



(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2020 116 688.5**
(22) Anmeldetag: **24.06.2020**
(43) Offenlegungstag: **30.12.2021**

(51) Int Cl.: **G01R 19/02** (2006.01)
G02F 1/03 (2006.01)
G02B 27/28 (2006.01)
G02B 5/30 (2006.01)

(71) Anmelder:
**Bundesrepublik Deutschland (Bundesministerium
für Wirtschaft und Energie), 38116 Braunschweig,
DE**

(74) Vertreter:
**Gramm, Lins & Partner Patent- und
Rechtsanwälte PartGmbH, 38122 Braunschweig,
DE**

(72) Erfinder:
Funck, Torsten, 38124 Braunschweig, DE

(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE 44 36 454 A1
US 2013 / 0 093 410 A1

**HERTZ, H. M.; THOMSEN, P.: Optical wideband
high-voltage measurement system. Review of
Scientific Instruments, Vol. 58, 1987, S. 1660 –
1664, AIP [online]. DOI: 10.1063/1.1139364**

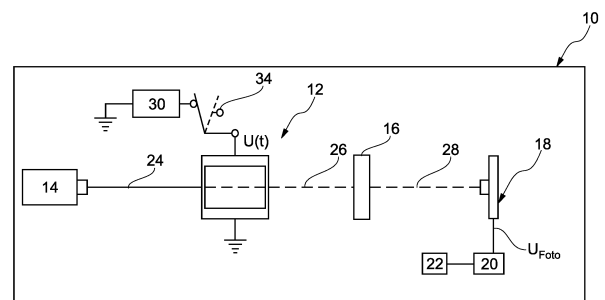
**TIETZE, U.; SCHENK, Ch.: Halbleiter-
Schaltungstechnik. 10. Auflage. Berlin : Springer,
1993. S. 871 – 876. – ISBN: 978-3-662-07640-8**

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **Verfahren zum Messen des Effektivwerts einer Wechselspannung und
Wechselspannungsmessgerät**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Messen des Effektivwertes (U_{eff}) einer Wechselspannung, mit den Schritten: (a) Anlegen der Wechselspannung an eine Pockels-Zelle (12) eines Wechselspannungsmessgerät (10), (b) Leiten eines in einer Eingangs-Polarisationsrichtung linear polarisierten einfallenden Lichtstrahls (24) durch die Pockels-Zelle (12), sodass ein linear polarisierter auslaufender Lichtstrahl (26) entsteht, dessen Ausgangs-Polarisations-Richtung um einen Ablenkwinkel zu einer Eingangs-Polarisationsrichtung des einfallenden Lichtstrahl (24) gedreht ist, (c) Leiten des auslaufenden Lichtstrahls (26) durch einen Polarisator (16), sodass ein polarisationsgefilterter Lichtstrahl (28) entsteht, (d) Messen einer wechselspannungsbedingten Intensität des polarisationsgefilterten Lichtstrahls (28), sodass ein elektrisches Messsignal (U_{mess}) erhalten wird und (e) Bestimmen der Wechselspannung aus dem elektrischen Messsignal (U_{mess}), (f) wobei das Bestimmen der Wechselspannung ein Tiefpassfiltern des elektrischen Messsignals (U_{mess}) umfasst, sodass ein zeitlicher Messsignal-Mittelwert ($A_{\text{ac}}(t)$) erhalten wird, und (g) wobei der Effektivwert (U_{eff}) aus dem zeitlichen Messsignal-Mittelwert ($A_{\text{ac}}(t)$) bestimmt wird.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Messen des Effektivwerts einer Wechselspannung. Gemäß einem zweiten Aspekt betrifft die Erfindung ein Wechselspannungsmessgerät.

[0002] Die Spannungseinheit Volt wird in der Regel über eine Reihenschaltung von Josephson-Kontakten und eine Mikrowellen-Frequenzquelle dargestellt. Wechselspannungen müssen auf eine so definierte Gleichspannung zurückgeführt werden. Das geschieht im Stand der Technik durch thermische Konverter. Dabei wird die zu messende Wechselspannung an einen ohmschen Widerstand angeschlossen, der sich daraufhin erwärmt. Danach wird eine rückgeführte Spannung an den gleichen ohmschen Widerstand angelegt und ermittelt, wann der ohmsche Widerstand die gleiche Wärmemenge abgibt.

[0003] Für Spannungen oberhalb einiger weniger Volt werden zusätzlich in Serie geschaltete Widerstände verwendet, um die entsprechende Wechselspannung rückgeführt zu messen, da der Dynamik-Bereich thermischer Konverter auf rund 10:1 beschränkt ist. Je höher die Wechselspannung ist, desto größer wird dabei die freiwerdende Verlust-Wärme, die nicht zum thermischen Transfer beiträgt, aber die Messeinrichtung aufheizt. Das ist insbesondere bei sehr hohen Wechselspannungen problematisch.

[0004] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, den Effektivwert einer Wechselspannung verlustärmer auf eine Gleichspannung zurück zu führen.

[0005] Die Erfindung löst das Problem durch ein Verfahren zum Messen des Effektivwerts einer Wechselspannung mit den Schritten: (a) Anlegen der Wechselspannung an eine Pockels-Zelle eines Wechselspannungsmessgerät, (b) Leiten eines in einer Eingangs-Polarisationsrichtung linear polarisierten einfallenden Lichtstrahls durch die Pockels-Zelle, sodass ein linear polarisierter auslaufender Lichtstrahl entsteht, dessen Ausgangs-Polarisations-Richtung um einen Ablenkwinkel zu einer Eingangs-Polarisationsrichtung des einfallenden Lichtstrahl gedreht ist, (c) Leiten des auslaufenden Lichtstrahls durch einen Polarisator, sodass ein polarisationsgefilterter Lichtstrahl entsteht, (d) Messen einer wechselspannungsbedingten Intensität des polarisationsgefilterten Lichtstrahls, sodass ein elektrisches Messsignal erhalten wird und (e) Bestimmen der Wechselspannung aus dem elektrischen Messsignal, (f) wobei das Bestimmen der Wechselspannung ein Tiefpassfiltern des elektrischen Messsignals umfasst, sodass ein zeitlicher Messsignal-Mittelwert erhalten wird, und (g) wobei der Effektivwert aus dem zeitlichen Messsignal-Mittelwert bestimmt wird.

[0006] Gemäß einem zweiten Aspekt löst die Erfindung das Problem durch ein Wechselspannungsmessgerät mit (a) einer Pockels-Zelle, (b) einer Lichtquelle zum Abgeben eines linear polarisierten einfallenden Lichtstrahls auf die Pockels-Zelle, sodass der einfallende Lichtstrahl durch die Pockels-Zelle verläuft und ein auslaufender Lichtstrahl entsteht, (c) einem Polarisator, der so angeordnet ist, dass der auslaufende Lichtstrahl durch den Polarisator verläuft, sodass ein polarisationsgefilterter Lichtstrahl entsteht, (d) einem Intensitätsmesser zum Messen einer wechselspannungsbedingten Intensität des polarisationsgefilterten Lichtstrahls, (e) einem Tiefpassfilter zum Tiefpassfiltern des elektrischen Messsignals, sodass ein Messsignal für den zeitlichen Intensitäts-Mittelwert erhalten wird, und (f) einer Auswerteeinheit, die ausgebildet ist zum automatischen Bestimmen des Effektivwerts aus der wechselspannungsbedingten Intensität.

[0007] Vorteilhaft an der Erfindung ist, dass der Strom, der durch die Pockels-Zelle fließt, sehr gering ist und in guter Näherung vernachlässigt werden kann. Es ist daher möglich, den Effektivwert mit einer sehr geringen Verlustleistung zu bestimmen, selbst wenn die Wechselspannung beispielsweise mehr als 100 Volt beträgt. Vorteilhaft ist zudem, dass der Aufbau des erfindungsgemäßen Wechselspannungsmessgeräts vergleichsweise einfach ist.

[0008] Vorteilhaft ist zudem, dass die Pockels-Zelle in der Regel so gewählt werden kann, dass vergleichsweise hohe Wechselspannungen vermessen werden. Die Höhe der maximal anlegbaren Wechselspannung wird bei gleich gewähltem Design lediglich durch die Durchschlagsfestigkeit der Pockels-Zelle begrenzt.

[0009] Im Rahmen der vorliegenden Beschreibung wird unter dem Anlegen der Wechselspannung an die Pockels-Zelle insbesondere verstanden, dass diejenige Wechselspannung an die Pockels-Zelle angelegt wird, deren Effektivwert gemessen werden soll.

[0010] Bei dem Lichtstrahl, der durch die Pockels-Zelle geleitet wird, handelt es sich vorzugsweise um einen linear polarisierten Laserstrahl.

[0011] Unter der Pockels-Zelle wird insbesondere ein elektrooptischer Modulator verstanden der den Pockels-Effekt nutzt. Das umfasst beispielsweise einen Kristall mit elektrooptischen Eigenschaften, an den Elektroden angelegt sind. Alternativ ist es möglich, dass die Elektrode direkt auf den Kristall abgeschieden ist. Derartige Vorrichtungen werden beispielsweise zur Modulation von Laserlicht oder bei der Güteschaltung von gepulsten Lasern verwendet.

[0012] Vorzugsweise umfasst das Verfahren die Schritte (a) Anlegen einer positiven rückgeführten Gleichspannung an die Pockels-Zelle, (b) Leiten eines in der Eingangs-Polarisationsrichtung linear polarisierten einfallenden Lichtstrahls durch die Pockels-Zelle, sodass ein linear polarisierter auslaufender Lichtstrahl entsteht, dessen Ausgangs-Polarisations-Richtung um einen Ablenkwinkel zu einer Eingangs-Polarisationsrichtung des einfallenden Lichtstrahl gedreht ist, (c) Leiten des auslaufenden Lichtstrahls durch den Polarisator, sodass der polarisationsgefilterter Lichtstrahl entsteht, (d) Messen einer gleichspannungsbedingten Positivspannungs-Intensität des polarisationsgefilterten Lichtstrahls, (e) Anlegen einer negativen rückgeführten Gleichspannung an die Pockels-Zelle, (f) Messen einer gleichspannungsbedingten Negativspannungs-Intensität des polarisationsgefilterten Lichtstrahls und (g) Bestimmen der Wechselspannung aus der Positivspannungs-Intensität, der Negativspannungs-Intensität und der wechsellspannungsbedingten Intensität. In anderen Worten reicht eine rückgeführte Gleichspannung aus, um mittels des Wechsellspannungsmessgeräts den Effektivwert der angelegten Wechselspannung zu bestimmen.

[0013] Besonders günstig ist es, wenn zum Bestimmen der Wechselspannung die Formel

$$U_{ac} = U_{dc} \cdot \sqrt{\frac{A_{dc}}{A_{ac}}}$$
 verwendet wird. Dabei ist $\overline{A_{ac}}$ der zeitliche Mittelwert der wechsellspannungsbedingten Intensität ist, A_{dc} den Mittelwert aus Negativspannungs-Intensität und Positivspannungs-Intensität beschreibt, U_{dc} die auf SI-Einheiten zurückgeführte Gleichspannung ist und U_{ac} die zu bestimmende Wechselspannung beschreibt.

[0014] Diese Formel ergibt sich auf die folgende Weise.

[0015] Der Pockels-Effekt dreht die Polarisationssebene um den Winkel α proportional zu U :

$$\alpha = \pi \cdot \frac{U}{U_{\pi}} \quad \text{Formel 1}$$

wobei U_{π} die sogenannte Halbwellenspannung bezeichnet, die für eine halbe Umdrehung der Polarisation benötigt würde. Die Lichtintensität, die durch den Analysepolarisator übertragen wird, kann ausgedrückt werden als

$$A(\alpha) = \frac{A}{2} \cdot (1 - \cos(\alpha)) = \frac{A}{2} \cdot \left(1 - \cos\left(\pi \cdot \frac{U}{U_{\pi}}\right) \right) \quad \text{Formel 2}$$

[0016] Wenn die Drehung der Polarisation klein im Vergleich zu einer Viertel Umdrehung ist, kann eine Taylor-Reihe verwendet werden, um die Cosinusfunktion zu approximieren:

$$\cos(x) \approx 1 - \frac{x^2}{2!} + \frac{x^4}{4!} - \frac{x^6}{6!} + \dots \quad \text{Formel 3}$$

und die Intensität wird zu

$$A(\alpha) \approx \frac{A}{2} \cdot \left(\frac{\alpha^2}{2!} - \frac{\alpha^4}{4!} + \frac{\alpha^6}{6!} - \dots \right) \quad \text{Formel 4}$$

[0017] Für hinreichend kleine Gleichspannungen U können die Terme höherer Ordnung vernachlässigt werden und die Lichtintensität wird beschrieben durch

$$A_{dc} = \frac{A}{4} \cdot \left(\frac{\pi}{U_{\pi}} \right)^2 \cdot U^2. \quad \text{Formel 5}$$

[0018] Nun sei $U(t)$ eine sinusförmige Wechselspannung

$$U(t) = \hat{U} \cdot \sin(\omega t), \quad \text{Formel 6}$$

was zu einer zeitabhängigen Drehung der Polarisation $\alpha(t)$ führt

$$\alpha(t) = \pi \cdot \frac{\hat{U}}{U_{\pi}} \cdot \sin(\omega t) = \hat{\alpha} \cdot \sin(\omega t) \quad \text{Formel 7}$$

mit $\hat{\alpha} = \pi \cdot \hat{U} / U_{\pi}$ und einer zeitabhängigen Lichtintensität am Detektor von

$$A_{ac}(t) = \frac{\hat{A}}{2} \cdot \left(1 - \cos(\hat{\alpha} \cdot \sin(\omega t)) \right). \quad \text{Formel 8}$$

[0019] Nun untersucht man den Mittelwert der Lichtintensität, gemittelt über eine Periode der angelegten Wechselspannung. Das Integral

$$\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \cos(\hat{\alpha} \cdot \sin(x)) dx$$

hat keine analytische Lösung, aber wenn man die Taylor-Reihe aus Formel 3 anwendet, ergibt sich die Lichtintensität zu

$$A_{ac}(t) = \frac{\hat{A}}{2} \cdot \left(\frac{\hat{\alpha}^2}{2!} \sin^2(\omega t) - \frac{\hat{\alpha}^4}{4!} \sin^4(\omega t) + \frac{\hat{\alpha}^6}{6!} \sin^6(\omega t) \dots \right), \quad \text{Formel 9}$$

wobei dann die einzelnen Summanden analytisch gemittelt werden können. Es sind lediglich die Mittelwerte der geraden Potenzen der Funktion $\sin(\omega t)$ erforderlich:

$$\sin^{2^k}(\omega t) = \frac{1}{2^{2k}} \cdot \binom{2k}{k}. \quad \text{Formel 10}$$

[0020] Die mittlere Intensität errechnet sich damit zu

$$A'_{ac}(t) = \frac{\hat{A}}{2} \left(\frac{\hat{\alpha}^2}{2!} \frac{1}{2} - \frac{\hat{\alpha}^4}{4!} \frac{3}{8} + \frac{\hat{\alpha}^6}{6!} \frac{5}{16} - \dots \right) = \frac{\hat{A}}{8} \left(\hat{\alpha}^2 - \frac{1}{16} \hat{\alpha}^4 + \frac{1}{576} \hat{\alpha}^6 - \dots \right). \quad \text{Formel 11}$$

[0021] Für hinreichend kleine Spannungen können die Terme höherer Ordnung vernachlässigt werden und es ergibt sich die durchschnittliche Lichtintensität

$$A'_{ac} = \frac{\hat{A}}{8} \left(\frac{\pi}{U_{\pi}} \right)^2 \cdot \hat{U}^2. \quad \text{Formel 12}$$

[0022] Einsetzen des Effektivwerts U_{eff} , wobei die Amplitude als $\hat{U} = \sqrt{2} \cdot U_{\text{eff}}$ ausgedrückt wird, liefert:

$$A'_{ac} = \frac{\hat{A}}{4} \left(\frac{\pi}{U\pi} \right)^2 U_{eff}^2. \quad \text{Formel 13}$$

[0023] Der Vergleich mit Gleichung (5) erlaubt es, einen optischen Wechsel-Gleich-Transfer durchzuführen. Wird Formel 5 durch Formel 13 geteilt, ergibt sich

$$\frac{A_{ac}}{A_{dc}} = \frac{\frac{\hat{A}}{4} \left(\frac{\pi}{U\pi} \right)^2 U_{eff}^2}{\frac{\hat{A}}{4} \left(\frac{\pi}{U\pi} \right)^2 \cdot U^2} \quad \text{Formel 14}$$

[0024] Durch Umformen ergibt sich aus Formel 14

$$U_{ac} = U_{dc} \cdot \sqrt{\frac{A_{ac}}{A_{dc}}} \quad \text{Formel 15}$$

[0025] Vorzugsweise ist der Intensitätsmesser eine Fotodiode. Diese Fotodiode wird im Strommodus mit einer Vorspannung betrieben. Beim Auftreffen des polarisationsgefilterten Lichtstrahls ergibt sich ein Fotostrom I_{Foto} . Dieser fließt über einen ohmschen Widerstand, sodass sich eine zum Fotostrom I_{Foto} proportionierte Fotospannung U_{Foto} ergibt. Diese Fotospannung U_{Foto} wird vorzugsweise über einen R-C-Tiefpassfilter mindestens erster Ordnung geleitet. Es ergibt sich so ein elektrisches Messsignal, das eine Mess-Spannung U_{mess} kodiert oder mit dieser identisch ist. Die Messspannung U_{mess} kann mit einem Digitalvoltmeter gemessen werden, das dann das Messsignal abgibt.

[0026] Vorzugsweise beträgt die Frequenz der Wechselspannung zumindest 1 Hertz. Günstig ist es, wenn die Frequenz der Wechselspannung höchstens 1 Gigahertz, insbesondere höchstens 30 Megahertz, vorzugsweise höchstens 1 Megahertz beträgt.

[0027] Vorzugsweise ist die Amplitude der Wechselspannung höchstens so gewählt und die Pockels-Zelle ist so gewählt, dass ein Ablenkwinkel $\Delta\alpha$ zwischen einem Minimalablenkwinkel α_{min} bei einem Nulldurchgang der Wechselspannung und einem Maximalablenkwinkel α_{max} , wenn die Scheitelspannung der Wechselspannung an der Pockels-Zelle anliegt, höchstens 9° , insbesondere höchstens $1,5^\circ$ beträgt. Es werden dann nur kleine Korrekturterme für die nach dem Glied zweiter Ordnung abgebrochene Taylor-Reihe (Formel 11 und Formel 12) vernachlässigt und es wird somit eine besonders kleine Messunsicherheit erreicht.

[0028] Vorzugsweise werden abwechselnd die Wechselspannung und die Gleichspannung mit alternierender Polarität an die Pockels-Zelle angelegt und aus den resultierenden Lichtintensitäten wird eine zeitliche Drift des Wechselspannungsmessgeräts bestimmt. Anhand dieser Drift wird der Effektivwert, der aus dem zeitlichen Messsignal-Mittelwert bestimmt wird, um die Drift korrigiert.

[0029] Unter der Drift wird der Effekt verstanden, dass das Wechselspannungsmessgerät auch beim Anlegen der gleichen Wechselspannung mit der Zeit sich langsam ändernde Effektivwerte ermittelt. Da die Gleichspannung rückgeführt bekannt ist, kann aus der zeitlichen Drift der korrekte Effektivwert bestimmt werden. Die Drift kommt beispielsweise durch eine Alterung des Kristalls der Pockels-Zelle oder des Polarisators zustande.

[0030] Erfindungsgemäß ist zudem eine Wechselspannungsmesseinheit mit einem erfindungsgemäßen Wechselspannungsmessgerät und einem Kalibrierschein, in dem die Messunsicherheit für die Messung der Wechselspannung mit dem Wechselspannungsmessgerät angegeben ist. Die Messunsicherheit bezieht sich auf eine Messunsicherheit in Bezug auf ein Primärnormal, mittels dem eine SI-Einheit dargestellt wird.

[0031] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform besitzt das Wechselspannungsmessgerät eine Gleichspannungsquelle zum Abgeben einer rückgeführten Gleichspannung, einen Wechselspannungsanschluss und einen Umschalter zum alternativen Verbinden der Gleichspannungsquelle oder des Wechselspannungsanschlusses mit der Pockels-Zelle. Unter dem Merkmal, dass die Gleichspannungsquelle zum Abgeben einer rückgeführten Gleichspannung ausgebildet ist, wird insbesondere verstanden, dass für die von der Gleich-

spannungsquelle abgegebene Gleichspannung die Messunsicherheit in Bezug auf ein Primärnormal für eine SI-Einheit bekannt ist. Diese Messunsicherheit ist in einem entsprechenden Kalibrierschein angegeben.

[0032] Vorzugsweise ist der Polarisator so relativ zur Polarisationssebene der Lichtquelle angeordnet, dass ohne an der Pockels-Zelle anliegende Spannung die durchtretende Lichtintensität minimal ist, insbesondere null wird. Alternativ oder zusätzlich ist der Polarisator so relativ zur Polarisationssebene der Lichtquelle angeordnet, dass die durchtretende Lichtintensität bei beiden Polaritäten der an der Pockels-Zelle anliegenden Gleichspannung sich um höchstens 1 % unterscheiden. In anderen Worten ändert sich die auf den Intensitätsmesser auftreffende Lichtintensität beim Umpolen um höchstens 1 %.

[0033] Bei der Pockels-Zelle handelt es sich vorzugsweise um eine transversale Pockels-Zelle.

[0034] Im Folgenden wird die Erfindung anhand der beigefügten Zeichnungen näher erläutert. Dabei zeigt

Fig. 1 einen schematischen Aufbau eines erfindungsgemäßen Wechselspannungsmessgeräts zum Durchführen eines erfindungsgemäßen Verfahrens.

[0035] **Fig. 1** zeigt ein Wechselspannungsmessgerät **10** mit einer Pockels-Zelle **12**, einer Lichtquelle **14** in Form eines Lasers, einem Polarisator **16** und einem Intensitätsmesser **18**. Das Wechselspannungsmessgerät **10** umfasst zudem einen Tiefpassfilter **20** und eine Auswerteeinheit **22**.

[0036] Die Lichtquelle **14** gibt einen linear polarisierten einfallenden Lichtstrahl **24** ab, der in die Pockels-Zelle **12** einfällt, sodass ein auslaufender Lichtstrahl **26** entsteht. Der auslaufende Lichtstrahl **26** fällt auf den Polarisator **16**, sodass sich ein polarisationsgefilterter Lichtstrahl **28** ergibt, der auf den Intensitätsmesser **18** auffällt. Es ergibt sich dort ein elektrisches Messsignal, im vorliegenden Fall in Form der Fotospannung U_{Foto} .

Es ergibt sich so ein Messsignal für den zeitlichen Intensitäts-Mittelwert $\overline{A(t)}$.

[0037] Die Auswerteeinheit **22** berechnet daraus wie oben angegeben den Effektivwert U_{eff} der Wechselspannung.

[0038] Das Wechselspannungsmessgerät **10** besitzt zudem eine Gleichspannungsquelle **30**, die mittels eines schematisch eingezeichneten Umschalters **32** mit der Pockels-Zelle **12** verbindbar ist. Das Wechselspannungsmessgerät **10** kann zudem einen Anschluss **34** zum Anlegen der Wechselspannung aufweisen.

Bezugszeichenliste

10	Wechselspannungsmessgerät
12	Pockels-Zelle
14	Lichtquelle
16	Polarisator
18	Intensitätsmesser
20	Tiefpassfilter
22	Auswerteeinheit
24	einfallender Lichtstrahl
26	auslaufender Lichtstrahl
28	polarisationsgefilterter Lichtstrahl
30	Gleichspannungsquelle
32	Umschalter
34	Anschluss
$\Delta\alpha$	Ablenkwinkeldifferenz
α_{min}	Minimal-Ablenkwinkel
α_{max}	Maximal-Ablenkwinkel

ω	Kreisfrequenz
A_{dc}	Mittelwert aus Negativspannungs-Intensität und Positivspannungs-Intensität
$\frac{A}{2}$	auf 1 normierte Amplitude
$\overline{A(t)}$	zeitlicher Intensitäts-Mittelwert
U_{\square}	Halbwellenspannung
I_{Foto}	Fotostrom
U_{eff}	Effektivwert
U	Amplitude der Wechselspannung
U_{ac}	zu bestimmende Wechselspannung
U_{dc}	auf SI-Einheiten zurückgeführte Gleichspannung
U_{Foto}	Fotospannung
U_{mess}	Messsignal, Mess-Spannung

Patentansprüche

1. Verfahren zum Messen des Effektivwertes (U_{eff}) einer Wechselspannung, mit den Schritten:

- Anlegen der Wechselspannung an eine Pockels-Zelle (12) eines Wechselspannungsmessgerät (10),
- Leiten eines in einer Eingangs-Polarisationsrichtung linear polarisierten einfallenden Lichtstrahls (24) durch die Pockels-Zelle (12), sodass ein linear polarisierter auslaufender Lichtstrahl (26) entsteht, dessen Ausgangs-Polarisations-Richtung um einen Ablenkwinkel zu einer Eingangs-Polarisationsrichtung des einfallenden Lichtstrahl (24) gedreht ist,
- Leiten des auslaufenden Lichtstrahls (26) durch einen Polarisator (16), sodass ein polarisationsgefilterter Lichtstrahl (28) entsteht,
- Messen einer wechselspannungsbedingten Intensität des polarisationsgefilterten Lichtstrahls (28), sodass ein elektrisches Messsignal (U_{mess}) erhalten wird und
- Bestimmen der Wechselspannung aus dem elektrischen Messsignal (U_{mess}),
- wobei das Bestimmen der Wechselspannung ein Tiefpassfiltern des elektrischen Messsignals (U_{mess}) umfasst, sodass ein zeitlicher Messsignal-Mittelwert ($A_{ac}(t)$) erhalten wird, und
- wobei der Effektivwert (U_{eff}) aus dem zeitlichen Messsignal-Mittelwert ($A_{ac}(t)$) bestimmt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, mit den Schritten:

- Anlegen einer positiven rückgeführten Gleichspannung an die Pockels-Zelle (12),
- Leiten eines in der Eingangs-Polarisationsrichtung linear polarisierten einfallenden Lichtstrahls (24) durch die Pockels-Zelle (12), sodass ein linear polarisierter auslaufender Lichtstrahl (26) entsteht, dessen Ausgangs-Polarisations-Richtung um einen Ablenkwinkel zu einer Eingangs-Polarisationsrichtung des einfallenden Lichtstrahls (24) gedreht ist,
- Leiten des auslaufenden Lichtstrahls (26) durch den Polarisator (16), sodass der polarisationsgefilterte Lichtstrahl (28) entsteht,
- Messen einer gleichspannungsbedingten Positivspannungs-Intensität des polarisationsgefilterten Lichtstrahls (28),
- Anlegen einer negativen rückgeführten Gleichspannung an die Pockels-Zelle (12),
- Messen einer gleichspannungsbedingten Negativspannungs-Intensität des polarisationsgefilterten Lichtstrahls (28) und
- Bestimmen der Wechselspannung aus der Positivspannungs-Intensität, der Negativspannungs-Intensität und der wechselspannungsbedingten Intensität.

3. Verfahren nach den beiden vorstehenden Ansprüchen, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Bestimmen der Wechselspannung anhand der Formel

$$U_{ac} = U_{dc} \cdot \sqrt{\frac{A_{ac}}{A_{dc}}} \text{ erfolgt, wobei}$$

$\overline{A_{ac}}$ der zeitliche Mittelwert der wechselspannungsbedingten Intensität ist, A_{dc} den Mittelwert aus Negativspannungs-Intensität und Positivspannungs-Intensität beschreibt, U_{dc} die auf SI-Einheiten zurückgeführte Gleichspannung ist und

U_{ac} die zu bestimmende Wechselspannung beschreibt.

4. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass
- (a) die Frequenz der Wechselspannung zumindest 1 Hertz und/oder höchstens 1 Gigahertz beträgt und/oder
 - (b) eine Amplitude der Wechselspannung (U) höchstens so groß und die Pockels-Zelle (12) so gewählt ist, dass eine Ablenkwindeldifferenz ($\Delta\alpha$) zwischen einem Minimal-Ablenkwinkel (α_{min}) bei einem Nulldurchgang der Wechselspannung und einem Maximal-Ablenkwinkel (α_{max}), wenn die Scheitelspannung der Wechselspannung an der Pockels-Zelle (12) anliegt, höchstens 9° , insbesondere höchstens $2,5^\circ$, beträgt
5. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass
- (a) abwechselnd die Wechselspannung und die Gleichspannungen mit alternierender Polarität (AC, DC+, AC, DC-, AC,...) an die Pockels-Zelle (12) angelegt werden und
 - (b) aus den resultierenden Lichtintensitäten (Messsignale für die Intensitäts-Mittelwerte) eine zeitliche Drift des Wechselspannungsmessgeräts (10) bestimmt und die aus dem zeitlichen Messsignal-Mittelwert bestimmte Wechselspannung anhand der Drift korrigiert wird.
6. Wechselspannungsmessgerät (10) mit
- (a) einer Pockels-Zelle (12),
 - (b) einer Lichtquelle (14) zum Abgeben eines linear polarisierten einfallenden Lichtstrahls (24) auf die Pockels-Zelle (12), sodass der einfallende Lichtstrahl durch die Pockels-Zelle (12) verläuft und ein auslaufender Lichtstrahl (26) entsteht,
 - (c) einem Polarisator (16), der so angeordnet ist, dass der auslaufende Lichtstrahl (26) durch den Polarisator (16) verläuft, sodass ein polarisationsgefilterter Lichtstrahl (28) entsteht,
 - (d) einem Intensitätsmesser (18) zum Messen einer wechselspannungsbedingten Intensität des polarisationsgefilterten Lichtstrahls (28),
 - (e) einem Tiefpassfilter zum Tiefpassfiltern des elektrischen Messsignals, sodass ein Messsignal (U_{mess}) für den zeitlichen Intensitäts-Mittelwert ($A_{ac}(t)$) erhalten wird, und
 - (f) einer Auswerteeinheit (22), die ausgebildet ist zum automatischen Bestimmen des Effektivwerts (U_{eff}) aus der wechselspannungsbedingten Intensität.
7. Wechselspannungsmessgerät (10) nach Anspruch 6, **gekennzeichnet durch**
- (a) eine Gleichspannungsquelle (30) zum Abgeben einer rückgeführten Gleichspannung,
 - (b) einen Wechselspannungsanschluss und
 - (c) einen Umschalter (32) zum alternativen Verbinden der Gleichspannungsquelle (30) oder des Wechselspannungsanschlusses mit der Pockels-Zelle (12).
8. Wechselspannungsmessgerät (10) nach einem der Ansprüche 6 bis 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Polarisator (16) so relativ zur Polarisationssebene der Lichtquelle (14) angeordnet ist, dass
- (a) ohne an der Pockels-Zelle (12) anliegende Spannung die durchtretende Lichtintensität minimal ist, insbesondere zu null wird und/oder
 - (b) die durchtretenden Lichtintensitäten bei beiden Polaritäten der an der Pockels-Zelle (12) anliegenden Gleichspannung sich um höchstens 1% unterscheiden.
9. Wechselspannungsmessgerät (10) nach einem der Ansprüche 6 bis 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Pockels-Zelle (12) eine transversale Pockels-Zelle (12) ist.
10. Wechselspannungsmesseinheit mit einem Wechselspannungsmessgerät (10) nach einem der Ansprüche 6 bis 9 und einem Kalibrierschein, in dem die Messunsicherheit für die Messung der Wechselspannung angegeben ist.

PL/be

Es folgt eine Seite Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

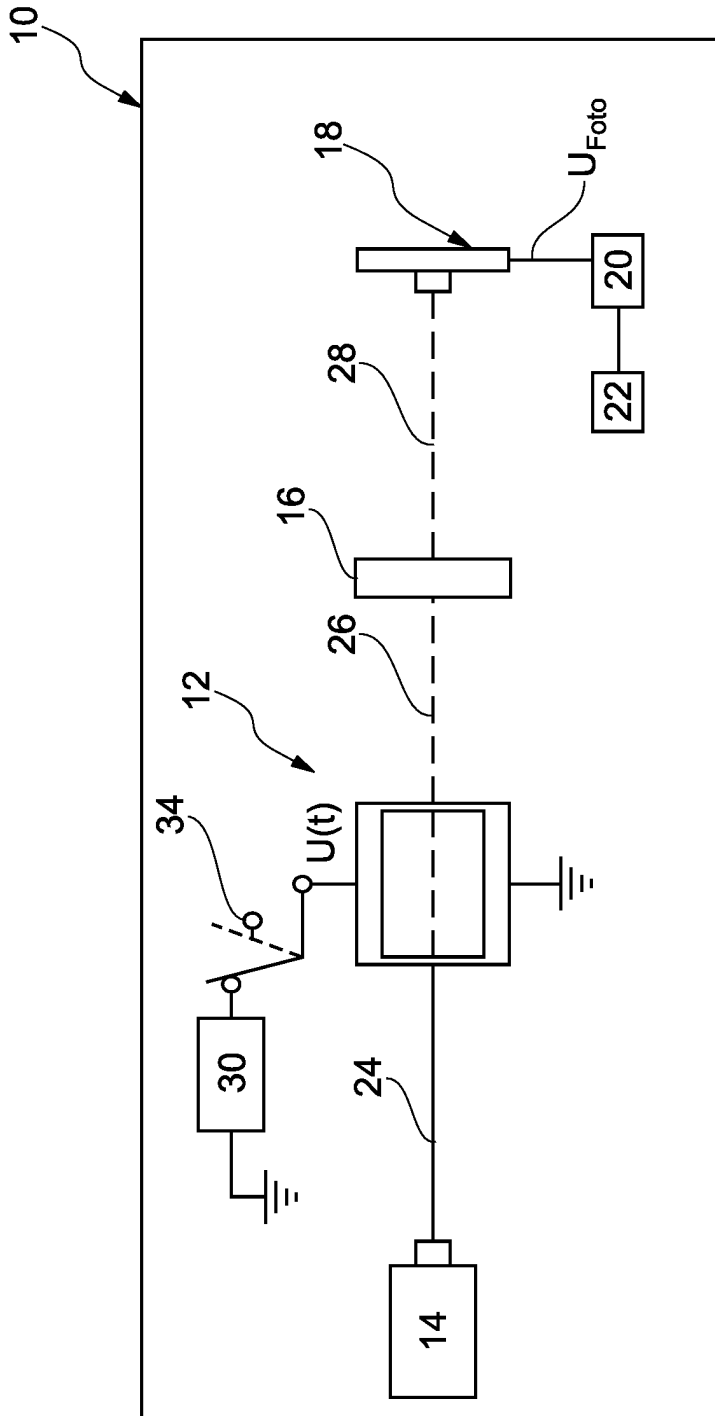


Fig. 1