

中等专业学校教学用书

無線电基础

下 冊

M. B. 阿馬列茨基著

人民教育出版社

中等專業學校教學用書



無線電基礎

下冊

M. B. 阿馬列茨基著
傅英豪譯
唐旦 張世璘等校訂

人民教育出版社

本書系根据苏联国立電訊書籍出版社 (Государственное издательство литературы по вопросам связи и радио) 出版的阿馬列茨基(М. В. Амалыцкий) 著“無線電基礎”下冊(Основы радиотехники часть 2)1948年版譯出的。原書經蘇聯郵電部教育司審定為通訊中等技術學校教科書。全書分上下兩冊。本書為下冊，共包括七章：第一章為電磁波的輻射；第二章為無線電波的傳播；第三章為長波天綫和短波天綫；第四章為饋綫；第五章為短波定向天綫；第六章為超短波天綫；第七章為無線電波導管和空腔諧振器。

本書由傅英豪同志譯出，參加本書校訂工作的為電信科學研究所唐旦、裴祖榮、邊師顏、歐陽楚、應崑崗等同志。

本書復校工作由本社聘請張世璜、陳秉、金成琛、陶尚平、田永正五同志担任。

簡裝本說明

目前 850×1168 毫米規格紙張較少，本書暫以 787×1092 毫米規格紙張印刷，定價相應減少 20%。希鑒諒。

無線電基礎 下 冊

М. В. 阿馬列茨基著

傅英豪譯

人民教育出版社出版 高等學校教學用書編輯部
北京宣武門內承恩寺7號

北京市書刊出版業營業許可證出字第25號

工人日報印書廠印裝 新華書店發行

統一書號 15010·439 开本 787×1092 1/32 印張 11 1/16

字數 273,000 印數 25,001—40,000 定價 (5) 40.90

1957年5月第1版 1961年2月北京第6次印刷

下 册 目 录

第一章 电磁波的辐射	7
概述	7
§ 1. 能量沿导线传输的过程	11
§ 2. 电磁波辐射的过程·赫兹偶极子	15
§ 3. 电磁波的基本定义及特性	25
§ 4. 自由空间偶极子的辐射功率	27
§ 5. 理想导电面上的偶极子·镜像法	29
第一章研究题	32
第二章 无线电波的传播	34
概述	34
§ 1. 地面大气的构造	36
§ 2. 电离层对无线电波传播的影响	41
§ 3. 长波和中波的传播	55
§ 4. 长波及中波(200米以上)电场强度的计算	62
§ 5. 中间波及短波的传播	64
§ 6. 短波电场强度的计算(A. H. 舒金方法)	74
§ 7. 超短波的传播	86
§ 8. 无线电接收的干扰·场强的标准	92
第二章习题	95
第二章研究题	93
第三章 长波天线和中波天线	100
§ 1. 概述	100
§ 2. 天线波长的控制	102
§ 3. 以等效垂直天线代替带平顶的垂直天线	115
§ 4. 天线的电压、电流及单位长度电容间的关系	121
§ 5. 天线静电电容的计算	122
§ 6. 天线静电电感的计算	128
§ 7. 天线的有效高度	139
§ 8. 天线的辐射电阻·功率的平衡	135
§ 9. 地线及地网	137
§ 10. 用闭合的等效电路代替天线	144
§ 11. 天线的馈电	160

§ 12. 接收天綫的理論	151
§ 13. 天綫的实际型式和它的技術結構	159
§ 14. 抗衰落天綫	170
§ 15. 長波及中波的定向天綫	173
第三章習題	186
第三章研究題	198
第四章 饋綫	200
§ 1. 饋綫的一般概念及其應用	200
§ 2. 工作于行波狀態下的饋綫的計算	201
§ 3. 行波系数·饋綫效率	205
§ 4. 饋綫衰减常数的計算和測量	207
§ 5. 饋綫特性阻抗的計算和測量	210
§ 6. 天綫阻抗变换器	211
§ 7. 饋綫的工程結構	224
第四章習題	231
第四章研究題	238
第五章 短波定向天綫	239
§ 1. 調諧定向天綫工作的一般概念	239
§ 2. 孤立对称振子	242
§ 3. 地对水平振子輻射的影响	248
§ 4. 复式天綫的方向圖	252
§ 5. 說明天綫方向性的系数	262
§ 6. 复式同相天綫陣的实际型式	263
§ 7. 簡單短波天綫	274
§ 8. 魚骨形行波天綫的工作原理和主要数据	282
§ 9. 行波天綫(魚骨形天綫)的方向圖	287
§ 10. 行波天綫的并聯使用	291
§ 11. 菱形天綫的工作原理及其参数	292
§ 12. 菱形天綫的方向圖	296
§ 13. 菱形天綫尺寸及悬挂高度的選擇	299
§ 14. 复式菱形天綫	301
§ 15. 短波天綫的輻射电阻及天綫功率的平衡	302
第五章習題	306
第五章研究題	312
第六章 超短波天綫	314
概述	314
§ 1. 对称振子	314

§ 2. 同相水平天綫	313
§ 3. 具有拋物面反射器的天綫	316
§ 4. 波道式天綫(八木天綫)	322
§ 5. 繞杆式廣播天綫	324
第六章習題	329
第六章研究題	331
第七章 無線電波導管和空腔諧振器	332
§ 1. 波導管簡述	332
§ 2. 波型	336
§ 3. 各種波型的激勵法	341
§ 4. 波導管中的衰減	342
§ 5. 空腔諧振器簡述	344
§ 6. 空腔諧振器的類型及其振蕩波型	344
§ 7. 空腔諧振器的諧振頻率	346
§ 8. 空腔諧振器的質量因數與空腔諧振器的耦合	348
附錄: 互易定理及天綫理論	352



第一章 电磁波的輻射

概 述

把电磁波做为通信工具而加以实际运用，是由俄罗斯学者亚历山大·斯捷巴諾維奇·波波夫所完成的。法拉第預見了电磁波輻射和傳播的可能性，而馬克斯威尔則在理論上予以論証，赫茲（在米波段）及 И. И. 列別捷夫（在毫米波段）則用实验的方法証实了这种可能性。

电磁波的輻射和傳播过程的实质就是表现为电场能和磁场能形式的能量的产生和移动。

法拉第所引用的电力綫和磁力綫的概念，使我們有可能理解电磁波發射时和傳播时的机构。

法拉第对于力綫所規定的基本特性如下：（1）所有力綫——电力綫及磁力綫——都具有拉力；（2）除拉力外，各力綫——电力綫或磁力綫——之間具有与力綫方向垂直的斥力，即力綫之間存在着把力綫相互推开的力。

根据以电磁場作为最原始的物理概念而推导出来的电学中最重要經典理論，是以下面两个定律为基础的：

定律 I：在理想介質所構成的媒質中，电場的任何变化必然要产生磁场。在有电場和磁场存在的空間中的任何一点，电力綫和磁力綫是相互垂直的。

定律 II：在理想介質所構成的媒質中，磁場的任何变化必然会产生电场。在有电場和磁场存在的空間中的任何一点，电力綫和磁力綫是相互垂直的。

凡是我們所观察到的电力及磁力，都应当認為是有力綫通过媒質，而媒質把力由一点傳遞到另外一点的情形与彈性体内傳遞力的情形相似。电能的傳遞总是借电場能和磁場能的形式把能量以接近于光的速度傳播出去。

如在本書上册中已約略提到了在本章 §2 中还要詳細解釋的，电磁波就是媒質中电磁状态变化在空間的傳播，它的速度接近于光速；这种变化，可用互相垂直的兩個矢量，即电場强度矢量与磁場强度矢量来表示。电磁波所載帶的能流就是电場能与磁場能的总和。

我們来研究几个数学式，它們是在說明輻射过程的实質及推导計算公式时所必需的。

如果电容器上的电压按 $u = U_m \sin \omega t$ 的規律变化，則电容器中所蓄电能的瞬时值可用下式表示：

$$w_E = \frac{Cu^2}{2} \text{ 尔格。} \quad (1)$$

这个电能公式的形式，在許多工程計算中都証明是很方便的。但是，当我們談到电能的有綫傳輸或無綫傳輸的过程以及对电能的無綫傳輸进行技术計算时，就要在适当地改变計算公式后，把电能用电場能量和磁場能量表示出来。

設有平板电容器，兩板間的距离 $d = 1$ 厘米，而板的面积足够大，因而电容器中部的电場可以認為是均匀的。我們設想在这中部划出 1 平方厘米的小面积，那末在这兩塊小面积之間的电介質的体积就是 1 立方厘米，并且其中的电場是均匀的。我們所选定的这个小电容器，它的兩片的每一片的面积 $s = 1$ 平方厘米，片間距为 $d = 1$ 厘米，所以它的电容量显然是

$$C = \frac{\epsilon}{4\pi}, \quad (2)$$

式中 ϵ 是电容器兩片間的电介質的介电常数。將 C 的值代入公式

(1)中,并且考虑到电容器中的均匀电场强度 E 是兩片間电力綫的單位長度上的电位差(在这里 $d=1$ 厘米), E 就等于电容器的兩片間的电压; 于是我們可以得到 1 立方厘米的电介質中电能瞬間值即电场能量密度的瞬間值的計算公式如下:

$$w_E = \frac{\epsilon E^2}{8\pi} \frac{\text{尔格}}{\text{厘米}^3} \quad (3)$$

以电场强度有效值 E_e 表示的电场能量密度平均值,在形式上与(3)式相同,

因此
$$W_E = \frac{\epsilon E_e^2}{8\pi} \frac{\text{尔格}}{\text{厘米}^3} \quad (4)$$

同样我們可以証明,磁场能量密度 W_H 和公式(3)有类似的形式,即

$$W_H = \frac{\mu H_e^2}{8\pi} \frac{\text{尔格}}{\text{厘米}^3} \quad (5)$$

式中, H_e 是磁场强度的有效值,

μ 是磁场所在的媒質的导磁率。

电磁波总的能量密度等于电场能量密度与磁场能量密度之和,即

$$W_{EH} = \frac{\epsilon E_e^2}{8\pi} + \frac{\mu H_e^2}{8\pi} \frac{\text{尔格}}{\text{厘米}^3} \quad (6)$$

在上册里已知道,如果在一長綫上有两个电流或电压的行波以相互对着的方向傳播,它們的波長及振幅又都相等,那末这两个相遇的电波相加的結果就会在綫上产生电流的及电压的駐波。这两种駐波的特性是电压和电流都諧和地变化但在時間上保持相位差 90° , 而电压波腹及电流波腹的沿綫分布是彼此間有 $\frac{\lambda}{4}$ 的相位差。

这就是說,当电压在波腹处到达最大值时,电流在波腹处的数

值是零。因此,在磁場消失的瞬間,只剩有電場;反之,在電場消失的瞬間就只剩有磁場。換句話說,同一个能量有时呈現为電場能的形式,有时又呈現为磁場能的形式,也就是說電場能和磁場能是相等的。

根据上述的道理,我們可以把(4)及(5)式看作是等值的,从而得到

$$\sqrt{s} E_e = \sqrt{\mu} H_e. \quad (7)$$

考虑到上式,不难將式(6)变为

$$W_{EH} = \frac{\sqrt{\epsilon\mu}}{4\pi} E_e H_e \frac{\text{尔格}}{\text{厘米}^3}. \quad (8)$$

电磁能傳播的速度是 $v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon\mu}}$ 厘米/秒,其中 c 是光速,它等于 3×10^{10} 厘米/秒[上册公式(410)]。因此每1秒鐘通过一平方厘米面积的电磁能將为(8)式所給出数量的“ v ”倍。这也就是说,在电磁波行进方向垂直的平面上通过1平方厘米面积的电磁波能流的电功率將为:

$$S = W_{EH} v = \frac{c}{4\pi} E_e H_e \frac{\text{尔格}}{\text{厘米}^2 \text{秒}} = \frac{c}{4\pi} E_e H_e \times 10^{-7} \frac{\text{瓦}}{\text{厘米}^2} \quad (9)$$

式中, E_e 是用靜电單位(CGSE)表示,

H_e 用电磁單位(CGSM)表示。

將 $E_e = \frac{E_m}{\sqrt{2}}$ 和 $H_e = \frac{H_m}{\sqrt{2}}$ 兩等式(这里 E_m 及 H_m 分别表示電場强度及磁場强度的振幅)代入式(9),那么我們就可以得到下面計算能流功率的公式:

$$S = \frac{c}{8\pi} E_m H_m \frac{\text{尔格}}{\text{厘米}^2 \text{秒}}. \quad (10)$$

把 S 的数值用矢量圖来表示,矢量的方向即电磁能运动的方向。能量运动的方向可按下列規則来确定:如果把具有右螺紋的

拔塞鑽的柄子由電場矢量的方向沿最短的距離旋轉到磁場矢量的方向，則鑽子前進的方向就是能量行進的方向，如圖 1 所示。計算電磁波能流功率的公式稱為“烏莫夫-波印廷向量”。

矢量 S 永遠和矢量 E 及 H 垂直，並與電波的运动方向一致。

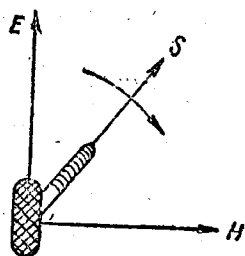


圖 1.

§ 1. 能量沿導綫傳輸的过程

我們詳細地研究一下所熟知的用導綫傳輸直流及交流電能的情況來做為運用矢量 S 這個概念的實例。

沿着理想的傳輸綫傳輸直流電能的过程可做如下的一般了解。在由電源、傳輸綫和負載所組成的電路中，由於電壓的作用產生了自由電子的运动，這就是說，在電路中出現了電流。在導綫周圍的空間形成了電場和磁場。圖 2 表示兩導綫間空間中的兩點的

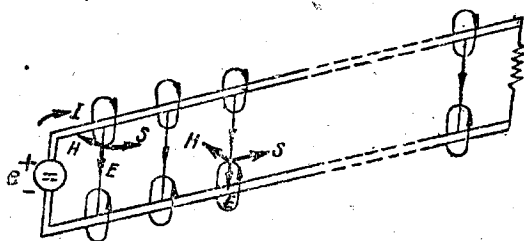


圖 2.

電場矢量及磁場矢量的方向。在理想的情況下，即當傳輸綫的電阻為零時（但負載電阻不為零），矢量 E 與導綫垂直，矢量 H 則沿着磁力綫的切綫方向；而表示能量的大小及其運動方向的矢量 S ，則與導綫平行，其方向為從電源到負載電阻。

直流电能沿着实际的导线传输的过程和上述情况类似，但由于传输线本身有电阻，线内就有损耗，因而沿线产生电压降，电场强度也就产生了与导线平行的分量 E_2 及与导线垂直的分量 E_1 (见图 3)。第一个分量 E_2 与磁场强度 H 一起就产生了与导线垂直的分矢量 S_2 ；而第二个分量 E_1 与磁场强度 H 一起就产生了与导线平行的分矢量 S_1 。分矢量 S_2 代表传向导线内部去的电能，它化为热而消耗在导线中

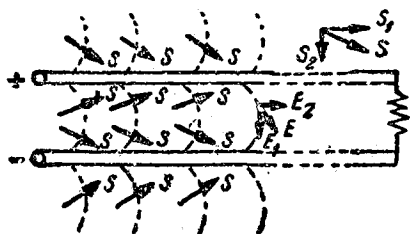


圖 3.

(该能量消耗在推动金属内部自由电子的运动上)；分矢量 S_1 则表征沿导线向负载运动的有效电能。电场强度的合成矢量 E 乃是分量 E_1 和 E_2 的矢量和；合成矢量 S 乃是分矢量 S_1 及 S_2 的向量和，它代表送到传输线的全部电能。 E 和 S 同样地都与导线成某一定的角度。

在导线周围的电介质中，移动着的电能随着它沿导线的运动而逐渐减少。因为导线吸收一部分电能，而且导线的电阻愈大，则这种吸收损失也就愈大。

导线对电磁能的吸收可以用非周期性放电的情况加以说明。设有两个物体，分别充以异性电荷(图 4)，则在包围这两个物体的空间内就会产生电场。

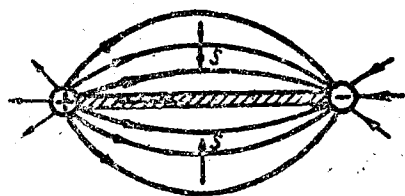


圖 4.

如果用一导体(具有很大的电阻数值)将两物体连起来，那末就有电流沿导体流过，而导体周围将产生磁场(图上没有表示出来)。随着物体的放电，它们两者之间的电位差也就逐渐减低，因而它们

周圍的電場也就逐漸減弱。由於電位差的減低，電流也跟着減小，所以磁場也隨着減弱。電力綫和磁力綫在消失過程中逐漸趨向導體方向，由電力綫和磁力綫所決定的電磁能便透入導線內部，在那里變成熱而消耗掉。在這種情況下，從圖 4 中不難說明，在帶電體的連接導線附近空間中任一點，矢量 S 的方向都是向着該導線的。

現在我們來研究一下交流電的傳輸情況。如果理想的傳輸綫接有電阻的負載，並由正弦波形的電動勢供電，那末，正如本書上冊中已詳細講過的那樣，電壓的變化將沿着傳輸綫傳播過去；與此同時在傳輸綫的兩導線上將產生電荷的移動。由於兩導線之間到處都存在着一定的電位差，所以在導線周圍的空間就有了電場；電場中電力綫的密度將在電位差最大的地方為最大。又由於傳輸綫中有電荷的移動，那就是說，由於傳輸綫中有電流存在，在導線周圍就有了磁場。圖 5 表示電場及磁場的力綫在某一瞬間沿傳輸綫的分布情況，圖中 I 的箭頭是表示傳輸綫上各段的電流的方向。

如果我們僅僅運用电壓和電流的概念，就是如果設想電能的傳送是在導線內部進行的話，那就不能說明電能在導線內部傳輸過程的物理意義。例如就無法解答這樣的問題：為什麼儘管傳輸綫上的電流有的地方是從負載流向電源，另一些地方又從電源流

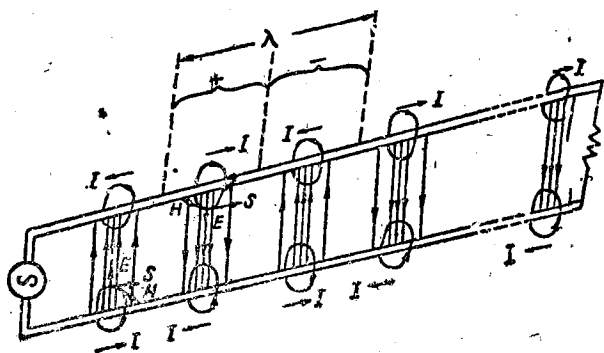


圖 5.

向負載，而交流电源送进来的电能却总是从电源向負載方向运动。如果我們把能量看成为蘊藏在电磁場之中，那末傳輸綫以交流电源供电时的电能傳輸过程也就不难解釋了。事实上，表示傳輸綫的电磁場中任意点(圖 5 中画出了兩個点)的电能运动方向的矢量 S ，总是由电源指向負荷的。也就是說，不管傳輸綫的导綫内部电荷是沿正向或反向移动，电能永远是从电源向負載移动的。

交流电能沿实际傳輸綫傳輸的情况和在理想的綫上傳輸的情况一样，只是电磁場能量有一部分被导綫吸收了，这点和直流电在傳輸綫上傳輸时会产生損失的情形相同。

这样一来，不管交流电也好，直流电也好，电能从电源沿导綫向負載傳輸时，总是借电磁場能量的形式通过导綫周圍的电介質而傳播的。导綫本身不过是在空間用以構成一种引导电能傳輸的假想的波道，这个波道的軸綫就是傳輸綫的軸綫。

在所有的运算中，根据电压及电流的概念来計算或根据电場强度及磁場强度的概念来計算时，所得的結果是一致的。这是很容易了解的，因为一定数值的电压和电流是相当于一定数值的电場强度及磁場强度的。例如，在电工学中功率一般用电动势与电流的乘积来表示；它也可以写成电場强度与磁場强度乘积的形式，即写作 $ei = kEH$ ，式中 k ——系数，其值决定于 E 和 H 采取什么單位。这个等式是完全正确的，因为 E 和 H 分別与 e 和 i 成正比例，而此彼此的相位相同。

在电工学的許多計算中，采取电压和电流的概念較為方便。

然而，在研究無綫电波的辐射和傳播的問題时，更合理的办法是采用电場强度及磁場强度的概念，并把电能傳輸的过程看成以运动着的电磁場能量的形式在介質中进行傳播。

§ 2. 电磁波辐射的过程·赫兹偶极子

我們現在來闡明振蕩電荷的發射過程的物理實質。設在 M 點(圖6)有一個點電荷 $+Q$ ，在它周圍有輻射狀的電場。

如果把電荷 $+Q$ 一剎那間移動到 N 點，那末電荷的電場也就同時移動了(圖6)。

與電場移動同時發生的物理過程可從這樣的觀念出發來理解，就是認為電力綫都是拉緊着的(即具有拉力——譯者)。如果電荷移動了某一段距離，則從電荷發出的任一根電力綫也就好像被電荷緊拉過來了。於是與這些電力綫鄰近的電力綫也都受到了牽動。這樣，使得電場中後面緊鄰的力綫也拉緊起來，隨着電荷的移動而移動了。這種拉力的變化從某一電力綫傳遞到另一電力綫的過程在自由空間中是以光的速度而進行着的。

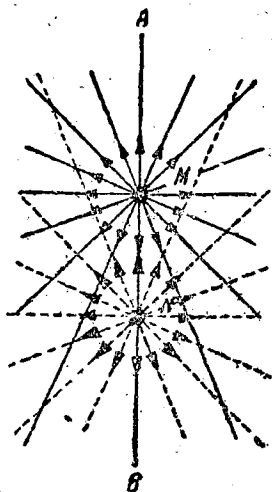


圖 6.

如果電荷 $+Q$ 沿 AB 軸作簡諧振蕩^①，那末由於剛才所講的彈性電力綫拉力變化的傳遞過程，電荷的電場也將簡諧振蕩的運動，這就是說，電場的電力綫將按照波浪形變化，並且電場力綫的這些諧振蕩將以光速從該點處逐點傳出。從電荷 $+Q$ 發出的各電力綫的波狀運動的振幅，隨方向不同而各不相同。沿 AB 軸方向的電力綫在電荷移動時保持了自己的直綫形狀，因此其波狀的拉力變化的振幅為零。與 AB 軸垂直的那些電力綫的波狀的拉力變

① гармонические колебания.

化为最大, 因为与 AB 轴垂直的电力线在电荷 $+Q$ 振荡时有最大的位移。圖 7 中所示的一根电力线, 在电荷振荡以前, 它是与 AB 轴

垂直的直线; 在电荷位置经过了一系列的简谐振荡后, 这电力线变形而成为圖 7 所示的正弦曲线。电力线的变化由力线的一点传播到其他各点的情况, 和水面上水质点的振动从一点传播到另一点的情况相

圖 7.

似。正如同水质点的振动从一点传到另一点的速度 (这时水质点并非沿着振动传播方向移动) 决定于媒质, 而与水质点的振动频率无关, 电力线变形的传播速度也是决定于在其中发生振荡的媒质, 而与振荡的频率无关。电力线变形的传播速度与光速相近。

显然, 电场强度矢量 E 在变了形的电力线的各点上的方向是不同的。矢量 E 可以分成两个分量: 与代表电力线变形前的方向 oy 直线相平行的分量 E_r , 以及与 oy 垂直的分量 E_n (見圖 7)。用这种方法把变形的电力线各点上的瞬间矢量 E 都分解成与它们相应的分量, 就可以得到两族电力线。其中第一族包括了所有与电荷未动时的电力线相平行的电力线, 而第二族则包括与电荷未动时的电力线相垂直的电力线, 并在某瞬间依所在点位置的不同而有不同的值, 如圖 8 中所示。分量 E_n 的值将随时间而变化, 且这些变化以近似于光速沿 y 的方向移动, 也就是说, 它将成为

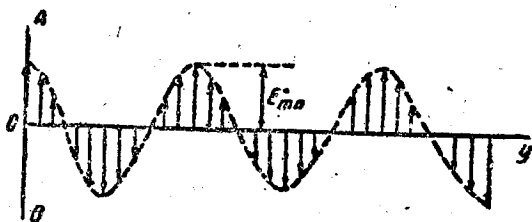


圖 8.