

高频电路故障处理

〔日〕 岩田光信 著

赵长奎 舒华英 译

人民邮电出版社

内 容 提 要

本书从设计、制造、调整和维护这样一个生产和使用的全过程着眼，介绍防止和排除高频电路故障的经验与方法。书中所指的高频，范围是从1兆赫到1000兆赫，重点是分析频率为数百兆赫的实用电路。

为了简明易懂，本书把处理故障的过程绘成了程序图。

本书可供从事高频电路实际装配工作的技术人员和有关院校师生参考。

高 频 电 路 故 障 处 理

[日] 岩田光信 著

赵长奎 舒华英 译

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：850×1168 1/32 1980年8月第 一 版

印张：10 2/32页数：161 1980年8月河北第一次印刷

字数：266千字 印数：1—28,500册

统一书号：15045·总2352—无692

定价：1.10元

前 言

制作高频电路和制作低频电路是不一样的，高频电路必须在实际装配中发现问题，不能只看电路图。但是，高频电路和低频电路之间并没有什么本质上的差别，问题是怎样去弥合理论与实际技术之间的差别。

为了帮助读者，并且弥合理论和实际之间的差别，本书尽量给出了有实用价值的高频电路例子。同时，为了把个别的实装电路所特有的故障检修过程说得更清楚，本书以程序图为中心对它们作了解释。

近来，无论是专用的或者是业余用的高频电路，都着眼于实际设备的高度技术化。例如，为了提高频率稳定性和适应环境温度变化设置了高稳定性的补偿电路，而且在便于操作等方面也都有了很大的进步。

高频电路所不可缺少的控制电路和附属电路等，由于电路新技术的研制，在电路装配的稳定性和便于操作等方面也都有了提高。

在电路技术高度发展的今天，越是高级的电路，则某一种机能出了毛病，整机的性能就不能充分发挥作用，这时，使用者和维护者就要去修理它。为了使高频电路能够稳定地工作，从电路设计到布线、调整、维护（使用和操作）等各个环节都必须注意防止发生故障。

本书对于理论上的阐述力求简便，而着重注意的是在理论书上没有说明的故障检修。它对从事高频电路实际装配工作的现场技术人员、调整人员和学生们所需要了解的内容，作了尽量充分的介绍。但是，由于作者才疏学浅，所以内容讲得不透的地方在所难免，请读者指正。

作 者

本书符号说明

<i>AFC</i>	自动频率控制	<i>MIC</i>	话筒、微音器
<i>AGC</i>	自动增益控制	<i>MIX</i>	混频
<i>AM</i>	振幅调制	<i>MOD</i>	调制器
<i>AMP</i>	放大	<i>MULT</i>	倍频
<i>ASO</i>	安全工作区	<i>NFB</i>	负反馈
<i>ATT</i>	衰减器	<i>NOISE</i>	噪声
<i>BFO</i>	拍频振荡器	<i>OSC</i>	振荡器
<i>BM</i>	平衡调制	<i>PA</i>	功放
<i>BPF</i>	带通滤波器	<i>PIF</i>	第一中放
<i>BUFF</i>	缓冲级	<i>PM</i>	脉冲调制
<i>CF</i>	载频	<i>R_r</i>	实部
<i>CLIP</i>	削波, 限幅	<i>RECT</i>	整流
<i>CRT</i>	示波管	<i>RF</i>	高频、射频
<i>CW</i>	连续波、电报	<i>SG</i>	信号发生器
<i>DETC</i>	检波	<i>SQL</i>	镇噪
<i>DRIV</i>	推动、激励	<i>SSB</i>	单边带
<i>AF</i>	音频	<i>SW</i>	开关
<i>DSB</i>	双边带	<i>SWR</i>	驻波比
<i>FET</i>	场效应管	<i>S/B(Secondary Breakdown)</i>	二次击穿
<i>f_T</i>	特征频率	<i>T_r</i>	晶体管
<i>FM</i>	调频	<i>TV</i>	电视
<i>FM, MOD</i>	调频调制器	<i>VFO</i>	频率可调振荡器
<i>HF</i>	高频	<i>VHF</i>	甚高频
<i>IC</i>	集成电路	<i>VR</i>	电位器
<i>IF</i>	中频	<i>VSWR</i>	电压驻波比
<i>IFT</i>	中频变压器	<i>V_{rms}</i>	信号电压有效值
<i>I_m</i>	虚部	<i>V_m</i>	信号电压峰值
<i>LO</i>	本地振荡器	<i>UHF</i>	超高频
<i>LSB</i>	下边带		
<i>MAG</i>	最大有效功率增益		

目 录

前 言

本书符号说明

第一章 高频电路设计基础	(1)
设计高频电路用的图表	(1)
高频电路用元器件	(10)
高频设计用的晶体管参量	(29)
高频电路设计例	(35)
高频低噪声放大电路的设计	(36)
倍频电路的设计	(42)
功率放大电路的设计	(47)
偏置电路的设计	(52)
散热设计	(55)
第二章 高频电路用半导体器件	(58)
高频电路使用的二极管	(59)
一般整流用二极管	(60)
点接触二极管	(62)
肖特基势垒二极管	(63)
电容可变二极管	(65)
可变电抗二极管	(66)
其他主要二极管	(68)
二极管电路的故障	(69)
变容二极管倍频电路	(69)
高频用场效应晶体管(FET)	(74)
FET的构造	(75)
FET的等效电路	(77)

<i>FET</i> 的静态特性	(78)
<i>FET</i> 的基本接地电路	(78)
<i>FET</i> 的偏置电路	(79)
<i>FET</i> 的交扰调制特性	(80)
关于高频电路用 <i>FET</i> 的故障	(82)
<i>VHF</i> 放大电路	(82)
<i>FM</i> 调谐电路例	(88)
高频电路用晶体管	(92)
关于高频小信号用晶体管	(93)
关于高频大功率用晶体管	(100)
晶体管电路的故障	(110)
高频小信号晶体管电路	(110)
高频大功率晶体管电路	(114)
第三章 晶体管电路故障检修的主要问题	(125)
故障检修的主要问题	(125)
晶体管是否正常	(125)
晶体管与电子管的不同	(126)
测试晶体管电路中的电阻的不可靠性	(128)
用万用表检查晶体管时的注意事项	(130)
晶体管没有发射衰退现象	(131)
要预先考虑好晶体管电路的工作	(132)
对电压变化敏感	(133)
必须要检查发射极电流	(133)
发现故障的程序图	(136)
高频小信号电路的故障检修	(140)
高频低噪声放大电路的故障检修	(141)
振荡电路的故障检修	(159)
变频电路的故障检修	(170)
总结调谐器的问题要点	(175)
中频放大电路的故障检修	(181)
调制、解调电路的故障检修	(189)

第四章 高频大功率电路的故障检修	(204)
功率倍频电路的故障检修	(205)
功率放大电路的故障检修	(219)
线性放大器的故障检修	(220)
CW放大器的故障检修	(242)
高频大功率晶体管的损坏	(256)
第五章 发信、收信设备的故障检修	(264)
收信设备的故障检修	(264)
发信设备的故障检修	(279)
参考资料	(305)
史密斯图	(306)
导抗图	(307)
电抗图	(308)
带线阻抗特性表	(309)
电压驻波比和功率的关系	(310)
高频电路晶体管的选择标准	(311)

故障现象分类目录

⑦ 高频低噪声电路的故障检修 (第三章)

得不到功率增益	电路频率特性不好
噪声系数不好 (得不到所需的 S/N)	电路工作不稳定
容易引起交扰调制 (选择性不好)	电路损耗大
AGC特性不好	各种高频低噪声放大电路

⑧ 振荡电路的故障检修 (第三章)

电路不振荡	振荡幅度变化
振荡频率变化	LC振荡电路的异常振荡
AFC电路异常	

⑨ 变频电路的故障检修 (第三章)

得不到变频功率增益	寄生辐射大
变频电路的噪声大	变频电路输出不稳定

● 中频放大电路的故障检修 (第三章)

得不到功率增益

电路不稳定

噪声大

带内特性不好 (选择性坏)

● 调制、解调电路的故障检修 (第三章)

低电平调制电路例和特性改善例

解调电路例和特性改善例

调制电路例和特性改善例

● 功率倍频电路的故障检修 (第四章)

倍频电路不工作

倍频电路工作不稳定

得不到所需倍频频率 (输出功率)

得不到倍频功率增益

倍频电路的寄生功率大

晶体管损坏

● 线性放大器的故障检修 (第四章)

线性放大器的调整

得不到功率增益

电路的线性不好

散热器非常热

输出功率随时间的变化大

随着环境温度变化电路特性变化大

电路工作不稳定

电路容易产生异常振荡

带内特性不好

寄生输出大

● *CW*放大器的故障检修 (第四章)

*CW*放大器的调整

降低*CW*放大器的输出功率

输出功率变化

由于电源电压的变动使输出功率大幅度变化

*CW*放大器的异常振荡

*CW*放大器的寄生产物

得不到功率增益

● 收信设备的故障检修 (第五章)

设备接不通电源

扬声器中有噪声, 但没有信号声

虽然接通了电源, 但各部分均不工作

S表摆动但没有收音声音

本振频率随收信信号电平变化

● 发信设备的故障检修 (第五章)

发信一开始保护电路立即工作

有载频输出但加不上调制

长时间连续发信输出功率下降

发信频率变化

第一章 高频电路设计基础

在设计采用半导体器件的高频电路时，应按所处理的信号是大信号还是小信号的不同，而必须用不同的方法，即根据晶体管的工作点随信号振幅变化还是不变化而采取不同的方法。在小信号工作的电路中，多数情况下电路要求的特性是甲类线性放大，因而应该采用小信号 y 参量和 S 参量作为器件参量进行电路设计。

在处理大信号的电路中，因为不能使用器件的小信号参量，所以要以阻抗匹配为中心进行设计。也就是此时晶体管的工作点随信号幅度而变化，小信号等效电路的 y 参量完全失去了意义。

小信号工作和大信号工作的区别，一般地说，当高频信号的有效电流比直流偏置电流大时，可以看作是大信号工作。从输出功率来看，超过 $100mW$ 的即可作为大信号工作，也就是把它作为高频大功率电路来考虑。

高频电路设计的要点是：首先必须很好地理解所要求的电路特性是什么？其次要认真确定所使用的三极管、二极管的性能，最后还必须进行电路调整。例如，要求低噪声的电路，往往由于一味追求功率增益，结果反使噪声系数增加。

在设计电路时，一般的设计步骤是使用图 1.1 所示的方法。更重要的是，模型设计还要尽可能便于今后电路的调整和改动。

▣ 设计高频电路用的图表

在高频电路中，一般着眼于阻抗和导纳。其计算方法极多。若有合适的换算图和列线图，即使不计算也能得到和用计算尺计算的同样结果。

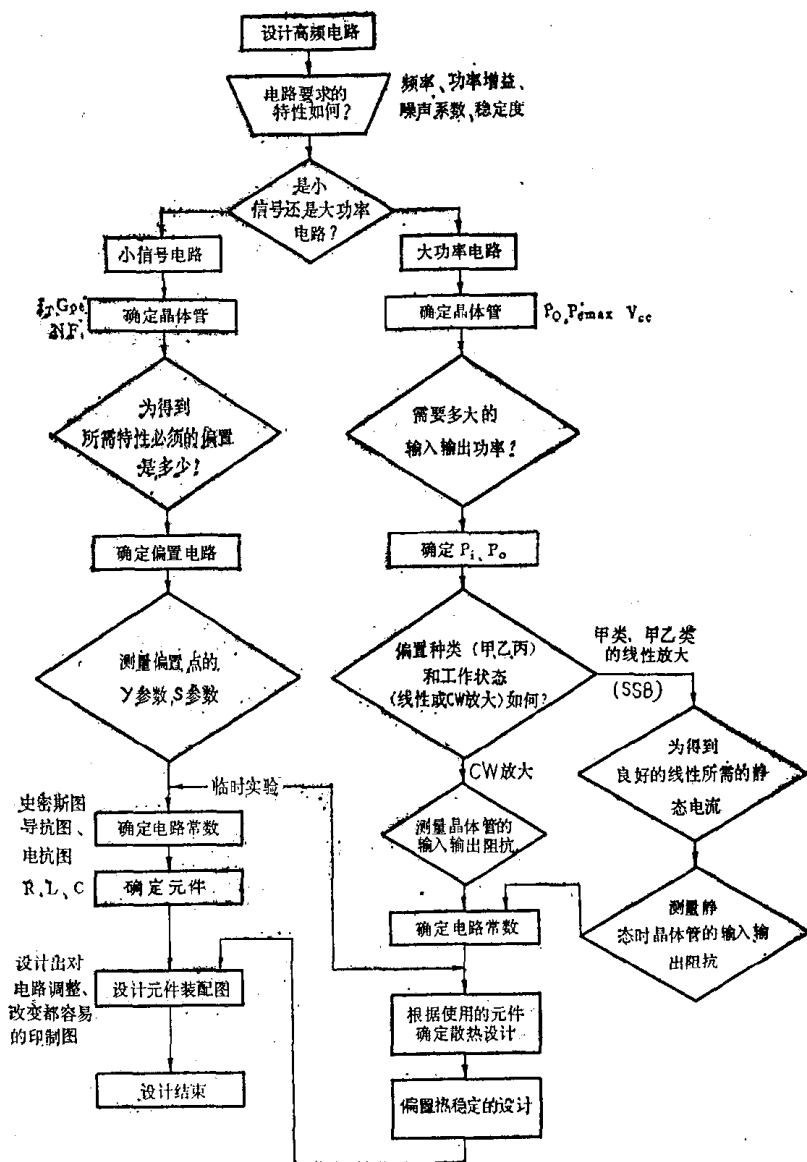


图 1.1 高频电路设计的基本步骤

首先就电抗图加以说明。它是由电感和电容求电抗和电纳的图表，可由式

$$X_L = \omega L = 2\pi fL \quad (1.1)$$

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi fC} \quad (1.2)$$

中右边的 L 、 C 、 f ，求出左边的 X_L 、 X_C 。

图1.2是电抗图，其使用方法如图1.3所示。例如，在图1.4所

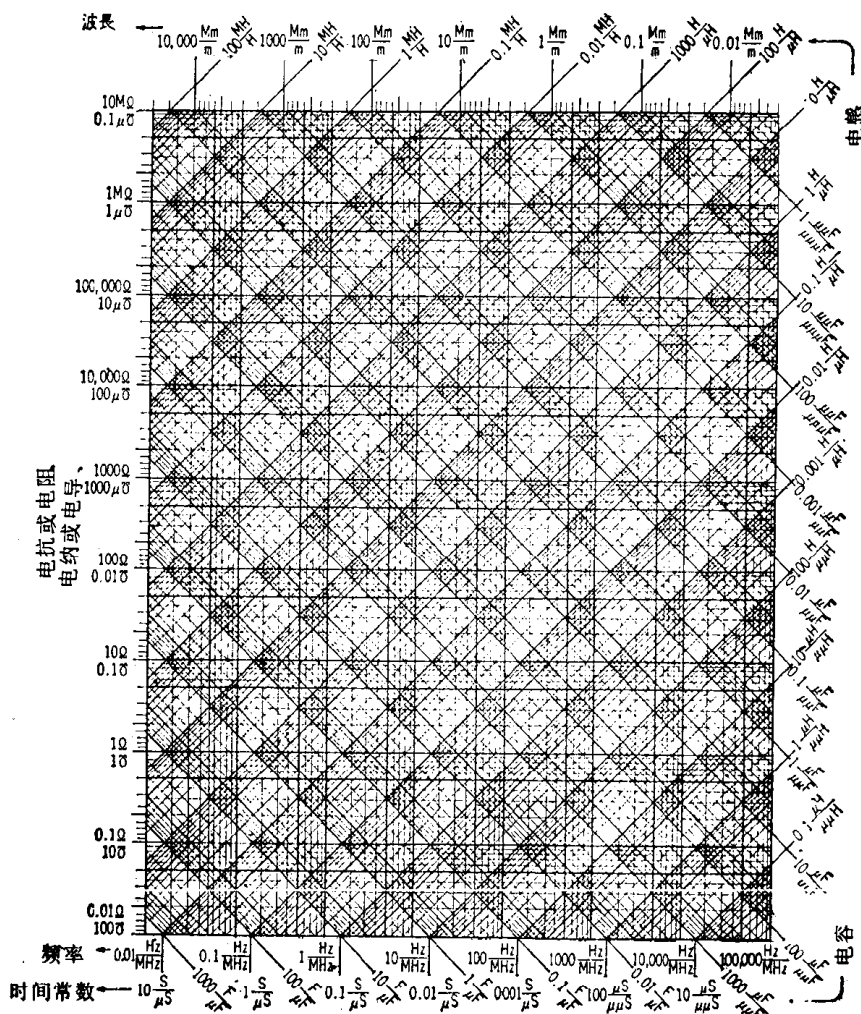


图 1.2 电抗图

示的输入匹配电路中，能计算出所需要的 X_L 、 X_C 。若求出对应于这个 X_L 、 X_C 的频率，则分别可知电感和电容的数值。

- [例 1] 在 430MHz 处，感抗为 30Ω ，电感值应为多少 μH ？
- (a) 过 430MHz 作一垂直于横轴的直线，
 - (b) 过 30Ω 作一平行于横轴的直线，
 - (c) 读过交点 P 的右上斜线所标出的数值，得 $0.01\mu\text{H}$ 。
- [例 2] 在 430MHz 处，电纳为 3S ，电容应为多少 μF ？
- (a) 过 430MHz 作一垂直于横轴的直线，
 - (b) 过 3S 作一平行于横轴的直线，
 - (c) 读过交点 Q 右下斜线所标出的数值，得 $1000\mu\text{F}$ 。

图中， $\frac{H}{\mu\text{H}}$ 、 $\frac{\mu\text{F}}{F}$ 、 $\frac{H_z}{\text{MHz}}$ 前面的数，它的单位若用分母读，则都用分母读；若用分子读则都用分子读。

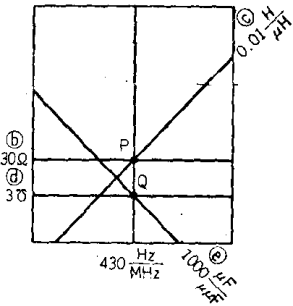


图 1.3 电抗图的用法

下面就导抗图加以说明。由于它是把阻抗图和导纳图在同一坐标中表示的，所以可在反射系数图上画出。

图 1.5 是导抗图。

与直角坐标的导纳图和阻抗图相比，使用它可以简单而迅速地进行电路分析。图中 R 、 G 、 x 、 y 分别表示电阻、电导、电抗、电纳。它们分别按下述规定归一化。

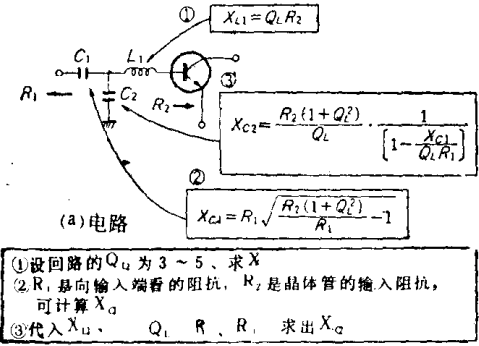
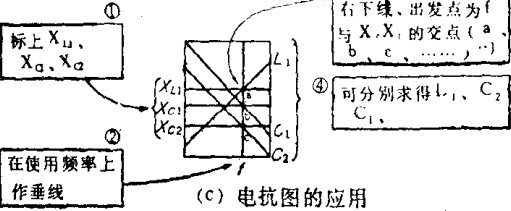


图 1.4 使用电抗图设计输入电路举例



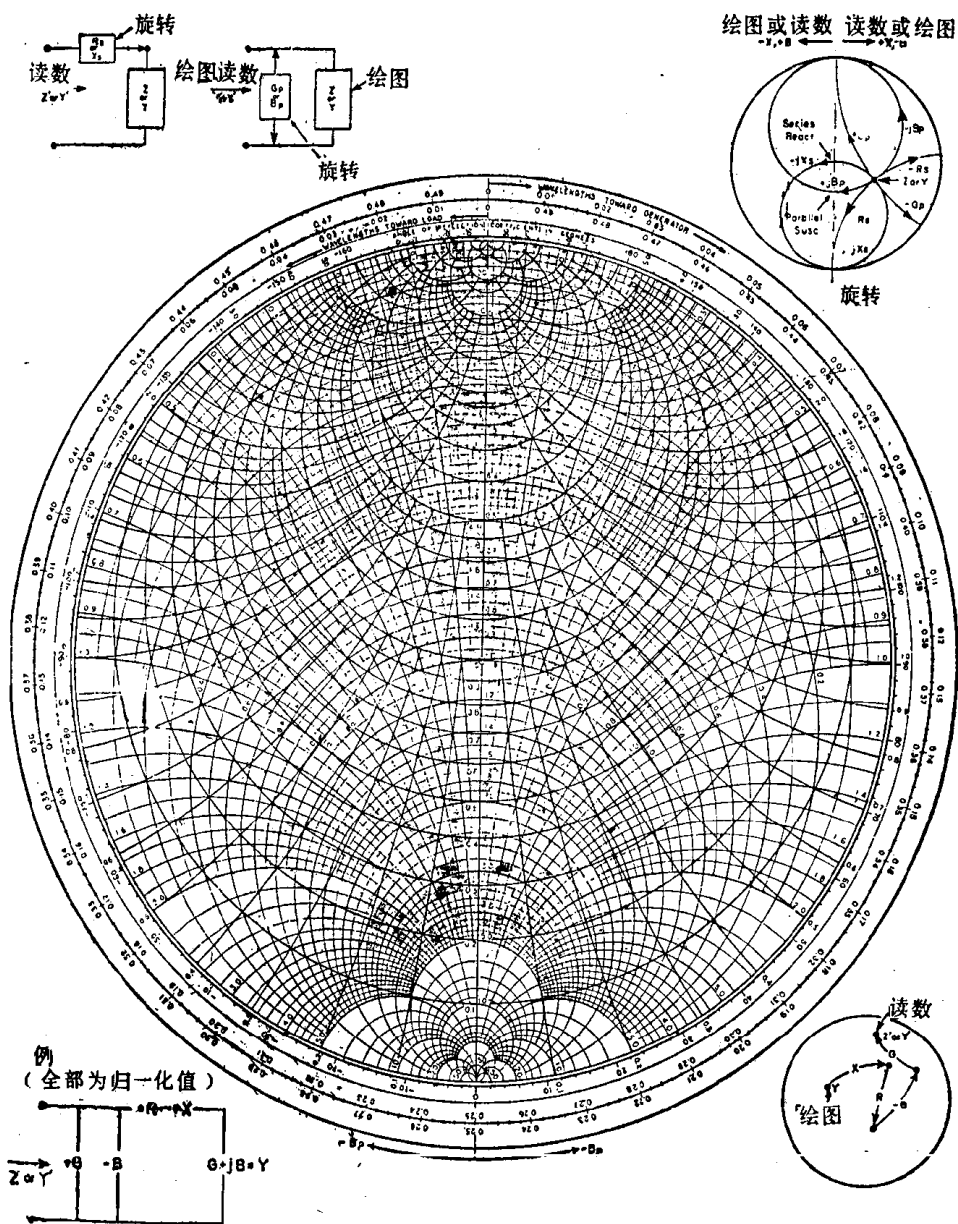


图 1.5 导航图

阻抗 $50\Omega \rightarrow 1\Omega$

电纳 $\frac{1}{50}\mathcal{O} \rightarrow 1\mathcal{O}$

例如： $G=4$ 表示为 $\frac{4}{50}\mathcal{O}$ ， $R=5$ 表示 $5 \times 50\Omega$ 。 R 、 X 、 G 、 Y 各自在图上的读法如图 1.6 所示，同时电抗和电纳不需要决定其正负号。

(a) 图表

加的元件	使用图表	所 循 曲 线	方 向	分 量 值
串联 L	Z	串联定值 R	CW	$X_L = X_f - X_i$
串联 C	Z	串联定值 R	CCW	$X_C = X_f - X_i$
串联 R	Z	定 值 X	往开路	$R_s = R_f - R_i$
并联 $+L$	Y	并联定值 $R(G)$	CCW	$B_L = B_f - B_i$
并联 $+C$	Y	并联定值 $R(G)$	CW	$B_C = B_f - B_i$
并联 $+R$	Y	定 值 B	往闭路	$1/R_P = G_f - G_i$

计算 X 、 B 、 G 、 R 的变化时，不考虑图表上各点的“+”和“-”号。但是要紧紧抓住 X 、 R 、 B 、 G 的变化量。例如，把 $X_i = 0.4$ 的感性（纯电阻 R 线之上）换为 $X_i = 0.3$ 的容性（纯电阻 R 线之下），这时的电容值为 0.7。

CW ：顺时针方向； CCW ：逆时针方向。

(b) 图的旋转方向

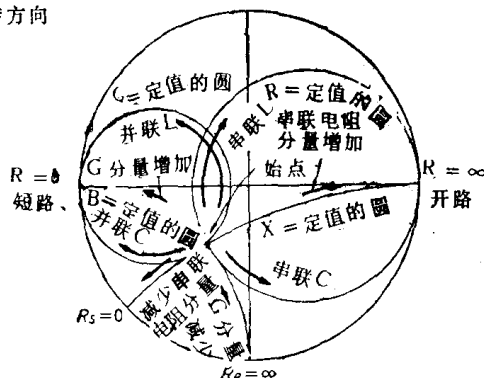


图 1.6 导抗图上的 R 、 x 、 G 、 Y

但是在设计匹配电路时，必须在确定输入输出阻抗的同时确定有载 Q 值。有载 Q 值的大小与效率和滤除高次谐波的能力有关。但是，很遗憾，复杂电路中的 Q 值，不一定能用单一频率所能计算确定。当采用电路设计公式时，这个问题就能容易地加以解决。但也有近似地把实际 Q 值定义为有载 Q 值的作法。一定 Q 值曲线的作图法如图 1.7 所示。把它绘在导抗图上，则可理解为实际工作的有载 Q 值。

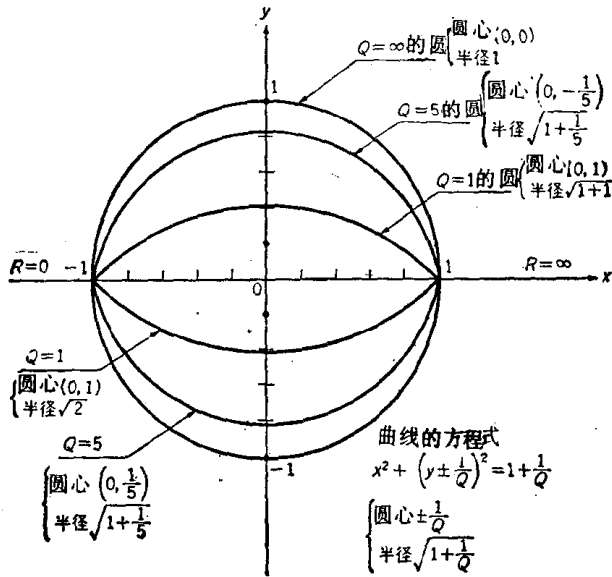


图 1.7 一定 Q 值曲线的作图法

作为导抗图的用例，下面叙述一下图 1.8 所示的由 25Ω 到 50Ω 的变换电路的设计步骤：

(a) 把始点 25Ω 归一化，得 0.5Ω 。把该点 $0.5\Omega + j0\Omega$ 标为图上的①点。

(b) 因为串联电容 C_1 的容抗 (75Ω) 归一化以后是 $-j1.5\Omega$ ，所以在 $R = 0.5\Omega$ 的圆上反时针方向旋转到 $X = -j1.5\Omega$ 的半圆。

(c) 按照 C_1 旋转所到达点②的阻抗是 $0.5\Omega - j1.5\Omega$ 。由于后面接的是并联电感 L ，所以必须读出 $0.5\Omega - j1.5\Omega$ 点的导纳，该值为

$0.2\bar{U} + j0.6\bar{U}$ 。

(d) 把 L 的 50Ω 用导纳归一化, 则为 $-j1.0(\bar{U})$ 。因为在 $G = 0.2\bar{U}$ 的圆上反时针旋转到 $-j1.0$, 若用

$$+j0.6 + B = -j1.0(\bar{U})$$

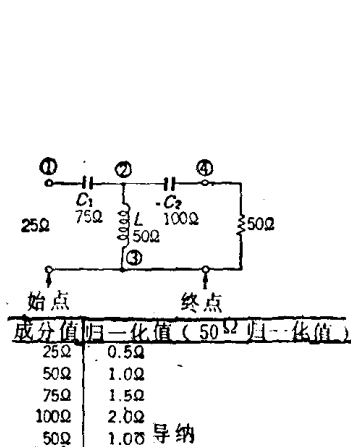
计算, 则 $B = -j0.4(\bar{U})$, 得点③*。

(e) 点③的导纳是 $0.2 - j0.4(\bar{U})$, 读成阻抗为 $1.0 + j2.0(\Omega)$

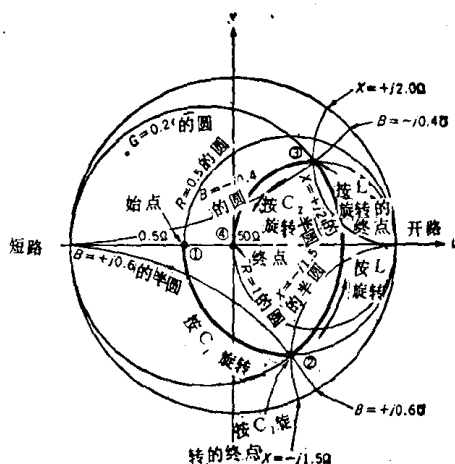
(f) 最后是 C_2 。归一化的值为 $-j2.0\Omega$, 沿 R 为定值的圆反时针旋转, 恰好在 $1.0 + j0(\Omega)$ 的点④结束。

(g) ④点是 50Ω 的点(终点)。

根据以上所述, 用图解法就能求出电路的匹配状态。而且, 此时电路的 Q 值也可以从图 1.7 中看出它大约是多少; 可以分别求出阻抗和导纳转折点的 Q 值, 即图 1.8 中的②点和③点的 Q 值, ②点 $Q \approx 2.7$, ③点 $Q \approx 2.0$



(a) 电路图



(b) 导抗图

图 1.8 导抗图的应用例 ($25\Omega \rightarrow 50\Omega$ 的变换电路)

* 这一步骤可以看作是沿 $G = 0.2\bar{U}$ 的圆反时针旋转到 $-j1.0 + j0.4 = -j0.4$, 则得点③——译注

作为又一个实际应用例子，说明一下图 1.9 所示的使晶体管输入阻抗和特性阻抗为 50Ω 相匹配的方法。这里以 50Ω 的输入端为始点，以晶体管输入阻抗为终点。

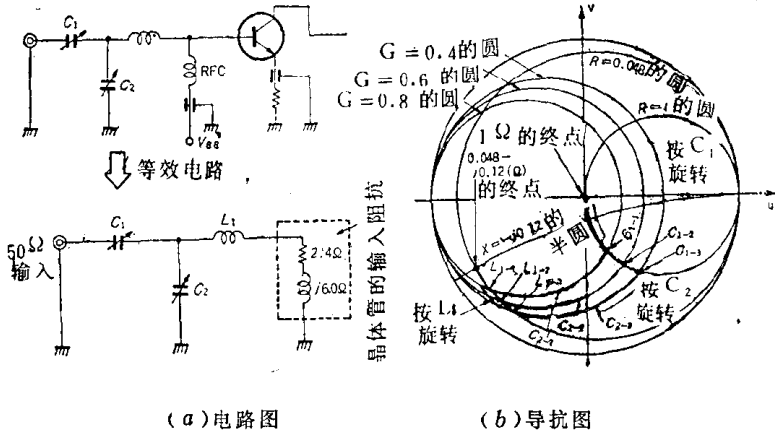


图 1.9 导抗图的应用例 (50Ω 和晶体管匹配例)

选择多大的 C_1 、 C_2 、 L 合适呢？从共轭匹配考虑，在导抗图上，晶体管输入阻抗为 $Z_m^* = 2.4 - j6.0(\Omega)$

(a) 从 $50\Omega = 1\Omega$ 的归一化点出发， C_1 沿 $R = 1\Omega$ 的圆旋转。因 C_1 是串联，所以反时针旋转，根据 C_1 的大小假定 C_{1-1} 、 C_{1-2} 、 C_{1-3} 。

(b) 终点的归一化阻抗是 $0.048 - j0.12\Omega$ ，因为在这个阻抗之前加了 L_1 的电抗，所以沿 $R = 0.048$ 的圆顺时针旋转。

(c) C_2 是并联电纳，所以在 G 为常数的圆上是顺时针旋转。

(d) 这样做的话，可以设想到有多种旋转例，举出下列三种：

对应于 C_{1-1} 是 C_{2-1} 、 L_{1-1}

对应于 C_{1-2} 是 C_{2-2} 、 L_{1-2}

对应于 C_{1-3} 是 C_{2-3} 、 L_{1-3}

各自所对应的数值列于表 1.1。