



(19)

Europäisches Patentamt

European Patent Office

Office européen des brevets



(11)

EP 1 182 399 A2

(12)

## EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:  
27.02.2002 Patentblatt 2002/09

(51) Int Cl. 7: F23C 11/04

(21) Anmeldenummer: 01116012.4

(22) Anmeldetag: 02.07.2001

(84) Benannte Vertragsstaaten:

AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU  
MC NL PT SE TR

Benannte Erstreckungsstaaten:

AL LT LV MK RO SI

(30) Priorität: 21.08.2000 DE 10040868

(71) Anmelder: Alstom (Switzerland) Ltd  
5401 Baden (CH)

(72) Erfinder:

- Gutmark, Ephraim, Dr.  
Baton Rouge, CA 70810 (US)
- Paschereit, Christian Oliver, Dr.  
5400 Baden (CH)
- Weisenstein, Wolfgang  
5453 Remetschwill (CH)

(74) Vertreter: Pöpper, Evamaria, Dr. et al  
ALSTOM (Schweiz) AG Intellectual Property  
CHSP Haselstrasse 16/699, 5. Stock  
5401 Baden (CH)

### (54) Verfahren zur Reduzierung thermoakustischer Schwingungen in Strömungskraftmaschinen mit einem Brennsystem

(57) Beschrieben wird ein Verfahren zur Reduzierung thermoakustischer Schwingungen in einer Strömungskraftmaschine mit einem Brennsystem, das wenigstens einen Brenner vorsieht, in den über wenigstens eine Brennerdüse Brennstoff eingebracht wird, der mit in den Brenner einströmenden Verbrennungszu-

luft zu einem Brennstoff/Luftgemisch vermischt wird, das in einer, sich an das Brennsystem anschließenden Brennkammer zur Zündung gebracht wird,

Die Erfindung zeichnet sich dadurch aus, daß der Brennstoff durch die Brennerdüse in den Brenner gepulst mit variablen oder festen Frequenzen zwischen 1 Hz und 1000 Hz eingebracht wird.

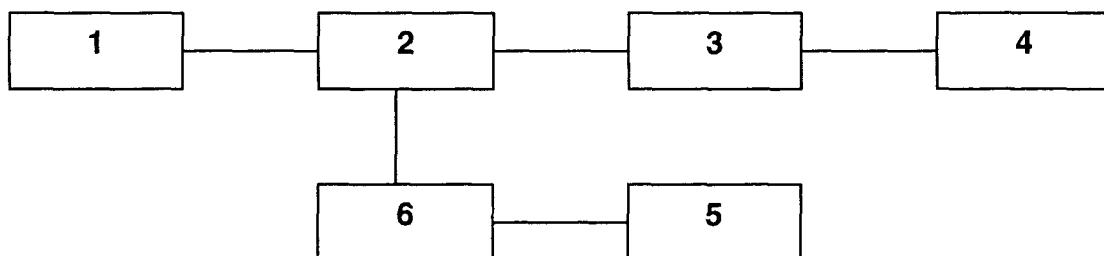


Fig. 1

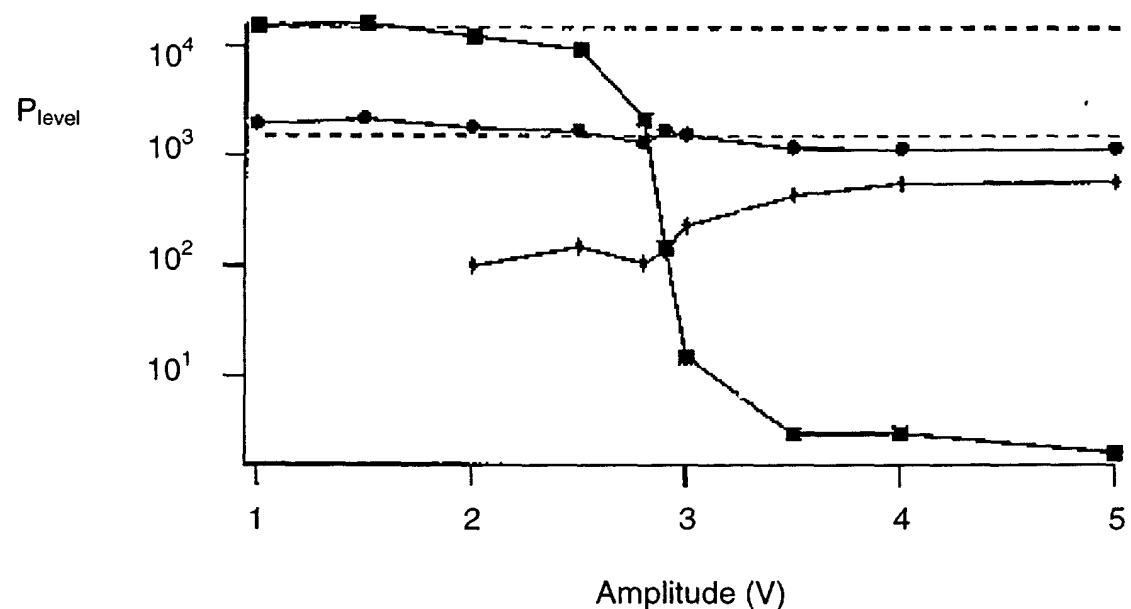


Fig. 2

## Beschreibung

### Technisches Gebiet

**[0001]** Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Reduzierung thermoakustischer Schwingungen in einer Strömungskraftmaschinen mit einem Brennersystem, das wenigstens einen Brenner vorsieht, in den über wenigstens eine Brennerdüse Brennstoff eingebracht wird, der mit in den Brenner einströmenden Verbrennungszuluft zu einem Brennstoff-/Luftgemisch vermischt wird, das in einer, sich an das Brennersystem anschließenden Brennkammer zur Zündung gebracht wird.

### Stand der Technik

**[0002]** Beim Betrieb von Strömungskraftmaschinen, wie beispielsweise Gasturbinenanlagen, treten in den Brennkammern häufig unerwünschte, so genannte thermoakustische Schwingungen auf, die am Brenner als strömungsmechanische Instabilitätswellen entstehen und zu Strömungswirbeln führen, die den gesamten Verbrennungsvorgang stark beeinflussen und zu unerwünschten periodischen Wärmefreisetzen innerhalb der Brennkammer führen, die mit starken Druckschwankungen verbunden sind. Mit den hohen Druckschwankungen sind hohe Schwingungsamplituden verknüpft, die zu unerwünschten Effekten, wie etwa zu einer hohen mechanischen Belastung des Brennkammergehäuses, einer erhöhten  $\text{NO}_x$ -Emission durch eine inhomogene Verbrennung und sogar zu einem Erlöschen der Flamme innerhalb der Brennkammer führen können.

**[0003]** Thermoakustische Schwingungen beruhen zumindest teilweise auf Strömungsinstabilitäten der Brennerströmung, die sich in kohärenten Strömungsstrukturen äußern, und die die Mischungsvorgänge zwischen Luft und Brennstoff beeinflussen.

**[0004]** Bei herkömmlichen Brennkammern wird Kühl Luft in Art eines Kühl luftfilms über die Brennkammerwände geleitet. Neben dem Kühleffekt wirkt der Kühl luftfilm auch schalldämpfend und trägt zur Verminderung von thermoakustischen Schwingungen bei. In modernen Gasturbinenbrennkammern mit hohen Wirkungsgraden, niedrigen Emissionen und einer konstanten Temperaturverteilung am Turbineneintritt ist der Kühl luftstrom in die Brennkammer deutlich reduziert und die gesamte Luft wird durch den Brenner geleitet. Jedoch reduziert sich zugleich auch der schalldämpfende Kühl luftfilm, wodurch die schalldämpfende Wirkung herabgesetzt wird und die mit den unerwünschten Schwingungen verbundenen Probleme wieder verstärkt auftreten.

**[0005]** Eine weitere Möglichkeit der Schalldämpfung besteht im Ankoppeln so genannter Helmholtz-Dämpfern im Bereich der Brennkammer oder der Kühl luftzu fuhr. Jedoch ist bei modernen Brennkammerkonstruk

tionen das Vorsehen derartiger Helmholtz-Dämpfer auf Grund enger Platzverhältnisse mit großen Schwierigkeiten verbunden.

**[0006]** Daneben ist bekannt, dass den im Brenner auftretenden strömungsmechanischen Instabilitäten und den damit verbundenen Druckschwankungen dadurch entgegengetreten werden kann, indem die Brennstoffflamme durch zusätzliche Eindüsung von Brennstoff stabilisiert werden kann. Eine derartige Eindüsung von zusätzlichem Brennstoff erfolgt über die Kopfstufe des Brenners, in der eine auf der Brennerachse liegende Düse für die Pilot-Brennstoffgaszuführung vorgesehen ist, was jedoch zu einer Anfettung der zentralen Flammstabilisierungszone führt. Diese Methode der

15 Verminderung von thermoakustischen Schwingungsamplituden ist jedoch mit dem Nachteil verbunden, dass die Eindüsung von Brennstoff an der Kopfstufe mit einer Erhöhung der Emission von  $\text{NO}_x$  einhergeht.

**[0007]** Zwar ist erkannt worden, dass eine gepulste 20 Zugabe von zusätzlichem Brennstoff über die Kopfstufe in den Brenner zu einer leichten Reduzierung von thermoakustischen Schwingungen führt, obwohl sich die Emissionswerte nur unwesentlich verschlechtern, doch können auf diese Weise insbesondere den sich in Gasturbinen aufgrund thermoakustischer Schwingungen ausbildenden Instabilitäten mit hohen Frequenzen im kHz-Bereich nur ungenügend entgegengetreten werden.

**[0008]** Gerade Instabilitäten im Strömungsfluß innerhalb des Brennersystems mit hohen Frequenzen sind mit den bisher bekannten technischen Mitteln schwierig zu kontrollieren. Versuche durch aktive Einflußnahme, bspw. durch gezieltes Einkoppeln von Antischallfeldern in das Brennersystem zur Unterdrückung der hochfrequenten Druckschwankungen schlugen mangels geeigneter Aktoren fehl, die gezielt Druckschwankungen mit hoher Amplitude zu erzeugen in der Lage sein sollten. Zudem müßten derartige Aktoren schnell ansprechbar sein und die Eigenschaft besitzen Anwortsignale auf 30 entsprechend gewonnene Instabilitätssignale in geeigneter Leistung zu generieren. Derartige Aktoren sind jedoch weder mit den gewünschten Eigenschaften verfügbar noch finanziell und in Bezug auf ihre Anfälligkeit im operativen Gebrauch tragbar.

### Darstellung der Erfindung

**[0009]** Der Erfindung liegt die Aufgabe zu Grunde ein Verfahren zur Reduzierung thermoakustischer Schwingungen in einer Strömungskraftmaschinen mit einem Brennersystem, das wenigstens einen Brenner vorsieht, in den über wenigstens eine Brennerdüse Brennstoff eingebracht wird, der mit in den Brenner einströmenden Verbrennungszuluft zu einem Brennstoff-/Luftgemisch vermischt wird, das in einer, sich an das Brennersystem anschließenden Brennkammer zur Zündung gebracht wird, derart weiterzubilden, dass hochfrequente thermoakustische Schwingungen effektiv und ohne

die Notwendigkeit kosten- und wartungsintensiver Komponenten unterdrückt werden können.

**[0010]** Die Lösung der der Erfindung zu Grunde liegenden Aufgabe ist im Anspruch 1 angegeben. Den Erfindungsgedanken vorteilhaft weiterbildende Merkmale sind Gegenstand der Unteransprüche sowie der Beschreibung zu entnehmen.

**[0011]** Erfindungsgemäß sieht das Verfahren gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1 vor, die hochfrequenten, verbrennungsgetriebenen Schwingungen oder auch thermoakustischen Schwingungen, wie sie bezeichnet werden, durch eine niederfrequente Anregung des Brennstoffmassenstromes zu unterdrücken. So wird erfindungsgemäß der Brennstoff durch die Brennerdüse in den Brenner gepulst mit variablen oder festen Frequenzen zwischen 0,1 Hz und 1000 Hz, vorzugsweise zwischen 1 und 20 Hz, eingebracht.

**[0012]** Durch eine derart mit niedrigen Frequenzen durchgeführte gepulste Einspeisung des Hauptbrennstoffes in den Brenner zur weiteren Vermischung zu einem Brennstoff/Luftgemisches ist es möglich, kommerziell erhältliche und zuverlässig arbeitende Akten für die Brennstoffanregung bzw. Brennstoffeinspeisung einzusetzen.

**[0013]** Die der Erfindung in unerwarteter Weise zugegrundeliegende Erkenntnis ist die Tatsache, dass unabhängig von der Ausbildung thermoakustischer Instabilitäten mit einem beträchtlichen hochfrequenten Anteil durch niederfrequente Modulation des Brennstoffmassenstromes durch gepulste Brennstoffeindüsing eben der hochfrequente Anteil der thermoakustischen Schwingungen wirkungsvoll unterdrückt werden kann.

**[0014]** Bislang herrschte die weitverbreitete Auffassung, dass es lediglich durch Einspeisung hochfrequenter Gegenschwingungen möglich sei den hochfrequenten Instabilitäten zu begegnen. Hält man sich jedoch den treibenden Mechanismus für die Ausbildung thermoakustischer Instabilitäten vor Augen, so basieren diese zum einen auf kohärente Wirbelablösungen, die bspw. unmittelbar nach dem Brenneraustritt entstehen, und zum anderen auf Mischungsbruchschwankungen während der Durchmischung des Brennstoffes mit der Verbrennungszuluft in der Vormischstufe. Beeinflusst man nun die Phasenlage zwischen der Brennstoffeindüsing und der periodischen Wärmefreisetzung aufgrund eines der Anregungsmechanismen, kann man die Verbrennungsinstabilitäten kontrollieren. Insbesondere gilt es die Phasenlage zwischen der periodischen Wärmefreisetzung und der Brennstoffeindüsing derart zu stören, so dass das sogenannte Rayleigh-Kriterium nicht mehr erfüllt ist. Auf diese Weise kann der treibende Mechanismus für das Auftreten von thermoakustischen Schwingungen unterbunden werden.

Zur Unterdrückung der verbrennungsgetriebenen Schwingungen gilt es insbesondere, die Phasen der Brennstoffeindüsing und der Wärmefreisetzung derart zu korrelieren, daß das Rayleigh-Kriterium nicht erfüllt ist. Es gilt:

$$G(x) = 2 \int |S_{pq}(x, f)| \cos(\Phi_{pq}) df$$

**[0015]** Spq stellt hierbei das Kreuzspektrum zwischen Druckfluktuationen  $p'$  und Fluktuationen der Wärmefreisetzung  $q'$  dar und  $\phi_{pq}$  die Phasendifferenz. Durch Wahl der korrekten Phasendifferenz zwischen der Wärmefreisetzung, die durch die modulierte Brennstoffeindüsing beeinflusst ist, und dem Drucksignal kann der Rayleigh-Index auf  $G(x) < 0$  eingestellt werden, wodurch das System gedämpft ist.

**[0016]** Die Unterdrückung der verbrennungsgetriebenen Schwingungen beruht daher darauf, daß die Phasen der Brennstoffeindüsing und der Wärmefreisetzung nicht in der Art korreliert sind, daß das Rayleigh-Kriterium erfüllt ist.

### Kurze Beschreibung der Erfindung

**[0017]** Die Erfindung wird nachstehend ohne Beschränkung des allgemeinen Erfindungsgedankens anhand von Ausführungsbeispielen unter Bezugnahme auf die Zeichnung exemplarisch. Es zeigen:

**Fig. 1** Blockdiagramm zur Darstellung einer verwendeten Steuerkette zur Unterdrückung thermoakustischer Schwingungen innerhalb eines Brennersystems und

**Fig. 2** Diagramm zur Darstellung der Effizienz des erfindungsgemäßen Verfahrens.

### Wege zur Ausführung der Erfindung, gewerbliche Verwendbarkeit

**[0018]** Aus einem Brennstoffreservoir 1 gelangt flüssiger oder gasförmiger Brennstoff über eine Einspritzdüse 2 in das Innere eines Brenners 3, in dem der zerstäubte Brennstoff zusammen mit Verbrennungsluft ein Brennstoff-/Luftgemisch bildet, das nach vollständiger Durchmischung in die Brennkammer 4 gelangt, in der es gezündet wird und für den Betrieb bspw. einer Gasturbine zur weiteren Verfügung steht.

**[0019]** Die Einspritzdüse 2 ist derart ansteuerbar, dass ihre Düsenöffnung schließbar ist, sodass in Abhängigkeit der Ansteuerung der Einspritzdüse 2 ein gepulster Brennstoffeintrag in den Brenner 3 möglich ist. Zur Ansteuerung der Einspritzdüse 2 ist ein Frequenzgenerator 5 vorgesehen, dessen Steuersignale von einer Verstärkungseinheit 6 verstärkt und der Einspritzdüse 2 zugeleitet werden. Am Frequenzgenerator 5 können beliebig vorgebbare Frequenzwerte eingestellt werden, die die Pulsfrequenz des Brennstoffeintrages in den Brenner 3 vorgeben. In aller Regel bieten sich hierfür empirisch ermittelte Frequenzen an, bei denen eine wirkungsvolle Unterdrückung thermoakustischer Instabilitäten zu beobachten sind.

**[0020]** In Figur 2 ist ein Diagramm dargestellt, anhand

dem die Wirkung der erfindungsgemäßen Massnahme für die Ausbildung von thermoakustischen Schwingungen im kHz-Bereich zu entnehmen ist.

[0021] Im Diagramm sind entlang der Abszisse Amplitudenwerte von Druckschwingungen und entlang der Ordinate eine Skala aufgetragen, die die Stärke der Ausbildung von Druckschwingungen wiedergibt.

[0022] Die eingetragene Linie mit den ausgefüllten Quadraten stellt eine Hauptinstabilität im kHz Bereich dar. Durch die Einprägung einer niederfrequenten Anregung (siehe die Linie mit den ausgefüllten Rauten), deren Frequenz bei 1.5% der Instabilitätsfrequenz lag, konnte die hochfrequente Instabilität um 39 dB unterdrückt werden. Hierbei wird lediglich die Amplitude des Anregungssignal verändert, seine Frequenz bleibt im gezeigten Fall der Figur 2 konstant.

[0023] Eine zweite Instabilität mit einer etwas kleineren Amplitude im 100 Hz Bereich, siehe die Linie mit den ausgefüllten Kreisen, konnte ebenfalls um etwa 2 dB weiter unterdrückt werden.

[0024] Ferner kann beobachtet werden, daß auch die Amplitude der Anregung nur gering ansteigt und noch 5 dB unter dem Pegel der niederfrequenten Instabilität ohne Kontrolle lag und 14 dB unter dem Pegel der hochfrequenten Schwingung.

#### Bezugszeichenliste

##### [0025]

- 1 Brennstoffreservoir
- 2 Einspritzdüse
- 3 Brenner
- 4 Brennkammer
- 5 Frequenzgenerator
- 6 Verstärkereinheit

#### Patentansprüche

1. Verfahren zur Reduzierung thermoakustischer Schwingungen in einer Strömungskraftmaschinen mit einem Brennersystem, das wenigstens einen Brenner (3) vorsieht, in den über wenigstens eine Brennerdüse (2) Brennstoff eingebracht wird, der mit in den Brenner (3) einströmenden Verbrennungszuluft zu einem Brennstoff/Luftgemisch vermischt wird, das in einer, sich an das Brennersystem anschließenden Brennkammer (4) zur Zündung gebracht wird,  
**dadurch gekennzeichnet, dass** der Brennstoff durch die Brennerdüse (2) in den Brenner (3) gepulst mit variablen oder festen Frequenzen zwi-

schen 1 Hz und 1000 Hz eingebracht wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1,  
**dadurch gekennzeichnet, dass** die gepulste Brennstoffzugabe durch die Brennerdüse (2) derart erfolgt, dass sich die Ausbildung des Brennstoff-/Luftgemisch ebenso gepulst erfolgt.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2,  
**dadurch gekennzeichnet, dass** die gepulste Brennstoffzugabe unabhängig von sich im Brenner- system ausbildenden thermoakustischen Schwingungen, d.h. in einem "open loop", erfolgt.
- 15 4. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2,  
**dadurch gekennzeichnet, dass** die gepulste Brennstoffzugabe mit einer Frequenz erfolgt, die etwa bei 1,5 % der Frequenz liegt, mit der sich die thermoakustischen Schwingungen ausbilden.
- 20 5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4,  
**dadurch gekennzeichnet, dass** das unmittelbar aus dem Brenner (3) ausströmende Brennstoff-/Luftgemisch im Rahmen einer Vormischstufe möglichst vollständig durchmischt wird, bevor das Gemisch in der Brennkammer (4) gezündet wird.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5,  
**dadurch gekennzeichnet, dass** zur Erzeugung des Brennstoff-/Luftgemisches ein Brenner verwendet wird, der aus mindestens zwei hohlen, in Strömungsrichtung des Brennstoff-/Luftgemisches ineinandergeschachtelten Teilkörpern besteht, deren Mittelachsen zueinander versetzt laufen, dergestalt, dass benachbarte Wandungen der Teilkörper tangentiale Lufteintrittskanäle für die Einströmung von Verbrennungsluft in einen von den Teilkörpern vorgegebenen Innenraum bilden, und wobei der Brenner zumindest eine axial angeordnete Brennstoffdüse, durch die der Brennstoff gepulst eingedüst wird, aufweist.
- 30 7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6,  
**dadurch gekennzeichnet, dass** als Strömungskraftmaschinen Gasturbinenanlagen verwendet werden.

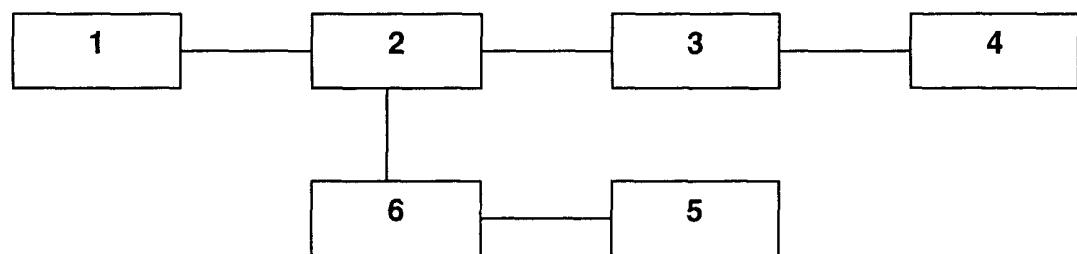


Fig. 1

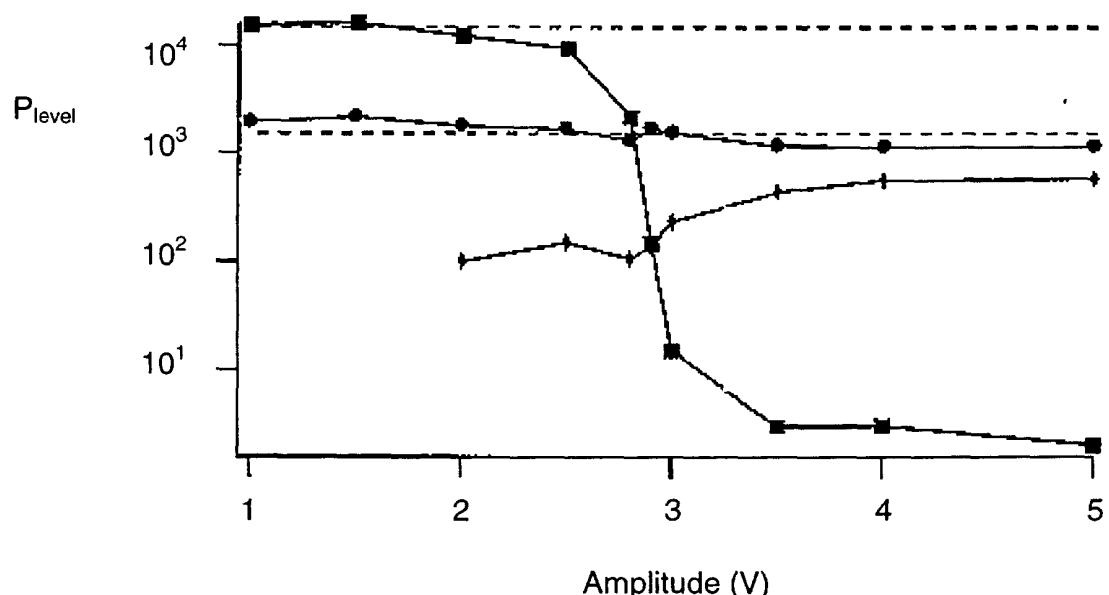


Fig. 2