

(19)



Europäisches Patentamt

European Patent Office

Office européen des brevets



(11)

EP 1 267 442 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des
Hinweises auf die Patenterteilung:
17.11.2004 Patentblatt 2004/47

(51) Int Cl.7: **H01Q 3/26**, G01R 29/10

(21) Anmeldenummer: **02010035.0**

(22) Anmeldetag: **06.05.2002**

(54) **Verfahren zur Rekonstruktion der Amplituden/Phasendiagramme der
Sende-Empfangs-Module einer phasengesteuerten Gruppenantenne**

Method for reconstruction of gain/phase-maps of phased array antenna transmit/receive-modules

Méthode pour reconstruire les diagrammes de gain et de phase des modules émetteur-récepteur pour
une antenne réseau

(84) Benannte Vertragsstaaten:
**AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU
MC NL PT SE TR**

(30) Priorität: **02.06.2001 DE 10127080**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
18.12.2002 Patentblatt 2002/51

(73) Patentinhaber: **EADS Deutschland GmbH
81663 München (DE)**

(72) Erfinder: **Wahl, Marcus
89160 Dornstadt (DE)**

(74) Vertreter: **Meel, Thomas
Patentassessor,
c/o Dornier GmbH
L H G
88039 Friedrichshafen (DE)**

EP 1 267 442 B1

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Rekonstruktion der Amplituden/Phasendiagramme der Sende-Empfangs-Module (englisch: transmit/receive module) einer phasengesteuerten Gruppenantenne (englisch: phased array antenna), insbesondere einer aktiven phasengesteuerten Gruppenantenne.

[0002] Zukünftige aktive phasengesteuerte Gruppenantennen-Radar-Systeme benötigen eine große Anzahl von Sende-Empfangs-Module auf niedrigem Kostenniveau. Diese sind einstellbar in Amplitude und Phase (multi state device). Wird z.B. ein 6-Bit-Phasenschieber und ein 6-Bit-Amplitudensteller eingesetzt, so ergeben sich $2^6 \times 2^6 = 4096$ verschiedene Amplituden/Phasen-Zustände des Sende-Empfangs-Moduls.

[0003] Das komplette Amplituden/Phasenverhalten eines Sende-Empfangs-Moduls wird üblicherweise in einer sogenannten Gain/Phase-Map (deutsch: Amplituden/Phasendiagramm) dargestellt. Fig. 1 zeigt ein Beispiel für ein solches Amplituden/Phasendiagramm. Entlang der Abszisse ist die Phase, entlang der Ordinate die Amplitude aufgetragen. Jeder einzelne Messpunkt innerhalb der 2-dimensionalen Amplituden/Phasen-Ebene stellt die gemessene Amplitude und Phase für einen bestimmten Amplituden/Phasenzustand des Sende-Empfangs-Moduls dar.

[0004] Für die Steuerung der Sende-Empfangs-Module in aktiven phasengesteuerten Gruppenantenne muss das komplette Amplituden/Phasen-Verhalten sowohl im Empfangs- als auch im Sendemodus für jedes Sende-Empfangs-Modul im vorgegebenen Frequenzbereich bekannt sein.

[0005] Aufgrund der für moderne Radarsysteme typischen hohen Zahl der zu integrierenden Sende-Empfangs-Module (Bordradar: typischerweise 1000 Sende-Empfangs-Module) mit jeweils $2^n \times 2^n$ verschiedenen Amplituden/Phasenzuständen ist eine komplette messtechnische Erfassung aller Amplituden/Phasen-Zustände jedes Sende-Empfangs-Moduls zum einen unter dem Gesichtspunkt des enormen Datenvolumens und zum anderen unter Kostengesichtspunkten (sehr großer Zeitaufwand) nicht mehr durchführbar.

[0006] In Wilden, H.: Microwave tests on prototype-T/R-modules, IEE Intern. Radarconference, Edinburgh, pp. 517-521, 1997 werden Einzelheiten zum erforderlichen Messumfang beim Test der Sende/Empfangsmodule einer phasengesteuerten Gruppenantenne offenbart.

[0007] Gemäß der DE 39 34 155 C2 wird mittels einer Empfangsantenne die von den Sende/Empfangelementen einer phasengesteuerten Gruppenantenne abgestrahlte Gesamtenergie gemessen. Aus den Änderungen der Gesamtenergie wird, während die Phase jedes Phasenschiebers der Gruppenantenne geändert wird, die Amplitude jedes Sende/Empfangelements bestimmt.

[0008] In der JP2000199773A wird zur Ermittlung der Amplituden-Phasen-Verteilung einer phasengesteuerten Gruppenantenne die Amplitude eines Strahlenbündels unter Variation der Phase gemessen. Die Ermittlung der Gesamtverteilung erfolgt dann mit Hilfe der Umwandlung des Feldes und wiederholter Berechnung bis die Lösung konvergiert.

[0009] Gemäß der JP10132880A wird zur Bestimmung der Phasenverteilung einer phasengesteuerten Gruppenantenne die Phase eines Sendeelements für jeden Winkel bei einer festen Frequenz gemessen. Die Phase eines Elements wird dann für verschiedene Frequenzen unter einem festen Winkel gemessen. Für die nicht gemessenen Winkel bzw. Frequenzen wird die Phase dann basierend auf den Messungen errechnet.

[0010] Aufgabe der Erfindung ist es, einen Synthesalgorithmus zu entwickeln, der es ermöglicht, die Anzahl der Messpunkte auf einen Bruchteil zu reduzieren und das Verhalten des kompletten Amplituden/Phasen-Verhaltens zu rekonstruieren.

[0011] Diese Aufgabe wird mit dem Verfahren nach Anspruch 1 gelöst. Eine vorteilhafte Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens ist Gegenstand des Patentanspruchs 1.

[0012] Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren kann der Zeitaufwand und folglich die Kosten für die Charakterisierung (Messdatenerfassung) der Sende-Empfangs-Module auf einen Bruchteil reduziert werden.

[0013] Die Erfindung wird im folgenden beispielhaft und unter Bezugnahme auf Figuren näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 ein Beispiel für ein Amplituden/Phasendiagramm eines Sende-Empfangs-Moduls;

Fig. 2 den Verlauf der Amplitudenwerte der einzelnen Amplitudenzustände über den Phasenzuständen;

Fig. 3 den Verlauf der Phasenwerte der einzelnen Phasenzustände über den Amplitudenzuständen;

Fig. 4 ein Amplituden/Phasendiagramm zur Erläuterung des erfindungsgemäßen Synthesalgorithmus;

Fig. 5 mehrere Beispiele für die Segmentierung eines Amplituden/Phasendiagramms;

Fig. 6 eine weiteres Beispiel für die Segmentierung eines Amplituden/Phasendiagramms mit den tatsächlich gemessenen Zeilen und Spalten.

[0014] In Fig. 2 ist beispielhaft der typische Verlauf der gemessenen Amplitude in den einzelnen Amplitudenzuständen (zur Definition des Amplitudenzustands siehe untenstehende Definition - die Amplituden desselben Amplitudenzustands sind durch Linien verbunden) über den Phasenzuständen dargestellt. Der Unterschied dieser Darstellung zu dem Amplituden/Phasen-Diagramm nach Fig. 1 ist, dass es sich in Fig. 1 sowohl bei Amplitude als auch bei der Phase um gemessene Werte handelt. In Fig. 2 dagegen sind nur die Amplitudenwerte durch Messung ermittelt, während man

bezüglich der Messung der Phase von idealen Bauteilen ausgeht, d.h. die angegebenen Phasenwerte sind direkt aus dem Bitmuster des Phasenschiebers abgeleitet (Phase=Sollgröße). Es ist aus Fig. 2 offensichtlich, dass die Kurven der einzelnen Amplitudenzustände parallel zueinander verlaufen.

[0015] Gleichzeitig weist die gemessene Phase über den Amplitudenzuständen (Amplitude=Sollgröße) ein ähnliches Verhalten auf. Hierzu zeigt Fig. 3, normiert auf den Phasenzustand 0, den Verlauf der gemessenen Phase in den einzelnen Phasenzuständen (die Phasen desselben Phasenzustands sind durch Linien verbunden) über den Amplitudenzuständen.

[0016] Es ist daher völlig ausreichend, im Amplituden/Phasen-Diagramm (Fig. 1) nur einen Teil aller Amplituden/Phasen-Zustände, nämlich nur eine Zeile und eine Spalte (entsprechend einem Amplitudenzustand und einem Phasenzustand) nach Amplitude und Phase zu vermessen und alle anderen Zustände zu rekonstruieren. Wie dieses erfindungsgemäße Verfahren im einzelnen abläuft, wird im folgenden erläutert.

Beispiel:

[0017] Annahme: Sende-Empfangs-Modul ist ein Multi-State Device mit 6 Bit Amplitudensteller und 6 Bit Phasenschieber, d.h. $2^6 \times 2^6 = 4096$ Amplituden/Phasen-Zuständen.

[0018] Gemessen werden soll nur eine Zeile und eine Spalte eines Amplituden/Phasen-Diagramms, d.h. anstelle von 4096 Amplituden/Phasen-Zuständen nur $64+64=128$ Amplituden/Phasen-Zustände.

Algorithmus:

[0019] Die Grundlagen des Algorithmus sind beispielhaft in dem Amplituden/Phasendiagramm gemäß Fig. 4 dargestellt. Die durchgezogenen, fettgedruckten Linien repräsentieren die tatsächlich gemessenen Amplituden/Phasenzustände, die Amplituden/Phasenzustände aller anderen Linien (gestrichelt) werden gemäß dem erfindungsgemäßen Verfahren berechnet.

[0020] Zunächst werden Amplituden und Phasen der 64 Amplituden/Phasenzustände (32,i) mit $i = 0, \dots, 63$ des Amplitudenzustands 32 sowie Amplituden und Phasen der 64 Amplituden/Phasenzustände (j,32) mit $j = 0, \dots, 63$ des Phasenzustands 32 gemessen.

[0021] Für jeden zu rekonstruierenden Amplitudenzustand wird vom Verlauf des gemessenen Amplitudenzustands (hier im Beispiel Amplitudenzustand 32) ausgegangen, der um den entsprechenden Amplitudenabstand ΔA innerhalb des gemessenen Phasenzustands (im Beispiel Phasenzustand 32) verschoben wird.

[0022] Entsprechend wird für jeden zu rekonstruierenden Phasenzustand vom Verlauf des gemessenen Phasenzustands (hier Phasenzustand 32) ausgegangen, der um den entsprechenden Phasenabstand $\Delta \phi$ bei dem gemessenen Amplitudenzustand (im Beispiel Amplitudenzustand 32) verschoben wird.

[0023] Auf diese Weise können sämtliche Amplitudenzustände und Phasenzustände des Amplituden/Phasendiagramms rekonstruiert werden.

[0024] Der Algorithmus für den in Fig. 4 gezeigten Beispielsfall ist in den Gleichungen (1) und (2) dargestellt. Für alle gemessenen Amplituden/Phasen-Zustände wird die Abkürzung "M" verwendet, für alle berechneten Zustände die Abkürzung "C".

[0025] Beispiel für den zu berechnenden Amplituden/Phasen Zustand (10/18):

Amplitude:

$$C(10,18) = M(32,18) + (M(10,32)-M(32,32)) \quad (1)$$

Phase:

$$C(10,18) = M(10,32) + (M(32,18)-M(32,32)) \quad (2)$$

[0026] Verallgemeinert für einen beliebigen, zu rekonstruierenden Phasen/Amplituden-Zustand x,y bei gemessenem Amplitudenzustand a und gemessenem Phasenzustand b ergibt sich folgende Rechenregel:

Amplitude:

$$C(x,y) = M(a,y) + (M(x,b)-M(a,b)) \quad (3)$$

Phase:

$$C(x,y) = M(x,b) + (M(a,y)-M(a,b)). \quad (4)$$

[0027] Die Auswahl des zu messenden Amplitudenzustands a und des zu messenden Phasenzustands b wird an einem komplett gemessenen Amplituden/Phasendiagramm eines Sende-Empfangs-Moduls durchgeführt. Es werden alle möglichen Zeilen/Spalten-Kombination dahingehend geprüft, welche Kombination die beste Genauigkeit liefert, d.h. aus jeder möglichen Zeilen/Spalten-Kombination werden alle Amplituden/Phasenzustände errechnet und die Übereinstimmung mit den gemessenen Werten verglichen. Ein Maß für die Genauigkeit ist die Abweichung der berechneten Werte von den zugehörigen gemessenen Werten (z.B. über RMS-Fehler). Die dadurch gewonnene optimale Kombination aus Amplitudenzustand und Phasenzustand kann dann für die Rekonstruktion der Amplituden/Phasendiagramme der restlichen Sende-Empfangs-Module der Antenne genutzt werden (wie oben angemerkt, können das mehr als 1000 Sende-Empfangs-Module sein).

[0028] Es ist aber auch möglich, nach einer bestimmten Anzahl von rechnerisch rekonstruierten Amplituden/Phasendiagrammen (z.B. 10) erneut das Amplituden/Phasendiagramm eines der Sende-Empfangs-Module vollständig zu messen, und auf dieser Basis eine neue optimale Kombination von Amplitudenzustand und Phasenzustand zu ermitteln.

[0029] Abhängig vom Typ des Sende-Empfangs-Moduls und der geforderten Genauigkeit ist es auch möglich, den beschriebenen Algorithmus nicht einheitlich auf das gesamte Amplituden/Phasen-Diagramm anzuwenden, sondern letzteres in mehrere Segmente aufzuteilen, wobei dann für jedes Segment der beschriebene Algorithmus separat zur Anwendung kommt. Die Segmentierung wird schrittweise erhöht, bis die geforderte Übereinstimmung von errechneten Werten und Messwerten erreicht ist. Fig. 5 zeigt hierzu 16 mögliche Segmentierungen für das Amplituden-Diagramm, wobei von links oben bis rechts unten fortschreitend die Segmentierung erhöht wird.

[0030] Wesentlich dabei ist, dass für jedes Segment der tatsächlich gemessene Amplitudenzustand und der tatsächlich gemessene Phasenzustand individuell für jedes Segment gewählt werden können. Auch hier ist es vorteilhaft, für jedes Segment die optimale Kombination aus Amplitudenzustand und Phasenzustand auf der Basis eines vollständig gemessenen Amplituden/Phasendiagramms zu ermitteln.

[0031] Hierzu zeigt Fig. 6 ein Beispiel, bei dem das Amplituden/Phasendiagramm des Sende-Empfangs-Moduls in vier Segmente seg1 bis seg4, angeordnet in zwei Spalten und zwei Zeilen, unterteilt ist. Für jedes Segment wird individuell eine Kombination aus Amplitudenzustand und Phasenzustand $m1/n1$ bis $m4/n4$ festgelegt, deren einzelne Phasen/Amplitudenzustände vermessen werden. Für die Rekonstruktion der übrigen Phasen/Amplitudenzustände werden also nur die auf den durchgezogenen Linien liegenden Phasen/Amplitudenzustände eingesetzt. Die auf den gestrichelten Linien liegenden Phasen/Amplitudenzustände werden für die Berechnung nicht benötigt und werden nicht gemessen.

Definitionen:

[0032] Amplituden/Phasenzustand (x,y) : Zustand des Sende-Empfangs-Moduls hinsichtlich Amplitude und Phase bei einer bestimmten Einstellung x des Amplitudenstellers und y des Phasenschiebers.

Amplitudenzustand x : Zustand des Sende-Empfangs-Moduls bei einer bestimmten Einstellung x des Amplitudenstellers bei beliebiger Einstellung des Phasenschiebers. Phasenzustand y : Zustand des Sende-Empfangs-Moduls für eine bestimmte Einstellung y des Phasenschiebers bei beliebiger Einstellung des Amplitudenstellers.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Rekonstruktion der Amplituden/Phasendiagramme der Sende-Empfangs-Module einer phasengesteuerten Gruppenantenne, mit folgenden Verfahrensschritten:

- vollständige Messung des Amplituden/Phasendiagramms mindestens eines der Sende-Empfangs-Module durch
- Messung von Amplitude und Phase sämtlicher Amplituden/Phasenzustände (i,j) mit $i = i_{\min} \dots i_{\max}$ und $j = j_{\min} \dots j_{\max}$,
- wobei die Gesamtheit der Amplituden/Phasenzustände (a,i) mit a fest und $i = i_{\min} \dots i_{\max}$ einen einzelnen Amplitudenzustand a bilden und

- wobei die Gesamtheit der Amplituden/Phasenzustände (j, b) mit b fest und $j = j_{\min} \dots j_{\max}$ einen einzelnen Phasenzustand b bilden;
- Rekonstruktion des Amplituden/Phasendiagramms aus den Messwerten eines einzigen Amplitudenzustands a und eines einzigen Phasenzustands b , und zwar für alle Kombinationen eines Amplitudenzustands a und eines Phasenzustands b , nach folgender Vorschrift:
 - Rekonstruktion der Amplituden-Werte eines Amplitudenzustands x durch Verschieben der gemessenen Amplitudenwerte des Amplitudenzustands a um die Differenz ΔA der gemessenen Amplitudenwerte der beiden Amplituden/Phasenzustände $(x, b), (a, b)$, welche innerhalb des Phasenzustands b gleichzeitig zum Amplitudenzustand x bzw. Amplitudenzustand a gehören,
 - Rekonstruktion der Phasen-Werte eines Phasenzustands y durch Verschieben der gemessenen Phasenwerte des Phasenzustands b um die Differenz $\Delta \phi$ der gemessenen Phasenwerte der beiden Amplituden/Phasenzustände $(a, y), (a, b)$, welche innerhalb des Amplitudenzustands a gleichzeitig zum Phasenzustand y bzw. zum Phasenzustand b gehören.
 - Ermittlung einer optimalen Kombination von Amplitudenzustand a und Phasenzustand b , mit der das gemessene Amplituden/Phasendiagramm mittels der Rekonstruktion am besten angenähert wird;
 - Verwendung der derart ermittelten optimalen Kombination von Amplitudenzustand und Phasenzustand geringster Abweichung für die Rekonstruktion der Amplituden/Phasendiagramme weiterer Sende/Empfangsmodule.
- 2. Verfahren zur Rekonstruktion des Amplituden/Phasendiagramms eines Sende-Empfangs-Moduls für eine phasengesteuerte Gruppenantenne nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** bei der Ermittlung der optimalen Kombination von Amplitudenzustand und Phasenzustand eine maximal zulässige Abweichung zwischen vollständig gemessenem Amplituden/Phasendiagramm und rekonstruiertem Amplituden/Phasendiagramm vorgegeben wird, und im Falle, dass die tatsächliche Abweichung größer als der vorgegebene Wert ist, das Amplituden/Phasendiagramm in mehrere Segmente unterteilt wird, wobei für jedes Segment individuell ein optimale Kombination von Amplitudenzustand und Phasenzustand ermittelt wird, deren Amplituden/Phasenzustände für die Rekonstruktion der Amplituden/Phasendiagramme weiterer Sende/Empfangsmodule vermessen werden, wobei die Segmentierung schrittweise erhöht wird, solange, bis die zulässige Abweichung unterschritten wird.

Claims

1. Method for reconstruction of the amplitude/phase diagrams of the transmitting/receiving modules of a phase-controlled antenna array, having the following method steps:
 - complete measurement of the amplitude/phase diagram of at least one of the transmitting/receiving modules by:
 - measurement of the amplitude and phase of all of the amplitude/phase states (l, j) where $l = i_{\min} \dots i_{\max}$ and $j = j_{\min} \dots j_{\max}$,
 - with the totality of the amplitude/phase states (a, i) with a being fixed and $i = i_{\min} \dots i_{\max}$ forming an individual amplitude state a , and
 - with the totality of the amplitude/phase states (j, b) with b being fixed and $j = j_{\min} \dots j_{\max}$ forming an individual phase state b ;
 - reconstruction of the amplitude/phase diagram from the measured values of a single amplitude state a and of a single phase state b , to be precise for all combinations of an amplitude state a and of a phase state b , using the following rule:
 - reconstruction of the amplitude values of an amplitude state x by shifting the measured amplitude values of the amplitude state a through the difference ΔA of the measured amplitude values of the two amplitude/

phase states (x, b), (a, b) which are at the same time associated with the amplitude state x or amplitude state a within the phase state b,

- reconstruction of the phase values of a phase state y by shifting the measured phase values of the phase state b through the difference $\Delta\phi$ of the measured phase values of the two amplitude/phase states (a, y), (a, b) which are at the same time associated with the phase state y or with the phase state b within the amplitude state a;
- determination of an optimum combination of an amplitude state a and a phase state b which produces the best approximation to the measured amplitude/phase diagram by means of the reconstruction;
- use of the optimum combination, as determined in this way, of the amplitude state and phase state with the minimum discrepancy for the reconstruction of the amplitude/phase diagrams of further transmitting/receiving modules.

2. Method for reconstruction of the amplitude/phase diagram of a transmitting/receiving module for a phase-controlled antenna array according to Claim 1, **characterized in that** a maximum permissible error between a completely measured amplitude/phase diagram and a reconstructed amplitude/phase diagram is predetermined for the determination of the optimum combination of the amplitude state and phase state, and in the situation where the actual error is greater than the predetermined value, the amplitude/phase diagram is subdivided into two or more segments, with an optimum combination of the amplitude state and phase state being determined individually for each segment, whose amplitude/phase states are measured for the reconstruction of the amplitude/phase diagrams of further transmitting/receiving modules, with the segmentation being increased in steps until the permissible error is undershot.

Revendications

1. Méthode pour reconstruire les diagrammes d'amplitude et de phase des modules émetteurs/récepteurs d'une antenne en réseau à commande de phase comprenant les étapes suivantes :

- * Mesure complète du diagramme d'amplitude et de phase d'au moins l'un des modules émetteurs/récepteurs par
- * Mesure de l'amplitude et de la phase de tous les états amplitude/phase (i, j) avec $i = i_{\min} \dots i_{\max}$ et $j = j_{\min} \dots j_{\max}$,
- * l'ensemble des états amplitude/phase (a, i) avec a fixe et $i = i_{\min} \dots i_{\max}$ formant un état d'amplitude a unique et
- * l'ensemble des états amplitude/phase (j, b) avec b fixe et $j = j_{\min} \dots j_{\max}$ formant un état de phase b unique ;
- * Reconstruction du diagramme d'amplitude et de phase à partir des valeurs mesurées d'un état d'amplitude a unique et d'un état de phase b unique, et ce pour toutes les combinaisons d'un état d'amplitude a et d'un état de phase b conformément à la prescription suivante :
 - * Reconstruction des valeurs de l'amplitude d'un état d'amplitude x par décalage des valeurs mesurées de l'amplitude de l'état d'amplitude a de la différence ΔA des valeurs mesurées de l'amplitude des deux états amplitude/phase (x, b), (a, b) qui appartiennent simultanément à l'état d'amplitude x ou l'état d'amplitude a au sein de l'état de phase b,
 - * Reconstruction des valeurs de la phase d'un état de phase y par décalage des valeurs mesurées de la phase de l'état de phase b de la différence $\Delta\phi$ des valeurs mesurées de phase des deux états amplitude/phase (a, y), (a, b) qui appartiennent simultanément à l'état de phase y ou l'état de phase b au sein de l'état d'amplitude a ;
 - * Détection d'une combinaison optimale de l'état d'amplitude a et de l'état de phase b avec laquelle le diagramme d'amplitude et de phase mesuré est le mieux approché au moyen de la reconstruction ;
 - * Utilisation de la combinaison optimale ainsi déterminée de l'état d'amplitude et de l'état de phase ayant

le plus petit écart pour la reconstruction des diagrammes d'amplitude et de phase d'autres modules émetteurs/récepteurs.

2. Méthode pour reconstruire les diagrammes d'amplitude et de phase d'un module émetteur/récepteur d'une antenne en réseau à commande de phase selon la revendication 1, **caractérisée en ce qu'un** écart maximum autorisé entre le diagramme d'amplitude et de phase entièrement mesuré et le diagramme d'amplitude et de phase reconstruit est prédéfini lors de la détermination de la combinaison optimale de l'état d'amplitude et de l'état de phase et, dans le cas où l'écart réel est supérieur à la valeur prédéfinie, le diagramme d'amplitude et de phase est divisé en plusieurs segments, une combinaison optimale d'état d'amplitude et de l'état de phase étant déterminée individuellement pour chaque segment dont les états amplitude/phase sont mesurés pour la reconstruction des diagrammes d'amplitude et de phase d'autres modules émetteurs/récepteurs, la segmentation étant augmentée par paliers jusqu'à ce que l'écart devienne inférieur à la valeur autorisée.

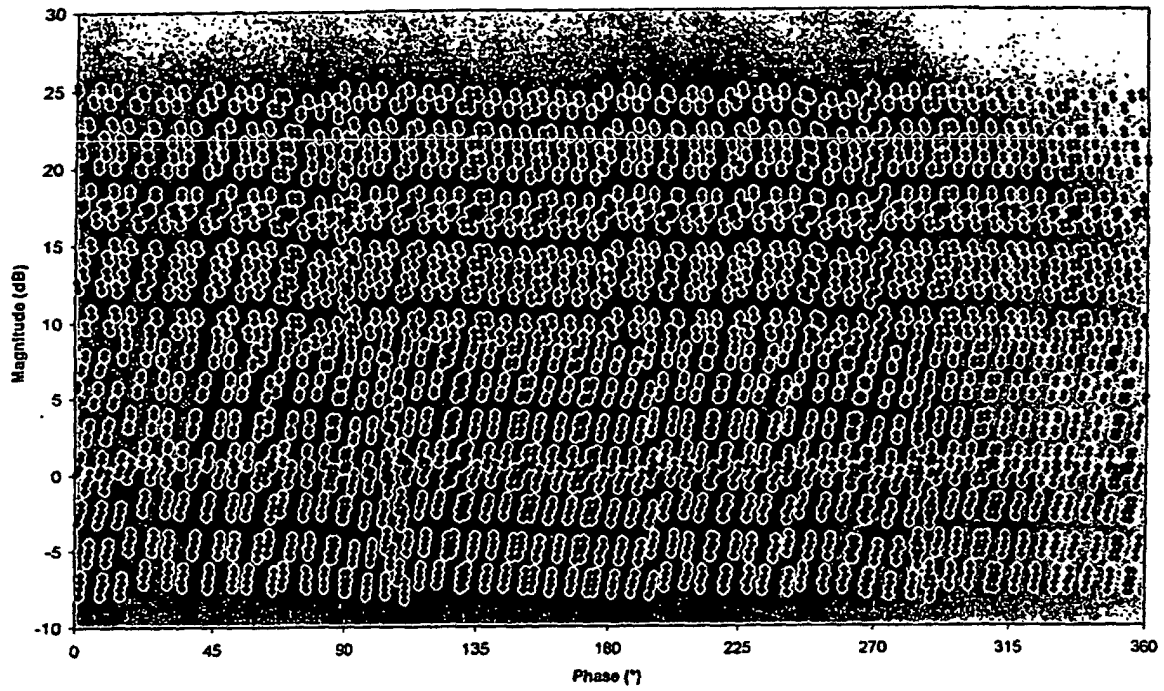


Fig. 1

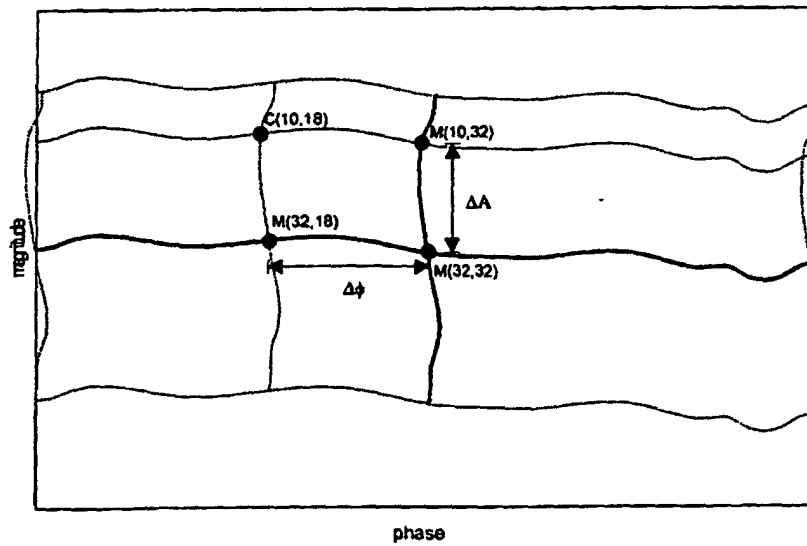


Fig. 4

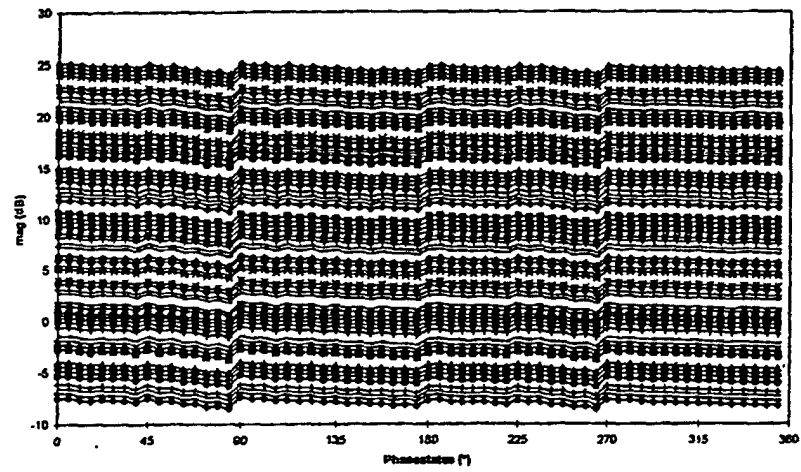


Fig. 2

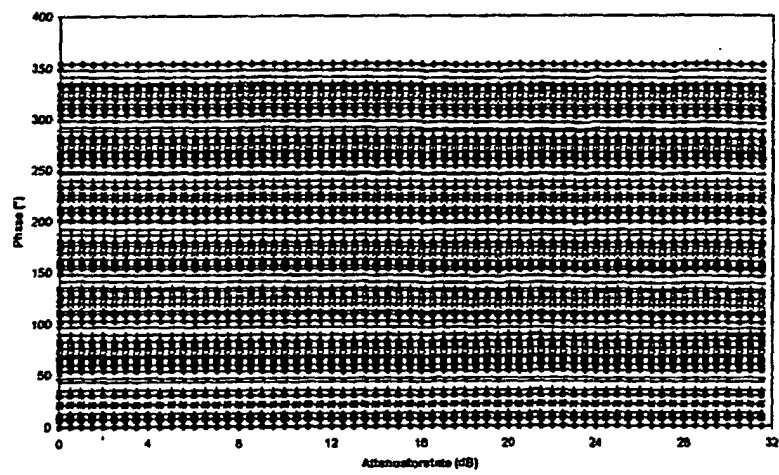


Fig. 3

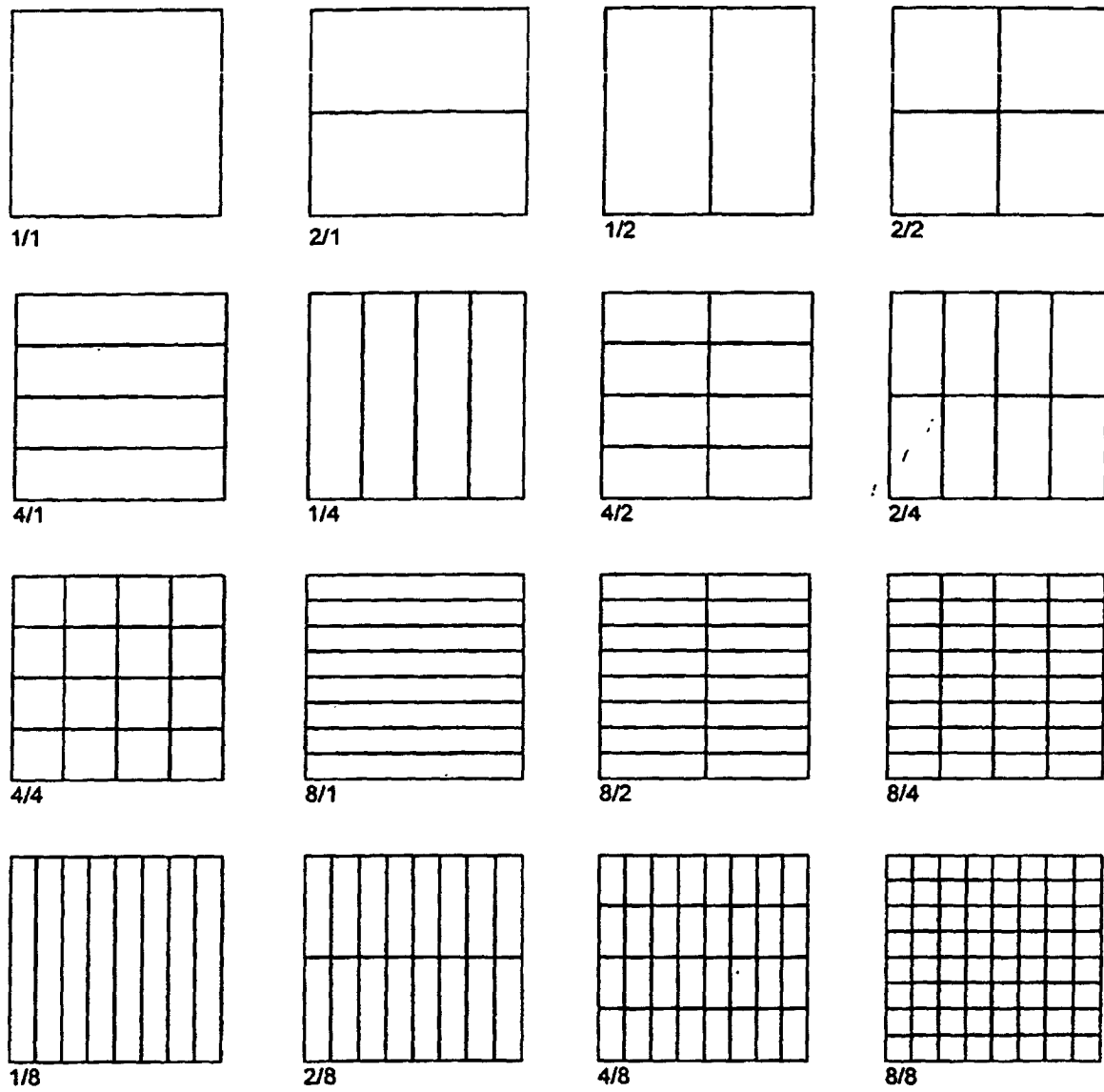


Fig. 5

Fig. 6

