

感应电话的原理及调试

郭 连 璧 编

916

人 民 铁 道 出 版 社

感应电话的原理及调试

郭连璧 编

人民铁道出版社出版

责任编辑 周秋枫

封面设计 翟 达

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

人民铁道出版社印刷厂印

开本: 787×1092 $\frac{1}{4}$ 印张: 4.75 字数: 105 千

1979年9月第1版 1979年9月第1次印刷

印数: 0001—12,500 册

统一书号: 15043·5134 定价: 0.40 元

内 容 简 介

本书对以传输线作为波导线的感应电话，作了简明的叙述。内容共分八章，对感应电话机的振荡高频放大、调制、接收、感应天线各个环节的原理、结构、调整和维护做了概括的说明。书后给出各元件的参数。

读者对象：可供制作和维护感应电话的技术人员、具有初中文化水平的工人参考。

目 录

第一章 概 述	1
一、感应电话的特点和用途	1
二、感应传输的物理过程	2
三、感应电话的原理方框图	3
第二章 振荡级	5
一、振荡电路	5
二、基本原理	6
三、平衡点的稳定	8
四、振荡器的波形	10
五、振荡频率的稳定	12
六、音频振荡电路	14
七、振荡器的元件选择	15
八、振荡器的调整和测试	17
九、振荡器的隔离	20
十、振荡级常见的故障	21
第三章 高频功率放大器	24
一、高频功率放大器的特点	24
二、基本工作原理	24
三、能量转换关系	28
四、工作状态和负载特性	29
五、近似计算方法	36
六、高频大功率晶体管	43
七、计算举例	48
八、馈电线路	51
九、放大器的调整	55

第四章 振幅调制	58
一、概述	58
二、调幅波的基本性质	59
三、调幅方法	64
四、集电极调幅	65
五、基极调制与发射极调幅	72
第五章 感应天线及匹配网络	80
一、感应天线和天线的区别	80
二、感应天线的架设	80
三、感应天线的参数和测试	82
四、输出回路的一般要求	84
五、电感电容匹配电路	85
第六章 接收机	94
一、接收机的组成和原理方框图	94
二、输入回路	94
三、高频放大级	96
四、检波电路	110
五、前置放大	112
六、功率放大	117
第七章 指示电路、电源及自动信号	123
一、指示电路	123
二、电源	124
三、自动监视回路	127
第八章 调整和检修	132
一、常用仪表	132
二、调整	132
三、调整和检修中的几个问题	134
附 录	141

第一章 概 述

一、感应电话的特点和用途

在无线电通信中，无线电话机产生一个受语言控制的高频振荡，通过发射天线的辐射，传播到远方。它的天线是一个换能器，将电能转换成电磁波，以波的形式辐射到空间，电磁波在空间传播到接收地点，被接收机的天线“收到”，在接收机里经过放大，恢复成语言。

在有线载波通信中，载波机也是产生一个受语言控制的高频振荡，它是通过结合滤波器，将高频振荡耦合到传输线上，在传输线上以电流的形式传播到接收地点，经过结合滤波器耦合到接收机里。

感应通信中，感应电话机产生的受语言控制的高频振荡，在感应天线上形成一个很高的电压。这一电压通过电磁场在传输线上产生感应电流，沿传输线传播到接收地点。由于感应电话使用的频率较低，天线的高度远小于波长，因此从天线上辐射出去的能量是很微弱的。但是在传播过程中，与传输线之间又存在一段耦合空间。所以它的传输过程可以概括为由电磁场到电路再到电磁场。这是与无线电通信及有线载波通信的区别。

从感应电话的特点可以看出，它具有无线电话的灵活性，又具有载波电话的特点。节省了昂贵的结合滤波器。由于与传输线保持有一段空间，避免了高压触电的危险。

感应电话的工作过程和步话机相似。所不同的地方就在于感应电话是在传输线（接触网、输电线、通信线、电车线

等)附近使用。它是应用感应原理,通过传输线来传递信息的一种通信工具。供给电气化铁道工作人员在施工、维修、防护等工作中进行通信联系使用。

在电气化铁道区段,山区多隧道的地段,采用无线通信,通信距离一般只有2~3公里。在隧道内距离更短,只有几百米。实践表明,借助于电气化铁道接触网的感应通道,通信距离不小于5公里,最大距离可以达到30公里,在隧道内的效果更加显著。对接触网的带电检修人员以及机械化养路人员的维修工作是很必要的,通过感应电话的联系,使他们及时地了解列车运行情况,进行防护,保证了作业和列车运行的安全。在山区农村有广播网或输电线连络的生产队,及生产队和人民公社之间,采用感应通信联系效果很好。也适用于输电线、电车线、通信线等线路下的工作。特别适用于山区、隧道和工作地点经常变动的地方。

二、感应传输的物理过程

感应电话的通话,是通过电磁波的传送来实现的。电磁波能在有限空间传播,是由于导体的引导而不被扩散到漫无边际的空间去,被引导的电磁波称为电磁波导或定向电磁波,用来引导电磁波的导体称为波导。沿着长线传播的电磁波为横向电磁波,它的电场都与波的传播方向垂直。电场与磁场的方向都在导体横截面内,电场与磁场不是交链的,所以电场具有静电场的性质,磁场具有恒定磁场的性质,即具有稳定的场结构。这种场结构是受导体中的电荷和电流的控制,并与电磁波纵向传播有关。

在自由空间电磁波的传播,与电流在导体内的传播有很大的差别。在自由空间,电场强度与磁场强度的比值很大;对离开导体很远的地方的波来说,这一比值是377欧姆。而

在良好导体中，微弱的电场会产生很大的电流，因此借助于导体可以得到有效的传输。

我们将感应天线置于传输线下，感应天线与传输线的距离远小于波长，在感应场的作用下，产生的感应电流沿着传输线传播。

三、感应电话的原理方框图

感应电话的原理方框图如图 1—1 所示，主振级由自激振荡器和射极输出器组成，用以产生等幅的载频信号波。为了

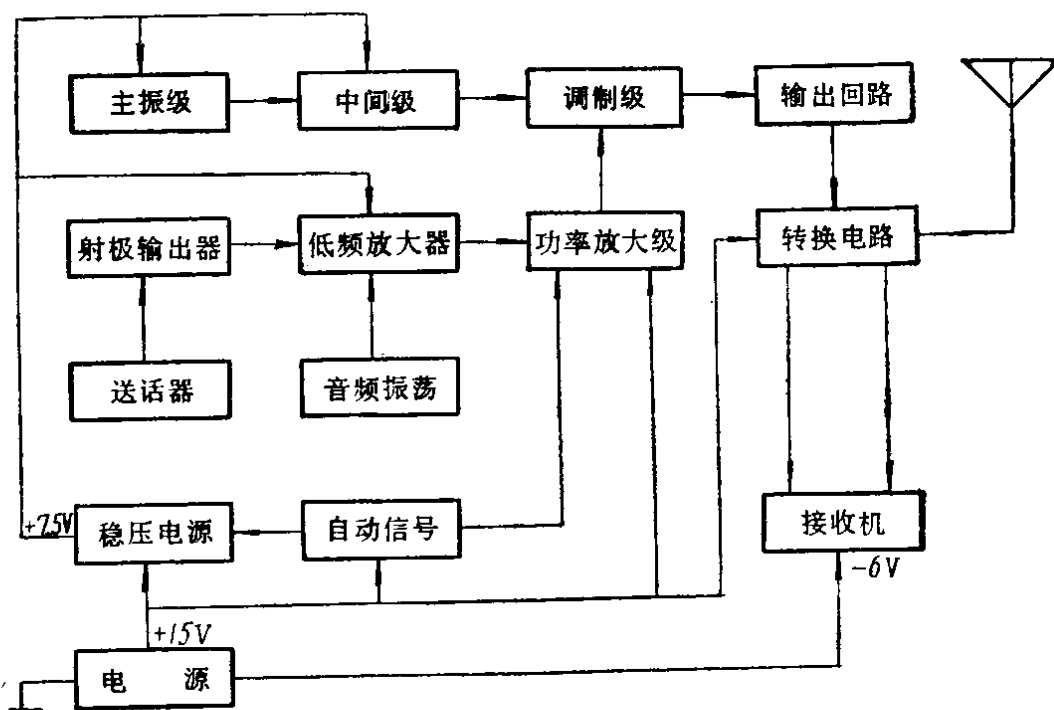


图 1—1 感应电话的原理方框图

保证振荡器的稳定工作，用射极输出器将振荡器和中间级隔开，避免了频率的牵制作用。由主振级输出的等幅载频信号激励中间级，中间级是一个选频放大器，将等幅的载频信号进行放大，送到调制级。送话器将语言的机械振动转换成电信号，送到射极输出器，经其变换阻抗送入低频放大器进行

放大。由低频放大器的输出激励低频功率放大级，使其产生足够的音频功率进行振幅调制。功率放大级的负载就是调制级。调制级本身又是一个高频功率放大器，它的输入由中间级来激励，因此中间级的负载就是调制级的输入回路；低频功率放大器输出的音频信号送入调制级的集电极回路，在这里完成集电极振幅调制。调制级的输出是具有一定功率的已调波。输出回路将感应天线和调制级连接起来，使其阻抗匹配，进行天线调谐。最后在感应天线上产生高电压，经过感应天线耦合到传输线上。以上是语言的传输过程。

本机可以输出任意长短的一千赫的音频信号用来呼叫或传递信号，一千赫的音频信号由音频振荡器产生，用按键来控制。话机转入“报”位，即将送话部分切除接入音频振荡器，此时高频信号即用一千赫的音频信号进行调制。

为了监视话机使其正常工作，每隔十秒左右送出一个持续一秒左右的一千赫调制的高频信号，表示话机工作正常。自动信号回路由一个不对称的多谐振荡器组成，每隔十秒输出一个宽为一秒的矩形脉冲，触发稳压电源，使高频振荡器和音频振荡器工作，完成信号输出。

接收和发送以及自动信号的发出是通过转换电路来完成的。电源采用15伏，主振级、中间级、射极输出器和低频放大级由稳压电源来供电。

第二章 振荡级

感应电话的载波是一个连续的等幅正弦振荡信号。这一信号是由振荡级产生的。它是一个自激的正弦振荡器。

一、振荡电路

晶体管振荡电路种类很多。按照放大电路形式可分为：共发射极、共基极、共集电极电路。按照反馈形式可分为：变压器反馈、电感反馈（电感三点式）、电容反馈（电容三点式）电路。根据调谐地点可分为：发射极调谐、基极调谐、集电极调谐电路。根据振荡器所使用的元件可分为：电感电容振荡电路（即 LC 振荡器）、电容电阻振荡电路（ RC 振荡器）、晶体振荡电路。图2—1所示的电路为共发射极电感反馈集电极调谐振荡电路。图2—2是振荡电路的高频等效电路。

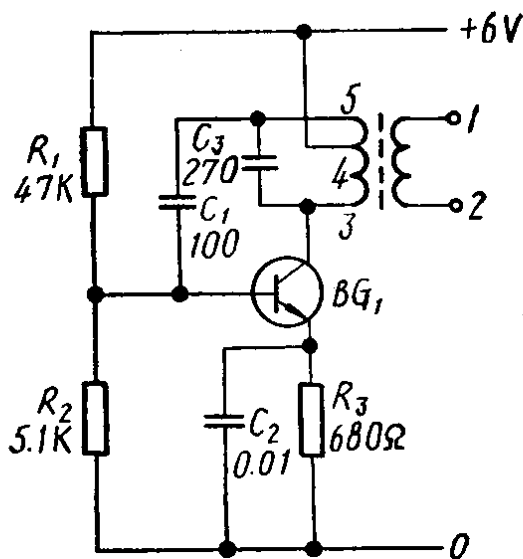


图 2—1 共发射极电感反馈集电极调谐振荡电路

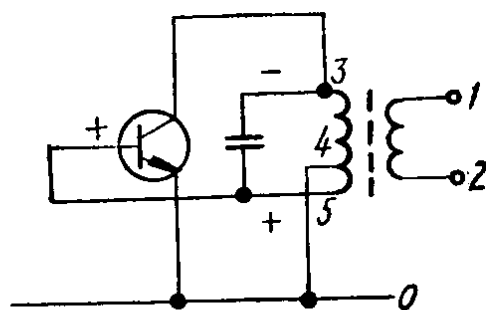


图 2—2 振荡电路的高频等效电路

等效电路, R_1, R_2, R_3, C_2 组成偏置电路。晶体管 BG_1 的直流工作点为 $0.3 \sim 0.4$ 毫安。 BG_1 是 NPN 型晶体管, 其型号为 3 DG6。其特征频率 f_T 大于 100 兆赫; 共发射极电流放大系数 β 值在 $30 \sim 70$ 之间。集电极回路接有中频变压器 TTF-2-9, 3 端接集电极, 4 端接电源的正极, 5 端接反馈回路, 振荡器的输出由 1、2 端引出。3、4 端为 114 匝; 4、5 端为 48 匝; 1、2 端为 25 匝。3、5 间的电感是可调的, 其调整范围为 $340 \sim 420$ 微亨。5 端到 BG_1 的基极接有聚苯乙烯电容器 C_1 , C_1 不仅是为了隔离直流接通正反馈, 同时也可以控制反馈量的大小。 C_1 数值的大小对振荡器的工作状态和波形都有影响。 C_1 选值过大使反馈系数 β 值增加, 晶体管进入饱和区较深, 波形不好; C_1 过小往往不能满足起振条件。

二、基本原理

在图 2—1 的振荡电路中, 如果将电容器 C_1 和晶体管 BG_1 之间断开, 这一电路就是一个高频放大器。在电路的输入端, 即在基极回路里没有输入信号的话, 那么在 BG_1 的集电极回路里, 只有确定工作点的直流电流, 没有放大的信号。在中频变压器的 1、2 端也没有交流信号输出。将电容器 C_1 与 BG_1 的基极接通以后, 在输出端即有高频的振荡信号输出了。电容器 C_1 和线圈的 4、5 端组成了正反馈网络。

为了便于分析, 将图 2—1 的振荡电路, 化为如图 2—3 所示的方框图。其中包括放大器和反馈网络两部分。若在

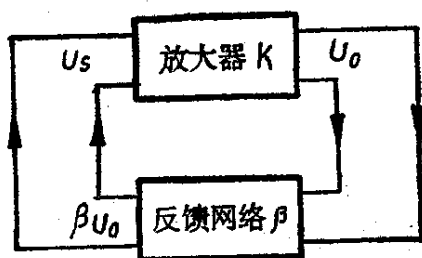


图 2—3 振荡电路的方框图

放大器的输入端加上一个输入信号 U_s , 经过放大器放大后输出电压为 U_o ($U_o = K_0 U_s$, K_0 为放大器的增益), 然后再经过

反馈网路（其反馈系数为 β ），将输出信号的一部分 βU_o 。反馈（正反馈）到输入端，即反馈信号与输入信号同相位，它们之间的相位差为0或 $2n\pi$ （ $n=1, 2, 3 \dots$ ）。反馈的结果将加强原来的信号，如果反馈信号的幅度又足够大（满足 $\beta U_o \geq U_s$ ），即反馈回到输入端的信号大于或等于原来的输入信号时，即使将输入信号撤掉，电路也能维持有信号输出，这样就形成了振荡。具有正反馈的放大器放大倍数 K_f 为：

$$K_f = \frac{K_o}{1 - \beta K_o}$$

式中 K_o ——放大器的增益；

β ——反馈网络的反馈系数。

上式中，正反馈时 βK_o 为正值。可见，正反馈放大器的放大倍数 K_f 比无反馈时的放大倍数要大，当 $1 - \beta K_o = 0$ 时（即 $K_o \beta = 1$ ）， $K_f \rightarrow \infty$ ，这表示没有输入信号也能维持输出即自激振荡。

由上面的分析，可得出振荡器必须具备的两个基本条件：

（一）相位平衡条件

为使电路正反馈，反馈信号与输入信号同相，它们之间的相位差应为：

$$\varphi = 0 \text{ 或 } \varphi = 2n\pi \quad (n = 1, 2, 3, 4 \dots)$$

（二）振幅平衡条件

反馈信号的振幅应该大于或等于输入信号振幅，即：

$$\beta U_o = \beta K_o U_s \geq U_s$$

则

$$\beta K_o \geq 1$$

只有满足上述两个基本条件，电路才能形成自激振荡。

从图2—2的高频等效电路中可以看出，由回路反馈回

到基极回路的信号是同相位的。振荡器的起振并不需要外加信号，它只要电路内部存在某种扰动，如电流接通瞬间过程、电路内部的热扰动等等，这些都会产生微小的电压变化。它通过电路的正反馈逐步增强，最后形成振荡。

电路起振以后，每经过一次由输入到输出再到输入的循环，信号的幅度就增大一次，这一过程在很短的时间里重复多次。但是它并不会一直无限制地进行下去，因为晶体管的特性曲线并不是线性的，当由于正反馈使电路信号不断增加时，必然会导致管子进入非线性工作区域。于是，放大器的放大倍数将下降，使反馈信号的幅度有减少的趋势，最后达到一个相对稳定的振幅。所以说振荡开始时，它的趋势是 $K_0\beta > 1$ ，而由于非线性元件的作用使 K_0 逐渐减小，最后达到 $K_0\beta = 1$ ，而得到稳定的振幅。

由于晶体管 BG_1 的集电极回路里接有电感和电容，使之具有选频特性，即具有单一的频率，由线圈3、5端的电感 L 、 C_3 的作用使之得到单一频率的正弦振荡。

由此可知，自激振荡器由以下三部分组成：

1. 放大器；
2. 选频反馈网络；
3. 非线性元件。

振荡器所产生自激振荡的频率，由谐振回路的参数来决定。其频率可以近似表示为：

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

式中 L ——为3、5两端的电感量。

三、平衡点的稳定

由前面的分析，已经导出了振荡的平衡条件。但是振幅

的平衡条件只能决定振荡能否产生而不能决定产生后是否稳定。平衡点可能是稳定的也可能是不稳定的。稳定就是当自激振荡由于外界因素的扰动（如温度的影响、电源电压的变化等）而破坏了原来的平衡状态时，它能够自动地回到原来的状态。不稳定就是当发生了轻微的扰动，自激振荡离开原来的平衡位置，而且越离越远，最后振荡器停止工作。

对振荡器中的放大器来说它的输出电压取决于输入电压，这一关系用振幅特性来表示（即输出电压的振幅 U_{om} 和输入电压的振幅 U_{sm} 的关系曲线），如图2—4所示。从图中可以看出，当 U_{sm} 较小时，振幅特性基本是线性的，即振幅的输出电压与输入电压成正比，表现于曲线的直线部分。但当 U_{sm} 较大时，振幅特性出现弯曲， U_{om} 和 U_{sm} 不成正比变化，这是因为放大器的工作状态已进入晶体管特性曲线的非线性部分，而使放大器的增益下降。这一特性可以用试验的方法求出。

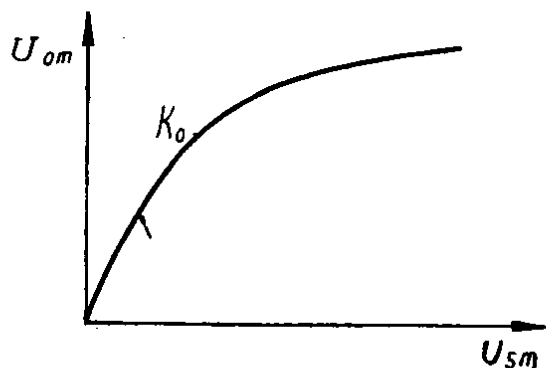


图2—4 放大器振幅特性

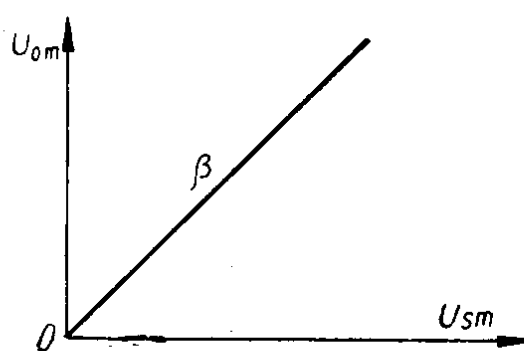


图2—5 反馈电路的反馈特性

对振荡器的反馈网络来说，反馈电压幅值 U_{sm} 和放大器的输出电压幅值 U_{om} 的比等于中频变压器中的4、5端的匝数 N_2 与3、4端的匝数 N_1 之比。即反馈系数 $\beta = \frac{N_2}{N_1}$ 。可见反馈特性（反馈电压幅值与放大器输出电压幅值之比）是线性的，如图2—5所示。

知道了反馈电压可由振幅特性求出输出电压；输出电压知道后，可以由反馈特性求出反馈电压。将两个特性画在同一个坐标中如图 2—6 所示。

当电源接通以后，在基极回路里，输入端存在一个微小的电压 U_{sm} ，这个电压经过放大，可以由振幅特性（1点）求出输出电压 U'_{om} ，这一电压经过反馈网路反馈到输入端，它的反馈电压可以由反馈线（2点）求出 U''_{sm} 。由图 2—6 中可以看出，由于晶体管的放大作用，反馈电压 $U''_{sm} > U'_{sm}$ 。通过放大—反馈—放大，输出电压的幅值就从小到大的增长（沿着 $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 4$ 的线路到 A 点）。当输出电压增长到两条特性曲线的交点 A 时，振荡就达到稳定平衡。此时如果外界影响有一个微小的变化 ΔU_{sm} 时，使振荡离开了平衡点，由图可以看出，这时反馈电压的输出电压可以从振幅特性（8点）求出，也就是这一输出电压再

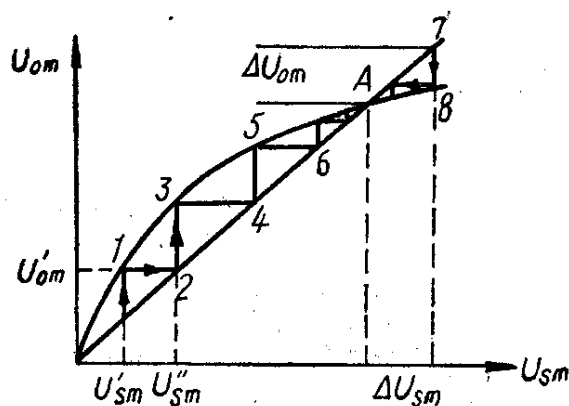


图 2—6

经反馈放大之后得到的输出电压比原来的减小了，最后仍然回到平衡点 A ，因此 A 点是振荡器振幅稳定的平衡点。

四、振荡器的波形

由于振荡最后要达到振幅平衡，必然会出现非线性工作状态，例如工作在饱和或截止状态。晶体管的输出阻抗和下级的输入阻抗反射到 LC_3 回路两端，便可构成一个等效的损耗电阻 R （如图 2—7 中所示）。它对 LC_3 回路的 Q 值有

很大影响，而且会影响到振荡波形。当晶体管工作进入截止区时，由于这时晶体管的反向阻抗很大，因此对 LC_3 回路的影响就较小，谐振回路的 Q 值较高，其两端的波形为正弦波。但是，当晶体管工作进入饱和区时，由于晶体管的输出

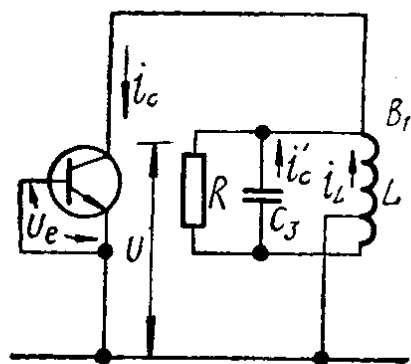


图 2—7

阻抗急剧下降，从原来线性区的 $10^4 \sim 10^5$ 欧姆下降为十几欧姆，这样小的阻抗几乎将 LC_3 回路短路，此时回路的 Q 值极低，于是波形便发生了严重的失真。图 2—8 (a) 为晶体管工作到饱和区时的波形图。自上而下为 LC_3 回路两端的电压 U ，电容器中的电流 i_c' ，电感 L 中的电流 i_L ，集电极电流 i_c 。图中 $t_1 \sim t_2$ 时间对应于晶体管处于饱和区。电容 C_3 中的电流 i_c' ，在相位上引前于电压 U 90° ，而电感中的 i_L 滞后于电压 U 90° 。由于晶体管处于饱和区，因此，电压 U 不能变化了，它保持为一常数，相应地，由于电容器 C_3 两端的电压不变，因此电流 i_c' 马上下降到零（因为 $i_c' = C_3 \frac{dU}{dt}$ ，当 $U = \text{常数}$ 时， $i_c' = 0$ ），并在 $t_1 \sim t_2$ 时间内保持为 0。然而，当保持电感两端的电压不变时，其电流 i_L 将随时间直线增加，集电极电流 $i_c = i_c' + i_L$ ，开始时由于 i_c' 急剧下降， i_L 变化很小。所以 i_c 也急剧下降，然后，随着 i_L 的增加而线性增加。由于集电极电流的这个变化，将引起发射极电流的相应变化。这一过程一直持续到由于 i_L 的增加而使 i_c 增加到管子退出饱和区时为止。此时各点才恢复到正弦波。因此，当振荡太强而致使电路进入饱和区时，将引起波形的严重失真。为了避免这一点，可以通过改变反馈线使进入饱和之前即达到稳幅，这时对应的波形如图 2—8 (b) 中所示。

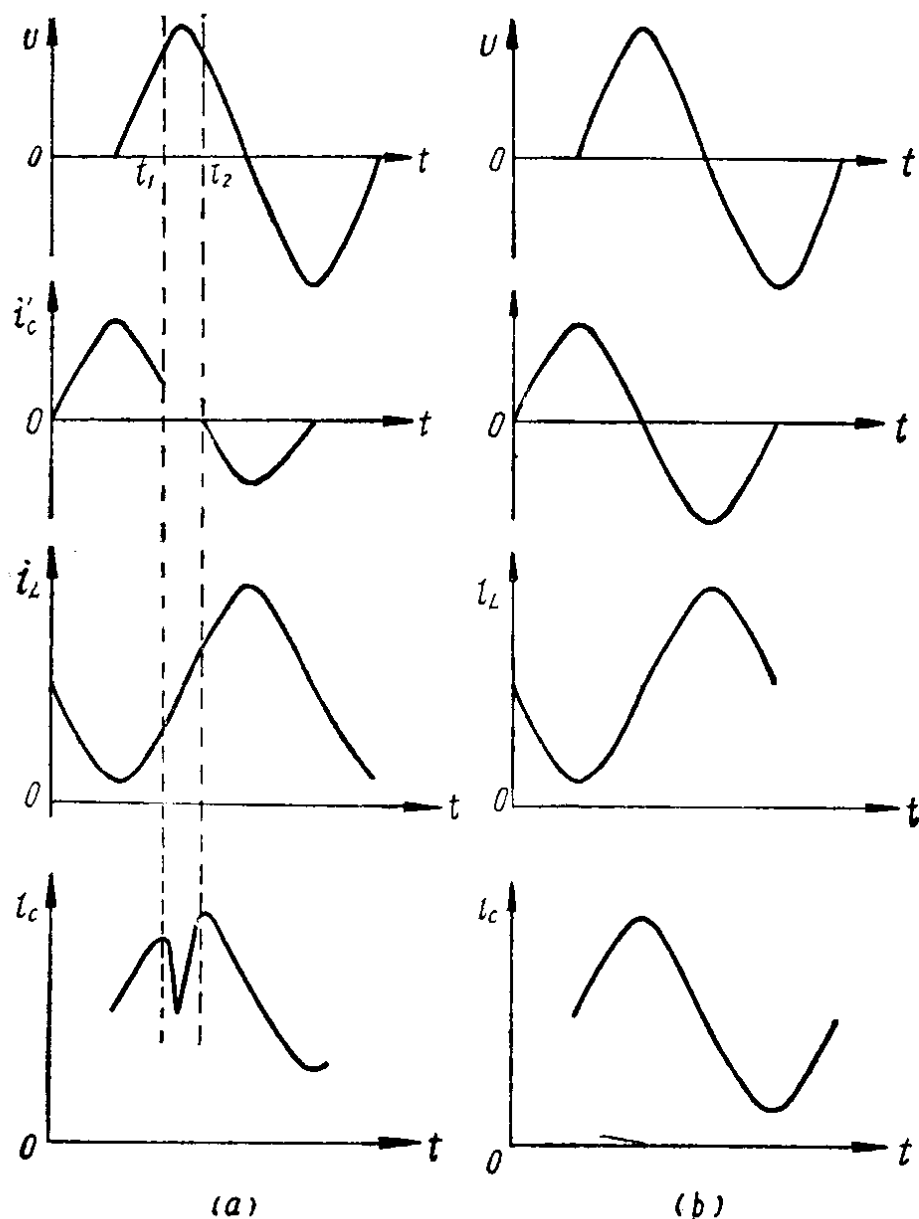


图 2—8

(a) 晶体管工作在饱和区的波形图 (b) 晶体管进入饱和区之前稳幅波形图

五、振荡频率的稳定

感应电话对频率的稳定性要求不高。频率的稳定度是用频率变化的相对值来表示的，以 $\frac{\Delta f}{f_0} \%$ 表示频率的稳定度。

其中 f_0 是振荡频率， Δf 是偏离振荡频率的增量。

促使频率发生变化的原因有：