

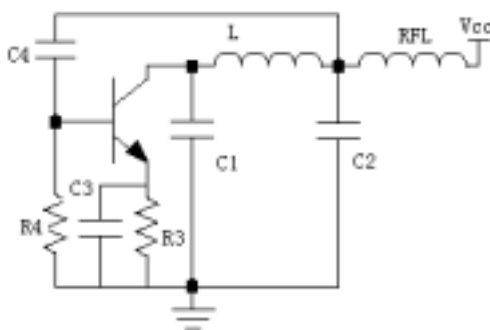
## 振荡器工作原理

周学庆 译

年轻的工程师常常会遇到一些不了解的问题，比如，我对 Maxim 公司的高频振荡器 MAX2620 就不慎了解，但我必须负责它的技术支持。于是，我请教了一些与我共事的资深工程师，提出了一些问题，我吃惊的发现，其工作原理涉及到  $180^\circ$  相移问题，于是，我不得不从基础理论的中寻找答案。本文主要解释振荡器的工作原理，提供给那些与我曾有相同疑惑的设计人员。更深入的讨论，请参考参考文献。

分析振荡器的工作原理时非常有用的。以考比特 (Colpitts) 振荡器为例，它由三极管和 C1, C2, L 组成的反馈网络构成 (见图 1)，与分析系统的总传递函数至反馈回路的原理框图 (见图 2) 一致。的确，反馈理论是分析该电路的一种方法。我们要求出网络的传递函数 (即  $V_{in}$  和  $V_{out}$  的相互关系)， $V_{in}$  为三极管的输入。为简化分析，做以下假设：

1. C3 和 C4 在中频段视作短路。
2. RFL 在中频段视作开路。
3. 三极管混合- $\pi$ 模型中的内部电容的高阶影响可忽略。(该分析简单地表示电路会振荡。)
4. 因为 R4 (与  $H_{ie}$  串联) 比  $H_{ie}$  大得多， $H_{ie}$  对分析几乎无影响。



图一、



图二、

通过以上假设 (特别是 C3 视作为短路)，三极管可看作以共发射极模式工作。将图 1 中的三极管用其中频模型代替，得到一个简化的等效电路 (图 3)。三极管集电极为  $V_{out}$ ，而 L-C2 联接点电压为  $V_{in}$ ，你可计算  $V_{out}$  与混合阻抗及电流源的关系  $H_{fe} \times I_b$ 。L 和 C2 用阻抗 Z1 代替：

$$Z1 = s \cdot L + \frac{1}{sC2}$$

$H_{oe}$  和 C1 可以由 Z2 体现：

$$Z2 = \frac{\frac{1}{sC1} \cdot H_{oe}}{H_{oe} + \frac{1}{sC1}}$$

合并 Z1 和 Z2 得：

$$Z3 = (s^2 \cdot L \cdot C2 + 1) \cdot \frac{H_{oe}}{H_{oe} \cdot s \cdot C2 \cdot H_{oe} \cdot C1 + s^2 \cdot L \cdot C2 + H_{oe} \cdot s \cdot C1 + 1} \quad \dots\dots\dots (1)$$

由  $\Omega$  定理 (将 Z3 乘以电流源电流) 得：

$$V_{out} = H_{fe} \cdot I_b \cdot (s2 \cdot L \cdot C2 + 1) \cdot \frac{H_{oe}}{H_{oe} \cdot s \cdot C2 \cdot H_{oe} \cdot C1 + s2 \cdot L \cdot C2 + H_{oe} \cdot s \cdot C1 + 1}$$

$I_b$  为:

$$I_b = \frac{V_b}{H_{ie}}$$

将  $I_b$  代入等式 1:

$$V_{out} = H_{fe} \cdot \frac{V_b}{H_{ie}} \cdot (s2 \cdot L \cdot C2 + 1) \cdot \frac{H_{oe}}{H_{oe} \cdot s \cdot C2 \cdot H_{oe} \cdot C1 + s2 \cdot L \cdot C2 + H_{oe} \cdot s \cdot C1 + 1}$$

两边同除以  $V_b$ :

$$\frac{V_{out}}{V_b} = H_{fe} \cdot \frac{1}{H_{ie}} \cdot (s2 \cdot L \cdot C2 + 1) \cdot \frac{H_{oe}}{H_{oe} \cdot s \cdot C2 \cdot H_{oe} \cdot C1 + s2 \cdot L \cdot C2 + H_{oe} \cdot s \cdot C1 + 1} \quad \dots\dots\dots (2)$$

$V_{in}/V_{out}$  由  $L/C2$  的分压决定:

$$\frac{V_{in}}{V_{out}} = \frac{1}{s2 \cdot L \cdot C2 + 1} \quad \dots\dots\dots (3)$$

合并等式 2 和 3, 得出考比特电路的闭环增益:

$$\frac{V_{in}}{V_b} = \frac{H_{fe}}{H_{ie}} \cdot \frac{H_{oe}}{H_{oe} \cdot s \cdot C2 \cdot H_{oe} \cdot C1 + s2 \cdot L \cdot C2 + H_{oe} \cdot s \cdot C1 + 1}$$

若设闭环增益=1, 可以推出系统的根轨迹:

$$\text{闭环增益} = 1 = \frac{H_{fe}}{H_{ie}} \cdot \frac{H_{oe}}{H_{oe} \cdot s \cdot C2 \cdot H_{oe} \cdot C1 + s2 \cdot L \cdot C2 + H_{oe} \cdot s \cdot C1 + 1} \quad \dots\dots\dots (4)$$

闭环增益包含三次项, 改变增益  $K$ , 系统的总根轨迹如图 4 所示, 当轨迹以某一增益值穿越  $j\omega$  轴时, 出现振荡。为得到振荡条件, 不必对求出每个系统的轨迹。闭环增益等式如下:

$$1 = h_{oe} \cdot \frac{h_{fe}}{h_{ie} \cdot [j \cdot h_{oe} \cdot \omega 0 \cdot C2 - j(\omega 0)^3 \cdot L \cdot C2 \cdot h_{oe} \cdot C1] + j \cdot h_{oe} \cdot \omega 0 \cdot C1} \quad \dots\dots\dots (5)$$

对于根轨迹, 振荡时, 分母的总和必等于 0, 则当  $\omega$  等于下列表达式时, 等式 (5) 有效:

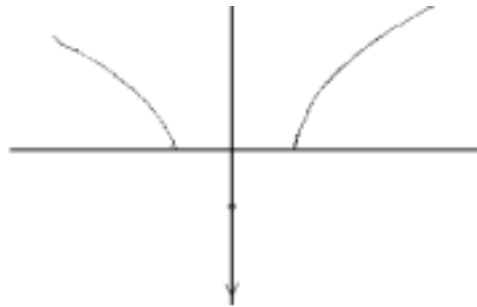
$$\omega = \sqrt{\frac{C1 + C2}{L \cdot C1 \cdot C2}}$$

用  $2\pi f$  代替  $\omega$ , 推出产生振荡的  $f$ :

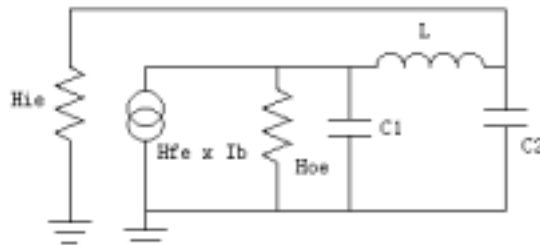
$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{C1 + C2}{L \cdot C1 \cdot C2}}$$

以  $s=j\omega$  代入等式 (5)，得到由  $H_{fe}$  产生振荡的最小增益：

$$H_{fe} = H_{ie} \cdot \frac{C_2}{h_{oe} \cdot C_1}$$

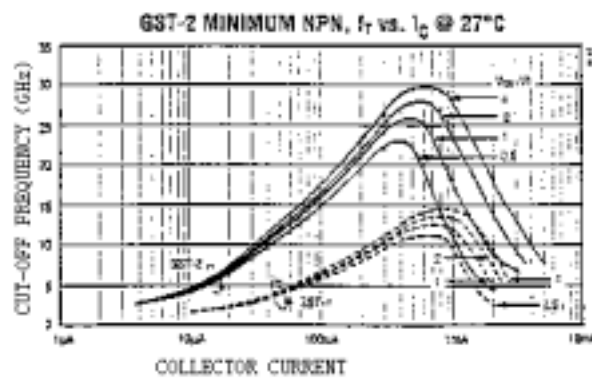


图四、



图三、

由此，我们看到由于  $H_{fe}$  随频率升高而减少，因而振荡不能维持在限定的  $H_{fe}$  值下，所以三极管增益 ( $H_{fe}$ ) 对振荡器的关键参数。另一个限定的参数是  $f_t$ ，即  $H_{fe}$  等于 1 时的频率。具有高  $f_t$  值的三极管可在更高频率下振荡。Maxim 的新型硅双极工艺（与它的早期 CB-2 工艺相比）制造的三极管的  $f_t$  特性，可以设计更高频率的振荡器（图 5）。



图五、