

电子应用技术

(1)

公安部科技情报所编

一九八〇年三月三日

目 录

陶瓷鉴频器

一、序言	(1)
二、陶瓷鉴频器的工作原理	(2)
三、压电陶瓷振子和电容串联差动鉴频器	(6)
四、不平衡式陶瓷鉴频器	(21)
五、陶瓷鉴频器频带线性范围的扩展	(33)
参考文献	(39)

用电话线传送的电视——窄带电视

一、图象信号的存贮	(41)
二、电视信号频带的降低	(46)
三、同步信号的传输	(51)

CCD电视摄象机

一、概述	(55)
二、CCAID 的性能	(57)
三、CCD固体电视摄象机	(65)
四、增强电荷耦合器件 (ICCD)	(79)
五、电荷耦合摄象器件 (CCID) 动向	(87)
参考文献	(92)

无线电系统的规划 (译文)

一、引言	(95)
------------	--------

二、典型系统的配置	(95)
三、系统设计考虑	(96)
1. 最有效地使用无线电频谱	(96)
2. 距离要求	(99)
3. 干扰、互调和阻塞	(104)
4. 其他干扰来源	(110)
5. 系统的可靠性和维护	(111)
6. 经济效果	(112)
7. 批准	(112)
四、结论	(113)
五、附图	(113)
参考文献	(129)
说 明	(130)

陶瓷鉴频器

序 言

鉴频器的作用是将频率变化的信号按比例变换为幅度变化的信号，即变为与频率成比例的音频信号。鉴频器在调频电台中是个很重要的部分。它将话音调制的调频信号解调为音频信号。它的好坏对电台的通信效果影响很大。鉴频器的种类很多，一般都采用LC鉴频。在我们过去研制的小电台中，采用了Wiess鉴频器。这种鉴频器所用的元件少、线圈少、鉴频跨导高，是窄带调频电台中较好的鉴频电路。但是，在实际的制作中我们发现，由于器件的关系，所用线圈的磁芯和塑料骨架的温度系数不一样，在温度变化时，常容易引起鉴频零点的漂移，当中心频率为465KHz时，漂移1—2KHz，个别的可漂移3KHz以上，如果不及时纠正，将使通信效果受到影响，严重的将无法通信。虽然采取了不少措施，如线圈经过挑选，在生产调试中反复校准、调整等做了大量工作，就是这样，也不能完全保证鉴频零点不变。因此，有些电台在生产交检验时是合格的，但在库房中存放了一段时间后，鉴频零点又漂移了。就是经常使用的电台，也必须定期对鉴频零点进行校准，才能可靠工作。鉴频零点漂移问题是电台所发生的故障主要原因之一。为了提高电台的稳定性，解决电台鉴频零点漂移是一个很重要的问题。

近年来，我们对这一问题进行大量的调查和研究工作。首先从调查国外的电台入手，发现国外已有电台采用陶瓷鉴频器。据报导

这种鉴频器稳定性好，鉴频跨导高，成本低，不需调整。但是根据调查情况，国内尚未见电台采用。我们和三二九厂配合，经过一年多的努力，研制出了适合于袖珍电台使用的陶瓷鉴频器。该电路和国外一般采用的差动式陶瓷鉴频器相比，作了较大的改进，使电路更加简洁，调整更加容易。已在我们研制的袖珍电台中使用。根据三二九厂所作陶瓷振子的例行试验和我们在十部电台样机的调试证明陶瓷鉴频器确实性能良好，无需调整，大大提高了生产效率和使用的可靠性，有效的解决了鉴频零点漂移问题。

本文在编写和修改过程中，得到一一二九所一室及三二九厂四车间有关同志的帮助和南京工学院无线电系电子线路教研室的周子文、李素珍老师的指导，并提出了不少宝贵意见，在此谨致谢意。

由于我们水平有限，实际经验不足，错误缺点在所难免，请广大读者批评指正。

一、陶瓷鉴频器的工作原理

压电陶瓷振子是陶瓷鉴频器的核心元件，因此在介绍陶瓷鉴频器工作原理之前，首先必须了解压电陶瓷振子的特性及其等效电路。

（一）压电陶瓷振子的等效电路

陶瓷振子是一种压电效应器件，用图 1 的方法，我们可以测出压电陶瓷振子的电压频率关系（或阻抗频率关系），这就如图 2 所示。根据交流电路理论，我们知道，如图 3 所示的 LC 电路，其阻抗随频率变化的关系，正如图 4 所示。因此，我们可以用图 3 中的

LC元件来代替陶瓷振子，此电路即为该振子的等效电路。

其中： L_1 为等效串联电感； C_1 为等效串联电容； C_0 为支架电容； r_1 为损耗电阻。

(二) 陶瓷振子的串联，并联谐振频率

当 r_1 很小时，图 3 所示的回路的阻抗 Z 可用下式近似表示：

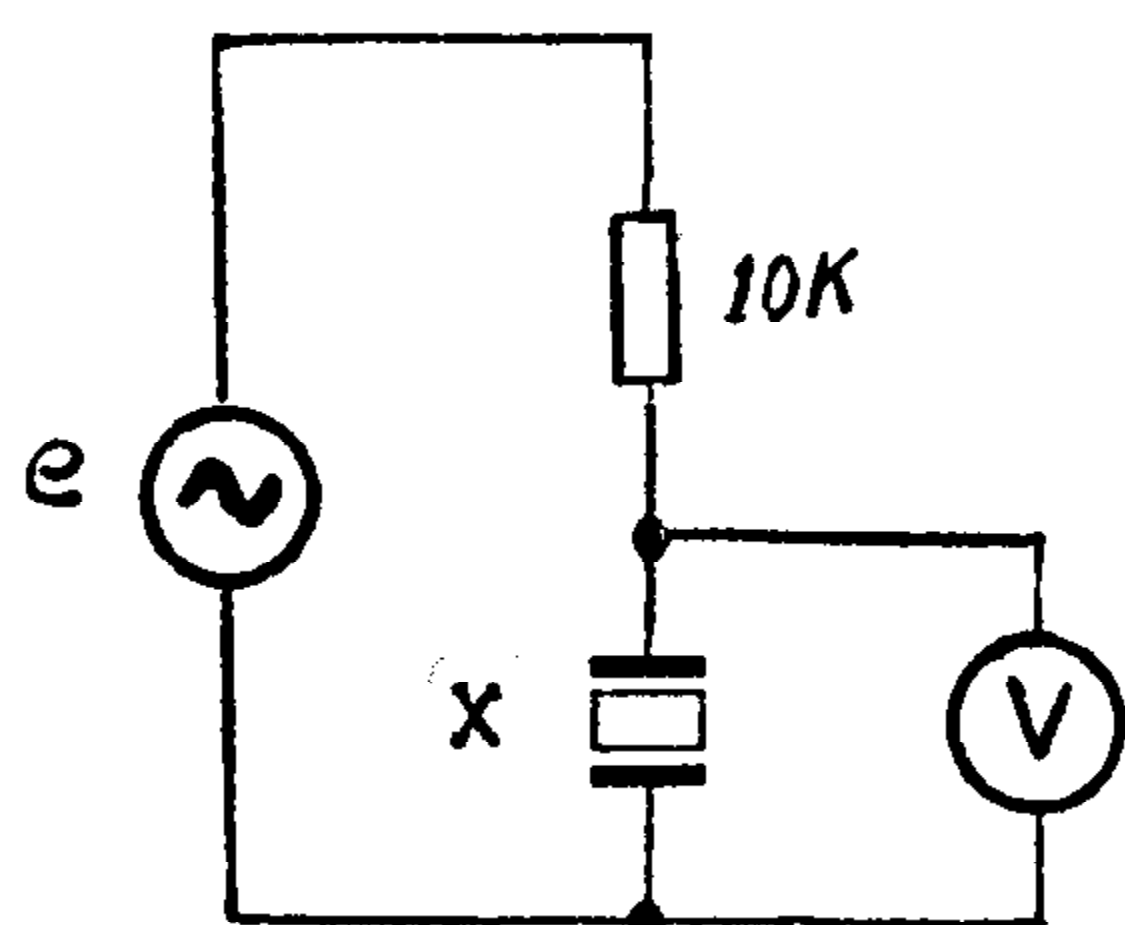


图1 陶瓷振子测试电路

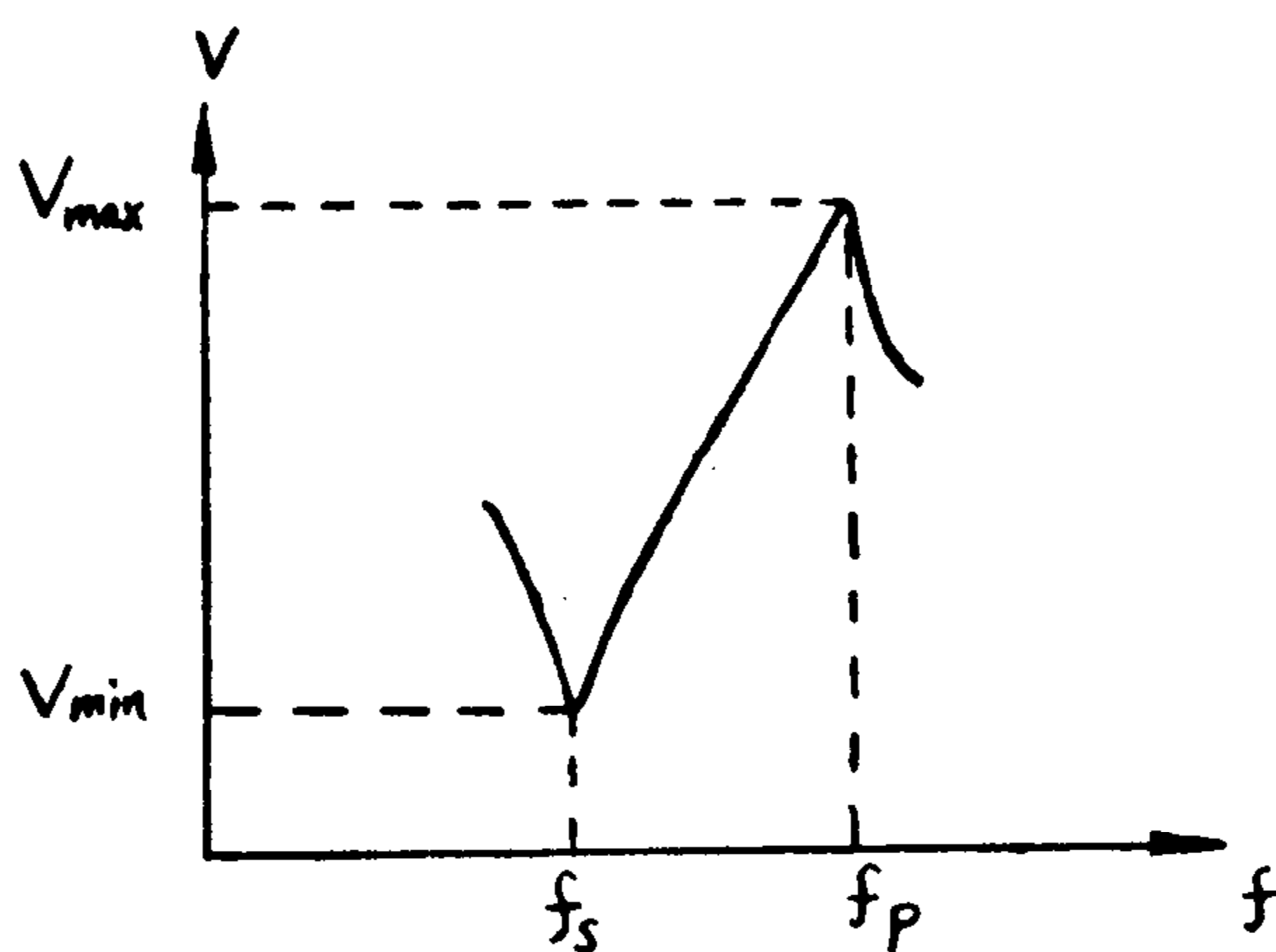


图2 陶瓷振子电压频率特性

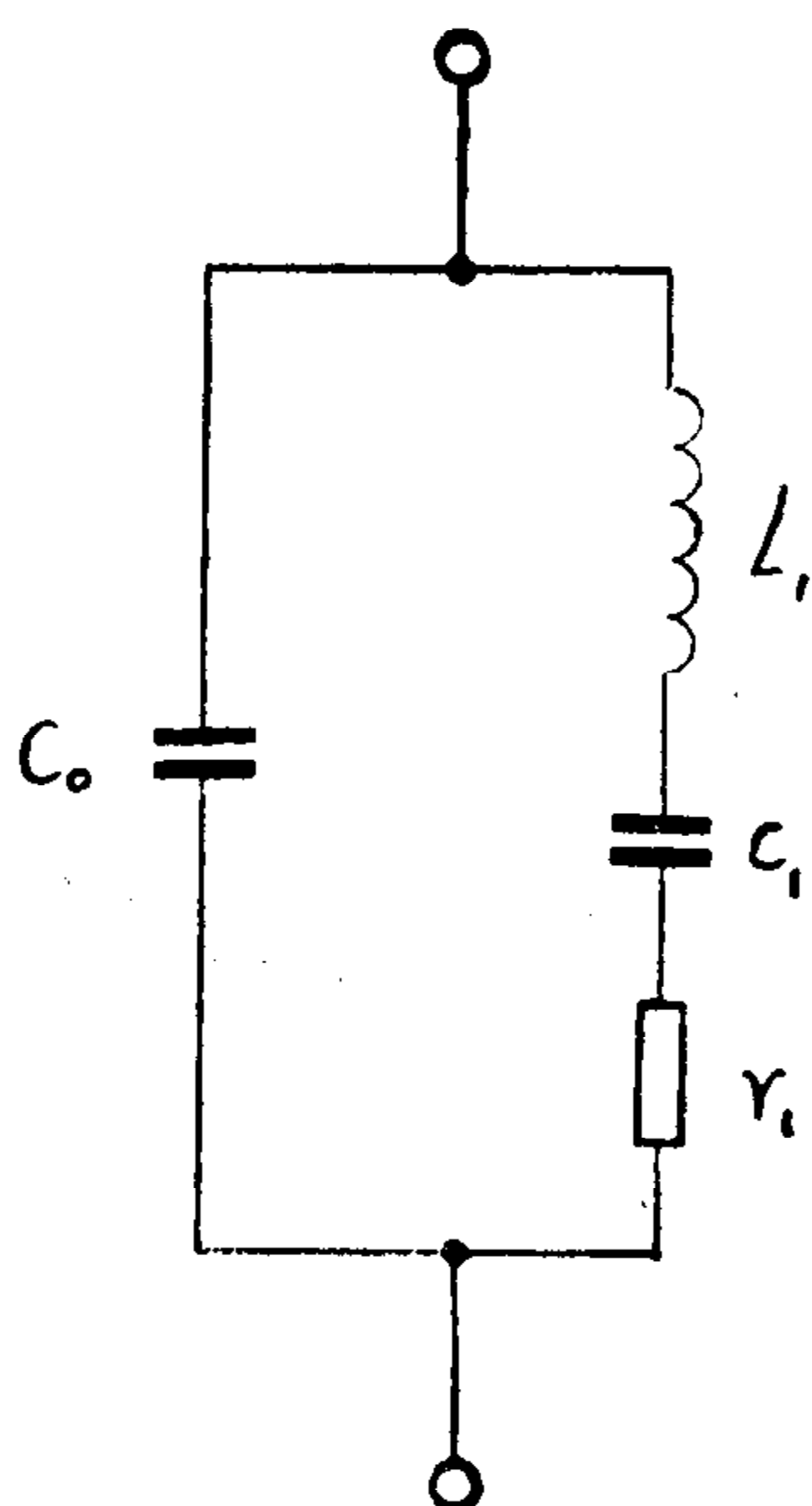


图3 陶瓷振子等效电路

$$|Z| = \frac{2\pi f L_1 - \frac{1}{2\pi f C_1}}{2\pi f C_0 \left(2\pi f L_1 - \frac{1}{2\pi f C_0} - \frac{1}{2\pi f C_1} \right)} \quad (1)$$

当 $2\pi f L_1 - \frac{1}{2\pi f C_1} = 0$ 时, $Z = 0$, 即回路产生串联谐振。

其串联谐振频率 f_s 可用下式表示

$$f_s = \frac{1}{\sqrt{2\pi L_1 C_1}} \quad (2)$$

而当分母为零时, Z 为最大值 $Z_{\max}$, 则回路产生并联谐振, 此时对应的并联谐振频率 f_p 可用下式导出

$$2\pi f L_1 - \frac{1}{2\pi f C_0} - \frac{1}{2\pi f C_1} = 0 \quad (3)$$

求解 f 可得

$$f_p = \frac{1}{2\pi \sqrt{L_1 \frac{C_0 C_1}{C_1 + C_0}}} \quad (4)$$

由式 (4) 除以式 (2) 可得

$$\frac{f_p}{f_s} = \sqrt{1 + \frac{C_1}{C_0}} \quad (5)$$

$$\therefore C_1 = \frac{f_p^2 - f_s^2}{f_s^2} C_0 \approx \frac{2(f_p - f_s)}{f_s} C_0 \quad (6)$$

将式 (6) 代入式 (5) 可得

$$f_p - f_s \approx \frac{1}{2} \frac{C_1}{C_0} f_s \quad (7)$$

在 f_s 和 f_p 的范围内, 根据式 (1) 可以画出 $Z-f$ 关系曲线,

这就如图 4 所示。

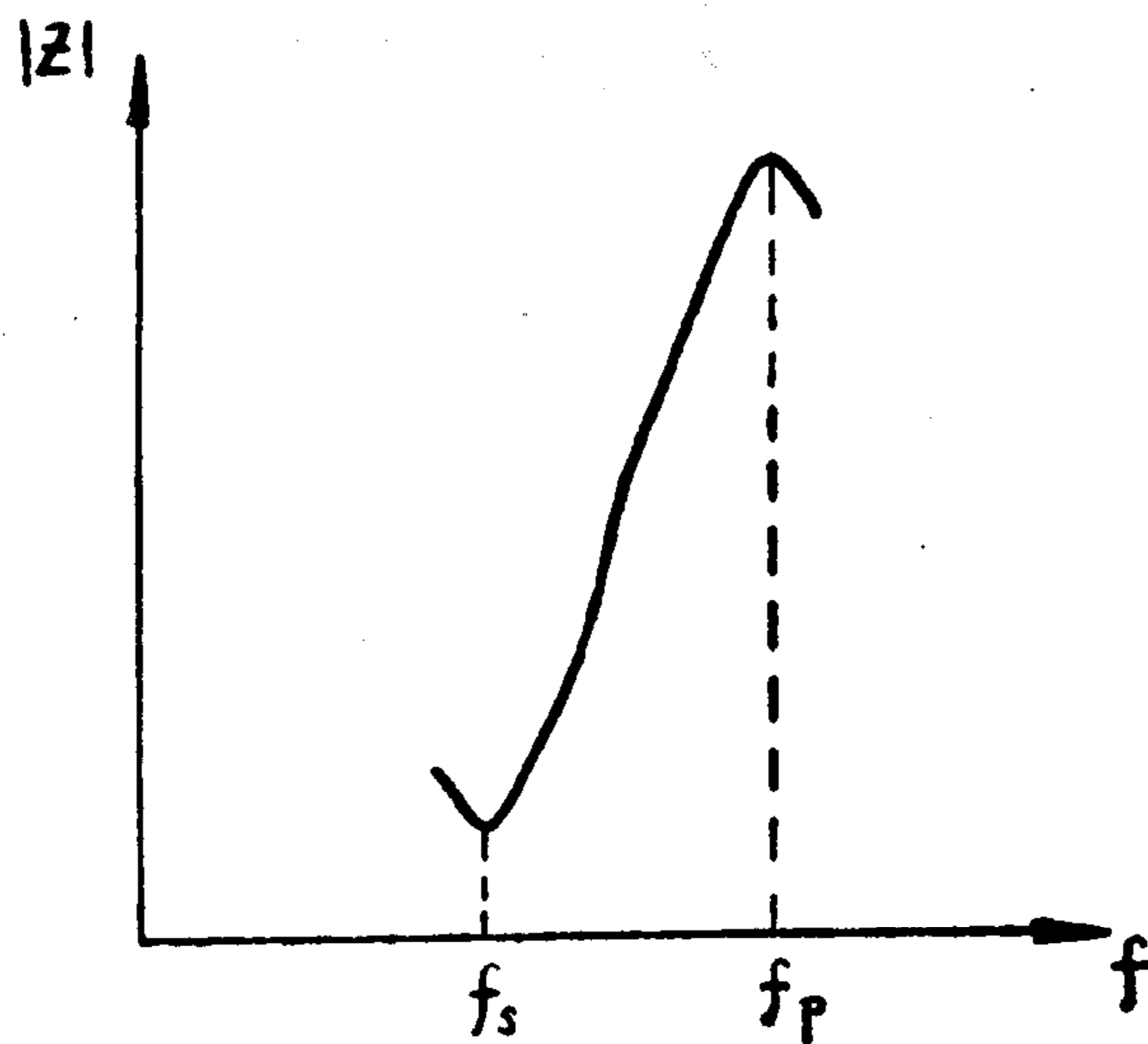


图 4 陶瓷振子阻抗频率特性

(三) 压电陶瓷振子的鉴频原理

鉴频器的种类虽然很多，但就其基本原理来说，总是首先将输入信号的频率变化变为振幅变化，然后将这个振幅调制信号用包络检波的方法进行检波，取出所需调制信号。众所周知，用 LC 调谐回路可以实现其由频率变化到振幅变化。那么陶瓷振子能否也具有同样的功能呢？

由图 2 可以看出压电陶瓷振子的电压频率响应，当 f 由 $f_s \rightarrow f_p$ 时，电压由 $V_{\min} \rightarrow V_{\max}$ 。因此，如果有一个频率在 $f_s \rightarrow f_p$ 之间变化的调频信号，则陶瓷振子两端将有电压 $V_{\min} \rightarrow V_{\max}$ 之间变化的信号。实现了由频率变化到振幅变化。再用包络检波的方法，检出此振幅变化，实现了鉴频功能。这就是陶瓷鉴频器简单工作原理。陶瓷鉴频器的电路形式很多，不能一一列举，下面仅介绍国外一般采用的串联差动式电路和我们设计制造的不平衡式电路。

二、压电陶瓷振子和电容串联差动鉴频器

(一) 基本原理

首先画出如图 5 所示的串联差动鉴频器的基本电路。在压电振子的串联谐振频率 f_P 和并联谐振频率 f_S 之间，当振子的阻抗 Z 等于电容 C_S 的阻抗时，很明显，这时的差动输出为零，所对应的频率即为鉴频零点。而频率接近振子的并联谐振点 f_P 时，振子的输出电压最大；频率在振子串联谐振点 f_S 时，电容器 C_S 上的输出电压最大。因此，在 f_P 与 f_S 之间的差动输出电压和频率关系呈 S 型曲线。用此 S 型曲线可达到鉴频的目的。

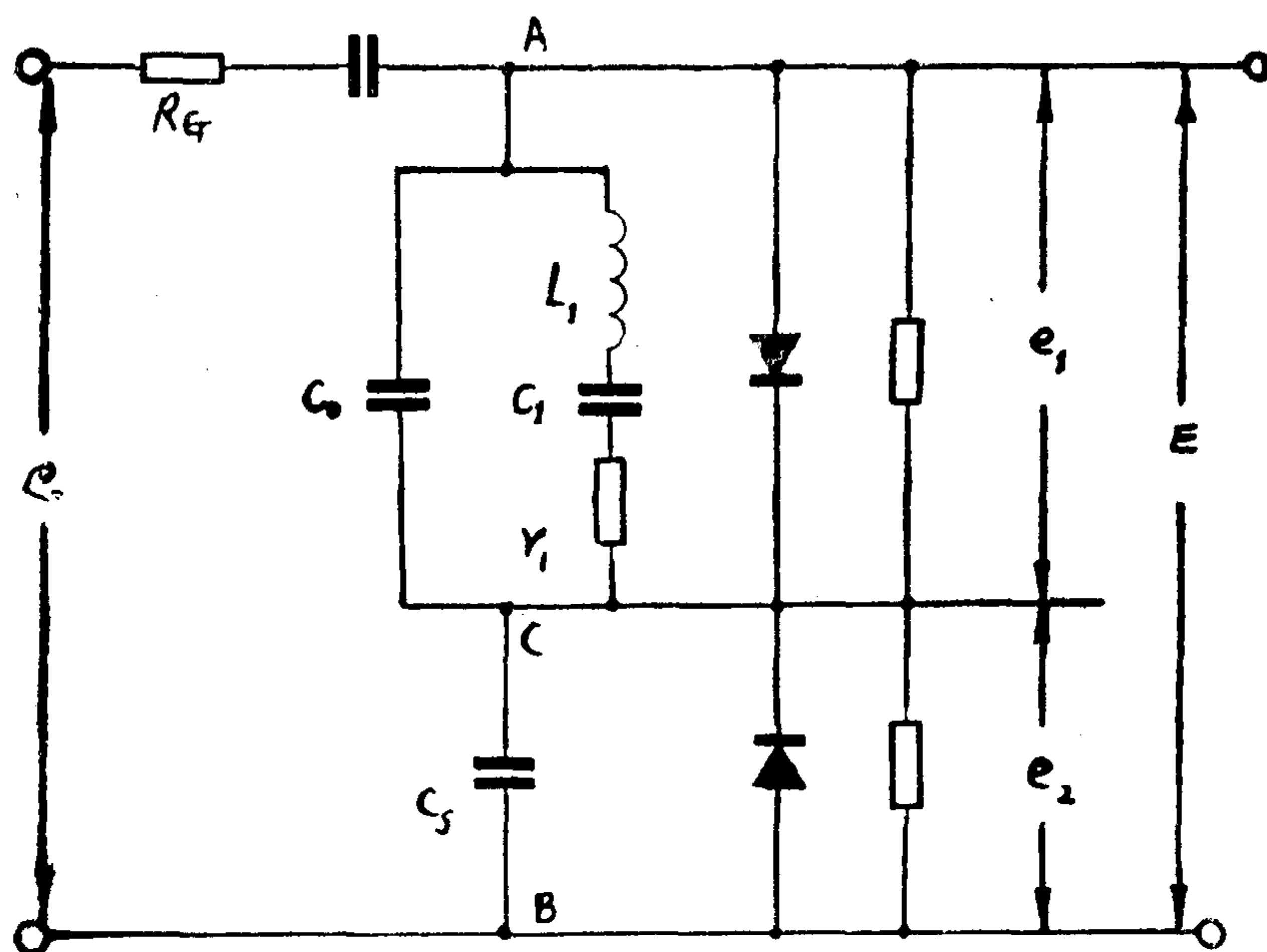


图 5 串联差动式陶瓷鉴频器基本电路

(二) 电路特性及工程设计公式的推导

首先推导差动输出电压的表达式, 由式 (1) 可写出振子的等效阻抗 Z 的向量表达式为

$$Z = \frac{j2\pi f L_1 - j \frac{1}{2\pi f C_1}}{j2\pi f C_0 (j2\pi f L_1 - \frac{j}{2\pi f C_0} - \frac{j}{2\pi f C_1})}$$

$$\text{并令 } \Omega = \frac{\omega}{\omega_s}$$

$$\gamma = \frac{C_0}{C_1}$$

$$\omega_s = \frac{1}{\sqrt{L_1 C_1}}$$

将它们代入上式, 并简化可得

$$Z = j\omega_s L_1 \frac{\Omega - \frac{1}{\Omega}}{1 + \gamma - \gamma \Omega^2} \quad (8)$$

为了分析方便, 我们进一步假设

$$\Omega = 1 + \frac{1}{4\gamma} (1 + S) \quad (9)$$

将式 (9) 代入式 (8) 并化简可得以 S 为变量的阻抗函数表达式

$$Z(S) \approx j \frac{\omega_s L_1}{\gamma} \frac{1 + S}{1 - S} \quad (10)$$

若用电源阻抗 R_G 对阻抗进行规一化可得

$$Z_N(S) = \frac{Z(S)}{R_G}$$

$$\approx j \frac{\omega_s L_1}{\gamma R_G} \frac{1+S}{1-S} \quad (11)$$

$$\text{式中 } X = \frac{\omega_s L_1}{\gamma R_G} \quad (12)$$

根据上述公式，图解 $Z(\omega)$ 与 S 、 ω 、 Ω 的关系，就如图 6 所示。

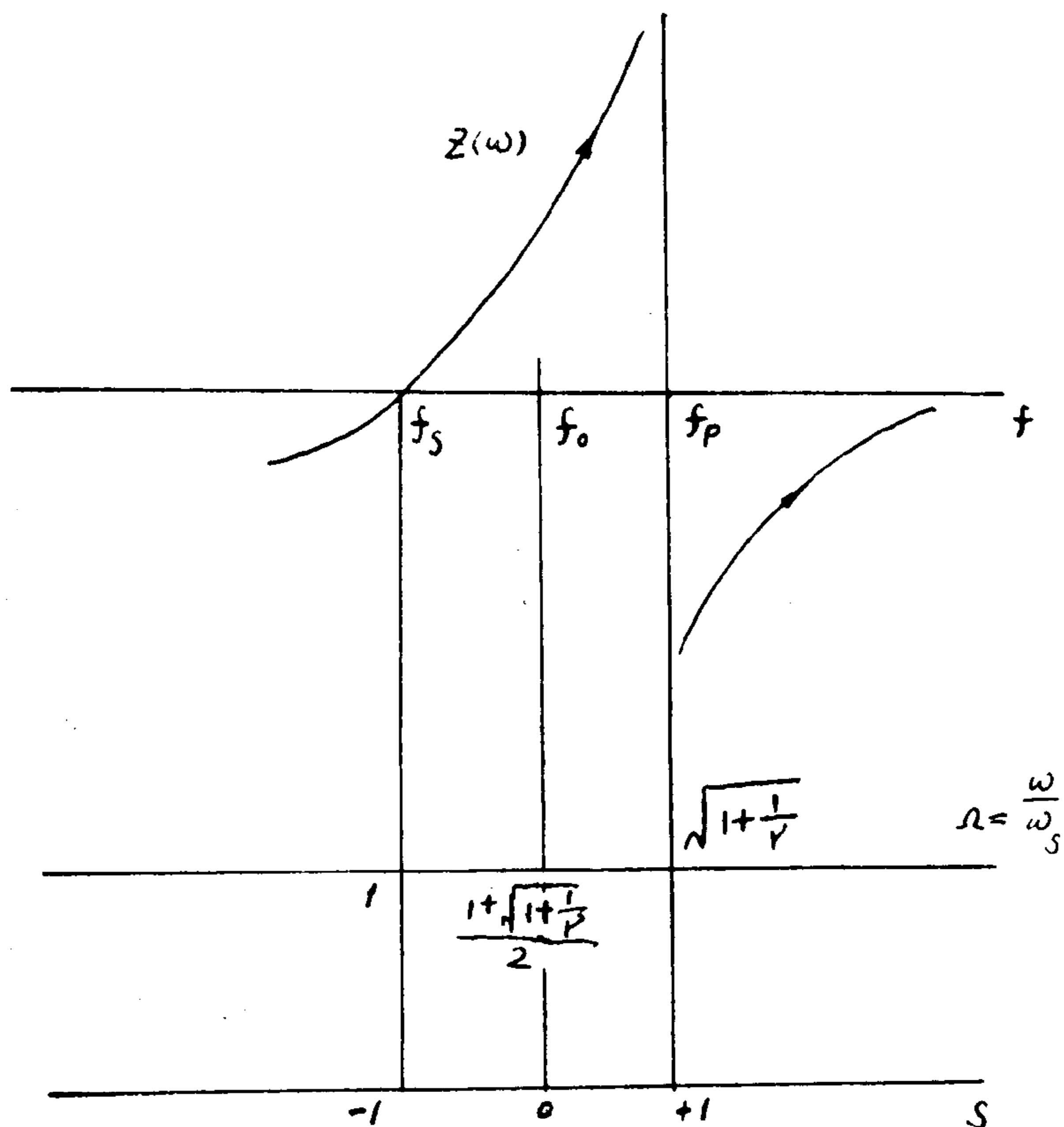


图 6 $Z(\omega)$ 与 S 、 ω 、 Ω 的关系

由图 6 可以看出， $S = 0$ 时，所对应的频率 f_0 在 f_p 与 f_s 中间，线性也最好。因此，我们在鉴频器中，总希望将鉴频零点选在此

处。而由式 (9) 可知, 当 $S = 0$ 时

$$\Omega_0 = \frac{\omega_0}{\omega_s} = 1 + \frac{1}{4\gamma}$$

$$\therefore \omega_0 = \omega_s \left(1 + \frac{1}{4\gamma} \right) \quad (13)$$

而由式 (7) 可知

$$\frac{f_p}{f_s} = \frac{\omega_p}{\omega_s} \approx 1 + \frac{1}{2} \frac{C_1}{C_0} = 1 + \frac{1}{2\gamma}$$

$$\therefore \omega_p = \omega_s \left(1 + \frac{1}{2\gamma} \right) \quad (14)$$

进一步改写式 (13) 可得

$$\begin{aligned} \omega_0 &= \omega_s \left(1 + \frac{1}{4\gamma} \right) \\ &= \frac{\omega_s \left(1 + 1 + \frac{1}{2\gamma} \right)}{2} \\ &= \frac{\omega_s + \omega_p}{2} \end{aligned} \quad (15)$$

也就是说, $S = 0$ 时所对应的频率 ω_0 正好在 ω_p 与 ω_s 之中点。

同理, 在 $S = +1$ 时, 由式 (9) 可知

$$\begin{aligned} \Omega &= \frac{\omega(S=+1)}{\omega_s} = 1 + \frac{1}{4\gamma} (1+S) \\ &= 1 + \frac{1}{2\gamma} \end{aligned} \quad (16)$$

在由式 (14) 可得

$$\frac{\omega_p}{\omega_s} = 1 + \frac{1}{2\gamma}$$

将此式与式 (16) 相比可以看出 $\omega_p = \omega (S = +1)$ ，即在 $S = +1$ 时的频率等于振子的并联谐振频率。

依此类推可得，在 $S = -1$ 时，

$$\Omega = \frac{\omega(S=-1)}{\omega_s} = 1 \quad (17)$$

∴ 在 $S = -1$ 时的频率 $\omega (S = -1)$ 等于振子的串联谐振频率 ω_s 。

因为鉴频器在鉴频零点时输出为零。即在压电陶瓷振子上的电压应等于电容器 C_s 上的电压，这时二者的差动输出才可能等于零。要二者电压相等，则要二者阻抗相等。即

$$Z = -Z_{C_s}$$

用 S 为自变量来表达时有

$$Z(S) = -Z_{C_s}(S) \quad (18)$$

为了简化起见，进一步用信号源内阻 R_G 来归一化可得

$$\frac{Z(S)}{R_G} = Z_N(S) \quad (19)$$

$$\frac{Z_{C_s}(S)}{R_G} = Z_{C_s N}(S) \quad (20)$$

将式 (18) 同除以 R_G 有

$$\text{故 } Z_N(S) = -Z_{C_s N}(S) \quad (21)$$

再由式 (11) 可知, 当 $S = 0$ 时

$$Z_N (S = 0) = jX \quad (22)$$

另因 $C_0 \gg C_1$, 即 $\gamma \gg 1$ 。所以 f_p 与 f_s 相当接近, 即 f_p 与 f_s 之间工作频率范围很窄, 因此, 可以近似的认为在 f_p 与 f_s 之间的电容 C_s 的阻抗 Z_{Cs} 基本不变, 且等于 jX 。

若设信号源电压为 e_0 , 回路电流为 i , 在振子上和电容 C_s 上的电压分别为 e_1 和 e_2 , 则有

$$e_1 = i_1 Z (S) \quad (23)$$

$$e_2 = i Z_{Cs} (S) \quad (24)$$

$$\begin{aligned} e_0 &= i [Z (S) + Z_{Cs} (S) + R_G] \\ &= i Z_t (S) \end{aligned} \quad (25)$$

$$\text{式中 } Z_t (S) = Z (S) + Z_{Cs} (S) + R_G \quad (26)$$

为回路总阻抗

这样差动输出电压 $|e_1| - |e_2|$, 与 e_0 之比并进行归一化后可得

$$\begin{aligned} \frac{|e_1| - |e_2|}{e_0} &= \frac{|Z (S)| - |Z_{Cs} (S)|}{Z_t (S)} \\ &= \frac{\left| \frac{Z (S)}{R_G} \right| - \left| \frac{Z_{Cs} (S)}{R_G} \right|}{\frac{Z_t (S)}{R_G}} \\ &= \frac{|Z_N (S)| - |Z_{CsN} (S)|}{\frac{Z_t (S)}{R_G}} \end{aligned} \quad (27)$$

$$\begin{aligned}
\text{而 } \frac{Z_t(S)}{R_G} &= \frac{Z(S) + Z_{Cs}(S) + R_G}{R_G} \\
&= 1 + Z_N(S) - Z_{CsN}(S=0) \\
&= 1 + jX \left(\frac{1+S}{1-S} - 1 \right) \quad (28)
\end{aligned}$$

将式 (11)、(22) 和 (28) 代入式 (27) 并化简可得

$$\begin{aligned}
\frac{|e_1| - |e_2|}{e_0} &\approx \frac{2XS}{\sqrt{1 - 2S + (1 + 4X^2)S^2}} \\
&\approx 2XS \{ 1 + S + (1 - 2X^2)S^2 + \dots \} \quad (29)
\end{aligned}$$

分析式 (29) 可以看出

① $X = 1$ 时, 在 $|S| > 1$ 的区域内, S 平方项的增加比 S 一次项快。而 S 平方项与一次项反号, 所以可以得出, 当 $S > +1$ 或 $S < -1$ 时曲线开始下降。

② 在 $|S| < 1$ 时, 若 $\{ \}$ 内之数近似为 1, 则可得到理想的鉴频特性。若 $\{ \}$ 内之数不等于 1, 则将产生二次, 三次等非线性失真。

以上分析说明, 陶瓷振子和电容串联差动鉴频器在 S 从 -1 到 $+1$ 之间可得到近似于直线的鉴频曲线。而在 $|S| > 1$ 后, 曲线开始下降。总的鉴频特性曲线呈 S 型, 这正是我们所希望的。下面根据式 (29) 画出 S 型鉴频曲线, 如图 7 所示。由图 7 可以看出, 在 $-0.5 < S < +0.5$ 的区间内, 近于线性, 但当 S 加大时曲线就变得不对称了。在 S 向 $+1$ 方面靠近时输出较大, 而向 -1 方面靠近时输出较小。只有在 $|S| \leq 0.5$ 时, 曲线的线性度才较好。因此, 为了

获得小的鉴频失真， S 只能选在 -0.5 到 $+0.5$ 之间。前面我们已经讲过在 $S = +1$ 时，所对应的频率为 ω_p ， $S = -1$ 时所对应的频率为 ω_s 。因此，可用同样的方法求出 $S = \pm 0.5$ 时所对应的频率 ω_1 和 ω_2 。

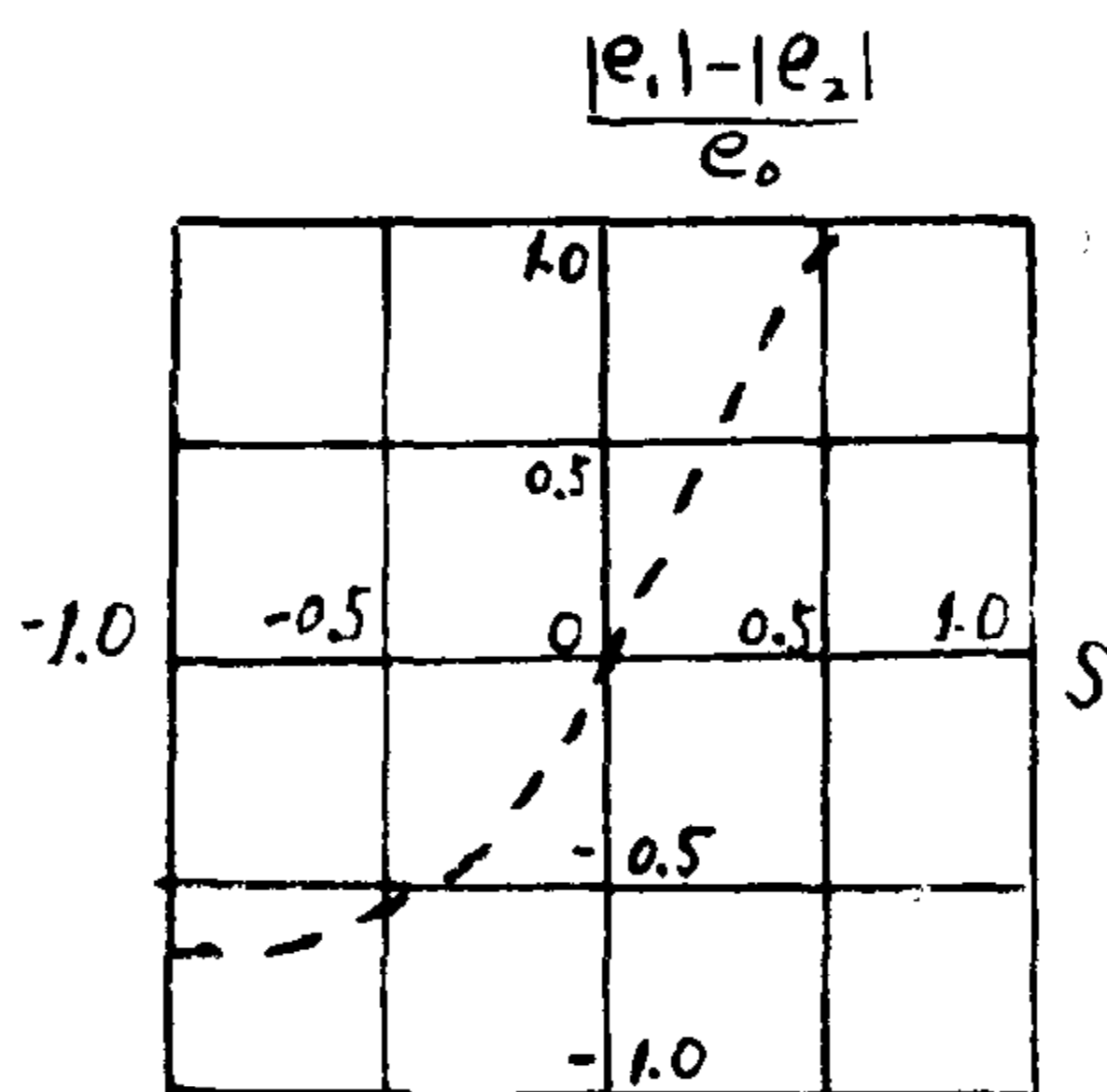


图7 陶瓷鉴频器特性曲线

将 $S = -0.5$ 代入式 (9) 可求得 ω_1

$$\begin{aligned}\omega_1 &= \omega_s \Omega \\ &= \omega_s \left[1 + \frac{1}{4\gamma} (1 - 0.5) \right] \\ &= \omega_s \left[1 + \frac{1}{4\gamma} 0.5 \right] = \omega_s \left[1 + \frac{1}{8\gamma} \right] \quad (30)\end{aligned}$$

同样将 $S = +0.5$ 代入式 (9) 可求得 ω_2

$$\omega_2 = \omega_s \left[1 + \frac{1.5}{4\gamma} \right] = \omega_s \left[1 + \frac{3}{8\gamma} \right] \quad (31)$$

用 (31) 式减去式 (30) 可求得鉴频器带宽为

$$\omega_2 - \omega_1 = \omega_s \left(1 + \frac{1.5}{4\gamma} \right) - \omega_s \left(1 + \frac{0.5}{4\gamma} \right)$$

$$= \omega_s \frac{1}{4\gamma} \quad (32)$$

而由式 (7) 可得

$$\omega_p - \omega_s \approx \frac{1}{2\gamma} \omega_s \quad (33)$$

用式 (33) 除式 (32) 并化简可得

$$\begin{aligned} 2\pi \Delta B = \omega_2 - \omega_1 &\approx \frac{1}{2} (\omega_p - \omega_s) \text{ 或改写为 } \Delta B = f_2 - f_1 \\ &= \frac{1}{2} (f_p - f_s) \end{aligned} \quad (34)$$

式中 ΔB 为鉴频器的带宽

式 (34) 说明, 在保证良好线性变和非线性失真小的前提下, 其鉴频器的带宽只能是串联谐振频率和并联谐振频率之差的一半, 而不是其差的全部。

下面按式 (29) 推导出输出电压表达式为

$$\begin{aligned} E &= [|e_1| - |e_2|] \eta \\ &= 2XS \{ 1 + S + (1 - 2X^2) S^2 + \dots \} e_0 \eta \end{aligned} \quad (35)$$

式中 η 为检波效率 (在包络检波时为 0.7~0.9) 由此可见输出电压不仅与输入电压 e_0 和检波效率 η 成正比, 而且是 S 的函数。而 S 又是与振子参数 ω_s 、 γ 等有关。因此, 输出电压 E 也是与振子参数 ω_s 、 γ 有关的函数。

下面再谈谈鉴频零点的求得, 鉴频零点就是对应于鉴频器电压输出为零之频率点。这时振子上的电压和电容 C_s 上的电压应相