

# 石英晶体元件固有特性和在振荡电路中的应用

北京无线电测量研究所 蔡正祥

文摘 石英晶体元件在航天产品中应用十分广泛,文中介绍了晶体元件的固有特性和常用的几种振荡电路形式,并说明了应该注意的问题。

主题词 石英晶体元件 AT 切晶体 固有频率 振荡电路 应用

## 1 引言

石英晶体元件在航天产品中应用十分广泛,大多作为时间频率的基准信号。了解和掌握晶体的固有特性以及晶体元件与振荡电路之间的正确、合理配接问题,是保证产品质量和可靠性的重要方面。

## 2 晶体固有特性

明显。

## 4 结论

- 4 1 在沥青基碳/碳复合材料的制作过程中,压力对提高密度有明显作用,一般压力越高,所得制件的密度越大。
- 4 2 工艺循环次数越多,所得碳/碳复合材料的密度也越高,但这种效果是有限的。一般超过四次充填后,密度变化已很小。
- 4 3 一般地说,压力越高,碳化收率越高,所得制件密度也越大,但过高的压力反而会降低碳/碳复合材料的某些物理性能<sup>[7]</sup>,所以存在

石英晶体是机电耦合元件,是一个振动体,存在多种振动模式,最通常的振动模式有:

- a. 弯曲
- b. 伸缩
- c. 面切变
- d. 厚度切变

按国军标生产的 AT 切厚度切变振动元件——石英谐振器(简称 AT 切晶体),其振动频率与晶体片厚度有关,频率方程为:

一个工艺参数的优化问题。关于这方面工作还进行系统的研究。

## 参考文献

- 1 戴永耀,碳/碳复合材料及其在航空上的应用前景,材料工程,1993,11,43
- 2 杨爱玉等,国外碳/碳复合材料致密化工程的最新进展,宇航材料工艺,1997,4,20
- 3 崔红等,C/C 复合材料界面及其对性能的影响,宇航材料工艺,1996,2,69
- 4 上海化工学院编,煤化学和煤焦油化学,上海人民出版社,1976,225
- 5 V. Liedtke, Carbon, 1996, 34, 1067
- 6 J. D. Buckley, D. D. Edie, Carbon/Carbon Materials and Composites. Noyes Publications, 1993, 114
- 7 V. Krebs, Carbon, 1995, 33, 645-651

$$f_n = \frac{N}{4} \sqrt{\frac{C_{66}}{\rho}} \quad N = 1, 3, 5, \dots$$

式中:  $t$ —晶片厚度

$N$ —泛音次数

$C_{66}$ —弹性常数

$\rho$ —晶体材料密度

一旦厚度确定, 晶体频率就确定, 但同时也存在 1、3、5 等多次泛音频率, 这一固有特性如图 1 所示。

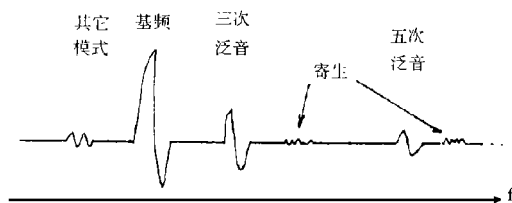


图 1 晶体的频域特性

## 2 1 晶体定义说明

2 1 1 基频晶体元件: 振子设计在给定振动模式的最低阶次上的晶体元件。

2 1 2 泛音晶体元件: 振子设计在比给定振动模式最低阶次要高的阶次上的晶体元件。

2 1 3 泛音次数 ( $N$ ): 将给定振动模式的逐次泛音从基频作为“1”开始分配以一系列递增的整数, 这些数就是泛音次数。通常生产的厚切变振动模式的晶体其泛音次是接近泛音频率与基频频率之比的一个整数。

2 1 4 寄生频率: 在主谐振频率附近(一般应远离 200KHz 以外) 存在寄生谐振, 而且可能存在一个或几个频率点, 谐振电阻较大。国军标中规定寄生频率的谐振电阻应大于主谐振电阻的 2 倍以上。

2 1 5 其它振动模式: 在远离基频的低频段, 可能存在着另一种振动模式的谐振频率点。它是由于晶片直径厚度比不够大(通常应大于 20)而产生。所以国军标中提倡 J 晶片的频率

应尽可能设计在 29MHz 以上。

## 1 2 晶体等效电路参数及意义

2 2 1 晶体等效电路的描述如图 2 所示。

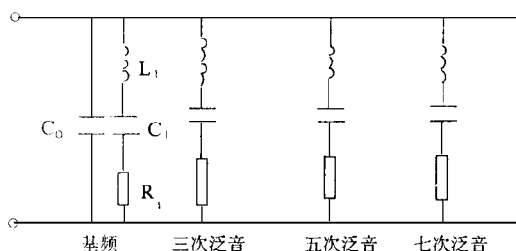


图 2 晶体的等效电路

## 2 2 2 等效电路参数

$L_1$ —动态电感, 表示石英晶体的振动质量

$C_1$ —动态电容, 表示石英晶体的机械弹性

$R_1$ —动态电阻, 表示石英晶体振动时能量损耗

$C_0$ —静电容(并电容)表示以晶体材料为介质, 由二个电极形成的电容。

等效电路成立的条件是晶体必须处在谐振状态, 其工作频率在谐振频率附近。因此当晶体的基频被激励, 基频等效电路成立, 当晶体的泛音谐振被激励, 泛音等效电路成立, 不管基频或泛音是否被激励, 静电容  $C_0$  始终存在。动态电阻  $R_1$  表示振动时的能量损耗, 通常情况下此电阻阻值在基频时最小, 三次泛音其次, 泛音次数越高其阻值越大。

在等效电路分析、计算和测量中, 常把晶体等效电路变换成如图 3 所示: 用  $R_e$  表示电路中的能量损耗,  $R_e$  为等效电阻。

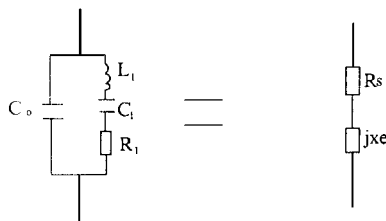


图 3 等效电路的变换

$f_s$ —串联谐振频率  $= 1/(2\pi \sqrt{L_1 C_1})$  这是在晶体振荡电路中经常应用的一个频率, 串联型振荡电路就是工作在晶体的串联谐振频率上。在图 3 等效电路中有时常用  $f_r$  表示谐振频率,  $f_r$  是零相位频率, 在测量中经常应用, 则  $jx_e = 0$ 。

在  $R_e$  很小或忽略不计的情况下  $f_s = f_r$ , 在通常情况下这两个频率是十分接近的, 由于篇幅所限, 这些概念分析这里不作赘述。

$f_p$ —并联谐振频率也称反谐振频率

$$f_p = \frac{1}{2\pi \sqrt{L_1 \frac{C_1 C_0}{C_1 + C_0}}}$$

$f_L$ —负载谐振频率, 晶体在一定的负载电容  $C_L$  的作用下的谐振频率, 这个电容负载不管是和晶体串联还是并联, 都有:

$$f_L = \frac{1}{2\pi \sqrt{L_1 \frac{C_1 (C_0 + C_L)}{C_1 + C_0 + C_L}}}$$

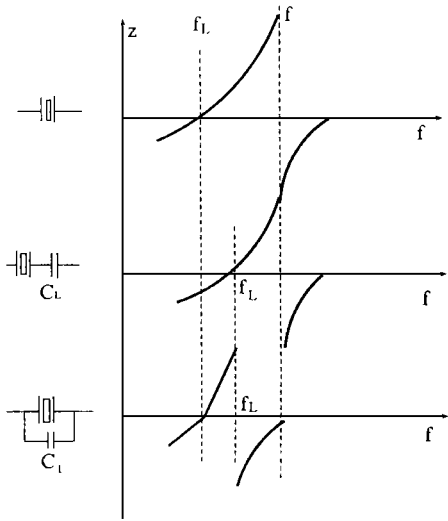


图 4 晶体和负载电容串、并联时的阻抗特性

以上所述是对晶体固有特性的最基本的简介, 除此以外, 还有晶体的温度特性、品质因素、牵引率等性能, 这里不一一介绍, 值得注意的是以上所介绍的内容, 在订作晶体时应根据

所采用的电路形式, 负载电容大小, 确切地提出晶体技术性能指标, 以充分发挥晶体元件的优越性。

### 3 晶体元件在振荡电路中的应用

#### 3.1 基频晶体振荡电路

##### 3.1.1 双门振荡电路

为了获得可靠的基频振荡电路, 防止泛音频率被激励起振的可能性, 除选用基频等效电阻较小的晶体外, 在电路上应采取如下措施:

a. 降低电路的上限截止频率, 使电路的上限截止频率等于或略高于晶体的基频频率, 见图 5。

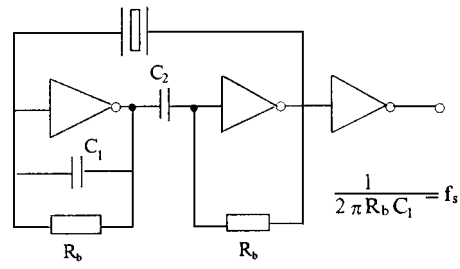


图 5 通过  $C_1$  电容降低电路的上限截止频率

b. 改善对晶体的激励状态, 减小施加在晶体上的高频强激励, 见图 6。

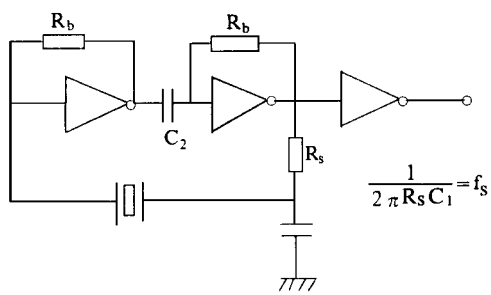


图 6 通过  $R_b C_1$  网络改善对晶体的激励

上述两条措施可以并用, 对使用上限截止频率很高的电路尤为适用。但值得注意的是降

低电路上限截止频率只是在电路截止频率很高的场合下使用,不宜将上限截止频率降得太低,甚至使晶体的基频都难以起振,特别在使用 CMOS 电路中太低的上限截止频率,如果电路的低频增益足够大,很有可能激励起“其它模式”的低频振荡,这也是我们不希望的。从这个意义上讲,上述电路中的  $C_2$  的作用应使电路的下限截止频率有所提高,可以防止“其它模式”的低频振荡。

c. 在电路中加入串联选频网络,使电路在基频时可通过而形成振荡,其它不需要的频率被抑制,见图 7。

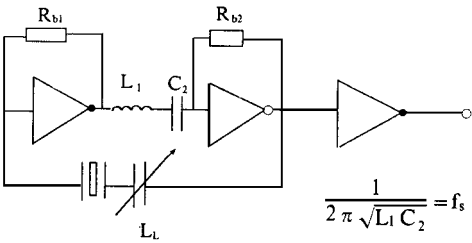


图 7 在电路中串入选频网络

e. 在晶体频率较高的场合,由于门电路的延时,使两级门电路的总相移有较大滞后,所以在回路中有必要加入相位补偿网络(见图 8),并可用  $C_L$  来调整频率。

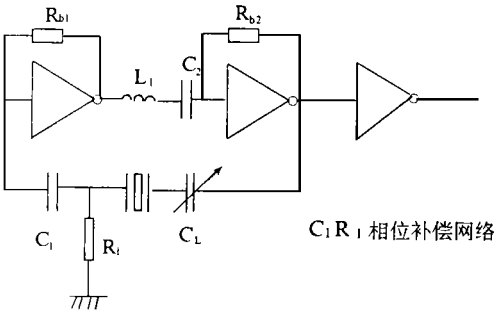


图 8 有相位补偿的双门振荡电路

下面提供双门振荡电路的几个典型参数供实际运用时参考。(见表 1)

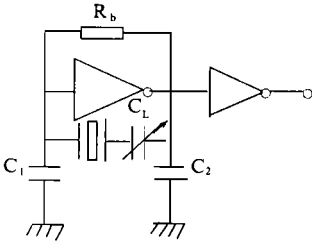
表 1

频率 MHz	门类型	$R_{b1}$ K $\Omega$	$R_{b2}$ K $\Omega$	$R_1$ $\Omega$	$C_1$ pF	$C_2$ pF	$L_1$ uH
7	54LS04	1	3.90	/	/	1000	/
9	5404	0.68	0.68	100	470	20	15
20	54LS04	0.68	2.2	100	100	10	10

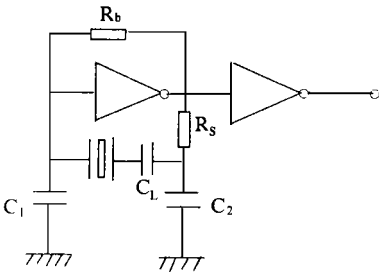
### 3.1.2 单门晶体振荡电路

常由 CMOS 单门电路组成的晶体振荡电

路,适用于频率较低的场合,常用的实际单门振荡电路如图 9所示,在这里作一简单介绍:



a



b

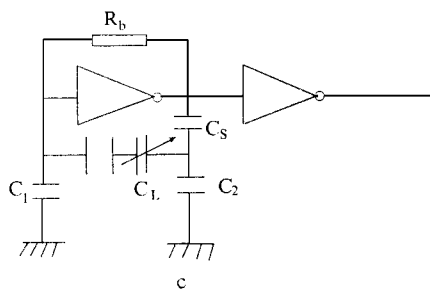


图 9 常用单门振荡电路

在这些单门振荡电路中,晶体工作于感性区, $C_1$ 与电路的输入电容合成构成谐振电容影响频率值,所以电路中常串入 $C_L$ 来调整频率。 $C_2$ 对高频率信号有抑制作用,影响回路的相位特性和增益。图中(a)电路使用频率较低,在民用产品中使用低频晶体较适宜。在频率稍高的场合常用图(b)电路,其中 $R_s$ 为相位补偿电阻,一般取值为 $0 \sim 1\text{K}\Omega$ 之间,同时它也可改善晶体的激励状态,减少边沿毛刺,同双门振荡电路(见图6)。图9(c)中 $C_s$ 为强相位补偿电容,当电路工作在较高的频率时,相位补偿尤为重要,过大的相位滞后使振荡器不满足相位条件而停振,或自激在别的频率上。使用 $C_s$ 进行相位补偿,可以避免停振和其它低频振荡的可能性。

上述这些单门振荡电路如使用泛音晶体元件产生泛音振荡,其中 $C_1$ 、 $C_2$ 应改为选频回路或抑制基频电路。

### 3.2 泛音晶体振荡信号的频率和电路

使用泛音晶体元件设计晶体振荡电路,要使振荡信号工作在所设定的泛音晶体频率上,必须在电路设计上对基频、其它泛音频率加以抑制。

三次泛音晶体振荡电路必须对基频和高阶次泛音频率加以抑制。

五次泛音晶体振荡电路必须对三次泛音及基频加以抑制。

#### 3.2.1 利用晶体的串联谐振的特性实现泛音

### 频率振荡

如果电路的高频特性很好,在晶体的五次泛音或七次泛音频率上,可通过晶体的泛音串联谐振,形成正反馈,实现五次或七次泛音频率的振荡,如图10所示。

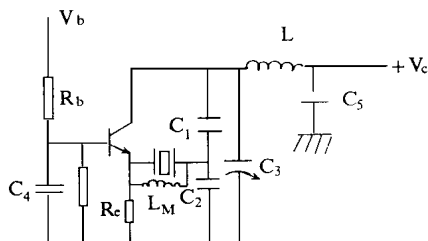


图 10 五次或七次泛音串联谐振电路

图中 $L$ 、 $C_1$ 、 $C_3$ 组成调谐网络,从 $C_2$ 处取出部分信号,通过晶体的五次或七次的串联谐振的低阻抗形成正反馈实现振荡。 $C_1$ 、 $C_2$ 比影响信号增益, $C_3$ 用作调谐, $L_M$ 对晶体元件 $C_3$ 进行补偿。

#### 3.2.2 基频或三次泛音频率的抑制

晶体的基频、三次泛音的等效电阻在通常情况下比五次泛音处的等效电阻小,所以五次以上泛音振荡电路电路参数选择不当,很可能产生三次或基频的振荡。为防止这种情况的发生,必须在电路上对基频或三次泛音频率进行抑制。现以如下电路为例加以简要说明:

柯尔匹兹电路是一种共集并联振荡电路,如图11所示。

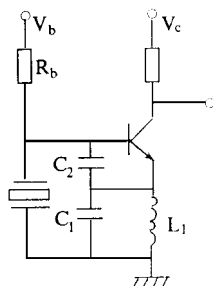


图 11 泛音晶体振荡电路

# 大口径高压手动截止阀的设计

首都航天机械公司 张亚楠 洪德成

**文摘** 克服了液压系统中一些传统高压手动截止阀不易打开和关闭的缺点,在深入分析研究受力情况和影响因素的基础上,设计出一种结构简单、操作力小、口径大、压力高的新型手动截止阀,并在实践中得到验证。

**主题词** 手动截止阀 结构 受力

## 1 引言

在液压系统中,一些口径较大的高压手动截止阀在结构上常因作用于阀门上、下端面的差压比分配不合理,使截止阀在高压下用手动打开或关闭十分费力,有的甚至在使用常力下无法打开或关闭。因此我们提出了一种新结构的大口径高压手动截止阀,此处大口径是指通径在 10mm 以上,高压是指 16MPa 以上。这种结构使阀件打开或关闭过程中的油压在阀门上的作用力始终是平衡的,使油压影响降到最低,高压下打开或关闭也就比较容易。

## 2 阀门基本结构

阀门基本结构如图 1 所示,拧动手轮,通过轴带动阀门打开或关闭。本阀结构特点是两个口可互为进出口,当 B 口有压力时,通过阀门上的 2~4 个贯穿小孔进入阀门另一端,产

生反压,起力的平衡作用,使阀门能够较轻松地打开或关闭。阀门密封件为丁晴耐油橡胶。此阀可在 32MPa 压力以下使用。

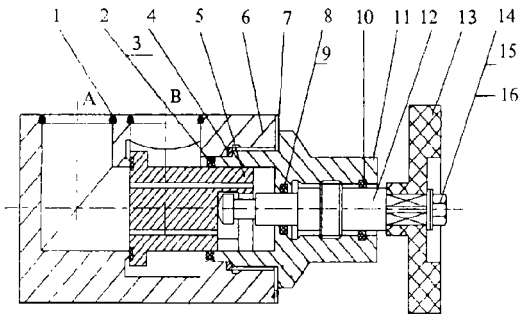


图 1 高压手动截止阀 32MPa Dg 32  
1-O 形圈 2-O 形圈 3-减摩环 4-垫圈 5-阀门  
6-壳体 7-标牌 8-O 形圈 9-减摩环 10-石  
棉绳 11-导向套 12-轴 13-手轮 14-螺母 15  
-垫圈 16-弹簧垫圈

## 3 受力分析

图中 C L 是为泛音晶体而设的,电路的振荡条件之一是 L C 组成的并联谐振回路的阻抗在工作频率  $f_0$  处呈容性,因此有:

$f_0 > 1/2\pi \sqrt{L C_1} > f_1 \dots$  为三次泛音振荡电路

此时  $f_1$  为基频,因不满足振荡条件而不起

振。

$f_0 > 1/2\pi \sqrt{L C_1} > f_3 \dots$  为五次泛音振荡电路

此时  $f_3$  为晶体三次泛音频率,基频和三次泛音均不满足振荡条件而不起振,电路工作在晶体的五次泛音频率上。