

**Studien über den Aufbau von
Antennengebilden bei vorgegebenem
Strahlungsdiagramm
(Antennensynthese)**

VON DER
EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE
IN ZÜRICH

ZUR ERLANGUNG DER WÜRDE EINES
DOKTORS DER TECHNISCHEN WISSENSCHAFTEN

GENEHMIGTE
PROMOTIONSARBEIT

VORGELEGT VON

Adolf Giger

von Solothurn und Quarten (SG)

Referent: Herr Prof. Dr. F. Tank

Korreferent: Herr Prof. H. Weber

widerstand der Antenne massgebend, und die Güte Q_1 nimmt wieder langsam ab, nachdem sie bei mittleren Werten von l ein Maximum erreicht hat.

3.2.8. Zusammenfassung.

In Teil III ist die Möglichkeit untersucht worden, mit räumlich beliebig kleinen Antennen vorgegebene Strahlungsdiagramme zu realisieren, wobei auch hier wieder das Gleitwegproblem besondere Beachtung fand.

Unter 3.1 wurde vorerst mit der einfachen Methode der Superposition der Strahlungen von Einzelantennen das Fernfeld berechnet. Es zeigte sich dabei die Möglichkeit, unabhängig von der Grösse der Antenne beliebig scharfe Richtstrahlen zu erzeugen. Von Wichtigkeit ist einzig die Zahl der Einzelstrahler, aus denen die ganze Antenne zusammengesetzt ist. Nachteile dieser sog. Super Gain-Antennen lassen sich schon bei der in 3.1 verwendeten Methode erkennen. So steigen die Antennenströme bei kleiner werdender Antenne zu astronomisch hohen Werten an, wobei aber gleichzeitig die absolute Toleranz dieser Ströme unverändert bleibt. Das hat zur Folge, dass die Genauigkeit der Antennenströme unvorstellbar gross sein muss. Da trotz der hohen Speiseströme keine besonders starke Abstrahlung erfolgt, muss man schliessen, dass um die Antenne herum ein sehr starkes Blindfeld existiert, aus dem aber nur wenig Energie nach aussen abfliesst. Die Hoffnung auf Verkleinerung der Fresnel'schen Nahzone infolge der geringen Antennenhöhe wird ebenfalls nicht erfüllt. Es ist nämlich nicht zulässig, die Grenze zwischen Fresnel'schem und Fraunhofer'schem Gebiet wie in Teil I durch eine reine Laufzeitbedingung zu bestimmen. Die grossen Unterschiede in den Antennenströmen bewirken, dass die Strahlen stärker parallel sein müssen, um Fernfeldverhältnisse anzutreffen, wodurch schliesslich eine massive Vergrösserung des Fresnel'schen Gebietes herauschaut.

Unter 3.2 wurde dann eine zweite Möglichkeit angegeben, Super Gain-Antennen zu realisieren. Mit Hilfe von $2l$ -Schlitzdipolen, die auf dem Umfang eines leitenden Kreiszyinders regelmässig verteilt sind, kann durch einfache, abwechslungsweise gegenphasige Speisung ein $\cos \varphi$ -förmiges Strahlungsdiagramm erzeugt werden. Bei genügend kleinem Zylinderdurchmesser ist die Fernfeldstrahlung auch hier wieder nur von der Zahl der Strahlerelemente abhängig, nicht aber von der Grösse der Antenne. Im Gegensatz zu 3.1 werden beim Schlitzstrahler die Maxwell'schen Gleichungen genau gelöst, wobei als

Randbedingungen auf dem Zylinder zwar elektrostatische Feldverteilungen dienen, die aber bei kleiner werdendem Zylinderdurchmesser immer exakter den wirklichen Verhältnissen entsprechen. Diese Berechnungsmethode gibt uns nun auch Aufschluss über die Vorgänge im Nahfeld der Antenne. So können wir die gesamte komplexe Strahlungsimpedanz der Antenne unter Berücksichtigung der ohmschen Antennenverluste angeben. Für kleine Abweichungen von der Eigenfrequenz der Antenne wird das Ersatzschema dieser Impedanz durch einen einfachen Parallelresonanzkreis dargestellt. Der Blindanteil der Impedanz wird mit kleiner werdendem Zylinderdurchmesser immer grösser, was zur Folge hat, dass der Gütefaktor der Antenne hohe Werte annimmt und die Bandbreite klein wird. Zudem wird die abgestrahlte Leistung im Verhältnis zur Verlustleistung immer geringer und folglich auch der Wirkungsgrad der Antenne. Da die Blindenergie um die Antenne im Fall kleiner Zylinder die Strahlungsenergie bei weitem überwiegt, kann man die Super Gain-Antenne auch als Resonanzkreis betrachten mit zusätzlicher gerichteter Energieausstrahlung. Die Ausdehnung des eigentlichen Nahfeldes der Antenne vergrössert sich proportional der Zahl der Schlitze. Es wurde gezeigt, dass die in Teil I betrachtete Einzelantenne, die dasselbe Strahlungsdiagramm erzeugt, gerade an die Grenze des Nahfeldes zu liegen käme, falls die Achse des Antennenzylinders im Erdboden liegt. Was also mit einer Einzelantenne auf einfache Art und Weise unter Beanspruchung einer gewissen räumlichen Ausdehnung erreicht wird, könnte mit zum Teil prohibitivem Aufwand durch eine beliebig kleine Zylinderschlitzantenne mit einer grossen Anzahl Schlitze realisiert werden.

Bei diesen Schlitzantennen kann die Grenze des Fraunhofer'schen Gebietes nicht rein strahlenoptisch bestimmt werden, es ist vielmehr die exakte Lösung, insbesondere die verwendeten Bessel'schen Funktionen, zu diskutieren. Man erhält das interessante Ergebnis, dass die Grenze des Fraunhofer'schen Gebietes mit der in Teil I für den äquivalenten Einzelstrahler gefundenen übereinstimmt und zwar unabhängig von der Grösse des Antennenzylinders. Im Gebiet zwischen dieser Grenze und der Antenne haben Gegenstände auf das Strahlungsdiagramm einen störenden Einfluss. Dies gilt ganz besonders von Objekten im eigentlichen Nah- oder Blindfeld der Antenne. Im Nahfeld gelten noch mehr oder weniger elektrostatische Gesetze, sodass man leicht die Induktionswirkung eines metallischen Gegenstandes auf die Schlitzspannungen beurteilen kann. Da auch bei dieser Antenne die Speisespannungen und ihre

Genauigkeit sehr gross sein müssen, kann durch solche Induktionen das Strahlungsdiagramm vollständig verändert werden.

Wenn der Antennenzylinder genügend gross gemacht wird, kann eine sehr wirkungsvolle Abstrahlung erhalten werden, was die genaue Diskussion der verwendeten Bessel'schen Funktionen zeigt. Nur geht dabei der Vorteil der Super Gain-Antennen, ihre Kleinheit, schliesslich verloren.

Für Empfangszwecke auf Mittel- und Langwellen, wo der Antennenwirkungsgrad der meist hohen Empfangsfeldstärken wegen keine grosse Rolle spielt und die Kleinheit der Antenne und ihre Richtwirkung das ausschlaggebende Moment bedeuten, könnte eine Super Gain-Antenne mit Erfolg verwendet werden. Solche Verhältnisse findet man u.a. in der Peiltechnik auf längeren Wellen. Die Rahmenantennen sind dabei das bestbekannte Beispiel. Ihr Strahlungswiderstand und ihr Wirkungsgrad sind sehr gering, und sie werden ihrer geringen Strahlungsdämpfung wegen meist als Induktivitäten in einen Resonanzkreis geschaltet, d.h. die inhärent kleine Bandbreite dieser Antennen schadet hier nicht und hilft sogar mit, die Trennschärfe des Empfängers zu vergrössern.

Zum Empfang von gestörten Mittel- oder Langwellensendern wären Richtantennen mit veränderbaren Nullstellen zur Elimination der Störsender sehr nützlich. Für diesen Zweck würden sich die hier beschriebenen Super-Gain-Antennen sehr gut eignen. Das dürfte auch das aussichtsreichste Anwendungsgebiet für diese Art von Antennen sein.

On the Construction of Antenna Arrays by Prescribed Radiation Patterns.
(Antenna Synthesis).

In the field of radio engineering sometimes appears the problem to construct antenna arrays with prescribed radiation patterns. Radio links for example need a strong concentration of electromagnetic energy. Essential for radar is a low side lobe level and a particular pattern. Energy concentration in the vertical direction is of importance for FM and TV stations. Special antenna patterns are used for airplane blind approach systems and for guidance of military missiles. And sometimes there may arise a demand for an antenna radiation which is very weak in certain prescribed directions. By these means an interference between medium wave stations, working on the same frequency, can be avoided. But also in the field of beam guidance no radiated energy is allowed to fall onto objects whose reflections might interfere with the main beam. It was the last type of problem which initiated the present thesis.

The glide path of the Instrument Landing System (ILS) in the International Airport of Zürich showed a very unsatisfactory behaviour. Instead of being smooth, the glide line was very rough and therefore disagreeable to fly. The radiation patterns of the glide path antennas were distorted in a certain region by interference between the direct waves and others reflected by a hill, thereby leading to the observed deviations in the glide angle.

The first part of the thesis describes a new glide path antenna system. By its use the radiations onto the hill could be avoided. The new equipment which obeys the ICAO regulations now uses three antennas instead of the earlier two and is in continuous use since December 1954 working to full satisfaction.

In the second part of the paper is described a pill-box reflector antenna generating suitable glide path radiation patterns which also avoid the disturbances caused by the abovementioned hill but in contrast to the first solution does not need the conducting ground. It was possible to calculate the near field radiation patterns, thus allowing to avoid reflections from near-by objects. With the standardized (ICAO) glide path wavelength of 90 cm, the reflector diameter should be 58 meters which is unpractically large. If 3 cm waves were used, the described antenna would be the ideal solution for the glide path.

In the third and last part of the thesis an investigation is carried out whether the glide path radiation diagrams could be generated by arbitrarily small antennas, the so called super-gain antennas. These small antennas would be advantageous on airports because they present only a small obstacle for airplanes and there was some hope at the beginning of the work, that the nearzone of the antenna (Fresnel region), where radiation patterns change with distance, would be smaller too. The exact calculations, based on Maxwell's equations, show the possibility of designing extremely small antennas. But there are some severe limitations in their practical use.

The most important results on super-gain antennas are summarized in the following 10 points:

- 1.) The narrowness of the beamwidth increases with the number of antenna elements independent of their spacing.
- 2.) Very high antenna currents or voltages.
- 3.) Unfavorable radiation resistance.
- 4.) In the immediate neighbourhood of the antenna is an unusually high reactive field. The super-gain antenna can thus be considered as a high Q resonator with small and directed radiation.
- 5.) Small frequency bandwidth (High Q).
- 6.) Low radiation efficiency.
- 7.) High accuracy of antenna current distribution.
- 8.) High dimensional accuracy of antenna elements.
- 9.) Grave influence of nearby objects on the radiation diagram.
- 10.) No reduction in the extent of the Fresnel region.

The present paper does not represent a general and comprehensive treatise on the problem of antenna synthesis. Similar to network synthesis there exist a multitude of solutions for a given problem, so that a suitable solution has to be selected more or less intuitively. But nevertheless a certain general insight in the field of antenna synthesis is given by means of the chosen glide path problem and its solutions.