

(19)



Europäisches Patentamt

European Patent Office

Office européen des brevets



(11)

EP 1 267 442 A1

(12)

## EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:  
18.12.2002 Patentblatt 2002/51

(51) Int Cl. 7: H01Q 3/26

(21) Anmeldenummer: 02010035.0

(22) Anmeldetag: 06.05.2002

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU  
MC NL PT SE TR  
Benannte Erstreckungsstaaten:  
AL LT LV MK RO SI

(30) Priorität: 02.06.2001 DE 10127080

(71) Anmelder: 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)

(54) **Verfahren zur Rekonstruktion des Amplituden/Phasendiagramms eines Sende-Empfangs-Moduls einer phasengesteuerten Gruppenantenne**

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Rekonstruktion des Amplituden/Phasendiagramms eines Sende-Empfangs-Moduls für eine phasengesteuerte Gruppenantenne.

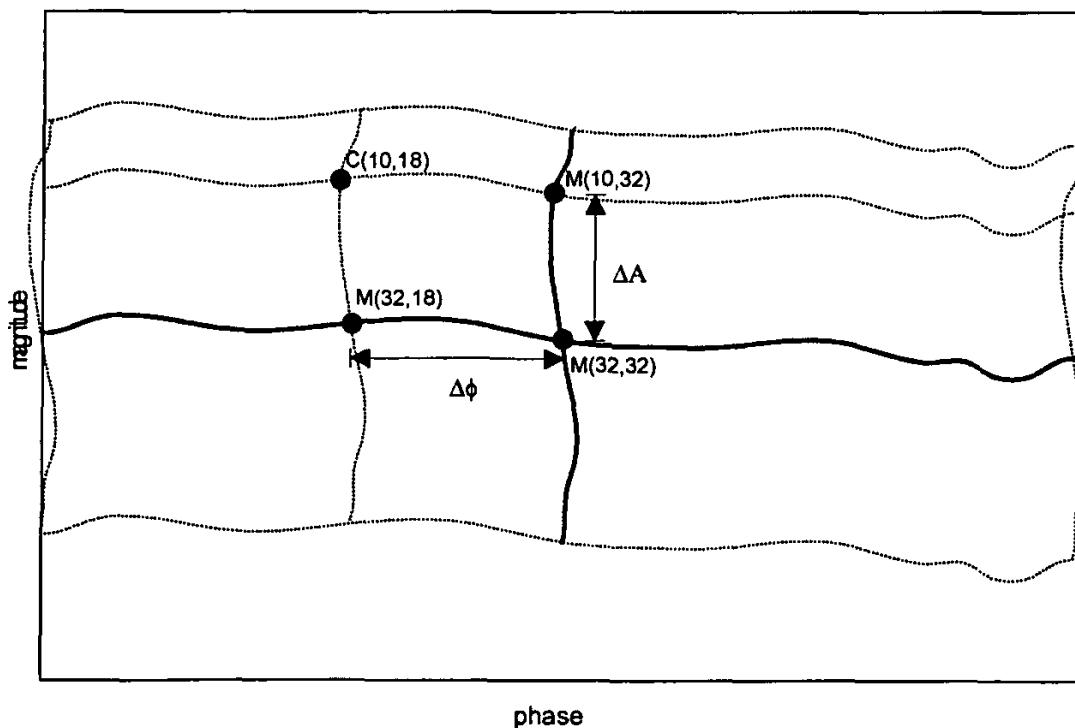


Fig. 4

**Beschreibung**

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Rekonstruktion des Amplituden/Phasendiagramms eines Sende-Empfangs-Moduls (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-Modulen 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 so genannten 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 Gruppenantennen muss das komplette Amplituden/Phasen-Verhalten sowohl im Empfangs- als auch im Sendemode 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 komplett 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/Empfangselementen 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/Empfangselements bestimmt.

[0008] In der JP2000119773A 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 wiederholten 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 Synthesealgorithmus 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 Synthesealgorithmus;
- 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 erfundungsgemäße 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 erfundungsgemäßen 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  $\Delta A$  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:

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

- 5 [0027] Die Auswahl des zu messenden Amplitudenzustands a und des zu messenden Phasenzustands b wird vorteilhaft erweisen an einem komplett gemessenen Amplituden/Phasendiagramm eines Sende-Empfangs-Moduls durchgeführt. Es werden alle möglichen Zeilen/Spalten-Kombination dagegen geprüft, welche Kombination die beste Genauigkeit liefert, d.h. aus jeder möglichen Zeilen/Spalten-Kombination werden alle Amplituden/Phasenzustände 10 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-Moduls der Antenne genutzt werden (wie oben ange- 15 merkt, können mehr als 1000 Sende-Empfangs-Module sein).
- 15 [0028] Es ist aber auch möglich, nach einer bestimmten Anzahl von rechnerisch rekonstruierten Amplituden/Pha- sendiagrammen (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.
- 20 [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.
- 25 Fig. 5 zeigt hierzu 16 mögliche Segmentierungen für das Amplituden-Diagramm, wobei von links oben bis rechts unten fortschreitend die Segmentierung erhöht wird.
- 30 [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.
- 35 [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:

- 40 [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.

45

#### Patentansprüche

- 50 1. Verfahren zur Rekonstruktion des Amplituden/Phasendiagramms eines Sende-Empfangs-Moduls für eine phasensteuerte Gruppenantenne, mit folgenden Verfahrensschritten:
- Messung von Amplitude und Phase der Amplituden/Phasenzustände (a,i) mit  $i = i_{\min} \dots i_{\max}$  eines einzelnen Amplitudenzustands a; sowie
  - Messung von Amplitude und Phase der Amplituden/Phasen-Zustände (j,b) mit  $j = j_{\min} \dots j_{\max}$  eines einzelnen Phasenzustands b;
  - Rekonstruktion der Amplituden-Werte eines Amplitudenzustands x durch Verschieben der gemessenen Am-

## EP 1 267 442 A1

plitudenwerte des Amplitudenzustands a um die Differenz  $\Delta A$  der gemessenen Amplitudenwerte der beiden Amplituden/Phasenzustände (x,b),(a,b), welche innerhalb des Phasenzustands b gleichzeitig zum Amplitudenzustand x bzw. Amplitudenzustand a gehören,

- 5
- 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.
- 10 2. Verfahren zur Rekonstruktion des Amplituden/Phasendiagramms eines Sende-Empfangs-Moduls für eine phasengesteuerte Gruppenantenne nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Amplituden/Phasendiagramm in mehrere Segmente unterteilt wird, und das Verfahren nach Anspruch 1 für jedes einzelne Segment durchgeführt wird, wobei für jedes Segment individuell ein Amplitudenzustand und ein Phasenzustand ausgewählt wird, deren Amplituden/Phasenzustände vermessen werden.

15

20

25

30

35

40

45

50

55

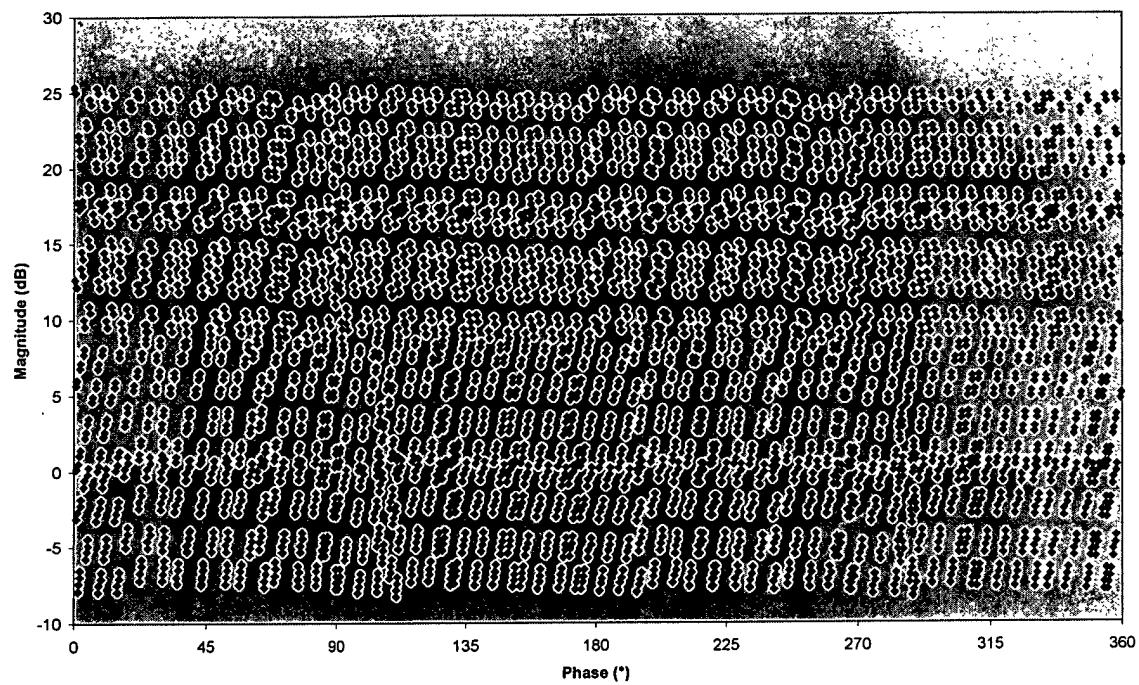


Fig. 1

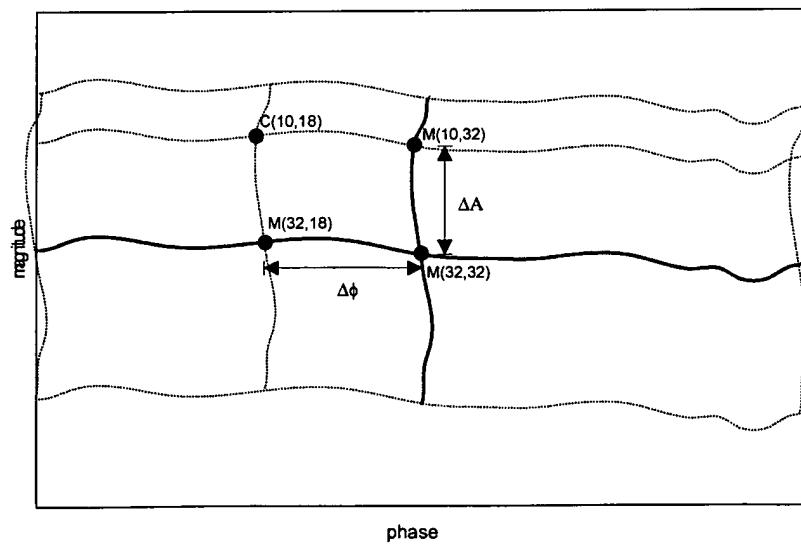


Fig. 4

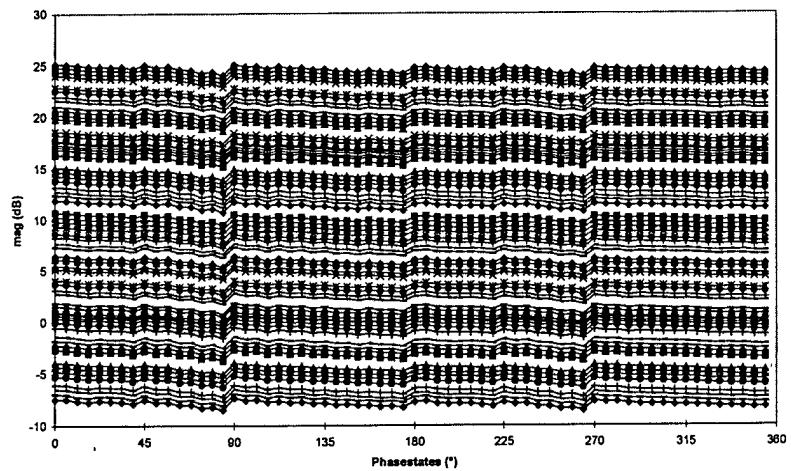


Fig. 2

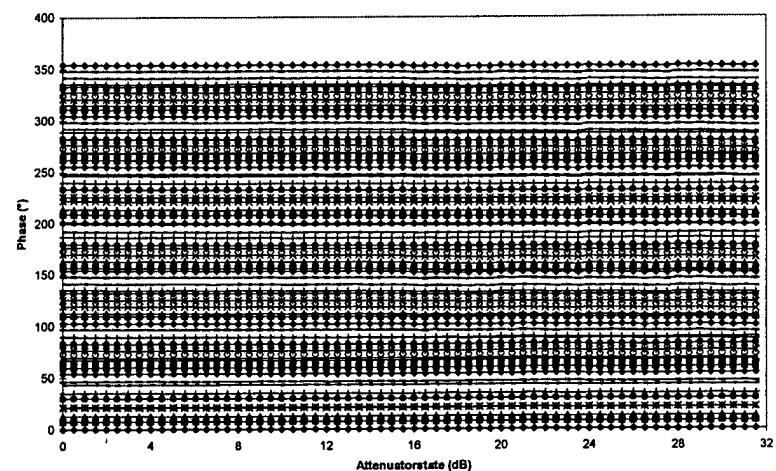


Fig. 3

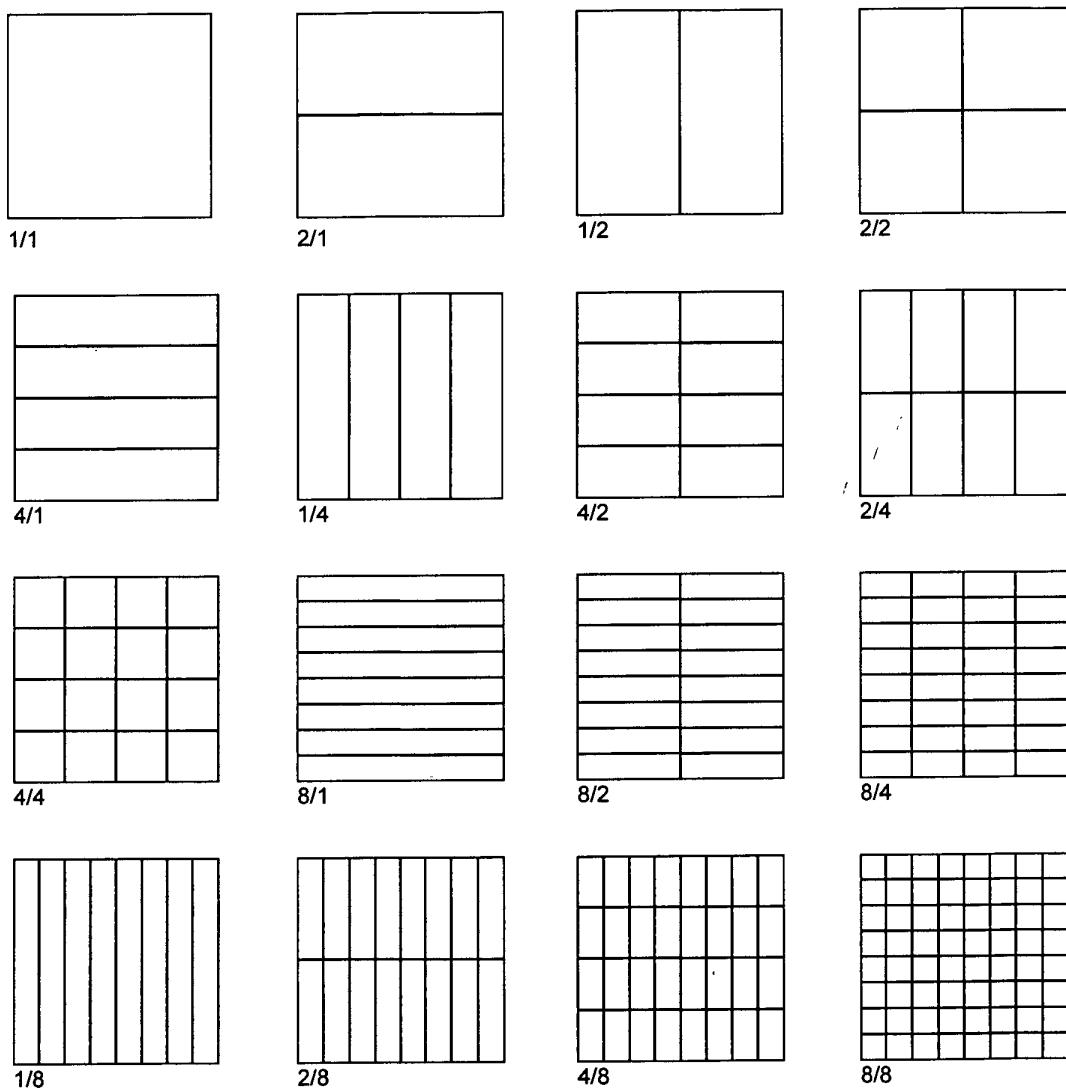
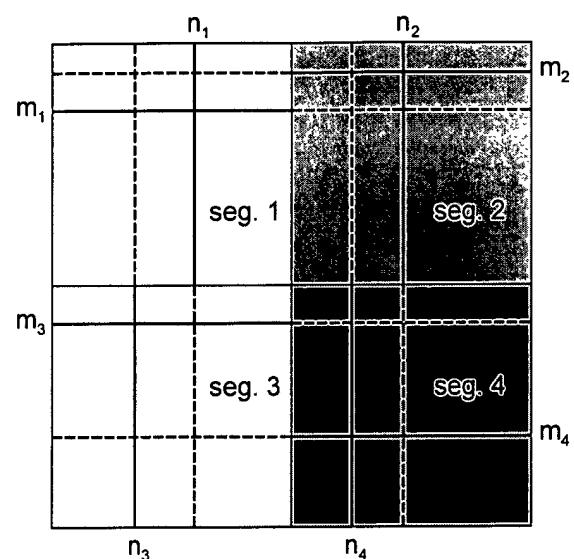


Fig. 5

Fig. 6





Europäisches  
Patentamt

### ERKLÄRUNG

die nach Regel 45 des Europäischen Patent-  
übereinkommens für das weitere Verfahren als  
europäischer Recherchenbericht gilt

Nummer der Anmeldung

EP 02 01 0035

<p>Die Recherchenabteilung ist der Auffassung, daß die vorliegende Patentanmeldung den Vorschriften des EPÜ in einem solchen Umfang nicht entspricht, daß sinnvolle Ermittlungen über den Stand der Technik auf der Grundlage aller Patentansprüche nicht möglich sind.</p> <p>Grund:</p> <p>Es ist offensichtlich, daß das Verfahren nach dem Hauptanspruch nur für die speziellen Amplituden/Phasendiagramme nach Fig. 2 und 3 eine Rekonstruktion der Amplituden- und Phasenwerte ermöglicht, d. h. die identische Verteilung der Amplitudenwerte bei konstanter Phase und umgekehrt ist bereits bekannt. Da dieses wesentliche Merkmal im Hauptanspruch fehlt, ist folglich das Verfahren nach dem Hauptanspruch unklar (Artikel 84 in Verbindung mit Regel 29(1) und (3) EPÜ). Die Erstellung eines Recherchenberichts war daher nicht möglich.</p> <p>Anmerkung: Unter diesen Voraussetzungen ist es unmittelbar einsichtig, daß zur Bestimmung der absoluten Amplituden- bzw. Phasenwerte die Kenntnis der Amplitudenwerte bei beliebiger, konstanter Phase und umgekehrt völlig ausreicht. Dieser Einwand gilt analog für einzelne Segmente im Amplituden/Phasendiagramm.</p> <p>Die Ansprüche 1 und 2 sind daher nicht erfinderisch, Artikel 56 EPÜ.</p> <p>Der Anmelder wird darauf hingewiesen, daß im Zuge der Prüfung eine Recherche durchgeführt werden kann, sollten die einer Erklärung gemäß Regel 45 EPÜ zugrundeliegenden Mängel behoben werden sein (Vgl. EPA-Richtlinien C-VI, 8.5).</p> <p>-----</p> <p>-----</p>		<p>KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int.Cl.7)</p> <p>H01Q3/26</p>						
<table border="1"> <tr> <td>Recherchenort</td> <td>Abschlußdatum</td> <td>Prüfer</td> </tr> <tr> <td>MÜNCHEN</td> <td>18. Juli 2002</td> <td>von Walter, S-U</td> </tr> </table>			Recherchenort	Abschlußdatum	Prüfer	MÜNCHEN	18. Juli 2002	von Walter, S-U
Recherchenort	Abschlußdatum	Prüfer						
MÜNCHEN	18. Juli 2002	von Walter, S-U						