

ITALIAN PATENT OFFICE

Document No.

102012902056047A1

Publication Date

20131201

Applicant

CMC MARINE S.R.L.

Title

PROCEDIMENTO DI CONTROLLO PER LA STABILIZZAZIONE ANTI-ROLLIO
DI IMBARCAZIONI, RELATIVO SISTEMA DI STABILIZZAZIONE E PRODOTTO
INFORMATICO

DESCRIZIONE dell'invenzione industriale dal titolo:

"Procedimento di controllo per la stabilizzazione anti-rollio di imbarcazioni, relativo sistema di stabilizzazione e prodotto informatico"

di: CMC Marine S.r.l., nazionalità italiana, Via San Michele del Carso, 10, 22100 Como

Inventori designati: Alessandro CAPPIELLO, Carlo TERRUZZI, Francesco PAGANO

Depositata il: 31 maggio 2012

TESTO DELLA DESCRIZIONE

Campo dell'invenzione

La presente invenzione riguarda le tecniche per la stabilizzazione anti-rollio di imbarcazioni.

La presente invenzione è stata sviluppata in particolare per la stabilizzazione di imbarcazioni ferme all'ancora.

Descrizione della tecnica nota

Una delle più grandi cause di malestere a bordo di un'imbarcazione, sia in navigazione che all'ancora, è il rollio cui è soggetta a causa del moto ondoso.

Per questo motivo vengono spesso utilizzati sistemi di stabilizzazioni che comprendono una o più pinne stabilizzatrici. Lo scopo delle pinne stabilizzatrici è quello di aumentare il comfort di bordo riducendo in maniera sensibile i moti di rollio in tutte le condizioni d'utilizzo dell'imbarcazione, sia in navigazione che all'ancora.

Ad esempio, attraverso la rotazione di una o più coppie di pinne, simmetriche rispetto all'asse longitudinale, è possibile creare un momento sull'imbarcazione che può essere sfruttato per contrastare

il momento generato dal moto ondoso e ridurre sensibilmente il rollio.

In particolare, in navigazione le pinne stabilizzatrici sfruttano il fenomeno della portanza per generare elevati momenti stabilizzanti con una superficie di attuazione relativamente esigua. Ad esempio, i documenti GB 999 306, EP 0 754 618, GB 1 201 401, e GB 1 201 401 descrivono sistemi per la stabilizzazione anti-rollio d'imbarcazioni in navigazione.

Invece, all'ancora non è possibile sfruttare la portanza ma è necessario sfruttare le forze inerziali (accelerazione e decelerazione) e le forze di resistenza viscosa (legate alla velocità di attuazione della pinna) per generare il momento stabilizzante. Si comprende facilmente che per la stabilizzazione all'ancora è necessario una superficie di attuazione sensibilmente maggiore rispetto a quella sufficiente in navigazione e che l'aspect ratio della pinna ha una grande influenza sull'efficienza. Ad esempio, il documento EP 1 577 210 descrive un tale sistema per la stabilizzazione anti-rollio d'imbarcazioni ferme all'ancora in cui è modificabile l'aspect ratio della pinna.

La Figura 1 illustra in questo contesto un generico schema di controllo, in cui un sistema di controllo 10 controlla il funzionamento di un impianto 20. In particolare, il sistema di controllo 10 comprende un modulo di controllo 102 configurato per generare un segnale di controllo u necessario a minimizzare e/o azzerare un errore e . Ad esempio, l'errore e può essere determinato ad un blocco 100 come differenza tra un segnale di riferimento r e un segnale di misura y che indica lo stato dell'impianto 20.

In particolare, nel caso delle pinne stabilizzatrici, l'impianto 20 comprende sia l'imbarcazione 202 sia il sistema di attuazione delle pinne 200. Di conseguenza, il sistema di controllo 10 ha lo scopo di contrastare il rollio, ovvero il segnale di riferimento r è tipicamente nullo, il segnale di misura y corrisponde ad un segnale che indica il rollio dell'imbarcazione ϑ , e il segnale di controllo u rappresenta il segnale che pilota l'attuatore della pinna.

Infine, il documento EP 2 172 394 descrive un sistema per la stabilizzazione anti-rollio d'imbarcazioni in cui si utilizza un motore elettrico come attuatore per la pinna stabilizzatrice. In particolare, il sistema di regolazione controlla il movimento della pinna in funzione del rollio dell'imbarcazione e della posizione angolare della pinna stabilizzatrice, ovvero il segnale di stato y comprende anche un segnale che indica la posizione angolare della pinna stabilizzatrice.

Scopo e sintesi dell'invenzione

La presente invenzione si prefigge lo scopo di fornire soluzioni che migliorano i risultati di sistemi per la stabilizzazione anti-rollio d'imbarcazioni.

Infatti, grazie alla continua analisi dei dati acquisiti durante le numerose applicazioni, gli inventori sono stati in grado di formulare un nuovo approccio di controllo totalmente nuovo ed innovativo rispetto alle soluzioni impiegate precedentemente.

In particolare gli inventori sono stati in grado di stabilire un percorso di movimentazione delle pinne che permette di ottimizzare il risultato della stabilizzazione anti-rollio.

In vista di raggiungere il suddetto scopo, l'invenzione ha per oggetto un procedimento di controllo per la stabilizzazione anti-rollio d'imbarcazioni avente le caratteristiche specificate nell'annessa rivendicazione 1. L'invenzione riguarda anche il relativo sistema di stabilizzazione, nonché un prodotto informatico, caricabile nella memoria di almeno un elaboratore e comprendente parti di codice software suscettibili di realizzare le fasi del metodo quando il prodotto è eseguito su almeno un elaboratore. Così come qui utilizzato, il riferimento ad un tale prodotto informatico è inteso essere equivalente al riferimento ad un mezzo leggibile da elaboratore contenente istruzioni per il controllo del sistema di elaborazione per coordinare l'attuazione del procedimento secondo l'invenzione. Il riferimento ad "almeno un elaboratore" è evidentemente inteso a mettere in luce la possibilità che la presente invenzione sia attuata in forma modulare e/o distribuita.

Le rivendicazioni formano parte integrante dell'insegnamento somministrato in relazione all'invenzione.

Come menzionato in precedenza, la presente descrizione fornisce soluzioni per la stabilizzazione anti-rollio d'imbarcazioni. Ad esempio, in varie forme di attuazione, il movimento di una pinna stabilizzatrice viene controllato per la stabilizzazione anti-rollio d'imbarcazioni fermi ad ancora.

In varie forme di attuazione, si rileva almeno un valore identificativo per il rollio dell'imbarcazione, e si stima l'oscillazione di rollio attesa dell'imbarcazione in funzione del valore rilevato. Ad esempio, in varie forme di

attuazione, l'oscillazione di rollio dell'imbarcazione viene approssimata tramite una onda sinusoidale.

Grazie a tale previsione del rollio, le soluzioni qui descritte sono in grado di determinare una traiettoria per la movimentazione della pinna stabilizzatrice. Ad esempio, in varie forme di attuazione, per determinare la traiettoria per la movimentazione della pinna stabilizzatrice, si stima il momento destabilizzante del mare e il momento stabilizzante della pinna. Ad esempio, il momento destabilizzante del mare può essere stimato tramite un approccio probabilistico e il momento stabilizzante della pinna può essere determinato in funzione della coppia assorbita dalla pinna.

In varie forme di attuazione, per determinare la traiettoria per la movimentazione della pinna stabilizzatrice, si seleziona una pluralità di possibili traiettorie di riferimento e si calcola per ogni traiettoria di riferimento una rispettiva funzione di costo.

Breve descrizione dei disegni

La presente invenzione verrà ora descritta dettagliatamente con riferimento ai disegni allegati, dati a puro titolo di esempio non limitativo, in cui:

- la Figura 1 è stata descritta già in precedenza;
- le Figure 2 a 4 sono schemi a blocco che mostrano vari aspetti di sistemi di stabilizzazione secondo la presente descrizione, e
- le Figure 5 a 6i illustrano alcuni dettagli di una stabilizzazione anti-rollio secondo la presente descrizione.

Descrizione particolareggiata di forme di attuazione

Nella seguente descrizione sono illustrati vari dettagli specifici finalizzati ad un'approfondita comprensione delle forme di attuazione. Le forme di attuazione possono essere realizzate senza uno o più dei dettagli specifici, o con altri metodi, componenti, materiali ecc. In altri casi, strutture, materiali o operazioni noti non sono mostrati o descritti in dettaglio per evitare di rendere oscuri vari aspetti delle forme di attuazione.

Il riferimento ad "una forma di attuazione" nell'ambito di questa descrizione sta ad indicare che una particolare configurazione, struttura o caratteristica descritte in relazione alla forma di attuazione è compresa in almeno una forma di attuazione. Quindi, frasi come "in una forma di attuazione", eventualmente presenti in diversi luoghi di questa descrizione, non sono necessariamente riferite alla stessa forma di attuazione. Inoltre, particolari conformazioni, strutture o caratteristiche possono essere combinati in un modo adeguato in una o più forme di attuazione.

I riferimenti qui utilizzati sono soltanto per comodità e non definiscono dunque l'ambito di tutela o la portata delle forme di attuazione.

Come menzionato in precedenza, i fenomeni fisici che si sviluppano durante la stabilizzazione all'ancora e durante la stabilizzazione in navigazione sono sostanzialmente diversi e, quindi, il modello matematico che descrive il comportamento dell'imbarcazione più il sistema di attuazione, ovvero il blocco 20 della Figura 1, differisce sostanzialmente nei due casi. Di conseguenza, il meccanismo di stabilizzazione non dovrebbe essere lo stesso in navigazione ed all'ancora.

La Figura 2 mostra una possibile forma di attuazione di un sistema di controllo 10 per la stabilizzazione anti-rollio di imbarcazioni.

In una forma di attuazione, tale sistema viene utilizzato come sistema di stabilizzazione anti-rollio per imbarcazioni in navigazione.

Nella forma di attuazione considerata, il sistema di controllo 10 si basa su una retroazione completa di stato e minimizza non solo il rollio ma anche la velocità e l'accelerazione di rollio permettendo di ottenere un comfort migliorato. Tali dati di rollio possono essere rilevati attraverso opportuni mezzi di rilevazioni, quali ad esempio sensori di accelerazione, giroscopi e/o inclinometri.

In particolare, in una forma di attuazione, il sistema di controllo 10 riceve in ingresso un vettore di misure che comprende la posizione di rollio, quale ad esempio l'angolo di rollio θ , la velocità di rollio $\dot{\theta}$ e l'accelerazione di rollio $\ddot{\theta}$, ed un segnale di riferimento $\mathbf{r} = [0, 0, 0]^T$. Ad un blocco 100 il sistema di controllo calcola l'errore \mathbf{e} come differenza tra il segnale di riferimento \mathbf{r} e il vettore di misure (o viceversa), ovvero:

$$\mathbf{e} = \begin{bmatrix} \theta \\ \dot{\theta} \\ \ddot{\theta} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Di conseguenza, il sistema di controllo 10 è configurato per minimizzare e preferibilmente azzerare la posizione di rollio θ , la velocità di rollio $\dot{\theta}$ e l'accelerazione di rollio $\ddot{\theta}$.

In una forma di attuazione, il sistema di controllo 10 comprende due sotto moduli di controllo 102 e 106. Il primo

modulo di controllo 102 è configurato per generare segnali di riferimento per la posizione α_c , velocità $\dot{\alpha}_c$ e accelerazione $\ddot{\alpha}_c$ della pinna stabilizzatrice. Invece, il secondo modulo di controllo 106 è configurato per controllare il movimento della pinna e per minimizzare l'errore tra il movimento eseguito dalla pinna e il riferimento generato dal modulo 102, ovvero il modulo 106 riceve in ingresso la differenza tra la posizione α_c , la velocità $\dot{\alpha}_c$ e l'accelerazione $\ddot{\alpha}_c$ richieste e la posizione α , la velocità $\dot{\alpha}$ e l'accelerazione $\ddot{\alpha}$ eseguite dalla pinna. Ad esempio, tale differenza può essere calcolata ad un blocco 104.

Ad esempio, in una forma di attuazione si utilizza un motore elettrico per pilotare la pinna stabilizzatrice. In questo caso, i dati sul comportamento della pinna stabilizzatrice possono essere rilevato, ad esempio, attraverso un encoder accoppiato all'albero del motore elettrico che pilota la pinna stabilizzatrice o direttamente all'albero della pinna.

Ad esempio, il blocco 102 può essere realizzato tramite controllori PID (Proporzionale-Integrale-Derivativo), sintesi diretta tramite "Pole Placement" o luogo delle radici. Ad esempio, in una forma di attuazione il controllo è progettato con il luogo delle radici con pre-filtro sull'ingresso e un'azione in feed-forward; in questo caso il controllo è basato su una combinazione lineare dello stato dell'imbarcazione.

Di conseguenza, la retroazione della misura del movimento della pinna al modulo 106 rappresenta una retroazione interna o "inner loop" e la retroazione della misura del rollio al modulo 102 rappresenta una retroazione

esterna o "outer loop". Pertanto, il tempo di aggiornamento dell'uscita del modulo 106 è preferibilmente superiore al tempo di aggiornamento dell'uscita del modulo 102.

Gli inventori hanno osservato che le incertezze sono principalmente dovute al momento destabilizzante generato dal mare e dalla velocità di navigazione. Anche se il sistema di controllo mostrato nella Figura 2 è particolarmente robusto riguardo a disturbi ignoti e a variazioni parametriche, ci possono essere delle particolari condizioni in cui le variazioni sono tali da non permettere la stabilizzazione ottimale. Ad esempio, per imbarcazioni che possono variare la propria velocità in un ampio range, l'impianto potrebbe non essere in grado di garantire prestazioni soddisfacenti per tutte le velocità o potrebbe essere poco reattivo o troppo e, quindi, non garantire il comfort ottimale in tutte le condizioni di utilizzo. Inoltre, prestazioni non ottimali si potrebbero verificare anche per particolari condizioni meteo-marine (come onde di poppa). È importante ricordare, inoltre, che i moti dell'imbarcazione non sono disaccoppiati e il rollio può essere indotto anche dai moti di beccheggio ed imbardata.

Di conseguenza la strategia di controllo mostrato nella Figura 2 non fornisce sempre prestazioni soddisfacenti.

In una forma di attuazione, per evitare questi problemi, si utilizzano meccanismi che permettano di "adattare" il sistema di controllo.

Ad esempio, la Figura 3 mostra una forma di attuazione di un sistema di controllo per la stabilizzazioni anti-rollio in navigazione, in cui si utilizza un blocco 120 che adatta i parametri di controllo del modulo di controllo 102

in funzione delle condizioni del mare e/o della pinna stabilizzatrice.

In particolare, in una forma di attuazione, il modulo 120 valuta in tempo reale le mutate condizioni di mare, velocità e parametri dell'imbarcazione (come ad esempio il carico della stessa).

Ad esempio, nella forma di attuazione considerata, il modulo 120 comprende un modulo d'identificazione 122 e un modulo di adattamento 124. Il modulo d'identificazione 122 riceve in ingresso dati che indicano il movimento della pinna stabilizzatrice e dell'imbarcazione, quale ad esempio la posizione α , la velocità $\dot{\alpha}$ e l'accelerazione $\ddot{\alpha}$ eseguite dalla pinna, e la posizione di rollio ϑ , la velocità di rollio $\dot{\vartheta}$ e l'accelerazione di rollio $\ddot{\vartheta}$. In base a questi dati, il modulo d'identificazione 122 valuta il modello ottimo e le incertezze, e fornisce una stima di parametri di controllo aggiornati 126 al blocco adattativo 124 che modifica i parametri di controllo del blocco 102.

In questo modo il modulo di controllo 102 è in grado di fornire le migliori performance in qualsiasi condizione senza dover leggere necessariamente la velocità di crociera dai sistemi di bordo, ad esempio, attraverso l'autopilota, o altri sensori, quali ad esempio un ricevitore del Global Positioning System (GPS).

Invece, il sistema di controllo dell'attuatore 106 è preferibilmente progettato in base ad un modello del sistema di attuazione e permette una movimentazione dell'attuatore dolce e precisa. Tuttavia, col passare del tempo l'attuatore è inevitabilmente sottoposto ad usura e, quindi, il controllore del blocco 106 potrebbe non fornire più le prestazioni ottimali.

In una forma di attuazione, per evitare questi problemi, si utilizza un secondo modulo 130 responsabile per l'adattamento del blocco di controllo 106.

Nella forma di attuazione considerata, il modulo 130 comprende un modulo di riferimento 132 e un modulo di adattamento 134. Il modulo di riferimento 132 computa in tempo reale un modello matematico dell'attuatore 200 e fornisce in uscite stime sulla posizione α_r , velocità $\dot{\alpha}_r$ e accelerazione $\ddot{\alpha}_r$ eseguite dalla pinna. Invece il modulo di adattamento 134 stabilisce i parametri ottimi per il modulo di controllo 106 in base alla differenza tra la posizione α_r , la velocità $\dot{\alpha}_r$ e l'accelerazione $\ddot{\alpha}_r$ stimate e la posizione α , la velocità $\dot{\alpha}$ e l'accelerazione $\ddot{\alpha}$ eseguite dalla pinna.

Di conseguenza, grazie ad un'accurata modellazione dell'attuatore reale 200, si può ottenere un errore di inseguimento praticamente nullo senza però rendere la movimentazione nervosa. In pratica, il modulo di adattamento 130 permette al modulo 106 di sfruttare al meglio la potenza a disposizione dell'attuatore in modo dolce e controllato.

Gli inventori hanno osservato che i sistemi di stabilizzazione illustrati in precedenza pur avvalendosi di avanzati sistemi adattativi non sono sempre in grado di fornire adeguate prestazioni se utilizzati per la stabilizzazione all'ancora. Infatti, la natura fisica dei due fenomeni è troppo differente perché un singolo sistema adattativo sia in grado di fornire in ogni situazione risultati ottimi.

La continua analisi dei dati acquisiti durante le numerose applicazioni ha permesso agli inventori di creare un sistema di controllo totalmente nuovo ed innovativo

rispetto alle soluzioni impiegate precedentemente. In particolare gli inventori sono stati in grado di stabilire il percorso di movimentazione (o traiettoria) delle pinne che permette di ottenere un'ottima efficienza all'ancora.

In varie forme di attuazione, questo percorso viene calcolato costantemente e eseguito nei momenti più opportuni, modificato o interrotto se le previsioni di rollio non si rivelano reali.

In varie forme di attuazione, tale sistema di controllo è basato su una predizione del movimento di rollio dell'imbarcazione. Di conseguenza, tale sistema abbandona il classico modello di controllo: non si tratta di una retroazione di stato, come nel caso della navigazione, poiché l'andamento della pinna (posizione, velocità e accelerazione) non è più una combinazione lineare di angolo rollio, velocità di rollio e accelerazione di rollio.

In varie forme di attuazione, il sistema di controllo determina il percorso della pinna istante per istante (in termini di posizione, velocità ed accelerazione angolare) in modo da sviluppare una coppia stabilizzante che permetta di contrastare totalmente la coppia destabilizzante del mare. Qualora non sia possibile sviluppare tutta la coppia necessaria, ad esempio, perché l'entità del rollio è elevata, il sistema di controllo sceglie il percorso della pinna che permetta di "abbattere" la maggior quantità possibile di energia cinetica in modo da smorzare il rollio.

In una forma di attuazione, il sistema di controllo anti-rollio è basato generalmente sullo schema di controllo mostrato nella Figura 1 o nella Figura 2.

Tuttavia, il controllore 102 funziona in modo sostanzialmente diverso. Ad esempio, la Figura 4 mostra una possibile forma di attuazione di un modulo di controllo 102 per la stabilizzazione anti-rollio d'imbarcazioni ferme all'ancora. In particolare, anche in questo caso, il modulo di controllo è configurato per generare i parametri di controllo per l'attuatore 200, quali ad esempio la posizione α_c , la velocità $\dot{\alpha}_c$ e l'accelerazione $\ddot{\alpha}_c$.

In una forma di attuazione, il modulo di controllo 102 comprende due sotto-moduli:

- un primo modulo 1020 configurato per stimare e prevedere il movimento della barca, e
- un secondo modulo 1030 configurato per determinare la traiettoria per la movimentazione della pinna stabilizzatrice.

In particolare, in varie forme di attuazione, il modulo 1030 comprende due blocchi:

- un primo modulo 1024 configurato per determinare il momento stabilizzante che la pinna deve sviluppare, e
- un secondo modulo 1026 configurato per determinare i parametri di controllo per la pinna stabilizzatrice.

In una forma di attuazione, il modulo 1020 riceve in ingresso i dati che identificano il rollio dell'imbarcazione, ossia la rotazione attorno all'asse longitudinale x, quale ad esempio la posizione (o angolo) di rollio θ , la velocità di rollio $\dot{\theta}$ e l'accelerazione di rollio $\ddot{\theta}$ e fornisce in uscita dati 1022 che identificano l'oscillazione di rollio.

Ad esempio, in una forma di attuazione, l'oscillazione di rollio viene approssimato nel tempo t come moto sinusoidale di ampiezza A e periodo T , ossia:

$$\vartheta = A \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{T} t\right) \quad (2)$$

Di conseguenza, nella forma di attuazione considerata, il modulo 1020 fornisce in uscita l'amplitudine dell'oscillazione A , il periodo di oscillazione T (o in alternativa la frequenza di oscillazione), e la fase:

$$\phi = \frac{2\pi}{T} t \quad (3)$$

Ad esempio, in una forma di attuazione, il modulo determina l'ampiezza istantanea A e il periodo di rollio istantaneo T in base alle dinamiche fra la velocità di rollio e l'angolo di rollio. In particolare, l'ampiezza istantanea A e il periodo di rollio istantaneo T sono stimati a certe istante temporali e stimano l'oscillazione di rollio (vedere l'equazione (2)) per il prossimo periodo T o semiperiodo $T/2$.

In generale, la durata dell'oscillazione T_e può essere determinato rilevando il tempo di un semiperiodo o periodo di oscillazione dell'imbarcazione. Ad esempio, in una forma di attuazione, il modulo registra la durata dell'oscillazione T_e come tempo tra due inversioni di moto di rollio, mantenendolo opportunamente filtrato e scartando le misure che non rientrano in un range attendibile.

In una forma di attuazione, il modulo 1020 utilizza questa misura per poter stimare la pulsazione a cui sta rollando l'imbarcazione come:

$$\omega_e = \frac{2\pi}{T_e} \quad (4)$$

In una forma di attuazione, l'ampiezza istantanea viene calcolata come:

$$A = \sqrt{\theta^2 + \frac{\dot{\theta}^2}{w_e^2}} \quad (5)$$

ossia l'ampiezza istantanea viene determinata in funzione dell'attuale posizione di rollio θ e un contributo che tiene in conto l'attuale velocità di rollio $\dot{\theta}$.

In una forma di attuazione si calcola

$$w = \frac{d}{dt} \left[\tan^{-1} \left(\frac{\theta \cdot w_e}{\dot{\theta}} \right) \right] \quad (6)$$

dove w è la migliore stima della pulsazione istantanea, mentre w_e è la stima della pulsazione aggiornata ogni periodo di oscillazione e quindi non in maniera istantanea.

Di conseguenza, nella forma di attuazione considerata, il periodo di rollio istantaneo è

$$T = \frac{2\pi}{w} \quad (7)$$

In una forma di attuazione, il modulo calcola anche la derivata nel tempo dell'ampiezza istantanea di rollio \dot{A} e la derivata nel tempo del periodo istantaneo di rollio \dot{T} .

Ad esempio, in una forma di attuazione, effettuando delle derivate parziali rispetto al tempo di tutte le misure e derivate parziali di A (Ampliezza istantanea di rollio) rispetto a ϕ (fase di rollio), e rispetto a T (periodo di rollio), il modulo 1020 combina linearmente questi valori per ottenere una stima filtrata di \dot{A} e \dot{T} , dove $\dot{\phi} = w$.

Durante le sperimentazioni a bordo questo metodo di calcolo ha fornito la miglior stima della derivata istantanea nel tempo di queste misure. A differenza dei

classici metodi per approssimare la derivata nel tempo (differenze finite, Runge-Kutta, etc.) il procedimento proposto utilizza in combinazione le informazioni derivate dalla fase istantanea, pulsazione istantanea ed ampiezza di rollio istantanea; in questo modo si è in grado non solo di ottenere una migliore stima dei valori in quanto l'utilizzo di più informazioni permette di abbattere le incertezze di misura ma anche di ottenere valori che forniscono un anticipo probabilistico sui prossimi secondi del variare del moto di rollio.

In una forma di attuazione, il modulo di controllo 102 riceve non soltanto dati relativi al rollio, ma anche altri dati sul comportamento della nave.

Ad esempio, in una forma di attuazione, il modulo 102 riceve in ingresso dati che permettono di identificare anche:

- il beccheggio, ossia la rotazione attorno all'asse trasversale y , quale ad esempio la posizione o angolo di beccheggio ϕ , la velocità di beccheggio $\dot{\phi}$ e/o la accelerazione di beccheggio $\ddot{\phi}$, e

- il sussulto, ossia il movimento di traslazione lungo l'asse verticale z , quale ad esempio la posizione di sussulto γ , la velocità di sussulto $\dot{\gamma}$ e/o l'accelerazione di sussulto $\ddot{\gamma}$.

Ad esempio, tali dati possono essere rilevati tramite sensori giroscopici a tre assi e accelerometri a tre assi.

In una forma di attuazione, il modulo di controllo 1020 computa l'accoppiamento dei moti di rollio, beccheggio, e sussulto, per avere in uscita dati di rollio con un livello di rumorosità ridotto rispetto ai soli dati relativi al rollio, ossia il modulo 1020 calcola una

posizione di rollio filtrata ϑ_f , una velocità di rollio filtrata $\dot{\vartheta}_f$ e un'accelerazione di rollio filtrata $\ddot{\vartheta}_f$. Tali dati filtrati possono anche essere utilizzati per la stima dell'oscillazione di rollio mostrato con riferimento alle equazioni (2) a (7).

Infatti, gli inventori hanno osservato che in questo modo il segnale dell'accelerazione di rollio è molto stabile ed accurato.

Ad esempio, in una forma di attuazione, tale calcolo dei dati filtrati viene effettuato tramite un filtro di Kalman. In particolare, un filtro di Kalman è una tecnica di filtraggio che deriva dalla teoria del controllo ottimo e tramite processi di minimizzazione (solitamente ai minimi quadrati) permette di implementare il filtraggio ottimo (secondo una funzione di costo). La teoria dei filtri di Kalman è ben nota nell'arte rendendo una descrizione dettagliata di tali filtri superflua.

In una forma di attuazione, il secondo modulo 1024 effettua una valutazione e una previsione - in termini probabilistici - del momento destabilizzante agente sull'imbarcazione.

In particolare, in una forma di attuazione, il modulo 1024 utilizza i valori di A , ϑ , $\dot{\vartheta}$, $\ddot{\vartheta}$ e \dot{t} per determinare:

- lo sfasamento Γ tra forzante del disturbo destabilizzante (onde del mare) e sinusoida di rollio dell'imbarcazione,

- la durata attesa per il prossimo periodo di rollio, e

- l'ampiezza attesa per il prossimo periodo di rollio.

In una forma di attuazione, il modulo calcola anche il momento destabilizzante atteso per i prossimi istanti.

Ad esempio, in una forma di attuazione si utilizza la seguente equazione di equilibrio dinamico:

$$M_d + M_s + M_r = \ddot{\vartheta} \cdot J_N \quad (8)$$

dove:

- M_d è il momento destabilizzante del mare,
- M_s è il momento stabilizzante della pinne, e
- M_r è il momento raddrizzante dell'imbarcazione, e
- J_N il momento d'inerzia della nave.

In particolare, in una forma di attuazione, il modulo 1024 riceve in ingresso l'accelerazione di rollio $\ddot{\vartheta}$, ad esempio l'accelerazione di rollio filtrata $\ddot{\vartheta}_f$ fornita dal modulo 1020, e calcola in tempo reale il momento stabilizzante pinne M_s e il momento raddrizzante nave M_r .

Il momento raddrizzante nave M_r rappresenta il richiamo elastico dell'imbarcazione e dipende dall'angolo di rollio e dai parametri della specifica imbarcazione, in particolare l'altezza metacentrica trasversale ($r-a$) e il dislocamento Δ . Ad esempio, in una forma di attuazione Il momento raddrizzante nave M_r viene calcolato come:

$$M_r = \Delta * (r - a) * \sin \vartheta$$

L'esperto del ramo apprezzerà che questa relazione è largamente utilizzata in tutti i campi di studio della dinamica delle imbarcazioni e quindi ben conosciuta nel relativo campo tecnico.

Invece il comportamento dell'imbarcazione legato a J_N è tipicamente costante e può essere determinato grazie a misurazioni effettuate durante una fase di calibrazione effettuata ad esempio durante le prime uscite a mare.

Di conseguenza, rimane come unica incognita il momento destabilizzante del mare M_d . Tuttavia, gli inventori hanno osservato che conoscendo la destabilizzazione del mare e lo

sfasamento e sua derivata nel tempo, si può calcolare come varierà nei prossimi secondi, in media (sempre in modo probabilistico) la componente di destabilizzazione e definire un profilo atteso del momento destabilizzante del mare.

In generale, ogni imbarcazione ha dei dati caratteristici che permettono di elaborare un modello matematico dell'imbarcazione stessa. Ad esempio, tipicamente sono importanti: il dislocamento e l'altezza metacentrica trasversale. Tali dati variano da imbarcazione ad imbarcazione e vengono impostati, ad esempio, all'interno di una memoria. In questo modo, conoscendo M_d (unica incognita dell'equazione (8)) e effettuando una differenza finita del profilo determinato (come descritto in precedenza), si può calcolare il valore atteso di M_d per i prossimi istanti.

In una forma di attuazione, il momento stabilizzante pinne M_s viene calcolato in funzione della coppia stabilizzante istantanea C_s generata dalle pinne.

In particolare, in una forma di attuazione, il modulo 1024 determina tale coppia stabilizzante istantanea C_s pesando i risultati ottenuti con due metodi diversi. Tuttavia, in generale, ciascuno di tali metodi potrebbe anche essere utilizzato singolarmente.

Nella forma di attuazione considerata, il primo metodo relaziona lo stato della pinna $[\alpha \dot{\alpha} \ddot{\alpha}]$ al lift utile prodotto L , e combina linearmente queste grandezze come forze viscose, forze di inerzia e scomponendole secondo la direzione utile:

$$L = (c_v \cdot \dot{\alpha} + c_m \cdot \ddot{\alpha}) \cdot \cos \alpha \quad (9)$$

Gli inventori hanno osservato che questa stima risulta particolarmente accurata in mare calmo con rollii di limitata entità.

In una forma di attuazione, per avere una relazione vera in condizioni reali, viene introdotto una componente che dipende dalla velocità di rollio della nave.

In particolare, nella forma di attuazione considerata, questa componente viene aggiunta al termine viscoso (la pala si muove nell'acqua più velocemente/lentamente per effetto della corrente apparente determinata dal rollio) e viene scalata per il coseno della posizione pinna a causa della riduzione della superficie esposta alla corrente relativa dovuta alla velocità di rollio. Quindi la relazione diventa:

$$L = (c_v \cdot (\dot{a} + c_c \cdot \dot{\vartheta} \cdot \cos \alpha) + c_m \cdot \ddot{a}) \cdot \cos \alpha \quad (10)$$

dove c_v e c_m dipendono dalla geometria della pinna e possono essere determinati tramite simulazioni fluidodinamiche, eventualmente verificati per via sperimentale, e possono essere registrati nella memoria del controllore. Invece il parametro c_c dipende dalla posizione in cui vengono installati gli attuatori e dalla geometria della pala. Anche questo parametro può essere registrato nella memoria.

Invece, il secondo metodo valuta la coppia che l'asse trasmette alla pinna e determina il lift utile alla stabilizzazione.

Ad esempio, in caso di un attuatore elettrico, il modulo 1024 può ottenere la coppia tramite una misura precisa all'albero motore; per costruzione la coppia elettromagnetica sviluppata da un motore "brushless" dipende secondo una costante di proporzionalità K_m

(costante e caratteristica di ciascun motore) dalla corrente che scorre negli avvolgimenti. Misurando la corrente fornita al motore istante per istante è, quindi, possibile calcolare la coppia sviluppata dal motore, dove vale in generale:

$$\alpha = i\alpha_m$$

ossia l'accelerazione della pinna α corrisponde all'accelerazione del motore α_m (moltiplicato per il rapporto riduzione i).

Conoscendo l'accelerazione e il rendimento diretto (accelerazione e velocità costante) e indiretto (decelerazione) del riduttore si può risalire alla coppia sviluppata alla pinna:

$$C_s = i \cdot \{C_m - \ddot{\alpha}_m (J_m + J_r) - (1 - \eta)C_m\} \quad (11)$$

dove:

- i è rapporto riduzione tra il movimento del motore elettrico e la pinna,

- C_m è la coppia del motore,

- $\ddot{\alpha}_m$ è l'accelerazione del motore come rilevata tramite l'encoder,

- J_m è il momento d'inerzia del motore,
- J_r è il momento d'inerzia del riduttore, e
- η è il rendimento,

dove i momenti di inerzia, i rendimenti ed i rapporti di trasmissione sono tipicamente noti e certificati dai produttori dei motori e dei riduttori, e la coppia istantanea del motore può essere calcolata in base alle correnti del motore,

Invece, in caso di un attuatore idraulico, si può utilizzare, ad esempio, un trasduttore di pressione per

conoscere la pressione agente sui cilindri, e ottenere la coppia sviluppata secondo:

$$C_s = A_{eq} \cdot b \cdot \cos \alpha \quad (12)$$

dove:

- b è il braccio del cilindro idraulico,
- $\cos \alpha$ rappresenta il contributo del braccio utile al variare dell'angolo della pinna, e
- A_{eq} è l'area equivalente del cilindro.

In generale, la misura della coppia dovrebbe essere proporzionale al lift sviluppato in direzione ortogonale alla pinna che deve essere considerato solo nella direzione utile alla stabilizzazione. In realtà questa misura è meno pulita del calcolo secondo il primo metodo, ma più veritiera per grandi rolli che introducono altri effetti.

Infine il terzo modulo 1026 è responsabile per la generazione della traiettoria della pinna stabilizzatrice.

In generale, la peculiarità della stabilizzazione all'ancora tramite pinne stabilizzatrici, sta nel fatto che non si può imprimere una coppia stabilizzante continua all'imbarcazione, come invece avviene in navigazione. Infatti, la movimentazione limitata della pala comporta un ciclo di accelerazione-decelerazione che devono stare entro rigidi limiti di angolo, quale ad esempio $[-40^\circ, +40^\circ]$, e, di conseguenza, entro determinati limiti temporali.

Per questo motivo, in varie forme di attuazione, il modulo 1026 valuta a quale velocità far muovere la pinna per avere un effetto stabilizzante per evitare di trovarsi a doverla frenare quando il contributo stabilizzante sarebbe negativo, ovvero il modulo 1026 sceglie progressivamente il tipo di traiettoria più opportuno.

In una forma di attuazione, per scegliere quale traiettoria eseguire, il modulo 1026 valuta due punteggi, ottenuti da funzioni di costo differenti.

In varie forme di attuazione, il modulo 1026 esegue numericamente delle simulazioni di traiettoria pinna (variando tempo di accelerazione, velocità massima, ampiezza della pinnata, tempo di decelerazione) e calcola il profilo di coppia stabilizzante.

Ad esempio, in una forma di attuazione, il modulo calcola sostanzialmente le stesse equazioni del modulo 1024, ovvero le equazioni (9) a (12). Tuttavia, mentre il modulo 1024 lavora istante per istante per stimare i valori reali di rollio dell'imbarcazione e della coppia di attuazione della pinna, il modulo 1026 effettua una previsione secondo una traiettoria ipotetica della pinna.

La Figura 5 è un diagramma di flusso che illustra il funzionamento di una forma di attuazione del modulo 1026 e le Figure 6a a 6h illustrano alcuni dettagli dei passi eseguite dal modulo 1026.

In particolare, dopo un passo iniziale 2000, il modulo 1026 determina ad un passo 2002 il rollio atteso o previsto 300. Ad esempio, nella forma di attuazione considerata, il modulo 1026 determina la traiettoria ipotetica per la durata di un periodo T o preferibilmente di un semiperiodo $T/2$, e pertanto anche l'andamento di rollio viene previsto per la stessa durata. Ad esempio, nella forma di attuazione considerata, la durata della traiettoria corrisponde a $T/2$, e il rollio viene previsto e la traiettoria viene determinata ad ogni massimo o minimo dell'oscillazione di rollio, ossia nelle istanti in cui la velocità di rollio $\dot{\theta}$ è pari a zero.

La Figura 6a mostra in questo contesto il semiperiodo di una tipica oscillazione di rollio previsto che parta ad un istante t_1 da una posizione di rollio massima ϑ_{\max} e finisce ad un istante t_2 ad una posizione di rollio minima ϑ_{\min} .

Ad esempio, nella forma di attuazione considerata e puramente a scopi illustrativi, il modulo calcola al passo 2002 soltanto il primo metodo del modulo 1024, ovvero le equazioni (9) o (10).

Ad esempio, nella forma di attuazione considerata, il modulo 1026 sceglie una traiettoria ipotetica e calcola:

$$L = (c_v \cdot (\dot{\alpha} + c_c \cdot \dot{\vartheta}_{\exp} \cdot \cos \alpha) + c_m \cdot \ddot{\alpha}) \cdot \cos \alpha$$

dove $\dot{\vartheta}_{\exp}$ è la velocità di rollio dell'imbarcazione attesa. Tale velocità di rollio $\dot{\vartheta}_{\exp}$ è tipicamente non noto. Tuttavia come descritto con riferimento al modulo 1024, tale dato può essere stimato tramite un approccio probabilistico. Ad esempio, il modulo 1026 può anche riutilizzare il valore determinato tramite il modulo 1024.

Ad un passo 2004, il modulo 1026 seleziona almeno una traiettoria iniziale 302.

Ad esempio, in una forma di attuazione, si possono utilizzare due traiettorie iniziali. La prima traiettoria iniziale (vedere ad esempio la Figura 6b) è basata su una traiettoria base, in cui l'istante di partenza è preimpostato, e in cui si usa:

- un'ampiezza massima dalla posizione corrente alla posizione estrema nel verso opposto, quale ad esempio, $+40^\circ$ o -40° ,
- una certa percentuale della velocità massima, quale ad esempio 70% della velocità massima, e

- una certa percentuale dell'accelerazione massima, quale ad esempio 70% dell'accelerazione massima.

Invece, la seconda traiettoria (vedere ad esempio la Figura 6c) è basata su una traiettoria speculare di quella eseguita all'ultima pinnata.

Ad un passo 2006, il modulo 1026 sceglie (e memorizza) la traiettoria iniziale con punteggio migliore delle due.

Ad esempio in una forma di attuazione, il modulo 1026 calcola per ogni traiettoria due punteggi C_{F1} e C_{F2} ottenuti da almeno due differenti funzioni di costo F1 e F2, quali ad esempio:

- una prima funzione di costo F1 basata su una differenza ai minimi quadrati tra i profili di coppie stabilizzante e destabilizzante calcolati dal modulo 1024, e

- una seconda funzione di costo F2 che premia la traiettoria della pinna con più alto valore energetico.

In varie forme di attuazioni, il modulo 1026 potrebbe utilizzare, ad esempio come seconda funzione di costo F2, una funzione che massimizza il prodotto dei profili di coppia stabilizzante (simulata dalla traiettoria) per il profilo di velocità di rollio attesa calcolato dal modulo 1024.

Ad esempio, considerando la previsione di rollio e le traiettorie iniziali mostrate nelle Figure 6a a 6c, si potrebbe ottenere i seguenti costi:

- un costo di 153 per il calcolo della funzione di costo F1 per la prima traiettoria iniziale,

- un costo di 121 per il calcolo della funzione di costo F2 per la prima traiettoria iniziale,

- un costo di 122 per il calcolo della funzione di costo F1 per la seconda traiettoria iniziale, e

- un costo di 125 per il calcolo della funzione di costo F2 per la seconda traiettoria iniziale.

Gli inventori hanno osservato che la prima funzione di costo F1 raggiunge ottimi risultati in caso di un mare poco mosso e il modulo 1026 riesce a stabilizzare anche rolli di bassissima entità (ad esempio, 0.8 gradi di rollio vengono ridotti tipicamente a 0.2).

Invece, nel caso in cui il rollio cresca di ampiezza, il modulo 1026 dovrebbe pesare maggiormente la seconda funzione di costo F2 che premia la traiettoria della pinna con più alto valore energetico. Infatti, non è sempre possibile eliminare tutto il rollio come avviene in mare poco mosso. Di conseguenza, in queste condizioni, il modulo 1026 può tentare a sottrarre al sistema l'energia maggiore utilizzando la "finestra" di angolo e tempo disponibile per ogni pinnata.

Per questo motivo, nella forma di attuazione considerata, il modulo 1026 determina ad un passo 2008 un valore di costo complessivo per ogni traiettoria iniziale tramite una combinazione dei rispettivi valori di costo, in cui almeno uno dei rispettivi valori di costo viene pesato in funzione dell'ampiezza di rollio atteso A_{exp} .

In varie forme di attuazione, l'ampiezza di rollio atteso A_{exp} viene determinata in funzione dell'ampiezza di rollio istantanea A e della derivata nel tempo dell'ampiezza di rollio istantanea \dot{A} . Ad esempio, tali dati vengono anche calcolati nel modulo 1020 e possono essere riutilizzati (vedere ad esempio le equazioni (2) a (7) e la relativa descrizione).

Ad esempio, la Figura 6d mostra una forma di attuazione per calcolare l'ampiezza di rollio atteso A_{exp} .

In particolare, nella Figura 6d, la linea 304 indica il rollio reale dell'imbarcazione.

All'istante t_1 , l'ampiezza istantanea di rollio A ha un primo valore A_1 . Come menzionato in precedenza, tale ampiezza istantanea di rollio A può essere calcolato in ogni istante, ma non come previsione. Pertanto, generalmente, l'andamento dell'ampiezza istantanea di rollio A è sconosciuto all'istante t_1 .

Tuttavia, conoscendo la derivata nel tempo dell'ampiezza di rollio istantanea \dot{A} , l'andamento dell'ampiezza di rollio A può essere stimato.

Ad esempio in una forma di attuazione, si utilizza la seguente equazione per stimare l'ampiezza di rollio atteso A_{exp} :

$$A_{\text{exp}} = A + \dot{A} \cdot t$$

ossia, nella forma di attuazione considerata, si utilizza come pendenza per A_{exp} la stima della pendenza dell'ampiezza istantanea di rollio \dot{A} . Ad esempio, in una forma di attuazione, si utilizza la stima filtrata di \dot{A} .

In una forma di attuazione, si utilizza l'ampiezza di rollio atteso A_{exp} a metà del semiperiodo come valore di riferimento per pesare i valori di costo:

$$A_{\text{exp}}(T/4) = A + \dot{A} \cdot T/4$$

Infatti, ad un metà del semiperiodo si ottiene (in prima approssimazione) tipicamente la massima efficacia della pinnata.

In una forma di attuazione, il costo complessivo C_c viene calcolato tramite la seguente equazione:

$$C_c = b \cdot C_{F2} + (1 - b) \cdot C_{F1} \quad (11)$$

dove b è un coefficiente determinato in funzione della ampiezza di rollio attesa A_{exp} .

Ad esempio, la Figura 6e mostra un esempio della relazione tra il coefficiente b e l'ampiezza di rollio A_{exp} , quale, ad esempio, l'ampiezza di rollio a metà del semiperiodo $A_{exp}(T / 4)$. In particolare, nell'esempio considerato, il coefficiente b rimane per piccole ampiezze di rollio A_{exp} sostanzialmente a zero e cresce da un certo punto in poi linearmente, ossia per elevati rollii viene pesato maggiormente la seconda funzione di costo F2.

Ad esempio, considerando un'ampiezza di oscillazione $A_{exp} = 1.2^\circ$, il coefficiente b potrebbe essere 0.7. Di conseguenza, combinando i rispettivi valori di costi, si potrebbe ottenere:

- un costo complessivo di 130.6 per la prima traiettoria iniziale, e
- un costo complessivo di 124.1 per la seconda traiettoria iniziale.

Di conseguenza, per l'esempio considerato, il modulo sceglierebbe la seconda traiettoria iniziale, ossia la traiettoria con il minor costo.

Una volta selezionata la miglior traiettoria iniziale, il modulo 1026 può adattare al passo 2008 i parametri della traiettoria scelta.

Ad esempio, in una forma di attuazione, il modulo 1026 può abbassare o alzare i valori di velocità e accelerazione e se necessario diminuisce anche l'ampiezza della pinnata.

Ad esempio, le Figure 6f e 6g illustrano il profilo della seconda traiettoria (vedere Figura 6c) in cui l'ampiezza è stata ridotta (Figura 6f) o incrementata (Figura 6g).

Ad esempio in una forma di attuazione, il modulo 1026 varia tali parametri della traiettoria fino a quando

a) non c'è una nuova soluzione migliore variando i parametri, o

b) è scaduto il tempo di calcolo perché l'istante di partenza è arrivato.

Ad esempio, per valutare la traiettoria modificata, il modulo 1026 può calcolare il rispettivo costo complessivo.

Ad un passo 2010, il modulo 1026 fornisce istante per istante posizione, velocità ed accelerazione della pinna. Tali valori possono essere forniti come ingresso al modulo di controllo (adattativo) dell'attuatore 106 mostrato con riferimento alle Figure 2 o 3.

Infine, il modulo 1026 torna al passo 2002 per determinare la prossima traiettoria.

In una forma di attuazione, prima di ricalcolare la prossima traiettoria, il modulo 1026 controlla ad un passo opzionale 2012 il comportamento dell'imbarcazione in risposta al movimento della pinna stabilizzatrice e, nel caso in cui ci sia un eccesso di compensazione, interrompe la movimentazione della pinna.

Ad esempio, la Figura 6h mostra un esempio senza interruzione della pinnata.

In particolare, nell'esempio considerato la linea 300 indica il rollio atteso e la linea 302 indica la traiettoria scelta al passo 2010. In particolare, come descritto in precedenza, l'andamento di tali linee viene determinato in corrispondenza a massimi e minimi della oscillazione di rollio, ad esempio, alle istanti t_1 e t_2 . Invece la linea 304 indica il rollio reale dell'imbarcazione.

Invece, la Figura 6i mostra un esempio in cui la pinnata viene interrotta per eccesso di compensazione.

Anche in questo caso le linee 300, 302 e 304 indicano rispettivamente il rollio atteso, la traiettoria scelta e il rollio reale dell'imbarcazione. Tuttavia, in questo caso, la pinnata viene interrotta perché la previsione di rollio non è vetriera. Ad esempio tale condizione può essere determinata facilmente perché la durata del semiperiodo dell'oscillazione reale, ossia la durata tra l'istante t_1 e l'istante t_3 , è sostanzialmente inferiore alla durata $T/2$ prevista.

Ad esempio, in questo caso, il modulo 1026 può frenare (più o meno bruscamente) la pinna stabilizzatrice e interrompere la traiettoria che sta eseguendo.

In particolare, una sovracompensazione succede tipicamente perché l'imbarcazione non ha rallentato il suo rollio (compensazione corretta) o al più fermandosi (compensazione perfetta), ma ha cominciato a rollare nella direzione opposta (compensazione eccessiva).

Gli inventori hanno osservato che questo comportamento è identificato da un minimo locale del rollio che avviene molto prima di quando sarebbe normale che avvenisse. Ad esempio, tipicamente non è normale che un tale minimo locale avvenga prima di un tempo pari, ad esempio, all'80% del semiperiodo.

Ad esempio, in una forma di attuazione, tale minimo locale del rollio può essere determinato rilevando un'inversione della velocità di rollio.

Ad esempio, nell'esempio mostrato nella Figura 6i, un minimo del rollio viene rilevato all'istante t_3 . Successivamente, il modulo 1026 può confrontare il tempo trascorso tra gli istanti t_1 e t_3 con la durata del periodo T o semiperiodo $T/2$ e decidere se tale minimo è causato da una sovracompensazione. In particolare, all'istante t_3 ,

essendo il movimento della pinna non più necessario o anche molto dannoso ai fini della stabilizzazione, la movimentazione può essere interrotta più o meno bruscamente, ad esempio, in funzione della velocità di rollio misurata istantaneamente, ossia la velocità di rollio in direzione opposta a quella "normale" se non ci fosse stata sovracompensazione. Ad esempio, una possibile movimentazione della pinna stabilizzatrice rispetto alla movimentazione prevista 302 è illustrato tramite la linea 302'.

In una forma di attuazione, invece di aspettare per il prossimo semi-periodo, il modulo 1026 ricalcola immediatamente il rollio atteso e ricerca la nuova traiettoria ottima, ossia ritornare al passo 2002.

L'esperto del ramo apprezzerà che le soluzioni descritte nella presente descrizione potrebbero essere migliorati nel caso in cui siano disponibili misure dirette della componente destabilizzante agente sull'imbarcazione. Ad esempio, ciò sarebbe deducibile utilizzando sensori di pressione sulla carena in modo da avere una mappatura delle forze agenti sull'imbarcazione stessa, e/o dei sensori a tecnologia laser, radar, ultrasuoni o altro, per la misura della posizione della superficie del mare e ricostruire la mappatura della superficie del mare attorno all'imbarcazione e della traslazione/velocità delle onde rispetto all'imbarcazione, cosa che permetterebbe di anticipare le oscillazioni dell'imbarcazione.

Inoltre, le soluzioni descritte in precedenza possono essere integrati anche con la direzione del vento che fornisce una prima stima della direzione dalla quale arrivano le onde, anche se esistono situazioni in cui le

onde hanno direzione differente dal vento, ma sono situazioni di minoranza.

Naturalmente, fermo restando il principio dell'invenzione, i particolari di costruzione e le forme di realizzazione potranno essere ampiamente variati rispetto a quanto descritto ed illustrato a puro titolo di esempio, senza per questo uscire dall'ambito della presente invenzione, così come definito dalle rivendicazioni che seguono.

RIVENDICAZIONI

1. Procedimento di controllo di una pinna stabilizzatrice (200) per la stabilizzazione anti-rollio d'imbarcazioni (202) fermi ad ancora, comprendente le fasi di:

- rilevare almeno un valore identificativo per il rollio di detta imbarcazione,
- stimare (1020, 2002) l'oscillazione di rollio attesa di detta imbarcazione in funzione di detto almeno un valore rilevato, e
- determinare (1030, 2002-2008) una traiettoria per la movimentazione di detta pinna stabilizzatrice (200) in funzione di detto rollio atteso, e
- controllare (106, 2010, 2012) il movimento di detta pinna stabilizzatrice in funzione di detta traiettoria.

2. Procedimento secondo la rivendicazione 1, in cui detto stimare (1020, 2002) l'oscillazione di rollio attesa di detta imbarcazione in funzione di detto almeno un valore rilevato comprende modellare l'oscillazione di rollio di detta imbarcazione (202) tramite una onda sinusoidale.

3. Procedimento secondo la rivendicazione 1 o la rivendicazione 2, in cui detto determinare (1030, 2002-2008) una traiettoria per la movimentazione di detta pinna stabilizzatrice in funzione di detto rollio atteso comprende:

- stimare (1024, 2002) il momento destabilizzante del mare e il momento stabilizzante della pinna.

4. Procedimento secondo la rivendicazione 3, in cui detto momento destabilizzante del mare viene stimato tramite un approccio probabilistico.

5. Procedimento secondo la rivendicazione 3 o la rivendicazione 4, in cui il momento stabilizzante della pinna viene determinato in funzione della coppia stabilizzante generata dalla pinna (200).

6. Procedimento secondo una delle precedenti rivendicazioni, in cui detto determinare (1030, 2002-2008) una traiettoria per la movimentazione di detta pinna stabilizzatrice in funzione di detto rollio atteso comprende:

- selezionare (2004) almeno due traiettorie iniziali (302),

- selezionare (2006, 2008) una di dette almeno due traiettorie iniziali (302) in funzione di una funzione di costo.

7. Procedimento secondo la rivendicazione 6, in cui dette almeno due traiettorie iniziali sono scelte fra:

- una prima traiettoria iniziale, in cui si usa un'ampiezza massima dalla posizione corrente alla posizione estrema nel verso opposto, una certa percentuale della velocità massima della movimentazione e una certa percentuale dell'accelerazione massima di detta pinna stabilizzatrice (200), e/o

- una seconda traiettoria speculare di quella eseguita all'ultima pinnata.

8. Procedimento secondo la rivendicazione 7, in cui detto selezionare (2006, 2008) una di dette almeno due traiettorie iniziali (302) in funzione di una funzione di costo comprende calcolare almeno una delle seguenti funzioni di costo:

- una funzione di costo basata su una differenza ai minimi quadrati tra i profili di coppie stabilizzante e destabilizzante,

- una funzione di costo che premia la traiettoria della pinna con più alto valore energetico, e

- una funzione che massimizza il prodotto dei profili di coppia stabilizzante per il profilo di velocità di rollio attesa.

9. Sistema di controllo per la stabilizzazione anti-rollio d'imbarcazioni (202) fermi ad ancora, comprendente:

- una pinna stabilizzatrice (200), e
- un modulo di controllo (102) configurato per attuare il procedimento secondo una delle precedenti rivendicazioni.

10. Prodotto informatico caricabile in una memoria di almeno un processore e comprende porzioni di codice software per implementare il procedimento secondo una delle rivendicazioni 1 a 8.

CLAIMS

1. A method of controlling a stabilization fin (200) for the anti-roll stabilization of a watercraft (202) at anchor, comprising the steps of:

- detecting at least one value indicative for the roll of said watercraft,
- estimating (1020, 2002) the oscillation of the expected roll of said watercraft as a function of said at least one detected value,
- determining (1030, 2002-2008) a trajectory for the movement of said stabilization fin (200) as a function of said expected roll, and
- controlling (106, 2010, 2012) the movement of said stabilization fin as a function of said trajectory.

2. The method according to Claim 1, wherein said estimating (1020, 2002) the oscillation of the estimated roll of said watercraft as a function of said at least one detected value comprises modeling the roll oscillation of said watercraft (202) with a sinusoidal wave.

3. The method according to Claim 1 or Claim 2, wherein said determining (1030, 2002-2008) a trajectory for the movement of said stabilization fin as a function of said expected roll comprises:

- estimating (1024, 2002) the destabilizing moment of the sea and the stabilizing moment of said fin.

4. The method according to Claim 3, wherein said destabilizing moment of the sea is estimated via a probabilistic approach.

5. The method according to Claim 3 or Claim 4, wherein said stabilizing moment of said fin is determined as a

function of the stabilization torque generated by said fin (200).

6. The method according to any of the previous claims, wherein said determining (1030, 2002-2008) a trajectory for the movement of said stabilization fin as a function of said expected roll comprises:

- selecting (2004) at least two initial trajectories (302), and

- selecting (2006, 2008) one of said at least two initial trajectories (302) as a function of a cost function.

7. The method according to Claim 6, wherein said at least two initial trajectories are selected among:

- a first initial trajectory, wherein as maximum amplitude is used the current position to the maximum opposed position, a given percentage of the maximum velocity of the movement and a given percentage of the maximum acceleration of said stabilization fin (200), and/or

- a second trajectory being specular to one executed with the last fin stroke.

8. The method according to Claim 7, wherein said selecting (2006, 2008) one of said at least two initial trajectories (302) as a function of a cost function comprises computing at least one of the following cost functions:

- a cost function based on a least squares difference between the stabilization and the destabilization torque profiles,

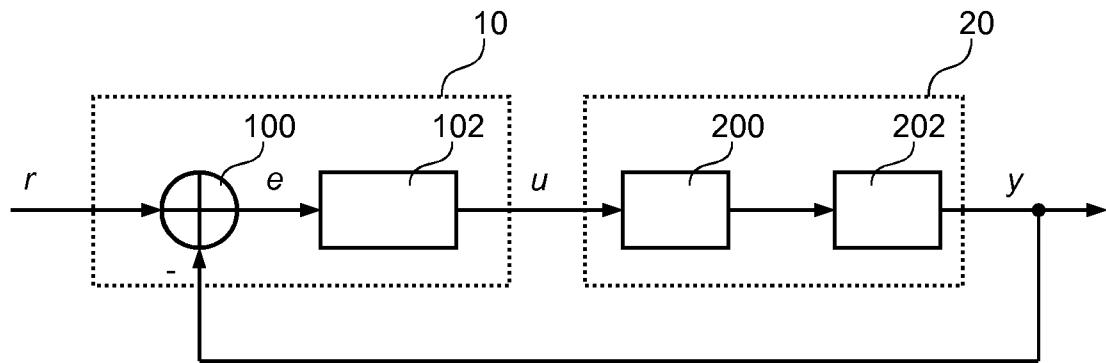
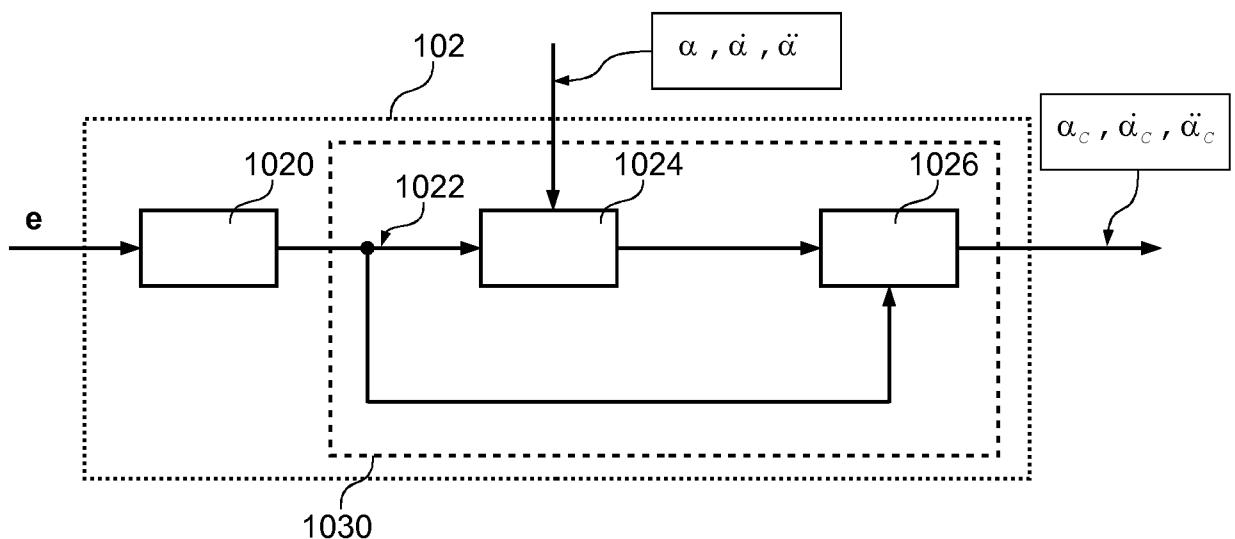
- a cost function which awards the trajectory of the fin with the highest energetic value, and

- a function which maximizes the product between the stabilization torque profile and the velocity profile of the expected roll.

9. A control system for the anti-roll stabilization of a watercraft (202) at anchor, comprising:

- a stabilization fin (200), and
- a control module (102) configured for implementing the method of any of the previous claims.

10. A computer-program product that can be loaded into the memory of at least one processor and comprises portions of software code for implementing the method according to any of Claims 1 to 8.

**Fig. 1****Fig. 4**

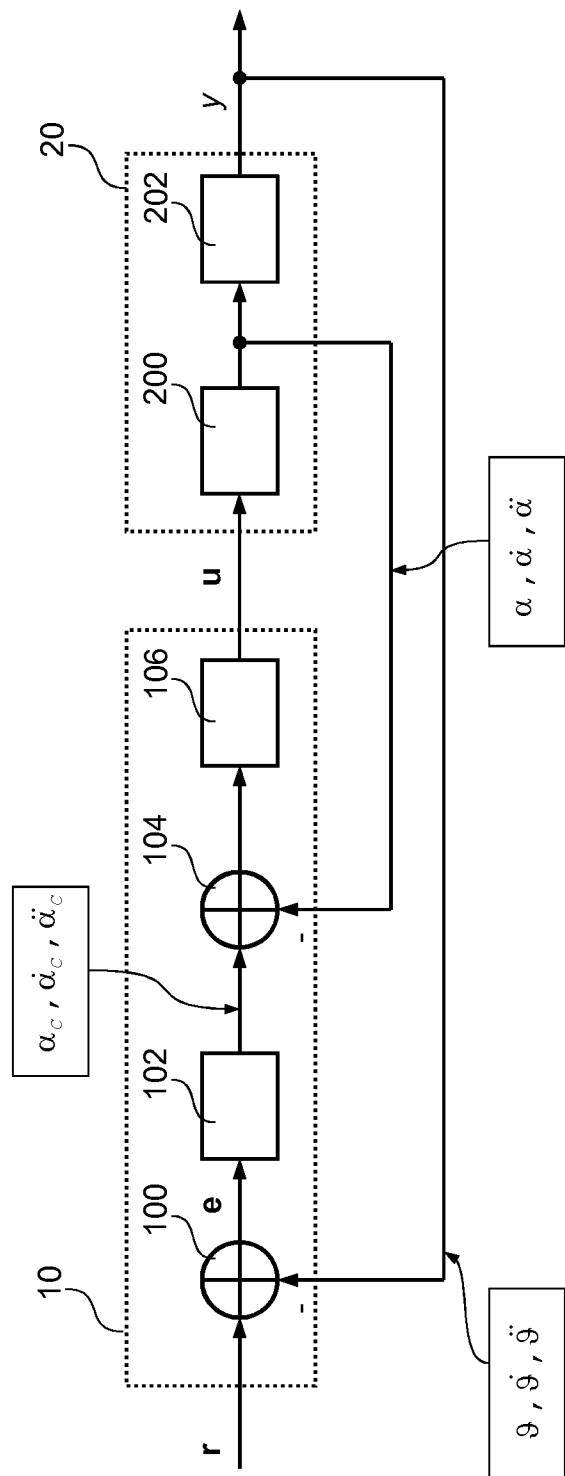


Fig. 2

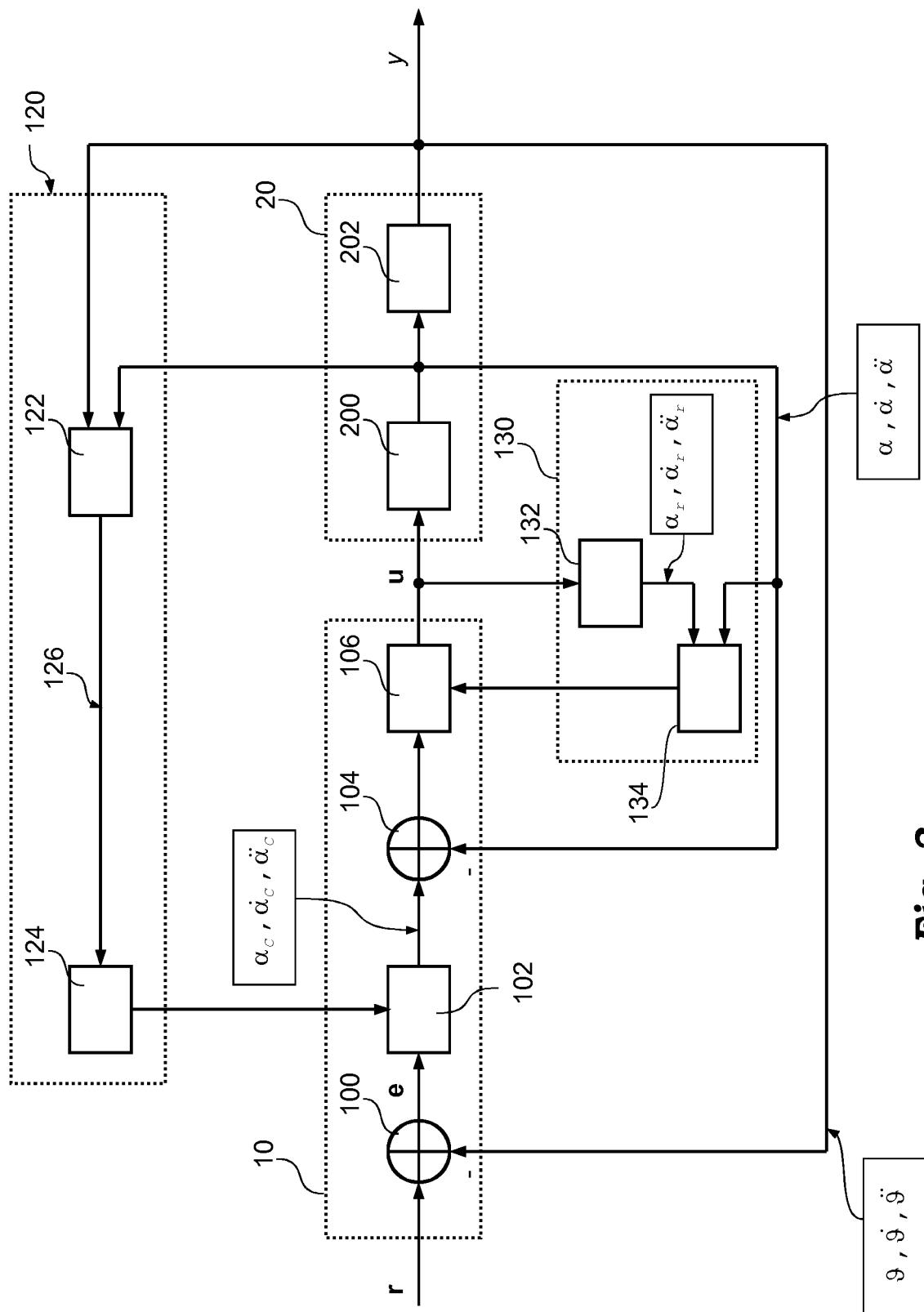


Fig. 3

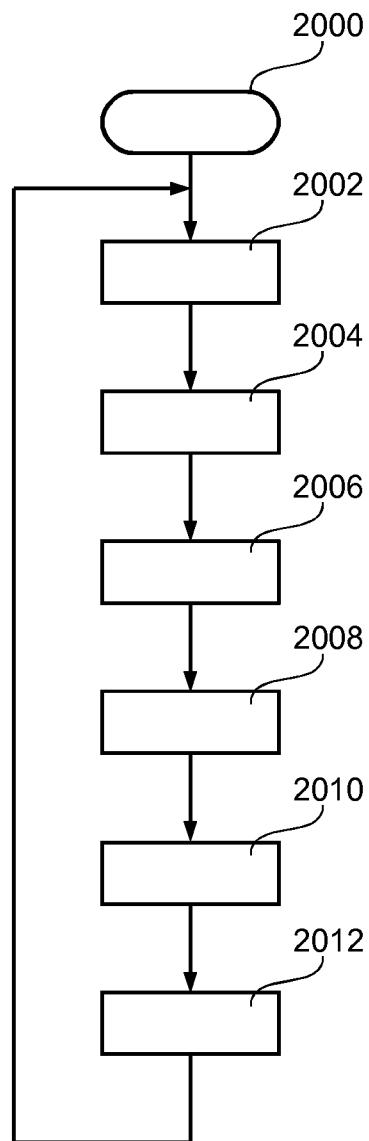
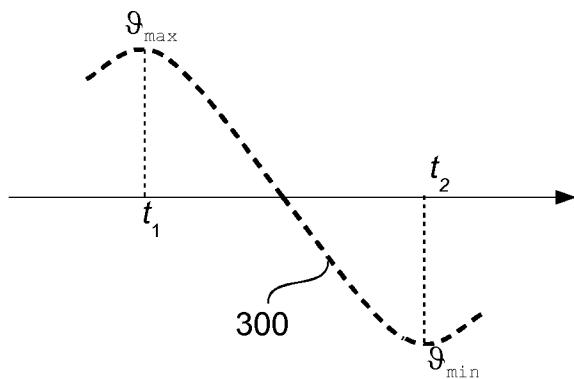


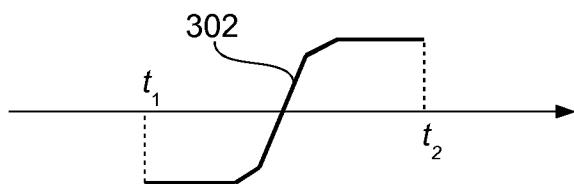
Fig. 5

5/7

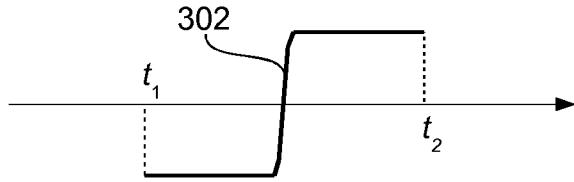
a)



b)



c)



d)

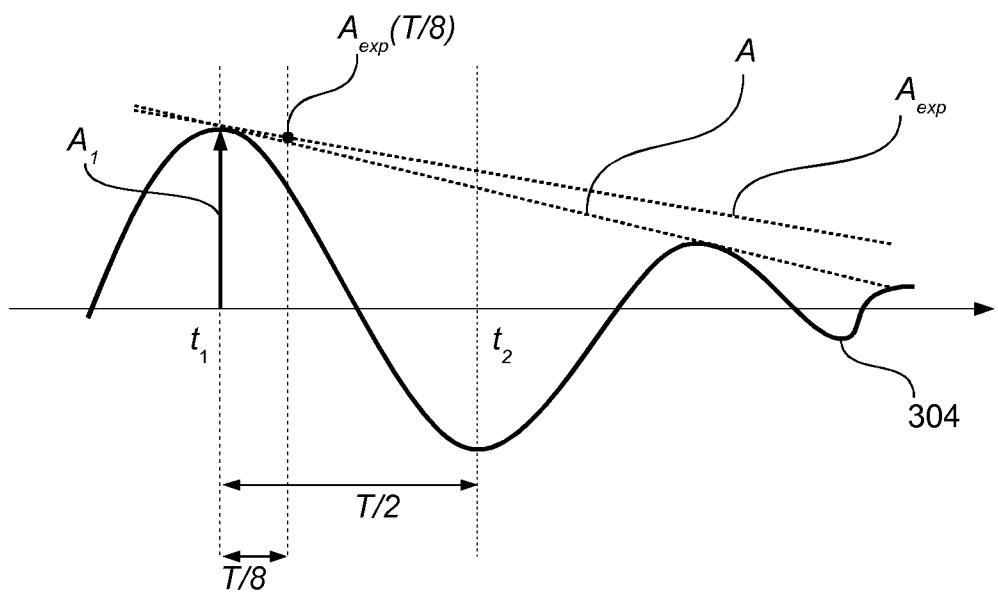


Fig. 6

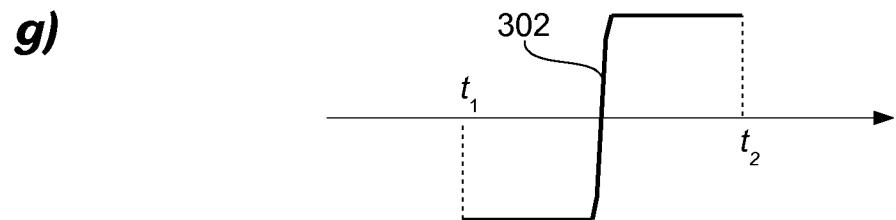
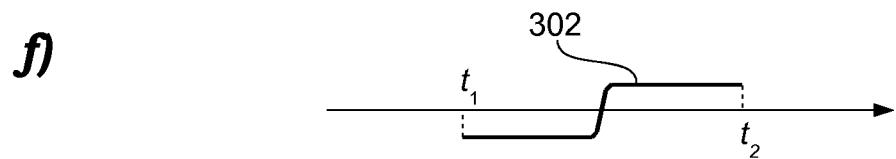
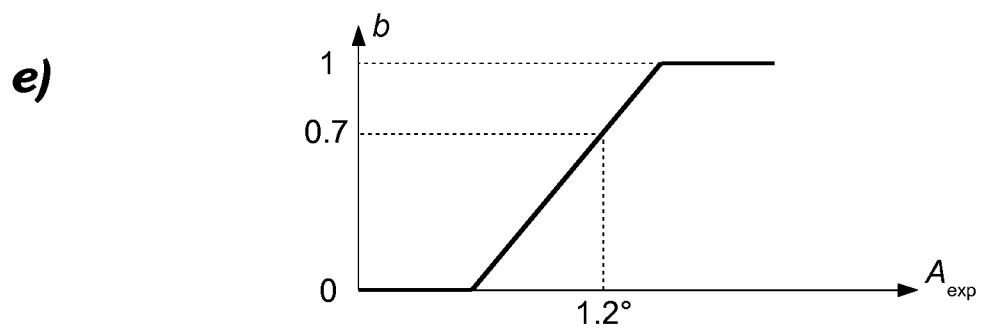
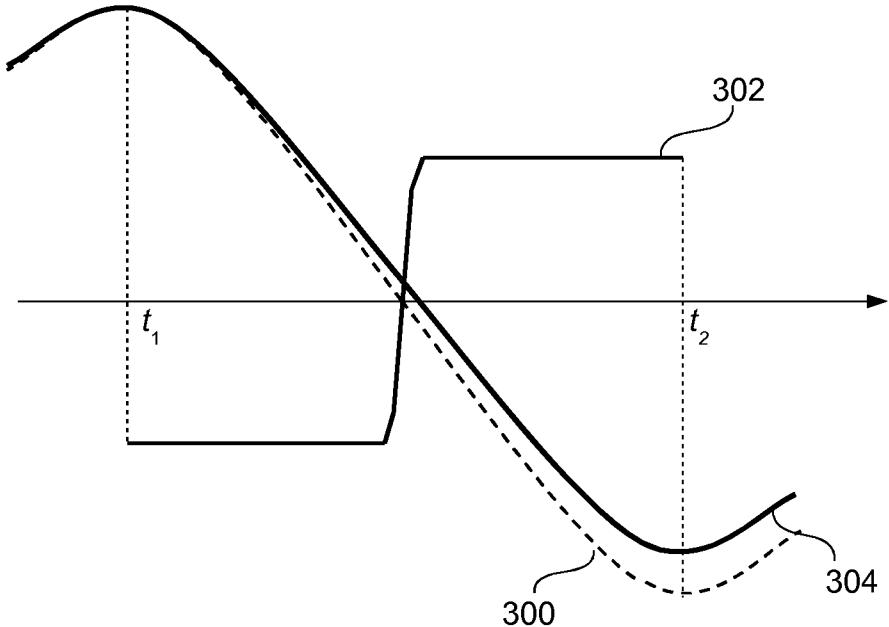
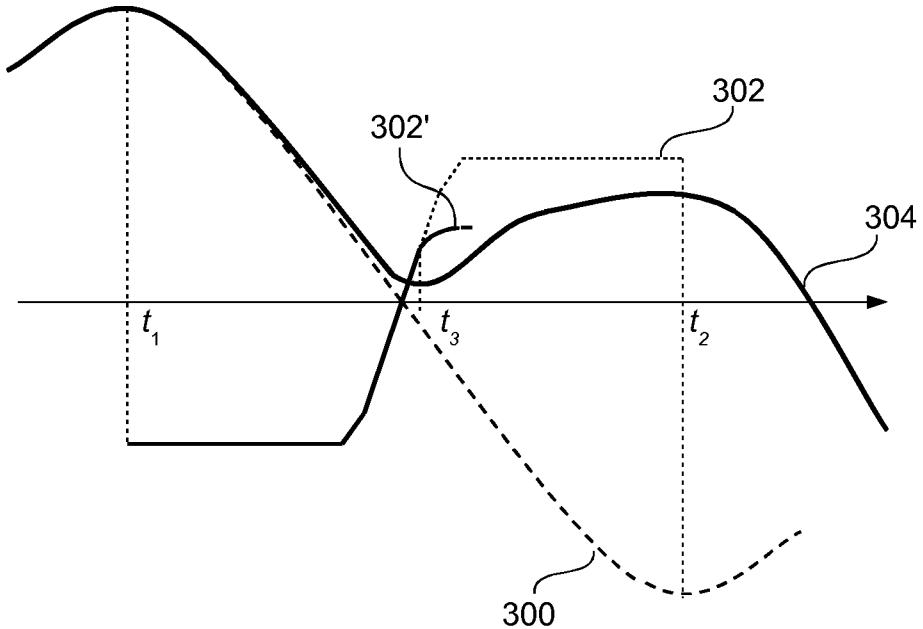


Fig. 6

h)*i)***Fig. 6**