

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 715 691**

51 Int. Cl.:

G01L 3/04 (2006.01)

G01M 17/10 (2006.01)

G01M 7/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **10.12.2015 PCT/EP2015/079239**

87 Fecha y número de publicación internacional: **04.08.2016 WO16119964**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **10.12.2015 E 15813305 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **05.12.2018 EP 3224590**

54 Título: **Procedimiento para la determinación de un momento de torsión**

30 Prioridad:

30.01.2015 DE 102015201673

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:

05.06.2019

73 Titular/es:

**SIEMENS MOBILITY GMBH (100.0%)
Otto-Hahn-Ring 6
81739 München, DE**

72 Inventor/es:

**BREUER, WERNER y
YU, MINYI**

74 Agente/Representante:

LOZANO GANDIA, José

ES 2 715 691 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 determinación de un momento de torsión

5 La invención se refiere a un procedimiento para la determinación de un momento de torsión según la reivindicación 1.

10 En el estado de la técnica se conoce medir el momento de torsión, que actúa sobre un bol del juego de ruedas durante un funcionamiento de prueba. No obstante, este modo de proceder requiere mucho tiempo. Además, se conoce determinar el momento de torsión, que actúa sobre un bol del juego de ruedas de un vehículo ferroviario, con una recta de Vogel cuando la velocidad de deslizamiento es relativamente pequeña. Con ayuda de las rectas de Vogel se calcula el momento de torsión en función de la rigidez del árbol, la velocidad de deslizamiento, el radio de la rueda y la frecuencia de traqueteo.

15 Por el documento WEBER, Franz-Josef: A la búsqueda del momento de torsión máximo de árboles de juego de ruedas, en ZEVrail, vol. 138, 2014, cuaderno especial de actas "42º Congreso de vehículos ferroviarios modernos de la Universidad Técnica de Graz, 7 a 10 de septiembre de 2014", pág. 176-180 (ISSN 1618-8330) se expone en el capítulo 5 con el título "El momento de torsión máximo", que la oscilación autoexcitada del juego de ruedas que resuena durante el funcionamiento en la rama descendente de la curva característica de adherencia no resuena de forma ilimitada, mejor dicho se ajusta una frecuencia límite estable. Su amplitud máxima está limitada por el balance de energía durante la frecuencia límite, en la que por un lado entra la curva característica de adherencia / deslizamiento no lineal, y sobre la que actúa por otro lado la amortiguación de la cadena cinemática, que se genera por la pérdida en los cojinetes de transmisión y eje. En una aproximación fuertemente simplificada, el momento de torsión máximo está limitado por la velocidad de deslizamiento en el punto de trabajo.

20 Por el documento WEBER, Franz-Josef: A la búsqueda del momento de torsión máximo de árboles de juego de ruedas, presentación con motivo del "42º Congreso de vehículos ferroviarios modernos de la Universidad Técnica de Graz, 7 a 10 de septiembre de 2014", se representa la oscilación de torsión de rueda mediante la ley de adherencia. Una amortiguación de la oscilación de torsión se realiza mediante la pendiente negativa de la característica de adherencia en el rango del deslizamiento macroscópico. El grado de la amortiguación depende de la inclinación de la pendiente negativa de la característica de adherencia en el punto de trabajo de deslizamiento. Con suficiente amortiguación se vuelve inestable la oscilación de torsión. En el diagrama de adherencia se ajuste una permutación cíclica límite. La amplitud máxima de la permutación cíclica se determina del balance de energía sobre una permutación cíclica límite.

30 Por el documento EP 2 913 241 A1 se conoce un procedimiento para el diseño de una unidad de accionamiento para un vehículo ferroviario. Para una etapa de construcción mecánica se define al menos un valor de sollicitación en función de las propiedades de adhesión reales del soporte de rueda, en donde las propiedades de adhesión tienen en cuenta un deslizamiento de la rueda sobre el carril, y en donde se tienen en cuenta los datos de funcionamiento de un vehículo ferroviario de referencia.

35 Por el documento EP 2 913 202 A1 se conoce otro procedimiento para el diseño de una unidad de accionamiento con un accionamiento y un soporte de ruedas, en función de las sollicitaciones se determina una conexión en arrastre de forma entre una rueda y un eje de rueda.

40 Por el documento DE 10 2012 206 606 B3 se conoce un procedimiento para el examen de las oscilaciones de torsión en los juegos de ruedas de vehículos ferroviarios. A este respecto se observa un juego de ruedas con un bol del juego de ruedas y dos ruedas, en donde las dos ruedas circulan sobre dos carriles. Además está previsto un primer elemento portante para el soporte de la primera rueda y un segundo elemento portante para el soporte de la segunda rueda. Además está prevista una base que soporta el primer elemento portante y el segundo elemento portante. Además está previsto un alojamiento mediante el que el primer elemento portante está montado de forma móvil en la dirección longitudinal, que se corresponde con la dirección de marcha de los pares de rueda puestas sobre los elementos portantes. Además está previsto un dispositivo de accionamiento, que está combinado con el primer elemento portante y está configurado para accionar un movimiento del primer elemento portante en la dirección longitudinal y excitar de este modo una oscilación mecánica del elemento portante en la dirección longitudinal. Además, el primer elemento portante está conectado con la base a través de un acoplamiento elástico, de modo que el acoplamiento elástico provoca una fuerza de recuperación, que conduce a un estado mecánico, durante el desvío del primer elemento portante en la dirección longitudinal respecto a una posición de reposo.

45 Franz-Josef et al: "Respuestas para infraestructuras y ciudades ... a la búsqueda del momento de torsión máximo de árboles de juego de ruedas", 10 de septiembre de 2014 (2014-09-10), XP055254493, encontrado en internet: URL:<http://www.schienefahrzeugtagung.at/download/pdf2014/DiV07-Weber.pdf> describe el desarrollo de adherencia en función del arrastre para un patinaje del juego de ruedas con indicación de las ecuaciones de

movimiento físicas. Además, se describe la adherencia para un traqueteo en los árboles de juego de ruedas en función del deslizamiento de rueda. Además, la oscilación de torsión se representa mediante un diagrama en la ley de adherencia como adherencia en función del deslizamiento. Además, los momentos de torsión dinámicos medidos se representan en el caso de variación del punto de trabajo de la velocidad de deslizamiento.

5

El objetivo de la invención consiste en mejorar el procedimiento para la determinación de un momento de torsión de un bol del juego de ruedas de un vehículo ferroviario.

10

El objetivo de la invención se consigue mediante el procedimiento según la reivindicación 1.

Otras formas de realización del procedimiento están especificadas en las reivindicaciones dependientes.

15

Una ventaja del procedimiento descrito consiste en que el momento de torsión, que actúa sobre el bol del juego de ruedas, se puede determinar más exactamente que al usar la recta de Vogel. A este respecto se usa un modelo para una oscilación de torsión del bol del juego de ruedas y una energía de amortiguación en un punto de trabajo de deslizamiento predeterminado. Con ayuda del modelo se calcula la energía de la oscilación de torsión y la energía de amortiguación, que actúa sobre la oscilación de torsión del bol del juego de ruedas en el punto de trabajo de deslizamiento. En función de la energía de la oscilación de torsión y la energía de amortiguación se determina el momento de torsión que actúa sobre el bol del juego de ruedas. Por consiguiente se puede prescindir de los costosos viajes de prueba. Además, el momento de torsión se determina de forma más precisa en comparación a la recta de Vogel.

20

25

En una forma de realización se usa un primer modelo para la energía de la oscilación de torsión del bol del juego de ruedas alrededor del punto de trabajo de deslizamiento. Además se usa un segundo modelo para la energía de amortiguación, en donde los dos modelos dependen de una amplitud del ángulo de oscilación de la oscilación de torsión del bol del juego de ruedas. Con ayuda del procedimiento de cálculo numérico se eleva de forma escalonada la amplitud en los dos modelos, hasta que los valores para la energía en un punto de intersección de los modelos tienen la misma magnitud. Mediante la amplitud del ángulo de oscilación se determina un momento de torsión teniendo en cuenta la rigidez a torsión del bol del juego de ruedas. Con este procedimiento se puede determinar en particular un momento de torsión máximo.

30

35

La determinación del momento de torsión se realiza para una aceleración positiva y/o una negativa del vehículo ferroviario. Por consiguiente para una aceleración del vehículo ferroviario, como también para un frenado del vehículo ferroviario se puede determinar un momento de torsión, en particular un momento de torsión máximo.

40

En otra realización se subdivide un modelo para la energía de la oscilación de torsión en al menos tres zonas. Las tres zonas se diferencian por un comportamiento diferente del coeficiente de fricción que aparece entre la rueda y el carril. Los coeficientes de fricción se describen en particular en función del deslizamiento de las ruedas. Mediante la subdivisión del modelo en tres zonas se puede conseguir una determinación más exacta del momento de torsión.

45

En otra forma de realización, para cada una de las al menos tres zonas del modelo se calcula la energía de la oscilación de torsión durante una oscilación de torsión alrededor del punto de trabajo de deslizamiento. Las tres fracciones de energía se adicionan formando una energía de la oscilación de torsión. De esta manera se describe más exactamente la energía durante una oscilación de torsión alrededor del punto de trabajo de deslizamiento.

50

En otra forma de realización, la energía de la oscilación de torsión se calcula en función de un rango de velocidad de marcha previsto del vehículo ferroviario. A este respecto se puede calcular en particular una energía máxima de la oscilación de torsión para la determinación de un par de fuerzas de torsión del bol del juego de ruedas. Por consiguiente se consigue una mejora adicional del procedimiento de cálculo.

55

En otra realización, la energía de la oscilación de torsión se calcula en función de un rango de velocidad angular predeterminado. A este respecto, en particular se calcula una energía máxima de la oscilación de torsión para la determinación de un par de fuerzas de torsión del bol del juego de ruedas. Por consiguiente se proporciona una mejora adicional de la determinación de par de fuerzas de torsión máximo.

60

Se posibilita una realización sencilla del procedimiento porque la oscilación de torsión se representa con ayuda de una oscilación sinusoidal o una oscilación tipo coseno. De esta manera se puede calcular de forma sencilla la energía de oscilación.

En otra forma de realización se describe un deslizamiento de una rueda durante una oscilación de torsión en función de una velocidad angular de la oscilación de torsión. De este modo se consigue una simplificación adicional del procedimiento de cálculo.

65

En otra forma de realización se usa el momento de torsión calculado, para dimensionar un árbol y/o una estructura de conexión entre el árbol y la rueda, de modo que el bol del juego de ruedas soporte el momento de torsión calculado sin deterioro.

En otra realización se usa el momento de torsión determinado, para verificar un bol del juego de ruedas en referencia al espesor del árbol y/o un parámetro de resistencia de la estructura de conexión, en el sentido de si el bol del juego de ruedas soporta el par de fuerzas de torsión sin deterioro.

5 Las propiedades, características y ventajas descritas anteriormente de esta invención, así como el modo y manera en cómo se consiguen se harán comprensibles de forma más clara y obvia en relación con la siguiente descripción de ejemplos de realización que se explican más en detalle en relación con las dibujos. Muestran

10 FIG. 1 una representación esquemática de un modelo para un oscilador de masa única,

FIG. 2 una representación de un diagrama para un coeficiente de fricción en función del deslizamiento o de la velocidad de giro de rueda,

15 FIG. 3 un diagrama con una representación esquemática de una oscilación de torsión alrededor de un punto de trabajo de deslizamiento,

FIG. 4 un diagrama con una representación esquemática de un desarrollo temporal de un ángulo de oscilación y una velocidad de oscilación durante una oscilación de torsión del bol del juego de ruedas alrededor del punto de trabajo de deslizamiento,

FIG. 5 una representación esquemática de un desarrollo de una energía de oscilación y una energía de absorción según un cálculo numérico, y

25 FIG. 6 una representación esquemática de un desarrollo de programa para la realización del procedimiento, y

FIG. 7 un dispositivo para la realización del procedimiento.

En un proceso de diseño para el dimensionamiento de los árboles de juego de ruedas o en un procedimiento de verificación para la verificación de los árboles de juego de ruedas es importante poder estimar de forma realista un orden de magnitud de posibles momentos de torsión de árbol dinámicos, provocados por las oscilaciones de la cadena cinemática, es decir, momentos de torsión que actúan sobre el bol del juego de ruedas de un vehículo ferroviario. En los vehículos ferroviarios se pueden producir oscilaciones de torsión autoexcitadas en el bol del juego de ruedas durante el accionamiento, es decir, en la aceleración o en el frenado bajo condiciones de adherencia desfavorables entre las ruedas del bol del juego de ruedas y los carriles sobre los que circulan las ruedas. A este respecto se trata de una forma de oscilación en la que las dos ruedas oscilan entre sí a contrafase con la frecuencia propia de torsión de la cadena cinemática. Debido a la pequeña amortiguación en el bol del juego de ruedas pueden aparecer a este respecto momentos de torsión elevados.

40 Esta oscilación también se calcula como oscilación de traqueteo o de rodadura. Se desamortigua la oscilación de torsión mediante la pendiente negativa de la característica de adherencia en el rango de deslizamiento macroscópico entre la rueda y el carril. El grado de la amortiguación depende de la inclinación de la pendiente negativa de la característica de adherencia en el punto de trabajo de deslizamiento. En el caso de una desamortiguación suficiente se vuelve más inestable la oscilación de torsión. En el diagrama de adherencia se ajusta una permutación cíclica límite. Junto a la energía de amortiguación se limita una amplitud máxima para deslizamientos pequeños mediante una rama estable de la característica de adherencia y para grandes deslizamientos adicionalmente o sólo mediante una característica de adherencia que se aplanan. La amplitud máxima de la oscilación de torsión de la permutación cíclica se determina a partir de un balance de energía respecto a la permutación cíclica límite.

50 Por la relación cinemática entre la amplitud de deslizamiento y de la oscilación en contrafase de las ruedas se deriva la descripción analítica del momento de torsión dinámico.

55 Por la relación cinemática entre la amplitud de deslizamiento y de la oscilación en contrafase de los discos de rueda se puede derivar la descripción analítica del momento de torsión dinámico, la recta de Vogel:

- por el punto de trabajo de deslizamiento se deduce $\Delta v_{\text{Traqueteo}} = s \cdot v$
- por la oscilación sinusoidal con frecuencia f y $\Delta v_{\text{Traqueteo}}$ se deduce un ángulo de torsión máximo $\Delta \alpha_{\text{Traqueteo}} = \Delta v_{\text{Traqueteo}} / (2 \pi r_0 f)$
- dado que la amortiguación del bol del juego de ruedas válida pequeña para el momento de torsión máximo $M_t = c \Delta \alpha_{\text{Rad,max}}$ c rigidez a torsión del árbol
- o la relación analítica (recta de Vogel) $M_t = C \Delta v_{\text{Traqueteo}} / (2 \pi r_0 f)$.

La relación definida por la recta de Vogel se usa habitualmente para la estimación de momentos de torsión dinámicos en el proceso de diseño.

60

El método analítico propuesto para la determinación del momento de torsión dinámico en los árboles de juego de
 5 ruedas usa la hipótesis de que el momento de torsión dinámico se puede derivar a partir de una permutación cíclica
 límite alrededor del punto de trabajo de deslizamiento o de velocidad de deslizamiento correspondiente. La
 amplitud máxima de la permutación cíclica se determina del balance de energía respecto a una permutación cíclica
 límite.

Correspondientemente el método analítico calcula para características de adherencia cualesquiera el balance
 sobre una oscilación de la energía elástica en el bol del juego de ruedas y de la energía que se forma por la fuerza
 10 y la velocidad de deslizamiento en el contacto de rueda / carril. Para ello son necesarias las siguientes etapas:
 FIG. 1 muestra en una representación esquemática un modelo para un sistema de oscilaciones del bol del juego
 de ruedas, en donde J es el momento de inercia de las ruedas, C_w la rigidez a torsión del árbol, d_w la amortiguación
 de torsión del bol del juego de ruedas. El momento de inercia, la rigidez a torsión y la amortiguación a torsión están
 15 previstos o se deducen de parámetros mecánicos inclusive de un parámetro de regulación de deslizamiento del
 vehículo ferroviario. El regulador de deslizamiento del vehículo ferroviario está configurado de manera que durante
 la aceleración o el frenado del vehículo ferroviario se realiza una regulación de la velocidad de deslizamiento de
 las ruedas alrededor de un punto de trabajo de deslizamiento predeterminado. De esta manera se fija el punto de
 trabajo de deslizamiento s_0 .

El ángulo de oscilación φ y la velocidad angular de oscilación $\dot{\varphi}$ del bol del juego de ruedas se pueden representar
 20 mediante funciones seno y coseno:

$$\varphi = A \cdot \sin(\Omega t), \quad \dot{\varphi} = A \cdot \Omega \cos(\Omega t), \quad (1)$$

en donde $\Omega = 2\pi f$, con f frecuencia de traqueteo, y A la amplitud del ángulo de oscilación φ .

La frecuencia de traqueteo f y por consiguiente la frecuencia angular Ω se calculan teóricamente o se determinan
 25 experimentalmente.

La FIG. 2 muestra un diagrama en el que el coeficiente de fricción μ está trazado respecto al deslizamiento s o la
 30 velocidad de giro de rueda ω de las ruedas. El comportamiento representado en la FIG. 2 del coeficiente de fricción
 está subdividido en tres zonas I, II, III para una representación más sencilla. En función del modelo usado también
 se pueden usar varias rectas, fijándose para más de tres zonas o menos de tres zonas para la aproximación del
 comportamiento del coeficiente de fricción.

En una primera zona I entre 0 y s_m el coeficiente de fricción μ presenta una primera relación de pendiente positiva
 35 $k_{\mu 1}$ ($d\mu/ds = k_{\mu 1}$). En una segunda zona II entre s_m y s_1 el coeficiente de fricción μ presenta una segunda relación
 de pendiente negativa $k_{\mu 2}$. En la zona para el deslizamiento mayor s_1 el coeficiente de fricción presenta una tercera
 relación de pendiente negativa $d\mu/ds = k_{\mu 3}$.

En el formato de fórmula el diagrama dice:

$$\mu(s) = \begin{cases} \mu_0 + k_{\mu 1} \cdot (s - s_m) + k_{\mu 2} \cdot (s_m - s_0), & 0 \leq s < s_m \\ \mu_0 + k_{\mu 2} \cdot (s - s_0), & s_m \leq s < s_1 \\ \mu_0 + k_{\mu 3} \cdot (s - s_1) + k_{\mu 2} \cdot (s_1 - s_0), & s_1 \leq s < \infty \end{cases} \quad (2)$$

en donde s_0 es el punto de trabajo de deslizamiento (\approx deslizamiento de consigna del regulador de deslizamiento)
 45 y μ_0 es el coeficiente de fricción en s_0 .

Con la definición de deslizamiento,

$$s = \frac{\omega_R \cdot R - v_0}{v_0}$$

50 se pueden recalculan las velocidad de giro de rueda en todas los vértices en la fig. 3.2:

$$\omega_m = \frac{(s_m + 1)v_0}{R}; \quad \omega_0 = \frac{(s_0 + 1)v_0}{R}; \quad \omega_1 = \frac{(s_1 + 1)v_0}{R} \quad (3)$$

55 En (3) v_0 es la velocidad de circulación, R el radio de la rueda y ω la velocidad de giro de rueda.

El deslizamiento dinámico y el par de fuerzas en la rueda se pueden describir en función de la velocidad de oscilación (de traqueteo).

- 5 Si un juego de ruedas traquetea, se oscila el deslizamiento (dinámico) alrededor del punto de trabajo s_0 . La oscilación de deslizamiento dinámica s se puede representar como función de la velocidad de oscilación $\dot{\varphi}$:

$$s(\dot{\varphi}) = \frac{(\omega_0 + \dot{\varphi}) \cdot R - v_0}{v_0} = s_0 + \frac{\dot{\varphi} \cdot R}{v_0} \quad (4)$$

- 10 Si ahora se observa la oscilación de traqueteo, el par de fuerzas dinámico, generado por la fuerza tangencial $F_x (= \mu \cdot Q$ con la fuerza vertical de rueda Q), en la rueda MRS se deduce de la ecuación (2):

$$M_{RS}(s) = Q \cdot R \cdot \begin{cases} k_{\mu 1} \cdot (s - s_m) + k_{\mu 2} \cdot (s_m - s_0), & 0 \leq s < s_m \\ k_{\mu 2} \cdot (s - s_0), & s_m \leq s < s_1 \\ k_{\mu 3} \cdot (s - s_1) + k_{\mu 2} \cdot (s_1 - s_0), & s_1 \leq s < \infty \end{cases} \quad (5)$$

- 15 Si se introduce la ecuación (4) en la ecuación (5), el par de fuerzas dinámico en la rueda se puede expresar igualmente en función de la velocidad de oscilación $\dot{\varphi}$:

$$M_{RS}(s, \dot{\varphi}) = Q \cdot R \cdot \begin{cases} k_{\mu 1} \cdot \frac{R \cdot \dot{\varphi}}{v_0} + (s_0 - s_m) \cdot (k_{\mu 1} - k_{\mu 2}), & 0 \leq s < s_m \\ k_{\mu 2} \cdot \frac{R \cdot \dot{\varphi}}{v_0}, & s_m \leq s < s_1 \\ k_{\mu 3} \cdot \frac{R \cdot \dot{\varphi}}{v_0} + (s_1 - s_0) \cdot (k_{\mu 2} - k_{\mu 3}), & s_1 \leq s < \infty \end{cases} \quad (6)$$

- 20 Los signos e instantes de la velocidad de oscilación se pueden describir en función del desarrollo de adherencia.

Mediante la reformulación de la ecuación (4) se puede representar la velocidad de oscilación $\dot{\varphi}$ en función del deslizamiento s :

$$\dot{\varphi} = \frac{(s - s_0) \cdot v_0}{R} \quad (7)$$

Con la representación (7) se puede determinar el signo del velocidad de oscilación en todos los rangos de deslizamiento del desarrollo de adherencia.

- 30 Mediante la FIG. 3 se representa los instantes en los que la oscilación de deslizamiento, partiendo del punto de trabajo de deslizamiento s_0 , entra en o abandona la primera, segunda y tercera zona. La FIG. 3 muestra en una representación esquemática el desarrollo del coeficiente de fricción μ respecto al deslizamiento s y una oscilación de torsión en una permutación cíclica límite como curva cerrada, que está representada a trazos. En el instante 0 t_0 , el bol del juego de ruedas se sitúa en el punto de trabajo de deslizamiento s_0 . Partiendo del instante 0 t_0 , durante la oscilación de torsión se modifica el deslizamiento en la dirección hacia valores más pequeños, en donde en el primer instante t_1 el deslizamiento alcanza el valor s_m . A continuación el deslizamiento se vuelve aún más pequeño en primer lugar hasta un valor mínimo, para luego aumentar de nuevo. En un segundo instante t_2 el deslizamiento alcanza de nuevo el valor s_m . Partiendo del segundo instante t_2 , el deslizamiento se aumenta aún más, en donde en un tercer instante t_3 el deslizamiento alcanza el valor s_1 . En el desarrollo posterior de la oscilación, el deslizamiento se aumenta aún más hasta un valor máximo para luego reducirse de nuevo. En un siguiente cuarto instante t_4 el deslizamiento alcanza de nuevo el valor s_1 . A continuación en un quinto instante t_5 se alcanza de nuevo el punto de trabajo de deslizamiento s_0 .

El rango de valores de la velocidad angular $\dot{\varphi}$ es negativo en la primera zona I, cambia en la segunda zona II de un valor negativo a un valor positivo, y en la tercera zona presenta un valor positivo.

	En la zona I	En la zona II	En la zona III
Rango de valor de $\dot{\varphi}$	$\frac{-s_0 v_0}{R} \leq \dot{\varphi} < \omega_m - \omega_0$	$\omega_m - \omega_0 \leq \dot{\varphi} < \omega_1 - \omega_0$	$\omega_1 - \omega_0 \leq \dot{\varphi} < \infty$
Signo de $\dot{\varphi}$	Negativo	De negativo a positivo	Positivo

5 La fig. 4 muestra en una representación esquemática el ángulo de oscilación φ y la velocidad de oscilación $\dot{\varphi}$. Para una oscilación alrededor del punto de trabajo de deslizamiento s_0 . El ángulo de oscilación φ se puede suponer como oscilación sinusoidal con la amplitud A y la frecuencia angular Ω . La velocidad angular de oscilación $\dot{\varphi}$ se puede suponer con la amplitud A multiplicada por la frecuencia angular multiplicada por un coseno con la frecuencia angular Ω .

10 Según la suposición para el ángulo de oscilación y la velocidad angular de oscilación se pueden calcular los instantes para el instante cero t_0 , el primer instante t_1 , el segundo instante t_2 , el tercer instante t_3 , el cuarto instante t_4 y el quinto instante t_5 según la siguiente tabla.

15 El desarrollo de la velocidad de oscilación en un ciclo de oscilación de traqueteo

Instante	t_0	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5
Tiempo	0	$\frac{1}{\Omega} \sin^{-1} \left(\frac{\omega_0 - \omega_m}{A\Omega} \right)$	$\frac{\pi}{\Omega} - t_1$	$\frac{\pi}{\Omega} + \frac{1}{\Omega} \sin^{-1} \left(\frac{\omega_1 - \omega_0}{A\Omega} \right)$	$\frac{3\pi}{\Omega} - t_3$	$\frac{2\pi}{\Omega}$

20 El balance de energía para una oscilación de torsión (oscilación de traqueteo) del bol del juego de ruedas para un ciclo de oscilación se puede calcular según el modelo usado con las tres zonas para el coeficiente de fricción μ con las siguientes fórmulas:

Balance de energía de la oscilación de traqueteo en un ciclo de oscilación

25 En un ciclo de oscilación se puede calcular la energía de oscilación de la oscilación de deslizamiento E_μ en todas las zonas del desarrollo de adherencia.

a) En la zona I

$$\begin{aligned}
 E_{\mu 1} &= Q \cdot R \cdot \int_{t_1}^{t_2} \left(k_{\mu 1} \cdot \frac{R \cdot \dot{\varphi}}{v_0} + c_1 \right) \cdot \dot{\varphi} \cdot dt \\
 &= A \cdot \Omega \cdot c_1 \cdot Q \cdot R \cdot \left[\sin(\Omega t) \right]_{t_1}^{t_2} + \frac{Q \cdot R^2 \cdot k_{\mu 1}}{v_0} A^2 \cdot \Omega^2 \left(\frac{t}{2} + \frac{1}{4\Omega} \sin(2\Omega t) \right) \Big|_{t_1}^{t_2} \\
 \text{mit} \quad c_1 &= (s_0 - s_m) \cdot (k_{\mu 1} - k_{\mu 2}) \tag{8}
 \end{aligned}$$

30

b) En la zona II

$$\begin{aligned}
 E_{\mu 2} &= Q \cdot R \cdot \int_{t_0, t_2, t_4}^{t_1, t_3, t_5} \left(k_{\mu 2} \cdot \frac{R \cdot \dot{\varphi}}{v_0} \right) \cdot \dot{\varphi} \cdot dt \\
 &= \frac{Q \cdot R^2 \cdot k_{\mu 2}}{v_0} A^2 \cdot \Omega^2 \left(\frac{t}{2} + \frac{1}{4\Omega} \sin(2\Omega t) \right) \Big|_{t_0, t_2, t_4}^{t_1, t_3, t_5} \tag{9}
 \end{aligned}$$

35

c) En la zona III

$$\begin{aligned}
 E_{\mu 3} &= Q \cdot R \cdot \int_{t_3}^{t_4} \left(k_{\mu 3} \cdot \frac{R \cdot \dot{\phi}}{v_0} + d_1 \right) \cdot \dot{\phi} \cdot dt \\
 &= A \cdot \Omega \cdot d_1 \cdot Q \cdot R \cdot \left[\sin(\Omega t) \right]_{t_3}^{t_4} + \frac{Q \cdot R^2 \cdot k_{\mu 3}}{v_0} A^2 \cdot \Omega^2 \left(\frac{t}{2} + \frac{1}{4\Omega} \sin(2\Omega t) \right) \Big|_{t_3}^{t_4} \\
 \text{mit } d_1 &= (s_1 - s_0) \cdot (k_{\mu 2} - k_{\mu 3})
 \end{aligned} \tag{10}$$

De ello se deduce la suma de la energía de oscilación mediante la oscilación de deslizamiento

$$E_{\mu} = E_{\mu 1} + E_{\mu 2} + E_{\mu 3} \tag{11}$$

La energía de oscilación absorbida mediante la amortiguación resultante que se puede calcular fácilmente:

$$E_{RS} = d_w \cdot A^2 \cdot \pi \cdot \Omega \tag{12}$$

La fracción de energía E_{μ} y E_{RS} en función de la amplitud del ángulo de oscilación se pueden calcular finalmente con las ecuaciones (8) a (12).

Mediante un procedimiento numérico, gracias a una igualación de la fórmula (11) con la fórmula (12) se puede calcular un valor máximo para el momento de torsión durante una oscilación de traqueteo alrededor del punto de trabajo de deslizamiento S_0 . Por ejemplo, mediante un aumento escalonado de la amplitud A se puede aumentar la suma de la energía de oscilación y la energía de oscilación absorbida hasta que la suma de la energía de oscilación según la fórmula (11) y la energía absorbida según la fórmula (12) presentan los mismos valores.

La FIG. 5 muestra un ejemplo para un cálculo numérico correspondiente. A este respecto, partiendo de una amplitud A del ángulo de oscilación con el valor 0 para la oscilación angular alrededor del punto de trabajo de deslizamiento durante una oscilación de traqueteo tanto para la suma de la energía de oscilación E_{μ} como también para la energía de amortiguación absorbida E_{RS} se ha elevado numéricamente de forma escalonada el valor de la amplitud A del ángulo de oscilación, hasta que con una amplitud A de 1,95 para el ángulo de oscilación la suma de la energía de oscilación y la energía de amortiguación absorbida tienen las dos energías la misma magnitud. La amplitud A del ángulo de oscilación puede comenzar p. ej. con un ángulo de 0,5 μrad y el valor de la amplitud A se puede elevar a pasos de 0,1 μrad .

Además se puede reconocer una concordancia de la suma de la energía de oscilación y la energía de oscilación absorbida cuando la suma de la energía de oscilación y la energía de oscilación absorbida se diferencian en menos del 5%, en particular menos del 2%.

Por consiguiente en este punto de intersección está presente el valor del ángulo de oscilación máximo.

En función del ángulo de oscilación máximo o en función de la amplitud máxima A_{max} del ángulo de oscilación se puede calcular según la siguiente fórmula un momento de torsión máximo M_{max} para la oscilación de traqueteo alrededor del punto de trabajo de deslizamiento:

$M_{\text{max}} = A_{\text{max}} \cdot c_w$, en donde con A_{max} está designada la amplitud máxima en el punto de intersección y con c_w la resistencia a torsión del bol del juego de ruedas.

La FIG. 6 muestra en una representación esquemática un desarrollo de programa para la realización del procedimiento descrito. En un punto de comienzo de programa 100, la unidad de cálculo lee la frecuencia de traqueteo f , la resistencia a torsión c_w , la amortiguación de torsión d_w , los valores para el coeficiente de fricción para al menos una, en particular para tres zonas distintas en función del deslizamiento s o de la velocidad de giro de rueda ω , el radio R de una rueda del bol del juego de ruedas, la velocidad de marcha v_0 y un valor inicial para la amplitud A del ángulo de oscilación de una memoria.

En un punto de programa siguiente 110 se calcula mediante las fórmulas descritas 8-11 para la suma de la energía de la energía de oscilación de deslizamiento $E_{\mu} = E_{\mu 1} + E_{\mu 2} + E_{\mu 3}$ para un valor inicial de una amplitud a del ángulo de oscilación. A continuación en el punto de programa 120 se calcula la energía de oscilación mediante la amortiguación resultante de la fórmula (12): $E_{RS} = d_w \cdot A^2 \cdot \pi \cdot \Omega$. A este respecto se usa igualmente el valor inicial para la amplitud A del ángulo de oscilación.

A continuación en el punto de programa 130 se comparan entre sí el valor para la suma de la energía de oscilación E_{μ} y el valor para la energía de amortiguación absorbida E_{RS} . Si la suma de la energía de oscilación y la energía de amortiguación absorbida son de igual valor, entonces se bifurca al punto de programa 140.

5 Si el resultado de la comparación en el punto de programa 130 arroja que la suma de la energía de oscilación de deslizamiento E_{μ} es mayor que la energía de amortiguación absorbida E_{RS} , entonces se bifurca al punto de programa 150. En el punto de programa 150 se eleva el valor para la amplitud A del ángulo de oscilación en un valor predeterminado. A continuación se bifurca de vuelta al punto de programa 110.

10 Las etapas de programa 110, 120 y 130, así como 150 se realizan hasta que la suma de la energía de oscilación y la energía de amortiguación absorbida son de igual tamaño y en el punto de programa 140 mediante la amplitud máxima A_{max} en cuestión del ángulo de oscilación se calcula un momento de traqueteo máximo M_{max} con la fórmula siguiente:

$M_{max} = A_{max} \cdot c_W$. A_{max} se corresponde con la amplitud del ángulo de oscilación, con el que la suma de la energía de oscilación y la energía de oscilación absorbida son de igual magnitud.

15 A continuación en función de la forma de realización seleccionada se puede ramificar al final al punto de programa 180.

20 En otra forma de realización, después del punto de programa 140 se puede ejecutar opcionalmente otro punto de programa 160. En el punto de programa 160, mediante el momento de traqueteo máximo calculado en el punto de programa 140 se dimensiona un bol del juego de ruedas a diseñar nuevamente, de manera que el árbol y/o la estructura de conexión entre el árbol y la rueda están proporcionados de modo que el bol del juego de ruedas soporta el momento de traqueteo máximo calculado sin un deterioro. A continuación en función de la forma de realización seleccionada se puede ramificar al final al punto de programa 180.

25 En otra realización, en lugar o adicionalmente al punto de programa 160 se puede ejecutar opcionalmente otro punto de programa 170. El otro punto de programa 170 consiste en que mediante los valores predeterminados para un bol del juego de ruedas, por ejemplo, el espesor del árbol, el material del árbol, el tipo de la estructura de conexión, en particular al menos mediante un parámetro de resistencia de la estructura de conexión, se verifica si un bol del juego de ruedas predeterminado soporta el momento de torsión máximo calculado sin deteriorarse. Para ello están fijados los valores límite correspondientes. Por ejemplo, se parte de que el bol del juego de ruedas soporta el momento de torsión máximo calculado sin deterioro cuando el bol del juego de ruedas está dimensionado de modo que el bol del juego de ruedas aguanta al menos el 120% del momento de torsión máximo sin deterioro.

35 Los valores para el bol del juego de ruedas, que son requeridos para la verificación, se detectan mediante un bol del juego de ruedas predeterminado o se verifican mediante valores almacenados. A este respecto, por ejemplo, el espesor del árbol, el material del árbol, o mediante un parámetro de resistencia una estructura de conexión entre el árbol y la rueda, se verifica si el bol del juego de ruedas es apropiado para soportar el momento de torsión calculado sin deterioro. Para ello están fijados los valores límite correspondientes. Por ejemplo, se parte de que el bol del juego de ruedas soporta el momento de torsión máximo calculado sin deterioro cuando el bol del juego de ruedas está dimensionado de modo que el bol del juego de ruedas aguanta al menos el 120% del momento de torsión máximo sin deterioro.

45 La FIG. 7 muestra en una representación esquemática un dispositivo para la realización del procedimiento según la reivindicación 6. El dispositivo presenta una unidad de cálculo 200, que está conectada con una memoria 210. Además, la unidad de cálculo 200 también puede presentar una unidad sensora 220, con la que se puede detectar el espesor de un árbol 1 de un bol del juego de ruedas 2 y/o un parámetro de resistencia de una estructura de conexión entre el árbol 1 y una rueda 4 del bol del juego de ruedas 2 de un vehículo ferroviario 5. El bol del juego de ruedas 2 rueda con cada vez una rueda 4 sobre un carril 6. Además, la unidad de cálculo 200 puede presentar una unidad de emisión 230, con la que se muestra un resultado de las etapas del procedimiento de los puntos de programa 140, 160 o 170. Además, la indicación 230 puede estar configurada para representar un diagrama según la FIG. 5, en el que se muestran el desarrollo de la suma de la energía de oscilación E_{μ} y el desarrollo de la energía de oscilación absorbida E_{RS} según los puntos de programa 110 y 120.

55 Aunque la invención se ha ilustrado y descrito más en detalle mediante el ejemplo de realización preferido, así la invención no está limitada por los ejemplos dados a conocer y se pueden derivar otras variaciones por parte del especialista sin abandonar el alcance de protección de la invención.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para la determinación de un momento de torsión de un bol del juego de ruedas de un vehículo ferroviario durante el funcionamiento del vehículo ferroviario, en donde el bol del juego de ruedas presenta un árbol y dos ruedas fijadas en los extremos del árbol, en donde las ruedas están previstas para la rodadura sobre dos carriles, en donde con la ayuda de un modelo se calcula el momento de torsión que actúa sobre el bol del juego de ruedas, en donde el modelo parte de una oscilación de torsión del bol del juego de ruedas en un punto de trabajo de deslizamiento predeterminado, en donde el momento de torsión que actúa sobre el bol del juego de ruedas se determina mediante una energía de la oscilación de torsión del bol del juego de ruedas alrededor del punto de trabajo de deslizamiento y mediante la energía de amortiguación, que actúa sobre el bol del juego de ruedas durante la oscilación de torsión.
2. Procedimiento según la reivindicación 1, en donde se usa un modelo para la energía de la oscilación de torsión del bol del juego de ruedas alrededor del punto de trabajo de deslizamiento, en donde se usa un modelo para la energía de amortiguación, en donde los dos modelos dependen de una amplitud del ángulo de oscilación de la oscilación de torsión, en donde la amplitud del ángulo de oscilación se eleva partiendo de un valor inicial para los dos modelos hasta que los dos modelos presentan un valor de igual tamaño para la energía en un punto de intersección, y en donde mediante la amplitud de la oscilación de torsión en el punto de intersección y en función de la rigidez a torsión predeterminada del árbol se calcula un momento de torsión que actúa sobre el bol del juego de ruedas.
3. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, en donde la determinación del momento de torsión se realiza para una aceleración positiva y/o negativa del vehículo ferroviario, en donde como estado de funcionamiento se usa el punto de trabajo de deslizamiento predeterminado para la aceleración positiva y/o la negativa.
4. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, en donde el modelo para la energía de la oscilación de torsión se subdivide en al menos tres zonas con diferente comportamiento del coeficiente de fricción entre la rueda y el carril, en donde los valores de fricción dependen en particular del deslizamiento de las ruedas.
5. Procedimiento según la reivindicación 4, en donde para cada una de las al menos tres zonas se calcula la energía de la oscilación de torsión durante una oscilación de torsión alrededor del punto de trabajo de deslizamiento, y en donde las tres fracciones de energía se suman formando una energía de la oscilación de torsión.
6. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, en donde la energía de la oscilación de torsión se calcula en función de un rango de velocidad de marcha predeterminado del vehículo ferroviario, y en donde se usa en particular una energía máxima de la oscilación de torsión para la determinación de un momento de torsión máximo del bol del juego de ruedas para un punto de intersección.
7. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, en donde la energía de la oscilación de torsión se calcula en función de un rango de velocidad angular predeterminado, y en donde se usa en particular una energía máxima para la determinación de un momento de torsión máximo del bol del juego de ruedas.
8. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, en donde un ángulo de oscilación de una torsión del bol del juego de ruedas se determina con la ayuda de una oscilación sinusoidal.
9. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, en donde se tiene en cuenta un deslizamiento durante una oscilación de torsión en función de una velocidad angular de la oscilación de torsión.
10. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, en donde cada rueda está conectada con el árbol a través de una estructura de conexión mecánica, en donde el árbol y/o la estructura de conexión se dimensionan de modo que el bol del juego de ruedas soporta el momento de torsión calculado sin deterioro.
11. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 9, en donde cada rueda está conectada con un árbol gracias a una estructura de conexión mecánica, en donde para un examen del bol del juego de ruedas se detecta un espesor del árbol y/o un parámetro de resistencia de la estructura de conexión, y en donde mediante el espesor del árbol y/o mediante el parámetro de resistencia se examina si el bol del juego de ruedas es apropiado para soportar el momento de torsión calculado sin deterioro.

FIG 1

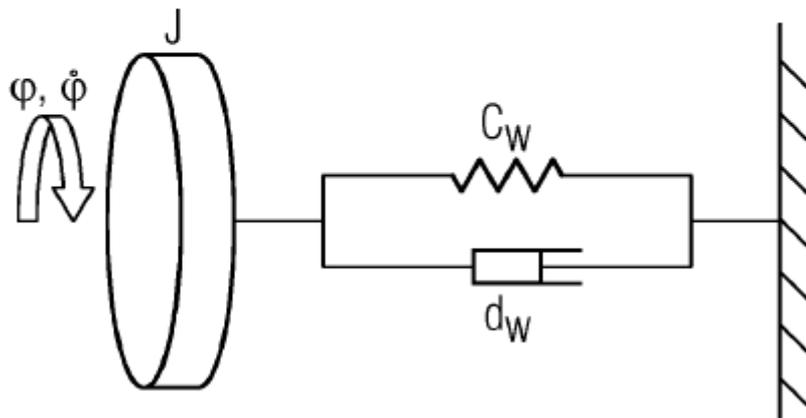


FIG 2

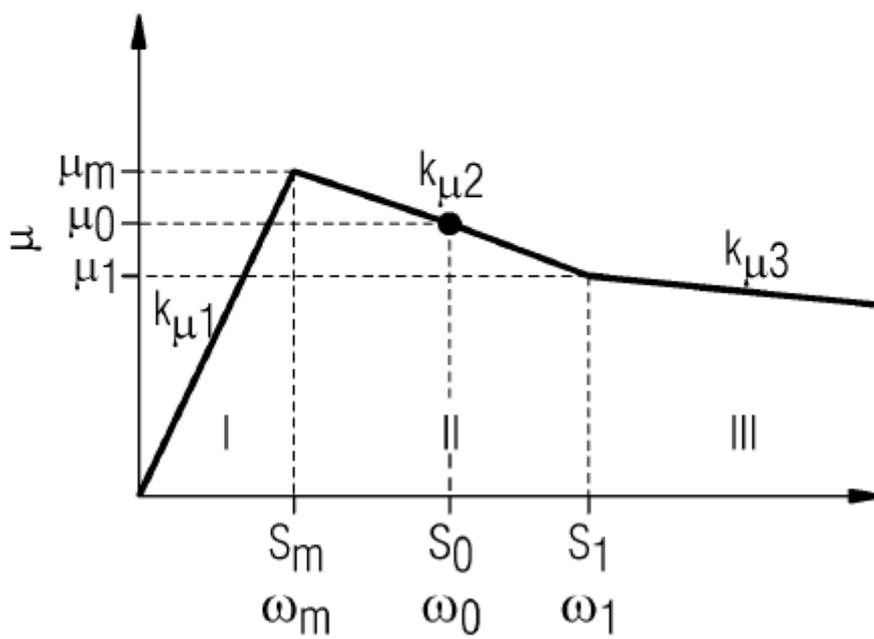


FIG 3

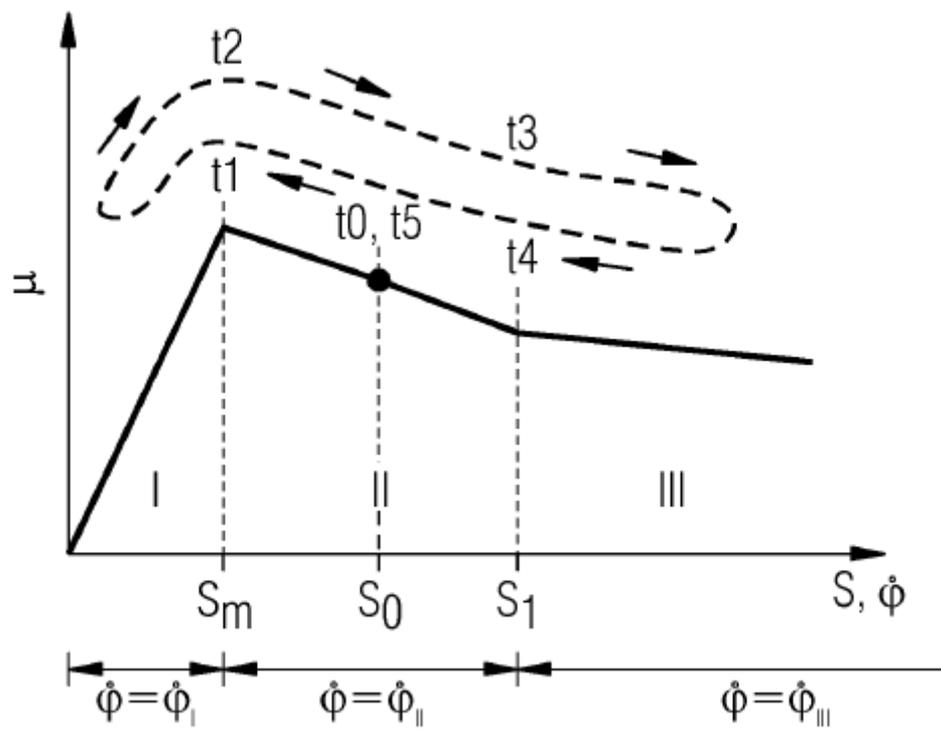


FIG 4

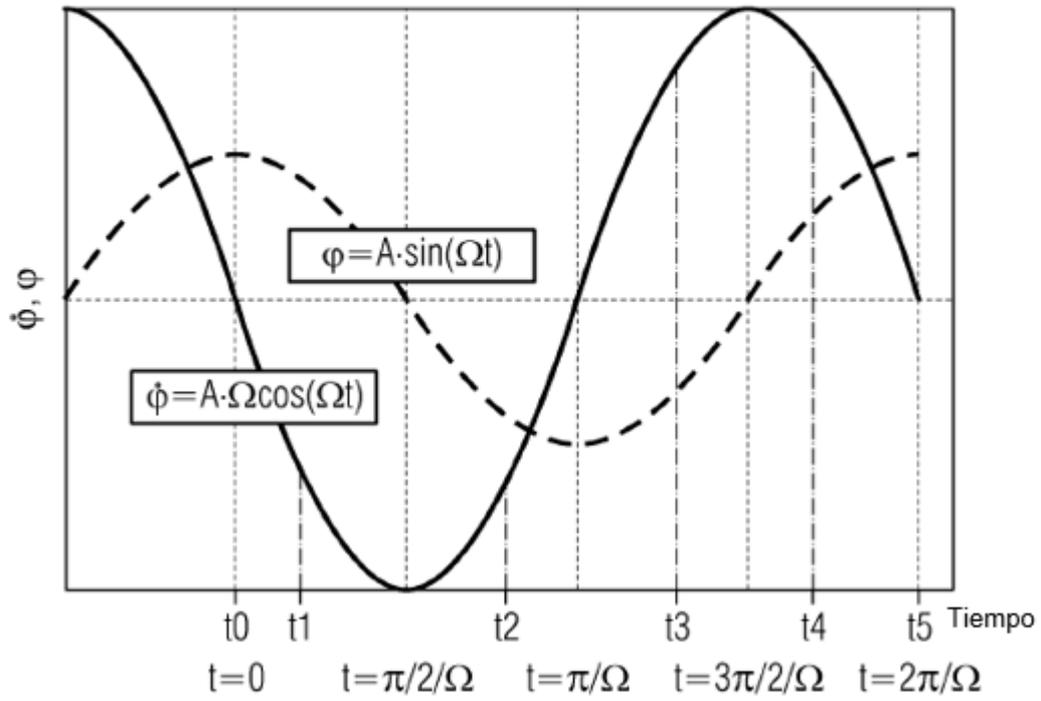


FIG 5

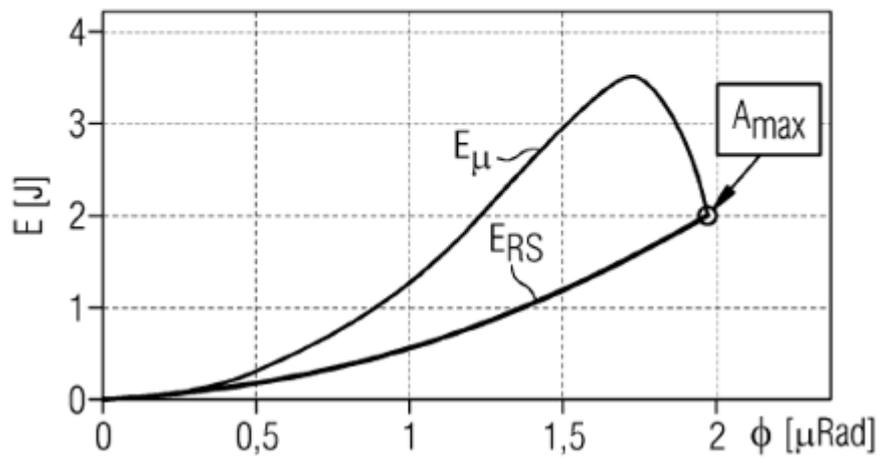


FIG 6

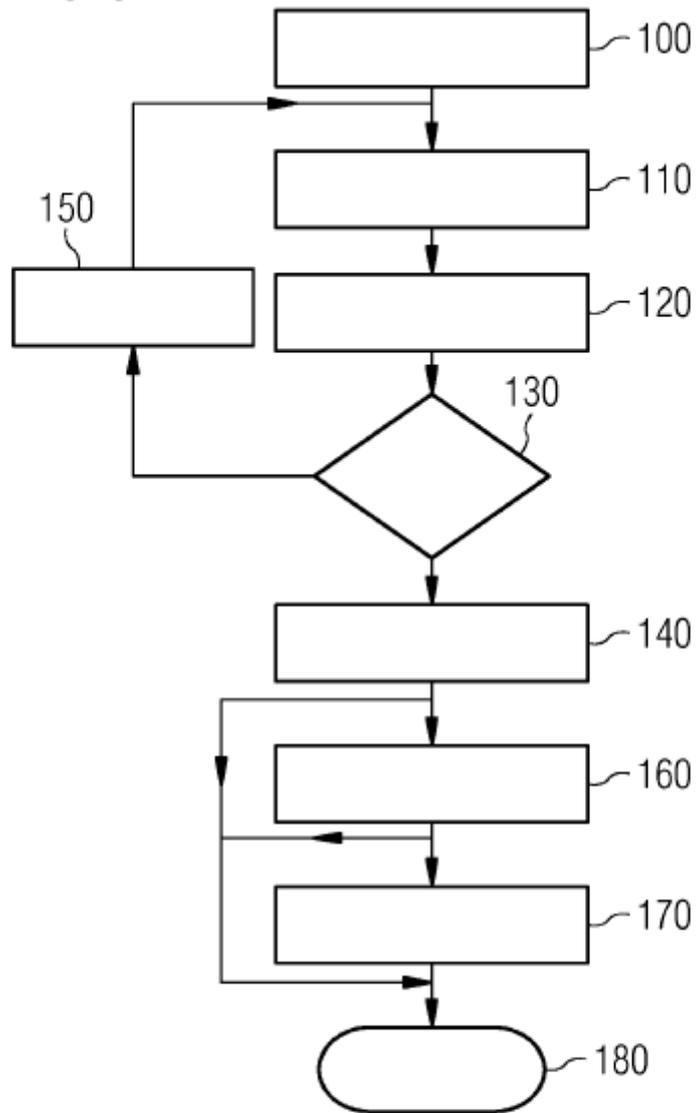


FIG 7

