



República Federativa do Brasil
Ministério da Economia
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(11) PI 0902748-3 B1



(22) Data do Depósito: 30/07/2009

(45) Data de Concessão: 03/11/2020

(54) Título: INSTRUMENTO DE TRANSDUÇÃO ELETRÔNICA RESISTIVA MÚLTIPLA COM COMPENSAÇÃO DA DERIVA TÉRMICA E RUÍDO DE BAIXA FREQUENCIA

(51) Int.Cl.: G01R 27/02; G01R 1/30.

(73) Titular(es): UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA.

(72) Inventor(es): FRANCISCO ANTÔNIO BELO; ABEL CAVALCANTE LIMA FILHO; DIÓGENES MONTENEGRO GOMES DE BRITO SILVA.

(57) Resumo: Instrumento de transdução eletrônica resistiva múltipla com compensação da deriva térmica e ruído de baixa frequência, constituído por um número indeterminado de sensores resistivos em variados pontos de medidas, de elevada precisão em um único circuito eletrônico, com compensação automática das derivas térmicas e ruídos de baixa frequência, capacidade para efetuar medições como temperatura e deformação de forma simultânea em um único circuito, com vários sensores resistivos (1) em várias pontes de Weatstone, formada cada uma por quatro elementos resistivos que podem ser um ou mais sensores resistivos onde o número de pontes de Weatstone presente no circuito é igual ao número de grandezas ao qual se deseja medir.

INSTRUMENTO DE TRANSDUÇÃO ELETRÔNICA RESISTIVA MÚLTIPLA COM COMPENSAÇÃO DA DERIVA TÉRMICA E RUÍDO DE BAIXA FREQUENCIA

A presente invenção refere-se a um instrumento eletrônico de medida de um número
5 indeterminado de sensores resistivos em variados pontos de medidas, de forma
simultânea, de elevada precisão em um único circuito eletrônico. Outra característica
intrínseca de seu princípio é a compensação automática das derivas térmicas e ruídos de
baixa frequência. Propõe solucionar um problema inerente aos instrumentos de medidas,
a variação de uma mesma medida (mesmo valor de um mensurando) com a variação da
10 temperatura do ambiente em que o instrumento está inserido. Essa invenção é aplicada
quando se utiliza as medidas baseadas em transdutor de resistência elétrica. Diferentes
mensurandos (temperatura, pressão, força, aceleração dentre outras) baseados em
transdutores de resistências apresentam seus valores de medição nos terminais de saída
de um circuito eletrônico.

15 As medidas da pressão e da temperatura são os mais utilizados na indústria. Em
primeiríssimo lugar, e muito mais utilizadas que as demais. Essas medidas utilizam
essencialmente, e cada vez mais, o transdutor de resistência. O presente pedido de patente
está em um contexto da contribuição para exatidão e precisão do mesurando baseado em
transdutores de resistência em sistema de medição. Essas medidas com alta exatidão têm
20 contribuição inerentes à sustentabilidade, ao aumento da produtividade industrial, ao
avanço científico e tecnológico.

Os dois tipos de transduções eletrônicas de medida de temperaturas mais adotadas
na indústria e laboratório de pesquisa são as feitas por termopar e termômetro de

resistência. As principais razões dessas utilidades são a repetitividade, a estabilidade, a imunidade a meio ambiente agressivo, a larga faixa de temperatura e seu longo tempo de aplicação. Em temperatura abaixo de 700 °C, o termômetro de resistência é mais preciso e mais confiável que qualquer termopar disponível. Com o aparecimento dos sistemas de

5 aquisição de dados baseados em processamento digital, sua versatilidade e seu custo se tornando cada vez mais baixo, está tornando o termômetro baseado em transdutor de resistência cada vez o mais utilizado na indústria e laboratório de pesquisa.

A medida de deformações através da Extensometria é o método mais empregado nas medidas de aceleração, força, torque e pressão. Os medidores de deformações ideais

10 deveriam possuir as seguintes características: estabilidade da constante de calibração (não variar com a temperatura, meio ambiente e tempo); capaz de medir deformações tão pequenas como 1µm/m, ou tão grande como $\pm 10\%$; tamanho do sensor pode ser tão pequeno como se aproximando de uma medida pontual, com pequeno erro; permitir resposta dinâmica excedendo 100 kHz; permitir medidas locais ou remotas; o sinal de

15 saída deve ser independente da temperatura e outros fatores ambientais; permitir um custo baixo para poder ter uma vasta aplicabilidade; ser de fácil de instalação e operação e apresentar uma resposta linear para uma larga faixa de temperatura. O extensômetro de resistência elétrica é o único sensor de deformação que atende a praticamente todos os requisitos citados.

20 O principal fundamento da presente invenção (a compensação da variação da medida do instrumento com a temperatura do ambiente do instrumento) é a utilização de um filtro eletrônico para eliminar a tensão constante (frequência zero do sinal) na propagação do sinal eletrônico. Esse sinal constante é o grande responsável pela variação do sinal de

saída com a temperatura do ambiente do instrumento (ou do circuito eletrônico) de amplificadores de elevado ganho. Outra possibilidade dessa invenção é utilizar uma só fonte de alimentação alternada alimentando várias pontes de Wheatstone para diversos mensurandos e apresentar simultaneamente nas saídas do circuito eletrônico os sinais correspondentes aos mensurandos. Esses sinais são adquiridos de forma simultâneas através de canais de conversores analógicos para digitais para ser processado pelo computador digital.

O custo elevado dos instrumentos de medição baseado em transdutores de resistências elétricas de alta precisão e reprodutibilidade (com compensação da temperatura do ambiente do instrumento) no mercado e a quase inexistência de publicações desse tema mostra a relevância desse problema. A forma comum e praticamente invariante de medida de transdutor resistência é através de ponte de Wheatstone, com os sensores resistivos colocadas na mesma. Um circuito dessa medida, que pode ser visto nas mais variadas literaturas de instrumentação eletrônica é o amplificador de instrumentação. Esse amplificador utiliza uma configuração de amplificadores operacionais de forma a serem adequados ao tratamento de sinais sensíveis a ruídos (sensores e transdutores), sinais transmitidos remotamente, transdutores de baixa sensibilidade, especialmente, tratamento de sinais com relação baixa entre a tensão diferencial e de modo comum. Apesar dessas vantagens, não têm uma ótima compensação da temperatura do ambiente em que o circuito eletrônico está inserido. Um artigo de Kenneth [1] propõe um circuito eletrônico de transdução para compensar a influência da temperatura na medida de outro mensurando, a medida da pressão baseado em transdutor de extensômetro, no ambiente do sensor e não do ambiente

do instrumento. Sugere a possibilidade de compensação com a temperatura do ambiente do instrumento. A compensação da variação da medida do ambiente do mensurando é feita através da variação da alimentação da ponte de Wheatstone por um circuito eletrônico baseado em um sensor de temperatura que fica no ambiente da transdução da

5 pressão do sensor de extensômetro. Para compensação da variação da temperatura no ambiente do instrumento, seu princípio físico baseia na medida da variação do carregamento e descarregamento em um capacitor e medida por demodulador síncrono. A tensão elétrica do carregamento e descarregamento é bem determinada e diretamente relacionada com variação da resistência do sensor de resistência do extensômetro na ponte

10 de Wheatstone. Esse método, é semelhante a um circuito para medida de capacitância elétrica de Huang [2]. Essa técnica apresenta limitações, com poucos resultados apresentados no artigo de Kenneth [1], e com mais detalhados do problema semelhante para a capacitância, apresentado em Huang[3]. Para compensação da temperatura do ambiente do mensurando, o artigo de Kenneth apresenta limitação do sensor de

15 compensação de temperatura, conforme documento de especificação do componente [4] e de técnica de medição de temperatura de superfície [5]. Essas limitações da técnica do artigo de Kenneth[1] são realçadas principalmente nos aspectos da exatidão e precisão. O instrumento baseado na presente invenção não apresenta as limitações de compensação da temperatura ambiente do instrumento, como a dependência da frequência, do

20 componente capacitivo do artigo de Huang [2], principalmente nos parâmetros de precisão e exatidão.

Um pedido de patente americana US4261195A apresenta a utilização de várias pontes com uma única fonte alternada na solução do efeito de cantos na medida do peso na

plataforma da balança. Essa patente é uma adequação do método já existente de várias pontes para compensar efeitos de cantos em pontes de transdutores de extensômetros na medida de peso colocados em posições adequadas da plataforma. Isso é feito através da substituição de potenciômetros por pequenos resistores nos terminais da ponte. É uma aplicação para um único mensurando, no caso um peso de uma balança. Se utilizasse amplificador para medida era utilizado um só amplificador. Tem limitações de precisão, exatidão e necessidade da seleção de escala. No presente invento, pode ser utilizado uma só ponte com vários transdutores de resistências (não somente de extensômetros) e para diversos mensurandos em um só circuito com diversas saídas e diversos amplificadores de saída. Além de ser aplicado a vários mensurandos, inclusive, diferentes tipos como temperaturas, forças e pressão, dentre outras, não apresenta as limitações da patente americana e principalmente nos valores de precisão e exatidão.

Uma das principais características dos circuitos condicionadores é receber um determinado sinal, amplificar e filtrar com o menor ruído possível mantendo a sua linearidade. Por este motivo alguns condicionadores de sinais do estado da técnica utilizam técnicas de linearização, que aumentam a linearidade do sistema, porém também aumentam a complexidade do circuito e seu custo. O instrumento de transdução eletrônica resistiva múltipla com compensação da deriva térmica e ruído de baixa frequência dispensa o uso de técnicas adicionais de linearização, conseguindo um desempenho que pode ser considerado de 100% de correlação com uma regressão Matemática.

A utilização de múltiplas pontes para múltiplos mensurandos independentes, permite a compensação da deriva térmica da temperatura do mensurando, sem a limitação do artigo de Kenneth [1]. A eletrônica de transdução para medida de temperatura utilizando,

por exemplo, sensor de temperatura resistivo é diferente da transdução eletrônica que utiliza extensômetro. Normalmente isto acontece devido à necessidade de baixa alimentação da ponte na medida da temperatura para evitar efeito Joule, que tem como consequência uma sensibilidade bem mais alta para deformação do que para temperatura.

5 Na presente patente de invenção, a eletrônica de transdução utiliza uma alimentação da ponte que consegue alta precisão, permitindo sua aplicação igualmente para sensores de temperatura e deformação. A qualidade de baixo consumo da ponte e da eletrônica de transdução restante permite a utilização em transdução remota e telemétrica também com grande precisão. Os outros circuitos de sensores resistivos utilizam um único sensor,
10 enquanto o circuito proposto pode medir simultaneamente vários sensores.

Os proponentes conviveram com esse problema desde a década de setenta. Após a concepção desse instrumento realizou muitos procedimentos experimentais para sua validação. Nos ensaios experimentais o circuito de transdução era colocado em uma estufa e variado a temperatura, com uma variação de 20 até 60 °C. Verificou-se, dentro
15 da faixa de observação disponível na época, que não havia variação na resposta. Foram feitas as simulações e comprovando teoricamente a enorme compensação com a variação da temperatura do ambiente. Baseados nesse instrumento aconteceram vários prêmios, honrarias, projetos acadêmicos e para grandes empresas. Cujas descrições estão em seus relatórios técnicos. Muitas teses de doutorados foram baseadas nesse instrumento. Não
20 foram publicados diretamente artigos descritivos dessa técnica por questão de sigilo. A invenção poderá ser melhor visualizada em sua realização preferida de forma meramente ilustrativa e sem nenhum caráter restritivo, nos desenhos que acompanham e integram este relatório onde: A figura 1 apresenta o diagrama geral do circuito; a figura 2 ilustra o

circuito individual que processa a informação de cada sensor em uma realização preferida; a figura 3 ilustra outra proposta para o medidor de tensão alternada, cuja configuração contribui para minimizar o erro que poderá ocorrer devido à inversão do diodo; a figura 4 apresenta uma outra proposta para alimentação da ponte, através de fonte

5 simétrica.

Conforme podemos inferir dos desenhos anexos, o instrumento de transdução eletrônica resistiva múltipla com compensação da deriva térmica e ruído de muito baixa frequência é constituído por uma ponte de Wheatstone, que é uma associação de elementos resistores em ramos paralelos, com dois em cada ramo. Várias pontes de

10 Wheatstone estão integradas a diferentes sensores resistivos (1), sensores estes que, neste caso, estão associados a três elementos resistivos, que também podem ser sensores ou somente resistores, formando várias pontes de Wheatstone. A tensão entre os dois pontos dos dois pontos comuns dos elementos resistivos de cada ramo é denominada de tensão diferencial da ponte. Uma chave analógica temporizada (2) seleciona os níveis de tensão

15 constante de referência, a partir de uma fonte de referência (3) ou de aterramento de referência (4), fornecendo um sinal de onda quadrada na saída da chave analógica temporizada (2). Os sensores resistivos (1) integrados às diversas pontes de Wheatstone junto a amplificadores operacionais formam diversos amplificadores diferenciais (5), que apresentam em sua saída as tensões diferenciais amplificadas da ponte. Onde cada ponte

20 formará parte de um circuito individual, cujo circuito individual que fornecerá a leitura de cada grandeza a qual se está medindo. O sinal diferencial amplificado da ponte é diretamente relacionado com a variação dos sensores resistivos (1). Os capacitores de desacoplamento (6) transformam o sinal diferencial em um sinal variando em torno da

tensão do aterramento de referência (4), ou 0 V. Sua função também elimina valor do modo comum de rejeição e o problema de não linearidade em torno de um ponto quiescente que varia com a temperatura. O medidor de valor de tensão alternada (7) recebe o sinal após o capacitor de desacoplamento (6), em cada circuito, e fornece um

5 sinal contínuo nos seus terminais de saídas (8) igual, ou diretamente proporcional ao valor diferencial da ponte, de cada circuito individual.

O sinal dos terminais de saída (8) são praticamente os sinais de tensão diferencial amplificado da ponte. Com esta técnica, em que o sinal diferencial amplificado alternado da ponte é transformado em tensão alternada variando em torno do 0 Volt, a medida desta

10 variação de tensão alternada em tensão amplificada ou não, permite a compensação das derivas térmicas dos amplificadores operacionais ou circuitos integrados e a compensação das variações ou ruídos de muito baixa frequência.

Os dados dos sinais de saídas de cada mensurando são postos simultaneamente em (8). Esses dados são adquiridos e integrados simultaneamente através dos conversores

15 analógicos para digitais pelo computador. Com os dados adquiridos, o computador realiza os métodos matemáticos que são inerentes como regressão e análise estatísticas dos dados para compor os parâmetros finais do instrumento. São esses elementos, com pequenas variações, que caracterizam a instrumentação digital, com enorme participação de software. O fundamento do instrumento pode ser analisado através do circuito eletrônico.

20 O ganho diferencial do sinal diferencial da ponte é muito independente da temperatura (5). O ganho comum é que teria uma variação com a deriva térmica do ambiente, que também está representado em (5). Portanto no circuito o grande ganho é dado nesse amplificador diferencial. Seguida esse amplificador tem-se o capacitor denominado de

desacoplamento (6). Esse capacitor retira a componente de tensão elétrica constante (frequência alternada igual a zero) na saída do amplificador diferencial. Desse modo tem-se somente a componente devido à variação do sinal alternado do sensor de resistência menos o sinal de referência (diferença de sinal do meio do ramo, sobre o resistor do sensor

5 de resistência e o sinal do meio do outro ramo da ponte). O ganho comum do amplificador, ou ganho de frequência zero é retirado e ele é o grande responsável pela deriva térmica do circuito eletrônico. O capacitor é denominado de capacitor de desacoplamento que retira a componente de frequência zero pode ser melhor compreendido como um filtro passa alto, que elimina qualquer componente constante do sinal alternado.

10 Experimentalmente, quando foi testada essa ideia, foi verificado uma exatidão maior que $0,002\text{ }^{\circ}\text{C}/^{\circ}\text{C}$, que era o limite dos ensaios experimentais do laboratório em teste. Ensaios teóricos, realizados depois deram valores da ordem de $0,5\text{e-}05\text{ }^{\circ}\text{C}/^{\circ}\text{C}$. Também aconteceu nenhuma dependência com o capacitor de desacoplamento e a frequência.

A figura 2 ilustra um exemplo de um circuito individual que processa a informação

15 de cada sensor. O sinal de onda quadrada gerada pela chave analógica temporizada (2) alimenta uma ponte de Wheatstone formada pelo resistor (9), pelo resistor (10), pelo resistor (11) e pelo sensor resistivo (12), onde o resistor (9) o resistor (10) e o resistor (11) podem ser substituídos por sensores resistivos para aumentar a sensibilidade da ponte. A tensão diferencial da ponte é ampliada através do amplificador diferencial que também é

20 formado pelo amplificador operacional (13), pelo resistor (14) e pelo resistor (15). O capacitor (16) faz o desacoplamento de corrente contínua do sinal.

No medidor de valor de tensão alternada (7) o amplificador operacional (17) com o resistor (18), o resistor (19) e o resistor (20), inverte o sinal de saída depois do capacitor

(16). A configuração do circuito formado pelo amplificador operacional (21), pelo diodo (22), pelo resistor (23) e pelo resistor (24) realiza uma função de um diodo ideal com sua saída amplificada ou ganho unitário de tensão quando estiver conduzindo. Ao tomar o sinal após o diodo (22), o ganho do sinal é relacionado com o resistor (23) e o resistor (24). O sinal de saída após o diodo (22) é igual ao sinal de entrada durante o ciclo positivo, ou durante o tempo em que o diodo (22) está conduzindo. De maneira análoga acontece com a configuração formada pelo amplificador operacional (25), pelo diodo (26), pelo resistor (27) e pelo resistor (28). Devido ao inversor formado pelo amplificador operacional (17), pelo resistor (18), pelo resistor (19) e pelo resistor (20), o sinal resultante da junção destas duas saídas do diodo (22) e do diodo (26), corresponderá a um valor positivo (equivalente a um módulo) da tensão diferencial amplificada da ponte. Os filtros formados pelo resistor (29) e capacitor (30) e pelo resistor (31) e capacitor (32) são para minimizar os ruídos.

A parte do circuito entre o capacitor (16) e o terminal de saída (33) corresponde a um medidor do valor de tensão alternada proposto. Outros circuitos poderão funcionar com medidor do valor de tensão alternada. No caso do sistema proposto em que o sinal alternado é onda quadrada, o sinal de saída é contínuo. Dependendo da frequência utilizada, a inversão do diodo (condução para não condução), pode contribuir com algum erro. Outra possibilidade é utilizar diodos de junção metal e semicondutor.

Os dados dos sinais de saídas de cada mensurando são postos nas saídas dado por (8) na figura 1 e por (33) do circuito da figura 2 que corresponde a uma de cada saída. Esses dados são adquiridos e integrados simultaneamente através dos conversores analógicos para digitais pelos computadores. Com os dados adquiridos, o computador

realiza os métodos matemáticos lhe são inerentes como regressão e análise estatísticas dos dados para compor os parâmetros finais do instrumento.

A afirmação de um único circuito pode ter mais de um sentido. O circuito pode ter uma ou várias fontes alternadas quadradas (2) que podem alimentar várias pontes ((9), 5 (10), (11) e (12)). Ou seja, uma fonte alternada pode alimentar várias pontes ou várias fontes alternadas alimentarem de forma biunívoca as pontes. De cada ponte é associado um amplificador de transdução. Amplificador de transdução, aqui compreendido como a integração do amplificador diferencial ((13), (14) e (15)), capacitor de desacoplagem ou de filtro passa alto (6), amplificador inversor ((17), (18), (19) e (20)), e soma dos sinais 10 dos diodos ideais (21), (22), (23) e (24)) e ((25), (26), (27) e (28)). Dessa forma, a fonte alternada ou várias fontes alternadas, as pontes de Wheatstone ou uma só ponte, o amplificador de transdução ou vários amplificadores de transduções formam um único circuito, com vários mensurandos. Cada mensurando é derivado pela variação do resistor de transdutor da ponte. Simultaneamente, são medidos todos esses sinais de saídas dos 15 amplificadores através dos múltiplos canais de conversores analógicos para digitais. Outro sentido possível a um único circuito, é que pode ser utilizada uma única fonte variável para várias transduções de medição.

Através da figura 2 pode ser visto mais detalhes da solução do problema existente. Uma característica de qualquer instrumento de medição é sua variação de reposta de uma 20 mesma medida, com a temperatura do meio em que o instrumento está inserido. Normalmente nessa medição, utiliza-se o sensor de resistência que está na ponte e é amplificada. O amplificador é o principal responsável pela variação da resposta do transdutor de resistência com a temperatura ambiente que o circuito eletrônico está

inserido. No circuito dessa medição, utiliza fonte alternada, com uma grande vantagem do sinal em forma quadrada, para esse caso. Com esse sinal, o circuito amplificador é tal que mede somente a variação da resistência do sensor. A eliminação do sinal constante (frequência zero) é feita pelo filtro passa alto que é composto pelo denominado capacitor de desacoplamento (6) e resistor (ou resistor equivalente) a sua frente para o aterramento. Para maior versatilidade da escolha do capacitor, pode ser colocado à sua frente um resistor para o aterramento, ao invés de ser tomado o resistor equivalente dos circuitos seguintes. O circuito normalmente utilizado é baseado em ponte seguida de um amplificador que amplificava a diferença do desbalanceamento. Esse desbalanceamento está relacionado com o mensurando e a componente contínua era o grande responsável dela deriva térmica do ambiente do circuito. Na medida dessa transdução, a deriva térmica era praticamente determinada pela variação da resposta constante do sinal de saída do amplificador. No sistema que se apresenta, o circuito elimina a componente de tensão constante, utilizando uma alimentação de ponte alternada e filtrando a componente constante. O sinal de saída do amplificador constante e variando devido a variação de temperatura do ambiente é eliminado pelo filtro passa alto na saída do amplificador diferencial. O filtro passa alto elimina a frequência zero e é escolhido um valor de capacitor adequado para tal. Esse capacitor é denominado de capacitor de desacoplamento pois isola o sinal de frequência zero.

O circuito da figura 3 ilustra outra proposta para o medidor de tensão alternada ao invés do medidor na figura 2. Ele está representado pela parte do circuito entre o capacitor (16) e o terminal de saída (33). O amplificador operacional (34) com o resistor (35), o resistor (36) e o resistor (37), inverte o sinal de saída depois do capacitor (16). A

configuração do circuito formado pelo amplificador operacional (38), pelo diodo (39), pelo diodo (40), pelo resistor (41) e pelo resistor (42) realiza uma função de um diodo ideal com sua saída amplificada ou ganho unitário de tensão quando estiver conduzindo. Ao tomar o sinal após o diodo (40), o ganho do sinal é relacionado com o resistor (41) e o resistor (42). O sinal de saída após o diodo (40) é igual ao sinal de entrada durante o ciclo positivo, ou durante o tempo em que o diodo (40) estiver conduzindo. De maneira análoga acontece com a configuração formada pelo amplificador operacional (43), pelo diodo (44), pelo diodo (45), pelo resistor (46) e pelo resistor (47). Devido ao inversor formado pelo amplificador operacional (34), pelo resistor (35), pelo resistor (36) e pelo resistor (37), o sinal resultante da junção destas duas saídas do diodo (40) e do diodo (45), corresponderá a um valor positivo (equivalente a um módulo) da tensão diferencial amplificada da ponte. Os filtros formados pelo resistor (48) e capacitor (49) e pelo resistor (50) e capacitor (51) são para minimizar os ruídos. Esta configuração proposta na figura 3, contribuir para minimizar erros, principalmente da comutação do diodo.

Além da chave analógica temporizada (2) que seleciona os níveis de tensão constante de referência, a partir de uma fonte de referência (3) ou de aterramento de referência (4), fornecendo um sinal de onda quadrada na saída da chave analógica temporizada (2) que alimenta as diversas pontes de Wheatstone, pode ser utilizada uma alimentação simétrica da ponte como a proposta na figura 4. A ponte pode ser alimentada sem restrições de simetria. No diagrama da figura 4 tem-se uma proposta de gerador de onda quadrada que alimenta as diversas pontes de Wheatstone, formado por um diagrama de circuito em que a ponte tem uma alimentação simétrica. Uma tensão de entrada é imposta a um regulador de referência (54). As tensões elétricas correspondentes as saídas

positivas e negativas do regulador de referência serão disponibilizadas no terminal (55) e no terminal (56), que substituem na figura 1 as tensões relativas da chave analógica temporizada (2) representadas pela tensão constante de referência fornecida pela fonte de referência (3) e o aterramento de referência (4). O amplificador operacional (57), através
5 do resistor (58) e do resistor (59) casados, contribuem para que os sinais vistos no terminal (55) e no terminal (56) sejam simétricos. Note-se que o capacitor (16) de desacoplamento poderia continuar a existir, contribuindo ainda mais para variação da alimentação em torno de 0 Volt.

Algumas características técnicas essenciais e particulares inerente ao fator
10 inventivo, não compreendidas no estado da técnica são a utilização de sinal alternado ou quadrado e o capacitor para eliminação do sinal constante ou de frequência zero que é o grande responsável pela deriva térmica e impondo uma simetria no sinal quadrado. Essas características estão em consonâncias como o inversor da tensão negativa da fase de onda quadrada, que torna o sinal de saída contínuo, com pouca necessidade de filtragem e a
15 possibilidade de maior dinâmica de resposta desse medidor.

A alimentação da ponte ser por uma onda quadrada ou mesmo onda variável é uma condição de operacionalidade do invento. Esse sinal vai participar como um elemento do invento, parecendo ser muito difícil sua descrição e sua operacionalidade sem sua existência. Aparentemente não é um elemento impeditivo do seu aparecimento em uma
20 invenção, pois tem também função diferente em outras invenções ou originalidades de artigos. Existiram e existirão inventos e artigos em revistas originais com esses elementos inseridos. Esse efeito de onda quadrada é particularmente diferenciado das outras formas, pois ao se eliminar a componente constante, tem-se uma onda simétrica que se utilizando

somente a medida da amplitude da onda quadrada tem-se um sinal contínuo, com pouca dependência de filtros.

As associações de amplificadores operacionais, resistores e diodos reais para produzirem diodos ideais inclusive de onda completa não é a novidade. Suas funções
5 nessa invenção são novidades. Ao desacoplar com capacitor (filtro passa alto) na saída do amplificador, torna a onda quadra pura e simétrica. Ao inverter uma fase entre 180^0 e 360^0 (melhor explicando, por exemplo, inverter a parte negativa do sinal) e somar as mesmas se teria um sinal contínuo, quase sem filtro, muito rápido e diretamente relacionado somente com a variação diferencial da ponte amplificada. Esse diferencial é
10 devido somente à variação da resistência do sensor resistivo.

O sinal simétrico, em torno do zero, por exemplo, contribui para reduzir drasticamente o efeito do modo comum de rejeição. Esse efeito contribui para o efeito da variação do sinal de saída com a temperatura. A utilização do sinal simétrico, contribui para aumentar a precisão e exatidão, ao se ter um sinal contínuo de resposta (o sinal
15 negativo é invertido e por ser simétrico é praticamente igual ao lado do sinal positivo), com pouca necessidade de filtro que contribui também para se utilizar sensores mais rápidos. Essas características que contribuem para o presente pedido de patente são incomuns em contribuição a outros artigos e invenções.

Os diodos permitirão a passagem somente do nível positivos dos dois circuitos que
20 se somarão antes do filtro. Esses dois sinais terão amplitudes iguais, porém com uma defasagem entre eles de 180 graus, pois o sinal negativo é invertido e a onda quadrada é simétrica. Se terá, portanto, um sinal contínuo, diretamente relacionado com o mensurando, com mínima necessidade de filtro. Essa configuração de diodo permite

também melhor desempenho na comutação, contribuindo para melhor desempenho de relação sinal/ruído e tempo de resposta mais rápido. Essas características contribuem para melhor desempenho do presente pedido de invenção.

5 REFERÊNCIAS

- [1] Kenneth D. Hill, Strain-gauge transducer signal conditioning with square-wave ac excitation and thermal error compensation”, Review of Scientific Instruments **56**, 24 February 1985.
- [2] S. M. Huang, “Capacitance transducers for concentration measurement in
10 multicomponent flow processes,” Ph.D. dissertation, University of Manchester, U.K., 1986.
- [3] S. M. Huang, R. Green, A., and M. S. Beck, “A High Frequency Stray-immune Capacitance Transducer Based on the Charge Transfer Principle”, IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, Vol. 37. no. 3, September 1988
- 15 [4] Analog Devices, 2-Terminal IC Temperature Transducer (datasheet), AD590, 1984.
- [5] J. P. HOLMAN, EXPERIMENTAL METHODS FOR ENGINEERS, EIGHTH EDITION, MCGRAW HILL, 2012.
- [6] Harry H. Lockery, Transducer Bridge Circuit Arrangement and Method, United States Patent, Apr. 14, 1981.

REIVINDICAÇÕES

1 – INSTRUMENTO DE TRANSDUÇÃO ELETRÔNICA RESISTIVA MÚLTIPLA COM COMPENSAÇÃO DA DERIVA TÉRMICA E RUÍDO DE BAIXA FREQUENCIA, que pode medir de vários sensores resistivos(1) de forma simultânea em um único circuito, cujos sensores(1) estão presente em várias pontes de Wheatstone, formada cada uma por quatro elementos resistivos que podem ser um ou mais sensores resistivos e que o número de pontes de Wheatstone presente no circuito é igual ao número de grandezas ao qual se deseja medir; e que cada ponte de Wheatstone será alimentada por uma mesma fonte de onda quadrada formando vários circuitos independentes onde, nestes circuitos, a associação entre os elementos de cada ponte e um amplificador operacional(13) e mais dois resistores formem um amplificador diferencial(5) em cada circuito independente; tendo em vista que este amplificador diferencial(5) forneça em sua saída o sinal diferencial da ponte, baseado na medida de cada sensor(1) presente na ponte de Wheatstone; e que entre a saída do amplificador diferencial(5) e do denominado medidor de valor de tensão alternada(7) é utilizado um capacitor de desacoplamento(6) que transmite este sinal ao referido medidor de valor de tensão alternada(7), em cada circuito independente, tendo em vista que este medidor de valor de tensão alternada fornece um sinal em seus terminais de saída proporcional ao lido por um ou mais sensores(1) presentes em uma ponte de Wheatstone, em cada circuito independente, e **caracterizado por** bloqueio do sinal de corrente contínua pelo capacitor de desacoplamento (6) que compensaria a deriva térmica dos amplificadores nos medidores, permitindo a medição pela retificação de uma onda quadrada perfeitamente simétrica.

2 – INSTRUMENTO DE TRANSDUÇÃO ELETRÔNICA RESISTIVA MÚLTIPLA COM COMPENSAÇÃO DA DERIVA TÉRMICA E RUÍDO DE BAIXA FREQUENCIA, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo** fato de que a ponte de wheatstone poder ser alimentada através de uma onda quadrada gerada por uma chave analógica temporizada(2) que seleciona os níveis de tensão constante de

referência, a partir de uma fonte de referência(3) ou de aterramento de referência(4), fornecendo um sinal de onda quadrada na saída da chave analógica temporizada(2).

3 – INSTRUMENTO DE TRANSDUÇÃO ELETRÔNICA RESISTIVA MÚLTIPLA COM COMPENSAÇÃO DA DERIVA TÉRMICA E RUÍDO DE BAIXA FREQUENCIA, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que a ponte de Wheatstone poder ser alimentada através de uma onda quadrada gerada por uma fonte simétrica caracterizada por utilizar uma tensão de entrada que é imposta a um regulador de referência(54), cuja associação entre um amplificador diferencial e dois resistores casados juntamente com a tensão imposta a um regulador de referência(54), contribua para gerar um sinal simétrico entre seus terminais.

4 – INSTRUMENTO DE TRANSDUÇÃO ELETRÔNICA RESISTIVA MÚLTIPLA COM COMPENSAÇÃO DA DERIVA TÉRMICA E RUÍDO DE BAIXA FREQUENCIA, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o medidor de valor de tensão alternada(7) presente em cada circuito individual, localizado entre o capacitor de acoplamento e os terminais de saída do referido instrumento, poder ser formado por dois circuitos ligados em paralelo, onde um destes circuitos que está ligado em paralelo com outro é formado pela associação entre um amplificador operacional(17) e três resistores, que inverte o sinal de saída depois do capacitor(16) e disponibiliza este sinal invertido à um circuito formado por um amplificador operacional(21), um diodo e dois resistores que realiza uma função de um diodo ideal com sua saída amplificada ou ganho unitário de tensão quando estiver conduzindo onde o sinal de saída após o diodo(22) é igual ao sinal de entrada durante o ciclo positivo, ou durante o tempo em que o diodo(22) estiver conduzindo; no outro circuito em paralelo ao citado, de maneira análoga um amplificador operacional(25), um diodo e dois resistores fará com que o sinal de saída após o diodo(26) seja igual ao sinal de entrada durante o ciclo positivo, ou durante o tempo em que o diodo(26) estiver conduzindo corresponderá a um valor positivo (equivalente a um módulo) da tensão diferencial amplificada da ponte; o sinal na saída desta associação paralela de dois

circuitos será submetido à filtros formados por capacitores e resistores que minimizam os ruídos.

5 – INSTRUMENTO DE TRANSDUÇÃO ELETRÔNICA RESISTIVA MÚLTIPLA COM COMPENSAÇÃO DA DERIVA TÉRMICA E RUÍDO DE BAIXA FREQUENCIA, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o medidor de valor de tensão alternada(17) presente em cada circuito individual, localizado entre o capacitor de acoplamento e os terminais de saída do referido instrumento, poder ser formado por dois circuitos ligados em paralelo, onde um destes circuitos é formado pela associação entre um amplificador operacional(34) e três resistores, que inverte o sinal de saída depois do capacitor(16) e disponibiliza este sinal invertido à um circuito formado por um amplificador operacional(38), dois diodos e dois resistores que realiza uma função de um diodo ideal com sua saída amplificada ou ganho unitário de tensão quando estiver conduzindo onde o sinal de saída após o diodo(40) é igual ao sinal de entrada durante o ciclo positivo, ou durante o tempo em que o diodo(40) estiver conduzindo; no outro circuito em paralelo ao citado, de maneira análoga um amplificador operacional(43), dois diodos e dois resistores farão com que o sinal de saída após o diodo(45) seja igual ao sinal de entrada durante o ciclo positivo, ou durante o tempo em que o diodo(45) estiver conduzindo corresponderá a um valor positivo (equivalente a um módulo) da tensão diferencial amplificada da ponte; o sinal na saída desta associação paralela deste dois circuitos serão submetidos à filtros formados por capacitores e resistores que minimizam os ruídos.

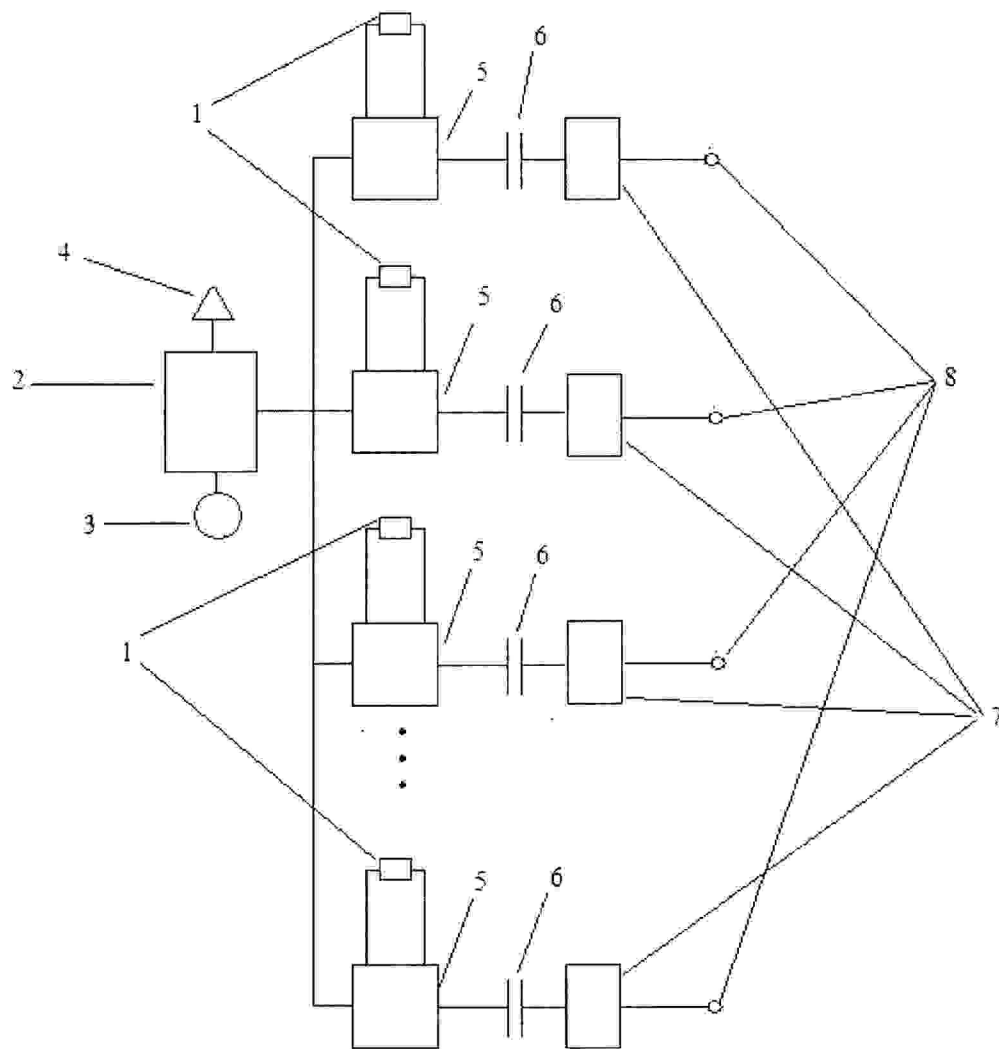


FIGURA 1

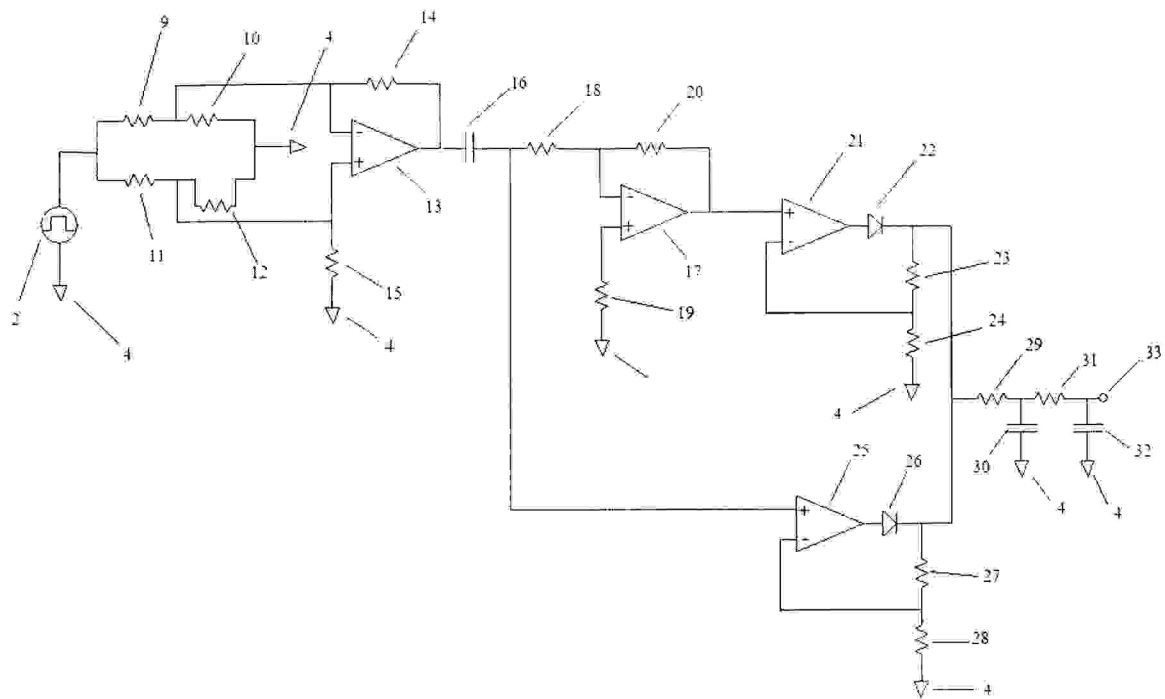


FIGURA 2

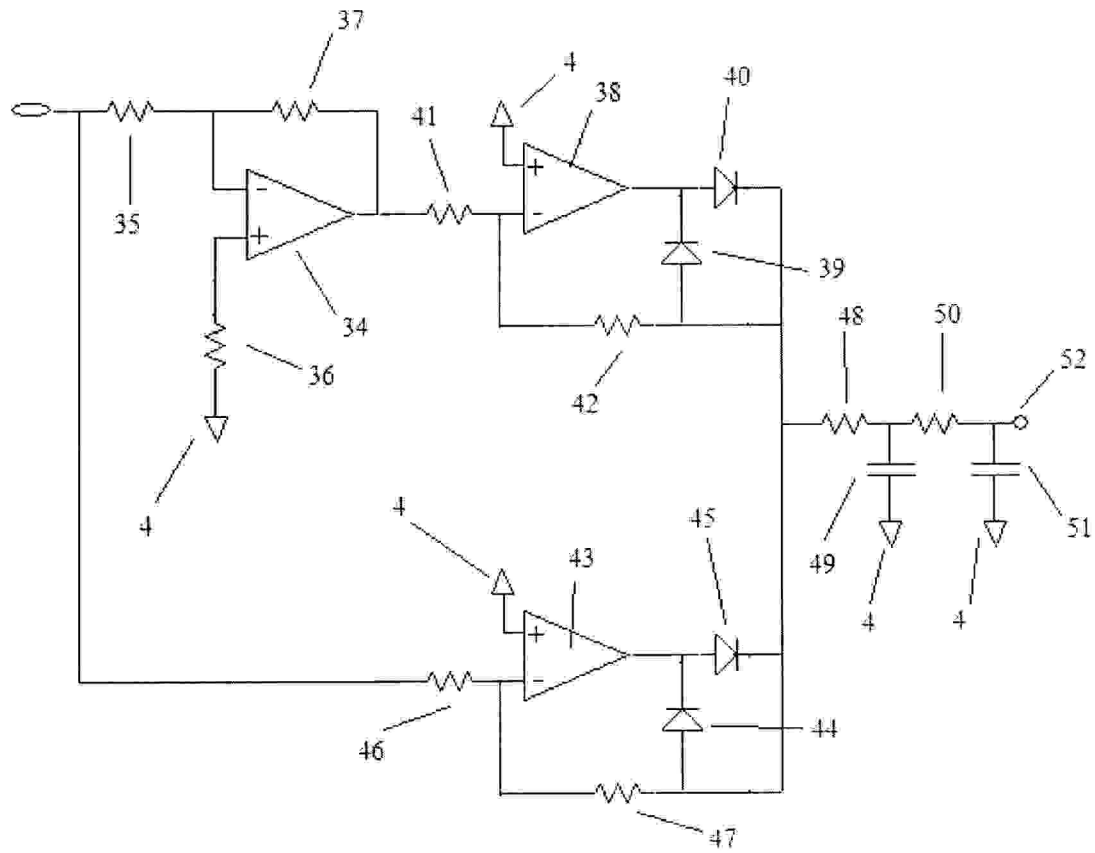


FIGURA 3

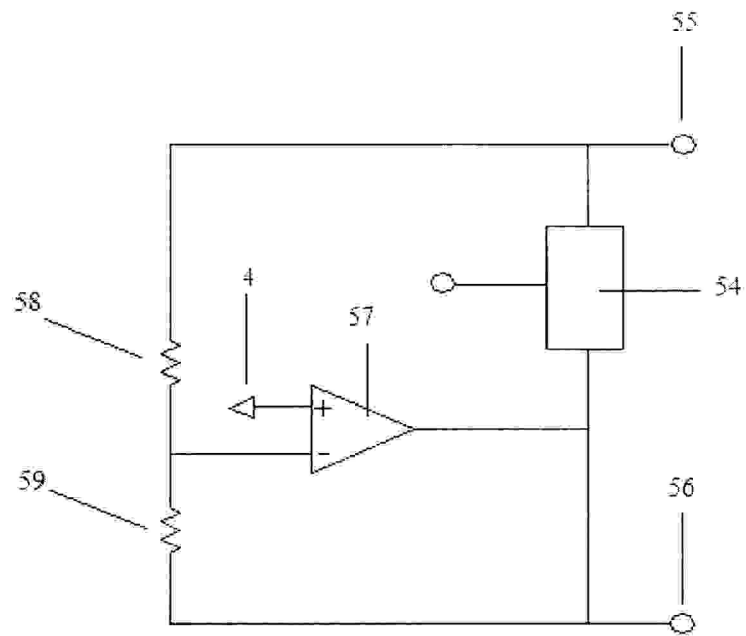


FIGURA 4