

(12)

Patentschrift

(21)	Anmeldenummer:	A 50848/2019	(51)	Int. Cl.:	F02D 35/02	(2006.01)
(22)	Anmeldetag:	07.10.2019			F02P 5/152	(2006.01)
(45)	Veröffentlicht am:	15.03.2021			F02D 41/28	(2006.01)
					G01L 23/22	(2006.01)
(56) Entgegenhaltungen: WO 2018172665 A1 KR 101969908 B1 CN 109973280 A			(73)	Patentinhaber: AVL List GmbH 8020 Graz (AT)		
			(72)	Erfinder: Leitner Daniel 8054 Hitzendorf (AT) Kampitsch Alfred Dipl.Ing. 8063 Eggersdorf bei Graz (AT) Gruaz Jerome Dipl.Ing. 8046 Graz (AT)		
			(74)	Vertreter: Patentanwälte Pinter & Weiss OG 1040 Wien (AT)		

(54) Verfahren und Prüfstand zur Klopfkalibrierung eines Verbrennungsmotors

(57) Um eine Klopfkalibrierung eines Verbrennungsmotors auf einem Prüfstand (5) einfach und zuverlässig durchführen zu können, ist vorgesehen, dass aus den Maximalamplituden (KP_PK) einer Anzahl in einem ersten Betriebspunkt aufgezeichneten Arbeitstakte (Ak) eine Kompensationsamplitude (KP_PK_{komp}) ermittelt wird, um die Maximalamplituden (KP_PK) kompensiert werden, um eine Anzahl absoluter Maximalamplituden (KP_PK_{abs}) zu ermitteln, aus den absoluten Maximalamplituden (KP_PK_{abs}) eine Klopfgrenze (KG) im ersten Betriebspunkt ermittelt wird, in zumindest einem zweiten Betriebspunkt des Verbrennungsmotors (1) die im ersten Betriebspunkt ermittelte Klopfgrenze (KG) verwendet wird, um Motorsteuerparameter einer Motorsteuerung des Verbrennungsmotors (1) zu variieren, sodass die Klopfgrenze (KG) eingehalten wird und die dabei ermittelten Motorsteuerparameter in der Motorsteuerung zur Steuerung des Verbrennungsmotors (1) im zweiten Betriebspunkt hinterlegt werden.

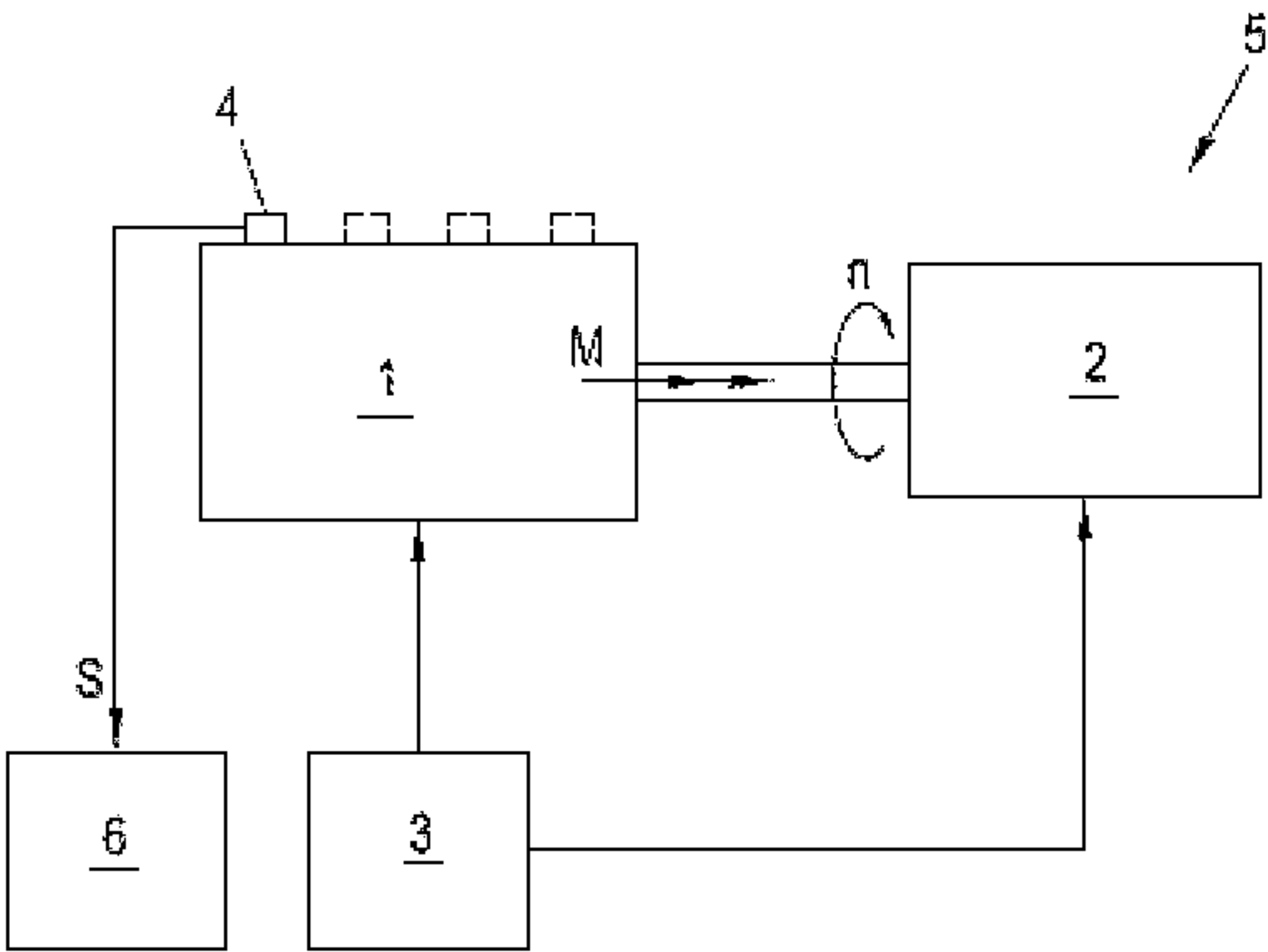


Fig. 2

Beschreibung

VERFAHREN UND PRÜFSTAND ZUR KLOPFKALIBRIERUNG EINES VERBRENNUNGSMOTORS

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Klopfkalibrierung eines Verbrennungsmotors bei dem der Verbrennungsmotor auf einem Prüfstand betrieben wird und dabei mittels eines Klopfensors ein Klopfsignal zumindest eines Zylinders des Verbrennungsmotors erfasst und aus dem Klopfsignal in einem Arbeitstakt des Verbrennungsmotors eine Maximalamplitude einer mit dem Klopfsensor aufgezeichneten Druckschwingung ermittelt wird und eine Anzahl in einem ersten Betriebspunkt des Verbrennungsmotors aufgezeichneter Maximalamplituden zur Klopfkalibrierung ausgewertet wird, sowie einen zugehörigen Prüfstand zur Durchführung des Verfahrens.

[0002] Unter Klopfen versteht man einen unkontrollierten Verbrennungsvorgang des Luft-Kraftstoffgemisches nach der Zündung im Zylinder eines Verbrennungsmotors, insbesondere eines Ottomotors. Dabei können hohe Druckspitzen im Zylinder auftreten, die Bauteile wie Kolben, Lager, Zylinderkopf, Ventile und Zündkerze beschädigen können. Klopfen ist daher im Betrieb eines Verbrennungsmotors äußerst unerwünscht und soll vermieden werden. Typische Ursachen von Klopfen sind eine zu hohe Verdichtung im Zylinder, zu hohe Temperaturen oder ein zu früher Zündzeitpunkt. Abgesehen davon ist das Klopfen auch vom Betriebspunkt des Verbrennungsmotors, also im Wesentlichen von der Drehzahl und dem Drehmoment, aber auch vom Verdichtungsverhältnis, abhängig. Eine übliche Reaktion der Motorsteuerung auf Klopfen ist das Verschieben des Zündzeitpunktes nach hinten. Bei einem späten Zündzeitpunkt wird aber die Leistung des Verbrennungsmotors reduziert, weil die Verbrennungsenergie schlechter ausgenutzt werden kann, und der Verbrauch erhöht. Es ist daher bei heutigen Verbrennungsmotoren wichtig die Klopfgrenze im gesamten Betriebsbereich des Verbrennungsmotors zu kennen. In modernen Verbrennungsmotoren ist auch häufig eine Klopfregelung, üblicherweise in der Motorsteuerung, vorgesehen, die zur maximalen Ausnutzung der Verbrennungsenergie bei gleichzeitiger Vermeidung des Klopfens den Betrieb des Verbrennungsmotors nahe an der Klopfgrenze sicherstellen soll. Ein wesentlicher Teil der Kalibrierung eines Verbrennungsmotors liegt daher in der Klopfkalibrierung, bei der beispielsweise die Klopfgrenze in der Motorsteuerung parametrisiert wird.

[0003] WO 2018/172665 A1 beschreibt ein Verfahren zur Klopfregelung eines Verbrennungsmotors, betrifft aber nicht die Klopfkalibrierung.

[0004] Mit der Klopfkalibrierung soll im Wesentlichen durch Beeinflussen der Zündparameter, insbesondere des Zündzeitpunktes, die Klopfgrenze des Verbrennungsmotors im gesamten Betriebsbereich ermittelt werden. Es sollen damit zu jedem Betriebspunkt im Betriebsbereich die Zündparameter ermittelt werden, die zu einem Betrieb des Verbrennungsmotors möglichst nahe an der Klopfgrenze führen, ohne die Klopfgrenze zu überschreiten. Das ist beispielsweise in der KR 101969908 B1 oder CN 109973280 A beschrieben. Eine solche Klopfkalibrierung wird üblicherweise auf einem Motorprüfstand durchgeführt, auf dem der Verbrennungsmotor mit einer Lastmaschine (Dynamometer) verbunden ist, um verschiedene Betriebspunkte einstellen zu können. Am Motorprüfstand werden üblicherweise Zylinderdrucksensoren als Klopfensoren verwendet, um den Zylinderdruck während eines Arbeitstaktes des Verbrennungsmotors direkt zu erfassen. In der Klopfkalibrierung werden vorzugsweise Zylinderdrucksensoren (ein Stück pro Zylinder) verwendet, weil die Druckschwingungen direkt am Entstehungsort im Brennraum gemessen und beurteilt werden können. Andere Klopfensoren erfassen den Zylinderdruck nur indirekt, über die Erfassung der Auswirkung der Druckschwingung im Zylinder. Beispielsweise erfassen Beschleunigungssensoren die durch Körperschall angeregte Beschleunigung eines Teils des Verbrennungsmotors. Schallaufnehmer erfassen die akustische Ausbreitung des Klopfgeräusches. Diese Sensorsignale repräsentieren aber ebenso den Zylinderdruck.

[0005] Das gemessene Sensorsignal des Klopfensors, z.B. das Signal des Zylinderdrucksensors, wird ausgewertet, um Klopfereignisse, die sich in hohen Druckspitzen äußern, zu identifizieren. Durch Variieren verschiedener Einstellungen, insbesondere des Zündzeitpunktes, wird

versucht, die Klopfgrenze zu ermitteln.

[0006] Eine derartige Klopfkalibrierung ist in der Praxis sehr aufwendig, insbesondere weil diese in sehr vielen Betriebspunkten durchgeführt werden muss, und es dabei auch noch andere Einflussgrößen geben kann, die die Kalibrierung beeinflussen, beispielsweise das geometrische Verdichtungsverhältnis, die Ansauglufttemperatur, die Kraftstoffqualität, usw. Vor allem moderne Verbrennungsmotoren mit variablem Verdichtungsverhältnis erhöhen den Aufwand der Kalibrierung, weil durch das einstellbare, geometrische Verdichtungsverhältnis ein weiterer Freiheitsgrad hinzukommt.

[0007] Bei der Klopfkalibrierung werden die durch die unkontrollierte Verbrennung hervorgerufenen Druckschwankungen im Zylinder ausgewertet. Diese werden mittels Klopfensoren, beispielsweise Zylinderdrucksensoren, Beschleunigungs- oder Schallaufnehmer, erfasst. Üblicherweise werden zur Klopfkalibrierung die in den einzelnen Arbeitstakten des Verbrennungsmotors auftretenden Maximalamplituden (Knock Peaks) dieser Druckschwankungen ausgewertet, wobei in der Regel statistische Auswertungen einer Anzahl dieser Maximalamplituden durchgeführt werden.

[0008] Klopfensoren, wie Zylinderdrucksensoren, nehmen aber nicht nur das interessierende Klopfsignal auf, sondern auch Störsignale (Noise). Störsignale können entweder elektrischer Natur sein und können durch eine geeignete Verkabelung und Auslegung der elektrischen Messkette im Wesentlichen eliminiert werden. Durch die normale Verbrennung im Zylinder entstehen aber auch Gasoszillationen, die sich auch in Druckschwingungen bemerkbar machen. Klopfereignisse erzeugen ebenfalls Druckschwingungen im Zylinder, die den Druckschwingungen, die durch die normale Verbrennung hervorgerufen werden, überlagert sind. Diese beiden Druckschwingungen haben aber den gleichen Frequenzgehalt, d.h. sie treten in den gleichen Frequenzbändern auf. Damit können diese beiden im aufgenommenen Klopfsignal nicht einfach durch Filterung getrennt werden. Solche normale Druckschwingungen werden damit aber ebenfalls als Maximalamplituden eines Arbeitstaktes erfasst und machen sich als Hintergrundstörung bemerkbar. Bei einer statistischen Auswertung der Maximalamplituden einer Anzahl von Arbeitstakten kann das zu einer ungenauen und unzuverlässigen Klopfkennung führen. Die Klopfkalibrierung wird damit auch schwieriger. Für eine zuverlässige Klopfkalibrierung ist es daher vorteilhaft, solche Hintergrundstörungen bei der Klopfkennung auszuklammern.

[0009] Es ist somit eine Aufgabe der gegenständlichen Erfindung, ein Verfahren zur Klopfkalibrierung eines Verbrennungsmotors anzugeben, das einfach und zuverlässig durchführbar ist.

[0010] Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch die Merkmale der unabhängigen Ansprüche gelöst. Aufgrund der Verwendung von absoluten Maximalamplituden muss nicht in jedem Betriebspunkt, in dem die Klopfkalibrierung ausgeführt werden soll, eine zugehörige Klopfgrenze ermittelt werden. Es reicht aus, die Klopfgrenze in einem ersten Betriebspunkt zu ermitteln und die derart ermittelte Klopfgrenze auf einen zweiten, vom ersten unterschiedlichen Betriebspunkt anzuwenden. Damit muss zwar der jeweilige Betriebspunkt am Prüfstand mit dem Verbrennungsmotor angefahren werden, es entfällt aber beim Betriebspunktwechsel die erneute Festlegung der Klopfgrenze, weil nun erfindungsgemäß absolute Maximalamplituden herangezogen werden und damit die Klopfgrenze übertragbar auf andere Betriebspunkte ist. Das erleichtert und verkürzt die Klopfkalibrierung erheblich.

[0011] Weitere Vorteile der Erfindung ergeben sich aus den abhängigen Ansprüchen, sowie aus der zugehörigen Beschreibung.

[0012] Die gegenständliche Erfindung wird nachfolgend unter Bezugnahme auf die Figuren 1 bis 8 näher erläutert, die beispielhaft, schematisch und nicht einschränkend vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung zeigen. Dabei zeigt

[0013] Fig.1 Druckverläufe einer Verbrennung in einem Zylinder eines Verbrennungsmotors,

[0014] Fig.2 eine Prüfstand zur Durchführung einer Klopfkalibrierung,

[0015] Fig.3 die Auswertung eines mit einem Klopfensors aufgezeichneten Klopfsignals,

- [0016] Fig.4 einen FFT transformierten Druckverlauf eines Arbeitstaktes,
- [0017] Fig.5 ermittelte Maximalamplituden einer Anzahl von Arbeitstakten,
- [0018] Fig.6 ein Histogramm der ermittelten Maximalamplituden,
- [0019] Fig.7 ermittelte absolute Maximalamplituden einer Anzahl von Arbeitstakten und
- [0020] Fig.8 ein Histogramm der ermittelten absoluten Maximalamplituden.

[0021] Fig.1 zeigt zwei typische Druckverläufe einer Verbrennung in einem Zylinder eines Verbrennungsmotors (hier 4-Takt Ottomotor). Dargestellt ist der Zylinderdruck p über einen Teil des Arbeitstaktes (in Grad Kurbelwinkel φ) um den oberen Totpunkt (0° Kurbelwinkel φ). Nachdem die Zündung im Bereich des oberen Totpunkts passiert und die Verbrennung für die Klopfkalibrierung entscheidend ist, ist das der für Klopfkalibrierung besonders interessierende Bereich. Dargestellt sind zwei Druckverläufe VV1, VV2 bei verschiedenen den Zylinderdruckverlauf beeinflussenden Gegebenheiten, wie beispielsweise verschiedenen Verdichtungsverhältnissen verschiedener Ansauglufttemperatur, Drehzahl, Last usw. In modernen Verbrennungsmotoren kann das Verdichtungsverhältnis beispielsweise bedarfsweise angepasst werden.

[0022] Im Druckverlauf VV1, z.B. bei einem erstem Verdichtungsverhältnis, erkennt man nach der Zündung im Bereich des oberen Totpunkts einen steilen Druckanstieg (zeitliche Ableitung des Druckes), der eine Verbrennungsschwingung V bewirkt. Im Druckverlauf VV1 ist auch ein Klopfereignis durch Selbstendzündung des Endgases der Verbrennung dargestellt, das sich in einer Klopferschwingung K manifestiert. Im Druckverlauf VV2, z.B. bei einem zweitem Verdichtungsverhältnis (das größer als das erste Verdichtungsverhältnis ist), erkennt man die spätere Zündung und auch geringere Verbrennungsschwingung V aufgrund des niedrigeren Druckanstiegs. Die Verbrennungsschwingung V und die Klopferschwingung K haben überlagerte Frequenzbereiche. Diese Druckschwingungen (Klopferschwingung K und Verbrennungsschwingung V) im Zylinder des Verbrennungsmotors 1 während eines Arbeitstaktes A_k werden bei der Klopfkalibrierung ausgewertet. Aufgrund der überlagerten Frequenzbereiche können keine Filtermethoden angewendet werden, weil damit immer auch die Erfassung der Klopferschwingung beeinträchtigt werden würde.

[0023] Zur Klopfkalibrierung wird der Verbrennungsmotor 1 auf einem Prüfstand 5 angeordnet (Fig.2). Der Prüfstand 5 ist üblicherweise ein Motorprüfstand, auf dem der Verbrennungsmotor 1 mit einer Belastungsmaschine 2 (üblicherweise ein Elektromotor) verbunden wird. Der Verbrennungsmotor 1 und die Belastungsmaschine 2 werden am Prüfstand 5 von einer Prüfstandsteuer-einheit 3 (Rechenhardware und Software) gesteuert und betrieben. Beispielsweise wird der Verbrennungsmotor 1 zum Einstellen eines gewünschten Drehmoments M angesteuert und die Belastungsmaschine 2 zum Einstellen einer gewünschten Drehzahl n (was aber auch umgekehrt sein kann). Zur Klopfkalibrierung wird der Verbrennungsmotor 1 üblicherweise in einem stationären Betriebspunkt (Drehzahl, Drehmoment) betrieben. Der Verbrennungsmotor 1 könnte zur Klopfkalibrierung aber auch auf einem anderen Prüfstand betrieben werden, beispielsweise auf einem Antriebsstrangprüfstand, bei dem der Verbrennungsmotor einen Antriebsstrang (oder einen Teil davon) antreibt und die Belastungsmaschine mit dem Antriebsstrang (beispielsweise an einer Seitenwelle des Antriebsstranges) verbunden wird, oder einem Rollenprüfstand, auf dem ein ganzes Fahrzeug angeordnet werden kann und die Belastungsmaschine 2 der Rollenantrieb ist.

[0024] Am Prüfstand können für die Klopfkalibrierung auch noch andere Einstellungen vorgenommen werden. Beispielsweise könnte das Umgebungsklima (Temperatur, Feuchtigkeit, Luftdruck usw.) eingestellt werden. Ebenso könnte der Kraftstoff oder die Verbrennungsluft, oder ein anderes für den Betriebs des Verbrennungsmotors 1 benötigtes Medium, konditioniert (Temperatur, Druck, Feuchtigkeit usw.) werden.

[0025] Am Verbrennungsmotor 1 ist zumindest ein Klopfsensor 4 angeordnet, mit dem ein Klopfsignal S , beispielsweise ein Druckverlauf wie in Fig.1 beschrieben, aufgenommen wird. Beispielsweise ist für jeden Zylinder ein Zylinderdrucksensor vorgesehen oder eine Beschleuni-

gungsaufnehmer oder Schallaufnehmer für einen oder mehrere Zylinder (wobei aufgrund der Zündreihenfolge auf den jeweiligen Zylinder geschlossen werden kann). Mit dem Klopfsignal S werden die Druckschwingungen im Zylinder, direkt oder indirekt, erfasst. Der Klopfsensor 4 kann beispielsweise ein Zylinderdrucksensor am Zylinder sein, oder ein Schallaufnehmer oder Beschleunigungsaufnehmer am Motorblock oder ein beliebig anderer geeigneter Sensor. Das mit dem Klopfsensor 4 aufgezeichnete Klopfsignal S wird einer Klopf auswerteinheit 6 (Rechenhardware und/oder Software) zugeführt und dort ausgewertet. Die Klopf auswerteinheit 6 kann in der Prüfstandsteuereinheit 3 integriert sein oder kann eine eigene Hardware und/oder Software sein.

[0026] Für die Klopfkalibrierung muss natürlich nicht das Klopfsignal S eines ganzen Arbeitstaktes (also z.B. 720° bei einem 4-Takt Ottomotor) ausgewertet werden. Typischerweise wird das Klopfsignal S ab dem Zündzeitpunkt oder ab kurz vor dem Zündzeitpunkt oder ab dem oberen Totpunkt bis zu einem vorgegebenen Kurbelwinkel φ , z.B. 100° Kurbelwinkel, ausgewertet. Mit dem ausgewerteten Kurbelwinkelbereich sollen natürlich die interessierenden Druckschwingungen aufgrund der Verbrennung erfasst werden.

[0027] In der Klopf auswerteinheit 6 kann eine Signalaufbereitungseinheit 7 (Hardware und/oder Software) vorgesehen sein (wie in Fig.3 angedeutet), in der das vom Klopfsensor 4 gelieferte Klopfsignal S eines Arbeitstaktes aufbereitet werden kann. Beispielsweise kann in der Signalaufbereitungseinheit 7 ein Hochpassfilter implementiert sein, um die für das Klopfen nicht relevanten niedrigen Frequenzbereiche aus dem Klopfsignal S auszufiltern. Für die Klopfkalibrierung ist es vorteilhaft, wenn im Klopfsignal S nur die höherfrequenten Anteile, die die Druckschwingungen umfassen, verbleiben. Gleichfalls könnte der Klopfsensor 4 bereits eine derartige Filterung vornehmen. Das Klopfsignal S, das die Druckschwingungen repräsentiert, wird einer Maximalwerterkennungseinheit 8 (Hardware und/oder Software) zugeführt, in der die Maximalamplitude KP_PK der Druckschwingung des jeweiligen Arbeitstaktes ermittelt wird. Das kann entweder zeitbasiert (üblicherweise über Kurbelwinkel aufgelöst) oder frequenzbasiert erfolgen. Für die frequenzbasierte Auswertung kann eine FFT (Fast Fourier Transformation) des Klopfsignals S vorgesehen sein.

[0028] Fig.4 zeigt beispielhaft einen FFT transformierten Druckverlauf VV eines Arbeitstaktes, beispielsweise aufgenommen mit einem Zylinderdrucksensor, als Klopfsignal S. Die niederfrequenten Anteile, z.B. kleiner 5.000Hz , können ausgefiltert werden, beispielsweise in der Signalaufbereitungseinheit 7, oder in der Ermittlung der Maximalamplitude KP_PK ignoriert werden, weil diese nicht in Zusammenhang mit einer Klopf schwingung stehen. Die Maximalamplitude KP_PK der Druckschwingung tritt in diesem Beispiel bei ungefähr 8.000Hz auf.

[0029] In einer Auswerteeinheit 9 (Hardware und/oder Software) erfolgt zur Klopfkalibrierung eine Auswertung der ermittelten Maximalamplituden KP_PK . In der Regel erfolgt eine statistische Auswertung der Maximalamplituden KP_PK des aktuellen und einer Anzahl i vergangener Arbeitstakte. Es werden in einer solchen statistischen Auswertung somit eine Anzahl i von Maximalamplituden KP_PK gemeinsam betrachtet. Nachdem aber nicht in jedem Arbeitstakt Klopfen auftritt, werden auch Maximalamplituden KP_PK einer durch die normale Verbrennung erzeugten Druckschwingung berücksichtigt.

[0030] In der Auswertung der Maximalamplituden KP_PK werden üblicherweise die Häufigkeit von einer bestimmte Grenzamplitude überschreitenden Maximalamplituden KP_PK innerhalb eines bestimmten Fensters (z.B. Anzahl von Arbeitstakten) oder das Überschreiten einer maximal zulässigen Maximalamplituden KP_PK ausgewertet.

[0031] In Fig.5 sind die erfassten Maximalamplituden KP_PK einer Anzahl i Arbeitstakte $A_k, \dots, A_{k-i}$ in einem bestimmten Betriebspunkt des Verbrennungsmotors (Drehzahl, Drehmoment, Verdichtungsverhältnis usw.) dargestellt. Die Arbeitstakte sind üblicherweise aufeinanderfolgende Arbeitstakte, was aber nicht unbedingt der Fall sein müsste. Beispielsweise könnten Arbeitstakte mit Verbrennungsaussetzern, die anhand des Klopfsignals S einfach bestimmt werden können, von der Auswertung ausgeklammert werden. Die einzelnen Maximalamplituden KP_PK sind hier zwecks der besseren Darstellung mit einer Linie verbunden, was aber natürlich nicht unbedingt notwendig ist. Es ist ersichtlich, dass die Druckschwingungen in jedem betrachteten Arbeitstakt

$A_k, \dots, A_{k-i}$ eine Maximalamplitude KP_PK bewirkt, insbesondere auch in einem Arbeitstakt, in dem kein Klopfen auftritt. Diese Maximalamplituden KP_PK eines Arbeitstaktes ohne Klopfen stellen für die Klopfkalibrierung jedoch eine Grundstörung dar. Es fließen damit auch Maximalamplituden KP_PK in eine Auswertung zur Klopfkalibrierung ein, die nicht auf ein Klopfereignis zurückgehen. Diese Grundstörungen sind stark vom jeweiligen Betriebspunkt des Verbrennungsmotors (Drehzahl, Drehmoment, geometrisches Verdichtungsverhältnis, Ansauglufttemperatur usw.) abhängig. In Fig.5 sind strichliert die Maximalamplituden KP_PK in einem anderen Betriebspunkt des Verbrennungsmotors dargestellt, um das zu verdeutlichen. Man erkennt das z.B. höhere Niveau der Grundstörung.

[0032] Damit ergibt sich bei der bisherigen Klopfkalibrierung auch eine stärkere Abhängigkeit der Maximalamplituden KP_PK von Betriebsparametern wie Drehzahl, Drehmoment oder Verdichtungsverhältnis usw. (weil diese die Grundstörungen beeinflussen), was die Klopfkalibrierung zusätzlich erschwert und aufwendiger macht.

[0033] Bei der Klopfkalibrierung werden die Häufigkeit des Auftretens bestimmter Spitzen der Maximalamplituden KP_PK innerhalb eines bestimmten Fensters, wie beispielsweise eine Anzahl von Arbeitstakten, und/oder die Einhaltung einer höchstzulässigen Maximalamplitude $KP_PK_{\max}$ ausgewertet. Beispielsweise kann für die Klopfkalibrierung gefordert sein, dass in einer bestimmten Anzahl von vergangenen Arbeitstakten mindestens 80% der auftretenden Maximalamplituden KP_PK kleiner einer bestimmten Klopfgrenze sein müssen. Aufgrund der Grundstörungen war es aber bisher erforderlich für verschiedene Betriebspunkte die Klopfgrenze zu bestimmen, was sehr aufwendig ist. Dabei werden im jeweiligen Betriebspunkt die Motoreinstellungen, insbesondere Zündparameter wie der Zündwinkel, variiert, bis die Klopfgrenze eingehalten wird. Ferner kann gefordert sein, dass keine oder nur eine bestimmte Anzahl von Maximalamplituden KP_PK größer einer bestimmten höchstzulässigen Maximalamplitude $KP_PK_{\max}$ sein darf.

[0034] Das lässt sich einfach in Form eines Histogramms wie in Fig.6 darstellen. In Fig.6 sind zwei Histogrammkurven K dargestellt, die jeweils die Häufigkeit H (in Prozent) des Auftretens bestimmter Maximalamplituden KP_PK über eine bestimmte Anzahl von Arbeitstakten A_k , typischerweise die 30 bis 50 letzten Arbeitstakte A_k , wiedergeben. Man erkennt aus den Histogrammkurven, dass die Häufigkeit H des Auftretens bestimmter Maximalamplituden KP_PK mit steigendem Wert der Maximalamplituden KP_PK abnimmt. Ebenso ist in den Histogrammkurven bei 100% die Grundstörung erkennbar. Strichliert ist analog zu Fig.5 die Histogrammkurve für einen anderen Betriebspunkt dargestellt.

[0035] Es kann nun eine Klopfgrenze KG gefordert sein, sodass die Häufigkeit H , dass die Maximalamplituden KP_PK eine bestimmte Grenzamplitude KP_PK_G überschreiten kleiner einer bestimmten Häufigkeitsgrenze H_G , beispielsweise 20%, ist. In Fig.6 sind beispielsweise weniger als 20% der Maximalamplituden KP_PK größer der Grenzamplitude KP_PK_G . Es sei aber angemerkt, dass diese Grenzamplitude KP_PK_G vorab aber nicht bekannt ist, sondern in jedem Betriebspunkt während der Klopfkalibrierung bestimmt werden muss, beispielsweise aufgrund der Erfahrung des Klopfingenieurs. Ebenso kann zusätzlich oder alternativ gefordert sein, dass die größte Maximalamplitude KP_PK kleiner einer festgelegten höchstzulässigen Maximalamplitude $KP_PK_{\max}$ ist oder nur eine Anzahl von Maximalamplituden KP_PK größer einer festgelegten höchstzulässigen Maximalamplitude $KP_PK_{\max}$ sein darf. Dabei werden bei der Klopfkalibrierung Parameter der Motorsteuerung, insbesondere Zündparameter wie der Zündwinkel, verstellt, sodass die Häufigkeitsgrenze H_G und/oder die höchstzulässigen Maximalamplitude $KP_PK_{\max}$ eingehalten werden. Damit ergibt sich auch der Wert der Grenzamplitude KP_PK_G . Die Klopfgrenze KG kann dabei nach verschiedenen Kriterien festgelegt werden. Es muss dabei nicht unbedingt die Grenzamplitude KP_PK_G minimiert werden. Im Gegenteil wird man eher danach trachten die Grenzamplitude KP_PK_G unter Berücksichtigung der auftretenden Klopfspitzen (Maximalamplituden $KP_PK_{\max}$) oder der Häufigkeit des Auftretens von Klopfereignissen so groß wie möglich zu machen. Oftmals ist geringes Klopfen sogar erwünscht, beispielsweise um den Brennraum im Zylinder vor Ablagerungen zu „reinigen“, wobei aber natürlich die Klopfspitzen nicht zu groß werden dürfen um Motorschäden zu vermeiden. Die maximal erlaubten Klopfspitzen richten sich auch nach der mechanischen Belastbarkeit des Motors und weiters auch nach akustischen Erforder-

nissen, weil Klopfen ein störendes klingendes Geräusch emittiert. Es sei auch angemerkt, dass die Grenzamplitude KP_PK_G auch nach einem anderen Kriterium bestimmt werden könnte. Für die Klopfkalibrierung ist entscheidend, dass Parameter der Motorsteuerung, insbesondere Zündparameter wie der Zündwinkel, verstellt werden, um eine bestimmte, definierte Klopfgrenze KG einzustellen. Die dabei eingestellten Parameter der Motorsteuerung, insbesondere Zündparameter wie der Zündwinkel, werden dann für diesen Betriebspunkt in der Motorsteuerung hinterlegt, um damit den Verbrennungsmotor im Betrieb in Abhängigkeit von Betriebsparametern, die den Betriebspunkt definieren, (wie beispielsweise Drehzahl, Drehmoment, Verdichtungsverhältnis usw.) zu steuern. Es ist aus Fig.6 offensichtlich, dass sich für einen anderen Betriebspunkt aufgrund der Grundstörung eine andere Grenzamplitude KP_PK_G ergeben würde.

[0036] Die Verwendung eines Histogramms wie in der Fig.6 für die Klopfkalibrierung ist zwar vorteilhaft, weil Häufigkeiten H beurteilt werden, aber natürlich nicht zwingend erforderlich.

[0037] Um diesen negativen Einfluss der Grundstörungen bei der Klopfkalibrierung zu reduzieren ist erfindungsgemäß vorgesehen, dass die Grundstörung in den, beispielsweise in der Maximalwerterkennungseinheit 8, ermittelten Maximalamplituden KP_PK kompensiert wird. Hierfür wird eine Kompensationsamplitude KP_PK_{komp} ermittelt, die von den für die Klopfkalibrierung verwendeten Maximalamplituden KP_PK abgezogen wird, um absolute Maximalamplituden KP_PK_{abs} zu ermitteln, mit denen dann die Klopfkalibrierung durchgeführt wird. Die Kompensation kann anstelle von Differenzen natürlich in äquivalenter Weise auch anders durchgeführt werden. Beispielsweise kann aus der Kompensationsamplitude KP_PK_{komp} ein Gewichtungsfaktor ermittelt werden, mit dem die Maximalamplituden KP_PK gewichtet werden, um die absolute Maximalamplituden KP_PK_{abs} zu ermitteln.

[0038] Die Ermittlung der Kompensationsamplitude KP_PK_{komp} kann auf verschiedene Weise erfolgen.

[0039] Beispielsweise kann die minimale Maximalamplitude KP_PK_{min} einer Anzahl z , beispielsweise der letzten 10 bis 40 Arbeitstakte, betrachteter vergangener Arbeitstakten $Ak-1, \dots, Ak-z$ in der für die Klopfkalibrierung herangezogenen Anzahl i Arbeitstakte $Ak, \dots, Ak-i$ ermittelt werden und diese ermittelte minimale Maximalamplitude KP_PK_{min} als Kompensationsamplitude KP_PK_{komp} von den ermittelten i Maximalamplituden $KP_PK_k, \dots, KP_PK_{k-i}$ abgezogen werden. Die Anzahl z kann mit der Anzahl i übereinstimmen, kann aber auch größer oder kleiner als die Anzahl i sein. Die Ermittlung der Kompensationsamplitude KP_PK_{komp} wird vorzugsweise in jeden Arbeitstakt k aufs Neue ermittelt. In der Fig.5 ist beispielhaft eine minimale Maximalamplitude KP_PK_{min} eingezeichnet. Die minimale Maximalamplitude KP_PK_{min} könnte beispielsweise ebenso in der Maximalwerterkennungseinheit 8 ermittelt werden. Die kleinste Maximalamplitude KP_PK_{min} wird vorzugsweise in jedem aktuellen Arbeitstakt Ak aus den vergangenen z Arbeitstakten $Ak-1, \dots, Ak-z$ bestimmt.

[0040] In einer anderen Ausgestaltung könnte ein Mittelwert KP_PK_{mean} , beispielsweise ein arithmetischer oder geometrischer Mittelwert, über eine Anzahl m von vergangenen minimalen Maximalamplituden $KP_PK_{min1}, \dots, KP_PK_{minm}$ (was einer Anzahl m von Kompensationsamplituden KP_PK_{komp} entspricht) ermittelt werden, beispielsweise in der Form des arithmetischen Mittel-

werts $KP_PK_{mean} = \frac{\sum_{j=1}^m KP_PK_{minj}}{m}$, und der Mittelwert KP_PK_{mean} als Kompensationsamplitude KP_PK_{komp} von den für die Klopfkalibrierung herangezogenen Maximalamplituden $KP_PK_k, \dots, KP_PK_{k-i}$ abgezogen werden.

[0041] In einer weiteren möglichen Ausgestaltung könnten in der Anzahl z vergangener Arbeitstakten $Ak-1, \dots, Ak-z$ die Anzahl x kleinsten Maximalamplituden $KP_PK_{min1}, \dots, KP_PK_{minx}$ ermittelt werden und daraus ein Mittelwert KP_PK_{mean} , beispielsweise wieder ein arithmetischer oder geometrischer Mittelwert, ermittelt werden, der dann als Kompensationsamplitude KP_PK_{komp} von den für die Klopfkalibrierung herangezogenen Maximalamplituden $KP_PK_k, \dots, KP_PK_{k-i}$ abgezogen wird oder für eine Gewichtung verwendet.

[0042] Natürlich könnten der Mittelwert über eine Anzahl x kleinster Maximalamplituden $KP_PK_{min1}, \dots, KP_PK_{minx}$ und der Mittelwert über eine Anzahl m von vergangenen minimalen Maximalamplituden KP_PK_{min} miteinander auch kombiniert werden, um einen Mittelwert KP_PK_{mean} als Kompensationsamplitude KP_PK_{komp} zu ermitteln, der von den für die Klopfkalibrierung herangezogenen Maximalamplituden $KP_PK_k, \dots, KP_PK_{k-i}$ abgezogen wird oder für eine Gewichtung verwendet.

[0043] In einer weiteren möglichen Ausgestaltung kann auch eine Häufigkeit H_{komp} festgelegt werden, beispielsweise $H_{komp} = 85\%$, und im aktuellen Arbeitstakt A_k aus einer Anzahl z vergangener Arbeitstakte $A_{k-1}, \dots, A_{k-z}$, vorzugsweise $z = i$, die zugehörige Kompensationsamplitude KP_PK_{komp} bestimmt werden, beispielsweise aus einem Histogramm wie in der Fig.6, die der Häufigkeit H_{komp} entspricht. Die derart bestimmte Kompensationsamplitude KP_PK_{komp} wird dann von den für die Klopfkalibrierung herangezogenen Maximalamplituden $KP_PK_k, \dots, KP_PK_{k-i}$ abgezogen oder für eine Gewichtung verwendet.

[0044] Es wäre auch denkbar, die Kompensationsamplitude auf verschiedene, oben beschriebene Weisen zu ermitteln und dann zu mitteln und den derart gemittelten Wert oder den größten oder kleinsten Wert als Kompensationsamplitude KP_PK_{komp} zu verwenden und von den für die Klopfkalibrierung herangezogenen Maximalamplituden $KP_PK_k, \dots, KP_PK_{k-i}$ abzuziehen oder für eine Gewichtung zu verwenden.

[0045] Im Normalfall tritt Klopfen immer stochastisch, also zufällig in einzelnen Arbeitstakten auf. D.h. die Bestimmung der Kompensationsamplitude KP_PK_{komp} aus einigen vorhergehenden Arbeitstakten gewährleistet fast immer, dass zumindest einige nicht klopfende Arbeitstakte vorliegen um daraus aus den oben genannten Methoden die Grundstörung zu bestimmen. Um zu verhindern, dass in sehr stark klopfenden Betriebsbereichen des Motors in allen im Bewertungsfenster liegenden Arbeitstakten tatsächlich starkes Klopfen auftritt, kann die Kompensationsamplitude KP_PK_{komp} auf einen definierten maximalen Wert begrenzt werden, um die Kompensation abzusichern. Ansonsten könnte der Wert der Kompensationsamplitude KP_PK_{komp} der eigentlichen Klopfspitze entsprechen und ein „Hochziehen“ in immer stärkere Klopfereignisse könnte die Folge sein. Man könnte das alternativ auch unabhängig von den Klopfspitzen z.B. rein über den maximalen Zylinderdruck abfangen.

[0046] Die Ermittlung der Kompensationsamplitude KP_PK_{komp} und der absoluten Maximalamplituden KP_PK_{abs} kann in der Maximalwerterkennungseinheit 8, der Auswerteeinheit 9 oder einer anderen Einheit (Hardware und/oder Software) erfolgen.

[0047] Die Wirkung dieser Kompensationsmethoden ist insoweit gleich, als die Grundstörung in den ermittelten, für die Klopfkalibrierung verwendeten Maximalamplituden KP_PK entfernt wird, um absolute Maximalamplitude KP_PK_{abs} zu ermitteln, was in Fig.7 für die beiden Verläufe der Maximalamplituden KP_PK in Fig.5 dargestellt ist. Der Effekt wird insbesondere in einer Histogrammdarstellung deutlich, wie in Fig.8 dargestellt. Durch die Kompensation der Grundstörung wird der Einfluss des Betriebspunktes des Verbrennungsmotors (Drehzahl, Drehmoment, Verdichtungsverhältnis usw.) im Wesentlichen eliminiert. Es ist somit prinzipiell nur mehr erforderlich in einem einzigen Betriebspunkt die Klopfgrenze KG zu bestimmen, weil sich die Histogrammkurven in verschiedenen Betriebspunkten ähneln. Diese Klopfgrenze KG kann dann durch die Kompensation vorzugsweise in allen anderen Betriebspunkten herangezogen werden, was den Aufwand für die Klopfkalibrierung deutlich reduziert. Es wäre aber auch möglich an zwei bis fünf verschiedenen Betriebspunkten die Klopfgrenze KG zu bestimmen und diese Klopfgrenzen dann für andere Betriebspunkte im Umfeld des Betriebspunktes zu verwenden. Auch damit könnte der Aufwand der Klopfkalibrierung noch deutlich reduziert werden.

[0048] Für andere Betriebspunkte kann die ermittelte Klopfgrenze KG vorteilhafterweise herangezogen werden und Motorsteuerparameter der Motorsteuerung in einem Motorsteuergerät ECU zur Steuerung des Verbrennungsmotors 1, insbesondere Zündparameter wie der Zündwinkel, variiert werden, bis die Klopfgrenze KG eingehalten wird. Es können aber auch Parameter wie die Luftmasse, Luftverhältnis oder Ventil-Steuerzeiten eingestellt werden. Die derart ermittelten Parameter der Motorsteuerung, insbesondere Zündparameter wie der Zündwinkel, werden dann

zum Betriebspunkt in der Motorsteuerung zur Steuerung des Verbrennungsmotors 1 im normalen Betrieb hinterlegt. Damit kann ein Basisdatenstand für ein Motorsteuergerät ECU ermittelt werden, in dem der Zündwinkel, oder ein anderer oder zumindest ein weiterer Parameter, typischerweise in einem Drehmoment/Drehzahl Kennfeld, abgelegt ist. Natürlich können im Basisdatenstand auch noch weitere Abhängigkeiten des Parameters, wie beispielsweise die Abhängigkeit von einem variablen Verdichtungsverhältnis, abgebildet werden.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Klopfkalibrierung eines Verbrennungsmotors (1) bei dem der Verbrennungsmotor (1) auf einem Prüfstand (5) betrieben wird und dabei mittels eines Klopfensors (4) ein Klopfsignal (S) zumindest eines Zylinders des Verbrennungsmotors (1) erfasst und aus dem Klopfsignal (S) in einem Arbeitstakt (Ak) des Verbrennungsmotors (1) eine Maximalamplitude (KP_PK) einer mit dem Klopfsensor (4) aufgezeichneten Druckschwingung ermittelt wird und eine Anzahl in einem ersten Betriebspunkt des Verbrennungsmotors (1) aufgezeichneter Maximalamplituden (KP_PK) zur Klopfkalibrierung ausgewertet wird, **dadurch gekennzeichnet**, dass aus den Maximalamplituden (KP_PK) einer Anzahl im ersten Betriebspunkt aufgezeichneten Arbeitstakte (Ak) eine Kompensationsamplitude (KP_PK_{komp}) ermittelt wird, um die die Maximalamplituden (KP_PK) kompensiert werden, um eine Anzahl absoluter Maximalamplituden (KP_PK_{abs}) zu ermitteln, dass aus den absoluten Maximalamplituden (KP_PK_{abs}) eine Klopfgrenze (KG) im ersten Betriebspunkt ermittelt wird, dass in zumindest einem zweiten Betriebspunkt des Verbrennungsmotors (1) die im ersten Betriebspunkt ermittelte Klopfgrenze (KG) verwendet wird, um Motorsteuerparameter einer Motorsteuerung des Verbrennungsmotors (1) zu variieren, sodass die Klopfgrenze (KG) eingehalten wird und dass die dabei ermittelten Motorsteuerparameter in der Motorsteuerung zur Steuerung des Verbrennungsmotors (1) im zweiten Betriebspunkt hinterlegt werden.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die ermittelte Kompensationsamplitude (KP_PK_{komp}) von den Maximalamplituden (KP_PK) abgezogen wird oder aus der ermittelten Kompensationsamplitude (KP_PK_{komp}) ein Gewichtungsfaktor ermittelt wird, mit dem die Maximalamplituden (KP_PK) gewichtet werden.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine kleinste Maximalamplitude (KP_PK_{min}) einer Anzahl von Arbeitstakten (Ak) als Kompensationsamplitude (KP_PK_{komp}) ermittelt wird.
4. Verfahren nach Anspruch 2 oder 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass aus einer Anzahl ermittelter Kompensationsamplituden (KP_PK_{komp}) ein Mittelwert ermittelt wird, und der Mittelwert als Kompensationsamplitude für die Klopfkalibrierung verwendet wird.
5. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass Häufigkeiten (H) der Maximalamplituden (KP_PK) einer Anzahl von Arbeitstakten (Ak) ermittelt werden und als Kompensationsamplitude (KP_PK_{komp}) diejenige Maximalamplitude (KP_PK) verwendet wird, die einer vorgegebenen Häufigkeit (H_{komp}) entspricht.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Kompensationsamplitude (KP_PK_{komp}) auf einen vorgegebenen maximalen Wert begrenzt wird.
7. Prüfstand zur Klopfkalibrierung eines Verbrennungsmotors (1), wobei am Verbrennungsmotor (1) zumindest ein Klopfsensor (4) angeordnet ist, um ein Klopfsignal (S) zumindest eines Zylinders des Verbrennungsmotors (1) zu erfassen, und am Prüfstand (5) eine KlopfAuswerteeinheit (6) vorgesehen ist, die aus dem Klopfsignal (S) in einem Arbeitstakt (Ak) des Verbrennungsmotors (1) eine Maximalamplitude (KP_PK) einer mit dem Klopfsensor (S) aufgezeichneten Druckschwingung ermittelt und zur Klopfkalibrierung eine Anzahl in einem ersten Betriebspunkt des Verbrennungsmotors (1) aufgezeichneter Maximalamplituden (KP_PK) auswertet, **dadurch gekennzeichnet**, dass die KlopfAuswerteeinheit (6) aus den Maximalamplituden (KP_PK) einer Anzahl im ersten Betriebspunkt aufgezeichnete Arbeitstakte (Ak) eine Kompensationsamplitude (KP_PK_{komp}) ermittelt und die Maximalamplituden (KP_PK) mit der ermittelten Kompensationsamplitude (KP_PK_{komp}) kompensiert, um eine Anzahl absoluter Maximalamplituden (KP_PK_{abs}) zu ermitteln, dass die KlopfAuswerteeinheit (6) aus den absoluten Maximalamplituden (KP_PK_{abs}) eine Klopfgrenze (KG) im ersten Betriebspunkt ermittelt, dass der Prüfstand (5) den Verbrennungsmotor (1) in einem zweiten Betriebspunkt betreibt, und die KlopfAuswerteeinheit (6) im zweiten Betriebspunkt Motorsteuerparameter einer Motorsteuerung des Verbrennungsmotors (1) variiert, um die im ersten Betriebspunkt ermittelte Klopfgrenze (KG) einzuhalten und dass die KlopfAuswerteeinheit (6)

die dabei ermittelten Motorsteuerparameter in der Motorsteuerung zur Steuerung des Verbrennungsmotors (1) im zweiten Betriebspunkt hinterlegt.

Hierzu 4 Blatt Zeichnungen

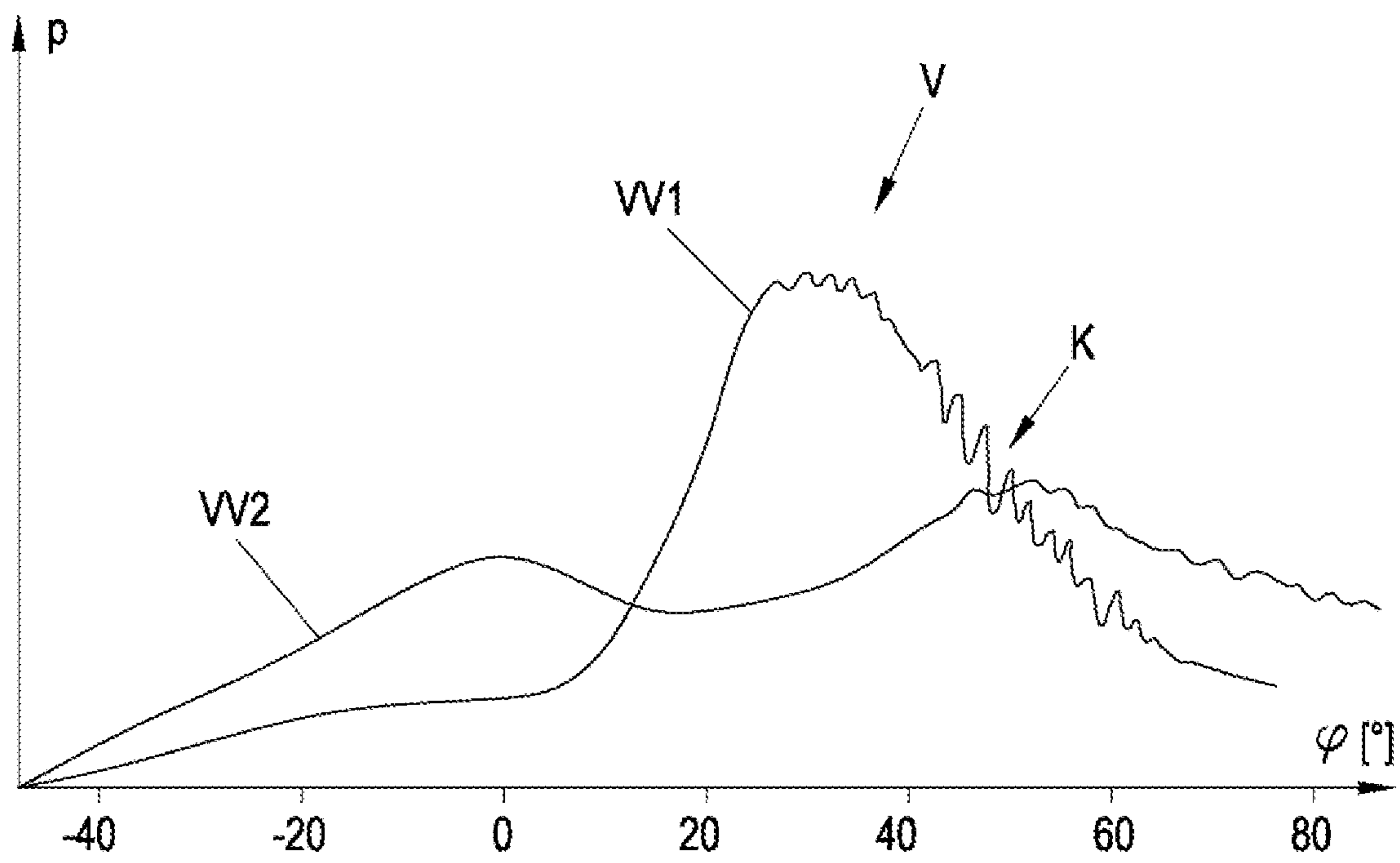


Fig. 1

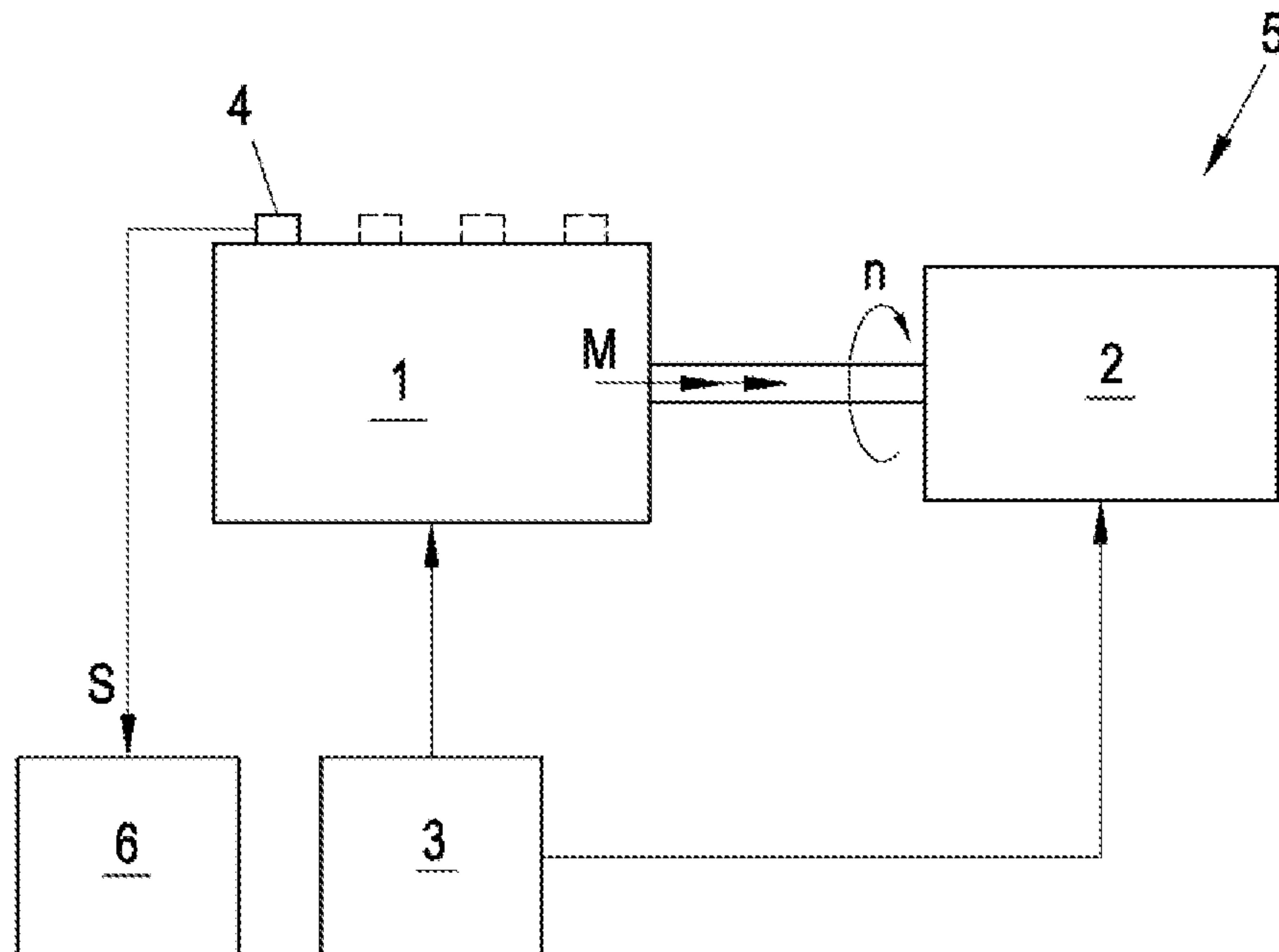


Fig. 2

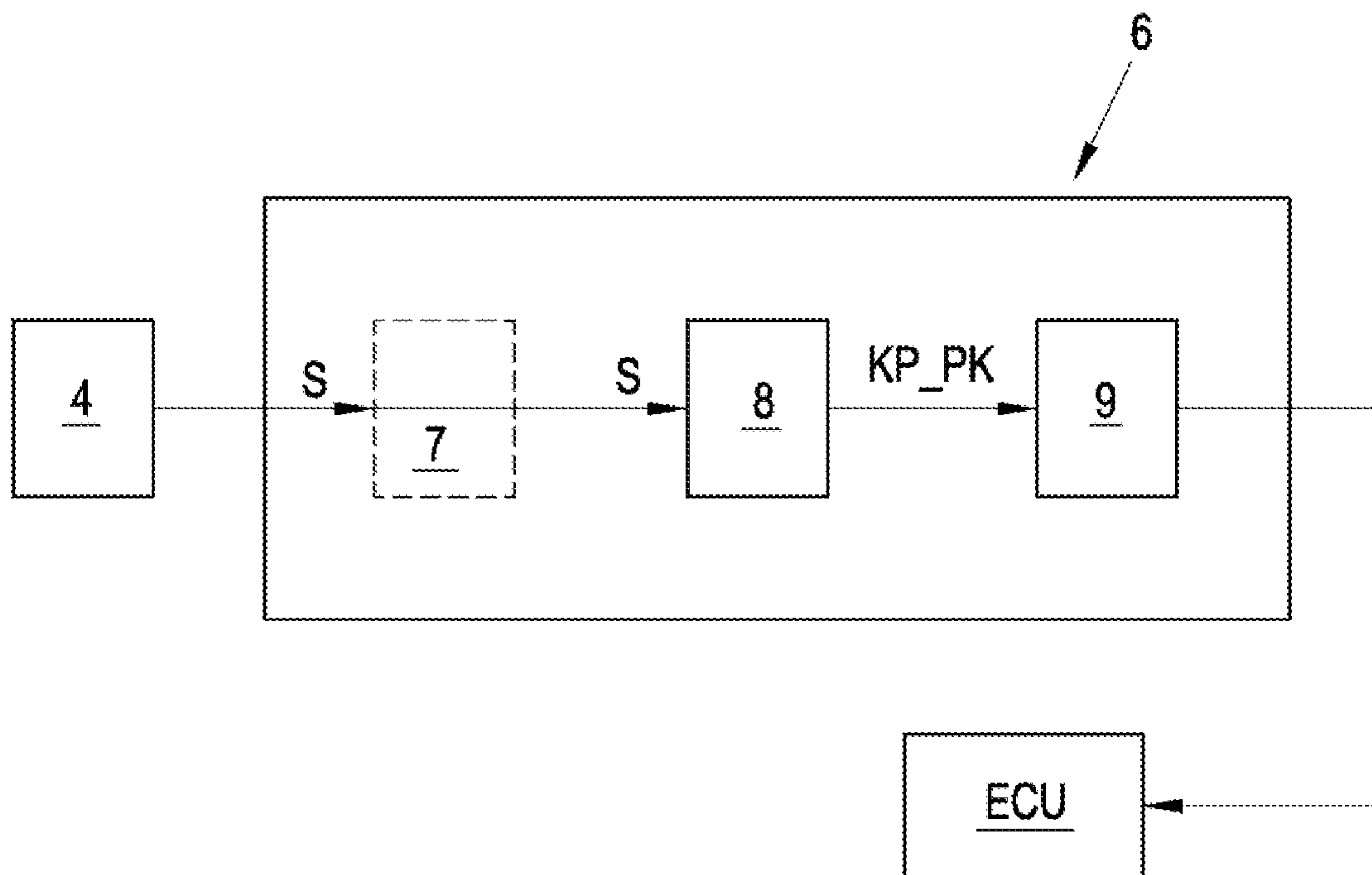


Fig. 3

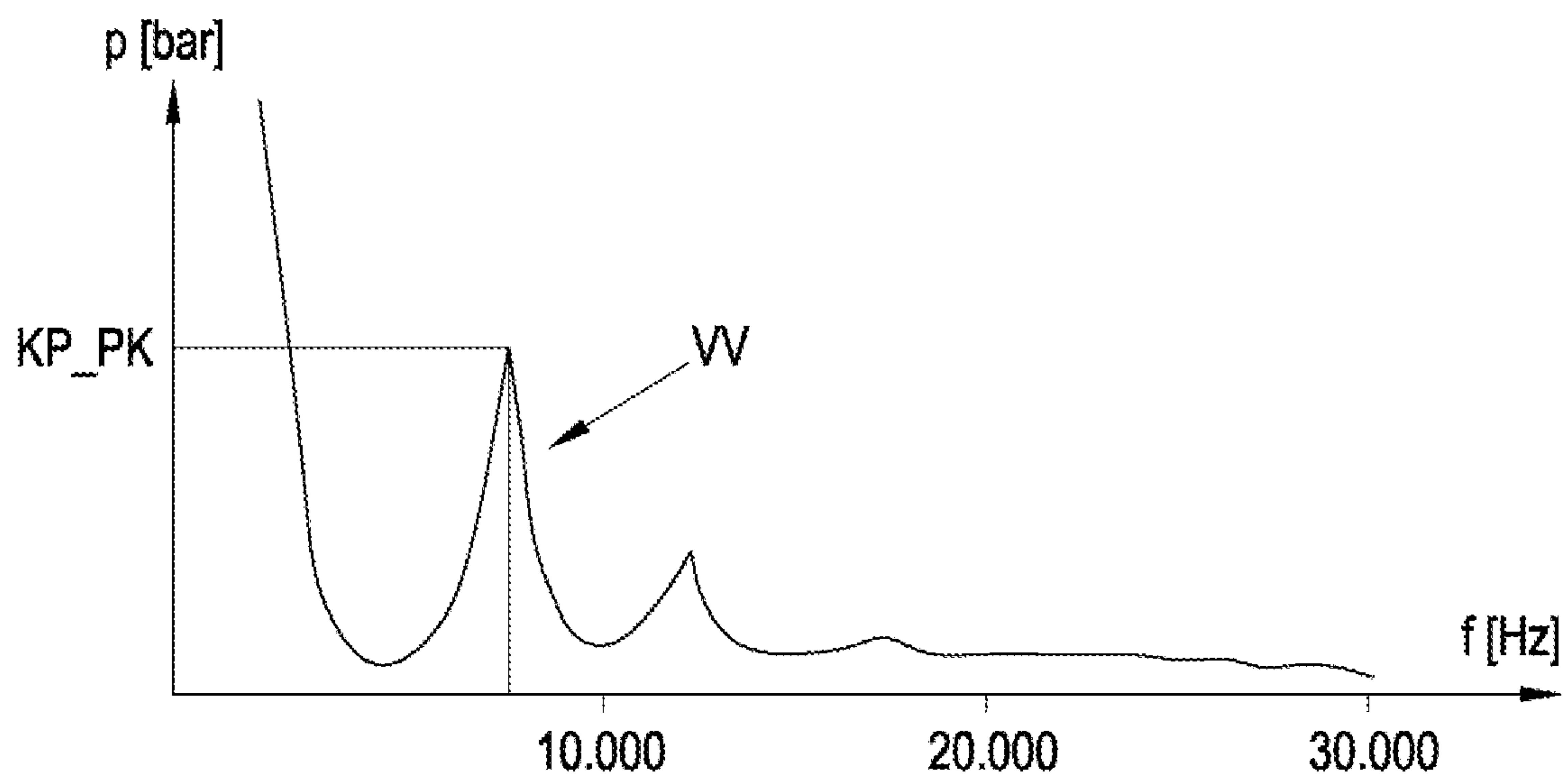
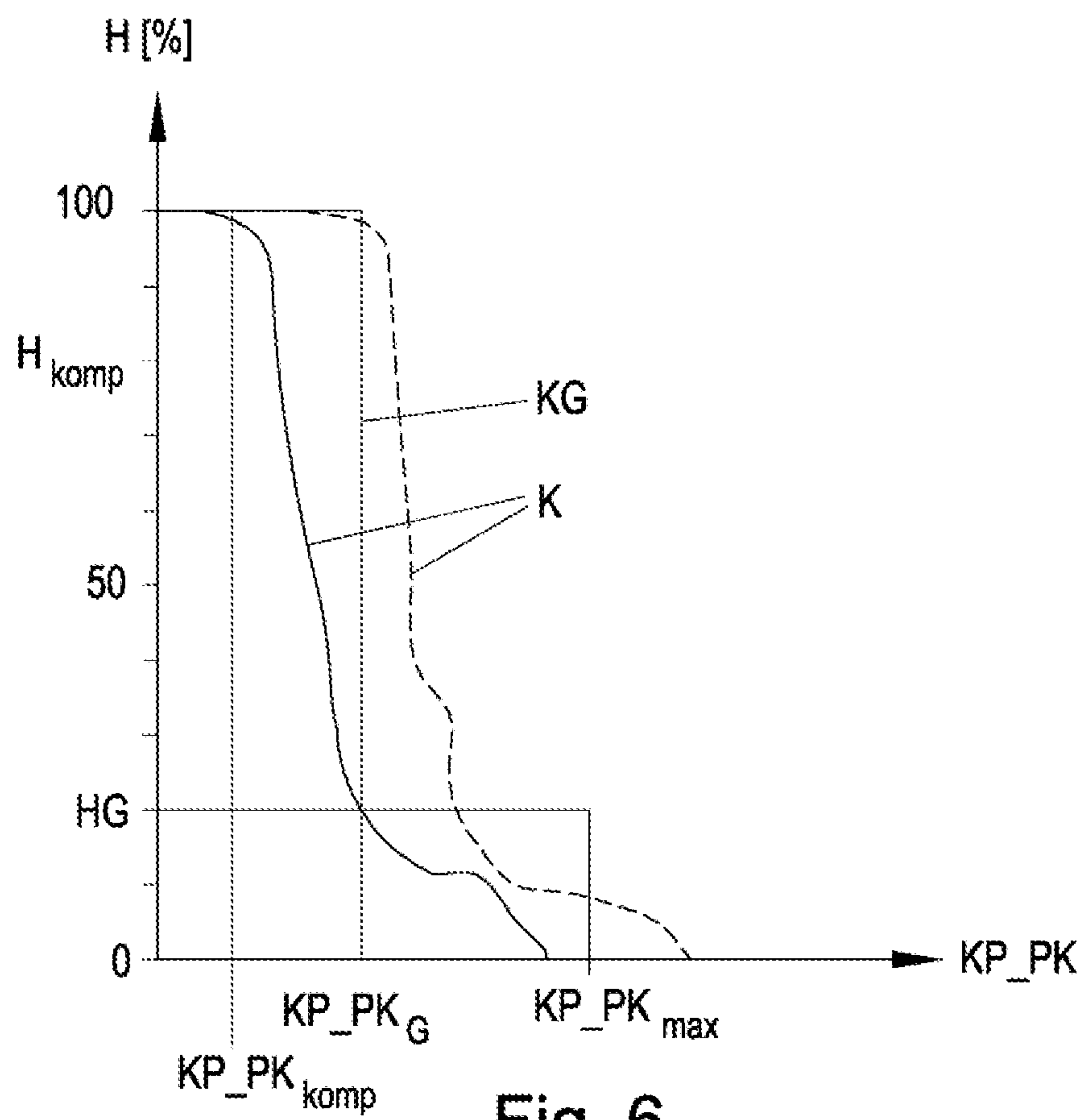
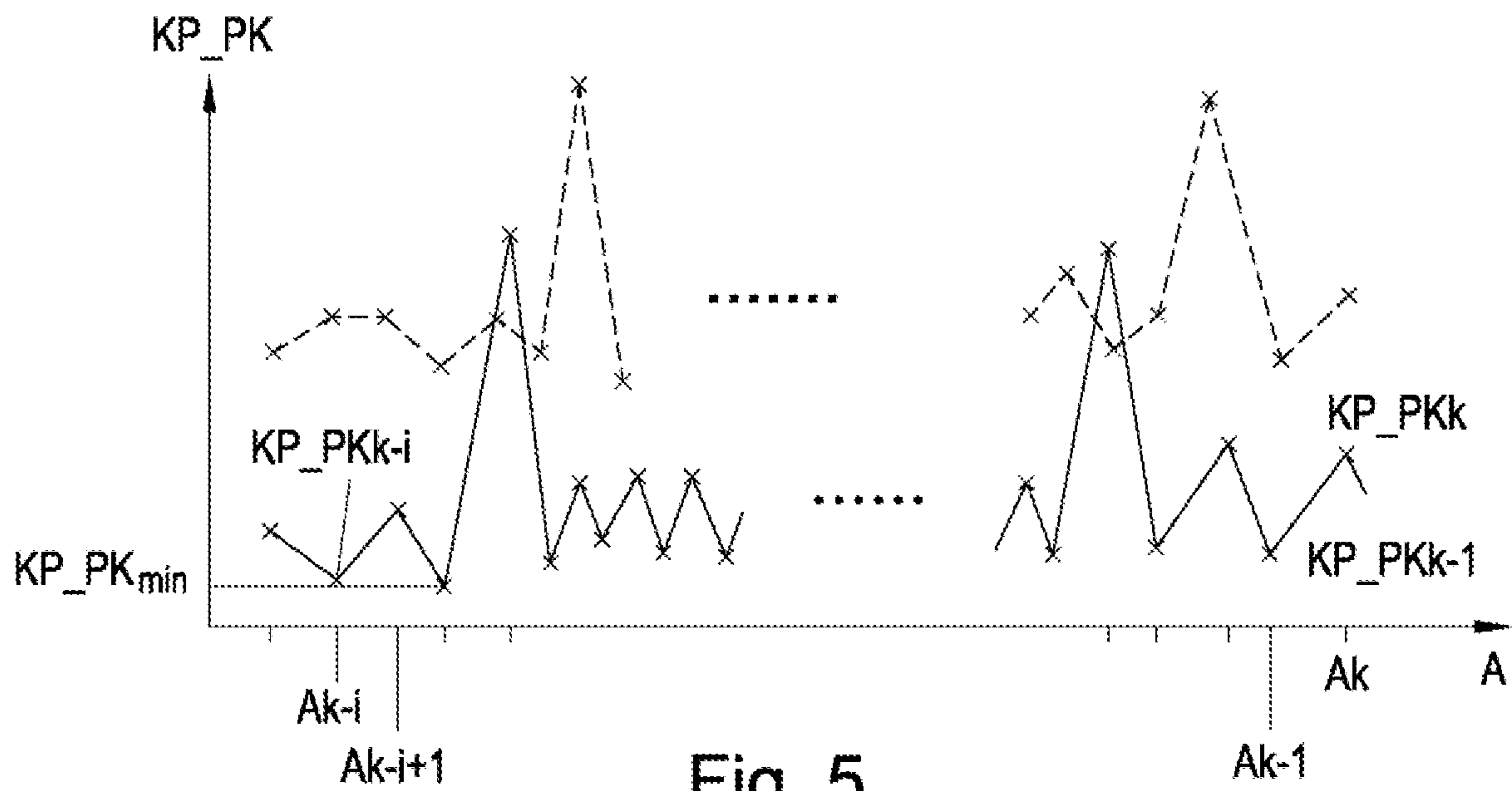


Fig. 4



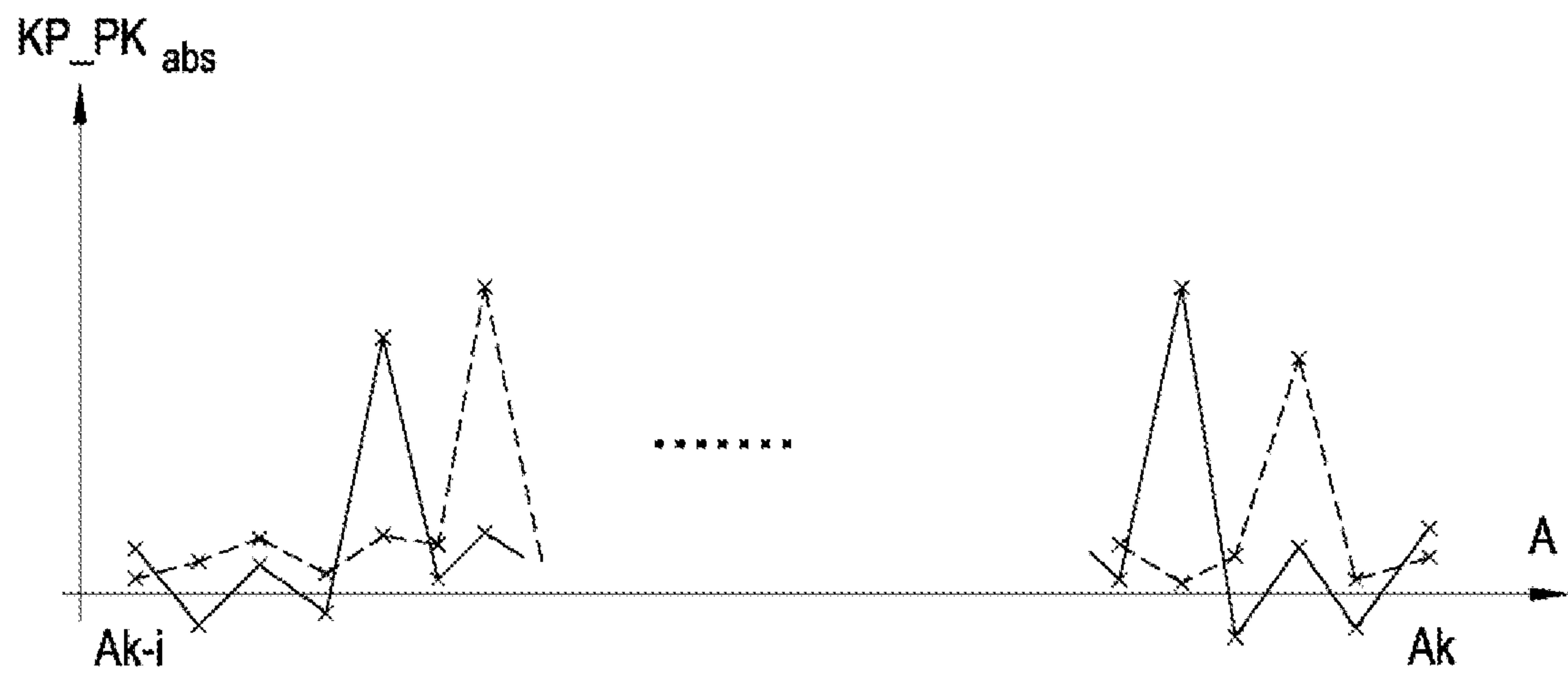


Fig. 7

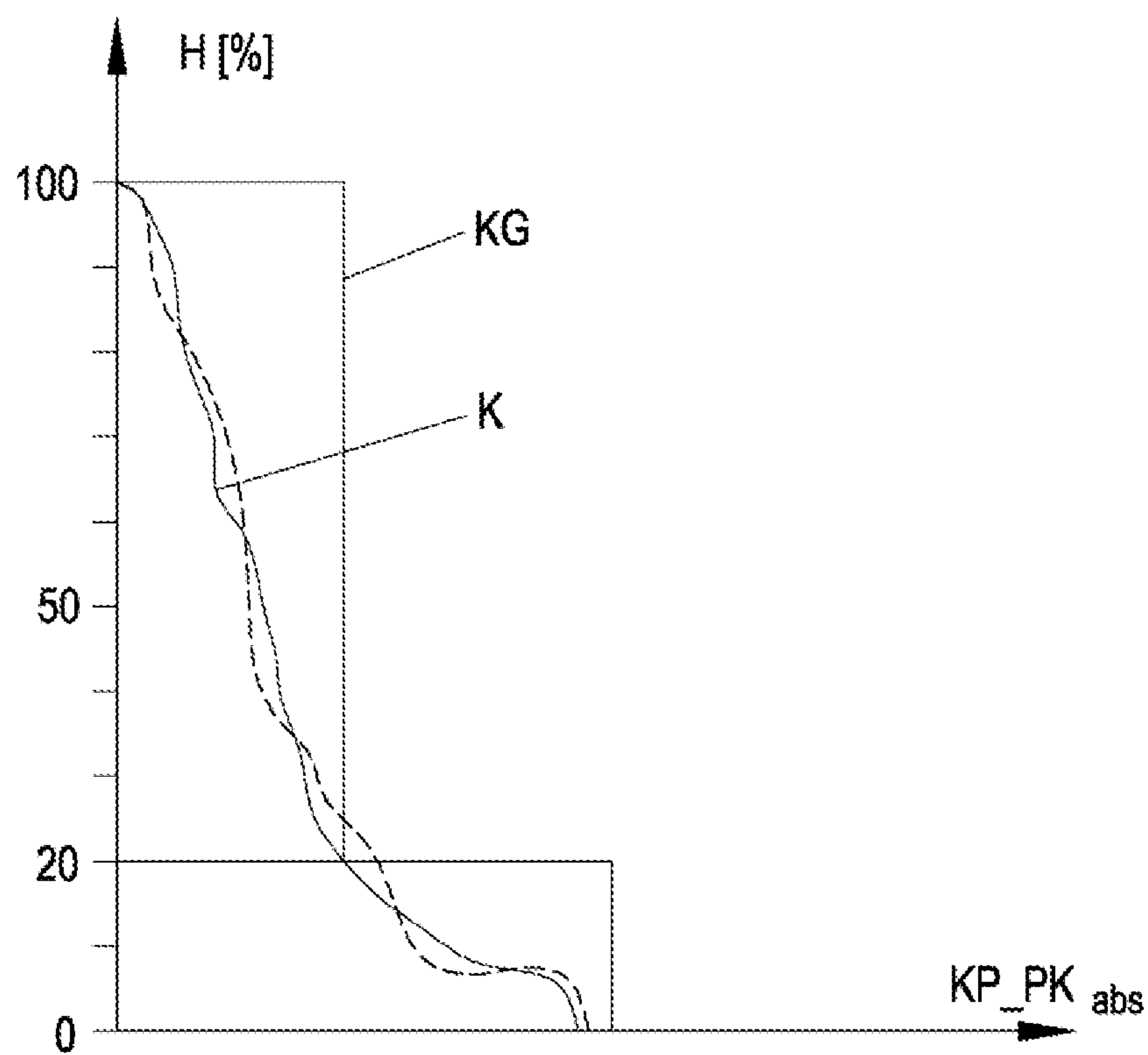


Fig. 8