

The book cover features a dark blue background with large, concentric white circles. A white lattice tower, resembling a radio or power transmission tower, is positioned on the left side. At the base of the tower, there is a silhouette of an industrial cityscape with several smokestacks emitting smoke. A small red rectangular label with some illegible text is attached to the left edge of the cover, partially overlapping the tower's base.

无线电控制技术

謝立明 編著

北京市科学技术协会

前 言

本书是根据我在北京市劳动人民文化宫自动化学习班上的讲稿整理成的，理论与实际并重，一方面介绍有关无线电控制的基础知识，同时也介绍各种类型的实用电路和制作方法。

在理论方面，着重电路的物理学解释，而不作数学上的分析，但直接介绍一些必要的计算公式，以便设计电路时作为参考。

所介绍的实用收发机电路适合于数公里范围以内的无线电控制，可用在工厂企业的实际生产中，也可用来作模型表演。

本书读者对象假定已具有一般五灯机无线电基础知识和装修经验。

在无线电控制里已常用半导体元件来代替电子管，但由于半导体理论另成系统，限于讲课时间没有加以介绍，同时就目前技术发展情况来说，单独对半导体控制电路作有系统的介绍还是比较适合的，所以本书所介绍的只限于电子管电路，而半导体电路方面留待专门书籍去讨论。

无线电控制在导弹、火箭、人造卫星、宇宙飞船及其他远距离科学研究方面的应用已占很重要的地位，这就需要功率更大和构造更精密的无线电收发设备。但限于本书性质，对这方面的资料也只能留待专门书籍去介绍。

本书所介绍的电路散见于各种书刊，叙述时不一一指出来源，只列一总的参考书目于后。书中很多地方是根据个人的理解和分析，由于水平所限，可能有不很妥当的地方，希望读者提出意见。

谢立明

1961年2月

“无线电控制技术”目录

前 言	.....	
第一章 无线电控制概論	.....	(1)
1.1. 无线电控制的意义	.....	(1)
1.2. 无线电控制的系統	.....	(1)
1.3. 无线电控制的应用	.....	(3)
第二章 发射机	.....	(5)
2.1. 振荡器	.....	(5)
2.1.1. 电感回授式振荡器	.....	(6)
甲) 調板振荡器	.....	(6)
乙) 調栅振荡器	.....	(7)
丙) 間歇振荡器	.....	(7)
2.1.2. 自耦回授式振荡器	.....	(8)
2.1.3. 电容回授式振荡器	.....	(10)
2.1.4. 电子耦合振荡器	.....	(12)
2.1.5. 晶体振荡器	.....	(13)
2.1.6. 超高频振荡器	.....	(15)
2.1.7. 文氏电桥振荡器	.....	(17)
2.1.8. 移相振荡器	.....	(19)
2.1.9. 多諧振荡器	.....	(20)
2.2. 調制	.....	(23)
2.2.1. 幅度調制	.....	(23)
2.2.2. 頻率調制	.....	(26)
2.2.3. 相位調制	.....	(28)
2.2.4. 脉冲調制	.....	(29)

2.3. 发射机实用电路.....	(21)
2.3.1. 单路系统发射机.....	(21)
2.3.2. 多路系统发射机.....	(38)
一) 同步脉冲发生器.....	(40)
二) 选择脉冲发生器.....	(41)
三) 通道脉冲发生器.....	(41)
四) 声音通道.....	(42)
五) 半连续通道.....	(42)
六) 开关脉冲发生器.....	(43)
第三章 接收机.....	(45)
3.1. 超再生电路的基本原理.....	(45)
3.2. 超外差式的基本原理.....	(49)
3.3. 滤波器.....	(53)
3.3.1. LC 滤波器.....	(53)
3.3.2. RC 滤波器.....	(60)
3.3.3. 晶体滤波器.....	(64)
3.3.4. 磁致伸缩滤波器.....	(65)
3.4. 接收机实用电路.....	(66)
3.4.1. 单路系统接收机.....	(66)
3.4.2. 多路系统接收机.....	(71)
第四章 继电器.....	(77)
4.1. 继电器的基本特性和分类.....	(77)
4.2. 继电器的接点.....	(78)
4.3. 几种常用继电器.....	(81)
4.3.1. 非极化电磁继电器.....	(81)
4.3.2. 极化电磁继电器.....	(83)
4.3.3. 谐振继电器.....	(86)
4.3.4. 电子继电器.....	(87)
4.3.5. 延时继电器.....	(89)

第五章 执行机构	(91)
5.1. 操纵电路	(91)
5.2. 配电器	(92)
5.2.1. 延时式配电器	(92)
5.2.2. 译码器	(93)
5.2.3. 步进式配电器	(94)
5.2.4. 电子射线配电器	(96)
第六章 无线电收发机的装制和校验	(98)
6.1. 线路选择	(98)
6.2. 零件选择	(98)
6.3. 零件的布置	(104)
6.4. 天线的制作	(106)
6.5. 电路的校验	(108)
6.5.1. 发射机的校验	(108)
6.5.2. 接收机的校验	(114)
附录: 简谐振荡器的工程计算	(116)
参考书目	(124)

第一章 无线电控制概論

1.1. 无线电控制的意义

无线电控制是运用电磁波来传递信号的远距离操纵技术，它是远距离自动化技术中的一个重要部分，是在现代最新科学技术成就的基础上发展起来的一門新技术。

无线电控制包括信号的产生和发送、信号的接收和分配、以及被操纵对象的动作等过程。每一过程中所包含的技术都和其他許多最新科学技术有着密切的关系。例如：远动学研究自动化系统中有关信号的变换、传送、处理等問題，所得結果往往可以解决无线电控制中的許多信号传递問題；雷达的追踪方法在无线电控制中是一个重要借鉴；半导体的研究可以大大减轻和改善无线电控制机器的结构；其他如脉冲技术、电子计算机技术、电视技术、自动調整技术、遙测技术、以及控制論等各方面的成就也都可在无线电控制技术中得到应用，而且只有在这些新技术发展后，无线电控制技术才得到广泛的应用和发展。

无线电控制技术应该包括自动控制和非自动控制两方面，自动控制是在一定的物理因素变化条件下自动产生控制信号；而非自动控制仍須依靠人来决定控制信号的产生。

1.2. 无线电控制的系統

在无线电控制过程中，根据信号传递方式的不同可以把控制系统分为两种：

一) 单路控制系统

一次只能发送一个信号，控制一个动作。如果被控制的动作多

时，也可以采用类似自动电话拨号盘的机械脉冲设备，但这样会使完成动作的时间延长和使操作人员工作复杂化。可是，这种系统的结构简单轻巧、体积小，利用超再生接收，灵敏度也高，所以仍得到广泛应用。

二) 多路控制系统

能一次发送多种互相独立的信号，操纵许多复杂的动作，不会互相干扰。最简单的多路系统是双通道控制系统，可以采用调幅波的传递方式。但传递信号在三个以上时，调幅信号很容易互相干扰，灵敏度也会降低，因此多路控制系统常采用脉冲调制的方法，在超短波或微波范围内工作。

在多路系统中，常采用两种传送控制信号的方法，即时间划分法和频率划分法。时间划分法是利用同步开关把每个不同的信号按照时间的先后次序陆续传送，在接收机上再用同步开关把这几个信号分开，如图1所示。由于每一信号所占时间只有几微秒或10微秒左右，所以操纵动作很迅速。

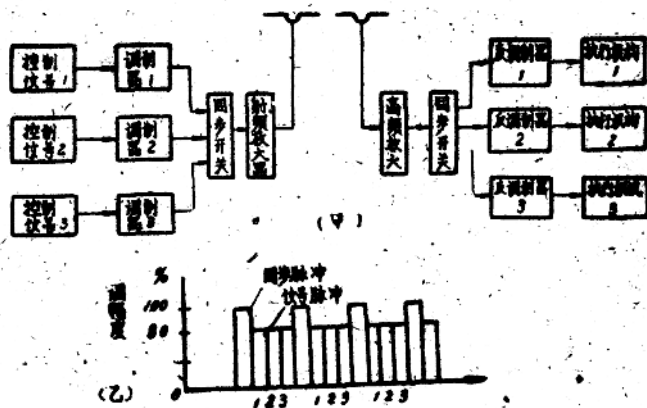


图1 时间划分法多路系统

频率划分法是把每个信号用不同的频率来调制，并以不同的载

波来传送，在接收机上再用滤波器把它们分开；如图 2 所示。

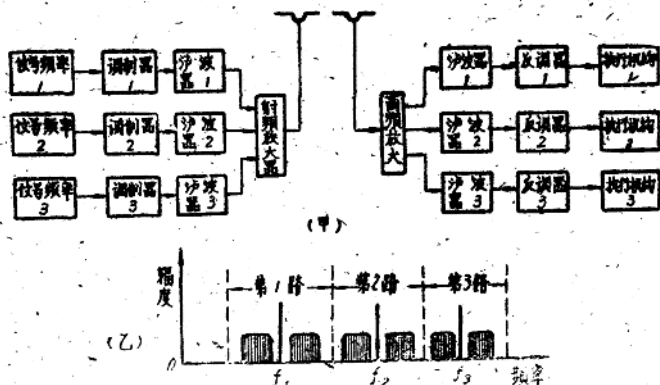


图2 频率划分法多路系统

频率划分法和时间划分法各有优缺点，在实际工作中也常采用两种系统混合的方式。也可把脉冲波和连续调幅波混合起来使用。这样可以大大增加通路的数目。

1.3. 无线电控制的应用

在现代工业生产和交通、电力部门中，往往需要集中管理各种机器的动作，或为了安全起见对机器运转进行远距离操作，操纵信号的传递可以是有线的，也可以是无线的。但是对于运动着的对象，例如飞机、火箭、导弹、坦克、船舶、气球等，只能采用无线传递信号的方法，而无线传递信号的方法，主要是用无线电来传递信号。特别是在星际交通上，无线电传递信号的控制技术更显得重要。

无线电控制技术早在第二次世界大战以前就引起人们的注意，但直到第二次世界大战时才得到大力的发展。这首先是用无线电来控制飞航式导弹、坦克、和鱼雷快艇，以后就开始应用在非军事方面。目前已广泛地应用到工业生产、交通、电力、农业、气象、以

及科学研究等各方面。例如利用无线电控制的高空火箭可以研究大气状况、宇宙线、太阳辐射、以及其他高空情况；在遥远的不适于人住的地方设置自动化的无线电操纵气象站，可以帮助气象人员观测这些地方的大气状况；在农业上可以用无线电来操纵无人驾驶拖拉机；我国在技术革新和技术革命运动中，曾出现了不少应用无线电控制技术的例子，特别是苏联第一个人造卫星上了天后，无线电控制技术更有了重大的作用，苏联发射的第二宇宙飞船一方面完全自动化，另一方面也受地面无电信号的控制。飞船上有电视摄影机和照明装置，它的开关是由地面的信号来操纵的，飞船返回地球着陆时也受无电信号的控制。

随着科学技术的发展和生产力的提高，无线电控制技术的应用将愈来愈广，目前还不过仅仅是一个开始。

第二章 发射机

2.1. 振荡器

无线电控制电路必须用到各式各样的振荡器，这里我们介绍一些常用振荡器的基本原理。

振荡器是一种不需要外加激励信号就自身能将直流电能转变为高频交流电能的线路结构。它必须具备三个基本条件：

1) 具有能量来回变换的振荡回路，它包括两种元件，当一个释放能量时，另一个就接收能量，释放与接收可以往返进行。电感和电容联结在一起时可以组成振荡回路，电阻电容也能组成振荡回路。

2) 有能量来源，使振荡回路不断得到能量补充，如果没有这种补充，振荡回路的振荡作用就会逐渐衰减下去，因为回路本身的阻抗要消耗电能。

3) 有控制作用，可以使能量在适当的时间内补充到振荡回路里去。

如果普通电子管放大器的一部分输出电能回授到输入回路中去，并且是正回授，当回授达到一定程度时就使放大器产生自激振荡作用，成为电子管振荡器。它正好具备了上述三个基本条件：有电感电容或电阻电容组成的振荡回路；有板极电源作为能量来源；电子管的放大作用和回授作用起了补充能量的控制作用。

根据能量回授方式和控制方式的不同，可以把振荡器分成几类。下面我们就谈几种常用的振荡器电路结构和工作原理。

2.1.1. 电感回授式振荡器

甲) 调板振荡器 调谐电路在板极电路内, 故称调板振荡器。
如图3所示, 当电源 E_a 加到电子管板极电路的瞬间, 振荡回路 L_a

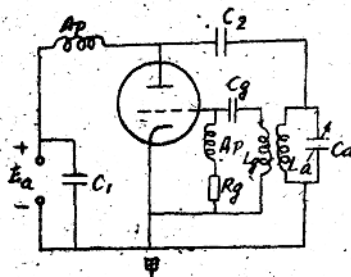


图3-甲

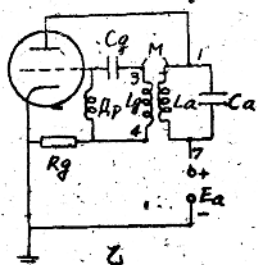


图3-乙

C_a 中立刻产生振荡。如果板栅电路间没有耦合作用, 则这振荡时间是不长的, 一到板流稳定时, 振荡也就很快停止了。但是由于板栅之间有电感耦合, 所以栅极回路中的 L_g 产生感应交流电压。这感应交变电压经 C_g 加在电子管的栅极上, 反过来使板流发生变化。变化的板流使振荡回路得到能量的补充, 结果使回路中的振荡成为等幅的。图中 C_2 是隔直电容器, 用来阻止直流电进入振荡回路 $L_a C_a$ 中。 C_g 是隔直电容器, 也是 R_g 的交流旁路电容器。 R_g 是自偏压电阻。 Π_p 用来阻止高频电流通过; C_1 是旁路电容器, 使交流电不进入电源。

图3甲是并联供电式, 图3乙是串联供电式。

这种电路的振荡频率为:

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_a C_a}} \sqrt{1 + \frac{R_a}{R_1}}$$

上式中, R_a 为 L_a 的等效电阻, R_1 为电子管内阻, 当 $R_1 \gg R_a$ 时, 可用下式计算:

• 6 •

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_2 C_a}}$$

电路回授系数为:

$$K = \frac{U_g}{U_a} \approx \frac{M}{L_a}$$

上式中 U_g 为栅极迴路3,4两端上交流电压, U_a 为板极迴路1,2两点上交流电压, M 为互感系数。

乙) 調柵振蕩器 如图4所示, 这种电路和再生式檢波器的电路很相似, 調諧电路 $L_g C_{g1}$ 在柵极电路內, 故称調柵振蕩器。如略去迴路內阻, 它的振蕩頻率即等于 $L_g C_{g1}$ 的諧振頻率。

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_g C_{g1}}}$$

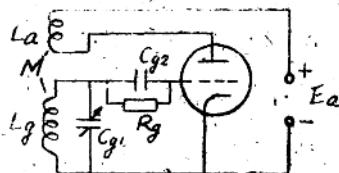
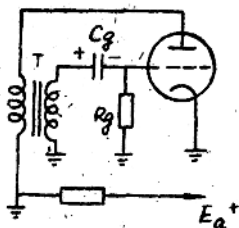


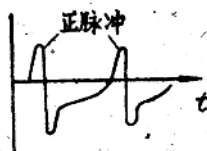
图4

調柵振蕩器和調相振蕩器的缺点是輸出波形較差, 頻率不易穩定。所以在发射机里很少采用。



甲

图5 甲

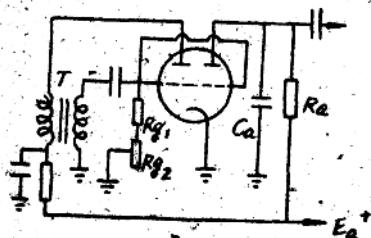


乙

图5 乙

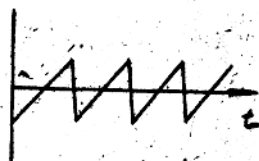
丙) 間歇振蕩器 如图5甲所示, 是一个强耦合的电感回授振蕩器。在振蕩由零值逐漸增太时, 柵压随着愈来愈正, 以至出現柵流, 使 C_g 充电。充电結果使柵极一端为負, 这負压使板流减小, 又經电感回授作用, 再在柵极上感应出負压, 終至使板流截止。板

流截止后， C_g 经 R_g 放电，栅负压减小，直至又出现板流。这板流再使 C_g 充电，重复上述过程。振荡器栅极上电压波形如图 5 乙所示。两个正脉冲的时间距离决定于 C_g 上电压大小和 R_g 上放电速度。 C_g 的容量愈大，积聚电荷愈多，充电电压愈高； R_g 愈大，放电速度愈慢。所以两个正脉冲的时间距离由时间常数 $R_g C_g$ 决定。如果把间歇振荡器输出电压加到一放电管栅极上，就可成为锯齿形电压发生器，如图 5 丙所示。波形如图 5 丁。在后面谈到的脉冲调



丙

图 5 丙



丁

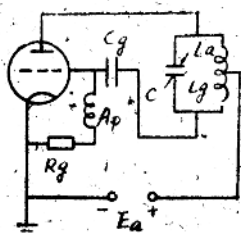
图 5 丁

制中将应用这种波形。图 3 丙中双三极电子管右边三极部分用作放电管，其工作原理是：当间歇振荡器负脉冲截止放电管板流时，电源电压 E_a 使 C_a 充电，直到放电管恢复板流时， C_a 就迅速放电。因电子管内阻远小于 R_a 的数值，所以 C_a 充电慢而放电快，输出波形为锯齿形。

2.1.2. 自耦回授式振荡器（哈脱莱振荡器）

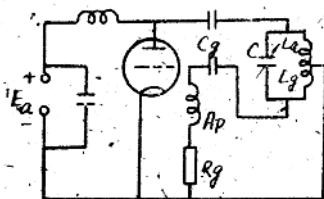
这种振荡器如图 6 所示，是把电子管的板极和栅极各接在电感电容并联谐振的两端，阴极则接在电感线圈的中点。这样使线圈分成 L_a 和 L_g ，振荡回路在线圈上所产生的电压分到 L_a 和 L_g 上，形成一个分压器。因为板极和栅极各接在线圈两端，对于接在中点的阴极来说，交流电压的方向正好相反（即相差 180° ），这正是产生振荡的必

要条件。因为根据电子管特性，板极输出信号的相位和栅极输入的相位相反，也即当栅压最小时板压为最大，而栅压最大时板压却为最小。如果振荡线圈内的板压和栅压再来一次相反，就正好和电子管本身所生的相位相反抵消，使回路的板压和栅压相位相同，成为正回输。



串联供电

(串联供电)



并联供电

(并联供电)

图6

极在线圈上的接点可以移动，使得到适当的电压比。

当电源直流电压加到电子管板极上的一瞬间，振荡回路的电容器 C 充电，接着就产生振荡作用，在 L_a 和 L_g 上都出现交流电压。因为 L_g 是接在栅极回路里，所以 L_g 的电压变化也即栅极上电压的变化，而栅压变化将使板流也随着变化。这变化的板流又继续使振荡回路的电容器充电，也即把电源的能量经电子管作用后补充到振荡回路里去，使振荡电流的大小保持恒定，形成等幅振荡。

L_a 和 L_g 通常是绕在一个线圈架上，所以有互感 M 存在。但是这互感并不是产生振荡的必需条件。即使没有互感，也一样可以产生振荡。自耦回授式振荡器和电感回授式振荡器不同之处也就在这里。

这种振荡器也叫哈脱莱振荡器或三点式振荡器，它的优点是易于产生振荡，调节也容易，缺点是在丙类工作时谐波电压较大，影响振荡器的输出波形。

振荡器的振荡频率可近似地用下式来计算：

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{C(L_a + L_g + 2M)}}$$

电路的回授系数 K 可用下式计算:

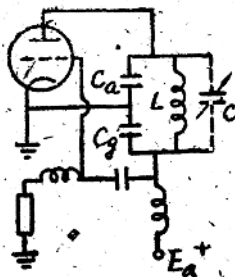
$$K = \frac{U_g}{U_a} = \frac{L_g}{L_a}$$

近似计算时, 可用 L_a 线圈圈数与 L_g 线圈的比值作为回授系数

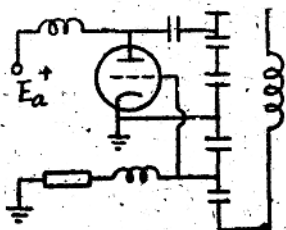
K 。

2.1.3. 电容回授式振荡器 (考毕兹振荡器)

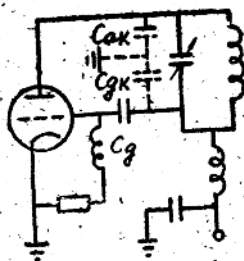
图 7 甲的线路结构有点像哈脱莱振荡电路, 但电感和电容互换



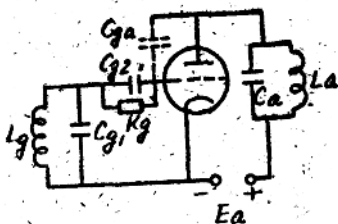
甲



乙



丙



丁

图 7

了位置，以电容器 C_a 和 C_g 作为分压器，代替了哈脫萊式 L_a 和 L_g 的作用。改变 C_g 和 C_a 的比值可以調節柵极激励信号的大小。 C_g/C_a 的比值越大，則柵极激励信号越小。这种振荡电路也叫做考毕兹振荡电路。振荡频率 f 和回授系数 K 可用下式来计算：

$$f = \frac{1}{2\pi \sqrt{\left(\frac{C_a C_g}{C_a + C_g}\right) L}} \quad K = \frac{C_a}{C_g}$$

要改变回授系数，必須改变 C_a 或 C_g ，这样振荡频率也将随之改变。要既能調節回授系数的大小而又不影响振荡频率，可用几个电容器串連起来如图 7 乙所示。

有时 C_a 和 C_g 用固定电容器，另外再和迴路并联一个可变电容器 C 作为調節频率用，如图 5 甲中虚线所示。

当振荡率很高时，分压电容器 C_a 和 C_g 常可由电子管本身的极间电容 C_{ak} 和 C_{gk} 来代替，如图 7 丙所示。

考毕兹电路的諧波經阴极短路，振荡波形比哈脫萊式的好，缺点是比哈脫萊式更难調節。

图 7 丁是一种由子管板柵极间电容担任回授作用的振荡电路，通常叫做調板調柵振荡器。这种电路是在电子管的板极迴路和柵极迴路里各有一个振荡迴路。两迴路的 L_a 和 L_g 沒有互感存在。在工作频率較低时，有时极间电容不能滿足需要，可在板柵极之間跨接一小

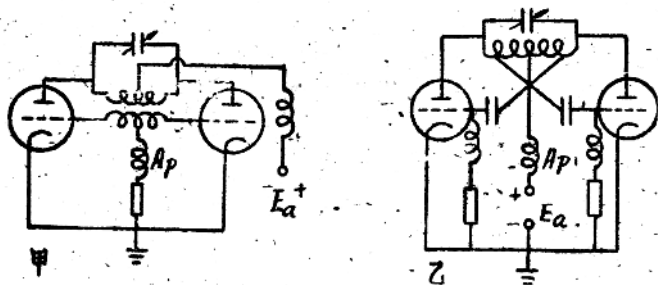


图 8

电容器，以增加迴授作用。这种电路的谐波也近似短路，输出波形较哈脱莱式的好。

以上所讨论的是最简单的单端高频振荡器。为了增加输出功率，可采用较复杂的推挽式电路。如图 8 所示，甲为电感回授式，乙为自耦回授式。

推挽电路不但增加了输出功率，同时它的振荡频率也较稳定。

由于推挽电路两边的电子管和它的零件很难准确一致，所以振荡器不能完全对称，中点不是高频的零电位，必须用扼流圈接在中点上。

2.1.4. 电子耦合式振荡器

图 9 是一种电子耦合式振荡器。它用帘栅极作为振荡器板极，与栅阴极组成三极管振荡器，这三极管振荡器可采用上述各种型式。三极振荡器的输出经同一电子屏板极予以放大。

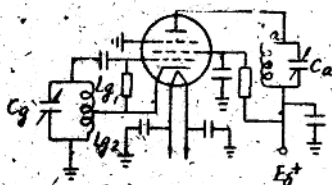


图 9 电子耦合式振荡器

由帘栅极输送到板极的电子流是受栅极振荡迴路控制的，当电子流的变化周期和板极迴路 $L_a C_a$ 固有振荡频率相同或成一定倍数比时， $L_a C_a$ 就产生振荡。对高频电流来说，帘栅极处于零电位（接地电位），再加上抑制

栅作用，所以在板极负载和栅极迴路之间起了屏蔽作用，使三极管振荡部分不受板极负载的影响，振荡频率稳定。

三极管振荡部分的振荡频率由 $L_1 L_2 C$ 决定。板极迴路中的输出频率由 $L_a C_a$ 决定。输出频率可以和三极管振荡频率相同，也可以是它的 2 倍 3 倍或 4 倍。

这种振荡器的输出负载可以是调谐的 $L_a C_a$ 迴路，也可以是不调谐的只接一个高频扼流圈。但不论那一种输出迴路都是经过电子流作用和栅极迴路耦合，不是电感或电容耦合。