Dipl.-Ing. Albert Günther Zopp

Automatisches Peilen mit dem Dopplereffekt

Fast jeder Funkamateur hat sich schon überlegt, wie man die Richtungsbestimmung von Funksignalen automatisch vornehmen könnte. Aus den verschiedenen Möglichkeiten wird hier ein Einkanal-Peilverfahren ausgewählt und beschrieben, das auf dem Dopplereffekt beruht. Eine Bauanleitung folgt im nächsten Heft.

Grundlagen des Dopplereffektes

Der Dopplereffekt beschreibt die Frequenzverschiebung einer elektromagnetischen Welle bei bewegtem Sender oder Empfänger. Das in der Frequenz ansteigende und abfallende Geräusch eines vorbeifahrenden Rennwagens ist ein bekanntes Beispiel. Die Theorie wurde bei Schallwellen aufgestellt, mittlerweile verallgemeinert und auch auf die elektromagnetische Welle angewendet. Technische Anwendungen findet man bei Geschwindigkeitsmessungen (Verkehrsradar, Abstandswarngerät), Bewegungsmeldern (Alarmanlagen), Ausweitung des Alls (Rotverschiebung der Spektrallinien) und in der Atomphysik (Spektrallinienverarbeitung bei Gasen). Ein neues Anwendungsgebiet ist das Funkpeilen.

Für die elektromagnetische Welle gelten gegenüber den von Doppler angegebenen Gleichungen geringe Änderungen über die Relativitätstheorie [1]. Die Gleichungen in *Bild 1* beschreiben die Frequenzänderung bei Translation.

Bei bewegtem Empfänger müssen diese Formeln sinngemäß angewendet werden. Nur die Geschwindigkeitskomponente in Ausbreitungsrichtung der Welle führt zur Frequenzverschiebung. Dreht sich ein Empfänger um eine Drehachse in einem parallel einfallenden Wellenfeld, so schwankt die Empfangsfrequenz sinusförmig um die Sendefrequenz f_0.

Dieser Frequenzhub kann durch einen FM-Empfänger ausgewertet werden. *Bild 2* zeigt die zeitliche Zuordnung von Empfangsort und Empfangsfrequenz (f_0 = Senderfrequenz). Um einen deutlich auswertbaren Hub von $\Delta f = 1$ kHz bei $f_0 = 145$ MHz zu erhalten, muß die Umfangsgeschwindigkeit der rotierenden Empfangsantenne etwa 2000 m/s betragen (etwa 6fache Schallgeschwindigkeit). Eine mechanische Antennenrotation kommt bei dieser Geschwindigkeit nicht mehr in Frage. Als Ausweg bietet sich die elektronisch nachgebildete Antennenrotation an mit kreisförmig angeordneten Strahlern, welche elektronisch nacheinander abgestastet werden.

Das Antennenfeld

Die Mindestzahl von drei Stäben würde schon die Drehrichtung der Antenne eindeutig festlegen (ähnlich dem Drehfeld des Drehstromsystems). Leider genügt diese Anzahl noch nicht, um einen kreisförmigen Umlauf der Antenne darzustellen (ähnlich kreisförmig angeordnetem Lauflicht aus Einzellampen). Je größer die Zahl der Stäbe gewählt wird, um so gleichmäßiger erscheint der Umlauf und kann auch die Auswertung erfolgen.

Die Ansteuerlogik erfordert 2^n Stäbe, um den Schaltungsaufwand klein zu halten. Daraus ergeben sich Antennenfelder von 8-, 16-, 32-, 64-Einzelstrahlern. Je größer der Radius des Antennenfeldes (Peilbasis) ist, um so kleiner kann die Rotationsfrequenz bei gleicher Umfangsgeschwindigkeit gewählt werden. Für eindeutige Peilergebnisse ist ein Maximalabstand der Einzelantennen einzuhalten. Die gewünschte Genauigkeit und der Raum für die Antenne legt den Aufwand des Systems fest. Für Amateurverhältnisse ist ein Basisradius von 0,5 m...1 m und eine Strahlerzahl von 8 noch tragbar (*Bild 3*) und führt zu ausgezeichneten Peilergebnissen.

Auswerteprinzip

Das Empfangssignal wird in einem Amateur-FM-Empfänger aufbereitet und der Nutzfrequenzhub mit der Ro-

Bild 1. Dopplerverschiebung bei Translation

$$f_e = f_0 \cdot \frac{1+\frac{v_x}{c}}{\sqrt{1-\frac{v_x^2}{c^2}}} \approx f_0 \cdot \left(1+\frac{v_x}{c}+\frac{v_x^2}{2c^2}\right) \approx f_0 \cdot \left(\frac{c+v_x}{c}\right) = f_0 \cdot \left(1+\frac{v_x}{c}\right)$$

$$\Delta f = f_e - f_0 \approx f_0 \left(\frac{v_x}{c}\right) \longrightarrow \Delta f \sim v_x$$

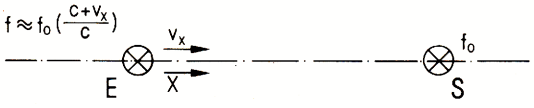
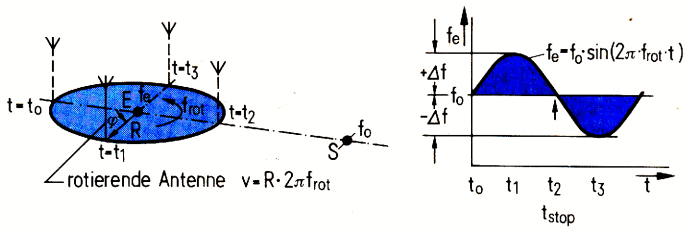


Bild 2. Rotation der Empfangsantenne bei ruhendem Sender



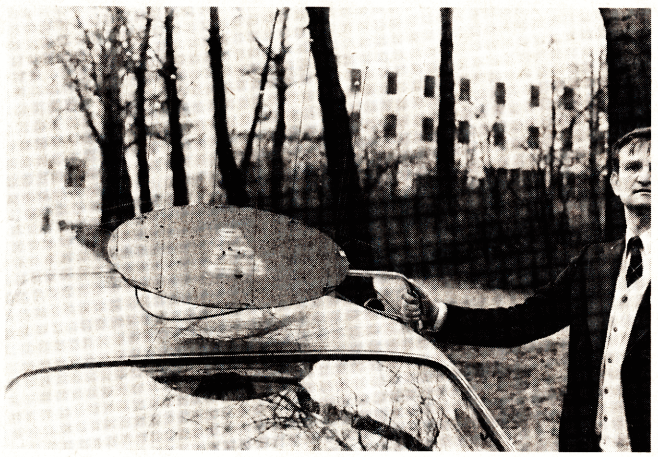


Bild 3.
Antennenfeld für Mobilbetrieb

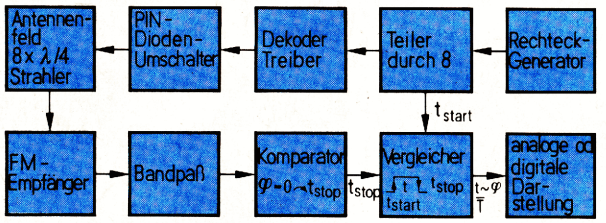


Bild 4.
Blockschaltbild: Automatik-Doppler-Amateur-Peiler (ADAP 1)

tationsfrequenz der Antenne in einem sehr steilen Bandpaß ausgefiltert. Ein Phasenkomparator bestimmt die Nulldurchgänge der gefilterten Nf-Rotationsfrequenz. Die Zeit t zwischen einem periodisch wiederkehrenden Startsignal (t_{start}) und dem Nulldurchgang (t_{stop}), bezogen auf die Periodendauer der Rotation (T), ist dem Peilwinkel φ proportional. Die Auswertung kann analog über Zeigerinstrument, LED-Zeile oder Windrose, aber auch digital über Periodendauermessung (Zähler) bzw. Mikroprozessor-Display erfolgen. Das Blockschaltbild (*Bild 4*) zeigt das Prinzip des Automatik-Doppler-Amateur-Peilers [2].

Die gesamte Peilstation ist für Amateurbelange im VHF-Bereich konzipiert und kann in die Heimstation integriert werden.

Dipl.-Ing. A.G. Zopp, 38 Jahre alt, DL9SU ex DC9SL. Nach Mechanikerlehre und Studium der Feinwerktechnik an der Fachhochschule Ulm, beschäftigt am Forschungsinstitut von AEG-Telefunken in Ulm. Später Studium Hochfrequenztechnik an der Universität Stuttgart. Seit 1971 im Berufsschuldienst an der Robert-Bosch-Gewerbeschule in Ulm. Zur Zeit als Oberstudienrat mit der elektrotechnischen Ausbildung befaßt. Starkes Engagement im Amateurfunk bei der Ausbildung, bei Fuchsjagden und als Relaiserbauer und Betreuer von DB0TF, der Relaisfunkstelle Ulm.

Mögliche Fehler

Im Peilsystem sind Abweichungen vom Idealwert zu erwarten, die sich in einzelne Teilaspekte aufgliedern lassen.

a) Bewegung des Senders führt bei den vorkommenden Geschwindigkeiten nur zu einer unerheblichen Frequenzverschiebung, welche keinen Einfluß auf die Nf hat.
b) Flatterfading durch Bewegung und Reflektionen führen zu einer Stör-AM, welche sich am Empfänger durch Phasenjitter bemerkbar macht und eine symmetrische Abweichung um den Peilwinkel φ bewirkt.
c) Antennengeometrie: Abweichung im Idealwert durch Teilkreisfehler, schiefe oder verbogene Antennen, ungleiche Zuleitungen und Unsymmetrie im Antennenumschalter.
d) Änderung der Signallaufzeit im Empfänger durch Änderung der Empfangsfrequenz und durch die notwendigen steilen Bandpässe im Nf-Bereich.
e) Einfluß der Temperatur auf die Bauteile und damit auf die Signallaufzeiten.
f) Eigenmodulation (z. B. FM oder AM) des Senders führt zu symmetrischem Phasenjitter.
g) Störmodulation des Senders mit der Rotationsfrequenz führt zu Fehlauswertungen.

Ein Teil der aufgeführten Einflüsse wirken sich aus und können durch Phasenkorrektur über Hf-seitiges Bezugssignal kompensiert werden. Ferner soll der Empfangskanal extrem schmalbandig sein, um Fremdmodulation auszuschließen. Ein anderer Teil der Störeinflüsse kann durch Umkehr der Rotationsrichtung und über Mittelwertbildung kompensiert werden.

Eine weitere Möglichkeit zur Störausblendung ergibt sich durch stetige Änderung der Rotationsfrequenz bei automatischer Nachstimmung des Nf-Bandpasses.

Bei Einsatz von Mikroprozessoren in der Auswertung mit intelligenten Peilprogrammen können z. B. Peilsektoren unterdrückt werden. Der Einfluß der Fehler wird weiter untersucht, um das Peilsystem weiter zu optimieren.

Ausführung des Peilsystems

Das Peilsystem kann mit amateurmäßigen Mitteln realisiert werden und besteht aus folgenden Baugruppen:

a) Antennenfeld mit acht λ/4-Stäben,
b) Antennenumschalter mit PIN-Dioden,
c) FM-Empfänger,
d) Auswerteeinheit mit Antennentreiber,
e) Ausgabeeinheit oder Display.

Das Peilprinzip kann auch auf höheren Amateurfrequenzen – z. B. 70 cm – eingesetzt werden, dazu muß nur der Empfänger ausgetauscht und die Nord-Justierung neu vorgenommen werden. Ist das Antennenfeld nicht abgestimmt, muß das Nutz-Empfangssignal entsprechend größer sein.

Bild 5. Klappbares Antennenfeld im portablen Einsatz

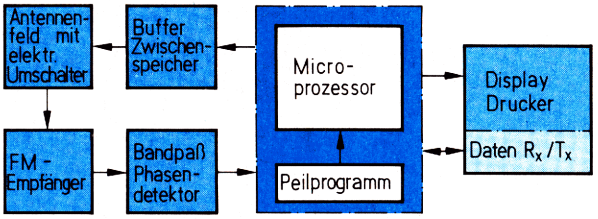


Bild 6.
Blockschaltbild: Mikroprozessorgesteuerter Doppler-Peiler (Konzeption ADAP 2)

Je nach Einsatz kann das Antennenfeld und die Auswertung an eine Feststation oder an eine Mobilstation angepaßt werden. Mit Hilfe eines faltbaren Antennenfeldes (*Bild 5*) und einem Handfunksprechgerät ist auch portabler Peilbetrieb möglich. Die Leistungsaufnahme des gesamten Systems liegt bei ca. 1,5 W.

Zusammengefaßt als Multiple-Monitoring-System könnte einigen Auswüchsen im Amateurbereich durch Funkamateure aus eigener Kraft begegnet werden.

Das Peilsystem zusammen mit Peilprogramm durch Mikroprozessor, welcher weitere Datensätze übernimmt, wird weiter untersucht und entwickelt (*Bild 6*).

Das Peilprinzip mit dem Dopplereffekt wird kommerziell genutzt [3] und wird wegen seiner Einfachheit mit dem für Funkamateure reduzierten Aufwand bald umfangreiche Bauaktivität auslösen. Im nächsten Heft beginnt eine Bauanleitung für das System ADAP 1 (*A*utomatischer *D*oppler-*A*mateur-*P*eiler).

Literatur

[1] Dorn, Physik, Oberstufe, Band O.
[2] *Rogers, T.*: QST 1978, Heft 5.
[3] Neues von Rohde und Schwarz, (1974), Nr. 66; (1976), Nr. 73; (1978), Nr. 80.

Stichworte zum Inhalt

Richtungsbestimmung von Funksignalen, elektronisch nachgebildete Antennenrotation, Antennenfeld, Multiple-Monitoring-System.