

★ 郵 電 叢 書 ★

載波機的自動增益調整

人 民 郵 電 出 版 社

載波機的自動增益調整

別特魯申 合著
白斯墨爾特勒

人民郵電出版社

И. П. ПЕТРУНИН К. И. БЕССМЕРТНЫЙ

**АВТОМАТИЧЕСКАЯ
РЕГУЛИРОВКА УСИЛЕНИЯ
В АППАРАТУРЕ ДАЛЬНОЙ СВЯЗИ**

СВЯЗЬИЗДАТ

МОСКВА 1952

ПЕРВОЕ ИЗДАНИЕ

載波機的自動增益調整

著者: И. И. 別特魯申

К. И. 白斯墨爾特勒

譯者: 閔鼎臣

校者: 中央人民政府郵電部編譯室

出版者: 人民郵電出版社

北京西長安街三號

發行者: 新華書店

印刷者: 北京市印刷二廠

一九五四年五月初版 (1—2,500)

書號: 35 字數: 60,000 定價: 4,500 元

序 言

在採用最新型載波機的基礎上，蘇聯不斷地發展着長途電話通信設備。採用近代長途通信機械，可以在架空明線上及電纜線路上，使用載波通信的方法來實現多路通信。

有色金屬架空明線載波線路上使用的頻率達到 150 千週。這頻率範圍內的頻率分配如下：

- а) 自 0 到 80 週範圍內的頻率，用作幻象電報；
- б) 自 0.3 到 2.4 千週範圍內的頻率，用來通音頻電話；
- в) 自 3.2 到 5.2 千週範圍內的頻率，用來作傳真電報，或利用這頻率範圍來組成幾路中頻電報通信；
- г) 自 6 到 30 千週範圍內的頻率，用來做載波電話通信（三路載波電路）；
- д) 自 36 到 150 千週範圍內的頻率，用來做 12 路載波電話通信（12 路載波電路）。

鋼線載波線路上使用的頻率達到 10 千週，其中自 0 到 80 週的頻率範圍用作幻象電報通信；自 0.3 到 2 千週的頻率範圍用來通音頻電話；自 2.6 到 9.2 千週的頻率範圍用來通載波電話。

在平衡無負荷電纜線路上，利用 60 千週以下的頻帶組成 12 路載波電話電路；利用 108 千週以下的頻帶組成 24 路載波電話電路。

在負荷電纜線路上，一般在下列頻率範圍內進行通信：在實線和幻象線音頻電路中使用的頻帶為 200 到 3500 週，或 300 週到 2700 週（中負荷），或 300 週到 5.7 千週（輕負荷）；而在實線上使用

的載波頻率則高達 60 千週（重負荷）。在輕負荷電纜中，每四根線上有兩個電話電路，一路的頻帶是 0.3 到 2.7 千週；另一路的頻帶是 3.3 到 5.7 千週。在重負荷電纜中，每一對導線上可組成一個音頻電路和 8 個載波電路，或是採用二電纜制（利用每根電纜中的一對導線組成四線線路）來進行 12 路或 24 路載波通信。在同軸電纜中，可以利用 7 兆週以下的頻帶來組成幾百個電話電路，或用來傳送電視。

此外，由於近代長途通信技術的發展，可以在載波電話電路中，組成音頻電報電路、傳真電報電路，以及合併幾個載波電話電路來組成廣播節目的電路。

在 1922—1923 年，M. B. 許列金首先解決了載波電話有關的理論問題。在同一個時期，И. B. 史馬可夫和 Г. А. 古卜里揚羅夫最先開始進行用高頻電流通信的實驗，並製成了載波電話機的工業模型。此後由於蘇聯專家們不斷的研究，在 1938—1939 年製成了 12 路載波電話機，使在有色金屬線路上能利用的頻率範圍擴充到 150 千週。

在結束偉大的衛國戰爭之後，電信事業有很大的成就，發明了明線的和電纜線的新式載波機，這種新式載波機勝利地解決了今後擴充長途通信網的問題。

要保證長途通信的優良質量，必須使從發信站送出的信號不受干擾，並且到達收信站時無顯著的失真。這就是說，在羣部分中，收信站所有電路必須具有相同的淨衰耗值（這個淨衰耗值決定着接收信號的大小），而每一路淨衰耗的頻率特性失真（這種失真決定接收信號的精確性）不應大過規定範圍，並且雜音電平不應超過許可值。

在長途通信中，必須準確地遵守終端機和增音機的工作規格，這個工作規格由傳輸電平圖，以及收信終端站和增音站輸入端的最大許可接收電平來決定的。

增音設備輸出端發送的電平，通常受該設備的不失真功率的大小所限制；如超出規定的傳輸電平標準，就會引起非直線性失真、串話、及干擾相鄰線路等現象，並會破壞通信的電氣穩定度。所以在通信過程中，隨時保持終端站和增音站輸出端穩定的傳輸電平，是非常重要的。

架空線路的電氣電性與氣候條件及溫度有關，並在很大程度上受濕度及降霜、結冰、積雪等的影響。在結霜，特別是冰凍情況下，架空明線的衰耗加大幾倍，並且，這種變化隨頻率的增高而劇增。

在電纜線路中，電氣特性隨着土壤溫度而變化，特別是在秋冬和冬春時期。線路的電氣特性既有這些變化，就不得不調整增音站和收信站的增益，以保持整個幹線上所要求的工作規格。在長途電話通信的機器中，用特別的設備——自動增益調整（APV）來進行這種調整，這種調整設備是機器的最主要部分之一。

由於蘇聯專家們應用了近代科學和技術在研究及製造電子管、非直線性電阻、繼電器各方面的成就，以致能够在自動增益調整設備中獲得極其準確和可靠的自動增益調整。

在“載波機的自動增益調整”這本書內，主要的是研究自動增益調整設備的原理，至於各種主要程式的載波機中所採用的該類設備，只給予簡單陳述，因為各種自動增益調整電路原理的詳細說明（為了研究各種程式的載波機時所必須的說明），在各種載波機的說明書中均有敘述。

目 錄

序 言

第一章 架空明線通信線路和電纜通信線路之電氣數值	(1)
第一節 架空明線線路之電氣數值	(1)
第二節 無負荷電纜線路與負荷電纜線路之電氣數值	(7)
第二章 通信線路振幅失真的修正	(9)
第一節 影響電話通信質量的因素	(9)
第二節 線路振幅失真的修正	(12)
第三節 用調整仿真線網的方法補償線路衰耗變化	(17)
第四節 應用可變均衡器的方法補償線路衰耗變化	(20)
第五節 應用放大器的可變負回授電路補償線路衰耗變化	(20)
第三章 自動增益調整設備	(23)
第一節 自動增益調整設備的元件	(23)
第二節 導頻振盪器	(23)
第三節 導頻接收器	(26)
第四節 晶體諧振器	(28)
第五節 熱控管	(28)
第六節 電磁繼電器	(29)
第四章 各種程式的載波機內的增益調整	(32)
第一節 單個式載波制	(32)
第二節 單路載波制	(35)
第三節 組合式載波制	(38)
第四節 三路載波制	(38)
第五節 ME-8 型 8 路載波機	(51)
第六節 十二路載波制	(54)

第一章

架空明線通信線路和電纜通信線路

之電氣數值

第一節 架空明線線路之電氣數值

架空明線線路用下列電氣數值來表徵其特性：

a) 原始參數：有效電阻 R ，電感 L ，電容 C 和導線間的電漏 G 。

6) 二次參數：波動阻抗 $ze^{j\theta}$ 和電波傳播常數 $\gamma = \beta + j\alpha$ ，此處 β —衰耗常數； α —相移常數。

二線架空明線線路的原始參數由下列公式決定：

(a) 有效電阻：

$$R = \kappa_1 R_0 \quad \text{歐姆/公里}$$

式中： R_0 —長 1 公里的二線線路的直流電阻。

κ_1 —計算集膚作用的係數，按照 χ 之值可在表 1 中找出，

$$\chi = 7.09 \sqrt{\frac{f\mu}{R_0 10^4}}$$

式中， f —電流之頻率，單位週

(6) 電感：

$$L = \left(0.92 \log \frac{a}{r} + 0.1 \kappa_2 \mu \right) \times 10^{-3} \quad \text{亨利/公里}$$

式中: a —兩導線軸心間之距離, 單位為公分。

r —導線之半徑, 單位為公分。

μ —導線材料之導磁係數。

κ_2 —計算集膚作用之係數, 按表 1 確定之。

表 1 計算架空明線線路中集膚作用的係數

χ	κ_1	κ_2	χ	κ_1	κ_2	χ	κ_1	κ_2
0.0	1.000	1.000	4.5	1.863	0.616	12.0	4.504	0.235
0.5	1.000	1.000	5.0	2.043	0.556	15.0	4.856	0.217
1.0	1.005	0.997	5.5	2.219	0.507	14.0	5.209	0.202
1.5	1.026	0.987	6.0	2.394	0.465	15.0	5.562	0.188
2.0	1.078	0.961	7.0	2.745	0.400	20.0	7.528	0.141
2.5	1.175	0.913	8.0	3.094	0.351	25.0	9.094	0.115
3.0	1.318	0.845	9.0	3.446	0.315	30.0	10.861	0.094
3.5	1.492	0.766	10.0	3.799	0.282	40.0	14.395	0.071
4.0	1.678	0.688	11.0	4.151	0.256	50.0	17.939	0.057

(B) 電容:

$$C = \frac{0.0121}{\log \frac{a}{r}} \text{ 法/公里}$$

(r) 電漏:

$$G = G_0 + nf \frac{1}{\text{歐姆} \cdot \text{公里}}$$

式中: G_0 —通過直流時之電漏。

n —通過交流時計算介質中損失之係數。

波動阻抗及傳播常數之數學關係, 跟原始參數有關, 用下式表示之:

$$ze^{i\varphi} = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}} \dots \dots \dots (1)$$

$$\text{及 } \gamma = \beta + j\alpha = \sqrt{(R + j\omega L)(G + j\omega C)} \dots\dots\dots (2)$$

在高於 3000 週之頻率範圍內，要決定有色金屬架空明線線路之波動阻抗，衰耗常數和相移常數可用下式：

$$z = \sqrt{\frac{L}{C}} \dots\dots\dots (3)$$

$$\beta = \frac{R}{2z} + \frac{Gz}{2} \dots\dots\dots (4)$$

$$\alpha = \omega \sqrt{LC} \dots\dots\dots (5)$$

由上式可見波動阻抗和相移常數之數值與原始參數有關，而原始參數又與線路的結構、溫度、空氣的濕度以及電流的頻率（除去電容 C 外）有關。

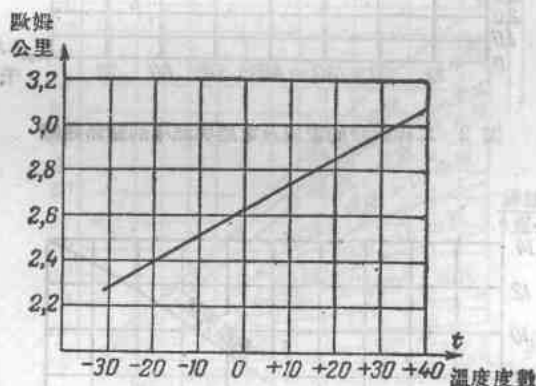


圖 1 二線線路電阻隨溫度變化之曲線

架空線路之結構特點主要是導線之材料、直徑以及線間之距離。架空明線長途通信幹線線路之材料，一般都採用銅或銅包鋼（鋼線上面包上一薄層銅）。因此，今後所有之結論和討論都只涉及有色金屬架空明線線路。

二線線路的原始參數跟線路結構的關係，如下所述。

- a) 線徑增加，則電阻 R 歐姆/公里減少。
- b) 線徑增加及線間距離減少，則電感 L 亨利/公里減少。
- B) 線距增加及線徑減少，則電容法拉/公里減少。
- r) 絕緣子之絕緣質量增高，則電漏 $G = \frac{1}{\text{歐姆—公里}}$ 加大。

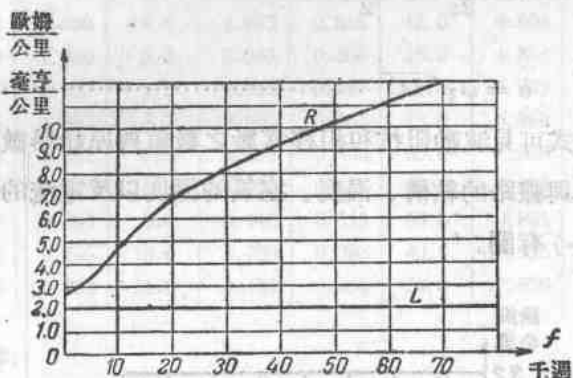


圖 2 二線線路的電阻及電感與頻率的關係曲線

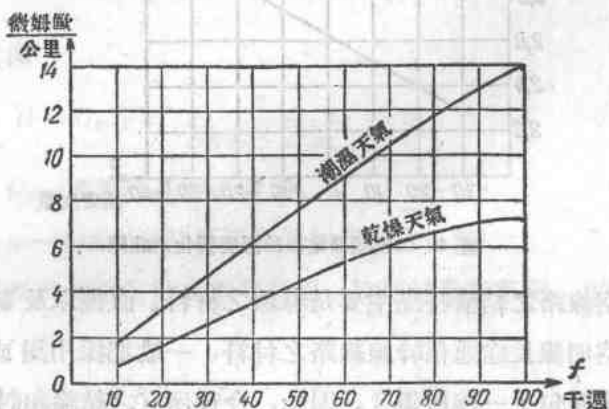


圖 3 二線線路的電漏與頻率及氣候之關係

在圖1中表示了線徑為4公厘的、銅線二線線路之電阻隨空氣溫度變化的關係。

二線線路之電感及電阻與頻率的關係曲線則如圖2所示。由此圖可見電阻隨頻率的增加而增加（由於集膚作用的影響），而此時導線之電感仍幾乎是常數。

二線線路的電漏在潮濕天氣和乾燥天氣時與電流頻率之關係如圖3所示。

如上所述，由於氣候情況不同，及被輸送的電流頻率的改變，使得原始參數變化，因而引起相應的線路衰耗變化。

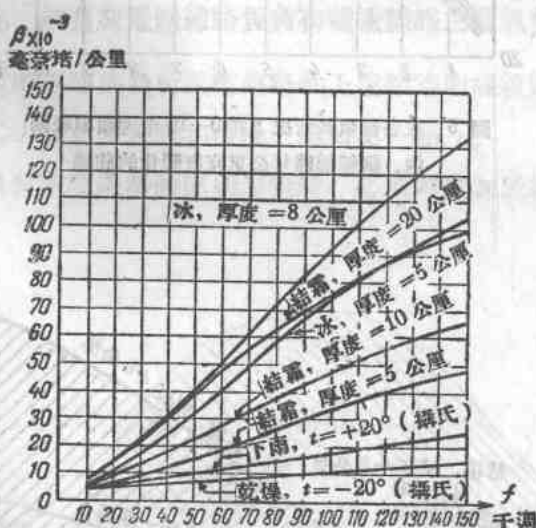


圖4 銅線線路每公里衰耗在不同氣候情況下隨頻率變化的曲線
(頻率變化範圍為10—150千週)

d (線徑) = 4 公厘 a (線距) = 20 公分

圖4表示了在各種氣候條件下，線徑 $d = 4$ 公厘、及線距 $a = 20$ 公分的銅線線路每公里衰耗變化的曲線。

在各種氣候情況下，在 10 千週以下的頻率範圍內，鋼線線路每公里衰耗變化的曲線如圖 5 所示。

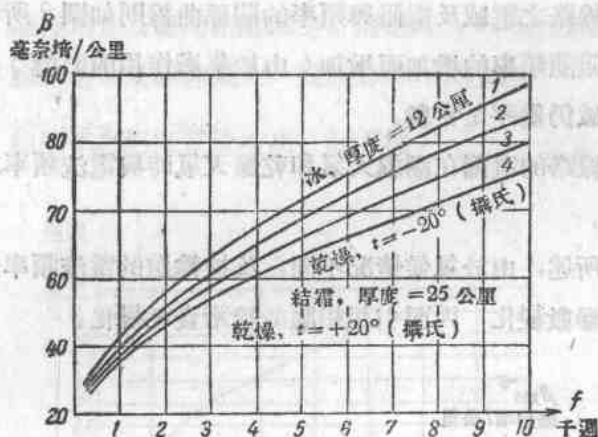


圖 5 在各種氣候情況下在 0—10 千週頻率範圍內，鋼線線路每公里衰耗變化的曲線

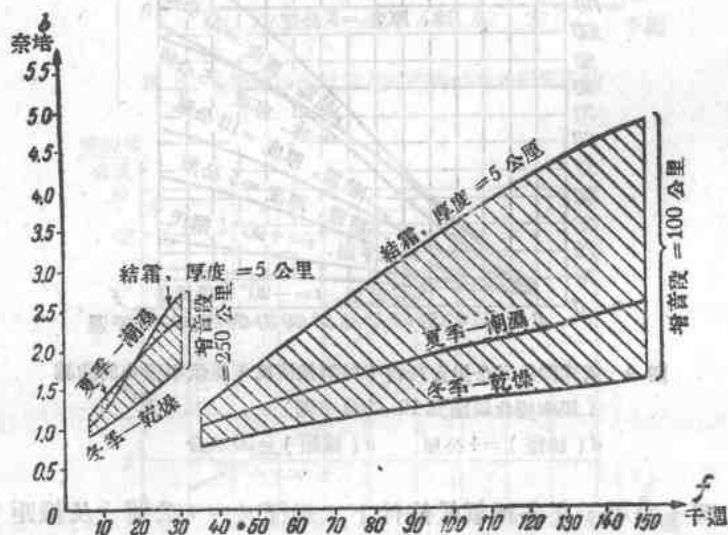


圖 6 一個增音段中的鋼線架空線線路衰耗變化的範圍

由上所述資料可看出，當氣候改變時，架空明線線路的衰耗變化很大。

圖 6 表示了使用三路載波機時，在頻率從 6—15 千週至 18—30 千週的範圍內長達 250 公里的增音段線路衰耗的變化，及使用 12 路載波機時，在頻率從 36—84 千週至 92—143 千週的範圍內長達 100 公里的增音段線路衰耗的變化。

由這些曲線可以看出，要修正線路衰耗和保持幹線正常工作情況，應該在甚麼樣的範圍內來改變增音站和收信站之增益。在冰凍時期，這改變範圍要大大地擴充。

第二節 無負荷電纜線路與負荷電纜線路之電氣數值

無負荷電纜線路與負荷電纜線路如上述架空明線線路一樣，用原始參數和二次參數來表徵其特性（參看第一節）。

當計算負荷電纜線路的原始參數時，必須考慮加感線圈和衰耗

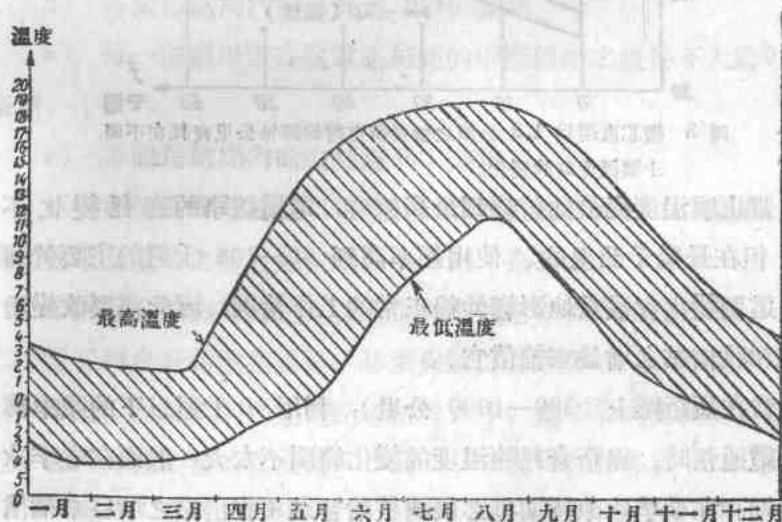
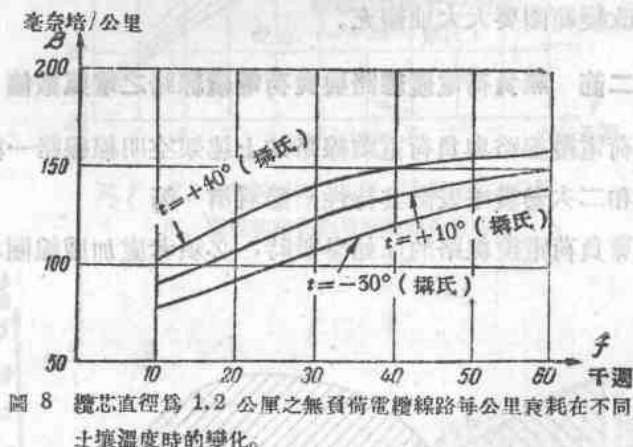


圖 7 在蘇聯歐洲部分深 0.8 公尺之地下溫度變化範圍。

器之電阻、電感及電容。電纜線路之二次參數只須按(1)和(2)的展開式即可求出。

氣候條件對長途電纜線路的電氣參數的影響，比對架空明線線路小得很多，這影響可只根據大氣溫度變化來確定。通常敷設電纜於深 0.8—1.2 公尺之地下，這樣便大大地減小了溫度的影響。深 0.8 公尺處土壤之溫度變化，如圖 7 所示。無負荷電纜線路每公里衰耗在不同土壤溫度時的變化，則如圖 8 所示。從這些圖中可看到衰耗的增加是不均勻的，同時曲線呈凸形。



當土壤溫度從最低值變到最高值時，電纜線路的衰耗變化不大，但在長幾千公里的、使用頻率高到 60—108 千週的主要幹線上，這個變化會嚴重地影響幹線正常的工作情況，因此需要改變增音站和收信站之增益來補償它。

當在短距離上 (500—1000 公里)，利用 10 千週以下的頻率構成電纜通信時，線路衰耗隨溫度的變化範圍不太大，然而在春季冰解時期和在秋季冰凍時期也必須調整增音站和收信站之增益來補償線路衰耗。

第二章

通信線路振幅失真的修正

第一節 影響電話通信質量的因素

長途電話通信之質量主要地取決於電話電路中傳送的音量、傳輸的頻帶寬度以及外界干擾電平——“雜音”。

當接通長途電話時，話音電流在兩用戶間整個路程上的衰耗不應大於 3.3 奈培，此衰耗的大小確定傳送的音量。通話路程中的總衰耗，分佈如下：

- а) 每一用戶至市話局間的線路衰耗不大於 0.5 奈培。
- б) 每個市話局內的衰耗為 0.15 奈培。
- в) 每一市話局至長途電話局間的中繼線路之衰耗不大於 0.25 奈培。
- г) 每個長途局內的衰耗為 0.1 奈培。
- д) 兩個長途電話局間的淨衰耗容許值應不大於 1.3 奈培。載波長途電話電路之淨衰耗值應在 0.8 到 1 奈培之間。

市內電話設備及長途電話設備即根據這些標準來設計的。

要得到良好的電話質量，必須保證傳輸頻帶的寬度為 0.3 到 2.4 千週。在現代的長途電話通信程式中，為了得到更高的質量起見，保證傳輸頻帶的寬度為 0.3 到 2.7 千週，在許多程式中甚至為 0.3 到 3.4 千週。同時，要求上述頻帶範圍內的各個頻率的電流，其淨耗值在很寬的範圍內是不變的，也就是說淨衰耗值之頻率特性