

电子技术散论

Discuss Electron Technology from All Angles

汪国虎 著



电子科技大学出版社

电子技术散论

汪国虎 著



电子科技大学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

电子技术散论 / 汪国虎著. — 成都: 电子科技大学出版社, 2008.12

ISBN 978-7-5647-0071-3

I. 电… II. 汪… III. 电子技术 IV. TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 202541 号

电子技术散论

汪国虎 著

出 版: 电子科技大学出版社 (成都市一环路东段 159 号电子信息产业大厦
邮编: 610051)

策划编辑: 徐守铭

责任编辑: 罗 雅 徐守铭

主 页: www.uestcp.com.cn

电子邮箱: uestcp@uestcp.com.cn

发 行: 新华书店经销

印 刷: 岳阳晚报社出版印刷中心

开 本: 140mm × 203mm 印张 8.5 字数 260 千字

版 次: 2008 年 12 月第一版

印 次: 2008 年 12 月第一次印刷

书 号: ISBN 978-7-5647-0071-3

定 价: 18.00 元

■ 版权所有 侵权必究 ■

- ◆ 本社发行部电话: (028) 83202463; 本社邮购电话: (028) 83208003。
- ◆ 本书如有缺页、破损、装订错误。请寄回印刷厂调换。
- ◆ 课件下载在我社主页“下载专区”。

追求与探索伴随(序)

闵华清

算起来我与作者已有 25 年的交道，我们曾在一所大学同一个教研室朝夕相处了 8 年。

那时候，作者是我们军院从地方院校选调的最年轻的讲师，他的教学效果好，深受科班学员拥戴。由于他业务精，不久，便成了电子学科领头人之一，是电子技术教研组副组长。他曾被教研室推荐到院里参加“教学比武”赛，并摘取了桂冠。1988 年，当军队院校开始评定职称时，他是我们教研室首批申报的副教授。

作者早年求学于电子科技大学，接受严谨的高科技学习与训练，毕业后留校任教，并开始了科学高峰的攀登与追求。

细研作者此书，可以窥见，他是一位教学极为严谨，教材钻得深、吃得透、敢于探索、追求创新的好先生。《论 OTL 电路》一文，他是跳出教材在讲学，他用不同于教材上的推导方法和严格的实验去证明了一个观点：那就是在 OTL 电路中，只有电路对称时才不失真；《倍压整流动态周期计算》、《化简逻辑函数新方法——圆图法》这两篇文章充分表现了作者是一位教学新思维探索者和理论创新追求派。

化简逻辑函数明明有“代数”法和“卡诺图”法，谁也不想自寻烦恼去找什么其他方法，可作者偏偏要创新，他挖空心思，研究了一个圆图法。他用这个方法，就可把逻辑函数“和之积”与“积之和”的化简过程在一张图上实现，确实直观和方便。倍压整流动态周期如何计算？在教学中谁也没有去推导过，更谈不上去计算。课堂上往往只给学生指个方法，不作深入讨论。可作者却不满足于此，他不厌其烦地详细描绘了电路的充、放电过程，并推导出 n 倍压整流电路动态周期的计算式。可以说，作者的探索成果使电子技术倍压整流这一章节的内容得到了深化和完善。

在电子学领域，作者既是一位理论探索者，同时也是一位务实追求者。其著作中，作者每到一个地方，他都能结合实际需要把理论成果转化为生产力。在西藏高原，他就地取材，为西藏农牧学院设计制作了作息时间振铃及路灯控制器，从而避免了人工操作的失误；他还设计了卫星电视接受器，解决了西藏高原地区不能收看外地电视的技术难题；在信阳陆军学院，他一边教学，一边兼任学院“科洋电子技术开发部”主任工作，并且为平顶山煤矿设计制作了“地下作业线路故障自动报警显示器”；告别军旅，投身激光照排和印刷专业后，他把电子技术与照排印刷紧密结合在一起，写下了《论数字印刷与数字电视》、《如何用 DDN 线连接广域网络》、《DTP 设计员三项注意》、《论彩印三关》、《烤版的学问》和《透析走规》等论文。在《论彩印三关》一文中，他把电视中“三基色”理论加以改造后搬到了彩印中，从而解决了彩色印刷诸如“灰平衡”等一系列问题，这可算是跨行业中理论应用的一个典范，难得！

逆程变压器是显示器中“三大件”之一，也是极易出故障的一个部件，作者此书详细论述了逆变的参数测试与计算，这是一个相当复杂的工程倒算问题。我了解作者，他是个不怕困难的人，工程中越是艰难的问题，他越感兴趣。记得他曾在《电子报》上发表过一篇文章，标题是《美国 VCX-VP 大屏报版显示器高压包维修》，维修几万伏电压、封闭相当严密的高压包，一般人是不敢越雷池半步的，可作者就是不畏艰险，越困难越神秘越要闯，越要探个究竟。他修复的高压包其使用寿命远远超过了美国原装进口的高压包。

合上此书清样，令我心潮激荡，我敬佩作者，在他的人生旅程中追求与探索伴随；我佩服作者坚实的学业基础与渊博的知识才华，丰富多彩的人生经历，广泛的社会活动与交往。同时，我也惋惜作者不应该离开高校，凭君对科学技术如此执著的追求与探索精神，在高校高科技的氛围里，应该取得更加骄人的业绩。

洞庭天下水、岳阳天下楼，三湘四水，真是处处人杰地灵哟！

2008 年 7 月于广州华南理工励吾楼
(作者系华南理工大学博士生导师)

前 言

本书内容除后三篇是作者近些年应邀给专业技术人员专题讲座精选外,其余均是作者不同时期在学报或杂志上发表的论文及文章。

《770~870MHzVCO设计与调试》一文,是20世纪80年代初发表在《电子科技》杂志上的。那个时代,散射微波通信是中远程通信的补充,作者曾参加海军散射微波通信机研制工作,文中的“VCO”就是作者当时设计并用于散射微波通信机中的压控振荡器。

1982~1984年,作者由电子科技大学派往西藏农牧学院(现西藏大学)机电系援藏教学。那时,学校的作息时间报告及路灯开关是靠人工操作控制的,能不能变人控为自控?院领导作为一个科研任务下到了机电系。作者接受任务后,一边教学(当时作者同时在主讲两个年级本科班的数模电路)一边带领学生做试验,半年内就完成了这个项目,并写了《钟控振铃及路灯电路设计》一文。

那时候,西藏高原不能收看外地电视,中央电视台的新闻联播节目都是靠从内地空递录相带,第二天才能看到。根据这一情况,作者设计制作了714MHz卫星电视接收器,并撰写了《如何制作接收714MHz卫星电视螺旋天线》一文,与此同时,结合电子线路、电力继电保护电路等教材及师生争论的问题,撰写了《论OTL电路》、《晶体管继保中误动作原因》等文章。上述文章分别在《西藏科技》、《西藏农牧学院学报》、《电视研究》等杂志上刊载。

1985~1990年,作者在信阳陆军学院工作期间,结合专业教学

内容,写了《伪时基校正电路》、《UHF 高频头调谐电容器设计》、《化简逻辑函数新方法——圆图法》、《倍压整流动态周期的计算》等论文,这些论文分别刊载在《信阳陆军学院学报》、《电视技术》、《华中地区军队院校论文集》中。其中《化简逻辑函数新方法——圆图法》、《倍压整流动态周期的计算》两文当时被纳入了华中地区 10 所高等军事院校教辅教材中,这两篇基础理论性文章今天仍可作为高等院校师生的参考资料。

在计算机未问世之前,多倍压整流电路中动态周期的计算无人问津,几乎所有的大学教材在论述这个问题时,都是含糊其辞地忽略,不敢作进一步探讨。1985 年,当国内高校进口的计算机已接近“286”水平时,作者通过对多倍压整流电路分析研究后,用 BASIC 语言编了一个程序,然后将该程序输入到“苹果机”内,4 个多小时后,这项以前无人计算过的结果终于出来了。如今,当大学的教师在讲《倍压整流》这一章节时,也可向学生搬出作者在文中所推出的公式,并且可以准确地算出 n 倍整流动态周期。

《用圆图化简多变量逻辑函数》、《论数字印刷与数字电视》、《如何用 DDN 线连接广域网络》、《DTP 设计员三项注意》、《烤版的学问》、《论彩印三关》、《透析走规》等是近年作者转业到地方后结合工作研究撰写的论文,这些论文先后刊载在《湖南理工学院学报》、《湖南印刷》、《湖南包装》、《中华百业发展论坛》、《发展湖南印刷业论文集》中。

因本书收集的是作者不同时期的作品,所以各文中数学符号未求统一,有些手制图表也不够规范,可能给读者阅读时带来些烦恼,在此深表歉意。同时,由于作者水平有限,加之工作繁忙,对本书样稿未能仔细琢磨与校正,错误在所难免,恳请读者指正。

作 者

2008 年 5 月

目 录

Contents

770 ~ 870MHzVCO 设计与调试·····	(1)
Design and Adjust for 770~870MHzVCO	
钟控振铃及路灯电路设计·····	(16)
The Circuit Design of Ringing and Street Lamp Controlled by Bell	
论 OTL 功放电路·····	(25)
Discuss the OTL Power Magnification Circuit	
如何制作接收卫星电视信号的螺旋天线·····	(35)
How to Produce the Helical Antenna for Receiving Satellitic TV Signal	
减小晶体管继保电路失真措施·····	(41)
The Method for Decreasing the Distortion of Transistor Relay Circuit	

具有 APC、AFC 功能的伪时基校正电路·····	(45)
The False Time Data Correction Circuit	
Having the Function of APC and AFC	
倍压整流动态周期计算·····	(52)
Calculate the Dynamic Period of a Multiple	
Voltage Rectification	
UHF 高频头调谐电容设计·····	(63)
The Design for UHF Tuning Capacitor	
化简逻辑函数新方法——圆图法·····	(79)
New Method to Simplify the Logic	
Function—Circle Diagram Method	
用圆图化简多变量逻辑函数·····	(87)
Simplify Multi-Variable Logic Function	
Using Circle Diagram	
论数字印刷与数字电视·····	(100)
Discuss the Digital Printing and Digital Television	
如何用 DDN 线连接广域网络·····	(113)
How to Use DDN Line to Connect the WAN	
DTP 设计员三项注意·····	(118)
Three points for DTP Designer	
论彩印三关·····	(127)
Discuss Three Steps for the Color Printing	
烤版的学问·····	(136)
The Knowledge to Bake Plate	

透析走规.....	(142)
Analyse Mistakes	
玻璃是很好的窃听器.....	(150)
Glass Is a Good Eavesdropping	
雷电的产生、制止、利用.....	(153)
The Thunder's Occurrence, Prevention and Utilization	
国货未必比洋货差.....	(155)
Native Products Can Compare with Foreign Goods	
LD 信号记录与重放原理.....	(157)
LD Signal Record and Replay Principle	
MPEG-1 与 MPEG-2 图像编码.....	(183)
The Image Coding of MPEG-1 and MPEG-2	
逆程变压器参数测试与计算.....	(218)
The Test and Account of Parameter for Flyback Transformer	

770~870 MHz VCO 设计与调试

【摘 要】 工作在微波波段、频率覆盖范围高达 100 MHz 以上的压控振荡器，其设计与调试是相当困难的，本文围绕电路振荡频率范围、相位抖动度、输出功率平稳度等技术指标要求，详细论述电路设计思想，并用精简的文字介绍了研制调试过程。

【关键词】 770~870 MHz 频率；压控振荡器；宽频覆盖；设计调试。

一、线路设计程序

1. 技术指标

- (1) 振荡频率 770~870 MHz
- (2) 输出功率 200~250 mW
- (3) 粗调控制电压 $V_{\text{dmin}}=10\text{V}$, $V_{\text{dmax}}=50\text{V}$

- (4) 相位抖动 $\leq 15^\circ$
- (5) 输出功率平稳度 $\leq 3\text{dB}$
- (6) 电源电压 (+24V)
- (7) $\Delta f/f$ 不低于 10^{-4}

2. 电路方案考虑

(1) 设法减小振荡器的相位噪声

VCO 相位噪声等于一般 LC 振荡器相位噪声加上“控制电阻” R_d 引起的相位噪声，它的开环相位噪声功率谱密度为：

$$S_{\theta\text{VCO}}(\Delta f) = \frac{4KTR_i F}{V_{si}^2} \left(\frac{f_o}{2Q_i \Delta f} \right)^2 + \frac{4KTR_d}{(2\pi \Delta f)^2} K^2 v_{\text{CO}} \quad (1)$$

式中： R_d ——与变容二极管的控制电压 V_d 配套的阻容滤波器上的电阻。

显然，若采用一个无噪声元件来代替 R_d 的作用，则式(1)中第二项相位噪声功率谱密度会得到抑制，这里采用了高频扼流圈 $L_3 L_4$ ，除此之外，理论与实践都证明，提高 Q 值是减小 VCO 相位噪声最有效的办法。

(2) 采用变容二极管调谐实现频率覆盖。

(3) 采用共基形式的克拉普振荡电路，提高频率稳定度，降低谐波成分，提高功率增益。

(4) 实际线路如图 1 所示。

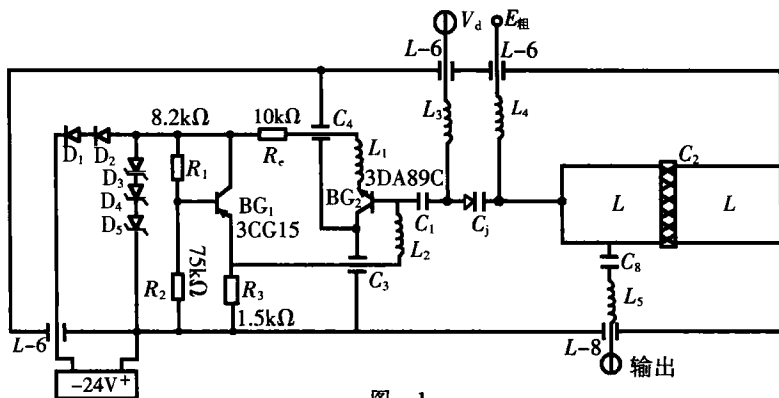


图 1

3. 电路分析与计算

A. 静态工作点

选择工作点的原则是：保证输出功率的同时，让启振时工作于甲类，稳幅后基本工作于甲乙类，这样利用放大器截止区限幅，使振荡器具有较高的输出阻抗，对腔体 Q 值影响小。

同时考虑振荡器工作复杂性及管子高频参数不稳定，振荡时的平均电流与静态工作点有差异，因此利用下面简单原则确定静态工作点。

$$\left. \begin{aligned} E_c &< \frac{1}{2} BV_{cbo} \\ I_c &< \frac{1}{2} I_m \\ E_c I_c &< P_{cm} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

$$I_c V_c \approx (P_{出} + P_{反}) / (15\%) \quad (3)$$

式中：

$P_{出}$ —— 负载折合到振荡回路所获的功率；

$P_{反}$ —— 维持振荡所需的反馈功率。

式(3)为考虑了腔体及辐射等损耗的表达式。

选用 3DA89C 作振荡管的参数如表 1 所示。

表 1

	符 号	单 位	测 试 条 件	参 考 值
直流参数	h_{fe}		$V_c=5V, I_c=250mA$	≥ 10
交流参数	P_o	W	$f_0=1000MHz$ $V_c=28V$ $P_i=2W$	≥ 5
极限参数	BV_{ceo}	V	$I_c=10mA$	≥ 30
	BV_{cbo}	V	$I_e=10mA$	≥ 2
	P_{cm}	W		>5

(1) 选择 R_e 上压降

R_e 用来稳定工作点，它不能太大，否则白白消耗功率；但也不能

太小，否则，影响 BG_1 正常工作，为了兼顾，选 R_e 上电压为 2V。

(2) 求振荡管的 V_{cb}

$$V_{cb} \approx E_c - V_{Re} - V_{be} = 21.3V$$

(3) 确定 $P_{反}$

由图 2 可知：振荡器的负载是放大器的输入端与外负载， $P_{反}$ 的大小与晶体管功率放大增益 G 有关，当 G 越大，满足振幅平衡条件所需的 $P_{反}$ 越小。

根据功率增益定义：
 $G = 10 \lg(P_{出}/P_{反})$ ，如果能测出 G ，就能求出 $P_{反}$ ，
 (实测得 $G = 4\text{dB}$)

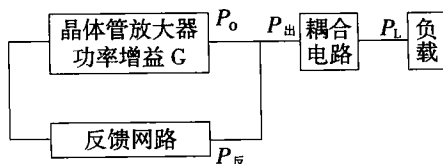


图 2

另外， $P_{出}$ 为真正负载折合到回路两端后所获得的功率，但在实际中，由于耦合电路耦合点选择不恰当，以及腔壁、耦合电路的损耗，往往真正负载上所获的功率 $P_L < P_{出}$ ，考虑充分余量，选耦合电路效率为 50% (即 0.5)，则有：

$$P_{出} = P_L / 0.5 \quad (4)$$

$$P_{出} = 250 / 0.5 = 500\text{mW}$$

所以
$$P_{反} = P_{出} / \lg^{-1} \frac{G}{10} = \frac{500}{2.5} = 200\text{mW}$$

(4) 求静态 I_{c2}

由式(3)得：

$$I_{c2} \approx \frac{P_{出} + P_{反}}{15\% V_c} = \frac{700}{0.15 \times 21.3} = 220\text{mA}$$

实际选 $I_{c2} = 200\text{mA}$ 。

(5) 求 R_e

$$R_e = V_{e2} / I_{e2} \approx 2 / 0.2 = 10\Omega$$

(6) 求偏置电路各值

5

$$C_t = \frac{(C_j + C_p)C_2}{C_2 + C_j + C_p} \quad (5)$$

式中： C_j —— 变容管结电容；

C_p —— 变容管管壳电容；

C_2 —— 内导体间的一个可变圆柱电容与固定平板电容的并联值。

可推出：

$$\omega = \sqrt{\frac{C_{cb} + C_{ce} + C'_t}{(C_{cb} + C_{ce})C'_t L'}} \quad (6)$$

其中：

$$C'_t = C_{cb} + C_t - \omega^2 L C_{cb} C_t$$

$$L' = \frac{C_t L}{C_{cb} + C_t - \omega^2 L C_{cb} C_t}$$

考虑条件 $C_t \gg C_{cb}$ 后，则 $C'_t \approx C_t$ ， $L' \approx L$ 。

$$\text{令：} \quad C_{\text{总}} = (C_{cb} + C_{ce})C'_t / (C_{cb} + C_{ce} + C'_t) \quad (7)$$

$$\text{于是：} \quad \omega = \sqrt{1/C_{\text{总}} L} \quad (8)$$

式中： L ——外接调谐电感，它由长度 $l < \frac{\lambda}{4}$ 的终端短路同轴线构成。

$$\text{由传输线理论可推知：} L = Z_0 \frac{\tan(\alpha l)}{\omega} \quad (9)$$

将式(9)代入式(8)得：

$$\omega = \frac{1}{C_{\text{总}} Z_0 \tan(\alpha l)} \quad (10)$$

C. 谐振腔体参数

正确选择腔体参数是降低 VCO 相位噪声，实现宽调谐的重要一环，因此设计时严格考虑了腔体参数。

(1) 特性阻抗 Z_0

对 VCO 而言, 确定 Z_0 的出发点是:

① 从提高振荡回路的 Q 值着想

腔体 Q 值与腔体体积成正比, 与腔壁面积成反比。为了提高腔体 Q 值, 应将腔长 l 增长(即增大腔体体积)。当 l 增长后, 为满足式(10)振荡频率条件, 必须减小 Z_0 。所以从提高 Q 值着想, 应选用 Z_0 较小 l 较长的腔体。

② 从宽的调谐范围着想

要实现宽的调谐范围, 应将 l 取得短一些, 把 Z_0 取得大一些。这一点是很直观的, 因为 l 长, 表示等效的电感大, 电容对振荡频率影响就小, 变容管调谐率低。用数学式子来说明这个问题, 可对式(10)的频率微分, 得:

$$\frac{df_0}{f_0} = \frac{1}{2 + \left(\frac{2\pi}{\lambda}l\right)^2} \frac{dC_{\text{总}}}{C_{\text{总}}} \quad (11)$$

从式(11)可清楚地看到 $l \uparrow \longrightarrow \frac{df_0}{f_0} \downarrow$ 。

③ 从与振荡器匹配角度着想希望 Z_0 选得适当, 即选择在同轴线衰减最小时的特性阻抗。根据理论分析与实践证明, 内外导体半径 $r_2/r_1 \approx 3.6$ 时, 同轴线衰减最小; 这时腔体 Q 值最大, 如图 5 所示。

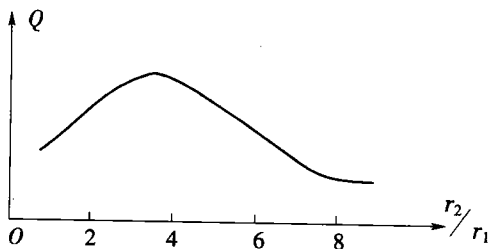


图 5

综上所述, 从全

面的观点出发, 选取 $r_2/r_1=3.3$, 再根据方腔同轴线理论, 得:

$$Z_0 = 138 \sqrt{\frac{\mu_r}{\epsilon_r}} \lg \frac{r_2}{r_1} + 3.54 = 138 \lg 3.3 + 3.54 = 76 \Omega$$

考虑到机械强度(内导体不能太细), 取内导体直径 $D_1=10\text{mm}$, 外导体内边长 $D_2=33\text{mm}$ 。选用方腔, 是为了用板料拼制, 加工方便, 容易在腔壁上固定振荡器的其他元件。