

ITALIAN PATENT OFFICE

Document No.

102012902011064A1

Publication Date

20130705

Applicant

FERRARI S.P.A.

Title

METODO DI CONTROLLO DEGLI ANGOLI DI CONVERGENZA E
CAMPANATURA DELLE SOSPENSIONI POSTERIORI ATTIVE DI UNA
VETTURA

D E S C R I Z I O N E

del brevetto per Invenzione Industriale dal titolo:

"METODO DI CONTROLLO DEGLI ANGOLI DI CONVERGENZA E CAMPANATURA DELLE SOSPENSIONI POSTERIORI ATTIVE DI UNA VETTURA"

di FERRARI S.P.A.

di nazionalità italiana

con sede: VIA EMILIA EST 1163

MODENA (MO)

Inventore: RAMIREZ RUIZ Isabel

*** **

SETTORE DELLA TECNICA

La presente invenzione è relativa ad un metodo di controllo degli angoli di convergenza e campanatura delle sospensioni posteriori attive di una vettura.

ARTE ANTERIORE

In una sospensione di una vettura, gli angoli caratteristici sono l'angolo di convergenza e angolo di campanatura detto anche angolo di camber.

L'angolo di convergenza totale è l'angolo formato tra i piani di rotolamento delle due ruote di uno stesso assale guardando la vettura dall'alto (ogni ruota ha un proprio angolo di convergenza che vale una frazione dell'angolo di convergenza totale); se i due piani si incrociano anteriormente all'assale considerato (rispetto al senso di

marcia) allora l'angolo di convergenza è positivo e se, viceversa, i due piani si incontrano posteriormente all'assale considerato (rispetto al senso di marcia) allora l'angolo di convergenza è negativo.

L'angolo di campanatura di una ruota è l'angolo che si misura tra il piano su cui rotola la ruota e l'asse di mezzeria perpendicolare al terreno; l'angolo di campanatura è negativo quando le ruote tendono a chiudersi verso la vettura e quindi i due piani di rotolamento delle ruote si incontrano al di sopra del piano stradale e, viceversa, l'angolo di campanatura è positivo se i due piani di rotolamento delle ruote si incrociano al di sotto del piano stradale.

In una sospensione passiva di tipo tradizionale, gli angoli di campanatura e di convergenza variano "passivamente" (ovvero senza alcun tipo di controllo esterno) in funzione delle forze e dei momenti che vengono applicati nell'orma di contatto del pneumatico (variazione elastica degli angoli) e in funzione dello scuotimento verticale della sospensione (variazione cinematica degli angoli). In una vettura sportiva ad alte prestazioni, la geometria della sospensioni e la rigidità del complesso molla/ammortizzatore vengono dimensionate per fare in modo che le variazioni degli angoli di campanatura e di convergenza siano normalmente molto contenute; di

conseguenza, gli angoli di campanatura e di convergenza effettivi non si allontanano mai in modo significativo dagli angoli di campanatura e di convergenza nominali che rappresentano un compromesso per massimizzare le prestazioni, ovvero per ottimizzare l'impronta di contatto del pneumatico al terreno.

È inevitabile che gli angoli di campanatura e di convergenza nominali rappresentino un compromesso che permette di avere sempre una impronta di contatto del pneumatico al terreno buona senza, tuttavia, permettere di avere mai (o quasi mai) una impronta di contatto del pneumatico al terreno ottima. Per migliorare l'impronta di contatto del pneumatico al terreno in tutte le condizioni, è stato proposto l'utilizzo di sospensioni attive in cui, ad esempio, braccetti della sospensione vengono sostituiti da corrispondenti attuatori lineari che sono pilotabili per variare in modo controllato la loro lunghezza e quindi variare in modo controllato l'angolo di campanatura e l'angolo di convergenza della sospensione.

Un esempio di una vettura provvista di sospensioni attive è fornito dalla domanda di brevetto WO2008078568A1, in cui una unità di controllo elettronica è collegata ad un sensore di sterzo che misura in tempo reale l'angolo di sterzo ed è collegata ad un giroscopio tri-assiale che è solidale al telaio della vettura e misura in tempo reale ed

in un sistema di riferimento tridimensionale le accelerazioni lineari rispetto al suolo e le accelerazioni angolari rispetto al suolo; in funzione delle misure ricevute dal sensore di sterzo e dal giroscopio triassiale, l'unità di controllo elettronica stabilisce ciclicamente quali sono i valori ottimali degli angoli di campanatura e di convergenza di ciascuna sospensione e quindi pilota di conseguenza gli attuatori lineari di ciascuna sospensione per conferire alla sospensione stessa gli angoli di campanatura e di convergenza ottimali.

Tuttavia, i metodi di controllo noti delle sospensioni attive non permettono di gestire gli angoli di campanatura e di convergenza delle sospensioni in modo ottimale, particolarmente quando è necessario ottenere il massimo della prestazione dinamica in una vettura sportiva ad alte prestazioni.

DESCRIZIONE DELLA INVENZIONE

Scopo della presente invenzione è di fornire un metodo di controllo degli angoli di convergenza e campanatura delle sospensioni posteriori attive di una vettura che sia esente dagli inconvenienti sopra descritti e, in particolare sia di facile ed economica realizzazione.

Secondo la presente invenzione viene fornito un metodo di controllo degli angoli di convergenza e campanatura delle sospensioni posteriori attive di una vettura, secondo

quanto rivendicato dalle rivendicazioni allegate.

BREVE DESCRIZIONE DEI DISEGNI

La presente invenzione verrà ora descritta con riferimento ai disegni annessi, che ne illustrano un esempio di attuazione non limitativo, in cui:

- la figura 1 è una vista schematica ed in pianta di una vettura con sospensioni attive che vengono pilotate secondo il metodo di controllo della presente invenzione;
- la figura 2 è una vista prospettica e con parti asportate per chiarezza di una sospensione posteriore attiva della vettura della figura 1;
- la figura 3 è una vista schematica della vettura della figura 1 con evidenziati l'angolo di assetto della vettura e gli angoli di deriva delle ruote; e
- le figure 4-6 sono tre grafici che illustrano alcune grandezze utilizzate da una unità di controllo per pilotare gli attuatori delle sospensioni attive che regolano gli angoli di convergenza e di campanatura.

FORME DI ATTUAZIONE PREFERITE DELL'INVENZIONE

Nella figura 1, con il numero 1 è indicata nel suo complesso una vettura stradale provvista di due ruote 2 anteriori e di due ruote 3 posteriori motrici, che ricevono la coppia motrice da un sistema 4 di motopropulsione.

Il sistema 4 di motopropulsione comprende un motore 5

termico a combustione interna, il quale è disposto in posizione anteriore ed è provvisto di un albero 6 motore, ed una trasmissione 7 manuale automatica (denominata comunemente "AMT"), la quale trasmette la coppia motrice generata dal motore 5 a combustione interna alle ruote 3 posteriori motrici. La trasmissione 7 comprende un albero 8 di trasmissione che è da un lato è angolarmente solidale all'albero 6 motore e dall'altro lato è meccanicamente collegato ad un cambio 9 a doppia frizione, il quale è disposto in posizione posteriore, e trasmette il moto alle ruote 3 posteriori motrici mediante due semiassi che ricevono il moto da un differenziale.

Ciascuna ruota 2 anteriore è meccanicamente collegata ad un telaio 10 della vettura 1 (parzialmente illustrato nella figura 2) mediante una sospensione 11 anteriore di tipo "multi-link" (secondo una diversa forma di attuazione la sospensione 11 anteriore è "a quadrilatero articolato"); analogamente, ciascuna ruota 3 posteriore è meccanicamente collegata al telaio 10 della vettura 1 mediante una sospensione 12 posteriore di tipo "multi-link". Ciascuna sospensione 11 o 12 comprende un attuatore 13 lineare elettromagnetico di grande potenza che è pilotabile per variare l'angolo di convergenza della sospensione 11 o 12 ed un attuatore 14 lineare elettromagnetico di grande potenza che è pilotabile per variare l'angolo di

campanatura della sospensione 11 o 12. In particolare, in ciascuna sospensione 11 o 12 gli attuatori 13 e 14 lineari elettromagnetici sostituiscono dei braccetti che collegano il mozzo 15 (illustrato nella figura 2) della ruota 2 o 3 con il telaio 10; in questo modo, variando in modo controllato la lunghezza gli attuatori 13 e 14 lineari elettromagnetici è possibile ottenere una corrispondente variazione degli angoli di convergenza e di campanatura. In altre parole, in ciascuna sospensione 11 o 12, gli attuatori 13 e 14 lineari elettromagnetici accorciandosi e/o allungandosi in modo controllato possono variare gli angoli di convergenza e di campanatura.

Nella figura 2 è illustrata in vista prospettica una sospensione 12 posteriore provvista dei due attuatori 13 e 14 lineari elettromagnetici che sostituiscono dei braccetti che collegano il mozzo 15 della ruota 2 o 3 con il telaio 10. Nella figura 2 è riconoscibile un braccio 16 di controllo inferiore a cui è meccanicamente collegata una barra 17 anti-rollio con l'interposizione di un braccio 18 di collegamento. Nella figura 2 è anche riconoscibile un complesso molla/ammortizzatore 19 che è meccanicamente collegato al mozzo 15 mediante un bilanciere ("rocker") 20 ed una asta di spinta ("push-rod") 21. La disposizione orizzontale del complesso molla/ammortizzatore 19 permette di liberare dello spazio necessario ad alloggiare gli

attuatori 13 e 14 lineari elettromagnetici.

In ciascuna sospensione 11 o 12, gli angoli di convergenza e di campanatura nominali sono preferibilmente molti vicino allo zero (se non nulli), in quanto, grazie all'azione degli attuatori 13 e 14 lineari elettromagnetici, in uso è possibile ottenere una correzione attiva degli angoli di convergenza e di campanatura, ovvero è possibile variare continuamente i valori effettivi degli angoli di convergenza e di campanatura per avere in ogni condizione gli angoli di convergenza e di campanatura ottimali.

Secondo una preferita forma di attuazione, ciascuna sospensione 11 o 12 (ed in particolare gli attuatori 13 e 14 lineari elettromagnetici di ciascuna sospensione 11 o 12) viene investita da un flusso di aria di raffreddamento che viene preferibilmente convogliato attraverso una presa d'aria dinamica dedicata ed ha la funzione di permettere un adeguato raffreddamento degli attuatori 13 e 14 lineari.

Secondo quanto illustrato nella figura 1, è prevista una unità 22 di controllo elettronica ("ECU") che controlla in tempo reale gli attuatori 13 e 14 lineari elettromagnetici di tutte le sospensioni 11 e 12 per adattare ciclicamente gli angoli di convergenza e di campanatura alla condizione dinamica della vettura 1. L'unità 22 di controllo è collegata ad un giroscopio 23

tri-assiale che è provvisto di una piattaforma inerziale statica di origine aeronautica, è solidale al telaio 10 della vettura, e misura in tempo reale ed in un sistema di riferimento tridimensionale le accelerazioni lineari rispetto al suolo lungo (accelerazioni longitudinale, trasversale e verticale) e le accelerazioni angolari rispetto al suolo (accelerazioni di rollio, di beccheggio e di imbardata). Inoltre, L'unità 22 di controllo è collegata ad un posizionatore 24 satellitare di alta precisione che misura in tempo reale la posizione georeferenziata della vettura 1 rispetto al suolo.

In uso, l'unità 22 di controllo stabilisce ciclicamente (ovvero con una frequenza prestabilita) quali sono i valori ottimali degli angoli di campanatura e di convergenza di ciascuna sospensione 11 o 12 e quindi pilota di conseguenza gli attuatori 13 e 14 lineari elettromagnetici di ciascuna sospensione 11 o 12 per conferire alla sospensione 11 o 12 stessa gli angoli di campanatura e di convergenza ottimali. In particolare, l'unità 22 di controllo utilizza le misure fornite in tempo reale dal giroscopio 23 tri-assiale e dal posizionatore 24 satellitare, per determinare per ciascuna ruota 2 o 3 gli angoli di convergenza e di campanatura ottimali della corrispondente sospensione 11 o 12, ovvero gli angoli di convergenza e di campanatura che permettono di ottimizzare

la prestazione di forza globale ottenuta nell'orma di contatto del pneumatico della ruota 2 o 3 stessa.

Le frequenze di movimento richieste agli attuatori 13 e 14 lineari sono superiori alla dinamica di azione sullo sterzo (ovvero della dinamica di variazione dell'angolo di sterzo) e tipicamente raggiungono i 4-10 Hz su tutta la corsa di campanatura e di convergenza delle sospensioni 11 e 12 in presenza dei carichi massimi nell'orma di contatto dei pneumatici. In ciascuna sospensione 11 o 12 lo sforzo necessario per variare l'angolo di campanatura è sempre almeno tre volte più grande dello sforzo necessario per variare l'angolo di convergenza.

Nella forma di attuazione illustrata nella figura 1, tutte e quattro le sospensioni 11 e 12 sono attive, cioè sono provviste degli attuatori 13 e 14 lineari elettromagnetici; secondo una diversa forma di attuazione non illustrata, solo le due sospensioni 11 anteriori oppure solo le due sospensioni 12 posteriori sono attive mentre le due sospensioni 12 posteriori oppure le due sospensioni 11 anteriori sono passive.

Secondo una preferita forma di attuazione, l'unità 22 di controllo controlla gli attuatori 13 e 14 lineari con una logica di controllo in retroazione: per ciascuna sospensione 11 o 12 l'unità 22 di controllo determina in tempo reale i valori desiderati degli angoli di convergenza

e di campanatura, quindi l'unità 22 di controllo confronta i valori desiderati degli angoli di convergenza e di campanatura con i corrispondenti valori effettivi degli angoli di convergenza e di campanatura per ottenere gli errori che vengono forniti a corrispondenti regolatori (ad esempio di tipo PID) per determinare i segnali di pilotaggio degli attuatori 13 e 14 lineari elettromagnetici. L'unità 22 di controllo stima i valori effettivi degli angoli di convergenza e di campanatura utilizzando le misure fornite in tempo reale dal giroscopio 23 tri-assiale che vengono fornite ad un modello matematico (noto in letteratura) della vettura 1: conoscendo le misure fornite in tempo reale dal giroscopio 23 tri-assiale il modello matematico permette di stimare con una buona precisione la conformazione di ciascuna sospensione e quindi i corrispondenti angoli di convergenza e di campanatura.

Utilizzando le misure fornite in tempo reale dal giroscopio 23 tri-assiale e dal posizionatore 24 satellitare, l'unità 22 di controllo stima il valore dell'angolo α di deriva di ogni singola ruota 2 o 3 (ovvero l'angolo esistente tra il piano di giacitura della ruota 2 o 3 e la direzione della velocità della ruota 2 o 3). Inoltre, l'unità 22 di controllo stima per ciascuna ruota 2 o 3 la forza F_z verticale che grava sulla ruota 2 o 3

stessa. Infine, per ciascuna ruota 2 o 3 ed in funzione dell'angolo α di deriva e della forza F_z verticale l'unità 22 di controllo stima la forza F_y trasversale che viene trasmessa dalla ruota 2 o 3 al suolo. In base alla forza F_y trasversale che viene trasmessa da ciascuna ruota 2 o 3 al suolo, l'unità 22 di controllo determina gli angoli di convergenza e di campanatura ottimali per la corrispondente sospensione 11 o 12, ovvero gli angoli di convergenza e di campanatura che permettono di ottimizzare la prestazione di forza globale ottenuta nell'orma di contatto del pneumatico della ruota 2 o 3 stessa.

Viene di seguito descritta la modalità seguita dalla unità 22 di controllo per determinare la forza F_y trasversale che viene trasmessa da ciascuna ruota 2 o 3 al suolo.

Secondo quanto illustrato nella figura 3, inizialmente l'unità 22 di controllo determina l'angolo β di assetto della vettura 1 (ovvero l'angolo compreso fra l'asse longitudinale della vettura 1 e la direzione della velocità V della vettura 1 nel baricentro B). L'unità 22 di controllo stima la traiettoria T seguita dalla vettura 1 utilizzando le misure fornite in tempo reale dal giroscopio 23 tri-assiale e dal posizionatore 24 satellitare; in particolare, la traiettoria T viene determinata integrando due volte nel tempo le accelerazioni misurate dal

giroscopio 23 tri-assiale e le misure fornite dal posizionatore 24 satellitare vengono utilizzate per annullare ciclicamente gli errori di posizione che si verificano nel processo di integrazione. Inoltre, l'unità 22 di controllo stima la velocità V della vettura 1 nel baricentro B utilizzando le misure fornite in tempo reale dal giroscopio 23 tri-assiale; in particolare, la velocità V della vettura 1 nel baricentro B viene determinata integrando una volta nel tempo le accelerazioni misurate dal giroscopio 23 tri-assiale (verificando che la velocità V della vettura 1 nel baricentro B sia effettivamente tangente alla traiettoria T seguita dalla vettura 1, altrimenti, in caso di scostamento significativo, viene compiuta almeno una ulteriore iterazione del calcolo apportando delle correzioni ai parametri utilizzati).

Una volta determinata la velocità V della vettura 1 nel baricentro B, l'unità 22 di controllo può determinare banalmente l'angolo β di assetto della vettura 1. Partendo dall'angolo β di assetto della vettura 1, conoscendo l'angolo di imbardata della vettura 1 (l'angolo di imbardata viene ottenuto integrando due volte nel tempo l'accelerazione angolare di imbardata misurata dal giroscopio 23 tri-assiale) ed applicando semplici calcoli geometrici basati sull'ipotesi che la vettura 1 sia un corpo rigido, l'unità 22 di controllo determina l'angolo α

di deriva di ogni singola ruota 2 o 3; in altre parole, l'unità 22 di controllo "porta" l'angolo β di assetto dal baricentro B ai mozzi 15 delle singole ruote 2 e 3 ipotizzando che la vettura 1 sia un corpo rigido, conoscendo la distanza tra il baricentro B ed i mozzi 15, e conoscendo l'angolo di imbardata della vettura 1. In questo modo, l'unità 22 di controllo stima l'angolo α_{RR} di deriva della ruota 3 posteriore destra, l'angolo α_{RL} di deriva della ruota 3 posteriore sinistra, l'angolo α_{FR} di deriva della ruota 3 anteriore destra, e l'angolo α_{FL} di deriva della ruota 3 anteriore sinistra. La stima degli angoli α di deriva può venire ulteriormente affinata mediante delle correzioni iterative che verranno descritte in seguito; tuttavia, già la stima degli angoli α di deriva ottenuta come sopra descritto è sufficiente per stimare con sufficiente precisione la forza F_y trasversale che viene trasmessa da ciascuna ruota 2 o 3 al suolo (particolarmente quando le sospensioni 11 e 12 sono molto rigide come avviene in una vettura sportiva ad prestazioni).

Una volta stimati gli angoli α di deriva di ciascuna ruota 2 o 3, l'unità 22 di controllo determina la forza F_z verticale che viene trasmessa da ciascuna ruota 2 o 3 al suolo (ovvero determina il carico verticale che grava su ciascuna ruota 2 o 3). A tale scopo, l'unità 22 di controllo calcola la forza F_{yTOT} trasversale totale della

vettura 1 applicando l'equazione ($F_{yTOT} = M * a_y$) che lega la massa M della vettura 1 (nota a priori), l'accelerazione a_y trasversale della vettura 1 (misurata dal giroscopio 23 tri-assiale) e la forza F_{yTOT} trasversale totale della vettura 1. Conoscendo la forza F_{yTOT} trasversale totale della vettura 1, conoscendo la massa M della vettura 1, ed utilizzando un modello matematico della vettura 1 (noto in letteratura) basato sulla geometria delle sospensioni 11 e 12, l'unità 22 di controllo stima la forza F_z verticale che viene trasmessa da ciascuna ruota 2 o 3 al suolo (secondo una possibile forma di attuazione, il modello matematico della vettura 1 può essere iterativo, cioè può prevedere l'esecuzione di alcune iterazioni di calcolo successive per affinare via via il risultato).

Nella unità 22 di controllo è memorizzata una funzione $F_{\alpha y}$ di stima sperimentale (ovvero ottenuta sperimentalmente mediante misure eseguite su una vettura 1 laboratorio dotata di appositi strumenti di misura ad alta precisione) che fornisce la forza F_y trasversale che viene trasmessa da una ruota 2 o 3 al suolo in funzione del corrispondente angolo α di deriva ed in funzione della forza F_z verticale che viene trasmessa dalla ruota 2 o 3 al suolo (ovvero del carico verticale che grava sulla ruota 2 o 3). Un esempio della funzione $F_{\alpha y}$ di stima è illustrato nella figura 4, in cui si vede che la forza F_y trasversale che viene trasmessa

da una ruota 2 o 3 al suolo cresce al crescere dell'angolo α di deriva (fino a raggiungere un massimo oltre il quale interviene una saturazione che fa diminuire la forza F_y trasversale al crescere dell'angolo α di deriva) e si vede che la forza F_y trasversale che viene trasmessa da una ruota 2 o 3 al suolo cresce al crescere della forza F_z verticale che viene trasmessa dalla ruota 2 o 3 al suolo (ovvero al crescere del carico verticale che grava sulla ruota 2 o 3).

Utilizzando la funzione $F_{\alpha y}$ di stima, per ciascuna ruota 2 o 3 l'unità 22 di controllo conoscendo il corrispondente angolo α di deriva e la corrispondente forza F_z verticale può determinare la corrispondente forza F_y trasversale; è importante osservare che in questa operazione all'angolo α di deriva delle ruote 2 anteriori deve venire preventivamente sottratto l'angolo di sterzo (noto con precisione in quanto misurato da un sensore di posizione accoppiato allo sterzo) che forma parte dell'angolo α di deriva delle ruote 2 anteriori ma non fornisce alcun contributo alla generazione della forza F_y trasversale. Nell'esempio illustrato nella figura 4, vengono ricavate la forza $F_{y_{RL}}$ trasversale della ruota 3 posteriore sinistra e la forza $F_{y_{RR}}$ trasversale della ruota 3 posteriore destra: la forza $F_{y_{RR}}$ trasversale della ruota 3 posteriore destra è chiaramente più elevata della forza

$F_{y_{RL}}$ trasversale della ruota 3 posteriore sinistra in quanto la ruota 3e posteriore destra è la ruota posteriore esterna alla curva mentre la ruota 3i posteriore sinistra è la ruota posteriore interna alla curva (con riferimento a quanto illustrato nella figura 3).

Una volta stimate come sopra descritto la forza F_y trasversale di ciascuna ruota 2 o 3, l'unità 22 di controllo può eseguire una verifica della bontà della stima qui di seguito descritta. L'unità 22 di controllo calcola, come sopra descritto, la forza $F_{y_{TOT}}$ trasversale totale della vettura 1 applicando l'equazione che lega la massa M della vettura 1 (nota a priori), l'accelerazione a_y trasversale della vettura 1 (misurata dal giroscopio 23 tri-assiale) e la forza $F_{y_{TOT}}$ trasversale totale della vettura 1. Conoscendo la forza $F_{y_{TOT}}$ trasversale totale della vettura 1 ed utilizzando un modello matematico della vettura 1 (noto in letteratura) basato sulla geometria delle sospensioni 11 e 12, l'unità 22 di controllo è in grado di stimare la forza F_y trasversale per ciascun assale, ovvero la forza F_{y_R} trasversale dell'assale posteriore ($F_{y_R} = F_{y_{RR}} + F_{y_{RL}}$) e la forza F_{y_F} trasversale dell'assale anteriore ($F_{y_F} = F_{y_{FR}} + F_{y_{FL}}$); secondo una possibile forma di attuazione, il modello matematico della vettura 1 può essere iterativo, cioè può prevedere l'esecuzione di alcune iterazioni di calcolo successive per

affinare via via il risultato. Confrontando per ciascun assale la forza F_{yR} o F_{yF} trasversale dell'assale stimata partendo dalla forza F_{yTOT} trasversale totale con la forza F_{yR} o F_{yF} trasversale dell'assale calcolata sommando le stime delle forze F_y trasversale delle corrispondenti ruote 2 o 3, è possibile verificare la bontà delle stime delle forze F_y trasversale di ciascuna ruota 2 o 3: in caso di scostamenti significativi, l'unità 22 di controllo può ripetere una o più iterazioni della stima delle forze F_y trasversale di ciascuna ruota 2 o 3 apportando delle correzioni ad alcuni parametri.

Per affinare la stima degli angoli α di deriva di ciascuna ruota 2 o 3, l'unità 22 di controllo può tenere conto dell'effetto del "bump-steer" ovvero della tendenza delle sospensioni 11 e 12 a modificare l'angolo di convergenza (che impatta direttamente sull'angolo α di deriva) variando il proprio livello di compressione/espansione cioè in funzione dello scuotimento verticale; in altre parole, l'effetto del "bump-steer" è l'effetto geometrico della corsa di ciascuna sospensione 11 e 12 sull'angolo α di deriva. Per tenere conto dell'effetto del "bump-steer", l'unità 22 di controllo può stimare la forza F_z verticale che viene trasmessa da ciascuna ruota 2 o 3 al suolo (ovvero determina il carico verticale che grava su ciascuna ruota 2 o 3) secondo le modalità

descritte in precedenza e quindi in funzione della forza F_z verticale l'unità 22 di controllo determina il livello di compressione/espansione della sospensione 11 o 12; infine, in funzione del livello di compressione/espansione della sospensione 11 o 12 ed utilizzando, ad esempio, una tabella sperimentale memorizzata in precedenza, l'unità 22 di controllo stima l'effetto del "bump-steer" sull'angolo α di deriva (cioè determina la correzione da applicare all'angolo α di deriva precedentemente stimato).

Per affinare la stima degli angoli α di deriva di ciascuna ruota 2 o 3, l'unità 22 di controllo può tenere conto dell'effetto delle forze F_y trasversali che deformando elasticamente le sospensioni 11 e 12 tendono a fare diminuire gli angoli α di deriva delle ruote 2 anteriori e tendono a fare aumentare gli angoli α di deriva delle ruote 3 posteriori. Preferibilmente, l'unità 22 di controllo utilizza una tabella sperimentale memorizzata in precedenza per stimare l'effetto delle forze F_y trasversali sugli angoli α di deriva. Per tenere conto dell'effetto delle forze F_y trasversali, l'unità 22 di controllo deve utilizzare una modalità di calcolo iterativa: inizialmente l'unità 22 di controllo ipotizza dei valori delle forze F_y trasversali che utilizza per stimare l'effetto delle forze F_y trasversali sugli angoli α di deriva (cioè per stimare le correzioni da applicare agli angoli α di deriva

precedentemente stimati), quindi determina con maggiore precisione i valori delle forze F_y trasversali utilizzando le stime degli angoli α di deriva ed utilizzando tali valori delle forze F_y trasversali aggiorna la stima dell'effetto delle forze F_y trasversali sugli angoli α di deriva (ovviamente l'unità 22 di controllo può eseguire più iterazioni successive fino ad ottenere una convergenza soddisfacente).

Per affinare la stima degli angoli α di deriva di ciascuna ruota 2 o 3, l'unità 22 di controllo può tenere conto dell'effetto delle forze F_x longitudinali che deformando elasticamente le sospensioni 11 e 12 tendono a variare gli angoli α di deriva. Preferibilmente, l'unità 22 di controllo utilizza una tabella sperimentale memorizzata in precedenza per stimare l'effetto delle forze F_x longitudinali sugli angoli α di deriva. Per tenere conto dell'effetto delle forze F_x longitudinali, l'unità 22 di controllo stima (conoscendo sia la coppia motrice applicata alle ruote 3 posteriori motrici dal motore 5 termico a combustione interna, sia la coppia frenante applicata alle ruote 2 e 3 dai freni) le forze F_x longitudinali trasmesse da ciascuna ruota 2 o 3 al suolo e quindi utilizzando la tabella sperimentale stima l'effetto delle forze F_x longitudinali sugli angoli α di deriva (cioè stima le correzioni da applicare agli angoli α di deriva

precedentemente stimati).

Nella unità 22 di controllo sono memorizzate delle funzioni F_c di controllo sperimentali (ovvero ottenute sperimentalmente mediante misure eseguite su una vettura 1 laboratorio dotata di appositi strumenti di misura ad alta precisione) che forniscono gli angoli di convergenza e di campanatura ottimali per ciascuna ruota 2 o 3 in funzione della forza F_y trasversale della ruota 2 o 3 stessa. Ovviamente, le funzioni F_c di controllo possono essere differenziate per il tipo di manovra (ad esempio le funzioni F_c di controllo per l'esecuzione di una curva sono diverse dalle funzioni F_c di controllo per un cambio di traiettoria in rettilineo) e soprattutto, in caso di curva, le funzioni F_c di controllo sono differenziate per la ruota 2i o 3i interna alla curva e per la ruota 2e o 3e esterna alla curva. Nella figura 5 è illustrato un esempio di una funzione F_c di controllo per l'esecuzione di una curva che fornisce l'angolo di campanatura in funzione della forza F_y trasversale ed è differenziata tra ruota 2e o 3e esterna alla curva (linea continua) e ruota 2i o 3i interna alla curva (linea tratteggiata). Nella figura 6 è illustrato un esempio di una funzione F_c di controllo per l'esecuzione di una curva che fornisce l'angolo di convergenza in funzione della forza F_y trasversale ed è differenziata tra ruota 2e o 3e esterna alla curva (linea continua) e ruota 2i o 3i

interna alla curva (linea tratteggiata).

Secondo una preferita forma di attuazione, ciascun complesso molla/ammortizzatore 19 è provvisto di un sensore di posizione (o di velocità, o di accelerazione) che viene normalmente utilizzato da un sistema di controllo attivo delle sospensioni e che fornisce in tempo reale la posizione del complesso molla/ammortizzatore 19 stesso. La posizione dei complessi molla/ammortizzatore 19 può venire utilizzata dalla unità 22 di controllo per affinare ulteriormente (ovvero rendere più precise) la stima degli angoli α di deriva di ciascuna ruota 2 o 3. In particolare, la posizione effettiva dei complessi molla/ammortizzatore 19 può venire proficuamente utilizzate nella stima della forza F_z verticale che grava su ciascuna ruota 2 o 3 e nella stima dell'effetto del "bump-steer" sull'angolo α di deriva. La posizione effettiva dei complessi molla/ammortizzatore 19 può venire utilizzata direttamente come variabile di calcolo (ovvero può entrare direttamente nelle equazioni che portano alla stima), oppure la posizione effettiva dei complessi molla/ammortizzatore 19 può venire utilizzata indirettamente come termine di confronto; in questo ultimo caso, l'unità 22 di controllo confronta la posizione dei complessi molla/ammortizzatore 19 fornita da un modello matematico (che corrisponde alla realtà virtuale o simulata) con la corrispondente posizione

dei complessi molla/ammortizzatore 19 letta dai sensori di posizione (che corrisponde alla realtà fisica) ed in caso di differenze significative l'unità 22 di controllo corregge i risultati forniti dal modello matematico (ad esempio eseguendo ulteriori iterazioni di calcolo eventualmente con parametri corretti).

Conoscendo l'entità della coppia motrice fornita dal motore 5 termico a combustione interna (valore fornito dalla logica di controllo del motore 5 termico a combustione interna) e conoscendo il rapporto di trasmissione corrente della trasmissione 7 (valore fornito dalla logica di controllo del cambio 9 a doppia frizione), l'unità 22 di controllo determina le forze di trazione applicate alle ruote 3 posteriori motrici. Inoltre conoscendo la velocità di rotazione dell'albero 6 motore (misura fornita dalla logica di controllo del motore 5 termico a combustione interna), conoscendo il rapporto di trasmissione corrente della trasmissione 7 (valore fornito dalla logica di controllo del cambio 9 a doppia frizione), e conoscendo la velocità di rotazione di ciascuna ruota 3 posteriore motrice (misura fornita dai sensori di velocità del sistema ABS), l'unità 22 di controllo determina gli scorrimenti longitudinali delle ruote 3 posteriori motrici derivanti dalla trazione.

Conoscendo l'entità della coppia frenante e conoscendo

la velocità di rotazione di ciascuna ruota 2 o 3 (misure fornite dai sensori di pressione e di velocità del sistema ABS), l'unità 22 di controllo determina le forze longitudinali frenanti e gli scorrimenti longitudinali derivanti dalla frenatura di tutte le ruota 2 e 3.

Viene di seguito descritta la logica di controllo che è implementata nella unità 22 di controllo per determinare i valori ottimali degli angoli di convergenza e di campanatura delle sospensioni 12 posteriori.

In una sospensione 12 posteriore di una vettura 1 di alta potenza aumentare la prestazione a terra del pneumatico significa principalmente aumentare la stabilità aumentando la forza laterale ed aumentare la trazione aumentando la forza longitudinale rispetto ai valori raggiungibili da una analoga sospensione passiva. In seconda istanza, per migliorare la risposta dell'asse posteriore agli impulsi di sterzo viene favorita anche una crescita più rapida possibile e con meno sovra-elongazione ("over-shoot") finale della forza laterale sull'asse posteriore per conferire alla vettura 1 una sensazione ("feeling") di guida ed una precisione di traiettoria molto più elevate rispetto ad una analoga vettura provvista di sospensioni 12 posteriori passive.

In caso di un cambio di traiettoria in rettilineo, una discriminante importante è la velocità di avanzamento

longitudinale, ovvero se la velocità di avanzamento longitudinale della vettura 1 è inferiore oppure superiore ad una velocità tangenziale. La velocità tangenziale è la velocità di avanzamento longitudinale per la quale l'angolo β di assetto della vettura 1 misurato nel baricentro B è nullo. In altre parole, in caso di un cambio di traiettoria in rettilineo, la discriminante importante è se l'angolo β di assetto è positivo (ovvero se la velocità di avanzamento longitudinale della vettura 1 è inferiore alla velocità tangenziale) oppure se l'angolo β di assetto è negativo (ovvero se la velocità di avanzamento longitudinale della vettura 1 è superiore alla velocità tangenziale)

In caso di un cambio di traiettoria in rettilineo, quando la velocità di avanzamento longitudinale della vettura 1 è inferiore alla velocità tangenziale è opportuno annullare immediatamente l'angolo β di assetto positivo che produce una risposta allo sterzo ritardata e poco agile; di conseguenza, in caso di un cambio di traiettoria in rettilineo, quando la velocità di avanzamento longitudinale della vettura 1 è inferiore alla velocità tangenziale, l'unità 22 di controllo (agendo sugli attuatori 13 e 14 lineari elettromagnetici) conferisce alle sospensioni 12 posteriori un angolo di convergenza negativo (ad aprire) avete una ampiezza tale da annullare l'angolo β di assetto della vettura 1 misurato nel baricentro B. Preferibilmente,

gli angoli di convergenza delle sospensioni 12 posteriori sinistra e destra vengono tra loro differenziati in base al diverso valore delle forze F_y trasversali della ruota 3e posteriore esterna e della ruota 3i posteriore interna alla curva.

In caso di un cambio di traiettoria in rettilineo, quando la velocità di avanzamento longitudinale della vettura 1 è superiore alla velocità tangenziale, alla variazione dell'angolo di sterzo l'unità 22 di controllo (agendo sugli attuatori 13 e 14 lineari elettromagnetici) conferisce alle sospensioni 12 posteriori inizialmente un angolo di convergenza negativo (di modesta entità e normalmente differenziato tra ruota 3e posteriore esterna e ruota 3i posteriore interna alla curva) per annullare rapidamente l'angolo di assetto positivo della vettura 1 misurato nel baricentro B e quindi subito dopo l'unità 22 di controllo (agendo sugli attuatori 13 e 14 lineari elettromagnetici) conferisce alle sospensioni 12 posteriori un angolo di convergenza positivo applicando così una forza trasversale alle ruote 3 posteriori che tende a contrastare la rotazione della vettura 1 per ridurre la sovra-elongazione di accelerazione trasversale e di imbardata nel baricentro B. Preferibilmente, per completare meglio questa operazione l'unità 22 di controllo (agendo sugli attuatori 13 e 14 lineari elettromagnetici) conferisce alle

sospensioni 12 posteriori, assieme all'angolo di convergenza positivo, anche un angolo di campanatura negativo per aumentare la velocità di crescita della forza laterale. Preferibilmente, gli angoli di convergenza e di campanatura delle sospensioni 12 posteriori sinistra e destra vengono tra loro differenziati in base al diverso valore delle forze F_y trasversali della ruota 3e posteriore esterna e della ruota 3i posteriore interna alla curva.

In caso di percorrenza di una curva, inizialmente (ovvero all'ingresso della curva) è necessario applicare alle ruote 3 posteriori una forza che aiuti la vettura 1 a girare tanto di più quanto più la vettura 1 è lenta e successivamente (ovvero durante la percorrenza della curva) è necessario applicare alle ruote 3 posteriori una forza che contrasti la rotazione per ridurre tutte le sovra-elongazione della vettura 1 alla rotazione, accelerazione laterale e velocità di imbardata.

In caso di percorrenza di una curva, l'unità 22 di controllo (agendo sugli attuatori 13 e 14 lineari elettromagnetici) conferisce alle sospensioni 12 posteriori inizialmente (ovvero all'ingresso della curva) un angolo di convergenza negativo combinato con un angolo di campanatura nullo e successivamente (ovvero durante la percorrenza della curva una volta che la vettura 1 è inscritta nella traiettoria curvilinea, cioè una volta che la vettura 1 è

entrata in curva) l'unità 22 di controllo (agendo sugli attuatori 13 e 14 lineari elettromagnetici) conferisce alle sospensioni 12 posteriori un angolo di convergenza positivo combinato con un angolo di campanatura negativo per contrastare la rotazione e quindi ridurre le sovra-elongazioni. Preferibilmente, gli angoli di convergenza e di campanatura delle sospensioni 12 posteriori sinistra e destra vengono tra loro differenziati in base al diverso valore delle forze F_y trasversali della ruota 3e posteriore esterna e della ruota 3i posteriore interna alla curva (normalmente la ruota 3e posteriore esterna presenta un angolo di campanatura fortemente negativo mentre la ruota 3i posteriore interna presenta un angolo di campanatura leggermente negativo e prossimo a zero).

In caso di percorrenza di una curva, l'angolo di convergenza (negativo all'ingresso della curva e positivo durante la percorrenza della curva) viene sempre ottimizzato rispetto alla deriva laterale diversa sulle due ruote 3 posteriori in modo da ottenere la massima forza con la minima deriva. In caso di percorrenza di una curva, l'angolo di campanatura negativo è una risorsa in più che permettere di aumentare anche del 20% la forza laterale sulla ruota 3e posteriore esterna alla curva al limite di aderenza trasversale. Di conseguenza, durante la percorrenza della curva ed avvicinandosi al limite di

aderenza dei pneumatici (ovvero quando la forza F_y trasversale cresce avvicinandosi al punto di massimo) l'unità 22 di controllo (agendo sugli attuatori 13 e 14 lineari elettromagnetici) riduce progressivamente l'angolo di convergenza positivo (cioè va verso l'angolo di convergenza nullo) per non saturare la forza laterale; inoltre, durante la percorrenza della curva ed avvicinandosi al limite di aderenza dei pneumatici l'unità 22 di controllo (agendo sugli attuatori 13 e 14 lineari elettromagnetici) progressivamente aumenta in valore assoluto l'angolo di campanatura negativo (cioè va verso un angolo di campanatura negativo di valore assoluto più grande). Durante la percorrenza della curva ed avvicinandosi al limite di aderenza, l'unità 22 di controllo aumenta progressivamente l'angolo di campanatura negativo tenendo conto della posizione di rollio e beccheggio del corpo vettura e mantiene sempre sulla ruota 3e posteriore esterna alla curva almeno un angolo di campanatura nullo (cioè l'angolo di campanatura della ruota 3e posteriore esterna alla curva è sempre inferiore allo zero o al massimo uguale allo zero).

Riassumendo, l'unità 22 di controllo conferisce, all'inizio della percorrenza di una traiettoria T curva e quando la vettura 1 si inserisce nella traiettoria T curva, alle sospensioni 12 posteriori attive angoli di convergenza

negativi combinati con angoli di campanatura nulli. Successivamente, l'unità 22 di controllo conferisce, durante la percorrenza della traiettoria T curva e quando la vettura 1 è inscritta nella traiettoria T curva, alle sospensioni 12 posteriori attive angoli di convergenza positivi combinati con angoli di campanatura negativi. L'unità 22 di controllo differenzia, quando la vettura 1 segue una traiettoria T curva, gli angoli di convergenza e campanatura della sospensione 12i posteriore interna alla curva dagli angoli di convergenza e campanatura della sospensione 12e posteriore esterna alla curva: in particolare, l'angolo di campanatura della sospensione 12i posteriore interna alla curva presenta primi valori negativi prossimi allo zero mentre l'angolo di campanatura della sospensione 12e posteriore esterna alla curva presenta secondi valori negativi decisamente maggiori, in valore assoluto, ai primi valori negativi. Preferibilmente, durante la percorrenza della traiettoria T curva e quando la vettura 1 è inscritta nella traiettoria T curva, mano a mano che il corrispondente pneumatico si avvicina al limite di aderenza (ovvero quando la forza F_y trasversale cresce avvicinandosi al punto di massimo) l'unità 22 di controllo riduce progressivamente il valore assoluto dell'angolo di convergenza positivo della sospensione 12e posteriore esterna alla curva e contemporaneamente aumentare

progressivamente il valore assoluto dell'angolo di campanatura negativo della sospensione 12e posteriore esterna alla curva. Invece, durante la percorrenza della traiettoria T curva e quando la vettura 1 è inscritta nella traiettoria T curva, mano a mano che il corrispondente pneumatico si avvicina al limite di aderenza l'unità 22 di controllo mantiene gli angoli di convergenza e di campanatura della sospensione 12i posteriore interna alla curva sostanzialmente costanti.

In caso di uscita da una curva in accelerazione, è necessario permettere alla vettura 1 di sviluppare la massima forza accelerante possibile e quindi è necessario ridurre il più rapidamente possibile lo sfruttamento laterale dei pneumatici delle ruote 3 posteriori per dedicare quanto prima i pneumatici delle ruote 3 posteriori alla sola trasmissione a terra della spinta longitudinale; questo risultato viene ottenuto applicando alle sospensioni 12 posteriori un angolo di campanatura negativo ed un angolo di convergenza nullo (compatibilmente con il raggio della traiettoria impostata dal guidatore). In altre parole, in caso di uscita da una curva in accelerazione l'unità 22 di controllo (agendo sugli attuatori 13 e 14 lineari elettromagnetici) conferisce alle sospensioni 12 posteriori un angolo di convergenza nullo combinato con un angolo di campanatura abbastanza negativo per massimizzare

la capacità di spinta longitudinale dei pneumatici delle ruote 3 posteriori. Preferibilmente, gli angoli di campanatura delle sospensioni 12 sinistra e destra vengono tra loro differenziati in quanto la ruota 3i posteriore interna alla curva presenta un minore carico verticale e slittando trasferisce coppia motrice alla ruota 3e posteriore esterna tramite il differenziale autobloccante.

In caso di frenata al limite in rettilineo, è necessario favorire al massimo la forza frenante ruota per ruota. Quindi, in caso di frenata al limite in rettilineo l'unità 22 di controllo (agendo sugli attuatori 13 e 14 lineari elettromagnetici) conferisce alle sospensioni 12 posteriori un angolo di convergenza quasi nullo combinato con un angolo di campanatura nullo.

In caso di frenata al limite in entrata di curva, viene privilegiato il mantenimento della traiettoria più stretta possibile fino all'apice della curva evitando di causare instabilità e, nello stesso tempo, cercando il massimo sfruttamento delle forze longitudinali per ridurre lo spazio di frenata. Quindi, in caso di frenata al limite in entrata di curva l'unità 22 di controllo (agendo sugli attuatori 13 e 14 lineari elettromagnetici) conferisce alle sospensioni 12 posteriori un angolo di campanatura negativo per garantire ai pneumatici delle ruote 3 posteriori una elevata forza trasversale; l'angolo di campanatura negativo

non è (in valore assoluto) elevato per non peggiorare in modo sensibile la forza longitudinale dei pneumatici delle ruote 3 posteriori.

In caso di accelerazione al limite in rettilineo, l'unità 22 di controllo (agendo sugli attuatori 13 e 14 lineari elettromagnetici) conferisce alle sospensioni 12 posteriori un angolo di campanatura nullo per mantenere le ruote 3 posteriori perpendicolari al terreno e quindi permettere ai pneumatici delle ruote 3 posteriori di sviluppare la massima forza di trazione longitudinale; preferibilmente, in caso di accelerazione al limite in rettilineo, l'unità 22 di controllo (agendo sugli attuatori 13 e 14 lineari elettromagnetici) conferisce alle sospensioni 12 posteriori un angolo di convergenza positivo e piccolo per favorire la stabilità.

Secondo una possibile forma di attuazione, l'unità 22 di controllo può determinare una valutazione dello stile di guida del guidatore (ovvero valutare se il guidatore è "bravo" oppure "scarso") ed in funzione di questa valutazione l'unità 22 di controllo permette alla vettura 1 di avvicinarsi di più o di meno ai propri limiti fisici; in altre parole, in funzione di questa valutazione l'unità 22 di controllo stabilisce l'entità della "riserva di sicurezza" da mantenere in ogni condizione.

Il metodo di controllo sopra descritto presenta numerosi vantaggi, in quanto, nello stesso tempo, è di facile ed economica realizzazione, e permette di gestire gli angoli di campanatura e di convergenza delle sospensioni in modo ottimale particolarmente quando è necessario ottenere il massimo della prestazione dinamica in una vettura sportiva ad alte prestazioni.

R I V E N D I C A Z I O N I

1) Metodo di controllo degli angoli di convergenza e campanatura delle sospensioni (12) posteriori attive di una vettura (1); il metodo di controllo comprende le fasi di:

rilevare quando la vettura (1) segue una traiettoria (T) curva;

conferire, all'inizio della percorrenza della traiettoria (T) curva e quando la vettura (1) si inserisce nella traiettoria (T) curva, alle sospensioni (12) posteriori attive angoli di convergenza negativi combinati con angoli di campanatura nulli; e

conferire, durante la percorrenza della traiettoria (T) curva e quando la vettura (1) è inscritta nella traiettoria (T) curva, alle sospensioni (12) posteriori attive angoli di convergenza positivi combinati con angoli di campanatura negativi.

2) Metodo di controllo secondo la rivendicazione 1 e comprendente l'ulteriore fase di differenziare, quando la vettura (1) segue una traiettoria (T) curva, gli angoli di convergenza e/o campanatura della sospensione (12i) posteriore interna alla curva dagli angoli di convergenza e/o campanatura della sospensione (12e) posteriore esterna alla curva.

3) Metodo di controllo secondo la rivendicazione 2 e comprendente le ulteriori fasi di:

Matteo MACCAGNAN
(Iscrizione Albo nr.987/BM)

conferire, quando la vettura (1) segue una traiettoria (T) curva, all'angolo di campanatura della sospensione (12i) posteriore interna alla curva primi valori negativi prossimi allo zero; e

conferire, quando la vettura (1) segue una traiettoria (T) curva, all'angolo di campanatura della sospensione (12e) posteriore esterna alla curva secondi valori negativi maggiori, in valore assoluto, ai primi valori negativi.

4) Metodo di controllo secondo la rivendicazione 1, 2 o 3 e comprendente le ulteriori fasi di:

ridurre progressivamente, durante la percorrenza della traiettoria (T) curva e quando la vettura (1) è inscritta nella traiettoria (T) curva, il valore assoluto degli angoli di convergenza positivi delle sospensioni (12) posteriori attive mano a mano che i pneumatici si avvicinano al loro limite di aderenza; ed

aumentare progressivamente, durante la percorrenza della traiettoria (T) curva e quando la vettura (1) è inscritta nella traiettoria (T) curva, il valore assoluto degli angoli di campanatura negativi delle sospensioni (12) posteriori attive mano a mano che i corrispondenti pneumatici si avvicinano al limite di aderenza.

5) Metodo di controllo secondo la rivendicazione 1, 2 o 3 e comprendente le ulteriori fasi di:

ridurre progressivamente, durante la percorrenza della

Matteo MACCAGNAN
(Iscrizione Albo nr.987/BM)

traiettoria (T) curva e quando la vettura (1) è inscritta nella traiettoria (T) curva, il valore assoluto dell'angolo di convergenza positivo della sospensione (12e) posteriore esterna alla curva mano a mano che il corrispondente pneumatico si avvicina al limite di aderenza; ed

aumentare progressivamente, durante la percorrenza della traiettoria (T) curva e quando la vettura (1) è inscritta nella traiettoria (T) curva, il valore assoluto dell'angolo di campanatura negativo della sospensione (12e) posteriore esterna alla curva mano a mano che il corrispondente pneumatico si avvicina al limite di aderenza.

6) Metodo di controllo secondo la rivendicazione 5 e comprendente l'ulteriore fase di mantenere sostanzialmente costanti, durante la percorrenza della traiettoria (T) curva e quando la vettura (1) è inscritta nella traiettoria (T) curva, gli angoli di convergenza e di campanatura della sospensione (12i) posteriore interna alla curva mano a mano che il corrispondente pneumatico si avvicina al limite di aderenza.

7) Metodo di controllo secondo una delle rivendicazioni da 1 a 6 e comprendente le ulteriori fasi di:

rilevare quando la vettura (1) segue una traiettoria (T) curva per eseguire un cambio di traiettoria in rettilineo;

determinare l'angolo (β) di assetto della vettura (1) nel baricentro (B);

conferire, quando la vettura (1) segue una traiettoria (T) curva per eseguire un cambio di traiettoria in rettilineo e l'angolo (β) di assetto è positivo, agli angoli di convergenza delle sospensioni (12) posteriori attive dei valori negativi tali da annullare l'angolo (β) di assetto positivo della vettura (1); e

conferire, quando la vettura (1) segue una traiettoria (T) curva per eseguire un cambio di traiettoria in rettilineo e l'angolo (β) di assetto è negativo, agli angoli di convergenza delle sospensioni (12) posteriori attive dei valori negativi prossimi allo zero.

8) Metodo di controllo secondo una delle rivendicazioni da 1 a 7 e comprendente l'ulteriore fase di conferire, durante l'uscita dalla traiettoria (T) curva e quando la vettura (1) è in accelerazione, alle sospensioni (12) posteriori attive angoli di convergenza nulli combinati con angoli di campanatura negativi.

9) Metodo di controllo secondo una delle rivendicazioni da 1 a 8 e comprendente l'ulteriore fase di conferire, quando la vettura (1) frena in rettilineo, alle

Matteo MACCAGNAN
(Iscrizione Albo nr.987/BM)

sospensioni (12) posteriori attive angoli di convergenza quasi nulli combinati con angoli di campanatura nulli.

10) Metodo di controllo secondo una delle rivendicazioni da 1 a 9 e comprendente l'ulteriore fase di conferire, quando la vettura (1) accelera in rettilineo, alle sospensioni (12) posteriori attive angoli di convergenza positivi e di valore modesto combinati con angoli di campanatura nulli.

p.i.: FERRARI S.P.A.

Matteo MACCAGNAN

Matteo MACCAGNAN
(Iscrizione Albo nr.987/BM)

TITLE: "A METHOD TO CONTROL TOE ANGLE AND CAMBER ANGLE IN ACTIVE REAR SUSPENSIONS OF CARS"

C L A I M S

1) A method to control the toe angle and the camber angle of the rear active suspensions (12) of a car (1); the control method comprises the following steps:

detecting if the car (1) follows a curved trajectory (T);

acting on the rear axle active suspensions (12), at the start of the curved trajectory (T) and specifically when the car (1) begins cornering, in a way to achieve negative toe angles (toe out) combined with zero camber; and

acting on the rear axle active suspensions (12), as the car (1) follows the curved trajectory (T) and specifically when the car (1) has already entered cornering, in a way to achieve positive toe angles (toe in) combined with negative camber angles.

2) A control method as claimed in claim 1 and that further comprises a step wherein the toe angle and/or the camber angle of the internal active suspension (12i) of the rear axle are set to a different value than the toe angle and/or camber angle of the external active suspension (12e) of the rear axle, when the car (1) moves along a curved trajectory.

Matteo MACCAGNAN
(Iscrizione Albo nr.987/BM)

3) A control method as claimed in claim 2 and that further comprises the following steps:

setting, when the car (1) is moving along a curved trajectory (T), the camber angle of the internal active suspension (12i) of the rear axle to certain negative values which are close to zero; and

setting, when the car (1) is following a curved trajectory (T), the camber angle of the external active suspension (12e) of the rear axle to other negative values which are greater in absolute value than the negative values used for the internal active suspension (12i).

4) A control method, as claimed in any of the claims from 1 to 3, that further comprises the following steps:

decreasing in a gradual way, during the curved trajectory (T) and when the car (1) has already started cornering, the absolute value of the positive toe angle of the rear active suspension (12) little by little as the tires get closer to their adhesion limit; and

increasing in a gradual way, during the curved trajectory (T) and when the car (1) has already started cornering, the absolute value of the negative camber angle of the rear active suspensions (12) little by little as the corresponding tires get closer to their adhesion limit.

5) A control method, as claimed in any of the claims from 1 to 3, that further comprises the following steps:

Matteo MACCAGNAN
(Iscrizione Albo nr.987/BM)

decreasing in a gradual way, as the car moves along the curved trajectory (T) and when the car (1) has already started cornering, the absolute value of the positive toe angle of the external rear active suspension (12e) little by little as the corresponding tire gets closer to its adhesion limit; and

increasing in a gradual way, as the car moves along the curved trajectory (T) and when the car (1) has already started cornering, the absolute value of the negative camber angle of the external rear active suspension (12e) little by little as the corresponding tire gets closer to its adhesion limit.

6) A control method as claimed in claim 5 that further comprises the step of maintaining substantially constant, as the car moves along the curved trajectory (T) and when the car (1) has already started cornering, the toe and camber angles of the internal rear suspension (12i) as the corresponding tire gets closer to its adhesion limit.

7) A control method as claimed in any of the claims from 1 to 6 and that further comprises the following steps:

detecting if the car (1) follows a curved trajectory (T) to perform a change of course in a straight stretch of road;

assessing the float angle (β) of the car (1) at the vehicle center of gravity (B);

Matteo MACCAGNAN
(Iscrizione Albo nr.987/BM)

setting, when the car (1) follows a curved trajectory (T) to perform a change of course in a straight stretch of road and the float angle (β) is positive, the toe angles of the rear active suspension (12) to negative values such that the positive float angle (β) is brought to zero; and

setting, when the car (1) follows a curved trajectory (T) to perform a change of course in a straight stretch of road and the float angle (β) of the car (1) is negative, the toe angles of the rear active suspension (12) to negative values close to zero.

8) A control method as claimed in any of the claims from 1 to 7 and that further comprises the step of setting the rear active suspensions (12) to zero toe angles combined with negative camber angles when the car (1) is exiting cornering and accelerating.

9) A control method as claimed in any of the claims from 1 to 8 and that further comprises the step of setting the rear active suspensions (12) to toe angles close to zero combined with zero camber when the car (1) is braking in a straight line.

10) A control method as claimed in any of the claims from 1 to 9 and that further comprises the step of setting the rear active suspensions (12) to positive toe angles (toe in) of reduced entity combined with zero camber when the car (1) is accelerating moving along a straight line.

Matteo MACCAGNAN
(Iscrizione Albo nr.987/BM)

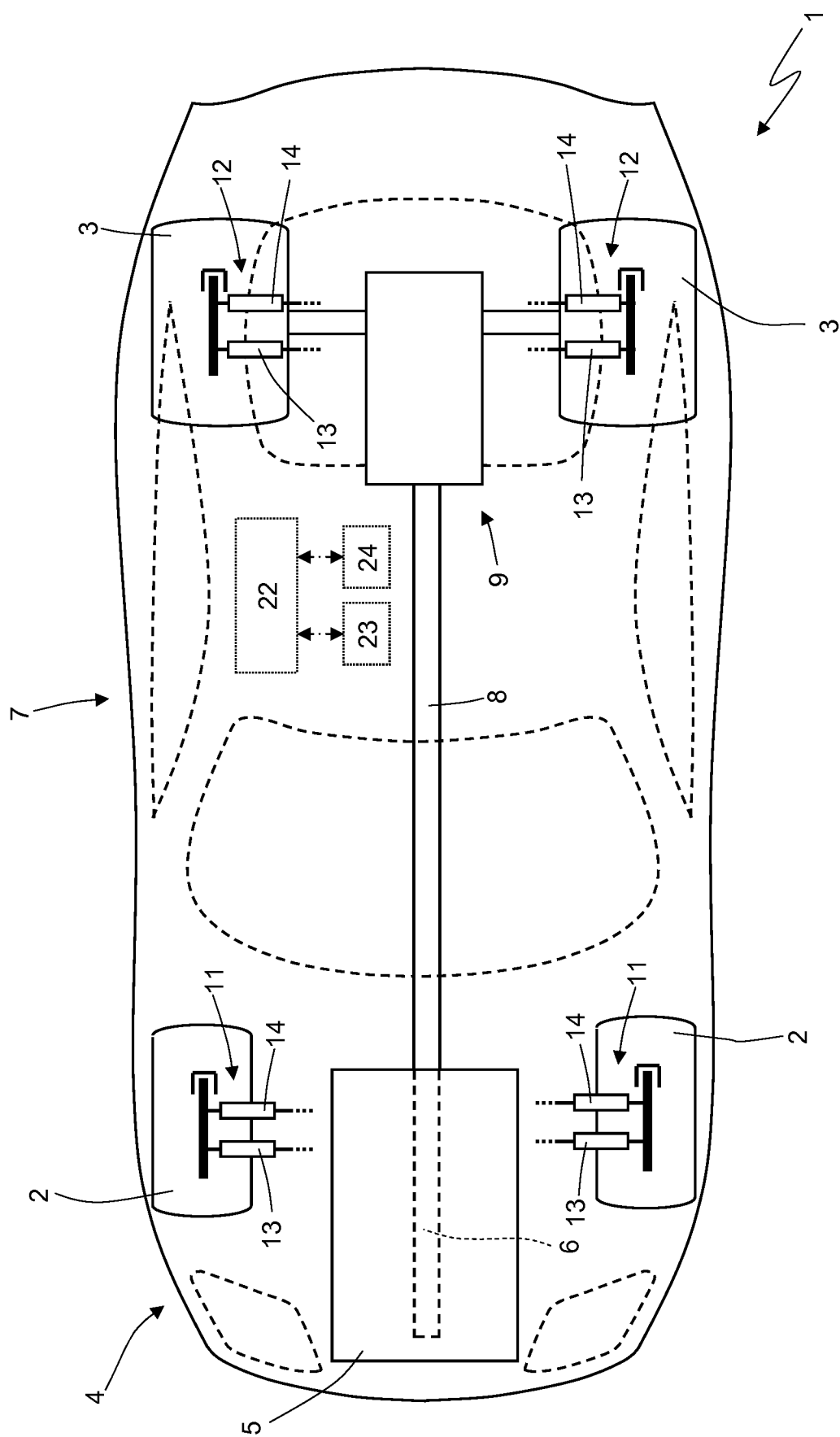


Fig. 1

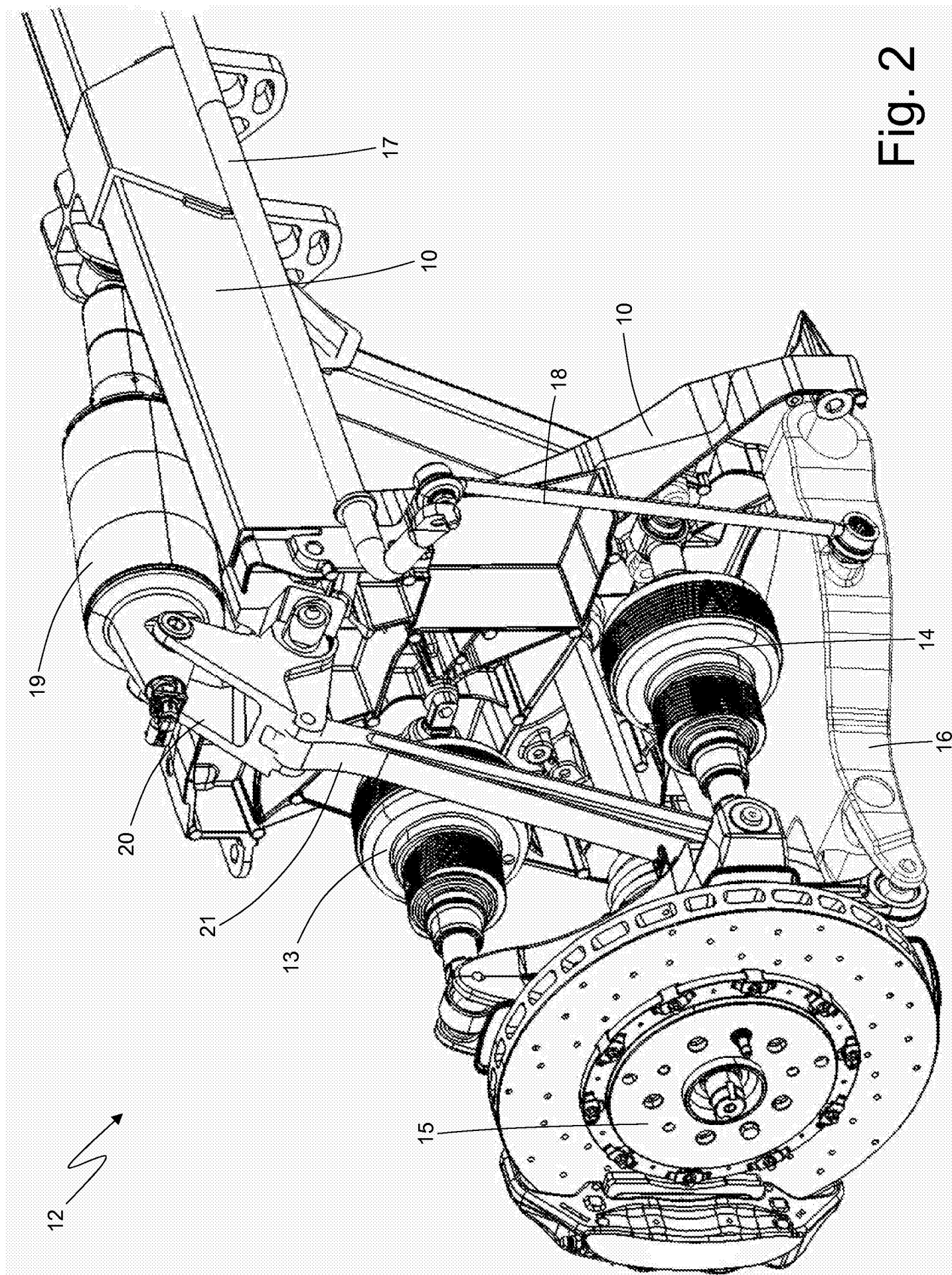


Fig. 2

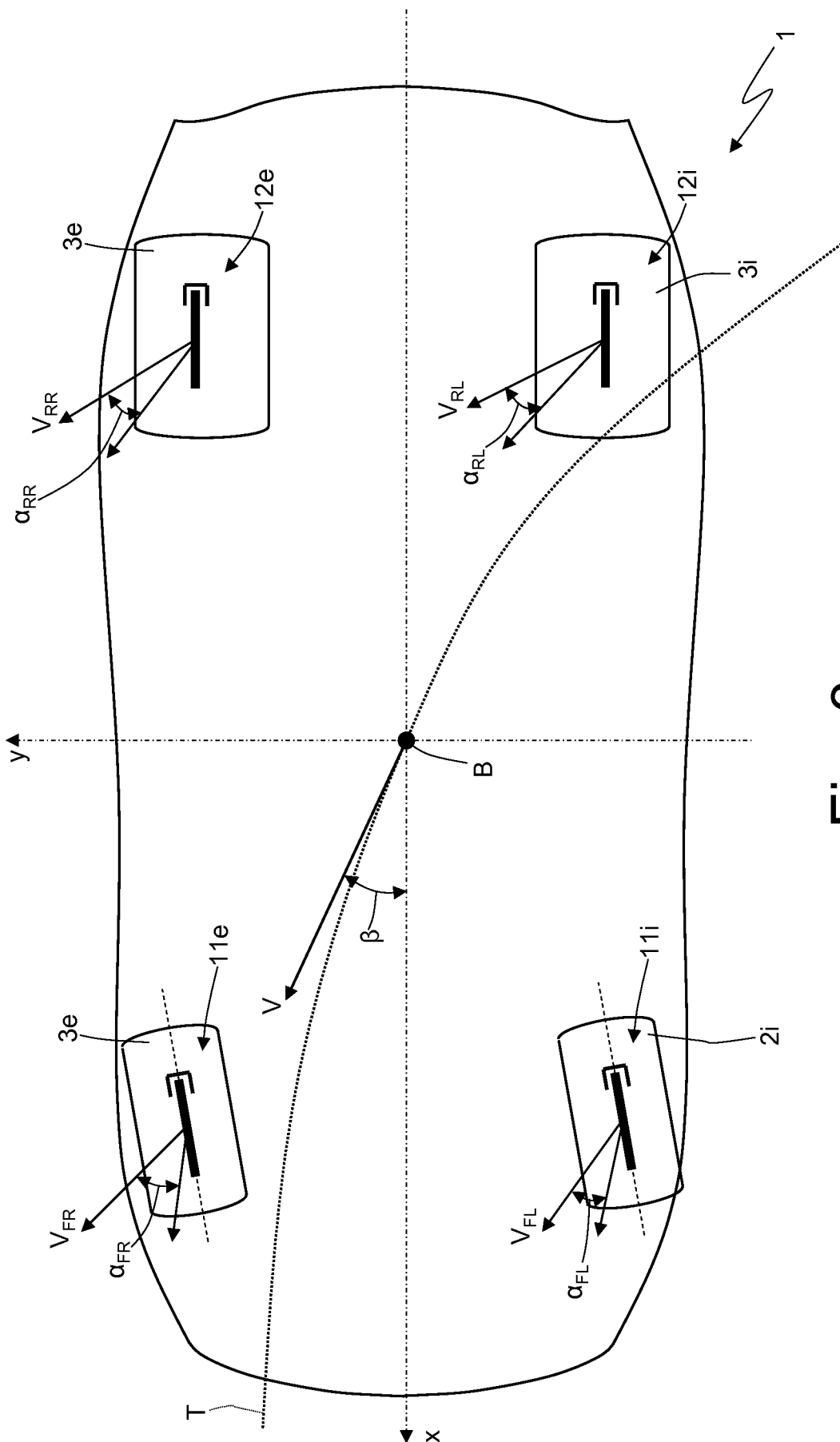


Fig. 3

Fig. 4

