



微波工程手冊

微波工程手冊編譯組

微波工程手册

《微波工程手册》编译组

1972

内 容 简 介

本手册根据美国 1964、1967、1968、1969 和 1970 年出版的《The Microwave Engineers' Handbook & Buyers' Guide》及其他有关书刊和杂志编译而成。以曲线和图表形式给出微波工程中常用的一些数据。内容包括：传输线理论、同轴线、波导、带状传输线、谐振器、阻抗变换器、滤波器和定向耦合器、天线、铁氧体、噪声和灵敏度等方面。

本手册涉及面较广，可供从事这方面工作的有关人员查阅。

毛主席语录

中国人民有志气，有能力，一定要在不远的将来，赶上和超过世界先进水平。

对于外国文化，排外主义的方针是错误的，应当尽量吸收进步的外国文化，以为发展中国新文化的借镜；盲目搬用的方针也是错误的，应当以中国人民的实际需要为基础，批判地吸收外国文化。

抓革命，促生产，促工作，促战备。

备战、备荒、为人民。

目 录

微波波段划分及代号	1
波长、波数与频率的关系	2
一、传输线理论	
传输线方程一览表	3
小电压驻波比的常用近似式	3
低损耗传输线的一些其他关系式	4
电压驻波比列线图*1	5
电压驻波比列线图*2	6
电压驻波比列线图*3	7
功率大小与电压驻波比的关系	8
功率大小与电压驻波比的关系	9
电压驻波比与电压驻波比(分贝)的关系	10
电压驻波比与反射系数的关系	11
归一化电纳与电压驻波比的关系	12
归一化电纳与电压驻波比关系的放大图	13
失配误差极限的列线图	14
计算电压驻波比和反射系数值的列线图	15
由两个失配产生的最大和最小合成电压驻波比	16
二、波导	
矩形波导中的 TM 波(横磁波)	17
矩形波导中的 TE 波(横电波)	18
圆波导中的 TM 波	19
圆波导中的 ET 波	20
同轴波导中的 TM 波	21
同轴波导中的 TE 波	22
矩形波导的常数表	23
圆波导中的截止波长	50
单脊波导的带宽曲线, $b/a = 0.45$	51
双脊波导的带宽曲线, $b/a = 0.5$	52
单脊波导 TE_{10} 波的截止波长	53
双脊波导 TE_{10} 波的截止波长	54

对非标准 b/a 比值, 单脊波导的校正曲线	55
单脊波导的相对导纳, TE_{01} 波 $b/a = 0.45$	56
刚性矩形波导的数据和附件的参考表	57
波导中插杆的电抗	60
波导中插杆的电抗	61
波导中单根杆的电纳	
$\lambda_g/a = 1.4$	62
$\lambda_g/a = 1.6$	62
$\lambda_g/a = 2.0$	63
$\lambda_g/a = 2.4$	63
$\lambda_g/a = 2.8$	64
波导中双杆的电纳	
$\lambda_g/a = 1.2$	64
$\lambda_g/a = 1.6$	65
$\lambda_g/a = 2.0$	65
$\lambda_g/a = 2.4$	66
$\lambda_g/a = 2.8$	66
波导中不对称膜片的电纳	67
波导中对称膜片的电纳	68
波导中容性膜片的电纳	69
波导内中心薄膜片的电纳	69
波导内膜片上孔的电纳	
$a/b = 2.5$	70
$a/b = 2.25$	70
$a/b = 2$	71
在 3 千兆赫时, 表面粗糙度与表面电阻率的关系	71
归一化容性电纳与膜片归一化尺寸的关系	72
归一化感性电纳与膜片归一化尺寸的关系	72
径向线扼流器的设计图	73
由 TE_{11} 波激励的径向扼流器设计曲线	74
螺线形椭圆波导的衰减与频率的关系	75
环路中谐振的建立	76
以功率增益为参量的谐振环特性	77
以耦合系数为参量的谐振环功率增益	77

三、同轴线

同轴线的特性阻抗、电容和电感	79
同轴线的特性阻抗	83
同轴线的电感和电容	84
偏心线的特性阻抗	85

薄垫圈引起的失配	85
50欧姆同轴线的直径公差对阻抗的影响	86
50欧姆同轴传输线中心导体的偏心位移(百分值)与驻波比的关系	86
同轴线内导体上的不连续电容阶梯	87
同轴线外导体上的不连续电容阶梯	87
同轴线阶梯电容的频率校正系数与 $\frac{b-a}{2\lambda}$ 的关系	88
矩形同轴传输线的特性阻抗	89
以扼流器耦合的同轴传输线的频带宽度曲线	90
以扼流器耦合的同轴传输线的频率响应曲线	91
在频带范围内峰电压驻波比的数值	91
聚乙烯50欧姆射频同轴软电缆的功率和衰减	92
赫利亚斯(Helias)同轴电缆的衰减和额定功率	94
标准刚性传输线的衰减和额定功率	95
横跨同轴线放置的金属杆的低频电抗	96
最大额定功率随绝对压力的变化	96
同轴线中四分之一波长短截线的设计图	97
空气填充的50欧姆同轴线中的射频电压击穿	98
N型接头的内表面尺寸	99

四、带状传输线

对各种不同的 t/b 值,带状线阻抗 Z_0 与宽高比 W/b 的关系	101
以 $\sqrt{\epsilon_r} Z_0$ (欧姆)作参量, t/b 与 W/b 的关系	102
电介质中铜屏蔽带状线的理论 Q 值	102
矩形与圆形横截面之间的等效	103
电介质中铜屏蔽带状线的理论衰减值	104
带状线的平均额定功率	104
空气介质填充的带状传输线的理论击穿功率	105
50欧姆带状线中的圆孔,中心线表示法	106
50欧姆带状线中的圆孔,边缘表示法	107
50欧姆带状线中的缝隙,中心线表示法	108
50欧姆带状线中的缝隙,边缘表示法	109
带状线的特性阻抗	110
矩形外导体的带状线中 TE 型基波的衰减常数	110
正方形外导体带状线中 E 波(TM 波)的临界波长	110
正方形外导体带状线中 H 波(TE 波)的临界波长	111
矩形外导体带状线中 H 波(TE 波)的临界波长	111
矩形外导体带状线中 E 波(TM 波)的临界波长	111
带状传输线的波型图	112
耦合带状线中,给出 s/b 与 Z_{oe} 、 Z_{oo} 关系的列线图	113
微带传输线的特性阻抗(Z_0)和波导波长(λ_g)表示法之一	114

计算微带电路参数的曲线图	115
惠勒计算的自由空间波长 (λ_0) 与微带波长 (λ_g) 之比	
宽带线近似 ($W/H > 0.1$)	116
窄带线近似 ($W/H < 1.0$)	116
惠勒计算的微带线特性阻抗	
宽带线近似 ($W/H > 0.1$)	117
窄带线近似 ($W/H < 1.0$)	117
归一化导体损耗与几何形状 W/h 和 ϵ_r (千克·米·秒制) 的关系	118
有限厚度的中心导体的线宽修正	118
微带线阻抗与线宽的关系	119
相对速度与 W/b 的关系	120
微带线的阻抗	121
相对速度 β/β_0 (传播常数) 与 W/b 的关系	121
损耗与 W/b 比值的关系	122
关于“T”和“+”结的参考面位置	122
缝隙电容与缝隙间距的关系	123
“T”和“+”处的结效应	123
微带线的终端效应	123
耦合微带线的偶模和奇模特性阻抗	124

五、谐振器、阻抗变换器、滤波器和定向耦合器

三种空腔谐振器的谐振波长和 Q 值

1. 直圆柱体谐振器对 TE_{lmn} 波或 TM_{lmn} 的谐振波长和 Q 值	127
2. 同轴圆柱体谐振器 TEM 波的谐振波长和 Q 值	127
3. 矩形棱柱体谐振器的谐振波长和 Q 值	128
直圆柱体谐振器的波型图	129
各种谐振器空载 Q (Q_u) 与频率的关系	130
传输式谐振器中耗散与负载 Q 对空载 Q 之比的关系	131
重入式同轴腔(凹形腔)的谐振波长	132
反射系数 $ \Gamma $ 与过渡段长度 (从 Z_R 至 Z_0 的波长数) 的关系	137
两节四分之一波长阻抗匹配变换器的带宽与归一化负载阻抗的关系, 以 最大电压驻波比为参量	138
具有切比雪夫响应的两节四分之一波长阻抗匹配变换器的设计	139
统一的滤波器设计曲线图——归一化切比雪夫低通原型滤波器的阻带插 入损耗	140
窄带最平坦响应带通滤波器的选择特性	142
窄带切比雪夫带通滤波器的选择特性	143
波纹系数和电压驻波比的对应表	144
椭圆函数滤波器的选择性曲线图	144
窄带滤波器频带内的耗散损耗	145

最平坦幅度响应滤波器的相位响应	146
矩形耦合棒的偶模归一化边缘电容 C'_{fe}/ϵ 或棒间电容 $\Delta C/\epsilon$	147
强耦合矩形棒的边缘电容	148
网络参数之间的关系式	149
滤波器设计	150
带状线矩形棒的归一化奇模边缘电容	157
带状线孤立矩形棒的归一化边缘电容	158
直接耦合的谐振腔滤波器中第 K 个谐振腔的长度	159
多孔的定向耦合器设计	160
侧壁定向耦合器 (纵横比为 2:1)	162
施温格(Schwinger)反转定向耦合器 (纵横比为 2:1)	163
莫伦(Moreno)交叉波导定向耦合器 (纵横比为 2:1)	164
里布立特(Riblet) T 型槽定向耦合器 (纵横比为 2:1)	165
波导宽壁定向耦合器每个孔的耦合度 II	166
波导宽壁定向耦合器每个孔的耦合度 I	167
X 波段波导定向耦合器	168
圆孔交叉波导定向耦合器	169
X 波段半高波导孔在 10 千兆赫下每个孔的耦合度	170
Ku 波段波导定向耦合器在 15 千兆赫下每个孔的耦合度	170
X 波段侧壁耦合器	171
S 波段侧壁波导定向耦合器	172
带状传输线定向耦合器	173
终端分支高度对中央分支高度的比值与耦合度(分贝)的关系	176
中央分支高度对主波导高度的比值与耦合度(分贝)的关系	176

六、天线

准光学口径天线	177
抛物面天线的馈源设计	178
抛物面天线方向性系数的下降	179
抛物面天线的波束偏移因子与 F/D 关系 (根据洛的资料)	180
抛物面天线的波束偏移因子与 F/D 关系 (根据鲁泽的资料)	180
抛物面的增益与口径直径关系	181
按台劳分布的圆口径的增益因子	181
圆口径的波瓣特性	182
抛物面天线口径阻挡对副瓣和增益的影响	183
抛物反射面随机误差与增益损失关系	183
由于随机误差引起口径增益的损失	184
E 面和 H 面副瓣电平与 H 面分布关系	184
偏馈抛物面天线馈源设计	185
偏馈抛物面天线馈源轨迹	186

具有校正线源的球形反射器的馈源长度	187
具有校正线源的球形反射器的带宽	188
卡塞格伦天线的几何关系	189
副瓣电平与主瓣宽度关系(等相情况)	190
渐减分布的圆形口径天线近场方向性系数的降低	191
典型抛物面天线的远场距离(用于计算功率密度值)	192
典型的抛物面天线在 $2D^2/\lambda$ 距离处的功率密度值	193
对在 $2D^2/\lambda$ 距离处的功率密度归一化的近场轴向功率密度值	194
均匀线源的近场功率密度值	195
两个面可分离分布的矩形孔径的近场方向性系数的下降值与相对 距离 $\frac{R}{2L^2/\lambda}$ 的关系	196
聚焦口径天线最小聚焦点的大小	197
线源中心有一空隙时所产生的最大副瓣电平与其宽度的关系	198
口径阻挡对副瓣电平和方向性系数的影响	198
台劳线源波束宽度与线源长度对波长之比的关系	199
波束宽度换算曲线	199
最佳矩形口径喇叭的张角与其长度的关系(以波束宽度作为辅助刻度)	200
轴型螺纹天线的波束宽度与其长度的关系	200
表面波天线获得最大增益的相对相速	201
表面波天线的方向性系数和波束宽度	201
“雪茄”天线的相对相速	202
电磁波通过金属线网传输的列线图	202
最佳匹配补偿的平衡—不平衡转换器	203
切比雪夫阵列的最大方向性系数	204
切比雪夫阵列的方向性系数和波束宽度的乘积	205
切比雪夫阵列的方向性系数与波束宽度之比	206
线阵的波束展宽与副瓣电平关系	207
均匀分布方口径的方向性系数与扫描角关系	207
部分副瓣相等、部分副瓣渐减分布的台劳线源	208
归一化方向性系数与均匀和理想空间因子的关系	208
近似台劳分布的归一化方向性系数与其长度关系	209
侧射扫描切比雪夫相控阵的单元数与增益之关系	210
切比雪夫扫描相控阵的波束宽度	211
相控阵天线抑制栅瓣时, 单元最大间距与单元数目之关系	212
扫描线阵的波束宽度	213
电扫描阵列的有效口径与扫描角之关系	214
阵列方向性系数与单元间距之关系	215
不等距阵列	216
由于结构误差所引起副瓣电平的增加——按切比雪夫分布的并联缝隙阵列	217

行波阵列的电导	218
自由空间偶极子阵的归一化电阻与扫描角之关系 (两偶极子间距为 $\lambda/2$)	219
位于导电平面上 $\lambda/4$ 处的偶极子阵的归一化电阻与扫描角之关系 (两偶极子间距为 $\lambda/2$)	219
位于导电平面上 $\lambda/4$ 处的半波振子的电阻与扫描角之关系 (振子间距为 0.6λ)	220
位于导电平面上 $\lambda/4$ 处的半波振子的电抗与扫描角之关系 (振子间距为 0.6λ)	221
等幅、相位不对称分布的天线主瓣偏离侧射的角度	222
等幅、相位反对称分布的天线主瓣偏离侧射的角度	222
切比雪夫阵列的方向性系数	223
谐振阵列的带宽	223
纵向并联缝隙的参量	224
波导窄边并联缝隙的参量	225
位于波导壁中心线上的串联倾斜缝隙的谐振长度和归一化电阻与频率关系	226
波导宽壁上偏斜缝隙的几何形状	227
波导宽壁上偏斜缝隙的设计	227
由十个单元组成的阵列波瓣建立的过程 (作为时间的函数)	228
圆口径波瓣比较天线的最佳角精度	229
架在高处的平面反射器的潜望镜系统的相对方向性系数	230
有天线罩的标准天线的受风力	230
标准天线的受风力	231
十字振子在偏轴方向上的轴比	232
在两椭圆极化天线间传输信号时的最大极化损失	232
作为频率和距离函数的路径损耗列线图	233
微波传播路径在越过江河时反射点的确定	234
系统灵敏度与天线和接收机的噪声温度关系	235
银河系噪声温度	236
由于传输线损耗而引起天线噪声温度的增加	236
地下或水下天线电场的近似值	237
地下天线的归一化距离函数	238
地下天线的衰减与深度关系	238
在甚低频和低频波段大地和海洋的趋肤深度	239
地下天线场强的折射比	240

七、铁氧体

重要的关系式

1. 基特尔 (Kittel) 谐振方程式 241
2. 谐振隔离器的反向对正向比 R 241
3. 失谐器件的优值 F 241

稀土元素石榴石 ($3M_2O_3 \cdot 5Fe_2O_3$) 的饱和磁化强度与绝对温度 ($^{\circ}K$) 的关系	242
钇铁石榴石的线宽、饱和磁化强度和有效 g 因子随密度的变化	243
钇钆铁石榴石的线宽、饱和磁化强度和有效 g 因子随钇含量的变化	243
钇钆铁石榴石混合物的饱和磁化强度随温度的变化	244
钇钆铁石榴石的线宽、饱和磁化强度和有效 g 因子随钆含量的变化	245
钇铝铁石榴石的线宽、饱和磁化强度、有效 g 因子和居里温度随铝含量的变化	246
铁氧体材料的特性	247
确定结型环行器有效电压驻波比的列线图	249
单级钇铁石榴石滤波器参数	250
对纯钇铁石榴石 ($23^{\circ}C$ 下, $H_a = 43$ 奥斯特)、 $F_0 = 5000$ 兆赫的单级钇铁石榴石滤波器在 (110) 面的谐振频率的变化	250
常用于铁氧体和氧化铝瓷衬底电路的 50 欧姆金微带线的理论计算损耗	251
去磁系数	253
在铁氧体器件设计中常用材料的导热率和介电特性	254
去磁系数	255
介质变换器的设计	256
谐振所需的归一化外场与回转椭圆柱体样品形状的关系	258
谐振所需的归一化内直流磁场与回转椭圆柱体样品形状的关系	258
极细长椭圆柱体的归一化外磁场	259
极细长椭圆柱体的归一化内磁场	260
对不同形状的铁氧体、谐振频率与外加磁场和饱和磁化强度的关系	261
不同去磁系数下, 谐振频率与饱和磁化强度和磁场的关系	262
当 $\frac{d\omega}{dM} = 0$ 时, 谐振频率或磁场值与 $\frac{N_{\pi}}{N_{\infty}}$ 的关系	262

八、噪声和灵敏度

噪声系数的测量	263
热—冷体负载噪声系数的测量	264
噪声系数的测量	266
噪声系数测量中电压驻波比的影响	267
终端负载温度和插入损耗的修正	269
第二级噪声系数的贡献	270
噪声修正值与气体放电噪声发生器热插入损耗的关系图	271
级联网络的噪声系数	272
常用电路的噪声温度方程式	273
噪声系数与噪声温度的关系	274
噪声系数与噪声温度的简单近似关系	274
噪声系数与噪声温度的换算表	274
垂直和水平仰角的理想低噪声天线的噪声温度极限	275
倍频电路中由于倍频噪声引起的信噪比劣化	275

射电星球的通量密度谱	276
银河和天电的有效噪声温度变化	276
4 千兆赫的 G/T 列线图	277
各种带宽下的接收机噪声系数与灵敏度的关系	278
接收机的有效绝对噪声阈	279
噪声叠加 $\frac{S+N}{N}$ 对 $\frac{S}{N}$ 的换算	280
双分集组合器中信号与噪声的瞬时叠加	281
视频检波器正切灵敏度的列线图	282
低电平检波特性	283
线性检波器, 由噪声引起的平均输出增量	283
线性检波器输出的波动	284
非匹配滤波器与匹配滤波器效率的比较	285
噪声带宽与 3 分贝带宽的比较	285
二进制制信息误差的几率与信噪比关系	286

九、其他

中频放大器的设计	287
反向偏压 (V) 下结电容 $C(V)$ 对 6 伏反向偏压下结电容之比与外加反向偏压 V_0 的关系	291
典型半导体的电学常数	291
计算变容二极管串联电阻的列线图	292
对恒定的噪声系数 $N_{\text{中频}} = 1.5$ 分贝下, 变频损耗与噪声比的关系曲线	293
趋肤深度	294
电介质衰减的列线图	295
电介质材料图(微波频率下的特性)	296
常用的波导计算	298
分贝反射损耗与电压反射系数数值关系的四位数表	300
功率单位换算列线图	305
分贝与电压和功率的关系	306
长度、质量、力单位的换算关系(公制、英制)	308

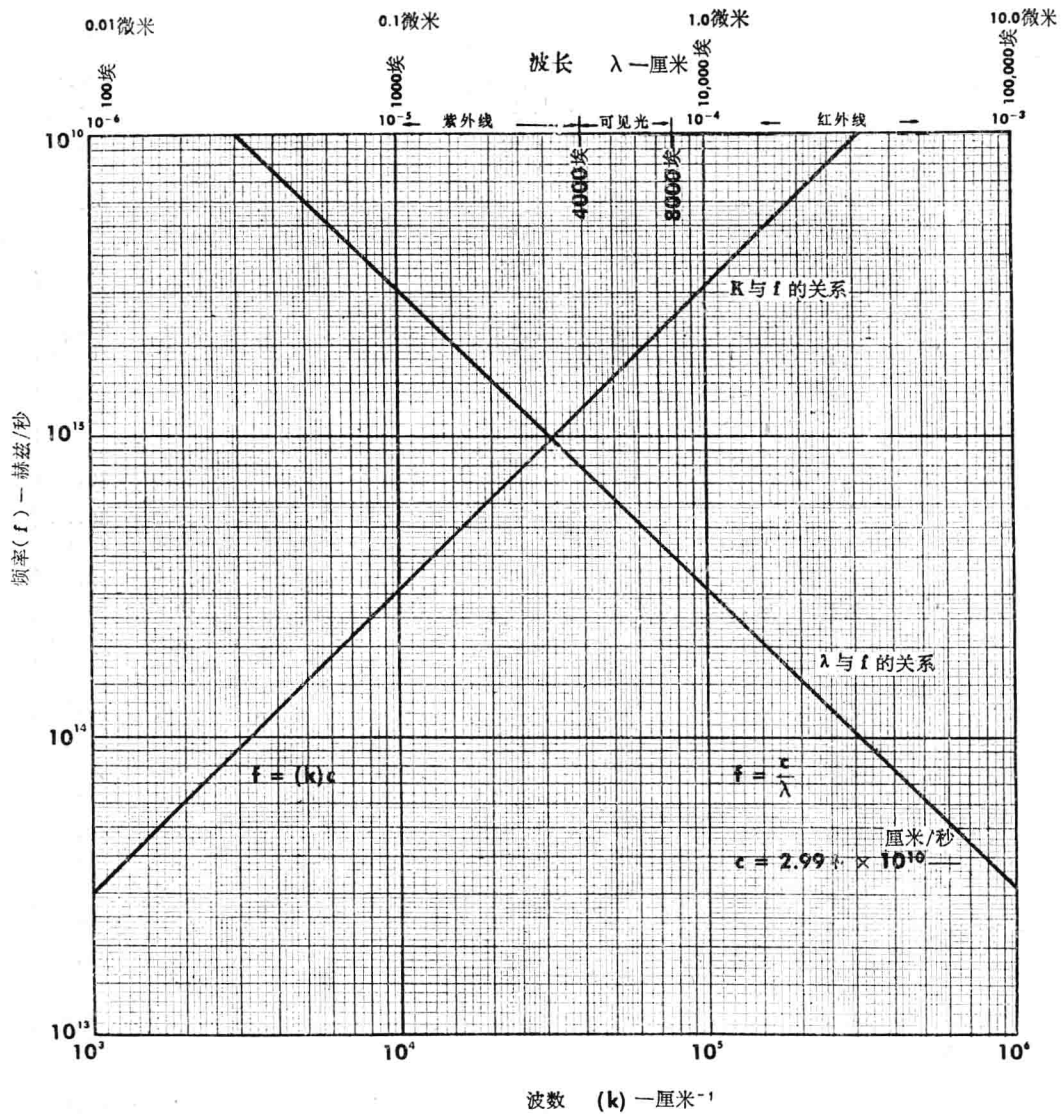
十、参考资料

参考资料	309
------	-----

微波波段划分及代号 (英美常用)

波段	下标	波长 (厘米)	频率 (千兆赫)	波段	下标	波长 (厘米)	频率 (千兆赫)	波段	下标	波长 (厘米)	频率 (千兆赫)
L	P	133.2	0.225	X	A	9.67 8.82	3.100 3.400	Q	C	2.10 1.95	14.25 15.35
		76.9	0.390		W	8.82 8.10	3.400 3.700		U	1.95 1.74	15.35 17.25
	P	76.9 64.5	0.390 0.465		H	8.10 7.69	3.700 3.900		T	1.74 1.46	17.25 20.50
	C	64.5 58.8	0.465 0.510		Z	7.69 7.14	3.900 4.200		Q	1.46 1.22	20.50 24.50
	L	58.8 41.4	0.510 0.725		D	7.14 5.77	4.200 5.200		R	1.22 1.13	24.50 26.50
	Y	41.4 38.4	0.725 0.780		A	5.77 5.45	5.200 5.500		M	1.13 1.05	26.50 28.50
	T	38.4 33.3	0.780 0.900		G	5.45 5.21	5.500 5.750		N	1.05 0.977	28.50 30.70
	S	33.3 31.6	0.900 0.950		Y	5.21 4.84	5.750 6.200		L	0.977 0.909	30.70 33.00
	X	31.6 26.1	0.950 1.150		D	4.84 4.80	6.200 6.250		A	0.909 0.833	33.00 36.00
	K	26.1 22.2	1.150 1.350		B	4.80 4.35	6.250 6.900		A	0.833 0.789	36.00 38.00
F	22.2 20.7	1.350 1.450	R	4.35 4.28	6.900 7.000	B	0.789 0.750	38.00 40.00			
Z	20.7 19.3	1.450 1.550	C	4.28 3.53	7.000 8.500	C	0.750 0.714	40.00 42.00			
S	E	19.3	1.550	L	3.53 3.33	8.500 9.000	D	0.714 0.681	42.00 44.00		
		18.2	1.650	S	3.33 3.12	9.000 9.600	E	0.681 0.652	44.00 46.00		
	F	18.2 16.2	1.650 1.850	X	3.12 3.00	9.600 10.00	A	0.652 0.625	46.00 48.00		
		16.2 15.0	1.850 2.000	F	3.00 2.93	10.00 10.25	B	0.625 0.600	48.00 50.00		
	C	15.0 12.5	2.000 2.400	K	2.93 2.75	10.25 10.90	C	0.600 0.577	50.00 52.00		
	Q	12.5 11.5	2.400 2.600	P	2.75 2.45	10.90 12.25	D	0.577 0.555	52.00 54.00		
	Y	11.5 11.1	2.600 2.700	S	2.45 2.26	12.25 13.25	E	0.555 0.535	54.00 56.00		
	G	11.1 10.3	2.700 2.900	E	2.26 2.10	13.25 14.25					
	S	10.3 9.67	2.900 3.100								

波长、波数与频率的关系



(注：图中纵坐标“10¹⁰”应为“10¹⁶”)

传输线方程一览表

量	一般线的表示式	理想线的表示式
传播常数	$r = \alpha + j\beta = \sqrt{(R+j\omega L)(G+j\omega C)}$	$r = j\omega\sqrt{LC}$
相位常数 β	r 的虚数部分	$\beta = \omega\sqrt{LC} = \frac{2\pi}{\lambda}$
衰减常数 α	r 的实数部分	0
特性阻抗	$Z_0 = \sqrt{\frac{R+j\omega L}{G+j\omega C}}$	$Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C}}$
输入阻抗	$Z_{-l} = Z_0 \frac{Z_r + Z_0 \tanh \gamma l}{Z_0 + Z_r \tanh \gamma l}$	$Z_{-l} = Z_0 \frac{Z_r + jZ_0 \tan \beta l}{Z_0 + jZ_r \tan \beta l}$
短路线的阻抗, $Z_r = 0$	$Z_{s.c.} = Z_0 \tanh \gamma l$	$Z_{s.c.} = jZ_0 \tan \beta l$
开路线的阻抗, $Z_r = \infty$	$Z_{o.c.} = Z_0 \coth \gamma l$	$Z_{o.c.} = -jZ_0 \cot \beta l$
四分之一波长奇数倍线的阻抗	$Z = Z_0 \frac{Z_r + Z_0 \coth \alpha l}{Z_0 + Z_r \coth \alpha l}$	$Z = \frac{Z_0^2}{Z_r}$
半波长整数倍线的阻抗	$Z = Z_0 \frac{Z_r + Z_0 \tanh \alpha l}{Z_0 + Z_r \tanh \alpha l}$	$Z = Z_r$
沿线的电压	$V_{-l} = V_i(1 + \Gamma_0 e^{-2\gamma l})$	$V_{-l} = V_i(1 + \Gamma_0 e^{-2j\beta l})$
沿线的电流	$I_{-l} = I_i(1 - \Gamma_0 e^{-2\gamma l})$	$I_{-l} = I_i(1 - \Gamma_0 e^{-2j\beta l})$
电压反射系数	$\Gamma = \frac{Z_r - Z_0}{Z_r + Z_0}$	$\Gamma = \frac{Z_r - Z_0}{Z_r + Z_0}$

小电压驻波比的常用近似式

若 U 和 V 均甚小于 1, 则

(a) $(1 + U)(1 + V) = 1 + U + V$

(b) $(1 - U)(1 - V) = 1 - U - V$

(c) $(1 \pm U)^2 = 1 \pm 2U$

(d) $\frac{1+V}{1+U} = 1 + V - U$

例如:

(a) 若 $r_1 = 1.03, r_2 = 1.08$, 则 $r_1 r_2 = 1.11$

(b) 若 $\Gamma_1 = 0.96, \Gamma_2 = 0.95$, 则 $\Gamma_1 \Gamma_2 = 0.91$

(c) 若 $r = 1.04$, 则 $r^2 = 1.08$

若 $\Gamma = 0.96$, 则 $\Gamma^2 = 0.92$

(d) 若 $r_1 = 1.03, r_2 = 1.08$, 则 $\frac{r_2}{r_1} = 1.05$

低损耗传输线的一些其他关系式

方程式	说 明
$r = \frac{1 + \Gamma }{1 - \Gamma }$ $ \Gamma = \frac{r - 1}{r + 1}$	r = 电压驻波比 $ \Gamma $ = 反射系数的绝对值
$\Gamma = \frac{R - Z_0}{R + Z_0}$ $r = \frac{R}{Z_0}$ $r = \frac{Z_0}{R}$	Γ = 线上阻抗为实数 R 那一点的反射系数(实数) $R > Z_0$ (在电压最大点) $R < Z_0$ (在电压最小点)
$\frac{P_r}{P_i} = \Gamma ^2 = \left(\frac{r - 1}{r + 1}\right)^2$ $\frac{P_t}{P_i} = 1 - \Gamma ^2 = \frac{4r}{(r + 1)^2}$	P_r = 反射功率 P_i = 入射功率 P_t = 传输功率
$\frac{P_b}{P_m} = \frac{1}{r}$	P_b = 在电压驻波比为 r 的线中当击穿开始时传送到负载的净功率 P_m = 在 $r = 1$ 即匹配的线中当击穿开始时传送到负载的净功率
$\frac{\alpha_r}{\alpha_m} = \frac{1 + \Gamma^2}{1 - \Gamma^2} = \frac{r^2 + 1}{2r}$	α_m = 匹配线($r = 1$)的衰减常数 α_r = 考虑了由驻波引起欧姆损耗增大的衰减常数
$r_{\max} = r_1 r_2$ $r_{\min} = \frac{r_2}{r_1} \quad r_2 > r_1$	r_{\max} = 当 r_1 和 r_2 以最坏相位组合时的最大电压驻波比 r_{\min} = 当 r_1 和 r_2 以最佳相位组合时的最小电压驻波比
$ \Gamma = \frac{ X }{\sqrt{X^2 + 4}}$ $ X = \frac{r - 1}{\sqrt{r}}$	归一化电抗 X 与阻抗 Z_0 串联时的关系式
$ \Gamma = \frac{ B }{\sqrt{B^2 + 4}}$ $ B = \frac{r - 1}{\sqrt{r}}$	归一化电纳 B 与导纳 Y_0 并联时的关系式