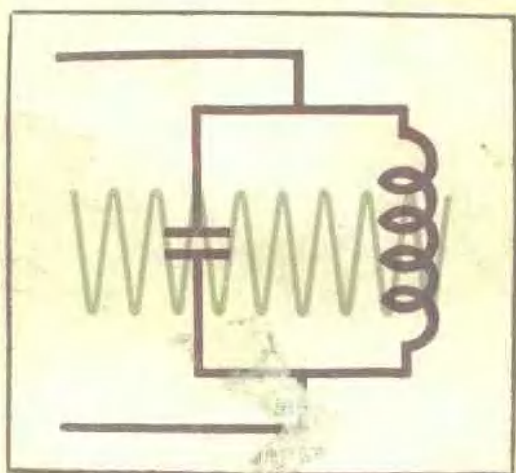


等幅振盪



人民邮电出版社

邊 振 幅 等

蘇聯 С. Д. 哈依金 著

張 肅 文 譯

人 民 郵 電 出 版 社

С. Э. ХАЙКИН

НЕЗАТУХАЮЩИЕ КОЛЕБАНИЯ

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МОСКВА 1953

內 容 摘 要

本書是用來敘述在無線電技術許多不同範圍中所採用的各種等幅振盪器的工作原理的。

它適用於有一定基礎的業餘無線電愛好者。

等 幅 振 盪

著 者 蘇 聯 С. Э. 哈 依 金

譯 者: 張 肅 文

出版者: 人 民 郵 電 出 版 社

北京東四區6條胡同13號

印刷者: 人 民 郵 電 出 版 社 南 京 印 刷 廠

南京太平路戶部街15號

發 行 者: 新 華 書 店

書號: 無38 1956年7月南京第一版第二次印刷3,001—5,500冊
850×1168 1/32 54頁 印張 $3\frac{12}{32}$ 字數 89,000字 定價 (8) 0.65元

★北京市書刊出版業營業許可證出字第〇四八號★

緒 論

等幅電振盪，即振幅固定（不隨時間變化）的振盪，在現代無線電技術中應用非常廣泛。要將無線電設備中使用等幅振盪的各種情形都一一列舉出來，並不見得很恰當，因此我們僅僅只談一些典型的例子。首先，無論是在無線電通信和無線電廣播的發送台中，或是在專門用途的電台（無線電定位，無線電指標台等）中都採用等幅振盪。誠然，在許多場合中，由發送機所發出的振盪振幅不是保持固定，而是隨時間變化的，它按照被發送信號或聲音的特性時而增大，時而減小。這種變化之所以產生，是因為被發送訊號對高頻振盪進行了調幅，但被調幅的振盪本身則應具有固定的振幅。因此，雖然由發送機所發出的振盪的振幅常常隨時間而變化，但是為了獲得這樣的調幅振盪，首先就應當建立一種固定振幅的振盪，也就是等幅振盪。其次，在通行的超外差式收音機中，需採用等幅振盪以得到中頻。最後，在電視接收機中，為了得到《圖像底折轉（Свертывание изображения）》，亦即為了迫使電子注依一定的順序沿接收管的螢光幕跑動，人們採用了鋸齒形波的交流電壓，這種電壓也是等幅振盪的一種形式。在需要採用等幅振盪的各種各樣的場合中，都必須採用等幅振盪器，因之這種振盪器是現代無線電技術中最流行、最重要的器具之一。

在各種不同的地方採用等幅振盪時，都對等幅振盪器所生振盪的頻率，功率及波形提出完全不同的要求。但儘管這些要求各不相同，在所有使用等幅振盪的各種情形中，激勵等幅振盪的方法及振盪器的工作原理卻往往是一樣的。譬如，在通常的超外差式收音機的混頻振盪器中激勵等幅振盪的原理和在無線電廣播發送機中激勵等幅振盪的原理就是相似的。雖然用兩種等幅振盪器的作用不同，對它們的要求也不同，但是它們却採用了同樣的激勵振盪的方法。

總之，振盪器功率及振盪頻率的不同都不能使激勵等幅振盪的原理發生什麼本質上的差別。

當然，除了上述相似之點以外，為不同目的而採用的各種等幅振盪器之間仍存在着很大的差別。比方說，混頻振盪器中激勵正弦波振盪的方法和在電視接收機的掃描振盪器中激勵鋸齒形波電壓的方法，就是有着很大差別的。

但是，儘管各種各樣的等幅振盪器之間有區別，它們的工作原理卻具有許多共同的地方，因此最好從一個觀點來討論全部激勵等幅振盪的問題。只有激勵特高頻振盪（相當於公分波及公分波）的問題才需要單獨討論，因為在這種情形下，採用的激勵等幅振盪的方法在原理上已經完全不同了。引起這區別的原因是由於在特高頻時，電子由電子管的一個電極飛到另一個電極所需的時間（叫作飛渡時間）已經可以和振盪的週期相比較，但是在比較慢的振盪情況下，飛渡時間和週期比較起來，就小得可以忽略。因此在頻率不太高時，可以認為電子管所有各極的電壓在電子的飛渡時間內都來不及改變，每一個電子在電子管內的整個行程就像在不變的靜電場中一樣。在這樣的條件下，電子管的特性可由在直流電壓條件下所取得的特性曲線來決定。這時電子管可以看作是一個導體，它的特性則由這些特性曲線決定。至於在電子管內部所發生的過程，就可以不去管他了。

在特高頻的條件下，電子管的電極電壓在電子的飛渡時間內却來得及改變，因此電子管的特性已經完全是另外一個樣子了。這樣，激勵振盪的方法本身也改變了。在這種情形下，就不能簡單地把電子管看作是一個具有確定特性曲線的導體了；為了懂得激勵等幅振盪的方法，就需要考慮到在電子管內部所發生的現象，因此所有的問題都變複雜了。在本書中，我們將不去討論這種複雜的問題（這特別是因為目前業餘無線電者還沒有遇到特高頻振盪器的實際問題），而僅限於討論頻率不太高的振盪激勵方法的問題。上面已談到，在這種條件下，為了瞭解激勵等幅振盪的原理，並不需要討論

在電子管內部所發生的過程。電子管可以看作是具有已知特性的導體，而問題則在於由這些特性出發，來說明電子管如何在各種情況下維持等幅振盪。我們將要提出的正是這個問題，因此我們以後將不去討論電子管內部所發生的過程（只有一個情形例外，就是在負阻管制式中，需要解釋電子管屏極特性曲線產生下降部分的原因的時候）。

正如在整個無線電技術發展中所起的作用一樣，蘇聯學者在研究等幅振盪的問題上，也起着突出的作用。 $M\cdot B\cdot$ 舒列金、 $M\cdot A\cdot$ 蓬奇—布魯也維奇、 $A\cdot H\cdot$ 別爾格等人的工作，奠定了電子管等幅振盪器的理論基礎，創立了計算這種振盪器的方法。以後，由於 $A\cdot H\cdot$ 曼傑里施塔姆、 $H\cdot A\cdot$ 巴巴列克西、 $A\cdot A\cdot$ 安德羅諾夫、 $H\cdot M\cdot$ 克雷洛夫及 $H\cdot H\cdot$ 包戈留包夫研究了新的理論方法，使得通常的電子管振盪器理論的進一步發展以及用於無線電技術中的另外一些型式的等幅振盪器理論的建立成為可能。激勵等幅振盪（現在通稱為自激振盪^①）的方法的研討差不多完全是蘇維埃學者的功勞。除了上面所提到的學者以外，在等幅振盪器的理論及實際的發展中還有許多蘇維埃物理學者及工程師參加： $A\cdot A\cdot$ 羅然斯基、 $Ю\cdot Б\cdot$ 柯布扎列夫、 $K\cdot \Phi\cdot$ 捷奧多爾奇克、 $C\cdot H\cdot$ 斯特列爾克夫、 $A\cdot A\cdot$ 明茨、 $H\cdot Г\cdot$ 克里茨金、 $B\cdot H\cdot$ 阿謝耶夫、 $M\cdot C\cdot$ 聶曼、 $C\cdot H\cdot$ 葉夫恰諾夫、 $З\cdot C\cdot$ 莫傑里、 $H\cdot X\cdot$ 聶維雅日斯基、 $B\cdot H\cdot$ 西福佛夫、 $A\cdot A\cdot$ 梅也羅維奇，等等。

在這個重要的無線電技術領域內，蘇聯的科學思想遠較外國先進；就像在許多其它科學領域內一樣，蘇維埃學者在這一領域中也是起着主導作用的。

作 者

^①術語“自激振盪”是科學院士 $A\cdot A\cdot$ 安德羅諾夫所引用的。

目 錄

緒 論

第 一 章 反饋電子管振盪器

1. 衰減補償的原理..... (1)
2. 有損耗回路的振盪..... (2)
3. 無損耗回路的振盪..... (4)
4. 鍾錶是一個等幅振盪器..... (6)
5. 電子管等幅振盪器..... (11)
6. 等幅振盪是諧振的一種特殊情形..... (17)
7. 用反饋來補償電阻..... (19)
8. 正反饋與負反饋..... (29)
9. 電子管振盪器中振盪的增長..... (32)
10. 電子管振盪器的機械模型..... (37)
11. 負摩擦與負電阻..... (41)
12. 振盪的建立..... (45)
13. 已經建立起來的振盪..... (52)
14. 振盪器的軟狀態與硬狀態..... (58)
15. 振盪的波形和週期..... (64)

第 二 章 弛張振盪器

16. 氖燈振盪器..... (72)
17. 振盪波形及能量積蓄器..... (76)
18. 機械弛張振盪..... (78)
19. 電流和電壓的“飛躍”..... (83)
20. 電子管弛張振盪器..... (86)

第 三 章 激勵等幅振盪的兩種方法

21. 等幅振盪器的兩種型式..... (92)
22. 負阻管振盪器..... (93)
23. RC振盪器..... (96)
24. 間邊振盪器..... (98)

第一章

反饋電子管振盪器

1. 衰減補償的原理

業餘無線電者通常遇到的電子管振盪器，是藉助反饋來建立等幅振盪的。現在我們就從這種振盪器開始，來研究一下激勵等幅振盪的方法。雖然這種振盪器有許多不同的電路，但其中總是包括三個基本元素，這三個基本元素以不同形式存在於所有這類形式的振盪器中。這些元素如下：

1. 振盪回路，在沒有其它元素時，它可以產生衰減的固有振盪，產生衰減的原因是因為在它內部有不可避免的能量損耗（電子管振盪器往往不是包含一個，而是包含兩個振盪回路，但是這種組合對電子管振盪器本身的工作原理並沒有影響）。

2. 具有反饋的電子管（亦即屏極電路和柵極電路間有耦合存在）；電子管由外界電源取用能量（由屏極電池，整流器等），在一定的條件下，這能量的一部分可以轉送給振盪回路（在電子管振盪器中又往往可以有不只一個，而是有好幾個電子管，但這種情況也不起原則性的作用）。

3. 外界電源（屏極電池，整流器等），用以供給電子管能量和補充振盪回路中的能量損耗。

在列舉了反饋電子管振盪器的三種基本元素之後，實質上我們同時也就敘述了這種振盪器本身的工作原理。

事實上，由這些元素的組合就可以看出發生等幅振盪的原理：電子管由外界電源取用能量，而將這能量的一部分送給振盪回路。輸入回路的能量補償了回路中的能量損耗，因之回路的固有振盪就成為等幅的。這種發生等幅振盪的方法就叫作衰減補償法。

衰減補償法的道理非常簡單。可是振盪回路中補償損耗的這個機構本身却很不簡單，需要詳細研討。這研討之所以需要，是因為在電子管振盪器中，損耗補償機構是和振盪器特性緊密聯系着的。爲了明瞭振盪器爲什麼以一定方式來進行工作，爲什麼它有這些或那些特性，就需要詳細研討損耗補償機構。要進行這種詳細的研討，需要對振盪回路本身的特性及其固有振盪產生衰減的原因等有清晰的概念。因此我們開始先來談一談我們應該知道的關於有衰減系統中的固有振盪的問題，然後再來研討補償衰減的方法。這時我們將利用機械振盪和電振盪相似的地方，用機械模型來解釋電振盪系統方面的推論。人們廣泛採用機械上相似的地方來解釋許多電的現象，因爲這種比擬可以使我們更明顯地想像出所研究的電的現象。用機械比擬的辦法來研討等幅電振盪器的作用原理，即把這種振盪器和等幅機械振盪的機構相比較，也是很有益的。普通的鐘錶是一種最普通、最熟悉的等幅機械振盪的機構。同時鐘錶的作用原理在許多地方都和等幅電振盪器相似。我們很快就可以看到，把電子管振盪器和鐘錶相比較的辦法，是非常有益的，因爲這樣就可以明瞭等幅振盪器最主要的特徵。

2. 有損耗回路的振盪

我們現在來研究由電感綫圈 L 、電容器 C 及有效電阻 R 所組成的普通振盪回路。所有業餘無線電者對在這種回路中所發生的現象都很熟悉。因此我們現在要簡單談一談這種回路的目的，僅只是爲了着重指出那些對明瞭振盪器工作有重要意義的地方。

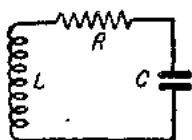


圖 1.

首先我們來看看在什麼條件下，回路才能發生固有振盪，這振盪將具有什麼樣的性質。爲了使回路發生振盪，就需要一點起始的《推動》，以使回路擺脫靜止狀態。在回路的電容器上加注一些起始電荷，或者在回路綫圈中通過一些電流，

就可以作到這點。在這兩種情形下，我們都是給回路以一定的能量積蓄：在起始電荷的情形下，這積蓄是電容器的電場能量，而在起始電流的情形下，這積蓄是線圈的磁場能量。當然，也可以同時又使電容器充電，又使電流通過回路線圈。在這種情形下，回路同時兼有電能和磁能的起始積蓄。回路本身沒有任何能量來源，因此只有依靠外界輸入的能量才能發生振盪。由於回路有電阻，所以電流通過它時，要在它上面消耗一部分回路所具的能量（轉變為熱），回路由起始推動所得到的能量將逐漸減少。因為振盪能量和它的振幅有關（大家知道，振盪能量和振盪幅度的平方成比例），所以在振盪回路能量減少的同時，回路中的振盪振幅也將減少，回路所發生的振盪將逐漸衰減。起始振盪振幅由起始的能量積蓄，也就是起始推動的大小來決定，而振幅減小的速度則由回路的衰減，特別是它的電阻 R 的大小來決定。但在任何情形下，因為回路具有電阻，所以在它內部所發生的固有振盪一定是會衰減的。

由此可見，有電阻的回路能夠產生衰減振盪，其起始振幅由起始條件決定，而其衰減速度則由回路的特性決定。

我們得出的關於在具有恆定電阻的電氣回路中的固有振盪的結論，對於具有恆定摩擦的機械振盪系統也是完全適用的。我們來研究一下通常的擺（圖2），來作為這種系統的例子。這擺固定在輪轂 B 上，而輪轂則能在固定的軸 A 上轉動。這個輪轂不論作得怎樣精密，在它環繞軸 A 旋轉時總是有些摩擦的^①。當擺振盪時，由於輪轂和軸間有摩擦，一部分振盪能量將被耗散（轉變為熱），擺的振盪將要衰減。除去克服輪轂的摩擦以外，一部分振盪能量還要消耗於克服擺周圍的空氣阻力，但是在沒有採用特殊方法來減少懸掛摩擦的時候，由這摩擦力所引起的損失遠大於由空氣阻力所

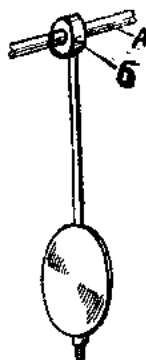


圖 2.

①為了減少摩擦，人們採用特殊的方法來懸掛擺。這種放在輪轂上的擺僅只是模型，這種模型對我們以後的研討是很方便的。

引起的損失，因此由空氣阻力所引起的損失可以略而不計。

正如我們已經研討過的在回路中的固有電振盪一樣，只有在擺被推動或被拉偏，也就是傳給它一些起始能量積蓄的時候，才能發生振盪，這能量積蓄在推動的時候是動能，在拉偏的時候是位能（當然，可以同時給擺以動能及位能起始積蓄，如果它被拉偏，並且在這拉偏的位置被推動的話）。起始的振盪振幅由起始推動的大小決定，振盪時振幅的衰減則由輪軸摩擦的大小決定。但在一切場合下，擺的固有振盪都因有摩擦而成為衰減的。

在以上所討論的兩種情形中，固有振盪都是由於同一原因而衰減的，這原因就是由於振盪回路中存在電阻或在懸掛的擺中存在着機械摩擦而引起的能量損耗。為了得到等幅振盪，就必須消除能量的損耗。

3. 無損耗回路的振盪

如果能夠消除電回路中的電阻（或機械系統中的摩擦力），那麼，在這樣的系統中應該會產生等幅振盪，因為振盪衰減的原因——電阻中的損耗（或摩擦損耗）——被消除了。可是，先不用說製造這種沒有電阻的電回路或沒有摩擦的機械系統是不可能的了，就是這種想像的無損耗系統的特性本身也和實際的電子管振盪器有着根本的區別。其實，在沒有損耗的振盪回路中振盪是不能自己發生的。像在有損耗的回路中一樣，為了產生振盪，就需要起始的推動。此後，因為回路中的能量不消散，也就是保持固定，回路中將產生等幅振盪，同時振盪振幅也保持固定。可是振盪能量，也就是說它們的振幅，則完全決定於起始能量，亦即起始推動的大小，換句話說，就是決定於起始的條件。這樣，在沒有電阻（沒有摩擦）的系統中，可以存在等幅振盪，可是，第一，這振盪不能自己發生；第二，這振盪的振幅完全決定於起始的條件。在沒有電阻的回路中可以產生任何振幅的等幅振盪，因為這系統本身沒有任何決定

振盪振幅的特性。既然在系統中沒有衰減，所以在所有時間內振盪的振幅就是它們最初具有的振幅。

我們能夠認為這樣的（即使是想像的也好）沒有損耗的系統是電子管振盪器的模型嗎？最初看來，這好像是可能的，因為這系統具有振盪器的基本特性——它可以產生等幅振盪。

可是更詳細地來比較一下沒有損耗的回路和電子管振盪器，就可以看出沒有損耗的回路是不能用作電子管振盪器的模型的，因為它沒有電子管振盪器的其它特性。為了弄清楚這一點，我們來看看電子管振盪器的一些特點。

我們由電子管振盪器的實驗可以看到它有兩個重要特點。首先，不難看到，改變反饋的大小及振盪器其它參數，或改變電子管型式時，振盪器中的振盪振幅就發生變化，由此可見，振盪器中的振盪振幅是和振盪器的本身特性有關的。

同時我們還可以看到等幅振盪器的另一個特性。任何一次我們接通振盪器的時候，只要振盪器的工作條件（電子管各極電壓、反饋的大小及振盪回路參數）保持不變，它所產生的振盪振幅和其他各次接通以後所得的振幅是一樣的。我們可以用各種不同的方法來使振盪器動作：或者接通電子管燈絲電源，或者接通屏極電壓，或者例如短路串聯在振盪回路中的大電阻。但是只要振盪條件保持不變，在振盪器正常工作的情形下，任何一次都將建立同樣的一個固定的振盪振幅，而完全和我們採用什麼方法來使振盪器動作無關。誠然，有時候電子管振盪器能夠按這種方式進行工作：即用一種方法接通時（例如接通屏極電壓）它可以產生振盪，而用另一種方法接通時（例如短路在振盪回路中的電阻）就不能產生振盪，換句話說，要想使振盪器產生振盪，有時需要一些起始的推動。但這只是電子管振盪器可能具有的一種特殊方式，而不是所有電子管振盪器的共同特性。

以後（§14）還要詳細研討這種特殊方式，所以目前我們暫且不來討論這種情形。這樣，我們就可以說，不論用什麼方法接通振

盪器，都會建立起同樣大小的振幅。這就是說，振盪器的振盪振幅與振盪器接通時刻的起始條件無關。

電子管振盪器這種最根本的特性對於所有一般的等幅振盪器來說是共同的。通常它們都產生具有固定振幅的振盪，這振幅度決定於振盪器本身的工作方式，而與起始條件無關。正是由於電子管振盪器具有這種性質，所以才不允許把想像的無損耗回路看作是電子管振盪器的模型，因為無損耗回路中的等幅振盪振幅一點也不決定於回路本身的性質，而完全決定於起始條件。

這樣，用想像的無損耗回路就不能說明在電子管振盪器中發生與維持等幅振盪的機構。在這裏，情形是更為複雜的。為了說明如何在電子管振盪器中產生與維持等幅振盪，就需要更詳細地研究它內部所產生的現象。

4. 鐘錶是一個等幅振盪器

我們首先用等幅振盪器的機械模型來解釋普通電子管振盪器的動作原理。鐘錶是最普通的機械等幅振盪《發生器》，即產生機械等幅振盪的裝置。當然，鐘錶的機構是大家所熟知的，因此我們這裏只簡單地提一提，使大家注意一下鐘錶機構和普通電子管振盪兩者在原理上相似的地方。

前面已經指出，電子管振盪器可以分為三個基本元素：（1）振盪回路，在沒有其它元素時，它可以產生衰減振盪；（2）具有反饋的電子管，它取用外界電源的能量，並將這能量的一部分傳送給振盪回路；（3）供給電子管的外界電源，而這就是說，歸根到底是供給振盪回路那部分能量的電源。

所有的鐘錶都可以分成三個類似的元素：（1）振盪系統，在沒有其它元素時，它可以作衰減振盪，在有掛擺的鐘裏，這振盪系統是擺，而在懷錶或手錶中（以及在某些其它類型的鐘錶中）這振盪系統叫作擺輪（Баланс）——這是用螺旋彈簧保持在平衡位置的輪

子，它能夠作扭轉振盪；(2)由振盪系統啓動，並在一定的時刻推動振盪系統，以供給它能量的機械結構（這機構的詳細情況對我們來說是不重要的，因此我們不再來敘述它們）；(3)能量來源，上面所提到的機構由這裏吸取能量，傳送給振盪系統；作為能量來源的通常是被捲起來的，《上緊的》發條（在有彈簧發條的錶內）或舉起的重錘（在用重錘的鐘錶內）。

我們已經由電子管振盪器的基本元素和鐘錶的基本元素的對比看出了它們的作用原理是多麼相似。因此研究鐘錶維持等幅振盪的方法對了解電子管振盪器的作用原理是很有益的。

在鐘錶中如何維持振盪的道理不需要多麼詳細的解釋，用幾句話就可以說明它了。鐘錶振盪系統（擺，擺輪）的本身由於內部有摩擦損耗而進行着衰減振盪。可是，在振盪系統經過平衡點的時候，也就是正好在這系統速度最大的時候機械結構就把它推動一下，而推動的方向則正是系統運動的方向，這推動使振盪系統的速度，也就是能量增加了。振盪系統在被推動時所得到的能量正好補償了上次推動以後所經過的那段時間內的能量損耗，因此振盪系統不衰減（等幅）。我們現在來研究一下用上述方法所得到等幅振盪的性質。

顯然，等幅振盪只能產生這樣的振幅，在這樣大的振幅的條件下，振盪系統每一週期的損失恰好等於在這週期內機械結構傳送給這系統的能量。如果振盪系統中的損耗大於由機械結構中得到的能量，那麼系統中的振盪將衰減；在相反的條件下，它們將增長。

當振幅很小時，振盪所消耗的能量不大時，由推動輸入的能量超過消耗的能量，於是系統中的振盪增長。與此同時，系統中能量的消耗也隨之增加。誠然，隨着振幅的增長推動給予系統的能量也增加，但是它不像能量消耗增加的那樣快。由於振幅增長而增加的消耗將《追上》輸入的能量，在某個一定振幅時，損耗與輸入能量成為相等，振幅若再繼續增加時，能量損耗就要超過輸入的能量了。

顯然地，當振幅增長到損耗和輸入能量成為相等的時候，振幅就停止繼續增長，也就是建立起了一種固定（不變的）振盪振幅。

如果有某種原因使振盪振幅增加，那麼損耗的能量就大於輸入到系統中的能量，於是振盪開始衰減，直到它的振幅減到固定振幅的大小時為止。同樣地，如果由於某種原因，振盪幅度小於固定振幅了，那麼輸入能量將大於能量的損耗，系統中的振盪將增長，直到它的振幅重新增加到固定振幅的大小時為止。

就這樣，鐘錶的擺的振盪維持着完全確定的一個固定振幅。剛才已經講過，這振幅決定於振盪系統中的損耗和機械結構在每次推動時傳送給系統的能量大小，歸根到底，也就是決定於鐘錶本身的性質。比如說，在其餘條件相同時，假設振盪系統的衰減增加，那麼振幅就要減小，直到系統中的能量損耗等於由機械結構所供給的能量時為止，換句話說就是固定振幅減小。如果這固定振幅變得太小，致使產生推動的機構停止了工作（振盪系統的振盪幅度必須超過一定值，才能夠使這機構的起動附件開始動作），這樣，鐘錶就會停止。所以弄髒的或生鏽的錶因為摩擦增大，振盪系統的衰減增加了，雖然它的各部分機構仍是完好的，但它仍會停止走動。

大家都知道，如果鐘錶是完好的，可是由於某種原因停止了（例如發條沒有勁了），那麼，要想使它再走起來，應當推動它們的擺（有擺輪的錶只要搖動一下就行了）。這樣我們就給鐘錶的振盪系統加入了一些起始的偏斜或起始速度，系統就開始振盪起來。如果這個振盪的起始振幅大於固定振幅，那麼系統中的能量損耗就超過由機械結構輸入的能量，因而系統的振盪開始衰減（直到它們的振幅減到固定值的時候為止），之後振盪將成為等幅的。反之，如果起始振幅小於固定振幅，那麼在系統中的能量損耗就小於由機械結構輸入的能量，系統的振盪就增長（直到它們的振幅也增加到固定值的時候為止），之後振盪將成為等幅的。正因為如此，所以鐘錶中建立起來的永遠是具有一個確定的固定振幅的等幅振盪，而與起始

振幅，也就是起始條件無關^①。我們可以看到，維持等幅振盪的原理本身，即已決定了一切等幅振盪器這一最基本的特點。

這樣，我們已經說明了，鐘錶的擺的等幅振盪振幅是怎樣決定的。現在我們來看看靠什麼東西來決定它的其餘特性——週期（頻率）及波形。如果聽任錶的振盪系統自由行動，那麼振盪週期就決定於系統本身的特性[擺或擺輪的大小及螺旋彈簧的硬度]。可是由機械結構傳送來的推動，或多或少地擾亂着振盪系統的運動，因而錶的振盪週期多少與振盪系統本身的週期有些不同。不過振盪系統的衰減越小，在它內部的能量損耗即越小，所需用來補償這能量損耗的推動也越弱。而推動越弱，則它們對系統運動的擾亂越小，錶的振盪週期就越近於振盪系統本身的週期。

因此爲了保證鐘錶的準確運行，亦即保證它們的週期固定，就不僅需要保證振盪系統本身的週期固定不變，而且要使它的衰減很小。例如，爲了達到這點，在優良的有擺的鐘內，採用特殊的方法來懸掛擺，以使摩擦損耗很小；把擺作成特種形狀，以使它運動時所受的空氣摩擦力也很小等等。在有擺輪的錶內也可採用類似的方法——採用摩擦損失很小的特殊軸承來支持擺輪的軸等等。

鐘錶準確運行的首要條件就是其振盪系統的衰減要小。

但是此處所指出的，並不是鐘錶準確運行的唯一條件。另外還有一個保證鐘錶準確運行的重要條件。我們前面已經講過，當振盪系統的衰減小時，鐘錶的振盪週期總是接近於振盪系統本身的週期。因此，爲了保證鐘錶的振盪週期固定，也需要保證擺或擺輪這振盪系統本身的週期固定。大家知道，擺的振盪週期決定於它的尺寸（轉動慣量及重心位置），擺輪的振盪週期決定於它的尺寸、質量（歸根到底，也就是它的轉動慣量）及螺旋彈簧的硬度。比如說，

^① 誠然，如果起始振幅太小，推動振盪系統的機械結構不能開始工作，那麼將不會有能量送到振盪系統中，而開始了的振盪必將衰減下去——鐘錶就不能走起來。前面提到的鐘錶的這種特點有時也呈現於電子管振盪器中。可是我們將不再討論鐘錶需要最初推動的這個特點。以後將按電子管振盪器的情況來研究它。

要是鐘錶的溫度改變了，那麼擺長因熱膨脹而改變，這就意味着它的週期改變，結果，鐘錶的振盪週期也就隨溫度而變化。爲了消除溫度對鐘錶運行的影響，在準確的擺鐘內採用特殊的構造來消除溫度對擺長的影響，也就是說對它週期的影響。相應的方法也可用於有擺輪的準確的錶內。這種消除溫度對振盪系統固有週期的影響的方法，我們沒有必要來詳細研究它。因爲對我們說來，只有提高鐘錶運行準確性的第二個條件的實質才是重要的。此處所指出的保證鐘錶穩定運行的兩個條件和我們將來在研究電子管振盪器頻率穩定問題時所遇到的條件相似。

現在我們轉到鐘錶振盪系統所產生的等幅振盪的波形問題上。用類似我們在上面討論振盪週期時考慮問題的辦法，就可以解決這問題。振盪系統本身進行的振盪是近於簡諧的，也就是其波形近於正弦波。但這振盪是衰減的（圖3）。由於振盪系統在速度最大時被推動了一下，使它的速度加快起來，所以振盪就成爲等幅的了。因之，如果用圖形來表示系統速度 v 隨時間 t 的變化情況，那麼等幅振盪就具有兩個衰減的半《正弦》波形，互相移開一個距離，其大小等於在推動時所產生的速度增量 Δv （圖4）^①。因此等幅振盪永

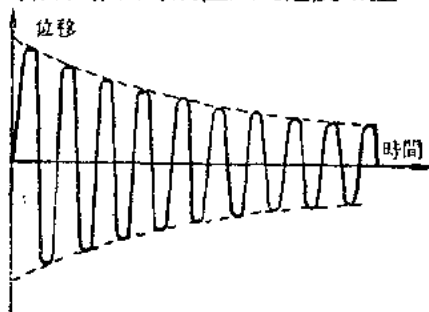


圖 3.

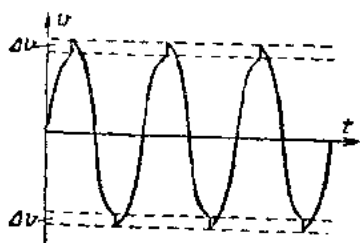


圖 4.

①通常圖形中不是表示速度對時間的變化，而是表示系統的位移（偏斜）對時間的變化。可是，假如偏斜是依照餘弦定律變化的話，那麼速度的變化就依照正弦定律，也就是說位移和速度的圖形相同，它們僅只有時間相差——在位移最大時，速度等於零，而位移爲零時，速度最大。