

目 录

緒言	1
第一章 脉冲电动势作用在电路上的情况	3
1. RC 电路	3
2. RL 电路	10
3. LC 电路	12
4. 傳輸綫	17
第二章 限幅器	30
5. 二極管限幅	32
6. 板一柵限幅	40
7. 箝位器	46
第三章 矩形脉冲的获得	47
8. 觸發器	47
9. 多諧振盪器	59
10. 間歇振盪器	73
11. 具有形成綫的脉冲發生器	81
12. 振盪器的同步和脉冲重复頻率的分頻	86
第四章 鋸齒形电压和电流的获得	92
13. 获得鋸齒形 (直綫性变化的) 电压的原理	92
14. 电压直綫性变化的脉冲發生器	98
15. 鋸齒形电流振盪器	113
第五章 比較振幅	120
第六章 脉冲的可變延遲	125
第七章 脉冲的調制和反調制	130
16. 脉冲的振幅調制和反調制	132
脉冲持續時間的調制和反調制	134

18.	脉冲的相位調制和反調制.....	135
第八章	脉冲選擇	140
19.	脉冲振幅選擇.....	140
20.	脉冲持續時間的選擇.....	143
21.	重合脉冲的選擇.....	149
第九章	脉冲的測量	151
22.	測量脉冲的振幅.....	152
23.	測量脉冲的持續時間和它的一部分持續時間.....	154
24.	測量脉冲的頻率.....	157
25.	計算脉冲的設備.....	158

緒 言

無線電技術的蓬勃發展、脈沖研究方法的研究和在生產中廣泛採用自動化，使脈沖技術成為一個獨立的知識部門。

現在已經很難舉出哪一個技術領域中是不用脈沖方法的。在現代電視、多路無線電通信、雷達和無線電導航中，脈沖方法起着重要的作用。科學家利用脈沖研究方法來洞察物質的秘密。以脈沖過程為動作基礎的數字計算機可以在一秒鐘內進行幾萬次計算。

按脈沖技術原理工作的儀器有時是很複雜的，不過每種儀器中都有基本的脈沖裝置，借此產生或形成電脈沖，實現脈沖的調制、脈沖在時間上的延遲和脈沖的選擇等等。本書就研究這些基本的脈沖裝置。

書中只提供為了解這些裝置的工作原理和實際調整它們所必需的知識。材料的敘述順序是由最簡單的到較複雜的。把這些裝置作複雜而巧妙的組合，就可以解決各種有趣的問題。本書的最終目的，是通過對這些基本脈沖裝置的研究，使讀者能按照自己的需要進行設計，並用這些基本的脈沖裝置裝成複雜的無線電裝置，就像用磚來蓋房屋一樣。在研究脈沖電路之前應當確定一下我們將研究些什麼樣的脈沖。

電脈沖就是在短促的時間間隔內作用的電壓或電流（圖1，a）。脈沖有各式各樣的形狀：三角形的、矩形的、梯形和其它形狀的。過渡過程在脈沖電路中起着很大的作用。例如，在由電阻和電容器串聯組成的電路中輸入某一電壓，那末電容器上的電壓不能立即達到輸入電壓那樣高的電平，而要經過一定的時間。電容器上電壓的逐漸增長過程就是過渡過程。這樣

渡过程和稳定过程（电容器上的电压保持恒定）有着本质上的区别。在有电感的电路中也产生同样的现象。由于在实际电路中都有电容和电感，所以当电压或电流变化时，电路中就会产生过渡过程。

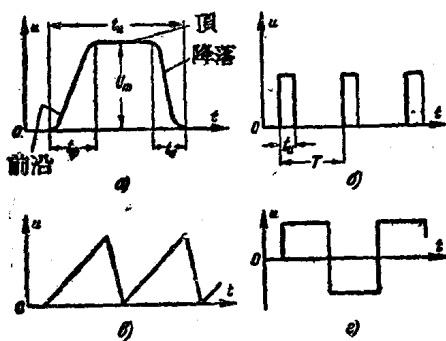


圖 1 脉冲和周期性电压的形状

a —脉冲； b —矩形脉冲串； c —锯齿形电压； d —矩形电压

脉冲技术是研究持续时间可以和由它引起的过渡过程持续时间相比较的脉冲。脉冲间的间隔持续时间应当比脉冲的持续时间大很多，使在下一个脉冲来到之前，电路中由前一个脉冲所引起的过渡过程已经结束。

比值 $\frac{T}{t_n}$ （见图 1, b ）叫做脉冲间隔度，以字母 Q 表示。

在脉冲装置中不仅采用脉冲（图 1, b ），同时也采用锯齿形的、矩形的和其它形状的周期性电压（图 1, c 和 d ），这是因为无论是为了辅助目的（例如形成或控制脉冲），无论是为了特殊目的（脉冲测量，电视中形成图形等等），都必须采用这些

第一章 脉冲电动势作用在电路上的情况

1. RC 电路

在介绍脉冲通过 RC 电路之前，首先研究一下电路与直流电压源 U 接通时，其中电流和电压的变化情况（圖 2, a ）。

假设在初始状态电池与电路断开（轉換开关 Π 在位置 1），电容器 C 放完电，也就是說电容器上的电压 u_C 等于零。这时电阻 R 上的电压 u_R 也同样等于零。

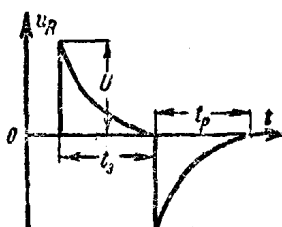
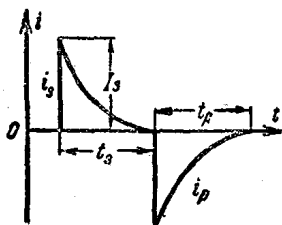
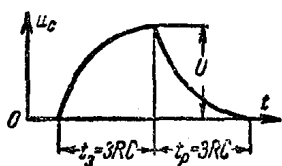
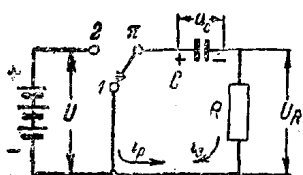
当电池与电路接通时（轉換开关 Π 在位置 2）便开始了电容器 C 的充电过程。但是充电过程不可能在瞬間內完成，因为当电容器充电以后，在其極板間就有了电位差，也就是說有了具有能量的电场。因此，如果电容器的充电是在电池与电路接通的瞬間內完成的，那么电容器極板間的电场也应该在瞬間內建立。这又意味着原来等于零的电场能量在瞬間內增大到某值。然而为此，充电电流源就应该具有無限大的能量。在实际情况下这是不可能的，所以电容器的充电（放电也一样）是在某一有限時間間隔內进行的，这个時間間隔可能是很小的。

通过电容器的电流是可以在瞬間內变化的（躍变），因为这时电场能量并不改变。

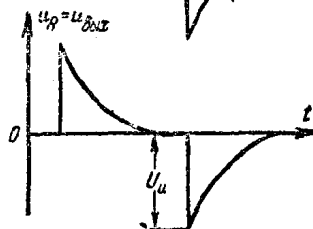
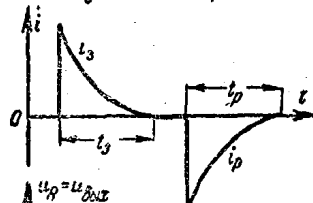
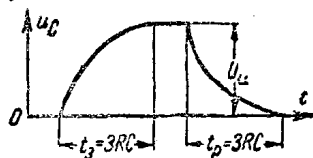
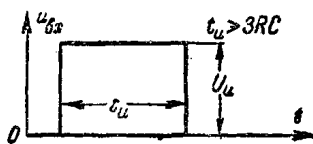
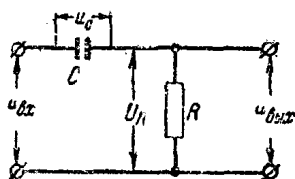
再来看我們原来的例子。接通电池后电容器开始以电流 i_3 逐渐充电。由于电容器 C 事先已放电，所以充电电流等于：

$$i_3 = \frac{U - u_C}{R}.$$

在接通电池后的最初瞬間，电容器上的电压 u_C 等于零，因此电容器充电电流 i_3 的大小由电阻 R 的大小决定，在电阻



a)



б)

圖 2 RC 电路中的过渡过程

а—在接通和切断直流电源时;

б—在持續時間大于电路時間常数 τ 的脉冲作用下。

R 上产生等于电池电动势的电压跃变:

$$u_R = i_s R = \frac{U}{R} R = U.$$

电容器上的电压 u_C 力趋增大到电池电压 U 。这时电阻 R 上的电压 $u_R = i_s R = U - u_C$ 趋向零 (圖 2, a)。电压 u_C 的增長速度和电压 u_R 的下降速度由电阻和电容的乘积 RC 决定, RC 叫做电路的时间常数, 以字母 τ 表示。 τ 越大, 电压 u_C 的增長速度和电压 u_R 的下降速度就越小。充电电流的下降特性可用数学公式表示

$$i_s = \frac{U}{R} e^{-\frac{t}{RC}} \quad ①,$$

式中 $e = 2.72\ldots$ ——为自然对数的底; t ——从电容器开始充电起所經過的时间。

电容器上电压 u_C 的增長特性和电阻上电压 u_R 的下降特性可用公式表示

$$u_R = i_s R = \frac{U}{R} R e^{-\frac{t}{RC}} = U e^{-\frac{t}{RC}};$$

$$u_C = U - u_R = U - U e^{-\frac{t}{RC}} = U \left(1 - e^{-\frac{t}{RC}} \right).$$

从这些公式中可以看出, 只有經過無限長的时间以后, 就是当 $t = \infty$ 时, 电压 u_C 才能上升为 U , i_s 和 u_R 才能下降到零。但是实际上当电容器上的电压达到 0.95 电源电压时就認為电容器的充电已告結束, 也就是經過三个时间常数以后 ($t = 3RC = 3\tau$ 秒) 就告結束。

① 式 $e^{-\frac{t}{RC}}$ 是 $y = e^x$ 形式的指数(釋)函数, 式中 $x = -\frac{t}{RC}$ 是自变量

当过渡过程结束后（电容器 C 充电到 $0.95U$ ），將轉換开关 Π 移至位置 1。这时电容器 C 通过电阻 R 接通，在电路中便出现电容器放电电流 i_p 。由于现在电容器 C 的正极板接电阻 R 的下端，所以放电电流 i_p 的方向与充电电流 i_s 的方向相反。这样电阻上电压 u_R 的新的躍变具有負的極性（圖 2, a）。有关电容器充电所講的一切在电容器放电时也适用：电压 u_C 按电路時間常数作指数式下降；放电电流 i_p 和电阻 R 上的电压 u_R 的下降也相同，只是它們的極性与充电时相反。經過 $3RC$ 秒以后电容器实际上已放电完畢。

如果加在电路輸入端的不是电池的直流电压，而是持續時間大于过渡过程時間的矩形脉冲，也会出现同样的情况（圖 2, б）。那时自脉冲前沿起电容器 C 开始充电，在电路輸出端（在电阻 R 上）产生以時間常数 τ 按指数曲綫下降的尖頂脉冲。这个脉冲的極性与輸入矩形脉冲的極性一样。

輸入矩形脉冲的降落（后沿）在电路輸出端引起第二个尖頂脉冲，它的極性与輸入脉冲極性相反。这样，輸入一个矩形脉冲在 RC 电路的輸出端却出现两个比較短的尖頂脉冲。它們之間的時間間隔等于輸入矩形脉冲的持續時間 t_u 。

已分析过的 RC 电路的時間常数 τ 远小于輸入脉冲的持續時間 t_u ($\tau \ll t_u$) 或 $3RC \ll t_u$ ，这种电路叫做微分电路。

讓我們来研究一下，当 RC 电路的時間常数大于輸入脉冲的持續時間时，就是 $\tau > t_u$ 时，电路輸出端电压形狀的变化。在这种情况下矩形脉冲比电容器充电的过渡过程結束得早。在矩形脉冲結束的瞬时，电容器上的电压等于 u'_C ， u'_C 小于脉冲电压 U_u 。那时輸出端的电压（圖 3, a）

$$u'_R = U_u - u'_C.$$

輸入脉冲結束后，电容器上所充电的电压 u'_C 在电阻 R 上

引起等于 $-u'_C$ 的負的电压躍变, 也就是說电阻上的电压由 u'_R 躍变到 $-u'_C$, 或

$$u'_R - (-u'_C) = U_u.$$

此后电容器开始像通常一样放电。

如果增大 RC 电路的时间常数 τ , 那么电压 u'_R 將趋近于电压 U_u , 而 u'_C 將趋近于零。最后, 当 τ 值很大时 ($\tau \gg t_u$), 矩形脉冲通过 RC 电路实际上不产生畸变 (圖 3, б)。这种 RC 电路叫做过渡电路。

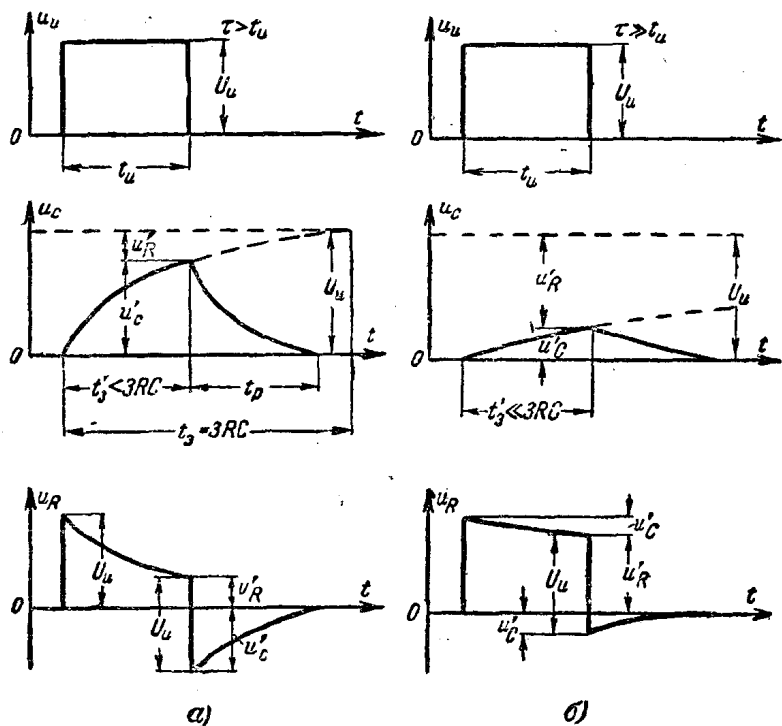


圖 3 在矩形脉冲作用下, RC 电路的过渡过程

а) $\tau > t_u$; б) $\tau \gg t_u$

以上我們把矩形脉冲通过 RC 电路的过程理想化了, 就是說假設脉冲具有严格的矩形 (前沿时间和降落时间均等于零), 也沒有考虑寄生电容的影响。实际上不可能得到增長时间和降落时间均为零的脉冲, 而在任何实际綫路中都有寄生电容存在。

首先研究一下当增長时间为 t_{ϕ} 和降落时间为 t_c 的脉冲作用

用于 RC 电路时輸出脉冲形状的变化 (圖 4)。

如果电路的时间常数大于輸入脉冲的前沿和降落持續时间, 那么对脉冲的前沿和降落來說电路为过渡电路, 它們不产生畸变 (圖 4, б)。如果电路的时间常数小于輸入脉冲的前沿和降落的持續时间, 輸出脉冲的形状就会显著地变化。在这种情况下电容器上的电压增長極快, 并且很快就达到輸入脉冲前沿增長的速度, 也就是电容器的充电电流成为恒定值。所以电阻

R 上电压降的数值在躍

变后的若干時間內保持不变 (圖 4, в), 同时躍变振幅減小的倍数等于 τ 小于 t_{ϕ} (或 t_c) 的倍数。

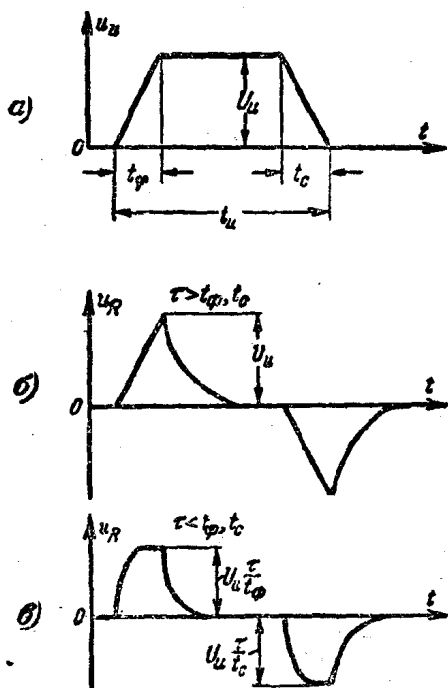


圖 4 在梯形脉冲作用下 RC 电路的过渡过程

а—輸入脉冲; б—当 $\tau > t_{\phi}$ 和 t_c 时的輸出电压; в—当 $\tau < t_{\phi}$ 和 t_c 时的輸出电压。

讓我們研究一下寄生电容的影响。起作用最大的是 RC 电路下一級的輸入电容 C_n (圖 5, a)。在輸入脉冲前沿作用于电路輸入端的瞬时, 电容器 C 和电容 C_n 是串联的, 也就是說組成了电容分压器。电容器很快充电到与电容量成反比的电压值。在这种情况下可以忽略电阻 R 的影响并認為电路輸出端的电压

$$u_{out} = U_u \frac{C}{C + C_n}.$$

此后电容器 C 开始通过电阻 R 充电, 电路輸出端的电压下降(圖 5, b 和 c)。可見寄生电容 C_n 使輸出脉冲的振幅减小。因此希望电容器的电容量 C 不小于 C_n 的 4 倍到 5 倍。但是电容值也不能取得过大, 否則为了得到所需的时间常数 τ 就要减小电阻 R 的数值, 而 R 值的减小就会增加輸入脉冲源的負載 (电阻 R 是輸入脉冲源的負載)。通常取电容器 C 的电容量不大于 100 微微法。

讓我們講一下輸入脉冲源的内阻 R_{in} 对 RC 电路輸出脉冲形状的影响(圖 6, a)。在輸入脉冲出現的瞬时, 电路中的电流①

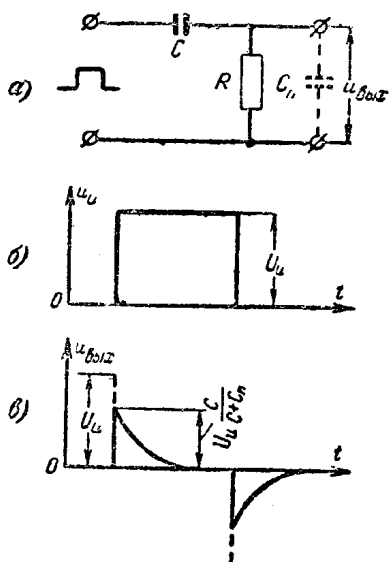


圖 5 寄生电容对 RC 电路过渡过程的影响

a-电路图; b-输入脉冲; c-輸出端电压的形状

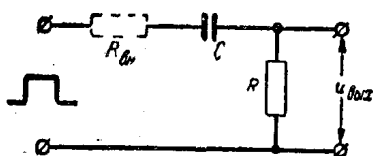
讓我們講一下輸入脉冲源的内阻 R_{in} 对 RC 电路輸出脉冲形状的影响(圖 6, a)。在輸入脉冲出現的瞬时, 电路中的电流①

① 在脉冲前沿通过的瞬时, 电流跃变, 电容器上的电压不改变, 仍旧是零。这样就能在推导电流公式时不考虑电容器的电压(认为电容器的“电阻”等于零)。

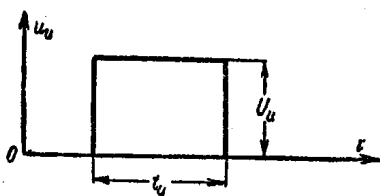
$$i_0 = \frac{U_u}{R + R_{\theta H}},$$

輸出端的电压

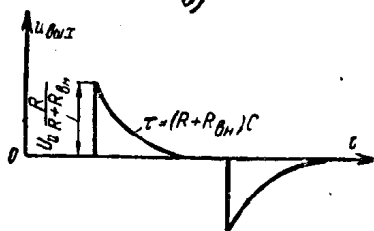
$$u_{\theta H Z} = i_0 R = \frac{U_u}{R + R_{\theta H}} R = U_u \frac{R}{R + R_{\theta H}}.$$



a)



b)



c)

圖 6 輸入脈沖源的内阻和寄生电容对 RC 电路过渡过程的影响

a—接綫圖；b—輸入脈沖；c—輸出端电压的形状

可見內阻 $R_{\theta H}$ 使电路輸出端电压的躍变值减小 (圖 6, c)。

往后电容器 C 开始通过 $R + R_{\theta H}$ 电路充电，輸出端的电压以時間常数 $\tau = (R + R_{\theta H})C$ 衰减。

上述一切在輸入脈冲結束的瞬时也同样适合。

2. RL 电路

恒定或脈冲电压作用于 RL 电路时的过渡过程和作用于 RC 电路时的过渡过程相似。

举例說，如果在 RL 电路的輸入端加上持續時間为 t_u 的矩形脈冲 (圖 7)，那末在加上前电感綫圈 L 中的电流等于零，

不能躍变，因为电流的躍变意味着綫圈磁場中所儲存的能量的躍变。因此，在躍变的最初瞬間，綫圈中的电流仍为零，这就

是說电阻 R 上的电压降也等于零，輸入脉冲电压全部降在綫圈 L 上。此后通过綫圈的电流开始以時間常数 $\tau = \frac{L}{R}$ 的指数規律增長。

綫圈上的电压 $U_L = U_u e^{-\frac{t}{\tau}}$ 逐漸减小，而电阻 R 上的电压降逐漸增大。經過 3τ 時間間隔后 u_L 实际上已下降到零，而电压 u_R 增長到 U_u (圖 7, 6)。

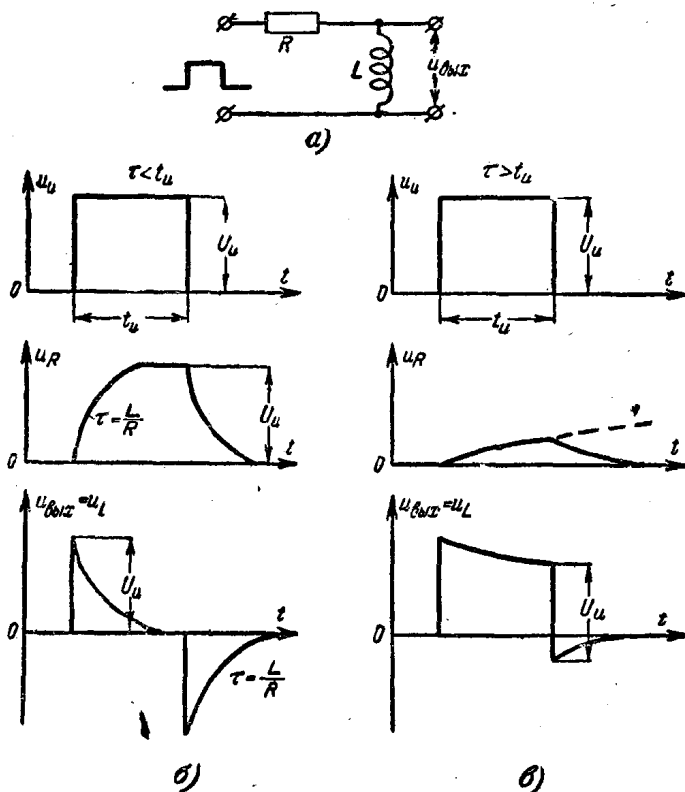


圖 7 RL 电路中的过渡过程

a —电路图; b — $\tau < t_u$ (RL 微分电路) 时电压的形状; c — $\tau > t_u$ 时电压的形状。

在輸入脈沖有負的降躍時（輸入脈沖降落）開始相反的過程，這時電壓 u_R 按指數律減小到零，而 RL 電路輸出端的電壓 u_L 躍變到 $-U_u$ ，然後又按指數律趨近於零。

如果時間常數 τ 顯著大於輸入脈沖的持續時間，線圈上的電壓就不會有很大的畸變（圖7,б）。

3. LC 電路

讓我們研究一下脈沖電動勢對於並聯振盪迴路的作用。

當轉換開關 Π 在位置 1 時（圖8,а），電感線圈 L 中有電流流過，電流的大小由關係式

$$i_0 = \frac{U}{R_{\text{вн}}}$$

決定，因為線圈的電阻通常比電池的內阻 $R_{\text{вн}}$ 小很多。在這種情況下，振盪迴路兩端的電位差等於零。

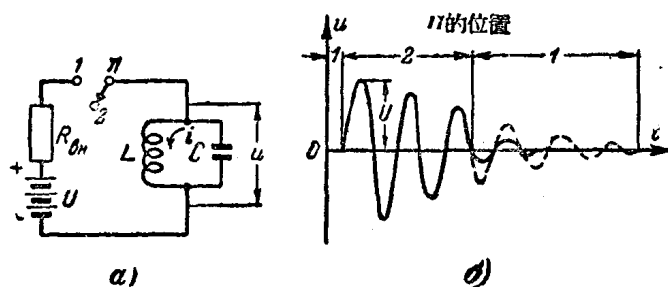


圖 8 電壓作用在並聯振盪迴路上
а-電池接線圖；б-轉換開關在不同位置時迴路中的電壓形狀

如果現在將電池與 LC 迴路斷開（開關 Π 在位置 2），那麼在電感線圈 L 中儲存的磁能不會瞬時消失，而是逐漸轉化為電容器中的電場能量，而電場能量經過若干時間後又轉化為線圈中的磁場能量，如此反復循環。換句話說，直流電源切斷後

电感线圈中的电流给电容器充电，此后电容器又开始通过电感放电，如此反复循环，就是说，在回路中产生了振荡过程，振荡频率近似等于：

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}。$$

刚刚切断电池后振荡的振幅可由线圈的磁场能量 $W_m = \frac{Li_0^2}{2}$ 和电容器的电场能量 $W_e = \frac{CU^2}{2}$ 相等的条件求出：

$$\frac{CU^2}{2} = \frac{Li_0^2}{2}，$$

由此

$$U = i_0 \sqrt{\frac{L}{C}}。$$

由于在实际振荡回路中总是有电阻的，回路中的部份能量将消耗在电阻中，因而振荡过程是逐渐衰减的（图 8,6）。衰减速度和回路的质量因数 Q 有关。质量因数越小（回路通频带越宽），振荡的衰减就越快，反之， Q 值越大（通频带较窄），振荡振幅就可以在越长的时间内保持没有显著的下降。

如果经过若干时间以后，不等到振荡过程自然地衰减完毕又把电池重新接到振荡回路上去，那么由于电池内阻 $R_{\text{内}}$ 与回路并联，振荡就立即停止。

实际上在回路中激起振荡是用电子管电路来给回路接通电源的（图 9, a）。用这种方法而受到激励的回路叫做冲击激励回路，这种回路有很大的实际应用。

用这种线路可以得到形状类似用电容微分电路（ RC 电路）时得到的尖顶脉冲。在这种情况下回路应具有使过渡过程时间（建立时间）最小的临界衰减。

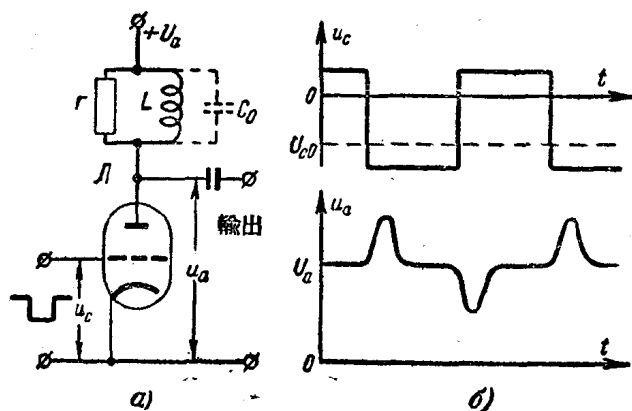


圖 9 利用冲击激励迴路得到尖頂脉冲
 a-原理圖; б-电路輸入端和輸出端的电压形狀

迴路中的电压振幅可用下式計算:

$$U_{\text{max}} = 0.37 i_{a0} \sqrt{\frac{L}{C_0}},$$

式中 i_{a0} ——栅極电压为零时流过电子管的电流。

电子管栅極和板極电压的形狀如圖 9, б 所示。

工作状态用电阻 r (圖 9, а) 来选定。

这种迴路和 RC 电路比較, 它的优点是可以得到比电源电压大的脉冲振幅。这种脉冲用来触發各种裝置是很方便的。

通常用屏幕上刻有“時間标度”的电子射綫示波器来测量小的時間間隔。这可以借助能产生重复頻率严格不变的尖頂脉冲的特殊裝置来实现, 这些脉冲加在示波管的陰極或控制極点, 結果在示波管的屏幕上便出現光标記或暗标記——時間标度。

圖 10 是产生这种标度脉冲裝置的一种电路。这种电路采用冲击激励迴路。

电路工作情况如下: 当圖中电子管 Π_1 的左三極管的 栅極

輸入負的矩形脈沖時，三極管截止。由於電流中斷，在 LC 迴路中產生微弱的衰減振盪，這些振盪在限幅級（見第二章）變為矩形脈沖後，在電子管 Π_2 右三極管的板極迴路進行微分。

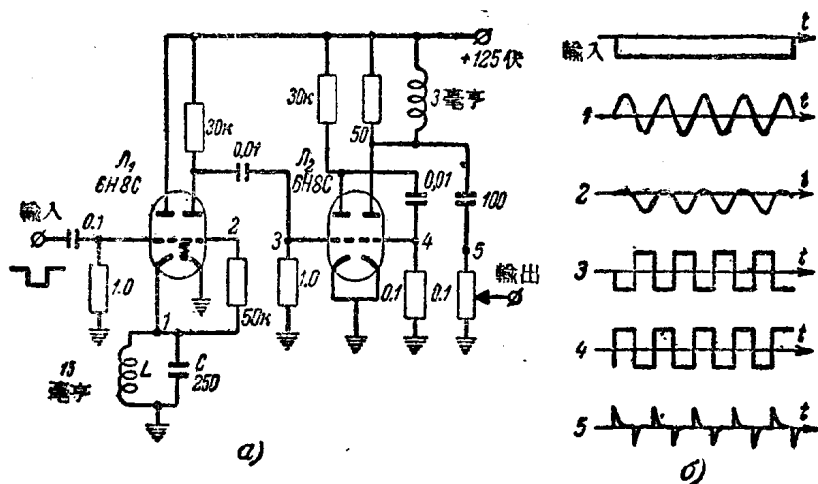


圖 10 具有沖激激勵迴路的標度標記發生器

a-原理圖；b-電路不同點的電壓形狀

在裝置的輸出端將出現極性交替變化的尖頂脈沖，這些脈沖和 LC 沖激激勵迴路中振盪的半周期相對應。將這些脈沖輸入示波器。屏幕上兩相鄰光標記或暗標記間的時間間隔等於沖激激勵迴路振盪的周期。為了使這個時間間隔等於 1 微秒，迴路的頻率應等於：

$$f_0 = \frac{1}{10^{-6}} = 10^6 \text{ 赫} = 1 \text{ 兆赫}$$

當迴路的質量因數為 100 左右時，屏幕上大約出現 30 個標記。

圖 11 是用沖激激勵迴路得到持續時間不變的矩形脈沖發生