合器	(643)
§ 9.2 平行线定向耦合器的综合	(649)
§ 9.3 兰格耦合器	(652)
§ 9.4 改善耦合器性能的其它方法	(658)
§ 9.5 多段定向耦合器	(660)
§ 9.6 定向耦合器的级联	(676)
§ 9.7 不均匀传输线定向耦合器	(678)
参考文献	(684)

第十章 滤波器

§ 10.1 最平坦型及等波纹型滤波器的衰减特性	(685)
§ 10.2 低通原型滤波器电路参数的定义	(708)
§ 10.3 两端电阻端接的低通原型滤波器	(709)
§ 10.4 一端由电阻端接的低通原型滤波器	(716)
§ 10.5 传输线段的网络表示及集总元件的近似微波实现	(724)
§ 10.6 高低阻抗结构微波低通滤波器	(725)
§ 10.7 椭圆函数低通滤波器	(727)
§ 10.8 高通滤波器	(731)
§ 10.9 半波长侧边耦合带通滤波器	(733)
§ 10.10 末端耦合谐振器型带通滤波器	(769)
§ 10.11 直接耦合短截线滤波器	(769)
§ 10.12 行波定向滤波器	(819)
§ 10.13 带阻滤波器	(821)
参考文献	(822)

第十一章 传输线分析与综合程序

§ 11.1 带状线分析程序STRIP (TL-101)	(823)
§ 11.2 带状线综合程序STRIP2 (TL-102)	(825)
§ 11.3 内导体偏置带状线分析程序OFFSET (TL-103)	(826)
§ 11.4 侧边耦合带状线分析程序SCSTRP1 (TL-104)	(828)
§ 11.5 侧边耦合带状线综合程序SCSTRP2 (TL-105)	(830)
§ 11.6 宽边耦合带状线分析程序BCSTRP1 (TL-106)	(832)
§ 11.7 宽边耦合带状线综合程序BCSTRP2 (TL-107)	(834)
§ 11.8 宽边耦合垂直带状线分析程序BCSTRP3 (TL-108)	(835)
§ 11.9 宽边耦合垂直带状线综合程序BCSTRP4 (TL-109)	(837)

§ 11.10	偏置平行耦合带状线综合程序OFFSTRP (TL-110)	(839)
§ 11.11	夹层平行耦合带状线分析程序ZILPCS1 (TL-111)	(841)
§ 11.12	夹层平行耦合带状线综合程序ZILPCS2 (TL-112)	(843)
§ 11.13	微带线的分析程序ZMS (TL-201)	(845)
§ 11.14	微带线的综合程序MS8 (TL-202)	(846)
§ 11.15	微带线的精确数值分析程序ZMS2 (TL-203)	(848)
§ 11.16	有限厚度微带线分析程序ZMS6 (TL-204)	(863)
§ 11.17	蓝宝石基片微带分析程序MSAP (TL-205)	(865)
§ 11.18	微带线色散计算程序ZMSF (TL-206)	(866)
§ 11.19	耦合微带线分析程序CMSTRIP (TL-207)	(869)
§ 11.20	共面波导的分析程序COPLAN1 (TL-301)	(872)
§ 11.21	共面波导的综合程序COPLAN2 (TL-302)	(874)
§ 11.22	共面带状线的分析程序CPLANS1 (TL-303)	(876)
§ 11.23	共面带状线综合程序CPLANS2 (TL-304)	(877)
§ 11.24	槽线分析程序ASLOT (TL-305)	(879)

第十二章 传输线分析用子程序

§ 12.1	计算带状线阻抗子程序STRP1 (S-101)	(881)
§ 12.2	综合带状线尺寸子程序STRP2 (S-102)	(882)
§ 12.3	计算偏置带状线阻抗子程序STRIP0 (S-103)	(883)
§ 12.4	计算侧边耦合带状线奇、偶模特性阻抗子程序SCSTP1 (S-104)	(884)
§ 12.5	综合侧边耦合带状线尺寸子程序SCSTP2 (S-105)	(885)
§ 12.6	计算宽边耦合带状线阻抗子程序BCSTP1 (S-106)	(886)
§ 12.7	综合宽边耦合带状线尺寸子程序BCSTP2 (S-107)	(886)
§ 12.8	计算宽边耦合垂直带状线阻抗子程序BCSTP3 (S-108)	(887)
§ 12.9	综合宽边耦合垂直带状线尺寸子程序BCSTP4 (S-109)	(888)
§ 12.10	综合偏置平行耦合带状线尺寸子程序OFFSTP (S-110)	(889)
§ 12.11	计算夹层平行耦合带状线阻抗子程序IPCS (S-111)	(891)
§ 12.12	综合夹层平行耦合带状线尺寸子程序INTERL2 (S-112)	(891)
§ 12.13	计算夹层平行耦合带状线杂散电容子程序INTERL1 (S-113)	(893)
§ 12.14	由椭圆函数比值求其宗量的子程序GKPK (S-114)	(894)
§ 12.15	求椭圆函数比值的子程序XKPKP (F-101)	(895)
§ 12.16	求根程序DISPU1 (S-115)	(896)
§ 12.17	辅助求根程序POLNU1 (S-116)	(897)
§ 12.18	二分法求根子程序ROOT1 (S-117)	(899)
§ 12.19	带状线综合的辅助函数 $F(x)$ (F-102)	(901)
§ 12.20	求宽边耦合带状线阻抗的辅助函数 $F(x)$ (F-103)	(902)
§ 12.21	求宽边耦合垂直带状线阻抗的辅助函数子程序 $F(x)$ (F-104)	(902)
§ 12.22	求夹层平行耦合带状线阻抗的辅助函数子程序GETA (F-105)	(903)

§ 12.23	综合夹层平行耦合带状线尺寸的辅助函数子程序GETA2 (F-106 )	.....	( 904)
§ 12.24	计算微带线阻抗子程序MS1 (S-201 )	.....	( 905)
§ 12.25	计算微带线等效介电常数子程序GER (S-202 )	.....	( 906)
§ 12.26	综合微带线尺寸子程序MS2 (S-203 )	.....	( 906)
§ 12.27	微带线静态等效介电常数子程序MEP (S-204 )	.....	( 907)
§ 12.28	计算空气介质微带线阻抗子程序MZ01 (S-205 )	.....	( 908)
§ 12.29	计算微带等效介电常数频率特性子程序MEPF (S-206 )	.....	( 909)
§ 12.30	计算微带线阻抗频率特性子程序MZF (S-207 )	.....	( 910)
§ 12.31	计算耦合微带线静态等效介电常数子程序GEPEO0 (S-208 )	.....	( 911)
§ 12.32	计算耦合微带线特性阻抗子程序GZEO0 (S-209 )	.....	( 912)
§ 12.33	计算耦合微带线等效介电常数频率特性子程序GEPEOF (S-210 )	.....	( 913)
§ 12.34	计算耦合微带线阻抗频率特性子程序GZEOF (S-211 )	.....	( 915)
§ 12.35	计算共面波导阻抗及等效介电常数子程序ACOPLAN (S-301 )	.....	( 917)
§ 12.36	综合共面波导尺寸的子程序SCOPLAN (S-302 )	.....	( 919)
§ 12.37	计算共面带状线阻抗及等效介电常数子程序ACPLANS (S-303 )	.....	( 920)
§ 12.38	综合共面带状线尺寸子程序SCPLS (S-304 )	.....	( 921)
§ 12.39	计算槽线阻抗及导波波长子程序SLOT (S-305 )	.....	( 922)
§ 12.40	计算微带开路端等效电容子程序OPEN (S-401 )	.....	( 923)
§ 12.41	计算微带线串联间隙等效电容子程序CGAP (S-402 )	.....	( 924)
§ 12.42	计算微带直角弯头的附加电容及电感子程序BEND (S-403 )	.....	( 926)

第十三章 微波元件的分析与综合程序

§ 13.1	通用网络分析程序GMNA (MC-101 )	.....	( 927)
§ 13.2	耦合微带隔直流电路设计程序BLOCKS (MC-201 )	.....	( 936)
§ 13.3	二、三、四级阻抗变换器设计程序STEP (MC-301 )	.....	( 938)
§ 13.4	多段四分之一波长阻抗变换器设计程序SIT (MC-302 )	.....	( 942)
§ 13.5	计算切比雪夫阻抗变换器频响特性程序CHEBY (MC-303 )	.....	( 946)
§ 13.6	共线功率等分器设计程序SPLIT (MC-401 )	.....	( 948)
§ 13.7	耦合微带线定向耦合器设计程序COUPLER (MC-501 )	.....	( 952)
§ 13.8	不对称多段定向耦合器综合程序ACMDC (MC-502 )	.....	( 954)
§ 13.9	低通原型滤波器元件值计算程序GLPASSF (MC-601 )	.....	( 961)
§ 13.10	单端端接低通原型滤波器元件值计算程序GLPF (MC-602 )	.....	( 962)
§ 13.11	低通滤波器设计程序LPF (MC-603 )	.....	( 964)
§ 13.12	高通滤波器设计程序HPF (MC-604 )	.....	( 969)
§ 13.13	平行耦合带通滤波器设计程序PCBF (MC-605 )	.....	( 974)
§ 13.14	末端耦合谐振器型带通滤波器设计程序ECBPF (MC-606 )	.....	( 979)
§ 13.15	直接耦合短截线滤波器设计程序DCSBPF (MC-607 )	.....	( 983)
§ 13.16	带阻滤波器设计程序BSTOPF (MC-608 )	.....	( 986)

第十四章 微波元件分析用子程序

§ 14.1	耦合微带线近似综合子程序GSW (S-501)	(991)
§ 14.2	计算低通原型滤波器元件值子程序ELMENT (S-502)	(992)
§ 14.3	计算单端端接低通原型滤波器元件值子程序ELMENT1 (S-503)	(994)
§ 14.4	决定滤波器节数的子程序NSECTN (S-504)	(996)
§ 14.5	耦合微带线综合子程序CPLMS (S-505)	(997)
§ 14.6	综合耦合间隙宽度子程序INVCPL (S-506)	(999)
§ 14.7	间隙综合子程序SYNTH (S-507)	(1001)
§ 14.8	计算直接耦合短截线滤波器阻抗子程序DCSF (S-508)	(1003)
§ 14.9	计算带阻滤波器导纳子程序BSTOP (S-509)	(1004)
§ 14.10	单微带分析子程序ZSTRIP (S-510)	(1015)
§ 14.11	单微带综合子程序MSTRIP (S-511)	(1016)
参考文献		(1019)

第一章 带状线

§1.1 带状线

带状线的基本结构如图1.1.1所示。

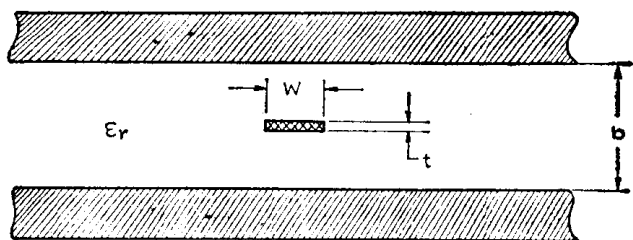


图 1.1.1 带状线截面图

1.1.1 无限薄带状线^[1]

特性阻抗 Z_0 的严格公式为：

$$Z_0 = \frac{30\pi K(k')}{\sqrt{\epsilon_r} K(k)} \quad 1-1-1$$

式中

$$k = \tanh \left(\frac{\pi}{2} \frac{w}{b} \right) \quad 1-1-2$$

$$k' = \sqrt{1 - k^2} \quad 1-1-3$$

$K(k)$ 和 $K(k')$ 是第一类全椭圆积分。 $K(k)/K(k')$ (以后有时简记为 K/K')的数值表如表1.1.1所示。为便于应用计算器计算, 该比值也可由下列近似公式求出:

$$\frac{K(k)}{K(k')} = \begin{cases} \frac{1}{\pi} \ln \left[\frac{2(1+\sqrt{k})}{1-\sqrt{k}} \right] & 0.707 \leq k \leq 1 \\ \frac{\pi}{\ln \left[\frac{2(1+\sqrt{k'})}{(1-\sqrt{k'})} \right]} & 0 \leq k \leq 0.707 \end{cases} \quad 1-1-4$$

1.1.2 无限薄带状线的综合

$$\frac{w}{b} = \frac{2}{\pi} \ln \left(\frac{1+\sqrt{k}}{1-\sqrt{k}} \right) \quad 1-1-5$$

式中

表 1.1.1

椭圆积分的比值 K/K'

k	$\frac{K(k)}{K'(k)}$	k	$\frac{K(k)}{K'(k)}$	k	$\frac{K(k)}{K'(k)}$
0.005	0.238632	0.105	0.431855	0.205	0.530612
0.010	0.262507	0.110	0.437483	0.210	0.535064
0.015	0.281210	0.115	0.443003	0.215	0.539490
0.020	0.296187	0.120	0.448423	0.220	0.543890
0.025	0.309609	0.125	0.453751	0.225	0.548266
0.030	0.321061	0.130	0.458994	0.230	0.552620
0.035	0.331502	0.135	0.464158	0.235	0.556953
0.040	0.341124	0.140	0.469249	0.240	0.561267
0.045	0.350087	0.145	0.474272	0.245	0.565562
0.050	0.358516	0.150	0.479232	0.250	0.569841
0.055	0.366499	0.155	0.484133	0.255	0.574104
0.060	0.374106	0.160	0.488978	0.260	0.578353
0.065	0.381391	0.165	0.493772	0.265	0.582588
0.070	0.388395	0.170	0.498517	0.270	0.586810
0.075	0.395154	0.175	0.503217	0.275	0.591022
0.080	0.401695	0.180	0.507874	0.280	0.595223
0.085	0.408043	0.185	0.512492	0.285	0.599415
0.090	0.414217	0.190	0.517072	0.290	0.603598
0.095	0.420234	0.195	0.521618	0.295	0.607774
0.100	0.426109	0.200	0.526130	0.300	0.611943
0.305	0.616107	0.455	0.741984	0.605	0.882597
0.310	0.620266	0.460	0.746324	0.610	0.887800
0.315	0.624420	0.465	0.750681	0.615	0.893048
0.320	0.628571	0.470	0.755055	0.620	0.898344
0.325	0.632720	0.475	0.759447	0.625	0.903688
0.330	0.636867	0.480	0.763858	0.630	0.909083
0.335	0.641013	0.485	0.768288	0.635	0.914529
0.340	0.645158	0.490	0.772738	0.640	0.920028
0.345	0.649304	0.495	0.777209	0.645	0.925582
0.350	0.653451	0.500	0.781701	0.650	0.931194
0.355	0.657600	0.505	0.786216	0.655	0.936864
0.360	0.661751	0.510	0.790754	0.660	0.942595
0.365	0.665906	0.515	0.795316	0.665	0.948389
0.370	0.670064	0.520	0.799903	0.670	0.954249
0.375	0.674227	0.525	0.804516	0.675	0.960175
0.380	0.678395	0.530	0.809155	0.680	0.966171
0.385	0.682569	0.535	0.813822	0.685	0.972239
0.390	0.686749	0.540	0.818517	0.690	0.978382
0.395	0.690937	0.545	0.823241	0.695	0.984602
0.400	0.695132	0.550	0.827996	0.700	0.990902
0.405	0.699336	0.555	0.832782	0.705	0.997285
0.410	0.703549	0.560	0.837600	0.710	1.003754
0.415	0.707772	0.565	0.842451	0.715	1.010313
0.420	0.712005	0.570	0.847337	0.720	1.016964
0.425	0.716249	0.575	0.852259	0.725	1.023712
0.430	0.720505	0.580	0.857217	0.730	1.030560
0.435	0.724773	0.585	0.862212	0.735	1.037512
0.440	0.729055	0.590	0.867247	0.740	1.044572
0.445	0.733350	0.595	0.872322	0.745	1.051745
0.450	0.737659	0.600	0.877438	0.750	1.059036
0.755	1.066449	0.880	1.316787	0.9900	2.126181
0.760	1.073990	0.885	1.331208	0.9905	2.142588
0.765	1.081665	0.890	1.346227	0.9910	2.159878
0.770	1.089479	0.895	1.361902	0.9915	2.178152
0.775	1.097439	0.900	1.378295	0.9920	2.197530
0.780	1.105552	0.905	1.395481	0.9925	2.218153
0.785	1.113824	0.910	1.413547	0.9930	2.240194
0.790	1.122264	0.915	1.432593	0.9935	2.263363
0.795	1.130881	0.920	1.452739	0.9940	2.289422
0.800	1.139682	0.925	1.474127	0.9945	2.317198

续表 1.1.1

k	$\frac{K(k)}{K'(k)}$	k	$\frac{K(k)}{K'(k)}$	k	$\frac{K(k)}{K'(k)}$
0.805	1.148678	0.930	1.496930	0.9950	2.347617
0.810	1.157879	0.935	1.521358	0.9955	2.381234
0.815	1.167297	0.940	1.547672	0.9960	2.418805
0.820	1.176943	0.945	1.576200	0.9965	2.461388
0.825	1.186830	0.950	1.607367	0.9970	2.510538
0.830	1.196973	0.955	1.641720	0.9975	2.568848
0.835	1.207388	0.960	1.680043	0.9980	2.639760
0.840	1.218091	0.965	1.723366	0.9985	2.731412
0.845	1.229101	0.970	1.773250	0.9990	2.860549
0.850	1.240438	0.975	1.832097		
0.855	1.252126	0.980	1.903935		
0.860	1.214688	0.985	1.996314		
0.865	1.276653	0.990	2.126181		
0.870	1.289551	0.995	2.347617		
0.875	1.302916				

$$k = \frac{\left\{ \frac{0.5 \exp\left(\pi \frac{K}{K'}\right) - 1}{0.5 \exp\left(\pi \frac{K}{K'}\right) + 1} \right\}^2}{\left\{ 1 - \frac{\left\{ \frac{0.5 \exp\left(\pi \frac{K'}{K}\right) - 1}{0.5 \exp\left(\pi \frac{K'}{K}\right) + 1} \right\}^4}{1} \right\}^{1/2}} \quad \frac{K}{K'} \geq 1 \quad 1-1-6$$

$$k = \frac{\left\{ \frac{0.5 \exp\left(\pi \frac{K'}{K}\right) - 1}{0.5 \exp\left(\pi \frac{K'}{K}\right) + 1} \right\}^4}{\left\{ 1 - \frac{\left\{ \frac{0.5 \exp\left(\pi \frac{K'}{K}\right) - 1}{0.5 \exp\left(\pi \frac{K'}{K}\right) + 1} \right\}^4}{1} \right\}^{1/2}} \quad \frac{K}{K'} < 1$$

$$\frac{K}{K'} = \frac{30 \pi}{\sqrt{\epsilon_r} Z_0} \quad 1-1-7$$

1.1.3 有限厚度带状线^[1]

当 $\frac{W}{(b-t)} \geq 0.35$ 时,

$$Z_0 = \frac{94.175}{\sqrt{\epsilon_r} \left(\frac{w/b}{1-t/b} + \frac{C_f'(t/b)}{0.0885 \epsilon_r} \right)} \quad 1-1-8$$

式中 C_f' 是杂散电容, 可由下式计算:

$$C_f'(t/b) = \frac{0.0885 \epsilon_r}{\pi} \left[\frac{2}{1-t/b} \ln \left(1 + \frac{1}{1-t/b} \right) - \left(\frac{1}{1-t/b} - 1 \right) \ln \left(\frac{1}{(1-t/b)^2} - 1 \right) \right] (PF/cm) \quad 1-1-9$$

图1.1.2给出了 C_f' 随 t/b 变化的曲线。

当 $\frac{W}{(b-t)} < 0.35$ 时, 带状线的特性阻抗 Z_0 由接地平板之间直径为 D 的等效圆导体的

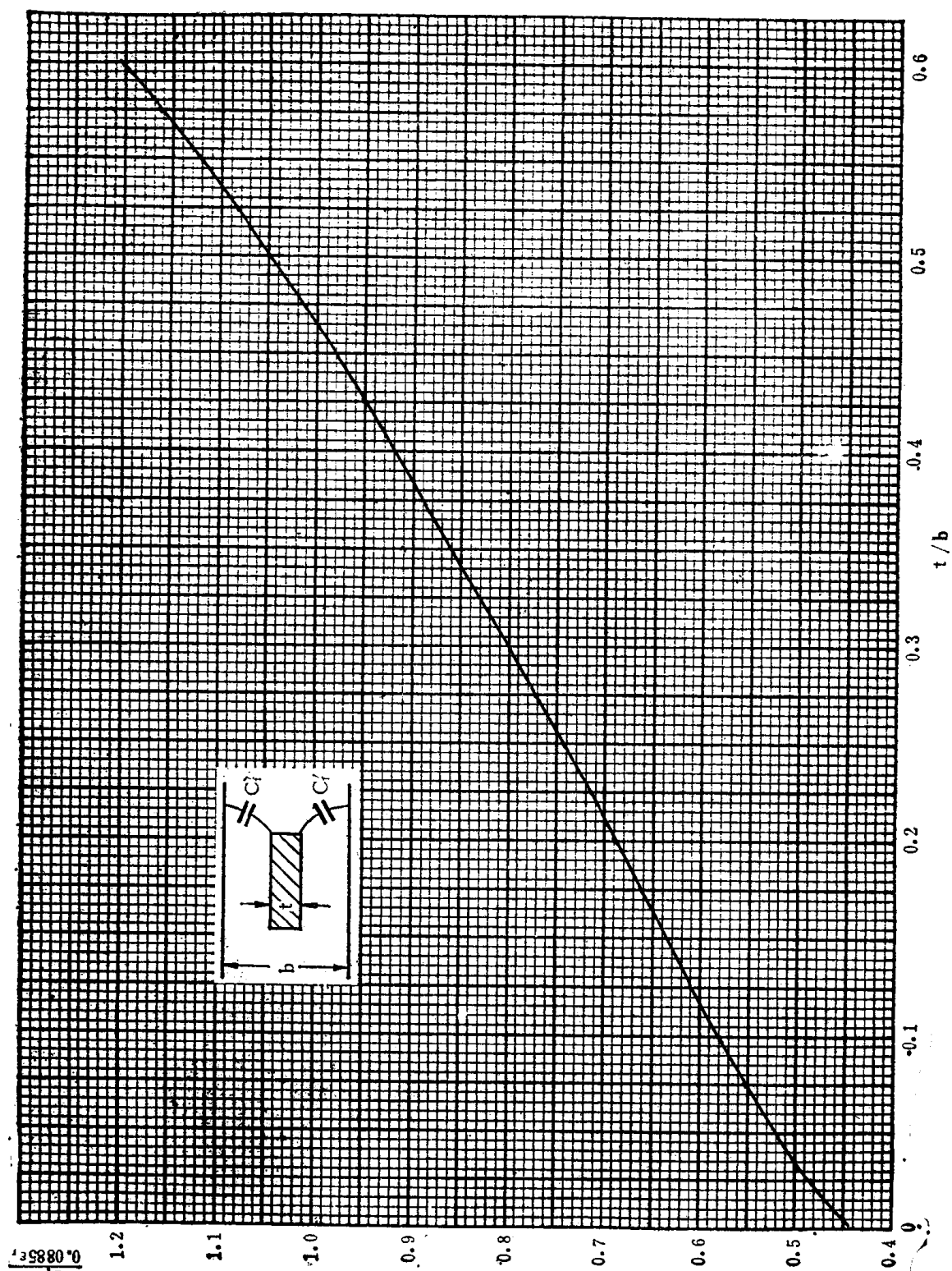


图 1.1.2 杂散电容 $C'_f(t/b)$ 曲线

阻抗决定：

$$Z_0 = \frac{59.93}{\sqrt{\epsilon_r}} \ln\left(\frac{4b}{\pi D}\right)$$

1-1-10

等效圆导体的直径 D 和矩形导体之间的等效关系如1-1-11式及图1.1.3所示。〔2〕

$$D = \frac{W}{2} \left[1 + \frac{t}{\pi W} \left(1 + \ln \frac{4\pi W}{t} + 0.51 \pi \left(\frac{t}{W} \right)^2 \right) \right]$$

1-1-11

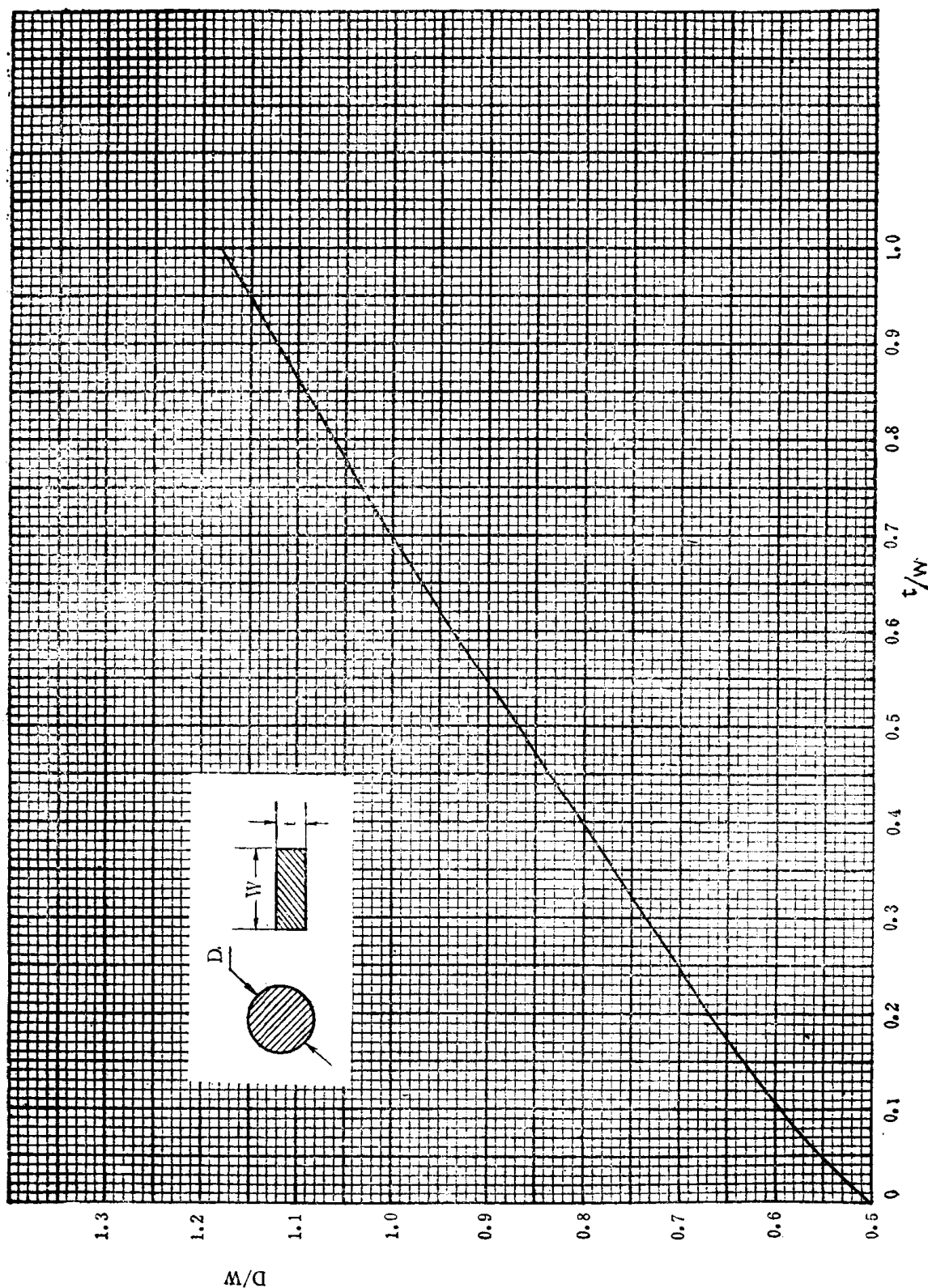


图 1.1.3 有限厚带的等效圆导体直径 D 与 t/W 的关系

由1-1-8与1-1-10式算出的 Z_0 准确到1.3%，最大误差出现在 $\frac{W}{(b-t)}=0.35$ 处。对于不同的 t/b ， Z_0 值示于图1.1.4(a)及图1.1.4(b)。相应的数据如表1.1.2所示。对于其它参数的特性阻抗 Z_0 ，可用程序TL-101(STRIP)进行分析计算（程序请参阅本书第11章，下同）。

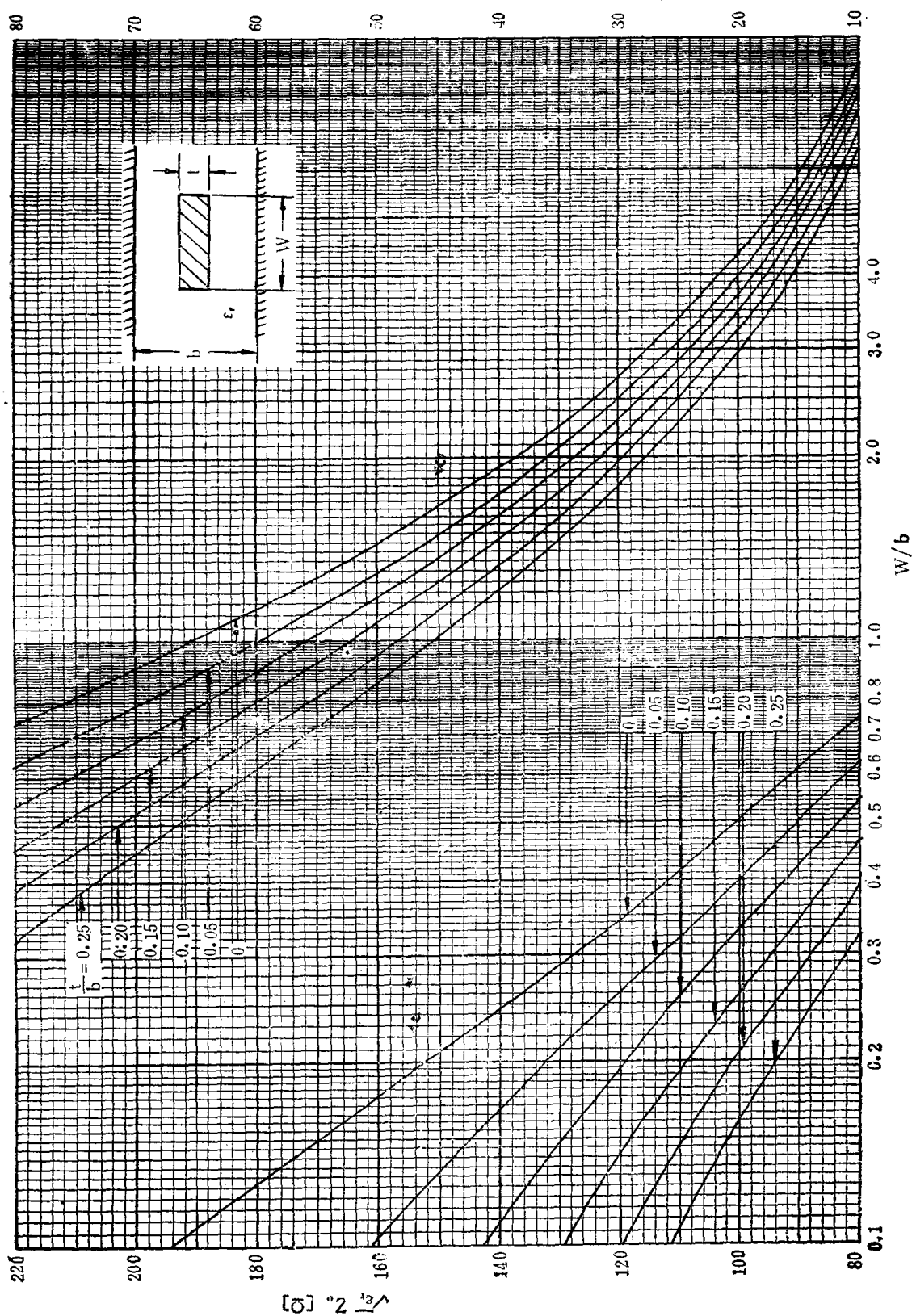


图 1.1.4(a) 带状线的特性阻抗