

中等專業學校教學用書

有線傳輸原理 教程習題集

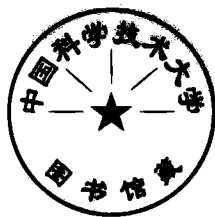
A. M. МУРЗЕНИК 著 通信學院教材翻譯組集體翻譯

高等教育出版社

中等專業學校教學用書



有線傳輸原理教程習題集



高等教育出版社

本書係根據蘇聯國立通信和無線電書籍出版社(Государственное издательство литературы по вопросам связи и радио)出版的穆爾盛科(А. М. Муравенко)所著的“有線傳輸原理教程習題集”(Сборник задач по курсу “теория связи по проводам”)1950年版譯出。原書經蘇聯郵電部教育司審定為通信中等技術學校教學參考書。

本書由通信學院教材翻譯組集體譯出。

有線傳輸原理教程習題集

書號151(課145)

穆 爾 盛 科 著

通信學院教材翻譯組集體翻譯

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)

新華書店總經理

京華印書局印刷

北京南新華街甲三七號

開本850×1092-1/28 印張5 字數 114,000
一九五四年十一月北京第一版 印數 1-2,500
一九五四年十一月北京第一次印刷 定價 9,000

序

這本“有線傳輸原理”教程習題集是給中等通信技術學校當教學參考書用的。但對一些高等學校的學生，當他們按簡縮了的教學大綱學習“有線傳輸原理”課程時，本書也可當作教學參考書使用。

較複雜的習題都註有星形記號，這些習題對中等通信技術學校的學生並不必要，僅介紹給高等學校的學生。

本習題集共有 263 個習題，包括了“有線傳輸原理”教程中各章的習題。這些習題都附有答案，並對一部分最典型的題目還附有它們的解法。

本習題集應當能夠幫助我們研究“有線傳輸原理”教程中的基本原理和幫助我們獲得解決實際問題的計算技能。

爲了便於學習教程中的各章起見，習題按各中心問題分類，所以不能完全按照習題的複雜程度進行排列。在本教材中的每一章都介紹有簡短的理論原理和計算公式。

對本習題集的一切意見，請寄國立電訊書籍出版社（莫斯科中心區基洛夫大街 40 號—Москва, центр. ул. Кирова, 40）。

目 錄

序

第一章 電氣通信信號的基本特性	1
第二章 正弦電流為穩定狀態時的集中參數電路	5
II. 1. 多環路集中參數電路的研究方法	5
II. 2. 二端網絡	8
II. 3. 四端網絡	15
II. 4. 四端網絡的實用電路	21
1) 做真線路和衰減器	22
2) 通信變壓器	26
3) 電氣濾波器	30
4) 改正(振幅)網絡	41
第三章 分佈常數電路	45
第四章 人工加感線路	75
第五章 電話線路間的相互干擾	82
第六章 在瞬變狀態時的電路	99
附錄	107
1. 弧度—度換算表	107
度—弧度換算表	107
2. 自然對數表	108
常用對數表	108
3. 指數函數及雙曲線函數表	109
4. 對數尺計算法	113
習題答案	122
中俄譯名對照表	181

有線傳輸原理教程習題集

第一章 電氣通信信號的基本特性

有線電信工具能實現電報傳輸、電話通信、廣播和傳真。有線通信用的技術器材應該保證在任何所需的距離內迅速的、不間斷的和質量良好的通信聯絡。通信設備還應該是很經濟的，就是要求在最少的建設費和維護費的條件下保證其最有效的使用。

現代有線通信的實施方法是以線路設備的多工使用為基礎的。在任何類型的通信聯絡中，線路應該保證信號在一定的頻率範圍內能夠有效地傳輸。任何通信都必需的波段由通信信號的特性決定，這些特性是在有線傳輸原理一書中研究的。

對電報通信而言，在線路上傳送自零到 $1.6 f_0$ 的頻譜就夠了， f_0 是由電報機所發送的電文符號（字母，數字，標點符號）的電報信號分析出來的諧波中的一次諧波（基波）頻率。

用拍發的點的符號計算電報傳輸頻譜的寬度。

發報的速度以每秒鐘內所發單位脈衝的數目測量，這個通常叫做波特數；波特數 B 與一次諧波的週期 T_0 的關係是 $\frac{1}{B} = \frac{1}{2} T_0$ 。由此得出第一次諧波的頻率 f_0 與發報速度的關係是：

$$f_0 = \frac{1}{2} B.$$

對電話通信來說，所需頻譜自 300 到 2400 赫就已經足夠了。但是為了提高電話通信的質量，在某些多工電話通信系統中，頻譜取得更寬一些，例如在十二路系統中用 150 到 3400 赫的頻譜。電話傳輸頻譜的

上限是根據電話線路的電氣特性選擇的。對架空銅線線路而言，上限可用2000赫，架空銅線線路可用2400赫，加感電纜線路則可用2700赫，無加感電纜線路則用3400赫。

電話傳輸頻譜並不太寬，但却是人的語言器官所能發出的頻譜中的主要部分。人類語言器官所能發出的頻譜在20到12000赫的範圍內。人類聽覺器官感覺到的頻譜範圍是16到20000赫。

在設計電話傳輸時，還必須注意到這種情況，就是人類的聽覺器官對於各種頻率的接受是有不同的靈敏度的。這時聽覺器官的接受範圍以可聞閾和痛苦感覺閾來表明(圖1)。

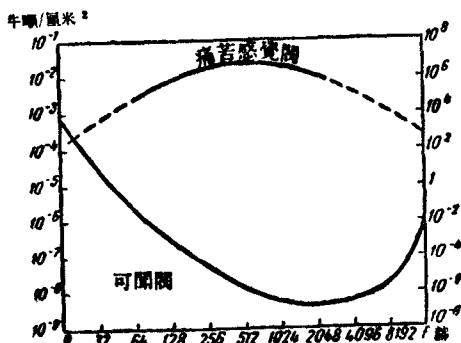


圖 1

電話傳輸的質量用清晰度係數評價，清晰度係數定義為在電話線路終端正確接收下來的沒有字義的音節的數目和在電話線路始端所發送的這些音節總數的百分比。

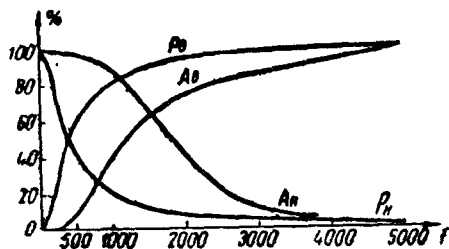


圖 2

清晰度係數與被傳輸的頻譜有關。圖2中曲線 A_n 及 P_n 表示在電話傳輸中除去某被研究頻率以下的全部頻率時的清晰度係數和語言能量的數值，曲線 A_n 及 P_n 表示在電話傳送中除去某被研究頻率以上的全部頻率時的清晰度係數和語言能量的數值。

習 題

I. 01. 中等熟練程度的報務員用電鍵工作時，每分鐘平均拍發120個符號。按照莫爾斯電碼，平均每個符號由10個單位脈衝組成。求用這種速度的電報通信時所需波段的寬度。

I. 02. 電報快機的技术速度為100波特，求在300到2400赫的頻譜中，如果載波頻率之間間隔為120赫，並當每路的頻譜寬度為80赫時，能配置幾個電報電路。載波頻率通常在通信電報路的中間。

I. 03. 某一符號的電流脈衝送入線路，每個電流脈衝的持續時間為 $\tau=0.1$ 秒，並且間隔的持續時間也是0.1秒。求該週期性脈衝的第一次諧波頻率。

解法提示 分析所述電流脈衝型式的週期函數時，可把信號電動勢分解為下列級數(傅里葉級數)：

$$E = E_0 + E_1 \sin(\omega_1 t + \varphi_1) + E_3 \sin(\omega_3 t + \varphi_3) + E_5 \sin(\omega_5 t + \varphi_5) + \dots,$$

式中

$$E_0 = \frac{E}{2}, \quad E_1 = \frac{2}{\pi} E = 0.635 E, \quad E_k = \frac{E_1}{k}, \quad k=1, 3, 5, \dots$$

$$\omega_1 = \frac{\pi}{\tau}, \quad \omega_k = \frac{k\pi}{\tau}, \quad f_1 = \frac{1}{2\tau}, \quad f_k = \frac{k}{2\tau}.$$

I. 04. 如果已知電源兩端電壓等於60伏，試求習題 I. 03. 所示傳輸頻譜中的第一次和第三次諧波分量的振幅。

I. 05. 說明於規定的頻率範圍內用單流傳輸傳送電報的速度快，還是用雙流傳輸傳送電報的速度快。

I. 06. 利用清晰度對傳輸頻率的曲線(圖2)，說明從電話傳輸中除出2400赫以上頻率分量時對清晰度有何影響。

I. 07. 利用圖2的曲線，指出傳輸頻譜從300到2400赫的清晰度係數值。

I. 08. 頻率為 f 的音頻振幅 A 和壓力 p 之間有下列關係：

$$p = 174 f A 10^{-5} \text{ 牛頓/厘米}^2。$$

對接收頻率為 2048 赫的聲音來說，最小壓力應為 4.1×10^{-9} 牛頓/厘米²。求出要接收該頻率的聲音，其最小振幅應為多少？

I. 09. 當壓力為 p 牛頓/厘米² 時，音波通過它所貫穿面積的每一平方厘米所攜帶的功率為

$$P = 23.4 p^2 \text{ 瓦/厘米}^2。$$

假如振盪頻率為 2048 赫，求在可聞閾上該話音的最小功率 P_{min} 。

I. 10. 利用圖 1 的曲線，當振盪頻率為 32、256、1024、2048、8192 赫時，求在可聞閾上的最小話音的壓力、振幅及功率。將計算數據列成一表。

第二章 正弦電流爲穩定狀態時的集中參數電路

II. 1. 多環路集中參數電路的研究方法

由有線傳輸原理知道：在電路中電磁狀態的傳播時間與電磁狀態的變化時間相比較可以忽視時，這樣的電路叫做集中參數電路。在計算這樣的電路時，可以設想：將電動勢加到這種電路上時，立即在全電路的各點都產生電流。

任何分支很複雜的電路，都是由許多環路所組成的。研究這種電路時，可以在電路內分出很多支路，同時屬於若干個環路的支路叫做公共支路，僅屬於一個環路的支路叫做自由支路。多環路的電路中，其支路由電感 L 、電容 C 及電阻 R 串聯、並聯或混聯組成。這些 L 、 C 及 R 叫做電路元件。

在集中參數電路的各部分中，要找出其電流與電壓間的關係及其電氣特性時，可依據以下的基本原理：

a) 重疊原理。這原理是：在直線性系統中，任何一個環路中的電流是連接在該系統的各個環路中各個獨立作用的電動勢，在該環路中所產生的各個電流疊加起來的結果。

b) 互易定理。這定理是：如果加在被研究系統中的任何支路上的某電動勢使在另一支路中產生一定數值的電流，則將這電動勢移到後一支路上時，它將在原來的支路內產生相同的電流。

B) 等效電源定理。這定理確定：任何內部含有電動勢的電氣系統，從其輸出端看過去可以把它看作是一電源。該電源的電動勢等於輸出端開路時的端電壓，而內阻抗則等於當將電源電動勢拿去而易以其內阻抗相等的阻抗時由開路輸出端方面看過去的輸入阻抗。

當研究集中參數電路時，問題僅限於根據電路各元件的數值或其

他參數值決定出電路中各點的電流。在闡明電路各點的電流值時，還可得出其他一些我們需要的數值。解這樣的問題時，通常都是利用著名的基爾霍夫定律的。在通信工程中研究複雜的電路時，利用基爾霍夫綜合定律最為方便。按照這個定律，任何環路中的電壓降由流過該環路全部阻抗的環路電流及流過公共支路阻抗的相鄰環路的電流決定。流經環路自由支路的電流叫做環路電流。

例如圖 3 的電路，根據基爾霍夫綜合定律，可以按照電路中環路的數目列出下列兩個方程式：

$$E = \frac{1}{2} I_n i \omega L_1 + i I_2 \left(\omega L_2 - \frac{1}{\omega C_2} \right),$$

$$0 = I_n \left(\frac{1}{2} i \omega L_1 + Z_n \right) - i I_2 \left(\omega L_2 - \frac{1}{\omega C_2} \right).$$

由該組聯立方程式可以求出環路電流 I_n 及 I_2 。

習 題

II. 01. 在圖 3 所示的電路中，求交流頻率 ω_0 ，使在這個頻率時，由 C_2 和 L_2 組成的支路電流等於無限大

解 由該電路的兩個環路電流方程式，得

$$I_2 = \frac{E - \frac{1}{2} i I_n \omega L_1}{i \left(\omega L_2 - \frac{1}{\omega C_2} \right)}.$$

如能滿足下列條件時電流 I_2 將為無限大：

$$\omega_0 I_2 - \frac{1}{\omega_0 C_2} = 0.$$

由此

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L_2 C_2}}.$$

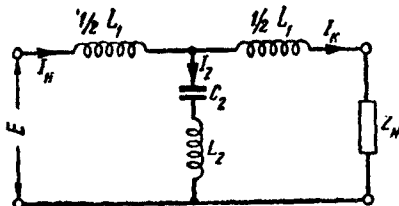


圖 3

*II. 02. 由電阻組成的三環路系統，如圖 4，如果電源電動勢 $E=100$ 伏，用環路電流法求三個環路的公共支路 ab 上的電流。各元件的數值如圖所示。

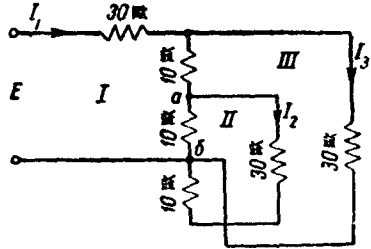


圖 4

*II. 03. 圖 5 為電話感應線圈的線路圖。如將損耗和漏磁忽略不計，寫出該線圈的方程式並求出變壓比和變流比的一般方程式。

*II. 04. 圖 6 為橋接 T 形四端網絡的線路圖，其終端接上阻抗 $Z_n=Z_1=600$ 歐。在通信工程的實際電路中，元件 Z_2 及 Z_3 通常有 $Z_1^2=Z_2Z_3$ 的關係。假設 $Z_2=32$ 歐，用基爾霍夫第一和第二定律求出該四端網絡的輸入阻抗。

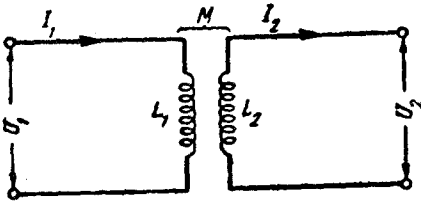


圖 5

*II. 05. 利用環路電流法算出習題 II. 04 所示情況中的輸入阻抗 Z_{in} 。符號如圖 7 所示。

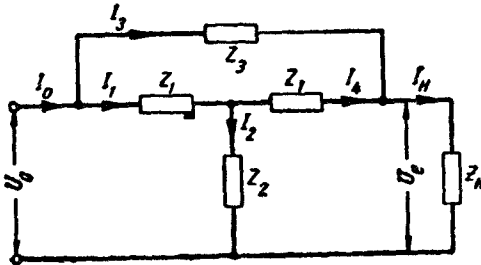


圖 6

*II. 06. 求出要加上多大的電壓值，才能使習題 II. 04 所示的橋接 T 形電路中第二環路電流等於 0.185 毫安。

*II. 07. 圖 8 為差接系統的線路圖，差接系統能將一個傳輸方向的電流和與其相反方向的電流分開。本系統中的差接變壓器具有下列條件： $L_1=L_2=n^2L_3=L$ 。在漏磁很小的情況下，可以假設： $M_{12}=L$ ，

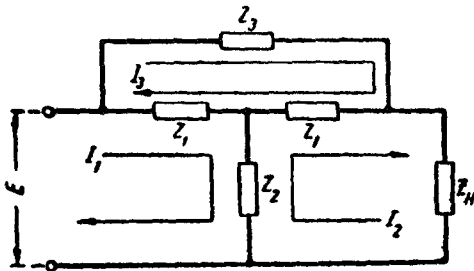


圖 7

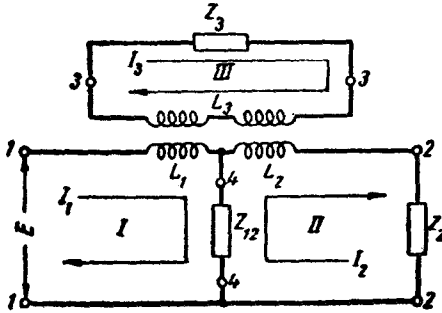


圖 8

$$M_{23} = M_{13} = \frac{L}{n}$$

如果變壓器的負載阻抗為： $Z_{12} = \frac{Z_2}{2}$, $Z_3 = \frac{Z_2}{2n^2}$ ，試求該系統的輸入阻抗 Z_{Bx} 。

II. 2. 二端網絡

在有線傳輸原理中，所有由任意數目、相互間以任何方式連接起來的元件所組成的電路，並且該電路具有兩個接線端可以將其接到電源或其他電路上，這種電路我們通稱為二端網絡。

所有二端網絡在有線

傳輸原理中的分類如下：

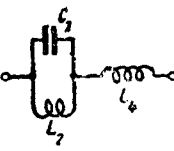
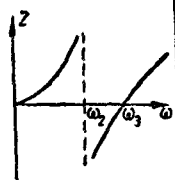
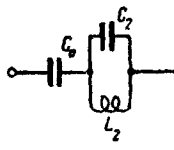
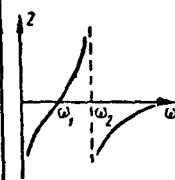
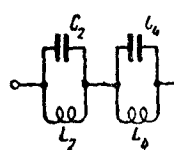
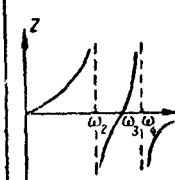
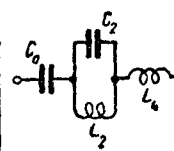
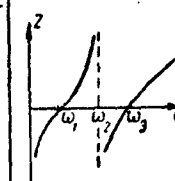
a) 直線性二端網絡及非直線性二端網絡。直線性二端網絡僅包括普通元件(有效電阻、電感及電容)，這些元件的數值與通過這些元件的電流無關；非直線性二端網絡在其電路中包括有非直線性元件(例如：乾式整流器、具有非直線特性的電子管、磁過飽和時具有鐵心的電感線圈等)；

b) 無源二端網絡及有源二端網絡。前者自己不包括電源，後者則具有電源。

B) 無損耗二端網絡及有損耗二端網絡。前者只包括電抗元件(電感和電容)，後者除電抗外還具有電阻元件。

在有線通信工程中遇到的各種二端網絡可以歸納為四種典型電

路，如圖 9 所示。在圖 9 中還舉出了該四種典型二端網絡的阻抗頻率

類別	典型的串聯電路	阻抗的頻率曲線	阻抗
I			$Z(\omega) = i\omega H \frac{(\omega^2 - \omega_2^2)}{(\omega^2 - \omega_2^2)} =$ $= i\omega H \left\{ 1 + \frac{A_2}{\omega^2 - \omega_2^2} \right\}$ $H = L_4; A_2 = -\frac{\omega_2^2 - \omega_2^2}{1};$
II			$Z(\omega) = -i\omega H \frac{(\omega^2 - \omega_1^2)}{\omega^2(\omega^2 - \omega_2^2)} =$ $= i\omega H \left\{ \frac{A_0}{\omega^2} + \frac{A_2}{\omega^2 - \omega_2^2} \right\};$ $H = \frac{1}{C_0} + \frac{1}{C_2}; A_0 = -\frac{\omega_1^2}{\omega_2^2}; A_2 = -\frac{\omega_2^2 - \omega_1^2}{\omega_2^2}$
III			$Z(\omega) = -i\omega H \frac{(\omega^2 - \omega_2^2)}{(\omega^2 - \omega_2^2)(\omega^2 - \omega_4^2)} =$ $= i\omega H \left\{ \frac{A_2}{\omega^2 - \omega_2^2} + \frac{A_4}{\omega^2 - \omega_4^2} \right\};$ $H = \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_4}; A_2 = -\frac{\omega_2^2 - \omega_3^2}{\omega_2^2 - \omega_4^2}; A_4 = -\frac{\omega_4^2 - \omega_3^2}{\omega_4^2 - \omega_2^2}$
IV			$Z(\omega) = i\omega H \frac{(\omega^2 - \omega_1^2)(\omega^2 - \omega_3^2)}{\omega^2(\omega^2 - \omega_2^2)} =$ $= i\omega H \left\{ 1 + \frac{A_1}{\omega^2} + \frac{A_3}{\omega^2 - \omega_2^2} \right\}$ $H = L_4; A_0 = -\frac{\omega_1^2 \omega_3^2}{\omega_2^2}; A_2 = -\frac{(\omega_2^2 - \omega_1^2)(\omega_2^2 - \omega_3^2)}{\omega_2^2}$

特性曲線和計算阻抗的公式。

當 $\omega=0$ 及 $\omega=\infty$ 時所有這些二端網絡的典型電路的阻抗具有不同的性質。此種區別如下表所示：

阻抗的性質	類 別			
	I	II	III	IV
當 $\omega=0$ 時	電感的	電容的	電感的	電容的
當 $\omega=\infty$ 時	電感的	電容的	電容的	電感的

在解答二端網絡計算題時，廣泛利用二端網絡的等效條件，根據等效條件就可以很容易將任一二端網絡的電路變成四種典型電路的一種。

如果兩個二端網絡在從零到無限大的全部頻譜中都具有完全相同的阻抗特性時，這兩個二端網絡就可以認為是等效網絡。

假如兩個二端網絡可用變更網絡的某些元件的辦法以達到等效時，那末這兩個二端網絡就叫做潛在等效網絡。

在有線通信工程中常常遇到兩個互為倒量的網絡。在任何頻率時兩個網絡的阻抗乘積都等於一個常數。那末，這兩個網絡就是所謂倒量網絡。

如果只能用變更組成兩個二端網絡的所有元件或某些元件的方法，才能滿足該兩個二端網絡的倒量條件時，則叫做潛在倒量網絡。

由有線傳輸原理知道：由純電抗元件（電感與電容）組成的二端網絡，即所謂無損耗二端網絡。他們具有下列基本特性：

1. 折合二端網絡^①諧振頻率的個數總比組成網絡的元件數目少1。
2. 在二端網絡電路中，如果有直流通路，則頻率從零逐漸增加時，

^① 所謂折合二端網絡指的是，在這種網絡中電感的數目等於電容的數目或只相差一個。這時要想減少電容或電感的元件數目而不變更二端網絡的電氣特性，即不變更二端網絡的諧振頻率的數目及其阻抗頻率特性曲線的形狀，是不可能的。

首先發生電流諧振；如果沒有直流通路，首先發生電壓諧振。

3. 若將折合二端網絡的阻抗符號考慮在內，則其阻抗始終隨頻率的增加而增加。

4. 當折合二端網絡的元件數目是偶數時，最後一個諧振性質與第一個諧振性質相同。

當元件數目為奇數時，如果第一個諧振為電壓諧振，則最後一個諧振將是電流諧振；反之，如第一個諧振為電流諧振，則最後一個諧振將是電壓諧振。

習 題

II. 08. 典型電路的二端網絡由 6 個元件組成，這二端網絡在全部頻率範圍內將有幾個諧振頻率？

II. 09. 典型電路的二端網絡由 5 個元件組成並使其輸入阻抗在直流時等於零。該二端網絡屬於那一類？電源頻率從零增加到無限大時，在這二端網絡中將有幾個諧振頻率？這些諧振頻率又是怎樣？

II. 10. 第 III 類的二端網絡由兩個元件(平行的諧振電路) $L=0.391$ 亨及 $C=0.64$ 微法組成。當頻率為其諧振頻率值的兩倍時，該電路具有多少阻抗？

II. 11. 下列輸入阻抗 $Z_{s,x}$ 的解析式子相當於那一類二端網絡？

$$Z_{s,x} = i\omega H \frac{(\omega^2 - \omega_1^2)(\omega^2 - \omega_3^2)}{\omega^2(\omega^2 - \omega_2^2)(\omega^2 - \omega_4^2)}$$

該二端網絡的典型電路是由幾個什麼元件組成的？

II. 12. 將三個並聯電路串聯後組成第 III 類二端網絡，試求該二端網絡輸入阻抗的解析式子。

解 二端網絡由 6 個元件組成。在有限頻率範圍內共有 5 個諧振頻率(比元件數目少 1，因為在諧振系統中最少的元件數目為 2)。依照並聯電路的數目，電流諧振是 3。這樣，在輸入阻抗的公式中應該包括

偶數指標 (2, 4, 6) 的諧振頻率。奇數指標 (3 及 5) 的諧振頻率有 2 個, 並分佈在偶數指標頻率之間 (偶數指標頻率和奇數指標頻率的位置總是相互更替的)。這時, 必須 $\omega_1 = 0$ 。因而, 輸入阻抗的公式為下列形式

$$Z_{s,x} = -i\omega H \frac{(\omega^2 - \omega_2^2)(\omega^2 - \omega_6^2)}{(\omega^2 - \omega_2^2)(\omega^2 - \omega_4^2)(\omega^2 - \omega_6^2)}$$

*II. 13. 二端網絡各元件的數值如圖 10 所示。求該二端網絡輸入阻抗對頻率的關係, 確定該網絡的種類, 並計算出串聯典型電路各元件的數值。

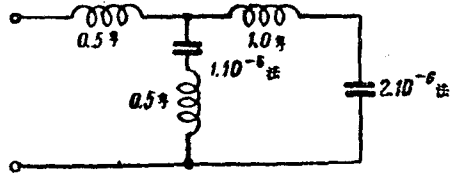


圖 10

解 爲了求出該二端網絡的輸入阻抗的式子, 應該寫出本系統的方程式, 由這些方程式求出環路電流。

這時輸入阻抗將等於輸入端的電壓對第一個環路電流的比值。

在這種情況下, 方程形式如下:

$$E_1 = I_1 i \left(\omega L_1 + \omega L_{12} - \frac{1}{\omega C_{12}} \right) - I_2 i \left(\omega L_{12} - \frac{1}{\omega C_{12}} \right),$$

$$0 = I_1 i \left(\omega L_{12} - \frac{1}{\omega C_{12}} \right) + I_2 i \left(\omega L_2 + \omega L_{12} - \frac{1}{\omega C_2} - \frac{1}{\omega C_{12}} \right).$$

由此得出

$$Z_{s,x} = \frac{E}{I_1} = i\omega \left[\frac{-1.25\omega^4 + 2 \times 10^6 \omega^2 - 0.5 \times 10^{12}}{-1.5\omega^4 + 1.5 \times 10^6 \omega^2} \right].$$

當某些頻率使輸入阻抗式子的分子等於零的時候, 輸入阻抗也等於零。

$$-1.25\omega^4 + 2 \times 10^6 \omega^2 - 0.5 \times 10^{12} = 0.$$

這樣, 電壓諧振頻率將爲

$$\omega_1 = 557 \text{ 及 } \omega_3 = 1135,$$