



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 311 807**

51 Int. Cl.:
G05B 13/04 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **04716986 .7**

96 Fecha de presentación : **04.03.2004**

97 Número de publicación de la solicitud: **1623284**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **08.02.2006**

54 Título: **Procedimiento para la optimización de vehículos y de motores para el accionamiento de estos vehículos.**

30 Prioridad: **13.05.2003 AT A 731/2003**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
16.02.2009

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
16.02.2009

73 Titular/es: **AVL List GmbH**
Hans-List-Platz 1
8020 Graz, AT

72 Inventor/es: **Schöggel, Peter**

74 Agente: **Elzaburu Márquez, Alberto**

ES 2 311 807 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Procedimiento para la optimización de vehículos y de motores para el accionamiento de estos vehículos.

5 El invento se refiere a un procedimiento para la optimización de vehículos y de motores para el accionamiento de estos vehículos. El presente invento abarca también, como es obvio, los subsistemas, como el grupo de accionamiento o las unidades electrónicas de mando del motor.

10 La optimización de la puesta a punto es en los vehículos de motor modernos un campo difícil, ya que la cantidad de grados de libertad es extraordinariamente grande. Esto se refiere tanto a la puesta a punto de los vehículos de carrera, que de manera primaria debe servir para alcanzar una capacidad de competición máxima, es decir el mejor tiempo de vuelta en la puesta a punto durante la marcha y también para la puesta a punto de los vehículos de serie desde el punto de vista del confort, de la conductividad, del consumo de carburante y de las emisiones de gases de escape. La dificultad de la puesta a punto resulta del hecho de que se puede variar una gran cantidad de parámetros de puesta a punto y de que la variación de manera compleja de los parámetros de puesta a punto da lugar usualmente en varios aspectos a una variación del comportamiento del vehículo de motor. Por ello, la optimización de la puesta a punto es realizada en la mayoría de los casos por técnicos cualificados, que, debido a su amplia experiencia, son capaces de estimar las consecuencias de determinadas variaciones en la puesta a punto y de realizar la optimización deseada. A pesar de ello es preciso, que en el transcurso de una optimización de esta clase se realicen amplias pruebas de rodaje en el transcurso de un proceso iterativo para verificar los resultados intermedios obtenidos y corregirlos eventualmente. De manera adecuada se recurre al “feedback” del piloto para decidir las medidas de puesta a punto a realizar.

25 El procedimiento descrito requiere rodajes de prueba y de ensayo y una evaluación subjetiva de los rodajes de carrera y de prueba. Sin embargo, con frecuencia estos rodajes no son posibles por razones técnicas o por razones de un reglamento preestablecido.

30 Se conoce el procedimiento de utilizar, para reducir los rodajes de prueba con vehículos reales, respectivamente los análisis en bancos de prueba, modelos de simulación, que pueden asumir al menos en parte cometidos de optimización. Ejemplos de estos procedimientos se divulgan en los documentos EP 0 877 309 B, WO 00/32465, US 6,434,454 B o EP 0 474 944 B. Sin embargo, estos modelos de simulación sólo pueden aclarar aspectos parciales de la puesta a punto a optimizar, como por ejemplo el cálculo de un sensor virtual como fuente de datos para la electrónica del motor, como se describe en el documento EP 0 877 309 B mencionado más arriba.

35 Por otro lado, el documento US 6,079,258 A divulga un procedimiento y un dispositivo con los que se pueden analizar el comportamiento de marcha de un vehículo de motor. Para ello se definen condiciones de “Trigger”, que equivalen a determinados estados de marcha del vehículo. Cuando se detecta la presencia de condiciones de “Trigger” previamente definidas, se evalúan los valores medidos con funciones generadas de manera empírica para obtener el índice de conducibilidad.

40 El objeto del presente invento es divulgar un procedimiento capaz, no sólo de aclarar aspectos parciales de la puesta a punto de un vehículo, sino también de realizar de una manera lo más sencilla posible una optimización completa. La utilización del vehículo real debe ser minimizada lo más posible y también debe evitar ampliamente la evaluación por ingenieros de prueba experimentados, para reducir, por un lado, el coste y, por otro, excluir en lo posible los componentes subjetivos.

45 Estos objetivos son alcanzados con un procedimiento, que comprende los pasos siguientes:

- realización de mediciones del funcionamiento real del vehículo en la carretera o en un banco de pruebas con rodillos o del motor en un banco de pruebas de motores;
- 50 - parametrización de un modelo de simulación, que reproduzca el vehículo, respectivamente el motor para poder hacer por medio de un cálculo un pronóstico de los valores de medida obtenidos con las mediciones;
- 55 - simulación del vehículo utilizando el modelo de simulación, calculando también al menos un índice de conducibilidad resultante de una función determinada empíricamente y basada en varios valores de medida y que refleje la conducibilidad del vehículo en un determinado estado de rodaje;
- optimización de la puesta a punto del vehículo durante la simulación expuesta más arriba, interviniendo al menos un índice de conducibilidad en la función buscada o en las condiciones marginales de la optimización.
- 60

65 En el presente invento es esencial la utilización de índices de conducibilidad o variables de “driveability”. Estos índices de conducibilidad son valores, que resultan como función de varias variables medibles y que reproducen la conducibilidad del vehículo en determinadas situaciones clave denominadas también condiciones “Trigger”. La definición de estas funciones se realiza en este caso de manera empírica comparando las evaluaciones de una gran cantidad de pilotos de prueba con los valores calculados de la función, variando y adaptando las funciones hasta alcanzar una concordancia óptima entre los valores de la función y las evaluaciones obtenidas realmente. El presente invento se basa en el conocimiento de que la optimización del comportamiento del vehículo no se realiza, con preferencia, sobre la ba-

se de valores de medida individuales, sino que también comprende los índices de conducibilidad. Si bien, por ejemplo para un coche de carreras, parezca inmediato realizar una optimización con vistas al tiempo por vuelta alcanzable, ya que este es evidentemente una medida de la calidad del coche de carreras, se comprobó, sin embargo, que es posible obtener resultados más cercanos a la práctica y, por lo tanto, estrategias más exitosas si los índices de conducibilidad entran en la optimización. Esto significa, que nos hallamos frente a un problema de optimización, que posee una función final (por ejemplo el tiempo por vuelta) así como una gran cantidad de condiciones marginales. Las condiciones marginales pueden ser limitaciones establecidas por un reglamento, como por ejemplo el peso mínimo del vehículo o limitaciones referidas a las dimensiones del vehículo, a la aerodinámica o análogos y que pueden tener una naturaleza técnico-física, como por ejemplo los límites de esfuerzo del material utilizado o el desgaste máximo admisible de las cubiertas, el consumo de carburante o los valores mínimos prescritos para determinados índices de conducibilidad. En este caso es por ejemplo preciso, que la conducibilidad del motor con carga media o cuando interviene el control de tracción rebase un valor límite determinado, pudiendo ser este valor, en el caso de los coches de carreras, distinto para las carreras o para los entrenamientos. También se puede valorar de manera objetiva el comportamiento de manejo del vehículo en diferentes tramos del recorrido (aceleraciones, frenadas, entrada en curvas, en el centro de las curvas, salida de curvas y análogos) y prefijarlo como condición marginal. De manera alternativa también es posible definir un problema de optimización en el que se establece *a priori* un tiempo por vuelta máximo admisible y en el que se optimiza, por ejemplo, un índice de conducibilidad total resultante de varios índices de conducibilidad individuales.

Fundamentalmente es posible realizar la optimización descrita más arriba de una manera neutral desde el punto de vista del piloto, es decir, que las variables, que pueden ser modificadas por el piloto, como por ejemplo del ángulo de giro del volante o la posición del pedal de aceleración se adoptan de manera adecuada para hacer posible una simulación. Sin embargo, se prefiere modelar de manera explícita el comportamiento del piloto y almacenarlo en un modelo de piloto propio. Un modelo de piloto de esta clase se adaptará en este caso convenientemente de manera individual a los pilotos disponibles, siempre que se trate de aplicaciones en el deporte de carreras. Para los vehículos de serie se pueden definir de manera alternativa diferentes tipos de conductor, que se representan con un modelo de simulación. Lo esencial de cualquier clase de conductor es en este caso que el comportamiento del conductor depende del comportamiento del vehículo. También en este campo se comprobó, que los índices de conductibilidad se prestan especialmente bien para reflejar estas dependencias y para reproducirlas en el modelo de simulación. Además, de manera análoga a la del propio vehículo se comprobó, que era provechoso y conveniente definir índices de evaluación de los pilotos, que representen el comportamiento y las cualidades del piloto.

Para el paso de optimización se pueden utilizar diferentes procedimientos de optimización, que se presten para resolver los complejos problemas de optimización, como los aquí presentes. De manera fundamental se puede utilizar para ello una estrategia de optimización basada en un modelo, denominada también procedimiento "Full Factorial". Durante la simulación se varían en él los parámetros variables hasta alcanzar un estado óptimo o se aproxima el estado óptimo en una medida suficiente. Para la propia optimización no se utilizan en este caso conocimientos especiales de la naturaleza del sistema.

De manera alternativa es posible recurrir a las conocidas estrategias de optimización orientadas en la experiencia o estrategias DOE (Design of Experiments). En este caso se intenta acelerar la optimización teniendo en cuenta relaciones resultantes del conocimiento del comportamiento del sistema simulado. La definición de estas estrategias de optimización es más laboriosa, pero generalmente se obtiene un progreso más rápido de la optimización.

En una variante especialmente favorable del procedimiento según el invento se realiza la optimización en el transcurso de la simulación, realizando, partiendo de una configuración inicial de los parámetros de puesta a punto, un ciclo de simulación con una gran cantidad de pasos de simulación en los que se recorre un ciclo de rodaje prefijado y esencialmente idéntico mientras se varían los parámetros de puesta a punto para determinar la influencia de los parámetros de puesta a punto en la función buscada y las condiciones marginales. Esto se realiza así, ya que es posible variar una gran cantidad de parámetros de puesta a punto, pero sin conocer *a priori* la influencia de los diferentes parámetros de puesta a punto en la función buscada y en las condiciones marginales. De esta manera se puede determinar *ceteris paribus* el efecto de la modificación de cada parámetro individual de puesta a punto, despreciando las interacciones y los efectos sinérgicos entre los diferentes parámetros de puesta a punto.

De una manera especialmente preferida se crea, sobre la base de los resultados del ciclo de simulación, un primer metamodelo, que reproduzca la influencia de los parámetros de puesta a punto en la función buscada y en las condiciones marginales y después se realiza, sobre la base del metamodelo, un primer paso de optimización para determinar una primera configuración óptima de los parámetros de puesta a punto, realizando después, partiendo de esta primera configuración óptima de los parámetros de puesta a punto, al menos otro ciclo de simulación para crear otro metamodelo. Los diferentes pasos de simulación representan un considerable trabajo de cálculo. La optimización realizada exclusivamente sobre la base de estos pasos de simulación da lugar, en el caso de modelos algo complejos y próximos a la realidad a un trabajo de cálculo prohibitivamente grande. La utilización mencionada más arriba de un metamodelo en el que la función buscada y las condiciones marginales se representan en el sentido de una aproximación como funciones explícitas de los parámetros de puesta a punto permite la realización de la optimización con un trabajo de cálculo considerablemente menor. La diferencia esencial entre el modelo de simulación propiamente dicho y el metamodelo reside en el hecho de que en el modelo de simulación se calculan muchas magnitudes como integrales en función del tiempo de otras magnitudes y por el hecho de que las relaciones no son lineales e interdependientes. Además, en el modelo de simulación se utiliza una gran cantidad de magnitudes auxiliares, que en el fondo no interesan, pero que se necesitan para representar el modelo.

ES 2 311 807 T3

Por el contrario, los metamodelos son sencillos y reflejan una relación directa entre los parámetros de puesta a punto y la función buscada y las condiciones marginales sin poseer, por ejemplo integrales en función del tiempo. Los metamodelos son en una primera variante de este procedimiento modelos lineales. Con ello se simplifica de manera especial la optimización, ya que los parámetros de puesta a punto para un determinado resultado deseado pueden ser obtenidos en principio invirtiendo una matriz de modelo.

Esta simplificación extrema es obtenida a costa de que el metamodelo sólo describe satisfactoriamente el comportamiento real del sistema en un entorno suficientemente pequeño de la configuración inicial. Una vez que, basándose en el primer metamodelo, se realizó el primer paso de optimización, que dio lugar a una primera configuración óptima de los parámetros de puesta a punto, se realiza al menos otro ciclo de simulación para crear un metamodelo adicional. Con ello se eliminan los errores resultantes de las simplificaciones del metamodelo. La primera configuración óptima no será en general realmente óptima en el sentido del modelo de simulación propiamente dicho, pero se hallará más cerca de este óptimo que la configuración inicial. Repitiendo los pasos indicados más arriba según necesidad, se puede alcanzar una aproximación con una exactitud cualquiera al estado óptimo real.

Se puede obtener una exactitud mejorada de los metamodelos, cuando estos modelos son modelos en los que los parámetros de puesta a punto intervienen en la función buscada y en las condiciones marginales en parte linealmente y en parte en forma de sus cuadrados. Para ello se aprovecha el hecho de que, al menos en ausencia de condiciones marginales, el estado óptimo se expresa en la función buscada por medio de derivadas menguantes de la magnitud buscada en función de las variables independientes, es decir los parámetros de puesta a punto, de manera que un modelo de segundo grado refleja el entorno del estado óptimo mejor que un modelo lineal. El mayor trabajo de cálculo debido al planteamiento de segundo grado puede ser reducido, cuando es limitado a parámetros de puesta a punto de los que se puede admitir, que no son determinados por condiciones marginales primarias.

La función buscada es generalmente, en la aplicación del procedimiento según el invento al deporte de carreras, un tiempo de vuelta, que necesita el vehículo para recorrer un recorrido prefijado. Como tiempo de vuelta se entiende aquí en un sentido generalizado también el tiempo de un segmento, que es el tiempo de rodadura para un tramo parcial del recorrido cerrado. Las condiciones marginales resultan del reglamento y de índices de conductibilidad, que reflejan por ejemplo el subvirado global o en una curva determinada.

En la aplicación del procedimiento según el invento en el desarrollo de vehículos de serie se prevé, por ejemplo, que la función buscada sea un índice de conductibilidad total, que describa de manera global el comportamiento de rodadura del vehículo. Con ello se puede optimizar el confort de rodadura de una manera reproducible objetivamente. Sin embargo, la función buscada también puede ser un valor de consumo de carburante, que indique la cantidad de carburante, que necesita el vehículo para recorrer un determinado recorrido, de manera, que sea posible la representación de un vehículo óptimo desde el punto de vista del consumo.

Se obtienen resultados especialmente fiables, cuando las condiciones marginales son, al menos en parte, índices de conductibilidad, que reflejen el comportamiento del vehículo en tramos parciales de una recorrido de simulación, cubriendo en conjunto todos los tramos parciales del recorrido de simulación.

En una primera variante de ejecución del procedimiento según el invento se recurre al funcionamiento real para las mediciones de la totalidad del vehículo con el fin de obtener los valores de medida necesarios. Los valores de medida se obtienen en este caso a partir de una situación totalmente real en la carretera. Un procedimiento de esta clase está ligado por naturaleza con un coste relativamente alto. Siempre que se disponga ya de datos de sistemas parciales, se puede minimizar el coste con los conocidos procedimientos "Hardware in the loop", en el que los sistemas parciales son sustituidos con modelos de simulación. En este caso son, por ejemplo, imaginables las siguientes constelaciones;

- el vehículo se halla sobre un banco de pruebas con rodillos; en este caso es preciso, que los efectos aerodinámicos se reproduzcan con un modelo de simulación; la magnitudes, tales como suspensión de las ruedas, cubiertas y análogos tampoco pueden ser tenidas en cuenta de manera directa;
- se obtiene otra simplificación de las mediciones, cuando el motor del vehículo es analizado en un banco de pruebas altamente dinámico. Además de las variables descritas más arriba, es en este caso preciso simular todas las variables relacionadas con el grupo de accionamiento;
- sin embargo, para análisis especiales también se puede analizar por separado un subsistema individual, como por ejemplo el equipo de mando del motor, siendo preciso simular todas las variables, que no puedan ser influenciadas directamente por el equipo de mando.

Se obtiene una variante de ejecución especialmente favorable del procedimiento según el invento, cuando, después de la realización de mediciones en el funcionamiento real del vehículo se definen modificaciones del vehículo y se crea el modelo de simulación sobre la base del vehículo modificado. En numerosos casos se dispone de valores de medida reales de un vehículo en un determinado recorrido y surge el problema de pronosticar el comportamiento esperado de un vehículo ligeramente modificado. De esta manera es posible tener en cuenta en el modelo de simulación las modificaciones previstas en un vehículo o las modificaciones ya realizadas, pero que todavía no pudieron ser probadas en un determinado recorrido, y analizar el efecto de estas modificaciones. Una ventaja especial reside en este caso en el hecho de que de que no sólo es posible pronosticar desde el punto de vista de las prestaciones de rodadura

ES 2 311 807 T3

las modificaciones directas de un vehículo por lo demás no modificado, sino que también es posible indicar en la simulación una optimización del vehículo modificado por medio de la elección adecuada de los parámetros de puesta a punto.

5 Disponiendo de una capacidad de cálculo correspondiente es posible, que, después de la creación inicial de un modelo de simulación, tenga lugar de manera continua en tiempo real y durante el funcionamiento real del vehículo una parametrización de un modelo de simulación del vehículo recurriendo al modelo de simulación. Esto puede ser por ejemplo conveniente durante una carrera, cuando deba ser tenido en cuenta el progresivo desgaste de las cubiertas o análogos para poder planificar y evaluar todavía durante la carrera las posibles modificaciones de los parámetros de
10 puesta a punto. La optimización de la puesta a punto del vehículo puede tener lugar de manera continua en tiempo real para realizar modificaciones de los parámetros de puesta a punto. Pero incluso, cuando, por ejemplo, se halla a bordo de un vehículo de serie una computadora correspondiente, se pueden realizar continuamente durante el funcionamiento reajustes de los parámetros de puesta a punto para tener en cuenta los fenómenos de envejecimiento y el desgaste. En relación con ello es especialmente ventajoso, que las modificaciones de los parámetros de puesta a punto del vehículo
15 se realicen automáticamente.

En el procedimiento según el invento desempeñan un papel las siguientes variables:

20 U_i Parámetro de medio ambiente, como por ejemplo la calidad de la calzada y la presión atmosférica. Se trata de parámetros externos, que no es posible modificar, pero que intervienen en el modelo.

E_i Parámetros de puesta a punto: magnitudes medibles, que caracterizan el vehículo y que (al menos en principio) pueden ser modificadas. Por ejemplo: características de amortiguación, campos característicos del motor, relación de la caja de cambios, peso del vehículo, resistencia del aire y valores de fuerza
25 ascensional, respectivamente descendencial del vehículo.

S_i Parámetros de simulación: son magnitudes, que no se corresponden con una variable medible y que son necesarias para la puesta a punto del modelo de simulación. Ejemplos: características de las cubiertas (si no se conocen), elasticidad del grupo de accionamiento (si no se conoce).
30

$F_i(t)$ Magnitudes determinadas por el piloto, como por ejemplo el ángulo de giro del volante, posición del pedal del acelerador. Estas variables son, por naturaleza, modificables en el desarrollo en el tiempo y se expresan por ello como funciones de tiempo. A través de la velocidad del vehículo también se podrían representar estos parámetros como funciones del lugar.
35

$M_i(t)$ Valores de medida, que caracterizan el comportamiento del vehículo y que pueden ser medidos realmente, pero también calculados por el modelo de simulación. Ejemplos: aceleración longitudinal, aceleración transversal, temperatura del motor. Los valores de medida ficticios calculados por el modelo de simulación pueden ser representados como función de los parámetros de medio ambiente, de la simulación de los parámetros de puesta a punto, de los parámetros de simulación y de las magnitudes determinadas por el piloto así como de los restantes valores de medida.
40

$$M_{sim_i}(t) = f(U_{ir}, E_{ir}, S_{ir}, F_i(t), M_{sim_i}(t))$$

45 DR_i Índices de conductibilidad para determinadas maniobras de marcha y/o tramos del recorrido. Los DR_i se calculan a partir del $M_i(t)$, respectivamente el $M_{sim}(t)$ basándose en datos empíricos calculados previamente.

50 En lo que sigue se describirá el invento con detalle por medio de las variantes de ejecución representadas en el dibujo. En él muestran:

La figura 1, un diagrama de flujo para explicar el procedimiento según el invento en una primera variante de ejecución.

55 La figura 2, un diagrama de bloques, que representa componentes esenciales de la realización del invento.

Las figuras 3a, 3b, 3c a las figuras 9a, 9b, 9c diagramas, que representan el procedimiento según el invento por medio de un ejemplo simplificado.

60 Los diferentes pasos del diagrama de flujo de la figura 1 se explican como sigue:

➤ *Paso 0: Inicio.*

65 ➤ *Paso 1: vuelta real;* se hace funcionar un vehículo con parámetros E_{i0} de puesta a punto prefijados sobre un recorrido de carreras real o en un banco de pruebas, registrando $F_i(t)$ y $M_i(t)$. Adicionalmente se observan los parámetros U_i ambientales. Esta vuelta real también puede ser hecha, como se mencionó más arriba, con el modelo anterior del vehículo.

ES 2 311 807 T3

- *Paso 2: vuelta virtual:* con la ayuda del modelo de simulación se simula una vuelta en la computadora. El modelo de simulación contiene U_i y E_i como datos prefijados y, además, el cálculo se basa en los parámetros S_{ij} , representando el índice j la correspondiente versión de los parámetros S_i de simulación después de j vueltas. Esto significa, que se comienza con un bloque inicial de parámetros S_{i0} de simulación, que es mejorado sucesivamente.

Variante 1: las magnitudes $F(t)$ determinadas por el piloto son transferidas ampliamente de la vuelta real.

Variante 2: el modelo de piloto es parte del modelo de simulación (o un modelo de simulación adicional, que sea equivalente) y las magnitudes $F(t)$ determinadas por el piloto se simulan (= calculan) al mismo tiempo como $F_{sim_i}(t)$.

El resultado de la simulación es un bloque de valores $M_{sim_{ij}}(t)$ de medida virtuales (y eventualmente $F_{sim_i}(t)$ para la vuelta j simulada).

- *Paso 3: consulta:* ¿es suficiente la exactitud del modelo de simulación? Esto se determina fundamentalmente a partir de la diferencia entre $M_j(t)$ y $M_{sim_{ij}}(t)$ (y eventualmente entre $F_i(t)$ y $F_{sim_i}(t)$). Para ello existirán en general funciones de evaluación, ya que en la mayoría de los casos algunos valores de medida son más críticos que otros, dando lugar con ello a tolerancias distintas. Adicionalmente se recurre a la magnitud de DR_i para el cálculo de la exactitud.

Con NO: paso 4: Creación de un nuevo bloque de parámetros S_{ij} de simulación y retorno al paso 2. El cálculo de los nuevos S_{ij} podrá realizarse seguramente de una manera puramente matemática (problema de optimización sin conocimiento de las relaciones internas del sistema) o se pueden utilizar los conocimientos de las relaciones reales. También son posibles combinaciones de los dos.

Con SI: paso 5.

- *Paso 5: variación virtual de la puesta a punto del vehículo:* los parámetros E_{i0} de puesta a punto iniciales son cambiados por E_{ik} , siendo k un indicador del correspondiente paso de optimización.

- *Paso 6: vuelta de prueba virtual:* recurriendo a los nuevos parámetros E_{ik} de puesta a punto. Como en el paso 2 se calculan valores de medida simulados designados aquí con $M_{sim_{ik}}(t)$, ya que se obtienen después de k pasos de optimización.

Variante 1: las magnitudes $F_i(t)$ determinadas por el piloto son transferidas sin modificación de las vueltas reales.

Variante 2: el modelo de piloto es parte del modelo de simulación (o un modelo de simulación adicional, que sea equivalente) y las magnitudes simuladas por el piloto son simulados al mismo tiempo. Ventaja especial de ello: el comportamiento del piloto puede ser pronosticado de manera especialmente sencilla y próxima a la realidad basándose en los DR_{jk} , que son índices de conductibilidad (paso siguiente).

- *Paso 7: cálculo de la "Drivability":* cálculo de DR_{ik} , que son índices de conductibilidad después de k pasos de optimización.

- *Paso 8: consulta:* evaluación del paso de optimización: ¿se alcanzó un progreso suficiente?

Con NO: retorno al paso 5.

Con SI: final del procedimiento o eventualmente retorno al paso 1.

La optimización del vehículo (pasos 5 a 8) representa problemas de optimización no lineales con una función buscada y varias condiciones marginales.

El diagrama de bloques de la figura 2 representa de manera esquemática los componentes esenciales, que intervienen.

Se hace funcionar un vehículo 10 real sobre un recorrido prefijado. Por medio de valores de medida se parametriza un modelo 11 de simulación, que se puede subdividir internamente en un modelo 12 de vehículo, un modelo 13 de piloto y un modelo 14 de recorrido. El modelo 12 de vehículo puede estar subdividido a su vez en submodelos, como por ejemplo un modelo 15 de dinámica de marcha, un modelo 16 de aerodinámica y un modelo 17 de cubiertas y, según necesidad, submodelos adicionales no representados aquí.

Con 18 se designa un control de tracción utilizado realmente, que recibe en el banco de pruebas magnitudes de entrada del modelo 11 de simulación, no disponibles de manera real, como por ejemplo la velocidad del vehículo. El control 18 de tracción ataca un banco 19 de pruebas altamente dinámico, que, a su vez, devuelve al control de tracción los datos reales necesarios, como por ejemplo el número de revoluciones del motor. El banco 19 de pruebas se compone de un motor 21 real acoplado con un freno 22 eléctrico.

ES 2 311 807 T3

Con 20 se designa la electrónica de mando para el banco 19 de pruebas, que, a su vez, intercambia datos con el modelo 11 de simulación. Con los datos obtenidos con el modelo 11 de simulación se pueden modificar y optimizar los parámetros de puesta a punto del vehículo 10.

5 Debido al bucle cerrado entre el modelo 11 de simulación, el control 18 de tracción, el banco 19 de pruebas y la electrónica 20 de mando se denomina también una estructura de esta clase como “Closed Loop Modell”. Una estructura de esta clase puede ser utilizada, por un lado, como modelo de simulación no realizado de manera completa en Software para simular de manera conforme con el invento el vehículo 10 real, pero, por otro, puede ser reproducido, por medio de la aplicación del procedimiento según el invento, de manera completa desde el punto de vista del software para ahorrar o acelerar los análisis en el banco de pruebas.

En la simulación del vehículo 10 basada de manera completa en el Software es necesario un submodelo no representado aquí, que reproduzca el motor, que forma parte del modelo 11 de simulación.

15 En lo que sigue se describirá con detalle un proceso de optimización recurriendo a un metamodelo lineal. Después de obtener en el paso 3 de la figura 1 un modelo de simulación validado, se crean en el paso 5, en lugar de un solo vector de parámetros E_{ik} de puesta a punto, tantos vectores como parámetros de puesta a punto previstos, diferenciándose cada uno de los vectores E_{ik} del vector E_{10} por el hecho de que se modificó en un valor predeterminado un único parámetro de puesta a punto.

20 En el paso 6 se absuelve después con cada uno de los vectores E_{ik} de parámetro de puesta a punto una vuelta de prueba, obteniendo los valores $Msim_{ik}(t)$ y a continuación los DR_{ik} . De esta manera es posible determinar de manera aislada la influencia de los diferentes parámetros de puesta a punto.

25 Cuando los vectores E de parámetros de puesta a punto se compongan por ejemplo de 150 valores de puesta a punto individuales, como por ejemplo ángulo de posición de los alerones o constantes de amortiguación o valores de amortiguación en diferentes suspensiones de las ruedas, y cuando el vector $Msim$ resultante se componga de 300 valores individuales, que forman valores finales y condiciones marginales, como por ejemplo el tiempo por vuelta, el tiempo de un segmento, el consumo de carburante, índices de conductibilidad individuales, como por ejemplo 30 trepidaciones, subvirados de manera global o un índice de conductibilidad total general, se puede establecer una representación lineal con la siguiente forma:

$$V \cdot E = Msim$$

35 V es en ella una matriz con 300 líneas y 150 columnas, que representa el metamodelo descrito más arriba. Invirtiendo esta matriz se puede obtener de manera sencilla un vector $Msim$ resultado deseado con la forma siguiente:

$$E = V^{-1}Msim$$

40 Es obvio, que, debido a la sobredefinición del sistema de ecuaciones, no es posible alcanzar con exactitud todo valor $Msim$, pero esto es irrelevante, ya que la mayoría de los valores $Msim$ son condiciones marginales con forma de desigualdades.

45 Con la ayuda de las ecuaciones indicadas más arriba se puede hallar sin problemas un vector E de parámetros de puesta a punto, que de lugar a un vector $Msim$ resultado, que, por un lado, sea admisible, es decir, que cumple todas las condiciones marginales, pero que, por otro, sea óptimo, es decir, que maximiza, respectivamente, minimiza la función buscada. Esta secuencia es repetida hasta alcanzar una exactitud suficiente.

50 En las figuras 3a a 9c se describirá el invento con detalle por medio de un ejemplo simplificado. Se supone, que sólo pueden ser variados dos parámetros de puesta a punto, a saber $cARB_F$ y $cARB_R$, es decir la rigidez de la suspensión del estabilizador delantero, respectivamente del trasero. Se quiere optimizar el tiempo de una vuelta, “Laptime” y como condiciones marginales se deben mantener por encima de valores límites determinados dos índices de conductibilidad “Understeer” y “Oversteer”. Estos índices “Understeer” y “Oversteer” indican las propiedades de subvirado, respectivamente de sobrevirado del vehículo en situaciones de rodaje predeterminadas.

55 El diagrama de la figura 3a representa el tiempo “Laptime” de una vuelta como función de $cARB_F$ y $cARB_R$. Los diagramas de las figuras 3b y 3c representan los índices “Understeer” y “Oversteer” de conductibilidad como funciones de $cARB_F$ y $cARB_R$. Es preciso hacer la observación de que estas funciones no son conocidas *a priori* y que al aplicar el procedimiento según el invento tampoco se conocerán jamás de manera completa.

60 Las figuras 4b y 4c representan nuevamente los índices “Understeer” y “Oversteer” de conductibilidad como funciones de $cARB_F$ y $cARB_R$, pero adicionalmente a las representaciones de la figura 3b y de la figura 3c se representan como planos horizontales los valores límites “Understeer” ≥ 7 y “Oversteer” $\geq 6,5$. Los pares de valores de $cARB_F$ y $cARB_R$, que cumplen las condiciones indicadas más arriba, representan el margen admisible para la optimización. El diagrama de la figura 4a para la función “Laptime” buscada no sufrió modificaciones.

ES 2 311 807 T3

Las figuras 5a, 5b y 5c muestran un valor 30 inicial de $cARB_F$ y $cARB_R$ de 105 N/mm cada uno y los valores “Laptime”, “Understeer” y “Oversteer” medidos ficticios, que se designan con 30a, 30b y 30c. Estos valores de medida pueden ser obtenidos fundamentalmente con una sola vuelta simulada. De las representaciones se desprende, que estos parámetros de puesta a punto no son óptimos, ni admisibles. El carácter inadmissible se desprende de la figura 5c, que muestra que “Oversteer” es manifiestamente menor que el valor 6,5 límite. La ausencia del carácter óptimo se desprende de la figura 5aa, ya que evidentemente existen pares de valores de $cARB_F$ y $cARB_R$ de dan lugar a tiempos de vuelta demasiado bajos.

En una primera fase del procedimiento de optimización es preciso establecer una admisibilidad. Ahora se simulan tantas vueltas como para parámetros de puesta a punto existentes para determinar los gradientes locales de las funciones “Understeer” y “Oversteer”. Con ello se puede crear en el sentido expuesto más arriba un metamodelo, que haga posible expresar los parámetros de puesta a punto necesarios para los valores deseados de la función buscada y de las condiciones marginales. Este metamodelo es válido en el entorno del punto de partida dentro del que la linealización represente una simplificación admisible.

Según la dificultad del problema se necesitan ahora uno o varios pasos, es decir metamodelos nuevos, para hallar un camino hacia un par de valores de $cARB_F$ y $cARB_R$, que cumpla las condiciones marginales dadas. En las figuras 6a, 6b y 6c se representa un camino 31 de esta clase, que conduce a un punto 32, respectivamente a los puntos 32a, 32b, 32c, definido por $cARB_F = 65$ N/mm y $cARB_K = 75$ N/mm y que se halla dentro del margen admisible. Igual que antes, esta puesta a punto no es óptima, como refleja la figura 6a.

En una segunda fase del procedimiento de optimización se realiza ahora, partiendo de este punto 32 admisible, pero no óptimo, una optimización de la función “Laptime” buscada, realizando nuevamente al menos una vez, pero en la mayoría de los casos varias veces sucesivas, una linealización alrededor del punto intermedio alcanzado y determinando un camino localmente óptimo, debiendo, sin embargo, tener siempre en cuenta que no se abandone el margen admisible. De esta manera se llega a través del camino 33 de las figuras 7a, 7b y 7c a los puntos 34, respectivamente 34a, 34b, 34c, es decir al resultado óptimo de $cARB_F = 19$ N/mm y $cARB_K = 69$ N/mm, lo que da lugar a los siguientes valores de medida ficticios:

Laptime = 83, 1 s

Understeer = 9,36

Oversteer = 7,21

Es preciso hacer la observación de que el concepto representado más arriba de una optimización en dos fases también puede ser modificado. Así por ejemplo, es posible buscar en una primera fase un punto óptimo, pero inadmissible y crear la admisibilidad en una segunda fase. Sin embargo, también es posible perseguir con diferentes conceptos un camino de puntos no óptimos inadmisibles.

Sin embargo, el procedimiento de optimización no está limitado a metamodelos lineales. Si bien la utilización de planteamientos de segundo orden incrementa el trabajo de cálculo por cada paso, reduce la cantidad de pasos necesarios.

En algunos parámetros de puesta a punto se puede tratar de magnitudes no escalares, como por ejemplo las características del motor. Estas características no son accesibles de manera inmediata al concepto de optimización expuesto más arriba. Su inclusión en la optimización según el invento puede tener lugar por el hecho de que en primer lugar se modele una magnitud derivada de las características del motor, como por ejemplo la necesidad de par de giro, que se utiliza para la optimización, y después se calcula en un paso adicional la característica adecuada al instante correspondiente, que se elige respectivamente ajusta en la siguiente simulación o en el siguiente recorrido de prueba.

Los diagramas de las figuras 8a, 8b y 8c muestran, que el concepto de la linealización también puede ser utilizado de manera ventajosa para la evaluación y la interpretación de los resultados. Realizando nuevamente en el estado óptimo una linealización se puede estimar la sensibilidad del resultado obtenido a las modificaciones de los parámetros de puesta a punto. En las figuras 8a, 8b y 8c están representados los correspondientes planos 35a, 35b, 35c que representan el metamodelo en el punto óptimo. Dado que el óptimo se halla dentro del margen admisible, el plano 35a de la función buscada es, en la figura 8a, horizontal como se esperaba. Los gradientes pueden ser expresados algebraicamente de la siguiente manera.

	$cARB_F$	$cARB_K$
Δ Laptime	0,0000	0,0000
Δ Oversteer	0,0621	-0,0403
Δ Understeer	-0,1216	0,0254

ES 2 311 807 T3

También es posible definir un margen en el que el metamodelo linealizado pueda ser aplicado con una exactitud prefijada. Estos márgenes 36a, 36b y 36 están representados en las figuras 9a, 9b y 9c. Para la definición de estos márgenes es preciso un sistema de segundo orden teniendo en cuenta la exactitud necesaria.

5 El procedimiento de optimización aquí expuesto no requiere, como se indicó más arriba, un conocimiento completo de las complicadas funciones no lineales, que expresan los valores de medida ficticios en función de los parámetros de puesta a punto y que sólo es posible obtener de manera aproximada con la realización de recorridos de simulación. En el modelo simplificado con dos parámetros de puesta a punto cabría perfectamente imaginar un sistema total, pero en un modelo real con más de cien parámetros de puesta a punto resulta esto prácticamente imposible, ya que el trabajo de cálculo crece exponencialmente. El procedimiento según el invento brinda en este caso una solución practicable.

10 El presente invento hace posible acelerar y mejorar cualitativamente la puesta a punto del vehículo aplicando procedimientos de simulación.

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

ES 2 311 807 T3

REIVINDICACIONES

5 1. Procedimiento para la optimización de vehículos y de motores para el accionamiento de estos vehículos con los siguientes pasos:

- realización de mediciones del funcionamiento real del vehículo (10) en la carretera o en un banco de pruebas de rodillos o del motor (21) en un banco (19) de prueba de motores;
- 10 - parametrización de un modelo (11) de simulación, que reproduzca el vehículo (10), respectivamente el motor (19)

15 **caracterizado** porque, por medio de un cálculo, se realiza un pronóstico de los valores de medida obtenidos con las mediciones y porque se ejecutan los siguientes pasos adicionales:

- simulación del vehículo (10) utilizando el modelo (11) de simulación, calculando también al menos un índice (DR, Oversteer, Understeer) de conductibilidad, que, basándose en una función determinada empíricamente, resulta de varios valores de medida y que refleja la conductibilidad del vehículo (10) en un determinado estado de rodaje;
- 20 - optimación de la puesta a punto del vehículo (10) durante la simulación arriba indicada, entrando al menos un índice (DR, Oversteer, Understeer) de conductibilidad en la función buscada o en las condiciones marginales de la optimización.

25 2. Procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado** porque se prevé un modelo (13) de piloto, que modele el comportamiento del piloto y que, en función del estado del vehículo, calcula las magnitudes (F), que pueden ser influidas por el piloto.

30 3. Procedimiento según la reivindicación 2, **caracterizado** porque el modelo (13) de piloto contiene como magnitud inicial un índice (DR, Oversteer, Understeer) de conductibilidad.

35 4. Procedimiento según una de las reivindicaciones 2 o 3, **caracterizado** porque el modelo (13) de piloto es parametrizado por medio de al menos un índice de conductibilidad, que, debido a una función determinada empíricamente, resulta de varios valores de medida y que evalúa el comportamiento de conducción del correspondiente piloto en un determinado estado de rodaje.

40 5. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 4, **caracterizado** porque en la parametrización del modelo (11) de simulación se utiliza al menos un índice (DR, Oversteer, Understeer), que se determina tanto a partir de las mediciones en funcionamiento real, como también a partir del modelo de simulación.

45 6. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 5, **caracterizado** porque las mediciones en funcionamiento real se realizan utilizando en parte modelos (11) de simulación, sometiendo determinados componentes del hardware a un funcionamiento real, mientras que otros componentes del hardware se sustituyen con modelos de simulación.

50 7. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 6, **caracterizado** porque después de la realización de las mediciones en el funcionamiento real del vehículo (10) se definen modificaciones del vehículo (10) y se crea el modelo (11) de simulación sobre la base del vehículo (10) modificado.

55 8. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 7, **caracterizado** porque la optimización se realiza en el transcurso de la simulación por el hecho de que partiendo de una configuración inicial de parámetros (E) de puesta a punto se realiza un ciclo de simulación con una gran cantidad de rodajes de simulación, en los que se recorre un ciclo de rodaje prefijado, esencialmente idéntico mientras se varían los parámetros (E) de puesta a punto para determinar la influencia de los parámetro (E) de puesta a punto en la función buscada y en las condiciones marginales.

60 9. Procedimiento según la reivindicación 8, **caracterizado** porque sobre la base de los resultados del ciclo de simulación se crea un primer metamodelo, que refleje la influencia de los parámetros (E) de puesta a punto en la función buscada y en las condiciones marginales, realizando después sobre la base del metamodelo un primer paso de optimización para definir una primera configuración óptima de parámetros (E) de puesta a punto y, partiendo de esta primera configuración óptima de parámetros (E) de puesta a punto, se ejecuta al menos otro ciclo de simulación para crear un metamodelo adicional.

10. Procedimiento según la reivindicación 9, **caracterizado** porque los metamodelos son modelos lineales.

65 11. Procedimiento según la reivindicación 9, **caracterizado** porque los metamodelos son modelos en los que los parámetros de puesta punto entran en la función buscada y en las condiciones marginales en parte con forma lineal y en parte con forma de segundo orden.

ES 2 311 807 T3

12. Procedimiento según una de las reivindicaciones 9 a 11, **caracterizado** porque los metamodelos son llevados algebraicamente a una representación explícita desde el punto de vista de los parámetros (E) de puesta a punto.

5 13. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 12, **caracterizado** porque la función buscada es un tiempo de vuelta, que necesita el vehículo para recorrer un recorrido prefijado, respectivamente un tramo del recorrido.

14. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 12, **caracterizado** porque la función buscada es un índice de conductibilidad total, que describa de manera global las propiedades de rodaje del vehículo.

10 15. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 12, **caracterizado** porque la función buscada es un valor de consumo de carburante, que indique la cantidad de carburante, que necesita el vehículo para recorrer un recorrido prefijado.

15 16. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 14, **caracterizado** porque las condiciones marginales son al menos en parte índices de conductibilidad, que reflejan el comportamiento del vehículo en tramos parciales de un recorrido de simulación, quedando cubiertos en conjunto todos los tramos parciales del recorrido de simulación.

20 17. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 16, **caracterizado** porque se recurre a una estrategia de optimización basada en modelos para la parametrización del modelo (11) de simulación.

18. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 16, **caracterizado** porque se recurre a una estrategia de optimización orientada en la experiencia para la parametrización del modelo (11) de simulación.

25 19. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 18, **caracterizado** porque se recurre a una estrategia de optimización basada en modelos para la optimización de la puesta a punto del vehículo (10).

20. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 18, **caracterizado** porque se recurre a una estrategia de optimización orientada en la experiencia para la optimización de la puesta a punto del vehículo (10).

30 21. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 20, **caracterizado** porque después de la creación inicial de un modelos de simulación tiene lugar de manera continua y en tiempo real, durante el funcionamiento real del vehículo, la parametrización de un modelo (11) de simulación “simulación del vehículo (10)” recurriendo al modelo (11) de simulación.

35 22. Procedimiento según la reivindicación 21, **caracterizado** porque la optimización de la puesta a punto del vehículo (10) se realiza de manera continua en tiempo real y porque se realizan modificaciones de los parámetros de puesta a punto.

40 23. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 22, **caracterizado** porque las modificaciones de los parámetros (E) de puesta a punto del vehículo son realizadas automáticamente.

45

50

55

60

65

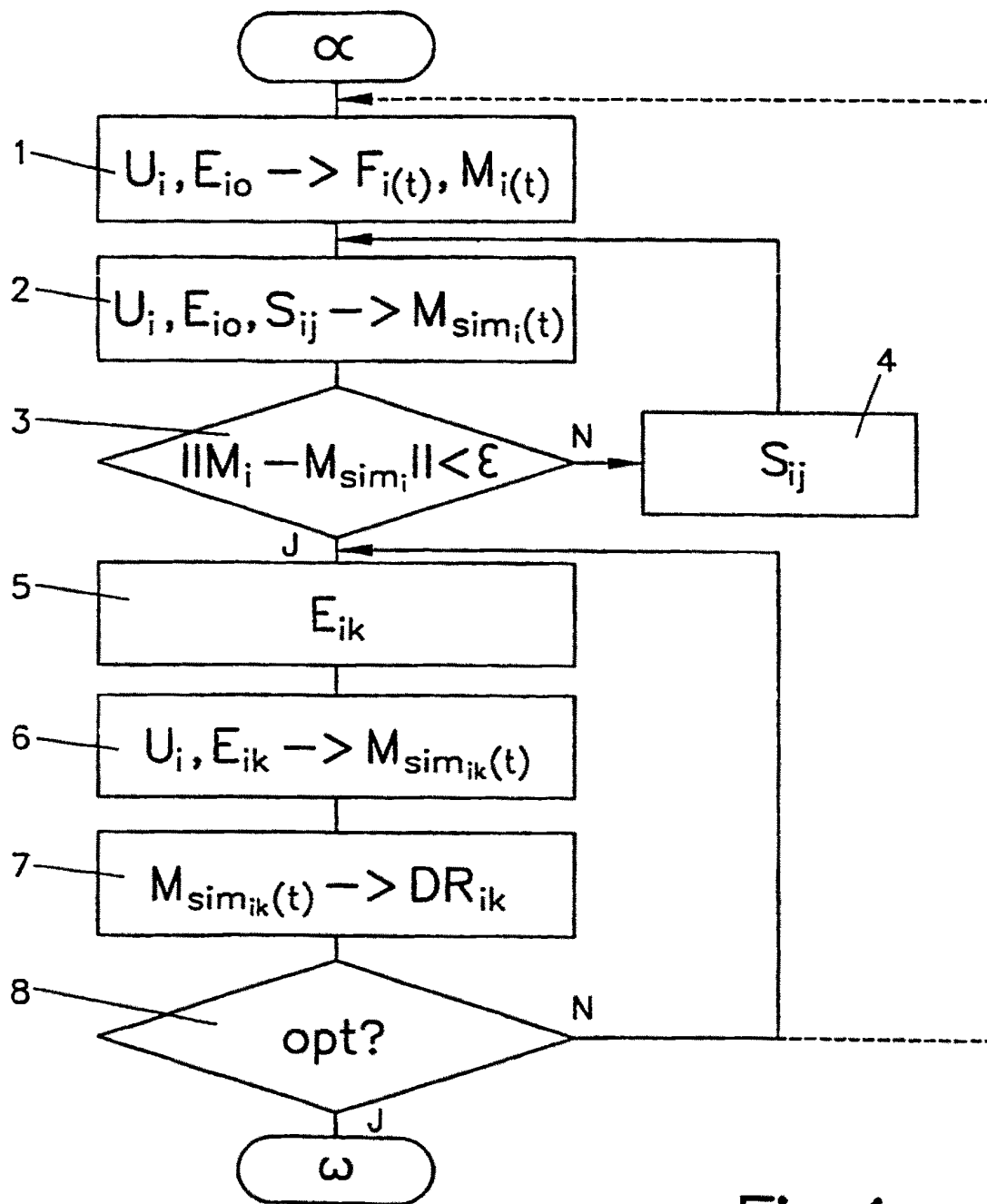


Fig.1

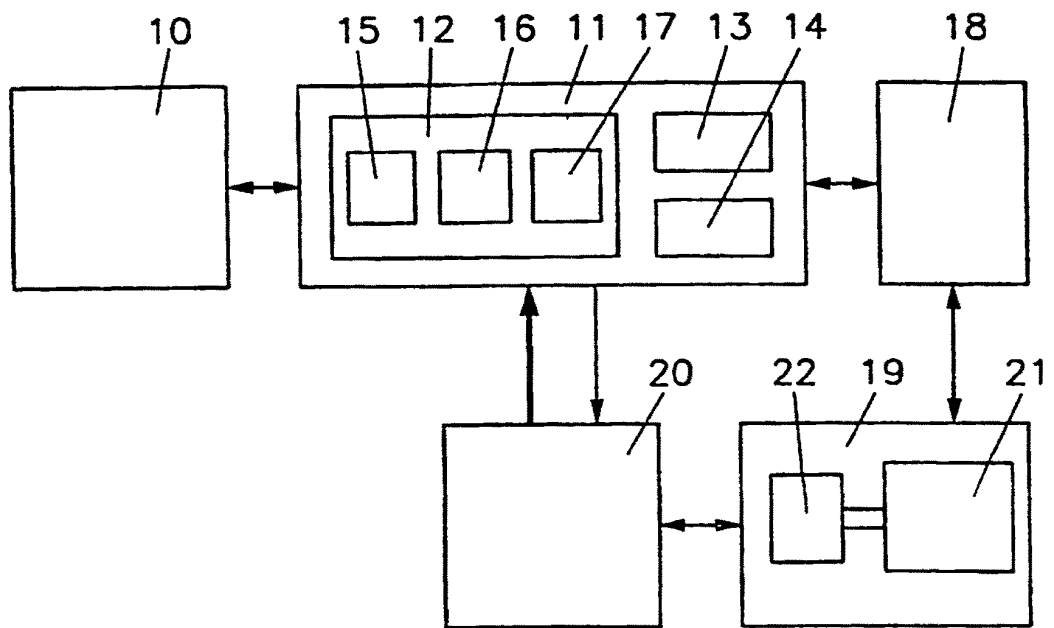


Fig.2

Fig. 3a

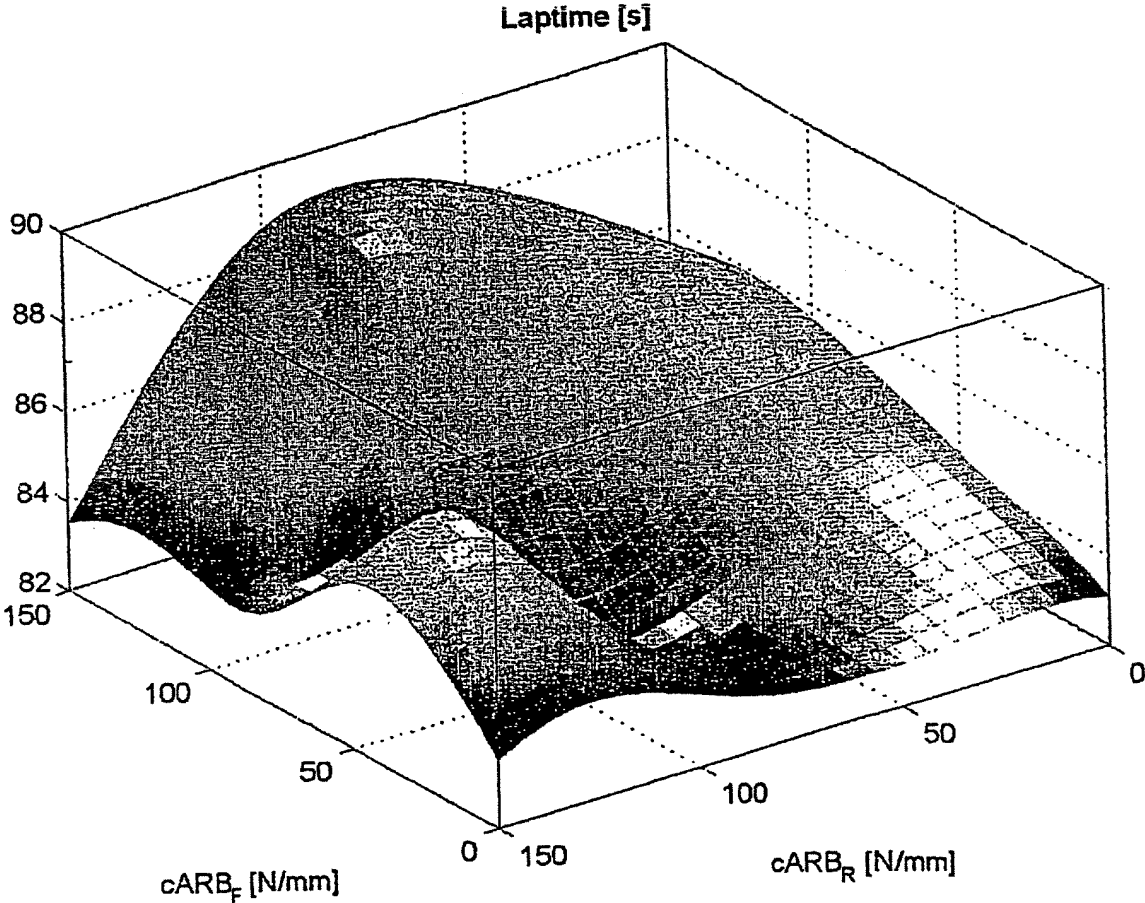


Fig. 3b

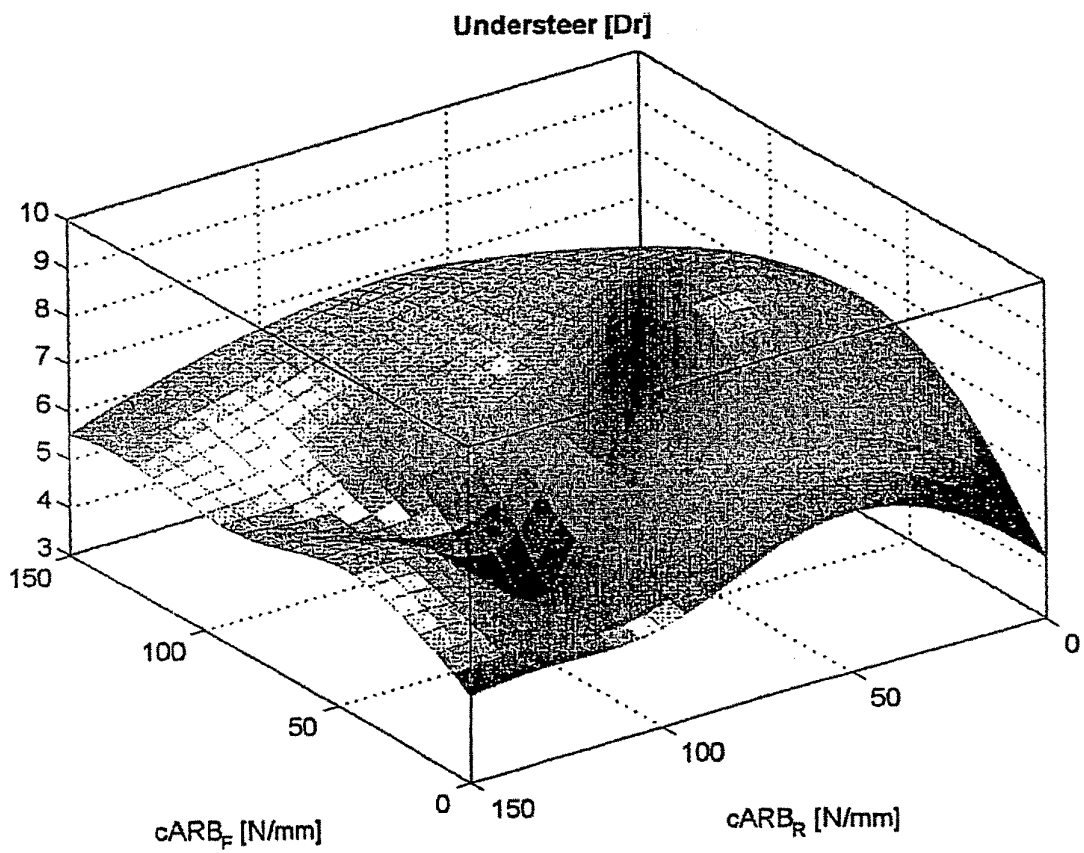


Fig. 3c

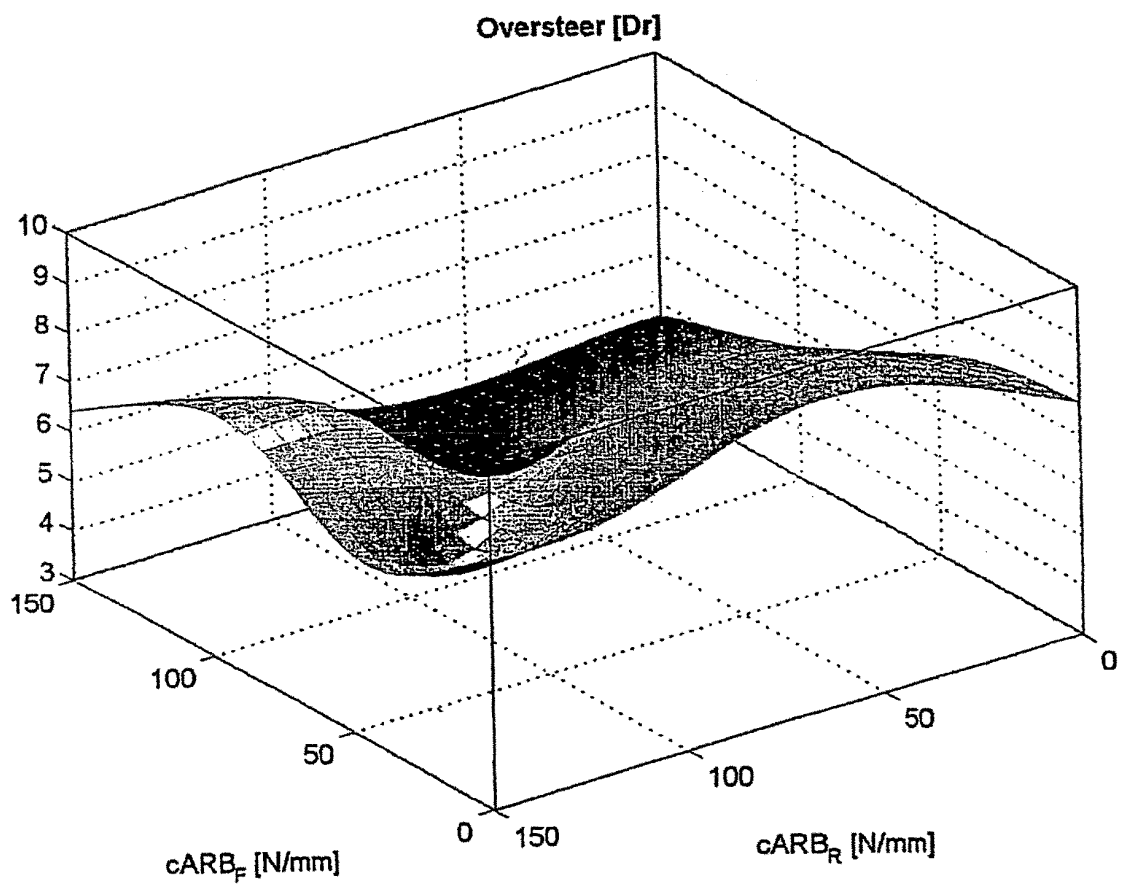


Fig. 4a

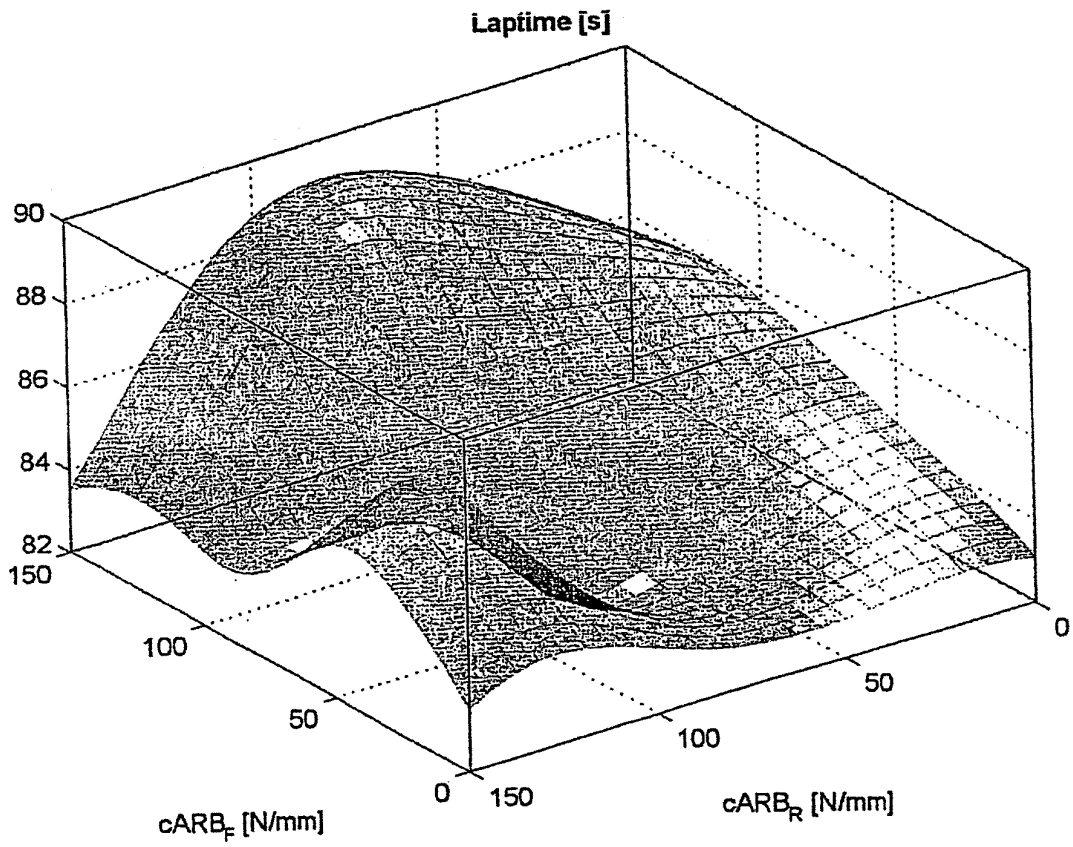


Fig. 4b

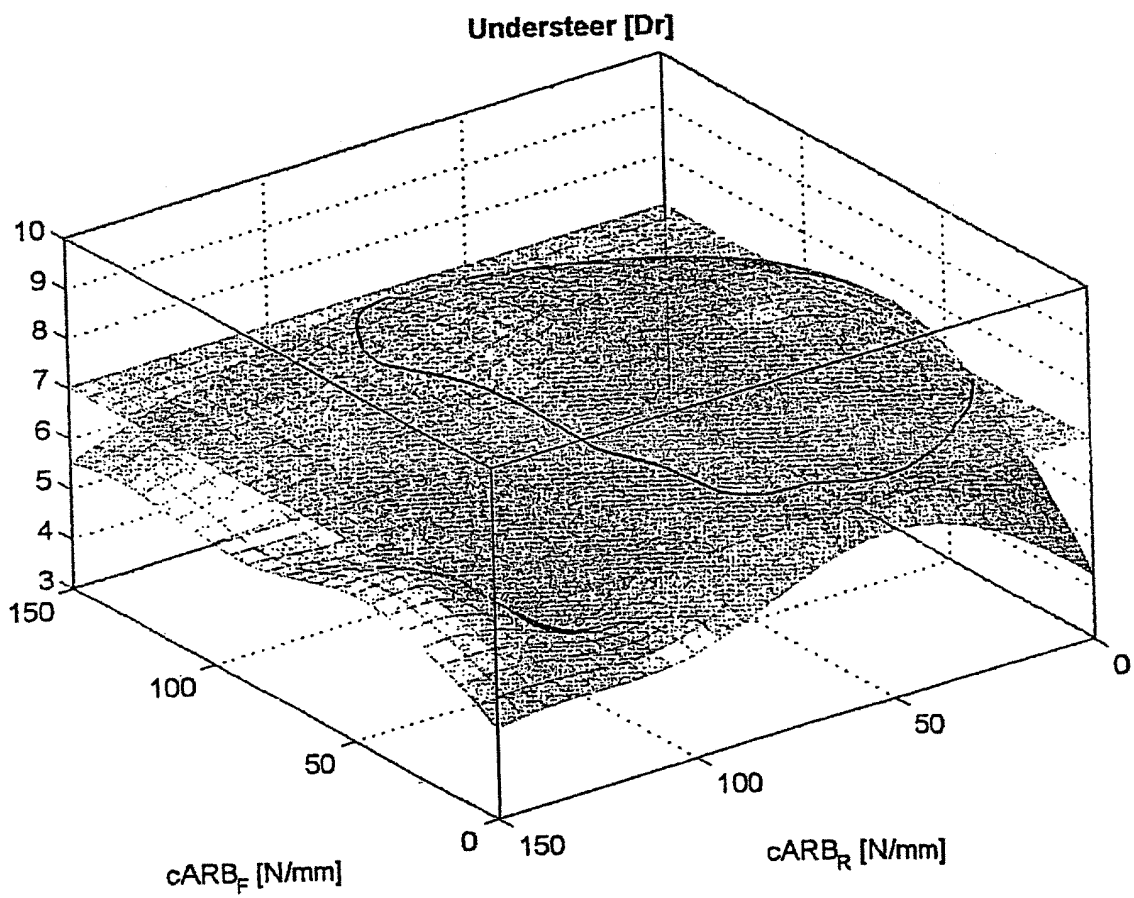


Fig. 4c

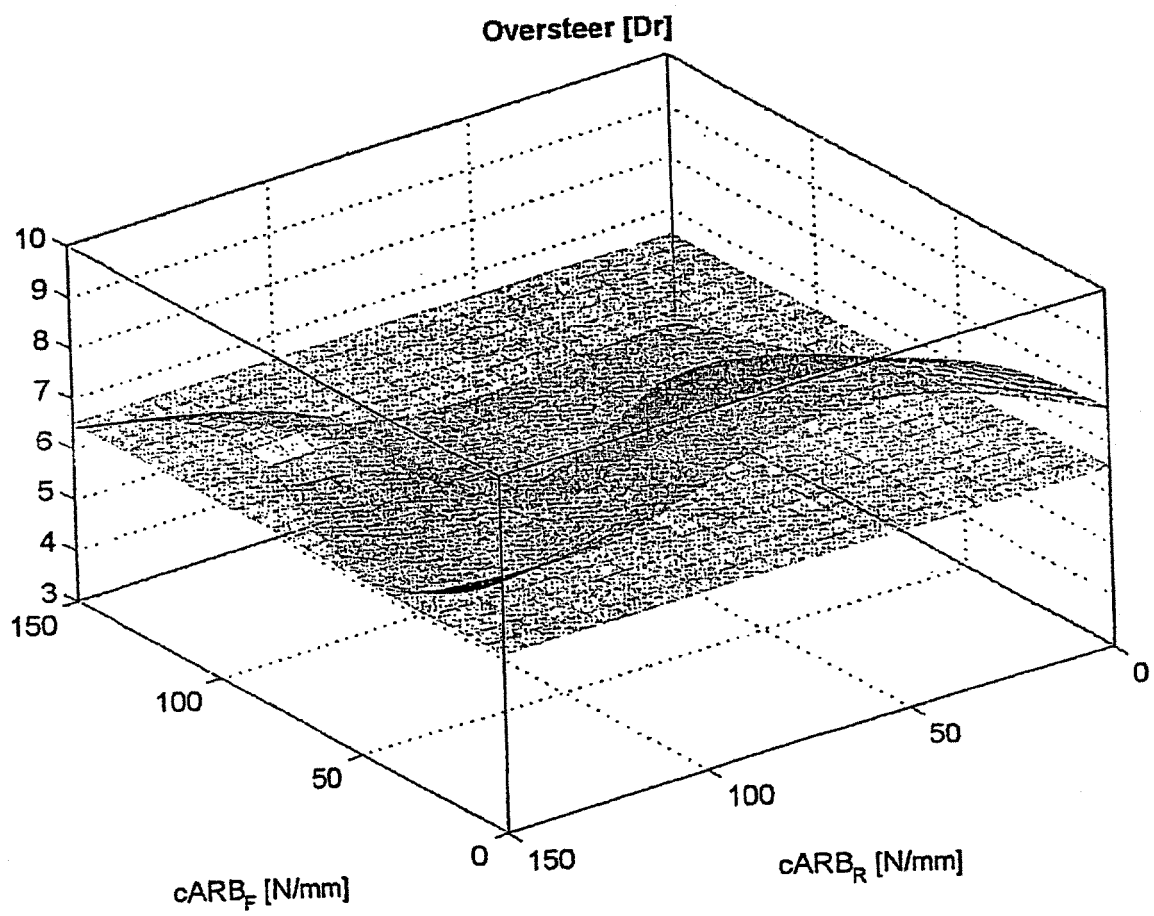


Fig. 5a

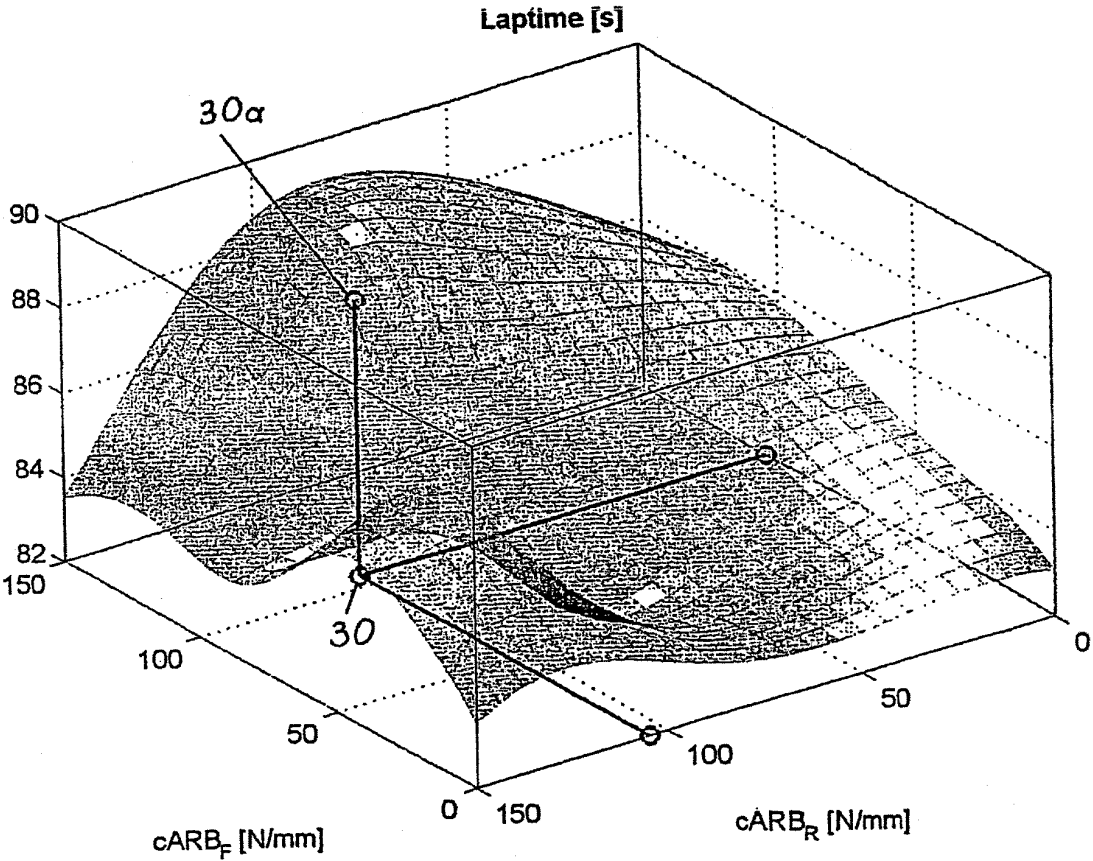


Fig. 5b

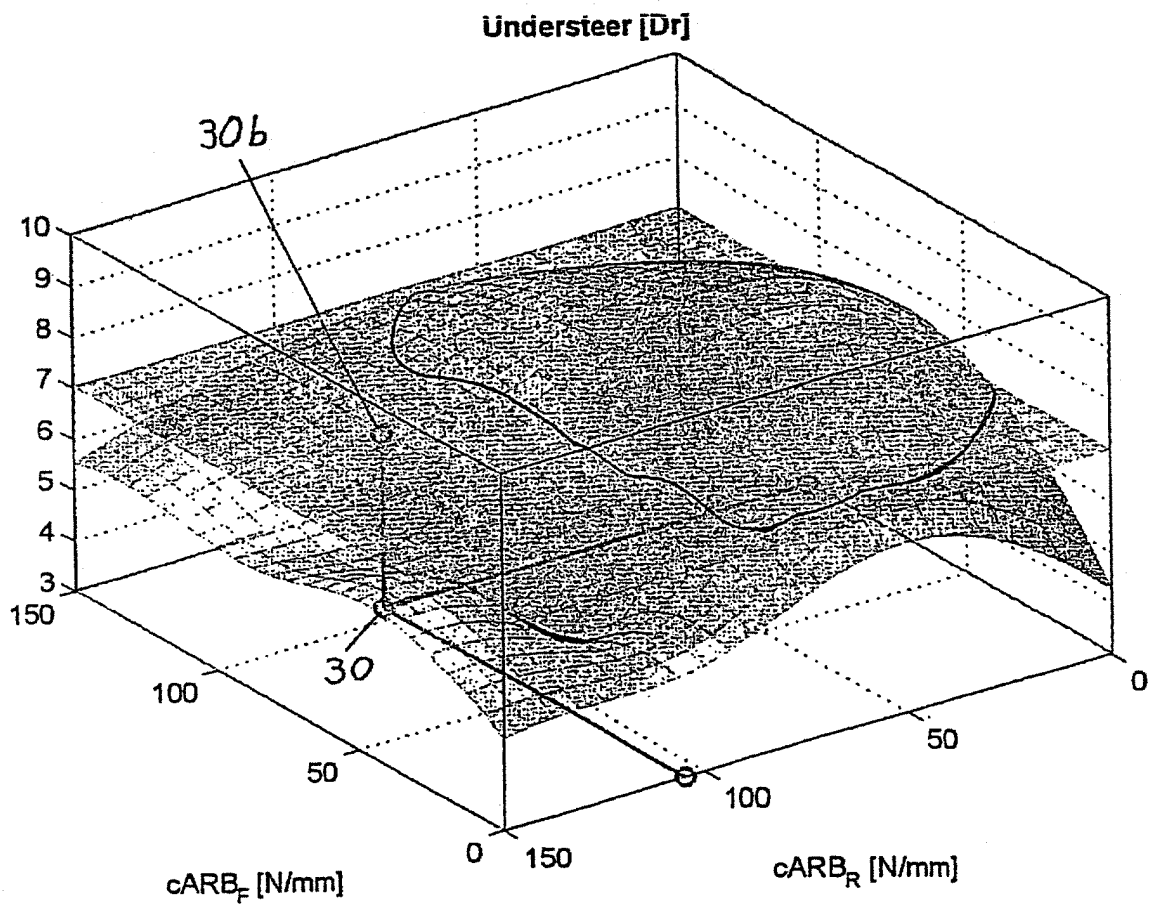


Fig. 5c

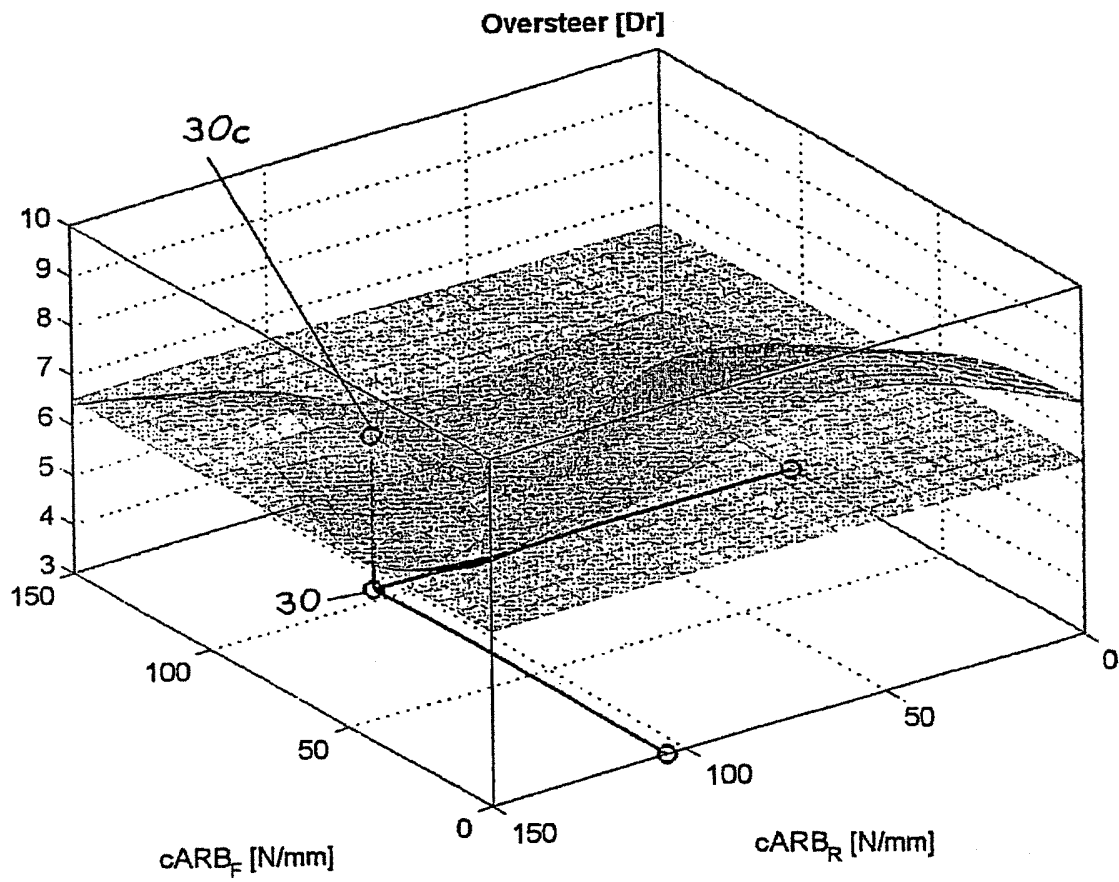


Fig. 6a

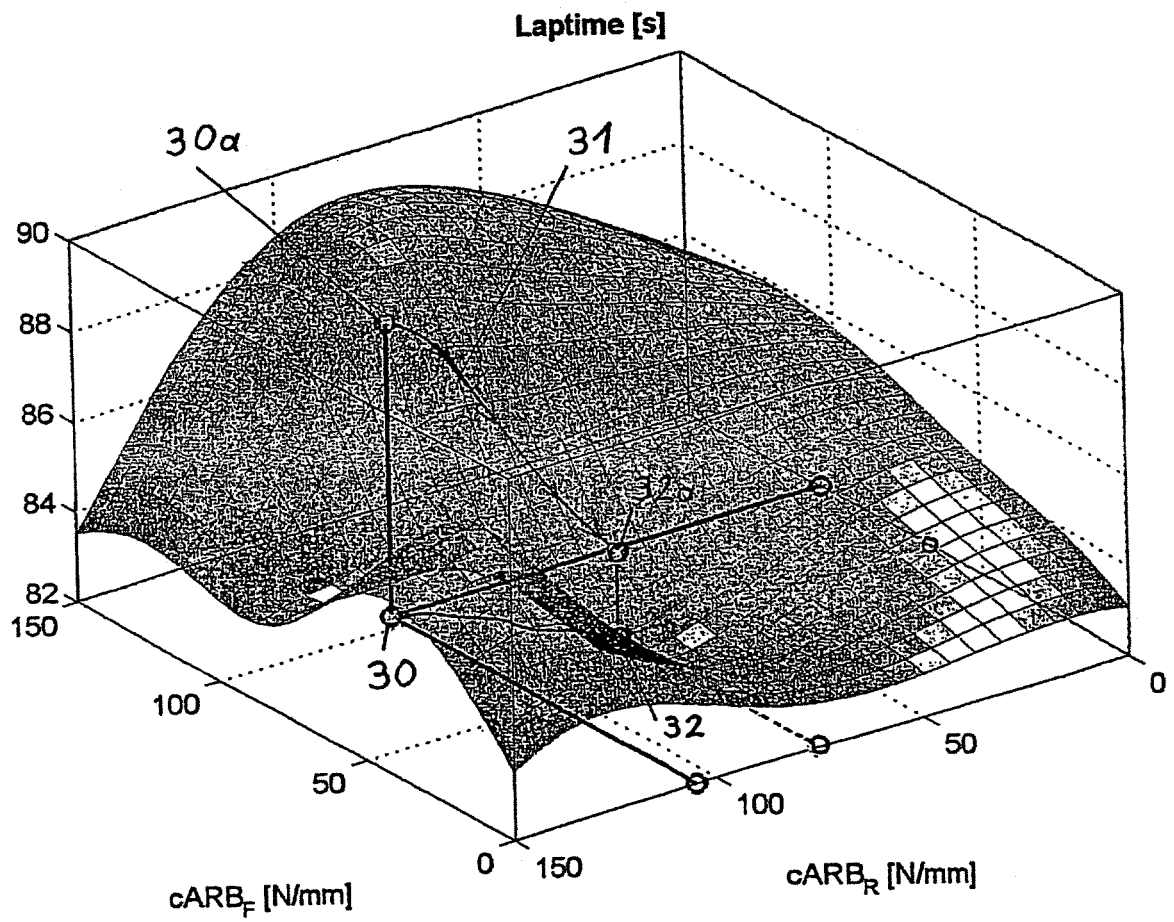


Fig. 6b

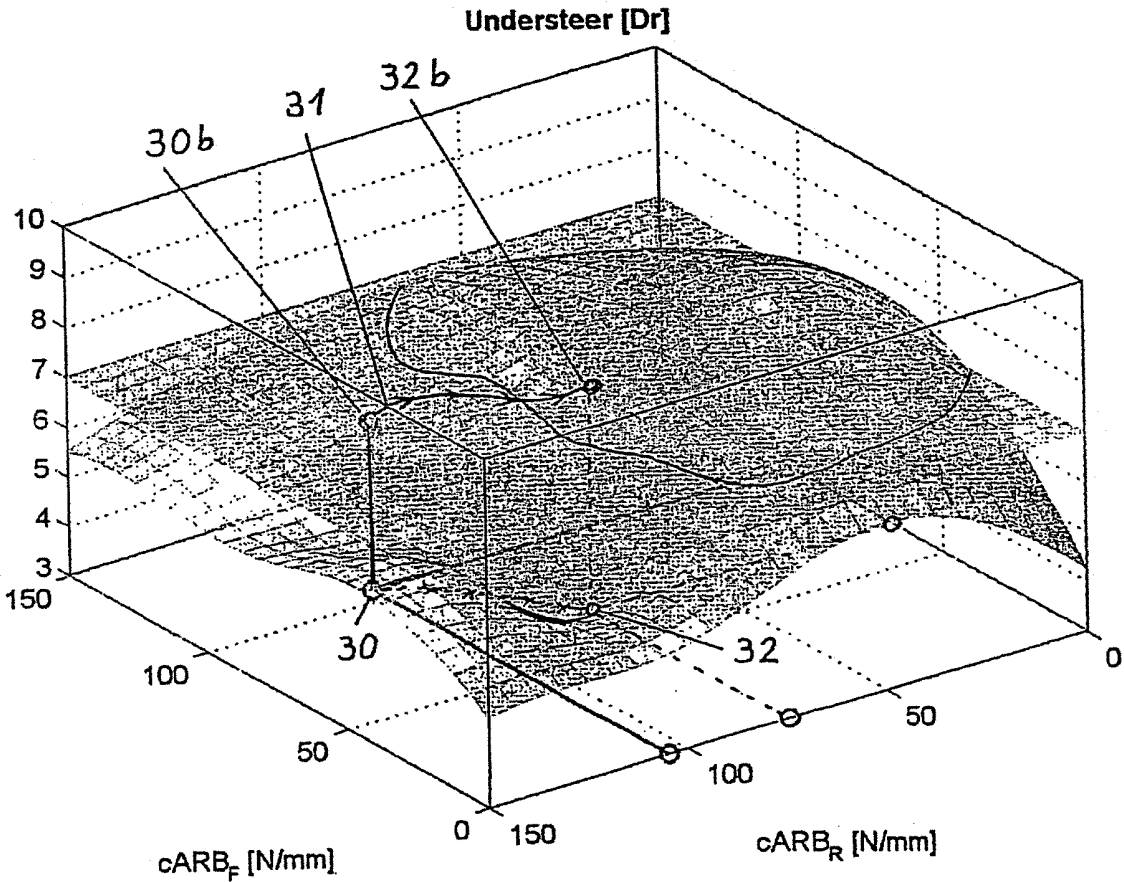


Fig. 6c

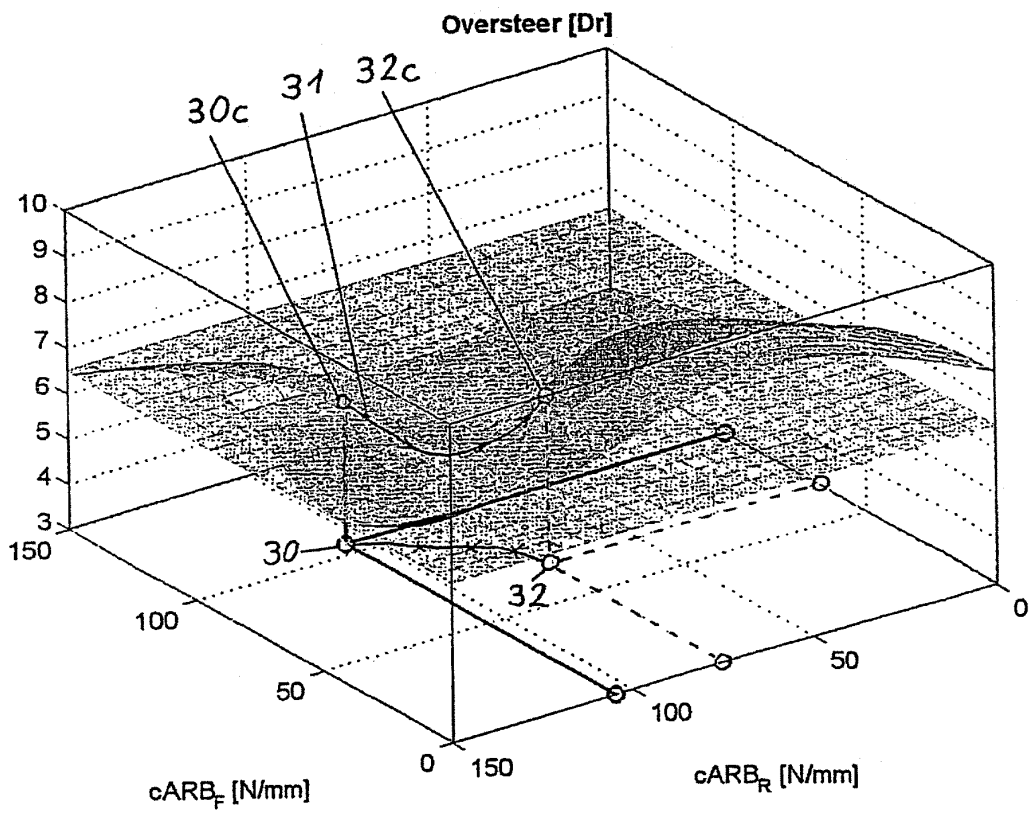


Fig. 7a

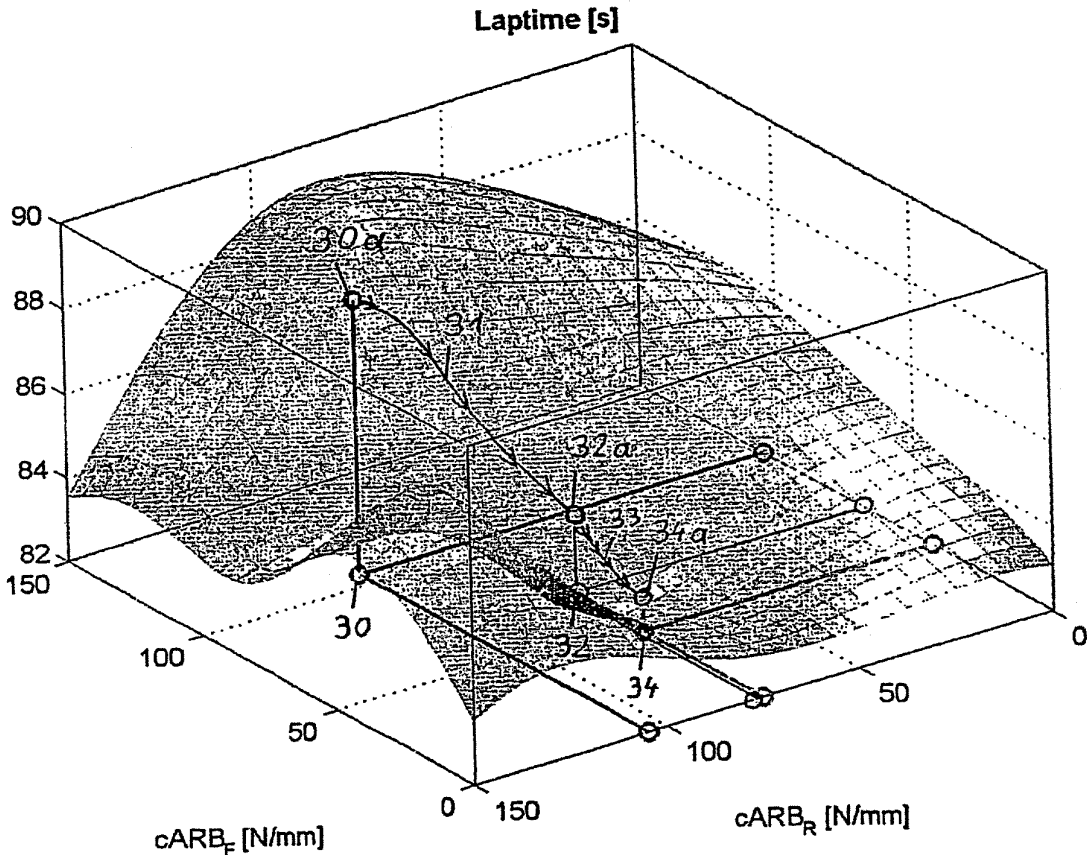


Fig. 7b

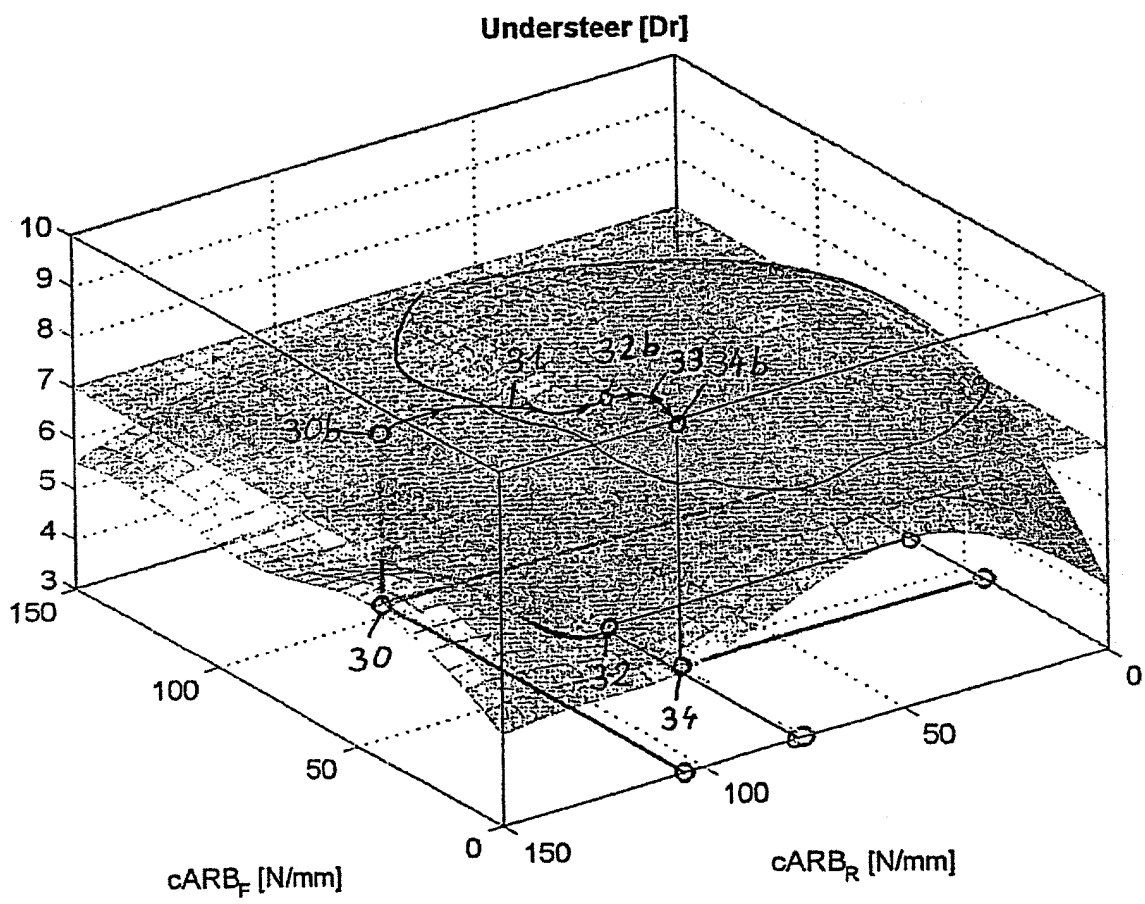


Fig. 7c

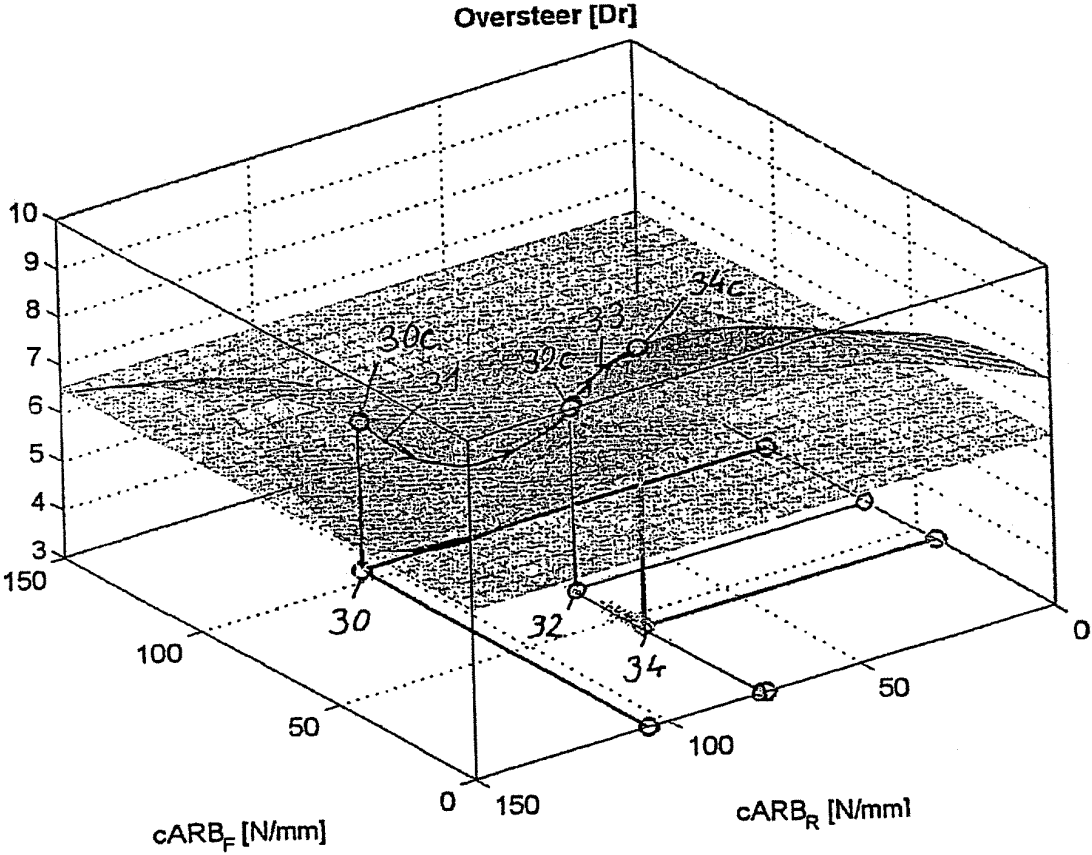


Fig. 8a

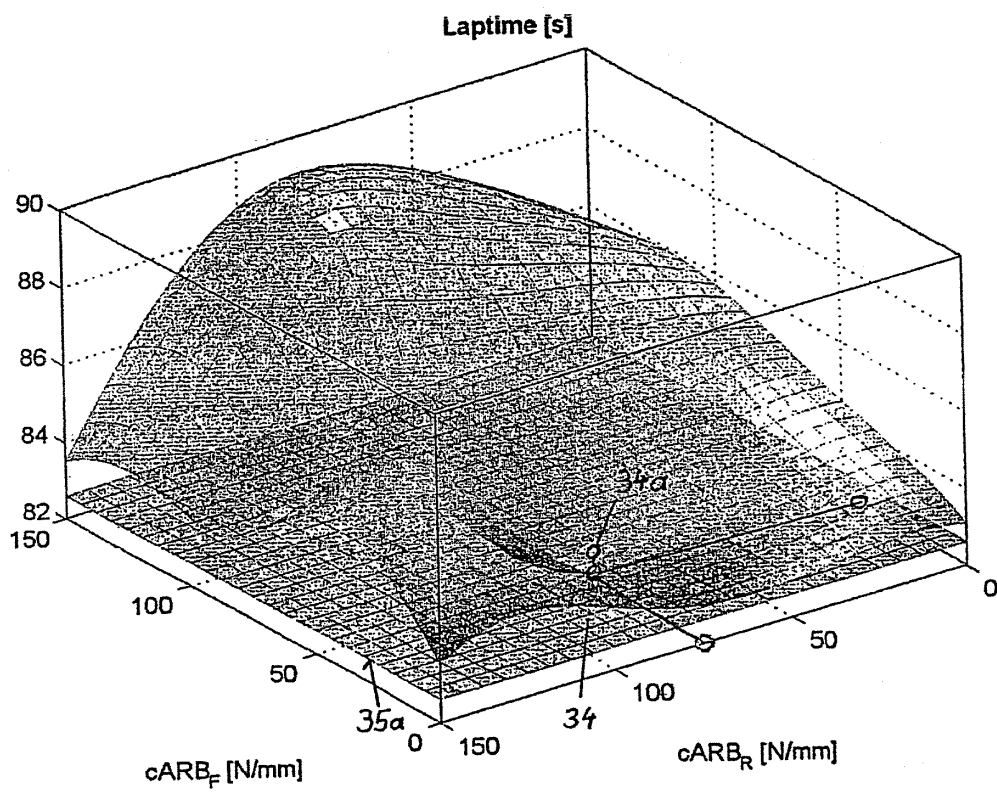


Fig. 8b

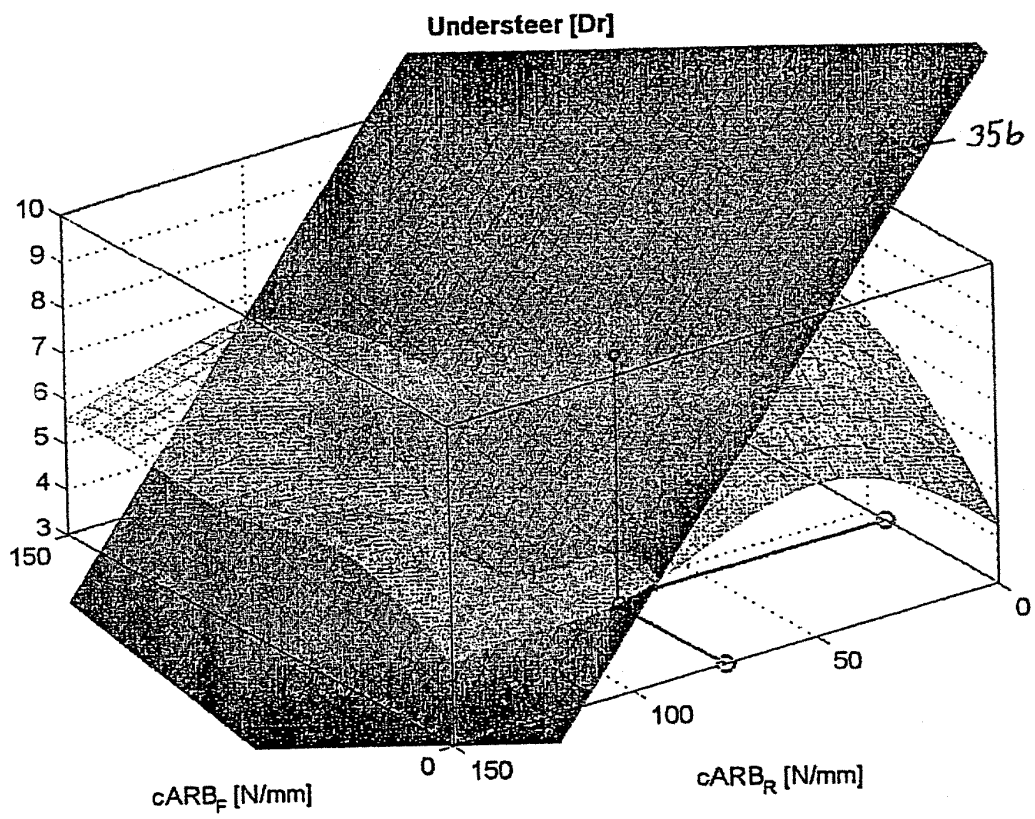


Fig. 8c

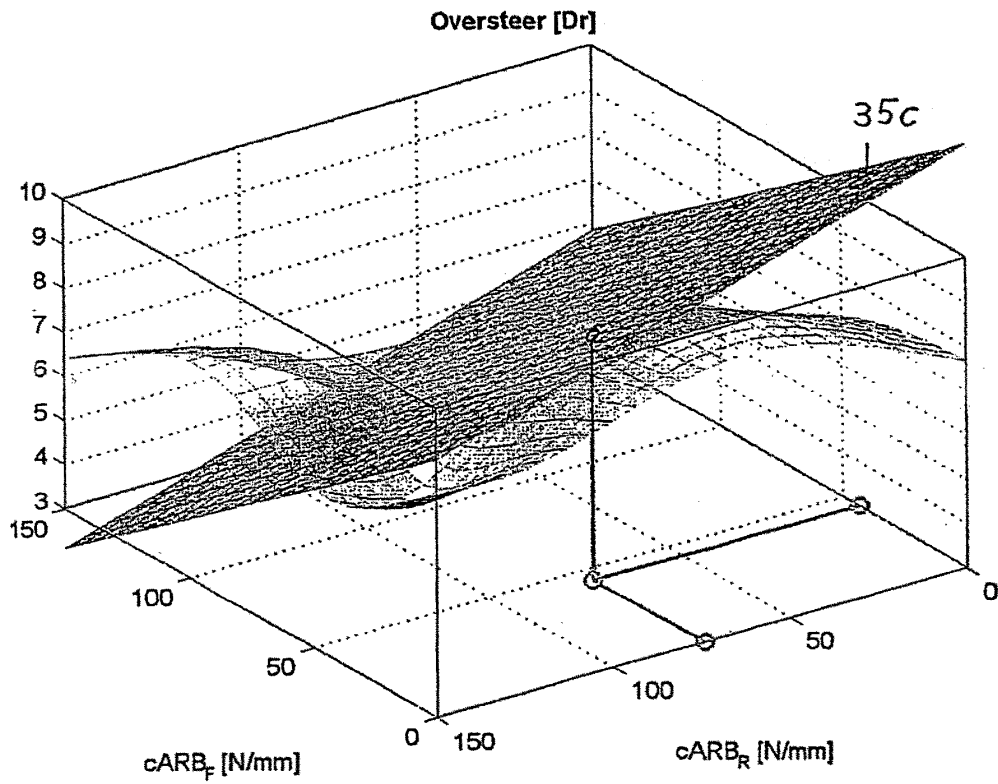


Fig. 9a

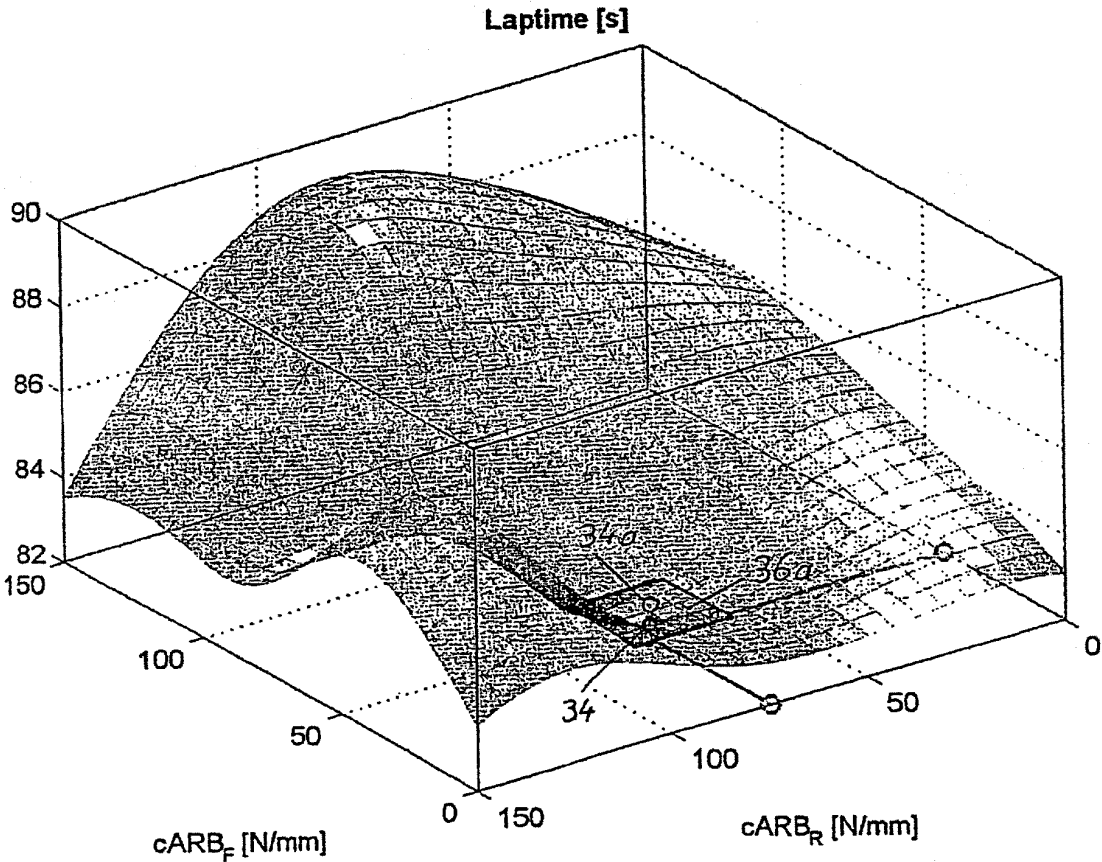


Fig. 9b

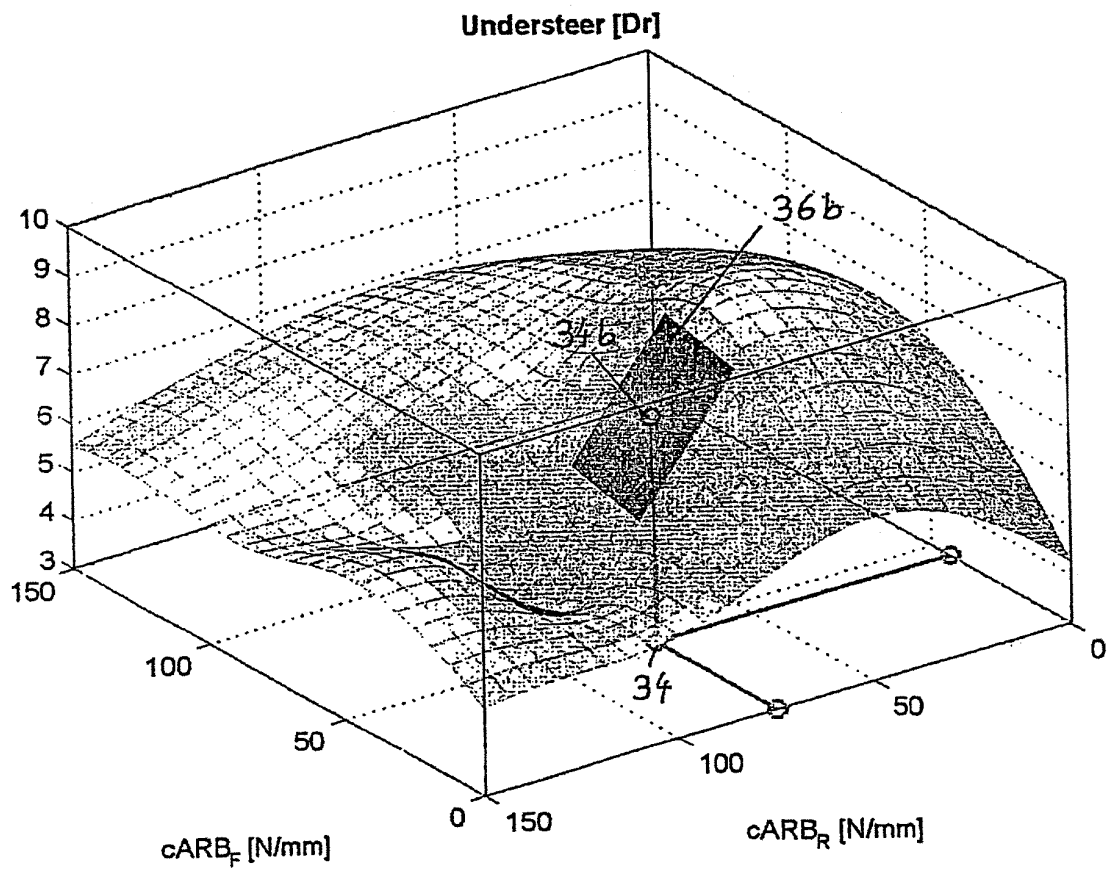


Fig. 9c

