



(12) Wirtschaftspatent

Erteilt gemäß § 18 Absatz 2 Patentgesetz

(19) DD (11) 278 042 A3

5(51) G 01 R 27/26  
H 03 J 3/18

PATENTAMT

(21) WP G 01 R / 308 765 8

(22) 06.11.87

(45) 25.04.90

(71) Akademie der Wissenschaften der DDR, Otto-Nuschke-Straße 22/23, Berlin, 1080, DD

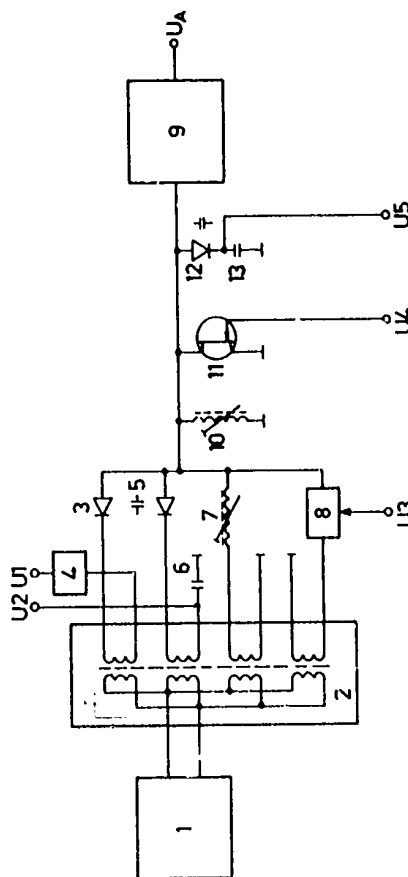
(72) Breitenstein, Otwin, Dr. rer. nat. Dipl.-Phys.; Heinze, Ekkehard, Dr. rer. nat. Dipl.-Phys., DD

(54) Abstimmverfahren und -einrichtung für Kapazitätsmeßbrücken

(55) Verfahren, Einrichtung, Kapazitätsmessung, Kapazitätsmeßbrücke, Kapazitätsspektroskopie, Halbleiter, steuerbarer Widerstand, Kapazitätsdiode

(57) Anwendungsgebiet der Erfindung ist die Messung kleinster Kapazitätsänderungen mittels Kapazitätsmeßbrücken, vor allem die Kapazitätsspektroskopie von Halbleitern. Erfindungsgemäß wird nach Einlegen der Probe zunächst über die an den steuerbaren Widerstand angelegte erste Steuerspannung die Güte und damit die Impedanz des Vorverstärkereingangskreises verringert, anschließend auf herkömmliche Weise der Probenkreis abgeglichen, daraufhin mittels der ersten Steuerspannung die Güte des Vorverstärkereingangskreises wieder erhöht und daraufhin mittels der zweiten, an der Kapazitätsdiode anliegenden Steuerspannung die Resonanzfrequenz des Vorverstärkereingangskreises bis zur Erreichung des vollständigen Abgleichs verändert. Bei der erfindungsgemäßen Abstimmereinrichtung sind zwischen Vorverstärkereingang und Masse ein steuerbarer Widerstand und eine Kapazitätsdiode parallelgeschaltet.

Figur



## Patentansprüche:

1. Abstimmverfahren für Kapazitätsmeßbrücken, bei denen die Probe Teil eines auf die Meßfrequenz abgestimmten Schwingkreises ist und die Eingangskapazität der Vorverstärkerschaltung mit einer Induktivität zu einem auf die Meßfrequenz abgestimmten, zwischen Vorverstärkereingang und Masse liegenden Schwingkreis ergänzt ist, **gekennzeichnet dadurch**, daß nach Einlegen der Probe zunächst über die an den steuerbaren Widerstand angelegte erste Steuerspannung die Güte und damit die Impedanz des Vorverstärkereingangskreises verringert, anschließend auf herkömmliche Weise der Probenkreis abgeglichen, daraufhin mittels der ersten Steuerspannung die Güte des Vorverstärkereingangskreises wieder erhöht und daraufhin mittels der zweiten, an der Kapazitätsdiode anliegenden Steuerspannung die Resonanzfrequenz des Vorverstärkereingangskreises bis zur Erreichung des vollständigen Abgleichs verändert wird.
2. Abstimmrichtung für Kapazitätsmeßbrücken, bei denen die Probe Teil eines auf die Meßfrequenz abgestimmten Schwingkreises ist und die Eingangskapazität der Vorverstärkerschaltung mit einer Induktivität zu einem auf die Meßfrequenz abgestimmten, zwischen Vorverstärkereingang und Masse liegenden Schwingkreis ergänzt ist, **gekennzeichnet dadurch**, daß zwischen Vorverstärkereingang und Masse ein steuerbarer Widerstand und eine Kapazitätsdiode parallelgeschaltet sind.
3. Abstimmrichtung nach Anspruch 2, **gekennzeichnet dadurch**, daß der steuerbare Widerstand ein FET ist.
4. Abstimmrichtung nach Anspruch 3, **gekennzeichnet dadurch**, daß der steuerbare Widerstand derjenige FET ist, der in üblichen Brücken der beschriebenen Art den Kurzschluß des Vorverstärkereingangs unmittelbar nach Anlegen eines Vorspannungsimpulses an die Probe realisiert.

Hierzu 1 Seite Zeichnung

### Anwendungsgebiet der Erfindung

Anwendungsgebiet der Erfindung ist die Messung kleinster Kapazitätsänderungen mittels Kapazitätsmeßbrücken, vor allem die Kapazitätsspektroskopie von Halbleitern. Besondere Vorteile hat ihre Anwendung bei der sog. Scanning-DLTS-Methode.

### Charakteristik des bekannten Standes der Technik

Zur Messung kleinster Kapazitäten bzw. Kapazitätsänderungen mit hoher Empfindlichkeit werden verschiedene Arten von Meßbrücken angegeben und praktisch eingesetzt. Den hohen Anforderungen, die die Kapazitätsspektroskopie an Halbleitern stellt, werden Anordnungen des in der DD-PS 202764 beschriebenen Prinzips weitgehend gerecht, bei denen an einer Seite der Probe eine Wechselspannung angelegt und auf der anderen Seite die mit einer Änderung des Probenleitwerkes verbundene Änderung des Wechselstromes durch die Probe nachgewiesen wird derart, daß die Probe Teil eines auf die Meßfrequenz abgestimmten Schwingkreises ist und die Eingangskapazität der Vorverstärkerschaltung mit einer Induktivität zu einem auf die Meßfrequenz abgestimmten zweiten Schwingkreis ergänzt ist („Parallelresonanz-Anordnung“). Die Aufgabe des Abgleichs dieser Anordnungen besteht aus zwei Teilen, einerseits dem Abgleich der Probenkapazität und der Kompensation des Verlustanteils – also dem Abgleich des die Probe enthaltenden Schwingkreises auf minimale HF-Spannung am Vorverstärker – und andererseits aus dem Feinabgleich des zweiten Schwingkreises am Vorverstärkereingang, der die Empfindlichkeit der Anordnung und auch die Phasenlage des HF-Signals beeinflusst. Der Abstimmzustand dieses Kreises wird zwar durch geometriebedingt unterschiedliche Streukapazitäten der Probenanschlüsse gegen Masse, so daß ein Feinabgleich erforderlich ist.

Bei Probenwechsel ist – ausgehend vom zu Beginn der Messungen grob abgeglichenen Vorverstärkereingangskreis – der Probenkreis auf die Kapazität und den Verlustanteil der neuen Probe und danach der Vorverstärkereingangskreis fein abzustimmen. Bei dem üblichen Abstimmverfahren wirkt sich nachteilig aus, daß infolge des (vor allem bei mittlerer und großer Probenkapazität) sehr scharf ausgeprägten Abgleichminimums des HF-Signals zunächst nach dem Probenwechsel – also bei noch nicht abgeglichenem Probenkreis – praktisch die gesamte HF-Spannung am Vorverstärkereingang liegt und diesen übersteuert. Dem muß durch Verringerung der HF-Spannung und/oder der HF-Verstärkung begegnet werden, dies ist die erste Voraussetzung, um den Probenkreis abgleichen zu können.

Das Hauptproblem bei der Lösung dieser Teilaufgabe ist jedoch die bei den bisherigen Parallelresonanz-Brückenanordnungen vorhandene weitgehende Unabhängigkeit des HF-Signals vom Abgleichzustand im unabgeglichenen Zustand. Um die Nähe des Abstimmminimums zu finden, ist daher bisher ein intuitives Vorgehen nötig.

Wenn der Probenkreis im wesentlichen abgeglichen ist, wird der Vorverstärkereingangskreis auf maximale HF-Amplitude bzw. optimale Phasenlage fein abgeglichen, was beim Stand der Technik durch manuellen Abgleich der Induktivität am Vorverstärkereingang gegen Masse erfolgt.

Dieses Vorgehen ist sehr zeit- und bedienaufwendig und setzt zudem eine große experimentelle Erfahrung voraus. Bei speziellen DLTS-Varianten wie der Scanning-DLTS-Methode ist zudem die Meßanordnung gar nicht ohne weiteres zugänglich, eine manuelle Abstimmung würde – wenn überhaupt realisierbar – hier einen unvermeidbaren Konstruktionsaufwand erfordern.

### Ziel der Erfindung

Ziel der Erfindung ist es, ein Abstimmverfahren sowie eine seiner Realisierung dienende Anordnung für Kapazitätsmeßbrücken in Parallelresonanz-Anordnung anzugeben, die eine einfache, weitgehend fehlerfreie und schnelle Bedienung ermöglichen und den Einsatz der Meßbrücke auch bei Meßaufgaben erlauben, wo sie mechanisch nicht zugänglich ist.

### Darlegung des Wesens der Erfindung

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Abstimmverfahren und eine seiner Realisierung dienende Anordnung für Kapazitätsmeßbrücken in Parallelresonanz-Anordnung zu entwickeln, die keine mechanischen Elemente enthalten, den Abgleich nach einem eindeutig vom Abgleichzustand abhängigen Signal und ohne zwischenzeitliche Veränderung der HF-Spannung oder/und -Verstärkung der Brücke erlauben soll.

Erfindungsgemäß wird die Aufgabe dadurch gelöst, daß ein Verfahren und eine Anordnung angegeben werden, die sich durch elektronische Beeinflussung sowohl der Frequenz als auch der Güte und damit Empfindlichkeit des Vorverstärkereingangskreises auszeichnen, wobei die erfindungsgemäße Anordnung eine Parallelschaltung eines steuerbaren Widerstandes und einer Kapazitätsdiode zwischen Vorverstärkereingang und Masse darstellt.

Das Verfahren ist dadurch gekennzeichnet, daß zunächst über die an den steuerbaren Widerstand angelegte erste Steuerspannung die Güte und damit die Impedanz des Vorverstärkereingangskreises verringert, anschließend auf herkömmliche Weise der Probenkreis abgeglichen, daraufhin mittels der ersten Steuerspannung die Güte des Vorverstärkereingangskreises wieder erhöht und daraufhin mittels der zweiten, an der Kapazitätsdiode anliegenden Steuerspannung die Resonanzfrequenz des Vorverstärkereingangskreises bis zur Erreichung des vollständigen Abgleichs verändert wird.

Mit der Verringerung der Güte des Vorverstärkereingangskreises wird die Schärfe des Abgleichminimums wesentlich verringert, wodurch das Hauptproblem des Probenabgleichs, nämlich die weitgehende Unabhängigkeit des HF-Signals vom Abgleichzustand außerhalb des exakten Abgleichs, behoben wird.

Die Anordnung ist damit über die Lösung der genannten Aufgabe hinaus dazu geeignet, auf einfache und schnelle Weise eine verringerte Empfindlichkeit der Meßanordnung einzustellen – etwa für die Messung von Proben hoher Kapazitätsänderung – und damit die Einsatzbreite der Meßbrücke zu erweitern.

Als steuerbarer Widerstand kann ein FET gewählt werden; in einer vorteilhaften Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Lösung ist es derselbe FET, der in üblichen Meßbrücken der beschriebenen Art die Funktion erfüllt, während und kurz nach dem Anlegen von Spannungsimpulsen an die Probe den Vorverstärkereingang kurzzuschließen, und der dort ansonsten außer Betrieb ist.

### Ausführungsbeispiel

In der Abbildung ist eine zweckmäßige Realisierung der erfindungsgemäßen Anordnung dargestellt. Der HF-Übertrager 2 ist zur Erzielung einer starken Kopplung als Vierfach-Balun-Übertrager mit parallelgeschalteten, mit dem HF-Generator 1 verbundenen Primärwicklungen und getrennten Sekundärwicklungen ausgeführt. Die Vorspannung für die Probe 3 wird über einen Impedanzwandler 4 zugeführt, der ausgangsseitig den erforderlichen HF-Kurzschluß realisiert. Da an die Kapazitätsdiode 5 keine steilflankigen Impulse gelegt werden müssen, ist dort der HF-Kurzschluß durch einen Kondensator 6 realisiert. Der entsprechende Anschluß für die Kreisinduktivität 7 liegt direkt an Masse. Die Sekundärwicklung zur Kompensation des Verlustanteiles ist so beschaltet, daß über einen elektronisch steuerbaren Widerstand 8 ein  $180^\circ$  phasenverschobener HF-Strom parallel zum Probenkreis dem gemeinsamen Anschluß des HF-Vorverstärkers 9 zugeführt wird. Dessen Eingangskapazität und Streukapazitäten gegen Masse werden von einer zweiten Induktivität 10 kompensiert.

Erfindungsgemäß befinden sich zwischen Vorverstärkereingang und Masse der von der ersten Steuerspannung U4 gesteuerte Feldeffekttransistor 11 und die mit der zweiten Steuerspannung U5 verbundene Kapazitätsdiode 12. Der Anschluß der Steuerspannung U5 ist in üblicher Weise mit einem Kondensator 13 gegen Masse HF-mäßig kurzgeschlossen. Die Steuerspannung U4 wird während und eine gewisse Zeit nach einem Impuls der Probenvorspannung U1 in bekannter Weise so gewählt, daß am Vorverstärkereingang praktisch ein Kurzschluß entsteht. Während der DLTS-Meßphase nach dem Impuls und während des Abstimmvorganges wird U4 erfindungsgemäß so eingestellt, daß die für die jeweilige Meß- oder Abstimm Aufgabe gewünschte Empfindlichkeit der Anordnung erreicht wird. Ist U4 so gewählt, daß der Feldeffekttransistor 11 hochohmig ist und der Vorverstärkerkreis eine hohe Güte aufweist, kann über die Abstimmspannung U5 erfindungsgemäß eine Optimierung der Empfindlichkeit der Anordnung bzw. der Phasenlage des Signals erfolgen.

