

Die Grundlagen der Radartechnik

Autor(en): **Schilgen, Fritz**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Pionier : Zeitschrift für die Übermittlungstruppen**

Band (Jahr): **33 (1960)**

Heft 9

PDF erstellt am: **13.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-563483>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

TECHNIK IST KEIN GEHEIMNIS

Mit dieser Nummer beginnen wir mit dem Abdruck allgemein verständlicher Artikel über verschiedene Zweige der Hochfrequenztechnik. Es kann sich dabei nicht darum handeln, wissenschaftliche Probleme zu behandeln, vielmehr soll unserer Leserschaft Einblick gegeben werden in Forschungs- und Entwicklungsarbeit, zu der menschlicher Geist fähig ist. Eine Abhandlung über Entwicklung und Grundlagen der Radartechnik soll die Artikelserie eröffnen, beginnend mit einem Aufsatz über die Grundlagen und fortgesetzt mit der Entwicklungsgeschichte und Behandlung der zivilen und militärischen Anwendungsmöglichkeiten. Die Wahl fiel nicht ohne Absicht auf das Gebiet des Radars (radio detecting and ranging), stellt doch seine Entwicklung während des Zweiten Weltkrieges ein klassisches Beispiel dafür dar, wie Erfordernisse der Kriegstechnik sich zum Segen der Menschheit in Friedenszeiten auswirken können. Der Aufschwung der zivilen Luftfahrt seit 1945 wäre kaum in dem Ausmass möglich gewesen ohne die Entdeckung des deutschen Amateurphysikers Christian Hülsmeier im Jahre 1904. Wir hoffen, dass sich unsere Leser mit Interesse diesen Aufsätzen namhafter Wissenschaftler zuwenden.

Die Grundlagen der Radartechnik

Dipl.-Ing. Fritz Schilgen

Die Entwicklung der Technik allgemein verläuft in unserem Jahrhundert nach einer immer steiler werdenden Kurve. Es scheint in keinem Gebiet einen Stillstand zu geben. Die menschliche Phantasie entdeckt nach Erreichen eines gesteckten Zieles weitere Gebiete, auf denen sich der Forschungsdrang betätigen kann. Nicht zu den Dingen, sondern hinter die Dinge geht das Streben. Das lässt sich sowohl philosophisch, als auch praktisch auffassen.

Galileis Fernrohr sollte Gegenstände, die mit blossen Auge nicht sichtbar sind, erfassen. Vom Erfassen zum Messen ist kein grosser Schritt. Mit dem Messen erweitert sich das Erkennen, und es bieten sich Wege zu neuen Möglichkeiten. Der Gedanke, durch Lichtstrahlen, d. h. durch elektromagnetische Strahlen höherer Frequenz, Gegenstände zu beobachten, drängt sich auf. In der Natur ist bei Tag meist Licht vorhanden. Es wird an den Gegenständen reflektiert und die reflektierten Strahlen werden von unserem Auge wahrgenommen. Bei Dunkelheit und Nebel versagt unser Sehvermögen. Bei Dunkelheit kann man immerhin mit einer künstlichen Lichtquelle arbeiten, dagegen vermag Licht den Nebel nicht zu durchdringen.

Die Aufgabe ist, präziser gefasst, mit Hilfe elektromagnetischer Wellen optisch unsichtbare Objekte aufzufinden und anzuzeigen. Das Anzeigen ist dabei weiter zu fassen im Sinne einer Rich-

tungs- und möglichst auch Entfernungsangabe.

Physikalische Grundlagen

Das Licht und die von einer Antenne in den Raum abgestrahlte Welle sind beide ihrer Natur nach elektromagnetische Schwingungen. Dabei hat das Licht eine sehr viel höhere Frequenz, nämlich etwa 10^{15} Schwingungen pro s, gegenüber den Funkwellen mit 10^5 bis 10^{10} Schwingungen pro s. Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit ist bei beiden gleich. Je niedriger die Frequenz ist, umso grösser ist die Fähigkeit der Strahlung, optische Hindernisse zu durchdringen. Für die Funkwellen gibt es keinen Nebel auf der Erdoberfläche. Demnach bieten diese Wellen den grossen Vorteil, bei Nacht und Nebel die Objekte zu finden und gemäss ihrer lichtähnlichen Natur von diesen reflektiert zu werden. Diese Entdeckung wurde bereits vor über 50 Jahren gemacht und von dem deutschen Ingenieur Hülsmeier zum Patent angemeldet.

Diese Einrichtung muss derart ausgebildet sein, dass — ähnlich dem Lichtstrahl eines Scheinwerfers — die Objekte systematisch mit Funkstrahlen gesucht und abgetastet werden. Die reflektierten Lichtstrahlen werden von unserem Auge wahrgenommen. Die reflektierten Funkstrahlen müssen von einer entsprechenden elektrischen Ein-

richtung — einer Antenne — aufgenommen und so ausgewertet werden, dass der Beobachter ein Bild des Unsichtbaren erhält.

Vergleich mit einer optischen Einrichtung

Angenommen, man steht in der Dunkelheit auf einem Turm, hat einen starken Scheinwerfer zur Verfügung und möchte mit diesem seine Umgebung rundum systematisch unter Beobachtung halten. Der Lichtkegel des Scheinwerfers ist so breit, dass die Gegenstände sowohl in der Nähe, als auch in der Ferne, bestrahlt werden. Wandern meine Augen mit dem Scheinwerfer, so habe ich im Augenblick nur einen Bildausschnitt des Panoramas rundum vor mir. Verwende ich anstelle des Auges eine mit dem Scheinwerfer rotierende Fernsehkamera, so kann ich das mit der Kamera aufgenommene Bild einem Fernsehgerät zuleiten, das mir in jedem Augenblick den beleuchteten Panorama-Ausschnitt wiedergibt. Ändere ich die Konstruktion des Fernsehschirmes derart, dass das gesamte Panorama abgebildet wird, wie es sich dem auf dem Turm sich drehenden Beobachter bietet, das heisst vom Mittelpunkt des Bildschirms ausgehend, wird also Sektor zu Sektor des Panorama-Ausschnittes zum Kreis zusammengefügt, so erhalte ich ein vollständiges Bild. Ist der Bildschirm nachleuchtend, so bleibt das Bild stehen.

Die Funkeinrichtung

Entsprechend ist die Arbeitsweise mit den Funkstrahlen zu denken. Man ersetzt den Scheinwerfer durch die Antenne, die anstelle des Lichtkegels ein schmales Bündel von Funkstrahlen abstrahlt. Die Funkstrahlen werden von den Objekten rundum reflektiert. Nun muss die Aufgabe der Fernsehkamera im oben angeführten Beispiel durch eine entsprechende Einrichtung, die die reflektierten elektromagnetischen Wellen auffängt, übernommen werden. Dieses macht die gleiche Antenne, die zum Aussenden der Strahlen benutzt wurde. Wieso sie dazu in der Lage ist, gleichzeitig zu senden und zu empfangen, wird in der späteren ausführlichen Erläuterung der Wirkungsweise auseinandergesetzt.

Die Intensität der empfangenden Strahlen ist unterschiedlich, wie bei den reflektierten Lichtstrahlen, je nachdem

Am 3. und 4. September

benötigen alle Sektionen das letzte Mitglied für den Einsatz an der Operation Polygon! Die Sektionspräsidenten geben gerne Auskunft über den Einsatz und die Aufgabe an dieser gesamtschweizerischen Übung. Zahlreiche Teilnahme der Mitglieder des EVU dokumentieren unseren Sinn für die ausserdienstliche Tätigkeit und der Wille zur militärischen Weiterbildung.

von welchen Objekten sie reflektiert wurden. Metallische Gegenstände reflektieren gut, organische Stoffe reflektieren schlechter. Die gleichzeitig die Antenne verlassenden Funkstrahlen treffen aber nicht gleichzeitig wieder ein, da sie von fernen Objekten reflektiert einen weiteren Weg zurückzulegen haben, als bei Reflektion an nahen Gegenständen. Leitet man diese, zeitlich je nach Entfernung der Objekte nacheinander eintreffenden, in der Energie unterschiedlichen Wellen über den Empfänger und die sonstigen Auswertungseinrichtungen dem Bildschirm zu, so lässt sich dort, wie oben geschildert, sektorenartig ein Bild zusammensetzen. Dieses Bild ist nicht so scharf, wie das mit der Fernsehkamera wahrgenommene. Es ergeben sich aber doch die Konturen der Objekte. Diese sind sichtbar, einerlei, ob der Vorgang sich bei Dunkelheit oder im Nebel abspielt.

Der Funkstrahl und die Antenne

Wie der durch den Scheinwerfer gebündelte Lichtkegel hoher Leuchtkraft die Objekte besonders hell anstrahlt, so muss auch der Funkstrahl durch die Antenne stark gebündelt werden. Damit wird die von der Senderstufe gelieferte Energie nicht gestreut, sondern gerichtet abgestrahlt. Die Antenne ist, ähnlich dem Parabolspiegel zur Erzeugung paralleler Lichtstrahlen, ein Ausschnitt aus einer Fläche, die von einer Parabel abgeleitet ist. Im Brennpunkt dieses Gebildes sitzt der Erreger, ein Dipol oder ein Hornstrahler, je nach Wellenlänge der Strahlung, der seine Energie sozusagen auf die reflektierende Parabolantenne spritzt. Man hat es in der Hand, durch Formgebung der Antennenoberfläche die Form des abgestrahlten Wellenbündels zu beeinflussen.

Das hat den Sinn, alle zur Verfügung stehenden Strahlungsenergien wirklich nur auf die zu beobachtenden Objekte zu richten. Man spricht von einer Keule, da die Verbindungslinien der Punkte gleicher Strahlungsintensität (Feldstärke) eine räumliche Keule ergeben. Die Auswahl der Keulenformen richtet sich nach dem gewünschten Auflösungsvermögen eines Radarbildes. Die Grösse einer Antenne ist weiterhin abhängig von der gewählten Frequenz der abgestrahlten Sendeenergie und damit auch von der zu erzielenden Reichweite. Für niedrigere Frequenzen benötigt man grosse Antennengebilde, und je höher die Frequenz ist, umso kleiner wird die Antenne. Auf alle Fälle bedeutet aber eine Verringerung des Öffnungswinkels der Strahlungskeule immer eine Vergrößerung der Antenne.

Die Eigenschaften des Funkstrahles

Bei der Erzeugung des Funkstrahles sind zwei Bedeutungen besonders wesentlich:

- Die Zeitdauer der Aussendung der Strahlen bzw. ihre zeitliche Folge
- Die Frequenz des Strahls.

Da die Beobachtung der Objekte und die Abstandsmessung auf dem Empfang reflektierter Wellen beruht, kann

	Schwingung				
	Frequenz	Wellenlänge	Impulsdauer	Impulsfolge	Reichweite
Luftstrassenbeobachtung	1,3 GHz	23,1 cm	2 μ s	500 Hz	220 km
Flughafenbeobachtung	2,8 GHz	10,7 cm	1 μ s	1200 Hz	90 km
Hafenbeobachtung	9,4 GHz	3,2 cm	0,1 μ s	4000 Hz	25 km
Wetterbeobachtung	9,4 GHz	3,2 cm	2 μ s	400 Hz	300 km

1 GHz = 1 Milliarde Schwingungen pro Sekunde

1 μ s = 1 Millionstel Sekunde

1 Hz = 1 Schwingung pro Sekunde

kein kontinuierlicher Wellenzug benutzt werden, wie das beim Licht der Fall war. Es werden nur kurzzeitige Wellenzüge, Impulse genannt, von der Radarantenne abgestrahlt. Die zwischen diesen Impulsfolgen liegenden Pausen dienen dem Empfang der zurückkommenden Strahlen, des elektrischen Echos. Da die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Impulse konstant ist, nämlich gleich der Lichtgeschwindigkeit von 300000 km pro Sekunde, ist der Abstand der Impulsfolge u. a. nach der Entfernung der Objekte zu wählen. Bei längerer Laufzeit, d. h. grösserer Objektentfernung, ist ein grösserer zeitlicher Abstand der Impulsfolgen erforder-

lich, als bei geringerer Objektentfernung.

Weiterhin werden die Impulse, die in kürzerer zeitlicher Folge ein Objekt abtasten, nach dem Wiederempfang und der Auswertung, im Bildschirmschärfere Konturen des Objektes ergeben. Dies ist etwa vergleichbar mit dem Eindruck, der bei der Beobachtung eines Gegenstandes zurückbleibt, ob ein Scheinwerfer schnell oder langsam über die Gegenstände hinweggleitet.

Die Auswahl der Frequenz, mit der der Sender erregt wird, und die von der Antenne in Impulsfolgen abgestrahlt wird, ist von der Aufgabe der Radaranlage abhängig. Grundsätzlich werden sehr hohe Frequenzen schneller verschluckt, das heisst, das Verhältnis der reflektierten zur abgestrahlten Energie ist ungünstiger, als bei langsameren Schwingungen. Will man grosse Reichweiten erzielen und ist kein hohes Auflösungsvermögen erforderlich, so begnügt man sich mit niedrigen Frequenzen. Soll man aber Vorgänge in geringer Entfernung betrachten, so nimmt man hohe Frequenzen, da sich deren Wellen bei kleinem Antennenaufwand besser bündeln lassen. Nachstehende Tabelle gibt einen Überblick über die Anwendung von Radar-Anlagen und deren Eigenschaften in Bezug auf die vorstehend genannten Forderungen.

Vergleicht man die Daten für Impulsfolge, Impulsdauer und Frequenz der abgestrahlten Energie für die Beobachtung des Verkehrs im Schiffshafen und im Flughafen, so ist folgendes zu erkennen: Im Schiffshafen wickelt sich der Verkehr auf kleinerer Fläche ab als im Raum des Flughafens. Man benötigt also ein höheres Auflösungsvermögen der Radareinrichtungen. Daher arbeitet man beim Hafenradar mit kleinerer Wellenlänge und kürzerer Impulsdauer. Da die Gegenstände ihre Lage zueinander nur langsam verändern, kann trotz des geringen Abstandes die gleiche Impulsfolge benutzt werden, wie bei der Flugzeugbeobachtung. Bei der

Flughafenrundsicht-Radar-Anlage sind lediglich die fliegenden Objekte und diese nicht in Beziehung zu festen Objekten, wie z. B. die Schiffe zu den Ufern, zu beobachten. Man begnügt sich also mit grösserer Wellenlänge bzw. kleinerer Frequenz; dies bedeutet gleichzeitig günstigere Verhältnisse in bezug auf die Reichweite.

Zusammenfassend ist zu sagen:

Lange Wellen, bzw. niedrige Frequenzen wendet man an, wenn die Strahlen weit dringen und nicht von Wolken oder Nebel absorbiert werden sollen. Lange Impulsperioden wendet man an, wenn grosse Entfernungen zu überbrücken sind.

Kurze Dauer der Impulsfolge wendet man an, wenn eine gute Kenntlichkeit der zu beobachtenden Gegenstände erwünscht ist.

ordnung von Kondensatoren und Spulen auflädt. Diese gespeicherte Gleichspannung entlädt sich blitzschnell in einer Zeitdauer, wie sie von dem Konstrukteur für die Impulsfolge vorgesehen war. Diese Entladungen werden in ihrer zeitlichen Folge von einem Zeitgeber gesteuert. Die Entladungen selbst erfolgen über eine gasgefüllte, gittergesteuerte Röhre, dem Thyatron. Die Gitterspannung wird vom Zeitgeber bestimmt.

Dieser Zeitgeber verdient besondere Beachtung, denn die in ihm erzeugten Steuerimpulse müssen von ausserordentlicher Präzision sein, sowohl in Bezug auf ihre zeitliche Folge, als auch auf die Impulshöhe. Seine Genauigkeit ist die Grundlage für die exakte Arbeitsweise des Radars in Bezug auf die Entfernungsmessung. Der Zeitgeber wirkt

Leistungsspitze beträgt z. B. bei 3 cm Wellenlänge (10000 MHz) etwa 300 kW, bei 10 cm Wellenlänge (3000 MHz) etwa 3500 kW.

Mittels der Gleichspannungsquelle, dem Thyatron, dem Zeitgeber und dem Magnetron wurde auf diese Weise eine hochfrequente Schwingung erzeugt, die in einer vorgegebenen Folge, also nicht als kontinuierliche Schwingung, auf die Antenne gegeben und von dort abgestrahlt wird.

Der Radarempfänger

Da Abstrahlung und Empfang der cm-Wellen mit nur einer Antenne erfolgen, muss dafür gesorgt werden, dass die Sendenergie nicht in den Empfänger gelangt, ferner dass die Empfangsenergie nicht in die Ausgangsstufe des Senders abgeleitet wird. Zu diesem Zweck ist vor der Antenne eine automatisch wirkende Weiche eingebaut, die diese Aufgabe erfüllt.

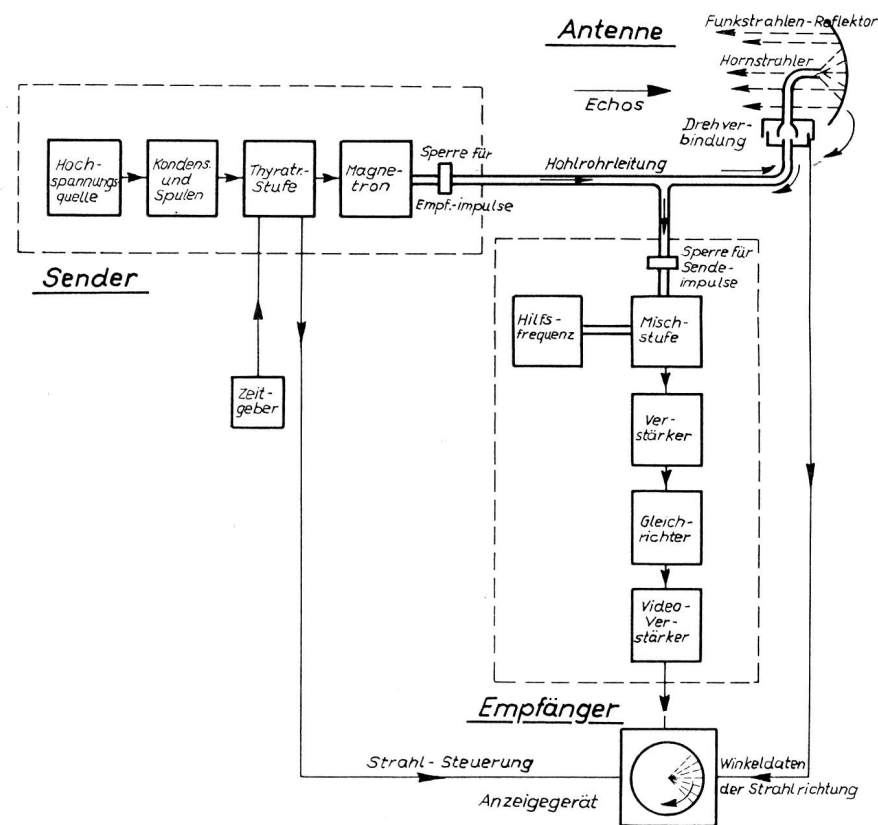
Der Empfänger selbst arbeitet im Prinzip wie die meisten unserer Rundfunkempfänger. Es wird im Empfänger eine Hilfsfrequenz mit Hilfe des Überlagerers erzeugt, die der empfangenen Frequenz überlagert wird. Die entstehende resultierende Frequenz wird in den übrigen Empfängerstufen ausgewertet und dem Anzeigergerät zugeleitet.

Aufgabe der gesamten Empfangseinrichtung ist es, die nach Aussenden der Funkstrahlen wieder empfangenen kleinen Echos in ihren Grössen und in ihrer zeitlichen Folge wahrheitsgetreu wiederzugeben und auf dem Bildschirm sichtbar zu machen.

Das Anzeigergerät in Zusammenwirkung mit Sender und Empfänger

Wesentlicher Bestandteil des Anzeigergerätes ist die Braunsche Röhre, wie sie aus dem Fernsehempfänger bekannt ist. Wie schon eingangs gesagt wurde, soll auf dem Bildschirm dieser Röhre das Bild so zusammengesetzt werden, wie es sich dem auf einem Turm stehenden und sich mit einem Scheinwerfer drehenden Beobachter bietet.

Dazu müssen die Ablenkungseinrichtungen für den Elektronenstrahl in der Braunschen Röhre so beschaffen sein, dass der Strahl vom Zentrum des Bildschirms nach aussen geführt wird. Der Radius rotiert und überstreicht dabei die ganze Fläche des normalerweise kreisförmigen Bildschirms. Das Rotieren des Strahls ist nur scheinbar. In



Der Radarsender

Die eben beschriebenen Funkstrahlen, die von der Antenne ausgesandt werden und sich aus Impulsen von 2 bis 0,1 Mikrosek. Dauer, bei 400- bis 4000-facher Wiederholung je Sekunde, beide Male je nach Aufgabe zusammensetzen, müssen betriebssicher erzeugt werden.

Zu diesem Zweck liefert eine Hochspannungsquelle eine Gleichspannung von 5000 bis 15000 Volt, die eine An-

nicht nur auf den Sendeteil der Anlage, sondern auch auf den Empfangsteil, da er im Anzeigergerät für die richtig gesteuerte Arbeitsweise der Braunschen Röhre verantwortlich ist.

Die Thyatron-Entladeströme werden auf die eigentliche Senderröhre, das Magnetron, gegeben. Das Magnetron ist ein Schwingungserzeuger, welcher hohe Leistungen mit einer Wellenlänge von 3 bis 23 cm abzugeben vermag. Die

Wirklichkeit schießt jeder Radius vom Bildzentrum zum Bildrand.

Die Zeitdauer des Bestehens dieses Elektronenstrahls entspricht der Zeitdauer für den weitesten Weg eines Funkstrahles, der von der rotierenden Antenne ausgestrahlt wurde. Der Bildschirmrand entspricht also der Reichweite des Funkstrahles.

Der geschriebene Elektronenstrahl wird zu dem Zeitpunkt auf der Bildröhre sichtbar, in dem die Echosignale von der Antenne über den Empfänger kommend eintreffen. Dieser Zeitpunkt wird von dem vorher bereits erwähnten Zeitgeber bestimmt, der auch die Entladung der Hochspannung zur Erzeugung der Sendeimpulse steuert. Der Zeitgeber steuert also die Funktion der Bildröhre so, dass nur während der Empfangszeit ein einzelner Radius als Elektronenstrahl vom Bildschirmzentrum zum Bildschirmrand gehend geschrieben wird.

Dieser Radius rotiert mit der gleichen Geschwindigkeit wie die Drehantenne, da beide Bewegungen elektrisch synchronisiert sind. Während der Ablenkung des Elektronenstrahles vom Bildzentrum zum Bildrand treffen fortlaufend im Empfänger die Echos der Funkstrahlen ein. Je nach Art der Reflexion sind diese Echos stark oder schwach. Damit sind die Impulse, die nach Verstärkung im Empfänger den Elektronenstrahl der Braunschen Röhre beeinflussen, stark oder schwach. Der Elektronenstrahl wird punktweise heller oder dunkler. Diese Hell- und Dunkelpunkte, verteilt über den Bildschirm, ergeben ein Bild der von den Funkstrahlen abgetasteten Umgebung. Die Entfernung der deutlich sichtbaren Objektbilder vom Bildmittelpunkt entspricht der Entfernung des Objektes von der Radarantenne.

Man hat also auf diese Weise ein weitgehend maßstabgerechtes Bild der von den Funkstrahlen abgetasteten Umgebung erhalten. Man kann den Bildschirm am Rand mit einer 360°-Teilung versehen, so dass damit die Himmelsrichtungen vorgegeben sind. Weiterhin lassen sich Entfernungskreise eintragen, die eine Abstandsmessung ermöglichen.

Man ist bei Radaranlagen keineswegs daran interessiert, immer ein Panorama abzubilden. Es gibt auch Anlagen, welche nur einen bestimmten Ausschnitt vom Himmel oder vom Boden abtasten.

Développement de la télégraphie sans fil Problèmes d'aujourd'hui et de demain

La radio a-t-elle atteint le terme de son évolution pour avoir émis sur toutes les fréquences possibles? A vrai dire, il n'y a plus rien à espérer de ce côté-là. Les recherches se tourneront du côté de la construction, de la technologie. On trace maintenant des câblages microscopiques aux moyens de rayons électroniques. Les transistors, condensateurs et résistances sont incorporés au support; et un récepteur complet a l'aspect d'un timbre-poste d'un millimètre d'épaisseur. Mais les puissances d'émission nécessaires à dépasser le seuil du bruit de fond des récepteurs ne peuvent être réduites. On ne prévoit pas d'émetteur trans-continental de format timbre-poste.

La TV transatlantique

N'y aurait-il alors plus de nouveautés possibles? Si, et les tâches demeurent nombreuses. La nécessité reste impérieuse de transmettre sans relais des bandes passantes larges sur de grandes distances. Songeons qu'il fut impossible de faire vibrer les téléspectateurs européens au moment même des compétitions olympiques de Squaw Valley! On téléphone par-dessus l'Atlantique, mais on n'y passe pas de programmes TV. Les ondes courtes que réfléchit l'ionosphère permettent de passer des communications téléphoniques, mais la constitution même de celle-ci, avec ses particularités, ne permet pas la transmission de signaux de structure aussi fine que ceux de la TV. Ainsi les ondes courtes resteront-elles un moyen merveilleusement simple et économique d'échanger des conversations téléphoniques à la distance que l'on voudra. Mais elles ne peuvent néanmoins suffire aux énormes besoins du monde moderne. Une liaison à 100 canaux tf. entre les USA et l'Europe ne suffirait pas — et la structure de l'ionosphère ne permet d'ailleurs pas le passage de bandes d'une telle largeur.

Aussi a-t-il fallu, avec quelle peine et à quel prix, réaliser la merveille technique qu'est le câble sous-marin transatlantique, avec ses quelque 100 amplificateurs immergés, pour 36 lacets tf.,

d'une qualité insoupçonnée. Si l'on pouvait assurer sans fil ce nombre de communications avec une sécurité et une qualité équivalentes, ce serait certainement à moindres frais.

La portée des O. U. C. est, on le sait, limitée par l'horizon. On n'en a pas moins tenté de réaliser de grandes portées à l'aide de gigantesques miroirs directionnels et de grandes puissances. On constate alors que lors du bombardement de l'atmosphère au moyen de faisceaux très concentrés d'ondes ultracourtes, une infime partie de l'énergie émise se réfléchit sur les irrégularités de de l'ionosphère et dans la haute atmosphère et pouvait être captée par des récepteurs placés loin derrière l'horizon. C'est ce que les Américains nomment le «scattering». Ce procédé est utilisé pour les liaisons téléphoniques entre Berlin et la République fédérale. Il n'est pas impossible que l'on puisse adopter ce moyen de transmission pour former une chaîne reliant les Etats-Unis à l'Europe par le Groenland et l'Islande.

Les satellites-relais

Au cours des recherches sur la propagation des ondes ultracourtes, on a constaté qu'on obtenait parfois pendant quelques secondes des liaisons excellentes avec des stations éloignées impossibles à prendre normalement. Ces liaisons très brèves sont dues à des météorites, des étoiles filantes, qui en pénétrant dans la haute atmosphère laissent pour un instant derrière eux un sillage ionisé qui fait réflecteur à O. U. C. On peut ainsi stocker les messages à transmettre et les passer à très grande vitesse quand la liaison est bonne. Le nombre des météorites est si grand que l'on peut maintenant assurer un trafic qui correspond, avec ses interruptions, à 50 s/m., Mais ce n'est là qu'une forme secondaire de transmission et non pas le moyen technique permettant de transmettre de larges bandes à de grandes distances. Ces observations sur les météorites ont néanmoins conduit à envisager l'emploi de satellites artificiels dont on connaît l'orbite et la durée de rotation, plutôt que d'attendre le pas-