

超声雾化器中皮尔斯晶振电路射极电感的稳频作用

徐 振 江

(无线电工程系)

TN 152

摘要 在皮尔斯陶瓷晶振电路的发射极串接一个适量的电感使晶体管的 $c-e$ 间和 $b-e$ 间都成为一个串联谐振电路, 其谐振频率稍高于陶瓷晶振频率, 从而提高了其容抗对频率变化斜率, 进一步提高了整个电路的频率稳定性。

关键词: 超声雾化器 皮尔斯电路 陶瓷晶体振荡器 发射极电感

1 前 言

发射极电感

超声雾化器是以陶瓷晶片作为换能器的振荡器。它生成雾化的最佳频率在 1.7MHz 附近。它既是振荡级，又是通过陶瓷晶片馈送功率的输出级。在外界电源电压和环境温度等发生变化时，会带来振荡器输出频率和振幅的变化而影响产雾量。若在采用的皮尔斯电路的发射极加入一个适量的补偿电感 L_s ，则能起到既可稳幅又可稳频的作用。稳幅由于其负反馈作用显而易见，而稳频方面的分析文章还未曾见到。

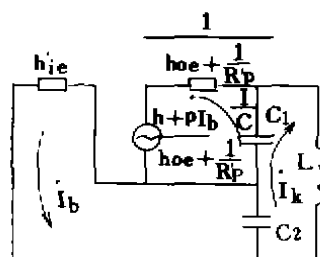
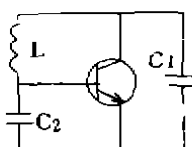
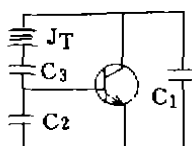


图 1 皮尔斯晶振原理图

图2 电容反馈振荡原理图

图3 电容反馈振荡等效电路

皮尔斯晶振电路(图1)可以把它看成是电容反馈振荡电路(图2)。电容反馈振荡电路等效电路如图3所示。其振荡频率为:

收稿日期: 1991年12月12日

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{LC} + \frac{h_{oe}}{h_{ie} C_1 C_2}} \quad (1)$$

其中 $h_{oe}' = h_{oe} + \frac{1}{R_p}$ 为振荡输出导纳

$$C = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$$

通常能满足 $\frac{1}{LC} \gg \frac{h_{oe}}{h_{ie} + \frac{1}{R_p}}$ 则

$$f_0 \approx \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{LC}} \quad (2)$$

2 等效电路和谐振频率

射极串接电感的皮尔斯晶振电路如图4所示。其等效电路如图5所示。

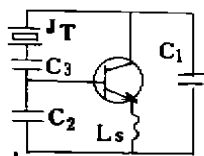


图4 射极带电感 L_s 的皮尔斯晶振电路

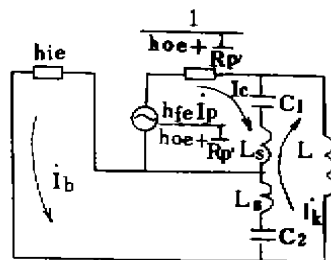


图5 射极带电感 L_s 的皮尔斯晶振等效电路

列出图5的回路方程为

$$\left. \begin{aligned} I_b(h_{ie} + jx_1) + I_k(jx_2) &= 0 \\ I_b\left(-\frac{h_{fe}}{h_{ie}}\right) + I_c\left(\frac{1}{h_{oe}} + jx_1\right) + I_k(-jx_1) &= 0 \\ I_b(jx_2) + I_i(-jx_1) + I_k(jx_k) &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

其中 $h_{oe}' = h_{oe} + \frac{1}{R_p}$

$$x_1 = \omega L_s - \frac{1}{\omega C_1}$$

$$x_2 = \omega L_s - \frac{1}{\omega C_2}$$

$$x_3 = \omega L$$

$$x_k = x_1 + x_2 + x_3$$

将系数行列式展开, 令虚数项之和等于零($\sum I_m = 0$)得

$$\frac{h_{ie}}{h_{oe}} x_k - x_1 x_2 x_k + x_1 x_2^2 + x_2 x_1^2 = 0$$

整理后得

$$\frac{h_{ie}}{h_{oe}} (x_1 + x_2 + x_3) - x_1 x_2 x_3 = 0$$

将 x_1, x_2, x_3, x_k 代入可得

$$\frac{h_{ie}}{h_{oe}} \left(\omega L + 2\omega L_s - \frac{1}{\omega C} \right) - \omega L \left(\omega L_s - \frac{1}{\omega C_1} \right) \left(\omega L_s - \frac{1}{\omega C_2} \right) = 0$$

$$\text{或} \quad \left(\omega L + 2\omega L_s - \frac{1}{\omega C} \right) - \frac{h_{oe}}{h_{ie}} \left[\omega L \left(\omega L_s - \frac{1}{\omega C_1} \right) \left(\omega L_s - \frac{1}{\omega C_2} \right) \right] = 0 \quad (4)$$

$$\text{其中} \quad C = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$$

由于 $\frac{h_{oe}}{h_{ie}}$ 很小, 忽略 (4) 式中的第二项, 则

$$\omega L + 2\omega L_s - \frac{1}{\omega C} \approx 0$$

$$f \approx \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{(2L_s + L)C}} \quad (5)$$

比较 (3) 式和 (5) 式, 由于 $2L_s + L > L$, 则有 $f < f_0$ 。可见, 带有射极电感 L_s 的皮尔斯电路谐振频率稍有降低。

3 频率稳定性分析

在石英晶振电路中, 由于石英晶体具有十分陡峭的感抗曲线, 当回路中由于某种原因使其总电容有了一些增大时, 在满足新的 $\sum x = 0$ 时产生的频率偏移 Δf 是很小的。

在陶瓷晶振电路中, 由于陶瓷晶片感抗曲线斜率较低, 外界影响会产生较大的频率偏移。在皮尔斯电路中, 射极串接一个补偿电感 L_s 时使 $c-e$ 间和 $b-e$ 间都构成了串联谐振电路。 L_s 的选择的原则是保证 $c-e$ 间和 $b-e$ 间支路仍然呈现容抗, 仍要保证皮尔斯

电路的振荡条件。两个串联谐振电路的谐振频率分别为 $f_1 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{L_s C_1}}$ 和 $f_2 = \frac{1}{2\pi}$

$$\sqrt{\frac{1}{L_s C_2}}, \text{ 并且 } f_1 > f_0, f_2 > f_0。$$

图5电路中,当 $L = 4.679\mu\text{H}$, $C_1 = 1800\text{PF}$, $C_2 = 0.033\mu\text{F}$ 电路无 L_s 时 $f_0 = 1.791\text{MHz}$ 。选择 L_s 在 $0.06 \sim 0.12\mu\text{H}$ 时, f_1 为 $15.3 \sim 10.8\text{MHz}$, f_2 为 $3.6 \sim 2.5\text{MHz}$, 均高于 f_0 。

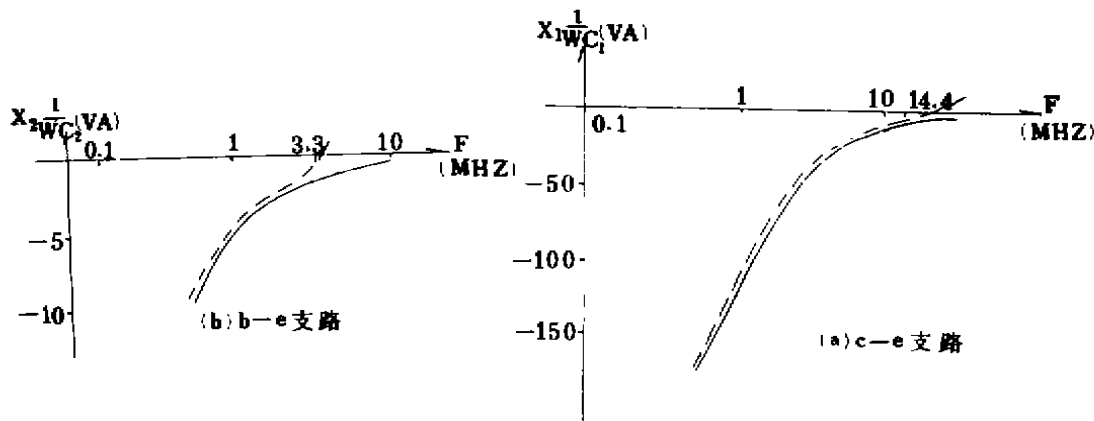
表1 L_s 对 $c-e$ 和 $b-e$ 支路阻抗影响比较表

频率 (MHz)	无 L_s 时		$L_s = 0.06\mu\text{H}$		$L_s = 0.08\mu\text{H}$		$L_s = 0.12\mu\text{H}$	
	$c-e$ 间容抗	$b-e$ 间容抗	$c-e$ 间阻抗	$b-e$ 间阻抗	$c-e$ 间阻抗	$b-e$ 间阻抗	$c-e$ 间阻抗	$b-e$ 间阻抗
0.5	-176.84	-9.65	-176.65	-9.46	-176.6	-9.39	-176.6	-9.27
2.5	-35.4	-1.93	-34.40	-0.98	-34.1	-0.67	-33.5	-0.04
4.5	-19.65	-1.07	-17.95	-0.62	-17.4	+1.19	-16.3	+1.26

表1给出了 L_s 分别为 $0.06\mu\text{H}$, $0.08\mu\text{H}$, $0.12\mu\text{H}$, 频率分别为 0.5MHz , 2.5MHz , 4.5MHz 时, $c-e$ 支路和 $b-e$ 支路的阻抗与无补偿电感 L_s 时对应阻抗值比较。从表1列出的数据可以看出, 当射极加入 L_s 后在 f_0 附近 $c-e$ 支路和 $b-e$ 支路总的容抗对频率变化率加大, L_s 越大曲线陡度越大。

图6(a)(b)给出 $L_s = 0.068\mu\text{H}$ 时, $c-e$ 支路和 $b-e$ 支路容抗曲线的变化(虚线为有 L_s , 实线为无 L_s)。明显地看出 L_s 曲线变陡。

因此, 在外界某些条件变化时, 如总的感抗变大, 负载变化引起频率不稳定时, 由于射极带有电感 L_s 串联谐振支路的容抗对频率曲线变陡, 也将和石英晶体陡峭的感抗曲线相似, 产生频偏将减少, 起到稳频的作用。

图6 $L_s = 0.068\mu\text{H}$ 引起阻抗变化

4 实验结果

ZS-2001A型医用雾化器的电原理图如图7所示: 它是一个典型的皮尔斯电路。 J_T 是一个陶瓷晶体做为功率输出及能量转换。由于各种原因, 当振荡器频率不稳定时, 影响

雾化量的稳定。

在无射极补偿电感 L_s 时, 10 分钟内频率变化为 1.787 ~ 1.795MHz 内波动, 中心平均频率 f_0

$$= 1.791\text{MHz}, \text{频率稳定性 } \delta_0 = \frac{f_{\max} - f_{\min}}{\frac{f_{\max} + f_{\min}}{2}} = 0.45\%。$$

射极接入 $L_s = 0.068\mu\text{H}$ 时, 10 分钟内频率变化为 1.763 ~ 1.766MHz 内波动, 中心频率 $f = 1.7645\text{MHz}$, 频率稳定度 $\delta = 0.17\%$ 。实验结果表明, 加入 L_s 后中心频率下降了 1.5%, 频率稳定度由 0.45% 提高到 0.17%。符合上面的理论分析。 L_s 的最佳值要考虑到实际电路分布参数影响, 同时, 要使 f_1 、 f_2 与陶瓷晶片固有频率 f_0 有适当间隔, 防止 $c-e$ 或 $b-e$ 支路变成感性, 破坏皮尔斯电路振荡条件。

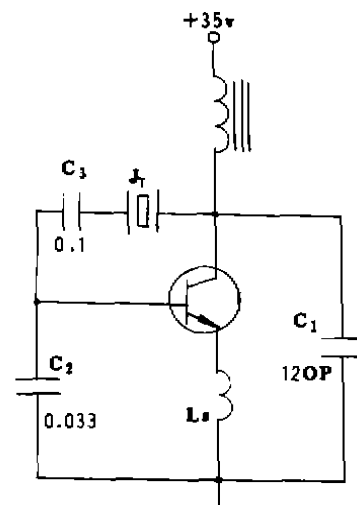


图 7 ZS-2001A 型医用雾化器原理图

参 考 文 献

- 1 张肃文. 高频电子线路. 北京: 人民教育出版社, 1979 年 9 月
- 2 电子陶瓷情报网. 压电陶瓷应用. 山东: 山东大学出版社, 1985; 8
- 3 天津中亚开发公司 ZS-2001A 型医用雾化器说明书

The Effect of Emitter Inductor on Frequency Stability of the Pierce Ceramic Crystal Oscillator Circuit in Supersonic Atomizer

Xu ZhenJiang

Abstract

A suitable inductor which is put in series with emitter circuit of the pierce crystal oscillator circuit makes the $b-e$ branch and $c-e$ branch of transistor both to become series resonant circuits, which have resonant frequencies higher than that of ceramic oscillator. Thereby, frequency change slope of condensive reactance is increased, frequency stability of whole circuit is furthermore improved.

Key words: supersonic atomizer pierce circuit ceramic crystal oscillator emitter inductor