

现代微波滤波器的 结构与设计

下 册

甘本祓 吴万春 编

科学出版社

73.4596
160
:2

现代微波滤波器的结构与设

(下 册)

甘本祯 吴万春 编

31500/15

科学出版社

1974

内 容 简 介

本书是一部资料手册性的著作,它全面而系统地总结了微波滤波器领域的发展成果,提供了大量结构类型、设计图表和专用数据,讨论了选用原则和发展方向。全书分上下两册,上册包括现代微波滤波器的设计基础、重要图表数据以及低通、高通、带通、带阻微波滤波器的各种实用结构、设计步骤、调试方法和研制实例。下册包括微波阻抗匹配器、微波定向耦合器、微波大功率滤波器、微波多工滤波器、微波等时延网络、可调微波滤波器、介质滤波器、毫米波滤波器等各种特殊类型的微波滤波器及其他变形结构的设计和发展方向。

本书可供从事微波通讯、雷达、导航、电子对抗、卫星接力、导弹制导、测试仪器、微测集成电路等系统的生产和研制人员,以及大专院校师生参考。

现代微波滤波器的结构与设计

(下 册)

甘本祯 吴万春 编

*

科学出版社出版

北京朝阳门内大街 137 号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1974 年 11 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

1974 年 11 月第一次印刷 印张: 30

印数: 0001—9,000 字数: 701,000

统一书号: 15031·81

本社书号: 335: 15—7

定 价: 3.10 元

目 录

第十一章 阶梯阻抗变换器和滤波器原型	1
11.1 概述	1
11.2 $\frac{1}{4}$ 波长均匀阶梯阻抗变换器的基本特性	2
11.3 半波长均匀阶梯阻抗滤波器的基本特性	11
11.4 最平坦 $\frac{1}{4}$ 波长变换器的元件数值表	13
11.5 切比雪夫 $\frac{1}{4}$ 波长变换器和半波长滤波器的元件数值表	17
第十二章 阶梯阻抗和电抗耦合半波长滤波器的设计	34
12.1 概述	34
12.2 阶梯阻抗同轴线低通滤波器的设计	34
12.3 窄带电抗耦合半波长带通滤波器的设计	41
12.4 电抗耦合结构的实现	46
12.5 宽带电抗耦合半波长带通滤波器的设计考虑	50
12.6 宽带电抗耦合半波长带通滤波器的设计举例	56
12.7 电抗耦合 $\frac{1}{4}$ 波长滤波器的设计	61
第十三章 纯电阻负载阻抗匹配网络的设计	65
13.1 概述	65
13.2 $\frac{1}{4}$ 波长均匀阻抗变换器的设计	65
13.3 $\frac{1}{4}$ 波长不均匀阻抗变换器的设计	72
13.4 半集总元件阻抗变换器的基本特性	77
13.5 最平坦半集总元件阻抗变换器的设计	80
13.6 切比雪夫半集总元件阻抗变换器的设计	84
13.7 短阶梯阻抗变换器的基本特性	96
13.8 切比雪夫短阶梯阻抗变换器的设计	97
13.9 交指型阻抗变换器的准确设计	114
第十四章 电抗性负载阻抗匹配网络的设计	121
14.1 概述	121
14.2 阻抗匹配网络的低通原型	121
14.3 低通和高通阻抗匹配网络	129
14.4 窄带带通阻抗匹配网络的设计	129
14.5 宽带带通阻抗匹配网络的设计	139
14.6 电容加载交指型阻抗匹配网络的设计	147
14.7 集总元件和分布元件混合型阻抗匹配网络的设计	152
第十五章 定向耦合器的设计	166
15.1 概述	166
15.2 单节耦合传输线定向耦合器的基本特性	167
15.3 单节强耦合传输线定向耦合器的设计	174
15.4 单节弱耦合传输线定向耦合器的设计	182

15.5	多节对称耦合传输线定向耦合器的设计数据表	184
15.6	多节对称耦合传输线定向耦合器的设计实例	196
15.7	多节不对称耦合传输线定向耦合器的设计	198
15.8	支线定向耦合器的基本特性	205
15.9	周期支线定向耦合器	209
15.10	同调支线定向耦合器的设计	212
15.11	波导型支线定向耦合器的试验设计	223
15.12	对称支线定向耦合器的准确设计	229
第十六章	定向滤波器的设计	246
16.1	概述	246
16.2	波导型定向滤波器的设计公式	246
16.3	波导型定向滤波器的试验设计及调试	253
16.4	半波长(或全波长)谐振器带状线定向滤波器的设计	257
16.5	行波环定向滤波器的设计	261
16.6	用定向滤波器作多工滤波器	266
第十七章	大功率微波滤波器的设计	268
17.1	概述	268
17.2	各种传输线的功率容量	269
17.3	直接耦合谐振腔滤波器的功率容量	278
17.4	TE ₀₁₁ 模圆柱形谐振腔带通滤波器	284
17.5	皱折波导低通滤波器	291
17.6	块模式低通滤波器	296
17.7	块模式滤波器的改进设计	303
17.8	漏壁式低通波导滤波器	312
17.9	改进型漏壁式波导滤波器	315
17.10	集中模谐振腔波导滤波器	319
17.11	其他大功率微波滤波器	325
17.12	大功率微波滤波器的选用	330
第十八章	微波滤波器技术用于半导体器件	334
18.1	概述	334
18.2	负阻放大器低通原型	334
18.3	负阻放大器宽带耦合结构的设计	340
18.4	窄带微波二极管开关网络	343
18.5	宽带微波二极管开关网络	345
18.6	滤波器用于高速二极管调制器和解调器	347
18.7	交指型滤波器结构用于宽频带倍频器	351
18.8	滤波器用于阶跃恢复二极管谐波发生器	352
第十九章	微波多工滤波器的设计	358
19.1	概述	358
19.2	单终端低通滤波器原型	362
19.3	由单终端低通原型设计全互补双工滤波器	366
19.4	由缩简双终端低通原型设计近似全互补双工滤波器	371

19.5	部分互补双工滤波器的设计	377
19.6	用窄带带通滤波器设计通带不相接多工滤波器	387
19.7	用双工滤波器单元设计通带不相接多工滤波器	390
19.8	通带相接多工滤波器的设计	396
第二十章	其他微波滤波器	407
20.1	概述	407
20.2	理想可调带通滤波器的基本问题	407
20.3	机械调谐同轴腔带通滤波器	410
20.4	机械调谐矩形谐振腔带通滤波器	414
20.5	微波线性相位滤波器的低通原型	419
20.6	广义交指型线性相位滤波器	430
20.7	广义直接耦合波导谐振腔线性相位滤波器	436
20.8	介质谐振器的基本特性	443
20.9	介质谐振器带通滤波器的设计	449
20.10	毫米波和亚毫米波的准光学低通滤波器	455
20.11	毫米波和亚毫米波的准光学带通滤波器	462
附录	465
参考资料	469

第十一章 阶梯阻抗变换器和滤波器原型

11.1 概 述

本章给出 $1/4$ 波长阻抗变换器和半波长滤波器原型的设计公式和图表,以用作设计微波滤波器和阻抗匹配器件的原型。本章前几节讨论阶梯阻抗变换器和滤波器原型的基本原理,后几节给出它们的元件数值表,并说明其应用。

$1/4$ 波长阻抗变换器和半波长滤波器原型除作为阻抗变换器外,还有许多用途,因而了解其性能对有关微波元件的设计是有帮助的。本章的图表可用来设计:阻抗变换器,高、低阻抗线低通滤波器,直接耦合谐振器带通滤波器,支线波导定向耦合器,光多层滤波器和变换器,以及声滤波器和变换器。

与所有微波电路设计一样,所研究的理想电路常与实际电路不同,为明确起见,对以后要用到的一些术语作如下的定义:

均匀阻抗变换器——变换器沿传输方向上各点的内部波长比和特性阻抗比都与频率无关。

不均匀阻抗变换器——它的沿传输方向上各点的内部波长比和特性阻抗比都与频率有关。

$1/4$ 波长阻抗变换器——它由若干段(或称若干节)均匀无耗传输线或媒质级联组成,各线段的长度都是其中心频率的 $1/4$ 波长。

理想接头——两个不同阻抗的传输线相联接处,其接头不连续性的影响可以忽略。

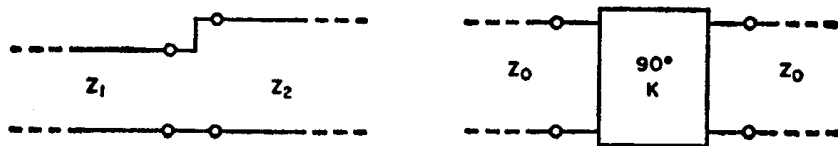
理想 $1/4$ 波长阻抗变换器—— $1/4$ 波长阻抗变换器中所有接头都是理想接头。

半波长滤波器——它是由若干段(或称若干节)均匀无耗传输线或媒质级联而成,各线段的长度都是其中心频率的半波长。

同调条件——阶梯阻抗滤波器中相邻两个不连续性的反射,在通带某一固定频率上能最大相消,则谓之“同调”(若 $1/4$ 波长变换器的阻抗是个单调递增数列形式,则此变换器是个同调变换器;若半波长滤波器的阶梯阻抗沿线交替增加和减少,则此滤波器也是个同调滤波器)。

同调频率——电路同调时的频率叫做同调频率,即上述的“某一固定频率”($1/4$ 波长阻抗变换器在其同调频率上各节都是 $1/4$ 波长;半波长滤波器在其同调频率上各节都是半波长)。

用阻抗阶梯来实现传输线的不连续性,等效于用理想 K 变换器来实现它们。主要不同之点是:阻抗阶梯能在宽频带内实现,而理想 K 变换器只能在窄带内近似实现。但就每个电路的数学模型而言,它们给出同样的结果,如图 11.1-1 所示。



- 阻抗阶梯**
1. 线特性阻抗为 Z_1, Z_2
 2. 接头电压驻波比或阻抗比为 $\rho = \frac{Z_2}{Z_1}$ 或 $\frac{Z_1}{Z_2}$
 3. 在全频谱上电长度为零

- 阻抗变换器**
1. 线特性阻抗为 Z_0
 2. 变换器的阻抗为 K
 3. 在全频谱上电长度均为 90°

对于相同耦合, 接头电压驻波比为:

$$\rho = \left(\frac{K}{Z_0}\right)^{\pm 2} > 1$$

图 11.1-1 阻抗阶梯与 K 变换器的比较

11.2 1/4 波长均匀阶梯阻抗变换器的基本特性

本节主要讨论理想的均匀 1/4 波长阶梯阻抗变换器的通带和阻带衰减、相对带宽以及变换器节数间的关系。其阻抗阶梯是个单调递增数列 (即满足同调条件), 所得出的公式虽只对理想 1/4 波长变换器成立, 但对某些实际的 1/4 波长变换器, 只要适当地考虑到接头不连续性的影响, 进行必要的修正 (或不经修正), 即可用来进行设计。

在图 11.2-1 所示的 1/4 波长阶梯阻抗变换器中, 其相对带宽 \mathscr{W}_q 定义为

$$\mathscr{W}_q = 2 \left(\frac{\lambda_{g1} - \lambda_{g2}}{\lambda_{g1} + \lambda_{g2}} \right) \quad (11.2-1)$$

式中 λ_{g1} 和 λ_{g2} 分别为其通带内最长的和最短的波导波长。1/4 波长变换器的每节长度 l 是其中心频率上的 1/4 波导波长, 即

$$l = \frac{\lambda_{g1} \lambda_{g2}}{2(\lambda_{g1} + \lambda_{g2})} = \frac{\lambda_{g0}}{4} \quad (11.2-2)$$

或其电长度为

$$\theta = \frac{2\pi}{\lambda_g} \frac{\lambda_{g0}}{4} = \frac{\pi}{2} \frac{\lambda_{g0}}{\lambda_g} \quad (11.2-3)$$

式中 λ_{g0} 是中心频率上的波导波长, λ_g 为任意频率变量的波导波长。

若传输线为非色散线, 则 (11.2-1) 式到 (11.2-3) 式中所有波导波长都需改用自由空间波长, 于是

$$\mathscr{W}_q = 2 \left(\frac{\lambda_1 - \lambda_2}{\lambda_1 + \lambda_2} \right) = 2 \left(\frac{f_2 - f_1}{f_2 + f_1} \right) = \frac{\omega_2 - \omega_1}{\omega_0} \quad (11.2-4)$$

$$l = \frac{\lambda_1 \lambda_2}{2(\lambda_1 + \lambda_2)} = \frac{\lambda_0}{4} \quad (11.2-5)$$

$$\theta = \frac{\pi}{2} \frac{\lambda_0}{\lambda} = \frac{\pi}{2} \frac{\omega}{\omega_0} \quad (11.2-6)$$

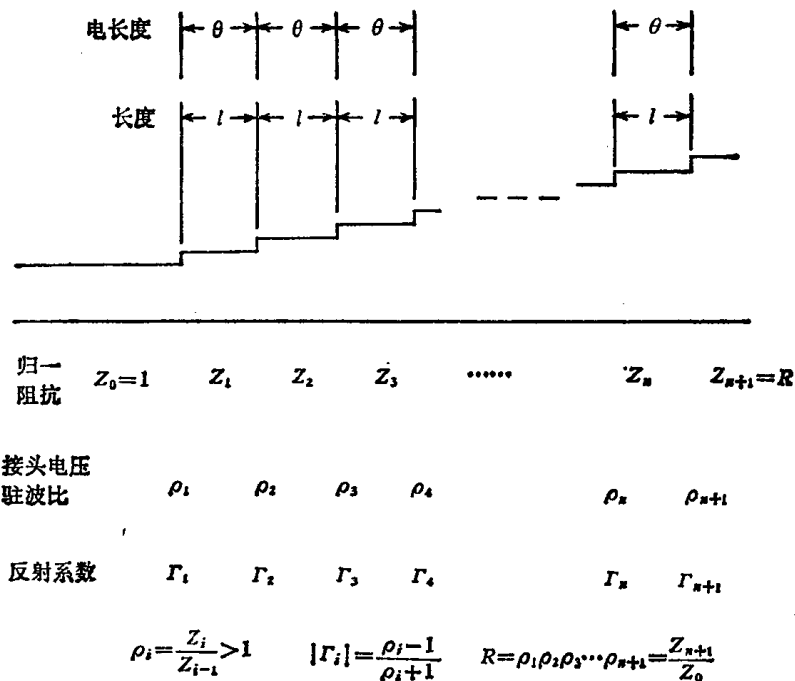


图 11.2-1 1/4 波长变换器的符号定义

式中 ω_0 是中心频率, ω_2 和 ω_1 (或 f_2 和 f_1) 是 1/4 波长变换器通带的上、下带边频率。

1/4 波长变换器各节的特性可用其 $ABCD$ 矩阵表示。电长度为 θ 的 n 个变换器节相级联的变换器, 可把其各节的 $ABCD$ 矩阵连乘起来, 即得出整个变换器的 $ABCD$ 矩阵, 并可由此求得变换器的功率转移函数。再用最平坦或切比雪夫近似函数逼近它, 即可得出最平坦或切比雪夫变换器的响应特性, 从而设计出变换器的元件值来。下面分别叙述之。

1. 最平坦 1/4 波长变换器

对于最平坦 1/4 波长变换器, 其功率转移函数是

$$\frac{P_a}{P_L} = 1 + \varepsilon_a \cos^{2n} \theta \quad (11.2-7)$$

若用分贝表示之, 则得衰减函数为

$$L_A = 10 \log(1 + \varepsilon_a \cos^{2n} \theta) \quad (11.2-8)$$

设在其带边频率 ω_1 上,

$$\theta_1 = \frac{\pi}{2} \frac{\lambda_{g0}}{\lambda_{g1}} = \frac{\pi}{2} \left(1 - \frac{\mathcal{W}_q}{2} \right) \quad (11.2-9)$$

$$\cos \theta_1 = \cos \frac{\pi}{2} \left(1 - \frac{\mathcal{W}_q}{2} \right) = \sin \left(\frac{\pi}{4} \mathcal{W}_q \right) = \mu_0 \quad (11.2-10)$$

若衰减 $L_A = L_{Ar}$ 是通带最大衰减, 于是由式(11.2-8)得

$$\varepsilon_a = \left(10^{\frac{L_{Ar}}{10}} - 1 \right) / \mu_0^{2n} \quad (11.2-11)$$

以及

$$L_A = 10 \log \left[1 + \left(10^{\frac{L_{Ar}}{10}} - 1 \right) \left(\frac{\cos \theta}{\mu_0} \right)^{2n} \right]$$

$$= 10 \log \left[1 + \varepsilon \left(\frac{\cos \theta}{\mu_0} \right)^{2n} \right] \quad (11.2-12)$$

式中 $\varepsilon = 10^{L_{Ar}/10} - 1$ 。由上式可见,当 $\cos \theta = 1$ 时,即 θ 为 π 的整数倍时,衰减 L_A 为最大,并且等于

$$(L_A)_{\max} = 10 \log(1 + \varepsilon_a) \quad (11.2-13)$$

当 $\cos \theta = 0$ 时,即 θ 为 $\pi/2$ 的奇数倍时,衰减 $L_A = 0$; 当 $\cos \theta = \mu_0$ 时,衰减 $L_A = L_{Ar}$ 。图 11.2-2(a) 示出衰减随 θ 的变化情况。

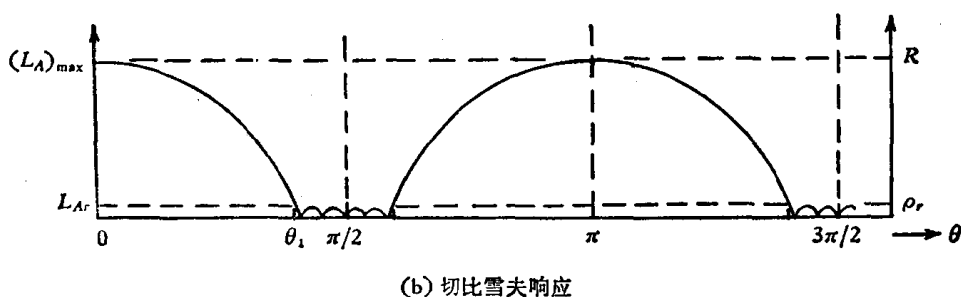
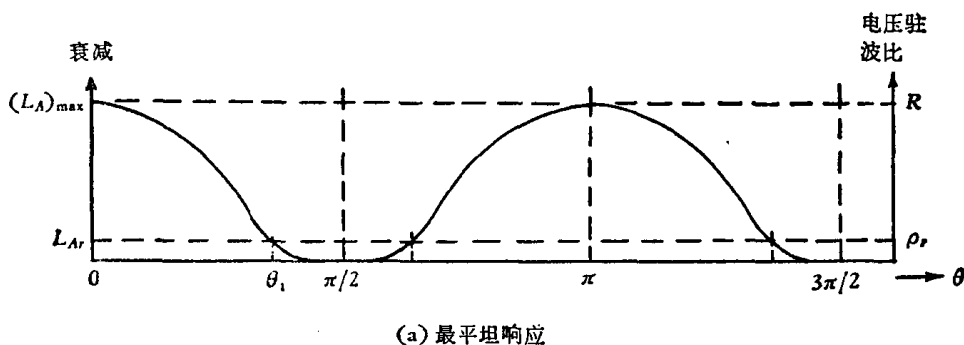


图 11.2-2 1/4 波长阻抗变换器的响应特性

另一方面,如果研究 1/4 波长变换器的电压驻波比随 θ 的变化,则可发现,当 $\theta = \pi$ 的整数倍时,变换器各节的长度为其半波导波长的整数倍,不能起阻抗变换作用,因而此时的电压驻波比最大,并且等于输出输入阻抗比 R 。与此相对应的最大衰减(电压驻波比与衰减的换算关系可由 2.2 节的图表查得)是

$$(L_A)_{\max} = 10 \log \frac{(R+1)^2}{4R} = 10 \log \left[1 + \frac{(R-1)^2}{4R} \right] \quad (11.2-14)$$

在 $\theta = \pi/2$ 的奇数倍上,电压驻波比为 1;而在通带带边 θ_1 上,由于 $L_A = L_{Ar}$,因此相对应的通带最大电压驻波比 ρ_r 可由下面关系式确定:

$$L_{Ar} = 10 \log(1 + \varepsilon) = 10 \log \left[1 + \frac{(\rho_r - 1)^2}{4\rho_r} \right] \quad (11.2-15)$$

或

$$\frac{(\rho_r - 1)^2}{4\rho_r} = \varepsilon = 10^{\frac{L_{Ar}}{10}} - 1 \quad (11.2-16)$$

这种电压驻波比随 θ 的变化也示于图 11.2-2(a) 中。

比较(11.2-14)式和(11.2-13)式可知,

$$\varepsilon_a = \frac{(R-1)^2}{4R} \quad (11.2-17)$$

因此(11.2-8)式可改写为

$$L_A = 10 \log \left[1 + \frac{(R-1)^2}{4R} \cos^{2n} \theta \right] \quad (11.2-18)$$

对于 1/4 波长变换器的带宽, 在已知 R 和 n 后, 根据其指定的通带最大衰减即可由(11.2-18)式确定出来。对于 3 分贝点相对带宽, 由(11.2-18)式得

$$\frac{(R-1)^2}{4R} \cos^{2n} \theta_1 = \frac{(R-1)^2}{4R} \left[\sin \left(\frac{\pi}{4} \mathscr{W}_{q,3\text{分贝}} \right) \right]^{2n} = 1$$

故

$$\mathscr{W}_{q,3\text{分贝}} = \frac{4}{\pi} \sin^{-1} \left[\frac{4R}{(R-1)^2} \right]^{\frac{1}{2n}} \quad (11.2-19)$$

对于 x 分贝相对带宽, 由(11.2-18)式得

$$\frac{(R-1)^2}{4R} \left[\sin \left(\frac{\pi}{4} \mathscr{W}_{q,x\text{分贝}} \right) \right]^{2n} = 10^{\frac{x}{10}} - 1$$

故

$$\mathscr{W}_{q,x\text{分贝}} = \frac{4}{\pi} \sin^{-1} \left[\frac{4R(10^{\frac{x}{10}} - 1)}{(R-1)^2} \right]^{\frac{1}{2n}} \quad (11.2-20)$$

在设计最平坦 1/4 波长变换器时, 确定节数 n 有两种情况: 一种是已知 3 分贝相对带宽以及两终端的阻抗比 R ; 另一种是已知 3 分贝带宽和预定频率上的阻带衰减。对于已知 3 分贝带宽和预定频率的阻带衰减, 比较(11.2-12)式与(2.5-1)式可知, 只要令

$$\frac{\omega'}{\omega_1} = \frac{\cos \theta}{\mu_0} \quad (11.2-21)$$

则可用图 2.5-1 的曲线, 根据已知阻带衰减, 确定出 n 值。在(11.2-21)式中 ω' 是预定频率上低通原型的频率, 与此相对应的 $\cos \theta$ 中 θ 也应是预定频率上的值。设预定频率处的衰减值为 x 分贝, 则该处所对应的相对带宽为 $\mathscr{W}_{q,x\text{分贝}}$, 以此与(11.2-9)式类比, (11.2-21)式中的 θ 可写为

$$\theta = \frac{\pi}{2} \left(1 - \frac{\mathscr{W}_{q,x\text{分贝}}}{2} \right) \quad (11.2-22)$$

再考虑(11.2-10)式, 终得

$$\frac{\cos \theta}{\mu_0} = \frac{\cos \left[\frac{\pi}{2} \left(1 - \frac{\mathscr{W}_{q,x\text{分贝}}}{2} \right) \right]}{\cos \left[\frac{\pi}{2} \left(1 - \frac{\mathscr{W}_{q,3\text{分贝}}}{2} \right) \right]} = \frac{\sin \left(\frac{\pi}{4} \mathscr{W}_{q,x\text{分贝}} \right)}{\sin \left(\frac{\pi}{4} \mathscr{W}_{q,3\text{分贝}} \right)} \quad (11.2-23)$$

由(11.2-23)式就可很方便地根据已知条件求得所对应的 ω'/ω_1 值, 从而确定出节数 n 。

对于已知 3 分贝带宽和阻抗比 R , 则须从(11.2-18)式直接求解, 这很繁琐。图 11.2-3 列出 $n = 1 \sim 15$ 的 3 分贝相对带宽 $\mathscr{W}_{q,3\text{分贝}}$ (以下一律简写为 \mathscr{W}_q) 与 $\log_{10} R$ 的关系曲线, 利用它, 在已知 \mathscr{W}_q 和 R 后, 可立即确定出 n 来。但须注意, 图中 $R = 5.828$ 是其下限, 当 $R < 5.828$ 时, 就不能用此最平坦响应的 3 分贝带宽的图表来设计 1/4 波长阻抗变换器了。

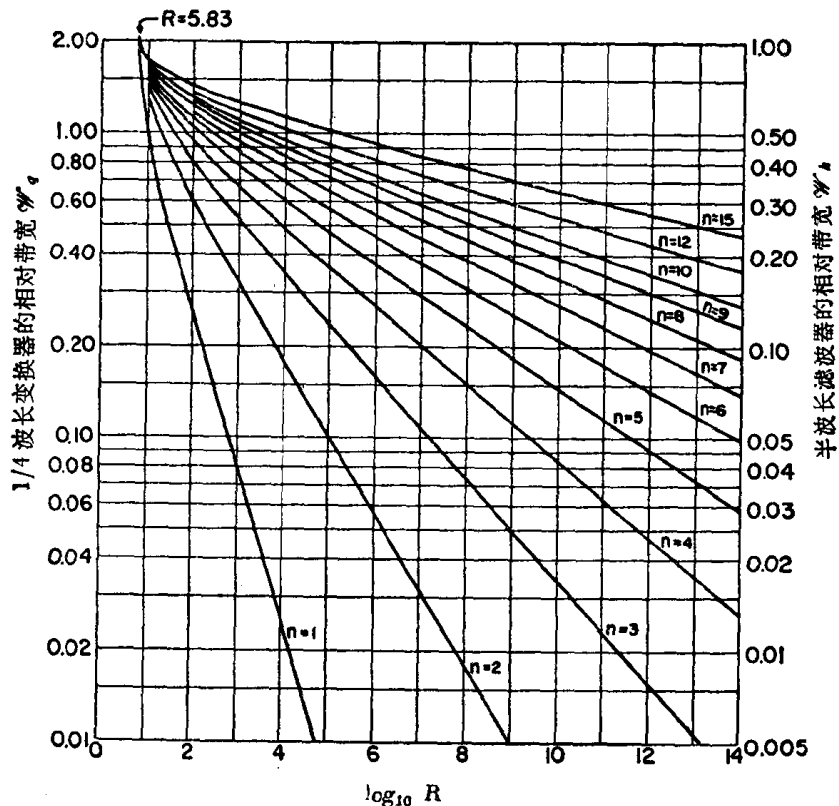


图 11.2-3 最平坦 1/4 波长变换器的 3 分贝带宽与阻抗比的关系曲线

2. 切比雪夫 1/4 波长变换器

对于切比雪夫 1/4 波长变换器,其衰减函数的表示式为

$$\begin{aligned}
 L_A &= 10 \log \left[1 + \frac{(R-1)^2}{4R} \frac{\text{Tn}^2\left(\frac{\cos \theta}{\mu_0}\right)}{\text{Tn}^2\left(\frac{1}{\mu_0}\right)} \right] \\
 &= 10 \log \left[1 + \varepsilon_r \text{Tn}^2\left(\frac{\cos \theta}{\mu_0}\right) \right] \quad (11.2-24)
 \end{aligned}$$

式中 $\mu_0 = \cos \theta_1 = \sin\left(\frac{\pi}{4} \mathcal{W}_q\right)$, Tn 是 n 阶第一类切比雪夫多项式, $\varepsilon_r = \frac{(R-1)^2}{4R \text{Tn}^2(1/\mu_0)}$
 $= 10^{\frac{L_{Ar}}{10}} - 1$ 。由此可见,当 θ 为 π 的整数倍时, $\cos \theta = 1$, 因而衰减 L_A 最大, 其值为

$$(L_A)_{\max} = 10 \log \left[1 + \frac{(R-1)^2}{4R} \right] = 10 \log \frac{(R+1)^2}{4R} \quad (11.2-25)$$

当 θ 为 $\pi/2$ 的奇数倍时, $\cos \theta = 0$, 因而 L_A 或为零 (n 为奇数), 或为 L_{Ar} (n 为偶数); 当 $\theta = \theta_1$ 时, $L_A = L_{Ar}$ 。图 11.2-2 (b) 示出衰减随 θ 的变化情况。

切比雪夫 1/4 波长变换器的响应也可以用电压驻波比随 θ 的变化表示之。当 θ 为 π 的整数倍时, 电压驻波比最大, 并等于输出输入阻抗比 R ; 当 θ 为 $\pi/2$ 的奇数倍时, 电压驻波比或为 1, 或为通带最大电压驻波比 ρ_r ; 当 $\theta = \theta_1$ 时, 带边电压驻波比为 ρ_r 。此波纹电压驻波比 ρ_r 与 L_{Ar} 的关系是

$$\frac{(\rho_r - 1)^2}{4 \rho_r} = \varepsilon_r = 10^{L_{Ar}/10} - 1 \quad (11.2-26)$$

1/4 波长变换器的电压驻波比随 θ 的变化情况也示于图 11.2-2 (b)。

在设计切比雪夫 1/4 波长变换器时, 确定节数 n 也有两种情况: 一种是已知相对带宽、通带波纹以及预定频率上的阻带衰减; 另一种是已知通带波纹、相对带宽以及两终端的阻抗比 R 。对于第一种情况, 也只要令

$$\frac{\omega'}{\omega_i} = \frac{\cos \theta}{\mu_0} \quad (11.2-27)$$

则可用图 2.6-1 到图 2.6-7 的曲线, 根据已知阻带衰减, 确定出 n 值来。对于第二种情况, 须从(11.2-24)式求解, 这样计算十分麻烦, 通常制成数据表以供设计时查用。

表 11.2-1 到表 11.2-4 直接给出输出输入阻抗比 R 小于 100 (这是常见的情况), 相对带宽 \mathscr{W}_q 由 20~120%, 以及 $n=1, 2, 3, 4$ 的变换器通带内最大电压驻波比 ρ_r 。已知 R , ρ_r 及 \mathscr{W}_q , 可直接查出 n 来。

[例 1] 欲设计的 1/4 波长变换器的 $R=17.5$, $\rho_r=1.5$, $\mathscr{W}_q=0.8$, 求节数 n 。

查表 11.2-1 到表 11.2-4: 在 $R=17.5$, $\mathscr{W}_q=0.8$ 条件下, $n=2$ 时, $\rho_r=2.23$; $n=3$ 时, $\rho_r=1.31$, 故节数应选为 3。

当 $n > 4$ 或其他数据 (R , ρ_r , \mathscr{W}_q) 有超过上述四表的范围时, 求节数 n 则需用表 11.2-5。它的使用稍微复杂一点, 因为它给出的是 M 值与 \mathscr{W}_q 和 n 的关系, 此 M 值由下式表示:

$$M(n, \mathscr{W}_q) = \text{Tn}^2\left(\frac{1}{\mu_0}\right) = \frac{\varepsilon_a}{\varepsilon_r} = \frac{(R-1)^2}{\frac{4R}{(\rho_r-1)^2}} \quad (11.2-28)$$

因此, 在查表之前, 先要由已知的 ρ_r 求得 ε_r , 由已知的 R 求得 ε_a , 从而由两者之比求得 M 值。最后, 由已知的 \mathscr{W}_q 和所得的 M 值查表 11.2-5 得出满足要求的节数 n 来。

[例 2] 设欲设计的 1/4 波长变换器的阻抗比 $R=100$, 通带内波纹电压驻波比 $\rho_r=1.15$, 相对带宽 \mathscr{W}_q 为 100%, 问需几节才能满足要求。

由观察表 11.2-1 到表 11.2-4 可见, 当满足 $R=100$, $\mathscr{W}_q=1.0$ 时, 即使用 $n=4$ 也只能达到 $\rho_r=1.78$, 故需用 $n > 4$ 的节数。于是需根据表 11.2-5 确定节数 n 。为此, 先计算 M 值:

$$\varepsilon_r = \frac{(\rho_r-1)^2}{4\rho_r} = \frac{(0.15)^2}{4 \times 1.15} = 0.00489$$

$$\varepsilon_a = \frac{(R-1)^2}{4R} = \frac{(99)^2}{4 \times 100} = 24.5$$

$$M = \frac{\varepsilon_a}{\varepsilon_r} = \frac{24.5}{0.00489} = 0.501 \times 10^4$$

查表 11.2-5, 当 $\mathscr{W}_q=1.0$ 得:

$$n=5 \text{ 时} \quad M=0.1682 \times 10^4$$

$$n=6 \text{ 时} \quad M=0.9801 \times 10^4$$

故此 1/4 波长变换器至少要用六节。

表 11.2-1 单节 1/4 波长变换器的最大电压驻波比

阻 抗 比 R	带 宽 $\%_0$					
	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2
1.25	1.03	1.07	1.11	1.14	1.17	1.20
1.50	1.03	1.13	1.20	1.27	1.33	1.39
1.75	1.09	1.19	1.30	1.39	1.49	1.57
2.00	1.12	1.24	1.38	1.51	1.64	1.76
2.50	1.16	1.34	1.53	1.73	1.93	2.12
3.00	1.20	1.43	1.63	1.95	2.21	2.47
4.00	1.26	1.58	1.95	2.35	2.76	3.15
5.00	1.32	1.73	2.21	2.74	3.30	3.83
6.00	1.37	1.86	2.45	3.12	3.82	4.50
8.00	1.47	2.11	2.92	3.88	4.86	5.84
10.00	1.55	2.35	3.37	4.53	5.88	7.16
12.50	1.65	2.63	3.92	5.47	7.15	8.81
15.00	1.75	2.90	4.47	6.36	8.41	10.46
17.50	1.84	3.17	5.01	7.25	9.67	12.10
20.00	1.92	3.43	5.54	8.11	10.93	13.74
25.00	2.03	3.95	6.60	9.86	13.44	17.02
30.00	2.24	4.45	7.65	11.60	15.95	20.30
40.00	2.54	5.45	9.73	15.07	20.98	26.85
50.00	2.82	6.43	11.81	18.54	25.97	33.40
60.00	3.10	7.40	13.88	22.00	30.93	39.95
80.00	3.63	9.34	18.02	28.92	40.98	53.04
100.00	4.16	11.27	22.15	35.83	50.98	66.13

表 11.2-2 两节切比雪夫 1/4 波长变换器的最大电压驻波比

阻 抗 比 R	带 宽 $\%_0$					
	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2
1.25	1.00	1.01	1.03	1.05	1.08	1.11
1.50	1.01	1.02	1.05	1.09	1.15	1.22
1.75	1.01	1.03	1.07	1.13	1.21	1.32
2.00	1.01	1.04	1.08	1.16	1.27	1.41
2.50	1.01	1.05	1.12	1.22	1.37	1.58
3.00	1.01	1.06	1.14	1.27	1.47	1.74
4.00	1.02	1.08	1.19	1.37	1.64	2.04
5.00	1.02	1.09	1.23	1.45	1.80	2.33
6.00	1.03	1.11	1.26	1.53	1.95	2.60
8.00	1.03	1.13	1.33	1.67	2.23	3.13
10.00	1.04	1.15	1.38	1.80	2.50	3.64
12.50	1.04	1.18	1.45	1.95	2.82	4.27
15.00	1.05	1.20	1.51	2.09	3.13	4.89
17.50	1.05	1.22	1.57	2.23	3.44	5.50
20.00	1.05	1.24	1.62	2.36	3.74	6.11
25.00	1.06	1.27	1.72	2.62	4.33	7.32
30.00	1.07	1.30	1.82	2.87	4.91	8.52
40.00	1.08	1.36	2.00	3.36	6.06	10.91
50.00	1.09	1.41	2.17	3.83	7.20	13.29
60.00	1.10	1.46	2.34	4.30	8.33	15.66
80.00	1.12	1.55	2.65	5.21	10.57	20.41
100.00	1.13	1.63	2.96	6.11	12.81	25.15

表 11.2-3 三节切比雪夫 1/4 波长变换器的最大电压驻波比

阻 抗 比 R	带 宽 %					
	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2
1.25	1.00	1.00	1.01	1.02	1.03	1.06
1.50	1.00	1.00	1.01	1.03	1.03	1.11
1.75	1.00	1.00	1.02	1.04	1.03	1.16
2.00	1.00	1.01	1.02	1.05	1.11	1.20
2.50	1.00	1.01	1.03	1.07	1.14	1.23
3.00	1.00	1.01	1.03	1.08	1.18	1.35
4.00	1.00	1.01	1.04	1.11	1.24	1.47
5.00	1.00	1.01	1.05	1.13	1.29	1.59
6.00	1.00	1.02	1.06	1.15	1.33	1.69
8.00	1.00	1.02	1.07	1.18	1.42	1.88
10.00	1.00	1.02	1.08	1.21	1.49	2.06
12.50	1.00	1.03	1.09	1.25	1.53	2.23
15.00	1.00	1.03	1.11	1.23	1.66	2.43
17.50	1.00	1.03	1.12	1.31	1.73	2.68
20.00	1.00	1.03	1.12	1.34	1.81	2.87
25.00	1.00	1.04	1.14	1.39	1.95	3.25
30.00	1.01	1.04	1.16	1.43	2.03	3.62
40.00	1.01	1.05	1.19	1.52	2.33	4.34
50.00	1.01	1.06	1.21	1.60	2.57	5.05
60.00	1.01	1.06	1.23	1.68	2.80	5.75
80.00	1.01	1.07	1.23	1.82	3.25	7.13
100.00	1.01	1.03	1.31	1.95	3.69	8.51

表 11.2-4 四节切比雪夫 1/4 波长变换器的最大电压驻波比

阻 抗 比 R	带 宽 %					
	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2
1.25	1.00	1.00	1.00	1.00	1.01	1.03
1.50	1.00	1.00	1.00	1.01	1.02	1.06
1.75	1.00	1.00	1.00	1.01	1.03	1.03
2.00	1.00	1.00	1.00	1.02	1.04	1.10
2.50	1.00	1.00	1.01	1.02	1.06	1.14
3.00	1.00	1.00	1.01	1.03	1.07	1.17
4.00	1.00	1.00	1.01	1.03	1.09	1.22
5.00	1.00	1.00	1.01	1.04	1.11	1.27
6.00	1.00	1.00	1.01	1.05	1.13	1.31
8.00	1.00	1.00	1.02	1.06	1.16	1.39
10.00	1.00	1.00	1.02	1.07	1.18	1.46
12.50	1.00	1.00	1.02	1.08	1.21	1.54
15.00	1.00	1.00	1.02	1.08	1.24	1.62
17.50	1.00	1.00	1.03	1.09	1.26	1.69
20.00	1.00	1.01	1.03	1.10	1.28	1.76
25.00	1.00	1.01	1.03	1.11	1.33	1.88
30.00	1.00	1.01	1.04	1.13	1.36	2.01
40.00	1.00	1.01	1.04	1.15	1.43	2.24
50.00	1.00	1.01	1.05	1.17	1.50	2.46
60.00	1.00	1.01	1.05	1.18	1.56	2.67
80.00	1.00	1.01	1.06	1.22	1.67	3.08
100.00	1.00	1.01	1.07	1.25	1.78	3.48

表 11.2-5 $M(n, \varphi_0) = Tn^2 \left[\frac{1}{\sin(\frac{\pi}{4} \varphi_0)} \right]$ 数据表

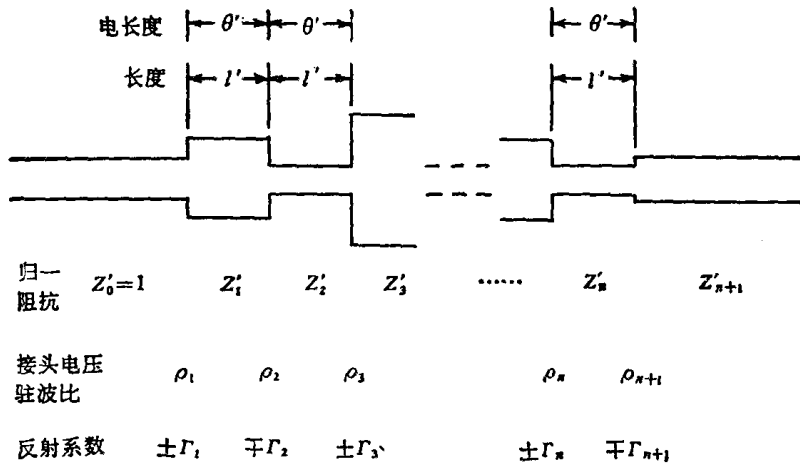
n	φ_0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
2		0.1049×10^6	0.6517×10^4	0.1274×10^4	0.3978×10^3	0.1601×10^3	0.7575×10^2	0.4001×10^2	0.2293×10^2	0.1400×10^2	0.9000×10
3		0.6795×10^5	0.1052×10^7	0.9094×10^5	0.1584×10^5	0.4086×10^4	0.1306×10^4	0.4972×10^3	0.2130×10^3	0.9966×10^2	0.5000×10^2
4		0.4402×10^{11}	0.1699×10^9	0.6491×10^7	0.6313×10^6	0.1020×10^6	0.2265×10^5	0.6246×10^4	0.2013×10^4	0.7291×10^3	0.2390×10^3
5		0.2851×10^{14}	0.2742×10^{11}	0.4634×10^9	0.2517×10^8	0.2678×10^7	0.3930×10^6	0.7852×10^5	0.1906×10^5	0.5353×10^4	0.1682×10^4
6		0.1847×10^{17}	0.4427×10^{13}	0.3308×10^{11}	0.1003×10^{10}	0.6516×10^8	0.6819×10^7	0.9972×10^6	0.1806×10^6	0.3933×10^5	0.9801×10^4
7		0.1196×10^{20}	0.7148×10^{15}	0.2961×10^{13}	0.3999×10^{11}	0.1646×10^{10}	0.1188×10^9	0.1241×10^8	0.1710×10^7	0.2890×10^6	0.5712×10^5
8		0.7751×10^{22}	0.1154×10^{18}	0.1686×10^{15}	0.1594×10^{13}	0.4162×10^{11}	0.2052×10^{10}	0.1560×10^9	0.1620×10^8	0.2123×10^7	0.3929×10^6
9		0.5021×10^{25}	0.1863×10^{20}	0.1203×10^{17}	0.6355×10^{14}	0.1052×10^{13}	0.3561×10^{11}	0.1961×10^{10}	0.1585×10^9	0.1560×10^8	0.1940×10^7
10		0.3252×10^{28}	0.3008×10^{22}	0.8590×10^{19}	0.2583×10^{16}	0.2658×10^{14}	0.6178×10^{12}	0.2466×10^{11}	0.1454×10^{10}	0.1140×10^9	0.1131×10^8
11		0.2107×10^{31}	0.4556×10^{24}	0.6132×10^{20}	0.1010×10^{18}	0.6720×10^{15}	0.1072×10^{14}	0.3100×10^{12}	0.1377×10^{11}	0.8422×10^9	0.6592×10^8
12		0.1365×10^{34}	0.7840×10^{26}	0.4377×10^{22}	0.4026×10^{19}	0.1693×10^{17}	0.1860×10^{15}	0.3893×10^{13}	0.1304×10^{12}	0.6188×10^{10}	0.3942×10^9
13		0.8842×10^{36}	0.1266×10^{29}	0.3124×10^{24}	0.1605×10^{21}	0.4292×10^{18}	0.3227×10^{16}	0.4901×10^{14}	0.1285×10^{13}	0.4547×10^{11}	0.2239×10^{10}
14		0.5728×10^{39}	0.2044×10^{31}	0.2230×10^{26}	0.6397×10^{22}	0.1084×10^{20}	0.5598×10^{17}	0.6161×10^{15}	0.1170×10^{14}	0.3340×10^{12}	0.1305×10^{11}
15		0.3710×10^{42}	0.3299×10^{33}	0.1592×10^{28}	0.2550×10^{24}	0.2742×10^{21}	0.9712×10^{18}	0.7746×10^{16}	0.1108×10^{15}	0.2454×10^{13}	0.7607×10^{11}

n	φ_0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0
2		0.6046×10	0.4226×10	0.3066×10	0.2308×10	0.1804×10	0.1467×10	0.1243×10	0.1103×10	0.1024×10	1.0
3		0.2654×10^2	0.1479×10^2	0.8611×10	0.5234×10	0.3331×10	0.2236×10	0.1601×10	0.1241×10	0.1056×10	1.0
4		0.1230×10^3	0.5553×10^2	0.2634×10^2	0.1303×10^2	0.6802×10	0.3739×10	0.2213×10	0.1454×10	0.1102×10	1.0
5		0.5771×10^5	0.2125×10^5	0.8288×10^2	0.3398×10^2	0.1459×10^3	0.6610×10	0.3219×10	0.1762×10	0.1162×10	1.0
6		0.2713×10^4	0.3170×10^3	0.2631×10^3	0.8965×10^2	0.3206×10^3	0.1206×10^2	0.4853×10	0.2197×10	0.1239×10	1.0
7		0.1276×10^5	0.3145×10^4	0.8380×10^3	0.2379×10^3	0.7120×10^4	0.2239×10^2	0.7490×10	0.2802×10	0.1334×10	1.0
8		0.6006×10^5	0.1211×10^5	0.2671×10^4	0.6327×10^3	0.1588×10^5	0.4197×10^2	0.1174×10^3	0.3689×10	0.1450×10	1.0
9		0.2826×10^6	0.4666×10^5	0.8515×10^4	0.1684×10^4	0.3552×10^6	0.7907×10^2	0.1858×10^2	0.4790×10	0.1590×10	1.0
10		0.1329×10^7	0.1797×10^6	0.2715×10^5	0.4483×10^4	0.7950×10^6	0.1493×10^3	0.2959×10^2	0.6371×10	0.1756×10	1.0
11		0.6257×10^7	0.6923×10^6	0.8656×10^5	0.1194×10^5	0.1780×10^4	0.2825×10^3	0.4730×10^2	0.8542×10	0.1954×10	1.0
12		0.2944×10^8	0.2667×10^7	0.2760×10^6	0.3179×10^5	0.3986×10^4	0.5847×10^3	0.7581×10^2	0.1152×10^2	0.2187×10	1.0
13		0.1385×10^9	0.1027×10^8	0.8800×10^6	0.8465×10^5	0.9928×10^4	0.1012×10^4	0.1216×10^3	0.1560×10^2	0.2463×10	1.0
14		0.6518×10^9	0.8956×10^8	0.2806×10^7	0.2254×10^6	0.1999×10^5	0.1918×10^4	0.1954×10^3	0.2120×10^2	0.2787×10	1.0
15		0.3067×10^{10}	0.1524×10^9	0.8947×10^7	0.6003×10^6	0.4478×10^5	0.3632×10^4	0.3142×10^3	0.2888×10^2	0.3167×10	1.0

11.3 半波长均匀阶梯阻抗滤波器的基本特性

均匀半波长阶梯阻抗滤波器(简称“半波长滤波器”),是一种利用阶梯阻抗不连续性所构成的微波滤波器的低通原型。与上册所用的集总参数低通原型相对应,也可称之为“分布参数低通原型滤波器”。

这种半波长滤波器的阻抗阶梯是在输入端阻抗 Z_0 上交替变化的(一般说来阶梯阻抗值较小),而不象 $1/4$ 波长变换器的阻抗阶梯是个单调递增数列。同时半波长滤波器各节的长度是其中中心频率上的半波长,而不是 $1/4$ 波长。但若半波长滤波器的节数 n 和接头电压驻波比 ρ_i 均与某一 $1/4$ 波长阻抗变换器相同,则 $1/4$ 波长变换器在二倍其频率上,其性能应与半波长滤波器相同。因此,半波长滤波器的性能通常可直接从 $1/4$ 波长阻抗变换器求得,反之亦然,故两者可互作原型。它们的公式或数据经过适当的变换,亦可通用。下面几节在介绍它们各自的性能和数据的同时,也介绍它们间相互关系。



$$\rho_i = \left(\frac{Z'_i}{Z'_{i-1}}\right)^{\pm 1} > 1 \quad |\Gamma_i| = \pm \frac{\rho_i - 1}{\rho_i + 1} > 0 \quad R = \rho_1 \rho_2 \rho_3 \cdots \rho_{n+1}$$

图 11.3-1 半波长滤波器的符号定义

图 11.3-1 为半波长滤波器的示意图及符号定义。与 $1/4$ 波长变换器相对应,其相对带宽 \mathcal{W}_h 的定义为

$$\mathcal{W}_h = 2 \left(\frac{\lambda_{g1} - \lambda_{g2}}{\lambda_{g1} + \lambda_{g2}} \right) \quad (11.3-1)$$

各节的实际长度 l' 为

$$l' = \frac{\lambda_{g1} \lambda_{g2}}{\lambda_{g1} + \lambda_{g2}} = \frac{\lambda_{g0}}{2} \quad (11.3-2)$$

各节的电长度 θ' 为

$$\theta' = \frac{2\pi}{\lambda_g} \frac{\lambda_{g0}}{2} = \pi \frac{\lambda_{g0}}{\lambda_g} \quad (11.3-3)$$

式中 l' 和 θ' 都加了一撇,是为了与 $1/4$ 波长阻抗变换器的 l 和 θ 相区别, λ_{g1} 和 λ_{g2} 分别为