

Rádiolokácia

Toto slovo je zložené z dvoch latinských slov „radius – locus“, pričom prvé označuje význam slova lúč a druhé miesto. Z toho vyplýva, že rádiolokácia je súhrn prostriedkov a metód k vysielaniu a príjmu rádiových vln s cieľom nájsť a určiť polohu rôznych objektov. Princíp rádiolokácie je založený na odraze rádiových vln od objektov stojacich v ich ceste. V roku 1886 až 1888 nemecký fyzik Heinrich Hertz robil sériu experimentov, ktoré mali preukázať alebo vyvrátiť Maxwellovú teóriu o elektromagnetických vlnách. V jeho experimentoch sa zistilo, že tieto vlny sa prenášajú prostredníctvom rôznych typov materiálov, a tiež sa odráža od kovových povrchov v laboratóriu. Povaha týchto vln sa podobá viditeľnému svetlu, lebo sa lámu, a môžu byť polarizované. V sovietskej tlači sa uvádza, že Alexander Stepanovič Popov v roku 1897 pri pokusoch rádiových spojeniach na lodiach Baltického loďstva, zistil, že sa spojenie prerušilo, keď sa medzi loďami objavila tretia loď. Popov si tohto javu všimol a konštatoval, že to svedčí o odraze vln.

Guglielmo Marconi si všimol, že rádiové vlny sa odrážajú späť do objektov vysielateľa a 3. marca 1899 o tom urobil písomný záznam a poukázal na možnosť užitočnosti takéhoto systému medzi spojením majákov, aby mohli lode v hmle zachytiť nebezpečenstvo v okolí pobrežia.

V roku 1904 Christian Hülsmeier verejne demonštroval v Nemecku a Holandsku použitie rádiových vln pri odraze na odhalenie lode za hmlistého počasia, aby nedošlo ku kolíziám medzi loďami.

Christian Hülsmeier (25. 12. 1881 – 31. 1. 1957) bol nemeckým vynálezcom, fyzikom a podnikateľom. Jeho patentované zariadenie „telemobiloskop“, nemohol priamo merať vzdialenosť od cieľa, a preto sa nemôže počítať za radarové zariadenie, ale bol to prvé patentované zariadenie na detekciu prítomnosti vzdialených objektov pomocou rádiových vln. Po ukončení miestnej školy, ktorú navštevoval v Donstorf. Učiteľ rozpoznať jeho schopnosti a pomohol mu získať miesto v Lehrerseminare v Brémach. V škole sa zaujímal najmä o fyziku a po vyučovacích hodinách praktizoval fyziku v laboratóriu. V júli 1900 opustil vysokú školu bez ukončenia štúdiá a získal prácu ako elektrotechnik v továrni Siemens & Halske v Brémach. Tam sa naučil, ako sa koncepty zariadení zmenili na konvenčné využitie. V apríli 1902 odišiel zo zamestnania, aby žil so svojím bratom Wilhelmom v Düsseldorfe a presadil svoje nápady na výrobu elektrických a optických výrobkov. Jeho brat ho spočiatku financoval pri zakladaní obchodu, na predaj záznamníkov telefónnych hovorov, elektrický systém na otáčanie nákladného vozidla, bezdrôtové zariadenie a vzdialené odpaľovanie výbušnín. Pri vývoji bezdrôtového zariadenia si prečítal objav Heinricha Hertza, že elektromagnetické vlny sa odrážali od kovových povrchov. Potom sa zamerlal na použitie rádiových vln na zabránení kolízií medzi loďami. Dňa 21. 11. 1903 si podal prihlášku na patent pod názvom „Telemobiloskop“ a požiadal o finančnú podporu.





Prvá patentová prihláška bola zamietnutá, ale po určitých zmenách bola prijatá 30. 4. 1904, pod označením DE 165546. Článok o systéme bol publikovaný v britskom technickom časopise. Na obrázku je vidieť prijímaciu časť systému. Telemobiloskop sa skladal z iskrového vysielača s krátkymi prestávkami pripojený k dipólovým anténam a prijímača s cylindrovou parabolickou anténou, ktorá sa mohla otáčať okolo svojej osi pod uhlom 360° . Zatiaľ, čo vysielač mal široké pokrytie, prijímacia anténa bola úzko zameraná. Keď odrazený signál zachytil prijímač, bolo aktivované relé a zazvonil elektrický zvonček. Zariadenie bolo určené na upozornenie prítomnosti kovového telesa, ako sú lode alebo vlak.

Systém obsahoval mechanizmus synchronizujúci smer smerovania antény s kompasovým indikátorom a tiež obsahovalo prostriedok obmedzujúci falošné signály. Hoci Telemobiloskop nemohol priamo indikovať vzdialenosť prijatého signálu, bol mu udelený samostatný patent DE 169154, dňa 2. 4. 1906, s použitím dvoch vertikálnych meraní a trigonometrie na výpočet približnej vzdialenosti.

Prvá verejná demonštrácia Telemobiloskopu bola na nádvorí hotela v Kolíne 17. 5. 1904. Kovová brána na nádvorí bola cieľom a prenosová cesta bola zakrytá závesom, aby prístroj pracoval i keď cieľ nie je vidieť. Toto predvedenie bolo publikované v novinách, kde bol uvedený podrobný opis fungovania zariadenia.

V júni 1904 sa v Scheveningene v Holandsku konala konferencia veľkých lodných firiem a bezpečnosť bola hlavnou témou. Demonštrácia zariadenia sa uskutočnila 9. júna počas prehliadky prístavu v Rotterdame na palube lode Columbus. Skúška, hoci v obmedzenom rozsahu a s nedokončeným prístrojom dokázala, že princíp vynálezu je správny. Zakaždým, keď plavidlo prešlo v určitej vzdialenosti, zariadenie okamžite zareagovalo.

Vyrábanie zariadenia a jeho predvádzanie vyčerpali finančné prostriedky, a tak 12. 8. 1904 boli práva na systém predané obchodnej spoločnosti ZH Gumpel daselbst z Hannoveru.

Hülsmeier v roku 1906 založil sieť na dodávanie žiaroviek. V roku 1907 založil spoločnosť Kessel – und Apparatebau Christian Hülsmeier (Kotolne a prístrojové zariadenie) v Düsseldorfe a stavala i parné a vodné prístroje pre vysoký tlak. Spoločnosť bola v prevádzke do roku 1953. S manželkou Luisou mali spolu šesť detí. Po smrti 31. 1. 1957 v Ahrweileri bol pochovaný na severnom cintoríne v Düsseldorfe.

Medzičasom pribudli vysielačie triódy rakúskeho vynálezcu a podnikateľa Roberta von Liebena, ako prvé prakticky používané vo vysielačoch so zosilnením 3 až 4 krát a životnosťou asi 400 hodín. Trióda mala výšku 220 mm a šírku 85 až 105 mm. Vylepšená trióda s výškou 315 mm so životnosťou 1000 hodín sa vyznačovala tridsať násobným zosilnením signálu.

Liebenové patenty zásadne ovplyvnili činnosť spoločnosti AEG – Kabelwerk Oberspree, Siemens & Halske AG, Telefunken Gfd – TmbH a Felten & Guillaume a ďalšími nadnárodnými spoločnosťami s napojením na americkú spoločnosť General Electric cez francúzsku spoločnosť Alstom s pobočkou Křižík – Chaudoir a plzenskej Škodovky i ČKD. Vysokofrekvenčná elektrotechnika spočiatku nemala veľkú dôveru a narážala na nepochopenie, predsudky a nerozum ľudí, ktorí rozhodovali o financovaní výskumu a výrobe takýchto zariadení. Goethelf Leimbach a Heinrich Löwy navrhli bistatický RL k prieskumu vodných zdrojov a geologických vrstiev s prihláškou na patent z 15. 6. 1910 pod označením DRP 237944. Ohlas bol takmer nulový, pričom v súčasnosti sa táto technológia bežne používa pod názvom „Borehole radar“. Prepracovaný koncept ponúkal možnosť zisťovať lietajúce predmety, ktorý si dal Löwy patentovať 13. 4. 1911, pod označením DRP 254517, ale opäť bez žiadneho záujmu.



Na obrázku je vidieť akustické zariadenie na zachytenie zvuku lietadiel z roku 1921.

Za prvej svetovej vojny nastal v tomto smere posun, najmä v oblasti rádiového spojenia. V tej dobe boli už vysielacie elektrónky pre dlhé vlny konštrukčne upravené pre požadované výkony do záťaže. Veľká Británia a Nemecko využili radiogoniometriu k leteckej navigácii. Zjavili sa i prvé rádiolokácie ako protiopatrenie. K zachyteniu lietajúcich objektov vznikli rôzne odpočúvacie zariadenia rôznych tvarov a svetlomety s priemerom do dvoch metrov, ktoré osvetlili oblohu do vzdialenosti šesť kilometrov. V priebehu vojny Hans Dominik s pomocou profesora Rapse z Wernerwerks, rozpracoval prototyp rádiolokátor, ktorý pracoval na vlnovej dĺžke λ 10 cm pri frekvencii 3 GHz vo februári 1916 s dokumentáciou tohto nadčasového zariadenia, ale u Reichsmarineam neuspel. O niečo neskoršie navrhoval Nikola Tesla niečo podobné prezidentovi USA Woodrow Wilsonovi a taktiež neuspel, lebo nebol za dobré s predstaviteľmi armády.

Oscilátor generátor E. F. Hutha a L. Kühna bol námetom patentovej prihlášky DRP 387055 z 2. novembra 1917 a zároveň predzvesťou nového spôsobu generovania vysokofrekvenčnej energie.

Albert Wallace Hull (19. 4. 1880 – 22. 1. 1966) bol americký fyzik a elektrotechnik, ktorý prispel k vývoju elektrónok a vynášiel magnetrón.

Narodil sa v Southingto v Connecticut. Študoval fyziku na univerzite v Yale. V roku 1914 sa zamestnal v General Electric Research Laboratory (GERL) v Schenectady v New Yorku.

Na obrázku je jeho model magnetrónu z roku 1925. V roku 1916 začal skúmať magnetické ovládanie elektrónok ako alternatívy k mriežke alebo elektrostatickému riadeniu a úspešne testoval magnetické ovládanie aplikáciou magnetického poľa rovnobežného s osou trubice. Spočiatku Hullová práca na týchto nových elektronických



trubicami bola súčasťou úsilia spoločnosti General Electric vyvinúť zosilňovače a oscilátory, ktoré by mohli byť použité na obchádzanie patentov Lee de Foresta a Edwin Armstronga. V roku 1928 bol Hull povýšený za asistenta riaditeľa GERL.

Vynášiel dynatronovú vákuovú trubicu, ktorá mala tri elektródy: katódu, perforovanú anódu a doplnkovú anódu. Pri bežnej prevádzke bola doplnková anóda udržiavaná na nižšom katódovom napätí ako perforovaná anóda. Emisie sekundárnych elektrónov z dosky robil dynatron, ktorý sa choval ako skutočný negatívny odpor, a tak elektrónka môže vytvárať oscilácie v širokom rozsahu frekvencie, alebo byť použitý ako zosilňovač. Keď bola medzi katódu a perforovanú anódu pridaná riadiaca mriežka, zariadenie bolo nazývané ako „pliodynatron“. V roku 1920 jeho výskum viedol k jeho vynájdeniu magnetrónu. Toto malo formu centrálnej katódy a koaxiálnej valcovej anódy rozdelenej na dve polovice s axiálnym magnetickým poľom vytvoreným vonkajšou cievkou. Magnetrón Hull testoval ako zosilňovač v rádiových prijímačoch a tiež ako nízkofrekvenčný oscilátor. V roku 1925 bolo hlásené, že magnetrón vyrobený v GERL by mohol generovať výkon 15 kW pri frekvencii 20 kHz. V čase, keď Hull predpokladal, že magnetrón bude viac využívať ako konvertor energie, než v komunikačných zariadeniach. Magnetrón, ktorý skonštruoval Hull nebol schopný generovať vysoké frekvencie s vysokým výkonom a bol málo používaný.

Na jeseň v roku 1922 Albert Hoyt Taylor a Leo Crawford Young dospeli k rovnakému zisteniu ako Hülsmeier, keď vykonávali komunikačné experimenty, tak si všimli, že drevená loď na rieke Potomac zasahovala do ich signálov a znížila výkon signálu. Takto v skutočnosti demonštrovali detektor rušivých vln (CW). Taylor o tom informoval vyššie orgány ako potenciálnu metódu detekcie zasahujúcich lodí, ale žiadne ďalšie testy neboli povolené. V nasledujúcom roku bola založené americké námorné výskumné laboratórium NRL a Taylor sa stal vedúcim divízie rozhlasu. Na začiatku 30. rokov vznikla myšlienka pulzovania vysielateľa na detekciu a meranie rozsahu, ako to robili nemeckí a anglickí vedci.

K objavom Hulla, Habanna, Barkhausena a Kurza je potrebné pripočítať aj českého vedca Augustina Žáčka (13. 1. 1886 – 28. 10. 1961) rodáka z Dobešic blízko Protivína. Po maturite v Českých Budejoviciach študoval fyziku na Filozofickej fakulte Univerzity Komenského v Prahe, kde ho usmernili najmä profesor F. Koláček a B. Kučera. Ešte pred I. sv. vojnou študoval elektronické oscilácie v Göttingene u profesora Simona. Žáček sa rozhodol študovať netlmené kmity s elektrickým zosilňovačom. Po štúdiom pobyte vo švédskom Lunde odvodil vzorce pre vlnovú dĺžku $\lambda = 10$ až 30 cm, čo zodpovedá frekvencii 3 až 1 GHz.



Na obrázku je dióda upravená na generovanie mikrovln z roku 1924.

V časopise „Časopis pre pestovanie matematiky a fyziky uviedol v ročníku LIII predbežnú správu pod názvom „Nová metóda k vytvoreniu netlmených oscilácií“ 2. mája 1924. Najkratšiu vlnovú dĺžku, ktorú dosiahol za daných možností bola 29 cm a to pri napätí na anóde 300 V. V období medzi rokom 1925 až 1930 rozpracoval tri typy magnetrónov a zaujal aj niektorých študentov pre tento smer.

Magnetron je špeciálna elektrónka, slúžiaca ako generátor mikrovlnného žiarenia konštruovaná na veľký výkon a účinnosť. Prvé historické magnetrony sa skladali zo silného podkovitého magnetu, medzi ktorého pólmí je umiestnená dióda s vláknom katódy natiahnutým vo smere magnetických siločiar a valcovou anódou rovnobežne okolo nej. Napätie medzi katódou a anódou bolo zvolené tak, aby sa dráha elektrónov tesne pred dopadom na anódu zmenila na kruhovú. K dopadu elektrónov na anódu je potom treba dostatočne silný signál, ktorý dodával vonkajší obvod. Toho sa dosiahlo pozdĺžne rozdelenou anódou (na izolované sekcie), ktorých časti boli pripojené k vonkajšiemu rezonančnému LC obvodu. V 40. rokoch sa podarilo nahradiť vonkajší obvod dutinovými rezonátormi priamo v telese anódy.

Základ súčasného magnetronu tvorí veľmi silný permanentný magnet v tvare prstenca. Týmto magnetickým prstencom je obklopená elektrónka s rezonančnými komorami, vo vnútri ktorej je z jednej strany žeraviaca katóda a z druhej strany vlnovod, ktorý prenáša mikrovlnné žiarenie priamo v telese anódy.

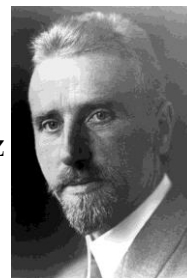
Na katódu je privedené žeraviace napätie vo veľkosti okolo 3 V a na anódu magnetronu sa privádza napätie vo veľkosti 2100 až 3200 voltov. Ďalšími dôležitými súčiastkami, bez ktorých by magnetron nebol schopný funkcie sú: vysokonapäťová dióda, vysokonapäťový kondenzátor a vysokonapäťový transformátor. Magnetron dosahuje pomerne vysokú účinnosť okolo 65 %, ale frekvencia generovaných kmitov však nie je príliš presná. Pre generovanie kmitov s väčšou presnosťou sa používajú klystrony, ale ich účinnosť je však iba polovičná.

Heinrich Löwy získal patent pod označením DE 403939 z 3. 7. 1923, pod názvom „Funkmeßgerät“, čo v nemeckom odbornom názve značí rádiolokácia. Tento kmitočtovo modulovaný rádiolokačný výškomer neskôr prihlásila i spoločnosť AEG 7. 8. 1929 a

rovnaký patent bol uznaný taktiež spoločnosti General Electric. Rádiolokačné výškomery slúžili k presnému meraniu relatívnej výšky lietadla nad terénom. Využívali ich vo vybavení v lietadlách v USA a v Nemecku pre lety v noci a sťažených podmienok.

Do konca 20. rokov sa podarilo uzatvoriť jednu veľkú kapitolu operačných princípov rádiových prijímačov a vysielačov, vyvinuli sa spoľahlivé oscilátory, modulátory, zosilňovače, usmerňovače a superhety s dobrou citlivosťou, selektivitou a spoľahlivosťou. Rádiolokačné zariadenia využívali rovnaký systém, iba sa presunuli do vyšších frekvencií s problematikou vysokofrekvenčných zosilňovačov, synchronizačných blokov, obrazovkových indikátorov, zmiešavačov, koaxiálnych káblov a komplikovanejších anténnych prvkov.

V roku 1930 francúzska firma TMC ponúkala kvalitnú vysielačnú triódu pre vlnovú dĺžku 17,5 cm, ktorú s nadšením prijali v Bell Telegraph Laboratory, Anglicku, SSSR a v iných krajinách sveta. Profesor Heinrich Barkhausen na obrázku uviedol tzv. „kladivovú“ reflexnú triódu s frekvenciou 0,3 až 6,4 GHz s počiatočným výkonom 5 kW a stala sa veľmi úspešná pred príchodom dvojokruhového klystronu. V roku 1932 túto elektrónku vylepšil Kühl pre sériovú výrobu v Telefunken pod označením RS 926 a čoskoro bola vyrábaná v RCA pod označením RCA 8012 alebo inou firmou Eimac VT 127.



Dr. Hans Erich Hollmann vybavil svoj prvý funkčný decimetrový vysielač i prijímač práve reflexnou triódou a vyskúšal impulzy v dĺžke mikrosekúnd a v roku 1929 anticipoval operačný princíp klystronu a reflexného klystronu s jedným rezonátorom, ku ktorému o šesť rokov neskoršie dospel Oskar Ernst Heil (1908 – 1994) so svojou o sedem rokov mladšou vedeckou kolegyňou a manželkou Agnesou Arseňevou. Spolu spisali prácu pod názvom „On a new method for producing short, undamped electromagnetic waves of high intensity“, ktorý po vytláčení v Zeitschrift für Physik 95 z roku 1935 obehlo celý svet a spolu s Hollmannovým príspevkom „Physik und Technik der ultrakurzen Wellen, Vol. 1. a Vol. 2.,“ ktorý vyšiel v roku 1936 u Springera v Berlíne, zaznamenali míľnik a odrazový mostík k ďalšiemu bádaniu na poli mikrovlnnej techniky.

Chester W. Rice sa zaoberal magnetrónmami a klystrónmi, s vodou chladených magnetrónov s vlnovou dĺžkou 4,8 cm pri frekvencii 18 GHz a dosahoval výkon 3 W, neskoršie 10 W. Jeho prínos v oblasti klystronov je z 26. 1. 1937.

Hans Awender na dvoch stranách mesačníku FTM/Funk technische Monatshefte Heft 11/ 1937 rozpísal svoje pokusy s magnetrónom s ktorým dosiahol vlnovú dĺžku 5 cm až 6 mm. Až potom mal Sigurd, jeden z dvojice bratov Varian, bývalý pilot spoločnosti PAA polnočný sen o zhľuku aut rútiacich sa diaľnicou nerovnakou rýchlosťou, ktorý si zaznamenal a za čerstva ponáhlal za bratom. Russel Varian, vynikajúci fyzik na Stanford University, z vidiny svojho brata vytiahol maximum. Na obrázku sú s ich klystronom.



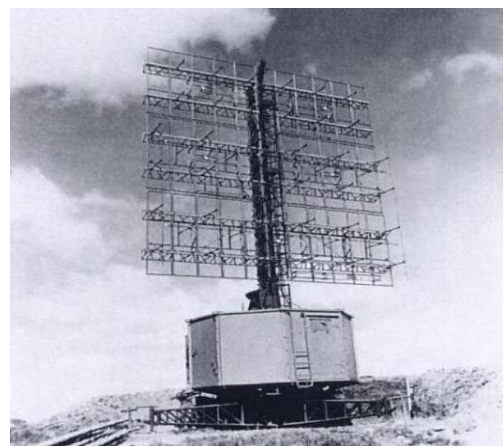
Do svojej inšpiračnej predstavy zatiahol aj profesora Williama Webster Hansena a požičal si jeho pokusný rumbatron a 19. 8. 1937 sa mohol pochváliť vydarenou a funkčnou elektrónkou, ktorej dal meno „Klyzo“ grécke slovo s významom morskej vlny, ktorá sa vrhá na breh.

V SSSR 3. januára 1934 V. Korovin začal oživovať bistatický rádiolokátor, ktorý pracoval s vlnovou dĺžkou 50 až 60 cm, obsahoval super regeneračný prijímač a dve parabolické antény. Hneď na prvý pokus zachytil zo vzdialenosti 800 metrov letiaci hydroplán vo výške asi 100 metrov. Behom troch rokov vylepšil zariadenie tak, že zachytil ciele na vzdialenosť 11 km, ale vývoj rádiolokačného zariadenia bol náhle ukončený, bez udania dôvodu.

V nemeckom Kielu vo výskumnom ústave TVA (Torpedoversuchanstalt), fyzik Dr. Rudolf Kühnhold vyvíjal akustické sonary, na ktorý má aj patent DE 463076 z 31. 3. 1927. Na prelome rokov 1931 a 1932 podobné princípy preniesol na elektromagnetické vlny. Začiatky nepriniesli očakávané výsledky, lebo takéto veľmi krátke vlny nikto k ničomu nepoužíval a vysielacie ani prijímače VKV neexistovali. Na jeho šťastie firma Pintsch vyvinula pokusný prijímač a vysielateľ na vlnovú dĺžku 13,5 cm pre školské predvádzanie šírenia elektromagnetických vln. Kühnhold zariadenie kúpil a skúšal, či sa mu podarí prijímať odrazený signál od lodi v prístavu Kiel. Vysielateľ mal výkon iba 0,1 W, a tak sa pokus nevydaril. V roku 1934 firma Philips oznámila, že vyvinula magnetrón schopný produkovať až 70 W na vlnovej dĺžke 48 cm. Dňa 20. 3. 1934 opäť zostavil svoje zariadenie nad prístavom, ale pokus sa opäť nevydaril. Teraz preto, že silným signálom bol prijímač zahltený. Po premiestnení a odrušení antény sa mu konečne podarilo zachytiť odraz od parníku zo vzdialenosti asi 2 km. Používal parabolické antény o priemere 2,5 m a nemodulovaný signál. Po tomto úspechu v laboratóriu postavil nový prijímač (superhet) a 12. septembra 1934 s ním dokázal zamerať lode do vzdialenosti 7 km a neskôršie do 12 km. Pri testovaní náhodou preletelo lúčom lietadlo vzdialené asi 700 m a bolo rovnako zachytené.

Úspech bol veľký a náčelník námorníctva admirál Raedera dal firme GEMA 70 tisíc mariek na vývoj troch aparátov pre nasadenie na vojnových lodiach. GEMA vznikla ešte pred úspešným predvedením a založil ju Kühnhold k výrobe sonarov. Pretože sonary používali impulzy, skúsili impulznú moduláciu na svojich rádio detektoroch a od roku 1935 boli všetky nemecké DT (Dezimeter – Telegraphie) impulznými rádiolokátormi.

S novým prototypom už 8. februára 1935 zachytili odraz od lietadla vzdialeného až 12 km. Vysielateľ pracoval na vlnovej dĺžke 52 cm s impulzy 2 μ s a prijímač mal na vstupe triódu RCA 955. Medzi frekvencia superhetu bola 7 MHz a šírka pásma 200 kHz. Nemecké systémy používali matracové antény s vertikálnymi dipólmi a sieťovým reflektorom. Všetko bolo namontované na otočnej kabíne s vysielateľom a prijímačom a obsluha sledovala odrazy na osciloskopu. Koncom roka 1935 vyvinula GEMA vlastný magnetrónový generátor, ktorý dodával výkon 1,5 kW



na vlnovej dĺžke 52 cm. Prijímač bol zdokonalený na dvojité zmiešavanie a displej bol ciachovaný do 20 km. Nový systém bol Raederovi predvedený 26. 9. 1935 a dokázal zamerať lode do 7,5 až 8 km s uhlovou presnosťou 0.1° . Od roku 1936 sa všetko prísne tajilo a v prevádzke mali iba tri rádiolokačné zariadenia. Pri ďalšom vývoji prešli na vlnovú dĺžku 2,5 m, na ktorej vysielacie triódy dodávali výkon 15 kW a na vlnovej dĺžke 1,8 m výkon 7 kW.

V marci 1936 dokázali zachytiť odraz od lietadla vo vzdialenosti 15 km. Na vlnovej dĺžke 1,8 m používali impulzy v dĺžke 1 μ s a displej bol rozšírený na vzdialenosť 60 km. Takto vznikla Freya – DT 2, pozorovací rádiolokátor. GEMA vyrábala rádiolokačné zariadenie Freya a neskôršie Wassermann pre armádu.

Rudolf Kühnhold (27. 8. 1903 – 1992) bol experimentálnym fyzikom, ktorému sa darilo iniciovať výskum, ktorý v Nemecku viedol k rádiovému zameriavaciemu zariadeniu „funkmessgerät“, neskôršie známy pod skratkou radar.

Rodina bývala v Schwalungen v okrese Meiningen v Durínsku. Vyštudoval fyziku na univerzite v Göttingene. Po získaní Ph. D. z fyziky v roku 1928 bol vo funkcii v Nachrichtenmittel – Versuchsanstalt (NVA – Navy Transmission Laboratory) Kriegsmarine v Kielu, nemecké námorníctvo. Tam pracoval na výskume akustických zariadení, konkrétne na sonare s cieľom zlepšiť presnosť detekcie plavidiel pomocou signálov pod vodnou hladinou. Hoci jeho úsilie viedlo k patentu a v roku 1931 bol povýšený na vedeckého riaditeľa NVA, stále bol presvedčený, že požadovaná presnosť by bola dosiahnutá použitím elektromagnetických a nie akustických zariadení.

Kühnhold správne predpokladal, že iba veľmi úzky lúč môže vyriešiť problém s viacerými cieľmi. V roku 1933 získal vysielacie a prijímacie zariadenie pracujúce na vlnovej dĺžke 13,5 cm s frekvenciou 2,22 GHz a obe zariadenia používali elektrónky Barkhausen – Kurz. Odrazový cieľ bol nastavený na vzdialenosť 2 km. Vysielač produkoval výkon iba 0,1 W, čo bolo príliš málo na 4 km dráhu a experiment sa nepodaril.

Pre ďalšie pokusy sa Kühnhold na Paul – Gunther Erbsloh a Hans – Karl von Willisen, amatérov rádiových operátorov, ktorí začali s projektom na vlnách VKV pre bezpečnú komunikáciu. V januári 1934 vytvorili Erbsloh a von Willisen s podporou spoločnosti Kühnhold novej spoločnosti „Gesellschaft für Electroakustische und Mechanische Apparate“. Od začiatku sa táto firma vždy nazývala jednoducho GEMA.

Zakúpili magnetrón Philips Research Laboratory v Holandsku s výkonom 70 W, ktorý pracoval na frekvencii 600 MHz na vlnovej dĺžke 50 cm. K vývoju bol pozvaný Hans E. Hollmann a Jacob Theodor J. Schultes, z prestížneho inštitútu Heinrich Hertz z Berlína s regeneračným prijímačom a anténou Yagi. V júni 1934 boli veľké lode prechádzajúce prístavom Kiel detekované dopplerovským rušením vo vzdialenosti asi 2 km. Zariadenie malo slabú spoľahlivosť detekcie kvôli frekvenčnej nestabilite magnetrónu.

Kühnhold úzko spolupracoval s GEMA a viedol ich pokusy na zlepšenie systému kontinuálnych vln, ale pritom si zachoval svoju pozíciu v NVA. V októbri 1934 zachytili silné impulzy z letiaceho lietadla, ktoré náhodou preletelo smerom vysielacieho signálu. V tom čase bol dobre známy úspech mnohých výskumníkov pri používaní impulzného prenosu na meranie výšky ionosféry. Taktiež podvodná akustická detekcia využívala impulzný prenos. Kühnhold a GEMA obrátili pozornosť na vývoj rádiového systému pre kombinovanú detekciu a určenie vzdialenosti. Ich pulzný systém používal nový magnetrón Philips s lepšou frekvenčnou stabilitou. Moduloval impulzy v časovom odstupe 2 ms pri

frekvencii opakovania. Vysielacia anténa bola zoskupením desiatich párov dipólov s reflexnou sieťou. Širokopásmový regeneračný obvod osadil triódou RCA Acord a prijímacia anténa mala tri dvojice dipólov a prepínanie medzi nimi. Blokovacie zariadenie vypne vstup prijímača, keď vysielateľ pulzuje. Pre zobrazenie rozsahu mal Braunovú trubicu CRT, ktorú v neskorých 20. rokoch zlepšil Manfred von Ardenne.

Zariadenie bolo umiestnené na vrchole veže v testovacom zariadení NVA vedľa zátoky Lubecker pri Pelzerhaken. Tento pulzne modulovaný systém zachytil cez záliv objekt vo vzdialenosti 15 km v máji 1935, ale mal len obmedzený úspech, lebo pri zisťovaní vzdialenosti bol schopný s dostatočnou presnosťou určiť iba objekty, ktoré sa nachádzali v menšej vzdialenosti. Prijímač bol prerobený na superheterodyne a systém sledoval a určoval vzdialenosť cieľov v rozsahu do 8 km.

Po ukončení II. sv. vojny sa Kühnhold pripojil k firme Electroacoustic GmbH (ELAC) a začal výskum v komerčnom využití radarovej techniky. Jeho práca bola ocenená patentom, ktorý bol zaregistrovaný v USA v roku 1954. Neskôr mal ELAC veľké finančné problémy a v 60. rokoch sa ukončila profesionálna kariéra i pre Kühnholda.

Vo Francúzsku Camile Gutton a Pierret z ústavu Faculte des Sciences de Nancy robili pokusy s krátkymi vlnami od roku 1927, od vlnovej dĺžky 70 cm sa prepracovali k 16 cm. Henri Gutton, syn Camile sa zamerl na oscilátory s M – Tubes, čiže s magnetrony a vytvoril ich celú radu i s vlnovou dĺžkou 16 cm, pričom zásadným spôsobom zasiahol do konečného komorového prevedenia Randalla a Boota z Anglicka.

V roku 1931 Messny a David pri pokusoch zistili, že lietadlo letiace medzi radarovým vysielacom a prijímačom vyvoláva interferencie. Emille Girardeau, vedúci spoločnosti CSF (Compagnie Générale de Télégraphie Sans Fil), uplatnil toto zistenie v rádiolokačnom zariadení a z jeho návrhu podala CSF prihlášku na patent RF 788 795 dňa 20. 7. 1934. Ide o prvý patentový spis na svete s uceleným popisom centimetrového rádiolokačného zariadenia, ktorý bol podľa tohto popisu aj vyrobený.

V júni 1934 Pierre David oficiálne previedol zodpovedným ľuďom funkciu prototypu rádiolokačného zariadenia na výstražný systém DEM (d'équipement de détection aérienne électromagnétiques barrage). V októbri 1939 bol predstavený vzor výstražného reťazca, ktorý sa skladal z tridsiatich rádiolokačných staníc

V roku 1939 vo výskumnom oddelení JRC Shigeru Nakajima dokončil dutinový magnetron pracujúci s vlnovou dĺžkou 10 cm s výkonom 500 W.

V Anglicku pracovali na smrťacom lúči a tento problém riešili v Radio Research Station (RRS) v Ditton Park u Slough. Tu hľadali spôsob, ako vyhovieť týmto požiadavkám. Arnold Wilkins upozornil nadriadeného Watson – Watta na možnosť odhalenia lietadla na dieľku. Watson – Watt 12. februára 1935 o tejto možnosti vypracoval podrobnú správu a ihneď ju odoslal k posúdeniu Tizardovému výboru. Na opustenom poli blízko Weedenu sa 26. februára 1935 vykonal experiment s prijímačom, ktorý dokázal zachytiť signál odrazený od lietadla HP Heyford. Vysielateľ BBC v Daverty pracoval na vlnovej dĺžke 49 m. Watson – Watt, Wilkins a Dyer oslavovali úspech a Watson – Watt si podal prihlášku na patent GB 593017, 17. 9. 1935 a uznaný bol 31. 5. 1937.

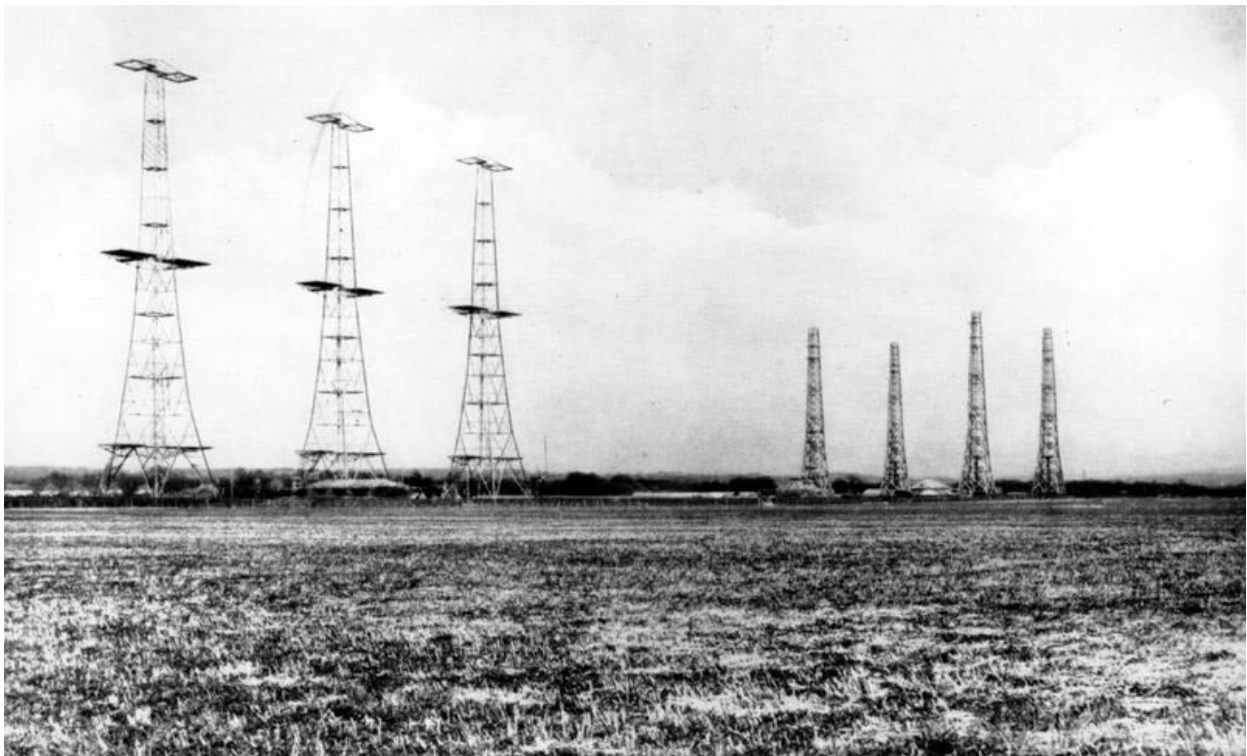
Robert Watson Watt (13. 4. 1892 – 5. 12. 1973) bol škótsky priekopník rádiového zameriavania a radarovej techniky. Narodil sa v Brechine, Angus v Škótsku a bol potomkom Jamesa Watta, vynálezcu praktického parného stroja.

Po absolvovaní základnej školy a strednej školy v Brechin, bol prijatý na University College v Dundee. Bol úspešným študentom a v roku 1910 získal cenu Carnelley za chémiu a triednu medailu za prírodnú filozofiu. Promoval zo strojárstva v roku 1912 a bolo mu ponúknuté miesto asistenta u profesora fyziky Williama Peddie. A bol to práve Peddie, ktorý ho povzbudil na štúdium rádia a bezdrôtovej telegrafie. Na začiatku I. sv. vojny pracoval ako asistent na inžinierskom oddelení akadémie.

V roku 1916 nastúpil do Meteorologického úradu, kde sa zaujímal o použitie rádia na detekciu búrok. Blesk vydáva rádiový signál a jeho cieľom bolo zistiť tento signál, aby varoval pilotov pri blížiacich sa búrkach. Signál sa vyskytuje naprieč širokým rozsahom frekvencií a mohol by byť ľahko detegovaný a zosilnený na dlhých vlnách a v skutočnosti bol blesk hlavným problémom pri komunikácii na týchto dlhých vlnových dĺžkach.

Jeho začiatkové experimenty boli úspešné pri detekcii signálu a rýchlo sa ukázal byť schopný tak urobiť do vzdialenosti až 2500 km. Poloha bola určená otáčaním slučkovej antény s cieľom maximalizovať silu signálu, a tak určiť smer výskytu búrky. Blesky boli tak slabé, že bolo problémom včas natočiť anténu, aby sa dalo určiť smer. Miesto toho operátor počul veľa bleskov a zakreslil zhuba smer, kde sa blesky vyskytujú.

Spočiatku pracoval v bezdrôtovej stanici úradu ministerstva vzdušného priestoru v meste Albershot v Hampshire. V roku 1924, keď vojnové oddelenie oznámilo, že si želajú znova obsadiť Albershot, presťahoval sa do Ditton Parku blízko Slough a nastúpil do National Physical Laboratory (NPL). Prvou prácou bola Adcocková anténa, usporiadaná do štyroch



stožiarov, ktoré umožňovali detekciu smeru prostredníctvom fázových rozdielov.
Na obrázku je vidieť sústavu antén stanice s názvom Chain Home (CH).

Použitím dvojíc týchto antén umiestnených v pravých uhloch sa dá urobiť súčasné meranie smeru blesku na dvoch osách. Zobrazenie prchavých signálov bolo problémom. Toto bolo vyriešené druhým zariadením „osciloskopom WE – 224“, získaný od spoločnosti Bell Labs. Wattov nový systém bol používaný v roku 1926.

V roku 1927 boli zlúčené skupiny Met a NPL a vytvorili stanicu Radio Research Station s Wattom ako riaditeľom. V priebehu celého výskumu sa tímy zaujímali o príčiny „statických“ rádiových signálov a zistili, že veľa sa dá vysvetliť tým, že vzdialené signály umiestnené cez horizont sa odrážajú od hornej atmosféry. Toto bol prvý priamy náznak skutočnosti vrstvy Heaviside, ktorá bola navrhnutá skôr, ale v tom čase bola väčšinou odmietnutá odborníkmi. Na určenie nadmorskej výšky Watt, Appleton a ďalší vyvinuli „squegger“ na vytvorenie „časovej základne“, čo by spôsobilo, že bodka na obrazovke osciloskopu sa pohybuje hladko cez celý displej pri veľmi vysokej rýchlosti. Nastavením času nástroja tak, že bodka prišla na vzdialenejšom konci displeja súčasne s očakávanými signálmi odrazených od vrstvy Heaviside, mohla byť určená nadmorská výška vrstvy. Tento časový okruh bol kľúčom k rozvoju radaru.

V roku 1934 ministerstvo vzdušného priestoru zriadilo výbor pre vedecký prieskum leteckej obrany (CSSAD), ktorému predsedal Sir Henry Tizard, aby našiel spôsoby, ako zlepšiť obranyschopnosť v Spojenom kráľovstve. Nemci v tom čase tvrdili, že majú „smrtiaci lúč“, pomocou rádiových vln, ktoré sú schopné zničiť mestá a ľudí. Podobnú zbraň ponúkal Nikola Tesla v denníku New York Times 11. 7. 1934. V januári 1935 požiadal Watson Watt ministerstvo vzdušného priestoru o možnosť vybudovať verziu smrtiaceho lúča, konkrétne na použitie proti lietadlu. Watson Watt sa rýchlo vrátil k výpočtom, ktorý vykonal jeho mladý kolega Arnold Wilkins, ktorý ukázal, že zariadenie nie je možné postaviť a strach z nacistickej verzie čoskoro zmizol. Wilkinson, ktorý nedávno počul o lietadlách narušujúcich krátkovlnnú komunikáciu a rádiové vlny môžu byť schopné zachytiť lietadlá. O spôsobe detekcie odrazených rádiových vln podľa potreby, bol tento Wilkinsov nápad podporovaný Wattom a bol predstavený CSSAD 28. 1. 1935.

Dňa 12. 2. 1935 Watson Watt poslal tajnú správu o navrhovanom systéme leteckému ministerstvu na detekciu a zameranie lietadiel rádiovými metódami. Ministerstvo letectva pred poskytnutím finančných prostriedkov požadovalo demonštráciu zariadenia, ktoré dokazuje, že rádiové vlny sa môžu odraziť od lietadla. Predvedenie bolo pripravené 26. 2. 1935 a pozostávalo z dvoch prijímacích antén, ktoré sa nachádzali približne 9,7 km od jednej z krátkovlnných staníc BBC v Daventry, dve antény boli rozdelené tak, že signály, ktoré prichádzajú priamo zo stanice, boli zrušené, ale boli prijaté signály prichádzajúce z iných uhlov, čím sa odklonila stopa na monitory CRT (pasívny radar). Tohto predvedenia boli svedkami iba traja ľudia: Watson Watt, kolega Arnold Wilkins a jeden člen výboru A. P. Rowe. Demonštrácia bola úspešná, lebo v niektorých momentoch bolo vidieť jasný signál z bombardéra Handley Page Heyford, ktorý preletel okolo. Dňa 2. 4. 1935 poslal Watson Watt patent na rádiové zariadenie na detekciu a lokalizáciu lietadla.

V polovici mája 1935 Wilkins opustil stanicu Radio Research Station s malou skupinou ľudí spolu s Edward Georg Bowen, aby začali ďalší výskum v Orford Ness, izolovanom poloostrove na pobreží Severného more Suffolk. Do júna sa im podarilo zachytiť lietadlá do vzdialenosti 42 km, čo bolo pre vedcov a inžinierov dostatočné na to, aby zastavili práce na ďalších zvukovo detekčných systémoch. Do konca roka bol dosah až 97 km, pričom v decembri sa uskutočnili plány na výstavbu piatich staníc v okolí Londýna. Jedna stanica mala byť postavená na pobreží neďaleko Orford Ness a Bawdsey Manor bol vybavený, aby

sa stal hlavným centrom všetkého radarového výskumu. V snahe, čo najrýchlejšie uviesť radarovú obranu využívali existujúce dostupné komponenty, miesto toho, aby vytvárali nové pre tento projekt, a tým nebol potrebný čas na zdokonalenie a zlepšenie zariadenia. Čoskoro vykonali testy s plným výkonom z pevného rádiového vežového systému, ktorý bol čoskoro známy ako systém včasnej detekcie, ktorý sa pokúšal zachytiť prichádzajúci bombardér rádiovými signálmi. Testy boli zlyhaním, ale problém nebol v radarovom systéme, ale v toku informácií od pozorovateľov až po vyhodnotenie, ktoré vyžadovalo veľa krokov a bolo pomalé.

Do roku 1937 boli pripravené prvé tri stanice a príslušný systém bol testovaný. Výsledky boli povzbudivé a vláda okamžite nariadila výstavbu ďalších sedemnást' staníc, čím vznikol reťazec pevných radarových veží pozdĺž východného a južného pobrežia Anglicka. Na začiatku vojny bolo 19 staníc pripravených zohrať kľúčovú úlohu v bitke o Britániu a do konca vojny bolo postavených viac ako 50 staníc. Nemci si boli vedomí výstavby Chain Home, ale neboli si istý ich účelom. Otestovali svoje teórie s letom Zeppelin LZ 130, ale skonštatovali, že stanice boli novými diaľkovými systémami námornej komunikácie.

Už v roku 1936 sa zistilo, že Luftwaffe by sa podujalo k nočnému bombardovaniu, ak by sa cez deň nedarilo. Edward Bowen bol zodpovedný za vývoj radaru, ktorý by bol umiestnený na lietadle. Nočná detekcia bombardéra bola dobrá až do vzdialenosti 300 m. Bowen rozhodol, že palubný radar by nemal presahovať hmotnosť 90 kg a nemali by vyžadovať väčší výkon ako 500 W. Anténa by nemala presahovať dĺžku jedného metra, čo bolo v tej dobe veľmi náročné.

V júli 1938 Watson Watt opustil Bawdsey Manor a nastúpil do funkcie riaditeľa pre rozvoj komunikácie (DCD – RAE). V roku 1939 prevzal prácu spoločnosti DCD Sir George Lee a Watson Watt sa stal vedeckým poradcom pre telekomunikácie (SAT) na ministerstve leteckej výroby a odcestoval do USA v roku 1941, aby poradil o vážnych nedostatkoch ich protivzdušnej obrany, ktorý sa udial pri leteckom útoku na Pearl Harbor. V roku 1942 ho kráľ George VI. povýšil do šľachtického stavu a v roku 1946 získal americkú medailu za zásluhy. V 50. rokoch sa presťahoval do Kanady a neskôr do USA, kde vydal knihu v roku 1958 „tri kroky k víťazstvu“.

Watson Watt bol ženatý od roku 1916 s Margaret Robertson, s ktorou sa rozviedol a s druhou manželkou Jean Wilkinson sa zosobášil v roku 1952, ktorá zomrela v roku 1964. V 60. rokoch sa vrátil do Škótska. V roku 1966, vo veku 74 rokov navrhol Katherine Trefusis Forbes, ktorá mala vtedy 67 rokov spoluzitie. Žili spolu v Londýne cez zimu a v lete v dome Katherine v Pitlochry. Ona zomrela v roku 1971 a Watson Watt v roku 1973 vo veku 81 rokov v Inverness. Obaja sú pochovaní na cintoríne kostola Najsvätejšej Trojice v Pitlochry.

Vo Veľkej Británii sa rádiolokačné zariadenie nazývalo Range and Direction Finding (RDF) a v Nemecku sa používal názov Funkmessgerät – rádiové meracie zariadenie. Výhody pôsobenia mikrovln boli známe, ale vysieláče na generovanie mikrovlnných signálov neboli k dispozícii s dostatočným výkonom, takže prvé radarové systémy pracovali na nižších frekvenciách v pásme krátkych a veľmi krátkych vln. Prínosom boli v roku 1940 vyvinuté dutinové magnetróny. Svoj radarový systém vyvíjali okrem Nemecka a Anglicka i v USA, Sovietskom zväze, Japonsku, Švédsku, Austrálii, Kanade, na Novom Zélande a v Juhoafrickej republike.

Typickými parametrami Chain Home (CH) : frekvencia 20 až 30 MHz s vlnovou dĺžkou

15 až 10 m, špičkový výkon 350 kW a neskôr až 750 kW, frekvencia impulzov 25 až 12,5 za sekundu, dĺžka impulzov 20 μ s, výstup bol zachytený na osciloskope.

Veže z ocele mali výšku 90 m a boli na vysielanie a navzájom boli prepojené dve veže. Na príjem slúžili veže s výškou 73 až 65 m vyhotovené z dreva. Stanice mali viac ako jednu sadu antén, naladenú na prevádzku na rôznych frekvenciách.

Chain Home sa ukázali ako efektívne počas nemeckých útokov, lebo RAF pomohli odolať oveľa početnejšej sile Luftwaffe. Sektorové stanice boli schopné poslať do vzduchu požadovaný počet lietadiel, pričom často vzlietlo iba malé množstvo lietadiel. Ďalšou sériou staníc na krátke vzdialenosti boli postavené priamo na pobreží pod názvom Chain Home Low (CHL). Táto musela mať vysielaciu a prijímaciu anténu otočnú a otáčanie sa robilo ručne do roku 1941, kedy sa nainštalovala motorová jednotka na otáčanie antén.

Miniaturizovaný RDF systém navrhnutý ešte v roku 1936 Edwardom George Bowenom sa začal v roku 1939 montovať na lietadlá Bristol pod označením AI RDF – 2A. V roku 1940 boli nahradené zdokonaleným radarovým systémom Mark II., ktorý obsahoval i bočné snímacie antény.

Zlepšenie magnetronu v Birmingham University v polovici roka 1940 znamenalo výrazný pokrok v radarovej schopnosti. Výsledný dutinový magnetron bol malý prístroj, ktorý generoval mikrovlny s vysokým výkonom. Pracoval na frekvencii 3 až 30 GHz n vlnových dĺžkach 10 až 1 cm. Radar s centimetrovými vlnami dokázal zachytiť oveľa menšie objekty a potreboval oveľa menšie antény.

Pri zavedení dutinových magnetronov sa zostavy museli upraviť, lebo prvé skúšobné testy zničili VHF prijímače svojím výkonom. Tento problém bol vyriešený začiatkom roka 1941 s TR prepínačom vyvinutým v spoločnosti Clarendon v laboratóriu Oxfordskej univerzity, čo umožnilo vysielateľom a prijímateľom používať tú istú anténu.

Tak ako sa rozširovali správy, že Watson Watt je otcom rádiolokácie nie je pravda, tak ani John Turton Randal a Henry Albert Howard Boot nie sú prví, kto zhotovil dutinový magnetron. Táto skutočnosť sa zámerne nespomína, ale po napadnutí Francúzska Nemeckom, ušiel Maurice Ponté z Parížskeho CSF 9. 5. 1940 do Londýna i najnovším

Guttonovým dutinovým magnetronom s vlnovou dĺžkou 16 cm, ktorý bol plochý s krátkym anódovým blokom, kyslíčnikovou katódou o priemere 6 mm, utesnený so vzduchovým chladením a permanentným magnetom. Elaton Guttonov magnetron sa najskôr dostal do GEC vo Wembley a hneď potom k Bootonovi a Randallovi v Birminghamu. Tu na Guttonov základný model naviazali radu ďalších dutinových magnetronov s označením CV 38, CV 64, CV208, CV 991 a ďalšie.



John Turton Randall (23. 3. 1905 – 16. 6. 1984) bol britský fyzik a biofyzik. Narodil sa v Newton – le – Willows v Lancashire. Na obrázku v okuliaroch s kolegom Bootom.

Vzdelanie získal na gymnáziu v Ashton – in – Makerfield a na univerzite v Manchestri, kde získal prvé triedne vyznamenanie z fyziky a cenu absolventa v roku 1925 a magisterský titul v roku 1926. V rokoch 1926 až 1937 bol zamestnaný vo výskume v spoločnosti General Electric v laboratóriu vo Wembley v Anglicku, kde pracoval ako vedúci pri vývoji luminiscenčných práškov používaných vo výbojkách. V roku 1928 sa oženil s Doris Duckworth. Od roku 1937 bol uznávaný ako popredný britský vedec a bol mu udelený Royal Society.

Keď sa začala II. sv. vojna v roku 1939, tak sa admirálita obrátila na Oliphanta s možnosťou vybudovať rádiový zdroj, ktorý by pracoval na mikrovlnných frekvenciách. Záujem o podobné zariadenie prejavilo i ministerstvo letectva. Systém s 10 cm vlnovou dĺžkou by výrazne znížil veľkosť vysielacích antén, čo je oveľa jednoduchšie, a aby sa zmestili do lietadla. Oliphant začal



výskum pomocou „klystrónov“, zariadenia, ktoré skonštruovali Russel a Sigurd Varian v rokoch 1937 až 1939 a bol to jediný systém, o ktorom sa vedelo, že účinne generuje mikrovlny. Klystróny v tej dobe produkovali veľmi malý výkon a Oliphant sa snažil výrazne zvýšiť výkon. Oliphant dal Randallovi a Bootovi na starosť vytvorenie mikrovlnného oscilátora a požiadal ich, aby preskúmali elektrónky Barkhausen – Kurz pre túto úlohu, ktorej konštrukcia sa používala pre UHF systémy. Ich práca rýchlo preukázala, že tieto elektrónky neponúkajú žiadne zlepšenie v mikrovlnnom rozsahu. Klystrón by mohol generovať asi 400 W výkonu v oblasti mikrovln, dosť pre testovanie, ale veľmi málo na praktické použitie. Na obrázku je prototyp dutinového magnetronu.

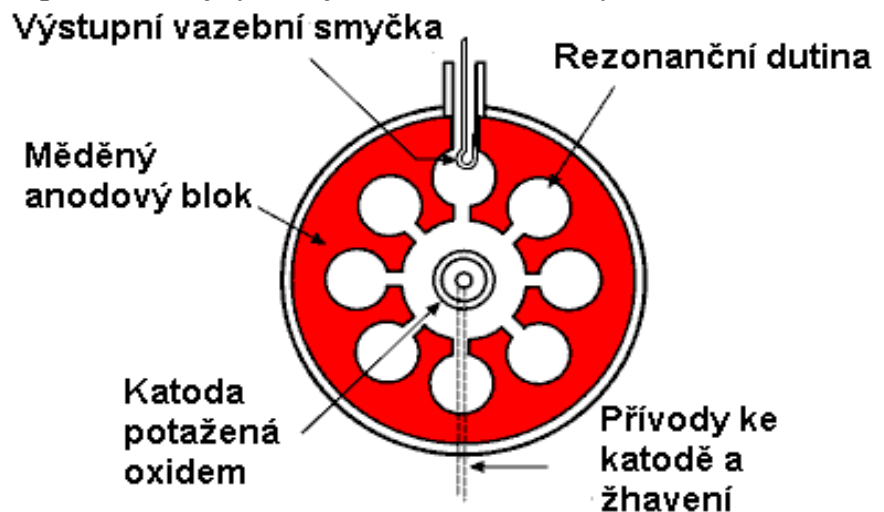
Randall a Boot uvažovali o ďalšom a jedinom mikrovlnnom zariadení, ktoré bolo v tom čase k dispozícii a tým bol magnetron s rozdelenou anódou, zariadenie schopné generovať malé množstvo energie. Poznamenali však, že má obrovskú výhodu voči klystrónu v tom, že u klystrónu je signál zakódovaný v prúde elektrónov poskytnutých elektrónovým delom a bolo to práve určené schopnosťou dela, koľko energie môže zariadenie zvládnuť. Naproti tomu magnetron používal konvenčnú katódu s horúcim vláknom, systém, ktorý sa široko používal v rádiových systémoch, ktoré produkujú stovky kilowattov.

Problém s existujúcimi magnetronmi nebol vo výkone, ale v účinnosti. V klystróne bol prechodom elektrónov prechádzajúcich cez kovový disk známy ako rezonátor. Mechanické usporiadanie medeného rezonátora spôsobilo, že to ovplyvňovalo elektróny, zrýchľovalo ich spomaľovanie a uvoľnilo mikrovlny. V prípade magnetronu bol rezonátor nahradený dvoma kovovými platňami, držanými na protíľahlých nábojoch, ktoré spôsobili striedavé zrýchlenie a elektróny boli nútené pohybovať sa medzi nimi pomocou magnetu. Neexistoval

žiaden skutočný limit počtu elektrónov, ktorý by sa mohol zrýchliť, ale proces uvoľňovania mikrovln bol mimoriadne účinný.

Oba uvažovali o tom, čo by sa stalo, keby boli dve kovové platne magnetrónu nahradené rezonátormi, ktoré v podstate spájajú existujúce pojmy magnetrón a klystrón. Magnet by spôsobil, že elektróny budú obiehať v kruhu, ako v prípade magnetrónu, takže by prešli každým rezonátorom, generovaným mikrovlny oveľa efektívnejšie ako koncept dosky. Pripomeňme si, že Heinrich Hertz použil slučky drôtu ako rezonátory, na rozdiel od diskových dutín klystrónu, zdá sa, že je možné, že okolo centra magnetrónu sa dá umiestniť viac rezonátorov. A čo je ešte dôležitejšie, neexistovalo reálne obmedzenie počtu alebo veľkosti týchto slučiek. Jedna by mohla výrazne zlepšiť výkon systému tým, že uložia slučky do valcov, pričom výkon je potom definovaný dĺžkou elektrónky. Efektívnosť by sa mohla zlepšiť zvýšením počtu rezonátorov, pretože každý elektrón by mohol takto integrovať s viacerými rezonátormi počas jeho obehu. Jediné praktické limity boli založené na požadovanej frekvencii a na požadovanej fyzickej veľkosti elektrónky.

Skonstruovaný model, pozostával z medeného bloku so šiestimi otvormi, ktoré boli vyvrtané do neho, aby vytvoril rezonančné slučky, ktorý bol umiestnený do zvonovej nádoby pod podtlakom, umiestnený medzi tyče podkovitého magnetu, aký mali k dispozícii. Tento prototyp magnetrónu s dutinami bol testovaný vo februári 1940 a produkoval výkon 400 W, ale do týždňa bol už jeho výkon 1000 W. Na obrázku vidieť schému dutinového magnetrónu.



Projekt bol potom posunutý inžinierom od GEC, ktorí sa mali pokúsiť zlepšiť jeho výkon. Zlepšilo sa utesnenie elektrónky a zlepšila sa kvalita vlákien a pridali katódu s povrchom oxidu, ktorá umožnila väčšie prúdové zaťaženie. Toto pomohlo vytvoriť výkon 10 kW, približne rovnakú energiu ako konvenčné systémy elektrónok používaných v existujúcich radarových zostavách. Úspech magnetrónu spôsobil revolúciu vo vývoji radaru. V roku 1943 Randal opustil Oliphantové fyzikálne laboratórium, aby mohol vyučovať v Cavendish laboratóriu v Cambridge.

Henry Albert Howard Boot (29. 7. 1917 – 8. 2. 1983) bol anglický fyzik, ktorý bol s Randall a James Sayers pri zhotovení dutinového magnetrónu, ktorý bol jedným zo základných prvkov rádiolokátorov. Narodil sa v Birminghame a navštevoval školu kráľa Edwarda v Birminghame a na univerzite. Počas jeho doktorandskej práce vypukla II. sv. vojna a jeho profesor Mark Oliphant mu priradil spolu s Randallom problém malého výkonu klystrónu. Koncom februára 1940 vynašli oveľa silnejší magnetrón s dutinovým rezonátorom.

Na rozdiel od Európy sa Spojené štáty cítili bezpečnejšie a počiatočný vývoj radarovej techniky prebiehal iným tempom a záujmom. Výstižnú charakteristiku tohto stavu podal Dr. Lyman Chalkley, vedúci analytik vládneho poradného výboru pre ekonómiu vojny. Podľa jeho názoru radar nebol dostatočne vyvinutý z jednoduchého dôvodu, že neexistovali príklady k výnosnému komerčnému využitiu v mierových podmienkach. Teda pravidlo zisku ponechalo vývoj radaru v štádiu laboratórneho prístroja, bez hlbšieho záujmu.

V roku 1930 Lawrence A. Hyland pracoval pre A. Hoyt Taylor v laboratóriu námorného výskumu (NRL) a zaznamenal rovnaké zachytenie prechádzajúceho lietadla ako Taylor s Young v roku 1922 lode. V roku 1934 dostali Hyland, Taylor a Young patent US 1981884 pre „Systém detekcie predmetu rozhlasom“. Bolo zistené, že detekcia tiež vyžaduje meranie a určenie polohy alebo rýchlosť objektu. Finančné prostriedky boli poskytnuté pre výskum a stavbu impulzného vysieláča. Do tímu bol pridelený Robert Morris Page v decembri 1934, aby sa pripojil k výskumu detekcie letiacich objektov. Page navrhol vysieláč s frekvenciou 60 MHz s impulzmi 10 ms a dobou medzi jednotlivými impulzmi bola 90 ms. V decembri 1934 bolo zariadenie použité na detekciu lietadla na vzdialenosť 1,6 km. Hoci detekčný rozsah bol malý a indikácia na osciloskopu takmer nezreteľná, preukázal koncept pulzného radarového systému svoju funkčnosť. Námorníctvo však ignorovalo ďalší vývoj až do januára 1939, kedy bol testovaný ich prototypový systém XAF s frekvenciou 200 MHz na vlnovej dĺžke 1,5 m s výkonom 7 kW. Námorníctvo použilo na tento systém názov „Radio Detection And Ranging“ (RADAR) a v roku 1940 sa rádiolokačné zariadenie už inak ani nenazývalo. Systém XAF, zachytil lietadlá do vzdialenosti 160 km a bol inštalovaný na bojovej lodi USS New York. Keď sa v septembri 1940 začala misia Tizard, boli Briti prekvapení, keď sa dozvedeli o pulznom radarovom systéme CXAM, ktorý má podobnú schopnosť ako technológia Chain Home.

Prínosom k vývoju radaru bol dutinový magnetrón, ktorý v USA hľadali na zvýšenie výkonu vysieláča na vlnovej dĺžke 10 cm. Na základe toho sa vytvorilo Radiačné laboratórium MIT. Pred koncom roka 1940 začala tvoriť v laboratóriu celý rad magnetrónov na rôznych centimetrových vlnových dĺžkach. MIT v tom čase začalo zamestnávať viacej ľudí a v roku 1943 ich malo takmer 4000. Na Harvardskej univerzite bola založená skupina pod názvom „Radio Research Laboratory“ (RRL) na čele s Frederickom Termanom, ktorá sa zamerala na elektronické proti radarové zariadenie.

Američania mali na Havajských ostrovoch v prevádzke systém SCR 271 s frekvenciou 106 MHz na vlnovej dĺžke 2,83 m a pulzným výkonom 100 kW, ktorý mal dosah 380 km. Dňa 7. 12. 1941 mobilný systém SCR 270 zaznamenal japonský útok už vo vzdialenosti 212 km, ale tento záznam bol nesprávne interpretovaný kvôli hrubo neefektívnemu reťazovému prepojeniu. Po Pearl Harbor existovali obavy, že by podobný útok mohol zničiť ďalšie dôležité objekty. Elektrónku vysieláča, ktorá dodávala impulzný výkon 240 kW na frekvencii 600 MHz s vlnovou dĺžkou 50 cm vyvinula spoločnosť Zuhl. Tím pod vedením John W. Marchetti začlenil SCF 268 na plavidlá operačným rádiusom 160 km od pobrežia a bol klasifikovaný ako ľahký prenosný radar včasného varovania. Vyrobilo sa ich približne 900 kusov. Britský vzor radaru pre montovanie na lietadlá ASV Mk II. začali vyrábať pod označením PBY Catalina a montovali sa na lietadlo Grumman TBF Avenger, nový torpédový bombardér.

Spočiatku v laboratóriu Rad Lab MIT postavilo vysieláč a prijímač s vlnovou dĺžkou 10 cm pomocou samostatných antén, lebo prepínač TR ešte nebol dostupný a úspešné odskúšanie bolo vo februári 1941 s detekciou lietadla na vzdialenosť 6,5 km.

Centimetrové pásmo bolo rozdelené do skupín:

P – pásmo	30 až 100 cm	s frekvenciou	1 až 0,3 GHz
L -	15 až 30 cm		2 až 1 GHz
S -	8 až 15 cm		4 až 2 GHz
C -	4 až 8		8 až 4 GHz
X -	2,5 až 4		12 až 8 GHz
K -	1,7 až 2,5 cm		18 až 12 GHz

P – pásmo s dĺžkou vlny 60 cm na frekvencii 750 MHz sa začali používať na jeseň 1941 s označením Mark 3 a Mark 4.

S – pásmo používalo parabolické antény s možnosťou azimutu a elevácie s indikátormi na CRT obrazovkách. Prvé testy boli vykonané koncom marca 1941 a zariadenie sa uviedlo pod označením SCR 520 a bol to prvý mikrovlnný radar v USA. Potom používali vylepšený model SCR 720, ktorých bolo vyrobených asi tisíc súprav.

X – pásmo sa uplatnilo, keď v roku 1941 Luis Alvarez vynášiel fázovanú anténu s vynikajúcimi radiačnými charakteristikami. Keď bol vyvinutý 3 cm magnetrón bola táto anténa vhodná na použitie v tomto pásme pod označením AN / APQ 7 s dosahom 270 km.

Sovietsky zväz

Ešte v polovici 30. rokov používala armáda na detekciu blížiacich sa lietadiel vizuálne pozorovanie. Na detekciu v noci vyvinula Glavnoje artileriskoje upravlenie (GAU), hlavná delostrelecká správa Červenej armády akustickú jednotku, ktorá bola použitá na zameranie svetla na cieľ. Tieto techniky boli neúčinné pre lietadlá, ktoré boli nad mrakmi a väčšej vzdialenosti. Väčšina prvých výskumov v oblasti rádio detekcie sa uskutočnila v Leningrade elektrotechnickom inštitúte (LEPI). Tu pôsobil Abram F. Joffe, všeobecne uznávaný ako jeden z najlepších fyzikov v danom odbore. LEPI sa sústredil na vyžarujúce signály kontinuálnej vlny CW, zisťovali existenciu a smer ich odrazov pre použitie v systémoch včasného varovania.

Pavel K. Oščepkov technik v PVO (Ptotivo – vzdušnej oborony) v Moskve silne veril, že rádiolokačné zariadenie by malo byť pulzné, čo by umožňovalo určiť priamo polohu zachyteného objektu. Oščepkov v SCB experimentoval s pulzným rádiovým systémom pracujúcim na frekvencii 75 MHz s vlnovou dĺžkou 4 m a so špičkovým výkonom 1 kW s trvaním impulzu 10 μ s pri použití samostatných antén pre vysielanie a príjem. V apríli 1937 testy ukázali dosah na 17 km vo výške 1500 m. Hoci to bol dobrý začiatok pulzného rádiového zariadenia, systém nebol schopný merať vzdialenosť pozorovaného objektu. Napriek tomu, že pre svoj systém nikdy nevytvoril možnosť zamerania, sa Oščepkov nazýva otcom radaru v SSSR.

Zariadenia VHF nazývané Bistro, boli kombinované do mobilného systému. Ulavliteľ Samolotov označovaný ako RUS – 1. Tento CW bi – statický systém používal vysielateľ namontovaný na vozidle a pracoval na vlnovej dĺžke 4,7 m s frekvenciou 64 MHz a používal dva prijímače umiestnené vo vozidle. V júni 1937 sa všetka práca v Leningrade zastavila kvôli veľkej čistke Josifa Stalina, pri ktorej zahynulo takmer dva milióny ľudí.

Súprava RUS – 1 bola testovaná v roku 1939 a uvedená do prevádzky až v roku 1940, a stala sa prvým rozhlasovým systémom v Červenej armáde.

V priebehu roka 1940 prevzala LEPI kontrolu nad vývojom pulzného systému Redut. Na zobrazenie informácií o dosahu sa používala CRT obrazovka. V júli 1940 bol nový systém označený ako RUS – 2. Prístroj na vysielanie a prijímanie s jednou spoločnou anténou bol vyvinutý vo februári 1941. Výsledný RUS – 2 mal impulzný výkon 40 kW pri vlnovej dĺžke 4 m. Súprava sa nachádzala v kabíne motorového vozidla so sedem člennou posádkou s anténou Yagi, ktorá bola namontovaná asi päť metrov nad strechou vozidla. Kabína s anténou by sa mohla otáčať, aby zamerala vysielacie impulzy vo veľkom zornom poli. Dosah detekcie bol 10 až 30 km pre ciele do výšky 500 m a pre vyššie 25 až 100 km.

Abram Fedorov Loffe (29. 10. 1880 – 14. 10. 1960) bol sovietsky fyzik v oblasti elektromagnetizmu, rádiológie, kryštálov a rádioaktivity.

Narodil sa v mestečku Romny na Ukrajine. Po dokončení štúdia na technologickom inštitúte v Petrohrade v roku 1902 bol dva roky asistentom Wilhelma Röntgena v jeho laboratóriu v Mníchove a tu dokončil štúdium so získaním titulu Ph. D na univerzite v Mníchove v roku 1905. Po roku 1906 začal pracovať v polytechnickom ústave v Petrohrade, kde sa stal profesorom. V roku 1911 určil elektrónové delo pomocou zaťažených mikro častíc kovov vyvážených v elektrickom poli voči gravitácii. Na začiatku 30. rokov bola potreba získať prostriedky na detekciu vzdušného priestoru. V januári 1934 sa zhodnotili výsledky v technológii a boli publikované v časopise ako „Technológie“, ktoré sa nakoniec nazývali „Radar“. V rokoch 1952 až 1954 riadil laboratórium polovodičov Akadémie vied ZSSR.

Keď sa nemecké vojská dostali na územie Sovietskeho zväzu v júni 1941, tak tri veľké vojenské zoskupenia sa dali na pochod smerom k Leningradu, Moskve a Ukrajine. Stalin kládol dôraz na obranu Moskvy a laboratória a továrne z Leningradu a Charkova mali byť premiestnené za Ural. V továrni Sveltana v Leningrade zhotovili asi 45 súprav RUS – 1. Tieto boli rozmiestnené pozdĺž západných hraníc a na Ďalekom východe. Armáda však zistila, že RUS – 1 má nedostatočný výkon na danú úlohu. Keď začali letecké útoky na Leningrad, skúšala sa jednotka RUS – 2 a zostavená bola v Toksovo, pričom bola tlačaná do taktickej prevádzky a zabezpečenia včasného varovania pred formáciami Luftwaffe (nemeckých vzdušných síl). S rozsahom do 100 km poskytla táto jednotka včasné informácie pre civilnú obranu a bojové siete. Táto situácia prebudila pozornosť orgánov, ktoré predtým prejavili iba malý záujem o rádiové zariadenia.

V polovici júla boli rádiové zariadenia NII – 9 vyslané do Moskvy. V blízkosti Moskvy bol zriadený systém RUS – 2, ktorý obsluhovali členovia LPTI, ktoré bolo po prvýkrát použitý 22. júla, keď v noci zistili prichádzajúci let asi 200 nemeckých bombardérov, vo vzdialenosti 100 km. Bol to prvý letecký útok na Moskvu a viedol k tomu, že v okolí mesta boli postavené tri protiletecké batérie.



Герой Социалистического Труда
академик А. Ф. ИОФФЕ
1880 – 1960

Na obrázku je vidieť rádiolokačný systém RUS – 2. Niekoľko zariadení RUS – 2 bolo rýchlo adoptovaných na NIII – KA, pevné rádiové stanice v okolí Moskvy a používali označenie RUS – 2S alebo P2 Pegmatit. Používali anténu Yagi namontovanú na 20 metrových oceľových vežiach a mohli sledovať oblasť pod uhlom 270° . V Moskve vznikol výrobný závod 339 a v roku 1942 začal produkovať zariadenia RUS – 2S, ktoré boli inštalované na 53 stanovištiach.

Továrň 339 mala vynikajúci výskumný a inžiniersky personál, ktoré bol doposiaľ skôr administratívneho charakteru. V závode boli vyvinuté radary NY – 20, ktoré sa používali počas vojny.

Krátko po napadnutí delegácia dôstojníkov navštívila Veľkú Britániu a požiadala o pomoc v oblasti rádiolokácie. Na začiatku januára 1942 Winston Churchill sa zaviazal, že pošle jeden z týchto systémov s podmienkou, že obsluha bude zaistená britskými technikmi. Loď nesúca prístroj dorazila do Murmanska,

kde došlo k zimnej búrke a vyloženie muselo počkať cez noc. V nasledujúce ráno sa zistilo, že celý systém GL Mk II uložený na troch autách zmizol. Po niekoľkých dňoch boli britskí dôstojníci informovaní o tom, že zariadenie bolo odoslané do Moskvy z dôvodu bezpečnosti. Zariadenie skutočne dorazilo do NII – 20 a továrne 339, kde urobili kompletne vyšetrenie zariadenia. V polovici februára oznámil NII – 20, že vyvinul nový systém označený ako Son – 2a. Bola to vlastne kópia zariadenia GL Mk II.

Pri prevádzke na vlnovej dĺžke 5 m (60 MHz) používal Son – 2a oddelené nákladné vozidlá pre vysielače a prijímacie zariadenie a tretí nákladný automobil niesol generátor. Pri používaní bola dipólová anténa vysielača široký vzor upevnená v polohe uzemnenom stojane. Prijímacia stanica bola vzdialená od vysielača asi 100 m a umiestnená na otočnej kabíne s krídlými anténami namontovanými na každej strane. Stožiar nad kabínou držal pár antén, ktoré boli použité na hľadanie výšky.

Son – 2a nebol veľkou pomocou pri smerovaní svetlometov a protiletadlových zbraní. Napriek tomu bol spustený do výroby a v decembri 1942 prepustený pre Červenú armádu. Počas nasledujúcich troch rokov bolo postavených 125 týchto súborov.

V Charkove začali pracovať na systéme „Rubin“ a pokračoval v ňom LEMO pod vedením Usikova, Bol vyvinutý nový magnetrón s vlnovou dĺžkou 54 cm pri frekvencii 470 MHz s impulzným výkonom 15 kW. Rubin používal na vysielač a príjem spoločnú anténu. Do augusta 1943 bol dokončený prototyp systému Rubin a prevezený do Moskvy, kde Usikov, Truten a ďalší vykonávali testy. Do výroby sa nedostal, ale armáda sa usilovala, aby bol Rubin vyskúšaný v prístave Murmanska. Testy na námornej flotile pre letecký a povrchový dohľad v polárnom sektore. Testy ukázali detekciu lietadiel do vzdialenosti 60 km a jeho spoľahlivé meranie do 40 km s chybou 120 m v rozsahu a $0,8^\circ$ v uhle. Čas určenia uhlových súradníc sa vykonal do sedem sekúnd a mŕtva zóna bola do 500 m.

Koncom roka 1940 VVS uviedla požiadavku na palubný detekčný systém nepriateľských lietadiel. Reflexný klystrón ako sa neskôr nazval vyvinul Nikolaj Devjatkov. Pomocou tohto



zariadenia bola zahájená konštrukcia zariadenia „Origin“ s vlnovou dĺžkou 16 cm a frekvenciou 1,8 GHz. Po evakuácii z Leningradu v júli 1941 sa prerušila práca a samotný reflexný klystrón nebol uvedený do výroby. Miesto toho vo fabrike 339 prevzali konštrukciu zariadenia pod označením „Gneis – 2“, ktoré fungovalo na vlnovej dĺžke 1,5 m a na frekvencii 200 MHz a montoval sa na bombardér Pe – 3. Antény boli montované nad horným povrchom krídel. Na jednom krídle boli vysielacie antény a dve prijímacie antény Yagi boli na druhom krídle. Jedna Yagi bola nasmerovaná dopredu a druhá nasmerovaná pod uhlom 45 °. Trup lietadla bol ako štít medzi vysielacími a prijímacími anténami. Gneis – 2 , bol prvý radarový systém pre bombardéry v Sovietskom zväze a bol preverený v boji o Stalingrad v priebehu decembra 1942.

V polovici roka 1943 bola rádiolokácia uznaná ako zásadná aktivita pri obrane pred leteckými útokmi nepriateľa.

Nemecko

V Nemecku existovali omnoho prepracovanejšie konštrukčné zásady, postupy a metodika. Široko rozvinutá normalizovaná súčiastková základňa s možnosťou zostavovania modulových súprav i ku každému detailu v pokročilej rádiolokačnej technike, ktorá nemala pre vrchné velenie, až tak veľký význam. Už koncom roka 1941 sa generál Martini pokúšal zvrátiť tento nepriaznivý stav programom „Ru Funk Aktion“, v ktorom inicioval spoluprácu s vrchným velením, ale v tom čase bol postoj Göringa odmietavý.

Prudký obrad nastal až potom, keď 2. februára 1943 sa podarilo ukoristiť navigačný systém H2S s magnetrónom CV 64 s klystrónom CV 36 . Označenie H2S je Height to Stope (výška k dĺžke).

Wolfgang Martini, dôstojník Luftwaffe, bol primárnym promotér radaru pre nemecké vrchné velenie. Napriek tomu, že nebol vysokoškolsky vzdelaný, jeho pochopenie tejto technológie bolo inštinktívne a jeho zapojenie bolo možno najväčším podnetom pre konečný vývoj vojenského radaru v Nemecku. V roku 1941 bol povýšený do generálneho riaditeľstva vzdušného signálu (General der Luftnachrichtentruppe) a zostal v tejto pozícii až do konca vojny v máji 1945. Počas vojny boli v Nemecku traja používatelia radarov : Luftwaffe, Kriegsmarine a Heer (armáda). Veľkú časť radarov dodávali štyri komerčné firmy: GEMA, Telefunken, Lorenz a Siemens & Halske.

Oficiálnym označením radarových systémov bol „FuMG (Funkmessgerät) v doslovnom preklade – vysielací merací prístroj s písmenom výrobcu a číslom roku, kedy bol vyrobený, ale názvy neboli jednotné.

Začiatkom roka 1938 Kriegsmarine financovala spoločnosť GEMA na vývoj dvoch systémov. Jednu súpravu na nastavenie diel a druhú na varovanie. Pri výrobe prvý prototyp s pomenovaním „Flakleitom“ s vlnovou dĺžkou 80 cm a frekvenciou 380 MHz bol schopný nasmerovať anténu na povrchové alebo vzdušné ciele v rozsahu 80 km. Verzia s pevným stanovišťom „Flakleit – G“ obsahovala aj výškomer.

Druhý typ Seetakt vyvinutý spoločnosťou GEMA pracoval na vlnovej dĺžke 2,5 m s frekvenciou 120 MHz. Počas celej vojny GEMA vyrobila širokú škálu Seetakt, hlavne pre lode, ale väčšina z nich mala modul na meranie vzdialenosti (polohy) nazývané „Messkette“ (merací reťazec), ktorý poskytoval presnosť v rozsahu niekoľkých metrov bez ohľadu na celkový rozsah.

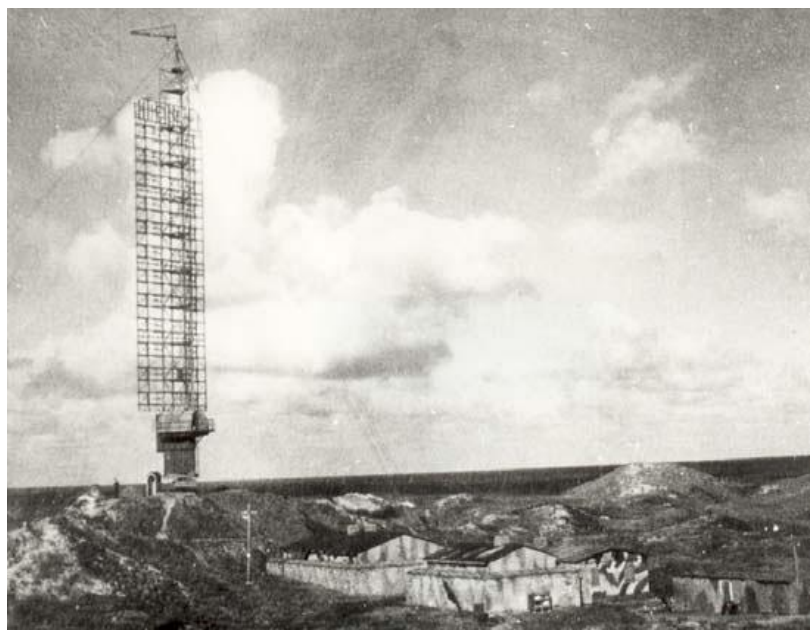
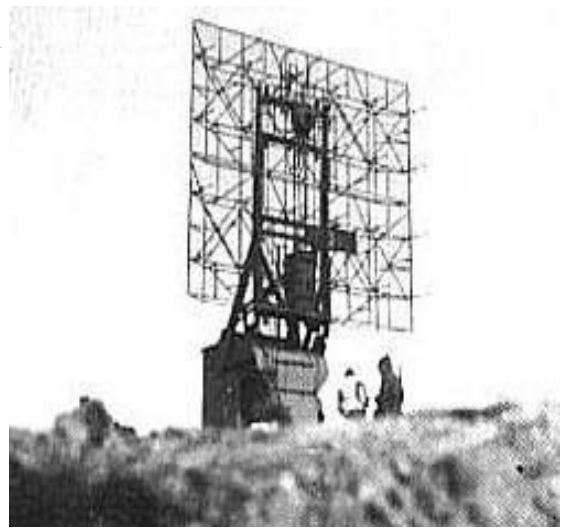
Luftwaffe si objednal vlastnú verziu koncom roka 1938 pod označením Freya, to bol

pozemný radar pracujúci s vlnovou dĺžkou 2,4 m s frekvenciou 125 MHz s maximálnym výkonom 15 kW, ktorý dosahuje detekciu do vzdialenosti 130 km. Základný rad Freya sa neustále zdokonaľoval a celkovo bolo vyrobených viac ako 1000 súprav. Na obrázku je súprava Freya FuMG 80. V roku 1940 použil Josef Kammhuber Freyas v novej sieti obrany, ktorá prechádzala cez Holandsko, Belgicko a Francúzsko. Každá stanica pokrývala asi 45 km na šírku a 30 km do hĺbky a obsahovala radar, niekoľko svetlometov a primárne a záložné stíhacie lietadlá a jej kódové označenie bolo „Himmelsbett“.

Pod vedením Wilhelma Rungeho bol nový radar postavený spoločnosťou Telefunken, vybavený novou triódou schopnou dodávať výkon 10 kW na vlnovej dĺžke 60 cm s frekvenciou 500 MHz. Systém pod kódovým označením „Würzburg“ vysielal vlny s vlnovou dĺžkou 3 m s parabolickým reflektorom dodávaným spoločnosťou Zeppelin a bol účinný do vzdialenosti 40 km pre lietadlá, ktorý je vidieť aj na obrázku.

Stanica „Mammut“ používala 16 Freyas prepojené s anténami vo veľkosti 10 až 30 m. Dosah mal až 300 km a pokrytie asi 100 ° šírky s presnosťou 0,5 °. Bolo postavených okolo 30 sád a niektoré s detekciou z oboch strán. Wasserman (vodník), mal osem Freyas s fázovou anténou naskladanou na 56 m vysokých vežiach s dosahom 240 km. V roku 1942 bolo postavených asi 150 typov staníc Wasserman.

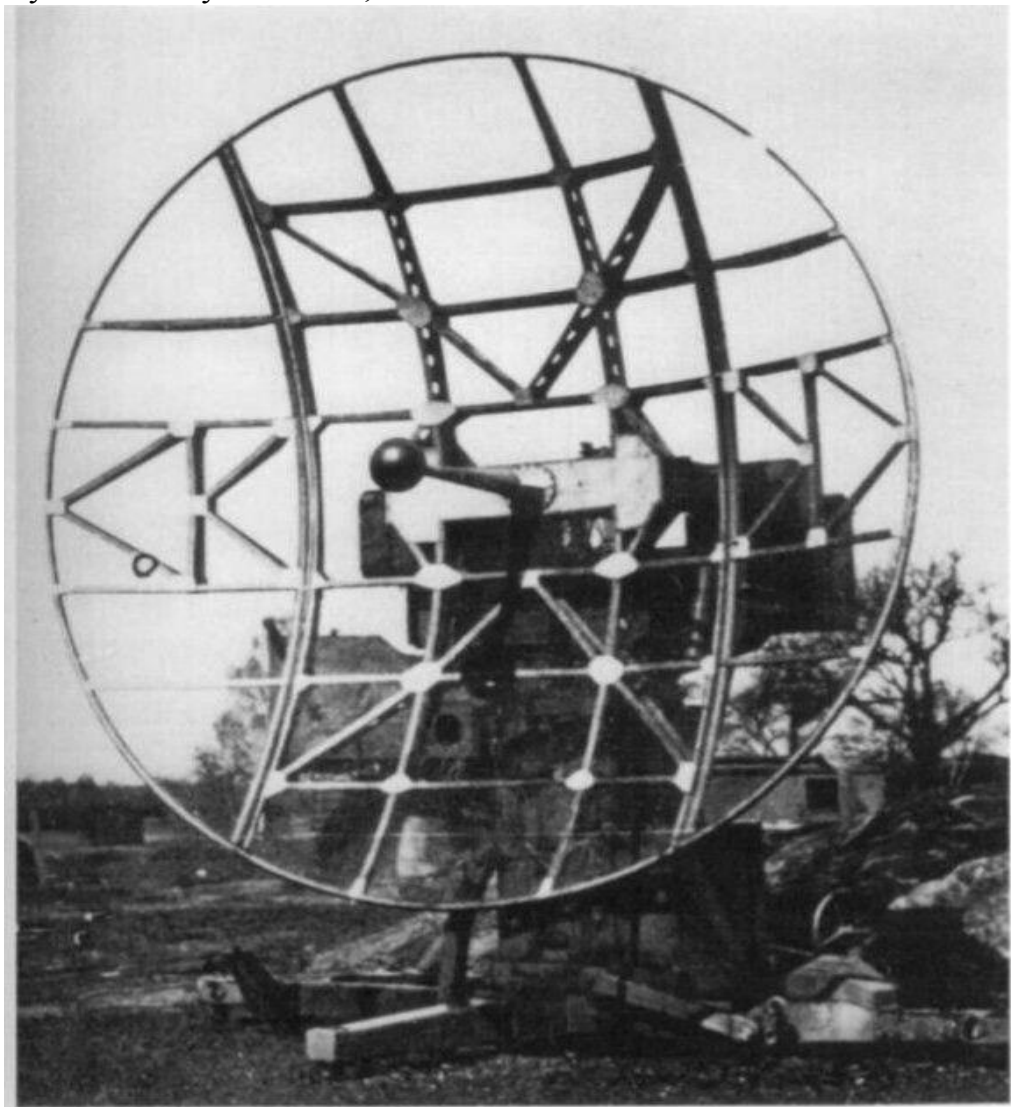
Na sledovanie britských a amerických bombardérov navrhli Theodor Schultes a Hans Hollman experimentálny radar, ktorý pracoval na vlnovej dĺžke 2,4 m s výkonom 30 kW, ktorý sa nazýval „Panorama“, postavený spoločnosťou Siemens & Halske v roku 1941 a bol umiestnený na vrchole betónovej veže v Tremmen, niekoľko kilometrov južne od Berlína. Anténa mala 18 dipólov na dlhej, vertikálnej podpere a vytvorila úzky vertikálny nosník a otáčala sa pri šesť otáčok za minútu a približne 110 km pokrytím.



Na základe prevádzky systému Panorama spoločnosť Siemens & Halske zlepšila tento systém a premenovala ho na „Jagdschloss“ (poľovnícky dom). Pridali druhý radar s vlnovou dĺžkou 1,2 m s frekvenciou 250 MHz s výkonom 150 kW, čím sa rozsah zvýšil na takmer 200 km. Na displeji bola používaná polárna súradnica (PPI) od spoločnosti Hollmann, bol to prvý nemecký systém s týmto zariadením a do služieb vstúpil ku koncu roka 1943 a vyrobilo sa asi 80 súprav.

Lorenz AG vyvinul pulzné modulovanú súpravu „Tiefentwiel“, prenosné zariadenie ako doplnok k Freya proti nízko letiacim lietadlám. Systém pracoval na vlnovej dĺžke 54 cm s frekvenciou 560 MHz, indikátormi polohy boli dve parabolické antény so sieťovými reflektormi na otočných vidlicových rámoch, ktoré sa zdvihli nad kabínu zariadenia.

Hoci nemeckí vedci vyvinuli magnetrony na začiatku 30. rokov, žiaden z nich nebol vhodný pre vojenské účely. Vo februári 1943 bol britský bombardér s radarom H2S zničený nad Holandskom a používal magnetrón s vlnovou dĺžkou 10 cm, ktorý bol nájdený neporušený. V krátkom čase bolo odhalené tajomstvo a začal vývoj mikrovlnných radarov. Spoločnosť Telefunken bola poverená výrobou



súprav pre aplikácie Flak a na začiatku roka 1944 sa objavila súprava s vlnovou dĺžkou 10 cm pod označením „Marbach“, ktorý vidieť na obrázku.

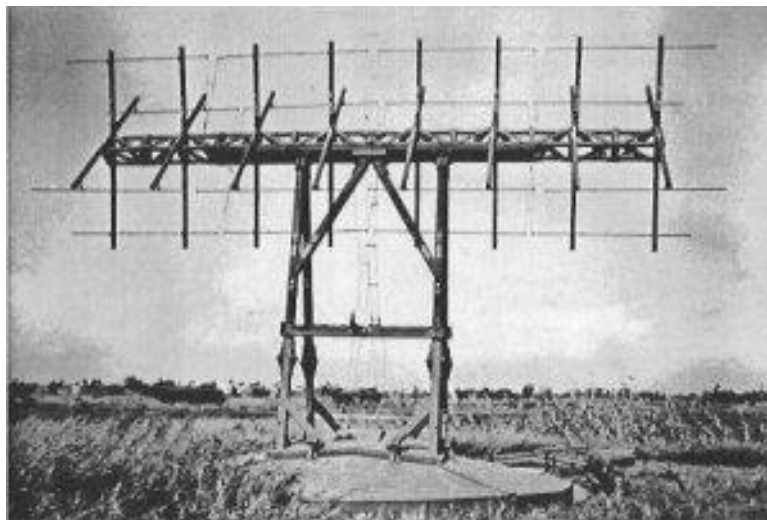
Pomocou reflektora s priemerom 3 m mala táto sada detekčný dosah približne 30 km. Matratze (matrac) v plnej zostave obsahovala 32 prvkov a začali byť k dispozícii vo februári 1942 a piloti zistili, že im lietadlo lieta o 50 km za hodinu pomalšie.

Japonsko

V rokoch ešte pred II. sv. vojnou malo Japonsko zdatných výskumníkov v oblasti radarovej technológie a v oblasti magnetronov. Vzhľadom na nedostatok praktického využitia týchto zariadení, vývoj napredoval iba veľmi pomaly. Zvrat nastal v novembri 1941, len niekoľko dní pred útokom na Pearl Harbor. Japonsko uviedlo do prevádzky svoj prvý radarový systém. V auguste 1942 americkí námorníci zachytili jeden z týchto prvých systémov a aj keď boli nedostatočné podľa amerických noriem. Prekvapilo to, že Japonsko malo radarové zariadenie. Japonská radarová technológia bola po celú vojnu 3 až 5 rokov pozadu vo vývoji za USA, Anglickom a Nemeckom.

Hlavným lídrom v oblasti vývoja v rannom štádiu rádiolokácie bol Hidetsugu Yagi, profesor a výskumník medzinárodného postavenia. Jeho práce o anténach a magnetronoch boli neskoršie podrobne preskúmané vedcami a inžiniermi na celom svete. Jeho práca nebola ohodnotená japonskou armádou.

Aj napriek tomu, že v roku 1936 sa Japonsko pripojilo k Nemecku a Taliansku, v zásade neexistovala žiadna výmena technických informácií. To sa zmenilo v decembri 1940, kedy skupina japonských dôstojníkov navštívilo Nemecko. Na obrázku je systém Tachi – 3. Počas návštevy Japoncov boli im odhalené niektoré nemecké radary. Okrem toho nemecky hovoriaci Yoji Ito, vedúci delegácie získal informácie o pulznej technológii MRU. Ito ihneď poslal tieto informácie diplomatickou cestou a začala práca na skutočnom japonskom radare. V decembri 1941 Nemci prevážali do Japonska systém Würzburg na ponorke, ktorá bola počas plavby potopená, zachovala sa iba dokumentácia, ktorá bola dopravená na inom plavidle.



Keď bol dobytý Singapur spod nadvlády Japoncov vo februári 1942, našli sa tam pozostatky britského radarového systému GL Mk – 2.

Na výrobe radarov sa podielali väčšinou spoločnosti Toshiba Shibaura Denki a Nippon Electric Company (NEC). V júni 1942 spustili NEC i Toshiba projekty založené na modeli SCR – 268. Americký systém pracoval na vlnovej dĺžke 1,5 m s frekvenciou 200 MHz. Má veľmi zložitú sadu troch antén na horizontálnom otočnom ramene. Projekt NEC bol určený na sledovanie cieľov označený ako Tachi – 1, pozemný sledovací radar. Vysielač Tachi – 3 pracoval na vlnovej dĺžke 3,75 m s frekvenciou 80 MHz s maximálnym výkonom 50 kW a impulzmi 1 až 2 ms. Prijímač Tachi – 3 bol umiestnený asi 30 m od vysielača a s maximálnym dosahom približne 40 km. NEC zhotovila asi 150 týchto súborov a do služieb armády sa dostali na začiatku roka 1944.

Posledným projektom Toshiba bol Tachi – 4. Bolo to pozemné zariadenie s vlnovou dĺžkou 1,5 m s frekvenciou 200 MHz, ktoré fungovalo dobre a bolo ich vyrobených asi 70 sád. Do služieb armády sa dostali v polovici roka 1944.

Na obrázku je vidieť radarové zariadenie Tachi – 4.

Prvý japonský radarový systém bol označený ako Mark 1. Systém fungoval na vlnovej dĺžke 3 m s frekvenciou 100 MHz so špičkovým výkonom 40 kW. Dipólové súpravy s matným reflektorom boli použité v samostatných anténach na vysielanie a príjem. V novembri 1941 bol vyrobený typ 11, uvedený do prevádzky ako pozemný varovný radar na pobreží Tichého oceána. Tento veľký systém mal hmotnosť 8700 kg a jeho dosah bol 130 km pre jednotlivé lietadlá a 250 km skupinu lietadiel.

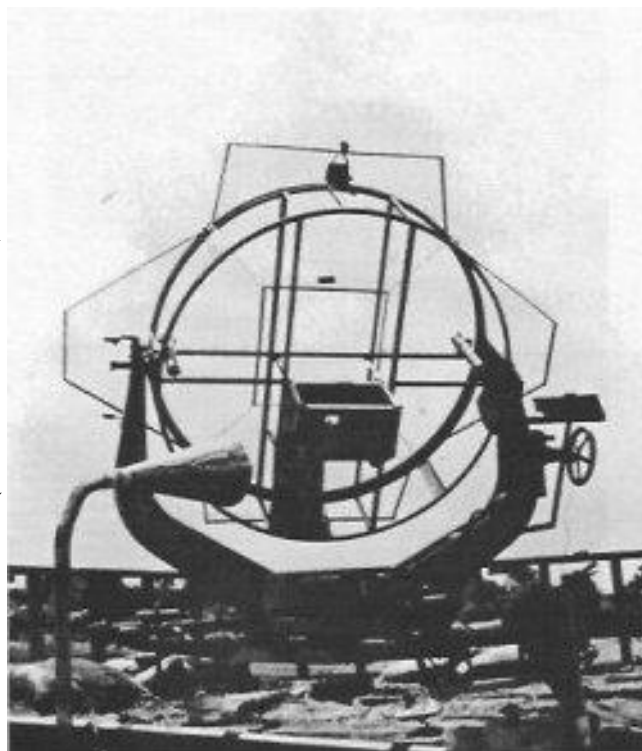
Typ 12 je ďalší systém včasného varovania, vyrobený v roku 1942. Pracoval na vlnovej dĺžke 2 m s frekvenciou 150 MHz alebo 1,5 m s frekvenciou 200 MHz s výkonom 5 kW. Nižší výkon výrazne znížil dosah zariadenia. V tom istom roku bola navrhnutá flexibilná verzia typ 13 s vlnovou dĺžkou 2 m a špičkovým výkonom 10 kW. Táto súprava znamenala pokrok a do prevádzky sa dostala v roku 1942.

Na obrázku je bombardér Nakajima J1N – 14 s radarom. Typ – 14 bolo veľké zariadenie s veľkým dosahom na vlnovej dĺžke 6 m s frekvenciou 50 MHz a špičkovým výkonom 100 kW a do bojov bol uvedený v máji 1945, na konci vojny.

NTRI vykonal na systéme Würzburg niektoré zmeny, najmä zmena magnetronu za elektrónku. Výsledkom bol proti blokovací systém typ 23. Použitím magnetronu sa znížil výkon na 5 kW, čo umožnilo dosah iba na

13 km a prototyp bol dokončený v marci 1944 a nedostal sa do sériovej výroby.

Typ 22 používa pulzný modulovaný magnetron s vlnovou dĺžkou 10 cm a frekvenciou 3 GHz, chladený vodou a jeho špičkový výkon bol 2 kW. Prijímač je superheterodyn s magnetronom s nízkym výkonom, ktorý slúžil ako lokálny oscilátor. Na vysielanie a príjem boli použité samostatné antény. Bola to prvá čisto japonská sada osadená s mikrovlnným magnetronom. Prototyp Typ 22 bol dokončený v októbri 1941 a testy ukázali, že lietadlo bolo zachytené vo vzdialenosti 17 km a skupina lietadiel vo vzdialenosti 35 km a lode viac ako 30 km. Prvé vojnové lode s mikrovlnným radarom boli vybavené v marci 1942. Na inštaláciu radaru na lietadlá bol určený Typ 64 s vlnovou dĺžkou 2 m a s výkonom 3 až 5 kW. Najväčší problém bola hmotnosť, ktorá sa im podarilo znížiť na 110 kg. V predu lietadla bola Yagi anténa a dipól na každej strane trupu a dokázala zachytiť väčšie plavidlá alebo zoskupenie lietadiel do vzdialenosti 100 km. Spočiatku boli radary montované na lietadlových čloch H8K.



Kanada

Kanada mala rozsiahlu vojenskú účasť na zariadeniach rádiolokácie. Hlavnú zodpovednosť za vývoj niesla „Národná výskumná rada Kanady (NRCC), na čele s Johnom Taskerom Hendersonom. Ich úsilím bolo vyvinúť systém povrchového varovania pre „Kráľovské kanadské námorníctvo“ (RCN) na ochranu prístavu v Halifax Harbour. Súbor zariadení sa nazýval Nicht Watchman (NW) a pracoval na vlnovej dĺžke 1,5 m s frekvenciou 200 MHz a výkon vysieláča bol 1 kW. Dokončený bol v júli 1940. V septembri 1940 navštívila Kanadu „Misia Tizard“ a na spoločnej dohode bola založená spoločnosť „Research Enterprise, Ltd.“ (REL), na výrobu radarov a optických zariadení. Ďalším systémom bola prenosná sada pre lode na povrchovú výstrahu pod označením SW1C a na obrázku je vidieť systém na bojovej lodi. Základná elektronika bola podobná ako na NW, ale používala anténu Yagi, ktorá sa otáčala volantom z automobilu. Po prvýkrát bol otestovaný na mori v polovici mája 1941. Na začiatku roka 1942 bola frekvencia SW1C zmenená na 215 MHz s vlnovou dĺžkou 1,4 m a bol použitý elektrický pohon na otáčanie antény a bol známy pod označením CW2C a vyrábaný spoločnosťou REL. Menšia verzia SW3C bola vyrobená pre malé plavidlá, akými boli torpédové motorové člny.



V roku 1943 bol pridaný indikátor ukazovateľa polohy zachyteného objektu. Pre obranu pobrežia bola vyvinutá sada s frekvenciou 200 MHz a používalo veľkú rotujúcu anténu na drevenej veži a do prevádzky bol uvedený v januári 1942.



Na obrázku je mikrovlnný systém GL III C, vľavo je stacionárny a v pravo rotačný model.

Po stretnutí misie Tizard sa rozhodlo, že Kanada vytvorí mikrovlnné zariadenie na detekciu. Tento systém mal pracovať na vlnovej dĺžke 10 cm s frekvenciou 3 GHz a bol označený ako GL III C. Písmeno „C“ sa použilo, aby nedošlo k zámene výrobcov, lebo v USA sa

používalo písmeno „A“ a v Británii písmeno „B“. Domáca výroba magnetronov bola životne dôležitá. Národná elektrárenská spoločnosť NEC v Montreale začala vyrábať toto zariadenie. GL III C bolo umiestnené na dvoch vozidlách, z ktorých jedno malo otáčajúcu kabínu a druhý mal pevnú anténu. Otočný systém bol presný vyhľadávač a obsahoval parabolické reflektory na vysielanie a príjem. Druhý mal zariadenie na indikáciu polohy a radar pracoval s vlnovou dĺžkou 2 m a frekvenciou 150 MHz, ktorý hľadal polohu všetkých lietadiel v rámci pokrytia. V roku 1941 dostala REL objednávky na 660 kusov GL III C systém. Do decembra 1941 bolo vyrobených šesť systémov. V roku 1942 vzniknuté problémy viedli k tomu, že bolo rozhodnuté, aby armáda začala používať britské a americké systémy v Európe. Vyrobiť 10 cm súpravu pre umiestnenie na lode nebolo jednoduché, lebo prvé sady boli k dispozícii až v júli 1943.

V máji 1942 britská admirálita vydala formálny nákup na kanadský magnetron s vlnovou dĺžkou 3 cm s frekvenciou 10 GHz pod označením typ 268 a určený na detekciu ponoriek. Do ukončenia II. sv. vojny sa vyrobilo približne 1600 systémov typu 268. Keď na jar 1943 začali nemecké ponorky operovať tesne pri Saint Lawrence Seaway, požadovalo letectvo 12 sád mikrovlnného systému s dlhým dosahom. Vyžarovanie úzkeho vodorovného lúča na zameranie morskej hladiny navrhol William H. Watson na McGill University a systém bol označený ako MEW / AS (Anti – Submarine pre včasne varovanie pred mikrovlnami.

Vysielacie a prijímacie zariadenie bolo umiestnené za anténou a zostava sa otáčala asi šesť otáčok za minútu. Ovládacie prvky a zobrazenie polohy objektu boli v blízkej pevnej budove. Dosah zariadenia bol do vzdialenosti 200 km. Druhá verzia, určená na detekciu vysoko letiacich lietadiel, bola označená ako MEW / HF (Height Finding). V tomto prípade môže byť napájanie prepnuté na menšiu rotujúcu anténu, ktorá pokryje úzky vertikálny lúč. RCAF spustila obe verzie MEW na viacerých miestach v Newfoundland, Quebec a Ontário. Počas vojnových rokov bolo vyvinutých celkovo 30 typov rádiolokátorov z toho 12 typov sa dostalo do výroby a boli vyrobené v množstve od niekoľkých kusov až po stovky kusov. Celkovo bolo vyprodukovaných okolo 3000 súprav a v septembri 1946 bola spoločnosť REL uzavretá.

Nový Zéland

Koncom roka 1939 zriadilo ministerstvo vedeckého a priemyselného výskumu (DSIR) dve skupiny na rozvoj rádiolokácie. V prvej skupine boli v čele Charles Watson a Georg Munro z rozhlasovej centrálnej pošty vo Wellingtone. Druhú skupinu mal na starosti Frederik White, ktorá bola na Canterbury University College v Christchurch.

Cieľom skupiny vo Wellingtone bolo vyvinúť pozemné a palubné rádiolokačné zariadenie na detekciu prichádzajúcich plavidiel a na pomoc pri riadení pobrežných vojenských batérií. Počas niekoľkých mesiacov vyrobili vysieláč, ktorý pracoval na vlnovej dĺžke 1,6 m s frekvenciou 180 MHz a s výkonom 1 kW, ktorý bol pulzne modulovaný a používal sa v systéme CW (Coastal Watching). Po CW nasledoval podobný zdokonalený systém CD (Coast Defense), ktorý používal CRT obrazovku na zobrazenie zachytených objektov a prepínač jednotlivých častí prijímacej antény. Toto zariadenie bolo uvedené do prevádzky na námornej základni Devenport v Auckland. V tom istom období bola čiastočne dokončená sada 200 MHz ASV z Veľkej Británie zhotovená pre Royal New Zealand Air Force (RNZAF). Okolo 20 zostáv bolo postavených a uvedených do prevádzky. Tri z týchto radarov boli uvedené do prevádzky pred rokom 1940. Skupina v meste Christchurch mala

vyvinúť súpravu na detekciu lietadiel a iných plavidiel a sprievodcu pre nasadenie námornej streľby. Skupina mala menší počet ľudí a práce napredovali pomalšie, ale do júla 1940 vyvinuli experimentálnu súpravu na kontrolu VHF a testovali ju na Arrow Merchant Cruiser Monowai. Po zlepšení sa zariadenie pomenovalo ako SWC (Warning Schip Gunnery), ktoré pracovalo na frekvencii 430 MHz a na vlnovej dĺžke 70 cm. V auguste 1941 vstúpil do služby Arcgilles, Leander a Cruisers, novo vytvoreného kráľovského námorníctva. Po odoslaní inžinierov do laboratória Rad Lab v MIT v USA na štúdium projektu na vývoj mobilných systémov s vlnovou dĺžkou 10 cm na sledovanie pobrežia. Po veľkom dopyte po týchto systémoch bola vyvinutá a testovaná súprava na konci roka 1942. Elektronika bola namontovaná v kabíne desať kolesového nákladného vozidla a druhý nákladný automobil prepravoval generátor a dielňu. Zariadenie bolo postavené v Christchurch a Wellington. Radar mal na streche jedinú parabolickú anténu a bol použitý aj ukazovateľ polohy na CRT obrazovke. Prvé z tejto sady sa dali do prevádzky v roku 1943 na podporu americkej torpédovej základne na Šalamúnových ostrovoch. Niektoré z radarov nahradili zostavy CW 200 MHz.

Vzhľadom na to, že spojenci postupovali smerom na sever v Pacifiku, vznikla potreba varovnej súpravy s dlhým dosahom. Projekt bol v priebehu niekoľkých mesiacov hotový a k dispozícii bolo šesť súprav na diaľkové sledovanie pod označením LWAW. Súpravy pracovali na frekvencii 100 MHz a na vlnovej dĺžke 3 m a boli namontované na nákladných automobiloch. Jednoduchá anténa Yagi bola bežne používaná, ale existovali aj širšie antény, ktoré sa dali použiť, keď sa vytvorilo pevné stanovište s dosahom 200 km.

Od začiatku roka 1939 bolo postavených 117 radarových súprav všetkých typov, ktoré boli vyrobené v malých dielňach, lebo ani jeden typ nebol uvedený do sériovej výroby. Po roku 1943 sa v krajine lode vybavovali britskými zariadeniami.

Juhoafrická republika

Rovnako ako vo Veľkej Británii i v Juhoafrickej republike vznikol vývoj rádiolokačnej techniky v Bernard Price Institute (BPI) pre geofyzikálny výskum na univerzite Witwatersrand v Johannesburgu. Premiér John Smuts požiadal, aby finančné prostriedky v BPI použili na tento účel. Koncom septembra 1939 boli rôzne prvky systému dokončené a boli zostavené na nákladných vozidlách tak, že vysielač a prijímač boli na samostatných autách. Vysielač pracoval na frekvencii 90 MHz a vlnovou dĺžkou 3,3 m a s výkonom 500 W. Pulzná šírka bola 20 μ s synchronizovaný s elektrickou frekvenciou 50 Hz. Prijímač bol superheterodyne a používal elektrónky typu 955 a 956 Acorn. Na vysielanie a prijímanie sa použili samostatné otočné antény s páromi celo – vlnových dipólov. Impulzy boli zobrazované na CRT osciloskopu.

Pred koncom roka 1939 systém zachytil objekt na vzdialenosť 8 km. Zlepšenie bolo zaznamenané, keď výkon vysielača sa zvýšil na 5 kW. Tento systém označili ako JB – 1, a ako prototyp postavený na pobreží Durban a tam zachytili lode vo vzdialenosti do 80 km. Na začiatku marca 1940 bol prvý systém JB nasadený na Mambrevi na pobreží Kene, ktorý pomáhal protivzdušnej brigáde zachytiť útočiacie talianske bombardéry a sledovať ich už vo vzdialenosti 120 km. Začiatkom roka 1941 bolo inštalovaných šesť systémov vo východnej Afrike a v Egypte.

Vylepšený systém, označený ako JB – 3, bol postavený v BPI, ktorý používal otočnú anténu a zvýšenú frekvenciu na 120 MHz s dosahom na 150 km pre lietadlá a 30 km pre

lode s presnosťou 1 až 2 stupne.

V polovici roka 1942 boli k dispozícii britské radary, ktoré spĺňali všetky požiadavky, preto BPI bol mimo ďalšieho vývoja radarového systému. Väčšina zamestnancov sa pridala k armáde. Basil Schonland ako plukovník v armáde, odišiel do Anglicka, aby slúžil ako vrchný inšpektor operačnej skupiny armády a neskôr vedecký poradca generála Bernard Montgomery.

Holandsko

Zariadenie včasnej výstrahy bolo v Holandsku vyvíjané na dvoch nezávislých líniách. Jednou bola mikrovlna technológia vo firme Philips a druhá VHF systém, ktorý sa vyvíjal v laboratóriách ozbrojených síl.

Philips v Eindhoven vo svojom NatuurkundinLaboratorium (NatLab), pre základný výskum týkajúci sa jej výrobkov. V NatLab, pracovník Klass Posthumus vytvoril rozdelenie magnetronu na štyri časti. Pri vývoji komunikačného systému pomocou magnetronu CHJA Staal testoval prenos pomocou parabolickej vysielacej a prijímacej antény umiestnenej vedľa seba. Na prekonanie frekvenčnej nestability magnetronu, bola použitá pulzná modulácia.

Vzhľadom na možný význam ako detekčného zariadenia, NatLab usporiadal demonštráciu pre Koninklijke Marine. Skúška bola vykonaná v roku 1937 po vstupe do hlavného prístavu v Marsdiep. Odrazy z morských vln zatemnil návrat odrazených lúčov od vzdialenej lode, ale námorníctvo bolo dostatočne spokojné a zvažovalo sponzorovať výskum. V roku 1939 zlepšená sada bola preukázaná u Wijk aan Zee, pri ktorej zachytila plavidlo vo vzdialenosti 3,2 km. Prototyp systému bol postavený v spoločnosti Philips a spolupráca sa začala s firmou Nederlande Seintoestellen Fabriek na stavbu výstražných staníc na ochranu. Niektoré terénne skúšky prototypu boli vykonané, ale projekt bol zrušený, keď Nemecko napadlo Holandsko 10. mája 1940. V rámci NatLab, však práca na zariadení sa vykonávala za veľkej tajnosti až do roku 1942.

Na začiatku 30. rokov sa rozšírili správy, že Nemci majú „lúče smrti“. Holandský parlament zriadil výbor pre Aplikovanú fyziku pre vojenské účely a preskúmať tento hrozný potenciál. Výbor zriadil „Laboratorium voor Fysiekeontwikkeling“ (LFO), laboratórium pre fyzický vývoj na podporu ozbrojených síl. Vo veľkej tajnosti, LFO otvorila zariadenie nazývané „Meetgebouw“, ktorá sa nachádzala na planine Waalsdorp. V roku 1934, J. L. WC von Weiler nastúpil do LFO a s S. G. Gratam, začali výskum na komunikačnom systéme na vlnovej dĺžke 1,25 m a s frekvenciou 240 MHz, ktoré majú byť použité u delostreleckých batérií. V roku 1937 pri testoch bolo zistené, že krdel vtákov rušil signál. Uvedomili si, že by to mohlo byť použité na zisťovanie lietadiel. Minister vojny nariadil, aby sa pokračovalo v experimentoch. Weiler a Gratama vytvorili systém pre riadenie svetlometov pri delostreleckej palbe.

Elektrické rádiolokačné zariadenie prevádzkované na vlnovej dĺžke 70 cm s frekvenciou 430 MHz a použitého pulzného prenosu pri RPF 10 kHz. Vysielač s prijímačom používal blokovací obvod s cieľom používať jednu anténu pre vysielanie a príjem. Prijatý signál bol zobrazený na CRT s kruhovou základňou. Táto sada bola uvedená armáde v apríli 1938 a zistila lietadlá do vzdialenosti 18 km. Tento súbor bol odmietnutý, pretože zariadenie nemohlo vydržať drsné armádne bojové podmienky.

Námorníctvo bolo viac naklonené pre vývoj a poskytlo finančné prostriedky.

V tajnosti sa robil vývoj jednotlivých častí zariadenia. Vysielač bol postavený na Delfi Technical College a prijímač na univerzite v Leidene. Desať systémov bolo zhotovených pod osobným dohľadom J. J. A. Schagen van Leeuwen, vedúceho firmy Hazemeijer Fabriek van Signaalapparaten. Prototyp mal výkon 1 kW a používal dĺžku impulzu 2 až 3 ms s 10 až 20 kHz PRF. Prijímač bol typu superheterodyne osadený elektrónkami Acorn s medzifrekvenčným kmitočtom 6 MHz. Anténa sa skladala zo štyroch radov so 16 polovičných dipólov. Operátor používal otočnú anténu a výšku si upravoval pomocou kľuky. Niekoľko sad bolo dokončených a jeden bol uvedený do prevádzky na Malieveld v Haagu tesne pred napadnutím Nemeckou armádou Holandsko v máji 1940. Systém fungoval dobre, ale aby nedošlo k získaniu zariadenia nemeckou armádou, boli zariadenia a dokumentácia zničené. Von Weiler a Max Staal utiekli do Anglicka na jednej s posledných lodí a niesli dve sady v rozloženom stave.

Francúzsko

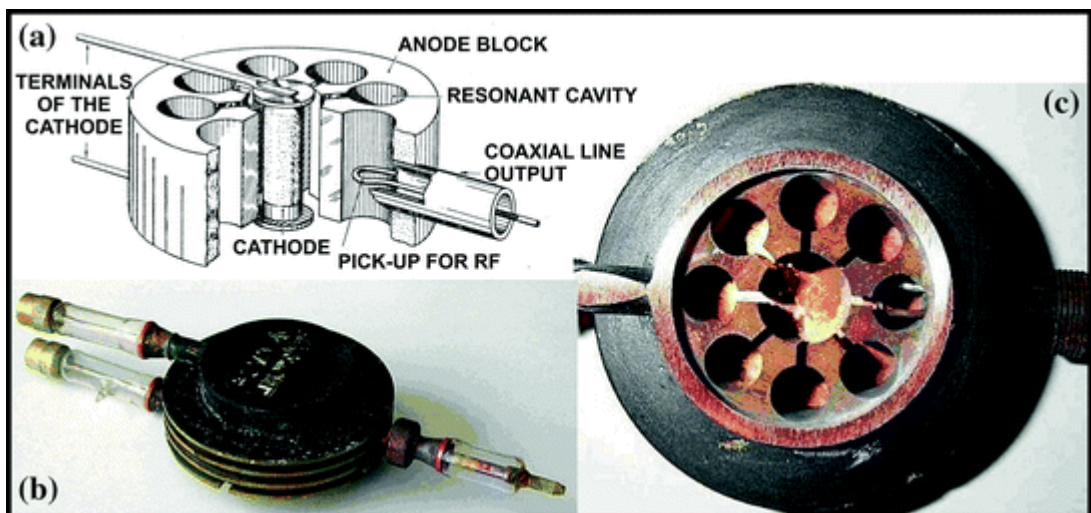
V roku 1927 francúzski fyzici Camille Gutton a Emile Pierret experimentovali s magnetronmi a ďalšími zariadeniami generujúce frekvencie s vlnovou dĺžkou okolo 16 cm. Henri Gutton, syn Camille, pracoval v Compagnie Générale de Télégraphie Sans Fil (CSF), kde spolu s Robertom Warnecke vylepšovali konštrukciu magnetronu, ktoré navrhol jeho otec. V roku 1934 po systematickom študovaní magnetronu pobočka CSF, vedená Maurice Ponte podala patentovú prihlášku na zariadenie na detekciu prekážok pomocou kontinuálneho žiarenia produkované magnetronom s ultra krátkymi vlnami. Toto zariadenie bolo ešte CW systém a závisel na Dopplerovom snímaní prekážok na vzdialenosť 15 až 20 km. Najkratšia vlnová dĺžka bola vybraná pre konečný návrh, ktorý mal byť zabudovaný na parníku SS Normandie už v polovici roka 1935 k operačnému použitiu.

Na konci roka 1937 Maurice Elie v SFR vyvinul prostriedok pulznej modulácie. To viedlo k novému 16 cm systému so špičkovým výkonom 500 W so šírkou impulzu 6 ms. Francúzsky patent bol podaný v decembri 1939. Tento systém bol plánovaný otestovať na mori na palube Normandie, ale test bol zrušený pre vypuknutie II. sv. vojny.

Na obrázku je vidieť dutinový magnetron vyvinutý Henri Gutton v roku 1939.

V rovnakej dobe, Pierre David v Laboratoire National de Radioélectricité (LNR),

experimentovali s odrazenými zvukovými signálmi pri vlnovej dĺžke asi 1m. V roku 1931 poznamenal, že lietadlo spôsobovalo rušenie signálov. LNR potom začala s výskumom detekčnej techniky pod názvom „elektromagnetické hrádze“. Aj keď bolo lietadlo zachytené, ale presnú polohu a rýchlosť objektu nebolo stanovené.



V roku 1936 si David uvedomil výhody pulzného systému a v októbri 1938 navrhol 50 MHz pulzne modulovaný systém s výkonom 12 kW. Zariadenie bolo vyrobené firmou Sadira. Francúzsko deklarovalo vojnu s Nemeckom 1. septembra 1939, a tak nastala veľká potreba detekčného systému včasného varovania. Systém Sadira bol prevezený do oblasti Toulone a zachytil lietadlo do vzdialenosti 55 km. Pulzný systém SRF bol zriadený neďaleko Paríža, kde zachytilo lietadlo do vzdialenosti 130 km. Nemecká armáda však bola ohromná a Francúzsko si uvedomilo, že vyrábať radary iba vlastnými silami by bolo málo, atak bolo rozhodnuté, že objavy budú zdieľané so spojencami.

V polovici marca 1940 predstavil Maurice Ponte v Paríži dutinový magnetrón navrhnutý Henri Gutton pre laboratórium GEC Wembley vo Veľkej Británii. Tento magnetrón bol navrhnutý pre pulzné vysielanie s vlnovou dĺžkou 16 cm. Na rozdiel od iných konštrukcií magnetrónov používal katódu s povlakom oxidu a s výkonom 1 kW, čo ukazuje, že oxid umožňuje vyrobiť vysoko výkonné magnetróny na veľmi krátkych vlnách. Význam tejto udalosti bol zvýraznený Eric Megaw v roku 1946 v revízii skorého radarového vývoja, v ktorej napísal „To bolo východiskom použiť katódu s oxidom, lebo prakticky vo všetkých ďalších impulzných vysieláčoch, ako aj významný príspevok britského radaru z 8. 5. 1940, ktorý vylepšil magnetrón na výkon 10 kW v auguste 1940 a tento model bol potom odovzdaný Američanom ak prejav dobrej spolupráce počas delegácie Tizard a získať od USA podporu vojenského potenciálu pre Veľkú Britániu.

Camille Gutton (30. 8. 1872 – 19. 8. 1963) bol francúzsky fyzik a priekopník v oblasti rádia a rádiolokačnej techniky. Narodil sa v Nancy a tu navštevoval základnú, strednú i vysokú školu Ecole Normale Supérieure v Rue d'Ulm. V roku 1896 obhájil svoju doktorskú prácu z fyziky na parížskej fakulte, kde pracoval v laboratóriu profesora Blondlot, kde vykonával dôležité experimenty so šírením rádiových vln v uplatnení týchto vlastností k riešeniu vedeckých problémov. Jeho doktorandská práca je nazvaná „Experimentálny výskum o prechode elektrických vln od jedného vodiča k druhému“.

Bol menovaný asistentom na Prírodovedeckej fakulte v Nancy v roku 1902. V rokoch 1909 až 1914 obnovil svoju laboratórnu prácu a vykonal priame pozorovanie rýchlosti svetla a rádiových vln. V roku 1915 generál Ferrie prišiel do Paríža a začal riadiť Vojenskú technológiu s úmyslom dať do výroby troj – elektródovú vákuovú lampu. Čoskoro navrhol Camille Gutton rádiové prijímače pre armádu na pozemné vysielanie a letecké spojenie. V roku 1917, tak mohol po prvýkrát na svete vyskúšať telefónne spojenie medzi dvoma lietadlami a medzi lietadlom a zemou. Úspešné spojenie spustilo sériové uvedenie zariadenia do priemyslu. Camille bol priamo spojený s výrobcami. Tieto zariadenia boli okamžite prijaté spojencami. Po vojne uviedol knihu „Telegrafia a telefonovanie rádiom“, ktorá mala veľký úspech a pokračoval vo funkcii na Prírodovedeckej fakulte v Nancy. V roku 1930 bol postavený do čela „Národného rádio elektrického laboratória“, kde vykonával presné merania pri vývoji vysokých frekvenciách, indukčnosti a odolnosti elektrónok i testy izolácií pri vysokých frekvenciách a šírenie vln v horných vrstvách atmosféry.

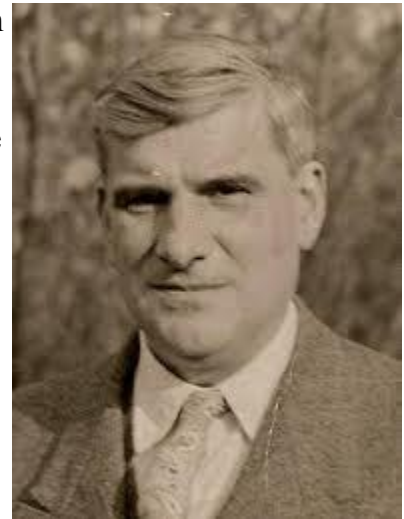
Camille Gutton a jeho asistent E. Pierret v roku 1927 začali so sériou pokusov o



podmienkach šírenia ultrakrátkych vln s vlnovou dĺžkou niekoľko decimetrov. Tieto pozorovania by boli pravdepodobne zostali nevyužitú, keby ich Henri Gutton nebol uplatnil v praxi.

V roku 1933 Henri ako riaditeľ výskumného ústavu fyziky RPR ponúkol na základe poznámok svojho otca Maurice Ponte generálneho riaditeľa FSB, aby vyvinula nový ultra krátkovlnný generátor s cieľom realizovať systém detekcie vzdialených objektov, čo bolo zariadenie, ktoré sa neskoršie nazývalo „radar“.

O šesť rokov neskoršie v marci 1939 výsledky výskumu Henriho Guttona, viedli k demonštrácii. Bol to úplný úspech s dvoma hlavnými inováciami vysielateľa, magnetrón M – 16 a impulzná prevádzka. Táto technológia bola oznámená spojencom v máji 1940, ktorí to ihneď prijali a vylepšili jeho výkon na 10 kW. Na obrázku je Henri Gutton.



Taliansko

Guglielmo Marconi inicioval výskum v Taliansku o prevádzkovaní rozhlasového signálu pri detekcii vzdialených objektov. V roku 1933 pri pokusoch s frekvenciou 600 MHz, zaznamenal poruchy prenosu spôsobené pohybujúcimi sa objektmi letiacimi v smere vysielania. To viedlo k vývoju v jeho laboratóriu na Corneigliano, k detekčnému systému Doppler na frekvencii 330 MHz a nazýval sa „radioecometro“.

V máji 1935 Marconi demonštroval svoj systém pred fašistickým diktátorom Benito Mussolini a členmi generálneho štábu, ale výstupný výkon bol nedostatočný pre vojenské použitie. Mussolini nariadil, aby sa rádiové vlny na detekciu ďalej vyvíjali v Kráľovskom inštitúte pre elektrotechniku a komunikáciu.

Pred koncom roka 1936 Tiberio a Carrara demonštrovali EC – 1, prvý taliansky systém rádiolokácie. Systém mal FM vysielateľ pracujúci na frekvencii 200 MHz s vlnovou dĺžkou 1,5 m s jednou parabolickou anténou. EC – 1 neposkytol údaje o vzdialenosti zachyteného objektu a pulzná technológia sa začala vyvíjať v roku 1937. Kapitán Alfeo Brandimarte navrhol prvý impulzný systém EC – 2. Tento pracoval pri 175 MHz s vlnovou dĺžkou 1,7 m a používa jednu anténu vyrobenú z rady rozložených dipólov. Zachytený signál bol zobrazený na osciloskopu. Tu vzniklo veľa problémov a nikdy sa nedostal viac ako do testovacej fázy. Práce sa ďalej zamerali na zvýšenie výkonu a pracovnej frekvencie. Carrara v spolupráci s firmou FIVRE, vyvinul magnetrón, ktorý sa skladal dvojice triód pripojenej k rezonančným dutinám a produkoval výkon 10 kW pri frekvencii 425 MHz s vlnovou dĺžkou 70 cm. Zariadenie bolo označené ako ES – 3 a jedna verzia mala byť používaná pre lode a druhá na pobreží. Zariadenie ES – 3 bolo testované na vrchole budovy na vysokej škole, ale práce boli zastavené z dôvodu vypuknutia vojny v júni 1940.

Podľa druhu práce možno rádiolokačnú stanicu rozdeliť na dve skupiny. Do prvej patria zariadenia s nepretržitou prevádzkou a do druhej patrí typ s impulzným vysielaním. Najjednoduchší typ je s nepretržitou prevádzkou akým je radarový výskomer, pomocou ktorého sa zisťuje skutočná výška letu lietadla nad zemským povrchom.

Širšieho, praktického využitia sa dosiahlo pri impulznom vysielaní. Vysielače pracujú behom krátkych časových intervalov, rozdelenými dlhšími prestávkami. Počas prestávky pracuje iba prijímač rádiolokačnej stanice. Tento spôsob prevádzky umožňuje používať jednu spoločnú anténu pre vysielač i pre prijímač. Týmto spôsobom možno jednoducho určiť presnú polohu objektu.

Jednou z najdôležitejších súradníc pozorovaného objektu je jeho vzdialenosť od rádiolokátora. Zistenie objektu a určenie jeho vzdialenosti robí impulzná rádiolokačná stanica týmto spôsobom: Vysielač vyžaruje elektromagnetické vlny počas veľmi krátkeho časového úseku. Potom vysielač prestane vysielat' a rádiolokátor behom pomerne dlhej doby, pracuje na príjme. Vyslaný impulz sa behom tejto doby šíri priestorom, ak dosiahne nejaký objekt, odrazí sa od neho a časť vyžiarenej energie sa vráti k tomu miestu, odkiaľ bol vyslaný. Tento proces sa periodicky opakuje. Prijímacia stanica prijíma a zaznamenáva dva impulzy: priamy a odrazený, ktorý prichádza k prijímaču neskôr ako priamy. Popísaný spôsob určovania je možno porovnať s dobre známou metódou určovania vzdialenosti pomocou ozveny iba rýchlosť je rozdielna. Pri ozvene sa šíri hlas rýchlosťou 330 m za sekundu a pri rádiolokácii je rýchlosť elektromagnetických vln 300 000 km za sekundu. Čas odrazeného signálu sa pohybuje v μ s. Pre určenie polohy objektu je okrem jeho vzdialenosti potrebné poznať smer telesa a jeho letovú výšku. Poloha objektu sa v rádiolokačnej stanici zaznamenáva pomocou sférickej súradnicovej sústavy. Pre meranie uhlových súradníc je nutné použiť úzko smerové, vyžarujúce rádiové vlny v úzkom zväzku, niečo podobné ako u svetelného reflektora. Vzhľadom na úzky smer, by sa mohlo stať, že daný objekt by nebol zachytený, preto dochádza automatickému postupnému ožarovaniu celého určeného priestoru.

Do akej vzdialenosti môže byť zistený ten alebo iný objekt, má veľký význam. Záleží na tom, či sa podarí spozorovať nepriateľské lietadlo vo vzdialenosti 80 km alebo 200 km. Na tejto vzdialenosti závisí dĺžka času prípravy a vyslanie lietadiel na jeho zneškodnenie. Najväčšia možná dĺžka závisí na rôznych okolnostiach. Je to určené výkonom vysielača, citlivosťou prijímača, rozmermi objektu, materiálom, z ktorého je objekt zhotovený a výškou lietadla. Výkon impulzu, vyslaný z rádiolokátora môže byť veľký, vzhľadom k tomu, že sa používa energia nahromadená behom krátkej prestávky a jej využitie behom krátkeho časového úseku pri vyslaní impulzu. Výkon takéhoto vysielača môže dosahovať výkon v desiatkach kilowattov až megawattov. Dosah rádiolokátorov je obmedzený i zakrivením zemského povrchu a tak závisí na výške postavenej antény a jej umiestnenie v teréne. Tieto hodnoty dosiahneme podľa vzorca $D = 3,57(\sqrt{h_p} + \sqrt{h_c})$, kde „ h_p “ je výška antény stanice, „ h_c “ je výška letu hľadaného lietadla. Ak výška antény je napríklad $h_p = 9$ m a výška, v ktorej letí lietadlo je 6000 m, potom dosadením do vzorca rovnice dostaneme vzdialenosť približne 290 km.

Podľa uhla, pod ktorým sa vlny odrážajú, poznáme relatívny smer, kde sa objekt nachádza. Na základe zmeraného času medzi vyslaním série vln a ich prijatím vieme určiť vzdialenosť objektu podľa vzorca

$$R = \frac{C_0 \cdot t}{2} \quad \text{kde „}C_0\text{“ je rýchlosť svetla v danom prostredí}$$

„ t “ je čas a R je vzdialenosť, v ktorej sa objekt nachádza. Na základe dopplerovho princípu aplikovaného na radar, vieme zistiť rýchlosť radarom sledovaný objekt relatívne k radaru.

Pri detekcii predmetov metódou rádiolokácie sa využíva odrazu elektromagnetických vln od telies, ktoré majú iné elektrické vlastnosti ako okolité vzduchové prostredie, v ktorom sa teleso nachádza. Schopnosť odrážať rádiové vlny majú hlavne kovy a iné vodiče.

Najčastejšie sú objektmi rádiolokácie lietadlá, lode a zemský povrch. Objekty odrážajú elektromagnetické vlny smerom k rádiolokačnej stanici inak, ako napríklad zrkadlo odráža svetelné lúče. Odrazené vlny sú rozptýlené do všetkých strán. V dôsledku toho sa dostane k prijímaču rádiolokačnej stanice iba malé percento vyžiarenej energie z vysielача. Ale i táto energia je v mnohých prípadoch celkom dostatočná, lebo prijímače sa vyznačujú vysokou citlivosťou.

Pre určenie polohy objektu je nutné okrem jeho vzdialenosti poznať i jeho smer a ak je týmto objektom lietadlo, tak aj jeho výšku, v ktorej sa nachádza. V rádiolokácii sa poloha objektu najčastejšie určuje v sférickej sústave súradníc s tromi hodnotami : „D“ priestorová vzdialenosť, „ β “ azimutom a výškovým uhlom ϵ . Ak poznáme tieto hodnoty, môžeme vypočítať horizontálnu vzdialenosť D_{hor} a výšku letu lietadla „h“ podľa vzorca $D_{hor} = D \cdot \cos \epsilon$, $h = D \cdot \sin \epsilon$

Ak bude možné s priestorovým určením vzdialenosti zmerať jeho azimut a výškový uhol, bude úloha presného určenia polohy objektu vyriešená. Pre meranie uhlových súradníc je nutné použiť v rádiolokačnej stanici úzko smerové antény, vyžarujúce vlny v úzkom zväzku, podobne ako u svetelného reflektora. Otáčaním antény vo vodorovnej polohe je možné postupne ožiariť rôzne časti určenej zóny na pozorovanie. Podobne sa určuje výškový uhol objektu pomocou zmeny náklonu antény vo zvislej rovine. Používanie úzko smerových antén nám zaistuje veľkú úsporu energie, ktorá je sústredená iba v určitom smere. Výhodou je i to, že i prijímač pracuje s touto úzko smerovou anténou, a tým je rádiolokačná stanica menej náchylná k poruchám z iných smerov.

Zvyšovanie výkonu vysielача je spojené s problémami. Je si potrebné pripomenúť, že sila odrazeného signálu je úmerná prevrátenej hodnote štvrtej mocniny vzdialenosti. Ak sa napríklad výkon vysielача zväčší 16 – krát, tak dosah rádiolokačnej stanice sa zväčší iba dvakrát. Väčší dosah stanice sa dosiahne aj zdvihnutím antény do väčšej výšky, ale to je možné iba u robustných a neprenosných systémov.

Rádiolokačná stanica

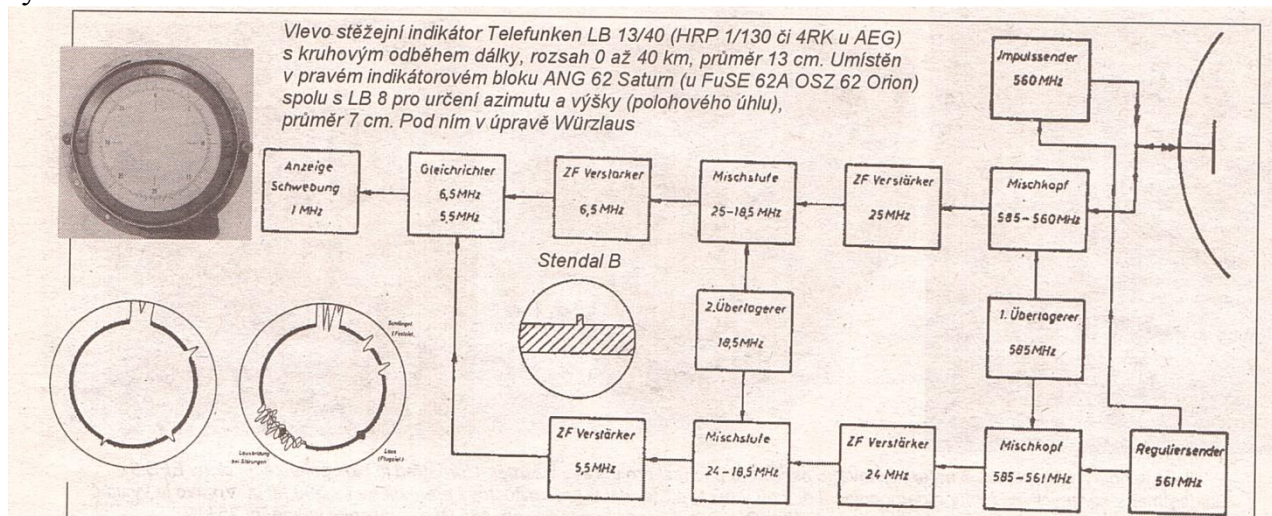
Srdcom rádiolokačnej stanice je „synchronizátor“, zariadenie, ktoré synchronizuje prácu vysielача, prijímača a indikátora. Základnou súčasťou synchronizátora je generátor radiacích impulzov. Tieto impulzy riadia modulátor vysielача, časovú základňu indikátora a iné uzly stanice. Synchronizátor musí vyrábať impulzy v presne oddelených intervaloch. Na tom závisí presnosť určenia súradníc cieľa.

Kmitočet opakovaných impulzov je jedným z najdôležitejších parametrov rádiolokačnej stanice. Túto frekvenciu nemožno voliť ľubovoľne, lebo čím je väčší dosah stanice, tým menší musí byť opakovací kmitočet impulzov. Je to dané tým, že v prestávkach medzi dvoma za sebou vyžiarenými impulzmi musí byť zabezpečená možnosť príjmu signálu odrazeného od vzdialenejšieho objektu. Napríklad : ak je najväčšia vzdialenosť dosahu stanice 150 km, do ktorej je schopná zachytiť letiaci objekt, tak medzera medzi dvoma impulzmi vysielача nemôže byť menšia ako 0,001 sekundy, teda impulzov nemôže byť viacej ako 1000 Hz.

V modulátore sa pod vplyvom spúšťacích impulzov synchronizátora funguje séria pravouholníkových modulačných impulzov danej dĺžky a amplitúdy vysielaných generátorom veľmi vysokých kmitov, ktoré idú cez antény prepínač do antény a sú vyžiarené do priestoru.

Dĺžka trvania vyžarovania impulzov je taktiež dôležitým faktorom, pretože určuje rozlišovaciu schopnosť rozlíšiť dva alebo tri ciele, ktoré sa pohybujú v nejakej vzdialenosti za sebou. Azimut (vodorovná) rozlišovacia schopnosť závisí na šírke vyžarovacieho diagramu v horizontálnej rovine.

Ako generátor veľmi vysokých kmitov v centimetrovom pásme sa používa takmer výlučne dutinové magnetrony. Vyrába nepretržite krátkodobé vysokofrekvenčné impulzy veľkého výkonu.



V súčasných rádiolokačných stanicích sa používa spoločná anténa, ktorá sa prepína k výstupu generátora vysokofrekvenčných impulzov a k vstupu prijímača. Pri vysielaní blokuje antény prijímač a chráni ho pred preťažením a pri prijímu uzatvorí vlnovod vedúci ku generátoru, a tým vylučuje možnosť strát pri prijímu slabého odrazeného signálu 10^{-9} W. Aby anténa dosiahla celý zverený priestor, otáča sa okolo alebo sa kýva v medziach určeného sektoru.

Signál odrazený od objektu je prijímaný anténou a postupuje do zmiešavača buď priamo alebo cez vysokofrekvenčný zosilňovač. Ďalej je zosilnený v medzifrekvenčnom zosilňovači a vedený na druhý detektor, odkiaľ prichádzajú impulzy jednosmerného prúdu do zosilňovača, ktorý je stavaný a pracuje podobne ako zosilňovače obrazových signálov v televízii. Z tohto zosilňovača ide signál do indikátora, ktorý obsahuje obrazovku a jej časovú základňu. Vzdialenosť cieľa sa číta priamo na obrazovke. Približné určenie výšky letu udaného telesa je možné zistiť niekoľkými spôsobmi. Najjednoduchšou z nich je určenie výšky z prechodu cieľa z jedného smerového diagramu do druhého. Ak pozná operátor dobre smerový diagram antény vo vertikálnej rovine, môže odhadnúť výšku objektu podľa rýchlosti poklesu alebo väčšieho zoslabenia signálu.

Rádiolokačné stanice riadiace delostreleckú paľbu majú menší dosah v porovnaní so stanicami, ktoré hľadajú vzdialené letiace objekty. Pre nájdenie cieľa musí stanica udávať plynule súradnice cieľa na veliteľské stanovište, ktoré spracováva údaje a odosiela ich jednotlivým palebným útvarom. Niektoré typy týchto zariadení sleduje cieľ automaticky.

V rádiolokačných stanicích sa používajú antény rôznych typov. V stanicích pre hľadanie na veľkú vzdialenosť pracuje v decimetrových až metrových vlnových dĺžkach a prevládajú smerové antény s mnohými žiaričmi. V rádiolokačných stanicích s centimetrovými vlnami

sa najčastejšie používajú antény s parabolickými reflektormi. Táto anténa používa pol vlnného dipólu alebo pol vlnného exponenciálneho lievika, umiestneného v ohnisku kovového reflektora (zrkadla). Táto anténa má veľmi úzky smerový diagram.

Z rádiolokačnej techniky sa stala počas II. svetovej vojny disciplína, ktorá si vynútila spoluprácu celých vedeckých tímov z rôznych vedeckých odborov. Úloha géniov tu neplatila a doba reagovala na nové trendy tímovej práce, v ktorej zodpovednosť za úspech a neúspech zodpovedali celé skupiny a vedecký potenciál jednotlivcov iba napomáhal pri realizácii zadaných programov. V predvečer druhej svetovej vojny existovali iba tri štáty, USA, Veľká Británia a Nemecko, ktoré mohli úspešne rozmotat' celé kľbko problémov súvisiacich s rôznorodými a niekedy odlišnými potrebami a požiadavkami jednotlivých druhov ozbrojených síl.

Na rozdiel od Európy sa Spojené štáty cítili v bezpečí a počiatkový vývoj rádiolokácie prebiehal uvoľneným dynamickým tempom. Najvýstižnejšiu charakteristiku tohto stavu podal Dr. Lyman Chalkley, vedúci analytik vládneho výboru USA pre ekonomiu vojny. Podľa jeho názoru rádiolokačný systém nebol dostatočne vyvinutý, i keď to bolo celkom dobre možné z jednoduchého dôvodu, že v tej dobe neexistovali pohnútky a predpoklady k dostatočne výnosnému komerčnému využitiu v mierových podmienkach. Svätá ruka trhu a tvrdé kritéria zisku ponechávala vývoj rádiolokácie v stave viac menej laboratórneho zariadenia bez hlbšieho záujmu o prevedenie do vyššej úrovne praktického využitia.

V Európe sa situácia dostala do zlovestnejšej podoby a vojna už visela vo vzduchu. Vodcov rev znel stále hlasnejšie. Hitler predstavoval bič a bolo by nerozumné čakať, že sa táto vec len tak jednoducho neurovná. O podporu hystérie sa postarali i niektoré knihy, akou bola kniha S. Fowlera „Bomby nad Prahou“ z roku 1936, v ktorej sa opísala smrť takmer celej Prahy. Fowlera vôbec nenapadlo, že by sa mohlo niečo podobné stať Londýnu.

Obava z leteckých útokov rýchlo narastala a začali ho pociťovať ako hada okolo krku. Veľká Británia a Nemecko sa pustili do vývoja a výroby prakticky použiteľného rádiolokačného zariadenia, i keď na základe úplne iných pohnútok.

Nemci sa pomocou rádiolokačného zariadenia snažili získať prevahu nad mohutným britským námorníctvom. Veľká Británia sa zase snažila znížiť zraniteľnosť pred všemožnou Luftwaffe. Z toho dôvodu 28. 1. 1935 vznikol výbor pre obranu Británie proti leteckým útokom známy ako Tizard Committee, podľa mena predsedu profesora Henry T. Tizard (1885 – 1959). Bol to Tizardov výbor, ktorý schválil a presadil bizarný a technologicky upachtený systém CH (Chain Home AMES Type 1 či RDF 1 podľa Air Ministry), pretože sa riadil zásadou, že je lepšie mať niečo ako nič a lepšie niečo teraz ako bohviečo zajtra. Na začiatku vojny mal tento systém dvadsať bistatických rádiolokátorov, zložených z množstva oceľových a drevených stožiarov uvedených do operačnej činnosti. Vyžadoval prvotriedne vycvičený a zohratý personál, zdatných bicyklistov a ženský pomocný zbor WAAF, ktoré pomocou nožného mechanizmu otáčali rámové antény, neustálu pozornosť, trpezlivosť a kalibráciu a nikdy nekončiacie vylepšovanie systému.

Význam technologicky úbohého reťazca CH výrazne vzrástol, po jeho dokončení, integrovaný do uzatvoreného systému sledovaniu vytýčených sektorov sledovania a vyhodnocovania zistených cieľov a predávaní informácií do centier riadenia RAF. Tizard presadil aj vývoj palubných rádiolokátorov RDF2, Bowenovho streleckého rádiolokátora AI / Airborne Interception, Toucheho palubný proti lodný ASV / Air to Surface Vessel či Anti Surface Vessels i pozemný RDF GCI / Ground Controlled Intercept s vlnovou dĺžkou 1,5m.

Tizardov výbor okrem rádiolokácie založil disciplinárnu maticu a meteorológiu, stanovil kategóriu operačného výskumu a poslanie vedcov na operačnej úrovni, venoval sa definovaniu problémov a situačné modelovanie, nájdenie riešení, udržoval pružnú spätnú väzbu, myslenie vedcov prevádzal do myslenia štábnych dôstojníkov a opačne.

Skutočnosť, že Nemci nakoniec ťahali za kratší koniec povrazu, má svoj prvopočiatok v neúnavnej činnosti tohto výboru, ktorého rozhodnutie musel rešpektovať i Wiston Churchill, i keď niekedy nerád.

V Clarendon Laboratory v Oxforde v prípade centimetrových prijímačov dosiahli určitého pokroku, John Randall a Henry Boot z University of Birmingham bodovali s impulzným dutinovým rezonančným magnetrónom, keď 23. 2. 1940 previedli laboratórny experiment pri vlnovej dĺžke 9,8 cm a s nameraným výstupným výkonom 400 W. Pripomeňme, že Hollmanové patenty dutinových magnetrónov z roku 1935, 1936, 1938 a 1939 boli uznané i v USA v júli 1938 pod patentovým číslom US 2123178. W. Enkelbert z Telefunken podal patentovú prihlášku 16. 11. 1939 pod číslom DE 938196. Magnetron v Birminghame sa zhodoval s Hloomanovými konštrukciami a britská inovácia spočívala v masívnom anódovom bloku so šiestimi dutinami. Prvé laboratórne modely mali elektromagnet a boli chladené vodou.

Neskoršie koncepcie magnetrónu vychádzalo z Hartreho priamky a Riekeho diagramu. Sayersova prevratná metóda „strappingu“ spôsobila veľký nárast stredného i špičkového impulzného výkonu magnetrónu. Tizard i napriek pokrokom, cítil že Británia je zatlačená do kúta, lebo chýbali kapacity zdroje a čas. V Atlantickom oceáne zaznamenávali veľké straty na životoch a dôležitého lodného nákladu. Preto urobil neľahké rozhodnutie, obrátiť sa k USA s prosbou, pritom poskytnúť všetky britské vedecké tajomstvá a požiadať o veľkoplošný vývoj rádiolokačnej techniky v pásme vlnovej dĺžky 15 cm až 11 cm. Očakávali rýchle rozbehnutie výroby vo veľkých sériách a masívne dodávky radarov do Británie.

V septembri 1940 Tizard a šesť členov skupiny zamierili do USA a neprichádzali s prázdnyimi rukami. Eddie Bowen ako oko v hlave opatroval jednoduchú škatuľu, ktorej obsah mal obrovskú hodnotu, magnetron číslo 12. Tizard vysvetlil predstavu Vannevar Bush, ten požiadal o rozhovor prezidenta Franklina D. Roosevelta, v rámci spolupráce práce odsúhlasil a na predložený papier načmáral OK a jeho podpis.

Vďaka prevzatému magnetrónu E1189 bol zahájený okamžitý vývoj mikrovlnných radarov. Firmy Bell Lab a Raytheon zhotovili prvé kópie ešte do konca októbra 1940. Do konca vojny bolo v USA vyrobených viac ako milión dutinových magnetrónov.

Na konci roka 1944 tvorilo hlasovú službu leteckej obrany Ríše 160 000 osôb vrátane 111 000 ženských príslušníčok Ln – helferinen. V postaveniach boli umiestnené radary typu Freya, Würzburg – Riese, Wassermann, Mammut a iné, medzi ktoré patrili dezinformačné zariadenia, rušiacie a iného zamerania. Krycie pomenovanie Würzburg patrilo celej skupine „Hauptgruppe“ s 35 typmi rádiolokátorov s parabolickým zrkadlom priemeru 3 m s opakovacím kmitočtom 3750 Hz, šírku vyžarovaného diagramu 22° a dosah 25 až 40 km. Radarov typu Würzburg bolo vyrobených 4200 kusov a predstavoval najpočetnejší nemecký rádiolokačný systém. S vytvorením siete Himmelbett však vznikla naliehavá požiadavka radarov s omnoho užším vyžarovacím diagramom (zväzkom), ktorý by presnejšie zameral lietadlá RAF a navádzal nočných stíhačov na tieto lietadlá. Nové zariadenie Würzburg – Riese sa odlišovalo veľkosťou parabolického zrkadla s priemerom 7,5 m a blokové schéma

zostalo bez zmeny až na časť FT 65 Jupiter. Prepojené zostavy s presvetlenými otočnými stolmi „Seeburg Tisch Ln 20 820“ slúžili k riadeniu stíhacích lietadiel v systéme HeNaJa a DuNaJa s uplatnením zameriavača Heinrich a diaľkometerov Hans E – meß.

Vzdušná vojna na západnom fronte bola nemysliteľná bez použitia rádiolokačného zariadenia, ktoré sa neustále vyvíjalo a modernizovalo, aby mohli účinnejšie reagovať na úskoky protivníka. Tento spôsob vojny pripomína hromadný závod súbežných dráhach, v ktorej sa jedna strana snaží predstihnúť tú druhú aspoň o kúsok a krátky čas. Žiadna iná zbraň nemala tak vysoký koeficient starnutia ako rádiolokačný systém.

Správne použitie v správny čas a na správnom mieste vyžadovalo odvahu, predvídavosť, talent a podporu z najvyšších miest. Toho sa v tretej ríši nedostávalo, alebo nie v dostatočnej miere. Na nemeckej strane nefungoval skutočný riadiaci orgán, vo vývoji panovala veľká roztrieštenosť, mrhanie genialitou a nedostatkom podpory 28 výskumným útvarom FoFu – Forschungsführung a 12 ústavou pod Hochschulintitute a šesť najväčších firiem.

V ústavoch a ich pobočkách platilo Hitlerovo nariadenie: Na výskumných úlohách a akciách, nikto nesmie vedieť viac než musí a nikto sa nesmie dozvedieť niečo skôr, než je nutné, aby sa to dozvedel.

Ku koncu roka 1942 a počas roka 1943 už nebola nemecká prevaha a strategické omyly, nedostatok zdrojov, eliminácia vzdušnej nadvlády Luftwaffe a likvidácia veľkej časti ponoriek v Atlantiku s ťažkými porážkami Wehrmachtu na všetkých frontách, dávali tušiť kto bude porazený.

Na druhej strane spojencov prebiehali ničím nerušené výskumy, výroba a astronomické finančné prostriedky. Len v MIT Radiation Laboratory pôsobilo 3900 vedcov, ktorí mali k dispozícii vlastné letectvo s počtom lietadiel 95 a podporu vo výške 2.1 miliardy dolárov. Vojna je nepretržitý sled omylov a chýb a vyhrá ten, kto ich urobí menej. Hitlerovské vedenie bolo zahnané do situácie, v ktorej robili veľa chýb, lebo nemali čas na premyslenie s určitým časovým odstupom a už vôbec nie tak, ako si to predstavovalo. I napriek chaosu v záverečnom vojnovom období dokázali nemeckí vedci vyrobiť v oblasti centimetrových vln veľké pokroky a mali kvalitnejšie rádiolokačné zariadenia ako Anglicko a vyrovnali sa tým americkým.

Berlín a „Gerät Berlin“ akoby stál mimo dianie. Dvadsaťpäť funkčných radarov Gerät Berlin N 1 bolo zabudovaných do nočných stíhacích lietadiel Junkers Ju 88G – 6. V konečnom štádiu vývoja bolo 42 typov magnetronov s vlnovými dĺžkami do 0,5 cm od osemduťinových až po dvadsaťduťinové. V príprave na veľkosériovú výrobu boli 9 cm palubné radary Fug 240/2 Berlin N2, Fug 240/3 Berlin N3, Fug 244 Bremen a Fug 247 Bremer – haven s vlnovou dĺžkou 3 cm s automatickým streleckým systémom Pauke SD a Fug 248 Eule s vlnovou dĺžkou 1,6 cm. FuMG 76 Marbach a mobilné riadiace centrum Gerätewagen Bayern dostali najvyššiu možnú prioritu s označením DE. SS – Obergruppenführer Kammler so svojimi orgánmi a s pomocou gauleiterov vykresával Gerät Berlin v Sasku, Dolnom Slezku, v Sudetoch a v Protektoráte Čiech.

Briti ukoristili 4361 palubných radarov, 1965 pozemných radarov a 1201 ďalších typov radarov. Američania si odviezli z Nemecka množstvo dokumentácie, z ktorých niektoré ani nepreštudovali.

Na zozname Joint Intelligence Objectives Agency z 2. januára 1947 figurovalo 1600 nemeckých vedcov a špecialistov, ktorých čakalo sťahovanie za oceán. Medzi nimi nechýbali vedci z oblasti vysokofrekvenčnej a rádiolokačnej techniky akými boli:

Barkhausen, Bockhaus, Brink, Crone, Emschermann, Erb, Erz, Gese, Gohlke, Hollmann, Jenns, Labus, Thoma, Troeger, Zinke a mnohí ďalší. Z nemeckých vedcov sa rázom stali spojenci proti ruskému nebespečiu. S tým súviselo uvalenie prísneho informačného embarga na akékoľvek informácie, ktoré by sa týkali nemeckých centimetrových rádiolokačných systémov.

Keď sa po vojne vrátili domov príslušníci československých a poľských perutí RAF ani náhodou nezapochybovali o britskom prvenstve radaru. Za britskou propagandou stál Výbor pre politické vedenie vojny PWE (Political Warfare Executive). Počínal si dobre až obdivuhodne a tým aj mienené prvenstvo rádiolokačného zariadenia i prvenstvo impulzného dutinového rezonančného magnetronu pripočítal britským príslušníkom. Bol to umelo vytvorený mýtus, ktorý našiel živnú pôdu, rýchlo sa zakorenil. Veci spravidla nie sú také, aké sa zdajú byť alebo ako sú predkladané. Mýty majú veľmi hlboké korene a ich vykorenenie nebýva ľahké, a preto na medzinárodných konferenciách počuť hlasy, ktoré požadujú objektívnejší pohľad na históriu vzniku a vývoja rádiolokačného systému.

Povojnový radar

Už počas vojny boli zahájené niektoré projekty zamerané na nearmádne využitie rádiolokačnej techniky. Rádiová astronómia bola jednou z technológií, ktoré vznikli ešte pred II. sv. vojnou, ale začala prekvitať až koncom 40. rokov s podporou mnohých vedcov, ktorí mali vlastné skúsenosti s radarovou technikou. V automobilovom priemysle sa začali montovať radary do vozidiel na meranie vzdialenosti medzi vozidlami. Radar sa začal používať na meranie rýchlosti dopravných prostriedkov. V meteorológii sa začali radary používať na sledovanie miesta a intenzity búrkovej činnosti. Radary v lodnej doprave boli montované na zvýšenie bezpečnosti pri zníženej viditeľnosti.

Jedným z prvých aplikácií digitálnych počítačov bol použitý v spínanej fázy signálu s prvkami veľkých s fázovaných antén. Ako menšie počítače vstúpili do povedomia a boli rýchlo aplikované na spracovanie digitálneho signálu pomocou algoritmov pre zlepšenie výkonu radaru.

V Spojených štátoch, Rad Lab MIT bol oficiálne uzavretý na konci roka 1945. Naval Research Laboratory (NRL) a armádny Evans Signal Laboratory pokračovali s novými aktivitami vo vývoji centimetrových radarov. United States Air Force (USAF) bol oddelený od armády v roku 1946 s konceptom radarového výskumu na svojom Cambridge Research Center (CRC) v Hanscom Field v štáte Massachusetts. V roku 1951, MIT otvorila Lincoln Laboratory v záujme spoločného vývoja s CRC. Bell Telephone Laboratory sa pustila do rozsiahlej modernizácie komunikácií, oni pokračovali s armádou na vývoji radarov vzdušnej obrany.

V Británii, RAF Telecommunications Research Establishment (TRE) a armáda je pre výskum a vývoj radaru a založila RRDE, pričom pokračujú pri zníženom tempe v Malvern, Worcestershire. V roku 1953 boli zlúčené do radarového Research Establishment. V roku 1948 všetky aktivity kráľovského loďstva, rádio a radarového výskumu a vývoja sa zlúčili do spoločného podniku.

Počas studenej vojny po II. sv. vojne ležalo nepriateľstvo najmä medzi USA a Sovietskym zväzom. Od roku 1949 obe strany mali jadrové zbrane s možnosťou prepravy bombardérmi. To si vyžadovalo vybudovanie rozsiahlych sietí čoraz na väčšom území. USA na západe vytvorili prvý takýto systém pod označením Pinetree link zasadená po pobreží celej Kanady

na začiatku roka 1950 a zálohované radarové hliadky na lodiach a ropných plošinách na východnom a západnom pobreží.

Spustošený a vojnou ochromený SSSR bol vtiahnutý do nového kolotoča ozbrojovania s extrémne nákladnou výrobou rádiolokačných zariadení PVO a PRO systému modelmi A – 35, RLS Pluton, RL RE – 1 až 4. Indikátor D/T, Tral, Irtyš, Kontakt a podobné zariadenia. Požiadavky sa navršovali do jednotlivých etáp ako: detekcia cieľov, ich identifikácia, selekcia, automatizácia až k cieľovej šifre Deklarácia. Za šifrou Deklarácia sa skrývalo vytvorenie jednotného rádiolokačného poľa včasnej výstrahy i integrovaných systémov PVO, PRO a PKO. Po systémoch Dnester – M, Dneper, FAR Dugava a Darjal – M /UM s vlnovou dĺžkou 1,5 až 2 m, nasledovali FAR Dunaj – 1 až 3 a Volga s vlnovou dĺžkou 0,1m. V PRO a PKO sa uplatnili i rádio teleskopy TNA – 1500 s parabolickými zrkadlami s priemerom 64 m. Nezostalo iba pri systéme PRO A – 35 a zrodil sa projekt PRO 2. generácie A – 135 a rádiolokačné komplexy Aldan, Amur – P, Angar a mobilné PRO S – 225 a globálny PRO Taran, RLS Programa – 2, MRLS Don – 2. Systém PRO S – 225 vychádzal z nadčasového, modulárneho RLS BFAR Azov s pôvodným návrhom riešenia so šošovkou anténou sústavou prijímača. Na obrázku je AESA SBX – 1 umiestnený na mori.

V roku 1957 americká armáda začala ABM systém pod názvom Nike – X. Tento prešiel niekoľkými zmenami a nakoniec dostal pomenovanie „Safeguard program“. Pre dlhý dolet bolo označenie Perimeter Acquisition Rada (PAR) a kratšieho doletu Radar Missile Site (MSR). PAR bol umiestnený na 128 podstavcoch s výškou 39 m s jednou stranou obrátenou na sever pod uhlom 25°. Anténny systém sa skladal so 6888 prvkov. Vysielač produkoval výkon v megawattoch a dosah priletajúcej rakety zachytil vo vzdialenosti 2900 km. MSR mal 80 podstavcov s výškou 24 m v tvare zrezaného ihlanu, pričom každá strana antény bola sfázovaná a používala sa pri vysielaní a prijímaní. Vysielač používal dva klystrony, ktoré fungovali paralelne, každý s výkonom jeden megawatt. Dosah MSR bolo zo všetkých smerov 480 km. Počas nasledujúcich dvoch desaťročí, americká armáda a US Air Force vytvorili rad veľkých radarových systémov.



Na začiatku roka 1970 spoločný americko – britský projekt s kódovým označením 10 MW OTH bol umiestnený v Anglicku so snahou odhaliť lietadlá a raketové launching cez západnú ZSSR. V rovnakom časovom období, Sovietsky zväz vyvíjal podobný systém. Tento úspešne zachytil štart rakety do vzdialenosti 2500 km.

Meteorologický radar

Počas II. sv. vojny, vojenský radaroví operátori si všimli šum vo vrátených ozvenách spôsobených poveternostnými vplyvmi, ako bol dážď, sneh alebo dážď so snehom. Tesne po vojne, vojenský vedci sa vrátili do civilného života alebo pokračovali v ozbrojených silách vo svojej práci. V Spojených štátoch, David Atlas pre Air Force so skupinou na MIT vypracoval prvý operačný radar. V Kanade j. S. Marshall a R. H. Douglas zažili búrlivé

počasie v Montreale. Marshall a jeho doktorand Walter Palmer sú známi z práce, kde upozorňujú na fakt, že výkon na prijme klesol až na polovicu pri daždivom počasí.

V Spojenom kráľovstve, výskum pokračoval v štúdiu vzoriek radarovej ozveny a meteorologických prvkov, ako sú búrkové dažde a konvektívna oblačnosť a experimenty boli vykonané na zhodnotenie na rôznych vlnových dĺžkach od 1 do 10 cm.

V rokoch 1950 až 1980, boli postavené radary, ktoré majú merať polohu a intenzitu zrážok pre meteorologické stanice na celom svete. V Spojených štátoch, americký meteorologický ústav, bol založený v roku 1870 so zvláštnym poslaním poskytovať meteorologické pozorovanie a oznámiť blížiacu sa búрку, ktorá mala jeden z prvých meteorologických radarov. Jednalo sa o upravenú verziu An/APS – 2F, ktorý Weather Bureau získal od námorníctva. Nasledoval WSR – 57 v roku 1957 a bol to prvý meteorologický radar navrhnutý špeciálne pre národné varovné siete. Radar pracoval na frekvencii 2,89 GHz a jeho špičkový výkon bol 410 kW s maximálnym dosahom 930 km. V roku 1970 radary začali byť štandardné a organizované do väčších sietí.

Prvé prístroje na zachytenie radarových snímok boli vyvinuté približne v rovnakom čase. Počet snímaných uhlov sa používal na získanie trojrozmerného obrazu. Štúdia organizácie búrok potom boli možné pre Alberta Hail projektu v Kanade a National Laboratory silných búrok (NSSL). Tento systém začal v roku 1964 s experimentovaním na duálnu polarizáciu signálov a na Dopplerov jav. V máji 1973 tornádo zdevastovalo Union City v Oklahome a Doppler na 10 cm vlnovej dĺžke radaru z NSSI dokumentoval celý priebeh tornáda. Výskumníci objavili rotáciu v oblakoch vo vzduchu, ešte skôr ako sa tornádo dotklo zeme. Výskum NSSI pomohol presvedčiť národnú meteorologickú službu na to, že Dopplerov radar je veľmi užitočný a dôležitý. V rokoch 1980 až 2000 sa meteorologický radar stal štandardom vo vyspelých krajinách. Konvenčné radary boli nahradené Dopplerovými radarmi, ktoré okrem polohy a intenzity by mohli sledovať relatívnu rýchlosť častíc vo vzduchu. V Európe prešli na Dopplerové radary v roku 1990 a medzi tým sa urobili veľké pokroky vo výpočtovej technike, ktoré umožnili rýchlejšie spracovávať veľké množstvo dát.

Radarová interferometria

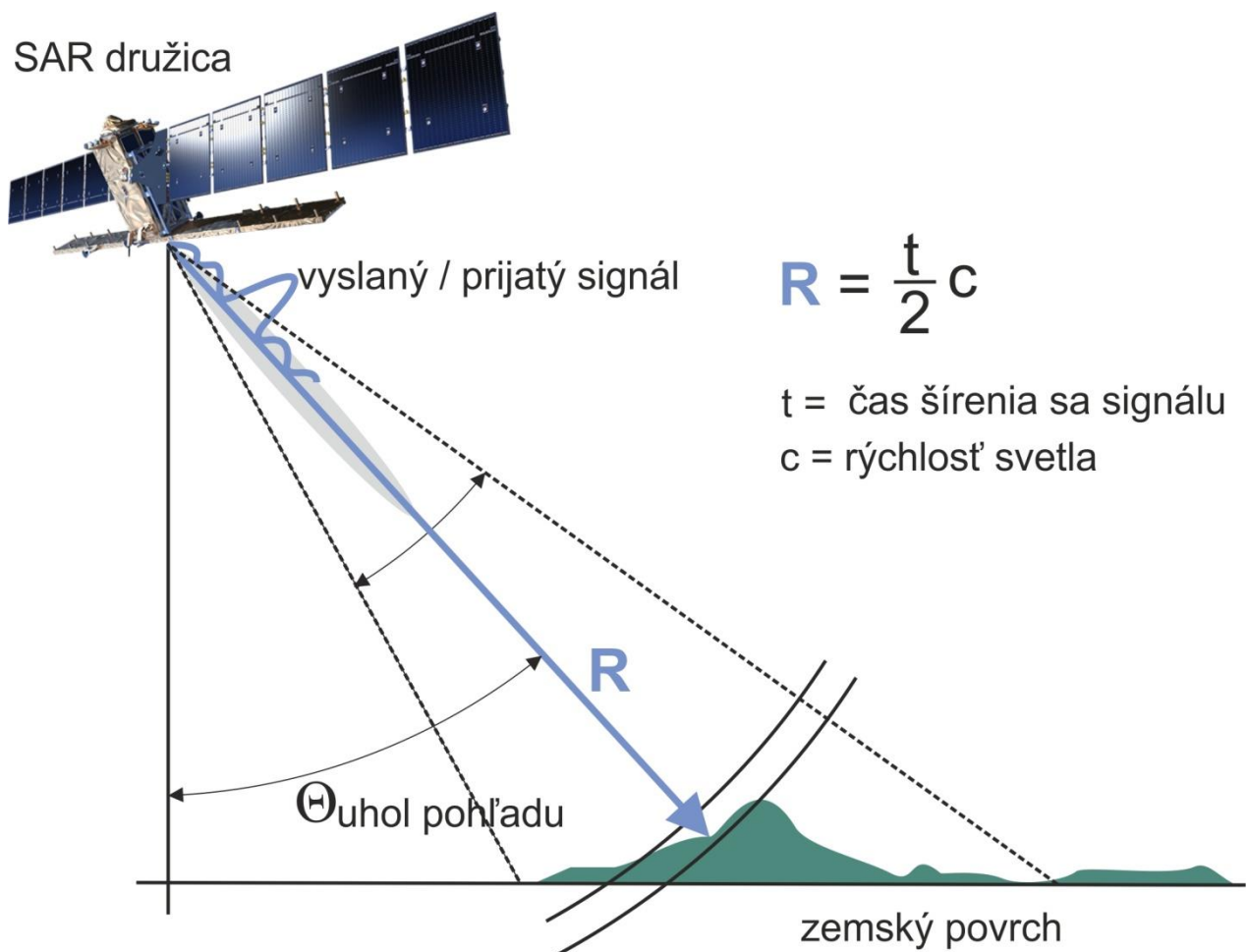
Na rozdiel od skenerov alebo fotografických kamier, ktoré pracujú v optickom spektre a merajú odrazené slnečné žiarenie alebo žiarenie Zeme, je radarová aparátúra vybavená vlastným zdrojom žiarenia. Radar používa mikrovlnné žiarenie na vlnovej dĺžke 1 mm až 1m. Nižšie frekvencie použitého žiarenia dovoľujú získať informácie i cez hmlu, oblaky a mierny dážď. Radarové vlny taktiež viac prenikajú priestorom, do pôdy, snehovej pokrývky a taktiež dovoľujú získať informácie i o pod povrchovej vrstve. Geometria radarového merania je odlišná od väčšiny optického merania, pretože sa používa šikmý pozorovací uhol miesto vertikálneho pohľadu obvyklého u optických skenerov.

Pre praktické aplikácie sa používajú zobrazovacie radary, pracujúce syntetickou apertúrou (Synthetic Aperture Radar – SAR). Veľkosť nameranej spätnej odrazenej energie sa môže znázorniť v podobe čiernobieleho obrazu. Namerané hodnoty intenzity odrazeného elektromagnetického žiarenia majú väčší dynamický rozsah než analogické hodnoty optického žiarenia. Sú preto ukladané s rádiometrickým rozlíšením 16 bit oproti 8 bit u optických dát.

Zobrazovací radar obvykle vyžaruje vlnu horizontálne polarizovanú a prijíma signál buď v rovnakej polarizačnej rovine (označené ako HH) alebo vertikálnej rovine (označenej HV) alebo v oboch rovinách súčasne. Dôvodom k tomu je rozdielna intenzita prijatých signálov

oboch polarizácií od jedného objektu. Tento rozdiel taktiež možno využiť ako rozpoznávací znak niektorých objektov. Radarové aparatúry, na rozdiel od optických skenerov, snímajú dáta obsahujúce okrem intenzity zložku taktiež zložku fázovú, ktorá predstavuje informáciu o okamžitej vzdialenosti radaru a každého ožiareného objektu na zemskom povrchu. Fázový rozdiel zistený z oboch radarových snímok rovnakého územia umožňuje určiť incidenčný uhol a polohy radaru pre oba prelety nad určitým územím potom umožňuje vytvoriť trojrozmerný model zemského povrchu.

Metóda radarovej interferometrie nachádza uplatnenie v rade aplikácií a jednou z nich je i mapovanie výškových pomerov terénu a sledovanie krátkodobých i dlhodobých terénnych deformácií s presnosťou na 1 cm.



Na obrázku je vidieť systém mapovania zemského povrchu.

Astronomický radar

Pri vývoji rádiolokačných zariadení, astronómia ho považovali za veľmi pozitívnu vec, ktorá by im mohla pomôcť pri pozorovaní Mesiaca a blízke mimozemské objekty. V roku 1944 Zoltán Lajos Bay si dal toto ako hlavný cieľ pri vývoji radaru v Maďarsku. Jeho radarový teleskop bol odvodený z radaru sovietskej armády a bol prestavaný, aby mohol experimentovať. V rámci projektu Diana tvorenom v armáde Evansových signálov v laboratóriu v New Jersey, na modifikovanom radare SCR – 271, pracujúceho na frekvencii

110 MHz
s výkonom 3
kW, bol použitý
pri prijímaní
echa od Mesiaca
10. januára 1946.
Zoltán Bay
dosiahol tento
odraz z Mesiaca
6. februára 1946.

Rádio
astronómia mala
začiatky po II.
sv. vojne
a mnoho vedcov
bolo zapojených
do vývoja
radaru. Pretože

náklady a zložitý zapojenia vysieláčov a problémy súvisiace s prijímacím zariadením, bolo príčinou, že sa astronomickému radaru venovalo iba málo pozornosti. V skutočnosti všetky radary pre astronomickú aktivitu boli tvorené iba ako postranné aktivity na rádio astronomickom observatóriu. Na obrázku je vidieť spôsob sledovania pohybu meteoritu.

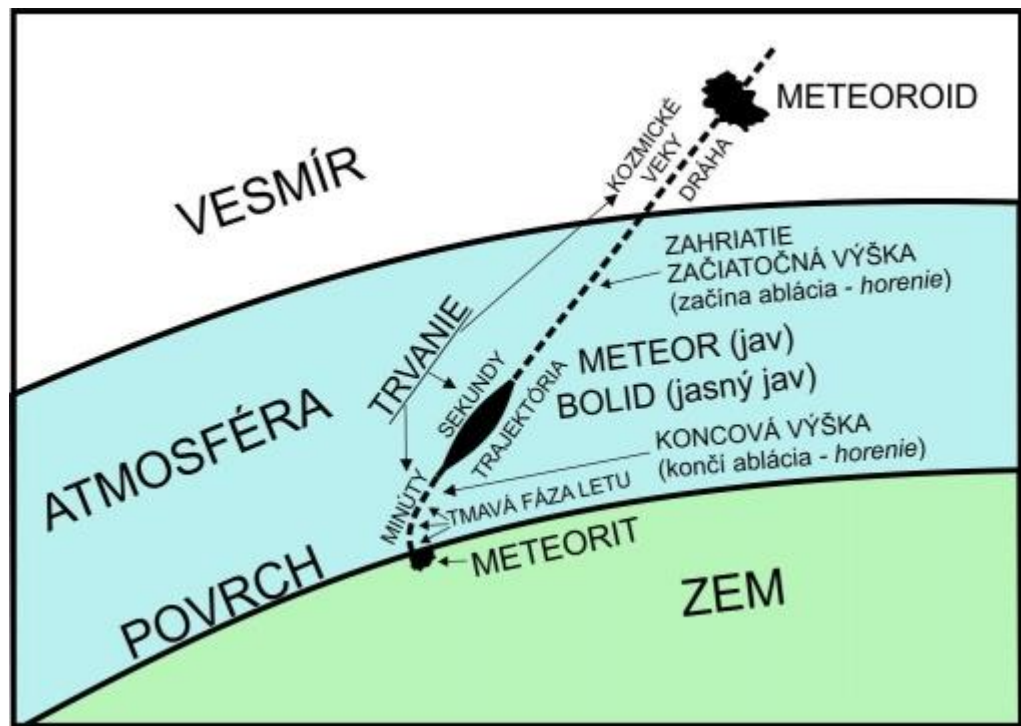
Rádio teleskop v Arecibo Observatory, sa otvoril v roku 1963 a je najväčší na svete. Vlastní ho americká National Science Foundation a používa sa predovšetkým na rádio astronomiu, ale zariadenie je k dispozícii aj pre radarovú astronomiu. Ten zahŕňa vysieláče pracujúce na frekvencii 47 MHz, 439 MHz a 2,38 GHz, to všetko s veľmi vysokým impulzným výkonom. Primárny reflektor má priemer 305 m a sekundárne reflektory sú umiestnené na koľajniciach, aby sa zvýšila presnosť na rôznych častiach oblohy. Veľa vedeckých objavov bolo vykonaných práve na tomto zariadení Arecibo d'alekohľadom akým bolo mapovanie drsnosti na povrchu Marsu a pozorovanie Saturna a jeho najväčšieho mesiaca Titan. V roku 1989 na observatórii radarové digitálne zobrazenie zachytili po prvýkrát v histórii asteroid.

Niektoré kozmické lode obiehajúce okolo Mesiaca, Marsu, Venuše a Saturna boli vybavené výkonnými radarmi na mapovanie ich povrchu.

Jobrell Bank Observatory na univerzite Manchestri vo Veľkej Británii, bol povodne radar pre rádio astronomiu dodaný z vojnových prebytkov vojenského radaru GL – II, ktorý pracoval na frekvencii 71 MHz s vlnovou dĺžkou 4,2 m. Zariadenie sa postupne upravovalo na radar s reflektorom priemeru 76 m, ktorý bol z troch reflektorov najväčší a do prevádzky sa dostal práve v čase, keď bol vypustený Sputnik 1, prvá umelá družica Zeme, vypustená v októbri 1957.

Budovanie PVO v Československu

Budovanie PVO sa začalo v Československu po ukončení II. sv. vojny podľa vzoru víťazných mocností. K dispozícii boli ukoristené radary RZ – III Freya a RZ – IV Würzburg



Riese , radarový vlak a niekoľko amerických SCR radarov ako pozostatok z vojny. Na obrázku je vidieť radar SCR – 602 – T8. Radary slúžili pre pozorovanie vzdušného priestoru v určitých priestoroch a stanovištiach, ktoré boli aktivované podľa potreby. Až v roku 1950 sa zahájilo s budovaním stáleho prieskumu vzdušného priestoru. Bola zriadená „Organizácia hlásnej služby“ v Prahe, Olomouci a na Slovensku v roku 1952 vo Zvolene, pribudli České Budějovice, Chomútov, Dobřany, Brno, Ostrava, Trnava so stanoviskom v Hlohovci. Vytvorili sa „Hlásne prápory“ v rámci protiletadlovej obrany a celkovo bolo v roku 1952 rozmiestnených 25 hlások, ktoré boli rozmiestnené pozdĺž západnej hranice.



(AN/TPS-3) * SCR-602-T8

V roku 1952 náš štát nakúpil na tú dobu veľmi moderné prúdové lietadlá Mig 15 a rádiolokačné zabezpečenie ich prevádzky si vyžadovalo novú radarovú techniku. Do výzbroje boli zaradené nové



sovietske rádiolokátory P – 3a, P – 8 a P – 20. P – 3a s dosahom 130 km a do výšky 10 km. Postupne sa prešlo od hlásnej služby na rádiolokačné sledovanie vzdušného priestoru a v roku 1955 sa Hlásne prápory premenovali na rádiotechnické pluky. V roku 1956 došlo v rámci zdokonaľovania systému PVO k spojeniu PL delostrelectva a RTV do jedného celku. Boli vytvorené rádiotechnické pluky a rádiotechnické hlásky. V 50. rokoch boli postupne používané modernejšie rádiolokátory typu P – 10, ktorý je vidieť na hornom obrázku. P – 15 a P – 30. Radar P – 30 pracoval s centimetrovými vlnami s dosahom 180 km a do výšky 12 km. V roku 1961 pod vplyvom nárastu leteckej prevádzky a vzniku PLRV, došlo k ďalšej reorganizácii. Boli vytvorené dva zbory PVOS a samostatne rádiotechnické prápory, ktoré boli z bojového hľadiska mobilnejšie a boli schopné vytvoriť súvislé rádiolokačné pole po celom území republiky.

V priebehu 60. rokov sa začali zavádzať do prevádzky ďalšie typy rádiolokátorov, akými

boli P – 35, P – 12 , P – 14 a rádiolokačné výškomery PRV – 10, PRV – 9a a PRV – 11. Rádiolokátor P – 35 pracoval v centimetrovom pásme 2D s dosahom 350 km a do výšky 25 km a P – 12 mal i goniometer.



Na obrázku je vidieť radar P – 35 rozložený na vyvýšenom teréne.

V septembri 1977 došlo k ďalšej reorganizácii PTV. V priebehu 70. rokov boli do vyzbroja nasadené RL – 42 a jeho výrobcom bola Tesla HTT Pardubice. Mal sekundárny radar v centimetrovom pásme s dosahom 120 km a do výšky 7 km, vybavený ochranou pasívneho i aktívneho rušenia a proti samo navádzacím strelám.

Koncom 80. rokov boli do výzbroje zavedené 3D radary ST – 68U s číslicovým vstupom, schopné automaticky predávať do ASV Osnova – Pole 32 cieľov. Tento radar má dosah 150 km a do výšky 20 km a vyrábaný je od roku 1982.

Ako ku každej zbrani bola vyvinutá proti zbraň, aj proti radaru bola vyvinutá technológia, pomocou ktorej sa stalo lietadlo radarom ne zamerané. Táto technológia sa nazýva „Stealth“ (skrytý, utajený). Jej princíp spočíva najmä v tvare lietadla, ktorý odrazí radarové vlny do prostredia mimo dosahu radaru, takže radar, ktorý tieto vlny vyslal ich nezachytí späť. Druhou ochranou bola aplikácia špeciálneho náteru, ktorý pohlcuje žiarenie v mikrovlnnej oblasti.



Na obrázku je radar ST – 68U vyrábaný v Tesla Pardubice.

Povrch prvých lietadiel stealth sa skladal z rovných plôch, ktorých spoje tvorili ostré hrany bez oblín. Táto technológia bola použitá i u modelu lietadla F 117. Pri prácach konštruktéri uprednostňovali hranaté tvary nie preto, že by lepšie pohlcovali či odrážali rádiové žiarenie, ale preto, aby dokázali jednoduchšie spočítať ich povrchovo odrazové vlastnosti v roku 1977. Dnešné lietadlá využívajúce technológiu stealth, sa vrátili k oblým tvarom, ktoré je dnes už možné prepočítať bod po bode na celej ploche lietadla. Takýmto typom lietadla je model F 22.

Treťou súčasťou technológie stealth je elektronický systém, ktorý obsahuje detektor radarového signálu a počítač s detailným modelom samotného lietadla. Ak systém zachytí radarový signál, začne ho sledovať a merať a podľa neho natáčať lietadlo vždy do takého smeru, aby bol odraz radarových vln minimálny, v ideálnom prípade, aby sa vlny od rovných plôch lietadla úplne odrazili a stratili v priestore.

Referencie

Raymond C. Watson Jr. „Radar Origins Worldwide“, Trafford Publishing 2009.

„L'histoire du radar“, archivované z originálu 5. 10. 2007. „Le principe fondamentale du radar appartient au patrimoine Commun des physiciens. CE qui demeure en fin de Compte au Crédit réel des Techniciens sa mesure á la realise de MATERIELS opérationnels“.

„Vývoj radarového systému mono pulzného“ Kirh Patrick, George M. list IEEE Transaction on Aerospace a elektronických systémov, zväzok 45.

Christian Hülsmeier „Radar na svete“,

Latham Colin and Anne Stobbs „The Birth of British Radar“, druhé vydanie pamäte Arnold Skip Wilkins v rozhlasovej spoločnosti v Británii, ISBN 9781 – 9050 – 8675 – 7.

Judkins Phil „Making Vision do Power“, International Journal of Engineering and Technology, Vol 82. No 1 januar 2012, str. 103 – 104.

Coales J. F. and JDS Rawlinson „Vyrobenie námorného radaru 1935 – 1945“, Námorná Science, sv. 13 nos. 2 – 3 1987.

„Telefunken firma v Berlíne odhaľuje podrobnosti o „ray Mysteryho systém schopný lokalizovať polohu lietadiel skrze hmlu, dym a mraky“. Electronics september 1935.

Runge W. „Osobné reminiscencie“, vývoj radaru do roku 1945, editoval Rusell Burns, Peter Peregrinus Ltd. 1988 str. 227

Brown Louis : „Radarová história druhej svetovej vojny“, Institute of Physics Publishing str. 43 z roku 1999.

Shembel BK „Pri zrode radaru v ZSSR“, Sovetskoye Radio z roku 1977.

Lobanov, MM, „Počiatok sovietského radaru“ Sovetskoye Radio z roku 1977.

Nakajima S. „História japonského vývoja radaru – Part 1“, Trans. AIEE, sv. 65, 1946, str. 370.

Le Pair C. „Radar v holandskom Knowledge Network“, telekomunikácie a radarová konferencia, EUMW98, Amsterdam z roku 1998.

francúzsky patent 788 795 z roku 1934. „Nový systém umiestnenia prepážok a jej aplikácie“

Paul A. Redhead, „vynález dutinového magnetrónu a jeho zavedenie v Kanade a v USA, fyzika v Kanade , november 2001.