

高等学校教学用书

雷达原理

A. Ф. 鲍果摩洛夫著

高等教育出版社

高等学校教学用书



雷 达 原 理

A. П. 鲍果摩洛夫著
徐 越 彦 等 译

高等教育出版社

本書系根据苏联“蘇維埃無線電”出版社(Издательство “Советское радио”) 1954年出版的 А. Ф. 鮑果摩洛夫(А. Ф. Богомолов)所著的“雷达原理”(Основы радиолокации)一書譯出。本書系統地講述了雷达工程的問題,例如:雷达机的戰術技術性能,測定距離和決定目標的各種方法,對目標的自動跟踪,雷达机中所用的脈冲电路及示波管,雷达机参数的選擇等。書中並引用了大量的例子和炮火瞄准雷达、空用雷达、探照灯雷达等所用的实际線路,以作为讀者的参考。本書可作为高等工業学校雷达系和電訊工程系有关課程的教学参考書,並可供从事雷达工程的工程师、技術員和軍事部門的有关人員作为参考書之用。

参加本書翻譯的有徐越彥、洪効訓、戴樹蓀、曲礼慧、鄭还等同志。在翻譯过程中,曾得到畢德顯教授的許多帮助。

雷 达 原 理

А. Ф. 鮑果摩洛夫著

徐越彥等譯

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 15010·95 諸本 850×1163 1/32 印張 10 7/16 插頁 1 字數 254,000

一九五六年九月上海第一版

一九五六年十二月上海第二次印刷

印數 8,001—12,000

定價(19) 1.60

目 錄

序

第一章 緒論	9
第二章 雷达的任务与雷达机的一般性能	13
1. 雷达的任务与雷达机的种类	13
2. 雷达机的性能	15
第三章 無線电定位法的基本概念	23
1. 目标的發現	23
2. 坐标的決定	24
第四章 無線电波的二次發射	28
1. 目标的有效面積	28
2. 最簡單的反射器	30
3. 曲面的反射	38
4. 羣集目标的反射	43
5. 分佈目标的反射	45
第五章 雷达机的作用距离	50
1. 基本的射程方程	50
2. 轉發系統的作用距离	56
3. 地面全景雷达的作用距离	57
4. 空用全景雷达的作用距离	62
第六章 無線电定位中电波傳播情况的特点	64
1. 在地面“平坦”的情况下無線电波的傳播	64
2. 地球曲率及正常折射的影响	69
3. 無線电波的超距离傳播(超折射)	73
4. 無線电波在对流層內的衰減	74

第七章 空間扫描的方法及設備	78
1. 扫描方法	78
2. 天綫-饋綫設備的特点	87
第八章 雷达中振盪的特点	94
1. 超高频三極管振盪器所受的限制	94
2. 磁控管振盪器	99
3. 雷达机的調制器	116
第九章 雷达中接收的特点	129
1. 接收的任务	129
2. 接收机輸入端上的噪声	130
3. 雷达接收机和接收电子管的特点	139
4. 臨閾信号, 信号的可见度	147
第十章 在干擾背景上發現运动目标的方法	154
1. 最簡單的發現运动目标的方法	155
2. 在米波和厘米波內相干脈冲裝置的原理电路	157
3. 干擾背景所反射的信号起伏	160
4. 抵消雷达机對於干擾背景的相对运动的方法	165
第十一章 用無線电的方法測定距离	167
1. 一般原理	167
2. 在連續發射下用調頻法測定距离(無線电高空測候器)	171
3. 在連續發射下用移动法測定距离(無線电測速器)	177
4. 在脈冲發射下測定距离, 由發射机同步的脈冲測距計	182
5. 由主控晶体振盪器同步的脈冲測距計	200
6. 自动測定距离	213
第十二章 脈冲电路中所用的电子繼电器	220
1. 电感回授繼电器(間歇振盪器)	223
2. 电容回授或直接回授繼电器(多諧振盪器)	234
3. 多柵管电子繼电器	247
第十三章 电子射綫管以及它在指示設備(指示器)中的应用	257
1. 电子射綫管的一般特性	257

2. 靜電式示波管.....	260
3. 磁式示波管.....	267
第十四章 用無線電工程的方法測定方向(角坐标).....	281
1. 用分集天綫測定方向.....	281
2. 用环狀天綫測定方向.....	283
3. 用測角系統測定方向.....	286
4. 能避免極化誤差的定向系統.....	287
5. 在非自動無線電羅盤中方向的測定.....	289
6. 在無線電羅盤中方向的測定.....	291
7. 干擾(噪声)对定向精確度的影响.....	293
8. 米波範圍內方向的測定.....	297
9. 米波範圍內考慮地面影响时方向的測定.....	301
10. 厘米波範圍內方向的測定。对角坐标的自动跟踪.....	304
第十五章 雷达机諸参数的选择.....	318
1. 波長的选择.....	318
2. 方向圖的选择.....	319
3. 脈冲重复頻率的选择.....	320
4. 脈冲寬度的选择.....	321
5. 雷达机参数选择举例.....	322
中俄文單位符号对照表.....	330
中俄技術名詞对照表.....	331

高等学校教学用书



雷 达 原 理

A. Φ. 鲍果摩洛哥夫著
徐 越 彦 等 译

高等教育出版社

本書系根据苏联“蘇維埃無線電”出版社(Издательство “Советское радио”) 1954年出版的 А. Ф. 鮑果摩洛夫(А. Ф. Богомолов)所著的“雷達原理”(Основы радиолокации)一書譯出。本書系統地講述了雷達工程的問題,例如:雷達机的戰術技術性能,測定距離和決定目標的各种方法,對目標的自動跟踪,雷達机中所用的脈冲电路及示波管,雷達机参数的選擇等。書中並引用了大量的例子和炮火瞄准雷達、空用雷達、探照灯雷達等所用的實際線路,以作為讀者的參考。本書可作為高等工業學校雷達系和電訊工程系有關課程的教學參考書,並可供從事雷達工程的工程師、技術員和軍事部門的有关人員作為參考書之用。

參加本書翻譯的有徐越彥、洪効訓、戴樹蓀、曲礼慧、鄭还等同志。在翻譯過程中,曾得到畢德顯教授的許多幫助。

雷 達 原 理

А. Ф. 鮑果摩洛夫著

徐越彥等譯

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 15010·95 諸本 850×1163 1/32 印張 10 7/16 插頁 1 字數 254,000

一九五六年九月上海第一版

一九五六年十二月上海第二次印刷

印數 8,001—12,000

定價(19) 1.60

目 錄

序

第一章 緒論	9
第二章 雷达的任务与雷达机的一般性能	13
1. 雷达的任务与雷达机的种类	13
2. 雷达机的性能	15
第三章 無線电定位法的基本概念	23
1. 目标的發現	23
2. 坐标的決定	24
第四章 無線电波的二次發射	28
1. 目标的有效面積	28
2. 最簡單的反射器	30
3. 曲面的反射	38
4. 羣集目标的反射	43
5. 分佈目标的反射	45
第五章 雷达机的作用距离	50
1. 基本的射程方程	50
2. 轉發系統的作用距离	56
3. 地面全景雷达的作用距离	57
4. 空用全景雷达的作用距离	62
第六章 無線电定位中电波傳播情况的特点	64
1. 在地面“平坦”的情况下無線电波的傳播	64
2. 地球曲率及正常折射的影响	69
3. 無線电波的超距离傳播(超折射)	73
4. 無線电波在对流層內的衰減	74

第七章 空間扫描的方法及設備	78
1. 扫描方法	78
2. 天綫-饋綫設備的特点	87
第八章 雷达中振盪器的特点	94
1. 超高频三極管振盪器所受的限制	94
2. 磁控管振盪器	99
3. 雷达机的調制器	116
第九章 雷达中接收的特点	129
1. 接收的任务	129
2. 接收机輸入端上的噪声	130
3. 雷达接收机和接收电子管的特点	139
4. 臨閾信号, 信号的可见度	147
第十章 在干擾背景上發現运动目标的方法	154
1. 最簡單的發現运动目标的方法	155
2. 在米波和厘米波內相干脈冲裝置的原理电路	157
3. 干擾背景所反射的信号起伏	160
4. 抵消雷达机對於干擾背景的相对运动的方法	165
第十一章 用無線电的方法測定距离	167
1. 一般原理	167
2. 在連續發射下用調頻法測定距离(無線电高空測候器)	171
3. 在連續發射下用移动法測定距离(無線电測速器)	177
4. 在脈冲發射下測定距离, 由發射机同步的脈冲測距計	182
5. 由主控晶体振盪器同步的脈冲測距計	200
6. 自动測定距离	213
第十二章 脈冲电路中所用的电子繼电器	220
1. 电感回授繼电器(間歇振盪器)	223
2. 电容回授或直接回授繼电器(多諧振盪器)	234
3. 多柵管电子繼电器	247
第十三章 电子射綫管以及它在指示設備(指示器)中的应用	257
1. 电子射綫管的一般特性	257

2. 靜電式示波管	260
3. 磁式示波管	267
第十四章 用無線電工程的方法測定方向(角坐标)	281
1. 用分集天綫測定方向	281
2. 用环狀天綫測定方向	283
3. 用測角系統測定方向	286
4. 能避免極化誤差的定向系統	287
5. 在非自动無線電羅盤中方向的測定	289
6. 在無線電羅盤中方向的測定	291
7. 干擾(噪声)对定向精確度的影响	293
8. 米波範圍內方向的測定	297
9. 米波範圍內考慮地面影响时方向的測定	301
10. 厘米波範圍內方向的測定。对角坐标的自动跟踪	304
第十五章 雷达机諸参数的选择	318
1. 波長的选择	318
2. 方向圖的选择	319
3. 脈冲重复頻率的选择	320
4. 脈冲寬度的选择	321
5. 雷达机参数选择举例	322
中俄文單位符号对照表	330
中俄技術名詞对照表	331



序

自从偉大的俄國學者亞歷山大·斯節潘諾維奇·波波夫 (Александр Степанович Попов) 發明無線電以後，無線電工程已經經歷了一個飛躍發展的時期，同時分出了許多具有獨立發展方向的分支。在無線電工程的应用中，最新的部門之一就是研究各種目標定位問題的雷達。

雷達在第二次世界大戰中得到廣泛应用，後來又為了和平目的而廣泛应用着（用於在任何能見度的情況下引導飛機和船艦、對它們進行觀察並指揮它們的運動，用於飛機的盲目着陸、氣象觀察和預測氣候、測量地形以及研究天文等等），這引起了工程師和技術人員對它的注意。在我們國家建設共產主義的時期中，這個新的技術部門將得到極廣泛的和平应用，以增強我們偉大祖國的威力。

雖然現在討論雷達工程中各個方面的書籍已經出版了不少，但是系統地敘述雷達基礎的書籍還是感到缺乏。出版這本書的目的就是想略為滿足對這類書籍的需要。

本書是根據作者在 1946 到 1953 年間講課時用的講義寫成的。

本書擬供從事研究雷達問題的高等工業學校學生、工程師和技術人員之用。

本書的前三章簡短地講述了我國（指蘇聯——譯者）學者在雷達發展初期所起的作用，雷達的应用、特性和工作方法。以後四章（第四到第七章）所討論的問題是雷達在掃瞄時發現目標的可能性，也就是無線電波的二次發射、射程方程、電波傳播的特點和掃瞄方法等問題。

在第八、第九、第十章中我們討論雷達信號的產生和接收的特點，包括相干脈沖工作法在內（第十章）。

第十一章到第十四章講述測量距離和角度坐標的方法；其中第十二和十三章討論雷達指示器特有的脈衝電路、示波管和掃描裝置。第十五章講述如何選擇雷達的諸參數。雖然在講述各種材料時我們是假定讀者已經熟悉了無線電工程的基本原理，但是在振盪、接收和電波傳播方面的個別問題上我們仍給以一定的注意。

Ю. Б. 科勃查烈夫(Ю. Б. Кобзарев)教授的意見和關心給了本書作者很大的幫助，作者謹對他表示深切的感謝。科學技術博士 А. А. 科洛索夫(А. А. Колосов)、副教授 Л. Ю. 布柳姆別爾格(Л. Ю. Блюмберг)、高級教員 Р. Р. 李施成(Р. Р. Лисицян)和技術科學候補博士 Л. П. 捷烈希娜(Л. П. Терехина)參與了本書出版的校閱工作並提出了寶貴的意見，作者也對他們致以深切的謝意。

作者衷心地認為有必要對 Н. К. 斯維斯多夫(Н. К. Свистов)編輯本書的工作表示感謝。

所有對於本書今後改進的意見和希望請寄出版社。

作者

第一章 緒論

雷达这名词按廣义來說是指無綫电工程的一部分,它研究如何發現並決定各种目标的位置(包括決定本身位置在內)。

“雷达”的俄文術語是‘Радиолокация’,其中 радио 是“無綫电”的意思, локация 發源希臘文 locus 一字,意思是“位置”,所以“雷达”又称为“無綫电定位”。

有时在这个大的無綫电工程的应用部門中还分出無綫电導航這個問題——利用無綫电技術的方法來引導飛機和船艦的問題。这时雷达这名词按狹义來說就指無綫电工程中研究無源目标定位問題的一个部門。但是值得注意的是,現在用來完成这种或那种定位任务(也就是目标定位或雷达本身的定位)的仪器往往是相同的。

無綫电能發現远处目标(船艦)的現象是由偉大的俄國学者無綫电發明家 А. С. 波波夫於 1897 年首先發現的。当波波夫在波罗的海試驗無綫电通信时,很明确地肯定了当“欧罗巴”(Европа)号和“阿非利加”(Африка)号兩艘軍艦之間有第三艘軍艦——巡洋艦“依林中尉”(Лейтенант Ильин)号——通过时,這兩艘軍艦間的通信就被断絕。这是歷史上第一次用無綫电技術的方法來發現船艦。更有意义的是,1897 年波波夫在喀琅施塔得港(Кронштадтский порт)司令部所作的报告中不僅指出了这个現象,而且还指出了船上的設備——桅桿、烟筒、纜索等对电磁波(工作在米波波段时)的影响,以及在实际上除了应用电磁波來通信以外,还可以用於隱蔽探测。關於探测的問題他这样說:“在灯塔中使用發射电磁波的設備,再加上光的或声音的信号,就可以使得灯塔在霧中和暴風雨的气候中也变成看得見的:探测电磁波的仪

器可以用音响來預告燈塔的接近，而音响之間的間隔可以用來辨別各種燈塔”。因此，波波夫清楚地了解到無線電的應用和發展的前途不僅僅是作為一種通信的工具，而且也是一種對目標進行隱蔽探測的工具。

從波波夫那時候起，由於成功地解決了一系列的問題——超高频（頻率高於 30 兆赫）電磁波傳播的研究、方向性尖銳的天線設備的製造、分米波與厘米波的振盪和接收、脈沖工程的發展、電子射綫儀器的製造以及自動控制設備的發展等，無線電技術和雷達得到了廣闊的發展。

蘇維埃學者在所有科學知識部門（其中也包括無線電技術部門）中的成就，首先要歸功於蘇聯共產黨和蘇聯政府的英明領導和經常關懷。我們祖國的學者和工程師們在和雷達（就其廣義來說）有關的各種無線電技術問題方面，不只一次地超出了外國專家的成就。

例如，М. В. 舒列金（М. В. Шулейкин）院士的功績就是非常重要的。他同時是無線電技術部門中的大科學家和教育家。М. В. 舒列金首先研究出考慮電離層影響時電波傳播的理論，提出了在長波（在平坦地面的情況下）和短波時決定場強的計算式，創立了無線電網的理論（包括定向發射問題），得出了真空管振盪器和放大器實用的計算式。

用 3.8 米的波長來發射無線電報（用品體檢波器來接收）的第一次實驗是由 В. А. 吳維琴斯基（В. А. Введенский）和 А. И. 達尼列夫斯基（А. И. Данилевский）在 1922 年舉行的。在這次實驗中曾經發現處於發射機和接收機之間的物體的反射對於接收的強度有着顯著的影響。1928 年 В. А. 吳維琴斯基首先得出了在視綫範圍內考慮地面影響時決定超高频電磁波場強的公式。同樣也是他在 1935 到 1937 年間得出了第一個對於超高频電磁波有用的繞射公式（考慮到大地電導率的有限值）。

В. А. 福克（В. А. Фок）給出了無線電波繞射傳播的最完整的理論，

他的這種理論工作得到了舉世的公認。

下列蘇聯學者——院士 Л. И. 芒傑勒士塔姆 (Л. И. Мандельштам)、Н. Д. 帕帕列克西 (Н. Д. Папалекси)、Е. Я. 什戈列夫 (Е. Я. Щеголев) 等人的研究工作在無線電波傳播方面有着重大的貢獻，並且提出了用干涉的方法來測量距離。

1936 年蘇聯工程師 Н. Ф. 阿列克謝也夫 (Н. Ф. Алексеев) 和 Д. Е. 馬略羅夫 (Д. Е. Маляров) 在世界上首先製造出多腔磁控管，這種磁控管是現在雷達機中振盪器的主要型式。

厘米波三極管；也就是超高頻電子管（應用旁熱式敷氧化物陰極，引線電感和柵陰極間距離很小），是蘇聯的 Н. Д. 傑甫雅特科夫 (Н. Д. Девятков) 和 Е. Н. 達尼勒采夫 (Е. Н. Данильцев)、М. Д. 顧烈維奇 (М. Д. Гуревич)、В. К. 霍赫洛夫 (В. К. Хохлов) 等人一起在 1938 到 1939 年間首先研究成功的。

雷達接收機中廣泛地用作本机振盪器、並在測量儀器中用作小功率高頻振盪電源的現代回復式速調管是由 В. Ф. 柯伐梁科 (В. Ф. Коваленко) 在 1940 年提出並且由 В. И. 卡里寧 (В. И. Калинин) 在 1940 到 1941 年間制出的。導向速調管產生的主要觀念的發展也不可避免地要牽涉到蘇聯學者的名字。例如 Д. А. 羅讓斯基 (Д. А. Рожанский) 教授在 1932 年提出了電子聚束的原理，А. 阿爾先也夫 (А. Арсеньев) 於 1935 年在自己的著作中給予這原理以理論上的證明。

在電子射線管（書中簡稱為示波管——譯者）上接收圖形的方法是俄國學者 Б. А. 羅辛格 (Б. А. Розинг) 教授在 1901 年首先提出的。

А. И. 別爾格 (А. И. Берг)、Ю. Б. 科勃查烈夫、А. Н. 舒庚 (А. Н. Шукин) 以及其他蘇聯學者和工程師們的工作有着巨大的價值。在 1941 年 Ю. Б. 科勃查烈夫、П. А. 坡果烈耳科 (П. А. Погорелко) 和 Н. Я. 切爾涅卓夫 (Н. Я. Чернецов) 三人曾因“發明探測飛機的儀器”而榮獲斯大林獎金。在無線電接收的理論方面必須指出 В. А. 科捷勒尼科