

高等学校教学用书

無線电技術基礎

第一冊

B. A. 卡切爾尼可夫 著
A. M. 尼可拉也夫

高等教育出版社

11
高等学校教学用书



無線电技術基礎

第一冊

B. A. 卡切爾尼可夫, A. M. 尼可拉也夫著
天津大學電信系譯

高等教育出版社



本書系根据苏联國立電訊書籍出版社（Государственное издательство литературы по вопросам связи и радио）出版的卡切爾尼可夫（В. А. Котельников）和尼可拉也夫（А. М. Николаев）合著的“無線電技術基礎”（Основы радиотехники）1950年版的第一部份譯出的。原書經苏联高等教育部審定為電工學院和電工各系的教科書。

在本書的緒論中，對於無線電技術的一般知識作有簡單的敘述。在其後的八章中，則對各種電壓作用到簡單的和耦合的振盪迴路時所發生的過程，加以比較詳細的敘述和分析。材料的安排對於教學也比較合適；可供高等學校無線電各專業，電報、電話、通信專業之用，同時也可供從事於這方面工作的工程技術人員參考之用。

本書系由天津大學電信系咎寶澄、馬師亮、蔡六瑜、楊恩澤、朱平洋、諸維明、楊山、俞斯樂、汪雍、言華、唐建中集體譯出。由咎寶澄、馬師亮、蔡六瑜作最後校訂。

無線電技術基礎

第一冊

В. А. 卡切爾尼可夫等著

天津大學電信系譯

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）

商務印書館上海廠印刷 新華書店總經售

書號 15010·87 開本 850×1168 1/32 印張 10 12/16 插頁 1 字數 271,000

一九五五年四月上海第一版

一九五六年十月上海第三次印刷

印數 5,001—6,500

定價（10）¥ 1.38

序 言

本書是 В. А. 卡切爾尼可夫 (В. А. Котельников) 許多年來在獲得列寧勳章的以莫洛托夫命名的莫斯科動力學院無線電工學系所講授的無線電技術基礎課程中的第一部份。

第一部份包括：無線電技術一般概述的緒論及在最簡單的無線電迴路及其元件中所產生的過程的分析。

本課程的第二部份將講述在非直線性系統中的過程，而在第三部份則將討論含有分佈參數，四端網絡及濾波器的系統。

在各個高等技術學校所教的無線電技術基礎課程中，其教材的安排是不相同的。本書材料的排列是按照莫斯科動力學院所採取的體系。這樣的安排使得幾乎在學期的開始就可以按照課程開始實驗工作，並可使實驗落後於講課不太多。

在進行敘述主要教材之前，作者認為有必要在緒論中對於無線電技術所利用的基本過程先給以通俗的、在完備性及嚴格性方面不苛求的概述。經驗證明，這樣作會給課程提供出條件，特別是有必要在這一般概述中給以作為無線電技術的基礎的輻射場的描寫。作者否認沒有給予關於這種場的概念以前就開始本課程的可能性。由於在高等技術學校中通常電磁場理論是要遲一些才學習，所以給輻射場以嚴格的描述是不可能的。還有，輻射場的經典討論，由於數學工具的複雜性，是十分麻煩的。

為了構成等效線路，本課程中採用了以公式(2.4)為基礎的能量方法。因為在通行的電工理論基礎課程的教本中這個公式沒有證明，故將它的證明附在本書的附錄1裏。應當指出，用鄔莫夫—坡印亭的複向量，公式(2.4)可以更容易地證明，並且更具有一般性。

除了廣泛採用的將已調振盪分解成簡單的正弦分量的方法之外，

本書對於這種振盪還使用了一般化的複數方法。這種一般化法的價值在於利用它可以很清楚地看出，在什麼場合下通常的複數方法對於已調振盪能夠應用（在頻調過程的近似研究中，通常的複數方法用得很廣泛）。

在本書的附錄中，附有一些參考資料，以便於在實際工作中查考。

作者對 А. И. Богацка 工程師在編寫及原稿準備付印時所給予的許多幫助表示感謝，並對在本書的曲線計算方面完成了許多工作的 И. Н. Николаева 工程師表示感謝。

在審查原稿時，И. Г. Кляцкин 教授，Г. А. Ремез 講師，Н. И. Чистяков 技術科學博士，Л. Д. Белькинд 教授，А. Н. Казанцев 教授以及其他同志曾提出許多寶貴的意見，為此，作者表示深刻的謝意。

讀者對本書的意見請寄莫斯科基洛夫街 40 號電信出版社（Москва，ул. Кирова, 40, Связьиздат）。

目 錄

序言

第一章 緒論	1
§ 1-1. 課程的目的與任務	1
§ 1-2. 不用導線來傳送電報的初次試圖	1
§ 1-3. 輻射場	2
§ 1-4. A. C. 波波夫發明無線電。第一次的無線電報通訊	10
§ 1-5. 各種不同波長的無線電波的傳播	14
§ 1-6. 應用電子管的無線電報	18
§ 1-7. 無線電話	23
§ 1-8. 電視	25
§ 1-9. 無線電定位術	28
§ 1-10. 蘇聯無線電技術的發展	29
§ 1-11. 課程的內容	33
第二章 無線電線路的基本元件(電容器、電感線圈、電阻元件)	35
§ 2-1. 引言	35
§ 2-2. 確定阻抗的能量方法	36
§ 2-3. 電容器中的能量損失。有損失電容器的阻抗	39
§ 2-4. 固定電容器的類型和結構	43
§ 2-5. 可變電容器的類型	47
§ 2-6. 在電感線圈中的能量損失。線圈的阻抗(不考慮電場)	49
§ 2-7. 電感線圈的阻抗(考慮電場)	56
§ 2-8. 獲得低損失線圈的方法	61
§ 2-9. 恆定電感的線圈的結構	63
§ 2-10. 可變電感的線圈的結構	67
§ 2-11. 電阻元件的等效線路	69
§ 2-12. 電阻元件的結構	70
第三章 電場和磁場的屏蔽	74
§ 3-1. 引言	74
§ 3-2. 電場的屏蔽	74
§ 3-3. 磁場的屏蔽	76

§ 3-4. 單導線和雙導線的屏蔽	84
第四章 串聯振盪迴路中的強迫振盪	86
§ 4-1. 引言	86
§ 4-2. 串聯振盪迴路的阻抗和導納	86
§ 4-3. 一般失調。相對失調	89
§ 4-4. 迴路的通頻帶	95
§ 4-5. 迴路的品質因數	97
§ 4-6. 串聯振盪迴路中元件上的電壓	98
§ 4-7. 諧振時振盪迴路中的能量關係	108
第五章 並聯振盪迴路中的強迫振盪	110
§ 5-1. 引言	110
§ 5-2. 無損失並聯迴路的電抗	110
§ 5-3. 有損失並聯迴路的阻抗	116
§ 5-4. 等效並聯線路	125
§ 5-5. 並聯諧振時電流間的關係	126
§ 5-6. 並聯迴路接向發電機	128
第六章 幅調振盪及其在振盪迴路中的作用	131
§ 6-1. 引言	131
§ 6-2. 調幅係數	132
§ 6-3. 對於幅調振盪的複數方法一般化	133
§ 6-4. 將幅調振盪分解成載頻振盪和傍頻振盪	139
§ 6-5. 幅調振盪的頻譜圖	140
§ 6-6. 幅調電台載頻的分配	142
§ 6-7. 幅調振盪的向量圖	142
§ 6-8. 幅調電壓加在具有複數導納電路上的作用(一般情形)	145
§ 6-9. 在對載頻有對稱導納值的電路中幅調電壓的作用	149
§ 6-10. 前面幾節所得結果的一般化	151
§ 6-11. 幅調電勢在串聯振盪迴路中的作用	153
§ 6-12. 幅調電壓在並聯振盪迴路中的作用	159
§ 6-13. 調幅無畸變的條件	163
§ 6-14. 幅調振盪的功率	164
第七章 頻調和相調振盪及其對於振盪迴路的作用	166
§ 7-1. 引言	166

§ 7-2. 振盪的頻率	166
§ 7-3. 頻調振盪	169
§ 7-4. 相調振盪	171
§ 7-5. 頻調及相調振盪的向量圖	173
§ 7-6. 頻調和相調與幅調相比的優越性	174
§ 7-7. 將頻調和相調振盪分解成載波和傍頻振盪	176
§ 7-8. 頻調和相調振盪的頻譜圖	182
§ 7-9. 頻調和相調電壓在具有複數導納的電路中的作用	185
§ 7-10. 研究頻調或相調線路的近似方法	188
第八章 脈衝在振盪迴路中的作用。頻譜函數法	196
§ 8-1. 引言	196
§ 8-2. 振盪迴路中的自由振盪	196
§ 8-3. 振盪迴路中的不穩定過程	200
§ 8-4. 將週期性脈衝的系列分解為傅氏級數	210
§ 8-5. 脈衝的頻譜函數	213
§ 8-6. 由脈衝的頻譜函數求脈衝	232
§ 8-7. 用頻譜函數的方法求電流和電壓	233
§ 8-8. 振盪迴路中作用有脈衝時的近似研究法	236
§ 8-9. 在具有理想諧振曲線的電路中非週期性振盪的作用	240
§ 8-10. 藉助於脈衝頻譜函數確定它所給出的能量	246
§ 8-11. 無線電接收中的干擾	248
第九章 耦合迴路	251
§ 9-1. 引言。耦合迴路舉例。耦合形式	251
§ 9-2. 初級及次級的等效線路	252
§ 9-3. 耦合迴路中的諧振	258
§ 9-4. 耦合迴路中的能量關係	259
§ 9-5. 當變動 x_1 時耦合迴路中的諧振現象	263
§ 9-6. 當變動 x_2 時耦合迴路中的諧振現象	271
§ 9-7. 當變動 x_1 及 x_2 時耦合迴路中的諧振現象	273
§ 9-8. 當變動電勢頻率時耦合迴路中的諧振現象 (迴路中一為非振盪迴路, 另一為振盪迴路)	278
§ 9-9. 當變動電勢頻率時耦合振盪迴路中的諧振現象 (迴路無損失)	281
§ 9-10. 當變動電勢頻率時耦合振盪迴路中的諧振現象 (耦合很弱並且兩諧振頻率相差很多)	288

§ 9-11. 當變動電勢頻率時耦合振盪迴路中的諧振現象(同樣的兩個迴路).....	290
§ 9-12. 當變動電勢頻率時耦合迴路中的諧振現象(臨近耦合頻率時的一般情況).....	295
§ 9-13. 已調振盪在耦合迴路系統中的作用.....	297
§ 9-14. 脈衝對於耦合着的相同迴路的作用.....	298
§ 9-15. 脈衝在耦合迴路中的作用(一般情況).....	309
附錄	313
1. 公式 (2.3) (2.4) 的證明	313
2. 應用在無線電技術方面的幾種介質的 ϵ_r 和 $\operatorname{tg} \delta$ 值.....	314
3. 幾種固定電容器的 TKO 和 $\operatorname{tg} \delta$ 值	315
4. 平板形和圓柱形電容器的電容.....	316
5. 可變電容器片形的計算.....	317
6. 蘇聯幾種國產磁介體的主要參數.....	320
7. 線圈電感的計算.....	320
8. 線圈導線的最佳直徑求法.....	323
9. 幾種電感線圈的 TKL 平均值.....	325
10. 線圈互感的計算.....	325
11. 幾種電阻元件的主要數據.....	330
12. 在本書內遇到的基本電量和磁量的簡寫符號.....	330
中俄名詞對照表	332

第一章 緒論

§ 1-1. 課程的目的和任務

“無線電技術理論基礎”這門課有兩個目的：第一個就是給出關於無線電技術的一般概念，以便在專業課程裏對無線電技術的各部分作進一步研究時，已經有了關於無線電技術的完整概念；第二個就是給出在無線電技術的設備中，被廣泛應用着的那些基本過程的理論和對這些過程加以敘述。

在現今，無線電技術被非常廣泛的用於各方面的問題上：不用導線傳送電報（無線電報）、聲音（無線電話和無線電廣播）、活動的或不活動的畫片（電視和傳真電報）；傳送和接收使船舶或飛機能夠確定自己位置和航線的訊號（無線電導航）；依靠無線電訊號的幫助，來發現空間各種目標，例如，飛機，船舶和潛水艇等（無線電定位術）；用高頻電流將各種物體加熱，旨在使之乾燥，表面淬火以及熔煉；在醫學中應用高頻電振盪，等等。

爲了預先認識一下無線電技術，在這章下面各節中，將對於應用在無線電技術中的基本過程給以簡略敘述。

§ 1-2. 不用導線來傳送電報的初次試圖

無線電技術的發展是從 A. C. 波波夫在 1895 年發明無線電報開始的；在此之前，曾經發明過有線電報，以及很多次徒勞無功地想用電來實現不用導線傳送電報的試圖。

1832 年，在俄國，俄羅斯科學家 И. И. 希林格發明了第一個電磁式電報的器具。那是用沿着導線發送不同方向的電流的方法來進行傳送消息，每一個字母都對應有所發送電流的一定組合。在接收的地方，按照進入電流所生的磁針偏轉來接收信號。隨着這個發明之後，又發

明了些其他的電報器具，也是利用電流的磁作用。

當傳送的地方與接收的地方有聯繫起來的必要的時候，縱令用一根導線（可以利用大地作為第二根導線）來聯繫也會帶來很多的不方便。因此，在十九世紀四十年代，就開始試圖實現在遠距離間不用導線來傳送電報的訊號。很自然地就發生了這樣的問題：究竟能否利用帶電物體所建立起來的電場，或電磁鐵所建立的磁場來達到上述目的呢？然而簡單的推論證明，這種電場或磁場離開了產生地點以後，減弱得很快。所以不能利用它在遠距離來傳送訊號。事實是這樣，帶電物體的電場是與距離的平方或反比地減少。此外，在大地的影響下，這種電場將更加格外的減弱。從電工基礎中知道：位於地面之上的電荷將在地面感應有大小相同符號相反的電荷。因此，在距離這些電荷很遠的地方，將要建立起大小幾乎相同的反方向的電場，這樣就使得合成電場格外減弱。計算證明，在遠距離時這種電場的減弱大略是與由產生地點距離的三次方成反比。從磁鐵和電磁鐵得來的磁場，也減弱得同樣迅速，因為它們必定要具有相反符號的磁極。

由於電場強度和磁場強度迅速地減弱（反比於距離的立方），有很多次不用導線想依靠這樣的場來傳送訊號的試圖，即使在比較近的距離內（數公里的樣子），也都遭到了失敗。

§ 1-3. 輻射場

要實現在遠距離不用導線來傳送訊號，僅是在對電磁學的實驗數據作了理論上綜合的基礎上發現了輻射電磁場以後，纔顯示出是可能的；在自由空間，這種輻射電磁場強度的減弱是與離出發點距離成正比例的。

我們都知道，在空間交變的磁場將產生電場；反之亦然。

設將導線 AB 放在磁場中，並與磁感應線垂直（圖 1-1.）。如果這根導線以速度 v 沿着垂直於其軸及磁場的方向在移動，則正如大家所

知道的，在導體內會呈現電勢，其值將等於①

$$e = Bvl = \mu Hvl,$$

這裏 v 為移動的速度，

B 為磁感應，

H 為磁場強度，

μ 為磁導係數，

l 為導線 AB 處於磁場中的部分的長度。

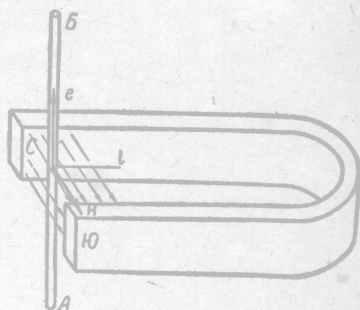


圖 1-1. 當磁場運動時，電場和導線 AB 中電勢 e 的發生。

電勢的方向可以按照右手定則來確定。如假設導線是向左移動，則電勢的方向就向上，如圖 1-1 上箭頭所示的方向。

假使現在反過來是導線保持不動，而使磁鐵向相反方向移動（就是向右邊），則顯然地會在導線中感應同樣的電勢。這樣一來，如有電荷 q 向着電勢的相反方向在導線上通過，它將作功

$$qe = q\mu Hvl,$$

因此，在這電荷上的作用力為

$$\frac{qe}{l} = q\mu Hv,$$

而在單位電荷上所受的力為

$$E = \mu Hv. \quad (1.1)$$

但作用在單位電荷上的力就是電場強度。因此如果磁場是向垂直於其力線的方向移動，則這個磁場就引起了垂直於磁場及其移動方向的電場。這個電場的強度可用 (1.1) 式來確定，而其方向則如圖 1-2 所示（與圖 1-1 相對應）。

① 這裏和以後的式子，都是使用實用單位，但在某些特殊聲明的場合下，長度不是以米作為單位而是以釐米為單位。

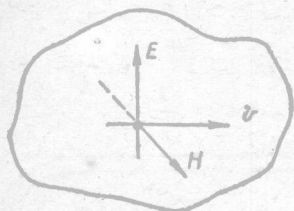


圖 1-2. 當磁場 H 向 v 的方向移動時所產生電場 E 的方向, 及當電場向同樣 v 的方向移動時所產生磁場的方向。

我們現在來研究電場的運動。設帶有正電的無限長圓柱(圖 1-3)順着自己軸向箭頭所示方向移動。設在此圓柱單位長度上的電荷是 q_1 。那麼在單位時間內會有電量 $q_1 v$ 通過與圓柱軸垂直的截面, 也就是說, 有等於 $i = q_1 v$ 的電流 flowing 圓柱。

距離圓柱軸 r 處的磁場強度, 可以按全電流定律用下面的方程式來確定

$$2\pi r H = i = q_1 v,$$

由此得,

$$H = \frac{q_1 v}{2\pi r}. \quad (1.2)$$

H 的方向可按照螺旋定則來確定, 如圖 1-3 中箭頭所示。從圓柱的單元長度 Δl 中出來的電力線數目等於

$$\frac{q_1 \Delta l}{\epsilon},$$

這裏 ϵ 為介質的介電係數。

在距離圓柱軸 r 處, 這些電力線所穿過的面積是

$$S = 2\pi r \Delta l,$$

由此得出距圓柱軸 r 處的電

場強度(等於在單位面積上電力線的數目)等於

$$E = \frac{q_1 \Delta l}{\epsilon 2\pi r \Delta l} = \frac{q_1}{\epsilon 2\pi r}.$$

將上式代入(1.2), 即得

$$H = \epsilon E v.$$

(1.3)

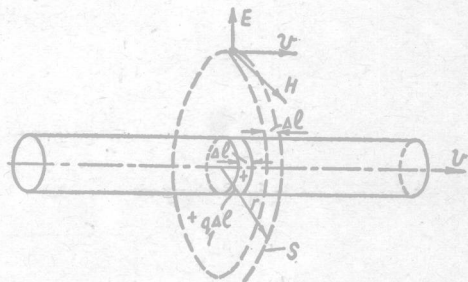


圖 1-3. 圓柱的運動電場所建立的磁場。

可以這樣假設，磁場不是直接由電流（也就是電荷的移動）所引起，而是由在每一點上與電荷以同一速度 v 運動的電場 E 建立的。雖然 (1.3) 式的關係是在個別場合下建立的，但若認為磁場總是由電場的運動引起的，那末在他種場合也必定保有這個關係。

因此，若電場是向着垂直於其力線的方向移動，則這個電場將引起垂直於電場及其移動方向的磁場。這個磁場強度可以用 (1.3) 式來確定，而其方向將符合圖 1-2。因此，運動的電場建立磁場，反之，運動的磁場也建立電場。

可以創造這樣的條件：在空間移動的電場和磁場彼此互相支持，它們的存在與任何電流和電荷無關。實際說來，如觀察一下如圖 1-2 所示的電磁場，電和磁的分量是彼此垂直的，並且也與它們運動方向垂直。若假設在這個場中，磁場分量僅是靠電場分量的運動來維持，那麼根據 (1.3) 式，它的強度將是

$$H = \varepsilon E v。$$

如果現在假設電場分量僅是靠運動的磁場分量來維持，則從 (1.1) 式知，

$$E = \mu H v = \mu \varepsilon E v^2。$$

將 E 約去後，就得知電場和磁場分量是能夠不要外界的供給而彼此互相支持；條件是它們能滿足下面的等式

$$1 = \mu \varepsilon v^2，$$

也就是說，須要它們能用下示的速度運動

$$\boxed{v = \frac{1}{\sqrt{\mu \varepsilon}}}。 \quad (1.4)$$

我們來計算一下這個場在真空中傳播時的速度。

在真空中： $\varepsilon = \varepsilon_0 = 0.0886 \times 10^{-10}$ 法/米^①，

$\mu = \mu_0 = 1.256 \times 10^{-6}$ 亨/米，

① / 本書所採用的單位表可參考附錄 12。

因此

$$v = 2.998 \times 10^8 \text{ 米/秒} = c, \quad (1.5)$$

也就是說，電場和磁場分量相互支持着的電磁場的運動速度應該等於光速。依靠電荷移動所建立起的這種場，後來可以不依賴於電荷而存在。這種電磁場叫做輻射場。

在真空中輻射場的電場分量強度和磁場分量強度之間，從(1.1)式和(1.4)式知存在有下面的關係

$$\frac{E}{H} = \mu c = \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}} = 377 \frac{\text{伏/米}}{\text{安/米}} = 377 \text{ 歐}。 \quad (1.6)$$

這種場存在的可能性，在 1873 年被馬克斯威爾根據在理論上綜合了累積到那個時代的實驗資料而發表的“論電與磁”所證明。馬克斯威爾還指出光是輻射的電磁場。

馬克斯威爾這種關於輻射電磁場的工作，在 Г. 赫芝 1888 年發表



圖 1-4. 偶極子。

它根據這項工作而作的偶極子輻射場的研究工作之前，一直沒有得到廣泛的傳佈。赫芝從理論上和實驗上證明，如將兩個金屬小球（圖 1-4）用導線聯接起來（所謂的偶極子），並迅速地將它們交變充電，則在這樣偶極子的週圍就會形成輻射場。圖 1-5 示當偶極子按正弦規律交變充電時，在不同的瞬時所形成場的電力線①。按照這些圖我們可以看到輻射場的形成。圖

1-5 所示為與圖 1-4 同樣的偶極子，只是尺寸縮小了些。在與圖 1-5 a 相對應的瞬間，沿着偶極子開始有正弦電流流過，將上面的小球充以正電荷，將下面的小球充以負電荷。這種電荷，就在偶極子的週圍建立起電場，而且隨着小球上電荷的增加而充滿了偶極子

① 這張圖是取自 Ю. И. 列斯麥斯基的著作（可參考“莫斯科莫洛托夫動力學院學生科學技術學會的報告”，1948 年，卷二）。

週圍愈來愈大的空間(圖 1-5 *a, b, c* 和 *v*; 圖 1-5 *v* 是相當於最多的電荷)。因為圖 1-5 *b* 中偶極子的場是對稱的, 所以在圖 1-5 *c* 中僅畫出了空間的四分之一。在這個圖中, 標示有在指定瞬間偶極子上電荷的大小(用正弦曲線上的小圓圈)。

充電電流和運動的電場在偶極子的週圍建立起場。磁場的力線是以偶極子軸線為中心的許多同心圓。這些力線的截面是用小圓圈在圖的平面上表示出來^①。如前所述, 充滿在偶極子週圍空間的磁場, 將影響到電場的形成。

當偶極子的電荷在減少時, 靠近偶極子的一部份電力線將向偶極子聚攏, 而由於運動磁場所建立的靠外面的部份, 却繼續離開偶極子, 這種電場的運動又支持運動着的磁場。這種過程的結果, 就使得當偶極子的電荷減少時, 在電力線中形成凹槽(圖 1-5 *d*), 然後得到力線的“脫離”(圖 1-5 *e, 1-5 κ*)。凹槽的出現是由於運動磁場作用在電場上的緣故。當放電時, 靠近偶極子的磁場與電流的方向一塊兒改變符號, 按照圖 1-2, 這個磁場將建立起向上方向的電場分量; 這個分量於是發生凹槽。已經脫離了的力線繼續伴隨着磁場一齊離開了偶極子, 而留在偶極子處的力線則向偶極子聚攏。

當偶極子的電荷變到等於零的時候, 與偶極子有關的電力線並不會停止(圖 1-5 *g*)。這種留下來的力線是被運動的磁場維持着。在下一個四分之一的週期中, 當偶極子以相反的極性充電時, 在它週圍又重新產生力線; 這時早先脫離開的力線仍然繼續離開偶極子(圖 1-5 *u, κ, l, m*)。此後當偶極子放電時, 又發生力線的“脫離”(圖 1-5 *n, o, n, p*)。其後的情況均照此類推。

“脫離開”的力線新生部份的產生過程, 將發生於偶極子電荷變化的每一個半週期。“脫離開”的力線就是輻射場。它們也稱為無線電波

① 在這種場合, 當磁力線的方向是離開我們時, 我們就用+號來表示; 而當向着我們時, 就用點來表示。

或電磁波。

離開偶極子電磁波強度為同相位的兩點其最近距離稱為波長(圖 1-5 p)。通常都用字母 λ 來表示。在真空中波長跟偶極子電流變化的頻率 f 及週期 T 是以下面的式子相聯繫的:

$$\lambda = \frac{c}{f} = cT,$$

這裏

$$c = 2.998 \times 10^8 \text{ 米/秒是光速。}$$

偶極子的尺寸越大,偶極子交變充電的頻率越高,則同樣的偶極子電流所產生的輻射電磁場功率也就越大。

靜止的電荷和直流都不能產生輻射場。僅於電流有變化時,它纔會產生;這時電流所建立的場就開始在空間移動。實驗和理論上的研究都證明,如偶極子的尺寸能夠和振盪的波長相比較時,則實際上輻射就是存在的。由於這個理由,要想使 50 赫的工業頻率有良好的輻射,這個頻率的相應波長為

$$\lambda = \frac{3 \times 10^8}{50} = 6 \times 10^6 \text{ 米} = 6000 \text{ 公里,}$$

就必須使偶極子有數千公里的長短纔行。同時若頻率為 10000 兆赫 = 10^{10} 赫,相應的波長為

$$\frac{3 \times 10^8}{10^{10}} = 0.03 \text{ 米} = 3 \text{ 釐米,}$$

所以從幾個釐米長的偶極子就可得到良好的輻射。

輻射電磁場的強度是與離開產生點的距離成比例地減少,而在單位體積中場的能量是與距離的平方成比例地減少(像光的傳播一樣)。這種輻射的電磁場很顯著地比電場和磁場有利;因為電場和磁場的強度,像以前所指出的,是與距離的立方成比例地減少,而其能量是與距離的六次方成比例地的減少的。

用下面的方式就可以說明這個問題。取一個輻射場的單元,它佔