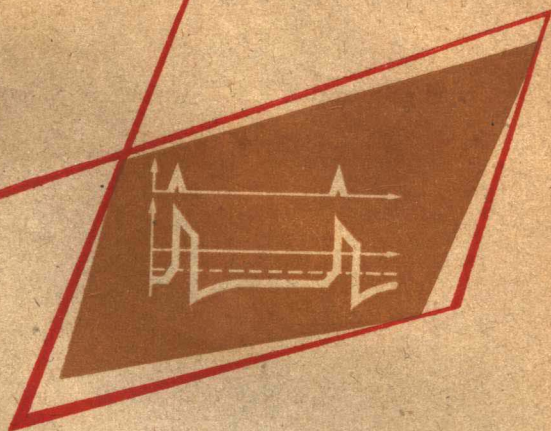




间歇振荡器

苏联 Л. М. 列盖尔逊 著

李 阿 中 译

人 民 邮 电 出 版 社

67

苏联业余无线电丛书



中国航海史话

中国航海史话编写组
编

人民交通出版社



間 歇 振 盪 器

苏联 Л. М. 列盖尔逊 著
李 阿 中 譯

人 民 郵 電 出 版 社

Л. М. Регельсон
Блокинг-генератор
Госэнергоиздат 1961

内 容 提 要

在这本小册子中研究了工作于自激状态、驱动状态以及同步状态的间歇振荡器中的物理过程。

小册子中还举出了各种间歇振荡器的电路及其在无线电设备中应用的例子。此外，还讨论了间歇振荡器元件的选择问题。

这本小册子可供电视、微波中继通信、雷达等专业的技术人员，无线电科系师生及已具备初步无线电知识的无线电爱好者阅读。

间 歇 振 盪 器

著 者：苏联 Л. М. 列盖尔逊

译 者：李 阿 中

出版者：人民邮电出版社

北京东四6条13号

(北京市书刊出版业营业许可證出字第〇四八号)

印刷者：北京市印刷一厂

发行者：新华书店

开本 787×1092 1/32

印张 2.4 32 页 34

印刷字数 49,000字

1963 年 7 月北京第一版

1963 年 7 月北京第一次印刷

印数 1—8,000 册

统一书号：15045·总1143—无360

定价：(9) 0.26 元

引 言

整个近代无线电电子学的发展在很大程度上是与脉冲技术的发展分不开的。

例如，无线电电子学的这些分支，象雷达、导弹制导、电视，实质上是以应用脉冲装置与方法为基础的，并且反过来又促进了后者的发展。

在形形色色的脉冲装置中，脉冲发生器占有重要地位。间歇振荡器就是一种用变压器构成正反馈的单级脉冲发生器。间歇振荡器所产生的振荡在实用上具有下列很重要的特性：

1. 工作脉冲持续时间不大，介乎几百微秒到几十分之一微秒之间。

近年已制成产生持续时间 τ 约几毫微秒^① 的脉冲的间歇振荡器。

2. 脉冲波形几为矩形，这是由于其前后沿很陡而顶部很平。脉冲前后沿的持续时间约为 $(0.25 \rightarrow 0.1) \tau$ ，甚至更短。

3. 振荡的间隙度 ($Q = \frac{T_a}{\tau}$ ，这里 T_a 是脉冲重复周期) 很高。虽然在原则上间隙度可减小到 10 以下，但通常却常采用几百到几万的数值。

4. 由于采用高间隙度，使工作脉冲的功率很大。脉冲电流可以超过放大元件在连续工作状态下的最大容许电流值几百倍。这就使间歇振荡器的放大元件的内阻很低，因之可用作换接器（即开关元件）。

① 1 毫微秒 = 10^{-9} 秒。

还应指出，当 Q 值高时，間歇振盪器是一种极为省电的装置，因为它的放大元件（电子管或晶体管）只在形成工作脉冲的时间 $\tau \ll T_a$ 内导电，而消耗屏极（或集电极）电源的电能。其余大部分时间放大元件截止，不消耗电源的电能。

間歇振盪器可以工作于自激状态、驱动状态和同步状态。在同步状态时，利用間歇振盪器可将脉冲串按整数分频。

其它脉冲发生器或者不具备上述性质，或者只具备少许。此外，由于线路简单和工作可靠也使間歇振盪器适用于许多设备中。例如，它广泛地用在雷达的显示设备和同步设备中，在同步振盪器中，在电视设备的行扫描和帧扫描发生器中，在脉冲发射机的调制器中，在脉冲计数线路中，在把較低的直流电压变为高直流电压的设备中（此时，間歇振盪器的作用类似于振动物子变换电路中的断续器）及其它设备中。

在无线电电子学中应用半导体可作成晶体管間歇振盪器。这种装置已制成并能可靠地工作。

虽然間歇振盪器的线路简单，但其物理过程却相当复杂。这是因为：第一，其过程实质上是非线性的，这就是说，一般来讲并不遵从欧姆定律；第二，至少要考虑两个储能元件：电容器和回授变压器。

在这本小册子中，以最简单同时也是最通用的电路为例，根据栅极动态特性来研究間歇振盪器工作的物理过程。

书中也研究选择間歇振盪器参量的一些问题，以及最常见电路的工作特点。

目 录

引言

間歇振盪器中的物理过程.....	(1)
脉冲变压器.....	(25)
間歇振盪器电路元件与参量的选择.....	(31)
間歇振盪器的同步与分頻.....	(39)
間歇振盪器的实用电路.....	(45)
面結型晶体管間歇振盪器.....	(61)

間歇振盪器中的物理过程

間歇振盪器是电感性强正回授的单級短脉冲发生器。为保证这种回授，应用有鉄心或鉄淦氧鉄心的脉冲变压器。通常取回授系数 k 近于一。为使所产生脉冲的前后沿很陡，就必需这样做。

下面以图 1 所示的基本电子管电路为例，研究間歇振盪器的工作情况。

电子管的屏极电路内接变压器的一个繞組（圈数为 W_1 ，电感为 L_1 ），另一繞組（圈数为 W_2 ，电感为 L_2 ）接在电子管的栅极电路内，以实现对栅极电路的回授。

在栅极电路内接有电容器 C 和栅漏电阻 R ，它們的数值确定了工作脉冲的持續時間 τ 和自激振盪的周期 T_a 。

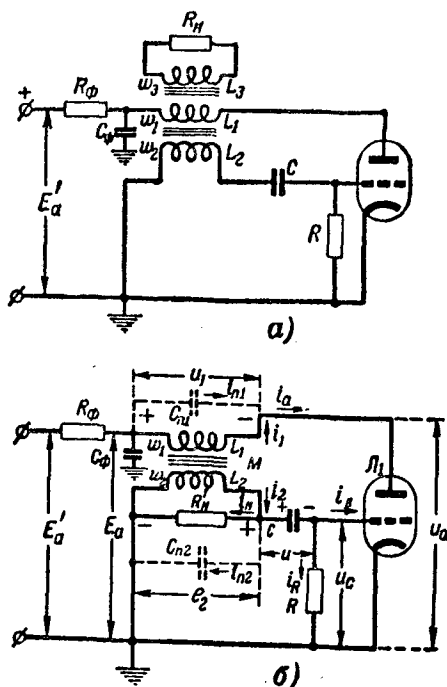


图 1 間歇振盪器的基本电路
a—实际电路；b—等效电路

变压器屏极繞組与柵极繞組間的互感系数，在 $k=1$ 时，等于 $M = \sqrt{L_1 L_2}$ 。从柵极繞組到屏极繞組的变压系数 $n =$

$$\frac{u_1}{e_2} = \frac{w_1}{w_2} = \sqrt{\frac{L_1}{L_2}}。$$

在屏极电路与屏极电源 E'_a 間，接入由电阻 R_Φ 和电容 C_Φ 組成的去耦滤波器。負載 R_n 可接在屏极与阴极間、柵极与阴极間和通过变压器的附加专用第三繞組（圈数为 w_3 ，电感为 L_3 ）或用其它方法接入。此时，負載电阻总可以折算到柵极电路中，与变压器的柵极繞組并联（图 1， δ 上的 R'_n ）。

除了上述电路元件以外，还必须考虑在形成脉冲前沿时占重要地位的寄生电容。这些电容是电子管的极間电容，变压器的圈間和繞組間的电容（示于图 16）。为要計算脉冲前后沿的持續時間，屏极电路和柵极电路的全部寄生电容以后都认为被折算成电容 C_{n1} 和 C_{n2} ，它們分別接在变压器的屏极繞組和柵极繞組上（图 1， δ ）。

間歇振盪器的工作大致上可分为两个截然不同的阶段。第一个阶段占去自激振盪过程周期 T_a 的大部分，且由电子管处于截止状态的时间来决定。第二个阶段由电子管处于导电状态的时间来决定（在此阶段形成脉冲）。

讓我們看一看在間歇振盪器的这些工作阶段中所发生的一些物理过程。

第一阶段 在这个阶段中，由于电容器 C 上相当高的电压 u （图 2， a ）使电子管保持在截止状态。电容器在柵极电路中放电，速度由時間常数 RC 来决定。电容器的容量 C 和电阻 R 的数值通常都取得足够大，因之放电电流 i_{pasp} 变化相当慢。电感 L_2 的阻抗与电阻 R 相比非常小。这就可以忽略电感 L_2 上的电压，因之也可以忽略 R_n 上的电压，认为电子管的柵压是

由电容器 C 上的电压来确定。

如果在开始放电的瞬间 t_A 电容器上的电压用 $U_{\text{макс}}$ 代表, 则此时的栅压为 $U_{c0} = -U_{\text{макс}} = I_{0\text{разр}} R$ 。

随着电容器放电, 栅压慢慢升高, 一直到 t_B 时达到电子管的导电电压 E_{c0} 为止 (图 2, б)。

电容器从 $U_{\text{макс}}$ 放电到 E_{c0} 的时间便是脉冲间的间歇时间。间歇时间 T_n 的长短与放电电路的时间常数 RC 成正比。

事实上, 放电电流随时间的变化是按指数规律进行的 (图 2, в 和 г)。

$$i_{\text{разр}} = I_{0\text{разр}} e^{-\frac{t}{RC}},$$

$$u_c = i_{\text{разр}} R = I_{0\text{разр}} R e^{-\frac{t}{RC}} = U_{c0} e^{-\frac{t}{RC}} \quad (1)$$

在公式(1)中代入 $u_c = |E_{c0}|$ 和 $t = T_n$, 便求出间歇时间

$$T_n = RC \ln \left| \frac{U_{c0}}{E_{c0}} \right| = 2.3 RC \lg \left| \frac{U_{c0}}{E_{c0}} \right| \quad (2)$$

间歇时间较自激间歇振荡器的周期 T_a 短 τ (τ 是脉冲持续时间), 即 $T_n = T_a - \tau$ 。当间隙度 Q 值很高时, 便满足关系式 $\tau \ll T_a$ 。

因此, 在 $Q \gg 1$ 时, 可以认为 $T_n \approx T_a$ 。

从公式(2)可见, 可以根据 R 和 C 的数值和比值 $\frac{U_{c0}}{E_{c0}}$ 来选择和调节 T_n (从而也调节了 T_a) 的数值。

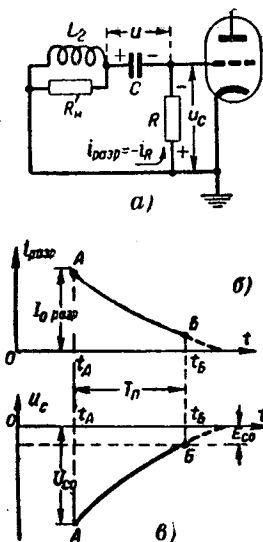


图 2 在间歇时间电容器 C 放电
а—等效电路; б—放电电流 $i_{\text{разр}}$ 的时间图; в—栅极电压 u_c 的时间图

第二阶段 当栅压 u_c 达到电子管的导电电压 E_{c0} 后(图 2 和 3 上的 B 点), 它开始急剧增长。

随着 u_c 的增长, 屏流和栅流急剧增大, 电子管的屏压降低。电流和电压的这些急剧变化使电子管迅速地处于完全导电的状态(点 B), 这个过程称为**正向間歇过程**。

此过程終了后, 栅压变正, 其值甚至較屏压高。栅流变得完全可与屏流相比拟。此后, 电容器 C 由栅流充电, 而栅压 u_c 較慢地下降。栅流也减小, 而屏流减小得非常慢(图 3)。

这样, 一直进行到开始满足**反向間歇过程**的条件(点 Γ)为止。

由于进行了这个急剧变化的过程, 电压 u_c 减到 U_{c0} , 电子管截止, 屏流和栅流减小到零, 整个系統又返回到点 A。这样, 形成了持續時間 τ 通常較間歇時間 $T_{\text{н}}$ 要短得多的工作脉冲。

在正向間歇过程时形成脉冲的前沿, 在反向間歇过程时形成脉冲的后沿。在电容器 C 充电时形成脉冲的頂部。

形成工作脉冲的前沿 正向間歇过程的发生与发展是因为在屏极电路与栅极电路間有很强的正回授。正回授是由变压器来实现的。間歇过程的机理大致如下。

当电子管导电时, 出現了屏流 i_a 和变压器屏极繞組 w_1 中的电流 i_1 。繞組是这样接的, 使 i_1 在栅极繞組 w_2 中所感应出来的电动势 e_2 , 由于它变化很快, 通过电容器 C 送到电子管的栅极上, 提高栅压 u_c 。栅压增高使屏流更大, 因为电子管栅极特性的互导增大了。因此, 屏流 i_a 和电流 i_1 增长得越来越快, 且后者在栅极繞組中感应出更大的电动势 e_2 。这就使电子管的栅压更为提高, 后者又反过来促使屏流进一步增长, 如此不断循环下去。

这个再生过程雪崩似地进行下去, 使栅压、栅流和屏流迅

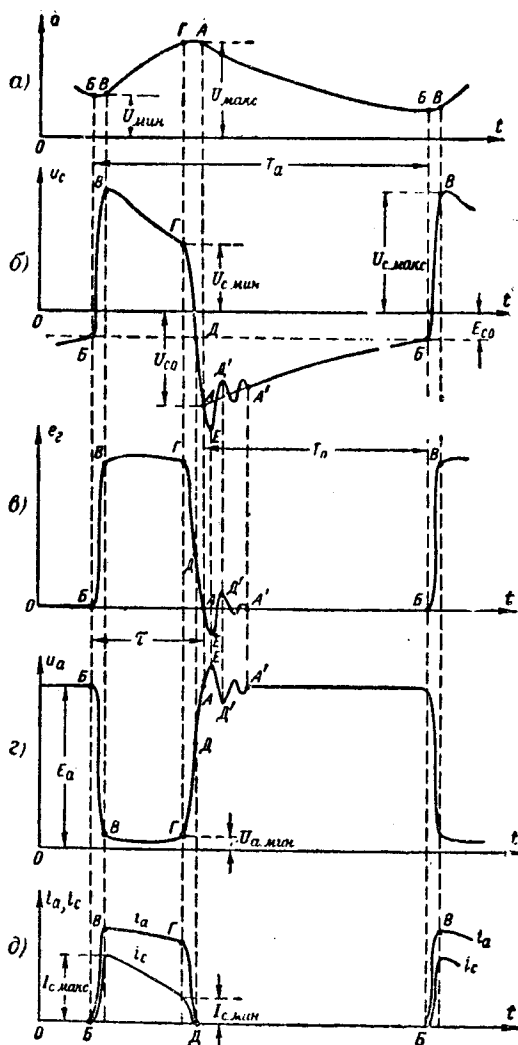


图 3 間歇振盪器的电路中电压和电流的时间图

速增长,使电子管的屏压下降,一直进行到由于在高栅压区域电子管屏流互导减小和栅流电导增加,使实现間歇过程的条件不再能够滿足为止(图3点B)。

让我们研究一下正向間歇过程。为此,要利用电子管的栅极静态特性。

电子管的静态特性曲线是在屏压保持不变时画出来的。然而在形成脉冲前沿时,变压器屏极绕组上产生逐渐增大的电压 u_1 ,其方向与屏极电源电压 E_a 相反(图1)。

因此,屏压不是保持不变,而是在减小。因此,必需画出屏流的动态特性曲线,即当电压 u_a 减小时,电流 i_a 与栅压 u_c 间的关系。

要画出这条特性曲线,必需先有静态特性曲线族,且須知道在整个过程中 u_a 与 u_c 间的关系。由图1,6可見,間歇振荡器滿足下列关系:

$$u_a = E_a - u_1 = E_a - ne_2 \quad (3)$$

且
$$e_2 = u_c + u. \quad (4)$$

在間歇过程开始的瞬间,电容器上的电压数值最小,等于电子管的截止电压 $u = U_{\text{МНН}} = |E_{c0}|$ (图3)。由于間歇过程进行得非常迅速,电容器上的电压实际上来不及变化(电容器中儲存的电能 $\frac{1}{2}Cu^2$ 不能在瞬息間发生变化)。因此,在正向間歇过程中,滿足关系式

$$e_2 = u_c + U_{\text{МНН}}.$$

将此 e_2 值代入公式(3)中,得到所求的关系

$$u_a = E_a - n(U_{\text{МНН}} + U_c). \quad (5)$$

动态特性曲线的画法如下(图4, a)。取某栅压值 $u_{c1} > U_{\text{МНН}}$ 。据公式(5)求出与 u_{c1} 值相应的 u_{a1} 值。选取該 u_{a1} 值时

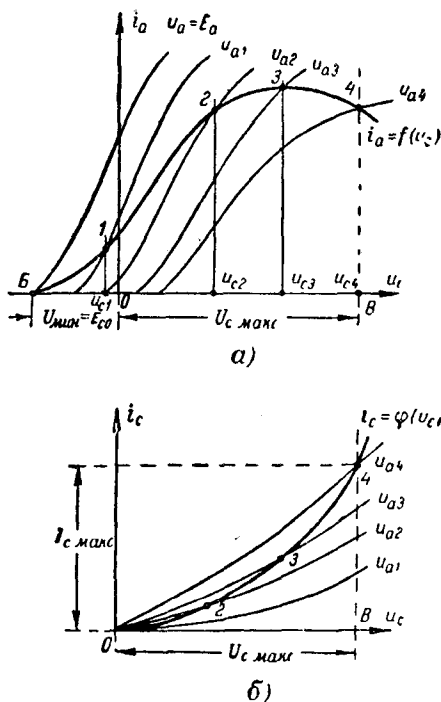


图 4 动态特性曲线的画法
a—屏流动态特性曲线；b—栅流动态特性曲线

的屏流静态特性曲线。 $u_c = u_{c1}$ 的直线与此特性曲线的交点 1 便确定了栅压为 u_{c1} 时的屏流值。同样地可求出点 2、3 等。用平滑的曲线将这些点连起来，得到对应于正向间歇过程的屏流与栅压的动态关系。

在间歇振荡器的整个工作过程中，流过变压器栅极绕组的电流 i_2 (图 1, б) 起很重要的作用。这个电流分成四个电流：负载电流 $i_R = \frac{e_2}{R_H}$ ，电流 $i_R = \frac{u_c}{R}$ ，栅流 i_c 和寄生电容电流 $i_{\pi 2}$ 。

所有上述电流在形成脉冲前沿时都在增大。电流 i_c 与电压 u_c 间的关系由栅流动态特性曲线来确定。它与屏流动态特性曲线相仿，画在相应的静态特性曲线族上（图 4, б）。

在画图 4 的特性曲线时，必需利用电子管的脉冲特性，因为正向间歇过程是当电子管的栅压很高时结束的。

电流 i_2 的增长在栅极绕组上感应出自感电动势 e_{L2} ，其方向是阻碍此电流增长，即负端接栅极。

电动势 e_2 （图 5, а）是由屏流在栅极绕组中所感应的互感电动势 e_{M2} 与自感电动势 e_{L2} 相加而成。电压 u_1 也是由自感电动势 e_{L1} 和互感电动势 e_{M1} 所组成。在正向间歇过程中所研究的所有电动势的符号都标在图 5, а 上。

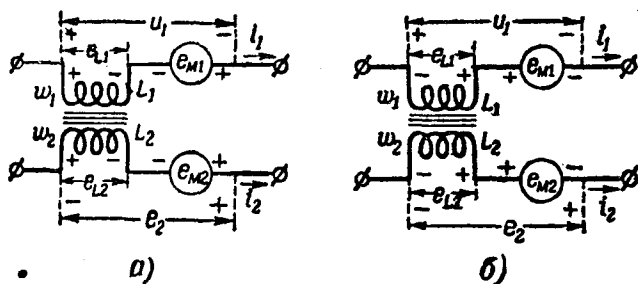


图 5 形成脉冲时变压器屏极绕组上的电压 (u_1) 与栅极绕组上的电压 (e_2)
а—脉冲前沿的；б—脉冲顶部和后沿的

这里的特点是回授电动势 e_{M2} 大于自感电动势 e_{L2} ，因而确定了电压 e_2 的极性。在正向间歇过程时， e_2 以及 u_1 的增长是由于 e_{M2} 增长所致。

正向间歇过程实际上在电子管刚一导电时立即开始。为了说明它是怎样进行的和甚么时候结束，必需考虑到。由于过程进

行得非常迅速，在过程进行的时间內不但儲存在电容器 C 中的能量来不及显著地变化，而且儲存在变压器中的能量也同样来不及显著地变化。

变压器所儲存的磁能，一般來說，由下式来确定：

$$W_{\text{MAGH}} = \frac{L_1 i_1^2}{2} + \frac{L_2 i_2^2}{2} - M i_1 i_2.$$

这里，前面两项分别代表与每一繞組有关的固有磁能，而第三项是互感磁能。当 $k=1$ 时，互感系数 $M = \sqrt{L_1 L_2}$ 。将此值代入上式，得

$$W_{\text{MAGH}} = L_2 \frac{\left(\sqrt{\frac{L_1}{L_2}} i_1 - i_2 \right)^2}{2} = L_2 \frac{(n i_1 - i_2)^2}{2}.$$

引入符号 $I = n i_1 - i_2$, (6)

则上式改写成

$$W_{\text{MAGH}} = L_2 \frac{I^2}{2}. \quad (7)$$

由此可见，鉄心磁能是由电流 I 和变压器的柵极繞組的电感 L_2 来确定的。

这样，电路中所有电流对鉄心磁通的作用可用一个流經脉冲变压器柵极繞組的虚拟电流来代替。这一电流叫做磁化电流。

根据示于图 1, δ 的电流的分布，在正向間歇过程中

$$i_1 = i_a - i_{n1}$$

和

$$i_2 = i_c + i_h + i_R + i_{n2}$$

将 i_1 和 i_2 的值代入公式(6)，得

$$I = n i_a - i_c - i_h - i_R - n i_{n1} - i_{n2}.$$

最后两项可以合併，用 $i_n = n i_{n1} + i_{n2}$ 表示。

于是最后得到的磁化电流

$$I = ni_a - i_c - i_H - i_R - i_n. \quad (8)$$

所有組成等式(8)右部的电流,是真正流过間歇振盪器柵极电路的电流和,从屏极电路折算到柵极电路的电流。

因之,对正向間歇过程而言,柵极电路的等效电路如图6所示。在此图中,电容器 C 用直流电源 U_{MH} 来代替,因为在正向間歇过程时电容器上的电荷实际上保持不变。

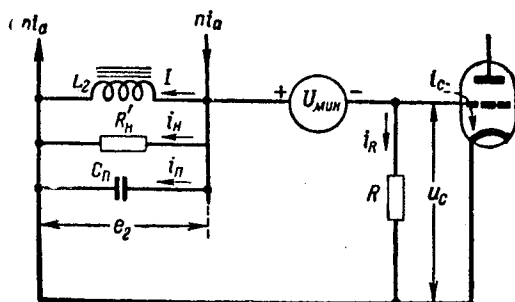


图6 形成脉冲前沿时柵极电路的等效电路

在公式(8)中寄生电容电流 i_{n1} 和 i_{n2} 用流过柵极电路的总电流 i_n 代替。因此,在等效电路中,寄生电容 C_{n1} 和 C_{n2} 被一个接在变压器柵极繞組两端的等效寄生电容 C_n 所代替。

这样代替之所以可能是基于某些简单的物理概念。实际上,在正向間歇过程中,电容 C_{n1} 的充电电流 i_{n1} 象电容 C_{n2} 的充电电流 i_{n2} 一样,减小了磁化电流 I 。

因此,接在变压器屏极繞組上的寄生电容的影响与某一接到变压器柵极繞組上的附加寄生电容的影响相同。电容 C_{n1} 与电容 C_{n2} 一起,組成示于图6的总等效电容 C_n ①。

① 負載电容 C_H 也对等效电容 C_n 的数值有影响。