高等學校教學用書

無綫電基礎

下册

Б. П. АСЕЕВ 著
孟昭英等譯

高等教育出版社

高等學校教學用書

無綫電基礎

下册

Б. П. 阿謝也夫著
清華大學無綫電系俄文學習小組
孟昭英等譯

高等教育出版社

本書係根據1947年蘇聯國營通訊和無綫電出版社(Государственное издательство литературы по вопросам связи и радио)出版的阿謝也夫(Б. П. Асеев)著"無綫電基礎"(Основы радиотехники)譯出的。原書經蘇聯高等教育部審定爲高等通訊學校用教科書。

全書分上下兩册出版。

參加本書翻譯和校訂工作的爲清華大學無綫電系俄文學習小組孟昭英、常迵、吳佑壽、王華儉、孫觀朝、馮子良、楊秉疾、韓麗瑛及夏培蕭、陸家和、王傳英等同志。

本書原由龍門聯合書局出版,現轉移我社出版,用該局原紙型重印。

無 綫 電 基 礎

下 册

Б. П. 阿謝也夫著

清華大學無綫電系俄文學習小組

孟昭英等譯

高 等 教 育 出 版 社 出 版

北京琉璃廠一七〇號

(北京市書刊出版業營業許可證出字第〇五四號)

上海三星印刷廠印刷　新華書店總經售

書號 15010·399　開本 850×1168 1/32　印張 13 9/16　字數 319,000

一九五三年七月龍門聯合書局初版

一九五七年一月新一版

一九五七年一月上海第一次印刷

印數 1－2,500　　定價(10) ¥ 2.00

目　　録

第五編　濾波電路

第一章　多頻電流

第二章　濾 波 器

第三章 四極網絡

第六編 非直線性系統

第一章 不合於歐姆定律的電路

第二章 電子管振盪器的自激

第三章　無線電工程中的一些非直線性問題

第七編　振盪迴路的元件

第一章　電感線圈

第二章　電容器

第三章　電　阻

——完——

第五編 濾波電路

第一章 多頻電流

§1. 多頻電流和它在無線電工程中的重要性

在一般的電訊設備中，特別是在無線電工程的設備中，廣泛地應用着，運用有畸變的電流（非正弦波）的裝置。在這些裝置的工作中，有各種頻率的交流電流（交流分量）同時存在，有時還可能有直流電流（直流分量）。由於某種設備的工作條件的需要，有時必須只利用多頻電流中的某一個分量；因此，就需要把其它的分量都分離開來。凡是能從多頻電流中分出（濾出）所需要的分量（或者，如果必要的話，分出一個頻率段中的分量）的設備就叫作濾波器。

為了說明以上所敍述的東西，我們來看看最簡單的整流器的線路。假定整流器的特性（即：作用於整流器端極上的電壓 u 和流過的電流 i 的關係）可以用折線 AOB 來表示（圖 5.1）。其次，假設這個整流設

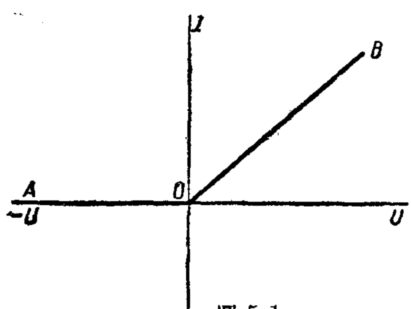

圖 5.1

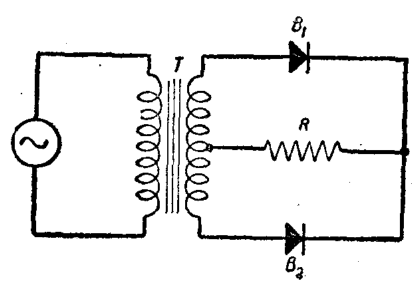

圖 5.2

備是採用所謂全波整流器的線路（圖 5.2），在這個電路中，兩個整流子 B_1 和 B_2 輪流地讓電流經由它而流入負載電阻 R。按照圖 5.3 的下圖所表示的變壓器 T 所供給的交流電壓，我們就不難畫出經由兩個整流子而流入於負載電阻 R 中的電流的曲線（圖 5.3 的上圖）。

這個整流後的電流顯然可以分解爲富氏級數，其係數可以由下列已知的式子求出。

直流分量（平均值）等於：

$$A_0=\frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} f(\omega t)\cdot d(\omega t), \tag{5.1}$$

其中 $f(\omega t)$ 是要被展開爲級數的曲線的分析式。

級數中餘弦項的係數則可由下式求出：

$$B_n=\frac{1}{\pi}\int_0^{2\pi} f(\omega t)\cos n\,\omega t\cdot d(\omega t), \tag{5.2}$$

其中 n 是諧波的次數。

最後，正弦項的係數等於：

$$A_n=\frac{1}{\pi}\int_0^{2\pi} f(\omega t)\sin n\,\omega t\cdot d(\omega t). \tag{5.3}$$

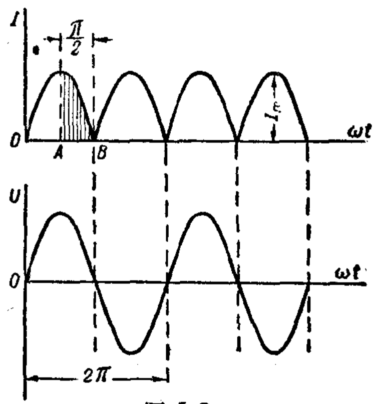

圖 5.3

現在，被展開的函數是偶函數（圖 5.3），即：

$$f(\omega t)_{(\omega t)}=f(\omega t)_{(-\omega t)}$$

因此所有正弦項的係數都等於零。

因之，整流後的電流的展開就簡化爲求電流的平均值（以 I_{med} 表之）和級數的餘弦項的係數（以 I_n 表之）。

根據被展爲級數的曲線的對稱

性，在一個週期（2π 徑）裏的積分，可以用在 $\frac{1}{4}T$ 時間$\left(\frac{\pi}{2}\text{ 徑}\right)$內的積分來代替。此時，整流後的電流的平均值等於

$$I_{med}=\frac{2}{\pi}\int_0^{\frac{\pi}{2}} f(\omega t)\cdot d(\omega t),$$

而級數的餘弦項的係數由下式來計算：

$$I_n=\frac{4}{\pi}\int_0^{\frac{\pi}{2}} f(\omega t)\cos n\,\omega t\cdot d(\omega t).$$

取 A 點（圖 5.3）爲開始計算時間的點，可以看出，在我們所討論的時間間隔（線段 AB）內，函數 $f(\omega t)$ 的分析式是：

$$f(\omega t)=I_m\cos\omega t.$$

於是，整流後的電流的平均值將等於

$$I_{med}=\frac{2}{\pi}\int_0^{\frac{\pi}{2}} I_m\cos\omega t\cdot d(\omega t)=\frac{2I_m}{\pi}\left|\sin\omega t\right|_0^{\frac{\pi}{2}}=0.636\,I_m,$$

而級數的餘弦項的係數是：

$$I_n=\frac{4}{\pi}\int_0^{\frac{\pi}{2}} I_m\cos\omega t\cdot\cos n\,\omega t\cdot d(\omega t). \tag{5.4}$$

應用三角公式，把式(5.4)變爲

$$I_n=\frac{2I_m}{\pi}\int_0^{\frac{\pi}{2}}[\cos(1+n)\omega t+\cos(1-n)\omega t]\,d(\omega t).$$

由此，得

$$I_n=\frac{2I_m}{\pi}\left|\frac{1}{1+n}\sin(1+n)\omega t+\frac{1}{1-n}\sin(1-n)\omega t\right|_0^{\frac{\pi}{2}}.$$

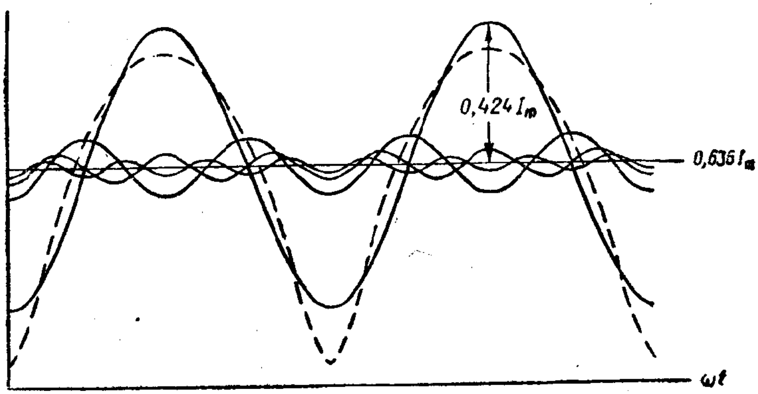

圖 5.4

注意,當

$$n=1,3,5,\cdots\cdots$$

時, $$\sin(1+n)\frac{\pi}{2}=0 \quad 和 \quad \sin(1-n)\frac{\pi}{2}=0,$$

可見被展爲級數的曲線沒有奇次諧波。

當 $$n=2,4,6,\cdots\cdots$$

時, $$\sin(1+n)\frac{\pi}{2}=\mp 1,\ \sin(1-n)\frac{\pi}{2}=\mp 1.$$

因而,

$$I_n=\pm\frac{4I_m}{\pi(n^2-1)}.$$

由此,二次諧波的係數是:

$$I_2=0.424\,I_m,$$

四次諧波的係數是

$$I_4=-0.084\,I_m,\ 等等。$$

所以，整流後的電流（圖 5.3）可以用下面這三角級數來表示

$$i=I_m\,(0.636+0.424\cos 2\,\omega t-0.084\cos 4\,\omega t+\cdots\cdots). \quad (5.5)$$

圖 5.4 是上式的圖解說明，其中虛線表示被展爲級數的曲線。

對於負載電阻 R（圖 5.2），多頻電流［式(5.5)］中的各個分量並不是都需要的。特別是當負載電阻 R 是電子管振盪器或電子管接收機的板極電路時，希望只有直流分量流經負載；而對於交流分量（爲了減弱在運用時的「哼聲」）則應該完全不讓它流過負載電阻。

§2. 直流分量的分離

在某些無線電工程的線路中（例如前節中所討論的整流器），常常需要將脈動電流（在特別的情形中，如整流後的電流）的直流分量分離出來，並且不讓交流分量通過負載電阻。要解決這個問題，可以在多頻的電源和消耗能量的設備（負載電阻）之間聯接某些阻抗。這些阻抗可以是串聯、並聯或者是又串聯又並聯(圖 5.5)。非常明顯地，在負載電阻 R 中，要想使交流分量不起作用，而直流分量又可以自由地流過，阻抗 Z_1 必須對於交流分量是儘可能的大，而對於直流分量是可以忽視的；對於阻抗 Z_2 的要求，顯然，必須和前者相反。

讓我們來考慮阻抗 Z_1 和 Z_2 的濾波作用。假定在線路中除負載電阻 R 以外只有一個串聯的阻抗 Z_1。根據基本的道理就可以看出：只有當 Z_1 對於交流分量的阻抗，比負載電阻 R 要大得很多時，才能夠得到優良的濾波作用。換句話說：只有當負載電阻 R 是很小時，用串聯的濾波阻抗才是合適的。以直流發電機爲例：用這種發電機來供給強力無線電話台的電子管的燈絲電源(圖 5.6)。從本質上看，直流發電機是配有整流子(器)的交流發電機。所以，這個發電機乃是帶有直流成分的多頻電源。要想僅僅供給燈絲以直流電源，就必須在燈絲上串聯一個這樣的阻抗，它對於直流的阻抗是很小的，而對於交流是非常大

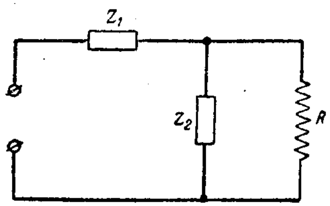

圖 5.5

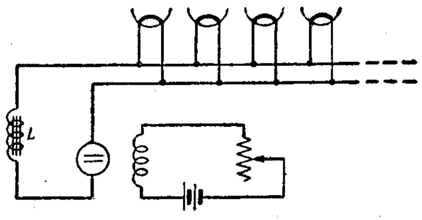

圖 5.6

的。這種阻抗就是電感線圈。

因爲燈絲電阻是很小的，所以我們用不太大的電感線圈 L 就能得到必要的濾波作用。例如，12 個並聯的電子管 $ГКО$-10，其燈絲的總電阻（在熾熱狀態）是 0.026 Ω。

減少燈絲的脈動電壓具有很大的實際意義，因爲這就大大地減少了所謂的“哼聲”，而後者對於電台（尤其是廣播電台）的音品的影響很不好。

我們現在來求扼流線圈 L 的計算式。在圖 5.7（圖 5.6 的等效線路）中，用 ΔU_1 表示電源上的交流電壓（脈動的振輻），用 ΔU 來表示負載電阻上的交流電壓，用 I 來表示線路中的電流，

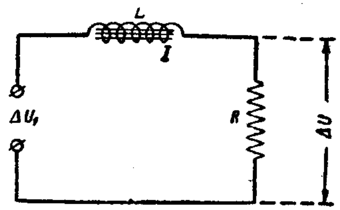

圖 5.7

我們就可以寫出下列的方程（忽略線圈 L 的電阻）：

$$\Delta\vec{U}_1=\vec{I}R+\vec{I}j\omega L. \tag{5.6}$$

其次，因爲

$$\Delta\vec{U}=\vec{I}R,$$

所以

$$\Delta\vec{U}_1=\Delta\vec{U}\left(1+j\frac{\omega L}{R}\right).$$

將上式逐項地除以被整流的電壓的直流分量，以求得電源的端極上的脈動的相對幅度（用字母 α 來表示這個數值）

$$\alpha=\frac{\Delta\vec{U}}{\vec{U}}\left(1+j\frac{\omega L}{R}\right),$$

由此，可以求得負載電阻上的脈動的相對幅度：

$$\frac{\Delta U}{U}=\frac{\alpha}{\sqrt{1+\left(\frac{\omega L}{R}\right)^2}}.$$

從上式，又可以求出在保證得到給定的脈動數值時所需的電感的數值：

$$L=\frac{R}{\omega}\sqrt{\frac{\alpha^2}{\alpha_0^2}-1}, \qquad (5.7)$$

其中

$$\alpha_0=\frac{\Delta U}{U}.$$

例　在電源的端極上，脈動的頻率是 $\omega=2\pi f=2200$，相對的脈動振幅是 $\alpha=0.05$。求電感 L 的值，使在負載 $R=0.03\,\Omega$ 上的脈動的相對振幅減少到 $\frac{\Delta U}{U}=0.005$。

解　應用式 (5.7)，可得

$$L=\frac{R}{\omega}\sqrt{\frac{\alpha^2}{\alpha_0^2}-1}=\frac{0.03}{2200}\sqrt{\frac{0.05^2}{0.005^2}-1}\approx 1.36\times 10^{-4}\,\mathrm{H}.$$

我們再來看看利用並聯阻抗的線路。以半波整流的線路（圖 5.8）爲例，在這線路中，濾波作用是由電容 C 的作用而得到的。

要想用電容 C 來減弱負載電阻 R 中的電流的交流分量，整流子的內阻 R_i（稱爲折合內阻）必須是相當的大。

爲了說明這個道理，讓我們來看看下面的比喻。假設有一個電流電源，和這個電源並聯聯接的是一只白熾燈及一個用來調節燈絲熱度的變阻器。很明顯地，只有在這樣的情况下：即當改變變阻器電阻時，能夠使電流電源的端電壓發生變化時，並聯的變阻器才能對流入電燈

的電流有所影響。如果電流電源的內阻很小，那麽變阻器（並聯的）電阻的改變，對於流入電燈的電流幾乎沒有影響；當電流電源的內阻很大時，並聯的變阻器的影響才是較顯著的。

由此可見，當要求整流器供給的電流很小時，圖 5.8 的線路才是適用的。例如，爲了供給陰極線示波管、X 射線管等，就可採用這種線路。

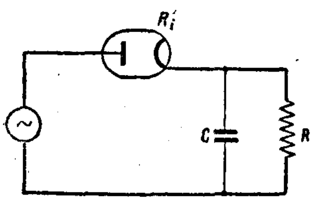

圖 5.8

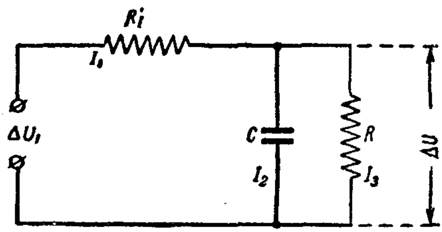

圖 5.9

了解了上面這個比喻之後，我們就可以來研究和圖 5.8 等效的線路圖 5.9。和上面一樣，令 ΔU_1 和 ΔU 分別代表輸入端和輸出端的脈動電壓，而 I_1、I_2 和 I_3 各代表線路中各部份電流的交流分量，由此我們可以寫出它們的關係式

$$\vec{I}_1 R_i' + \vec{I}_3 R = \Delta\vec{U}_1, \tag{5.8}$$

$$\vec{I}_1 = \vec{I}_2 + \vec{I}_3, \tag{5.9}$$

$$\vec{I}_3 R = \Delta\vec{U}. \tag{5.10}$$

將式 (5.9) 和 (5.10) 中的 I_1 和 I_3 代入式 (5.8)，可得

$$\Delta\vec{U}\left(1+\frac{R_i'}{R}\right)+\vec{I}_2 R_i' = \Delta\vec{U}_1.$$

其次，因爲

$$\vec{I}_2 = \Delta\vec{U}\cdot j\omega C,$$

故最後可得

$$\Delta\vec{U}\left(1+\frac{R_i'}{R}+jR_i'\omega C\right)=\Delta\vec{U}_1.$$

將上式逐項用被整流的電壓的直流分量 U 來除一下，又按照前面的記號，用 α 來表示輸入端的脈動的相對幅度，

$$\alpha=\frac{\Delta \vec{U}_1}{\vec{U}},$$

則得：

$$\frac{\Delta\vec{U}}{\vec{U}}=\frac{\alpha}{1+\frac{R_i'}{R}+jR_i'\omega C}.$$

求上式的絕對值，可得最後的式子如下：

$$\frac{\Delta U}{U}=\frac{\alpha}{\sqrt{\left(1+\frac{R_i'}{R}\right)^2+(R_i'\omega C)^2}}. \tag{5.11}$$

例　設在圖 5.9 中，$R_i'=5\times10^4\,\Omega$，$R=10^6\,\Omega$，$C=2\mu F$，$f=50\,\mathrm{Hz}$。試問輸出端的脈動比輸入端減弱了多少倍？

解　設輸出端的脈動的相對幅度爲 α_0。

$$\alpha_0=\frac{\Delta U}{U},$$

則

$$\frac{\alpha}{\alpha_0}=\sqrt{\left(1+\frac{R_i'}{R}\right)^2+(R_i'\omega C)^2}.$$

因爲

$$\frac{R_i'}{R}=\frac{5\times10^4}{10^6}=5\times10^{-2}\ll1,$$

而

$$R_i'\omega C=5\times10^4\times6.28\times50\times2\times10^{-6}=31.4,$$

所以，顯然，可以近似地計算爲

$$\frac{\alpha}{\alpha_0}\approx R_i'\omega C=31.4.$$

這樣，在這個情況下，脈動差不多減弱 30 倍。

爲了減弱脈動，常常是故意的增加 R_i' 的值。實用上，這就是在整流子上串聯(到電容上)一個附加的電阻。這樣的聯接，自然就會使被整流的電壓降低；要得到滿意的濾波作用而又不使被整流的電壓降低太多，比較合適的方法是：聯接到電容上的不是電阻，而是電感（圖 5.10）。

寫出圖 5.10 的方程(這些方程和圖 5.9 是相類似的):

$$\vec{I}_1 j\omega L+\vec{I}_3 R=\Delta\vec{U}_1,$$

$$\vec{I}_1=\vec{I}_2+\vec{I}_3,$$

$$\vec{I}_3 R=\Delta\vec{U},$$

$$\vec{I}_2=\Delta\vec{U}\, j\omega C.$$

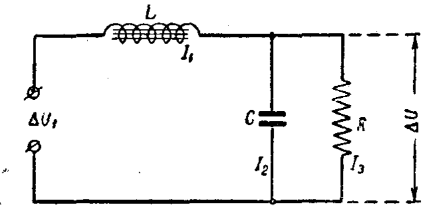

圖 5.10

用和前面相同的方法,得

$$\Delta\vec{U}\cdot\left(1-\omega^2 LC+j\frac{\omega L}{R}\right)=\Delta\vec{U}_1.$$

和前面一樣,令

$$\alpha=\frac{\Delta\vec{U}_1}{\vec{U}},$$

得

$$\frac{\Delta\vec{U}}{\vec{U}}=\frac{\alpha}{1-\omega^2 LC+j\dfrac{\omega L}{R}},$$

最後,得

$$\frac{\Delta U}{U}=\frac{\alpha}{\sqrt{(1-\omega^2 LC)^2+\left(\dfrac{\omega L}{R}\right)^2}}. \tag{5.12}$$

例 在圖 5.10 中負載電阻等於 $R=300\,\Omega$。 爲了得到濾波作用,在線路中聯接上 $L=1.5\,\mathrm{H}$ 和 $C=50\,\mu F$。 設輸入端的脈動等於 $\alpha=0.045$。 試求 $\omega=6.28\times300$ 時輸出端的脈動(這些數據差不多就是强力電台的運用條件)。

解 將所給的數據代入式 (5.12),得

$$\frac{\Delta U}{U}=\frac{\alpha}{\sqrt{(1-\omega^2 LC)^2+\left(\dfrac{\omega L}{R}\right)^2}}=$$

$$=\frac{0.045}{\sqrt{(1-6.28^2\times300^2\times1.5\times50\times10^{-6})^2+\left(\dfrac{6.28\times300\times1.5}{300}\right)^2}}\approx0.169\times10^{-3}$$

或者寫成百分數

$$\frac{\Delta U}{U}=0.0169\%.$$

在濾波器的輸出端,脈動是如此之小,這對於廣播電台的嚴格要求是十分滿意的。