

晶体管收音机中波段用拉杆天线 取代磁棒天线

唐先玉 吴胜远

本文以理论为依据,通过试验及生产产品的验证,表明晶体管收音机的中波段可以用拉杆天线取代磁棒天线。克服了磁棒天线在一些场合带来的不便,同时有利于提高整机性能指标,降低产品成本。文中提出了一些实用计算公式和实用电路。

前言

磁性天线自问世以来已有几十年的历史,从设计、材料、工艺直至使用可以说积累了相当丰富的经验。五十年代的部分电子管收音机和后来发展起来的晶体管收音机以及今天的收录机中,磁性天线得到了普遍的应用。

近年来,收音机向小型、微型化发展,磁性天线所占空间尺寸也是个突出问题。为了尽量缩小磁棒尺寸需采用高导磁率材料,有些产品为此需要由国外进口磁材。

在收录机产品中,为了满足外观、造型和增大输出功率等方面的需要,磁性天线给收录机的中波段带来了不少麻烦。突出的是,安放磁性天线的位置,许多机器常找不到一个比较满意的地方;再者是对电性能参数的影响。由于收录机输出功率向“大功率”趋势发展,机内器件、印制板线条等向空间辐射增强,磁性天线将其接收形成正反馈导致音量开大时机器自激。在中波段录音时,还要“接收”录音偏磁振荡信号也会引起自激、哨叫。这都给设计、工艺和生产带来麻烦,为此常采取降低中波段整机关灵敏度或对功放、录音偏磁部分进行屏蔽的办法,导致性能降低成本增加。

针对上述问题,我们提出了用收音、收录机在短波或调频波段所用的拉杆天线亦做为中波的接收天线而取代磁性天线的设想。经理论

分析与试验表明是可行的。已先后用于本厂生产的收录机中(如 GM8705, GM8710, GM3015等产品)从已售出的机器看用户满意。我们在今后的产品中将继续使用。

一、调谐回路传输系数

收音机调谐回路如图1 a所示,图1 b为等效电路(图中 \dot{E} 为天线接收的信号)。

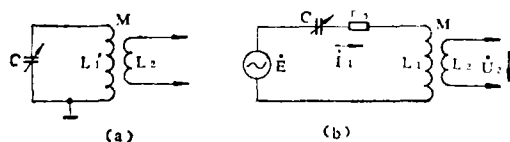


图 1

这里为了简化计算,我们只求它的开路(指线圈次级)传输系数,有载传输系数比开路传输系数要小一些。

由图1 b可以看出,当次级开路时,次级就没有电流,因此在初级没有互感压降(由于实用中 $L_2 \ll L_1$, 故对求出的传输系数的影响可忽略不计),根据克希霍夫第二定律初级的方程为:

$$r_0 \dot{I}_1 + j \left(\omega L_1 - \frac{1}{\omega C} \right) \dot{I}_1 = \dot{E} \quad (1)$$

$$\dot{I}_1 = \dot{E} / \left[r_0 + j \left(\omega L_1 - \frac{1}{\omega C} \right) \right] \quad (2)$$

$$\text{当回路谐振时, } \omega L_1 = \frac{1}{\omega C}$$

实际上, 机器(收音)一工作, 回路即谐振。故

$$I_1 = E/r_0 \quad (3)$$

开路电压 \dot{U}_2 就是电流 I_1 在次级线圈 L_2 所引起的互感压降。据互感原理得:

$$\dot{U}_2 = j\omega M I_1 \quad (4)$$

式中 M 为互感, 单位与 L_1 相同。

将(3)代入(4)得:

$$\dot{U}_2 = j\omega M E/r_0 \quad (5)$$

当初级电路谐振时有:

$$Q_0 = \omega L_1/r_0 = 1/r_0 \omega C \quad (6)$$

从(6)得:

$$r_0 = \omega L_1/Q_0 \quad (7)$$

将(7)代入(5)得:

$$\dot{U}_2 = jM Q_0 E/L_1 \quad (8)$$

输入调谐回路至调谐线圈次级的开路传输系数为:

$$\dot{K} = \dot{U}_2/E \quad (9)$$

将(8)式代入(9)式得:

$$\dot{K} = jM Q_0/L_1 \quad (10)$$

则

$$|\dot{K}| = \sqrt{(0)^2 + (M Q_0/L_1)^2} = M Q_0/L_1 \quad (11)$$

通常所说的传输系数, 就是指复变传输系数的模 $|\dot{K}|$, 即

$$k = |\dot{K}| = M Q_0/L_1 \quad (12)$$

将(7)式变为 $L_1 = r_0 Q_0/\omega$ 代入(12)得:

$$k = \omega M/r_0 \quad (13)$$

从(12)(13)两式可以看出:

输入调谐回路与调谐线圈次级的传输系数, 在调谐线圈电感不变时(实际上, 当波段、调谐电容 C 选定后, 调谐电感 L_1 就不可能变了), 其大小决定于互感 M 、回路 Q_0 值(主要取决于 L_1 的 Q 值)、回路损耗电阻 r_0 (取决于线圈 L_1 本身内阻、走线和排板等)、调谐频率。

二、天线的等效高度

天线的等效高度, 有的又叫天线的有效高

度。天线, 是接收机的门户, 对接收机的性能起着重要的作用。接收机总体理论告诉我们: 在很多场合下, 为了某几个指标, 与其在接收机后续电路上采取很多措施, 增加成本, 使线路复杂化, 倒不如认真的在天线上采取一个改进措施管用。可见天线的重要性。因此必须讨论它。在收音机中天线的关键参数就是其等效高度。

1. 磁性天线的等效高度

磁性天线的等效高度用下式求出:

$$h_e = 1.65 \times 10^{-6} D^2 N f \mu_{CT} P m \quad (\text{米}) \quad (14)$$

式中:

D 为线圈直径, 单位为厘米;

N 为线圈圈数;

f 为工作频率(可用波段高、低端频率分别求高低端各自等效高度, 也可用波段中间频率求平均等效高度。)单位为兆赫兹;

μ_{CT} 为磁棒的轴心导磁率, 可查曲线(据不同的磁材的 μ_0 查各自的曲线。图2曲线只画出了 $\mu_0 = 400$ 的中波常用磁材的曲线。);

P 是与线圈位置有关的参数, 从图3曲线可查出;

m 是与线圈长度有关的参数, 从图4曲线可查出。

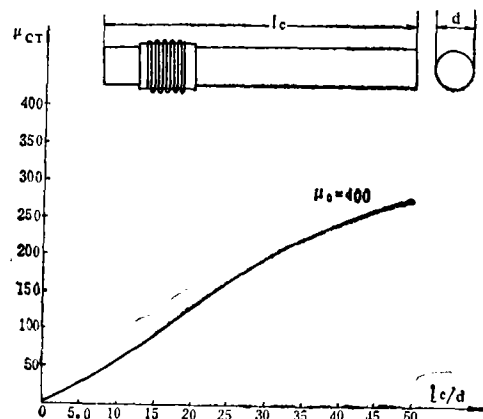


图 2

可以看出, 磁性天线的等效高度所涉及的面很广, 影响的参数很多, 特别是需查三种曲线, 准确性不是很高, 计算起来繁杂。而实际

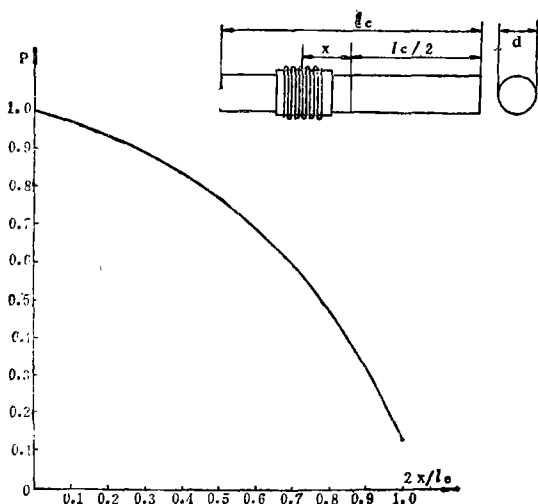


图 3

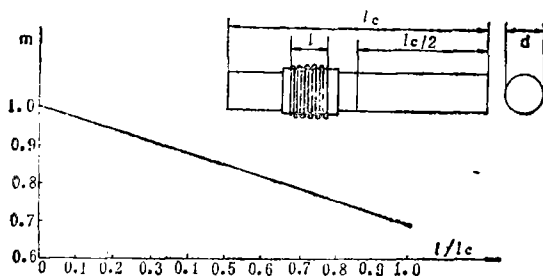


图 4

应用中也不需很精确，因此可以取近似值。一般中波磁性天线的等效高度约在 0.002~0.01 米之间，根据所用磁棒的长短、粗细、线圈长度及线圈在磁棒上的位置等酌情取近似值。

2. 拉杆天线的等效高度

从天线理论知道，拉杆天线的等效高度可以用下式求出：

$$h_e = \frac{1}{\alpha} \operatorname{tg} \left(\frac{\alpha h}{2} \right) \quad (15)$$

式中：

α 为相移常数。 $\alpha = 2\pi/\lambda$ 。 λ 为工作波长，单位为米；

h 为拉杆天线长度，单位为米。

(15)式说明，拉杆天线的等效高度是随工作频率变化而变化的。收音机的工作频率变化大，工作在一个较宽的频段内，为便于分析计

算，可取工作频段的中间频率。则(15)式中 α 即为：

$$\alpha = 4\pi/(\lambda_{\min} + \lambda_{\max}) \quad (16)$$

将(16)式代入(15)式得：

$$h_e = \left[\frac{\lambda_{\min} + \lambda_{\max}}{4\pi} \right] \operatorname{tg} \left[\frac{2\pi h}{\lambda_{\min} + \lambda_{\max}} \right] \quad (17)$$

(17)式仅表示了拉杆天线一般用法的等效高度。若天线再串接一个天线加长电感，(17)式求出的等效高度就不对了。此时用下式计算比较恰当。

$$h_e \doteq h/2 \quad (18)$$

关于天线加长问题在后面将谈到。

三、接收灵敏度

图 5 为磁性天线和拉杆天线的一般使用情况。

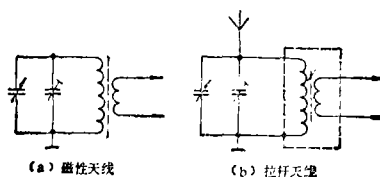


图 5

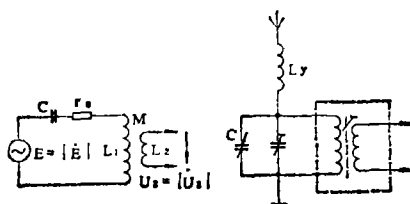


图 6

图 7

图 5 a 的情况是常用的，无特殊处。

图 5 b 就是取代磁性天线的拉杆天线调谐回路的简单形式。后面将会看到，为满足各种性能要求所进行的一些改进，都和这个简单形式大同小异。

这两种形式的等效电路都如图 6 所示。

从天线接收理论知道， E 与外场强的关系为：

$$E = \varepsilon h_e \quad (19)$$

式中:

ϵ 为外场强, 单位为毫伏/米;

h_e 为天线等效高度, 单位为米。

现在就能很方便的求出 U_2 :

$$U_2 = kE \quad (20)$$

将(12)(19)式代入(20)式得:

$$U_2 = MQ_0 \epsilon h_e / L_1 \quad (21)$$

也可将(13)(19)式代入(20)式得:

$$U_2 = \omega M \epsilon h_e / r_1 \quad (22)$$

下面来分析(21)式。

由于是拉杆天线取代磁性天线, 而磁性天线的情况是大家熟知的, 在分析(21)式时, 就以磁性天线为基准, 用拉杆天线来同它比较异同。

我们知道, 此两种天线都工作在同一个波段, 调谐电容 C 都选一样, 显然 L_1 也是一样的 (实际工作中, L_1 与 L_2 的匝数比都选一样); 机器工作在同一条件下, 外场强 ϵ 当然也是相同的。因此, (21)式对两种天线所不同的是互感系数 M 、回路 Q_0 值和天线等效高度 h_e 三种因素。

设两种天线在同一部收音机上分别应用, 这样后续电路就完全相同了。磁性天线的三因素为 M_1 、 Q_{01} 和 h_{e1} , 拉杆天线的三因素为 M_2 、 Q_{02} 和 h_{e2} , 不难看出, 要想使收音机使用两种天线时的灵敏度相同, 下式必须成立, 即

$$M_1 Q_{01} h_{e1} = M_2 Q_{02} h_{e2} \quad (23)$$

式中 h_{e1} 与 h_{e2} 的关系从前面天线等效高度分析中就很清楚了, 即:

$$h_{e1} < h_{e2} \quad (24)$$

在(23)式所设前提下, 既有(24)式, 自然也就有下式:

$$M_1 Q_{01} > M_2 Q_{02} \quad (25)$$

要想分别用这两种天线使收音机接收灵敏度相等(25)式必须成立, 并且与(24)式的差值必须相等。在实际应用中, (25)式却是下式情形:

$$M_1 Q_{01} \leq M_2 Q_{02} \quad (26)$$

换言之, (23)式在实用中变为:

$$M_1 Q_{01} h_{e1} \leq M_2 Q_{02} h_{e2} \quad (27)$$

即拉杆天线的接收灵敏度等于或高于磁性天线的接收灵敏度。

通过以上分析, 单就灵敏度而言, 在中波, 拉杆天线完全能够取代磁性天线。

四、加长天线

在前面天线等效高度中说到拉杆天线可以加长。天线理论告诉我们, 在拉杆天线中串联一只加长电感, 就能使天线工作在 $\lambda/4$ 附近, 使拉杆天线的等效高度提高以达到进一步提高收音机接收灵敏度的目的。其电路如图7所示。

加长电感 L_1 , 用下式求出:

$$L_1 = L_A \operatorname{ctg}(al) / al \quad (\text{厘米}) \quad (28)$$

式中:

L_A 为天线静电电感, 单位为厘米。而它又为 $L_A = L_1 / l$ 其中 L_1 为天线单位长度静电电感, 单位为厘米/厘米; l 为天线长度, 单位为厘米。

al 是与工作波长相适应的相位角。单位分别为弧度(分母)和度(分子)。 $al = 2\pi l / \lambda$, l 为天线长度, 单位与工作波长 λ , 相同。

将 $L_A = L_1 / l$ 、 $al = 2\pi l / \lambda$ 代入(28)式得:

$$L_1 = L_1 \lambda_0 \operatorname{ctg}\left(\frac{2\pi}{\lambda} l\right) / 2\pi \quad (\text{厘米}) \quad (29)$$

式中的 L_1 可据霍乌公式先求出天线静电电容后, 再求出天线单位长度静电电容 C_1 , 最后用 $L_1 C_1 = 1$ 算出 L_1 , 其综合式为:

* GB2018483—DE2913565

光电数据阅读装置

Optical data reading device

-uses hand-held scanner with two rows of LEDs and sensor receiving reflected light via lens

SUMITOMO ELEC IND KK

050478JP040011

* EP-27233—DE2941452

音频模拟信号编码系统

Audio analog signal coding system

-for storage or transmission, by omitting least significant bits to give PCM different words of constant length

POLYGRAM GMBH

121079DE941452

$$L_l = 2 \left(l_n \frac{l}{r_{cp}} - 0.307 \right) (\text{厘米/厘米}) \quad (30)$$

为计算方便, 将(30)式化为:

$$L_l = 2 \left(2.3 l_g \frac{l}{r_{cp}} - 0.307 \right) (\text{厘米/厘米}) \quad (31)$$

式中:

l 为天线长度;

r_{cp} 为天线半径 (取拉杆天线平均半径), 其单位与 l 相同。

在计算中, 注意(29)式中 λ_0 的单位。括号外 λ_0 的单位为厘米; 括号内 λ_0 的单位与 l 相同 (此式中 λ_0 取波段中间值)。

按(29)式算出的电感量绕制即可, 不需再调整。同时使 L_y 的 Q 值尽可能高一些为好。

通过加长后的拉杆天线其等效高度用(18)式计算。

必需用的两个换算公式:

$$1 \text{ 法拉} = 9 \times 10^{11} \text{ 厘米} \quad (32)$$

$$1 \text{ 亨利} = 10^9 \text{ 厘米} \quad (33)$$

五、实用电路及技术指标

通过理论分析和实验, 得出以下几种实用电路, 在应用中可根据不同等级的收音机, 不同的目标成本适当选用。

各图中, C_1 有两种作用: 一是将天线所得到的信号耦合到调谐回路。为使波段内灵敏度尽量均匀, C_1 取值应大一些, 一般 $C_1 \geq 0.047 \mu F$ 。其次就是使天线和机内线路隔开, 防止因器件损坏或装配失误等造成机外拉杆天线带电, 以保证安全 (主要是针对使用交直流两用电源的机器。若只用于电池 C_1 可省去)。因此 C_1 的耐压应大于160V, 条件许可其耐压大于或等于250V为好。

调谐线圈 L_1 的电感量与磁性天线线圈计算方法相同。不同的是用屏蔽罩将它罩起来 (即与晶体管收音机中频变压器结构形式一样), 其目的是减少对机内信号, 尤其是本振

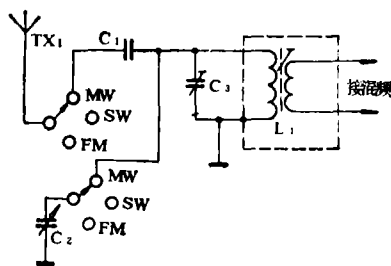


图 8

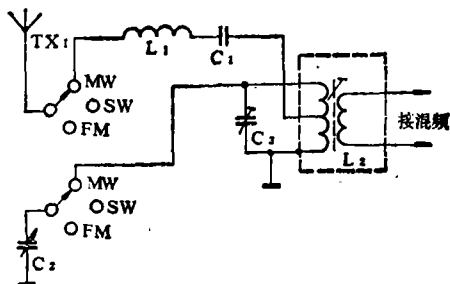


图 9

信号的接收, 从而提高信噪比。

图9、图11中的 L_1 是前面所说的天线加长电感。它除增加天线的等效高度外, 还可以大幅度提高镜像抑制能力。

在前面讨论(23)式时说过, 实用中是(25)式变为(26)式的情形, 即 $M_1 Q_{01} \leq M_2 Q_{02}$ 。原因何在呢? 理论和实践告诉我们, 在同一结构形式、相同电感量的互感线圈, 随 Q 值不同而互感系数 M 也不同, 互感系数 M 随 Q 值的减小而增大。使用磁性天线和使用拉杆天线的调谐线圈在结构上发生了变化, 二者相比较, 线圈 Q 值与互感 M 的这一规律仍然存在。

例如, 有一磁性天线的调谐线圈与图8所示电路的调谐线圈的 Q 与 M 比较如下:

磁性天线的调谐线圈 (带磁棒):

$$L_{\text{初级}} = 350 \mu H \quad Q = 216 \quad M = 40 \mu H$$

拉杆天线的调谐线圈:

$$L_{\text{初级}} = 350 \mu H \quad Q = 120 \quad M = 83.7 \mu H$$

在此之所以要对调谐线圈的 Q 与 M 进行分析比较, 主要是调谐线圈为中频变压器结构后, 虽保证了电感量, 但受尺寸的限制磁芯小, Q 值大幅度降低, 一般只能达到 $Q = 70 \sim$

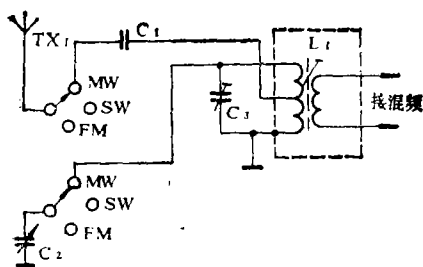


图 10

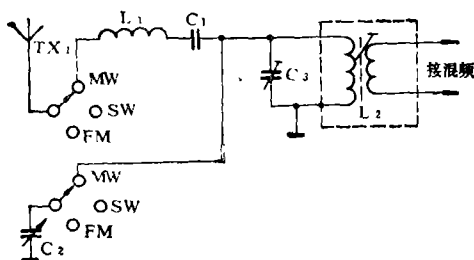


图 11

90左右,达到上例中的 $Q=120$,成本就太高了。而磁性天线的线圈 Q 值大都能达到200~300左右。现在,实践证明了调谐线圈结构改变后, Q 值虽降得多,但互感 M 增加也多,使(23)式成立,在中波用拉杆天线取代磁性天线的设想成为可能了。

注意,这里并非是说线圈 Q 值可以不要求或越小越好,只要(23)式成立就可以了,恰恰相反,在可能的条件下要尽量提高 Q 值,以保证整机其它参数尽可能更好一些。

我们把图8电路用到实际中,对整机进行了一系列测试和例行实验,得到了满意的效果。

图9、图10和图11更进一步的改善了图8的电路,大幅度提高了整机技术指标。下面表1为各电路的实测主要指标(整机指标)。

六、设计举例

设计中波收音头输入调谐回路。

已知:频率范围 525~1605kHz

要求:整机指标达国标B类,整机使用交直流电源,使用拉杆天线。

表 1

项 目	限噪灵敏度 (μV) (信噪比 20dB)	信 噪 比 (dB)	镜像抑制 (dB)
图 8	< 180	34~38	0~-3
图 9	< 90	40~45	25~30
图10	< 110	39~41	24~26
图11	< 90	40~45	45~50

设计计算:

1. 分析

从前面知道,要使整机达到国标B类,输入调谐回路用图9、图10和图11电路均能达到。在此选用图9电路(参看前面图9)。

2. 计算调谐线圈 L_2 的初级电感量(即 L_R):

C_2 选用 270/7PF 等容双连电容器。

频率范围两端留2%余量,则有

$$f_{\min} = 0.525 \times 0.98 = 0.515(\text{MHz})$$

$$f_{\max} = 16.05 \times 1.02 = 16.40(\text{MHz})$$

复盖系数:

$$K^2 = (f_{\max}/f_{\min})^2 = (16.40/0.515)^2 = 10.13$$

$$\text{则 } C_L' = (C_{R\max} - K^2 C_{R\min}) / (K^2 - 1) = (270 - 10.13 \times 7) / (10.13 - 1) = 21.8(\text{PF})$$

取杂散电容 $C_{\text{杂散}} = 15\text{PF}$ 则

$$C_L = C_L' - C_{\text{杂散}} = 21.8 - 15 = 6.8(\text{PF})$$

$C_3 = C_L$, 选用 15/3PF 微调电容器。

$$\begin{aligned} L_R &= 25330 / [f_{\min}^2 (C_{R\max} + C_L')] \\ &= 25330 / [(0.515)^2 (270 + 21.8)] \\ &= 327.29(\mu\text{H}) \end{aligned}$$

取 $L_R = 327\mu\text{H}$

要求: L_2 初级电感量为 $327\mu\text{H}$ $Q780$

初次级匝数比为 $N_1/N_2 = 5.8$

结构形式为 $10\text{mm} \times 10\text{mm}$ 中周式。

3. 选取 C_1

从传输和耐压两方面考虑, 取 $C_1=0.068$ PF, 耐压250 V。

4. 选用天线 TX₁

在条件许可的情况下, 尽量选用拉出长度长一些的天线。此处选用

$$l=900\text{mm}$$

这种天线的平均半径为:

$$r_{cp}=0.275\text{cm}$$

5. 求加长电感 L_1

此处可直接用(31)式计算, 为了便于理解, 先分步求出 L_A 、 al 再用(28)式计算。

首先求出波段中心波长为: $\lambda_0=282.4\text{M}$
拉杆天线平均电位:

$$\begin{aligned} U_{cp} &= 2 \left(2.3lg \frac{l}{r_{cp}} - 0.307 \right) \\ &= 2 \left(2.3lg \frac{90}{0.275} - 0.307 \right) \\ &= 9.446 \end{aligned}$$

拉杆天线静电电容:

$$C_A = \frac{l}{U_{cp}} = \frac{90}{9.446} = 9.528 \text{ (厘米)}$$

拉杆天线单位静电电容:

$$\begin{aligned} C_l &= C_A/l = 9.528/90 = \\ &= 0.1059 \text{ (厘米/厘米)} \end{aligned}$$

拉杆天线单位长度静电电感:

$$\begin{aligned} L_l &= 1/C_l = 1/0.1059 \\ &= 9.446 \text{ (厘米/厘米)} \end{aligned}$$

拉杆天线静电电感:

$$\begin{aligned} L_A &= L_l l = 9.446 \times 90 \\ &= 849.87 \text{ (厘米)} \end{aligned}$$

与工作波长相适应的相位角:

$$\begin{aligned} al &= 2\pi l/\lambda_0 = 2\pi \times 0.9/282.4 = 0.02 \\ \text{弧度} &= 1 \text{ 度 } 8 \text{ 分} \end{aligned}$$

加长电感:

$$\begin{aligned} L_l &= [L_A \text{ctg}(al)]/al \\ &= [849.87 \times \text{ctg}(1^\circ 8')] / 0.02 \\ &= 2148046.4 \text{ (厘米)} \end{aligned}$$

经单位换算后为: $L_l=2.1\text{mH}$

6. 估算天线等效高度

由于天线接了加长电感, 拉杆天线的等效高度用(18)式来求:

$$h_e = \frac{1}{2} h = \frac{1}{2} \times 0.9 = 0.45 \text{ (米)}$$

可见比磁性天线的0.002~0.01米高多了。

七、结 语

1. 中波用拉杆天线取代磁性天线, 理论和实践证明是可行的, 其优点显而易见。不足的是没有磁性天线的那种明显的方向性。

2. 中波不能再用磁性天线的技术指标来要求, 应以拉杆天线的技术指标来要求。

3. 测试应以拉杆天线的测试方法进行。同时要十分注意实际接收效果与测试数据的相关性。

4. 本文的目的是抛砖引玉, 以请各位同行们对磁性天线在收音机、收录机中所存在的问题提出更好的改进意见, 促进收音接收技术的发展。同时敬请各位同行们对本文提出宝贵意见。

参 考 文 献

- [1] 北京工业学院五系无线电技术教研室编《电路磁路基础》上册 1973年7月
- [2] 俞锡良 编著《业余电子管收音机设计》1964年9月
- [3] 苏联 И. С. 哥诺洛夫斯基著《无线电技术基础》人民邮电出版社译 1961年5月
- [4] 上海无线电二厂编著《晶体管收音机的特殊电路》1972年10月

*EP-85578

磁带录象机音频, 视频信号录制装置

VTR audio and video signal recording appts-
has switch assembly controlled by selector
circuit to supply rotary magnetic head ass-

-embly with output video and PCM audio
signals

SONY CORP

020282JP015287