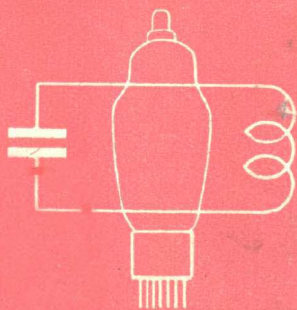


实用电子仪器 (3)

寇尚曾 賀名琛 著



人民邮电出版社

- (1) 超声波探伤器.....(1)
- (2) 脉冲超声波鋸鋸槍.....(8)
- (3) 超声波染色.....(16)

1. 概 述

人类的听觉是有一定范围的,并不是所有的声音我們都能听见。我們所能听到的声音的振动频率,一般是在 20 赫到 20000 赫之間,低于 20 赫的叫次声波,高于 20000 赫的叫超声波。就波長來說,超声波比普通声波波長約短 800 到 2000000 倍,例如鋼琴 C 調的声波在空气中的波長約为 130 厘米,而超声波則为 1.6 到 $0.6(10)^{-6}$ 厘米。

由于超声波的波長短,所以它和光波一样可以聚集成束,定向地傳播。此外,超声波能依靠介質以縱波形式向前傳播,也就是介質質点的位移方向和超声波的傳播方向相同,因此能借質点位移而透过密度較大的固体,衰减很小。

X 射綫只能透入金屬里面 20 厘米到 30 厘米,所以只能用来檢查比較小的零件。此外, X 射綫只能發現比較大的缺陷。倘工件的厚度为 20 厘米,用 X 射綫透視只能發現不小于 4 毫米的裂縫,而这样大的裂縫是很少的。超声波能通过極厚的金屬几乎並不减弱,但是金屬中的任何缺陷,例如裂縫、气孔,对超声波來說都是不可克服的障碍,所以遇到缺陷时便产生反射。在被檢查的工件中送入一个短促的超声波(脉冲),碰到裂縫时超声波便反射回来,根据反射回来的

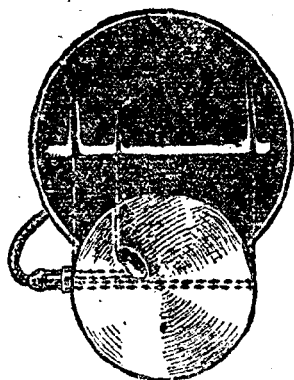


图 1

超声波的大小，可以知道裂縫的大小，又因为超声波的傳播速度是一定的，所以根据超声波返回時間的長短就能知道裂縫的深度（圖1）。这种利用超声波来探测工件中裂縫、气孔等伤疵的仪器叫做超声波探伤器。

超声波探伤器試驗时不必破坏材料，不受工作厚度限制，操作简单，不但可以檢驗原材料、成品，而且还可以檢查裝配后的或正在裝配或正在使用中的另件。

这里介紹一种用于金屬的超声波探伤器，它可以探测直径不小于 20 毫米，长度为 15~2500 毫米的工件。

2. 超声波探伤器的構造和工作原理

超声波探伤器的方框圖如圖 2 所示，它由超声頻电脉冲發生器、探头、接收机、示波器、电源所組成。

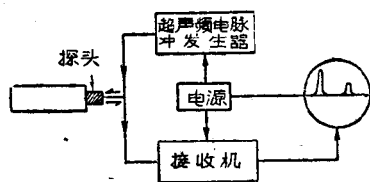
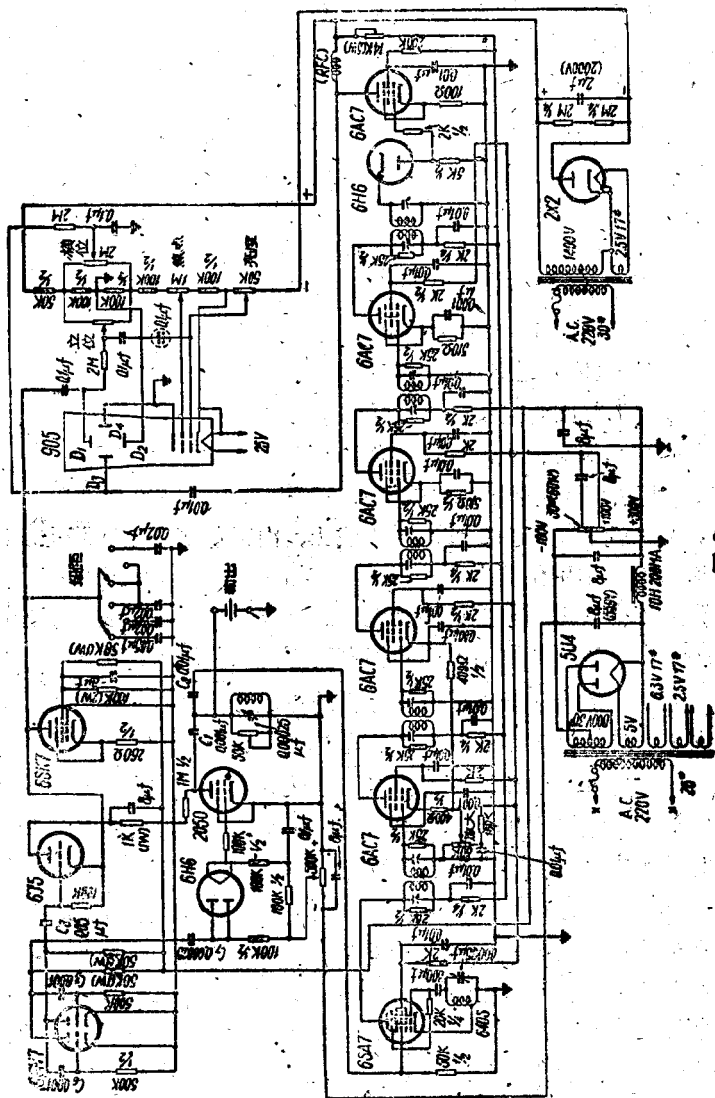


圖 2

超声頻电脉冲發生器产生超声頻电脉冲，一小部分进入示波器显示出一个脉冲，而大部分加在探头內的压电晶体片上，激励起超声頻振蕩，射入工件中，以每秒 5000 米的速度从工件表面

到达底部，再反射回来，作用在压电晶体片上，变成电信号。这个电信号經接收机放大、檢波后，变成單極性的电信号，加在示波器垂直偏向板上而显示出反射脉冲。

超声波探伤器的整个綫路圖如圖 3 所示。圖中 6SN7 双三極管接成多諧振蕩器，在左三極管板極上输出的矩形波通过 0.00025 的电容器和 100 K 的电阻構成的微分电路而加在接成二極管的 6H6 的板極上。矩形波通过微分电路后变成两个尖齿电压（圖 4）：一个是由脉冲前沿产生的正尖齿电压，另一个是脉冲后沿产生的負尖齿电压。



由于二極管具有單向导电作用，只有正尖齿电压能通过二極管而加在 2050 閘流管的柵極上。平时，閘流管因柵極上加着負压而截止， $0.001 \mu f$ 的电容器通过由綫圈、可变电容器及电位器構成的振荡回路而被电源充电至电源电压。当正尖齿电压加在閘流管柵極上时，負压被抵消，結果 2050 管便导电，內阻减小，形同短路， $0.001 \mu f$ 电容器便通过 2050 管而放电，放电脉冲电流在振荡回路中激起超声頻振荡，迫使晶体以它的固有振动頻率产生超声頻机械振动。一小部分超声頻振荡通过 $0.01 \mu f$ 的电容器进入由 6SA7、6H6、5 只 6AC7 組成的接收机，最后加在示波管的垂直偏向板上，使螢光屏上产生一个光脉冲。随着电容器的放电，2050 管的板压也就下降，2050 管又恢复截止。由工件底上或缺陷上反射回来的超声波作用在晶体上而产生超声頻电压，它也通过 $0.01 \mu f$ 电容器进入接收机。經接收机放大后的电脉冲同样在示波管螢光屏上产生一光脉冲。根据兩光脉冲相离的距离，就可断定伤位。

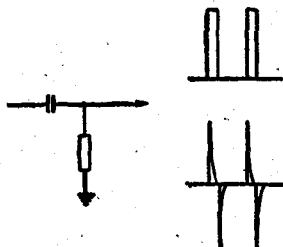


圖 4

当 6SN7 右三極管板極上輸出的正矩形波加在 6J5 的柵極上而使它导电时，高压便通过它而加在 6SK7 的板極上，使接在板路中的电容器充电。当 6SN7 輸出負矩形波时，6J5 被截止，电容器通过 6SK7 作均匀放电，即电容器上的电压与时间成綫性地下降。这个电压加在示波管的水平偏向板上，作为扫描电压。

接收机是超外差式綫路，6SA7 作混頻管，6AC7 構成四級中頻放大，6H6 作檢波，最后由 6AC7 作視頻放大。这里使用 4 級中放是为了能接收比主脉冲弱 10 万倍的信号。接收机末級板路中有一只蜂房式高频扼流圈 RFC：防止高频进入示波管。

这里有两个整流器：一个供給示波管的加速高压，一个供給接

收音机、超声频电脉冲发生器中各电子管的板压。前者用2X2管裝成半波整流器，輸出整流电压高达2000伏。因为滤波器的放电电流很小，所以只用一个电容器，它是耐压为2000伏的油質电容器。与电容器並联着4兆欧的电阻，使輸出电压稳定。后者用5U4構成全波整流器，它的輸出端並联着分压器，以取得不同数值的电压。

3. 制 作

2050 間流管板路中的振蕩綫圈是用26#的漆包綫在直径为3/4吋的綫圈管上繞45圈。

接收机混頻級所用的綫圈是美通出品的640S型綫圈，可变电容器可將两个再生电容器的轉軸接在一起做成。中頻变压器用收音机中頻变压器改裝，只利用它的外壳、中心肢桿及垫整电容器。將原蜂房綫圈拆下，用26号漆包綫在原桿上繞两个綫圈，每个20圈，相距1毫米，鉚牢在原有的垫整电容器上。兩綫圈的繞向應該一致。高频扼流圈KFC使用美通610S型，只用天綫綫圈部分。

整个机器在底壳上的佈置情形如圖5所示。机壳外形示于圖6。

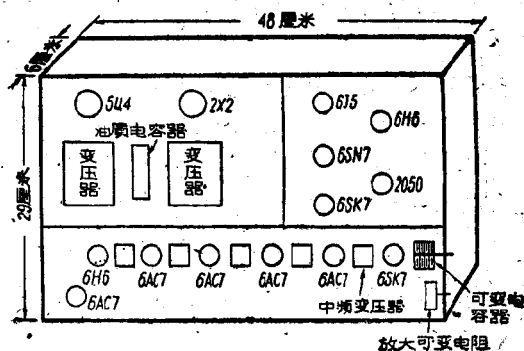


圖 5

探头通常采用鈦酸鋇晶体作为压电晶体，它的發射力强，也牢固，但不易購到。也可以采用石英作为压电晶体，石英的發射力比鈦酸鋇低，所以接收机所需的放大級数較多，以补偿信号低的弱点。裝晶体的探头底座用膠木車成圖 7 所示的錐形，中間鑽两个大小不同的孔：一个直徑为 6 毫米、長 30 毫米的孔，另一个直徑为 3.5 毫米、長 5 毫米。探头底座表面應該很光潔地加工。將一根多芯隔离綫穿过一根長約 35 毫米的銅管，再將銅管插入膠木座中心孔內。

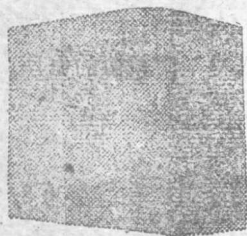


圖 6

將隔离綫一端的絕緣剝去，把心綫劈开，向四周散开，弯折或貼在探头底座平面上的一个圓平面上。在这个銅絲圓平面上塗上万能膠后，將直徑約为 23 毫米的、表面塗有銀層的晶体輕輕放在底座上，用一重物压在片上，然后將万能膠塗在晶体片的邊緣，即可將片黏住。粘好后，不必在太陽下晒，可听其自然干牢，膠水不要塗得太多，应防止膠水塗在片上。一次粘不牢，可粘第二次。万能膠系將廢膠片剪碎后泡在盛有香蕉水的瓶中制成的，瓶子要盖紧，以防香蕉水蒸發。膠片完全溶解后即成万能膠，但应注意不能太稀，如膠液能拉成長絲不断，即可使用。隔离綫穿出銅管的地方，應該用錫把隔离綫外壳与銅管鉚住，以免使用日子一久而被磨断。在隔离綫外壳上应鉚上一根導綫，以便在探伤时和工件相接。

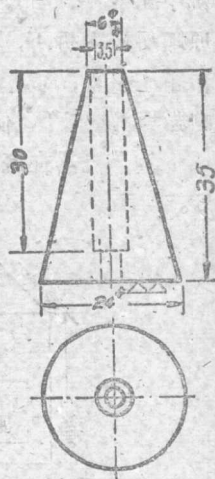


圖 7

4. 調 整

全機裝好後應按綫路圖仔細進行檢查。無誤後，接上電源，首先看螢光屏是否有水平發光綫出現。如果出現的是一個光點，那末掃描部分有毛病，應檢查 6J5 和 6SK 7。探傷器有無超聲頻振蕩輸出，可用放在附近的普通收音機來檢查（無論在中波段或短波段）。如無輸出，應檢查 6H6 及 2050 電子管。接收機應首先調整中頻放大器，然後將探頭放在工件上，在示波管上觀看顯示的脈沖。調節本机振蕩回路和輸入振蕩回路，直到顯示的脈沖幅度為最大。探傷器工作後，不妨輕敲工作着的各部分零件，同時注意螢光屏，如某零件接觸不良，顯示就被破壞，這樣就能及早發現接觸不良處而加以消滅。

螢光屏上可蒙上一層透明的賽璐珞薄片，其上每隔一厘米刻一條綫。找幾條不同長度的鐵棒，將其長度量出，把探頭放在鐵棒的一端，反射脈沖與主脈沖間的格數即相應於鐵棒的長度。經多次試驗，便可確定每一刻度所代表的距離。

5. 使用時的注意事項

1. 必須使探頭與被探物緊密接觸，中間可加變壓器油或稀油，以排出其中不傳導超聲波的空氣。
2. 被探物表面必須光滑，太粗糙的表面會產生散射，大大減弱探傷效率，有時甚至連主脈沖也不能顯示，因此須將表面挫平。
3. 晶体本身有 11 度的散射角，因此部份直射波走近路，退回早些，離主脈沖較近，一部分因多次反射而走了遠路，返回較遲，離主脈沖較遠（圖 8）。實際材料的長度或傷痕位置，應以第一尖峰為準。
4. 拿晶体的手用力要均勻。移動探頭時，手不要用力，只輕輕

扶住即可，探畢后，晶体要沿平面滑下，不可直取，以免粘掉晶体。
晶体要經常保持干燥，防止受潮。（北京市電車公司）

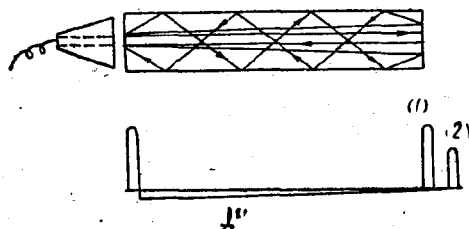


圖 8

脉冲超声波鋸鋁槍

一般收音机及电信器件等的底板都是用鉄板做的，可是我国鉄板供不应求，鋁板却能大量供应，我們自然可以用鋁板来代替鉄板。但是用鋁板的最大困难是不易鋸接，因为鋁的表面極易被氧化，以致鋸錫不能紧貼在鋁表面上，而在烙鉄加热时則又进一步促进鋁表面的氧化作用。

近来超声波鋸鋁槍已获得广泛运用，超声頻鋸鋁的主要工作原理是利用磁致伸縮現象，使烙鉄头在焊接时不断作超声頻机械振动，以剝离鋁表面的氧化層，使焊錫能直接紧貼在鋁上。

我們最近参考苏联基輔超声波試驗室的資料（登載于1958年5月份的 Радио 杂志）試制成了一种新型鋸鋁槍。由于采用了特殊綫路和交流供电，故使綫路大为簡化，所用另件亦較一般鋸鋁槍省得多。用来鋸鋁皮鋁板和無綫电底板都得到了滿意的結果。这种鋸鋁槍頗适合無綫电工業及类似工作之用。

(一) 电路特征和工作原理

鋸鋁槍的主要部份是一个將电振盪轉換为机械振盪的換能器。換能器、變速器及烙鐵头的組合如圖 1 所示，換能器的等效电路如圖 2 所示。其中， L_0 是換能器激勵繞组的电感量， R_0 是換能器線心的等效損耗电阻； L_M 代表換能器質量所形成的等效电感； C_M 代表換能器柔順性的等效电容； R_M 代表換能器振动反作用和摩擦損耗的等效电阻。在这个电阻上消耗的功率愈大，則振動子的机械振盪輸出功率也愈大。因此，很明显的，当 L_M 、 C_M 、 R_M 迴路串联諧振时其輸出功率为最大。所以換能器激勵振盪电流的頻率应等于 L_M 、 C_M 、 R_M 迴路的串联諧振頻率。这个諧振頻率决定于振動子

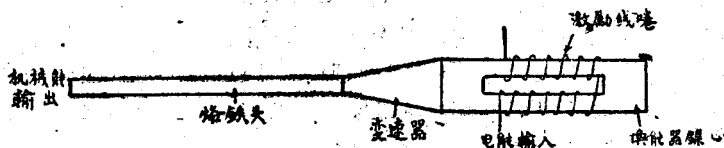


圖 1

的長度、溫度、烙鐵头与鋸接物的接触情况等。在鋸接时由于接触情况不断变化，等效串联諧振頻率可能变化 3—5%，如果激勵振盪电流的頻率固定不变，輸出功率

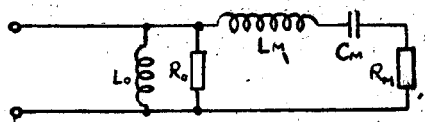


圖 2

就会因失諧而降低。所以激勵电流的振盪頻率必須自动随着等效串联諧振頻率的变化而变化。这样才能永远保持串联諧振而得到恒定的最大輸出功率。为了这个目的，一般的超声波鋸鋁槍大多采用通

过换能器反馈的机电反馈振荡电路来控制振荡频率。但这种电路比较复杂（見圖 3 和 4）。我們所采用的激励振荡电路不用上述机电反馈而用电反馈。这样，不但使鐳槍和激励振荡电路都大为简化，而且还增加了可靠性。电路在工作頻帶內仍有自动調节性，这是本线路的第一个特点。

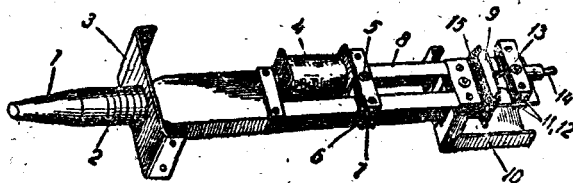


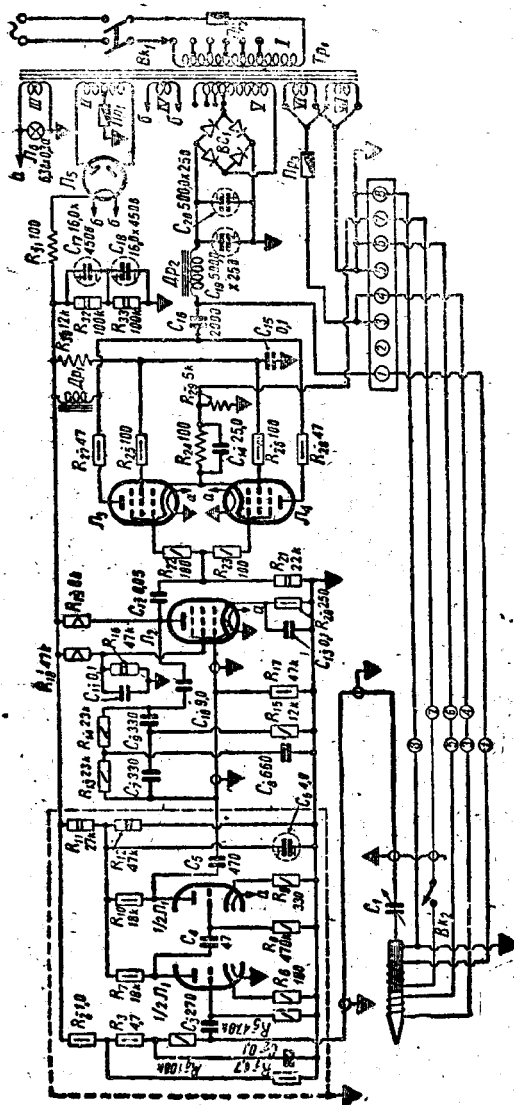
圖 3

圖 5 所示就是我們所采用的激励振荡器的电路，其实就是一个有电流正反馈的推挽功率放大器。他的負載由激励繞圈和电容器 C_0 並联組成。 C_0 的作用是在工作頻帶中补偿激励繞圈电感 L_0 ，使当激励頻率等于 L_M 、 C_M 、 R_M 等效迴路的串联諧振頻率时負載是純电阻性的，振荡回路的振荡頻率等于振动子的自然振荡頻率，也就是 L_M 、 C_M 、 R_M 等效迴路的串联諧振頻率。如果烙铁头的接触情况变化而影响到振动子的自然振荡頻率，則其等效参数 L_M 、 C_M 及 R_M 亦变化，振荡电路的振荡頻率也將随着改变，以满足电振荡所要求的相位关系，这就完成了自动調节作用。

反馈电压經变压器 TP_1 升压后通过 C_2 与 C_3 加到电子管的栅極。

电容器 C_1 的作用是与变压器 TP_1 的次級电感諧振，变压器 TP_2 的作用是使負載与电子管匹配。

为了得到單方向的激励电流，需要在激励繞圈中通入一个直流偏流。本电路的第二个特点是用 50 赫的交流电源供給这个偏流（由 TP_3 的第三繞圈供給）。此外，板压和帘棚压也均由 50 赫交流电源直



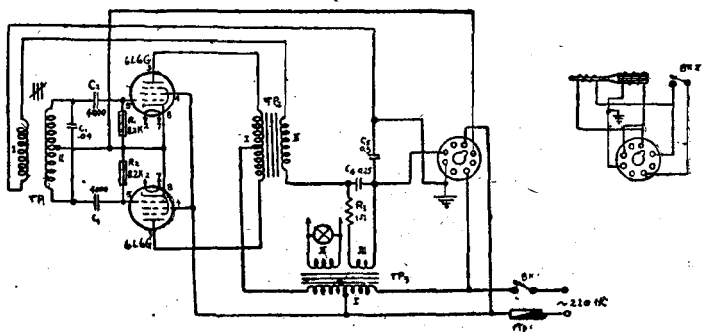


圖 5

接供給。这样就可以省去整流部份使电路大大简化。电子管的帘栅压直接由 220 伏交流电源供给，板压由于 TP_3 的升压作用约有 410

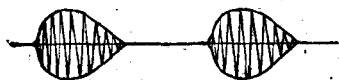


圖 6

伏。因板压与帘栅压是直接用电流供电，故振荡器是脉冲式地工作。脉冲功率相当大，这种脉冲工作电路相当于一个超再生振荡

器，外辉熄频率是 50 赫。负载上电压的波形可用示波器观察如图 6 所示。振荡电路虽然是脉冲式地工作，但是换能器却由于机械惯性可以连续不断地振动。

电阻 R_3 的作用是控制激励偏流， C_4 是超音频激励电流的旁路电容器，使超声频部分不因 R_3 及线圈 III 而受阻碍。换能器的振动频率约为 20000 赫。

二 制作与使用

激励振荡器所用的另件都是无线电电机常用的另件。电子管用二只 6L6G 或 807。所有的电容器都可用纸电容器，电阻都可用炭阻（ 1Ω 的电阻用一段镍铬丝绕制），数值都已注明在图 5 中。各变压器的数据如下：

① TP_1 —用 12.6 毫米外徑的紙柏管，先繞次級 1200 噐，中心抽頭，用直徑為 0.1 毫米的漆包綫，繞長約 30 毫米。在次級繞噐上再繞初級繞噐 50 噐，用直徑為 1.08 毫米的漆包綫。鉄粉心為 $M8 \times 16$ （可用收音机陷波繞噐鉄粉心）。

② TP_2 —初級為 2×400 噐，所用導綫為 0.15 毫米的漆包綫。次級為 60 噐，用 1.08 毫米的漆包綫。鉄心為一般矽鋼片，大小為 III22，疊厚為 20 毫米。

③ TP_3 —初級(I)為 1131 噐（用 0.31 毫米漆包綫）+1142 噐（用 0.19 毫米漆包綫）。次級(II)為 33 噐，用 0.93 毫米漆包綫。次級(III)為 28 噐，用 0.8 毫米漆包綫。鉄心為 III22，疊厚為 33 毫米。

振動子可分為三部份：

①換能器（如圖 7），②變速器（如圖 8），③烙鉄頭（如圖 9）。

①換能器——用 0.2 毫米厚的鎳皮制成，疊厚為 8.4 毫米（42 片），用螺絲固定，鎳片的热處理

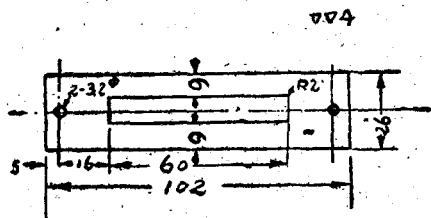


圖 7

法如下：把鎳片放入麦法爐①中，燒至 800°C ，即取出，冷卻后在

①麦法 (Muffle) 爐就是帶有自動定溫控制的電爐。其它任何形式的密封電爐只要溫度能達到 800°C ，且有溫度指示的都可以。上海馬當電器工業社出品的“茂福”爐也合用，但溫度指示器的最小讀數是 20°C ，所以每分鐘 5°C 看不出來。這時可以每 10 分鐘 50°C 的速度退火，只要关掉電源，讓爐溫在 40 分鐘內由 800°C 降至 600°C ，大致上就是上述速度。 600°C 以下需將爐門開啓（逐步增大開啓面積），才能保持上述降溫速度。

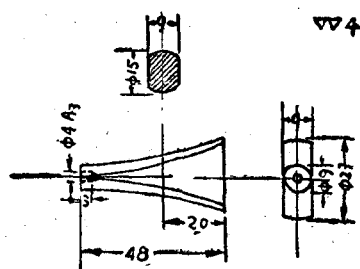


圖 8

鍍片表面即得一暗綠色之絕緣層。然後將鍍片疊齊，用螺絲固定，再放入麥法爐中，再熱至 800°C ，然後以每分鐘 50°C 之速度冷卻至室溫（控制每分鐘冷卻 5°C 不很容易，稍有出入亦不致有大影響），熱處理即告完成。②變速器——應該是指數曲線形狀的，以使得烙鐵頭的振動最大。用的材料

是鐵。

③ 烙鐵頭——用紫銅元車制。

上述三者用銀焊接

如圖一。

焊接完以後在換能器上繞上激勵綫圈，用 1 毫米的漆包綫繞 72 圈，每邊繞 36 圈，一

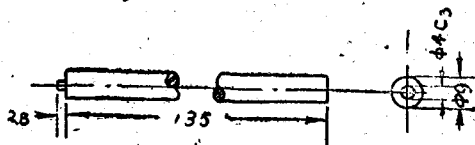


圖 9

層即可繞完。繞好後的振動子可裝入槍架如圖 8 所示。注意烙鐵頭固定之處，必須是振動波的波節處，亦即離烙鐵端頭 45 毫米處及烙鐵頭與變速器連接處，否則會影響振動。

烙鐵頭的加熱方法與普通電烙鐵一樣，可用鍍鉻絲（0.2 毫米的直徑）繞 400 歐（冷電阻），其功率約為 110 瓦。

必須注意的是換能器的激勵綫圈如果繞得太緊貼鍍心，則振動子就不會振動。在繞綫前可以先用幾片約 0.2 毫米厚的鐵片置于綫圈底筒與鍍心之間，待繞好後再將鐵片抽出，就可以不致太緊。

要判別振盪電路是否振盪可以用電子管電壓表（或靈敏度較高

的电压表亦可)量电子管的交流栅偏压,这个偏压约有9伏。如果不振盪則可將变压器 TP_1 的初級繞卷二个接头互換一下試之。

如果振盪器及振動子都情况正常,則振動子應該有机械振動,

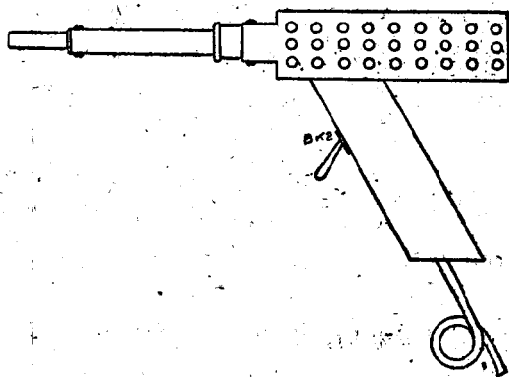


圖 10

判別是否有这种超音频振動的方法如下:

① 以手指触烙鉄头应有特殊振動感觉,彷彿有物要鑽入手指內似的。

② 換能器有嘶嘶叫声,如以烙鉄头压住金屬板則会有震动的感觉。

③ 以玻璃灯泡一只,內盛少許碎玻璃粉末,將烙鉄头置于玻泡底下則粉末会在玻泡內跳動,振動愈强,跳得愈高。

④ 用电子管电压表測量激励端电压,讀数約为50伏,如以热偶电流表串联于激励繞卷則电流讀数約为1安培。如果振動子不振動,則电压应很小,这是因为沒有由于磁致振動所产生的反电動势之故。

变压器 TP_1 的鉄粉心应調节到振動最强的位置,振動的强弱