

SCHWEIZERISCHE Eidgenossenschaft  
EIDGENÖSSISCHES INSTITUT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

(11) CH 716 494 B1

(51) Int. Cl.: G01R 15/14 (2006.01)  
G01R 19/25 (2006.01)

**Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein**

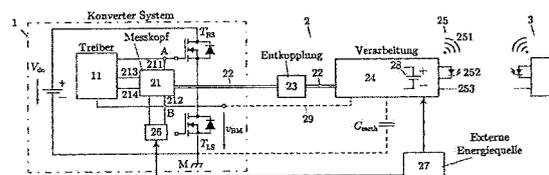
Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

(12) **PATENT SCHRIFT**

(21) Anmeldenummer:	01010/19	(73) Inhaber:	ETH Zürich, ETH Transfer, HG E 47-49 Rämistrasse 101 8092 Zürich ETH Zentrum (CH)
(22) Anmeldedatum:	13.08.2019	(72) Erfinder:	Pascal Niklaus, 8057 Zürich (CH) Dominik Bortis, 8052 Zürich (CH) Johann Walter Kolar, 8044 Zürich (CH)
(43) Anmeldung veröffentlicht:	15.02.2021	(74) Vertreter:	Frei Patentanwaltsbüro AG, Postfach 8032 Zürich (CH)
(24) Patent erteilt:	31.10.2022		
(45) Patentschrift veröffentlicht:	31.10.2022		

(54) **Galvanisch getrenntes Messsystem.**

(57) Ein erfindungsgemässes galvanisch getrenntes Messsystem (2) dient zur Messung einer Spannung zwischen einem ersten Eingang (211) und einem zweiten Eingang (212) des Messsystems (2). Es weist die Funktionsblöcke Messkopf (21), digitaler Übertragungskanal (22), Entkopplungseinheit (23) und Signalverarbeitungseinheit (24) auf, wobei gemessene und digital vorliegende Daten von letzterer mittels digitaler Datenübermittlung (25) entweder per Funk (251), per optischem Link (252) oder via elektrischer Leitung (253) an eine Plattform (3) übertragen werden, welche die Daten anzeigt, speichert und/oder weiterverarbeitet. Die Entkopplungseinheit (23) dient dazu, Lade-/Entladeströme, welche in jedem galvanisch getrennten Messsystem (2) bei der Messung bezogen auf ein springendes Messreferenzpotential (B) auftreten, von sensitiven Messpunkten, d.h. dem ersten Eingang (211) und dem zweiten Eingang (212) des Messsystems (2) fernzuhalten.



## Beschreibung

[0001] Die Erfindung bezieht sich auf das Gebiet der Messtechnik, insbesondere auf eine galvanisch getrennte Spannungs- und Strommessung, welche durch einen geeigneten Aufbau eines Messverstärkereingangs eine hohe Gleichtaktunterdrückung ermöglichen kann. Sie betrifft insbesondere eine genaue und störungsfreie Messung von elektrischen Grössen, welche gegenüber Erde auf rasch ändernde bzw. „springende“ Potentiale bezogen sind.

[0002] Ein Beispiel dazu ist die Messung der Gatespannung  $v_{AB}$  (zwischen den Punkten A und B) des oberen Schalters  $T_{HS}$  eines Brückenzeuges eines leistungselektronischen Konverters, deren Bezugspotential (Brückenzeug-Ausgang) B sich in Abhängigkeit des Schaltzustandes (unterer oder oberer Schalter eingeschaltet) springend ändert.

[0003] In der heutigen Praxis sind galvanisch getrennte Messsysteme externe Systeme, welche mit mindestens zwei Messleitungen an den Messpunkten auf der zu messenden Schaltung angeschlossen werden. Das externe galvanisch getrennte Messsystem weist typischerweise eine analoge Messschaltung (Verstärkerstufe), eine Signalverarbeitungseinheit und eine galvanisch getrennte Signal- und Energieübertragungseinheit auf. Die galvanische Trennung des Messsignals wird gemäss dem Stand der Technik typischerweise optisch analog oder optisch digital über eine Glasfaser [1,2] oder elektromagnetisch über einen Funkkanal [3] realisiert. Für die digitale Übertragung muss jedoch die Signalverarbeitungseinheit das analoge Messsignal zuerst digitalisieren. Die Energieversorgung des galvanisch getrennten Messsystems erfolgt entweder von einem lokalen Energiespeicher (Akkumulator, Batterie [1,3]) oder vom ruhenden Bezugspotential M, auch Massepotential genannt, über eine galvanisch getrennte Versorgung (magnetisch, optisch [2]).

[0004] Messsysteme mit hoher Signalbandbreite, d.h. hohen Anforderungen an die analoge Verstärkerstufe und an die Signalverarbeitung, und somit hohem Leistungsbedarf sind typischerweise relativ gross. Zwischen dem Messsystem, welches sich auf dem springenden Bezugspotential B befindet, und dem Massepotential M existiert somit eine parasitäre Erdkapazität  $C_{earth}$ , welche unter anderem von den mechanischen Abmessungen der Messschaltung sowie dem physikalischen Abstand zum konstanten Massepotential abhängt. Jegliche Änderung des springenden Bezugspotentials B bezüglich des Massepotentials M, d.h. jegliche Änderung der Gleichtaktspannung  $V_{BM}$ , führt unweigerlich zu einer Auf- und/oder Entladung der parasitären Erdkapazität  $C_{earth}$ , was einen bestimmten Lade-/Entladestrom hervorruft, welcher über eine oder beide Messleitungen fliessen muss und daher die analoge Spannungsmessung verfälscht. Die Fähigkeit eines Messsystems, trotz den durch die Gleichtaktauslenkung hervorgerufenen Lade-/Entladeströme eine genaue Messung durchführen zu können, wird durch die Gleichtaktunterdrückung (CMRR) charakterisiert, wobei ein gutes Messsystem eine sehr hohe CMRR über einen weiten Frequenzbereich zeigt.

[0005] Eine weitere Schwierigkeit in modernen Aufbauten ist der limitierte physische Zugang zu den Messpunkten, da die Platzierung der Komponenten und Leiterbahnen im Interesse der Signalintegrität extrem kompakt ausgeführt wird und somit nicht mehr notwendigerweise Platz zum Anschluss eines externen Messsystems vorhanden ist.

[0006] Die Aufgabe der Erfindung ist, ein galvanisch getrenntes Messsystem zu schaffen, welches mindestens einen der oben genannten Nachteile bekannter Messsysteme bzw. -verfahren bezüglich Messgenauigkeit und Gleichtaktunterdrückung mindestens teilweise behebt.

[0007] Diese Aufgabe löst ein galvanisch getrenntes Messsystem mit den Merkmalen der Patentansprüche.

[0008] Die Erfindung umfasst einen oder mehrere der folgenden Aspekte: Aufteilung in Funktionsblöcke, d.h. modularer Aufbau des Messsystems, insbesondere einen hochkompakten Messkopf mit lokaler Digitalisierung des Messsignals, da das Digitalsignal im Vergleich zum analogen Messsignal weniger empfindlich gegenüber Störungen und Potentialverschiebungen durch Ableitströme ist; versorgt direkt aus der zu messenden Schaltung und/oder über eine koppelkapazitätsarme Hilfsspannungsversorgung von einer externen Energiequelle, wobei die Hilfsspannungsversorgung gegenüber dem Messkopf elektrisch und physikalisch so angebracht ist, dass zufolge der Koppelkapazität auftretende Lade-/Entladeströme keine Verzerrung des Messsignals oder allgemein Störungen der Elektronik des Messkopfes auftreten; weiters: Übertragung des digitalisierten Messsignals über einen digitalen Übertragungskanal nach aussen, und separate (vor- oder nachgeschaltete) oder auf dem digitalen Übertragungskanal angebrachte Entkopplungsmassnahmen wie z.B. gleichtaktmässige Impedanzerhöhung zwischen hochkompaktem Messkopf und Signalverarbeitungsteil wobei der digitale Übertragungskanal durch z.B. Hochfrequenzferrite geführt wird, welche das Auftreten von hochfrequenten kapazitiven Lade-/Entladeströmen über den digitalen Übertragungskanal weitestgehend unterbinden.

[0009] Durch die kompakte Bauweise des Messkopfs kann er in hochkompakte Schaltungen integriert werden. Grundsätzlich beinhaltet der Messkopf die notwendige Elektronik, welche die Umwandlung der Spannung zwischen den Punkten A und B in ein oder in mehrere digitale Signale ermöglicht.

[0010] Im Folgenden wird der Erfindungsgegenstand anhand eines bevorzugten Ausführungsbeispiels, welches in der beiliegenden Zeichnung dargestellt ist, näher erläutert. Es zeigt schematisch:

**Figur 1:** Beispiel für typische Messanordnung mit Messung der Gatespannung  $v_{AB}$  des oberen Schalters  $T_{HS}$  eines Brückenzeuges, dessen springendes Bezugspotential (Brückenzeug-Mittelpunkt) B sich in Abhängigkeit des Schaltzustandes (unterer oder oberer Schalter eingeschaltet) ändert, zusammen mit dem erfindungsgemässen miniaturisierten

sierten und/oder integrierten galvanisch getrennten Messsystem, welches zur Unterbindung von kapazitiven Lade-/Entladeströmen eine entsprechende Entkopplungseinheit beinhaltet.

**[0011]** Das galvanisch getrennte Messsystem 2 zur Messung einer Spannung  $v_{AB}$  zwischen den Punkten A und B wird entsprechend Figur 1 in die Funktionsblöcke Messkopf 21, digitaler Übertragungskanal 22, Entkopplungseinheit 23, Signalverarbeitungseinheit 24 und isolierte Datenübermittlungsschnittstelle 25 auf elektromagnetischer 251, optischer 252 oder elektrischer 253 Basis aufgeteilt. Diese Aufteilung führt zu einer Auftrennung der parasitären Erdkapazität  $C_{earth}$  in einzelne parasitäre Erdkapazitäten zwischen Massepotential M und jedem einzelnen Funktionsblock, wobei die jeweilige parasitäre Erdkapazität weitestgehend mit den physikalischen Abmessungen des jeweiligen Funktionsblockes skaliert. Dieser modulare Aufbau ermöglicht es nun, durch Einfügen einer gleichaktmässigen Entkopplungseinheit 23 vor, nach oder im digitalen Übertragungskanal 22, im Wesentlichen sämtliche parasitäre Erdkapazitäten der einzelnen Funktionsblöcke welche in Messsignalrichtung physikalisch nach der Entkopplungseinheit 23 angeordnet sind, v.a. die dominierenden parasitären Kapazitäten von der Signalverarbeitungseinheit 24 und den isolierten Datenübermittlungsschnittstellen 25, vom springenden Potential der Messschaltung hochfrequent zu entkoppeln. Dies kann durch Einfügen einer gleichaktmässigen Längsimpedanz geschehen, z.B. durch Einfügen einer zusätzlichen Gleichaktinduktivität vor oder nach dem digitalen Übertragungskanal 22 oder mittels Führung des digitalen Übertragungskanals 22 durch Hochfrequenzferrite. Dadurch können die gleichaktmässigen Lade/Entladeströme bzw. deren hochfrequente Anteile reduziert oder minimiert werden, und kann somit eine sehr hohe CMRR über einen weiten Frequenzbereich erreicht werden.

**[0012]** Die hohe CMRR wird zudem durch die digitale Ausführung des Übertragungskanals 22 weiter verstärkt, da die teils weiterhin über den Übertragungskanal 22 fliessenden kapazitiven Lade-/Entladeströme zu keiner Verfälschung des Messsignals führen, wie dies bei einer analogen Übertragung auftreten würde. Der digitale Übertragungskanal 22 kann dabei als eine oder mehrere elektrische Leitungen aufweisend ausgeführt sein. Alternativ kann der digitale Übertragungskanal 22 auch als eine oder mehrere optische Faser aufweisend ausgeführt sein, d.h. der Messkopf 21 beinhaltet eine optische Sendeeinheit und die Signalverarbeitungseinheit 24 eine optische Empfängereinheit.

**[0013]** Unabhängig davon erlaubt die modulare Aufbauweise des Messsystems des Weiteren, den Messkopf 21, welcher die analoge Verstärkerstufe sowie die sofortige Digitalisierung des Messsignals Analog-Digital-Konverter, ADC beinhaltet, sehr kompakt, z.B. als integrierte Schaltung IC, auszuführen, und somit die Messung an bzw. Unterbringung in hochkompakten Schaltungen zu ermöglichen. Grundsätzlich beinhaltet der Messkopf 21 die notwendige Elektronik, welche die Umwandlung der Spannung zwischen den Punkten A und B in ein oder in mehrere digitale Signale ermöglicht. Zudem ist das zu messende Potential A mit einer möglichst kurzen elektrischen Leitung mit einem ersten Eingang 211 des Messkopfes 21 und das springende Messreferenzpotential B mit einer zweiten möglichst kurzen elektrischen Leitung mit einem zweiten Eingang 212 des Messkopfes 21 verbunden.

**[0014]** Vorteilhaft wird somit die parasitäre Kapazität des Messkopfes 21, und somit der gesamten Erdkapazität welche in Messsignalrichtung physikalisch vor der Entkopplungseinheit 23 angeordnet ist, bei kompakter Realisierung minimiert bzw. bei Integration in die Messschaltung eliminiert. Dadurch können die gleichaktmässig hochfrequenten Lade/Entladeströme weiter reduziert bzw. durch möglichst nahe Positionierung der Entkopplungseinheit 23 am integrierten Messkopf 21 völlig eliminiert werden, d.h. die Aufladung der parasitären Kapazitäten der in Messsignalrichtung physikalisch nach der Entkopplungseinheit 23 angeordneten Funktionsblöcke erfolgt nur noch niederfrequent, wodurch eine sehr hohe CMRR über einen weiten Frequenzbereich erreicht wird.

**[0015]** Neben den technischen Vorteilen bringt die Modularität des Messsystems und die kompakte Realisierung, z.B. als integrierte Schaltung IC, ebenfalls wirtschaftliche Vorteile, indem eine Vielzahl von kostengünstigen Messköpfen in Schaltungen eingebaut werden können, und bei Vorhandensein einer einheitlichen digitalen Schnittstelle jedoch nur eine teure Signalverarbeitungs- 24 und Übertragungseinheit 25 benötigt wird und umgesteckt werden kann.

**[0016]** Die Modularität des Messsystems ist ebenfalls vorteilhaft hinsichtlich der Vielzahl an Möglichkeiten zur Leistungsver-sorgung des Messsystems.

**[0017]** In Ausführungsformen wird nämlich der Messkopf 21 direkt von einer in der zu messenden Schaltung 1, z.B. enthaltenen Spannungsquelle einer Treiberstufe 11 oder ggf. über einen DC/DC-Konverter zur Spannungsanpassung und/oder Potentialtrennung, mit einer Spannung versorgt, wobei das höhere Potential mit einem ersten Versorgungseingang 213 des Messkopfes 21 und das niedrigere Potential mit einem anderen, zweiten Versorgungseingang 214 des Messkopfes 21 verbunden ist.

**[0018]** Gleichzeitig kann der Rest des Messsystems, d.h. die Signalverarbeitungseinheit 24 und die isolierte Datenübermittlungsschnittstelle 25, unabhängig vom Messkopf 21 entweder über ein galvanisch getrenntes Netzteil mit geringer Koppelkapazität von einer externen Energiequelle 27 oder durch einen lokalen Energiespeicher 28 versorgt werden, d.h. es kann eine unabhängige Versorgung von einzelnen Funktionsblöcken realisiert sein. Dies hat einerseits den Vorteil, dass die zu messende Schaltung 1 nur den geringen Leistungsverbrauch des Messkopfes 21 zur Verfügung stellen muss und dieser somit auch in Schaltungen mit schwachen Spannungsversorgungen wie z.B. in Gatetreibern für kleinere Leistungen eingebaut werden kann, währendem der restliche Teil des Messsystems über einen anderen unabhängigen Pfad versorgt wird, dessen allenfalls zusätzliche parasitäre Kapazität durch die Entkopplungseinheit 23 vom Messkopf

21 abgekoppelt wird. Andererseits hat die unabhängige Versorgung den Vorteil, dass im digitalen Übertragungskanal 22 keine Versorgungsleitungen vorzusehen sind, d.h. nur Datenleitungen vorhanden sind.

[0019] In Ausführungsformen kann das Messsystem auch nur von einem Punkt aus versorgt werden, d.h. eine gesamtliche Versorgung realisiert werden, wobei z.B. die Signalverarbeitungseinheit 24 vom Messkopf 21 oder der Messkopf 21 von der Signalverarbeitungseinheit 24 versorgt wird.

[0020] In Ausführungsformen kann der Messkopf 21 auch mit einem galvanisch getrennten Netzteil 26 mit niedriger Koppelkapazität, welches an eine externe Energiequelle 27 angeschlossen ist, oder durch einen lokalen, d.h. in den Messkopf integrierten Energiespeicher versorgt werden.

[0021] Grundsätzlich ist durch den modularen Aufbau des Messsystems sowohl eine gemeinsame als auch eine unabhängige Versorgung von einzelnen Funktionsblöcken ermöglicht.

[0022] In Ausführungsformen kann eine zusätzliche elektrische Verbindung 29 zwischen dem Messkopf 21 und der Signalverarbeitungseinheit 24, welche den Lade-/Entladestrom von  $C_{earth}$  führt, vorgesehen werden, womit über den digitalen Übertragungskanal 22 kein oder nur ein geringer Lade-/Entladestrom fliesst.

In Ausführungsformen ist das Messsystem 2 in einem Schirmgehäuse eingebettet, das mit dem springenden Schaltungspunkt B verbunden ist und unter anderem die Funktion der oben genannten zusätzlichen elektrischen Verbindung 29 zwischen dem Messkopf 21 und der Signalverarbeitungseinheit 24 übernimmt.

## REFERENZEN

### [0023]

[1] Teledyne LeCroy, „HVFO High Voltage Fiber Optically-isolated Probe“, Datasheet.

[2] Tektronix, „iSoVu™ Optically Isolated DC- 1 GHz Measurement System Offers >120 dB CMRR with 2kV Common Mode Range“, White Paper, 2016.

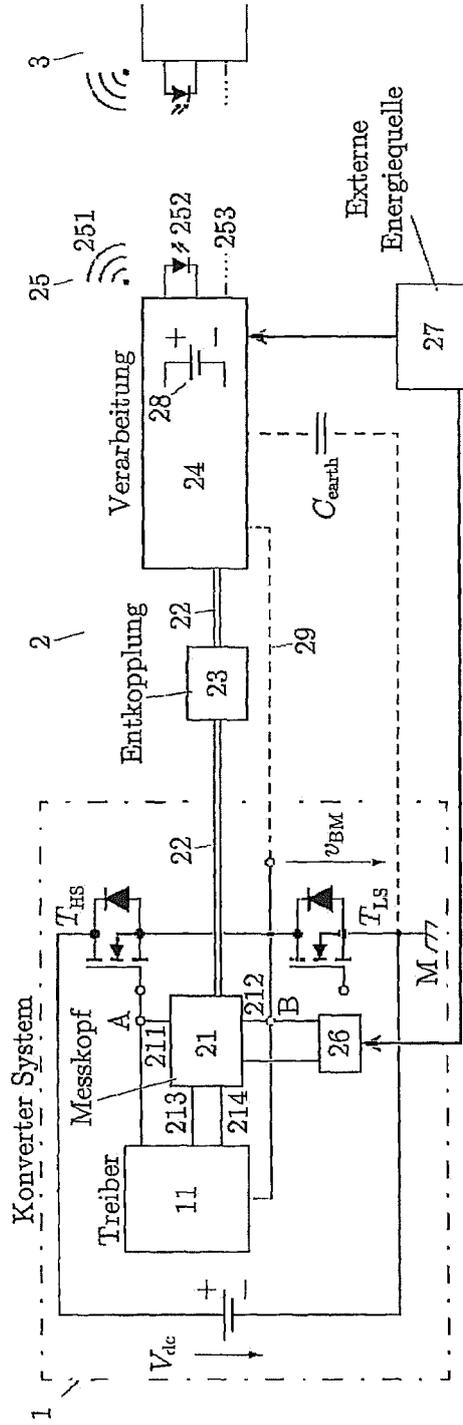
[3] Y. Lobsiger, G. Ortiz, D. Bortis, J.W. Kolar, „Concept and Experimental Evaluation of a Novel DC -100 MHz Wireless Oscilloscope“, Proceedings of the International Power Electronics Conference - ECCE Asia (IPEC 2014), Hiroshima, Japan, May 18-21, 2014.

## Patentansprüche

1. Galvanisch getrenntes Messsystem (2), zur Messung einer Spannung  $v_{AB}$  zwischen einem ersten Eingang (211) und einen zweiten Eingang (212) des Messsystems (2), welches modular aufgebaut ist und als Funktionsblöcke aufweist: einen Messkopf (21), einen digitalen Übertragungskanal (22), eine separate oder im Übertragungskanal integrierte Entkopplungseinheit (23), eine Signalverarbeitungseinheit (24), und eine Datenübermittlungsschnittstelle (25), wobei die Datenübermittlungsschnittstelle (25) galvanisch isoliert als Funkkanal (251) oder als optischer Kanal (252) und/oder als elektrische Leitung (253) ausgeführt ist.
2. Galvanisch getrenntes Messsystem (2) gemäss Anspruch 1, wobei der Messkopf (21) eine analoge Verstärkerstufe sowie eine Digitalisierung eines analogen Messsignals realisiert, und insbesondere als integrierte Schaltung ausgeführt ist.
3. Galvanisch getrenntes Messsystem (2) gemäss Anspruch 2, wobei der digitale Übertragungskanal (22) als eine oder mehrere elektrische Leitungen oder als eine oder mehrere optische Faser/n ausgeführt ist.
4. Galvanisch getrenntes Messsystem (2) gemäss Anspruch 3, wobei die Entkopplungseinheit (23) gleichtaktmässig wirkt und vor, nach oder im digitalen Übertragungskanal (22) eingefügt ist und dadurch parasitäre Erdkapazitäten der einzelnen Funktionsblöcke welche in Messsignalrichtung physikalisch nach der Entkopplungseinheit (23) angeordnet sind vom springenden Potential der Messschaltung hochfrequent entkoppelt.
5. Galvanisch getrenntes Messsystem (2) gemäss Anspruch 4, wobei die Entkopplungseinheit (23) durch Einfügen einer gleichtaktmässigen Längsimpedanz, insbesondere
  - durch Einfügen einer zusätzlichen Gleichtaktinduktivität vor oder nach dem digitalen Übertragungskanal (22) oder
  - mittels Führung des digitalen Übertragungskanals (22) durch Hochfrequenzferrite, realisiert ist.
6. Galvanisch getrenntes Messsystem (2) gemäss Anspruch 4 oder 5, wobei das modulare Messsystem voneinander unabhängige Versorgungen zur Energieversorgung der einzelnen Funktionsblöcke aufweist.
7. Galvanisch getrenntes Messsystem (2) gemäss Anspruch 6, wobei der Messkopf (21) direkt von einer zu messenden Schaltung (1), von einem galvanisch getrennten Netzteil (26), welches an eine externe Energiequelle (27) anschliessbar ist, oder von einem lokalen, d.h. in dem Messkopf integrierten Energiespeicher, versorgbar ist, wobei der Rest des Messsystems unabhängig vom Messkopf (21) entweder über ein galvanisch getrenntes Netzteil von einer externen Energiequelle (27) oder durch einen lokalen Energiespeicher (28) versorgbar ist.

## CH 716 494 B1

8. Galvanisch getrenntes Messsystem (2) gemäss Anspruch 4 oder 5, wobei das Messsystem nur von einer Energieversorgung aus versorgbar ist insbesondere wobei die Signalverarbeitungseinheit (24) vom Messkopf (21) oder der Messkopf (21) von der Signalverarbeitungseinheit (24) versorgbar ist.
9. Galvanisch getrenntes Messsystem (2) gemäss Anspruch 4 oder 5, wobei eine zusätzliche elektrische Verbindung (29) zwischen dem Messkopf (21) und der Signalverarbeitungseinheit (24) vorliegt.
10. Galvanisch getrenntes Messsystem (2) gemäss Anspruch 4 oder 5, wobei das Messsystem (2) in einem Schirmgehäuse eingebettet ist, das mit einem springenden Schaltungspunkt B verbunden ist und unter anderem die Funktion einer zusätzlichen elektrischen Verbindung (29) zwischen dem Messkopf (21) und der Signalverarbeitungseinheit (24) übernimmt.



Figur 1