



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

(11) PI 0807041-5 B1



(22) Data do Depósito: 24/01/2008

(45) Data de Concessão: 03/12/2019

(54) Título: SISTEMA, MÉTODO E FORMAÇÃO PARA MONITORAMENTO DE UMA CORREIA CONDUTORA

(51) Int.Cl.: B65G 43/02; G01N 27/82.

(30) Prioridade Unionista: 26/01/2007 ZA 2007/00760.

(73) Titular(es): ADVANCED IMAGING TECHNOLOGIES (PROPRIETARY) LIMITED.

(72) Inventor(es): MICHAEL JOHN ALPORT; JACQUES FREDERICK BASSON; THAVASHEN PADAYACHEE.

(86) Pedido PCT: PCT IB2008050254 de 24/01/2008

(87) Publicação PCT: WO 2008/090522 de 31/07/2008

(85) Data do Início da Fase Nacional: 27/07/2009

(57) Resumo: SISTEMA, MÉTODO E FORMAÇÃO PARA MONITORAMENTO DE UMA CORREIA CONDUTORA Descreve-se um sistema para monitoramento de uma correia condutora (12) com cordas permeáveis magneticamente, gerador de campo magnético (14) para geração de campo magnético para magnetizar as cordas, em uso, uma unidade sensor de campo magnético (16) para detectar o campo magnético fornecido, em uso, pelas cordas para fornecer sinais representantes de campo magnético, e um processador (20) para processar pequenas ondulações transformadas em sinais. As ondas podem ser na forma de Morlet. A unidade sensor compreende um grupo de sensores de campo espaçados, e a transformação é feita em sinais fornecidos pelos sensores.

**"SISTEMA, MÉTODO E FORMAÇÃO PARA MONITORAMENTO DE
UMA CORREIA CONDUTORA"**

Esta invenção refere-se ao monitoramento de correias condutoras. Mais particularmente, a presente invenção está relacionada a um sistema e método de monitoramento da condição de correias condutoras contendo cordas permeáveis magneticamente. A presente invenção refere-se também a um arranjo de correias condutoras compreendendo o referido sistema.

Descrição do estado da técnica

É bem conhecido que a falha por completo de correias condutoras de aço reforçado conforme usado nas estruturas de correias condutoras em várias aplicações industriais e de mineração pode ter resultado catastrófico. Assim, o monitoramento das condições destas correias condutoras se tornou uma prática comum, cujo objetivo é identificar danos nas correias condutoras e então realizar uma manutenção eficiente destas correias condutoras, garantindo, desta forma, a redução de chance de uma falha completa.

Uma correia condutora típica de aço reforçado conforme a descrita nesta invenção é feita de várias seções prolongadoras do condutor, normalmente na ordem de 300m de comprimento. Cada seção compreende uma camada central de cordas de aço trançadas em forma de sanduíche em uma configuração paralela, igualmente espaçada entre duas camadas de borracha, com as seções sendo conectadas por meio de divisores. Um divisor entre duas seções é formado através da sobreposição das extremidades das duas seções por um metro e meio, vulcanizando as seções juntamente. Quando as seções estão conectadas, as cordas das seções na região sobreposta são organizadas em um padrão onde as cordas alternativas das seções se apóiam em um relacionamento adjacente.

indica danos na corda. Aparatos já conhecidos incluem sensores magnéticos do tipo bobina, uma formação específica com quatro sensores espaçados ao longo da largura da correia monitorada, assim cada um dos sensores serve para identificar danos na corda em um segmento transversal de $\frac{1}{4}$ da correia condutora. Embora este arranjo seja suficiente para indicar danos na corda, o local exato de danos dentro do quadrante da largura da correia ainda permanece difícil de se estabelecer. Devido o sensor magnético tipo bobina detectar a taxa de mudança da força do campo magnético dentro da região onde a corda está danificada, foi descoberto que embora uma região danificada seja indicada adequadamente, a natureza dos danos e a taxa de deterioração da corda danificada não pode ser estabelecida ou monitorada e, como tal, ainda permanece difícil estabelecer exatamente quando uma manutenção da correia condutora deve ser realizada.

Aparatos de monitoramento de condição para correias de condutores de corda de aço reforçada que utilizam praticamente os mesmos princípios já descritos acima também são conhecidos, mas estes são associados a algumas imperfeições. O objeto desta invenção é fornecer um método e aparato para solucionar ou melhorar pelo menos uma destas imperfeições.

Objetivos da invenção

A presente invenção tem como objetivo prover um sistema e método de monitoramento da condição de correias condutoras contendo cordas permeáveis magneticamente. Ainda, é também objetivo desta invenção prover um arranjo de correias condutoras compreendendo o referido sistema.

Breve descrição da invenção

A invenção tem por objeto um sistema e método de monitoramento da condição de correias condutoras contendo cordas permeáveis magneticamente.

Outro objeto desta invenção é um arranjo de correias condutoras compreendendo o referido sistema.

Descrição resumida dos desenhos

A presente invenção será, a seguir, mais detalhadamente descrita com base em um exemplo de execução, não-limitado, representado nos desenhos. As figuras ilustram:

5 Figura 1 ilustra esquematicamente uma formação de correia condutora de acordo com a invenção;

Figura 2 ilustra esquematicamente um grupo de sensores parte do sistema da Figura 1;

Figura 3 ilustra esquematicamente um equipamento de processamento que é parte de um sistema da Figura 1;

10 Figura 4 ilustra esquematicamente a função de onda Morlet, onde a Figura 4A ilustra a parte real e a Figura 4B ilustra a parte imaginária do mesmo;

Figura 5 ilustra um diagrama de fluxo indicando seqüência de cálculos necessária para capturar, calcular e exibir a imagem dos danos;

15 Figura 6 ilustra um esboço típico do componente perpendicular do campo magnético acima de uma corda quebrada em uma correia condutora; e

Figura 7 ilustra o resultado de envolver os dados ilustrados na Figura 6 com uma função de ondulação do tipo Morlet.

Descrição detalhada das figuras

20 Em concretizações desta invenção, um sistema de monitoramento de condição de correias condutoras com cordas permeáveis magneticamente é descrito, compreendendo: i) um gerador de campo magnético AC para geração de um campo magnético alternado para magnetizar as cordas em uso; ii) uma unidade sensor de campo magnético para detectar os campos magnéticos fornecidos, em uso, pelas cordas e para fornecimento de sinais representando os
25 campos magnéticos; e iii) um processador para realizar uma transformação discreta de ondulações nos sinais.

Ainda, de acordo com esta invenção, é descrito um método de monitoramento de uma correia condutora com cordas permeáveis magneticamente, que compreende: i) gerar um campo magnético para
30 magnetizar as cordas; ii) detectar o campo magnético fornecido pelas cordas,

fornecendo sinais representativos para o campo magnético; e iii) executar uma transformação discreta de ondulações nos sinais.

Ainda, de acordo com esta invenção, é fornecida uma formação de correia condutora compreendendo: i) uma correia com uma pluralidade de cordas permeáveis magnéticas; e um sistema de monitoramento de correia conforme descrito acima, o gerador de campo magnético e a unidade sensor de campo magnético, posicionada adjacente à correia e espaçada longitudinalmente entre si.

O gerador de campo magnético pode compreender ímãs permanentes ou eletroímãs.

A unidade sensor pode compreender um grupo de sensores de campo magnético espaçados, com a transformação sendo feita nos sinais dos sensores. A ondulação gerada pode ser do tipo Morlet.

O sistema pode compreender equipamento de processamento para processar os sinais recebidos dos sensores e executar a transformação. O equipamento de processamento possui canais ou pode ser do tipo multiplex - multiplex analógico ou multiplex digital.

De forma conveniente, o campo magnético pode ser digitalizado e dados digitais podem estar envolvidos com a função de onda Morlet. Além disso, Um "Fast Fourier Transform – FFT" pode ser usado.

Em concretizações preferenciais desta invenção, o sistema compreende um meio para determinar a velocidade da correia na direção longitudinal. O meio para determinar a velocidade da correia pode compreender um codificador conectado em uma polia de formação da correia condutora.

A presente invenção será, a seguir, mais detalhadamente descrita com base em um exemplo de execução, não-limitado, representado nos desenhos:

Com relação à Figura 1, a formação de correias condutoras 10 possui uma correia condutora 12, um gerador de campo magnético 14, uma unidade sensor de campo magnético 16, um codificador 18 para determinar a velocidade de movimento da correia 12 e equipamento de processamento 20 para sinais de processamento recebidos da unidade de sensor de campo 16. A direção de

movimento da correia 12 é indicada pela seta 22. O gerador de campo 14 e o campo da unidade sensor de campo 16 se prolonga pela correia 12 e são montadas de 4cm a 5cm acima da correia 12. O codificador 18 é conectado em uma polia na formação 10, para monitorar a velocidade de movimento da correia 12.

Em concretizações preferenciais desta invenção, a direção de movimento 22 define uma direção longitudinal, onde a direção transversal é definida ao longo da correia 12 e uma direção perpendicular definida perpendicularmente à correia 12.

A correia 12 transporta massa de materiais como carvão, minério de ferro entre outros. A correia 12 é construída de matriz de borracha que é inserida em cordas 24 que englobam tranças de fios de aço que passam por todo o comprimento da correia 12. Estes núcleos são então magneticamente permeabilizados. As correias padrões têm espaçamento de corda entre 10mm e 25mm. Claramente, o número de cordas 24 em uma correia 12 irá depender do espaçamento das cordas 24 e da largura da correia 12. Embora somente quatro cordas sejam mostradas na Figura 1, será útil na prática ter um número maior de cordas 24 em uso.

Em uso, como é conhecido na prática, um campo magnético alternado é gerado pelo gerador de campo 14 que magnetiza as cordas 24. Se houver uma quebra na corda 24, interferindo (ou vazando) o campo magnético, resultados deste vazamento serão sentidos pelos sensores da unidade sensor de campo 16. Os sinais fornecidos pela unidade sensor de campo 16 são processados pelo equipamento de processamento 20, de acordo com esta invenção, conforme descrito abaixo.

Com relação à Figura 2, uma materialização da unidade sensor de campo 16 é exibida. Esta unidade sensor de campo 16 possui um carregador alongado 26 que é montado com vários sensores 30. Os sensores 30 possuem um eixo sensor.

Preferencialmente, quando o carregador 26 for colocado em posição ao longo e acima da correia 12, os sensores 30 apontam para baixo assim eles medem o componente vertical do campo magnético.

Os sensores 30 são espaçados entre 2mm e 20mm dependendo do tamanho em escala da estrutura transversal.

Os sensores 30 são de efeito Hall e fornecidos pela Allegro Microsystems, com peça número A1302KLHLt-T.

Com relação à Figura 3, uma materialização do equipamento de processamento 20 para processamento dos sinais recebidos dos sensores 30 é exibida. O equipamento 20 possui um "buffer" 46 para cada sensor 30 que fornece um multiplexer análogo 48 com sinais "bufferizados". A saída do multiplexer 48 é fornecida com um conversor A/D 50, e a saída digital é fornecida para um grupo de portas programáveis de campo (FPGA) 52 através de um bus de dados 54. O FPGA 52 é conectado em um multiplexer 48 e no conversor 50 através de links de comando 56 e 58. O FPGA 52, por sua vez, fornece sinais de dados para um processador 60.

As voltagens analógicas para cada um dos sensores 30 são inicialmente amplificadas e filtradas pelos "buffers" 46. Os valores analógicos filtrados são alimentados no canal-n do multiplexer 48, onde n é o número de sensores 30. A saída de comando do FPGA 52 determina qual o valor de entrada analógica é alterado para a saída do multiplexer 48. Dispositivos comuns com 16 canais multiplexer no máximo estão disponíveis. Entretanto, o número de entradas de canal pode ser aumentado conectando um número de multiplexer escravos em um único multiplexer mestre. Por exemplo, as saídas de dezesseis canais 16 escravos multiplexer pode ser conectada nas entradas de um único multiplexer mestre. Esta configuração específica irá resultar no equivalente a um multiplexer de $16 \times 16 = 256$ canais simples. As saídas de voltagem analógicas de, normalmente 256, canais são convertidas nos seus valores digitais através de um conversor A/D simples 50. O conversor A/D 50 deve ser capaz de prover amostragem com a taxa igual a $n \cdot f_{\text{samp}}$ onde n é o número de canais analógicos e f_{samp} é a frequência de amostragem de cada canal. O FPGA 52 direciona a conversão de sinal exigida para o conversor A/D 50, e controla o conversor A/D

determinando, então, a taxa de amostras. As saídas digitais do conversor A/D 50 são recebidas pelo FPGA 52 e enviadas ao processador 60 através de um bus adequado (e.g. ISA).

Como é do conhecimento técnico sobre o assunto, uma quebra na corda
5 que foi anteriormente magnetizada produz um campo magnético com pólos sul e norte formados nas extremidades da corda. Na tentativa de analisar os dados do campo magnético para compreender a estrutura e local dos vazamentos nas cordas, existem vários problemas. Um esboço típico do campo magnético resultante de uma quebra é ilustrado na Figura 6. Primeiramente, como foi visto,
10 sinal magnético é bipolar e o centro da quebra na verdade representa o cruzamento zero do campo magnético. Desta forma o centro dos danos não corresponde ao máximo do campo magnético.

Em segundo lugar, normalmente existem componentes que causam interferência devido à eletricidade, ou neste caso a oscilação da correia como foi
15 visto pelas oscilações sinuosas em ambos os lados bipolares do sinal. Estes dois problemas podem ser minimizados envolvendo o sinal magnético com uma função de ondulação adequada. Uma ondulação adequada que possui uma função base de forma adequada é a função Morlet. Esta é uma função complexa que possui uma parte imaginária assimétrica que reflete a forma característica da
20 variação dipolar magnética. A correspondência entre a forma da função de ondulação com os dados do campo magnético bruto oferece a esta técnica a vantagem importante de discriminação contra oscilações sinuosas mencionadas acima devido à agitação da correia.

No espaço real, a função de ondulação Morlet consiste em um exponencial
25 modulado complexo por um envelope Gaussiano:

$$w_{\text{Morlet}}(x) = \pi^{-1/4} s^{-1/2} \exp\left(\frac{ikx}{s}\right) \exp\left[-\frac{(x/s)^2}{2}\right]$$

Onde s é a escala de ondulação, k é um parâmetro não-dimensional que determina o número de ciclos do envelope Gaussiano, e x é a posição espacial. Embora aqui x seja a posição espacial, isto também pode ser transformado em
30 tempo usando $x=v.t$, onde v é a velocidade da correia.

A complexa função Morlet, ilustrada na Figura 4 consiste em uma forma de onda sinuosa de frequência k , modulada por uma Gaussiana de largura s . A parte real é uma função seno e a parte imaginária é uma função co-seno.

5 A escolha do s depende do tamanho da escala do campo magnético na direção x e a frequência amostrada. Por exemplo, s precisa ser menor para a corda quebrar do que para a junta quebrar. Em geral, o melhor valor de s é obtido examinando o espectro de ondulação, onde um esboço de 2 dimensões de s no eixo y , e t no eixo x , e calculado pela avaliação w de diferentes tamanhos de escalas s .

10 Na prática, para frequência de amostras de 125Hz, k e s são escolhidos como 15 e 3 respectivamente.

Conforme indicado acima, o processador 60 executa uma transformação discreta Morlet de onda nos sinais de dados para cada sensor 30.

15 Para calcular os danos a imagem de dados magnético é envolvida com a função de onda Morlet. Isto é feito eficientemente por cálculos usando o teorema de convolução.

O Teorema de convolução define que se $X(f)$ é a transformação Fourier de $x(t)$, por exemplo, então a convolução de duas funções $h(t)$ e (t) , portanto:
 $\mathfrak{F}\{f(t) * h(t)\} = F(f) \cdot H(f) = G(f)$; a convolução em espaço real é equivalente à
 20 multiplicação no espaço (transformação) da frequência.

Para calcular a convolução dos dados do campo magnético bruto e da função Morlet de modo eficiente, o Fast Fourier Transform (FFT) é usado.

A imagem danificada é obtida envolvendo a função Morlet com os dados capturados dos sensores em linha por linha, onde cada linha é obtida pela
 25 digitalização de uma saída do sensor para um intervalo de tempo então capturando uma série de tempo $B_z(t)$. Cada linha de dados B_z irá conter $2n$ pontos, ex. 1024 pontos para $n=10$. Se os sensores são amostrados com 200Hz, então uma linha de dados será amostrada para cada sensor em $1024 \times (1/200) =$
 5.2 segundos. Uma vez que a onda de Morlet é complexa, o valor absoluto
 30 precisa considerar os dados de Danos ($D(t)$), para cada linha, desta forma:

$$D(i) = \mathcal{F}^{-1} \{ \mathcal{F}[w_{k,i}(t)] \times \mathcal{F}[B_z(t)] \} \quad \text{Eqn 1}$$

A imagem de danos é então obtida empilhando as linhas de danos uma acima da outra para formar uma imagem de duas dimensões.

As etapas de cálculo precisam calcular a imagem de danos dos valores capturados de B_z , obtidos do grupo de sensor indicado no diagrama de fluxo da Figura 5. Assim, as seguintes etapas são realizadas:

Etapa 70: Calcular $w_{k,i}(t)$ and $W_{k,i}(f) = \mathcal{F}[w_{k,i}(t)]$

Etapa 72: Definir $i=1$, onde i denota o sensor i° para $1-1,2,3\dots n$ e n =número de sensores

10 Etapa 74: Capturar a série de tempo $B_{iz}(t)$ em 200Hz, que consiste em 1024 amostras.

Etapa 76: Calcular a i° linha, $D_i(t)$ na imagem de danos usando Eqn1

Etapa 78: Definir $i=i+1$, O $i = n$? Caso contrário retorne para a etapa 74 indicada pela seta 82. Caso sim, siga para a etapa 80 conforme indicado pela seta 84.

15 Etapa 80: Exibir a imagem dos danos

Em concretizações desta invenção, as saídas da voltagem de todos os sensores 30 são capturadas continuamente usando uma rotina de interrupção e "buffered" em um grupo. Os dados deste grupo são subseqüentes para calcular a imagem de danos.

20 Uma imagem de dano comum é ilustrada na Figura 7. Como pode ser observado, após a convolução de dados magnéticos com uma função de onda Morlet, a saída de onda filtrada mostra um pico simples com componentes interferentes muito atenuados. Desta forma, através desta invenção, a quebra de uma corda e sua posição são mais fáceis de serem reconhecidas quando comparadas com o esboço do campo magnético.

25

REIVINDICAÇÕES

1. Sistema para monitoramento da condição de uma correia condutora (12) com cordas permeáveis magneticamente, com: i) um gerador de campo magnético (14) para gerar um campo magnético e magnetizar as cordas em uso; ii) uma unidade sensor de campo magnético (16) para sentir o campo magnético fornecido, em uso, pelas cordas e para fornecer sinais representativos do campo magnético **CARACTERIZADO** por compreender: iii) um processador (20) para processar pequenas ondulações transformadas em sinais.

2. Sistema, de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADO** pelo fato de que a unidade sensor (16) compreende um grupo de sensores (30) de campo magnéticos espaçados, com a transformação sendo feita em sinais fornecidos pelos sensores (30).

3. Sistema, de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADO** pelo fato de que a ondulação é do tipo Morlet.

4. Sistema, de acordo com a reivindicação 2, **CARACTERIZADO** pelo fato de que inclui equipamento de processamento (20) para processar os sinais fornecidos pelo sensor (30).

5. Sistema, de acordo com a reivindicação 4, **CARACTERIZADO** pelo fato de que o equipamento de processamento (20) compreende um digitalizador para fornecimento de sinais na forma de dados digitais.

6. Sistema, de acordo com a reivindicação 5, **CARACTERIZADO** pelo fato de que o processador (20) envolve dados digitais com a ondulação.

7. Sistema, de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADO** pelo fato de que compreende um meio para determinar a velocidade da correia na direção longitudinal.

8. Sistema, de acordo com a reivindicação 7, **CARACTERIZADO** pelo fato de que o meio para determinar a velocidade da correia compreende um codificador (18) conectado em uma polia de uma formação de correia condutora.

9. Sistema, de acordo com a reivindicação 4, **CARACTERIZADO** pelo fato de que o equipamento de processamento possui pelo menos um conversor A/D.

10. Sistema, de acordo com a reivindicação 4, **CARACTERIZADO** pelo fato de que o equipamento de processamento inclui um multiplexer (48).

11. Método de monitoramento das condições da correia condutora (12) com cordas permeáveis magneticamente, que inclui as etapas: i) geração de campo magnético para magnetizar as cordas; ii) detectar o campo magnético fornecido pelas cordas e fornecendo sinais representativos do campo magnético; conforme sistema definido na reivindicação 1, **CARACTERIZADO** por compreender: iii) execução de uma discreta transformação de ondas nos sinais.

12. Método, de acordo com a reivindicação 11, **CARACTERIZADO** pelo fato de que o campo magnético é detectado por um grupo de sensores (30) de campo magnéticos espaçados, e a transformação é realizada nos sinais fornecidos pelos sensores.

13. Método, de acordo com a reivindicação 11, **CARACTERIZADO** pelo fato de que a onda é uma ondulação do tipo Morlet.

14. Método, de acordo com a reivindicação 12, **CARACTERIZADO** pelo fato de que os sinais fornecidos pelos sensores (30) são digitalizados e fornecidos na forma de dados digitais.

15. Método, de acordo com a reivindicação 14, **CARACTERIZADO** pelo fato de que os dados digitais são envolvidos com a ondulação.

16. Método, de acordo com a reivindicação 11, **CARACTERIZADO** pelo fato de que compreende a determinação da velocidade de movimento da correia.

17. Método, de acordo com a reivindicação 12, **CARACTERIZADO** pelo fato de que os sinais dos sensores são multiplexados.

18. Uma formação de correia condutora (10), que inclui i) uma correia (12) com várias cordas permeáveis magneticamente; **CARACTERIZADA** por compreender: ii) um sistema de monitoramento da condição da correia (12), conforme definido em qualquer uma das reivindicações de 1 a 10, o gerador de campo magnético (14) e a unidade sensor de campo magnético (16) são colocadas adjacentes à correia (12) e espaçadas longitudinalmente entre si.

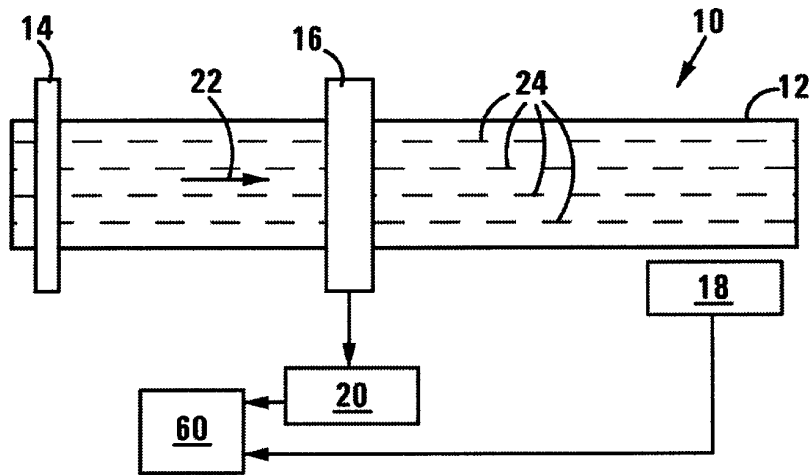


FIG. 1

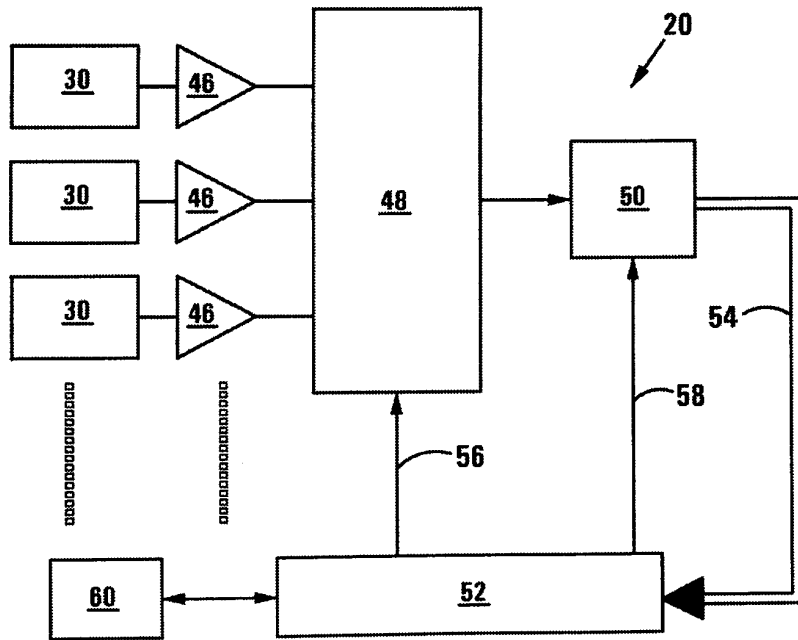


FIG. 3

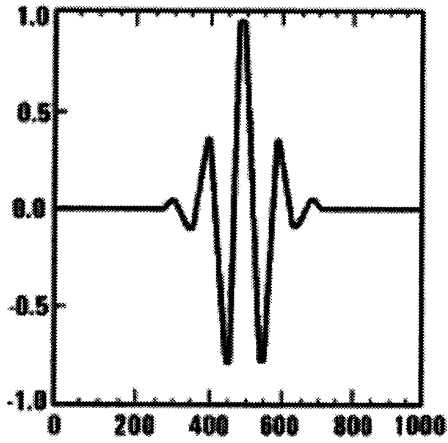


FIG. 4A

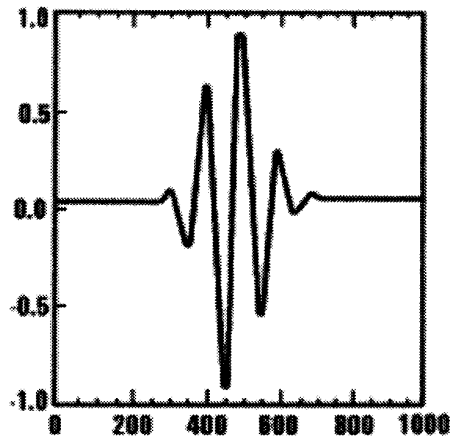


FIG. 4B

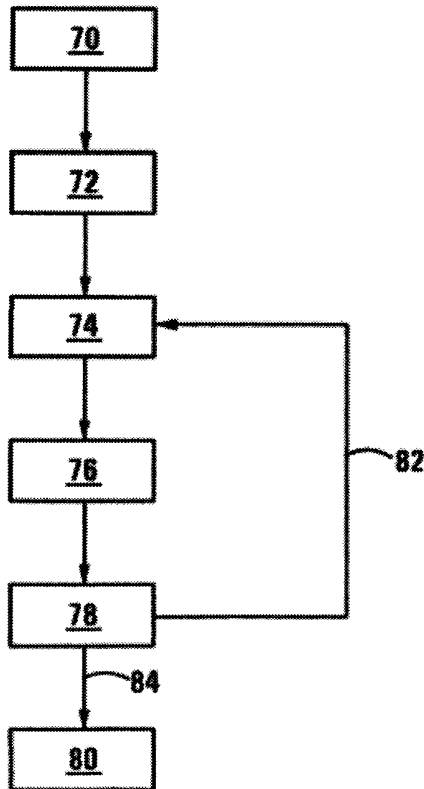


FIG. 5

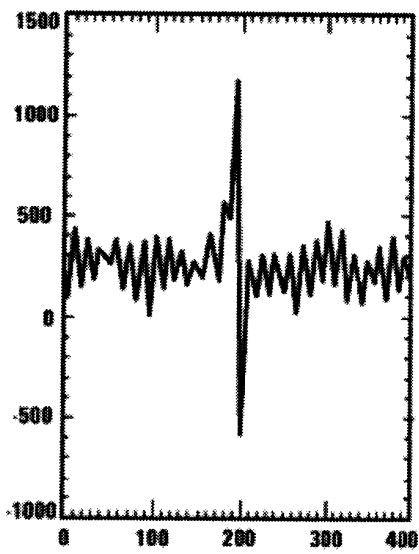


FIG. 6

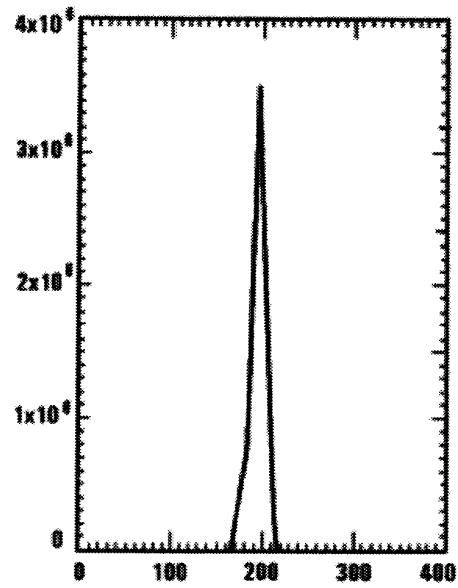


FIG. 7

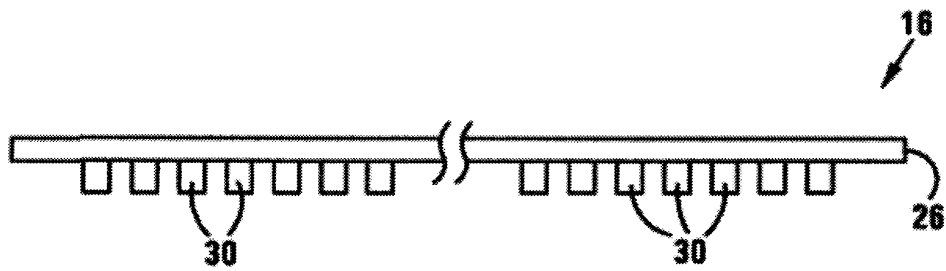


FIG. 2