



(12) Wirtschaftspatent

Erteilt gemäß § 18 Absatz 2 Patentgesetz

(19) **DD** (11) **234 208 A3**

4(51) H 01 S 3/10

## AMT FÜR ERFINDUNGS- UND PATENTWESEN

(21) WP H 01 S / 264 005 6

(22) 08.06.84

(45) 26.03.86

(71) VEB Kombinat Feinmechanische Werke Halle, 4030 Halle, Brachwitzer Straße 16, DD

(72) Staupendahl, Gisbert, Dr. sc. nat. Dipl.-Phys.; Pöhler, Manfred, Dr. rer. nat. Dipl.-Phys.; Schindler, Klaus, Dr. rer. nat. Dipl.-Phys., DD

(54) Anordnung zur externen Modulation von IR-Laser-Strahlung hoher Leistung

(57) Die Erfindung betrifft eine Anordnung zur externen Modulation von IR-Laser-Strahlung hoher Leistung insbesondere für den Einsatz in CO<sub>2</sub>-Laser-Materialbearbeitungseinrichtungen. Ziel der Erfindung ist die Entwicklung einer entsprechenden Anordnung, die bei einfacher Handhabung, relativ niedrigen Kosten sowie hoher Lebensdauer die Lösung zahlreicher Materialbearbeitungsaufgaben gestattet, wobei die Intensität der Laserstrahlung frei wählbar zwischen vorgegebenen Maximal- und Minimalwerten bis zu einer vorgegebenen maximalen Modulationsfrequenz einstellbar sein soll. Gemäß der Erfindung wird diese Aufgabe mit einer Anordnung gelöst, die aus zwei planparallel zueinander angeordneten Platten aus einem geeigneten, transparenten Material besteht, wobei eine der Platten relativ zu der anderen schwingungsfähig so angeordnet ist, daß ihre Bewegung einerseits durch eine elektromagnetische Wechselwirkung angetrieben und andererseits durch spezielle Vorkehrungen so gedämpft wird, daß eine reproduzierbare Einstellung der Spaltbreite zwischen den beiden Platten über den Steuerstrom einer Spule möglich ist. Weitere konstruktive Besonderheiten der Erfindung betreffen die thermische Stabilisierung der Anordnung sowie die meßtechnische Erfassung der relativen Lage der beiden Platten.

### **Erfindungsanspruch:**

1. Anordnung zur externen Modulation von IR-Laserstrahlung hoher Leistung unter Verwendung von zwei planparallel zueinander angeordneten, einen Spalt definierter Breite bildenden, auf beiden Seiten ebenen Platten aus einem geeigneten transparenten Material, beispielsweise Ge, GaAs oder ZnSe, deren einander zugewandte Innenflächen verspiegelt und deren Außenflächen entspiegelt sind und deren Abstand zueinander variiert werden kann, indem eine der Platten feststehend angeordnet und die andere Bestandteil eines schwingungsfähigen Systems ist, wobei das schwingungsfähige System aus einer an einer Membran befestigten Spule, die sich im Wirkungsbereich eines Permanentmagneten befindet, besteht, **dadurch gekennzeichnet**, daß ein massiver, gekühlter Grundkörper, mit dem die feststehende Platte (3), die von einem dreigeteilten Metallring (24) umschlossen ist, fest verbunden ist, eine elastische Metallmembran (13) mit einem Spezialhohlzylinder (14) und der zweiten Platte (4) enthält, wobei in dem Spezialhohlzylinder (14) der elastischen Membran (13) ein Hohlkörper (12), vorzugsweise der Eisenkern des Permanentmagneten (10), verschiebbar angeordnet ist und der durch die Innenfläche des Spezialhohlzylinders (14) und die Außenfläche des Hohlkörpers (12) gebildete Spalt mit einem Dämpfungsmedium (16) definiert hoher Viskosität gefüllt ist.
2. Anordnung zur externen Modulation von IR-Laserstrahlung hoher Leistung nach Punkt 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß der massive Grundkörper aus einem starken Permanentmagneten (10) einschließlich der zugehörigen magnetischen Leiteisen und einem schwingungsstabilen Gehäuse (9) gebildet ist.
3. Anordnung zur externen Modulation von IR-Laserstrahlung hoher Leistung nach Punkt 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Grundkörper aus einem Ober- und einem Unterteil besteht, die vorzugsweise durch 3 Justierschrauben miteinander fest verbunden sind, wobei die feststehende Platte (3) Bestandteil des Oberteils und die elastische Membran (13) mit der anderen Platte (4) und dem Spezialhohlzylinder (14) Bestandteil des Unterteils ist.
4. Anordnung zur externen Modulation von IR-Laserstrahlung hoher Leistung nach Punkt 1., **dadurch gekennzeichnet**, daß der Spezialhohlzylinder (14) die Spule (15) trägt und somit zusammen mit der elastischen Membran (13) das schwingungsfähige System bildet.
5. Anordnung zur externen Modulation von IR-Laserstrahlung hoher Leistung nach Punkt 1., **dadurch gekennzeichnet**, daß die Innenfläche des Spezialhohlzylinders (14) und die Außenfläche des als Gegenstück fungierenden Hohlkörpers (12) schwach konisch mit identischer Steigung in Richtung Modulatorachse ausgebildet sind, so daß durch eine geringe Verschiebung des Hohlkörpers (12) vorzugsweise mit Hilfe eines Präzisionsgewindes (17) längs seiner Achse die Dämpfungswirkung variierbar ist.
6. Anordnung zur externen Modulation von IR-Laserstrahlung hoher Leistung nach Punkt 1., **dadurch gekennzeichnet**, daß im Gesamtsystem Hohlräume (19; 20; 21; 22;) für den Umlauf einer thermostatierten Kühlflüssigkeit vorgesehen sind.
7. Anordnung zur externen Modulation von IR-Laserstrahlung hoher Leistung nach Punkt 1., **dadurch gekennzeichnet**, daß die metallische Fassung der schwingungsfähigen Optik bzw. die Metallmembran (13), an der sie befestigt ist einerseits und die drei Abschnitte (24) des dreigeteilten Metallringes, der die feststehende Platte (3) umschließt, andererseits so angeordnet sind, daß sich drei gleich große Kondensatoren (25) ergeben, die je einem der für die Justierung der fest angeordneten Platten (3) vorgesehenen Justierelemente (7) zugeordnet werden und deren Kapazität in an sich bekannter Weise zur Messung des Abstandes und/oder der Parallelität der Platten (3; 4) ausgenutzt wird.

Hierzu 4 Seiten Zeichnungen

### **Anwendungsgebiet der Erfindung**

Die Erfindung betrifft eine Anordnung zur externen Modulation von CO<sub>2</sub>-Laser-Strahlung hoher Leistung und definierter Wellenlänge insbesondere für den Einsatz in CO<sub>2</sub>-Laser-Materialbearbeitungseinrichtungen. Vorrangiges Anwendungsgebiet der Erfindung sind dabei Materialbearbeitungsaufgaben wie bspw. Materialabtrag oder Gravur hoher Genauigkeitsanforderungen mittels kontinuierlicher Variation der Strahlungsintensität oder Ritzen und Trennen mittels periodischer Strahlungsimpulse definierter Intensität.

### **Charakteristik der bekannten technischen Lösungen**

Es ist bereits bekannt, daß es für viele Anwendungen der Laserstrahlung vorteilhaft ist, die eigentliche Strahlungsquelle, den Laser, stabil mit definierten Strahlungseigenschaften arbeiten zu lassen und eine entsprechend der jeweiligen Arbeitsaufgabe eventuell erforderliche Intensitätsmodulation mit Modulatoren zu erzeugen, die außerhalb des Laserresonators angeordnet sind. Es sind verschiedenartige technische Lösungen einer solchen externen Intensitätsmodulation bekannt.

Die einfachste Variante ist die Zerhackung des Laserstrahles mit Hilfe rotierender Sektorscheiben. Sie besitzt u. a. den großen Nachteil, daß nur periodische Modulationen sinnvoll realisiert werden können.

Den gleichen Nachteil besitzt eine in der DE-OS 29 18 283 beschriebene Vorrichtung zur optischen Zerhackung eines Laserstrahles in diskrete Lichtimpulse. In dieser Vorrichtung wird mittels eines rotierenden Prismenspiegels erreicht, daß sequentiell und wiederholt eine Anzahl von Zielpunkten mit den erzeugten Strahlungsimpulsen beaufschlagt werden.

Eine in sehr weiten Grenzen freie Modulation gestattet die Ausnutzung des elektrooptischen Effektes in Kristallen oder Flüssigkeiten. Diese Methode ist jedoch bei größeren Wellenlängen, z. B. im mittleren Infrarot um 10 µm, sehr uneffektiv.

Freie Modulation mit niedrigen Steuerspannungen ermöglichen Modulatoren in integriert-optischer Bauweise, bei denen jedoch die obere Grenze der modulierbaren Strahlungsleistung bei etwa 100 W liegt.

Eine Reihe von Modulatorvarianten nutzt Interferenzeffekte der Strahlung aus, wobei besondere Bedeutung Anordnungen vom Typ des Fabry-Perot-Interferometers zukommt.

Bereits in den Patentschriften DR-PS 635 099 und DR-PS 710 614 werden Strahlungsmodulatoren beschrieben, die auf der Abstandsänderung zweier planparallel angeordneter Platten beruhen, von denen die eine einen feststehenden teildurchlässigen Spiegel bildet, während die andere schwingungsfähig gelagert ist. In der DR-PS 710 614, 21 g — 4/07 z. B. wird ein Modulator beschrieben, bei dem die Schwingungsbewegung der zweiten Platte durch die elektromagnetische Wechselwirkung zwischen einer Spule, die gemeinsam mit einer Membran und der zweiten Platte ein schwingungsfähiges System bildet, und einen Permanentmagneten erzeugt wird. In der DE-OS 2 242 438 wird ein Modulator dargestellt, der ebenfalls auf der Abstandsänderung zweier Interferometerplatten beruht. Hier wird jedoch die Bewegung der schwingungsfähigen Platte mittels piezoelektrischer Elemente erzeugt. Entsprechend der Konstruktion ist dieses System nur zur periodischen Modulation von IR-Strahlung geeignet.

Die genannten Interferometer-Modulatoren besitzen keine konstruktiven Vorrichtungen zur Dämpfung der Schwingungen, um über weite Frequenzbereiche bei konstanter Anregungsenergie konstante Auslenkungen der schwingungsfähigen Platte zu realisieren. Ferner bieten diese Modulatoren keine Möglichkeit einer Kühlung der Interferometerplatten mittels einer umlaufenden Flüssigkeit, so daß lediglich schwache Strahlungsleistungen moduliert werden können.

### **Ziel der Erfindung**

Es ist Ziel der Erfindung, eine Anordnung zur externen Modulation von CO<sub>2</sub>-Laser-Strahlung hoher Leistung und definierter Wellenlänge zu schaffen, mit deren Einsatz bei einfacher Handhabung, relativ niedrigen Kosten sowie hoher Lebensdauer eine breite Palette von Materialbearbeitungsaufgaben, wie bspw. Gravur hoher Genauigkeitsanforderungen, präzise definierter Materialabtrag bspw. bei der Laserbeschriftung sowie Ritzen oder Trennen mit hoher Präzision und Geschwindigkeit bei optimaler Qualität sowie mit hoher Arbeitsproduktivität gelöst werden kann.

### **Darlegung des Wesens der Erfindung**

Aufgabe der Erfindung ist es, eine Anordnung zur externen Modulation von CO<sub>2</sub>-Laser-Strahlung hoher Leistung und definierter Wellenlänge zu schaffen, mit deren Einsatz es möglich ist, bis zu einer durch die physikalisch-technischen Eigenschaften der Anordnung vorgegebenen maximalen Modulationsfrequenz die Intensität der Laserstrahlung frei wählbar zwischen einem genau definierten Maximal- und Minimalwert zu variieren, bzw. periodische Strahlungsimpulse definierter Intensität in einer definierten Frequenz zu erzeugen sowie vorteilhafte Anwendungsmöglichkeiten in Verbindung mit einem Hochleistungslaser unter Ausnutzung der zu erreichenden Modulatorspezifik zu schaffen.

Gemäß der Erfindung wird diese Aufgabe mittels folgender Anordnung gelöst. Der zu modulierende Laserstrahl wird auf zwei planparallel zueinander in einem definierten Abstand angeordnete Platten aus transparentem Material, vorzugsweise aus Ge, GaAs oder ZnSe, die auf den einander zugewandten, exakt ebenen Innenflächen verspiegelt und auf den Außenflächen entspiegelt sind, senkrecht oder annähernd senkrecht eingestrahlt. Eine dieser Platten ist dabei vorzugsweise über geeignete Justierelemente (zur Einstellung des planparallelen Abstandes zur anderen Platte) fest mit einem massiven Grundkörper verbunden, der aus einem starken Permanentmagneten einschließlich der zugehörigen magnetischen Leiteisen und einem schwingungsstabilen Gehäuse gebildet wird. Demgegenüber bildet die andere Platte gemeinsam mit einem Spezialhohlzylinder, der an einer elastischen Membran befestigt ist, ein relativ zum Gerätegrundkörper schwingungsfähiges System. Die für die Modulation der Strahlung erforderliche Abstandsänderung der Platten wird erzeugt, indem das schwingungsfähige System mittels entsprechender elektrischer Steuersignale angetrieben wird durch die elektromagnetische Wechselwirkung zwischen dem Permanentmagneten und einer vom Steuerstrom durchflossenen Spule, die auf einem Spezialhohlzylinder angebracht ist und die sich im Luftspalt zwischen den Polen des Permanentmagneten befindet. Um zu gewährleisten daß der mechanische Schwinger im vorliegenden Frequenzbereich von  $f = 0$  bis zur Resonanzfrequenz, der durch das elektrische und das mechanische System vorgegeben ist, innerhalb vorgegebener Toleranzen dem Verlauf des Steuerstromes folgt, wird das schwingungsfähige System durch die Reibungskraft eines Dämpfungsmediums definiert hoher Viskosität gedämpft, das sich im Spalt zwischen der Innenfläche des Spezialhohlzylinders und der Außenfläche eines in geeigneter Weise angeordneten, fest mit dem Gerätegrundkörper verbundenen Hohlkörpers, vorzugsweise dem Kern des Permanentmagneten, befindet. Die Größe der Dämpfung ist dabei genau den Parametern des schwingungsfähigen Systems angepaßt. Erfindungsgemäß wird diese Anpassung vorteilhaft dadurch erreicht, daß die Innenfläche des Spezialhohlzylinders im für die Dämpfung wirksamen Bereich und die Außenfläche des als Gegenstück fungierenden Hohlkörpers schwach konisch mit identischer Steigung (Durchmesserergrößerung) in Richtung der Modulatorachse ausgebildet sind, so daß durch eine relativ geringe Verschiebung des Hohlkörpers, bspw. mit Hilfe eines Präzisionsgewindes, längs seiner Achse die effektive Breite des mit dem hochviskosen Dämpfungsmedium ausgefüllten Spaltes zwischen dem Spezialhohlzylinder und dem Hohlkörper variiert werden kann. Dadurch kann das System einfach vom stark gedämpften in den praktisch ungedämpften Zustand bzw. umgekehrt gebracht werden, wobei der verschiebbare Hohlkörper mit Hilfe einer geeigneten Arretierung, bspw. eines Feststellringes, in der jeweils eingestellten Lage gehalten wird. Zum Abführen der durch die Absorption der Laserstrahlung sowie durch den Spulenstrom entstehenden Wärme dienen im Gesamtsystem in bestimmter Weise angeordnete Hohlräume für den Umlauf einer thermostatierten Kühlflüssigkeit, so daß die gesamte Anordnung weitgehend temperaturstabil gehalten werden kann.

Nach einem weiteren Merkmal der Erfindung wird die relative Lage der Platten, d. h., ihr Abstand und ihre Parallelität zueinander mit Hilfe einer kapazitiven Messung kontrolliert bzw. angezeigt. Dabei bildet die metallische Fassung der schwingungsfähigen Optik bzw. die Metallmembran, an der sie befestigt ist, die eine Kondensatorfläche, während die andere durch einen dreigeteilten Metallring, der um die feststehende Optik angeordnet ist und mit dieser fest verbunden ist, gebildet wird. Jedes Drittel dieses Ringes bildet folglich mit der gegenüberliegenden Metallfläche einen kleinen Kondensator, dessen Kapazität mittels geeigneter elektronischer Mittel gemessen, erforderlichenfalls angezeigt und/oder zur Bildung einer elektronisch beeinflussbaren Stellgröße ausgewertet wird. So ist es nach entsprechender Eichung bspw. möglich, den jeweiligen Abstand der Platten mit einfachen Mitteln zu bestimmen. Durch die erfindungsgemäße Zuordnung der drei Metallringabschnitte zu den drei Justierelementen ergibt sich eine einfache und effektive bspw. manuelle Justierung des Systems. Weiterhin erfordert eine Überwachung der Schwingungsparameter des Systems lediglich die Darstellung der schnellen Kapazitäts- und damit der Abstandsänderungen bspw. auf einem Oszilloskop. In einer vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung werden die Signale der kapazitiven Abstandsmessung nach Vergleich mit einem vorgegebenen Sollwert zur Regelung der Transmission des Modulators genutzt. Einmal ermöglicht diese Regelung die Einstellung und Stabilisierung des Arbeitspunktes des Systems, d. h., des Transmissionszustandes des Modulators bei stromloser Spule. Entweder kann dies ohne irgendwelche Änderung der Position der Justierelemente durch die Regelung der Temperatur der thermostatierten Kühlflüssigkeit erfolgen, wobei die für den Umlauf der thermostatierten Kühlflüssigkeit im Gesamtsystem vorgesehenen Hohlräume so angeordnet sind, daß über die Einstellung der Temperatur der thermostatierten Kühlflüssigkeit der Abstand zwischen den Platten entsprechend dem geforderten Arbeitspunkt einreguliert werden kann, oder die beschriebene Einstellung und Stabilisierung erfolgt mit Hilfe elektrisch ansteuerbarer Justierelemente, bspw. mit Hilfe von Piezostellern. Zum anderen kann die Schwingungsamplitude des Schwingers elektronisch auf einen vorgegebenen Sollwert geregelt werden, indem über die aus dem Vergleich zwischen Soll- und Istwert für den Abstand folgende Regelgröße der Strom der Schwingerspule einreguliert wird.

Die Transmissionscharakteristik des Modulators gemäß der Erfindung als Funktion des Plattenabstandes ermöglicht in Verbindung mit seinem elektrodynamischen Antriebsprinzip den vorteilhaften Einsatz einer optisch-elektrischen Rückkopplung geeigneter Dimensionierung, wodurch sowohl Stabilisierungsaufgaben gelöst, als auch optisch bistabiles Verhalten der Anordnung erzielt werden können. Dazu wird über einen Strahlteiler (bspw. eine schwach reflektierende Teilerplatte) ein Teil der transmittierten Strahlung einem Detektor zugeführt, dessen Signal über eine geeignete Rückkopplung die Schwingspule des Modulators ansteuert.

Bei entsprechender Wahl des Arbeitspunktes in der Nähe eines Transmissionsmaximums und der elektronischen Signalverstärkung bzw. dem Rückkopplungsgrad kann mit der Anordnung gemäß der Erfindung eine außerordentlich effektive Leistungsstabilisierung erzielt werden. Da die Geschwindigkeit der Stabilisierung dabei praktisch allein durch die Grenzfrequenz des Modulators, welche für typische Ausführungsformen des Modulators im kHz-Bereich liegt, bestimmt wird, können auf diese Weise auch schnelle Schwankungen der Laserleistung stabilisiert werden. Insbesondere kann die Anordnung vorteilhaft zur Stabilisierung von Laserleistungsschwankungen genutzt werden, die bspw. durch die 50-Hz- oder 100-Hz-Welligkeiten einer unvollständig geglätteten Laserversorgungsspannung verursacht werden.

Legt man den Arbeitspunkt des Modulators demgegenüber in die Nähe eines Transmissionsminimums, so ist bei geeigneter Dimensionierung der elektrischen Rückkopplung optisch bistabiles Verhalten des Systems realisierbar. Das bedeutet, daß der Modulator im Zustand der niedrigen Transmission verharret, so lange das System unbeeinflusst bleibt. Gibt man eine Störung in Form eines kurzen Impulses auf das System (dieser Impuls kann ein der Schwingspule direkt zugeführter elektrischer Impuls oder ein auf den Detektor eingestrahelter zusätzlicher kurzer Strahlungsimpuls sein), so daß der Arbeitspunkt durch die verursachte Auslenkung der schwingungsfähigen Platte über das nächste Transmissionsmaximum gehoben wird, so verbleibt das System im Zustand der so erreichten hohen Transmission, auch wenn die „Störung“ von außen wieder abgeklungen ist. Das System befindet sich dann in seinem zweiten stabilen Zustand, in welchem gleichzeitig die bereits beschriebene Stabilisierungswirkung auftritt. In den ursprünglich eingestellten, unterem Transmissionszustand wird das System bspw. wieder durch einen elektrischen Impuls mit umgekehrtem Vorzeichen gebracht.

### Ausführungsbeispiel

Die Erfindung soll nachstehend an einem Ausführungsbeispiel näher erläutert werden.

In den zugehörigen Zeichnungen zeigen:

Fig. 1: einen Schnitt durch den Modulator gemäß der Erfindung;

Fig. 2: die Schwingungsamplitude  $\hat{x}$  der schwingungsfähigen Platte des Modulators als Funktion der Frequenz  $f$  eines definierten sinusförmigen Anregungsstromes für den völlig ungedämpften Fall (a) und den optimal gedämpften Fall (b);

Fig. 3: das Dämpfungssystem des Modulators zur Verstellung der Dämpfung;

Fig. 4: den Regelkreis zur elektronischen Regelung der Modulatortransmission mit Hilfe der kapazitiven Messung des Plattenabstandes;

Fig. 5: den Modulator mit optisch-elektrischer Rückkopplung;

Fig. 6: die Arbeitspunkte AP 1 für effektive Stabilisierung der transmittierten Leistung und AP 2 für optisch bistabiles Verhalten des Modulators mit optisch-elektrischer Rückkopplung;

Fig. 7: die transmittierte Leistung  $P_T$  als Funktion der Eingangsleistung  $P_0$  bei stabilisierender Wirkung des Modulators mit optisch-elektrischer Rückkopplung;

Fig. 8: die transmittierte Leistung  $P_T$  als Funktion der Eingangsleistung  $P_0$  bei optisch bistabilem Verhalten des Modulators mit optisch-elektrischer Rückkopplung.

In dem in Figur 1 dargestellten Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Modulators bilden die einander zugewandten und verspiegelten, ebenen Flächen 1 der für die Laserstrahlung 2 transparenten Platten 3 und 4, deren Rückseite 5 entspiegelt ist, die Interferometeranordnung. Die Platte 3 ist fest verbunden mit dem Oberenteil 6 des Gerätegrundkörpers, das mittels der drei Justierschrauben 7 gegen das massive Unterteil 8 des Gerätegrundkörpers justiert werden kann, wodurch Abstand und Parallelität der zwei Platten 3; 4 zueinander eingestellt wird. Das Unterteil 8 des Gerätegrundkörpers besteht im wesentlichen aus einem schwingungsstabilen Gehäuse 9, das den starken Permanentmagneten 10 einschließlich der magnetischen Leiteisen 11 und des verschiebbaren Hohlkörpers 12, vorzugsweise des Eisenkerns des Permanentmagneten (10) umschließt. Diese stabile Einheit bildet die Basis für das schwingungsfähige System, das aus der elastischen Membran 13, an welcher die Platte 4 befestigt ist, und einem Spezialhohlzylinder 14, der eine Spule 15 trägt, besteht. Dieses schwingungsfähige System gewährleistet, daß entsprechend einer vorgegebenen, an die Spule 15 angelegten Steuerspannung der Abstand der Platten 3; 4 zueinander und damit die Transmission des Modulators dadurch geändert wird, daß es einerseits angetrieben wird durch die elektromagnetische Wechselwirkung zwischen dem Permanentmagneten 10 und der vom Steuerstrom durchflossenen Spule 15, die sich im Luftspalt zwischen den Polen des Permanentmagneten 10 befindet, und andererseits gedämpft wird durch die Reibungskraft, die mittels eines hochviskosen Mediums 16 erzeugt wird, das sich im Spalt zwischen dem Spezialhohlzylinder 14 und dem Hohlkörper 12 befindet, der vorzugsweise vom Eisenkern des Elektromagneten 10 gebildet wird.

Figur 2 zeigt das Schwingungsverhalten dieses Systems für zwei typische Fälle. Die mit a) bezeichnete Kurve zeigt die Abhängigkeit der Auslenkung von der Frequenz  $f$  eines definierten, sinusförmigen Anregungsstromes für den Fall der völlig ungedämpften Schwingung, die mit b) bezeichnete Kurve zeigt die gleiche für die optimal gedämpfte Schwingung, bei der annähernd gleiche Auslenkungen für alle Frequenzen zwischen  $f = 0$  und  $f = f_{\text{Res}}$  erzielt werden. Der Fall b), der für die Anwendung des Gerätes als frei ansteuerbarer Modulator von entscheidender Bedeutung ist, wird erfindungsgemäß durch eine Anordnung gemäß Figur 3 realisiert. Figur 3 zeigt, daß die Innenfläche des Spezialhohlzylinders 14 im für die Dämpfung wirksamen Bereich und die Außenfläche des als Gegenstück fungierenden Hohlkörpers 12 schwach konisch mit identischer Steigung ausgebildet sind, so daß die effektive Breite des mit dem hochviskosen Dämpfungsmedium 16 ausgefüllten Spaltes zwischen diesen beiden Flächen durch geringe Verschiebung des Hohlkörpers 12 längs seiner Achse so verändert werden kann, daß das System auf diese Weise einfach vom stark gedämpften in den praktisch ungedämpften Schwingungszustand bzw. umgekehrt gebracht werden kann. Diese definierte Längsverschiebung des Hohlkörpers 12 erfolgt durch Herein- bzw. Herausschrauben mit Hilfe eines Präzisionsgewindes 17, seine Arretierung mittels eines Feststellringes 18. Die Viskosität des Dämpfungsmediums 16 wird dabei auf die Parameter des schwingungsfähigen Systems (insbesondere die effektive Federkonstante und Masse sowie die gewählte Intervall der Spaltbreite zwischen dem Hohlkörper 12 und dem Spezialhohlzylinder 14) abgestimmt.

Der gesamte Modulator wird durch eine Umlaufkühlung thermisch stabil gehalten. Nach dem Eintritt 45 gelangt die thermostatierte Kühlflüssigkeit über Kanäle 19 in Kühlbohrungen 20 des Oberteiles 6 des Gerätegrundkörpers, wodurch die Platte 3 gekühlt wird. Anschließend strömt sie durch die Kammer 21, wobei die in der Platte 4 absorbierte Strahlungsleistung und beim darauffolgenden Umströmen der Spule 15 die hier entstehende Stromwärme abgeführt werden. Nach Passieren der Kammer 22 gelangt die Kühlflüssigkeit an den Austritt 23.

Die kapazitive Messung der relativen Lage der Platten 3 und 4 zueinander erfolgt, indem mittels einer geeigneten elektronischen Anordnung die Kapazitäten der drei kleinen Kondensatoren 25, die durch die elastische Membran 13, die wie der gesamte Geräte-Grundkörper auf Massepotential liegt, und die drei Kupferring-Abschnitte 24, die kreisförmig um die feststehende Platte 3 angeordnet sind, gebildet werden. Figur 4 zeigt das Prinzip der Messung und Regelung des Plattenabstandes der Platten 3; 4. Die Kapazität des Systems Kupferplatten 24 — Membran 13 wird mit Hilfe des Elektronikbausteines 26 erfaßt und in ein Meßsignal umgewandelt, das entweder statisch durch das Meßgerät 27 oder dynamisch durch ein Oszilloskop 28 dargestellt werden kann. Leitet man aus dem Meßsignal durch Vergleich mit einer mit Hilfe des Bausteines 29 definierten Sollgröße im Elektronikbaustein 30 eine Regelgröße ab, so kann diese entweder genutzt werden, um mittels einer Regelung 31 der Kühlflüssigkeitstemperatur den Arbeitspunkt des Systems einzustellen und zu stabilisieren, oder mittels einer Regelung 32 des Stromes der Schwingerspule 15 die Schwingungsamplitude der Platte 4 auf einen vorgegebenen Sollwert zu regeln.

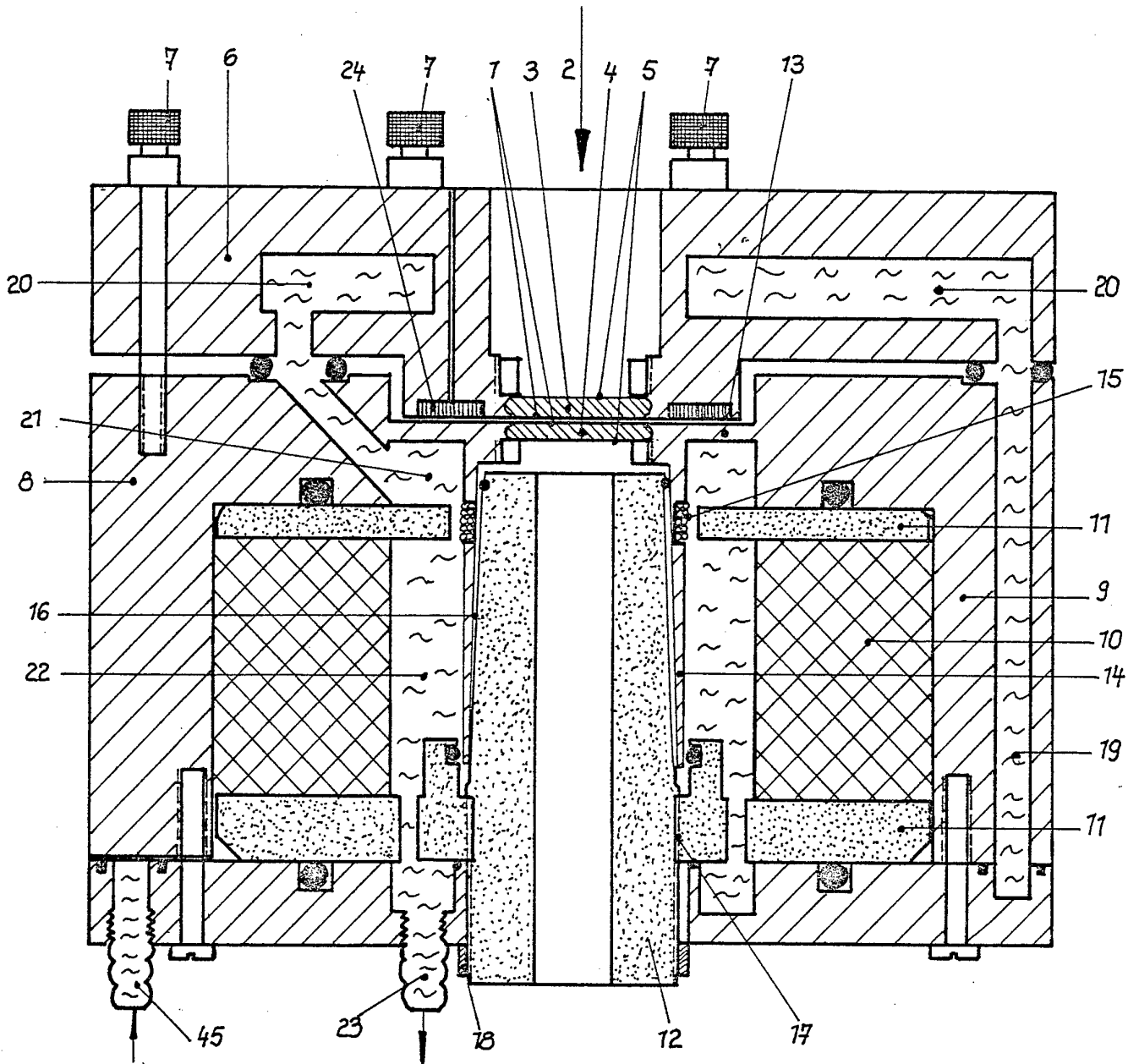
Den Einsatz des Modulators gemäß der Erfindung zur externen Modulation von Laserstrahlung bei optisch-elektrischer Rückkopplung zeigt Figur 5. Der transmittierte Anteil 36 der vom Laser ausgesandten Strahlung 2 fällt auf eine Teilerplatte 38, die aus transparentem Material besteht und die relativ geringe Reflektivität aufweist. Der von dieser Platte reflektierte Anteil 39 verhältnismäßig niedriger Leistung wird von einem Detektor 40, der vorzugsweise eine kleine Zeitkonstante in der Größenordnung  $10\mu s$  aufweist, registriert, das resultierende elektrische Signal im elektronischen Verstärker 41 verstärkt und damit die Spule 15 des Modulators 34 angesteuert. Diese optisch-elektrische Rückkopplung und damit die Funktion des Modulators kann zusätzlich durch externe elektrische Signale 42 oder externe optische Signale 43 beeinflusst werden.

Die dargestellte Anordnung gestattet die Realisierung einer Reihe von Funktionen. Zwei Funktionen, die für Applikationen von besonderer Bedeutung sind, zeigen die Figuren 6, 7 und 8:

- die effektive Stabilisierung des transmittierten Anteiles 36 der Strahlung für Modulatortransmissionen nahe 1;
- das optisch bistabile Verhalten des Modulators.

Figur 6 zeigt die Lage der entsprechenden Arbeitspunkte auf der Transmissionskurve des Modulators. Der Arbeitspunkt AP1 wird für die Stabilisierung eingestellt. Der Pfeil charakterisiert die Richtung der Modulator-Durchstimmung bei Erhöhung der auf den Modulator auftretenden Strahlungsleistung. Die Wirkung der Durchstimmung zeigt Figur 7, nämlich die Stabilisierung der Leistung  $P_T$  des transmittierten Strahlers 36, wenn die Leistung  $P_0$  des einfallenden Strahles über einen Wert  $P_C$ , der insbesondere von der Rückkopplung abhängt, liegt. Die Rückkopplung wird vorteilhaft so eingestellt, daß die zu stabilisierende Laserleistung  $P_L$  etwa die in Figur 7 dargestellte Position auf der  $P_T(P_0)$ -Charakteristik hat.

Der Arbeitspunkt AP2 wird eingestellt, wenn die Anordnung gemäß der Erfindung optisch bistabiles Verhalten zeigen soll. Auch hier charakterisiert der Pfeil die Richtung der Modulatordurchstimmung bei wachsender Eingangsleistung  $P_0$ . Figur 8 zeigt die für optisch bistabiles Verhalten typische Hysterese der  $P_T(P_0)$ -Charakteristik. Vorteilhafterweise werden die Parameter des Systems, insbesondere wieder die Rückkopplung, so eingestellt, daß die zu schaltende Laserleistung  $P_L$  die in Figur 10 dargestellte Lage auf der  $P_T(P_0)$ -Charakteristik hat. Dann kann das System durch optische oder elektrische Steuersignale 43; 42 zwischen den Werten  $P_1$  und  $P_2$  für die transmittierte Leistung hin- und hergeschaltet werden.



Aluminium      Magnet      Eisen      Kühlflüssigkeit      Kupfer      Optik

● Dichtungen      ♂♂ Spule

Fig. 1

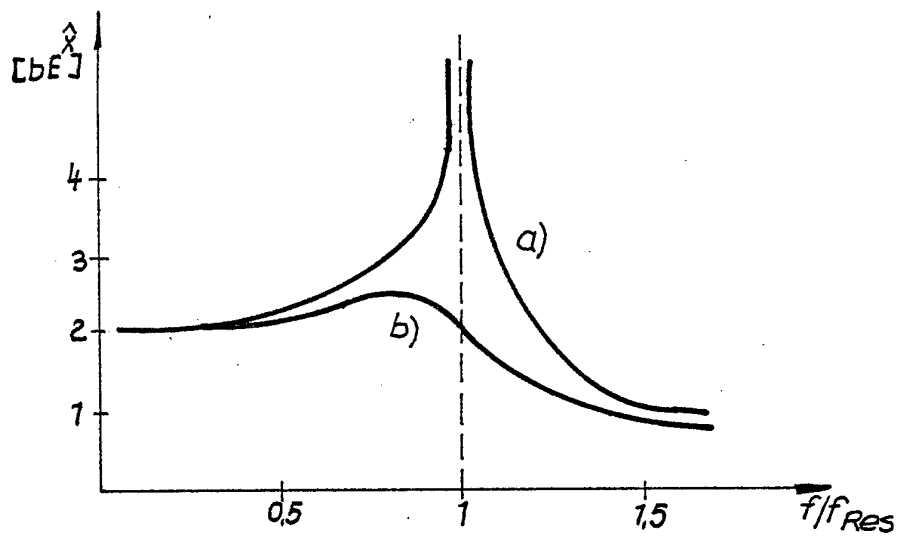


Fig. 2

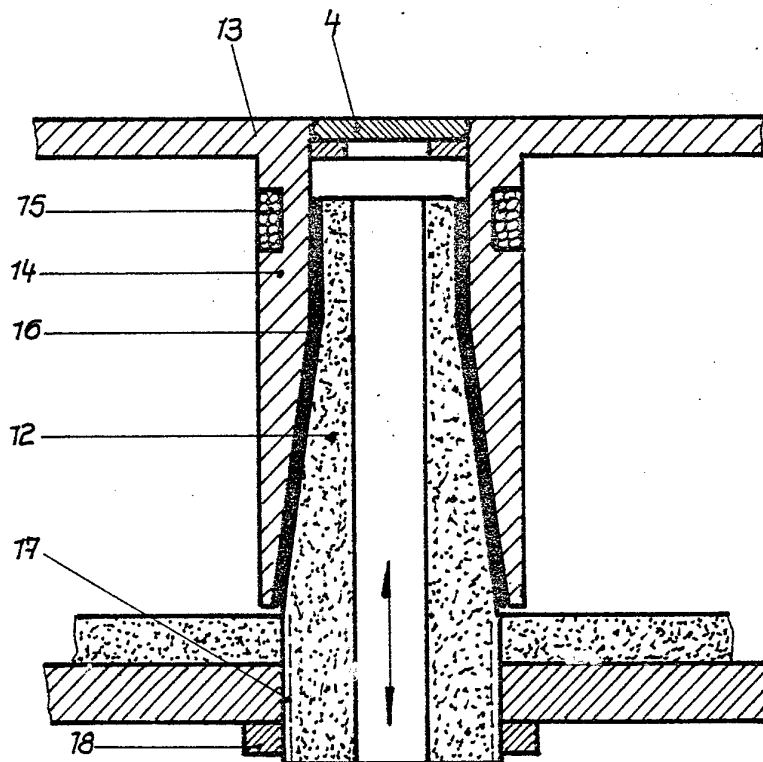


Fig. 3



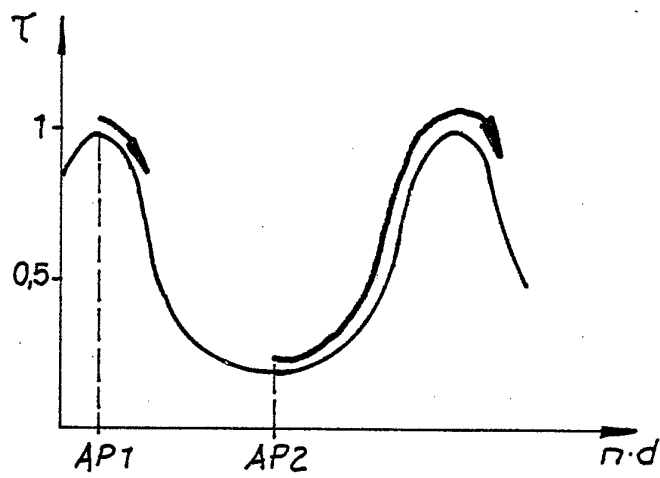


Fig. 6

6

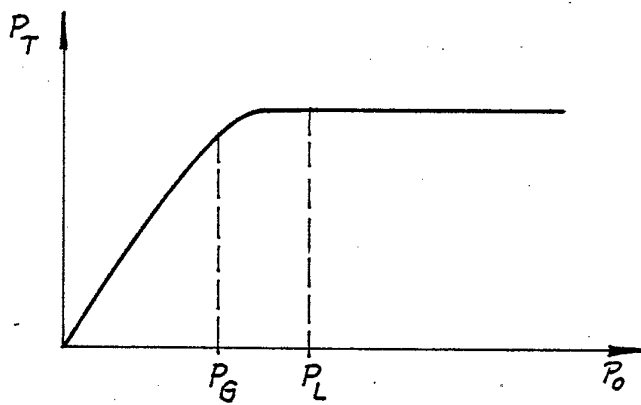


Fig. 7

7

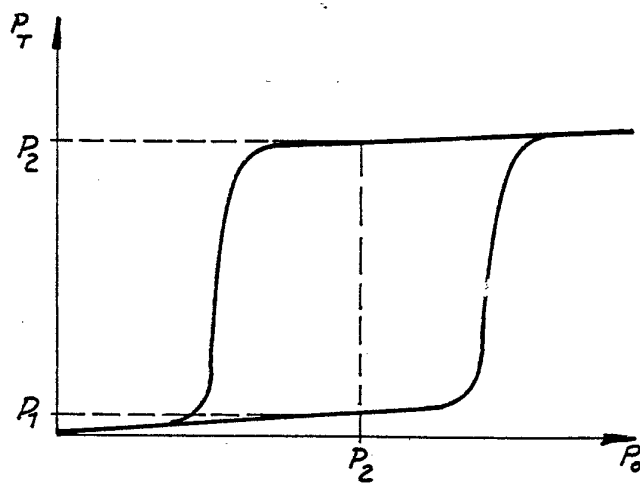


Fig. 8

8