

工业电子学实验

电工学教研室編

西安交通大学

1964. 2

工业电子学实验規則

1. 保持安靜，討論时应輕声交談。

2. 尊重和听从教师和實驗室人員的指导。

3. 同学进實驗室后按仪器卡核对仪器，如有差錯立即报告教师。

4. 在接通电源时必须注意电表讀数，在实验过程中一有不正常現象，应立即将总电源开断，不得改变現場情况，在教师指导下同学自行檢查原因，如发现损坏事故，应到仪器室办理登記手續，会同有关人員进行檢查。

5. 爱护国家财产，不得随意玩弄設備，使用仪器設備时应按照使用說明进行操作，轉动旋鈕时勿用力过猛。

6. 实验过程中必须注意人身安全，不許带电操作。

实验结束后应将仪器設備安放整齐、掛好接綫并在仪器卡上签名和做好室内清洁卫生工作。

8. 最后离室的一組同学負責关闭門窗，檢查电源是否切断。

工业电子学實驗室

目 录

工业电子学实验規則

实验一、电子学实验用元件和仪器的認識..... 1

实验二、具有滤波器的真空二极管整流器的研究..... 3

实验三、单管电压放大器..... 7

实验四、功率放大器.....11

实验五、 LC 自激振荡器.....14

实验六、 RC 振荡器.....17

附录:

一、电子示波器.....21

二、真空管万用表.....26

三、音频振荡器 (音频讯号发生器)28

四、直流稳压电源箱.....30

五、电路元件 (电阻、电感、电容)32

六、电子管符号識別, 使用注意事項, 电子管参数,
管座, 特性曲綫.....36

实验一 电子学实验用元件和仪器的认识

一 实验目的:

1. 学习电子学示波器的调节和使用方法。
2. 学习真空管万用表使用方法及认识电子稳压器。
3. 认识各种电阻、电容、和常用电子管的构造及了解其应用。

二、简述:

本实验是对在电子学实验中常用的电阻、电容、电子管和电子示波器、真空管万用表、音频讯号发生器、电子稳压器等电子仪器给予初步介绍,为今后各实验顺利进行打好基础。

对电阻、电容、电子管要求能加以识别,及了解在不同的具体条件下如何正确使用。

对电子仪器应了解组成它的基本环节并能熟练使用。尤其是电子示波器的使用比较复杂,需反复学习。同一仪器有很多不同型号,其构造大同小异,用法也大致相同,但需注意具体的技术规格。

元件的构造特性及仪器的结构和它们的使用方法均载明于附录。

三、实验内容和步骤:

实验室预习:

1. 阅读电子学实验室规则,听从教师指导,按次序进行

(1) 观察碳质电阻,碳膜电阻,漆线电阻各有何特点,如何使用,读出所给碳质电阻值;

(2) 参观空气、云母、陶瓷、纸质、电介液电容器,并了解其特点和应用场合;

(3) 观察常用电子管(二极管、三极管……)构造及其管脚的序号编

排,了解使用时的注意事项,查出所给电子管每个管脚所对应的电极。

认识电子示波器,真空管万用表及电子稳压器。

阅读实验报告。

实 验 室 实 验:

1.教师介绍电子示波器、真空管万用表及电子稳压器的使用。

2.应用真空管万用表测量 220V 交流电源,并相应地改变量程和接线端,以测量直流电子稳压器上各种直流、交流电压。

3.用示波器观察本身试验电压的波形,并研究各旋钮的作用,学习示波器调节方法,依次获得稳定、清晰的 1、2、4 个周期的波形。

注: (1) 实验时二人用真空管万用表和稳压器,另外二人使用示波器然后交换;

(2) 用仪器时,可参看实验附录中有关仪器的说明,帮助操作。

四、总结报告:

1.电子示波器: (在实验时注意下列现象)

A、示波器合上电源后,指示灯亮,但屏幕上无光点,那么我们应调节示波器上那些旋钮。

B、当在示波器 Y 轴输入端上加入一正弦波,但只看到一根垂直线,这是什么原因?

C、观察一电压波形,此波形在屏幕上跑动,我们可用什么方法才能使这波形稳定下来。

2.普通电压表与真空管电压表使用上有何异同。

3.阅读附录中电子示波器,真空管万用表说明。

注:实验用的交流电源

1.实验桌上有单相 220 V 交流电压插口 4 个,只要实验桌上总插头插入墙壁电源插口即有电压,它不受桌上任何其他开关控制。

2.单相交流电源不受各闸刀开关控制,所以对墙上开关板上的各闸刀开关,不要去开动。

实验二 具有滤波器的真空二极管整流器的研究

一、实验目的:

1. 学习检查线路和查读线路元件的规格。
2. 熟悉半波和全波整流电路。
3. 观察整流器在无滤波器和有滤波器时输出电压的电压波形, 和阳极电流波形。
4. 熟悉使用电子示波器和真空管万用表。

二、简述:

真空管整流器用作小功率的直流电源, 它包括三个组成部分: 变压器, 整流元件和滤波器。

依靠整流元件的单向导电性, 可以将网络的交流能量转换为直流的形式供给负载, 根据输出电压的要求可以把整流元件接成单相半波, 全波及其他整流电路。

为了减小输出电压的脉动, 在负载与整流电路之间需要接进由电感和电容 (小功率有时用电阻和电容) 组成的各种型式的滤波器, 由于脉动电流经过电感时, 可产生反对电流变化的自感电势, 反对电流的变化, 因而平稳了脉动电流, 电流越大则效果越好。而电容是和负载并联的, 由于电容器的充放电, 因而平稳了流过负载的脉动电流, 且使输出直流电压有所增高。按照这个原则, 可以将滤波器接成 C , L , RC , LC , Π 等型式。滤波器包含的储能元件 (C , L) 越多和 LC 值越大, 滤波效果越好。但对于使用电容输入式 (C, Π 滤波器) 在整流元件中将会引起很大的脉冲阳极电流, 因而不适用于充气管整流电路。

三、实验原理线路：

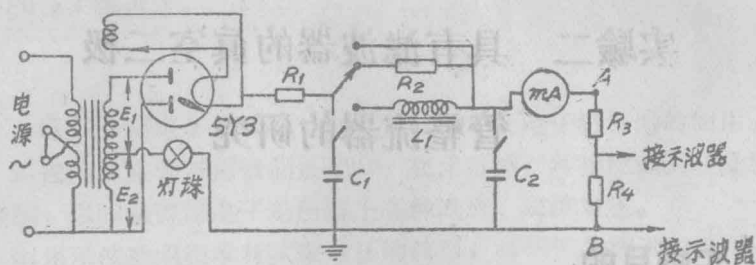


图 1

四、实验内容和步骤：

1. 检查实验板，并在线路图上标明各元件名称和数值，及用真空管万用表测量全波整流时变压器原边、付边电压。

2. 观察并描下全波整流时输出电压的波形，量负载的直流电压值，填于下表：

测量值 滤波器类型	绘出电压波形 (在 R_4 上观察)	负载二端的 直流电压
无滤波器		
电容滤波		
电感滤波		
Π 滤波		

3. 观察半波整流时阳极电流波形。

测量值 滤波器类型	阳极电流波形 (在 R_1 上观察)
无滤波器	
电容滤波	

五、实验预习要求:

1. 查出实验所用的 $5y3$ 整流管的管座图, 并了解管子各定额和数据的意义, 计算 $5y3$ 允许最小负载电阻值。
2. 复习半波、全波整流电路、电感滤波器和电容滤波器的工作原理。
3. 复习电子示波器和真空管万用表使用方法。
4. 思考:
 - ① 线路中毫安表正负极性应如何正确联接。
 - ② 电阻、电容、电感使用时应注意它们什么定额。

六、实验报告要求:

1. 画出实验原理线路图, 在电路上标明各元件名称和数值。
2. 画出无滤波器时半波、全波整流电路中的负载电压波形并说明全波整流的工作原理。
3. 画出全波整流时无滤波器和有滤波器时负载电压波形并分析电容输入式滤波时负载的直流电压为什么升高?

七、实验注意事项:

1. 在管子插入管座前, 应先量得灯丝电压和阳极电压正确无误, 然后断开电源, 插上管子。
2. 本实验线路内用一小灯泡装在变压器中点抽头处上, 代替保险丝 (同学须检查) 防止负载短路损坏电子管。
3. 电压输入示波器时, 搭棒联接的固定端应接死在示波器的 Y 轴输入端。
4. 观察各种滤波器负载二端的电压波形时, 示波器 Y 增幅调到适当位置后保持不动 (同样, 观察阳极电流波形时, Y 增幅调到另一适当位置后也应保持不动) 否则无法比较。
5. 真空管万用表即使测量交流电压时, 其接地端也应和线路接地端对应联接, 否则易发生测量误差。
6. 一般负载电压较高, 直接输入示波器, 易使示波器损坏, 故

观察电压是从负载分压端 R_4 上输入示波器，当负载上电压不能分压时，则示波器输入应接在衰减上（衰减即示波器内部连有一电阻，电容分压器）。

7. 电介质电容器具有极性，如接错，则电容器会损坏。

8. 变压器原边为二个110伏线圈，需串联后才能接入电源220伏。

八、配合实验的习题(在实验前当作习题做完)。

4. 计算一全波整流器，所用变压器付边电压为 440 伏（具有中心插头）5Y3 作为整流管负载是6000欧姆（忽略整流管内阻）。

①求负载两端的直流电压，电流的波幅和电压的波幅，负载的直流功率。

②查出管子的额定值再校验管子的逆电压，阳极平均电流和最大阳极电流。

实验三 单管电压放大器

一、实验目的:

1. 放大器静态工作点的决定。
2. 研究阳极负载电阻 R_a 对放大倍数的影响。
3. 观察放大器的非线性失真。
4. 学习使用音频振荡器和稳压器。

二、简述:

在各个领域中,广泛使用着放大器,它是用小能量来控制大能量控制的对象是变化量,各种放大器共同问题是静态工作点,放大倍数、失真等等,对于电子管放大器因为电子管是非线性元件,常用图解法和微变等效电路来分析。

电子管中,栅极位于阳极和阴极之间并且离阴极很近,所以对阴极发射电子的控制作用也较阳极强得多。如栅极电位增高一些,则增加了对阴极电子的吸引力,使跑向阳极的电子增加很多,流进负载的阳极电流因而增大很多,同时阳极电位降低。如栅极电位降低,情况相反,这样在负载上所取得的交变电压将比加在栅极上的交变电压放大很多倍,但阳极交流电压和栅极交流电压相位恰相反。

由图介法知道电子管非线性特性和线性阳极负载电阻特性的交点称为静态工作点在不同的工作点,则电子管有不同的工作参数,静态工作点决定于电源电压、阳极负载电阻和栅偏压。当栅极加有信号后,放大器在此工作点附近工作。

放大器的放大倍数由微变等效电路的分析为 $K = \frac{\mu R_a}{R_a + R_i}$ 放大倍数是和工作点及阳极负载电阻有关。

放大器不但要放大倍数大,且要不产生失真,而电子管非线性失

真是和輸入訊号幅度及柵偏压选择有关(自給式或外加偏压式)。为了使能輸入較大幅度訊号,同时又不产生柵流及电子管不运行在它特性非綫性較劇烈的部分,所以柵偏压大概取在零柵压和截止柵压中間。

三、实验原理电路:

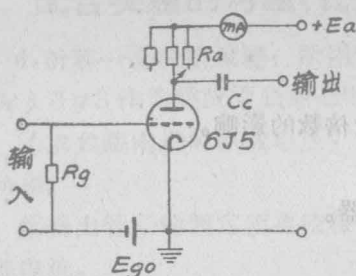


图2 外加柵偏压

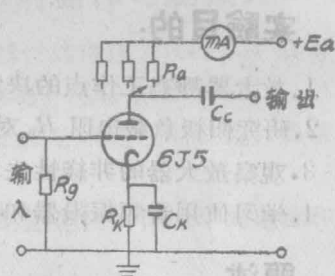


图3 自給柵偏压

四、实验内容和步骤:

1. 查讀并記錄实验板上各元件参数和規格。

2. 接上表,从电子稳压器上取得負偏压加入柵极电路,得 $E_{g0} = 5$ 伏,加上阳极电压 $E_a = 250V$,讀取 $R_a = 25K$ 时放大器静态工作点, U_{a0} , I_{a0} , E_{g00} 。

3. 在上述条件下,将音频信号发生器发出的訊号电压接入到放大器輸入,使保持 $U_{\lambda} = 1$ 伏, $f = 2000$ 赫,測量三种不同 R_a 情形下的 $U_{出}$ 。

4. 观察非綫性失真。

A、信号太大时失真: $E_a = 250V$, $R_a = 25K$, $E_{g0} = 5$ 伏, $U_{\lambda} = 1$ 伏,观察输出电压波形,然后增大 U_{λ} 一面观察波形,至 U_{λ} 为多少伏时,明显地出現失真。

B、工作点不准确时失真:

$E_a = 250V$, $R_a = 25K$, $U_{\lambda} = 1$ 伏, $E_{g0} = 5$ 伏,然而一面观察波形,一面增大 E_{g0} ,記錄 E_{g0} 为多少伏时输出电压的波形才明显地出現非綫性失真。

5. 采用自給偏压, 记录 $E_a=250V$, $R_a=25K$ 时放大器静态工作点, E_{g0} (栅偏压值) U_{g0} , I_{g0} 。

五、预习

1. 查出实验所用 6J5 三极管的管座图, 并了解管子各定额和数据的意义。

2. 复习实验有关讲课内容。

3. 思考

① 栅极电路内, 在什么时候才有电流, 它的方向如何?

② 自給偏压 R_K C_K 二端交流电压是否很大, 为什么?

六、总结报告:

1. 画出实验线路图, 标明各元件数值。

2. 讨论 R_a 对放大倍数的影响。

3. 在负载图上讨论工作点移动后产生非线性失真的情况。

4. 复习振荡器和稳压器的使用。

七、实验注意事项:

1. 使用振荡器、真空管万用表或电子示波器时, 仪器上接地点应和线路接地端联接, 否则产生误差。

2. 电子管使用较久后, μ 会有所降低。

八、配合实验的习题(在实验前当作习题做完)。

1. 当单管电压放大器使用 6J5 三极管, $E_g=250V$, $R_a=25K$, 当用外加偏压 $E_{g0}=5$ 伏时。

① 在附录后面电子管特性曲线上(可撕下)作出负载线, 在图上决定静态工作点 Q , 读出 U_{a0} 和 I_{a0} , 求出此工作点 μ , R_i , S 。

② 当 $U_{\lambda}=1.41 \sin \omega t$ 时, 画出对应的 $U_R(t)$, $i_a(t)$, $U_a(t)$ 的波形, 并按图上比例尺求出放大倍数 K 。

③ 用以手册上额定值及所给 R_a 值, 用微变等效电路法计算该电路放大倍数 K , 并与②求出之 k 相比。

④当阳极负载改变为 $R_a = 10K$, $R_g = 100K$ 时, 放大器放大倍数

如何变化。

2. 在上述题中求出 I_{a0} , 并计算自偏压值为 5 伏时所需的 R_k 值, 又问 $25 \mu f$ 和耐压 50 伏的旁路电容器是否适用?

实验四 功率放大器

一、实验目的:

1. 熟悉束射管功率放大器线路及静态工作点决定。
2. 研究负载的阻抗匹配在功率放大器中的重要意义。
3. 观察功率放大器非线性失真。

二、简述:

电子管放大器是用来将微弱信号加以放大的，通常前边若干级为电压放大，最后一级为功率放大。功率放大的作用是将足够大的输入电压信号在允许的非线性失真的条件下进行功率放大，尽可能地输出最大功率，用以控制或调整一个执行机构。在日常生活中听到的喇叭声响，就是由功率放大级所控制的。

为了使功率放大器的负载得到大的功率要求负载的阻抗和 R_0 和电子管内阻 R_i 有一定的配合关系，其中有一最佳负载阻抗值，使得得到最大的输出功率，即所谓“阻抗匹配”，在三极管取 $R_H = 2R_i$ ，五极管和束射管约 $R_H = 0.1R_i$ 。

功率放大器输入电压是经过前面电压放大器放大过的，约为几伏到几十伏，往往超出电子管特性的线性区域形成非线性失真，有时也因负载阻抗匹配不当产生非线性失真，非线性失真系数通常用二次谐波电流和基波电流之比近似的表示。这是因为非线性失真中包含的二次谐波电流最强，一般对不同使用目的，容许的非线性失真系数也不同。

三、实验原理电路:

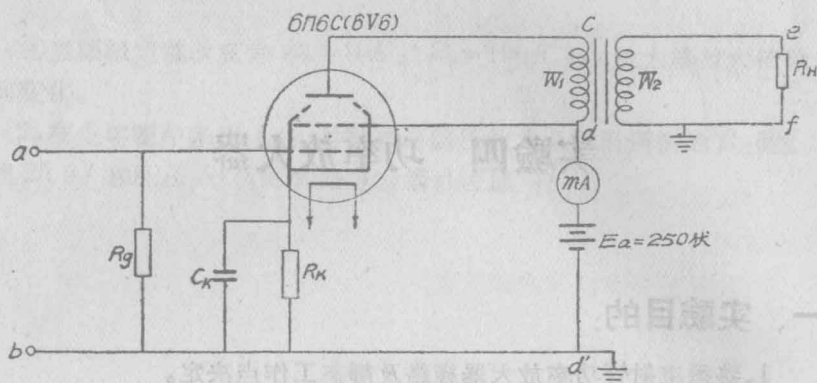


图 4

四、实验内容和步骤:

1. 熟悉线路, 测量 U_{ao} (阳极到阴极之间电压), U_{g30} (帘栅极到阴极之间电压) E_{g0} , I_{g0} 观察功率放大器静态点是否正常。

2. 接上负载阻抗约 8 欧姆, 从 ab 端输入 1000 赫交流电压 $U_{入} = 5$ 伏左右 (从音频振荡器取得), 用示波器观察 ef 负载端波形, 然后一面增加 $U_{入}$ 一面观察波形, 至波形刚要开始出现非线性失真时, 测量记录 ab , cd , ef 间的电压 (变压比 $K = \frac{U_{cd}}{U_{ef}}$)。

3. 在上述输入电压下, 改变 $R_L = 4$ 欧, 6 欧, 10 欧, 12 欧时测量 ef 间的电压。

4. 用示波器观察 $R_L = 4$ 欧, 6 欧, 10 欧, 12 欧时 ef 间的电压波形。

五、预习:

1. 查出 6N6C (即 6V6) 束射四极管的典型运用状态。
2. 预习实验有关内容。
3. 思考。

① 有输出变压器的功率放大器负载图是怎样的和电压放大器负载图有何区别。

② 本实验功率放大器负载发生变化时, 则负载图上 (阳极特性曲线族上) 负载线将是如何变化的。

六、总结报告:

1. 讨论 ab 端输入到 ef 端输出, 功率放大器放大倍数为什么不是大的。
2. 计算 $R_L = 4, 6, 8, 10, 12$ 欧姆五种情况时的各功率输出。
3. 在负载图上讨论实验 4 中当 R_L 在不同数值时, 输出电压的波形。

七、注意事项:

1. 输出变压器付边工作时不能断开, 否则相当于负载电阻无穷大, 将在输出变压器初级出现高压及栅流增大。
2. 使用振荡器、真空管电压表, 电子示波器时仪器接地端应和线路接地端联接。

出鏡字與各印註：(一) 曹正影刻 11, 01, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 121, 122, 123, 124, 125, 126, 127, 128, 129, 130, 131, 132, 133, 134, 135, 136, 137, 138, 139, 140, 141, 142, 143, 144, 145, 146, 147, 148, 149, 150, 151, 152, 153, 154, 155, 156, 157, 158, 159, 160, 161, 162, 163, 164, 165, 166, 167, 168, 169, 170, 171, 172, 173, 174, 175, 176, 177, 178, 179, 180, 181, 182, 183, 184, 185, 186, 187, 188, 189, 190, 191, 192, 193, 194, 195, 196, 197, 198, 199, 200, 201, 202, 203, 204, 205, 206, 207, 208, 209, 210, 211, 212, 213, 214, 215, 216, 217, 218, 219, 220, 221, 222, 223, 224, 225, 226, 227, 228, 229, 230, 231, 232, 233, 234, 235, 236, 237, 238, 239, 240, 241, 242, 243, 244, 245, 246, 247, 248, 249, 250, 251, 252, 253, 254, 255, 256, 257, 258, 259, 260, 261, 262, 263, 264, 265, 266, 267, 268, 269, 270, 271, 272, 273, 274, 275, 276, 277, 278, 279, 280, 281, 282, 283, 284, 285, 286, 287, 288, 289, 290, 291, 292, 293, 294, 295, 296, 297, 298, 299, 300, 301, 302, 303, 304, 305, 306, 307, 308, 309, 310, 311, 312, 313, 314, 315, 316, 317, 318, 319, 320, 321, 322, 323, 324, 325, 326, 327, 328, 329, 330, 331, 332, 333, 334, 335, 336, 337, 338, 339, 340, 341, 342, 343, 344, 345, 346, 347, 348, 349, 350, 351, 352, 353, 354, 355, 356, 357, 358, 359, 360, 361, 362, 363, 364, 365, 366, 367, 368, 369, 370, 371, 372, 373, 374, 375, 376, 377, 378, 379, 380, 381, 382, 383, 384, 385, 386, 387, 388, 389, 390, 391, 392, 393, 394, 395, 396, 397, 398, 399, 400, 401, 402, 403, 404, 405, 406, 407, 408, 409, 410, 411, 412, 413, 414, 415, 416, 417, 418, 419, 420, 421, 422, 423, 424, 425, 426, 427, 428, 429, 430, 431, 432, 433, 434, 435, 436, 437, 438, 439, 440, 441, 442, 443, 444, 445, 446, 447, 448, 449, 450, 451, 452, 453, 454, 455, 456, 457, 458, 459, 460, 461, 462, 463, 464, 465, 466, 467, 468, 469, 470, 471, 472, 473, 474, 475, 476, 477, 478, 479, 480, 481, 482, 483, 484, 485, 486, 487, 488, 489, 490, 491, 492, 493, 494, 495, 496, 497, 498, 499, 500, 501, 502, 503, 504, 505, 506, 507, 508, 509, 510, 511, 512, 513, 514, 515, 516, 517, 518, 519, 520, 521, 522, 523, 524, 525, 526, 527, 528, 529, 530, 531, 532, 533, 534, 535, 536, 537, 538, 539, 540, 541, 542, 543, 544, 545, 546, 547, 548, 549, 550, 551, 552, 553, 554, 555, 556, 557, 558, 559, 560, 561, 562, 563, 564, 565, 566, 567, 568, 569, 570, 571, 572, 573, 574, 575, 576, 577, 578, 579, 580, 581, 582, 583, 584, 585, 586, 587, 588, 589, 590, 591, 592, 593, 594, 595, 596, 597, 598, 599, 600, 601, 602, 603, 604, 605, 606, 607, 608, 609, 610, 611, 612, 613, 614, 615, 616, 617, 618, 619, 620, 621, 622, 623, 624, 625, 626, 627, 628, 629, 630, 631, 632, 633, 634, 635, 636, 637, 638, 639, 640, 641, 642, 643, 644, 645, 646, 647, 648, 649, 650, 651, 652, 653, 654, 655, 656, 657, 658, 659, 660, 661, 662, 663, 664, 665, 666, 667, 668, 669, 670, 671, 672, 673, 674, 675, 676, 677, 678, 679, 680, 681, 682, 683, 684, 685, 686, 687, 688, 689, 690, 691, 692, 693, 694, 695, 696, 697, 698, 699, 700, 701, 702, 703, 704, 705, 706, 707, 708, 709, 710, 711, 712, 713, 714, 715, 716, 717, 718, 719, 720, 721, 722, 723, 724, 725, 726, 727, 728, 729, 730, 731, 732, 733, 734, 735, 736, 737, 738, 739, 740, 741, 742, 743, 744, 745, 746, 747, 748, 749, 750, 751, 752, 753, 754, 755, 756, 757, 758, 759, 760, 761, 762, 763, 764, 765, 766, 767, 768, 769, 770, 771, 772, 773, 774, 775, 776, 777, 778, 779, 780, 781, 782, 783, 784, 785, 786, 787, 788, 789, 790, 791, 792, 793, 794, 795, 796, 797, 798, 799, 800, 801, 802, 803, 804, 805, 806, 807, 808, 809, 810, 811, 812, 813, 814, 815, 816, 817, 818, 819, 820, 821, 822, 823, 824, 825, 826, 827, 828, 829, 830, 831, 832, 833, 834, 835, 836,

1. 驗証白蟻拒濕器拒導條件

- 104 —

LC 振荡器分成三个部分:

(1) LC 振荡器: 在 LC 二个元件中, 当一个释放能量时, 另

(2) 能源: 是阳极直流电源 E_a , 可以补充振荡回路内由于电阻有

(3) 一个控制设备,使由源功率在每一周期的适当时间内来补充

所以稳定振荡的必要条件为

81