



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
MINISTÉRIO DA ECONOMIA
INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL

CARTA PATENTE Nº BR 102016016197-5

O INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL concede a presente PATENTE DE INVENÇÃO, que outorga ao seu titular a propriedade da invenção caracterizada neste título, em todo o território nacional, garantindo os direitos dela decorrentes, previstos na legislação em vigor.

(21) Número do Depósito: BR 102016016197-5

(22) Data do Depósito: 12/07/2016

(43) Data da Publicação Nacional: 06/02/2018

(51) Classificação Internacional: G01R 31/12; G01R 31/02.

(54) Título: SISTEMA SINALIZADOR DE FALHAS DE ISOLADORES EM ESTRUTURAS DE MÉDIA E ALTA TENSÃO UTILIZANDO ULTRASSOM

(73) Titular: INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO CEARÁ, Instituição de Ensino e Pesquisa. CGC/CPF: 10744098000145. Endereço: RUA LÍVIO BARRETO, 94, JOAQUIM TÁVORA, FORTALEZA, CE, BRASIL(BR), 60130-110, Brasileira

(72) Inventor: ELIAS TEODORO DA SILVA JÚNIOR; DANILO AVILAR SILVA; KAIO JONATHAS ALENCAR GURGEL; FRANCISCO JOSÉ ALVES DE AQUINO; ANTÔNIO ÉBANO RAFAEL MACHADO DE OLIVEIRA; AJALMAR REGO DA ROCHA NETO; ANDRE LUIZ CARNEIRO DE ARAUJO; ANDRÉ DOMINGOS KLEIN; FREDSON MARTINS DA SILVA.

Prazo de Validade: 20 (vinte) anos contados a partir de 12/07/2016, observadas as condições legais

Expedida em: 20/12/2022

Assinado digitalmente por:

Liane Elizabeth Caldeira Lage

Diretora de Patentes, Programas de Computador e Topografias de Circuitos Integrados

SISTEMA SINALIZADOR DE FALHAS DE ISOLADORES EM ESTRUTURAS DE MÉDIA E ALTA TENSÃO UTILIZANDO ULTRASSOM

Campo de aplicação

[001]A presente invenção pertence ao campo da física, mais especificamente de instrumentação eletrônica para manutenção preditiva de redes de distribuição de energia elétrica, exatamente um sistema sensor para detecção de estado de conservação e perigo de falha em isoladores de torres de transmissão energizadas a média e alta tensão. É composto por um módulo de aquisição de dados e diagnóstico de ultrassom e uma Rede de Sensores Sem Fio, a fim de diagnosticar e sinalizar defeitos iminentes nos isoladores, sendo que a análise do estado do isolador é feita por intermédio de ultrassom emitido pelo isolador na presença de efeito corona. O sinal de ultrassom serve de entrada para uma rede neural artificial que classifica como sendo indicativo de falha ou não. É importante salientar que a captação deste sinal é não invasiva, ou seja, a instalação do equipamento pode ser feita com a linha energizada.

Análise do estado da arte

[002]A localização de defeitos em isoladores é difícil devido ao fato desses não apresentarem marcas que indiquem o dano. Atualmente, as inspeções são visuais, com ajuda (eventualmente) de equipamentos termo visores ou por meio de equipamentos de ultrassom manuseados por uma equipe de inspeção terrestre. O problema desse tipo de inspeção está relacionado ao custo, levando em consideração o custo com pessoal e transporte. Muitas vezes, essas técnicas tornam-se ineficientes, pois sofrem muitas interferências do meio onde está sendo feita a inspeção (luminosidade, outras fontes sonoras). Outro fator de ineficiência é a periodicidade da inspeção que pode ocorrer em intervalos superiores a 1 mês.

[003]Percebe-se, pois, na arte, uma lacuna no que tange a ferramentas que possibilitem a predição de falhas em linhas de transmissão e/ou distribuição e que se apresentem como solução útil para os setores de operação e manutenção nas atividades de planejamento e manutenção preventiva.

[004]Em aprofundada análise do estado da arte pode-se notar que a patente JPH05252632, de propriedade de Tokyo Electric Power Co; Hitachi Cable, depositada

em 06 de março de 1992, apresenta uma inovação para diagnosticar com precisão e rapidez o estado de deterioração de uma linha de transmissão subterrânea através de uma unidade de diagnóstico que possui uma rede neural que aprende antecipadamente a relação correspondente entre um valor analisado de gás dissolvido em óleo isolante e o estado de deterioração da linha de transmissão subterrânea. Vários dados de gás em óleo detectados por um sensor em um intervalo predeterminado de uma caixa de junção de uma linha de transmissão subterrânea são transmitidos para um processador de dados de um monitor central através de um cabo de sinal, analisados e convertidos em uma base de dados de uma unidade de armazenamento de dados. Aqui, a rede neural aprende a relação correspondente entre um valor analisado de gás dissolvido em óleo isolante e um estado deteriorado da linha de transmissão subterrânea. A rede neural está contida numa unidade de diagnóstico de deterioração. O padrão convertido para uma base de dados é analisado pela unidade e o estado de deterioração é julgado. Tal documento trata de uma unidade de diagnóstico, sem, entretanto, se utilizar de ultrassom e, desta forma, se aparta das peculiaridades do objeto que se propõe.

[005] Ainda, o documento US2014000347, “Ultrasonic gas leak detector with false alarm discrimination”, depositado por Huseynov, Romero e Baliga, em 27 de junho de 2012, aponta um detector ultrassônico de vazamento de gás. Está configurado para discriminar o ultrassom gerado por um vazamento de gás pressurizado na atmosfera a partir de ultrassom de alarme falso. Uma configuração exemplar inclui um sensor para detectar energia ultrassônica e fornecer sinais de sensor e um controlador eletrônico que reage aos sinais do sensor. Numa forma de realização exemplificativa, o controlador eletrônico é configurado para proporcionar uma função de limite para comparar um valor do sinal do sensor (que representa a energia ultrassônica detectada) com um valor de limiar de detecção de gás, e uma função de Rede Neural Artificial (RNA) para processamento de sinais derivados dos sensores digitais, aplicando coeficientes da RNA configurado para discriminar alarmes falsos de vazamentos de gás. Uma função de saída gera saídas do detector em dependência da saída do comparador de limiar e a saída da RNA. A patente trata de um detector por meio de ultrassom para vazamento de gás, afastando-se assim do campo de aplicação do objeto proposto.

[006] Também, a proteção PI0600650, “Sensor remoto para monitoração e avaliação da degradação de isoladores poliméricos de alta tensão”, de propriedade da Fundação CPQD - Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicações/Companhia de Eletricidade da Bahia – COELBA, com prioridade de 14 de fevereiro de 2006, compreende um componente resistivo disposto entre o isolador de alta tensão e a ferragem da torre de alta tensão, de tal forma que toda a corrente de fuga que flui através do isolador, da linha de transmissão de energia elétrica para a ferragem da torre, passe pelo dito componente resistivo, dando origem a uma tensão AC entre os terminais A e B, cujo valor é monitorado e processado pelo circuito do sensor que compara o valor da tensão medida entre os terminais A e B, com um valor de referência previamente estabelecido, equivalente à corrente de fuga máxima admissível no isolador, ativando o dispositivo sinalizador que libera para fora da blindagem uma sinalização visualmente perceptível à distância, sempre que no procedimento de monitoração for detectada a presença de uma corrente de fuga permanente superior ao valor de referência. O objeto da proteção trata de um dispositivo que possibilita a análise remota de um isolador, mas que necessita de uma abordagem invasiva - um desligamento de parte da rede para instalar o equipamento – e, deste modo, afasta-se das peculiaridades do objeto proposto.

[007] Propõe-se, em virtude das limitações observadas, um inovador sistema sensor para detecção de estado de conservação e perigo de falha em isoladores de torres de transmissão energizadas à média e à alta tensão. O sistema é composto por um módulo de aquisição de dados de ultrassom de baixo custo e uma Rede de Sensores Sem Fio, a fim de diagnosticar e sinalizar, para a concessionária de interesse, o estado de conservação dos isoladores.

[008] O equipamento faz a análise do estado do isolador por intermédio de ultrassom emitido. A captação e processamento deste sinal é não invasiva, portanto, não necessita do desligamento de energia da área, onde se encontra a torre para a inserção do equipamento de medição e predição. O diagnóstico da falha é feito por identificação de padrões previamente associados a isoladores defeituosos. Tal identificação de padrões é feita por uma rede neural artificial (RNA) de forma automática. A rede é treinada previamente com dados capturados em ensaios controlados feitos em laboratório.

Relação de figuras

[009]A figura 1 demonstra um diagrama de blocos do módulo de aquisição de dados ultrassom.

[0010]A figura 2 revela um diagrama de blocos de um dispositivo de sinalização completo.

Descrição detalhada da inovação

[0011]A inovação trata de um sistema sensor para detecção de estado de conservação e perigo de falha em isoladores de torres de transmissão energizadas.

[0012]Em sua configuração preferencial, o sistema é composto por um módulo de aquisição de dados de ultrassom de baixo custo e uma Rede de Sensores Sem Fio, a fim de diagnosticar e sinalizar defeitos iminentes nos isoladores, caracterizado pelo efeito corona, causado por desgaste/envelhecimento do isolador ou pela presença de algum agente poluente.

[0013]Uma forma simplificada de implementação um dispositivo opera isoladamente, capturando dados do isolador para posterior diagnóstico. O módulo de aquisição de dados de ultrassom serve para captura dos dados e armazenamento em uma memória local, com acionamento por controle remoto. Consiste em um transdutor ultrassom, um sistema de tratamento do sinal analógico e uma metodologia de amostragem e armazenamento da informação digital. Na Figura 1 é possível visualizar um diagrama de blocos com os componentes já citados, sendo:

101. Sensor Ultrassom
102. Tratamento de Sinal, circuito analógico para amplificação e filtragem do sinal captado pelo sensor.
103. ADC, Conversor Analógico-Digital
104. DMA, mecanismo de cópia de dados do conversor Analógico-Digital para a memória de dados
105. RAM, memória de dados do Processador
106. Microcontrolador/Microprocessador
107. Memória Flash para armazenamento dos dados coletados
108. Receptor Infravermelho, para recepção de comando por controle remoto.

[0014]Este módulo de aquisição é uma possível implementação, voltada para obtenção de dados em campo. Com ele se podem capturar dados de ultrassom emitidos por equipamentos diversos (isoladores poliméricos ou outros) e armazenar em memória não volátil. Os dados armazenados podem ser usados a posteriori para estudos e/ou diagnóstico.

[0015]Em uma realização preferencial, tem-se um conjunto composto de vários dispositivos como o da figura 2, todos dotados de comunicação sem fio. O conjunto destes dispositivos forma uma rede, do tipo estrela ou do tipo *mesh*.

[0016]Um dos dispositivos funcionará como *gateway* (ou concentrador) entre a rede de sensores ultrassom e um servidor *web*. Este *gateway* não precisa necessariamente fazer leituras de ultrassom e somente ele precisa ser equipado com um modem GPRS/GSM ou similar para comunicação de longa distância. Este nó *gateway* recebe as informações dos nós em seu raio de alcance, empacota e envia para o servidor *web*, que faz a persistência dos dados e permite a visualização da evolução histórica dos isoladores monitorados em uma página web acessível em qualquer navegador web.

[0017]Os demais dispositivos são sensores ultrassom e deverão fazer leituras periódicas de dados nas torres de alta tensão, encaminhando os seus resultados para o *gateway*.

[0018]É possível também, com a utilização da interface *web*, visualizar os dados de todos os isoladores que estão sendo monitorados pelos nós sensores. Essas informações incluem: nível de sinal de ultrassom emitido por um determinado isolador, informações sobre as saídas da rede neural, nível da bateria, chuva, dentre outras.

[0019]Para validação da Rede de Sensores Sem Fio (RSSF) é utilizado um concentrador (ou *gateway*) - elemento responsável em receber informações provenientes dos sensores e enviá-las, via tecnologia GPRS, 3G, 4G, satélite ou outras similares, para um servidor remoto.

[0020]O módulo de aquisição de dados de ultrassom é composto por um microfone de baixo custo que opera na faixa de frequência alvo - em torno de 40kHz - e um circuito de conformidade de sinal. Os dados captados pelo sistema de aquisição servem de base de dados para uma RNA (rede neural artificial), responsável por reconhecer padrões de dados de ultrassom - gerados por efeito corona e centelhamentos - que indicam falhas no isolador.

[0021]O *hardware* do sistema é composto de sistemas eletrônicos e elétricos. Seus blocos são mostrados na figura 2, onde é possível visualizar um diagrama de blocos dos componentes, sendo:

101. Sensor Ultrassom
202. Sensor de Chuva, para monitoramento das condições
102. Tratamento de sinal
204. Regulador de Tensão, integra o sistema de energia do dispositivo
205. Rádio de comunicação, para tráfego de curto alcance entre nós da rede de sensores
206. Modem de comunicação GPRS/GSM, para tráfego de maior alcance entre a rede de sensores e a internet
106. Microcontrolador/Microprocessador
208. Divisor de Tensão
209. Driver RS-232
210. Painel Solar, integra o sistema de energia do dispositivo
211. Controlador de Carga, integra o sistema de energia do dispositivo
212. Bateria de 12V, integra o sistema de energia do dispositivo

[0022]O sistema é composto por quatro subsistemas, são eles: amplificador de sinal de ultrassom, microcontrolador ARM, comunicação e energia.

[0023]O subsistema amplificador de sinal de ultrassom faz o condicionamento do sinal captado pelo sensor de ultrassom. O sinal recebido é amplificado para ser tratado pelo conversor analógico-digital (ADC) do microcontrolador ARM. O circuito é composto de quatro estágios amplificadores totalizando um ganho de aproximadamente 2000 (66 dB). Este ganho é suficiente para que o sinal vindo do sensor, que chega a picos de 1 mV, ganhe intensidade suficiente.

[0024]O subsistema microcontrolador ARM utiliza o ARM Cortex M4. Ele apresenta baixo consumo de energia, tem a capacidade de captura de dados necessária para capturar ao menos um período de rede com boa resolução para 40kHz – 225 ksp/s-, memória de dados suficiente e recurso de processamento digital de sinais.

[0025]No processo de prototipação do sistema é utilizado o kit STM32F4DISCOVERY, fabricado pela ST Microelectronics, e que utiliza o STM32F407VG, um processador

ARM de 32 bits. Além de receber o sinal vindo do sensor ultrassom, o ARM também recebe o sinal vindo de um sensor de chuva e uma amostra do valor da tensão da bateria. A presença de chuva deve ser detectada, já que ela influencia significativamente a leitura de ultrassom. Isso é feito por um divisor de tensão ligado a uma placa de contatos. A presença de água nos contatos faz variar a tensão no divisor, que é entregue a uma entrada analógica (ADC) do ARM. Por outro lado, a bateria precisa ser observada para fins de monitoramento e diagnóstico da atividade dos sistemas de diagnóstico dos isoladores (nós da rede). Assim, uma amostra do valor de tensão da bateria é colocada em outra entrada analógica do ARM.

[0026]No subsistema de comunicação tem-se uma rede de dez nós sensores, nove deles somente coletores de dados e um que atua também como concentrador e conectado a um servidor. Assim, somente o nó concentrador apresenta a arquitetura mostrada na figura 2. Os demais nós da rede não possuem o rádio GSM. A comunicação via rádio entre os demais nós da rede utiliza o padrão LoRa por sua baixa energia, seu alcance elevado e a disponibilidade de banda de comunicação suficiente para as necessidades desta aplicação. Como produto, os nós enviam para o servidor somente o diagnóstico feito pelo processamento local. Para a comunicação GSM é usado um modem modelo G-24, desenvolvido pela Motorola e fabricado pela ITECH. Este modem se conecta à interface serial do ARM (USART) e responde a comandos AT. Para a comunicação entre os demais nós da rede utiliza-se o rádio WT-800N. Esse rádio implementa o protocolo *Low-Power Long Range*, também conhecido como LoRa. A conexão desse rádio ao ARM se dá pela interface SPI.

[0027]E, finalmente, o subsistema de energia, que tem como objetivo prover energia ininterrupta para os nós sensores e seus sistemas de comunicação. Ele é composto dos seguintes elementos: (1) Bateria recarregável, (2) Painel solar e (3) Controlador de carga. Adicionalmente, um regulador de tensão faz as adaptações necessárias para prover os níveis de tensão requeridos pelo ARM e demais elementos analógicos e digitais do sistema.

[0028]A detecção de falhas em isoladores é feita tradicionalmente por inspeção visual, em visita ao local do isolador, usualmente à noite. O diagnóstico é feito com base na experiência do técnico e, em alguns casos com o apoio de instrumento de medição. O

SDT-200 (medidor ultrassom) é um exemplo de instrumento de laboratório (que pode ser utilizado como instrumento portátil), que faz a detecção do sinal de ultrassom e converte o mesmo para uma frequência mais baixa, de modo que ele se torne audível. Para utilizar o SDT-200 de maneira a ser eficaz na inspeção de linhas de transmissão, com o objetivo de detectar isoladores próximos de falha, deve-se ter uma pessoa treinada para a utilização do mesmo e capaz de ouvir o ruído ultrassônico e reconhecer quando ele é proveniente de um isolador ruim. Esta não é uma tarefa simples e vários técnicos de manutenção rejeitam este equipamento pela dificuldade de associar os sons captados à condição dos isoladores.

[0029] Podem ser destacadas duas diferenças importantes entre a solução proposta e o estado da técnica:

- a. A dispensa de deslocar um técnico periodicamente até a linha de distribuição para fazer a inspeção. No processo proposto, o equipamento faz a leitura de forma autônoma. Assim, o técnico só é chamado ao local quando há algum indício de falha. Para isso, usa-se uma instrumentação de menor custo (baseada em ultrassom), que fica instalada na torre onde estão os isoladores.
- b. O suporte no diagnóstico. O uso de uma técnica de Inteligência Computacional Aplicada (ICA) auxilia o técnico na interpretação dos dados obtidos em campo. Tradicionalmente, não é fácil somente através do ultrassom emitido pelo isolador detectar falhas iminentes. Por outro lado, a termovisão (outro método usado em campo) é de custo elevado e fornece diagnóstico tardio. A técnica de ICA torna viável o uso do ultrassom para diagnóstico de isoladores.

[0030] Em resumo, apresenta-se um sistema sensor para detecção do estado de conservação e perigo de falha em isoladores de torres de transmissão energizadas.

[0031] Em sua configuração preferencial, o sistema é composto por um módulo de aquisição de dados de ultrassom de baixo custo e uma Rede de Sensores Sem Fio, a fim de diagnosticar e sinalizar defeitos iminentes nos isoladores.

[0032]O sistema traz a vantagem de a captação dos sinais ser por método não invasivo, o que reduz seus custos de instalação, viabilizando como solução para atividades de manutenção preventiva e preditiva.

[0033]Esta inovação não se limita às representações aqui comentadas ou ilustradas, devendo ser compreendida em seu amplo escopo. Muitas modificações e outras representações da inovação virão à mente daquele versado na técnica à qual essa inovação pertence, tendo o benefício do ensinamento apresentado nas descrições anteriores e desenhos anexos. Além disso, é para ser entendido que a inovação não está limitada à forma específica revelada, e que modificações e outras formas são entendidas como inclusas dentro do escopo das reivindicações anexas. Embora termos específicos sejam empregados aqui, eles são usados somente de forma genérica e descritiva e não como propósito de limitação.

REIVINDICAÇÕES

1. Sistema sensor para detecção de falhas em isoladores de torres de transmissão energizadas a média e alta tensão, **caracterizado por:**
 - a) Sinalizar defeitos iminentes nos isoladores, onde a análise do estado do isolador é feita por intermédio de ultrassom emitido e a captação deste sinal é não invasiva;
 - b) Apresentar configuração física composta de: (i) Um módulo de aquisição de dados de ultrassom (101, 102, 103, 104, 105, 106, 107), (ii) Uma Rede de Sensores Sem Fio (205, 206, 106, 209), e (iii) Uma Rede Neural Artificial (RNA);
 - c) Implementar Rede de Sensores Sem Fio (RSSF), composta por um concentrador, elemento responsável por receber informações provenientes dos sensores, e enviá-las, via tecnologia de comunicação de longa distância e sem fio (GPRS, 3G, 4G, satélite), para um servidor remoto;
 - d) Ser composto por módulo de aquisição de dados de ultrassom (101, 102, 103, 104, 105, 106, 107), que contém (i) um microfone (101) que opera na faixa de frequência alvo (40kHz), (ii) um circuito de conformidade de sinal (102), (iii) mecanismos de digitalização (103, 104, 105, 106) e (iv) mecanismos de armazenamento de dados (106, 107), sendo que os dados captados pelo sistema de aquisição/digitalização servem de entrada de dados para uma RNA, responsável por reconhecer padrões de dados de ultrassom que indicam falhas nos isoladores;
 - e) Utilizar uma Rede neural artificial (RNA), treinada previamente com dados de falhas, capturados em ensaios controlados feitos em laboratório; e que usa método de extração de atributos baseado em picos de tensão no sinal de ultrassom capturado.
2. Sistema sensor, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado por** ser composto por quatro subsistemas: amplificador de sinal de ultrassom (102), microcontrolador (106), preferencialmente ARM, comunicação (205, 206) e energia (204, 210, 211, 212).
3. Sistema sensor de acordo com a reivindicação 2 **caracterizado por** conter amplificador de sinal de ultrassom (102), que condiciona o sinal captado pelo sensor de

ultrassom, composto de quatro estágios amplificadores, sendo que o sinal recebido é amplificado para ser tratado pelo conversor analógico-digital (ADC) do microcontrolador.

4. Sistema sensor de acordo com a reivindicação 2 **caracterizado por** conter microcontrolador (106), que recebe os sinais vindos de: sensor de chuva (202), amostra do valor da tensão da bateria (208), e do sensor de ultrassom (101), responsável por fazer processamento destes sinais, executar a RNA implementada em software e fazer a comunicação da rede de sensores.

5. Sistema sensor de acordo com a reivindicação 2 **caracterizado por** conter sistema de comunicação (205, 206), que é dotado de uma rede de dez (ou mais) nós sensores, sendo que um deles atua também como concentrador e é conectado a um servidor e os demais são somente coletores de dados; de modo que os nós coletores enviam para o servidor o diagnóstico feito pelo processamento local, por meio de *modem* e rádios.

6. Sistema sensor de acordo com a reivindicação 2 **caracterizado por** conter sistema de energia (204, 210, 211, 212), que provê energia ininterrupta para os nós sensores e seus sistemas de comunicação, sendo composto de bateria recarregável (212), painel solar (210) e controlador de carga (211).

7. Sistema sensor de acordo com a reivindicação 6 **caracterizado por** conter Regulador de tensão (204), que provê os níveis de tensão requeridos pelo microcontrolador e demais elementos analógicos e digitais do sistema.

FIGURAS

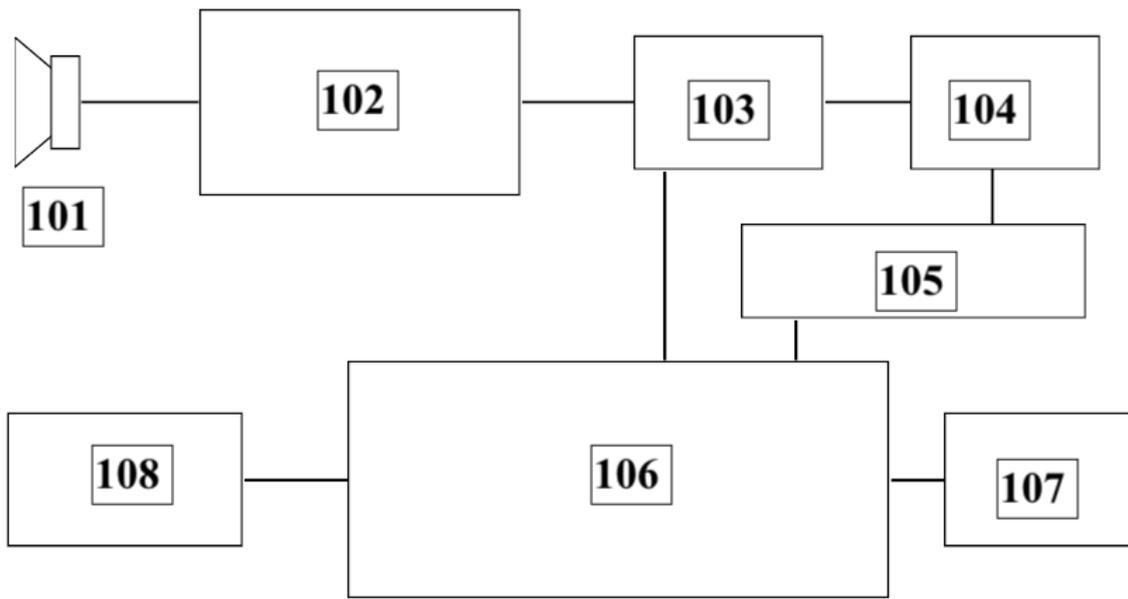


Figura 1

101. Sensor Ultrassom

102. Tratamento de Sinal, circuito analógico para amplificação e filtragem do sinal captado pelo sensor.

103. ADC, Conversor Analógico-Digital

104. DMA, mecanismo de cópia de dados do conversor Analógico-Digital para a memória de dados

105. RAM, memória de dados do Processador

106. Microcontrolador/Microprocessador

107. Memória Flash para armazenamento dos dados coletados

108. Receptor Infravermelho, para recepção de comando por controle remoto.

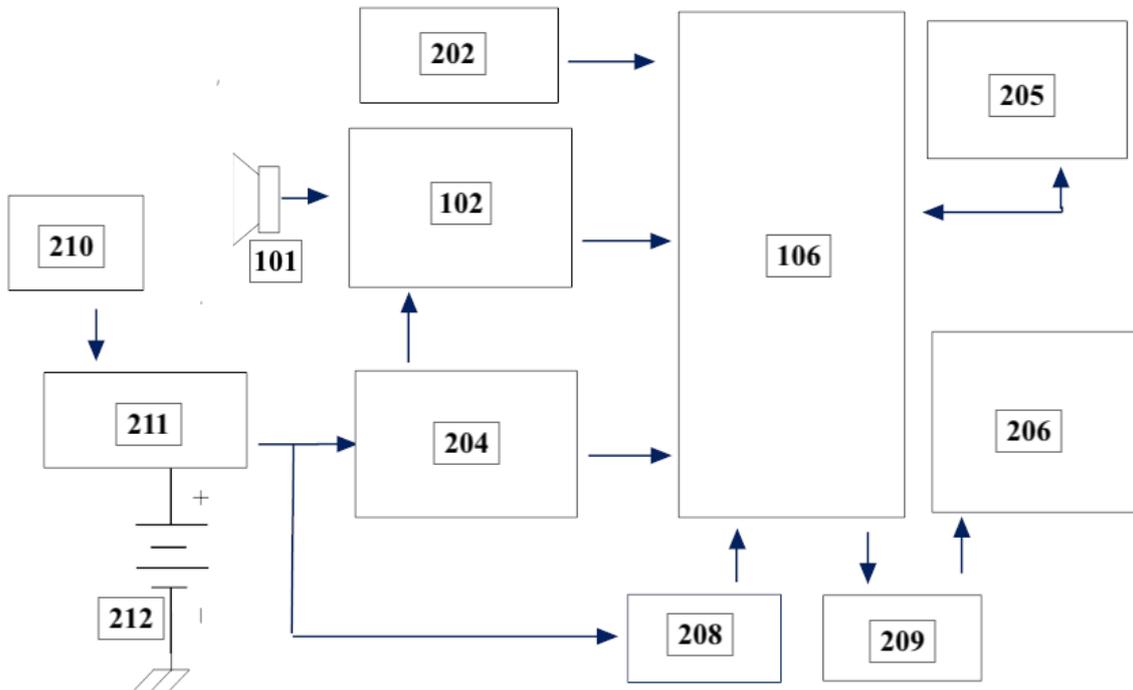


Figura 2

- 101. Sensor Ultrassom
- 202. Sensor de Chuva, para monitoramento das condições
- 102. Tratamento de sinal
- 204. Regulador de Tensão, integra o sistema de energia do dispositivo
- 205. Rádio de comunicação, para tráfego de curto alcance entre nós da rede de sensores
- 206. Modem de comunicação GPRS/GSM, para tráfego de maior alcance entre a rede de sensores e a internet
- 106. Microcontrolador/Microprocessador
- 208. Divisor de Tensão
- 209. Driver RS-232
- 210. Painel Solar, integra o sistema de energia do dispositivo
- 211. Controlador de Carga, integra o sistema de energia do dispositivo
- 212. Bateria de 12V, integra o sistema de energia do dispositivo