



(12) Wirtschaftspatent

Erteilt gemäß § 17 Absatz 1 Patentgesetz

(19) DD (11) 248 001 A1

4(51) H 01 S 3/13
G 01 J 3/00

AMT FÜR ERFINDUNGS- UND PATENTWESEN

In der vom Anmelder eingereichten Fassung veröffentlicht

(21)	WP H 01 S / 259 065 6	(22)	30.12.83	(44)	22.07.87
------	-----------------------	------	----------	------	----------

(71)	Zentralinstitut für Optik und Spektroskopie, 1199 Berlin, Rudower Chaussee 6, DD
(72)	Berndt, Klaus, Dr. Dipl.-Phys., DD

(54)	Jitterfreier synchron gepumpter Laser
------	---------------------------------------

(57) Die Erfindung bezieht sich auf das Gebiet der zeitaufgelösten Spektroskopie im Picosekunden- und Nanosekundenbereich und verfolgt das Ziel, Jittererscheinungen in synchron gepumpten Lasern zu vermeiden. Die Aufgabe besteht darin, eine Anordnung für synchron gepumpte Laser anzugeben, in der die Zahl der während einer Resonatorperiode bis zum Eintreffen des im gepumpten Laser umlaufenden Restimpulses vom aktiven Medium absorbierten Pumpphotonen unabhängig von Schwankungen des Emissionszeitpunktes und der Impulsleistung des Pumplasers ist. Im Strahlengang zwischen dem Pumplaser und dem gepumpten Laser ist ein Amplitudenmodulator angeordnet, in dem eine Doppelmodulation erfolgt. Die erste Modulation bewirkt eine Kompensation von Pumpleistungsschwankungen mittels einer Regelschleife. Die zweite Modulation erfolgt streng periodisch in der Weise, daß am Ende einer Pumpperiode die Transmission des Modulators ansteigt. Dadurch werden zu früh ankommende Pumpimpulse geschwächt bzw. zu spät ankommende begünstigt, und die Zahl der bis zum Eintreffen des umlaufenden Restimpulses absorbierten Pumpphotonen ist unabhängig von Schwankungen des Emissionszeitpunktes der Pumpimpulse.

Erfindungsanspruch:

1. Jitterfreier synchron gepumpter Laser mit aktiv modensynchronisiertem Pumplaser, an dessen Mode-Locker ein Synthesizer angeschlossen ist, **gekennzeichnet dadurch**, daß im Strahlengang des Pumplasers ein Strahlteiler angeordnet ist, in dessen einem Teilstrahl sich nacheinander ein Amplitudenmodulator sowie der gepumpte Laser befinden, und in dessen anderem Teilstrahl sich ein Hilfsphotodetektor mit nachgeschaltetem Spitzenspannungs-Meßgerät befindet, daß der Ausgang des Spitzenspannungs-Meßgerätes an den einen Eingang, sowie eine Gleichspannungsquelle an den anderen Eingang eines Differenzverstärkers angeschlossen sind, dessen Ausgang zu einem Eingang des Amplitudenmodulators geführt ist, und daß in der Steuerleitung zwischen dem Synthesizer und dem Mode-Locker ein Signalkoppler angeordnet ist, dessen Koppelausgang über eine Frequenzverdopplerstufe, einen zweiten Signalkoppler, eine variable elektrische Verzögerungseinheit sowie einen getriggerten Signalgenerator, dessen Periodendauer gleich der Resonatorperiodendauer ist, zu einem zweiten Eingang des Amplitudenmodulators geführt ist, wobei der Koppelausgang des zweiten Signalkopplers mit dem Ablenkeingang einer Synchroscan-Streak-Kamera verbunden ist, die sich im Strahlengang des gepumpten Lasers befindet.
2. Synchron gepumpter Laser nach Punkt 1, **gekennzeichnet dadurch**, daß die Periodendauer des getriggerten Signalgenerators gleich einem ganzzahligen Bruchteil der Resonatorperiodendauer ist.
3. Synchron gepumpter Laser nach Punkt 1 und 2, **gekennzeichnet dadurch**, daß der Ausgang des Differenzverstärkers zu einem Steuereingang für die Anregungsstärke am Pumplaser geführt ist.

Hierzu 2 Seiten Zeichnungen

Anwendungsgebiet der Erfindung

Die Erfindung bezieht sich auf das Gebiet der zeitaufgelösten Spektroskopie im Picosekunden- und Nanosekundenbereich mit Hilfe synchron gepumpter Laser. Die Anwendung ist in Spektrometern möglich und zweckmäßig.

Charakteristik der bekannten technischen Lösungen

Synchron gepumpte Laser haben in Anbetracht ihrer extrem kurzen Impulsdauern weite Verbreitung in der Kurzzeitspektroskopie erlangt. Hierbei ist im Strahlengang eines modensynchronisierten Pumplasers ein zweiter Laser mit gleicher Resonatorlänge angeordnet. Am häufigsten werden Gaslaser zum Pumpen eingesetzt, die über Impulsdauern von ca. 100 ps verfügen. Als synchron gepumpte Laser verwendet man in der Regel Farbstofflaser bzw. Farbzentrenlaser, die bei dieser Betriebsart Impulse von 10 ps bis herab zu 0,2 ps Dauer liefern.

Ein kritisches Problem an synchron gepumpten Lasern stellt der sogenannte „Jitter“ der Pumplaser dar. Man versteht darunter die Tatsache, daß die Emissionszeitpunkte der Laserimpulse gewisse Schwankungen aufweisen. Typisch für die oft benutzten Argonlaser sind Schwankungen von ca. ± 50 ps bei einem mittleren Impulsabstand von ca. 10 ns (Harvey, G. T., Dissertation, Universität Rochester, Rochester, New York, 1980; Horn, G. u. a., IV. Int. Konf. Laser u. Anwendungen, Leipzig, Okt. 1981, Vortrag K54). Im aktiven Medium des gepumpten Lasers wird durch die Absorption der Pump-Photonen eine Verstärkung aufgebaut. Übersteigt diese Verstärkung die Resonatorverluste, so setzt die Laseremission des gepumpten Lasers ein. Schwankt nun der Ankunftszeitpunkt der Pumpimpulse, so wird die Synchronität im zweiten Laser erheblich gestört, da noch ein Rest des vorhergehenden Impulses im Resonator umläuft. Die Folgen sind Amplituden- und Phasenschwankungen des nicht exakt synchron gepumpten Lasers. Diese Schwankungen wirken sich wiederum negativ auf die erzielbare Zeitauflösung aus, falls der Laser in einem Spektrometer eingesetzt wird.

Der Jitter in Gaslasern und anderen Pumplasern hat seine Ursache in unvermeidbaren Fluktuationen der Photonendichte innerhalb des Resonators. Bisher ist es nicht gelungen, entweder den Jitter selbst oder seine störende Wirkung an synchron gepumpten Lasern zu eliminieren.

Ziel der Erfindung

Ziel der Erfindung ist, in synchron gepumpten Lasern Jittererscheinungen zu vermeiden.

Darlegung des Wesens der Erfindung

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Anordnung für synchron gepumpte Laser anzugeben, in der die Zahl der während einer Resonatorperiode vom aktiven Medium absorbierten Pumpphotonen unabhängig von Schwankungen des Emissionszeitpunktes und der Impulsleistung des Pumplasers ist.

Die Aufgabe wird gelöst durch einen synchron gepumpten Laser mit aktiv modensynchronisiertem Pumplaser, an dessen Mode-Locker ein Synthesizer angeschlossen ist, wobei die Anordnung erfindungsgemäß in nachstehend beschriebener Weise ausgebildet ist.

Im Strahlengang des Pumplasers befindet sich ein Strahlteiler, in dessen einem Teilstrahl sich nacheinander ein Amplitudenmodulator sowie der gepumpte Laser befinden und in dessen anderem Teilstrahl ein Hilfsphotodetektor angeordnet ist. Der Ausgang des Hilfsphotodetektors ist mit dem Eingang eines Spitzenspannungs-Meßgerätes verbunden, dessen Ausgang zu einem Eingang eines Differenzverstärkers geführt ist, wobei an den zweiten Eingang des Differenzverstärkers eine Gleichspannungsquelle angeschlossen ist. Der Ausgang des Differenzverstärkers ist mit einem Eingang des Amplitudenmodulators verbunden. In der Steuerleitung zwischen dem Synthesizer und dem Mode-Locker befindet sich ein Signalkoppler, dessen Koppelausgang mit dem Eingang einer Frequenzverdopplerstufe verbunden ist. Der Ausgang der Frequenzverdopplerstufe ist über einen zweiten Signalkoppler, eine variable elektrische Verzögerungseinheit sowie einen getriggerten Signalgenerator, dessen Periodendauer gleich der Resonatorperiodendauer ist, zu einem zweiten Eingang des Amplitudenmodulators geführt. Der Koppelausgang des zweiten Signalkopplers ist mit dem Ablenkeingang einer Synchroscan-Streak-Kamera verbunden, die im Strahlengang des gepumpten Lasers angeordnet ist.

Im Betrieb entsteht am Ausgang des Spitzenspannungs-Meßgerätes eine Gleichspannung U_1 , die proportional zur Leistung der Pumpimpulse ist. Die Spannung U_0 der Gleichspannungsquelle wird so eingestellt, daß sie gleich der Spannung U_1 bei normaler Pumpleistung ist. In diesem Fall entsteht am Ausgang des Differenzverstärkers die Spannung $U = 0$. Der Amplitudenmodulator verfügt über eine Transmission, die gemäß dem Ausdruck

$$T(U) = T_m(1 - U/U_0)^{-1} \quad (1)$$

von der Ausgangsspannung des Differenzverstärkers $U = V(U_0 - U_1)$ abhängig ist, wobei T_m eine konstante mittlere Transmission und V die Verstärkung des Differenzverstärkers bedeuten. Die auf den gepumpten Laser treffende Spitzenleistung P_0 ergibt sich aus der Spitzenleistung P_i des Pumplasers für $U = 0$ zu

$$P_0 = P_i \cdot T(U=0) = P_i \cdot T_m. \quad (2)$$

Treten nun Schwankungen der Spitzenleistung P_i des Pumplasers auf, so entsteht am Ausgang des Differenzverstärkers eine Spannung $U \neq 0$. Diese steuert entsprechend dem Ausdruck (1) die Transmission des Amplitudenmodulators in der Weise, daß die auf den gepumpten Laser auftreffende Spitzenleistung P_0 konstant bleibt. Damit ist eine wesentliche Voraussetzung für den jitterfreien Betrieb des synchron gepumpten Lasers erfüllt.

Die zweite Voraussetzung für einen jitterfreien Betrieb besteht darin, daß die Zahl der während einer Resonatorperiode bis zum Eintreffen des im gepumpten Laser umlaufenden Restimpulses vom aktiven Medium absorbierten Pumpphotonen unabhängig von Schwankungen des Emissionszeitpunktes der Pumpimpulse sein muß. Trifft der Restimpuls zum Zeitpunkt $t = 0$ ein, so ergibt sich für die bis dahin absorbierte Pumpenergie

$$E_p = \int_{-t_R}^0 P(t, t_0) dt. \quad (3)$$

In (3) bedeuten t_R die Resonatorperiodendauer und $P(t, t_0)$ die Laserleistung. Der zeitliche Jitter bzw. die unterschiedlichen Emissionszeitpunkte der Pumpimpulse werden durch die Größe t_0 charakterisiert. Die Signalform des getriggerten Signalgenerators sowie die Phasenlage des Signals werden so gewählt, daß eine zeitabhängige Transmission $T(t)$ des Amplitudenmodulators vorliegt, die der Integralgleichung

$$\frac{d}{dt_0} \int_{-t_R}^0 P(t, t_0) \cdot T(t) dt = 0 \quad (4)$$

genügt. Die Gleichung (4) ist erfüllbar, wenn beispielsweise während des Durchlaufs der Pumpimpulse durch den Modulator die Transmission einen geeigneten zeitlichen Anstieg aufweist. In diesem Fall erfahren zu früh ankommende Impulse, bei denen ein relativ größerer Anteil aller Photonen bis zum Zeitpunkt $t = 0$ absorbiert wird, eine Schwächung. Zu spät ankommende Impulse, bei denen ein relativ kleinerer Anteil aller Photonen bis zum Zeitpunkt $t = 0$ absorbiert wird, werden durch eine entsprechend größere Transmission begünstigt.

Eine Variante der Erfindung besteht darin, daß die Periodendauer des getriggerten Signalgenerators gleich einem ganzzahligen Bruchteil der Resonatorperiodendauer ist.

Eine weitere Variante der Erfindung ist dann gegeben, wenn der Ausgang des Differenzverstärkers zu einem Steuereingang für die Anregungsstärke am Pumplaser geführt ist.

Ausführungsbeispiel

Die Erfindung soll nachstehend an einem Ausführungsbeispiel näher erläutert werden. Das Schema der Anordnung ist in Fig. 1 dargestellt.

Als Pumplaser ist ein modensynchronisierter Argonlaser AL vorhanden, an dessen akustooptischen Mode-Locker ML ein Synthesizer S angeschlossen ist. Im Strahlengang des Pumplaser AL ist ein Strahlteiler T angeordnet, in dessen einem Teilstrahl sich nacheinander ein Amplitudenmodulator M sowie ein synchron gepumpter Farbstofflaser FL mit Jetstream J befinden, und

in dessen anderem Teilstrahl sich ein Hilfsphotodetektor HD mit nachgeschaltetem Spitzenspannungs-Meßgerät SM befindet. Der Ausgang des Spitzenspannungs-Meßgerätes SM ist an den einen Eingang, sowie eine Gleichspannungsquelle G ist an den anderen Eingang eines Differenzverstärkers DV angeschlossen, dessen Ausgang zu einem Eingang des Amplitudenmodulators M geführt ist. In der Steuerleitung zwischen dem Synthesizer S und dem Mode-Locker ML ist ein Signalkoppler C1 angeordnet, dessen Koppelausgang über eine Frequenzverdopplerstufe D, einen zweiten Signalkoppler C2, eine variable elektrische Verzögerungseinheit VE sowie einen getriggerten Signalgenerator SG, dessen Periodendauer gleich der Resonatorperiodendauer oder einem ganzzahligen Bruchteil davon ist, zu einem zweiten Eingang des Amplitudenmodulators M geführt ist. Zur Impulskontrolle ist der Koppelausgang des zweiten Signalkopplers C2 mit dem Ablenkeingang einer Synchroscan-Streak-Kamera SC verbunden, die sich im Strahlengang des synchron gepumpten Farbstofflasers FL befindet. Fig. 2 zeigt rechnerisch ermittelte Ergebnisse, die die Effektivität der erfindungsgemäßen Anordnung anschaulich machen. Angenommen wurden Pumpimpulse mit Lorentz-Profil der Halbwertsbreite $2a$, die unterschiedliche Zeitverschiebungen bis zum Zeitpunkt $t = 0$ aufweisen. Diese gegenseitigen Zeitverschiebungen sind durch den Wert von t_0 gegeben. Für die zeitabhängige Transmission $T(t)$ wurde ein quadratischer Verlauf angenommen, der sein Minimum bei $t = -a$ hat und bis $t = 0$ einen Anstieg auf den 1,5fachen Wert aufweist. Die Kurve 1 zeigt den Impulsverlauf. Kurve 2 gibt an, wie sich die absorbierte Energie bzw. Photonenzahl mit t_0 ändert, wenn das erfindungsgemäße Modulationsprinzip nicht angewendet wird. Der Abszissenwert $t_0/a = 0$ entspricht dem Fall, daß bis zum Zeitpunkt $t = 0$, in dem der im Farbstofflaser umlaufende Restimpuls das aktive Medium erreicht, gerade der halbe Pumpimpuls absorbiert wird. Mit ansteigendem t_0/a wird ein zunehmend größerer Teil des Impulses absorbiert, da dieser früher ankommt. Schwankungen des t_0 -Wertes führen daher zu Änderungen der absorbierten Energie und damit zu Jittererscheinungen im synchron gepumpten Farbstofflaser. Die Kurve 3 gibt an, wie sich die absorbierte Energie mit t_0 ändert, wenn die Transmission des Amplitudenmodulators erfindungsgemäß in der oben angegebenen Weise gesteuert wird. Zunächst ist ebenfalls eine Zunahme mit ansteigendem t_0/a vorhanden. Im Bereich $t_0/a = 1,6 \dots 3,0$ verläuft die Kurve jedoch fast parallel zur Abszisse, das bedeutet, in diesem Bereich ist die absorbierte Energie unabhängig von Schwankungen der Emissionszeitpunkte der Pumpimpulse. Der Zeitjitter des Pumplasers führt hier nicht zu einem Jitter des synchron gepumpten Farbstofflasers. Während sich normalerweise in diesem Bereich die absorbierte Energie um 8,3% ändert, liegt die Änderung in der erfindungsgemäßen Anordnung unter 0,5%. Geht man von einer für Argonlaser typischen Halbwertsdauer der Pumpimpulse von 150 ps aus, so erhält man mit $a = 75$ ps einen zulässigen Zeitjitter $\Delta t_0 = 1,4a = 105$ ps. Schwankungen der Pumpimpulsleistung können in der erfindungsgemäßen Anordnung durch Anwendung großer Verstärkungswerte im Differenzverstärker mit hoher Genauigkeit ausgeglichen werden. Derartige Schwankungen erfolgen im Zeitbereich von ca. $1 \mu s$ bis 1 s. Die Transmissionssteuerung zur Leistungsstabilisierung erfolgt somit um Größenordnungen langsamer als die zur Kompensation des zeitlichen Jitters.

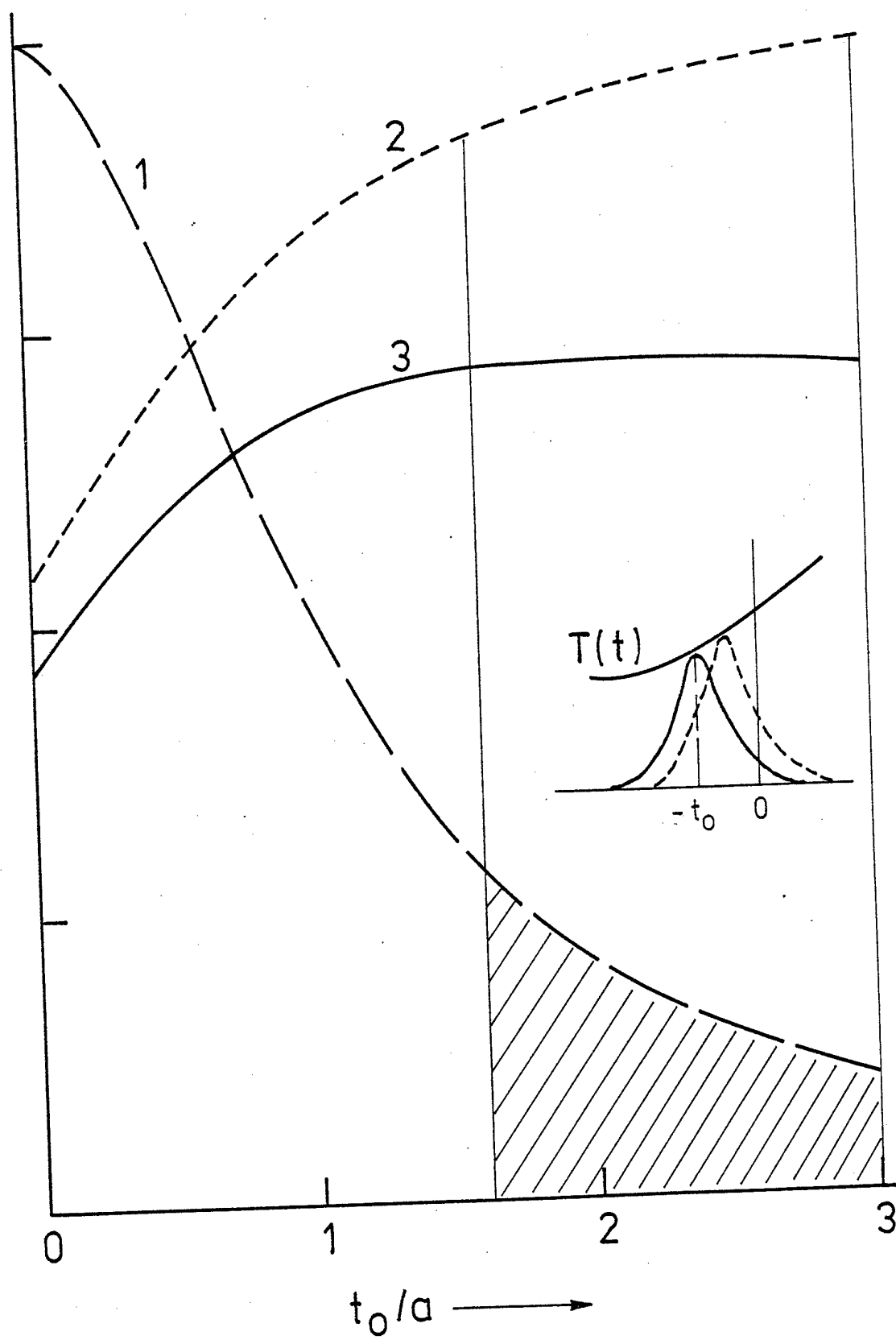


Fig. 2

248004

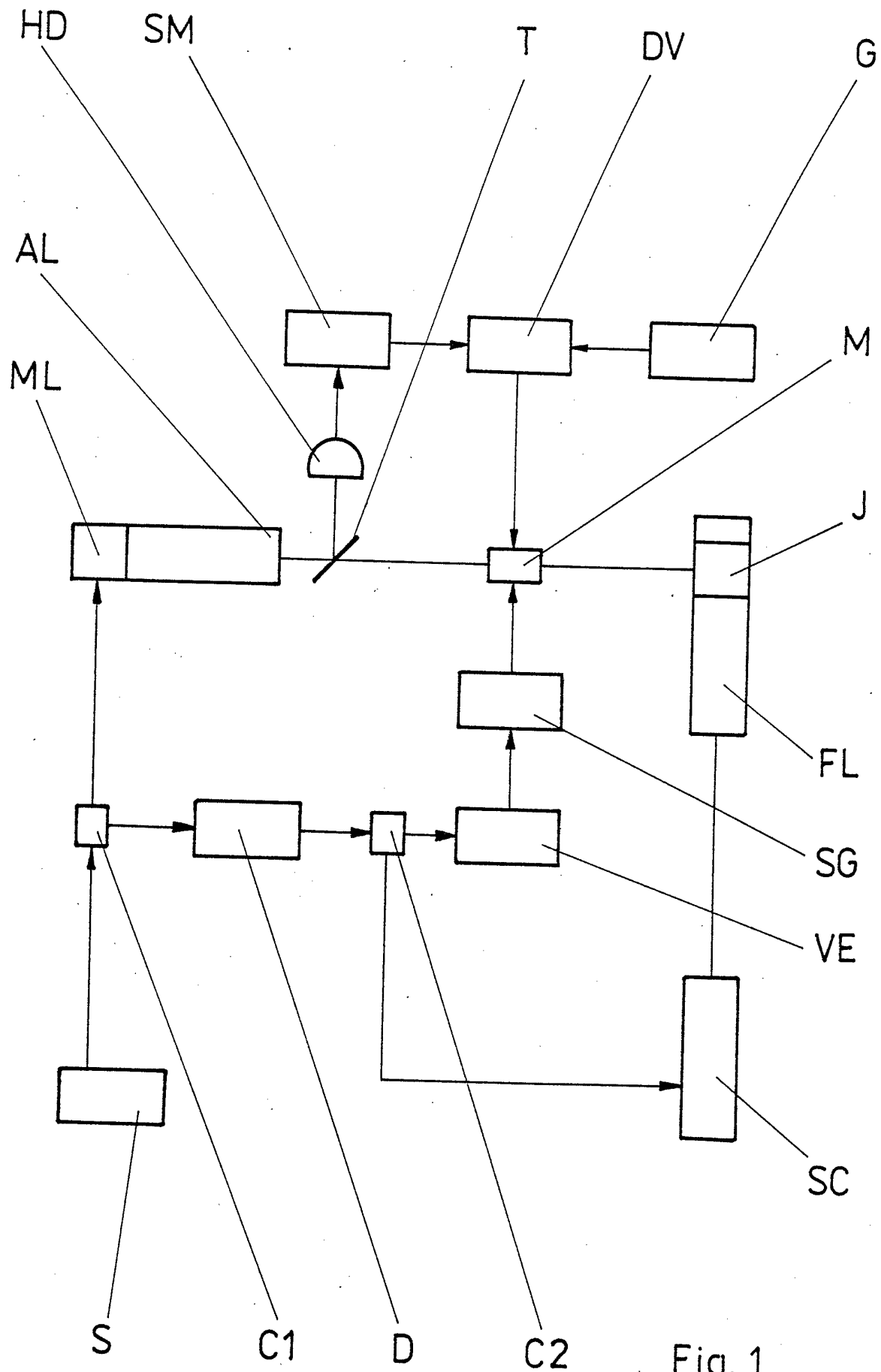


Fig. 1