



INPI
INSTITUTO
NACIONAL
DA PROPRIEDADE
INDUSTRIAL
Assinado
Digitalmente

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

CARTA PATENTE Nº PI 0813110-4

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: PI 0813110-4

(22) Data do Depósito: 11/06/2008

(43) Data da Publicação do Pedido: 18/12/2008

(51) Classificação Internacional: G01W 1/16.

(30) Prioridade Unionista: PL P 382624 de 11/06/2007; PL P 385320 de 30/05/2008.

(54) Título: MÉTODO E APARATO PARA MONITORAMENTO DE ATIVIDADE DE TEMPESTADE NA SUPERFÍCIE DA TERRA EM TEMPO REAL.

(73) Titular: UNIWERSYTET JAGIELLONSKI. Endereço: UL. Golebia 24, Krakow, PL 31-007 Polônia, POLÔNIA(PL)

(72) Inventor: ANDRZEJ KULAK; JERZY KUBISZ; STANISLAW MICEK; ADAM MICHALEC; ZENON NIECKARZ; MICHAL OSTROWSKI; STANISLAW ZIEBA.

Prazo de Validade: 10 (dez) anos contados a partir de 05/02/2019, observadas as condições legais

Expedida em: 05/02/2019

Assinado digitalmente por:

Liane Elizabeth Caldeira Lage

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

MÉTODO E APARATO PARA MONITORAMENTO DE ATIVIDADE DE TEMPESTADE NA SUPERFÍCIE DA TERRA EM TEMPO REAL

5 Setor tecnológico da invenção

O objeto da presente invenção é um método e um aparato para monitoramento de atividade de tempestade na superfície da Terra em tempo real utilizado para a medição remota do centro de atividade da tempestade e determinar a sua localização. O
10 monitoramento de atividade de tempestades é relevante na questão de segurança em relação a transportes aéreos e marítimos bem como desempenha um papel importante na previsão do tempo.

Estado da técnica conhecido

Hoje em dia existem diversos métodos para gravar
15 descargas elétricas na atmosfera, ocorrendo dentro de uma nuvem, entre nuvens e / ou entre uma nuvem e o solo.

O primeiro método de monitoramento de atividade de tempestade é baseado em observações de satélites ópticos de iluminação ocorrendo, conforme mencionado anteriormente, dentro de
20 uma nuvem, entre nuvens e / ou entre uma nuvem e o solo. O método proporciona informação detalhada de uma área que é observada diretamente por instrumentos montados em um satélite. A zona observada cobre cerca de 10^5km^2 , a qual constitui apenas uma pequena parte da superfície da Terra. O sistema de observação
25 orbital, mesmo com uma ampliada rede de satélites não pode garantir um confiável sistema de monitoramento global de atividade de tempestades.

O segundo método de rastreamento de tempestades é associado com a detecção de sinais eletromagnéticos por rádio frequência VLF, HF, e VHF, geradas durante as descargas elétricas na atmosfera. Este método permite uma avaliação da intensidade da descarga e sua localização. Sua desvantagem, no entanto, é a faixa de sinais, que - dentro destas frequências - é limitada por distâncias de até centenas de quilômetros dentro de HF, e vários milhares de quilômetros dentro de VLF. Cobrir grandes áreas para permitir observação usando estações requer uma densa rede de estações de rastreio. No presente, o sistema de monitoramento mais desenvolvido efetua análises de sinais registrados simultaneamente em frequências VLF e HF. Isto opera apenas em países altamente desenvolvidos, desta forma abrange apenas uma pequena percentagem da superfície da Terra.

O terceiro método é baseado no rastreamento de sinais com apenas VLF. A faixa de uma única estação é de até mil quilômetros. Atualmente, o sistema mundial é baseado em 27 estações de medição.

A propagação de sinais de campo eletromagnético de frequência extremamente baixa (ELF) é conhecida de resultados publicados de pesquisas conduzidas por cientistas da Universidade Jagiellonian, Krakow, Polônia, apresentada no artigo intitulado "Studies of ELF propagations in the spherical shell cavity using a field decomposition method based on asymmetry of Schumann resonance curves", *Jornal de Pesquisa Geofísica*, Vol. 111, A1304, doi: 10.1029/2005JA011429, 2006. Em conformidade com a tese apresentada neste artigo a assimetria da curva e a variabilidade das

freqüências de ressonância no pico observado nos espectros ELF surgem de superposição do campo de onda estacionária, que criam os modos de ressonância com o campo da onda viajando para fora das fontes. O problema a ser resolvido era se seria possível separar os componentes de ambos os campos e medi-los de forma independente no ressonador. Uma nova abordagem para este tema foi proposto e consiste na medição da assimetria do espectro ou um espectro sinal obtido pela observação de componentes do campo elétrico ou campo magnético com uma única antena. Nesta abordagem foi assumido que o espectro sinal em qualquer ponto do ressonador inclui uma parte simétrica relacionada com o campo de ressonância do componente e uma parte assimétrica conectada com o campo de onda viajante. O espectro de energia de uma componente de campo $|a(\theta, f)|^2$ foi determinado através da fórmula:

$$|a(\theta, f)|^2 \approx \sum_{k=1}^K \frac{p_k(\theta) \cdot [1 + e_k(\theta) \cdot (f - f_{rk}^*)]}{(f - f_{rk}^*)^2 + (\gamma_k^*)^2}$$

Esta fórmula permite a determinação da distância aproximada θ de qualquer ponto de um ressonador a uma fonte única de onda progressiva.

Os métodos de observação de descargas atmosféricas discutido acima, mesmo supondo uma considerável expansão da base de observação, não permitem o acompanhamento global da atividade de tempestades em toda a superfície da Terra. Também, nenhum dos métodos acima garante uma eficiência de 100% na detecção de descargas elétricas na atmosfera. É atualmente estimado que a eficiência dos métodos mencionados esteja entre

60% e 80%, dependendo do método aplicado, e a análise de sinais algoritmos utilizada.

Novidade e objetivos da invenção

O propósito da invenção é proporcionar um método e
5 um aparato para monitoramento global de atividade de tempestades através de toda a superfície da Terra.

O método para monitoramento de atividade de tempestades de acordo com a presente invenção é baseado na análise de sinais eletromagnéticos induzidos por descargas elétricas
10 na atmosfera em células de tempestade, similarmente aos métodos mencionados acima. A idéia da invenção é que sinais de campo eletromagnético de frequência extremamente baixa (ELF) induzido com um ressonador Terra-ionosfera são registrados, em seguida, submetidos a análise espectral, baseado em modelos de propagação
15 de ressonância considerando campo ELF no ressonador Terra-ionosfera. Em seguida, os recursos dependentes da distância entre o local da descarga elétrica e as antenas, isto é, distância das fontes e intensidade, são separados e comparados com a base de dados de parâmetros do modelo. O mais aproximado conjunto de parâmetros
20 de base identifica a localização e intensidade dessas fontes. A análise pode ser conduzida em tempo real, e seus resultados podem ser demonstrados na forma de mapas de atividade de tempestades. Devido às propriedades especiais de propagação de ondas de ressonância em campo ELF, um único dispositivo é capaz de registrar
25 sinais provenientes de todas as descargas elétricas na atmosfera da Terra, e os sinais registrados permitem a preparação explícita de mapas de atividade de tempestades a distâncias de até 10000 km. A

aplicação de vários dispositivos localizados em vários continentes permite imagem clara da atividade de tempestades em coordenadas geográficas em escala global.

Preferencialmente, sinais de campo eletromagnético

5 ELF são registrados em zonas que estão livres de fontes locais de campo elétrico utilizando duas antenas magnéticas horizontais dispostos perpendicularmente uma em relação a outra, e situada na superfície, ou perto sob a superfície do solo, e colocados ao longo das direções Norte-Sul e Leste-Oeste. Os sinais, após serem
10 amplificados, filtrados e processados, por exemplo, com uma frequência de amostragem de 180Hz em sinais digitais de observação, são transmitidos pelo rádio para uma unidade de processamento eletrônico de dados, onde são submetidos a uma análise espectral. Os espectros de potência do sinal gerados são
15 então combinados com curvas de ressonância, que permitem uma parametrização desses espectros. Em seguida, estes parâmetros são comparados com os parâmetros armazenados na base de dados modelo, que foi criado com o conhecimento do modelo de propagação de ondas ELF na Terra-ionosfera ressonador ou caverna ou guia de
20 ondas. Usando um procedimento para minimizar o desvio de parâmetros de observação dos parâmetros de base, uma seleção é feita em relação a um conjunto de parâmetros de base, que os valores seriam mais aproximados. Um conjunto de parâmetros de base que reconstroem a localização e a intensidade da tempestade,
25 onde as fontes de descargas elétricas na atmosfera ocorrem. Com base no conjunto de parâmetros de base um mapa de fontes pode ser preparado.

A fim de realizar uma parametrização para cada espectro de potência S_x , S_y , é recomendado combinar curvas de ressonância utilizando a fórmula:

$$S(\omega) = b + \frac{a}{\omega^\alpha} + \sum_{k=1}^K \frac{p_k \cdot [1 + e_k \cdot (\omega_k - \omega)]}{(\omega_k - \omega)^2 + (\Gamma_k)^2}$$

5 Onde:

$S(\omega)$ – Espectro de potência correspondida

a – parâmetro descrevendo ruídos coloridos de fundo

b – parâmetro descrevendo ruídos de fundo de banda
larga

10 α – índice espectral de ruídos coloridos

ω – taxa (pulsção)

p_k – máximo valor de potência do pico de ressonância k-
th

e_k – parâmetro de assimetria do pico de ressonância k-
15 th

ω_k – taxa de ressonância do pico de ressonância k-th
que é igual a $2\pi f_k$

Γ_k – meia onda do pico de ressonância k-th

Outra idéia da invenção é um aparato para monitorar a
20 atividade de tempestade na superfície da Terra em tempo real,
equipado com duas antenas de indução magnética ativas
perpendicular uma com a outra ao longo das direções Norte-Sul e
Leste-Oeste e colocados na superfície do solo ou perto dele e
conectadas via cabos blindados ao bloco de gravação de sinais de
25 observação o qual contém dois caminhos idênticos de sinal com
amplificadores, filtros, conversores analógico-digital e um sistema de

controle, cujo relógio é sincronizado através do sistema receptor com o tempo GPS, onde a unidade eletrônica de processamento de dados é programada seguindo um algoritmo aplicado a análise espectral dos sinais ELF e um algoritmo determinando características dependentes da distância e intensidade das fontes de descarga.

Preferencialmente, o bloco de gravação de sinais de observação é conectado à antena transmissora transmitindo dados processados pelo conversor analógico-digital enquanto a unidade de contagem é conectada à antena receptora comunicando com a antena de transmissão conectado com o bloco de gravação de sinais de observação.

Breve descrição dos desenhos

A invenção será agora descrita por meio de exemplos e com referencia aos desenhos em anexos nos quais:

Fig. 1 mostra a Terra e o centro de uma tempestade gerando ondas eletromagnéticas ELF;

Fig. 2 mostra um fluxograma de um método para monitoramento de atividade de tempestade;

Fig. 3A mostra antenas receptoras em um campo eletromagnético ELF;

Fig. 3B e 3C mostram um aparato para monitoramento de atividade de tempestade na superfície da Terra em tempo real; e

Fig. 4 mostra três picos de ressonância escolhidos relacionados com as três primeiras máximas consecutivas de propagação.

Melhor modo de executar a invenção

As concretizações apresentadas nos desenhos se destinam apenas a um propósito ilustrativo e não limitam o escopo da invenção como definido pelas reivindicações em anexo.

O aparato para monitoramento de atividade de tempestades na superfície da Terra em tempo real, para o qual uma solução será apresentada de acordo com a invenção com um exemplo de um aparato de monitoramento de atividade de tempestade utilizado para medições remotas de centro de atividade de tempestades e sua localização na superfície da Terra, é mostrado nas Figs. 1 - 5. Componentes ou unidades do aparato que realizam as mesmas funções estão marcadas em todas as figuras com a mesma numeração ou marcas diferenciando apenas no primeiro dígito, que é atribuído à figura específica e seu número.

A Fig. 1 mostra esquematicamente a Terra 100 com um centro de tempestade 101. O centro da tempestade gera sinais de campo eletromagnéticos ELF na cavidade de ar 104 ou em outras palavras, no ressonador Terra-ionosfera, os sinais sendo ondas eletromagnéticas ELF 102 e 103 se propagando em todas as direções na cavidade Terra-ionosfera 104. Na Fig. 1 uma única descarga elétrica atmosférica 109 é mostrada a qual gera entre outras coisas a primeira onda eletromagnética 102 se propagando em um sentido anti-horário e a segunda onda 103 se propagando em um sentido horário na cavidade de ar 104 criada entre a ionosfera 105 e o solo 106. Estas ondas circulam a Terra muitas vezes interferindo uma com a outra e também atingindo as antenas receptoras 110, 120 dispostas perpendicularmente em posição favorável em relação uma a outra. Devido à interferência das ondas geradas pelo centro da tempestade

101, ondas de frequências específicas desaparecem e desta forma uma série de picos de ressonância é criada.

A Fig. 2 mostra esquematicamente um fluxograma de um método para monitoramento de atividade de tempestades na superfície da Terra em tempo real. Na primeira etapa 211, os
 5 componentes H_x , H_y do campo eletromagnético, criado por descargas elétricas, geram sinais que são registrados por duas antenas magnéticas. Na etapa 212, esses sinais estão sujeitos a processos idênticos de análise espectral, como resultado de cada espectro de
 10 potência S_x e S_y são gerados. Devido à natureza de propagação do sinal de ressonância ELF na cavidade Terra-ionosfera, os espectros assumem a forma de uma série de picos ressonância, associada a valores máximos de propagação subsequente. Na etapa 213, cada espectro de potência S_x e S_y é combinado com curvas de
 15 ressonância, descritas por uma fórmula específica descrita em detalhes mais tarde. O resultado do processo de comparação é a parametrização dos espectros. A cada um dos espectros S_x e S_y é atribuído conjuntos de parâmetros de observação p_k , f_k , γ_k e e_k . Na etapa 214, conjuntos de parâmetros para cada sinal são comparados
 20 com os parâmetros de base p_{0k} , f_{0k} , γ_{0k} e e_{0k} , que estão armazenados em uma base de dados de parâmetro modelo B . A tarefa do sistema de comparação é fazer a seleção de um conjunto de parâmetros de base p_{0k} , f_{0k} , γ_{0k} e e_{0k} , cujos valores são os mais próximos possível do conjunto de parâmetros de observação p_k , f_k , γ_k e e_k . Para esse efeito,
 25 é aplicado um dos procedimentos de minimização disponíveis, usado para minimizar o desvio dos parâmetros de observação p_k , f_k , γ_k e e_k em relação aos parâmetros de base p_{0k} , f_{0k} , γ_{0k} e e_{0k} . A base de dados

do parâmetro modelo B é feita com a aplicação do conhecimento do modelo de propagação de ondas ELF na cavidade Terra-ionosfera na etapa 215 depois de, por exemplo, a confirmação da observação de descargas elétricas na atmosfera. Como há um conjunto

5 característico de parâmetros de base para cada distância entre o observador, ou seja, as antenas, e a fonte, ou seja, uma descarga elétrica, e para cada intensidade de descarga, assim, a atribuição do conjunto de parâmetros de observação p_k, f_k, γ_k e e_k para o conjunto de parâmetros de base $p_{0k}, f_{0k}, \gamma_{0k}$ e e_{0k} permite o mapeamento dos locais

10 das fontes e suas intensidades. Na etapa 216, um mapa das fontes é preparado. A capacidade de resolução do mapa obtido é estritamente dependente do número de parâmetros de observação espectral p_k, f_k, γ_k e e_k obtido na etapa 213 de decomposição do sinal, e também do nível de ruídos locais que acompanham a medição. Os parâmetros de

15 observação p_k, f_k, γ_k e e_k são características dependentes da distância e da intensidade das descargas elétricas que ajudam a reconstruir a localização e a intensidade das descargas elétricas e de uma base sobre a qual um mapa das fontes de tempestade ($M_{(x, y)}$) pode ser desenhado. Ambigüidades do mapa dependem estritamente da forma

20 dos conjuntos de base do campo de distribuição, ou seja, são derivados do modelo de propagação adotado.

O campo eletromagnético ELF, mostrado esquematicamente na Fig. 3A, criado na cavidade de ar tem componentes H_x, H_y, H_z dos quais H_x e H_y são recebidos por duas

25 antenas receptoras direcionais horizontais A_x 321 e A_y 322, idealmente perpendiculares uma em relação a outra, e posicionadas em uma zona da Terra livre de fontes locais de campos elétricos. As

antenas A_x 321 e A_y 322 são normalmente antenas de indução magnética ativas de comprimento, por exemplo, de 1m com uma seção transversal do núcleo de 1cm^2 . Preferencialmente, as antenas A_x 321 e A_y 322 estão protegidas contra campos elétricos externos, caso existam, e colocadas na superfície do solo 106 ou perto dele, normalmente ao longo das direções Norte-Sul e Leste-Oeste. Devido ao campo eletromagnético ELF 301 sinais U_x 331 e U_y 332 são gerados nestas antenas receptoras direcionais A_x 321 e A_y 322.

Antes de os sinais U_x 331 e U_y 332 serem submetidos a análise espectral com base em modelos de propagação de ressonância de campos ELF no guia de ondas Terra-ionosfera ou na cavidade Terra-ionosfera, em suma - o ar da cavidade, e a separação das funções dependentes da distância e intensidade da fonte, os sinais U_x 331 e U_y 332 gerados nas antenas receptoras direcionais e magnéticas A_x 321 e A_y 322 são transmitidos para um bloco de gravação de sinais de observação em dois padrões de tratamento idêntico, de preferência em separado, como mostrado na figura. 3B e 3C para a entrada de uma ampla faixa de amplificadores de baixo ruído G_x 341 e G_y 342 rastreados por fios de comprimento, por exemplo, 100m e depois, após ser amplificado, eles são passados através de filtros de passa-baixa BPF_x 351 e BPF_y 352 da banda de passagem, por exemplo, 1-60Hz e a seguir transformados do analógico para o formato digital, por exemplo, em conversores analógico-digital de 16-bit A/C_x 361 e A/C_y 362 conectados com um sistema de controle uP 365. Amostragem do sinal é realizada de forma síncrona em ambos conversores analógico-digital A/C_x 361 e A/C_y 362, por exemplo, com a frequência 180Hz. O aparato com os

dois blocos, descritos acima e abaixo, é equipado com um receptor GPS 364, graças à qual um relógio do sistema de controle é sincronizado com o tempo GPS. Sinais digitais U_x 331 e U_y 332 são então codificados e dirigidos a um sistema de transmissão a radio de baixa energia 366, com uma antena T 367 transmitindo os dados processados no conversor analógico-digital ou para a linha de guia de ondas. Outra solução é possível também onde os sinais digitais U_x 331 e U_y 332 podem ser transmitidos a um sistema de controle para posterior análise, por exemplo, a um PC com o uso de links de comunicação. No entanto, com essa solução, existe um risco de introduzir ruídos nos padrões medição. Na solução favorável apresentada na Fig. 3B todos os blocos do aparato descritos até agora estão localizados longe das linhas elétricas e são supridos a partir de uma fonte autônoma de alimentação, enquanto que a transmissão de sinais para a unidade de contagem, por exemplo, PC, como já mencionado, ocorre por rádio ou luz.

No exemplo apresentado os sinais digitais U_x 331 e U_y 332 são recebidos por um sistema de recepção a rádio 376, localizado a vários, por exemplo, 3-10 km de distância da antena, e equipado com uma antena de recepção 377, em seguida decodificados e enviados para uma unidade de contagem de 375, por exemplo, um PC suprido pela rede. A unidade de contagem 375, sendo um sistema de processamento eletrônico, é programado de acordo com um algoritmo de análise espectral de sinais ELF e um algoritmo de determinação de características dependentes da distância e atividade das fontes de descargas elétricas da tempestade. Na unidade de contagem de 375, os sinais digitais U_x

331 e U_y 331 são submetidos a processos idênticos de análise espectral para gerar espectros de potência S_x , S_y de sinais de observação U_x 331 e U_y 331 e combinados a eles curvas de ressonância através do uso do transformador de Fourier em blocos DFTx 371 e DFTy 372. Devido à natureza da ressonância de propagação de sinais de observação ELF na cavidade Terra-ionosfera, os espectros são na forma de uma série de picos de ressonância ou picos de 411, 412 e 413 ligados à máxima propagação consecutivas como apresentado na Tabela 1 e na forma de gráfico Fig. 4.

Tabela 1

Mod Number k	Mod Frequency f	Mod Power p	Mod Eccentricity e	Mod width Γ
1	f_1	p_1	e_1	γ_1
2	f_2	p_2	e_2	γ_2
3	f_3	p_3	e_3	γ_3
4	f_4	p_4	e_4	γ_4
...	...	...	...	...
a				
b				
α				

Na fase seguinte na combinação de blocos D_x 381 e D_y 382 curvas de ressonância expressas pela fórmula a seguir são associadas a cada um dos espectros de potência S_x e S_y :

$$S(\omega) = b + \frac{a}{\omega^\alpha} + \sum_{k=1}^K \frac{p_k \cdot [1 + e_k \cdot (\omega_k - \omega)]}{(\omega_k - \omega)^2 + (\Gamma_k)^2}$$

Onde:

$S(\omega)$ – Espectro de potência correspondida

b – parâmetro descrevendo ruídos coloridos de fundo

5 a – parâmetro descrevendo ruídos de fundo de banda larga

α – índice espectral de ruídos coloridos

ω – taxa (pulsação)

p_k – máximo valor de potência do pico de ressonância k-th

e_k – parâmetro de assimetria do pico de ressonância k-th

10 ω_k – taxa de ressonância do pico de ressonância k-th que é igual a $2\pi f_k$

Γ_k – meia onda do pico de ressonância k-th

A fórmula acima foi adotada a partir do artigo intitulado “Studies of ELF propagations in the spherical shell cavity using a field decomposition method base don asymmetry of Schumann resonance curves”, *Jornal de Pesquisa Geofísica*, Vol. 111, A1304, doi: 10.1029/2005JA011429, 2006, depois de completá-la com um parâmetro descrevendo ruídos coloridos de fundo, um parâmetro que descreve os ruídos de banda larga de fundo, e um índice espectral de ruídos coloridos. Adicionando o parâmetro a descrevendo ruídos coloridos de fundo, o parâmetro b que descreve os ruídos de banda larga de fundo e o índice espectral de ruídos coloridos α era preferível, pois, como foi observado, isto melhorou a qualidade de combinação das curvas ao fundo observado e aumentou a precisão de determinação do parâmetro espectral necessário para criação do mapa. Gostaria de salientar que os parâmetros a e b , bem como o

índice α são determinados, mas não utilizados para a criação do mapa.

Como resultado do uso do procedimento de combinação um espectro de parametrização acontece o que ocorre em blocos de parametrização Param_x 391 e Param_y 392. Para cada espectro S_x e S_y quatro parâmetros de observação p_k , f_k , γ_k e e_k atuais são atribuídos para cada modo k -th, para cuja parametrização é realizada. Na fase seguinte os quatro parâmetros de observação p_k , f_k , γ_k e e_k de cada um dos sinais U_x e U_y são comparados em um comparador 396 com os conjuntos de parâmetros base p_{0k} , f_{0k} , γ_{0k} e e_{0k} armazenados na base de dados de parâmetros modelo B 390 criado na base do conhecimento da propagação de ondas ELF no interior da cavidade Terra-ionosfera. A tarefa do comparador 396 é selecionar um conjunto de parâmetros de base p_{0k} , f_{0k} , γ_{0k} e e_{0k} de valores mais próximos do conjunto de parâmetros de observação p_k , f_k , γ_k e e_k . Para este fim é empregado um dos processos de minimização de desvios entre os parâmetros p_k , f_k , γ_k e e_k e os parâmetros p_{0k} , f_{0k} , γ_{0k} e e_{0k} . O 390 é criado a força do conhecimento da propagação de ondas ELF na cavidade Terra-ionosfera com base em observações a longo prazo. Como para cada distância entre o observador e a fonte, e para cada intensidade de descarga, há um conjunto de parâmetros específicos, a atribuição de um conjunto de parâmetros de observação p_k , f_k , γ_k e e_k para o parâmetro base p_{0k} , f_{0k} , γ_{0k} e e_{0k} permite a reconstrução do local da fonte e sua intensidade. Em outras palavras, os parâmetros de observação p_k , f_k , γ_k e e_k são comparados com o conjunto de parâmetros base p_{0k} , f_{0k} , γ_{0k} e e_{0k} que são parâmetros do parâmetro modelo base B. O conjunto de parâmetros base p_{0k} , f_{0k} , γ_{0k} e e_{0k} depois

de ter sido selecionado como o mais aproximado do conjunto de parâmetros de observação p_k , f_k , γ_k e e_k , reconstrói a localização e a intensidade da descarga elétrica ou fontes de descarga e/ou centros de tempestade. A unidade de processamento eletrônico no exemplo preferencial foi programada de acordo com o algoritmo de análise espectral de sinais ELF e o algoritmo de determinação de características dependentes da distância e da atividade de descargas de tempestade com o uso do transformador de Fourier, como é bem conhecido de muitos trabalhos sobre a análise espectral.

Na fase seguinte é desenvolvido um mapa $M(x, y)$ das fontes, ou em outras palavras, no bloco de geração 395 um mapa da fonte $M(x, y)$ da distribuição e da intensidade dos centros de tempestade na superfície da Terra. A resolução do mapa obtido depende diretamente do número de parâmetros de distribuição do espectro obtido na fase de decomposição do sinal e do nível de ruídos que ocorrem durante a medição. As ambigüidades do mapa dependem da forma de grupos de base da distribuição de campo, ou seja, elas são um derivado do modelo de propagação adotado.

O conjunto de parâmetros de observação p_k , f_k , γ_k e e_k que foi confirmado por outras fontes e/ou com outros métodos de monitoramento da atividade de tempestade na superfície da Terra podem ser adicionados a base de dados modelo B 390 e desta forma constituir um complemento ao conjunto de parâmetros base p_{0k} , f_{0k} , γ_{0k} e e_{0k} para consecutivas reconstruções da localização e intensidade das fontes de descarga ou centros de tempestade.

Nos casos em que são aplicados muitos aparelhos receptores, o que aumenta significativamente a capacidade de

resolução da localização e da intensidade do centro da tempestade no mapa da superfície da Terra, os dados podem ser enviados por satélite ou por Internet a um centro de coleta de dados onde são submetidos à análise na unidade de contagem.

5 A solução de acordo com esta invenção foi apresentada através de exemplos selecionados. No entanto, estes exemplos não limitam a invenção. É evidente que modificações podem ser introduzidas sem alterar a natureza essencial da solução. Os exemplos apresentados não são as únicas possibilidades de
10 aplicação da solução de acordo com a invenção.

Reivindicações:

1. MÉTODO PARA MONITORAMENTO DE ATIVIDADE DE TEMPESTADE SOBRE A SUPERFÍCIE DA TERRA EM TEMPO REAL com análise de sinais eletromagnéticos induzidos por descargas elétricas na atmosfera em células de tempestade, em que sinais ELF de campo eletromagnético gerados em um ressonador Terra-ionosfera são gravados, sujeitos a análise espectral baseada em modelos de propagação parametrizada de ressonância de campo ELF no ressonador terra-ionosfera da componente magnética do campo ELF, onde um conjunto de características dependentes da distância e intensidade das descargas elétricas é separado dos parâmetros do modelo do sinal analisado e comparados com parâmetros de base contidos dentro de uma base de dados de parâmetros do modelo **caracterizado por** sinais digitais de observação (U_x , U_y) (331,332) ser submetidos a análise espectral com a geração de seu espectro de potência (S_x , S_y), fazendo a correspondência com curvas de ressonância e parametrização deste espectro para encontrar um conjunto de parâmetros de observação (p_k , f_k , γ_k e e_k), que são a seguir comparados com parâmetros de base (p_{ok} , f_{ok} , γ_{ok} e e_{ok}) armazenados na base de dados de parâmetros de modelo, criada com o conhecimento do modelo de propagação de onda ELF na cavidade Terra-ionosfera, após o que, com aplicação de procedimentos de minimização com respeito ao desvio dos parâmetros de observação (p_k , f_k , γ_k e e_k) dos parâmetros de base (p_{ok} , f_{ok} , γ_{ok} e e_{ok}), um conjunto de parâmetros de base (p_{ok} , f_{ok} , γ_{ok} e e_{ok}) é selecionado, cujos valores são melhor aproximados aos parâmetros de observação (p_k , f_k , γ_k e e_k) em que o conjunto de parâmetros de base (p_{ok} , f_{ok} , γ_{ok} e e_{ok}) reconstrói a localização e

intensidade das centelhas de descargas elétricas e forma uma base sobre a qual um mapa de fontes de tempestade ($M_{(x, y)}$) é desenhado.

2. MÉTODO PARA MONITORAMENTO DE ATIVIDADE DE TEMPESTADE SOBRE A SUPERFÍCIE DA TERRA EM TEMPO REAL como reivindicado em 1 e ainda **caracterizado por** as características dependentes da distância e intensidade das descargas elétricas ser parâmetros de observação (p_k, f_k, γ_k e e_k) comparados com os parâmetros de base ($p_{ok}, f_{ok}, \gamma_{ok}$ e e_{ok}) armazenados na base da dados de parâmetros do modelo que reconstrói a localização e intensidade das descargas elétricas e forma uma base sobre a qual um mapa de fontes de tempestade ($M_{(x, y)}$) é desenhado.

3. MÉTODO PARA MONITORAMENTO DE ATIVIDADE DE TEMPESTADE SOBRE A SUPERFÍCIE DA TERRA EM TEMPO REAL como reivindicado em 1 ou 2 e ainda **caracterizado por** os sinais ELF de campo elétrico induzidos pelas centelhas de descargas elétricas ser gravados em uma zona da Terra livre de fontes locais de campos elétricos, por duas antenas de indução magnética ativas (H_x, H_y), posicionadas horizontalmente e preferencialmente perpendiculares em relação uma a outra, localizadas sobre a superfície da Terra ou ligeiramente abaixo da superfície do solo, direcionadas para as direções NS e LO, sendo então os sinais amplificados, filtrados e processados em uma frequência de amostragem de 180 Hz gerando sinais digitais de observação (U_x, U_y) (331, 332), que são transmitidos por rádio a uma unidade eletrônica de processamento de dados, onde são subsequentemente submetidos a análise espectral com a geração de seu espectro de potência (S_x, S_y).

4. MÉTODO PARA MONITORAMENTO DE ATIVIDADE DE TEMPESTADE SOBRE A SUPERFÍCIE DA TERRA EM TEMPO REAL como reivindicado em 1 e ainda **caracterizado por** após a gravação dos sinais ELF de campo eletromagnético induzidos no ressonador Terra-ionosfera, os sinais ELF do campo eletromagnético ser sujeitos a análise espectral baseada em modelos de propagação de ressonância de campo ELF no ressonador Terra-ionosfera, a partir de cujas características dependências de fonte, distância e intensidade são separadas e comparadas com parâmetros de base (p_{ok} , f_{ok} , γ_{ok} e e_{ok}) armazenados na base de dados de parâmetros de modelo, onde estes parâmetros de base (p_{ok} , f_{ok} , γ_{ok} e e_{ok}) selecionados como as melhores aproximações dos parâmetros de observação (p_k , f_k , γ_k e e_k) reconstroem a localização e intensidade das centelhas de descargas elétricas.

5. MÉTODO PARA MONITORAMENTO DE ATIVIDADE DE TEMPESTADE SOBRE A SUPERFÍCIE DA TERRA EM TEMPO REAL como reivindicado em 1 ou 2 e ainda **caracterizado por** os sinais ELF do campo eletromagnético ser gravados em uma zona da Terra livre de campos elétricos locais com ao menos duas antenas horizontais preferencialmente perpendiculares entre si e posicionadas sobre a superfície do solo ou ligeiramente sob o solo em que os sinais de campo eletromagnético ELF, após serem amplificados, filtrados e processados com uma certa frequência de amostragem em sinais digitais de observação são transmitidos por rádio (366) para uma unidade eletrônica de processamento de dados, onde são submetidos consecutivamente a análise espectral com a geração de seus espectros e correspondentes curvas de ressonância assim como a

parametrização destes espectros a fim de determinar o conjunto de parâmetros de observação (p_k , f_k , γ_k e e_k) para cada modo k-th, para o qual a parametrização é feita, e subsequentemente o conjunto de parâmetros de observação (p_k , f_k , γ_k e e_k) é comparado com o conjunto de parâmetros de base (p_{ok} , f_{ok} , γ_{ok} e e_{ok}) armazenado em uma base de dados de parâmetros de modelo criada com o uso do conhecimento do modelo de propagação de onda ELF na cavidade Terra-ionosfera e então, com a minimização do desvio dos parâmetros de observação (p_k , f_k , γ_k e e_k) dos parâmetros de base (p_{ok} , f_{ok} , γ_{ok} e e_{ok}) uma seleção dos parâmetros de base (p_{ok} , f_{ok} , γ_{ok} e e_{ok}) é feita com valores tão próximos aos parâmetros de observação (p_k , f_k , γ_k e e_k) quanto possível, e um conjunto selecionado de parâmetros de base (p_{ok} , f_{ok} , γ_{ok} and e_{ok}) reconstrói a localização e intensidade das centelhas de descargas elétricas.

6. MÉTODO PARA MONITORAMENTO DE ATIVIDADE DE TEMPESTADE SOBRE A SUPERFÍCIE DA TERRA EM TEMPO REAL como reivindicado em 1 ou 2 e ainda **caracterizado** por cada espectro de potência (S_x , S_y) ser correspondido com as curvas de ressonância expressas pela fórmula:

$$S(\omega) = b + \frac{a}{\omega^\alpha} + \sum_{k=1}^K \frac{p_k \cdot [1 + e_k \cdot (\omega_k - \omega)]}{(\omega_k - \omega)^2 + (\Gamma_k)^2}$$

onde:

$S(\omega)$ – espectro de potência correspondida;

a – parâmetro descrevendo ruídos coloridos de fundo;

b – parâmetro descrevendo ruídos de fundo de banda larga;

α – índice espectral de ruídos coloridos;

ω - taxa (pulsação);

p_k – máximo valor de potência do pico de ressonância k -th ; θ_k – parâmetro de assimetria do pico de ressonância k -th;

e_k – taxa de ressonância do pico de ressonância k -th a qual é igual a $2\pi f_k$;

Γ_k – meia onda do pico de ressonância k -th.

7. APARATO PARA MONITORAR ATIVIDADE DE TEMPESTADE SOBRE A SUPERFÍCIE DA TERRA EM TEMPO REAL, compreendendo antenas, um bloco de gravação de sinais observados, um sistema de transmissão de radio e uma unidade eletrônica de processamento de dados, sendo duas antenas preferencialmente situadas perpendicularmente uma em respeito a outra **caracterizado por** as antenas ser conectadas via cabos blindados ao bloco de gravação de sinais observados (H_x , H_y), o qual contém dois caminhos idênticos de sinal com amplificadores (A_x , A_y), filtros (BPF_x , BPF_y), conversores analógico-digital (A/C_x , A/C_y) e um sistema de controle (UP) cujo clock é sincronizado, via sistema receptor, com tempo GPS time.

8. APARATO PARA MONITORAR ATIVIDADE DE TEMPESTADE SOBRE A SUPERFÍCIE DA TERRA EM TEMPO REAL como reivindicado em 7 e ainda **caracterizado por** o bloco de gravação dos sinais observados ser conectado a antena transmissora transmitindo os dados processados no conversor analógico-digital onde a unidade contadora é conectada a antena receptora

comunicando com a antena transmissora conectada ao bloco de gravação de sinais observados.

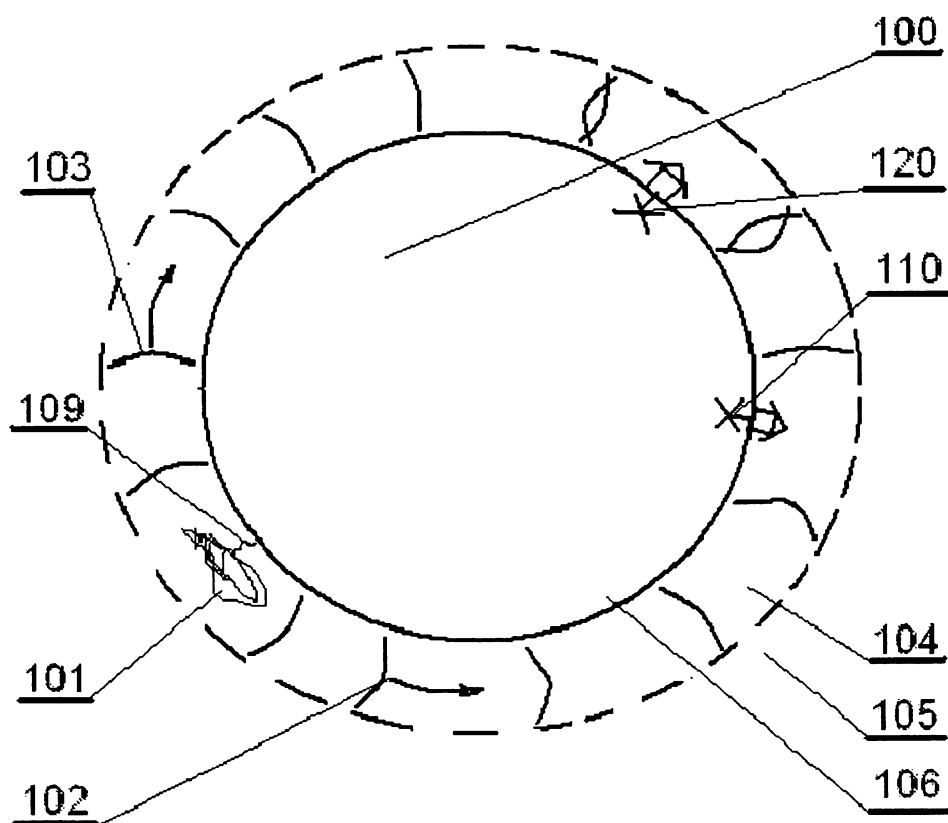


Fig. 1

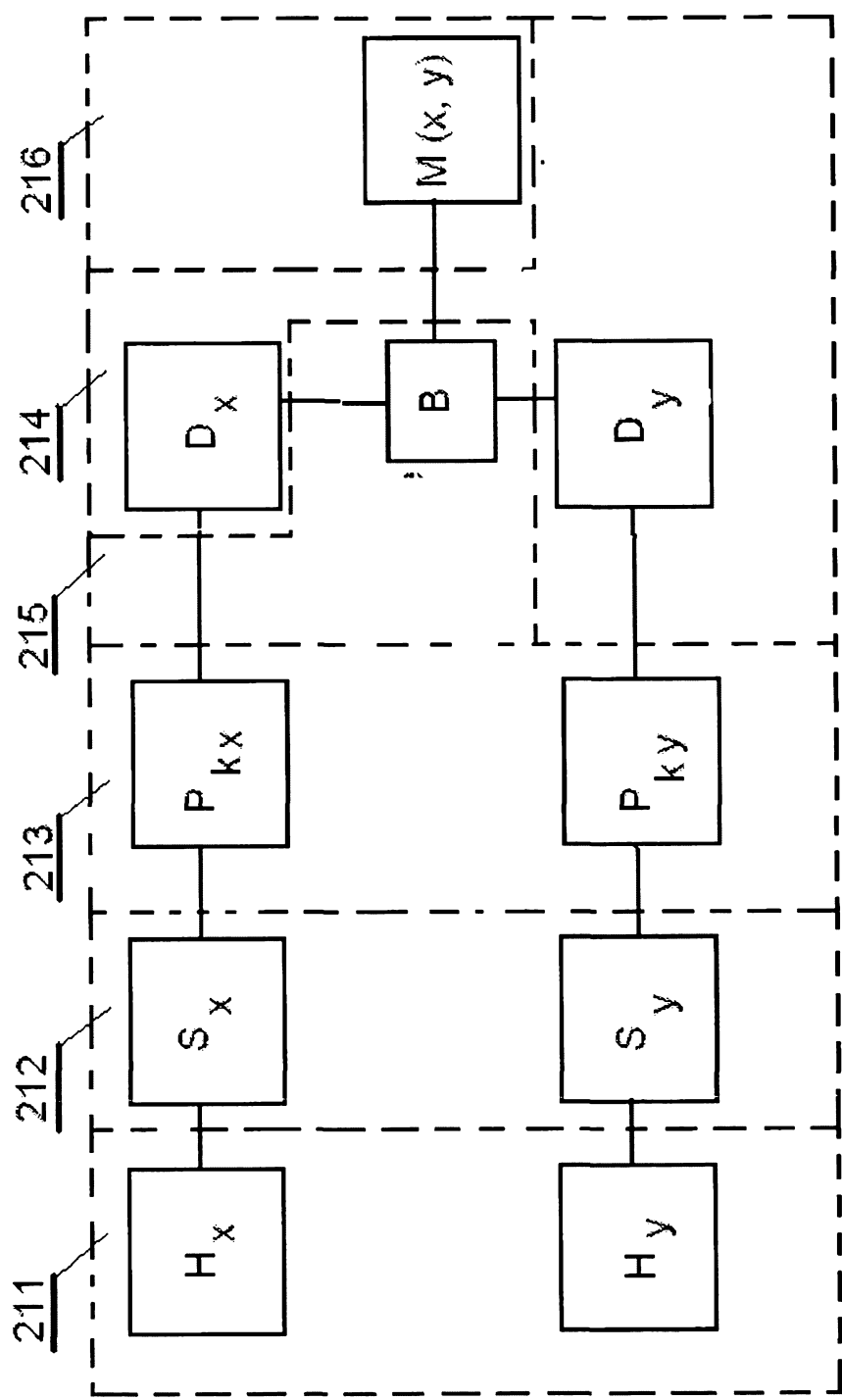


Fig. 2

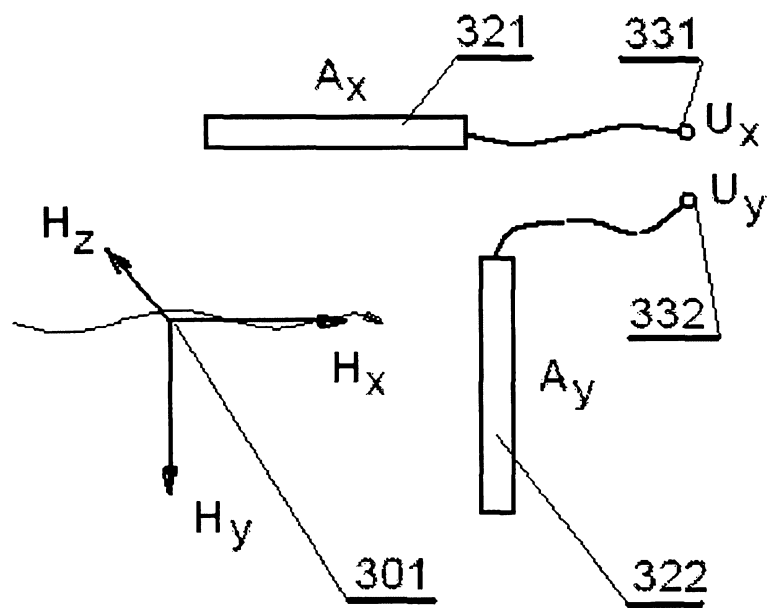


Fig. 3A

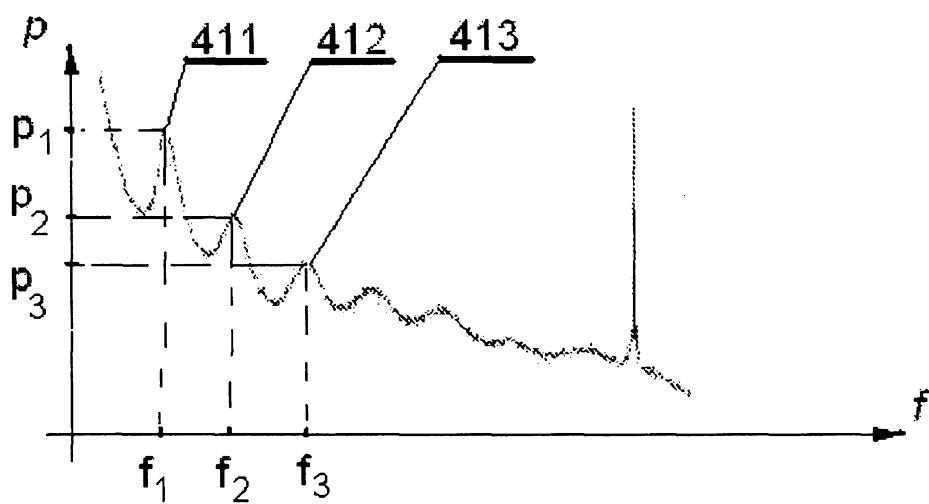


Fig. 4

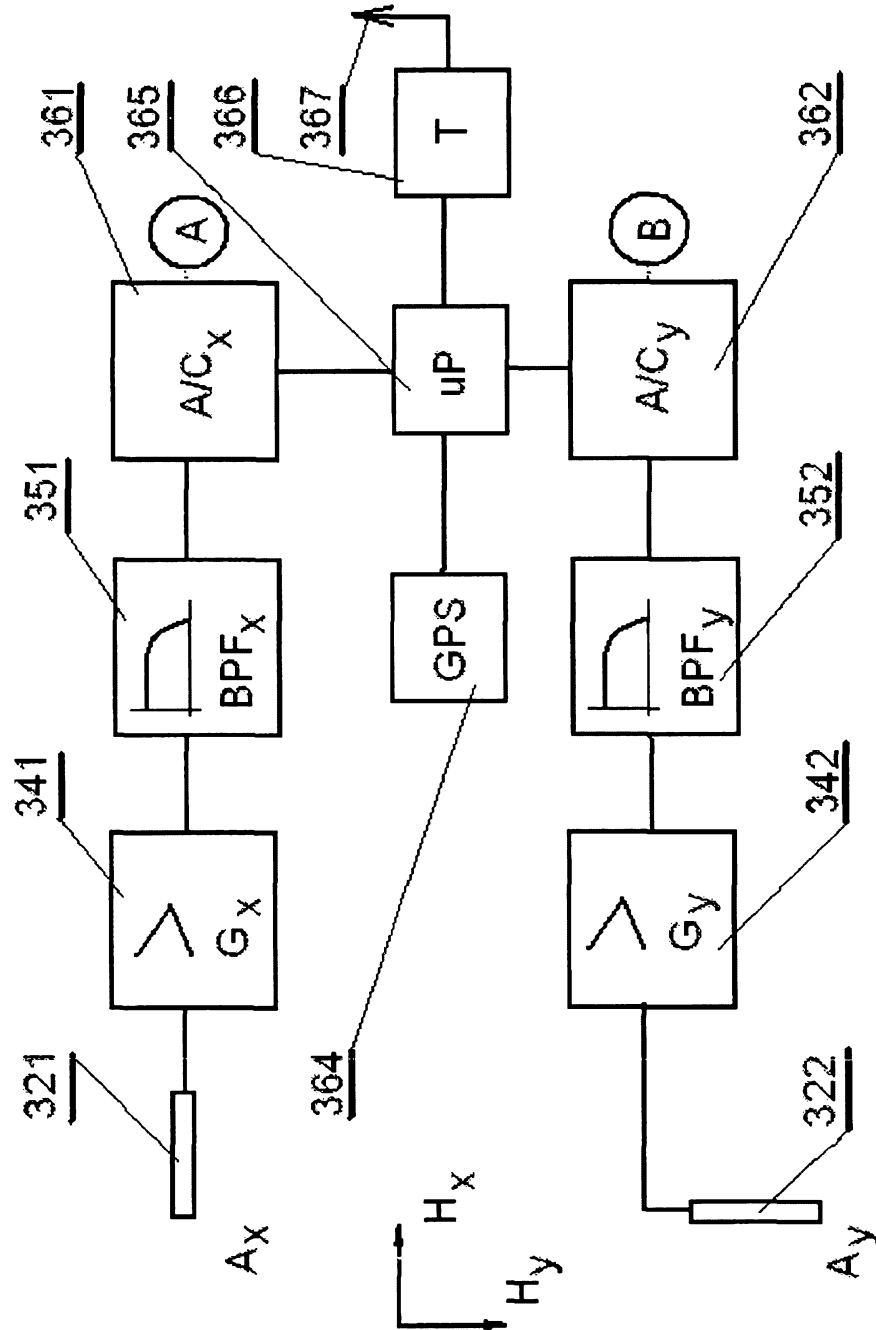


Fig. 3B

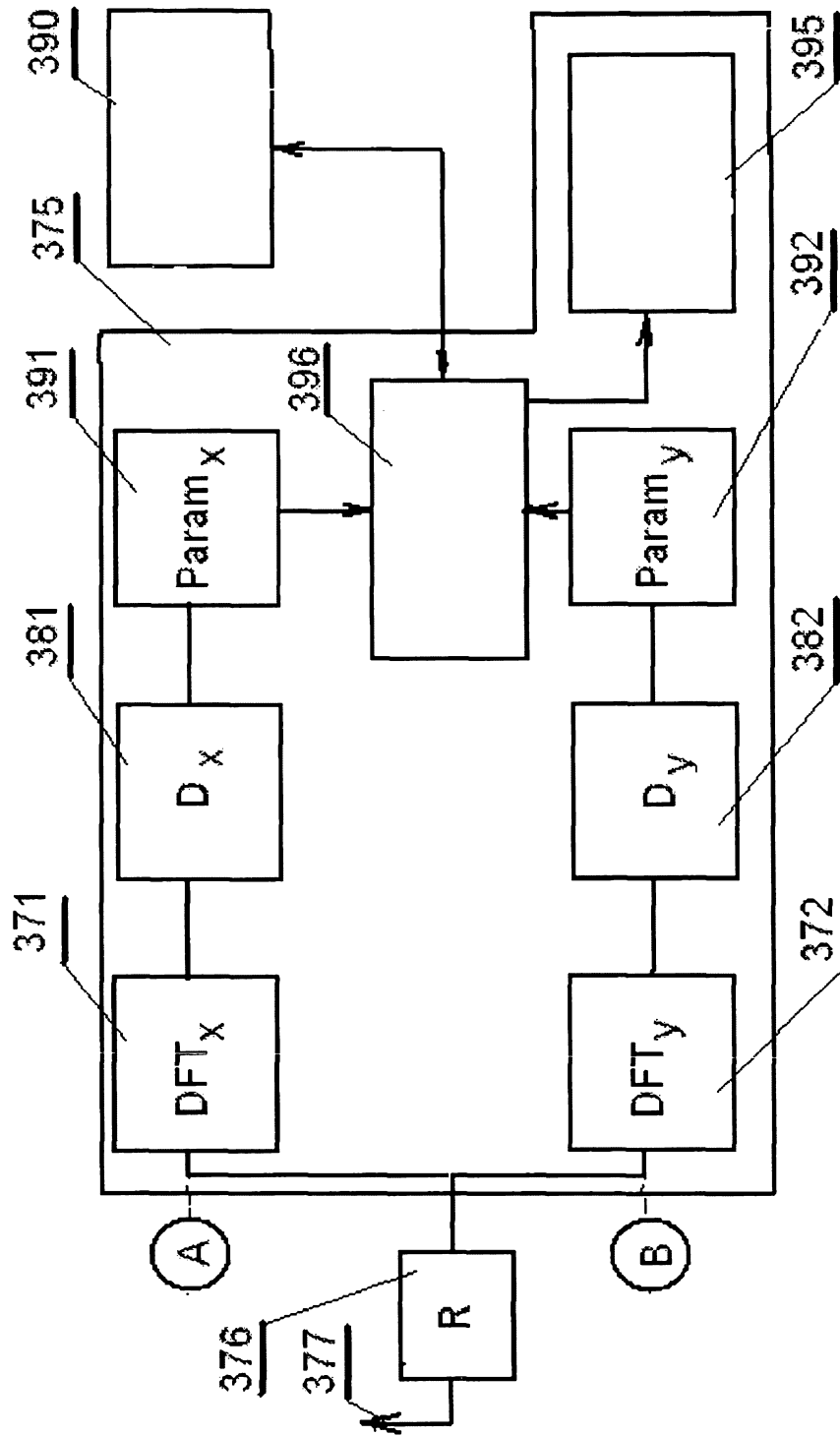


Fig. 3C