

目 錄

序	1
第一章 電的定律及電路	1
基本理論	1
電場和磁場	1
力線	2
電及電流	2
導體和絕緣體	3
電動勢	3
直流電流和交流電流	4
波形	5
電的單位	6
週率譜	6
波長	7
電阻	8
線的電阻	9
溫度的影響	10
電阻器	11
電導	11
歐姆定律	11
電阻的串聯及並聯	13
電阻器的串聯	13
電壓降	14
電阻的並聯	15
電阻器的並聯及串聯	16
電力	17
效率	18
電容及電容器	18

單位	20
無線電用的電容器	22
電壓破壞	22
電容器的串聯和並聯	23
電感	24
電感公式	25
鐵心線圈	26
導磁系數	26
渦流和磁滯	27
電感的串聯及並聯	28
互感	28
交流電路	29
相	29
相的測量	30
電抗	31
電容器上的交流電	31
容抗	32
感抗	33
電流的歐姆定律	34
無功電力	36
阻抗	36
阻抗的歐姆定律	37
並聯電路	38
電工因數	39
複波	40
變壓器	40
一般介紹	40
電壓及圈數比率	41

次級電流的作用	41	陰極	63
電力關係及效率	42	屏極電流	64
漏電感	43	整流	65
阻抗比率	44	真空管放大器	66
阻抗的配接	44	三極管	66
變壓器的構造	45	柵極控制	66
射電週率電路	46	特性曲線	66
諧振	46	真空管特性	68
諧振週率	46	放大	69
諧振曲線	47	偏電壓	71
Q	48	放大器的輸出電路	72
電壓的提升	49	電力放大器	75
並聯諧振	49	並聯和推挽	76
已負荷電路的 Q	51	乙類放大器	77
L/C 比率	52	甲乙類放大器	79
耦合電路電能轉移及負荷	52	丙類放大器	79
普通的耦合方法	53	回輸	80
電容耦合	53	負回輸	81
電感耦合	53	正回輸	82
耦合諧振電路	55	電極間的電容量	82
環耦合	55	輸入電容	82
電路的實際問題	56	在射週的真空管電容	83
串聯儲電及並聯儲電	56	簾極管	83
旁路	57	五極管	84
喬佈的電容及電感	58	射週五極放大管	84
接地問題	58	可變互導管	85
平衡電路	59	其他型式的放大器	86
隔離作用	59	柵極接地放大器	86
第二章 真空管原理	61	陰極輸出器	87
二極管及整流	61	陰極電路及柵極偏電壓	87
真空中的電流	61	絲極交流雜聲	87
熱游子發射	61	陰極偏電壓	88
		簾極電壓	90

集射管	91	廉極管放大電路	114
多組管	91	級間的耦合部份	115
汞氣整流管	91	環耦合	117
柵極控制整流管	91	電感耦合	117
振盪器	92	電容耦合電路	118
振盪器的工作特性	93	電容耦合的調節	120
接地問題	94	耦合電容器的定額	120
負電阻振盪器	95	放大器的設計要點	120
第三章 基本發射機	97	屏極槽電路 Q	120
可變週率的振盪器	98	屏極槽電路電容器的電壓	123
負荷的影響	99	阻直流及旁路電容器	124
週率的移動	103	射週扼流圈	124
機械問題	103	柵極槽電路	124
可變週率振盪器槽電路的 Q	104	射週電力放大管的工作	
可變週率振盪器的調諧特性	104	因素	125
校驗可變週率振盪器的穩		柵極偏電壓	126
定度	105	計算柵極偏電壓電阻器	130
晶體振盪器	105	最大柵極電流	131
簡單的振盪電路	106	激勵問題	132
三極管四極管及五極管振		電力輸出	132
盪器	107	電力輸入	132
逆亞斯振盪器	108	屏極及簾極消耗	133
Tri-Tet 振盪器電路	108	屏極效率	133
柵屏振盪器	110	最大屏極電流及電壓	134
逆亞斯電室的另一式	110	其他工作因素	134
射週電力放大器電路	111	絲極電壓	134
三極管電路	111	極間電容	134
屏極電容中和電路	111	射週放大器的調整	135
推挽式三極管電路	113	一般的調諧方法	135
柵極電容中和電路	113	電表的裝置	135
環中和電路	113	輸入電路調整	135
電感中和	114	輸出電路調整	137

最後的調整	138	簾極管放大器	161
推挽式放大器的調整	139	扼流圈耦合	162
簾極管放大器的工作	140	柵偏電壓調幅	163
簾極部份	141	調幅器的電力	164
測量電力輸出的假負荷	141	柵偏電壓電源	164
週率的倍升	143	推勵級的調節	165
單管倍週器	143	工作條件	165
推挽倍週電路	143	調整	166
寄生振盪	145	簾極調幅	167
特高週寄生振盪	145	抑制柵調幅	168
試驗程序	145	陰極調幅電路	169
補救辦法	146	調幅阻抗	170
低週的寄生振盪	147	線性工作的條件	171
應該避免的電路	148	陰極調幅放大器的調整	171
中和的程序	148	言語設備	171
中和指示器	150	傳聲器	172
中和調整	151	炭粒傳聲器	172
電感中和法的調整	152	晶體傳聲器	173
第四章 無線電話	153	帶速傳聲器	173
調波的方法	153	電動傳聲器	174
邊帶	154	言語放大器	174
調幅	155	電壓放大器	175
調幅百分數	156	電阻耦合	175
調幅波的電力	156	變壓器耦合	176
過量調幅	157	反相器	177
對於載波的條件	157	放大的控制	178
屏極電源供應	158	言語放大器的設計	178
線性關係	158	言語放大器的構造	180
調幅的型式	159	增加無線電話發射機的效能	180
屏極調幅	159	波道的減縮	181
調幅阻抗及直線性	160	音量的抑制	182
屏極調幅放大器的調節	161	言語的削波	182
		乙類調幅器及推勵器	184

乙類調幅器	184
調幅器真空管	184
負荷的配接問題	185
抑制音週諧波	186
柵極偏電壓	186
屏極電源	188
過分激勵	188
沒有負荷時工作	189
乙類調幅器的推勵級	189
推勵真空管	190
負回輸	191
負回輸的言語放大電路	195
無線電話發射機的檢驗	195
言語設備	195
示波器的應用	197
乙類調幅器	198
調幅的放大器	199
調幅的監視	202
線性關係	203
不對的圖樣	204
屏極電流跳動	205
載波上的雜聲及交流雜聲	206
額外的邊帶	207
言語放大器中的射週成分	207
過量調幅指示器	208
第五章 電鍵電路	211
電鍵電路的原理及特性	211
背波	211
電鍵喀哩聲	212
週率穩定度問題	212
參入工作	213
選擇被控制的一級	213

電鍵電路	214
屏極電路按鍵	214
電源變壓器初級電鍵電路	215
柵偏壓阻流電鍵電路	217
陰極電鍵電路	218
電鍵繼電器	218
電鍵喀哩聲的消除法	219
射週滤波電路	219
電鍵滤波電路	219
真空管電鍵	220
真空管電鍵	220
檢驗發射機的發報特性	222
檢驗電訊	222
電鍵喀哩聲	222
週率的移動	222
振盪器電鍵電路	222
鍵控級以後各級的調整	223
發報監聽	223
參入工作	226
第六章 傳遞線	229
特性阻抗	230
正確配接的傳遞線	230
傳遞線上的射週電壓	231
駐波	231
電壓關係	233
輸入阻抗	233
開路傳遞線	234
傳遞線端配接電阻負荷	235
阻抗的變換	236
配接傳遞線的電抗	237
駐波率	237
諧振傳遞線及不諧振傳遞線	238

輻射	239
實際傳遞線特性	239
構造の種類	240
特性阻抗	241
電長度	242
傳遞線的損耗	243
平行導線式傳遞線的不平衡	244
發射機與傳遞線的耦合	245
阻抗的變換	245
負荷和傳遞線的配接	247
天線用作負荷	247
$\frac{1}{4}$ 波變壓器或 Q 配接段	248
短段配接法	249
摺式偶極子天線	250
T 及 Y 配接段	252
三角配接法	253
實際耦合電路	253
射週電流表	254
電感耦合	255
串聯調諧及並聯調諧	256
串聯調諧的調整	258
並聯調諧的調整	259
環耦合	260
萬用天線耦合器	260
同軸線的耦合	262
不規則的耦合	263
諧波的抑制	265
低週濾波器	266
天線耦合器的構造	266
壁式串並聯耦合器	267
架式串並聯耦合器	268
可位器式萬用耦合器	269
闊波段天線耦合器	272

第七章 天線	273
天線的選用	273
極性	273
輻射角	273
阻抗	274
指向性	274
電流	274
前後比率	274
地的作用	274
輻射角	275
不良地面	276
阻抗	276
極性的選擇	277
半波天線	277
電流分佈及電壓分佈	278
阻抗	279
天線導體尺寸	279
輻射特性	279
半波天線的直接饋電法	281
半波天線用傳遞線饋電	282
長線天線	284
電流及電壓分佈	284
實際尺寸	285
阻抗及電力增益	286
指向特性	286
饋電方法	288
多波段天線	288
天線的簡單形式	289
適用在地位有限的天線	290
摺式天線	292
接地式天線	292
160 公尺用的天線	293

曲折式天線	293	相位問題	303
地	294	天線組的調整	303
長線指向天線組	294	簡單的天線組	304
V字天線	294	應用寄生段的指向天線組	305
菱形天線	296	寄生式的激勵	305
應用推勵段的指向天線組	298	增益與距離的關係	306
同行列式天線組	299	天線段的長度	306
邊射式天線組	300	簡單的旋轉天線	306
邊射式及同行列式天線組		近距天線組的饋電	307
的合併天線組	301	諧振的銳度	310
頂射式天線組	302	組合的天線組	310

第一章

電的定律及電路

基本理論

電場和磁場

電及無線電的基礎都建築在電場 (Electric Field) 及磁場 (Magnetic Field) 上。我們雖然沒有方法看到這類電場及磁場，但是仍舊應該有相當的認識，方能對電的作用容易了解。當某一點上的現象能夠對空間的另外一點上發生作用，而在因果間又無可見的聯繫時，我們說這二點已經由電場及磁場所聯。這類電場及磁場統稱電磁場 (Electromagnetic Field)，像空氣一樣，是一種無形而實際存在的東西，牠所產生的各種作用且可預測的。

電磁場有二個重要的特徵，就是強度 (Intensity 或 Magnitude) 及方向 (Direction)。意思就是，電磁場對場內的東西有一種力量 (Force)，牠的強度表示力的量，牠的方向代表力加到東西，以及這東西受力後移動的方向。當一個荷電體 (Charged Body) 放進電場後，這荷電體所受到的力，能使牠照電場的方向移動。同樣，磁鐵在磁場中亦受到力的作用。每一個人都可以小磁鐵試驗磁場的作用，所以磁力強度及方向的意義，當可容易了解的。

當一個電場或磁場在空間行動，或強度改變，這種行動或改變就

能產生另一種性質的電磁場，就是說，改變的電場產生磁場，改變的磁場產生電場。一般的電磁鐵 (Electromagnet) 及電動機(就是馬達)就是根據這二種電磁場間的關係而工作的。無線電通訊中的電磁波(Electromagnetic Wave)不過是行動的電磁場。

力 線

很顯然，我們對於各種不同電磁場的強度及方向，需要有比較的方法。這是將電磁場畫成力線(Line of Force)或通量(Flux Line)，每一條力線的方向，代表電磁場力線使物體行動的方向，而每一截面積上力線的數目就是力的強度，所以每一平方英寸或每一平方公分的力線數目是通量密度(Flux Density)。

電 及 電 流

電的現象是由名叫電子 (Electron) 的極微小的電粒子所造成。本來每一樣東西是由原子 (Atom) 所組成，這種原子亦是很小的，即使應用極強力的顯微鏡亦無法看到的，現在知道每一個原子又由更小的粒子組成，這種粒子的一種就是電子。一個普通的原子大約是這樣構造的：中心點是原子核 (Nucleus)，周圍是在軌道上的電子，電子的數目沒有一定的，這種情形極像地球及其他星球環繞太陽一樣。我們還知道，原子核和電子本身都是電，不過原子核所具的電是陽性的，電子的電則是陰性的。

這二種不同電的主要特點是異性相吸，同性相斥。所以原子核及電子間有吸引力，二個電子或二個原子核則互相排斥。在原子體內二種性質的電都有，因之能結合成一體。正常的原子中，原子核的正電荷 (Positive Charge) 恰能和各電子的總負電荷 (Negative Charge) 相平衡。當然原子可能失去一個或幾個電子，在這種情形之下，由於陰電荷減少，原子就呈陽性，而成陽游子 (Positive Ion)。如果一個原子有額外的電子加進，那末這原子就呈陰性，而成陰游子 (Negative

ion)。如果在陽游子的附近區域內有電子存在，這個電子就有被吸引的可能。因此電子可能在原子間轉移行動，當行動的電子數目是極大時，就是達到兆億的數目時，就成了電流(Electric Current)。

導體和絕緣體

在固體、液體、或氣體中，電子是可能行動的。在液體及氣體中，陽游子及陰游子亦可能被吸引而行動，不過固體中祇有電子是能動的。就全部的物質說起來，電子或游子的運動並不是絕對可能的，意思就是，某種物質的原子，像金屬類及酸類(Acid)，很容易解放電子，但是其他的物質的原子，即使在極高的電力吸引下，仍舊毫無電子發出來。凡是物質中的電子或游子容易行動的叫做導體(Conductor)，否則就是絕緣體(Insulator)，附表中是幾種普通物質照上述的條件分成導體及絕緣體：

導	體	絕	緣	體
金	屬	乾空氣	棉織品	
	碳	木	玻璃	
酸	類	瓷質	橡皮	

電動勢

電動勢(Electromotive Force)是使電流在電路中流動的推動力，產生的方法可以有幾種。某種化學液體對於不同的金屬發生作用時，就能產生電動勢，這種組織就是電池(Cell)，多數電池組成電池組(Battery)。每一節電池的電流量是有限的，並且在電流發生後，一種金屬會逐漸消蝕，因此電池組所能供應的電流是相當有限的。如果需要大量電能應用，就須利用發電機(Generator)，運用磁及機械組合作用產生電動勢。

如果我們想畫出電流的形狀，不妨先想像一個單獨及固定的力

—— 電的定律及電路 —— 3 ——

量,使電子流動,在這種情形之下,導體所組成的電路(Circuit)中,電子總在一個方向行動,這種電流是直流電流(Direct Current),通常可以由電池組或直流發電機產生。在別的一方面,我們亦需要有一種週期性改變的電動勢,這時電流首先在一個方向流動,又繼向反方向流動,這是交流電流(Alternating Current)。交流電的變化速率可以自每秒鐘幾十週波(Cycles)至幾萬萬週波;在每一週波中,電力的作用先在一個方向,繼在相反的方向,一而再的循環繼續,每一秒鐘內的週波數目就是交流電的週率(Frequency)。交流電是用發電機產生的。

直流電流和交流電流

交流電流和直流電流的差別可以看圖 1.1, 在這圖中,橫軸代表時間,由左向右增加;垂直軸代表電流的波幅(Amplitude),可向上下二個方向增加。在橫軸上面的電流波表示電流在電路的一個方向流動,由+號代表;在橫軸下面的電流波表示電流在相反的方向流動,由-號代表。在圖1.1A中,如果電路在X的時刻關閉,電流就立刻升到A的高度,此後電流保持固定的波幅(高度)繼續,這就是普通的直流電流。

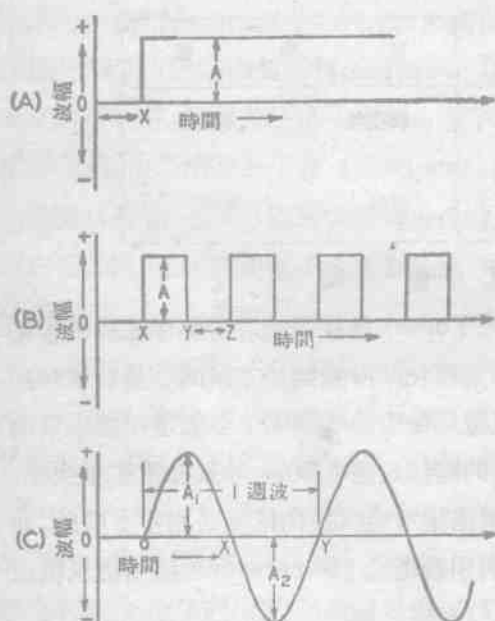


圖 1.1 三種電流:(A)直流。(B)斷續直流。(C)交流。

在圖 1.1B 中,電流

自 X 點開始，波幅是 A ，同值繼續到 Y 點終止，退回橫軸。在時間 YZ 後，電流又照樣重複流動，這是斷續直流電流 (Intermittent Direct Current)，可以將電路照規定的時間一開一關後得到，由於這種電流在一個方向流動，這亦是直流電流的一種。

圖 1.1C 的電流波就自零點開始，波幅隨時間在 $+$ 方向逐漸增加，達到 A_1 是最高峯，此後又逐漸減小，終於在 X 點降到零。在 X 點後，波幅又向反方向 ($-$ 的方向) 逐漸增加，圖中電流波在橫軸的下面，波幅同樣先提升到 A_2 ，又逐漸回到零點 (在 Y 點上)。普通的交流電流就像這樣循環。

波 形

圖 1.1 中的交流電流波是通稱的正弦波 (Sine Wave)。正弦波是最簡單的基本電波，正負二半週波的波形 (Wave Form) 完全是相同對稱的，僅方向是相反的。實際上，很多的交流電波並不像這圖中波形的整齊，不過複雜的電波可以用二個以上的正弦波相加後代表，各正弦波的週率則是其中最低週率的整倍數，像 1、2、3、4……等。這裏是低週率是基本週率 (Fundamental Frequency)，其他較高的週率是諧波 (Harmonics)，比較基本週率高 2、3、4……等倍。

圖 1.2 中的複波 (Complex Wave) 是由基本週率及二次諧波各一個所組成。根據這點我們可以想像得出，基本週率波及二次諧波的波幅及經過零點的時間，如有變化，所組成

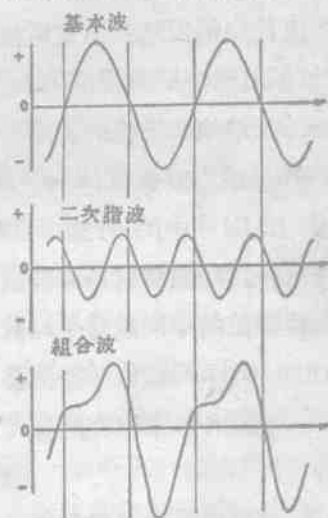


圖 1.2 基本波 (上) 及二次諧波 (中) 每一瞬時逐點相加後即成組合的複波 (下)。

的複波亦將千變萬化，各不相同。當然二個諧波及基本週率波可能產生更複雜的波形。

電 的 單 位

電動勢的單位是伏脫 (Volt)，一個普通的單節電池的電動勢大約是 1.5 伏脫，交流市電的電動勢常是 220 伏脫 (亦有 110 伏的)，週率是每秒鐘 50 週 (亦有 60 週的)。無線電發射機所需應用的電壓 (Voltage)，可自幾伏 (交流的，供給真空管的絲極) 起到幾千伏直流高壓止。

電流的單位是安培 (Ampere)，一安培代表一秒鐘幾億個電子流過一點。發射機中真空管的絲極需要大量的電流，數值可近一安培數，其他高壓電路中的直流電流幾乎統用毫安 (Milliampere) 單位，一毫安是一千分之一安培。

關於交流的電壓和電流，我們還要注意牠們各種數值的差別。因為直流中的安培是穩定電流的代表，交流電流則是一個波幅有變化性的電流，現在就電流的供熱力量上將交直流電流比較起來，那末交流的安培須和直流的安培一樣。正弦波交流電流的有效值 (Effective Value) 或均方根值 (Root-mean-square Value) 遂等於電流最大波幅 (圖 1.1C 中的 A_1 或 A_2) 的 0.707 倍。至於交流電流波在一週波中任何一點的數值就是瞬時值 (Instantaneous Value)，而每半週波內瞬時值的平均數是平均值 (Average Value)，亦就是最大波幅的 0.636 倍。平均值祇和整流器 (Rectifier) 有關，以後要討論的。

上述各種單位亦同樣可以應用在電壓上，這點亦須注意的。

週 率 譜

市電通常的週率在每秒鐘 50 週。成音週率 (Audio Frequency) 是人耳所能感應的週率，範圍大約自 15 週到 15,000 週左右，包括言語及音樂的聲音。15,000 週以上的週率叫做射電週率 (Radio Fre-

quency)，可以作發射的應用，現在可用的最高射電週率大約已達 10,000,000,000 週。射電週率的數目很大，應用起來不方便，於是需要較大的單位，就是千週 (Kilocycle) 代表 1,000 週，兆週 (Megacycle) 代表 1,000,000 週，或 1,000 千週。

各種射電週率又可以分成幾個階段，各週率階段合起來就成週率譜 (Frequency Spectrum)。在目下，週率譜的分段情形大約如下：

10—30 千週	特低週率 (Very-low Frequency)
30—300 千週	低週率 (Low Frequency)
300—3,000 千週	中週率 (Medium Frequency)
3—30 兆週	高週率 (High Frequency)
30—300 兆週	特高週率 (Very-high Frequency)
300—3,000 兆週	超高週率 (Ultrahigh Frequency)
3,000—30,000 兆週	極高週率 (Superhigh Frequency)

波 長

我們已經說過，無線電波是行動的電場及磁場，而這種電磁場的行動速度又是極度的快速，我們似乎覺得因果是同時發生的；事實上呢，某一點的電磁場確需一定的時間，使相當距離外另外一點受到作用。無線電波的速度和光一樣，就是每秒鐘 300,000,000 公尺，或約 186,000 英哩。通常先在電路中有射週電流通過，這種快速變動的電流就產生一種同速度變化的磁場，而這磁場又產生同變性的電場。這種情形發生後，二種電磁場就能照光的速度，同時向前推進。

假使射週電流的週率是每秒鐘 3,000,000 週，那末電磁場亦在一秒鐘的時間內完成 3,000,000 個週波。在同一個時間，電波將移動 300,000,000/3,000,000 公尺，或 100 公尺。當電波移動這個距離後，第二週波又行開始，亦就是第二個電波宣告產生，亦就是說，在第一個電波所佔的距離 100 公尺後，第二個電波方才開始，其餘電波亦是

照樣的逐一推進。這裏每一電波所佔的長度或距離就是波長 (Wave Length)。

每一週波所需的時間愈久，就是週率愈低，每一電波所佔的距離愈大，就是波長愈長。週率及波長間的關係可以照下式計算，就是

$$\lambda = \frac{30,0000}{f} \quad (1.1)$$

其中 λ 是波長，單位是公尺； f 是週率，單位是千週。或可寫成

$$\lambda = \frac{300}{f} \quad (1.2)$$

其中 f 的單位須是兆週，其餘各項都和前式一樣。

例：3650 千週電波的波長是多少？

$$\lambda = \frac{300,000}{3650} = 82.2 \text{ 公尺}$$

現在週率應用得比較普遍，而週率的測量亦比較容易及準確，但是波長仍舊有用，像天線就依據波長而定尺寸的。

電 阻

電流通過導體的易難程度，和導體的質料、形狀、及尺寸都有關係。如果二種不同質地的導體，形狀相同，尺寸相同，當電動勢加到導體的二端時，電流的數量就隨物質的電阻 (Resistance) 而有高低，電阻愈低，通過的電流將愈高。

電阻的測量單位是歐姆 (Ohm)。如果一個電路端的電壓是 1 伏，電流是 1 安，那末電阻將是 1 歐，物質的電阻系數 (Resistivity) 是一立方公分，每邊一公分物質的電阻 (單位是歐)。最優良導體的一種是銅，所以電路中銅質導體用得最多。現在為便於計算電阻值起見，常將物質和同形同尺寸的銅作比較，表 1.1 就是各種不同金屬和銅的比較電阻系數。

表 1.1 金屬的比較電阻系數表

物	質	和銅的比較電阻系數
純	鋁	1.70
黃	銅	3.57
	鎳	5.26
	鉻	1.82
銅	(硬抽)	1.12
	銅	1.00
純	鐵	5.65
	鉛	14.3
	鎳	6.25-8.33
黃	磷銅	2.78
	銀	0.94
	錫	7.70
	鋅	3.54

導體的長短和電阻亦有關係，導體愈長，電阻愈高。在直流及低週交流(約高達每秒幾千週)通過導體時，電阻是和導體流電的截面積成反比例，就是說，同長同質的導體，僅截面積不同時，面積愈大，電阻愈低。

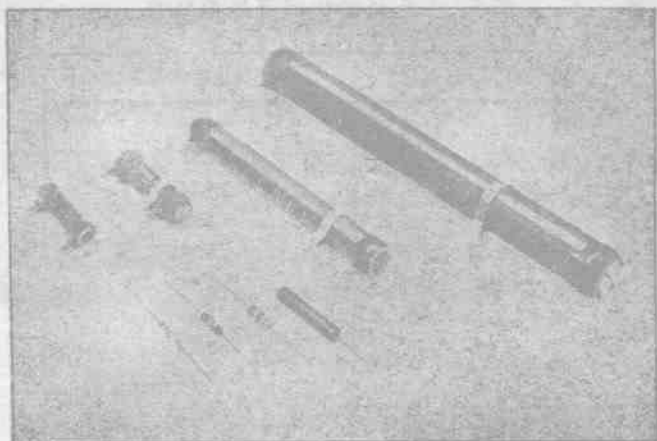
線的電阻

根據上述的種種，我們很容易將電阻有關的各項因素，配合寫成一個計算的公式。不過在實際上，我們通常要求已知直徑及長度的導線電阻，或者反過來求規定電阻的導線長度及直徑。這種計算可以利用銅線表(見表 1.2)。

例：假使我們需要 3.5 歐的電阻，而手頭祇有第 28 號銅線，線的長度應該是多少？

從銅線表知道，第 28 號銅線的電阻是每 1000 英尺 66.17 歐，長度是

$$\frac{3.5}{66.17} \times 1000 = 52.89 \text{ 英尺}$$



各種電阻器

假使電路中的電阻不可以超過 0.05 歐，而線的總長度祇可是 14 呎，幾號銅線可以適用？

照上例計算，先寫

$$\frac{14}{1000} \times R = 0.05 \text{ 歐}$$

其中 R 是每一千呎線的最大可具的電阻數(歐)，重寫上式得

$$R = \frac{0.05 \times 1000}{14} = 3.57 \text{ 歐/千呎}$$

從銅線表一查，可知第 15 號是最細的可用銅線，適合這個要求。

如果導線並不是銅質，銅線表上的數值就預先乘表 1.1 的倍數，以得實際的電阻。

例：如果第一例中的導線是鐵而不是銅時，線長應該是

$$\frac{3.5}{66.17 \times 5.65} \times 1000 = 0.35 \text{ 英呎}$$

溫度的影響

溫度對於導體的電阻亦有影響。我們在電阻計算時不常將這種