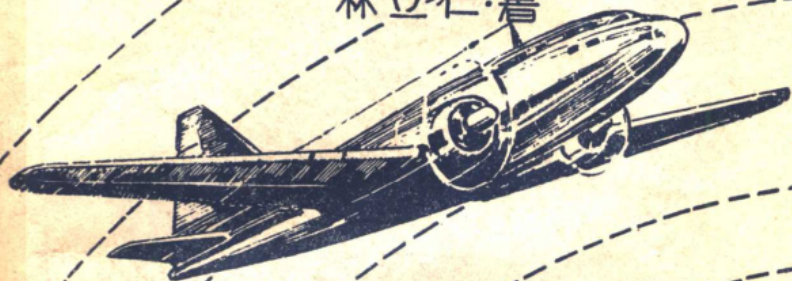


无线电导航知识

林立仁·著



科学普及出版社

96

7

0

無線电导航知識

林立仁

科学普及出版社

从前，飞机不能在夜间飞行，就是在白天，如果有风、雨、雪、雾等情况，也不能飞行，所以飞机的利用率是不高的。这不仅关系着国民经济，更重要的是关系着军事和国防。

怎样才能提高飞机的利用率，使它不受时间和气候的限制，随时能起飞，并在规定的航道上航行和安全降落，就要靠无线电的帮助了。这就是从第二次世界大战发展起来的无线电导航技术。

本书作者，把无线电导航的主要内容，如定向、定位、盲目降落等的重要设备和工作原理，作了较详细的介绍。对具有中学水平的从事于空军、海军、民航和海运等工作同志，是一本有用的业务参考书，对一般知识青年，也是一本介绍新知识的有益的书。

总号：809

无线电导航知识

著 者：林 立 仁

出版者：科 学 普 及 出 版 社

(北京市西直门外磨家湾)

北京市书刊出版业营业登记证出字第091号

发 行 者：新 华 书 店

印刷者：北 京 市 印 刷 一 厂

(北京市西便门大街乙1号)

开 本：787×1092 1/32 印张：2 1/8

1958年8月第 1 版 字数：32,800

1958年8月第1次印刷 印数：3,080

统一书号：13051·124

定 价：(9)2角8分

目 次

無線电导航的内容	1
定向技术介绍	2
1. 定向仪的基本工作原理	4
2. 長波定向仪的工作原理和構造	8
3. 短波定向仪的工作原理和構造	18
4. 超短波定向仪的工作原理和構造	25
5. 航路标志台的工作原理和構造	27
定位技术介绍	33
罗兰定位设备的工作原理	35
盲目降落技术	43
1. 盲目降落的必须具备条件	43
2. 航向方位仪的構造和原理	45
3. 航向方位仪的接收设备和原理	49
4. 滑翔仪的構造和原理	51
5. 滑翔仪的接收设备和原理	52
6. 标点台的構造和原理	54
7. 标点台的接收设备原理	54
8. 雷达降落设备	55
其他导航设备介绍	58

無線电导航的内容

自从俄国的科学家波波夫发明了無線电之后，最初只把它利用到通訊上去，例如無線电报、無線电话等。随后，又慢慢地把它利用到無線电广播和电傳真等方面。由于科学日漸發达，無線电的利用也日漸廣闊，在二次世界大战中就利用它来导航。所謂無線电导航，指的就是利用無線电来引导飞机或輪船航行，并且使它們不致于在惡劣的气候中迷失方向，避免發生事故。这在安全上和国民經济上都有很大的作用。此外，在国防上就更其重要了，因为有了完善的無線电导航設備，才有可能使一个国家的空軍和海軍在任何气候下都能行动起来，保衛自己的国家。过去一架轟炸机只有几千元的無線电設備，而今天的一架現代化的轟炸机，其無線电設備的价值約等于半个飞机的价值，主要是由于增加了各式各样的無線电設備包括导航設備的緣故。一些科学比較發达的国家，对無線电导航設備的研究都是十分重視的。他們用了相当可觀的人力物力来进行这方面的研究工作。20年前，飞机的利用率是很低的，主要是受了天气的影响，而且安全性也很低。但是，在今天靠了各式各样的無線电导航設備，民用飞机和軍用飞机可以在任何气候条件下进行日夜不間断的航行，不但飞机的利用率大大地提高，而且还大大地提高了航行的可靠性和安全性。飛行員們时常这样說：“在天气良好的情况下，駕駛員是飞机的指揮者，但是，在天气惡劣的情况下，無線电导航設備就代替了駕駛員的工作，因为它能执行人所不能执行的工作。”

無線电导航技术的内容，总的來說大致可以分为四类：

第一，定向的技术。这种技术用到飞机和輪船上，可以不因側面受風而發生迷航的事故。所謂迷航就是飞机或輪船依照磁罗盤的指示进行航行时，由于强烈的側風影响而使它离开了航道，結果虽然也能依照一定的方向前进，但是却不能到达預定的目的地了。目前在航空方面，如按無線电的波長来区分定向技术的话，可以分为長波定向、短波定向和超短波定向三种。

第二，定位技术。这种技术可以使飞机或輪船随时知道它在地圖上的那一点上。这样就可以使它不至于迷航，或避免駛入禁区了。

第三，盲目降落技术。这种技术可以使飞机在大霧、大雨、大雪及黑夜里安全地下降到跑道上。定向及定位技术只能保証飞机在恶劣气候中，安全地由甲地飞到乙地，但不能保証飞机安全地在視線或“能見度”很不好的情况下，由空中下降到机場的跑道上。所以盲目降落的技术在航空方面是極其重要的，有了这种技术，我們才可以保証安全的、不間断的日夜飞行。

第四，特种导航設備。例如測量距离的設備，測量絕對高度的設備，避免撞山或互撞的設備等等。这些設備因为在作用上既不屬於定向也不屬於定位，另有其特殊的用途，所以只能另分一类。有了这些初步概念之后，我們就可以比較詳細地談論每一种导航設備的具体情况了。

定向技术介紹

利用無線电进行定向，一般的可分为三类。第一类是利用波長比較長的电磁波来进行定向。这种設備叫做長波定向仪。它裝設在飞机上或輪船上。而地面上只須裝設一个長波發射机，兩者互相配合之后就能进行定向。第二类是利用波長比較

短的电磁波来进行定向。这种设备叫做短波定向仪。这种定向仪装设在地面上，利用飞机上通讯用的小型发射机所发射出的电磁波来进行定向的。在装设上正好和长波定向仪相反，当地面将飞机的方向定好之后，再用无线电通知飞机上的驾驶员。这种装设方法的优点是飞机上可以不必再增加其他附加的设备就能达到定向的目的，这样又可以增加飞机有用的载重量；缺点是必须经过通讯的联络手续，所以飞行员不能随时地和很快地达到定向的目的。第三类是利用更短的波长来进行定向，它叫做超短波定向仪。通常装设在地面上，利用飞机上的超短波发射机所发出来的电磁波就能达到定向的目的。长波和超短波定向比较上是最可靠的，因为它们都是利用所谓地波或直接波来定向的。所谓直接波就是直接由发射机所发射出来的电磁波，而不是利用经过电离层反射过来的电磁波。因此，情形比较简单。可惜两者定向的距离都不太远。长波定向平常只有250公里左右，而超短波定向只有100公里左右，如果飞机飞得高一点，定向的有效距离也能增加一点。短波定向是比较不可靠的，因为它是利用电离层所反射过来的反射波来进行定向的。天上的电离层是随时在变动，因此使得定出来的方向有了差误，而且方位还不时地移动。但如果波长采用得适当，在实用上也是相当可靠的。例如90米或100米的波长在短波定向上是比较可靠的波长。短波定向虽然有缺点，但还是有它一定的重要性，因为它的定向距离很远，通常有1,000公里以上，同时飞机上无需再增加任何其他附带的设备，只利用飞机上通讯用的短波发射机就行了。在长波或超短波定向仪不能起作用的距离中，短波定向仪是能发挥保证航行安全的作用的。因此长波、短波和超短波定向仪在航空上是三者兼着使用的。下面我们来谈定向仪的基本工作原理以及这三种定向仪的一般构造。

1. 定向仪的基本工作原理

不管是長波、短波或超短波定向仪，它們都有一个共同的，或者是工作原理相同的天綫設備，有时称为天綫系統。这个天綫系統有兩種不同性質的接收天綫。一种叫做垂直天綫，

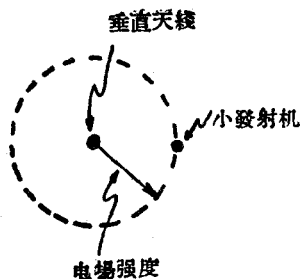


圖 1 (甲)

它是一根垂直的簡單天綫。这种天綫，对电磁波的接收能力来说是沒有方向性的。当一个發射机放在离垂直天綫一定距离的半徑上，在这个圆周上的任何一个方向，所接收到的，或者說是在天綫上所發生的电压大小是相同的。圖 1 (甲)表示了这种意义①。

第二种天綫叫做环形天綫，它是一个方形的或圓形的天綫。这种天綫对电磁波的接收能力來說，是有方向性的。也就是說在离环形天綫一定距离的半徑上，放一个小型的發射机，当电磁波的来向和环形天綫的平面互相垂直时，环形天綫上所發生的电压会很大；而当电磁波的来向和环形天綫的平面互相平行时，天綫上的电压变成零；电磁波的来向介于兩者之間时，环形天綫上的电压不为零，但也比互相垂直时为小。这种特性叫做有方向性的特性，圖一乙表明了这种意义②。

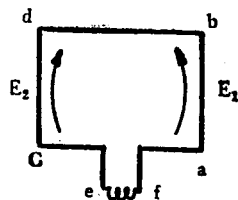
为什么环形天綫有方向性呢？請參閱圖 1 (乙)中环形天綫的正視圖。如果电磁波来自右方，那么天綫上的 ab 垂直部分就發生一个电压 E_1 。由于 E_1 而产生一个电流，其流动方向

① 可以用下面的数学公式来表示这种意义：

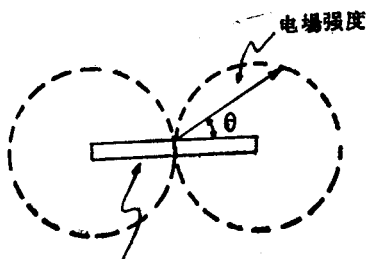
$$E = h_e \epsilon$$

其中 E 为垂直天綫上所發生的电压， h_e 为天綫的有效高度， ϵ 为电磁波的强度。

設如箭頭所示，是反時針方向的流動。再過很短的一定時間後，電磁波越過 ab 而到達了 cd 部分，結果又使 cd 部分產生一個數值同樣大小的電壓 E_2 。這 E_2 的電壓也發生了一個電流，它的流動方向是由 c 至 d ，順着時針方向而流動。雖然如此，這兩種電流是不會完全抵消的，因為二者產生在不同的時間里。所以結果仍舊有一定數值的電流通過天綫的交連綫圈 ef 。這個電流稱為總的結果電流。我們假定這個總的結果電流的流動方向是反時針方向。反之，電磁波來自左方，則總的結果電流為順時針方向，二者正好是相反的，但是它們的大小



環型天綫正視圖



環型天綫頂視圖

圖 1 (乙)

● 如果用公式來表示，就是

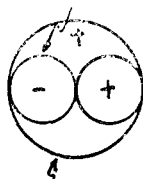
$$E = \frac{2\pi\epsilon N A}{\lambda} \cos\theta$$

上式 E 為環形天綫所發生的總的結果電壓， ϵ 為電場強度， N 為天綫的圈數， λ 為電磁波的波長， θ 為電磁波進行的方向跟環形天綫的平面所形成的角度。也就是說，當電磁波來的方向和環形天綫的平面互相垂直時 ($\theta=90^\circ$)，天綫所發生的電壓為零 (因 $\cos 90^\circ=0$)。如果電磁波來的方向和環形天綫的平面互相平行的話 ($\theta=0^\circ$)，那麼天綫所發生的電壓為最大 (因 $\cos 0^\circ=1$)。如果電磁波來的方向是介於 90° 及 0° 之間的話，那麼其產生的電壓就在零值和最大值之間。

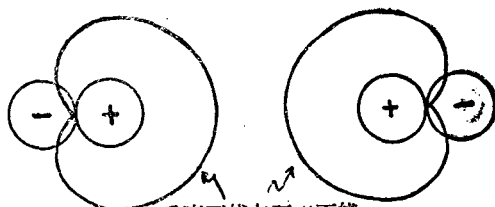
是同样的。这种情况相当于上述公式中的 $\theta=0^\circ$ 及 $\theta=180^\circ$ 时的情况一样。在另一种情况是电磁波既不来自环形天线的左方或右方而是来自前方或后方，方向跟环形天线的平面互相垂直。那么此时环形天线上的总的结果电流为零。在 ef 交连线圈上没有电流流过，在收音机的输出部分就听不到任何讯号。为什么在这种情况下其结果电流会等于零呢？因为从发射机到达 ab 及 cd 是一样远的，电磁波在 ab 及 cd 上所产生的电压 E_1 及 E_2 也是同时产生的， E_1 和 E_2 大小相等（因 ab 的长度等于 cd 的长度）方向相反，所以二者于环形天线内部所产生的电流的方向也相反，结果是沒有电流通过交连线圈 ef 。收音机沒有輸入，結果在輸出部分就听不到任何訊号了。

当电磁波来自环形天线的正右方或正左方时，在交连线圈上的电流保持着相反的方向，就很容易使我们判别电磁波的来向，就是发射台的方向。可是当电磁波来自正前方或正后方时，其总的结果电流为零，那么我们就可能去判别它究竟来自正前方或正后方了。为了解决这 180° 的迷点，我们說單用环形天线来进行定向是不行的。解决这个问题的方法，是将上述的垂直天线（無方向性的）和环形天线（有方向性的）互相結合使用，就可以解决这个困难。因为：当我们設法將垂直天线所产生的电压和环形天线所产生的电压二者互相混合起来，同时在垂直天线上接一个高电阻，使二者的电压的相位相差 90° （見圖 1（丁））。那么二者总的接收性能就和原有个别的接收性能完全不同，既不像垂直天线那样，沒有方向性；也不像环形天线有 8 字型那样的接收性能，而有了心臟形那样的接收性能，如圖 1（丙）所示。毫無問題的，它仍旧是有方向性的，可是它只有一个零点，并不像单独环形天线的 ∞ 字型中有两个零点。在定向时，手續是这样的。先用环形天线定出一个方向来（找出訊

环形天线的接收性能



垂直天线的接收性能



垂直天线与环形天线混合后总的接收性能

圖 1 (丙)

号最弱之点，叫做
哑点)，例如这个
哑点是在 0° 上
(当然在 180° 上也
有同样的一个哑
点)，然后将垂直
天线接上，根据心
臟形的圖形，这时
的 0° 就不再是哑
点了，因而听到了

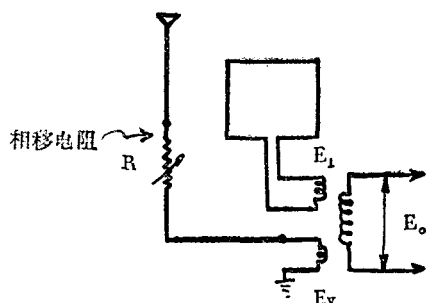


圖 1 (丁)

一定强度的信号。然后将方向盘的指针旋转(顺时针方向) 90°
(在方向盘上的 90° 处)看它是否得到一个新的哑点。如果是，那
么电台的方向就可以肯定其是在 0° 上。反之，新的零点不在方
向盘的 90° 上，而是在方向盘上的 270° 处(反时针方向旋转
 90°)。那么可以肯定：电台的方向不在 0° ，而是在其相反
的方向，即 180° 上。

用上述的方法来进行定向，一般叫做“耳听哑点”定向法，
它是最基本的定向方法。不论是利用长波、短波或超短波定向

仪，都可以使用这方法来定向。只要將收訊机的輸入部分接上环形天綫及垂直天綫；再把收訊机的輸出部分接上一付听筒，就形成了一套啞点的定向仪。

如果我們在上述的收訊机的輸出部分接上一个灵敏的电流表，再加上一些必要的附件，那么，我們就可以不用耳听的方法来寻找啞点，而是利用电流表来指示啞点的位置。这种办法叫做“目視法”。可以用在長波、短波或超短波定向仪上。用这两种方法在寻找啞点时，都必須用人手去旋轉方向盤上的指針，所以又叫做“人工定向仪”。为了便利飞行人員或定向員，人們又創造了“自动定向仪”。它的構造是复杂得多了。飞行員或定向員只要將机器开动之后，找到了目的地長波台的頻率(或波长)，它就可以自动的指示电台的方向，無須用試探的方法来決定上述 180° 的迷点，使用起来便利得多。可是，自动定向仪的工作原理脫离不了上述的垂直天綫和环形天綫的作用。

下面講述有关長波、短波以及超短波三种常用定向仪的一些問題和定向仪的实际結構內容。

2. 長波定向仪的工作原理和構造

从目前的一般使用情况來說，長波定向仪都裝設在飞机上或輪船上。地面上只須裝設一些長波發射台就行了。在定向时，長波發射台除了自动地發送出本台的代碼呼号外，同时还間斷地發出一些長划的訊号。所謂長划的訊号，就是發射机的电鍵不停地按下去，使發射机發出一个幅度相等的等幅波来。在收訊机里就听到一个“打”的訊号。定向員或飞行員就可以利用这个訊号来定向。由于每个長波發射台都能自动發出自己的代碼呼号，所以定向員不致找到錯誤的長波台。这种長波發射台不論是兼为定向用，或專为定向用，通常都叫做長波导航台。它的發射功率或簡称为發射电力，通常是 200 瓦到 1,000

瓦。所用頻率大約在200—400千赫(通常也叫做千周或千周波)。所發出的電磁波有一部分是直往天空發射出去，有一部分却沿着地球的表面前進。這種沿地球表面前進的電磁波，叫做“地面波”。使用的波長越長，地面波的前進的距離也就越長。長波定向儀所利用的電磁波，主要是地面波。

在目前飛機上所用的長波定向儀有兩種。一種是“人工定向儀”，採用“耳聽啞點”定向法和“目視法”(用電流表指示啞點的方法)。另外一種就是“自動定向儀”，它自然是屬於“目視法”的定向儀，方向盤上的指針可以自動的指示出電台的方向來。

圖2甲是“人工定向儀”中的“耳聽啞點”法的定向儀的構造原理圖。其構造分三大部分。第一部分包含垂直天線、環形天線及混合繞圈 cd ；第二部分為一靈敏度比較高的200—400千赫的收訊機；第三部分是一付平常的耳機(或者叫做听筒)。

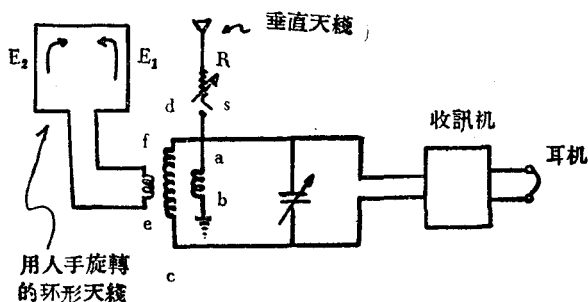


圖 2 (甲)

們知道環形天線的接收性能是有方向性的。所以當收訊機找到一指定的長波台的訊號之後，如果用人手轉動定向儀的方向盤的指針(它是和環形天線用機械的方法連接着)，那麼環形天線

也就轉動起來。如果旋轉一個 360° ，那麼根據環形天綫的接收性能，我們一定可以找出兩個啞點（彼此相差 180° ）和兩個最大點（訊號最強點）。如果我們將方向盤的指針停留在任何一個啞點上，這時環形天綫的交連綫圈 ef 里是沒有電流通過的，因為這時環形天綫的平面和電磁波的來向正好是互相垂直，所以環形天綫兩邊所發生的電壓 E_1 及 E_2 是大小相等、方向相反的，結果是外綫圈內沒有電流。由於 ef 綫圈內沒有電流，因此綫圈上不存在任何交變的磁力綫。所以混合綫圈 cd 上就不可能發生任何感應的電壓。這時收訊機的輸入等於零，耳機里也就聽不到任何訊號。找到了這個啞點之後，定向員或飛行員就將垂直天綫上的開關 s 接上。使垂直天綫所接收的電壓加到交連綫圈 ab 上。因此在 ad 綫圈內就有電流流過。由於這種電流是高頻電流，在單位時間內這種電流是不斷地變換方向和數值（即大小）的，因此 ab 綫圈上也就產生了一些交變的磁力綫。這種交變的磁力綫穿過（或者叫做交連）混合綫圈 cd 之後， cd 上即產生一交變電壓，經收訊機的放大之後耳機就聽到了一定強度的訊號。此時如果將環形天綫轉動 360° ，在耳機里聽到的不是兩個啞點和兩個最大點，而是一個啞點和一個最大點。也就是說由 ∞ 型的接收性能變為心臟形的接收性能。最後定向員旋轉方向盤的指針向右 90° 而後向左 90° （以原啞點為準），來觀察新的啞點是在右邊還是在左邊，以便決定電台的方向。

為了使啞點清楚和尖銳，就是不使啞點在方向盤上占的地位太寬，通常將環形天綫裝在一個銅管子內，它的上端是斷開而不連接的，同時在斷開處用絕緣體將它支住，並用絕緣布包緊，以免雨水或水氣的侵入，影響其工作的正常性。這個銅管子實際上是個金屬隔離罩，叫做靜電隔離罩，目的是使環形天綫的綫圈和大地取得平衡（綫圈和金屬罩的距離都是一定的），這

样在环形天綫本身和大地之間的电容量也就到处平均起来，所以流过 ef 交連綫圈的电流值亦就可以很正确地随着电磁波的来向和环形天綫的平面所成的角度的变化而变化（即随公式中的 $\cos\theta$ 的变化而变化）。这样可以使定出来的方向角比較正确，啞点就很清楚尖銳。

只靠这么一个静电隔离罩，往往不能得到完全清楚和尖銳的啞点，因为除了 ef 綫圈以外还有 ab 綫圈和 cd 綫圈存在。如果 ab 及 cd 綫圈的接綫能接收到外来的訊号，那么也可以造成啞点的模糊不清。因此这三个綫圈必須很好地放在一个金屬的隔离罩內，同时 ab 綫圈上还須加上一个平衡电容器。这个电容器的兩片靜片接在 ab 綫圈上的 a 点及 b 点上，可动片則通地。这样旋动动片时，就可以使 ab 綫圈上的外来杂乱訊号互相抵消，此时应設法使 b 点不通地。这个平衡电容器只是在使用环形天綫时（垂直天綫还没使用时）才接上。当垂直天綫接上使用时，就需要除去。这种利用啞点的定向方法使用起来比較麻煩，因为除了找啞点之外还須接上垂直天綫，同时还須轉动环形天綫向右 90° 再向左 90° 来决定电台的方向，消耗的时间比較多。

由于飞机或輪船的構造形狀不很規則，同时又都是由金屬構成的，所以对外来的电磁波往往有乱反射的作用，使得定向仪定出来的方向有差誤，种这差誤可以用校准曲綫来校正的。校准方法是：把一个小型的發射机放在离飞机500公尺左右远的地方，而后將飞机放在机場上，將机头对准这發射机的垂直發射天綫（利用測角器），这时真正的方向（真向）为零度。然后开动定向仪定出方向来。一般情况下，此时不可能在定向盤上指出零度来，因为环形天綫的平面不可能正好是跟飞机的中心綫互相垂直的。即使互相垂直，也由于不規則的机身的乱反射

而使零点偏移。找到了啞点之后，如果指針不在 0° 上，工作人員必須在环形天綫不动的情况下將方向盤的指針撥在 0° 上。此后就每 10° 每 10° 的轉动飞机的机身，每次記錄“真方向”和無線电定向仪所指示的方向。取得这两种讀数之后，就可以画出差誤曲綫来，在定向时，再根据差誤曲綫来修正。

現在我們来談一談“目視法”的人工定向仪。它的構造原理如圖 2 的(乙)、(丙)、(丁)三圖所示。輸入部分仍旧是一根垂直天綫和一个环形天綫。收訊机的輸出部分，有一个極其灵敏的

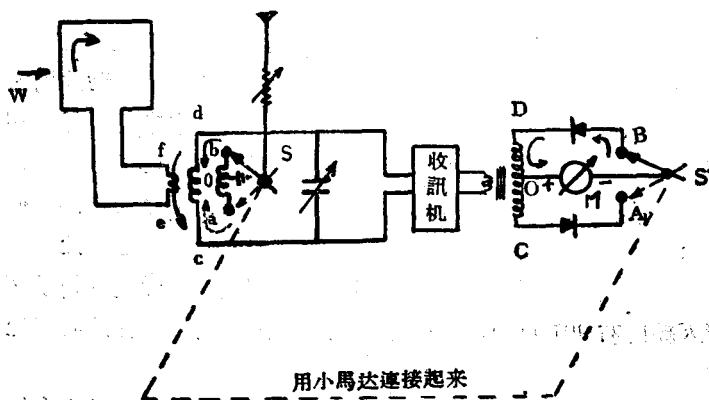


圖 2 (乙)

直流电流表 M 和两个氧化銅的整流器(把交流电变为直流电)和一个开关 S' 。这个开关 S' 和輸入部分的开关 S 是用小馬达来同时傳动的。現在假设电磁波是由 W 的方向傳來，那么环形天綫的交連繞圈 ef 上即有电流通过。在一个指定的短小时間里，假设由此电流所产生的磁力綫的方向如 ef 間的箭头所示。同时假设此时 s 开关是接在 ab 繞圈的 b 点上，結果使 sbo 电路上产生一电流。由此电流所产生的磁力綫的方向如其如箭头