

(12) Wirtschaftspatent

Erteilt gemäß § 18 Absatz 2 Patentgesetz

(19) DD (11) 259 112 A3

4(51) G 01 B 11/00

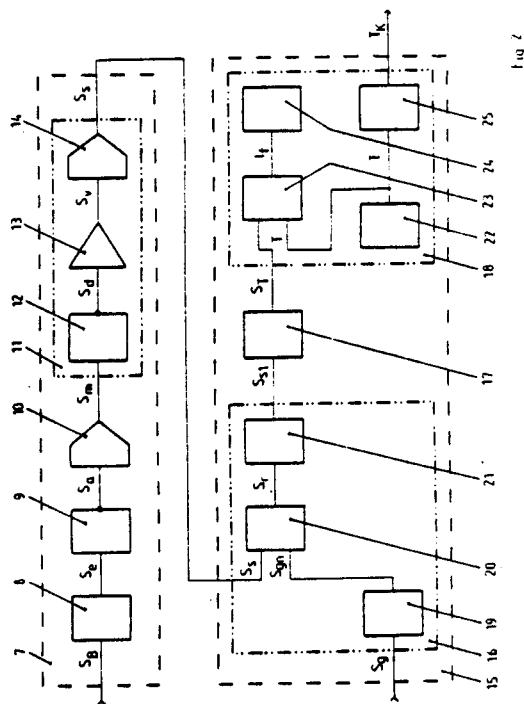
AMT FÜR ERFINDUNGS- UND PATENTWESEN

(21) WP G 01 B / 289 315 5 (22) 16.04.86 (45) 17.08.88

(71) VEB Zentrum für Forschung und Technik, PSF 40, Dresden, 8080, DD
 (72) Lux, Boris, Dr. rer. nat.; Grimm, Werner, Dr. rer. nat.; Köhler, Matthias, Dipl.-Phys., DD

(54) Schaltungsanordnung für hochgenaue Messungen mittels Lichtquelle und CCD-Bildsensor

(57) Die Erfindung betrifft eine Schaltungsanordnung für hochgenaue Messungen mittels Lichtquelle und CCD-Bildsensor, insbesondere für metrologische Messungen. Es ist Aufgabe der Erfindung, eine einfache Schaltungsanordnung zu schaffen, die den Einsatz von CCD-Bildsensoren auch bei Meßaufgaben ermöglicht, welche eine Auflösung unterhalb der Pixelbreite des CCD-Bildsensors bei der Auszählung der sich im Kontrast zum Umfeld befindenden Objektlängen erfordern und/oder bei einer weiten Unabhängigkeit von zeitlichen und räumlichen Schwankungen der Objektleuchtdichte zu lösen sind und/oder ein Echtzeitregime benötigen. Die Aufgabe wird erfindungsgemäß durch entsprechende analoge und digitale Signaloperationen, wie Filterung, Differentiation, Multiplikation, Verstärkung und Logik-Operationen gelöst. Die Schaltungsanordnung besitzt eine geringe Störanfälligkeit. Fig. 2



Erfindungsanspruch:

1. Schaltungsanordnung für hochgenaue Messungen mittels Lichtquelle und CCD-Bildsensor, insbesondere für meteorologische Messungen, **dadurch gekennzeichnet**, daß eine Analogschaltung (7), bestehend aus einem für Betrag und Phase entsprechend der konkreten optischen, geometrischen und elektronischen Verwaschung des Bildsignals S_B abgestimmten aktiven Filter (8), einem nachgeordnetem aktiven Differenzierer (9) mit der Bildpunktfrequenz des CCD-Bildsensors (3) als dessen Grenzfrequenz, einem das Signal-Rausch-Verhältnis verbessernden, symmetrisierenden Quadrierer (10) und einem die Analogschaltung (7) an eine Digitalschaltung (15) ankoppelnden Spitzenwertdetektor (11) und daß die nachgeordnete Digitalschaltung (15), bestehend aus einer konkret abstimmbaren, Störungen beseitigenden, und das Signal S_r stabilisierenden Signalreinigung (16), einem Torbildner (17) und einer die Impulsfolge I_f auszählenden, die Information verarbeitenden und darstellenden und den Kameratakt T_K für den CCD-Bildsensor (3) liefernden Auswertung (18), miteinander verbunden sind.
2. Schaltungsanordnung nach Punkt 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Spitzenwertdetektor (11) aus einem aktiven Differenzierer (12) mit der Bildpunktfrequenz des CCD-Bildsensors (3) als Grenzfrequenz, einem einstellbaren Verstärker (13) und einem optimierbaren Schwellwertschalter (14) besteht.
3. Schaltungsanordnung nach Punkt 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Signalreinigung (16) aus einem auf das Bildgültigkeitssignal S_g des CCD-Bildsensors (3) abgestimmten Impulsformer (19), einem mit dem Spitzenwertsignal S_s gekoppelten Und-Glied (20) und einem das gereinigte Signal S_r stabilisierenden Impulsformer (21) besteht.
4. Schaltungsanordnung nach Punkt 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Auswertung (18) aus einem Taktgenerator (22), einem den Takt T mit dem Torsignal S_T verbindenden Und-Glied (23), einem den Kameratakt T_K für den CCD-Bildsensor (3) bereitstellenden Teiler (25) und einem die Impulsfolge I_f auszählenden, den Meßwert berechnenden und darstellenden Mikrorechner (24) besteht.

Hierzu 5 Seiten Zeichnungen

Anwendungsgebiet der Erfindung

Die Erfindung betrifft eine Schaltungsanordnung für hochgenaue Messungen mittels Lichtquelle und CCD-Bildsensor, die den Einsatz von CCD-Bildsensoren auch bei Meßaufgaben ermöglicht, welche eine Auflösung unterhalb der Pixelbreite des CCD-Bildsensors bei der Auszählung der sich im Kontrast zum Umfeld befindenden Objektlängen erfordern und/oder bei einer weiten Unabhängigkeit von zeitlichen und räumlichen Schwankungen der Objektleuchtdichte zu lösen sind und/oder ein Echtzeitregime benötigen.

Besonders vorteilhaft ist ihr Einsatz zur hochgenauen Längenmessung relativ großer Objekte, da der relative Fehler der Messung bis auf $1/100$ des CCD-bildsensorbedingten relativen Fehlers abgesenkt werden kann.

Charakteristik der bekannten technischen Lösungen

Die Leistungsfähigkeit der für meteorologische und qualitätsbewertende Aufgaben eingesetzten CCD-Bildsensoren wird wesentlich durch deren Pixelanzahl und -größe bestimmt. Je größer die Pixelanzahl ist, um so geringer ist der erreichbare relative Fehler der Messung. Gleichzeitig steigt der Preis des CCD-Bildsensors auf Grund der komplizierteren Herstellungstechnologie, die Gesamtlänge nimmt zu, wodurch sich optische Abbildungsfehler und die Randabschattung störend auswirken.

Zur Erreichung entsprechender Auslesezyklen sind erhöhte Taktfrequenzen notwendig. Die in kürzerer Zeit anfallenden größeren Datenmengen können nur in entsprechend leistungsfähigen Mikrorechnern verarbeitet werden (Zeitschrift Feingerätetechnik 33 [1984]5, S. 196–200, L. Ulrich). Bisherige Anwendungen der CCD-Bildtechnik blieben deshalb auf Aufgaben beschränkt, welche mit einem hohen relativen Fehler lösbar sind (Zeitschrift Feingerätetechnik 34 [1985]3, S. 101–103, C. Bendel), oder in Einzelfällen mit hohem materiellen Aufwand bewältigt werden können (Zeitschrift Feingerätetechnik 34 [1985]3, S. 103–104, H. Gerhard).

Eine solche Einzellösung stellt die Koppelung des CCD-Bildsensors mit dem Mikrorechner über einen Analog-Digital-Umsetzer (ADU) dar. Die Anwendung eines ADU gestattet, die gesamte Information dem Mikrorechner zur Verarbeitung zu übergeben. Der Vorteil der ADU-Kopplung besteht in der Möglichkeit, softwaremäßig bild-, bzw. hintergrundkorrigierende, bildverbessernde, bzw. die Information herauskristallisierende Operationen durchzuführen. Die Anpassung an eine neue Aufgabe erfordert nur einen Programmieraufwand. So ist durch geeignete Rechenprogramme eine Auflösung unterhalb des Pixelabstandes möglich, wie es in dem DD-WP 201500 beschrieben wird. Nachteilig ist der hohe materielle Aufwand für den Aufbau eines ADU im MHz-Bereich. Das steht einem breiten Produktionseinsatz der CCD-Bildtechnik entgegen. Die anfallenden Datenmengen müssen gegebenenfalls in Zwischenspeichern erfaßt werden und können erst nach der eigentlichen Messung verarbeitet werden. Größere Bildkorrekturen bedingen sehr komplizierte und zeitaufwendige Rechenprogramme.

Ein breiterer Einsatz der CCD-Bildsensoren kann durch Mikrorechner Kopplung über einen Schwellwertschalter erfolgen. Der Einsatz des Schwellwertschalters gestattet wegen der geringen und einfach verarbeitbaren Datenmenge eine nahezu

Echtzeitverarbeitung. Nachteilig ist, daß ein großer Informationsverlust auftritt, eine Auflösung unterhalb der Pixelbreite nicht möglich ist und das binäre Bildsignal stark mit der Objektivleuchtdichte schwankt. Der als Kehrwert der Pixelanzahl erreichbare relative Fehler läßt nur eine Lösung weniger metrologischer und qualitätsbewertender Aufgaben zu.

Die Forderung der Produktion nach einer weiten Unabhängigkeit der Messung mit CCD-Bildsensoren von der Objektivleuchtdichte kann durch Differentiation und Auswertung der Extrema des Bildsignals weitgehend erreicht werden. Mit einer Schwellwertkopplung ist das nicht vereinbar. Bisherige prinzipielle Lösungen betreffen eine analoge Meßwertverarbeitung. So wertet das in dem US-PS 3856412 beschriebene Verfahren die Lage der Extrema über eine zweite Differentiation durch eine Nulldurchgangsbestimmung aus. Damit ist es für Signalstörungen wie das Rauschen sehr anfällig. Eine ähnliche analoge Signalverarbeitung sieht das US-PS 4199259 vor. Zur Rauschunterdrückung verwendet es einen Selektivverstärker. Beide Patente beziehen sich auf komplizierte LASER-Lichtquellen. Eine direkte Anwendung dieser Signalverarbeitungen auf die CCD-Bildtechnik kann wegen der optischen, geometrischen und elektronischen Verwaschung des Bildsignals im Vergleich zum Objekt nicht erfolgen.

Ziel der Erfindung

Das Ziel der Erfindung besteht darin, mit geringem Aufwand und hoher Störsicherheit in einer Schaltungsanordnung, die unempfindlich gegenüber zeitlichen und räumlichen Schwankungen der Objektivleuchtdichte ist, die Vorteile der Schwellwert- mit denen der ADU-Mikrorechnerkopplung zu vereinen, um mit technologisch unkomplizierten CCD-Bildsensoren mit geringer Pixelanzahl hochgenaue Messungen zu ermöglichen. Somit werden der CCD-Bildtechnik weitere Einsatzgebiete als Kernstück intelligenter Meßmittel unter Produktionsbedingungen eröffnet.

Wesen der Erfindung

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine einfache Schaltungsanordnung zu schaffen, die beim Einsatz von an sich bekannten CCD-Bildsensoren eine Messung mit einem geringeren relativen Fehler ermöglicht, als er sich aus der Pixelanzahl ergibt.

Erfindungsgemäß wird die Aufgabe mittels einer Schaltungsanordnung gelöst, die im wesentlichen aus einer Anlogschaltung zur exakten Ortszuweisung des Objektes im reproduzierten Signal und einer nachgeordneten Digitalschaltung zur mikrorechnerkompatiblen Aufbereitung des Bildsignals gebildet wird. Die Anlogschaltung besteht aus einem für Betrag und Phase entsprechend der konkreten optischen, geometrischen und elektronischen Verwaschung des Bildsignals abgestimmten aktiven Filter, einem nachgeordneten aktiven Differenzierer mit der Bildpunktfrequenz des CCD-Bildsensors als dessen Grenzfrequenz, einem das Signal-Rausch-Verhältnis verbessernden, symmetrisierenden Quadrierer und einem die Anlogschaltung an die Digitalschaltung ankoppelnden Spitzenwertdetektor. Die Digitalschaltung besteht aus einem konkret abstimmbaren, Störungen beseitigenden, die Information herauskristallisierenden, das Signal stabilisierenden Signalreinigung, einem Torbildner und einer die Impulsfolge auszählenden, die Information verarbeitenden und darstellenden und den Takt für den CCD-Bildsensor liefernden Auswertung.

In zweckmäßiger Ausbildung der Erfindung besteht der Spitzenwertdetektor aus einem aktiven Differenzierer mit der Bildpunktfrequenz des CCD-Bildsensors als Grenzfrequenz, einem einstellbaren Verstärker und einem optimierbaren Schwellwertschalter. Die Signalreinigung wird aus einem auf das Bildgültigkeitssignal des CCD-Bildsensors abgestimmten Impulsformer, einem mit dem Spitzenwertsignal gekoppelten Und-Glied und einem das gereinigte Signal stabilisierenden Impulsformer gebildet. Die Auswertung setzt sich aus einem Taktgenerator, einem den Takt mit dem Torsignal verbindenden Und-Glied, einem die Impulsfolge auszählenden, den Meßwert berechnenden und darstellenden Mikrorechner und einem Kameratakt für den CCD-Bildsensor bereitstellenden Teiler zusammen.

Die Vorteile der erfindungsgemäßen Idee bestehen darin, daß mittels dieser Schaltungsanordnung eine genauere Messung durchgeführt werden kann, als sie sich aus dem Konzept der CCD-Bildtechnik als Photoempfängeranordnung ergibt, indem eine hardwaremäßige Interpolation des Bildsignals zwischen den einzelnen Sensorsignalen erfolgt. Dadurch wird die Verwendung von CCD-Bildsensoren mit einer größeren Pixelanzahl vermieden, die zwangsläufig zu einer Erhöhung der Auslesezeit, zu einer Vergrößerung der auszuwertenden Datenmenge und zu einer Erweiterung der Anforderungen an die Güte der optischen Abbildung führt. Die Erfindung hat außerdem den Vorteil, daß die hardwaremäßige Lösung der Aufgabe die Bewältigung von Meßaufgaben im Echtzeitregime ermöglicht und so die Anwendung der CCD-Bildtechnik auf Vorgänge hoher Dynamik gestattet. Ein weiterer Vorteil der Erfindung ist darin zu sehen, daß an die Beleuchtungseinrichtung geringe Forderungen hinsichtlich zeitlicher und räumlicher Konstanz gestellt werden müssen. Das fördert den Einsatz der CCD-Bildtechnik unter Produktionsbedingungen.

Ausführungsbeispiel

Die Erfindung soll nachfolgend anhand eines Ausführungsbeispiels erläutert werden. In der zugehörigen Zeichnung zeigen:

- Fig. 1: den Meßaufbau mit CCD-Bildsensor für eine Längenmessung;
- Fig. 2: das Blockschaltbild der erfindungsgemäßen Lösung mit Analog- und Digitalschaltung;
- Fig. 3: die typischen Signale der Anlogschaltung;
- Fig. 4: die typischen Signale der Digitalschaltung.

Wie aus Fig. 1 ersichtlich, werden die Lichtstrahlen einer Lichtquelle 1 in einer Optik 2 parallel ausgerichtet und auf einen CCD-Bildsensor 3 geleitet. Zwischen der Optik 2 und dem CCD-Bildsensor 3 befindet sich ein Meßobjekt 4, dessen Breite bestimmt werden soll. Ebenso befindet sich dort eine Störung 5, die beispielsweise von einer Halterung des Meßobjektes 4 verursacht sein

kann. Der CCD-Bildsensor 3 besteht aus einer Vielzahl von Photoelementen, die in der Zeichnung nicht näher dargestellt sind. Er verarbeitet einen vom Meßobjekt 4 und der Störung 5 verursachten Schatten 6 als ein optisches Eingangssignal S_E und führt ihn als ein Bildsignal S_B einer in Fig. 2 dargestellten Anlogschaltung 7 zu. Das auch in Fig. 3 näher gezeigte periodische Bildsignal S_B des CCD-Bildsensors 3 mit der typischen Treppenstruktur und der geometrischen und elektronischen Verwaschung wird in einem aktiven Filter 8 der Anlogschaltung 7 für Betrag und Phase entfaltet. Dabei tritt an den Rändern ein unerwünschtes Überschwingen auf, welches eine Folge der Sprungfunktion der Grundperiode des Bildsignals S_B ist. Eine entfaltetes Signal S_a wird in einem ersten aktiven Differenzierer 9 invertierend differenziert und in Gestalt eines abgeleiteten Signals S_a einem nachgeordneten Quadrierer 10 zugeleitet. Hier wird es symmetrisiert und das Signal-Rausch-Verhältnis verbessert. Eine Abtrennung der Störung 5 und der Bildsignalübergänge in einem multiplizierten Signal S_m kann nicht erfolgen. In einem nachgeordneten Spitzenwertdetektor 11 wird im multiplizierten Signal S_m die Lage der Maxima bestimmt und durch Sprungfunktion in einem Spitzenwertsignal S_s gekennzeichnet. Der Spitzenwertdetektor 11 wird gebildet aus einem aktiven Differenzierer 12, der das multiplizierte Signal S_m invertierend differenziert, so daß den Lagen der Maxima im multiplizierten Signal S_m die Nulldurchgänge in einem differenzierten Signal S_d entsprechen und der Einfluß einer örtlich linear veränderlichen Objekteleuchtdiode eliminiert wird, einem Verstärker 13, der das differenzierte Signal S_d variabel verstärkt und die Anwendung einer beliebigen Schwellwerthöhe auf ein verstärktes Signal S_v bei vollständig symmetrischem multipliziertem Signal S_m ermöglicht und einem Schwellwertschalter 14, der ein Spitzenwertsignal S_s bildet und den Anschluß an eine Digitalschaltung 15 gestattet. Die Digitalschaltung 15 wird gebildet aus einer stabilisierenden Signalreinigung 16, einem Torbildner 17 und einer Auswertung 18. In der stabilisierenden Signalreinigung 16 werden, wie aus Fig. 4 ersichtlich, die im Spitzenwertsignal S_s enthaltenden Bildsignalübergänge und die Störung 5 beseitigt und in einem stabilisierten Signal S_{s1} die Sprungfunktionen in definierte Impulse gewandelt. Die stabilisierende Signalreinigung 16 wird aus einem Impulsformer 19, der ein vom CCD-Bildsensor 3 kommendes Bildgültigkeitssignal S_g in seiner Lage und Länge verändert, einem Und-Glied 20, in dem ein neues Bildgültigkeitssignal S_{gn} und das Spitzenwertsignal S_s zu einem gereinigten Signal S_r vereinigt werden, und einem Impulsformer 21, der aus dem gereinigten Signal S_r das stabilisiert Signal S_{s1} erzeugt, gebildet. Der Torbildner 17 erzeugt zwischen den Vorderflanken der Impulse im stabilisiert Signal S_{s1} das in einem Torsignal S_T enthaltene Tor, welches in seiner zeitlichen Länge ein Maß für die Breite des Meßobjektes 4 ist. Das Torsignal S_T wird der Auswertung 18 zugeführt. Die Auswertung 18 besteht aus einem Taktgenerator 22, der einen Takt T liefert, einem Und-Glied 23, in dem der Takt T mit dem Torsignal S_T zu einer Impulsfolge I_f vereinigt wird, einem Mikrorechner 24, der die Impulsfolge I_f auszählt, die Auswertung und die Anzeige des Meßwertes vornimmt, und einem Teiler 25, der aus dem Takt T einen Kameratakt T_K für den CCD-Bildsensor 3 erzeugt. Der Mikrorechner 24 berechnet die Länge eines Impulses der Impulsfolge I_f aus dem Produkt der auf eine Pixellänge des CCD-Bildsensors 3 optisch abgebildeten Objektlänge und dem Quotienten des Taktes T mit dem aus dem Kameratakt T_K abgeleiteten Bildpunktakt. Aus der Anzahl der Impulse der Impulsfolge I_f ergibt sich dann die Objektlänge. Die erreichte Genauigkeitserhöhung wird wesentlich aus dem Quotienten des Taktes T mit dem aus dem Kameratakt T_K abgeleiteten Bildpunktakt festgelegt.

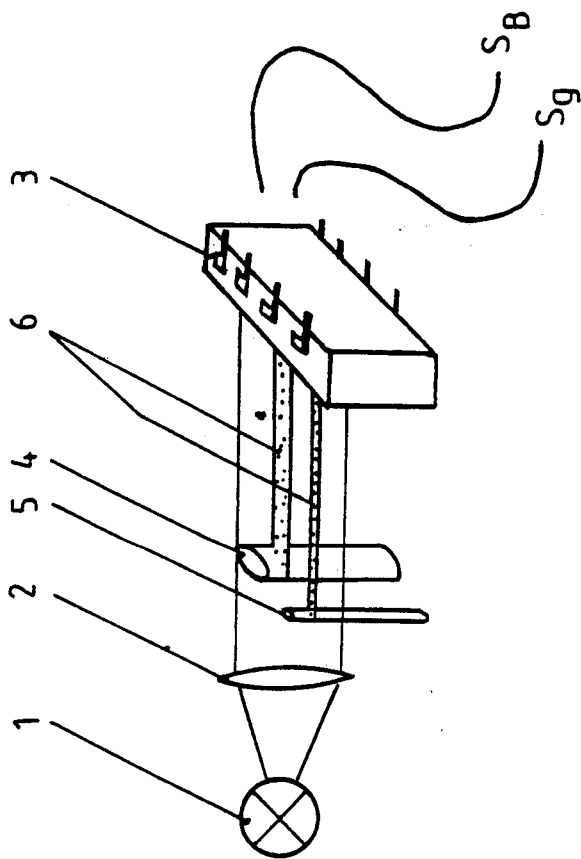


Fig.1

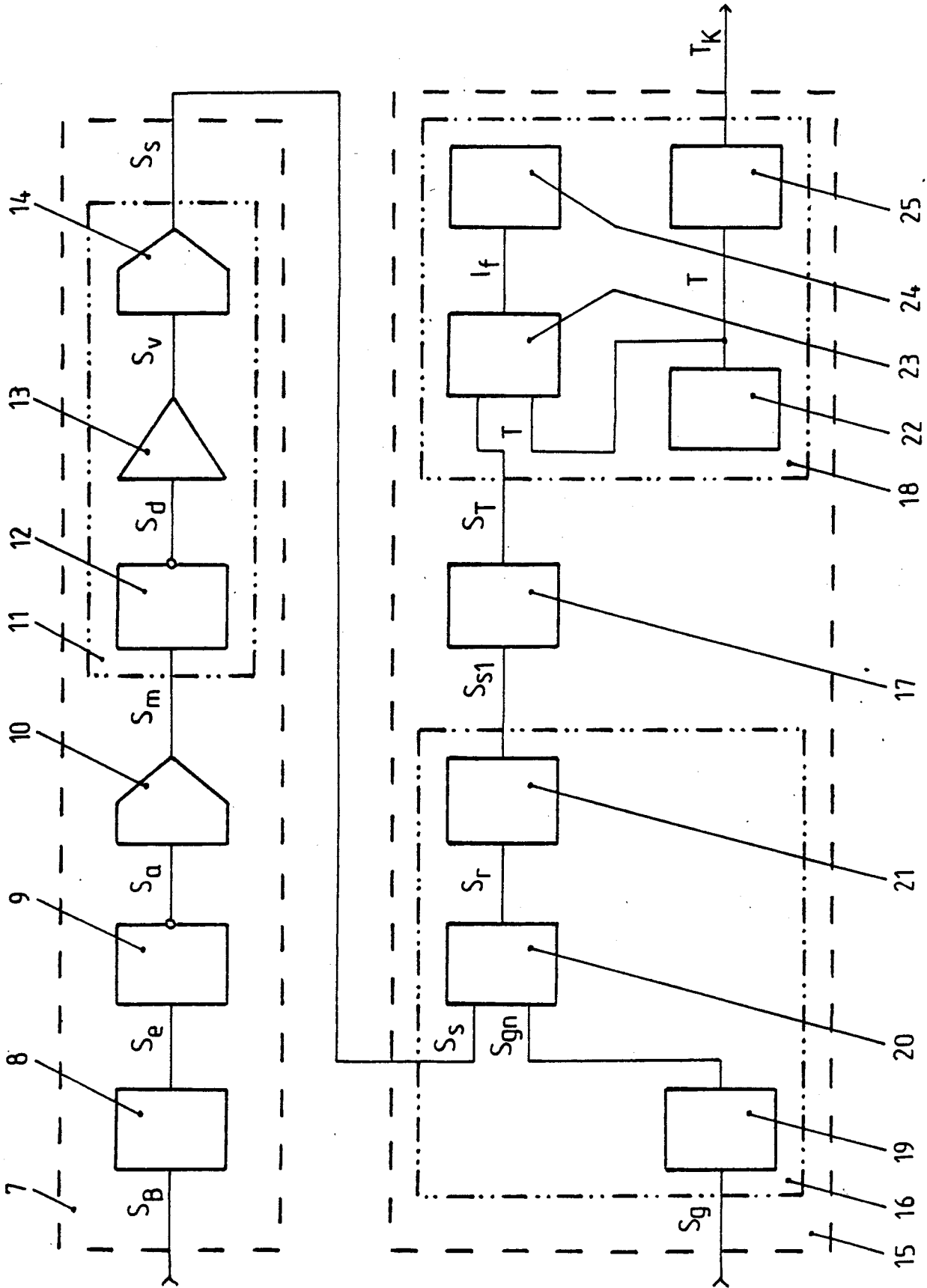
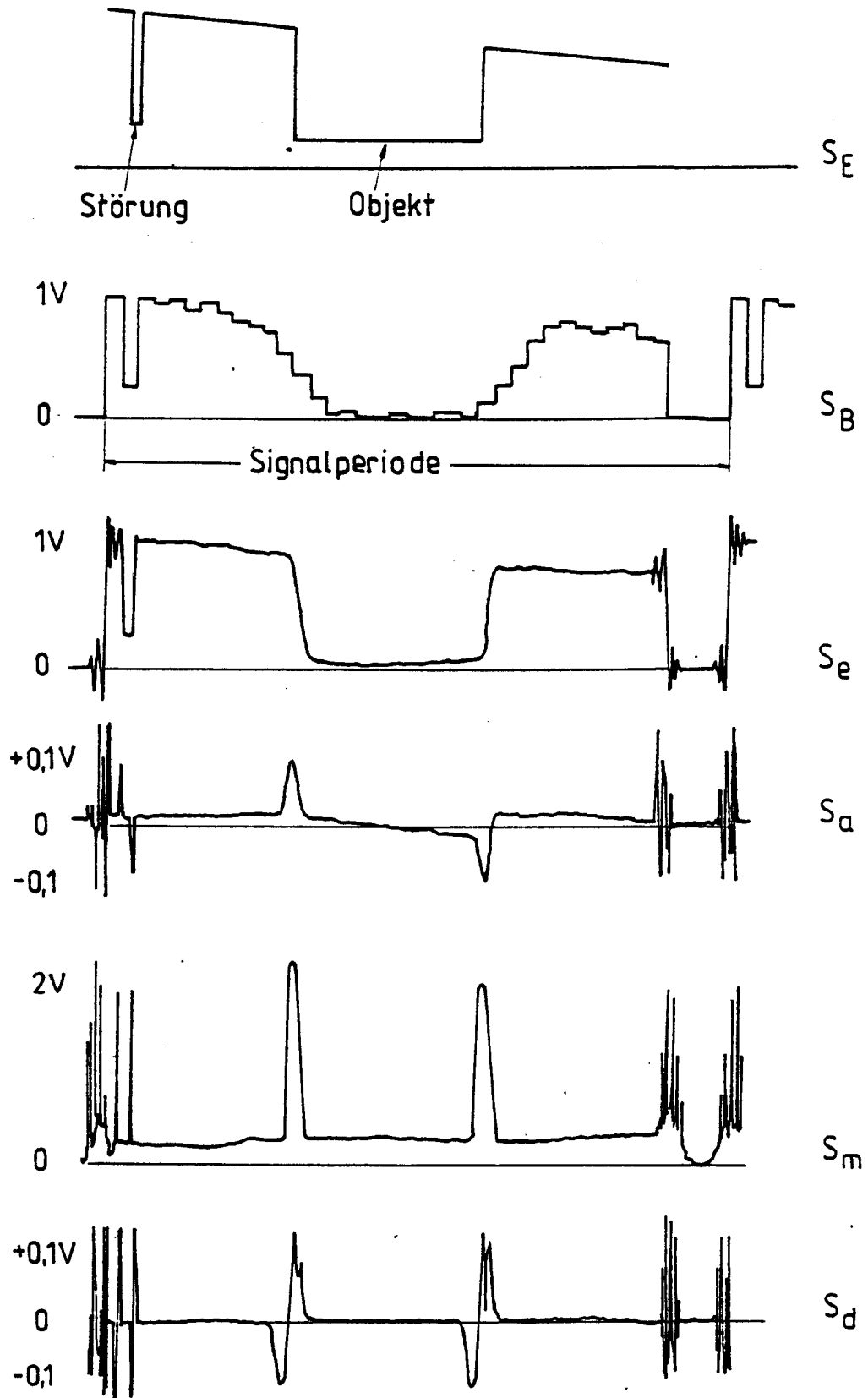


Fig. 2



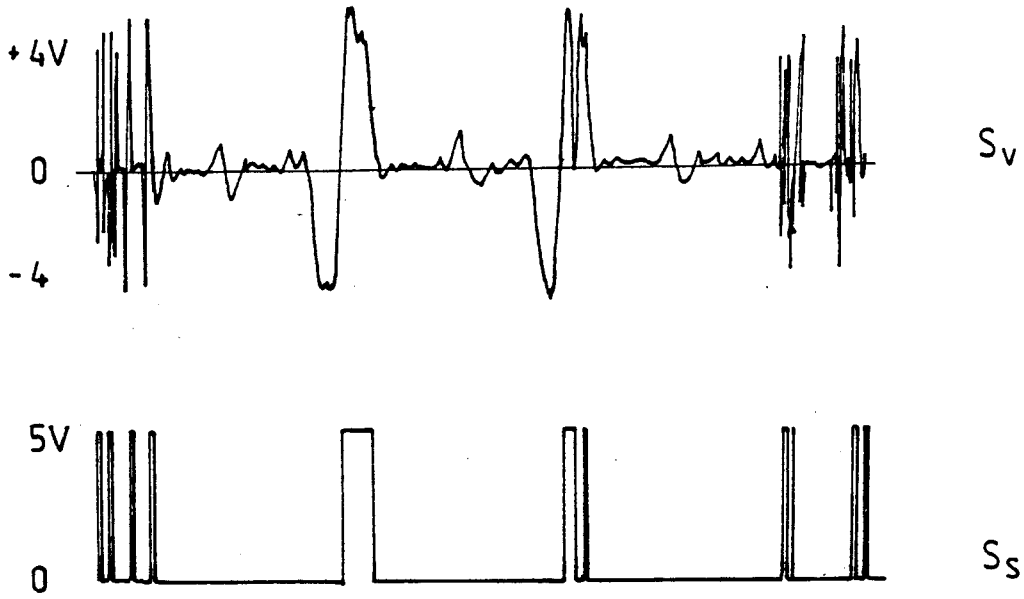


Fig. 3

