

鋸齒形電壓波發生器

黃玉珩編著

內 容 簡 介

本書所討論的鋸齒形電壓波發生器是脈沖技術中的中心問題之一。全書共分七章。第一章緒論介紹鋸齒形電壓波產生的基本原理和它的質量指標。第二章介紹提高鋸齒形波直線性的簡單方法。第三章介紹電子穩流器的原理。第四和第五兩章就一般常用的典型的正向和負向的鋸齒形電壓波發生器作比較全面的分析。第六章介紹控制鋸齒形電壓波掃描作用的開關器。最後一章討論鋸齒形電壓波的精確度，並作設計舉例。

本書的取材和結構方面主要根據 Л. А. Мсерович 和 Л. Р. Зеличенко 所著“脈沖技術”一書，但作者作了一些進一步的分析和探討。

鋸 齒 形 電 壓 波 發 生 器

編著者 黃 玉 珩

出版者 科 學 出 版 社

北京朝陽門大街117號

北京市書刊出版業營業許可證出字第061號

印刷者 中 國 科 學 院 印 刷 廠

總經售 新 華 書 店

1958年8月第一版

1959年10月第二次印刷

(京)2,061—3,680

書號: 1324 字數: 110,000

開本: 850×1168 1/32

印張: 3/16

定價: (10) 0.70 元

序 言

本書的目的並不是要把所有的鋸齒形電壓波發生器的有關問題全部加以介紹，而只是就鋸齒形電壓波發生器的工作原理加以討論，並對其中一些主要的電路進行詳細的深入的分析。關於鋸齒形電壓波發生器的具體應用，則不是本書的討論對象。

本書的內容和編排，基本上取自蘇聯學者米葉羅維奇(Л. А. Меерович)和謝里琴科(Л. Г. Зеличенко)所著的“脈沖技術”一書第十七章，並根據作者在最近幾年來教學活動中的一些心得和體會以及參考其他有關書籍進行整理和補充而成；在某些地方在講法上曾做了一些更改和發揮。

由於在實際應用中所需要考慮的只是鋸齒形電壓波中直線性變化的一段，因此對鋸齒形電壓波的其他部分作過多的詳細討論顯然是沒有意義的。所以本書主要是就直線性變化的一段來分析，其他部分則多是从它對直線性變化一段的影響來考慮和研究。書中所有的討論都環繞着這樣的一個問題：如何提高鋸齒形波的直線性和穩定性；也就是如何提高鋸齒形波的精確度。我們將鋸齒形電壓波發生器看成兩個主要組成部分—— RC 充電電路和開關器——來進行研究。

第四章和第五章中所討論的正向和負向兩種鋸齒形波發生器，在基本原理上並沒有什麼差別。它們都是利用電子穩流器的原理，不過由於元件安排的位置不同而具有相異的特性。如果將電路的某些部分稍加更改，則利用所謂正向的鋸齒形波發生器也可得到負向的鋸齒形波；反之，也一樣。但是這不是它們被應用的主要場合。有些學者曾將這兩章的電路分別以正反饋電路和負反饋電路來區別，然而從電子穩流的基本觀點出發，這兩者都可看做是負反饋電路；因此我們在這裏沒有採用這樣的區分。在俄文書籍中也有分別稱之為自舉電路(Bootstrap Circuit)和密勒電路(Miller Circuit)的，用這兩

个名称並不能直接体现电路的本質。因之，本書採用了現在所用的名称。

应当說明，在作者最近几年来的教学工作中，曾得到教学小組內一些同志的热心帮助；在本書中也包含着他們的一些意見和工作，再者，本書曾經過忻賢傑先生的仔細校閱並提供了不少宝貴意見。作者謹致以衷心的謝忱。

本書一部分內容为作者所进行过的講授和討論材料，但此外也包含了一些作者的初始工作。考虑到作者学識有限，难免有錯誤和不妥之处，希望讀者和專家們多提意見，以便改进。

1956年7月

作者

目 录

序 言	(i)
第一章 緒論	(1)
§. 1-1 引言	(1)
§. 1-2 产生鋸齿形电压波的簡單方法	(1)
§. 1-3 鋸齿形电压波的主要参数	(5)
§. 1-4 簡單 RC 充电电路的鋸齿形波的非線性系数	(7)
§. 1-5 鋸齿形电压波發生器的主要質量指标	(10)
第二章 提高鋸齿形波直線性的簡單方法	(13)
§. 2-1 引言	(13)
§. 2-2 利用放大器提高鋸齿形波的直線性	(13)
§. 2-3 利用感应線圈以提高鋸齿形波的直線性	(15)
§. 2-4 增加一充电电路以提高鋸齿形波的直線性	(21)
結 論	(23)
第三章 电子穩流器	(24)
§. 3-1 电子穩流器的基本原理	(24)
§. 3-2 五極管电子穩流器的进一步改进	(27)
結 論	(33)
第四章 正向鋸齿形电压波發生器	(35)
§. 4-1 基本原理	(35)
§. 4-2 非線性系数的計算	(39)
§. 4-3 二極管隔离元件对扫描起始部分的影响	(43)
§. 4-4 鋸齿形波靜止期过短对扫描振幅的影响	(46)
§. 4-5 用电阻作隔离元件的正向鋸齿形波發生器的分析	(51)
§. 4-6 扫描速度可以調节的正向鋸齿形波發生器	(59)
§. 4-7 直線性进一步改进的方法和其分析	(60)
第五章 負向鋸齿形电压波發生器	(67)
§. 5-1 基本原理	(67)
§. 5-2 开关信号加在柵極的电路	(71)
§. 5-3 开关信号加在抑制柵的电路	(75)

§. 5-4 負向鋸齒形波發生器中一些具體問題的解決	(78)
第六章 開關器	(85)
§. 6-1 引言	(85)
§. 6-2 用方波作開關信號的開關器	(86)
§. 6-3 用脈沖作觸發信號的開關器	(90)
§. 6-4 自由振盪的開關器	(102)
第七章 鋸齒形電壓波發生器的精確度和設計舉例	(107)
§. 7-1 幾種電路的比較	(107)
§. 7-2 誤差的來源	(108)
§. 7-3 負載電路和開關器的影響	(110)
§. 7-4 電源電壓不穩定的影響	(113)
§. 7-5 電子管和元件參數變值的影響	(116)
§. 7-6 精密鋸齒形波發生器的設計舉例	(117)
§. 7-7 快速掃描的鋸齒形波發生器的設計舉例	(121)
參考文獻	(127)

第一章 緒 論

§ 1-1. 引 言

鋸齒形电压波(或簡称鋸齒形波)是一部分电压与時間成直線性关系的电压波。它又叫直線性变化电压波。圖 1.1 就是二例,其中电压随着時間而上升的叫正向鋸齒形电压波,随着時間而下降的叫負向鋸齒形电压波。

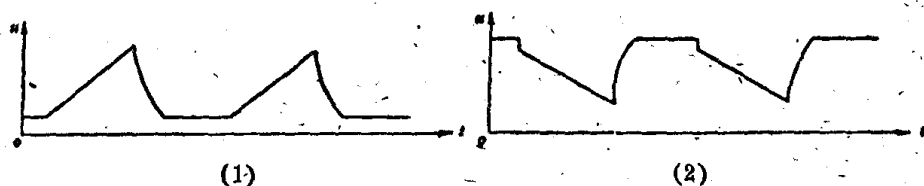


圖 1.1

这种电压波被广泛地应用在物理和电学的测量仪器中,特别是用在静电示波器中,用它来产生線性扫描的时基線,所以它又叫做線性扫描波,产生这种电压波的电路則叫做扫描發生器。在一些物理实验設備中可用这种电路作時間的精密測量;在雷达設備中用它来精密地測量目标距离;在电子計算机和自动控制設備中还常用它作为积分电路,叫它做积分器。此外,在現代的一些無線电通訊設備如电视、多路脈冲通訊等中也都用它。

这里我們將討論产生这种波形的一些基本电路的原理,並將对它們的主要性質加以分析,从而掌握各种电路的特征。至於它們的具体应用我們在这里不加討論。

§ 1-2. 产生鋸齒形电压波的簡單方法

圖 1.2 是产生鋸齒形电压波的理想电路。一个电流强度为 I 的恆流电源,对一电容 C 充电,而由一开关器 Π 来控制 C 的充电和放电的动作。

在开关 Π 切断时,电流 I 流入电容 C , 跨电容兩端的电压 u_c 上

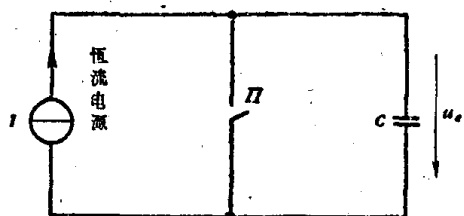


圖 1.2

升,这时因电流 I 不为时间的函数,所以

$$u_c = \frac{1}{C} \int I dt = \frac{I}{C} t, \quad (1.1)$$

它与时间成直线性关系。当 Π 接通时,电容 C 被短路, C 放电,电流 I 被开关 Π 旁路, u_c 回到零。当 Π 再行切断时, C 又复充电, u_c 再从零作直线性上升。於是得圖 1.1 (1) 所示的波形。

实际上,上述理想的恒流电源是没有的。一般所采用的简单电路是用一直流电源 E_a 经一电阻 R 对电容 C 充电,如图 1.3 的情形。这电路如果化为电流电源,则如图 1.4 所示,它的电流 I 当为

$$I = \frac{E_a}{R}。$$

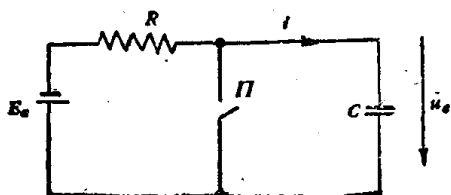


圖 1.3

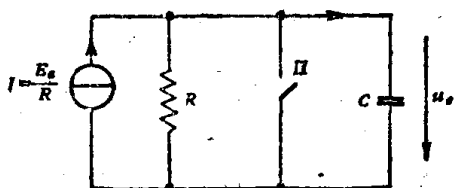


圖 1.4

这电流并不全部注入电容 C 中,它有一部分经电阻 R 逸去。

就圖 1.3 来看,当开关 Π 切断时,

$$E_a = iR + u_c \quad \text{或} \quad i = \frac{E_a - u_c}{R}, \quad (1.2)$$

式中 i 为电容 C 的充电电流,

$$i = C \frac{du_c}{dt} \quad \text{或} \quad u_c = \frac{1}{C} \int i dt. \quad (1.3)$$

显然,由于电容器 C 的充电,电压 u_c 将上升,因而跨电阻 R 的电压将减小,而充电电流 i 也将减小。因此 u_c 不会与(1.1)式一样以等速度上升,而随着充电时间的增加,上升速度将逐渐下降。不过,如果电容 C 上所充电压比电源电压 E_a 小甚多时,则充电电流 i 的变化也就很小,可以忽略不计。这样,可以近似地得到

$$u_c = \frac{1}{C} \int i dt \approx \frac{E_a}{RC} t_0$$

上式只有在 $u_c \ll E_a$ ，也就是 $t \ll RC$ 时才成立。 R 和 C 的乘积具有时间的因次，我們叫它时间常数。

在严格計算时，可將(1.3)式的 i 代入(1.2)式中，於是求得微分方程式

$$RC \frac{du_c}{dt} + u_c = E_a \quad (1.4)$$

根据起始条件

$$t=0, \quad u_c=0$$

解(1.4)式，得

$$u_c = E_a (1 - e^{-\frac{t}{RC}}) \quad (1.5)$$

这表示电压 u_c 实际上是以时间常数 RC 按指数律自零向 E_a 上升的。但如果我們只取其起始的一段，则可近似地把它看作直線，如圖 1.5 所表明的。

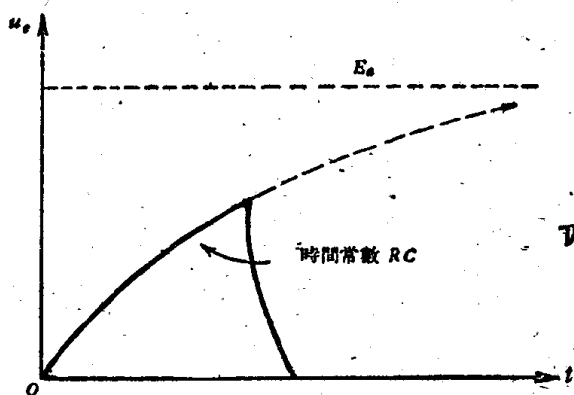


圖 1.5

就等效电路圖 1.4 來說，我們也可以說明电压 u_c 的上升不是直線的。在 $t=0$ 时，由於电容 C 未充上电压，跨电阻 R 的电压等於零，所以电流 $I (= \frac{E_a}{R})$ 全部流入电容 C 中，电压

u_c 上升較快；但当 u_c 上升后，跨电阻 R 也就有一定的电压，这样电流 I 將有一部分流經电阻，結果 C 的充电电流减小， u_c 上升速度也就减小。严格的分析將會得到与(1.5)式完全一致的結果。

現在我們来結合具体电路加以說明。圖 1.6 是上述鋸齒形波發生器簡單的實際电路，其中三極管相当於开关 Π ，在它的柵極上加一負方波。在負方波未到来前，由於电阻 R_g 接到陽極电源 E_a ，所以柵

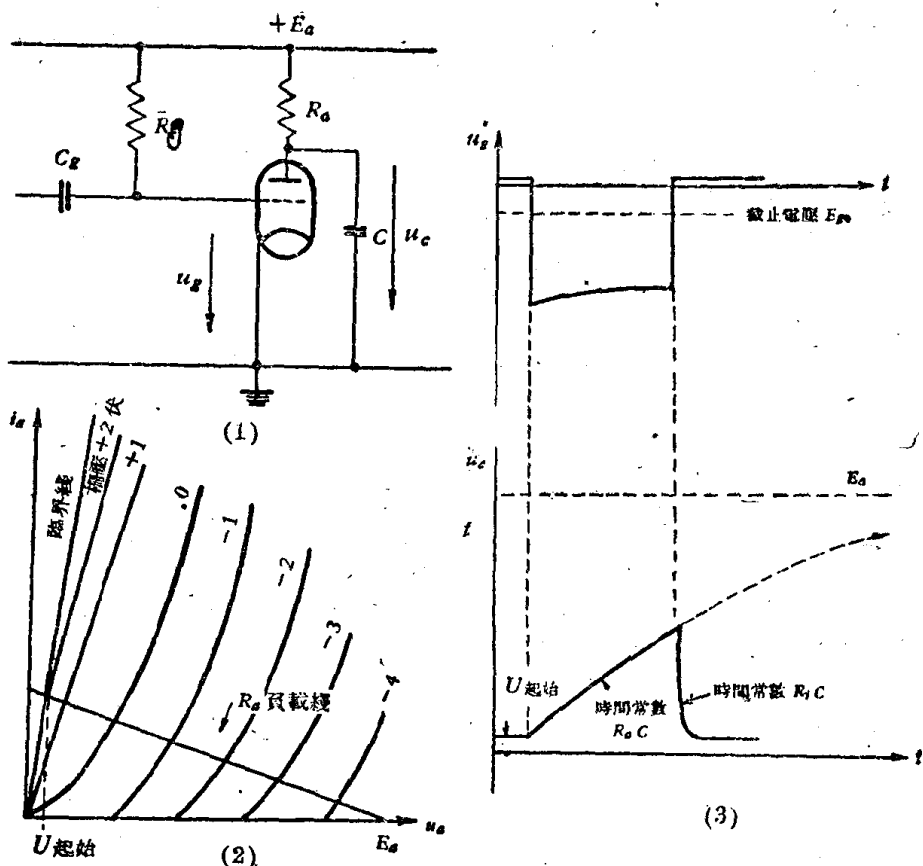


圖 1.6

極导电,这时栅極电压为

$$u_g = \frac{E_g}{R_g + r_g} r_g$$

r_g 是导电时的栅極电阻,一般約为 500 到 1,000 欧姆左右。电阻 R_g 的数值一般在 10 万欧姆以上,它随开关管而定,以使真空管工作在临界線上为宜。这样,一方面当真空管导电时,它使跨真空管的陽極电压 $U_{\text{起始}}$ 較低,內阻 R_a 較小,接近於短路开关,另一方面也可使 $U_{\text{起始}}$ 的数值比較稳定,电阻 R_g 的数值少許变化对 $U_{\text{起始}}$ 沒有影响。电压 $U_{\text{起始}}$ 的数值可根据电阻 R_a 的負載線来决定。电阻 R_g 也不应太小,它应当保証栅極电流不致超过栅極容許的損耗。

在負方波到来后,栅極电压下降到截止值之下,於是真空管截

止,相当於开关 II 切断;这时电容 C 按圖 1.7 (1) 所示的电路充电,而电压 u_c 則以時間常数 $R_0 C$ 按指数律自 $U_{\text{起始}}$ 向 E_0 值上升。

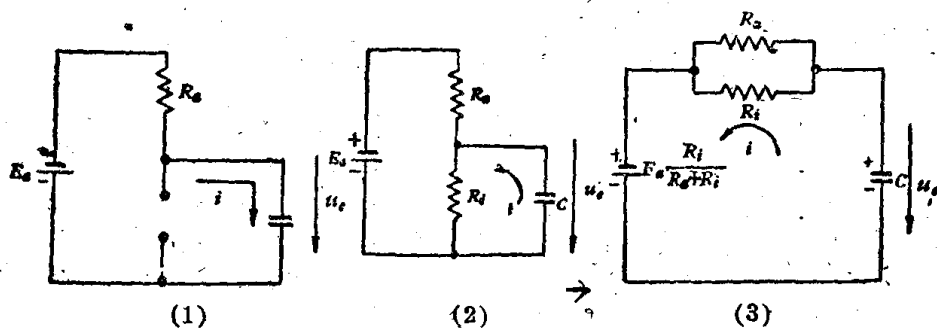


圖 1.7

当負方波过去后,三極管又导电;这时当如圖 1.7 (2) 或者如它的等效电路圖 1.7 (3) 所示,电容 C 將放电,其放电的时间常数为

$$\frac{R_0 R_i}{R_0 + R_i} C \approx R_i C,$$

式中 R_i 是三極管的內阻。於是,电压 u_c 以時間常数 $R_i C$ 按指数律下降,最后回到稳定值 $U_{\text{起始}}$ 。

§ 1-3. 鋸齿形电压波的主要参数

鋸齿形电压波的主要参数可根据圖 1.8 和圖 1.9 說明如下:

1. 直線变化期——它是指电压作直線性变化的一段时间,又叫做扫描期,我們用 $T_{\text{扫描}}$ 表示。

2. 恢复期——它是指电压作直線性变化后恢复到原来电压时所需的时间,又叫做回扫期,我們用 $T_{\text{回扫}}$ 表示。

3. 静止期——它是指两个相鄰的直線性变化期間的間隔时间,

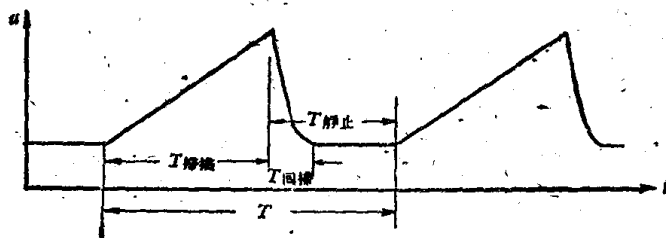


圖 1.8

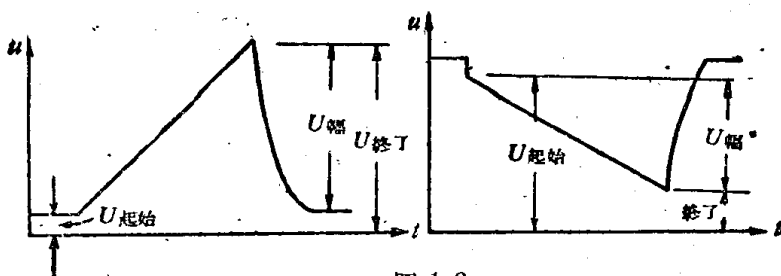


圖 1.9

我們用 $T_{\text{靜止}}$ 表示。靜止期一般應大於或等於回扫期，即

$$T_{\text{靜止}} \geq T_{\text{回掃}} \quad (1.6)$$

4. 鋸齒形波的周期——它是指鋸齒形電壓波總的周期，我們用 T 表示。它應等於直線變化期和靜止期之和，即

$$T = T_{\text{掃描}} + T_{\text{靜止}} \quad (1.7)$$

5. 鋸齒形波的振幅——它是直線變化期中電壓變化的總數值，我們用 $U_{\text{幅}}$ 表示。它應等於直線變化期的終點電壓 $U_{\text{終了}}$ 與起始電壓 $U_{\text{起始}}$ 之差的絕對值，即

$$U_{\text{幅}} = |U_{\text{終了}} - U_{\text{起始}}| \quad (1.8)$$

6. 掃描速度——它是指在直線變化期中電壓上升或下降的速度，也就是 $\left| \frac{du}{dt} \right|$ 的數值。我們一般常以平均掃描速度來描述。事實上，在直線變化期中，掃描速度的變化一般是不大的，也就是說平均掃描速度與起始點的掃描速度 $\left| \frac{du}{dt} \right|_{\text{起始}}$ 和終點的掃描速度 $\left| \frac{du}{dt} \right|_{\text{終了}}$ 的差別並不大。若以 k 表示平均掃描速度，則

$$k = \frac{U_{\text{幅}}}{T_{\text{掃描}}} \approx \left| \frac{du}{dt} \right|_{\text{起始}} \approx \left| \frac{du}{dt} \right|_{\text{終了}} \quad (1.9)$$

7. 非線性係數——它表示在掃描期中掃描速度的總變化與平均掃描速度之比，我們用 β 表示。

在一般的鋸齒形波中，實際的掃描速度變化多有一定趨向，因此，它的最大偏差也就是掃描起始點和終點處的掃描速度之差。所以

$$\beta = \left| \frac{\left| \frac{du}{dt} \right|_{\text{起始}} - \left| \frac{du}{dt} \right|_{\text{終了}}}{k} \right| \approx \left| \frac{\left| \frac{du}{dt} \right|_{\text{起始}} - \left| \frac{du}{dt} \right|_{\text{終了}}}{\left| \frac{du}{dt} \right|_{\text{起始}}} \right| \quad (1.10)$$

由於掃描速度与电容的充电电流 i 成正比, 所以扫描速度的变化也就是电容 C 的充电电流的变化。因此上式又可写成

$$\beta = -\frac{\Delta i}{I}, \quad (1.11)$$

式中 Δi 表示充电电流的变化数值, I 是起始时的充电电流。

8. 最大誤差——它是指实际数值与如果將鋸齒形波当作通过起始点(A)和終点(B)的直線时相应的数值間的最大偏差。最大誤差一般發生在鋸齒形波的上升速度正好等於平均上升速度的那一点, 也就是說發生在鋸齒形波的切線斜率正好与当作

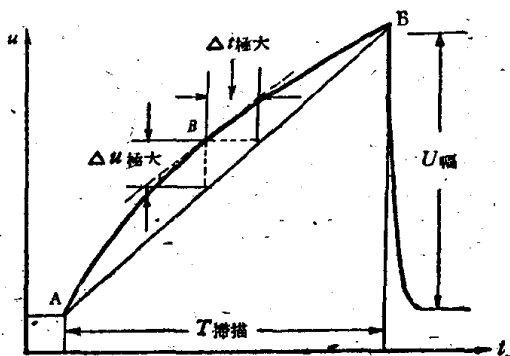


圖 1.10

直線时的斜率相等之点, 如圖 1.10 中的 B 点所示。

最大誤差可指時間 $(\Delta t)_{\text{最大}}$ 也可指电压 $(\Delta u)_{\text{最大}}$ 来講, 但是前者与扫描期的比值和后者与扫描振幅的比值是一样的, 即

$$\frac{(\Delta t)_{\text{最大}}}{T_{\text{扫描}}} = \frac{(\Delta u)_{\text{最大}}}{U_{\text{幅}}}. \quad (1.12)$$

有时, 当我们要求出扫描的振幅时, 我們常按照扫描的初始速度作等速度的上升或下降的电压来計算。这样, 实际的振幅就可能与之有些差異, 这差異我們用 $\Delta U_{\text{幅}}$ 表示, 而以正值表示它的降低量。我們常以 $\frac{\Delta U_{\text{幅}}}{U_{\text{幅}}}$ 来说明問題。

显然, 非線性系数小, 則 $\frac{\Delta U_{\text{幅}}}{U_{\text{幅}}}$ 就小, $\frac{(\Delta t)_{\text{最大}}}{T_{\text{扫描}}}$ 和 $\frac{(\Delta u)_{\text{最大}}}{U_{\text{幅}}}$ 也小。所以我們也就可利用后者来表明鋸齒形波的直線性的好坏。

§ 1-4. 簡單 RC 充电电路的鋸齒形波的非線性系数

在 § 1-1 中我們已求出在簡單的 RC 充电电路中, 电容 C 上的电压在扫描期間是以時間常数 RC 按指数律变化的, 即

$$u_c = E_a(1 - e^{-\frac{t}{RC}}). \quad (1.13)$$

現在我們进一步来研究它的非線性系数和誤差情形。

根据(1.13)式,可得

$$\frac{du_c}{dt} = \frac{E_a}{RC} e^{-\frac{t}{RC}}.$$

在起始点($t=0$),扫描速度为

$$\left. \frac{du_c}{dt} \right|_{\text{起始}} = \frac{E_a}{RC};$$

而在終点($t=T_{\text{掃描}}$),扫描速度为

$$\left. \frac{du_c}{dt} \right|_{\text{終了}} = \frac{E_a}{RC} e^{-\frac{T_{\text{掃描}}}{RC}};$$

因此,非線性系数为

$$\beta = 1 - e^{-\frac{T_{\text{掃描}}}{RC}}.$$

在一般情況下,扫描期 $T_{\text{掃描}}$ 远小於時間常数 RC ; 因之,可將上式的指数項展开,取近似关系可得

$$\beta \approx \frac{T_{\text{掃描}}}{RC}; \quad (1.14)$$

於是鋸齒形波振幅 $U_{\text{幅}}$ 应为

$$U_{\text{幅}} = E_a(1 - e^{-\frac{T_{\text{掃描}}}{RC}}) \approx E_a \frac{T_{\text{掃描}}}{RC}; \quad (1.15)$$

它与电源电压之比为

$$\frac{U_{\text{幅}}}{E_a} = \frac{T_{\text{掃描}}}{RC},$$

这比值我們称为电压利用系数。由此可知,簡單的 RC 充电电路的电压利用系数就等於扫描期与時間常数之比;也就是說,它就等於非線性系数。

利用(1.15)式計算振幅,實質上就等於是忽略了鋸齒形波的非線性,換言之,也就是根据起始点的扫描速度来計算的。严格的計算

結果將較這數值為低。計算如下：

$$U_{\text{振}} = E_a \left(1 - e^{-\frac{T_{\text{振}}}{RC}} \right) \\ = \frac{E_a}{RC} T_{\text{振}} \left[1 - \frac{1}{2} \left(\frac{T_{\text{振}}}{RC} \right) + \frac{1}{6} \left(\frac{T_{\text{振}}}{RC} \right)^2 - \dots \right];$$

由於 $\frac{T_{\text{振}}}{RC}$ 一般小於 1 甚多，上式括號內第三項及其以下各項可忽略，這樣，實際的振幅將較以起始速度作直線上升所算出的略小 $\Delta U_{\text{振}}$ ； $\Delta U_{\text{振}}$ 與 $U_{\text{振}}$ 的比值為

$$\frac{\Delta U_{\text{振}}}{U_{\text{振}}} = \frac{T_{\text{振}}}{2RC} = \frac{1}{2} \beta_0. \quad (1.16)$$

現在我們來計算最大誤差。將 (1.13) 式展開為 t 的冪級數，取其前兩項作為近似值，可得

$$u_0 = \frac{E_a}{RC} \left(t - \frac{1}{2RC} t^2 \right). \quad (1.17)$$

很容易得出，通過鋸齒形波的起始點和最終點的直線的斜率為

$$\frac{E_a}{RC} \left(1 - \frac{1}{2RC} T_{\text{振}} \right).$$

就 (1.17) 式微分，得

$$\frac{du_0}{dt} = \frac{E_a}{RC} \left(1 - \frac{1}{RC} t \right).$$

令 $\frac{du_0}{dt}$ 等於前述直線的斜率，即

$$\frac{E_a}{RC} \left(1 - \frac{1}{RC} t \right) = \frac{E_a}{RC} \left(1 - \frac{1}{2RC} T_{\text{振}} \right),$$

由此可知，當

$$t = \frac{1}{2} T_{\text{振}} \quad (1.18)$$

時，誤差最大。最大誤差的數值當為

$$\frac{(\Delta t)_{\text{最大}}}{T_{\text{振}}} = \frac{(\Delta u)_{\text{最大}}}{U_{\text{振}}} = \frac{1}{8} \left(\frac{T_{\text{振}}}{RC} \right) = \frac{1}{8} \beta_0. \quad (1.19)$$

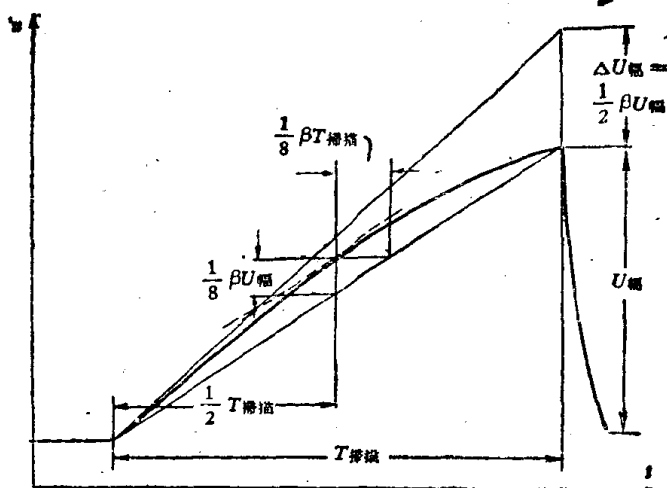


圖 1.11

圖 1.11 就是上述分析的說明。

§ 1-5. 鋸齒形电压波發生器的主要質量指标

用以說明鋸齒形电压波發生器电路优劣的要素,根据其特殊用途而定。归結起来,一般可以下列几种主要指标为标准。这就是:鋸齒形波的直線性;輸出振幅;工作的穩定度;輸出阻抗等等。現在分別討論如下:

1. 直線性——它是鋸齒形电压波發生器質量的主要因素之一;它决定着鋸齒形波發生器的精确程度,一般用非線性系数表示。非線性系数愈小,直線性就愈好,精确度也就愈高。对它的要求視其特殊用途而定。例如,用於示波器中以产生扫描时,由於示波管中光点的分辨率一般不高(沿示波管熒光屏的半徑一般为 75 到 100 个光点),所以直線性可以差些,在 β 为 1—3% 时,根据(1.19)式可知,其誤差小於 0.15—0.4%,因此已足可合用了。实际上,即使 β 等於 10% 或者更大些也無不可。然而,在某些雷达或者物理实验中用以作距离或時間測量时,往往要求精确到万分之一,这时就要求非線性系数甚小,例如,小於 0.1%。

概括地講,我們可說差不多所有的鋸齒形波的非線性系数 β 都

小於 30%；普通鋸齒形波的 β 在 3—10% 之間；良好的 β 小於 3%； β 小於 0.5% 的可說是優等的了。

2. 輸出振幅——它是鋸齒形波的振幅，一般要求其數值在 100 伏以上乃至幾百伏，根據具體的應用而定。

必須指出，輸出振幅是與鋸齒形電壓波的直線性以及電源電壓相關聯的。當電源電壓高和要求的直線性差時，很容易得到較大的輸出振幅。如果要比較鋸齒形電壓波發生器電路的質量，我們應當就一定的電源電壓和一定的非線性系數來比較它們所能夠產生的輸出電壓的振幅，一般可以用電壓利用系數 ζ 與非線性系數 β 的比值 η 來表示。這比值愈高，電路的質量就愈好。

就簡單的 RC 充電電路來講，電壓利用系數 ζ 與非線性系數 β 是相等的，即

$$\eta = \frac{\zeta}{\beta} = 1. \quad (1.20)$$

我們可以用 η 為標準來說明電路的質量，稱之為基本參數。在質量較佳的電路中 η 可達數百。

3. 工作的穩定度——穩定度指溫度、濕度、電源電壓的變化以及電子管的陳舊和更新等對於鋸齒形電壓波發生器的工作狀態（也就是輸出波形的參數），如起始電壓（ $U_{\text{起始}}$ ）、掃描速度（ k ）、掃描周期（ $T_{\text{掃描}}$ ）、振幅（ $U_{\text{幅}}$ ）等所起的影響。特別是其中對於起始電壓和掃描速度的影響最為重要，現在我們就這二者來討論：

對掃描速度來講，它主要取決於充電電源的電壓 E_c 和充電時間常數 RC 。電源電壓的穩定一般可用穩壓電源來解決。利用穩壓電源可使電壓變化小到萬分之一以下。

就時間常數 RC 的變化而言，可由選擇質量較高的元件來解決穩定問題。例如 R 用線繞電阻， C 用雲母電容，則它們的溫度系數都不大，在溫度變化 50°C 時，它們的變化在千分之幾以內。但在一些質量要求較高的場合下這是不能夠滿足要求的。進一步提高質量的方法為利用陶瓷電容器的負溫度系數來加以補償。當溫度升高時，電阻 R 增加，但電容 C 反減小，結果使它們的乘積基本上保持不