



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

CARTA PATENTE Nº PI 0902709-2

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 0902709-2

**(22) Data do Depósito:** 14/08/2009

**(43) Data da Publicação Nacional:** 12/04/2011

**(51) Classificação Internacional:** B60K 17/16; B60K 17/08.

**(54) Título:** SISTEMA DE TRANSMISSÃO DE MÚLTIPLAS VELOCIDADES E PROCESSO PARA POSICIONAMENTO DO SISTEMA DE TRANSMISSÃO

**(73) Titular:** FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL - UCS. CGC/CPF: 88648761000103. Endereço: Rua Francisco Getulio Vargas 1130, Cidade Universitária, Caxias do Sul, RS, BRASIL(BR); UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL. CGC/CPF: 92969856000198. Endereço: Av. Paulo Gama, 110, Farroupilha, Porto Alegre, RS, BRASIL(BR)

**(72) Inventor:** VILSON JOÃO BATISTA; KLEBER EDUARDO BIANCHI.

**Prazo de Validade:** 10 (dez) anos contados a partir de 04/08/2020, observadas as condições legais

**Expedida em:** 04/08/2020

Assinado digitalmente por:

**Liane Elizabeth Caldeira Lage**

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



## **Relatório Descritivo De Patente De Invenção**

### SISTEMA DE TRANSMISSÃO DE MÚLTIPLAS VELOCIDADES E PROCESSO PARA POSICIONAMENTO DO SISTEMA DE TRANSMISSÃO

#### 5 **Campo da Invenção**

A presente invenção está relacionada a um sistema de transmissão de múltiplas velocidades, composto por coroas e engrenagens intermediárias (pinhões), onde estas coroas e pinhões possuem diversas faixas de trabalho, e os dentes das faixas das coroas estão momentaneamente alinhados, de tal forma que não ocorra colisão entre os dentes das coroas e dos pinhões, quando da mudança da relação de velocidades.

A presente invenção ainda apresenta um processo de posicionamento dos elementos que compõem o sistema de transmissão, onde esse processo permite a troca de faixa de trabalho sem colisões dos pinhões nas coroas.

15

#### **Antecedentes da Invenção**

A idéia da transmissão proposta surgiu inicialmente como uma transmissão continuamente variável (CVT – *Continuous Variable Transmission*) composta por discos girantes de entrada e saída, com elementos intermediários em forma de troncos de elipses. A figura 1 mostra como seria realizada a variação da relação de transmissão, por meio da alteração da inclinação dos elementos intermediários.

Segundo a representação de Euler, para matrizes de rotação de corpos rígidos, a inclinação dos elementos intermediários corresponde ao movimento de nutação.

Após uma avaliação inicial, logo se verificou que esta idéia não traria vantagens sobre os sistemas CVT's que hoje estão presentes no mercado, os quais são resultado de décadas de desenvolvimento e testes. Mesmo apresentando uma configuração um pouco diferente e uma forma construtiva simples, este sistema teria como limitante as elevadas pressões na região de interface dos componentes móveis, característica comum a outras formas

30

construtivas de CVT's.

Porém, a extensão da idéia para o uso de engrenagens pareceu exequível. Pela forma dos elementos intermediários, percebeu-se que estes poderiam ser substituídos por engrenagens, divididas em faixas faciais e, eventualmente, cônicas. Desta forma, os avanços recentes, ocorridos nestas transmissões faciais, permitiriam obter um sistema de alto desempenho e capacidade de carga, com custo relativamente baixo, indicando sua aplicabilidade no setor da mobilidade.

A figura 2 mostra uma coroa (em corte), engrenada com um pinhão intermediário, na faixa central de trabalho. Observa-se que ambas as engrenagens são divididas, neste caso, em nove faixas; o que corresponde a nove razões de velocidades diferentes. Este número de faixas e relações de transmissão poderia ser qualquer número maior que 1.

A figura 3 mostra os componentes principais do sistema proposto: engrenagens intermediárias (ou pinhões) e coroas de entrada e saída (essa última mostrada explodida). Observa-se que os pinhões estão solidários ao "elemento de deslocamento das engrenagens intermediárias", representado de forma ilustrativa apenas, pois a tarefa de inclinação destes pinhões pode ser feita de diferentes formas. O sistema descrito acima é objeto do pedido de patente PI0505836-8 junto ao INPI (Instituto Nacional de Propriedade Intelectual).

A figura 4 mostra, por meio de engrenagens com cinco faixas de trabalho, a variação da razão de velocidades em função do ângulo de natação dos pinhões intermediários. Neste caso, por questões de simplicidade e clareza, são mostrados apenas dois pinhões e, tanto esses pinhões como as coroas, são representados por suas superfícies primitivas (a forma dentada foi omitida).

No caso da primeira relação de transmissão, considerando que a coroa de entrada é a da esquerda, observa-se a inversão e a redução da velocidade (o diâmetro de contato da coroa de entrada é menor do que o da coroa de saída). Com a alteração do ângulo de natação dos pinhões, é estabelecida a

segunda relação de transmissão, a qual apresenta um menor valor de redução da velocidade. Uma nova alteração da inclinação leva à terceira posição, onde o fator de transmissão é unitário. Os outros desenhos mostram a 4ª e 5ª relações de transmissão, onde há ampliação da velocidade. Como no primeiro caso, nas demais faixas de trabalho há a inversão do sentido de giro da entrada para a saída da transmissão.

Esta descrição do princípio de operação do sistema permite extrair algumas conclusões preliminares:

- O funcionamento da transmissão proposta é tanto mais próximo ao de um CVT, correspondente à primeira idéia, quanto maior for o número de faixas de trabalho.
- O torque que pode ser transmitido é proporcional ao raio da faixa da coroa em operação, ao tamanho dos dentes e ao número de pinhões intermediários que compartilham a carga. Isso possibilita grande flexibilidade no processo de dimensionamento.
- Ao contrário dos sistemas tradicionais de transmissão mecânica, que fazem uso de acoplamentos ou engrenagens deslizantes, a variação da relação de transmissão pode ser implementada por mecanismos bastante simples, por meio da natação dos pinhões.

Para finalizar a apresentação do sistema, observa-se que a montagem em série de vários conjuntos de coroas e pinhões amplia consideravelmente o número de relações de transmissão, que é obtido pelo resultado da multiplicação dos números de faixas de trabalho de cada estágio. A figura 5 apresenta, como exemplo, uma vista geral esquemática de uma transmissão composta por dois estágios modulares, com 5 faixas de trabalho cada um, o que resultaria em vinte e cinco valores de relação de velocidades.

Uma das características da transmissão proposta pelo estado da técnica é o fato de que as coroas de entrada e saída são, em termos de número, tamanho e forma dos dentes, idênticas. No caso do pinhão, as três faixas apresentam o mesmo número de dentes, porém, nas coroas, este número é maior nas faixas externas.

A figura 7 mostra em corte as engrenagens de uma transmissão e permite observar que, na primeira e terceira relações de transmissão, para que não haja colisão dos dentes de diferentes faixas de trabalho, além da alteração do ângulo de natação  $\theta$ , é necessário que o elemento que suporta os pinhões se desloque axialmente de um valor  $\delta/2$  e que as coroas se afastem axialmente de um valor  $\delta$ .

Os pinhões têm função de engrenagens intermediárias, ou seja, transmitir o movimento da coroa de entrada para a de saída. Como o número de dentes é o mesmo em todas as faixas do pinhão, a relação de transmissão é dada por:

$$m_G = \frac{N_p}{N_{ce}} \cdot \frac{N_{cs}}{N_p} = \frac{N_{cs}}{N_{ce}} \quad (1)$$

Na qual:

$m_G$  = razão de velocidades ou relação de transmissão

$N_p$  = número de dentes do pinhão

$N_{ce}$  = número de dentes da coroa de entrada

$N_{cs}$  = número de dentes da coroa de saída

#### Alteração da Razão de Velocidades

Oserva-se que o número de dentes varia nas faixas das coroas (quanto mais externa a faixa, maior o número de dentes). Desta forma, os dentes de uma faixa das coroas não estão alinhados radialmente com os dentes das demais faixas de trabalho. Portanto, não é possível alterar a razão de velocidades em qualquer ponto e instante, pois o movimento de natação dos pinhões pode gerar uma colisão entre os dentes do par pinhão/corua, na mudança para uma nova faixa de trabalho.

Desta forma, a presente invenção apresenta uma proposta para solucionar esse problema.

O documento WO 05/083299 mostra um sistema de transmissão continuamente variável compreendendo um eixo para transmissão de torque, onde o deslocamento desse eixo controla a proporção do torque transmitido.

A presente invenção difere do estado da técnica por prover um sistema

de transmissão de múltiplas velocidades, baseada em engrenagens cônicas e/ou faciais, em que a potência é transmitida por meio de engrenagens intermediárias entre duas coroas dentadas opostas, correspondentemente de entrada e de saída de potência, que apresentam uma pluralidade de faixas radiais, compostas por dentes de engrenagens, sendo que tais dentes das faixas das coroas opostas se alinham em pontos específicos, com o objetivo de permitir o movimento de natação das engrenagens intermediárias, necessário para alteração da razão de velocidades.

Pode-se ver portanto que a solução proposta pela presente invenção não foi prevista nem sequer sugerida pelo estado da técnica.

### **Sumário da Invenção**

Em um primeiro aspecto, a presente invenção proporciona um sistema de transmissão de múltiplas velocidades compreendendo pinhões e coroas, onde o movimento de natação dos pinhões, necessário para alteração da razão de velocidades, é efetuado sob condições específicas de alinhamento das coroas opostas, de modo que não haja colisão entre os dentes destas coroas e dos pinhões. Desta forma, o movimento de natação dos pinhões é efetuado apenas nas posições angulares das coroas opostas, onde os dentes que compõem as faixas radiais destas coroas estão alinhados.

O sistema de transmissão proposto, baseado em engrenagens cônicas e faciais, apresentou características que podem ser divididas em três grupos:

a) Características associadas às engrenagens faciais:

- robustez e operação com baixo ruído (desde que os processos de fabricação e de montagem dos componentes sejam exatos);
- insensibilidade ao deslocamento do pinhão no sentido de seu eixo;
- facilidade de fabricação e baixo custo;
- elevado momento de inércia das coroas;
- elevada sensibilidade a erros de ângulo entre eixos de coroa e pinhão.

b) Características associadas ao conceito e à forma de operação da

transmissão

- simplicidade construtiva e robustez;
- mecanismo simples de alteração da razão de velocidades;
- operação automática da troca das relações de transmissão;
- 5 – pequena variação do valor de razão de velocidades.

c) Características associadas ao tipo de aplicação

- adequação a aplicações de alta carga, devido à robustez das engrenagens, à divisão da carga entre vários pinhões intermediários e ao grande diâmetro das coroas;
- 10 – adequação a aplicações onde a inércia das engrenagens seja tolerada (ou desejada);
- devido à baixa variação da relação de transmissão, o sistema é adequado à operação como dispositivo auxiliar de transmissões já existentes. Porém, a associação do sistema proposto em série (3 ou
- 15 mais coroas) ou em conjunto com um arranjo de redutores epicicloidais ou de outro tipo qualquer, pode proporcionar uma transmissão de operação automática, com grande número de relações e com alteração simples da razão de velocidades.

É portanto um objeto da presente invenção um sistema de transmissão

20 contínua compreendendo

- a. Uma coroa de entrada;
- b. Uma coroa de saída;
- c. Um conjunto de engrenagens compreendendo pelo menos uma engrenagem intermediária; e

25 d. Meios para deslocamento da ou das engrenagens intermediárias.

em que:

- as faixas das coroas de entrada e de saída possuem os dentes alinhados em posições angulares específicas;
- as faixas das engrenagens intermediárias compreendem um número
- 30 par de dentes; e
- as engrenagens intermediárias podem sofrer movimento de nutação

apenas quando os dentes das faixas das coroas opostas estão alinhados.

Opcionalmente, o sistema de transmissão pode compreender coroas intermediárias, com dentes em ambos os lados. Nesse caso, a cora  
5 intermediária se comportará como uma coroa de saída do primeiro estágio e de entrada do segundo estágio, conforme descrito acima.

Em um segundo aspecto, a presente invenção proporciona um processo para posicionamento de um sistema de transmissão compreendendo as etapas de:

- 10
- a) alinhamento das faixas radiais das coroas de entrada e de saída;
  - b) afastamento das coroas;
  - c) movimento de natação das engrenagens intermediárias; e
  - d) aproximação das coroas.

Em uma realização preferencial, o processo acima compreende um  
15 sistema controlador, responsável por monitoramento das posições das coroas e um sistema atuador, responsável pela rotação e deslocamento das coroas e natação dos pinhões.

Esses e outros objetos da invenção serão melhor compreendidos pelas figuras e pela descrição detalhada a seguir.

20

### **Breve Descrição das Figuras**

Figura 1 – Princípio funcional de uma transmissão mecânica tipo CVT.

Figura 2 – Detalhe esquemático de coroa e pinhão intermediário engrenados, onde (2.1) corresponde ao ponto de  
25 engrenamento.

Figura 3 – Vista geral dos principais componentes do sistema proposto, onde (3.1) corresponde ao elemento de deslocamento das engrenagens intermediárias; (3.2) a engrenagem intermediária; (3.3) a coroa de saída em vista  
30 explodida; e (3.4) a coroa de entrada.

Figura 4 – Alteração da razão de velocidades por meio da natação dos



pinhões, onde (4.1) corresponde a 1ª relação de transmissão, (4.a) identifica a engrenagem de entrada e (4.b) a engrenagem de saída; (4.2) a 2ª relação de transmissão; (4.3) a 3ª relação de transmissão; (4.4) a 4ª relação de transmissão; e (4.5) a 5ª relação de transmissão.

5

Figura 5 – Desenho esquemático de uma transmissão de dois estágios modulares.

Figura 6 – Engrenagens da transmissão proposta: (6.a) pinhão e (6.b) coroa.

10

Figura 7 – Vista em corte das engrenagens da transmissão nas três relações de velocidades, onde (7.1) corresponde a 1ª relação de transmissão; (7.2) a 2ª relação de transmissão; e (7.3) a 3ª relação de transmissão.

15

Figura 8 – Linhas radiais a 45° onde há alinhamento dos dentes das faixas.

Figura 9 – Disposição dos dentes sobre o pinhão.

Figura 10 – Fluxograma de funcionamento do sistema de transmissão mecânica proposto, onde (10.1) corresponde ao sinal do operador (ou de um controlador); (10.2) coroa de entrada está girando?; (10.3) faixas radiais estão alinhadas?; (10.4) espera; (10.5) afastar as coroas; (10.6) nutação dos pinhões; (10.7) aproximar as coroas; e (10.8) fim.

20

Figura 11 – Transmissão mecânica de seis relações de um trator comercial [Fonte: [www.agrale.com.br](http://www.agrale.com.br), 2009], onde (11.1) corresponde ao motor; (11.2) a embreagem; (11.3) o redutor; (11.4) a caixa de engrenagens; (11.5) alta; (11.6) baixa; (11.7) ré; e (11.8) para a caixa das rodas.

25

Figura 12 – Movimentos de nutação e deslocamento axial.

30

Figura 13 – Geometria da coroa e pinhão para  $\theta = 15^\circ$  e  $\delta = 6,5$  mm.

Figura 14 – Aspecto das coroas e pinhões.

Figura 15 – Componentes internos da transmissão a ser aplicada em trator de pequeno porte e outros veículos, onde (15.1) corresponde a engrenagem de inversão de rotação; (15.2) a coroa de entrada; (15.3) ao êmbolo de natação; (15.4) ao pinhão; (15.5) ao anel suporte dos pinhões; (15.6) a coroa de saída.

Figura 16 – Vista de montagem dos principais componentes da transmissão, onde (15.2) corresponde a coroa de entrada; (15.5) ao anel suporte dos pinhões; (15.6) a coroa de saída; e (16.1) a haste de deslocamento do anel.

### **Descrição Detalhada da Invenção**

Os exemplos aqui mostrados devem ser entendidos apenas como ilustrativos, não sendo restritivos dos inúmeros meios de realização da invenção.

A presente invenção proporciona uma solução ao problema da natação de engrenagens intermediárias em coroas dentadas, evitando que ocorra colisão entre os dentes, protegendo o sistema e melhorando o sistema de transmissão automática em veículos.

#### **Sistema de Transmissão de Múltiplas Velocidades**

O sistema de compreendendo engrenagens intermediárias (pinhões) e coroas, onde a natação dos pinhões é efetuada de modo a não colidir com os dentes das coroas. A natação dos pinhões é efetuada apenas nas posições angulares onde os dentes das faixas da coroa estão alinhados

Especificamente, o sistema de transmissão da presente invenção compreende:

- a. Uma coroa de entrada;
- b. Uma coroa de saída;
- c. Um conjunto de engrenagens intermediárias compreendendo pelo menos uma engrenagem; e
- d. Meios para deslocamento da engrenagem intermediária.

em que:

- as faixas das coroas de entrada e de saída possuem os dentes alinhados em posições radiais;
- as faixas das engrenagens intermediárias compreendem um número par de dentes; e
- as engrenagens intermediárias podem sofrer nutação apenas quando os dentes das faixas da coroa estão alinhados.

5  
10 Opcionalmente, o sistema de transmissão pode compreender coroas intermediárias, com dentes em ambos os lados. Nesse caso, a cora intermediária se comportará como uma coroa de saída do primeiro estágio e de entrada do segundo estágio, conforme descrito acima.

15 Para que não haja colisão, o movimento de nutação dos pinhões pode ser efetuado apenas em posições angulares pré-definidas nas coroas. A figura 8 apresenta a vista frontal de uma coroa, na qual foram dispostas oito linhas radiais. Nestas direções, os dentes das faixas que compõem a coroa foram propositalmente alinhados, sendo isto possível pois o número de dentes de cada faixa é, neste caso, múltiplo de oito.

20 Além disso, os pinhões apresentam o mesmo número de dentes em todas as faixas. Como o número de dentes é par (e há um alinhamento entre as várias faixas) há uma disposição diametralmente oposta de vãos entre dentes. A figura 9 mostra uma vista frontal de um pinhão.

25 Por meio destas figuras, observa-se que, nas posições em que os dentes das coroas estão alinhados, o pinhão pode sofrer alteração do ângulo de nutação, sem que haja colisão neste movimento. Desta forma, como as coroas de entrada e saída são idênticas e simétricas, sempre que qualquer faixa radial de uma coroa estiver alinhada com uma das faixas radiais da outra coroa, o pinhão pode ser movido para troca da razão de velocidades sem que ocorra a colisão. Tal necessidade de alinhamento das coroas implica num lapso de tempo entre o sinal de comando para troca da relação de transmissão e sua efetiva realização.

30 Baseando-se novamente na figura 8, observa-se que, cada uma das oito

posições mostradas, representam locais onde um pinhão pode ser instalado. Ou seja, uma transmissão com as coroas de entrada e saída com números de dentes divisíveis por oito, poderia apresentar um número de um, dois, quatro ou oito pinhões intermediários.

5 Vê-se que, apesar da simplicidade dos movimentos necessários, o sistema de transmissão mecânica proposto apresenta um funcionamento atrelado a um sistema de controle. O funcionamento do sistema, durante a alteração da relação de transmissão, apresenta a forma do fluxograma visto na figura 10.

10 Desta figura surgem algumas conclusões diretas:

- O sistema é dividido em dois subsistemas principais: um controlador e um atuador, cuja função é afastar as coroas e girar os pinhões.

- O controlador deve monitorar, por meio de sensores, a posição angular das coroas de entrada e saída. Após receber do operador um sinal para alteração da relação de transmissão, o sistema de controle deve esperar  
15 até que as posições radiais das coroas de entrada e saída estejam alinhadas, para então enviar sinais para os atuadores.

- o subsistema de atuação envolve três movimentos: *i)* a rotação da coroa de entrada, sem a qual não há transmissão de potência, *ii)* o  
20 deslocamento axial relativo entre as coroas de entrada e de saída e do suporte dos pinhões e *iii)* a nutação dos pinhões.

Num sistema de controle automático, o sinal que representa a necessidade de troca da relação de transmissão poderia vir do próprio veículo (são exemplos de grandezas frequentemente monitoradas nas transmissões  
25 automáticas: abertura da admissão, velocidade do volante do motor, velocidade de acionamento do acelerador, deslizamento nos discos de embreagem e outros). Isto significa que o funcionamento ótimo (e automático), da transmissão proposta está intimamente relacionado à presença de um sistema de controle eficiente e robusto.

30 **Exemplo 1 - Análise de uma transmissão baseada em engrenagens faciais num trator de pequeno porte**

### Descrição do Problema

Tratores de pequeno porte são extensivamente utilizados em pequenas propriedades rurais nas mais diversas tarefas e condições operacionais. Tais tratores usualmente apresentam transmissões com quatro a seis razões de velocidades, divididas em faixas de relação alta e baixa, operadas manualmente, com ou sem mecanismo de sincronismo e redutores intermediários. Uma das atividades mais importantes e difíceis para os projetistas destas transmissões é determinar a faixa ótima de operação, que proporcione o torque e a velocidade necessários para a maior parte das aplicações. Isto porque determinadas atividades e culturas agrícolas demandam velocidades muito baixas, enquanto outras requerem uma velocidade superior, a qual o sistema de transmissão não tem condições de proporcionar.

O sistema proposto de transmissão, baseado em engrenagens cônicas e faciais, apresenta características que o tornam adequado para executar, de forma automática (ou seja, sem a interferência do operador) pequenas alterações no torque e velocidade durante a operação. Desta forma, tal sistema pode servir como um dispositivo auxiliar às transmissões atualmente empregadas em tratores e outros veículos, permitindo uma ampliação da faixa de trabalho, bem como uma maior divisão desta faixa.

No caso específico estudado, foram dimensionados apenas os componentes principais da transmissão facial.

### **Estudo da Transmissão de um Trator de Pequeno Porte**

A figura 11 mostra uma vista representativa da transmissão mecânica usada num trator comercial de pequeno porte, de seis relações de transmissão, divididas em faixas alta e baixa. Os sub-sistemas adicionais foram omitidos por simplicidade, como por exemplo, as engrenagens de saída para acionamento das rodas frontais e a tomada de força (PTO – *Power Take Off*).

O sistema mostrado na figura 11 apresenta uma mudança na razão de velocidades, do primeiro para o segundo par de engrenagens atuantes, de mais de 57 %. No outro lado da faixa de trabalho, da 5ª para a 6ª relação, esta

alteração é maior que 68 %. Desta forma, dentro da faixa de trabalho correspondente a uma das relações de transmissão, o ponto de operação nas curvas de torque e potência do motor sofre grande flutuação. Em outras palavras, a faixa de trabalho correspondente a cada relação de velocidades é muito ampla, tornando difícil a operação em torno do ponto ótimo de potência e consumo do motor. Levando em consideração apenas este aspecto, seria interessante que a faixa global de trabalho fosse dividida em maior número de etapas (oito, dez ou mais relações de velocidade). Contudo, aumentar o número de pares de engrenagens na transmissão atual acarretaria custo maior e, sendo estas relações comandadas manualmente, menor conforto ao operador.

A instalação de uma transmissão auxiliar, composta por engrenagens faciais, pode estender a faixa de operação do trator. Por outro lado, a possibilidade de operação automática desta transmissão auxiliar não influenciaria no conforto do operador durante o trabalho.

### **Sobre os Valores de Deslocamento Axial Relativo dos Pinhões e Ângulo de Nutação**

Uma característica geométrica importante da transmissão facial proposta é o ângulo entre eixos de coroa e pinhão, o qual é função do deslocamento axial relativo e do ângulo de nutação do pinhão, específicos para cada valor de razão de velocidades.

A figura 12(a) mostra um pinhão em contato com a coroa na faixa intermediária. A figura 12(b) mostra o deslocamento do pinhão em relação à coroa, necessário para o posterior movimento de nutação e, por fim, a figura 12(c) apresenta a posição final do pinhão após este movimento de nutação, quando então entra em operação a faixa externa de operação. Os valores de ângulo de nutação e deslocamento linear para esta figura são:  $\theta = 22,5^\circ$  e  $\delta = 5,5$  mm.

A transmissão facial proposta apresenta uma correlação entre os valores de deslocamento linear e angular, ou seja, para cada valor do ângulo de nutação  $\theta$ , é necessário um valor diferente de deslocamento axial relativo  $\delta$ .

Um algoritmo bastante simples, porém muito útil, foi implementado no software MATLAB para determinar a distância  $h$  das faixas externa e interna em relação à origem do sistema de coordenadas do pinhão, bem como o deslocamento  $\delta$  (ambos mostrados na figura 12), para um dado valor do ângulo de natação. A rotina é baseada na determinação de um ponto  $\mathbf{b}$  que, quando girado para a posição  $\mathbf{b}'$ , possui uma coordenada vertical maior que a do ponto  $\mathbf{a}$ , correspondente à metade da largura  $F$ . Além disso, o ponto  $\mathbf{c}$ , quando girado para a posição  $\mathbf{c}'$ , não deve colidir com o topo dos dentes do pinhão na faixa intermediária.

A figura 13 mostra os resultados para os seguintes valores de ângulo de natação e deslocamento linear:  $\theta = 15^\circ$  and  $\delta = 6,5$  mm.

Observou-se que, valores baixos de ângulo de natação ocasionam um pinhão muito alongado e, por outro lado, valores elevados causam dentes muito distorcidos nas coroas e um valor relativamente grande no deslocamento linear relativo.

A figura 14 mostra coroas e pinhões típicos para instalação em sistemas de movimentação como tratores, automóveis e outros veículos.

Para os números de dentes das engrenagens da figura 14, os valores finais para a razão de velocidades são apresentados na tabela 1. Os sinais negativos representam a inversão de velocidade.

Tabela 1 – Valores de razão de velocidades obtidos.

n <sup>o</sup> relação	número de dentes entrada : saída	Razão
1	145 : 175	-1,207
2	160 : 160	-1
3	175 : 145	-0,829

Como exemplo, considerando que a atual transmissão do veículo apresenta o primeiro par de engrenagens com razão de velocidades  $m_G = 9,62$ ; em associação com o sistema proposto, este valor pode ser alterado para 11,61 (na primeira relação); 9,62 (na segunda relação) e 7,97 (na terceira

relação). Já o segundo par de engrenagens apresenta uma razão de velocidades  $m_G = 5,55$ , a qual, multiplicada pela 1ª relação da transmissão proposta, passa a ser  $m_G = 6,7$ . Este resultado é mostrado na tabela 2.

5 Tabela 2 – Estudo comparativo dos valores de razão de velocidades obtidos.

Transmissão atual	-	1ª relação	-	-	2ª relação
	-	9,62	-	-	5,55
Transmissão atual + transmissão proposta	1ª relação reduzida	1ª relação	1ª relação ampliada	2ª relação reduzida	2ª relação
	11,61	9,62	7,97	6,7	5,55

Portanto, observa-se que a faixa entre a 1ª e 2ª relações do veículo foi seccionada em três partes e, além disso, passa a existir uma razão de velocidades que amplia a faixa global de operação (1ª relação reduzida). Esta ampliação da faixa de trabalho também ocorre na 6ª e última relação do veículo.

#### Aspecto Final da Transmissão – Vista dos Componentes Principais

A figura 15 mostra, numa vista explodida, os componentes internos do sistema proposto, para acoplamento ao trator especificado. Alguns componentes adicionais são apresentados nesta figura: o anel de suporte dos pinhões, os suportes dos pinhões (em forma de garfo) e os êmbolos associados às bobinas solenóides que efetuam o movimento de natação dos pinhões. Uma engrenagem adicional é associada ao eixo de entrada para efetuar a inversão do movimento de giro da transmissão. Esta engrenagem poderia estar no eixo de saída do redutor, ou poderia não existir, caso fosse admitida a inversão do sentido de giro dos eixos de entrada e saída

A figura 16 apresenta uma vista não explodida do sistema.

Observa-se que o anel de suporte dos pinhões é externo à coroa de saída, sendo deslocado axialmente por duas hastes, associadas a mancais de esferas e solenóides (não representados na figura). Um solenóide também será



montado em torno do eixo da coroa de entrada.

5 Cabe ressaltar que os deslocamentos necessários para alteração da razão de velocidades: i) deslocamento axial de uma das coroas, ii) deslocamento axial do suporte dos pinhões intermediários e iii) natação dos pinhões; nesta aplicação foram obtidos por meio de bobinas solenóides, porém, outros tipos de atuadores mecânicos, hidráulicos, pneumáticos ou a mistura destes, poderiam ter sido utilizados.

### Reivindicações

#### SISTEMA DE TRANSMISSÃO DE MÚLTIPLAS VELOCIDADES E PROCESSO PARA POSICIONAMENTO DO SISTEMA DE TRANSMISSÃO

- 5 1. Sistema de transmissão de múltiplas velocidades compreendendo
- a. Uma coroa de entrada;
  - b. Uma coroa de saída;
  - c. Um conjunto de engrenagens compreendendo pelo menos uma engrenagem intermediária; e
  - 10 d. Meios para deslocamento da ou das engrenagens intermediárias,
- caracterizado por:**
- as faixas das coroas de entrada e de saída possuem os dentes alinhados em posições angulares específicas;
  - 15 - as faixas das engrenagens intermediárias compreenderem um número par de dentes; e
  - as engrenagens intermediárias sofrerem movimento de nutação apenas quando os dentes das faixas das coroas opostas estiverem alinhados.
- 20 2. Sistema de transmissão, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado por** opcionalmente possuir uma coroa intermediária, possuindo faixas de dentes em ambos os lados.
3. Sistema de transmissão, de acordo com a reivindicação 2, **caracterizado pela** coroa intermediária atuar como uma coroa de entrada e saída
- 25 simultaneamente.
4. Sistema de transmissão, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado por** compreender um sistema controlador e um sistema atuador.
5. Sistema de transmissão, de acordo com a reivindicação 4, **caracterizado pelo** sistema controlador monitorar a posição angular das coroas de
- 30 entrada e saída.
6. Sistema de transmissão, de acordo com a reivindicação 5, **caracterizado**

**pelo** sistema controlador somente enviar um sinal para o sistema atuador quando as posições radiais das coroas de entrada e saída estiverem alinhadas.

- 5 7. Sistema de transmissão, de acordo com a reivindicação 6, **caracterizado pelo** sistema atuador compreender os movimentos de:
- i)* a rotação da coroa de entrada;
  - ii)* o deslocamento axial relativo entre as coroas de entrada e de saída e do suporte dos pinhões; e
  - iii)* a nutação dos pinhões.
- 10 8. Processo para posicionamento de sistema de transmissão **caracterizado por** compreender as etapas de:
- a) alinhamento das faixas radiais das coroas de entrada e de saída;
  - b) afastamento das coroas;
  - c) movimento de nutação das engrenagens intermediárias; e
  - 15 d) aproximação das coroas.

**Figuras**

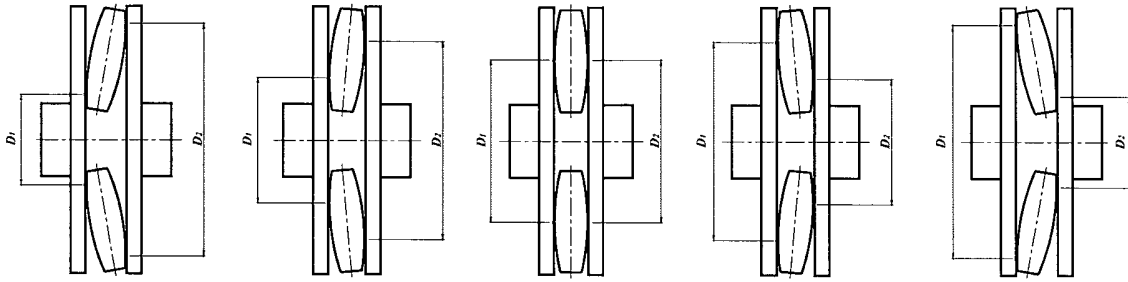


Figura 1

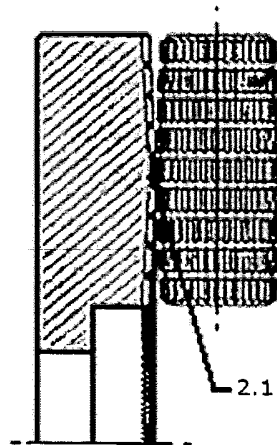


Figura 2

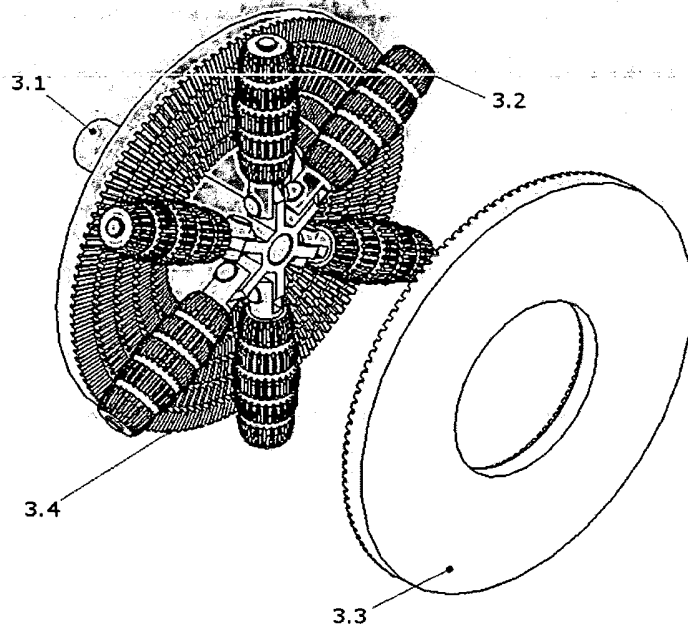


Figura 3

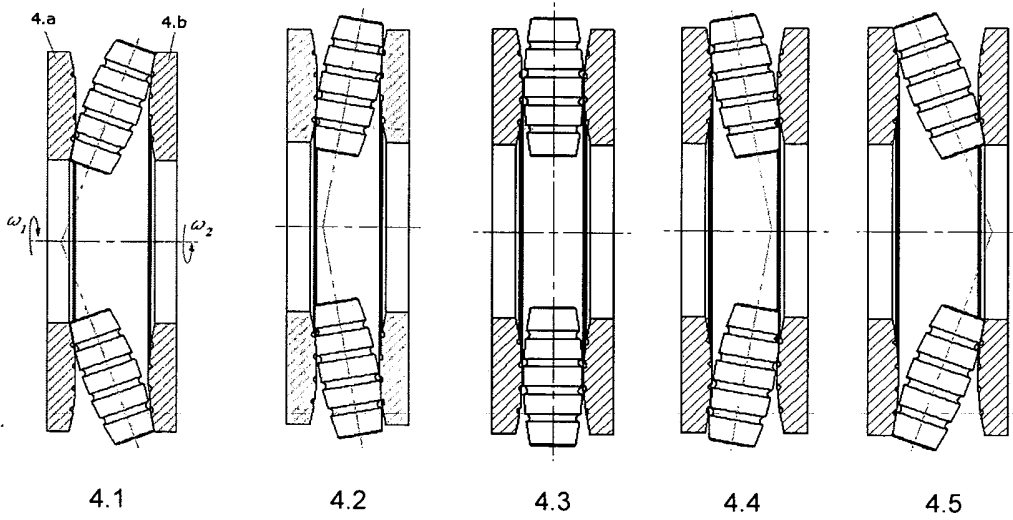


Figura 4

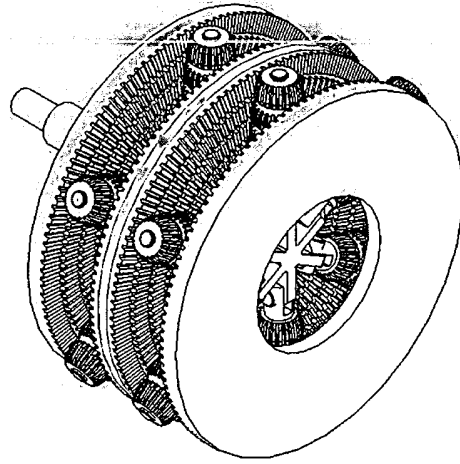
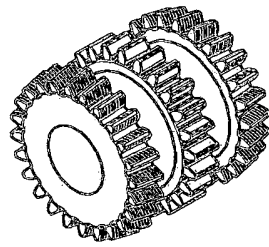
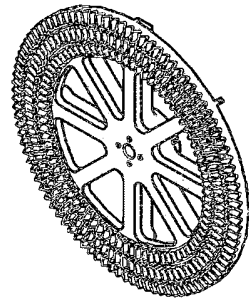


Figura 5



(6.a)



(6.b)

Figura 6

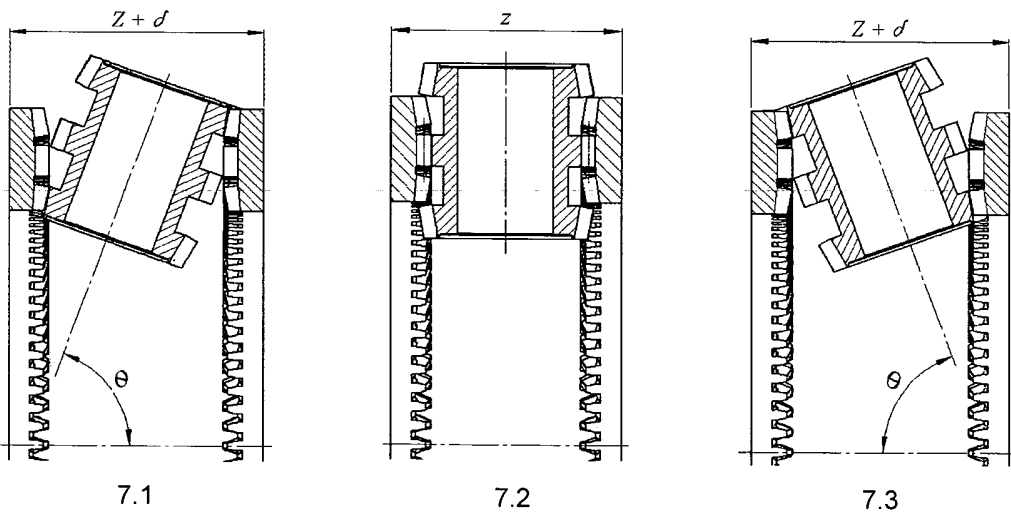


Figura 7

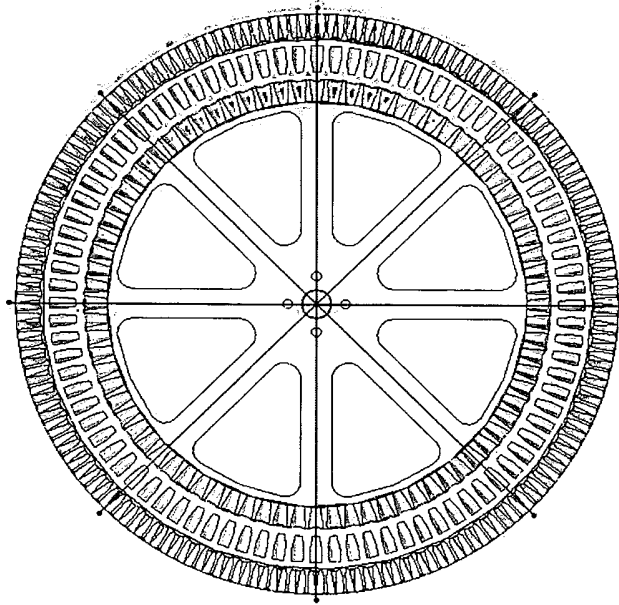


Figura 8

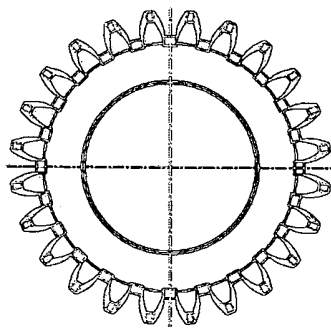


Figura 9

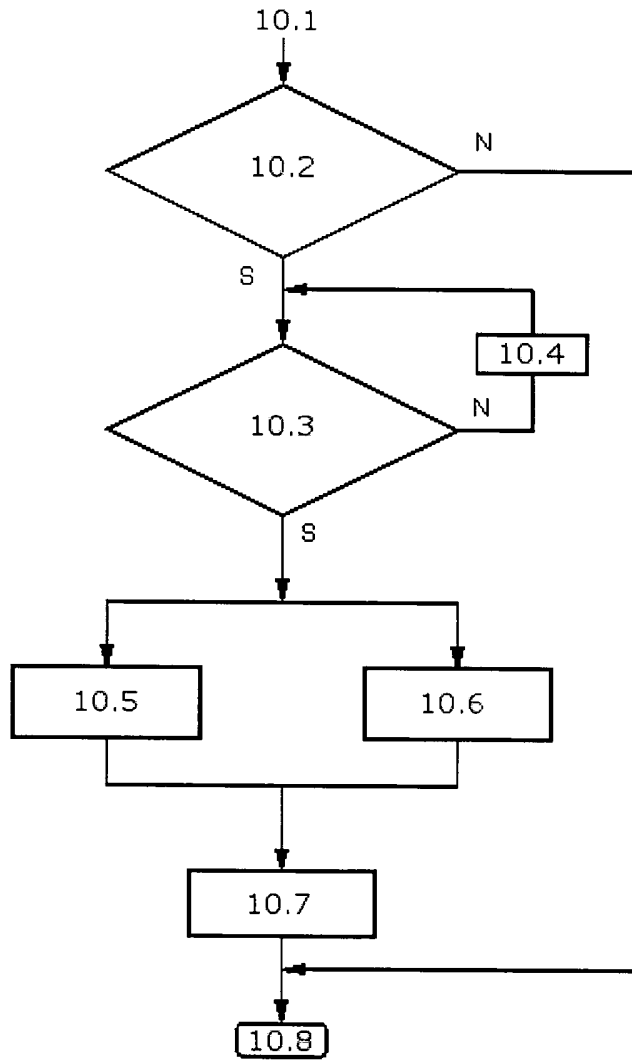


Figura 10



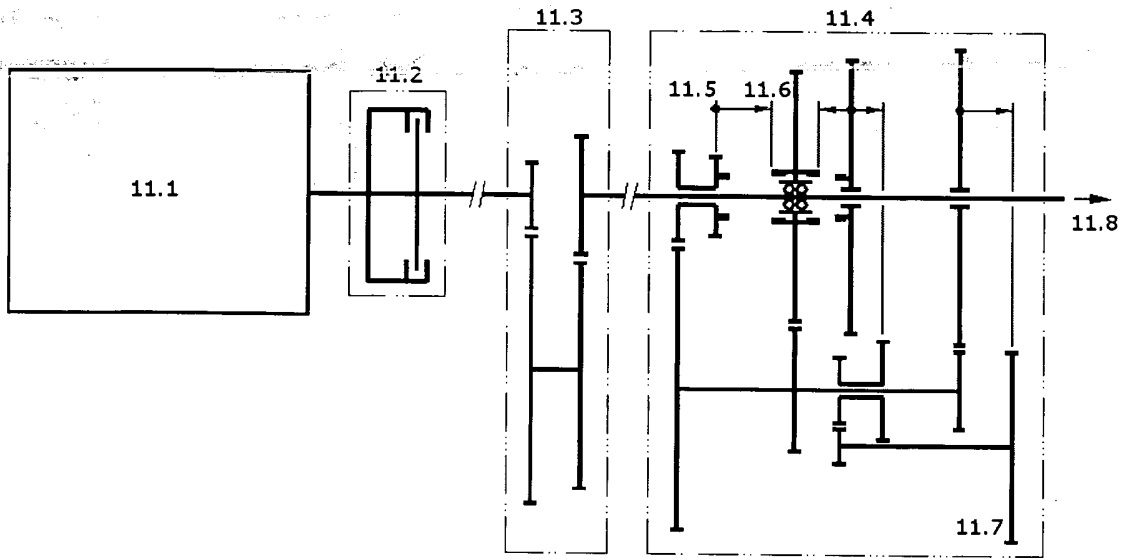


Figura 11

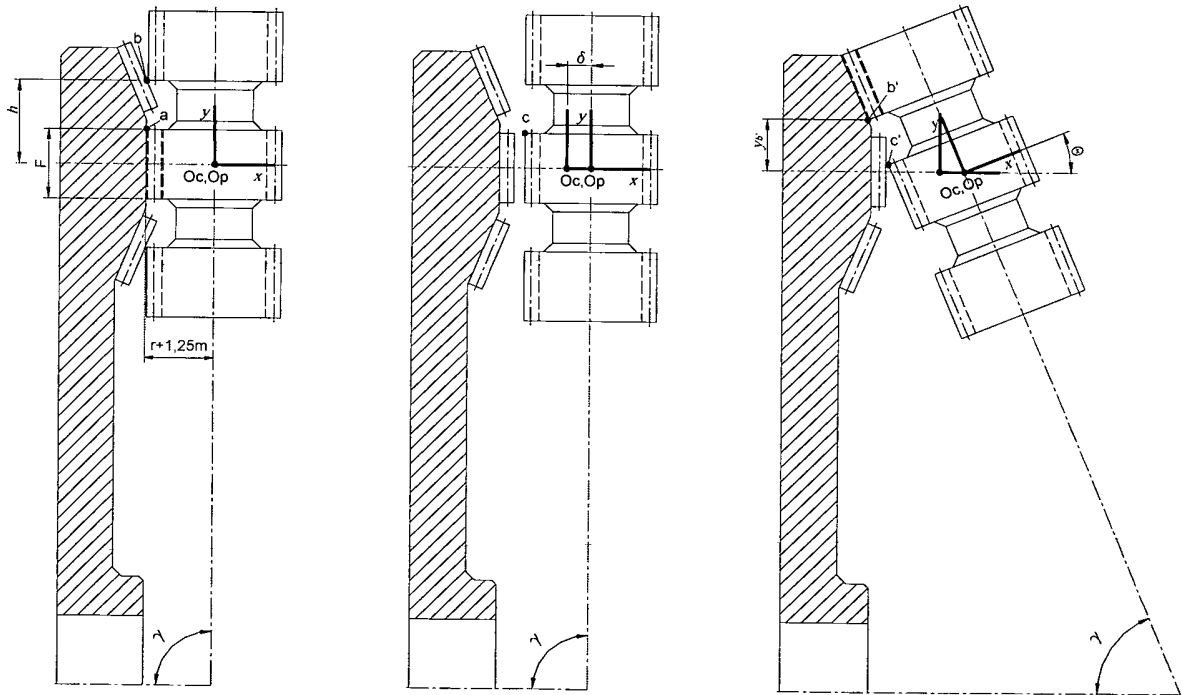


Figura 12

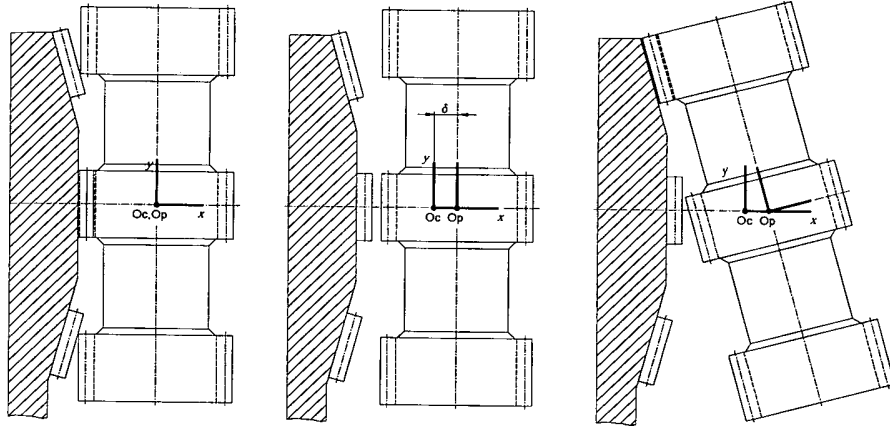


Figura 13

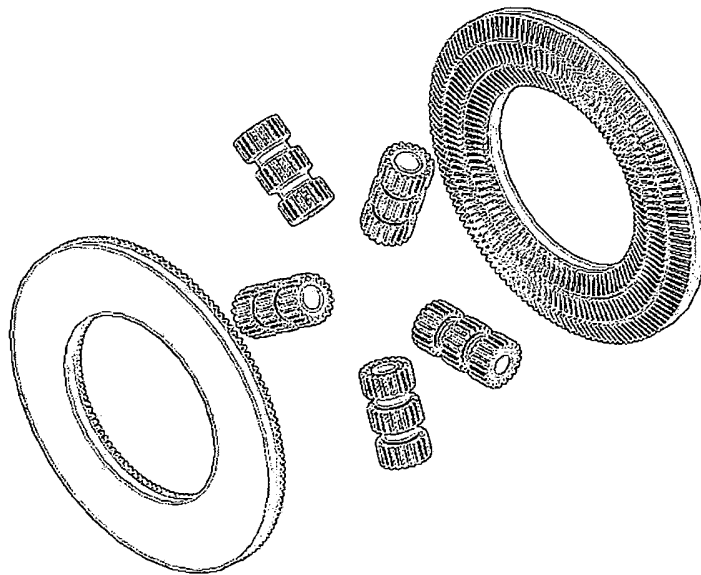


Figura 14

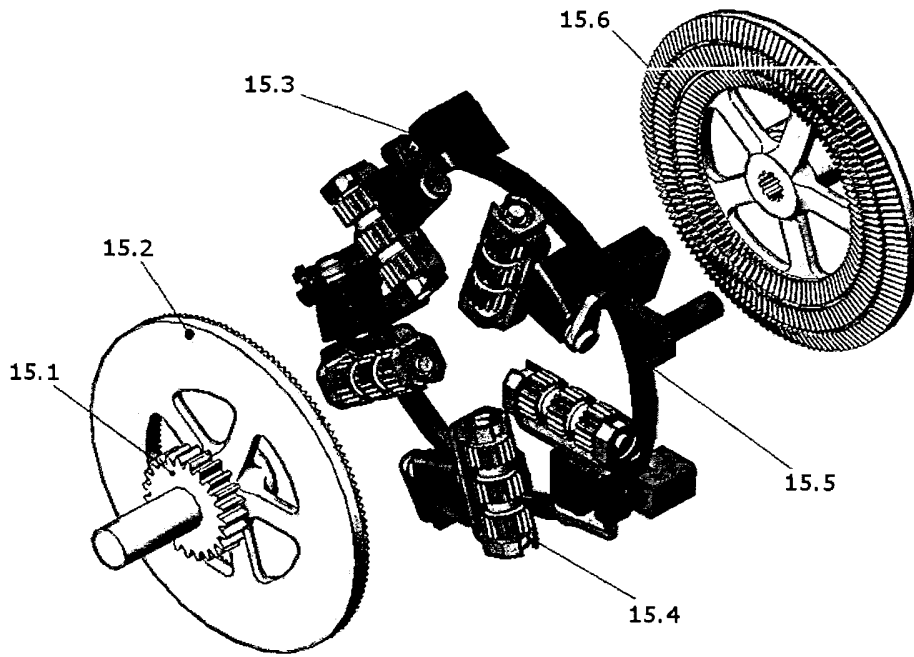


Figura 15

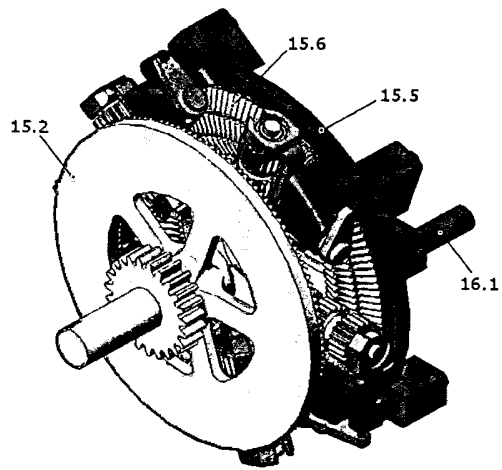


Figura 16