



SCHWEIZERISCHE Eidgenossenschaft
Eidgenössisches Institut für Geistiges Eigentum

(11) **CH** **701 486 B1**

(51) Int. Cl.: **G08C** 17/00 (2006.01)
G01D 3/036 (2006.01)
G01M 15/14 (2006.01)

Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein

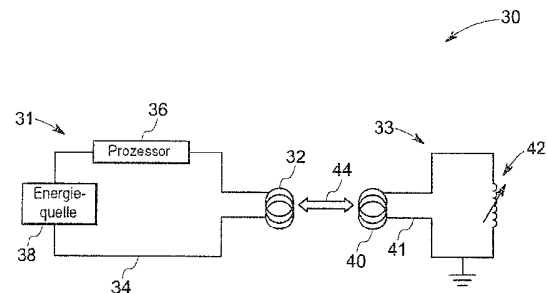
Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

(12) **PATENTSCHRIFT**

(21) Anmeldenummer:	01221/10	(73) Inhaber:	General Electric Company, 1 River Road Schenectady, New York 12345 (US)
(22) Anmeldedatum:	23.07.2010	(72) Erfinder:	Ertugrul Berkcan, Clifton Park, New York 12065 (US) Canan Uslu Hardwicke, Simpsonville, South Carolina 29681 (US)
(43) Anmeldung veröffentlicht:	31.01.2011	(74) Vertreter:	R. A. Egli & Co. Patentanwälte, Horneggstrasse 4 8008 Zürich (CH)
(30) Priorität:	28.07.2009 US 12/510,302		
(24) Patent erteilt:	30.06.2016		
(45) Patentschrift veröffentlicht:	30.06.2016		

(54) **System und Verfahren zur Messung von Betriebsparametern einer rotierenden Maschine.**

(57) Geschaffen ist ein System (30) zum Messen mehrerer Betriebsparameter einer rotierenden Maschine in einer Umgebung bei Temperaturen eines Heissgaspfads oder bei Minustemperaturen. Das System (30) enthält ein erstes Sende/Empfangssystem (31), das dazu eingerichtet ist, elektromagnetische Signale zu senden/empfangen. Das System (30) enthält ferner einen Schaltkreis (34) mit einer modulierbaren Impedanz. Das System (30) enthält ferner ein zweites Sende/Empfangssystem (33), das wenigstens teilweise auf der rotierenden Maschine angeordnet ist, und das in der Lage ist, Signale aufgrund der Modulation einer Impedanz eines Schaltkreises des zweiten Sende/Empfangssystems an das erste Sende/Empfangssystem (31) drahtlos zu übermitteln. Das zweite Sende/Empfangssystem (33) enthält ausserdem ein Sensorsystem mit Sensorkomponenten (42), in Antwort zu der die Impedanz eines Schaltkreises des zweiten Sende/Empfangssystems modulierbar ist. Das System weist ferner einen Prozessor (36) auf, der mit dem ersten Sende/Empfangssystem (31) verbunden ist. Der Prozessor (36) ist dazu eingerichtet, die mehreren Betriebsparameter des in der rotierenden Maschine auf der Grundlage der Modulation der Impedanz des Schaltkreises des ersten Sende/Empfangssystems zu bestimmen.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein System zum Messen von Betriebsparametern einer rotierenden Maschine bei extremen Temperaturen.

[0002] Sich bewegende Objekte in rotierenden Maschinen, beispielsweise Schaufeln in einem Flugzeugtriebwerk oder in einem Verdichter, können während des Betriebs in einer aggressiven Umgebung Spannungen unterworfen sein. Auch stationäre Objekte der Maschinen, beispielsweise Brennkammerwände, Leitapparate oder Mäntel, können aufgrund extremer Betriebsbedingungen, beispielsweise in einem Heissgaspfad oder unter Minustemperaturbedingungen, Druck- oder Zugspannungen erfahren. Solche in den Objekten auftretenden Druck- oder Zugspannungen können die Maschinen beschädigen. Ein genaues Messen von Betriebsparametern der Objekte, z.B. Temperatur und Spannung, ist erforderlich, um in der Maschinenanlage auftretende Schäden zu korrigieren oder zu verhindern. Ein Ansatz zum Messen von Betriebsparametern in der Maschinenanlage basiert darauf, verdrahtete Sensoren zu verwenden, die zwischen einer rotierende Komponente und einem stationären Teil der rotierenden Maschine unter Verwendung von Schleifringen zu verdrahten sind. Allerdings ist ein Ansatz, der eine Verdrahtung nutzt, teilweise aufgrund der im Langzeitbetrieb auftretenden hohen Temperatur der Maschinenanlage möglicherweise kompliziert, kostspielig und unzuverlässig, da die elektronischen Eigenschaften der Verdrahtung den Bereich von Temperaturen einschränken können, in dem ein über Drähte verbundener Sensor in der Lage ist, genau zu arbeiten.

[0003] Aufgrund der oben erwähnten Beschränkungen verdrahteter Sensoren, können Betriebsparametermesswerte einer Maschine lediglich während eines Tests der Maschinenanlage gewonnen werden. Um einen zuverlässigen Betrieb zu gewährleisten, ist allerdings eine Überwachung von Betriebsparametern über die gesamte Lebensdauer der Maschinenanlage erwünscht. Im Feldeinsatz gewonnene Betriebsparametermesswerte können mit Steuerungsparametern korreliert werden, um einen Feldbetrieb der Maschinenanlage zu optimieren. Im Laufe der Zeit beobachtete Änderungen der Betriebsparametermesswerte können ausserdem genutzt werden, um den Nutzungszustand der Objekte oder der Komponenten der Maschinenanlage zu bewerten, so dass eine angemessene Wartungsplanung ermöglicht wird. Dementsprechend besteht nach dem Stand der Technik ein Bedarf nach einem für aggressive Umgebung geeigneten Sensorsystem, das über einen weiten Bereich von Temperaturen und Bedingungen genau arbeitet, und das über die gesamte Lebensdauer der Maschinenanlage genutzt werden kann. Es ist ebenfalls gewünscht, dass dieses für aggressive Umgebung geeignete Sensorsystem bei hohen Temperaturen von über 260 °C (500 °F) drahtlos arbeitet, wo herkömmliche Elektronik nicht ausreichend zuverlässig ist.

Kurzbeschreibung der Erfindung

[0004] Gemäss der Erfindung ist nach Anspruch 1 ein System zum Messen mehrerer Betriebsparameter einer rotierenden Maschine in einer aggressiven Umgebung bei Temperaturen zwischen 427 °C bis 1371 °C oder Minustemperaturen, wobei das System aufweist:

ein erstes Sende/Empfangssystem, das dazu eingerichtet ist, elektromagnetische Signale drahtlos zu senden/empfangen;
ein zweites Sende/Empfangssystem, das wenigstens teilweise auf der rotierenden Maschine angeordnet ist, und das in der Lage ist, elektromagnetische Signale an das erste Sende/Empfangssystem drahtlos zu übermitteln und elektromagnetische, vom ersten Sende/Empfangssystem drahtlos übermittelte Signale zu empfangen;

wobei das erste Sende/Empfangssystem und das zweite Sende/Empfangssystem jeweils einen Schaltkreis umfassen, dessen Impedanz modulierbar ist; und

wobei die Übermittlung zwischen dem ersten und zweiten Sende/Empfangssystemen durch eine Modulation der Impedanz des Schaltkreises des ersten Sende/Empfangssystems aufgrund einer Modulation der Impedanz des Schaltkreises des zweiten Sende/Empfangssystems bewirkbar ist, wobei das zweite Sende/Empfangssystem ein Sensorsystem mit Sensor-Komponenten zum Erfassen der Betriebsparameter enthält, wobei die Impedanz des Schaltkreises des zweiten Sende/Empfangssystems in Antwort auf die von den Sensorkomponenten erfassten Betriebsparameter veränderbar ist; und
ein Prozessor, der mit dem ersten Sende/Empfangssystem verbunden ist, wobei der Prozessor dazu eingerichtet ist, die mehreren Betriebsparameter der rotierenden Maschine auf der Grundlage der modulierten Impedanz des Schaltkreises des ersten Sende/Empfangssystems zu bestimmen.

[0005] Gemäss der Erfindung ist ausserdem nach Anspruch 9 ein Verfahren zum Messen von Betriebsparametern einer rotierenden Maschine mittels eines Systems gemäss Anspruch 1 mit den Schritten offenbart:

Senden/Empfangen elektromagnetischer Signale über das erste Sende/Empfangssystem;

Modulieren einer Impedanz des Schaltkreises des ersten Sende/Empfangssystems über eine drahtlose Kopplung mit dem zweiten Sende/Empfangssystem aufgrund einer Modulation der Impedanz des Schaltkreises des zweiten Sende/Empfangssystems, wobei das zweite Sende/Empfangssystem wenigstens teilweise auf der rotierenden Maschine angeordnet ist und wobei die Impedanz des Schaltkreises des zweiten Sende/Empfangssystems in Antwort auf die von den Sensor-Komponenten erfassten Betriebsparameter verändert wird; und

Berechnen der Betriebsparameter der rotierenden Maschine mittels des Prozessors auf der Grundlage der Modulation der Impedanz des Schaltkreises des ersten Sende/Empfangssystems.

Kurzbeschreibung der Zeichnungen

[0006] Diese und weitere Merkmale und Vorteile der vorliegenden Erfindung werden nach dem Lesen der nachfolgenden detaillierten Beschreibung in Verbindung mit den beigefügten Zeichnungen verständlicher, in denen übereinstimmende Teile durchgängig mit übereinstimmenden Bezugszeichen versehen sind:

- Fig. 1 zeigt einen Querschnitt einer rotierenden Maschine, beispielsweise ein Turbintriebwerk, und veranschaulicht ein Ausführungsbeispiel eines für aggressive Umgebung geeigneten drahtlosen Sensorsystems, das mit der rotierenden Maschine verbunden ist.
- Fig. 2 zeigt ein Blockschaltbild, das ein für aggressive Umgebung geeignetes Sensorsystem gemäss einem Ausführungsbeispiel der Erfindung repräsentiert.
- Fig. 3 zeigt noch ein Ausführungsbeispiel eines für aggressive Umgebung geeigneten Sensorsystems.
- Fig. 4 zeigt ein Blockschaltbild, das ein für aggressive Umgebung geeignetes Sensorsystem repräsentiert, das gemäss einem Ausführungsbeispiel der Erfindung konstruiert ist.
- Fig. 5 zeigt ein Blockschaltbild, das ein zweites Sende/Empfangssystem gemäss einem Ausführungsbeispiel der Erfindung veranschaulicht.
- Fig. 6 zeigt ein Flussdiagramm eines Verfahrens zum Messen eines Betriebsparameters eines Objekts in einer aggressiven Umgebung.

Ausführliche Beschreibung

[0007] Wie nachfolgend im Einzelnen erörtert, betreffen Ausführungsbeispiele der Erfindung ein für aggressive Umgebung geeignetes Sensorsystem und ein Verfahren zum Messen von Betriebsparametern eines Objekts in einer aggressiven Umgebung. In dem hier verwendeten Sinne bezeichnet der Begriff «aggressive Umgebung» einen Raum in einer Gasturbine. Temperaturen in einem hier mit «aggressiven Umgebung» bezeichneten Raum in einer Gasturbine können beispielsweise in einem Bereich von etwa 427 °C bis 1371 °C (800 °F bis 2500 °F) liegen.

[0008] Wenn Elemente vielfältiger Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung eingeführt werden, sollen die unbestimmten und bestimmten Artikel «ein», «eine» bzw. «der, die, das» etc. das Vorhandensein von mehr als einem Element einschliessen. Die Begriffe «umfassen», «enthalten» und «aufweisen» sind als einschliessend zu verstehen und bedeuten, dass möglicherweise zusätzliche Elemente vorhanden sind, die sich von den aufgelisteten Elementen unterscheiden. Beliebige Beispiele von Betriebsparametern schliessen andere Parameter der beschriebenen Ausführungsbeispiele nicht aus.

[0009] Fig. 1 zeigt einen Querschnitt einer rotierenden Maschine 10, beispielsweise eines Turbintriebwerks, und veranschaulicht ein Ausführungsbeispiel eines für aggressive Umgebung geeigneten Sensorsystems, das mit der rotierenden Maschine 10 verbunden ist. Es ist zu beachten, dass, obwohl das veranschaulichte Beispiel eine Turbintriebwerksanwendung betrifft, sich die Erfindung in einem weiteren Sinne auf ein drahtloses Messen von Betriebsparametern von Komponenten einer beliebigen rotierenden Maschine anwenden lässt, wobei nicht als beschränkend zu bewertende Beispiele davon Windturbinen und Elektromotoren beinhalten. Darüber hinaus kann die Erfindung auch auf stationäre Komponenten der Maschinen anwendbar sein, beispielsweise Brennkammerwände, Leitapparate oder Mäntel, die, beispielsweise in einem Heissgaspfad oder unter Minustemperaturbedingungen, extremen Betriebsbedingungen ausgesetzt sind. Der Querschnitt der Gasturbine 10 veranschaulicht teilweise mindestens zwei Teile des für aggressive Umgebung geeigneten Sensorsystems, das auf einem Mantel 12 und einer Schaufel 16 angeordnet ist. Obwohl lediglich eine einzige Schaufel 16 gezeigt ist, kann das Triebwerk 10 mehrere Schaufeln aufweisen, die um eine Welle 14 rotieren. Die Teile des in Fig. 1 veranschaulichten, für aggressive Umgebung geeigneten, Sensorsystems beinhalten ein erstes Energieschnittstellenelement 18, das auf dem Mantel angeordnet ist, und ein zweites Energieschnittstellenelement 20, das auf der rotierenden Schaufel 16 der Gasturbine 10 angeordnet ist. In einem Ausführungsbeispiel können beide Energieschnittstellenelemente Antennen sein, die auf dem Triebwerk 10 angeordnet sind, um Energiesignale zu erfassen. In einem nicht als beschränkend zu bewertenden Beispiel können die Energiesignale elektromagnetische Wellen beinhalten. Die Energiesignale repräsentieren Parameter einer aggressiven Umgebung in einer rotierenden Maschine, beispielsweise die Betriebsparameter eines sich bewegenden Objekts der rotierenden Maschine. Nicht als beschränkend zu bewertende Beispiele der Energieschnittstellenelemente können eine Spule, z.B. eine Induktionsspule, eine Antennenkonstruktion, Metall auf einem Isolator, oder eine auf ein Keramiksustrat gedruckte Leiterbahn, beinhalten.

[0010] Darüber hinaus verbindet ein Abfragekanal 22 das erste Energieschnittstellenelement 18 und das zweite Energieschnittstellenelement 20. Der Abfragekanal 22 ist ein zwischen den Schnittstellenelementen angeordneter drahtloser Datenaustauschpfad für erfasste Signale. Das zweite Schnittstellenelement 20 überträgt somit über den Abfragekanal 22 an das erste Schnittstellenelement 18 Daten, die vielfältige Betriebsbedingungen der Laufschaufel betreffen, beispielsweise hohe Temperaturen, Drücke oder Spannungen. Nicht als beschränkend zu bewertende Beispiele der Betriebsparameter können Temperatur, mechanische Spannungen, Drücke, Toleranzspielräume und Verschiebungen beinhalten.

[0011] Fig. 2 zeigt ein Blockschaltbild, das ein für aggressive Umgebung geeignetes Sensorsystem 24 repräsentiert, das ein erstes Energie-Sende/Empfangssystem 26 und ein zweites Energie-Sende/Empfangssystem 27 aufweist, die über einen Abfragekanal 28 verbunden sind. Das erste Energie-Sende/Empfangssystem 26 ist vorzugsweise benachbart zu oder auf einem stationären Teil der rotierenden Maschine angeordnet. Im Gegensatz dazu ist das zweite Energie-Sende/Empfangssystem 27 vorzugsweise auf dem sich bewegenden Objekt einer rotierenden Maschine angebracht. Allerdings kann auch das zweite Energie-Sende/Empfangssystem 27 auf einer stationären Komponente einer Maschine angebracht sein, wobei stationäre Komponenten gewöhnlich extremen Bedingungen, beispielsweise einem Heissgaspfad oder Minustemperaturbedingungen, ausgesetzt sind. Das zweite Energie-Sende/Empfangssystem 27 erfasst fortlaufend mehrere Betriebsparameter des Objekts und sendet/empfängt die Daten über den Abfragekanal 28. Somit ist das zweite Energie-Sende/Empfangssystem 27 dazu eingerichtet, fortlaufend durch das erste Energie-Sende/Empfangssystem 26 abgefragt zu werden. In einem Ausführungsbeispiel ist der Abfragekanal 28 ein magnetischer Kanal. In einigen Ausführungsbeispielen kann der Abfragekanal 28 eine magnetische Kopplung sein, beispielsweise ein Nahfeld, eine wechselseitig induktive Kopplung, oder eine elektrische Fernfeldkopplung.

[0012] Fig. 3 veranschaulicht drahtlos verbundene Sensorschaltkreise des für aggressive Umgebung geeigneten Sensorsystems 30 gemäss einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung. Wie zu sehen, enthält das Sensorsystem 30 ein erstes Energie-Sende/Empfangssystem 31, das ein erstes Schnittstellenelement 32, einen Prozessor 36 und eine Energiequelle 38 in einem Sensorschaltkreis 34 aufweist. Das erste Schnittstellenelement 32, beispielsweise eine Antenne, sendet und empfängt über einen Abfragekanal 44 von dem zweiten Energie-Sende/Empfangssystem 33 Energiesignale. In einem Ausführungsbeispiel kann die Energiequelle 38 in dem Schaltkreis 34 eine Spannungsquelle sein, beispielsweise ein Akkumulator oder eine Batterie.

[0013] Das zweite Energie-Sende/Empfangssystem 33 enthält ferner ein zweites Schnittstellenelement 40 und Sensor-komponenten 42, die in einem weiteren Sensorschaltkreis 41 angeordnet sind, wobei der Sensorschaltkreis 41 ein passiver Schaltkreis sein kann, der auf dem sich bewegenden Objekt, beispielsweise auf einer Schaufel eines Turbinenriebwerks, angeordnet ist. In einem Ausführungsbeispiel können die Sensorkomponenten 42 einen Kondensator in Verbindung mit einem dielektrischen Element aufweisen, das auf dem sich bewegenden Objekt angeordnet ist, um die Betriebsbedingungen zu erfassen. Das sich bewegende Objekt ist möglicherweise hohen Temperaturen, Drücken oder Beanspruchungen ausgesetzt, so dass dadurch eine Veränderung der Dielektrizitätskonstante des dielektrischen Elements verursacht wird. Dies verändert die Kapazität des Kondensators und bewirkt ausserdem eine Veränderung der Impedanz des Schaltkreises 41. Die Modulation der Impedanz des Schaltkreises 41 moduliert den Abfragekanal 44 zwischen dem ersten Energieschnittstellenelement 32 und dem zweiten Energieschnittstellenelement 40 wesentlich. Der modulierte Abfragekanal 44 bewirkt ferner eine Veränderung der Impedanz des Sensorschaltkreises 34 des ersten Sendes/Empfangssystems 31. Diese Modulation der Impedanz in dem Schaltkreis 34 wird gemessen und durch den Prozessor 36 verarbeitet, um die Betriebsbedingungen des Objekts der Maschine zu ermitteln.

[0014] Es ist zu beachten, dass Ausführungsbeispiele der Erfindung zur Durchführung von Verarbeitungsaufgaben der Erfindung nicht auf einen speziellen Prozessor beschränkt sind. Der Begriff «Prozessor» soll in dem hier verwendeten Sinne eine beliebige Maschine bezeichnen, die in der Lage ist, die Berechnungen oder Rechengänge durchzuführen, die erforderlich sind, um die Aufgaben der Erfindung auszuführen. Der Begriff «Prozessor» soll eine beliebige Maschine bezeichnen, die in der Lage ist, eine strukturierte Eingabe entgegenzunehmen und die Eingabe gemäss vorgegebenen Regeln zu verarbeiten, um eine Ausgabe zu erzeugen. Weiter ist zu beachten, dass die Formulierung «dazu eingerichtet, zu» in dem hier verwendeten Sinne bedeutet, dass der Prozessor mit einer Kombination aus Hardware und Software ausgerüstet ist, um die Aufgaben der Erfindung, wie für den Fachmann verständlich, durchzuführen.

[0015] Fig. 4 zeigt ein Blockschaltbild, das ein für aggressive Umgebung geeignetes Sensorsystem 50 repräsentiert, das eine funktionale Beziehung zwischen verschiedenen Elementen der vorliegenden Erfindung veranschaulicht. Das System 50 enthält das erste Energie-Sende/Empfangssystem 52 zum Senden und Empfangen von Energiesignalen. Das erste Energie-Sende/Empfangssystem 52 kann eine Kombination eines Senders und eines Empfängers beinhalten, die eine gemeinsame Schaltung aufweisen. Jede Modulation der Impedanz der Schaltung des ersten Energie-Sende/Empfangssystems 52 ist durch einen gesendeten/empfangenen Modulanten 54 (modulierende Grösse) repräsentiert. Infolgedessen spricht der gesendete/empfangene Modulant 54 auf die Modulationen in den Energiesignalen an. Wie zu sehen, enthält das System 50 ein zweites Energie-Sende/Empfangssystem 56, das sich in einer aggressiven Umgebung 58 befindet und auf dem Objekt angeordnet ist, das der aggressiven Umgebung 58 ausgesetzt ist. Das zweite Energie-Sende/Empfangssystem 56 erfasst mehrere Betriebsparameter des Objekts, das sich in der aggressiven Umgebung 58 befindet.

[0016] In einem Ausführungsbeispiel kann das zweite Energie-Sende/Empfangssystem 56 eine Kombination eines Senders und eines Empfängers beinhalten, die eine gemeinsame Schaltung aufweisen. Das zweite Energie-Sende/Empfangssystem 56 kann ferner einen Sensorschaltkreis und einen Resonanzschaltkreis enthalten. Jede Modulation der Impedanz des Resonanzschaltkreises des zweiten Energie-Sende/Empfangssystems 56 ist durch einen erfassenden Modulanten 62 (modulierende Grösse) repräsentiert. Das zweite Energie-Sende/Empfangssystem 56 enthält ferner ein Energieschnittstellenelement 64. Ein Erfassungskanal 66 verbindet ferner sowohl den erfassenden Modulanten 62 als auch das Energieschnittstellenelement 64. Der Erfassungskanal 66 ist ein drahtloser Datenaustauschkanal, der dazu dient, erfasste Daten zwischen dem erfassenden Modulanten 62 und dem Energieschnittstellenelement 64 zu übertragen und zu empfangen. Das Schnittstellenelement 64 kann eine Antenne in dem Sensorschaltkreis oder in dem Resonanzschaltkreis sein und

stellt sowohl der ersten Energie-Sende/Empfangseinrichtung 52 als auch der zweiten Energie-Sende/Empfangseinrichtung 56 eine gemeinsame Schnittstelle bereit. Dies ermöglicht die Übertragung von Daten, die von dem Objekt in einer aggressiven Umgebung stammen, zu dem ersten Energie-Sende/Empfangssystem 52.

[0017] Weiter ist in dem Blockschaltbild von Fig. 4 ein Abfragekanal 60 veranschaulicht, wobei der Abfragekanal 60 ein drahtloser Datenaustauschpfad zwischen dem ersten Energie-Sende/Empfangssystem 52 und dem zweiten Energie-Sende/Empfangssystem 56 ist. Wie erörtert, ändert sich der gesendete/empfangene Modulant 54 in Abhängigkeit von dem Abfragesignal. In einem speziellen Ausführungsbeispiel ändert sich der gesendete/empfangene Modulant 54 in Abhängigkeit von dem erfassenden Modulanten 62. Das Abfragesignal trägt Daten mehrerer Betriebsparameter des in der aggressiven Umgebung angeordneten Objekts 58. Im Falle von Ausführungsbeispielen, bei denen der Abfragekanal 60 eine magnetische Kopplung beinhaltet, steht die effektive Kopplungskonstante (k) einer Kopplungsvorrichtung zwischen dem ersten Energie-Sende/Empfangssystem 54 und dem zweiten Energie-Sende/Empfangssystem 56 mit der Änderungsrate des magnetischen Felds (B) des Abfragekanals 60 in Beziehung, beispielsweise gilt $k \sim d(B)/dt$. Der Abfragekanal 60 wird durch den erfassenden Modulanten 62 moduliert, wobei der erfassende Modulant 62 auf dem Objekt angeordnet ist. In einer aggressiven Umgebung können Betriebsparameter eine Verformung des Objekts hervorrufen (beispielsweise kann die Schaufel sich ausdehnen), so dass dadurch ein erfassender Modulant 62 moduliert, und eine weitere Modulation des Abfragekanals 60 hervorgerufen wird. Folglich ist die Modulation des Abfragekanals ($d(B)/dt$) eine Funktion der Verschiebung des erfassenden Modulanten 62. Da die Betriebsparameter des Objekts im Wesentlichen eine Funktion der Modulation des erfassenden Modulanten 62 sind, lassen sich die Betriebsparameter in Abhängigkeit von der zwischen dem ersten Energie-Sende/Empfangssystem 52 und dem zweiten Energie-Sende/Empfangssystem 56 vorhandenen Kopplungskonstante (k) ermitteln. Dies ist ein passiver Ansatz, der weder eine aktive Elektronik, noch p/n-Sperrschichten verwendet.

[0018] Weiter verarbeitet ein mit dem ersten Energie-Sende/Empfangssystem 52 verbundener Prozessor 68 das Abfragesignal. Der Prozessor 68 ist dazu eingerichtet, auf der Grundlage des gesendeten/empfangenen Modulanten 54 mehrere Betriebsparameter des in der aggressiven Umgebung angeordneten Objekts 58 zu bestimmen. Ausserdem kann in einem Ausführungsbeispiel die Energiequelle 70, die mit dem ersten Energie-Sende/Empfangssystem 52 verbunden ist, eine Spannungsquelle sein.

[0019] Fig. 5 veranschaulicht in einem Blockschaltbild das zweite Energie-Sende/Empfangssystem 80, das auf dem Objekt der rotierenden Maschine angeordnet ist. Wie zu sehen, bildet ein Sensorsystem 82 des zweiten Energie-Sende/Empfangssystems 80 einen Sensorschaltkreis und weist zusätzlich zu einem Schnittstellenelement 86 einen Sensor 84 auf, beispielsweise ein dielektrisches Material. In einem nicht als beschränkend zu bewertenden Beispiel kann der Sensor 84 ein Kondensator sein, wobei das dielektrische Material auf dem Objekt angeordnet ist. In einem Ausführungsbeispiel kann das sekundäre Energie-Sende/Empfangssystem 80 teilweise auf dem sich bewegenden Objekt angeordnet sein, wobei der Sensor 84 auf dem sich bewegenden Objekt angeordnet sein kann, beispielsweise auf einer Schaufel eines Flugzeugtriebwerks oder auf einer Schaufel einer Gasturbine. Die übrigen Ausstattungsmerkmale des zweiten Energie-Sende/Empfangssystems 80 können auf dem nicht beweglichen Teil eines Objekts angeordnet sein. Das nicht bewegliche Teil kann sich ausserhalb einer aggressiven Umgebung befinden. Das zweite Energie-Sende/Empfangssystem 80 enthält ferner einen mit dem Bezugszeichen 94 bezeichneten Resonanzschaltkreis, der ein Sensorschnittstellenelement 90 aufweist. In einem Ausführungsbeispiel ist das Sensorschnittstellenelement 90 ein Kondensator, der in dem Resonanzkreis 94 mit einer Induktivität parallel geschaltet ist. Jede Veränderung der Impedanz des Resonanzschaltkreises 94 ist durch einen erfassenden Modulanten 92 repräsentiert. Infolgedessen ist der Ausgang des Sensors 84 über das Sensorschnittstellenelement 90 mit dem erfassenden Modulanten 92 verbunden. Die Kanäle, die die vielfältigen Sensorelemente, wie in Fig. 4 gezeigt, verbinden, repräsentieren vielfältige Wege für die Übertragung und den Empfang von Energie-Signalen in dem zweiten Energie-Sende/Empfangssystem 80.

[0020] In einem Ausführungsbeispiel kann der Sensor 84 aus einer Gruppe ausgewählt sein, die einen Kondensator, eine Induktivität, ein Nanoskala-NEMS-Bauelement, ein Mikroskala-NEMS-Bauelement und ein Messskala-Direktschreibelement aufweist. Das Direktschreibelement ist ein unmittelbar aufgedrucktes Bauelement und enthält Schaltungsabscheidungen, wobei die Abscheidungen ferner einen Leiter, einen Widerstand, einen Kondensator oder eine Antenne beinhalten können. In einigen Ausführungsbeispielen kann das Schnittstellenelement 86 ein Material enthalten, das seine Permeabilität in Reaktion auf eine Temperatur, eine Beanspruchung oder kristalline Verformungen, die zu einer atomaren Umstrukturierung führen können, verändert.

[0021] Ausführungsbeispiele des Schnittstellenelements 86 können ferner ein Material mit hoher magnetischer Permeabilität, das ausgewählt ist, um einen induktiven Schaltkreis zu modulieren, oder ein Material mit verhältnismässig hoher Permittivität beinhalten, das ausgewählt ist, um die Kapazität eines Kondensatorschaltkreises zu modulieren. Nicht als beschränkend zu bewertende Beispiele des Materials mit magnetischer Permeabilität können Nickel (Ni), Eisen (Fe), Kobalt (Co), Mangan (Mn), Chrom (Cr), Kupfer (Cu) und Gold (Au) beinhalten. In einigen Ausführungsbeispielen kann das Schnittstellenelement 86 eine verhältnismässig hohe Permittivität gegenüber Luft aufweisen, was die Nutzung eines verhältnismässig kleinen Kondensators erlaubt. Darüber hinaus ist das Schnittstellenelement 86 ein auf Betriebsparameter ansprechendes Material, das mit Blick auf einen hohen Curie-Punkt ausgewählt werden kann. Das vorliegende Sensorsystem ist dadurch in der Lage, bei Temperaturen bis etwa 649 °C (1200 °F) genaue Ergebnisse hervorzubringen. In noch einem Ausführungsbeispiel beinhaltet das Schnittstellenelement 86 ein dielektrisches Element, das auf dem Objekt in der aggressiven Umgebung angeordnet ist. Das dielektrische Element kann ferner aus einer Oxidgruppe ausgewählt sein.

Nicht als beschränkend zu bewertende Beispiele der Oxidgruppe können ein Glas, Borosilikatglas, Zirkonerde, Aluminiumoxid, Piezoelektrika, Ferroelektrika und Magnesia enthalten. Die Dielektrizitätskonstante des dielektrischen Elements variiert in direktem Verhältnis mit Betriebsparametern 88 des in einer aggressiven Umgebung befindlichen Objekts. Nicht als beschränkend zu bewertende Beispiele der Betriebsparameter 88 einer aggressiven Umgebung des Objekts beinhalten Temperatur, Beanspruchung, Druck, Toleranzspielraum und Verschiebung.

[0022] In einem nicht als beschränkend zu bewertenden Beispiel kann der Sensor 84 einen Kondensator mit einem Material hoher Dielektrizitätskonstante beinhalten, der auf einer Wärmebarrierenbeschichtung einer Turbinenschaufel angeordnet ist. Nicht als beschränkend zu bewertende Beispiele des Materials hoher Dielektrizitätskonstante können Hafniumsilikat, Zirconiumsilikat, Hafniumdioxid, Aluminiumoxid, Magnesia und Zirconiumdioxid beinhalten. Die Dielektrizitätskonstante des dielektrischen Materials kann eine direkte Proportionalität zu der Temperatur oder Beanspruchung der Turbinenschaufel aufweisen. Jede Änderung der Dielektrizitätskonstante bewirkt unmittelbar eine Veränderung der Kapazität des Sensors des Sensorschaltkreises. Dies induziert eine Modulation der Impedanz des Resonanzschaltkreises.

[0023] Das zweite Energie-Sende/Empfangssystem 80 enthält ferner ein Energieschnittstellenelement 96. In einem Ausführungsbeispiel ist das Energieschnittstellenelement 96 eine Sende/Empfangsantenne zum Senden/Empfangen von Energiesignalen über den Abfragekanal 98 zu/von dem (in Fig. 3 gezeigten) ersten Energie-Sende/Empfangssystem 52. Das zweite Energie-Sende/Empfangssystem 80 enthält ferner eine Kompensationskomponente 100. In einem Ausführungsbeispiel ist die Kompensationskomponente 100 ein Modulant, der sich lediglich in Abhängigkeit von Rauschparametern 102 und nicht in Abhängigkeit von den durch das Sensorsystem 82 des zweiten Energie-Sende/Empfangssystems 80 erfassten Betriebsparametern 88 ändert. Die Rauschparameter 102 können Änderungen der Temperatur und der Sendeleistung beinhalten. Das Sensorsystem 82 kann durch Änderungen wie Leistungs-, Spalt- und Rauschparameter 102 beeinträchtigt werden. Die Kompensationskomponente 100 ist daher dazu eingerichtet, einen Fehler zu bestimmen, der auf die Rauschparameter 102 zurückzuführen ist. Das zweite Energie-Sende/Empfangssystem 80 korrigiert die Energiesignale im Wesentlichen in Entsprechung zu dem Fehler, der durch die Kompensationskomponente 100 ermittelt ist, und sendet/empfangt anschliessend die Energiesignale. Folglich stellt die Kompensationskomponente 100 mittels des für aggressive Umgebung geeigneten Sensorsystems korrigierte Betriebsparametermesswerte sicher.

[0024] Ausserdem enthält das zweite Energie-Sende/Empfangssystem 80 ein Energieumwandlungselement 104. In einem Ausführungsbeispiel wandelt dieses Energieumwandlungselement 104 empfangene Energie in eine Form um, die von dem erfassenden Modulanten 92 und dem Sensorschnittstellenelement 90 gesendet und beeinflusst werden kann. In noch einem Ausführungsbeispiel kann das zweite Energie-Sende/Empfangssystem 80 einen Energietransformator enthalten. Der Energietransformator kann dazu eingerichtet sein, den Frequenzbetriebsbereich des Resonanzschaltkreises 94, der die Energieschnittstelle 96 und die Sensorkomponenten in dem Sensorsystem 82 enthält, in einen geeigneteren Bereich zu verschieben, und die sich ergebende Frequenzverschiebung, die an dem in Fig. 3 gezeigten ersten Energieschnittstellenelement 32 erfasst wird, zu verstärken.

[0025] Fig. 6 zeigt ein Ausführungsbeispiel eines Verfahrens 200, das dazu dient, einen Betriebsparameter eines Objekts in einer aggressiven Umgebung zu messen. Das Verfahren 200 beinhaltet, wie in Block 202 dargestellt, den Schritt, mittels eines ersten Energie-Sende/Empfangssystems Energiesignale zu senden/empfangen. In Block 204 beinhaltet das Verfahren 200 den Schritt, einen gesendeten/empfangenen Modulanten, der in dem ersten Energie-Sende/Empfangssystem angeordnet ist, über eine drahtlose Kopplung mit einem zweiten Energie-Sende/Empfangssystem zu modulieren, wobei das zweite Energie-Sende/Empfangssystem wenigstens teilweise auf dem Objekt angeordnet ist. Weiter beinhaltet das Verfahren 200 in Block 206 den Schritt, auf der Grundlage des gesendeten/empfangenen Modulanten mittels eines Prozessors einen oder mehrere Betriebsparameter des in der aggressiven Umgebung angeordneten Objekts zu berechnen.

[0026] In einigen Ausführungsbeispielen kann das modulierende Element in einem induktiven Ausführungsbeispiel eines für aggressive Umgebung geeigneten Sensorsystems ein Material hoher Permeabilität oder in einem kapazitiven Ausführungsbeispiel ein Material hoher Permittivität aufweisen. Einige Beispiele von Materialien hoher Permeabilität, die in Ausführungsbeispielen eines für aggressive Umgebung geeigneten Sensors genutzt werden können, beinhalten, ohne darauf beschränkt zu sein, Eisenlegierungen, Nickellegierungen, eine Eisen-Nickellegierung, Chrom, oder andere ferromagnetische Legierungen. Beispiele von Materialien hoher Permittivität können, ohne darauf beschränkt zu sein, Oxide, Keramikwerkstoffe, Aluminiumoxid, Barium Silikat sowie herkömmliches Kondensatorkeramikmaterial, beispielsweise NPO und X7R oder LiNbO_3 , beinhalten. Ein geeignetes Material kann, basierend auf der in aggressiver Umgebung angeordneten Komponente und auf den Parametern der zu messenden Maschine, ausgewählt werden, da unterschiedliche Materialien magnetisch unterschiedlich auf die Betriebsparameter ansprechen können. Ausführungsbeispiele eines für aggressive Umgebung geeigneten Sensorsystems können genutzt werden, um unterschiedliche Betriebsparameter in einer beliebigen Maschine zu erfassen, die rotierende Komponenten oder stationäre Komponenten enthält, beispielsweise, jedoch ohne es darauf beschränken zu wollen, in einem Verdichter oder in einer Turbine eines Flugzeugtriebwerks, in einer Kraftwerksturbine, beispielsweise Gas- oder Dampfturbine, oder in einem Generator.

[0027] Vorteilhafterweise ermöglicht das für aggressive Umgebung geeignete Sensorsystem ein Messen unterschiedlicher Betriebsparameter des sich bewegenden Objekts sowie der stationären Objekte einer rotierenden Maschine. Diese Kenntnis erleichtert die Ermittlung des Gesamtnutzungszustands und der Zuverlässigkeit der Maschinen. Ausserdem bildet das für aggressive Umgebung geeignete Sensorsystem effektiv einen integralen Bestandteil der gerätetechnischen Ausrüstung von Maschinen, die in aggressiver Umgebung laufen. Im Ergebnis lassen sich Messungen von Betriebspara-

meterdaten von Maschinen mit verbesserter Genauigkeit, Empfindlichkeit und Spezifität durchführen. Die Anwendung des für aggressive Umgebung geeigneten Sensorsystems in der gerätetechnischen Ausrüstung der Maschinen führt mit Erfolg zu einer Ersparnis von Wartungszeit und -kosten.

[0028] Während die Beschreibung anhand von Ausführungsbeispielen beschrieben wurde, ist es dem Fachmann klar, dass an deren Elementen vielfältige Änderungen vorgenommen werden können, und dass die Beispiele durch äquivalente Ausführungen substituiert werden können, ohne vom Gegenstand der Beschreibung abzuweichen. Darüber hinaus können viele Abwandlungen vorgenommen werden, um eine spezielle Situation bzw. ein Material an die Lehre der Beschreibung anzupassen, ohne von dem hauptsächlichen Gegenstand der Erfindung abzuweichen. Die Beschreibung soll daher nicht auf die spezielle Ausführungsform beschränkt sein, die als die am besten geeignete Weise der Umsetzung der Erfindung erachtet wird, vielmehr soll die Beschreibung sämtliche Ausführungsbeispiele einbeziehen, die in den Schutzbereich der beigefügten Patentansprüche fallen.

[0029] Die vorliegende Beschreibung verwendet Beispiele, um die Erfindung, einschliesslich des besten Modus, zu beschreiben, und um ausserdem jedem Fachmann zu ermöglichen, die Erfindung herzustellen und zu nutzen. Der patentfähige Schutzbereich der Erfindung ist durch die Ansprüche definiert und kann andere, dem Fachmann in den Sinn kommende, Beispiele umfassen.

Bezugszeichenliste

[0030]

- 10 Rotierende Maschine
- 12 Mantel
- 14 Welle
- 16 Schaufel
- 18 Erstes Energieschnittstellenelement
- 20 Zweites Energieschnittstellenelement
- 22 Abfragekanal
- 24 Für aggressive Umgebung geeignetes Sensorsystem
- 26 Erstes Energie-Sende/Empfangssystem
- 27 Zweites Energie-Sende/Empfangssystem
- 28 Abfragekanal
- 30 Für aggressive Umgebung geeignetes Sensorsystem
- 32 Erstes Schnittstellenelement
- 33 Zweites Energie-Sende/Empfangssystem
- 34 Sensorschaltkreis
- 36 Prozessor
- 38 Energiequelle
- 40 Zweites Schnittstellenelement
- 41 Ein weiterer Sensorschaltkreis
- 42 Sensorkomponenten
- 44 Modulierter Abfragekanal
- 50 Für aggressive Umgebung geeignetes Sensorsystem
- 52 Erstes Energie-Sende/Empfangssystem
- 54 Gesendeter/empfangener Modulant
- 56 Zweites Energie-Sende/Empfangssystem

- 58 Aggressive Umgebung
- 60 Abfragekanal
- 62 Erfassender Modulant
- 64 Energieschnittstellenelement
- 66 Erfassungskanal
- 68 Prozessor
- 70 Energiequelle
- 80 Zweites Energie-Sende/Empfangssystem
- 82 Sensorsystem
- 84 Sensor
- 86 Schnittstellenelement
- 90 Sensorschnittstellenelement
- 92 Erfassender Modulant
- 94 Resonanzschaltkreis
- 96 Energieschnittstellenelement
- 100 Kompensationskomponente
- 102 Rauschparameter
- 104 Energieumwandlungselement
- 200 Verfahren zum Messen eines Betriebsparameters eines Objekts in einer aggressiven Umgebung.
- 202 Verfahrensschritt des Sendens/Empfangens von Energiesignalen über ein erstes Energie-Sende/Empfangssystem
- 204 Verfahrensschritt des Modulierens eines gesendeten/empfangenen Modulantens, der in dem ersten Energie-Sende/Empfangssystem angeordnet ist, mittels einer drahtlosen Kopplung mit einem zweiten Energie-Sende/Empfangssystem, wobei das zweite Energie-Sende/Empfangssystem wenigstens teilweise auf dem Objekt angeordnet ist.
- 206 Verfahrensschritt des Berechnens eines oder mehrerer Betriebsparameter des in der aggressiven Umgebung angeordneten Objekts mittels eines Prozessors auf der Grundlage des gesendeten/empfangenen Modulantens.

Patentansprüche

1. System (30, 50) zum Messen mehrerer Betriebsparameter einer rotierenden Maschine (10) in einer Umgebung (58, 88) bei Temperaturen zwischen 427 °C bis 1371 °C oder Minustemperaturen, wobei das System (30, 50) aufweist:
 - ein erstes Sende/Empfangssystem (31, 52), das dazu eingerichtet ist, elektromagnetische Signale drahtlos zu senden/empfangen;
 - ein zweites Sende/Empfangssystem (33, 56, 80), das wenigstens teilweise auf der rotierenden Maschine (10) angeordnet ist, und das in der Lage ist, elektromagnetische Signale an das erste Sende/Empfangssystem (31, 52) drahtlos zu übermitteln und elektromagnetische, vom ersten Sende/Empfangssystem (31, 52) drahtlos übermittelte Signale zu empfangen;
 - wobei das erste Sende/Empfangssystem (31, 52) und das zweite Sende/Empfangssystem (33, 56, 80) jeweils einen Schaltkreis (34, 41) umfassen, dessen Impedanz modulierbar ist; und
 - wobei die Übermittlung zwischen dem ersten und zweiten Sende/Empfangssystem (31, 52, 33, 56, 80) durch eine Modulation der Impedanz des Schaltkreises des ersten Sende/Empfangssystems (31, 52) aufgrund einer Modulation der Impedanz des Schaltkreises (41) des zweiten Sende/Empfangssystems (33, 56, 80) bewirkbar ist, wobei das zweite Sende/Empfangssystem (33, 56, 80) ein Sensorsystem (82) mit Sensorkomponenten (42) zum Erfassen der

CH 701 486 B1

Betriebsparameter enthält, wobei die Impedanz des Schaltkreises (41) des zweiten Sende/Empfangssystems (33, 56) in Antwort auf die von den Sensorkomponenten (42) erfassten Betriebsparameter veränderbar ist; und einen Prozessor (36), der mit dem ersten Sende/Empfangssystem (31, 52) verbunden ist, wobei der Prozessor (36, 68) dazu eingerichtet ist, die mehreren Betriebsparameter der rotierenden Maschine (10) auf der Grundlage der modulierten Impedanz des Schaltkreises (34) des ersten Sende/Empfangssystems (33, 52) zu bestimmen.

2. System (30, 50) nach Anspruch 1, wobei das Sensorsystem (82) ein Schnittstellenelement (86) und einen Sensor (84) aufweist.
3. System (30, 50) nach Anspruch 2, wobei das Schnitt-Stellenelement (86) ein dielektrisches Element aufweist.
4. System (30, 50) nach Anspruch 2, wobei der Sensor (84) einen Kondensator, eine Induktivität, ein Nanoskala-NEMS-Bauelement, ein Mikroskala-NEMS-Bauelement, oder ein unmittelbar aufgedrucktes Mesoskala-Bauelement aufweist.
5. System (30, 50) nach Anspruch 1, wobei das zweite Sende/Empfangssystem (33, 56, 80) ferner einen Sensorschaltkreis umfasst.
6. System (30, 50) nach Anspruch 1, wobei das zweite Sende/Empfangssystem (33, 56, 80) zusätzlich enthält: einen die Impedanz des Schaltkreises des zweiten Sende/Empfangssystems (33, 56, 80) repräsentierenden erfassenden Modulanten (92), ein Sensorschnittstellenelement (90) zum Verbinden des erfassenden Modulanten (92) mit dem Sensorsystem (82), eine Energieumwandlungskomponente (104) zum Umwandeln der elektromagnetischen, vom ersten Sende/Empfangssystem (31, 52) drahtlos übermittelten Signale in eine Form, die von dem erfassenden Modulanten (92) und dem Sensorschnittstellenelement (90) gesendet und beeinflusst werden kann, einen Energietransformator, der dazu eingerichtet ist, den Frequenzbereich des zweiten Schaltkreises des zweiten Sende/Empfangssystems zu verschieben und die sich ergebende Frequenzverschiebung zu verstärken, eine Kompensationskomponente (100) zur Bestimmung von Fehlern, die auf das Sensorsystem (82) beeinträchtigende Rauschparameter (102) zurückzuführen sind, und ein Energieschnittstellenelement (96) zum Senden/Empfangen von elektromagnetischen Signalen von und zu dem ersten Sende/Empfangssystem (31, 52).
7. System (30, 50) nach Anspruch 6, wobei das Sensorschnittstellenelement (90) einen Kondensator aufweist, der mit einer Induktivität parallel geschaltet ist, um einen Resonanzkreis zu bilden.
8. System (30, 50) nach Anspruch 2, wobei das Schnittstellenelement (86) enthält: ein Material mit hoher magnetischer Permeabilität, nämlich Nickel, Eisen, Kobalt, Mangan, Chrom, Kupfer oder Gold, oder ein dielektrisches Element, umfassend Glas, Borosilikatglas, Zirkonerde, Aluminiumoxid, Piezoelektrika, Ferroelektrika oder Magnesia, oder ein Material mit hoher Permittivität, nämlich ein Oxid, ein Keramikwerkstoff, Aluminiumoxid, Barium Silikat oder ein Kondensatorkeramikmaterial, nämlich NPO, X7R oder LiNbO₃.
9. System (30, 50) nach Anspruch 2, wobei der Sensor (84) einen Kondensator mit einem Material mit hoher Dielektrizitätskonstante, nämlich Hafniumsilikat, Zirconiumsilikat, Hafniumdioxid, Aluminiumoxid, Magnesia oder Zirconiumdioxid, umfasst.
10. Verfahren (200) zum Messen von Betriebsparametern einer rotierenden Maschine mittels eines Systems gemäss Anspruch 1, mit den Schritten:
Senden/Empfangen (202) elektromagnetischer Signale über das erste Sende/Empfangssystem;
Modulieren (204) einer Impedanz des Schaltkreises (34) des ersten Sende/Empfangssystems (31, 52) über eine drahtlose Kopplung mit dem zweiten Sende/Empfangssystem (33, 50) aufgrund einer Modulation der Impedanz des Schaltkreises (41) des zweiten Sende/Empfangssystems (33, 56, 80), wobei das zweite Sende/Empfangssystem (33, 50) wenigstens teilweise auf der rotierenden Maschine (10) angeordnet ist und wobei die Impedanz des Schaltkreises (41) des zweiten Sende/Empfangssystems (33, 56) in Antwort auf die von der Sensorkomponenten (42) erfassten Betriebs-Parameter verändert wird; und
Berechnen (206) der Betriebsparameter der rotierenden Maschine (10) mittels des Prozessors (36) auf der Grundlage der Modulation der Impedanz des Schaltkreises (34) des ersten Sende/Empfangssystems (31, 52).

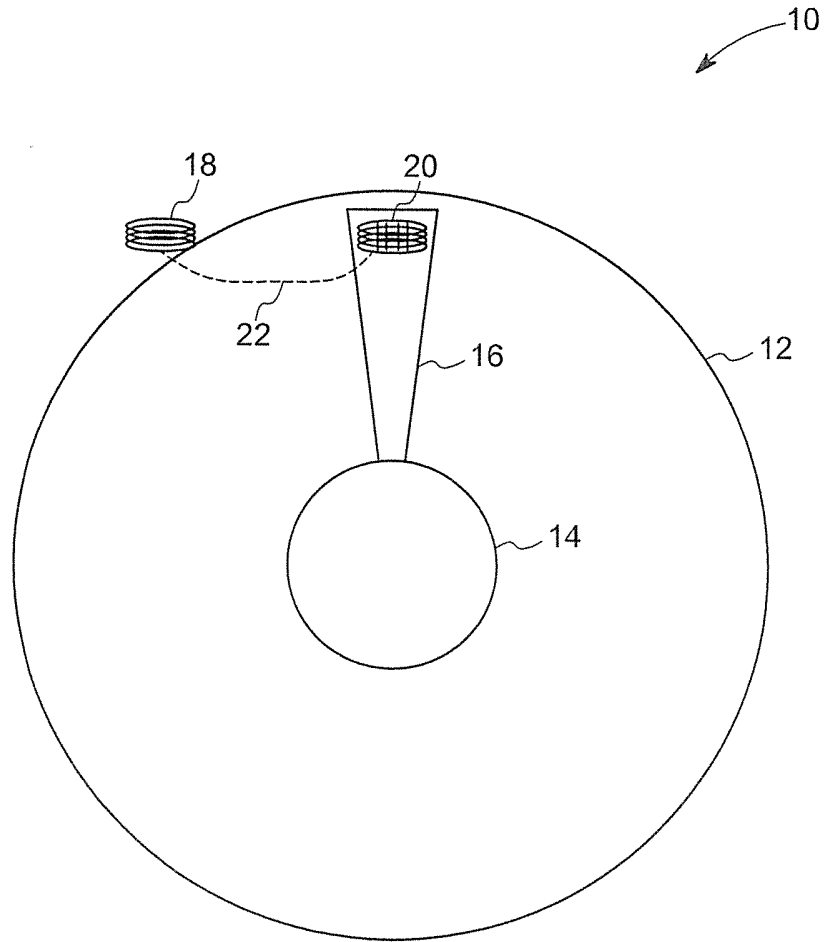


FIG. 1

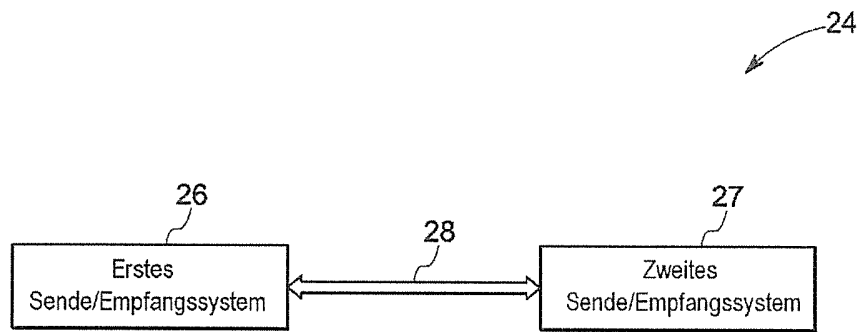


FIG. 2

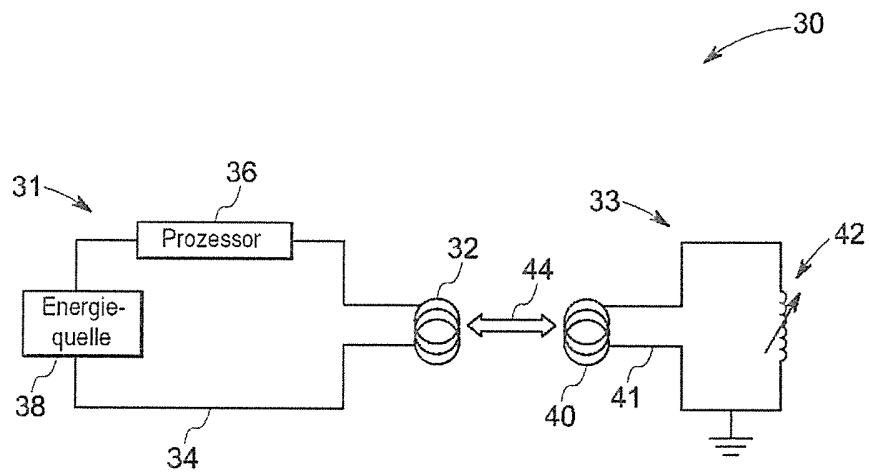


FIG. 3

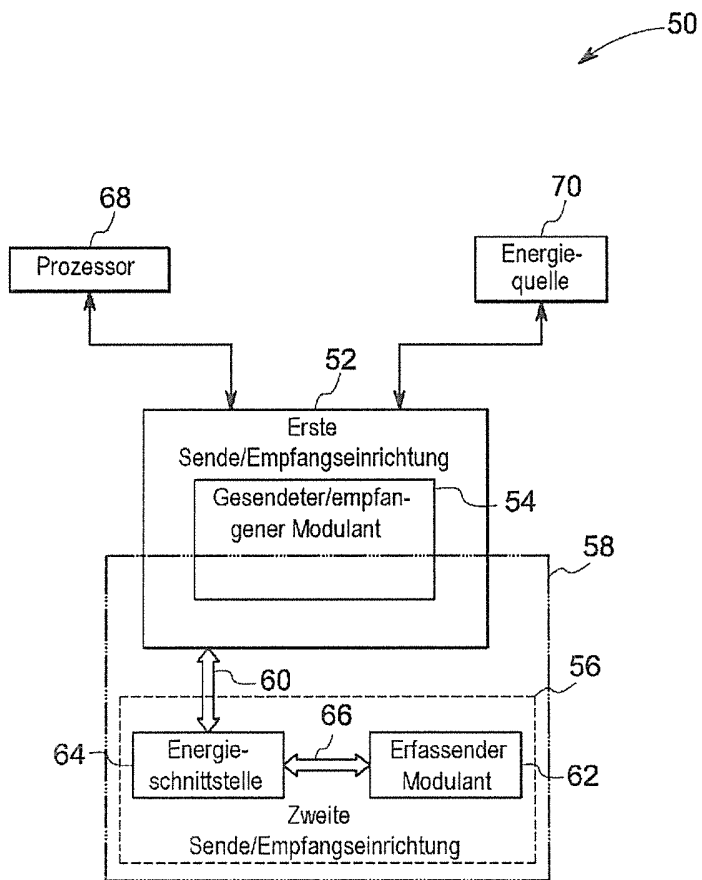


FIG. 4

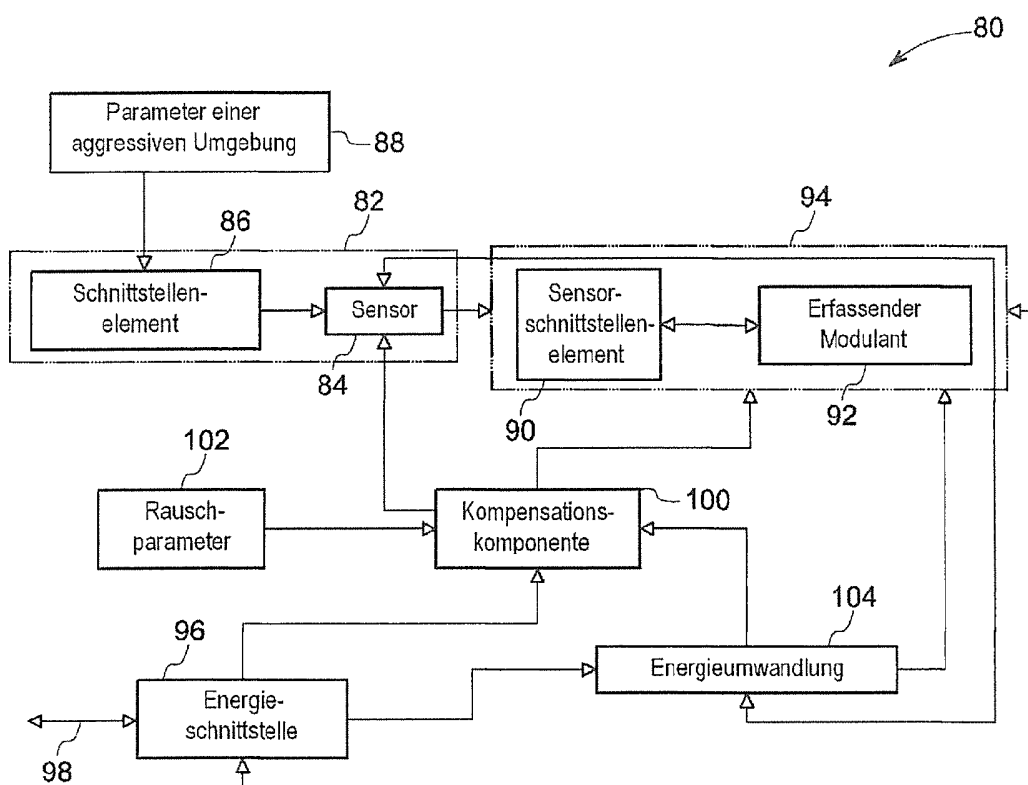


FIG. 5

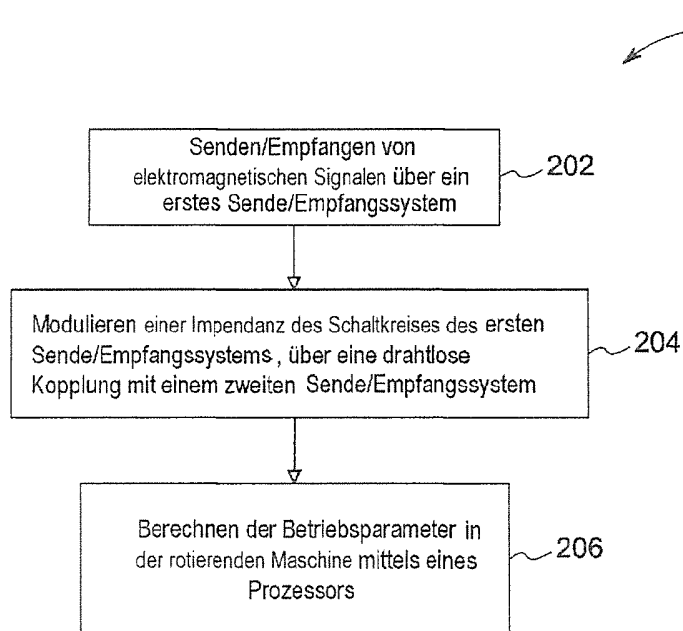


FIG. 6