



PCT

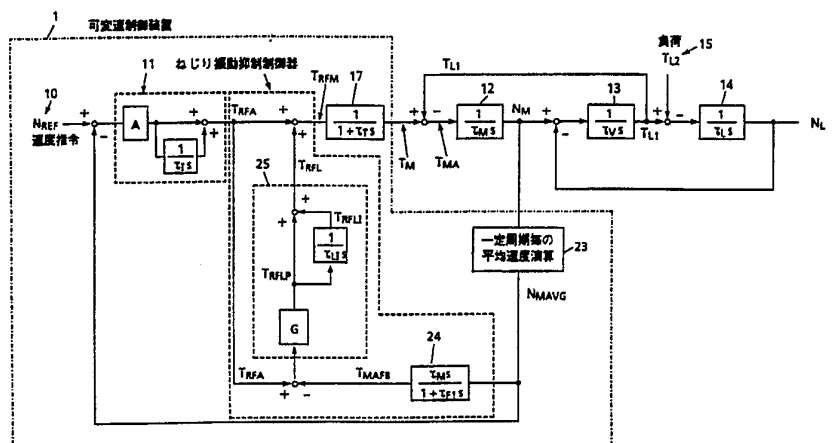
特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(51) 国際特許分類 5 H02P 5/00, G05D 13/62	A1	(11) 国際公開番号 WO 92/14296 (43) 国際公開日 1992年8月20日(20. 08. 1992)
(21) 国際出願番号 PCT/JP92/001110 (22) 国際出願日 1992年2月5日(05. 02. 92) (30) 優先権データ 特願平 3/14517 1991年2月5日(05. 02. 91) JP (71) 出願人(米国を除くすべての指定国について) 株式会社 安川電機 (KABUSHIKI KAISHA YASKAWA DENKI)[JP/JP] 〒806 福岡県北九州市八幡西区黒崎城石2番1号 Fukuoka, (JP) (72) 発明者; および (75) 発明者/出願人(米国についてのみ) 柴田尚武(SHIBATA, Naotake)[JP/JP] 〒100 東京都千代田区大手町一丁目6番1号 株式会社安川電機 東京支社内 Tokyo, (JP) 浜田兼幸(HAMADA, Kaneyuki)[JP/JP] 浜本浩明(HAMAMOTO, Komei)[JP/JP] 〒803 福岡県北九州市小倉北区大手町12番1号 株式会社安川電機 小倉工場内 Fukuoka, (JP) (74) 代理人 弁理士 小堀 益(KOHORI, Susumu) 〒812 福岡県福岡市博多区博多駅前1丁目1-1 博多新三井ビル401号 Fukuoka, (JP)	(81) 指定国 AT(欧州特許), BE(欧州特許), CA, CH(欧州特許), DE(欧州特許), DK(欧州特許), ES(欧州特許), FR(欧州特許), GB(欧州特許), GR(欧州特許), IT(欧州特許), JP, LU(欧州特許), MC(欧州特許), NL(欧州特許), SE(欧州特許), US. 添付公開書類 国際調査報告書 請求の範囲の補正の期限前であり、補正書受領の際には再公開される。	

(54) Title: METHOD OF SUPPRESSING TORSIONAL VIBRATION IN A MOTOR SPEED CONTROL SYSTEM AND APPARATUS THEREFOR

(54) 発明の名称 電動機速度制御系におけるねじり振動抑制方法および装置

- 1 ... variable speed controller
 10 ... speed instruction
 11 ... torsional vibration suppress controller
 23 ... calculation of average speed for every predetermined period
 15 ... load



(57) Abstract

A method of suppressing torsional vibration in a motor speed control system having a mechanism which transmits the drive torque from the motor to the load via a drive shaft which has a torsional spring system, and an apparatus therefor. Signals of a motor speed detector usually contain pulsating signals of a high frequency, but differentiation of the speed detection signals does not provide signals that vary in proportion to the rate of change of the motor speed. However, pulsating value of speed signals can be decreased if an average value of signals of the motor speed detector (3) is calculated for every predetermined period, and the ratio of change of the motor speed can be calculated from the above signals. In this invention, the acceleration torque instruction of the motor is given by an output signal of a speed controller (11), and the load torque of the motor that is a disturbance to the acceleration torque of the motor is controlled in a direction to be cancelled by the torque instruction compensation signals output by a motor acceleration torque controller (25) that has a proportional gain and an integrator. This acts in a direction to cancel the disturbance torque of the motor caused by acceleration, sudden change in the load or distortion of the drive shaft, and whereby torsional vibration is suppressed and variable speed characteristics are obtained maintaining stability.

(57) 要約

ねじりバネ系を有する駆動軸を介して電動機から負荷へ駆動トルクを伝達する機構を持つ電動機速度制御系におけるねじり振動抑制方法および装置。一般的に電動機速度検出器の信号には、高い周波数の脈動信号を含んでおり、この速度検出信号を微分しても電動機速度の変化率に比例する信号を得ることはできないが、一定周期毎の電動機速度検出器（３）の信号の平均値を演算することによって、速度信号の脈動値が低減され、その信号から電動機速度の変化率を演算することが可能となる。本発明においては、電動機の加速トルク指令は、速度制御器（１１）の出力信号によって与えられ、電動機の加速トルクの外乱となっている電動機の負荷トルクに対しては、比例ゲインおよび積分器を持つ電動機加速トルク制御器（２５）の出力のトルク指令補償信号によって打ち消す方向に制御される結果、加速中や急激な負荷変動時の負荷、駆動軸のねじれによって発生する電動機の外乱トルクを打ち消す方向に作用して、ねじり振動が抑制され、安定した可変速特性が得られる。

情報としての用途のみ

PCTに基づいて公開される国際出願のパンフレット第1頁にPCT加盟国を同定するために使用されるコード

AT	オーストリア	ES	スペイン	MG	マダガスカル
AU	オーストラリア	FI	フィンランド	ML	マリ
BB	バルバドス	FR	フランス	MN	モンゴル
BE	ベルギー	GA	ガボン	MR	モーリタニア
BF	ブルキナ・ファソ	GN	ギニア	MW	マラウイ
BG	ブルガリア	GB	イギリス	NL	オランダ
BJ	ベナン	GR	ギリシャ	NO	ノルウェー
BR	ブラジル	HU	ハンガリー	PL	ポーランド
CA	カナダ	IE	アイルランド	RO	ルーマニア
CF	中央アフリカ共和国	IT	イタリア	RU	ロシア連邦
CG	コンゴ	JP	日本	SD	スーダン
CH	スイス	KP	朝鮮民主主義人民共和国	SE	スウェーデン
CI	コート・ジボアール	KR	大韓民国	SN	セネガル
CM	カメルーン	LI	リヒテンシュタイン	SU	ソヴィエト連邦
CS	チェコスロバキア	LK	スリランカ	TD	チャード
DE	ドイツ	LU	ルクセンブルグ	TG	トーゴ
DK	デンマーク	MC	モナコ	US	米国

- 1 -

明 細 書

電動機速度制御系におけるねじり振動抑制方法および装置

技術分野

本発明は、電動機の負荷側に設けた低ねじり剛性の駆動軸を介して電動機から
5 負荷へ駆動トルクが伝達される機構を備えた機械設備において、電動機の回転速
度を制御する駆動制御装置のねじり振動抑制方法および装置と、電動機の負荷側
に設けた低ねじり剛性の駆動軸を介して機械に回転トルクを伝達する機構と反負
荷側に設けた低ねじり剛性の駆動軸を介して回転体に回転トルクを伝達し、その
回転体の回転軸に速度検出器を取り付けた機構を備えた設備における電動機の回
10 転速度を制御する駆動制御装置のねじり振動抑制方法および装置に関する。

背景技術

図1は、一般的な可変速駆動装置の機械図を示すもので、機械5には、電動機
2によりねじり剛性率 K [kgm/rad] の駆動軸4を介して回転トルクが伝達され
ている。

15 可変速制御装置1は、電動機2に取り付けられた速度検出器3により検出した
信号を速度帰還信号として電動機2の速度を制御している。

図2は公知のねじり振動系を含む速度制御ブロックダイアグラムを示す。同図
において、速度制御器11は比例ゲイン A および時定数 τ_i の積分器を持ち、
10 で示す速度指令 N_{REF} と速度帰還信号 N_{MFB} との偏差を増幅し、トルク指令
信号 T_{REF} を出力する。そのトルク指令信号 T_{REF} が電動機トルク制御器17に
20 入力されると電動機トルク制御器17は1次遅れ時定数 τ_T にて電動機のトルク
を制御する。なお、速度帰還信号 N_{MFB} は、電動機の回転速度 N_M を一次遅れ要
素16 (τ_F は速度検出フィルタ遅れ時定数) を介して生成したものである。

前記のトルク指令信号 T_{REF} に従って電動機トルク T_M が制御される。

25 12は電動機の機械的時定数 τ_M を表すブロック、13はねじり時定数 τ_v を
表すブロック、14は負荷の機械的時定数 τ_L を表すブロックである。

また15は機械5に掛かる負荷トルク T_{L2} 、 N_L は負荷の速度である。

図2のブロックダイアグラムにおいて、入力にランプ状（直線加速状）の速度指令 N_{REF} を与え、電動機速度 N_M と負荷速度 N_L が立ち上がるときに、駆動軸4にねじれが生じると、駆動軸のねじり剛性率と電動機のイナーシャと機械と負荷を合わせたイナーシャから決定される回転運動の機械的な共振周波数にて速度制御系の過渡的なゲインが異常に上昇することから、図3に示すように機械設備に有害となる周期的な速度変動が発生する。

この問題の解決手段として、従来技術では、機械系の共振点の過渡的なゲインを低減するために、図4に示すように速度制御器11の出力側にねじり振動抑制フィルタ18を挿入していた。このねじり振動抑制フィルタ18の伝達関数は次式で表される。

$$\frac{1}{\left(\frac{s}{\omega_f}\right)^2 + 2\delta_f \left(\frac{s}{\omega_f}\right) + 1} \dots\dots (1)$$

但し ω_f はフィルタによる過渡ゲイン低減開始角周波数、 δ_f はフィルタ特性定数、 s はラプラス演算子である。

従来においては、前式に示すフィルタの角周波数 ω_f とフィルタ特性定数 δ_f と速度制御器11の比例ゲイン A を設備毎に調整してねじり振動の影響が小さくなるフィルタ定数を選んでいた。

ところが、従来技術ではフィルタ定数 ω_f と δ_f を設備毎に選んで調整するだけでは、フィルタを入れることによって速度制御系の速度指令と速度帰還信号との位相遅れ角が更に大きくなってしまふことから、速度制御系が不安定となる。このため速度制御器の比例ゲイン A を大幅に下げなければならない場合が多く、これでは速度制御系の応答性を大幅に低下させて使用することになり、設備上必要とする速度制御応答特性が得られないという問題がある。

さらに図5は、一般的な可変速駆動装置の他の機械図を示すもので、機械5には、電動機2により低ねじり剛性 K_1 の駆動軸4を介して回転トルクが伝達され、電動機2の反負荷側の回転体6には、電動機2によりねじり剛性率 K_2 の駆動軸7を介して回転トルクが伝達され、その回転体6の回転軸には、その回転体6の

- 速度を検出する速度検出器 3 が取り付けられている。
- 可変速制御装置 1 には、速度検出器 3 により検出した信号を 1 次遅れ要素を持つフィルタを介して生成した信号を速度帰還信号 N_{fb} として電動機 2 の速度を制御している。

5 図 6 は図 5 に示すねじり振動系を含む速度制御ブロックダイアグラムを示すものである。同図において、速度制御器 11 は比例ゲイン A および時定数 τ_i の積分器を持ち、10 で示す速度指令 N_{ref} と速度帰還信号 N_{fb} との偏差を増幅し、トルク指令信号 T_{ref} を出力する。そのトルク指令信号 T_{ref} が電動機トルク制御器 17 に入力されると電動機トルク制御器 17 は 1 次遅れ時定数 τ_t にて電動機 10 のトルクを制御する。なお、速度帰還信号 N_{fb} は、速度検出器 3 により検出した信号を一次遅れ要素 19 (τ_{fo} は速度検出フィルタ遅れ時定数) を介して生成したものである。

- 前記のトルク指令信号 T_{ref} に従って電動機トルク T_m が制御される。

12 は電動機の機械的時定数 τ_m を表すブロック、13 は電動機負荷側の駆動軸のねじり時定数 τ_{v1} を表すブロック、14 は負荷の機械的時定数 τ_L を表すブロック、15 は機械 5 に掛かる負荷トルク T_{L2} 、 N_L は機械の速度である。また 20 は電動機の反負荷側の駆動軸 7 のねじり時定数 τ_{v2} を表すブロック、21 は、電動機の反負荷側の回転体 6 の機械的時定数 τ_s を表すブロックである。

図 6 のブロックダイアグラムにおいて、入力にランプ状 (直線加速状) の速度指令 N_{ref} を与えるとき、電動機速度 N_m と負荷速度 N_L が立ち上がるときに、電動機 2 の反負荷側の駆動軸 7 にねじれが生じると各回転部分のイナーシャと駆動軸 7 のねじり剛性率 K_2 によって決定される回転運動の機械的な共振周波数により速度制御系の過渡的なゲインが異常に上昇することから、図 7 に示すように電動機加速中に機械設備や製品に有害な周期的な速度変動が発生する。

25 電動機加速完了後、負荷が急変すると、電動機 2 の負荷側の駆動軸 4 にねじれが生じると、各回転部分のイナーシャと駆動軸 4 のねじり剛性率 K_1 によって決定される回転運動の機械的な共振周波数により速度制御系の過渡的なゲインが異

- ・ 常に上昇することから、図7に示すように負荷急変後に機械設備や製品に有害な速度変動が発生する。

- ・ この問題の解決手段として、従来技術では、機械系の共振点の過渡的なゲインを低減するために、図8に示すように速度制御器11の出力側にねじり振動抑制フィルタ22を挿入していた。このねじり振動抑制フィルタ22の伝達関数は次式で表される。

$$\frac{1}{\left(\frac{s}{\omega_{r0}}\right)^2 + 2\delta_{r0}\left(\frac{s}{\omega_{r0}}\right) + 1} \dots\dots (2)$$

- ・ 但し ω_{r0} はフィルタによる過渡ゲイン低減開始角周波数、 δ_{r0} はフィルタ特性定数、 s はラプラス演算子である。

- ・ 従来においては、前式に示すフィルタの角周波数 ω_{r0} とフィルタ特性定数 δ_{r0} と速度制御器11の比例ゲイン A を設備毎に調整してねじり振動の影響が小さくなるようにフィルタ定数を選んでいた。

- ・ ところが、従来技術ではフィルタ定数 ω_{r0} と δ_{r0} を設備毎に選んで調整していたが、フィルタを入れることによって速度制御系の速度指令と速度帰還信号との位相遅れ角が更に大きくなってしまふことから、速度制御系が不安定となる。このため速度制御器の比例ゲイン A を大幅に下げなければならない場合が多く、これでは速度制御系の応答性を大幅に低下させて使用することになり、設備上必要とする速度制御応答特性が得られないという問題があった。

- 20 - ・ そこで本発明は、速度制御系の応答性を低下させずに電動機の負荷側または電動機の負荷側および反負荷側に発生するねじり振動を抑制する方法を提供することを目的とする。

発明の開示

- ・ この目的を達成するため、本発明の第1は、ねじりバネ系を有する駆動軸を介して電動機から負荷へ駆動トルクを伝達する機構を持つ電動機速度制御系におけるねじり振動抑制方法において、

- ・ 電動機速度検出信号について一定周期毎の平均値を演算し、それによって得ら

れた平均速度 N_{MAVG} と速度指令 N_{REF} との偏差信号から、比例ゲインおよび積分器または比例ゲインのみを持つ速度制御器によりトルク指令信号 T_{RFA} を演算し、そのトルク指令信号 T_{RFA} を電動機加速トルク指令とし、その指令に対し、前記電動機平均速度信号 N_{MAVG} を微分した信号に電動機の機械的時定数 τ_M を乗じた信号を電動機加速トルクの帰還信号として、その偏差信号から比例ゲインおよび積分器を持つ電動機加速トルク制御器により電動機の加速トルクに対し外乱トルクとなっている電動機の負荷トルクを打ち消すトルク指令補償信号 T_{RFL} を演算し、そのトルク指令補償信号 T_{RFL} を前記速度制御器出力のトルク指令信号 T_{RFA} に加えた信号 T_{RPM} を電動機のトルク指令として電動機の制御を行うことを特徴とする。

一般的に電動機速度検出器の信号には、高い周波数の脈動信号を含んでおり、この速度検出信号を微分しても電動機速度の変化率に比例する信号を得ることはできないが、一定周期毎の電動機速度検出器の信号の平均値を演算することによって、速度信号の脈動値が低減され、その信号から電動機速度の変化率を演算することが可能となる。

本発明においては、電動機の加速トルク指令は、速度制御器の出力信号によって与えられ、電動機の加速トルクの外乱となっている電動機の負荷トルクに対しては、比例ゲインおよび積分器を持つ電動機加速トルク制御器の出力のトルク指令補償信号によって打ち消す方向に制御される結果、加速中や急激な負荷変動時の負荷、駆動軸のねじれによって発生する電動機の外乱トルクを打ち消す方向に作用して、ねじり振動が抑制され、安定した可変速特性が得られる。

さらに本発明の第2は、電動機の負荷側の低ねじり剛性の駆動軸を介して負荷側の機械に回転トルクを伝達する機構と電動機の反負荷側の低ねじり剛性の駆動軸を介して反負荷側の回転体に回転トルクを伝達し、その回転体の速度を検出する機構を備えた電動機速度制御系におけるねじり振動抑制方法において、電動機の反負荷側の回転体の回転軸に取り付けた速度検出器により検出した信号の一定周期毎の平均値を演算し、それによって得られた平均速度 N_{MAVG} と速度指

・ 令 N_{REF} との偏差信号から、比例ゲインと積分器または比例ゲインのみを持つ速
・ 度制御器によりトルク指令信号 T_{RFA} を演算し、そのトルク指令信号 T_{RFA} を電
・ 動機加速トルク指令とし、その指令に対し、前記平均速度 N_{MAYO} を微分した信号
・ に1次遅れ要素を持つフィルタを介して生成される信号に、電動機の機械的時定
5 数 τ_M を乗じた信号を電動機加速トルクの帰還信号として、その偏差信号から比
・ 例ゲインおよび積分器を持つ電動機加速トルク制御器により演算し得られた信号
・ を更に2次遅れ要素を持つフィルタを介し、電動機の加速トルクに対し外乱トル
・ クとなっている電動機の負荷トルクを打ち消すトルク補償信号 T_{RFL} を生成し、
・ そのトルク指令補償信号 T_{RFL} を前記速度制御器出力のトルク指令信号 T_{RFA} に
10 加えた信号を電動機のトルク指令として電動機の制御を行うことを特徴とする。

・ 本発明においては、電動機の加速トルク指令は、速度制御器の出力信号によっ
・ て与えられ、速度帰還信号を微分した信号に電動機の機械的時定数を乗じること
・ によって得られた電動機加速トルク信号を帰還し、その偏差信号から、比例積分
・ 演算器の出力側に2次遅れ要素を持つフィルタを挿入し構成した電動機加速度制
15 御器により演算した電動機加速トルク指令補償信号によって打ち消す方向に制御
・ される結果、加速中や急激な負荷変動時に、負荷側と反負荷側の駆動軸のねじれ
・ によって発生する電動機の外乱トルクを打ち消す方向に作用する。速度帰還信号
・ には、反負荷側の駆動系のねじり振動の影響を受け、高い周波数の脈動信号を含
・ んでいるため、この速度帰還信号を微分すると必要とする電動機の回転速度の変
20 化率に比例する信号とこの高い周波数の脈動周波数を含ませた信号となり、大き
・ な演算誤差を含んでいるが、本発明においては、電動機加速トルク制御器の出力
・ 側に挿入された2次遅れ要素を持つフィルタを介して速度変化率の演算により生
・ じた高い周波数の脈動信号を大幅に減衰させて、前記の演算誤差を小さくしてい
・ る。

25 　これによって、安定した電動機加速トルク補償信号が得られ、電動機の負荷側
・ と反負荷側のねじり振動が抑制され、安定した可変速特性が得られる。

図面の簡単な説明

- ・ 図1は、負荷側に低ねじり剛性の駆動軸を含む可変速制御装置構成図である。
- ・ 図2は、図1の系に対する従来の速度制御系の速度制御ブロックダイアグラムである。
- 5 図3は、ねじり振動の影響を強く受けた場合の速度制御装置の加速特性と負荷応答特性図である。
- ・ 図4は、従来技術のねじり振動抑制フィルタを備えた速度制御系のブロックダイアグラムである。
- ・ 図5は、負荷側と反負荷側に低ねじり剛性の振動軸を含む可変速制御装置構成図である。
- 10 図6は、図5の系に対する従来の速度制御系の速度制御ブロックダイアグラムである。
- ・ 図7は、ねじり振動の影響を強く受けた場合の速度制御装置の加速特性と負荷応答特性図である。
- 15 図8は、従来技術のねじり振動抑制フィルタを備えた速度制御系のブロックダイアグラムである。
- ・ 図9は、本発明の第1実施例の構成を示すブロックダイアグラムである。
- ・ 図10は、本発明の第2実施例の構成を示すブロックダイアグラムである。
- ・ 図11は、第2実施例における演算のフローチャートである。
- 20 図12は、本実施例の効果を示す速度制御装置の加速特性と負荷応答特性図である。
- ・ 図13は、本発明の第3実施例を示すブロックダイアグラムである。
- ・ 図14は、本発明の第4実施例を示すブロックダイアグラムである。
- ・ 図15は、第4実施例における演算のフローチャートである。
- 25 図16は、本実施例の効果を示す速度制御装置の加速特性と負荷応答特性図である。
- ・
- ・

発明を実施するための最良の形態

以下、本発明の第1実施例として、アナログ演算器により構成した速度制御器を有する速度制御装置のブロックダイアグラムを図9に示す。なお、従来例を示す図2と同じ構成要素については同じ符号を用いて説明を省略する。

本実施例では、平均速度演算器19によって電動機駆動軸に取付けた速度検出器3（図1参照）の信号について一定周期 t_s 間の平均値を演算する。

この一定周期毎の平均速度の演算の方法は、例えば、速度検出器がパルス信号発生器であれば、速度検出器3より出力されるパルス信号の周期 t_s 間の計数値を t_s で割ることによって t_s 間のパルスの平均周波数として、 t_s 間の平均速度を求めることができる。アナログ式の速度検出発電機の場合は、一定周期 t_s 間で速度検出器の信号を n 回読み、これらの信号の合計値の $1/n$ を t_s 間の平均速度とすることができる。

この一定周期毎の電動機平均速度を N_{avg} とし、まず速度制御器11の動作について説明する。

速度指令 N_{ref} と電動機平均速度 N_{avg} とその偏差を速度制御器11に入力すると、その速度偏差信号に比例ゲイン A を乗じた信号と、更にその信号を時定数 τ_i にて積分した信号とを加えた信号をトルク指令信号 T_{rfa} として出力する。速度制御器11が比例ゲイン A のみを持つ場合は、その速度偏差信号に A を乗じた信号を T_{rfa} として出力する。

次に、電動機加速トルク演算器24の動作について説明する。

一定周期毎の電動機平均速度 N_{avg} が電動機加速トルク演算器24に入力されると、 N_{avg} を微分した値に電動機の機械的時定数 τ_m を乗じた値の信号 T_{mfb} を出力する。この信号 T_{mfb} は電動機の加速トルク信号となる。

なお、電動機加速度演算器24における1次遅れ要素は、アナログ系での微分が不完全微分となることによって生じる時定数 τ_{fi} である。

次に電動機加速トルク制御器25の動作について説明する。

速度制御器11のトルク指令信号 T_{rfa} を電動機の加速トルク指令とし、その

指令に対し電動機加速トルク演算器 24 の出力信号 T_{MAFB} を電動機の加速トルク
 信号として帰還し、その 2 つの信号の偏差を電動機加速トルク制御器 25 に入力
 すると、その電動機加速トルク制御器 25 は、その 2 つの信号偏差の信号に比例
 ゲイン G を乗じた信号 T_{RFLP} とその信号を時定数 τ_{LI} にて積分して得られた信号
 5 T_{RFLI} を加えた信号 T_{RFL} を出力し、電動機加速トルク信号 T_{MAFB} が、速度制御
 器 11 の出力のトルク指令信号 T_{RFA} に一致するように制御する。

速度制御器 11 の出力のトルク指令信号 T_{RFA} と電動機加速トルク制御器 25
 の出力信号 T_{RFL} を加えた信号をトルク指令 T_{RPM} として電動機のトルク制御を
 行うことにより電動機の加速トルクの外乱となっている負荷トルク τ_{LI} に対して
 10 は、電動機加速トルク制御器 25 の出力のトルク指令補償信号 T_{RFL} によって打ち
 消す方向に制御される結果、前記の電動機トルク指令信号が、加速中や負荷急
 変時の駆動軸のねじれによって発生する電動機の外乱トルクを打ち消す方向に作
 用して、ねじり振動が抑制される。

これを更に説明すれば、図 9 において T_{RFA} 、 T_{RFLI} 、 T_{RPM} 、 T_M 、 T_{MA} 、 T_{LI}
 15 は単位法 (P. U) で表されており、次の関係が成立する。

$$T_{LI} = T_M - T_{MA} \quad \dots \dots \dots (3)$$

$$T_{RFL} = T_{RPM} - T_{RFA} \quad \dots \dots \dots (4)$$

電動機トルク制御器 17 によるトルク制御遅れは小さいので無視すれば、 T_M
 $\approx T_{RPM}$ となる。電動機加速トルク制御器 25 は $T_{MA} \approx T_{RFA}$ となるように制御す
 20 る。(4) 式に $T_{RPM} = T_M$ 、 $T_{RFA} = T_{MA}$ を代入すると T_{RFL} は次のようになる。

$$T_{RFL} = T_M - T_{MA} \quad \dots \dots \dots (5)$$

(5) 式に (3) 式の $T_M - T_{MA}$ を代入すると $T_{RFL} = T_{LI}$ となり、負荷外乱ト
 ルクが T_{RFL} により打ち消されることになる。

次に、デジタル演算器により構成された速度制御器を有する速度制御装置へ
 25 の本発明の第 2 実施例のブロックダイアグラムを図 10 に示し、図 9 のアナログ
 制御系のブロックダイアグラムとの相違点のみを説明する。

図 10 において、一点鎖線にて囲まれている速度制御器 11、電動機平均速度

- ・ 演算器 23、電動機加速トルク演算器 24、電動機加速トルク制御器 25 は一定
- ・ 周期 t_s 毎に実行される。

・ 図 9 は、アナログ演算方式によるブロック図であるが、ディジタル演算によつて本制御を実現することができ、ディジタル演算方式の例を図 10 のブロック図 5 に示し、そのフローチャートを図 11 に示す。

・ 図 9 の方式は、これらの演算がアナログであるのに対し、図 10 の方式では、このアナログ演算がディジタル演算となっているのみである。その演算例として電動機の加速トルク演算器 24 について説明する。

・ いま、 $t = t_s$ において、平均速度演算器によって演算された平均速度信号を
10 $N_{\text{MAYG}}(n)$ とすると、 $t = t_{s-1} = t_s - t_1$ において演算された平均速度は
・ $N_{\text{MAYG}}(n-1)$ であるが、この信号はブロック図では N_{MAYG} と Z 関数 Z^{-1} の積として表されている。

・ 電動機加速トルク演算器 24 は、 $t = t_s$ において $[N_{\text{MAYG}}(n) - N_{\text{MAYG}}(n-1)]$
・ $/ t_s$ の演算を行って電動機速度の変化率を求める。

15 この変化率に電動機の機械的時定数 τ_M を乗じた信号 $\{ [N_{\text{MAYG}}(n) - N_{\text{MAYG}}(n-1)] \cdot \tau_M / t_s \}$ が電動機加速トルク帰還信号 T_{MAFB} である。

・ 図 12 は、本発明のディジタル方式を適用することにより軸振動が抑制された安定した可変速特性を示している。

・ 図 13 は、本発明の第 3 実施例として、軸振動抑制機能を備えた速度制御装置
20 のブロック図である。なお、従来例を示す図 6 と同じ構成要素については、同じ
・ 符号を用い説明を省略する。電動機の反負荷側の回転体の回転軸に取り付けられ
・ た検出器の信号の一定周期毎の平均値を演算し、それによって得られた平均速度
・ N_{MAYG} として、まず速度制御器 11 の動作について説明する。

・ 速度指令 N_{REF} と平均速度信号 N_{MAYG} とその偏差を速度制御器 11 に入力する
25 と、その速度偏差信号に比例ゲイン A を乗じた信号と、更にその信号を時定数 τ_i
・ にて積分した信号とを加えた信号をトルク指令信号 T_{RFA} として出力する。速度
・ 制御器 11 が比例ゲイン A のみを持つ場合は、その速度偏差信号に A を乗じた信

- ・ 号を T_{rfa} として出力する。
 - ・ 電動機加速トルク演算器24は、図9のブロック24と全く同様の演算機能を持つものであるため、説明を省略する。
 - ・ 次に電動機加速トルク制御器26の動作について説明する。
- 5 速度制御器11のトルク指令信号 T_{rfa} を電動機の加速トルク指令とし、その
- ・ 指令に対し電動機加速トルク演算器24の出力信号 T_{mafb} を電動機の加速トルク
 - ・ 信号として帰還し、その2つの信号の偏差を電動機加速トルク制御器26に入力
 - ・ すると、その電動機加速トルク制御器26は、その2つの信号偏差の信号に比例
 - ・ ゲイン G を乗じた信号 T_{rflp} とその信号を時定数 τ_{L1} にて積分して得られた信号
 - 10 T_{rfl1} を加えた信号 T_{rfl} を2つの一次遅れ要素信号時定数 τ_{F2} 、 τ_{F3} と比例ゲ
 - ・ イン G_F によって構成した2次遅れ要素を持つフィルタ27を介して生成した信
 - ・ 号 T_{rfl} を出力し、電動機加速トルク帰還信号 T_{mafb} が速度制御器11の出力の
 - ・ トルク指令信号 T_{rfa} に一致するように制御する。
- ・ 速度制御器11の出力のトルク指令信号 T_{rfa} と電動機加速トルク制御器26
 - 15 の出力信号 T_{rfl} を加えた信号をトルク指令 T_{rfm} として電動機のトルク制御を
 - ・ 行うことにより電動機の加速トルクの外乱となっている負荷トルク τ_{L1} に対して
 - ・ は、電動機加速トルク制御器26の出力のトルク指令補償信号 T_{rfl} によって打ち
 - ・ 消す方向に制御される結果、前記の電動機トルク指令信号が、加速中や負荷急
 - ・ 変時の電動機の負荷側と反負荷側の駆動軸のねじれによって発生する電動機の外
 - 20 乱トルクを打ち消す方向に作用して、ねじり振動が抑制される。
- ・ 図13はアナログ演算方式によるブロック図であるが、ディジタル演算によっ
 - ・ て本制御を実現することができ、ディジタル演算方式の第4実施例を図14に示
 - ・ し、その演算のフローチャートを図15に示す。
- ・ 図13の方式はこれらの演算がアナログであるのに対し、図14の方式では、
 - 25 このアナログ演算がディジタル演算となっているのみである。
- ・ 図16は本発明を適用することにより電動機の負荷側と反負荷側の軸振動が抑
 - ・ 制された安定した可変速特性を示している。

産業上の利用可能性

- ・
- ・ 本発明は、鉄鋼産業分野の圧延機、プロセスラインや一般産業分野の抄紙機、
- ・ 繊維機械等の設備において、負荷側あるいは負荷側と反負荷側に設けられた低ね
- ・ じり剛性の駆動軸を介して機械設備に電動機の回転力を伝達する機械系の制御に
- 5 利用することができる。

10

15

20

25

請 求 の 範 囲

1. 電動機の負荷側に設けた低ねじり剛性の駆動軸を介して電動機から負荷へ駆動トルクを伝達する機構を持つ電動機速度制御系におけるねじり振動抑制方法において、
 - 5 電動機速度検出信号について一定周期毎の平均値を演算し、それによって得られた平均速度 N_{MAVG} と速度指令 N_{REF} との偏差信号から、比例ゲインおよび積分器または比例ゲインのみを持つ速度制御器によりトルク指令信号 T_{RFA} を演算し、そのトルク指令信号 T_{RFA} を電動機加速トルク指令とし、その指令に対し、前記電動機平均速度信号 N_{MAVG} を微分した信号に電動機の機械的時定数 τ_M を乗じた信号を電動機加速トルクの帰還信号として、その偏差信号から比例ゲインおよび積分器を持つ電動機加速トルク制御器により電動機の加速トルクに対し外乱トルクとなっている電動機の負荷トルクを打ち消すトルク指令補償信号 T_{RFL} を演算し、そのトルク指令補償信号 T_{RFL} を前記速度制御器出力のトルク指令信号 T_{RFA} に加えた信号 T_{RFM} を電動機のトルク指令として電動機の制御を行うことを特徴とする電動機速度制御系におけるねじり振動抑制方法。
 - 10 2. 電動機速度を検出する速度検出手段と、
 - 同速度検出手段によって得られた電動機速度について一定周期毎の平均値を演算する平均速度演算手段(23)と、
 - 15 同平均速度演算手段(23)によって得られた平均速度 N_{MAVG} と速度指令 N_{REF} との偏差信号からトルク指令信号 T_{RFA} を演算する、比例ゲインおよび積分器または比例ゲインのみを持つ速度制御手段(11)と、
 - 同速度制御手段(11)の出力信号であるトルク指令信号 T_{RFA} と、前記電動機平均速度信号 N_{MAVG} を微分または一次遅れ微分した信号に電動機の機械的時定数 τ_M を乗じた信号との偏差信号からトルク指令補償信号 T_{RFL} を演算する、比例ゲインおよび積分器を持つ電動機加速トルク制御手段(25)と、
 - 20 前記速度制御手段(11)の出力信号であるトルク指令信号 T_{RFA} と前記電動機加速トルク制御手段(25)の出力信号であるトルク指令補償信号 T_{RFL} との

- ・ 和をトルク指令 T_{RFM} に従って電動機のトルクを制御する電動機トルク制御手段
- ・ (17)と
- ・ を備えた、負荷側に設けた低ねじり剛性の駆動軸を介して電動機から負荷へ駆動
- ・ トルクを伝達する機構を持つ電動機速度制御系における電動機制御装置。
- 5 3. 電動機の負荷側に設けた低ねじり剛性の駆動軸を介して機械に回転トルクを
- ・ 伝達する機構と反負荷側に設けた低ねじり剛性の駆動軸を介して回転体に回転ト
- ・ ルクを伝達し、その回転体の回転軸に速度検出器を取り付けた機構を備えた電動
- ・ 機速度制御系におけるねじり振動抑制方法において、
- ・ 速度検出信号について一定周期毎の平均値を演算し、それによって得られた平
- 10 均速度を N_{MAYO} とし、速度指令 N_{REF} との偏差信号から、比例ゲインと積分器ま
- ・ たは比例ゲインのみを持つ速度制御器によりトルク指令 T_{RFA} を演算し、そのト
- ・ ルク指令 T_{RFA} を電動機加速トルク指令とし、その指令に対し、前記平均速度信
- ・ 号 N_{MAYO} を微分した信号に電動機の機械的時定数 τ_M を乗じた信号を電動機加速
- ・ トルク信号として帰還し、その偏差信号を比例積分演算器とその出力側に2次の
- 15 遅れ要素を持つフィルタを挿入し構成した電動機加速トルク制御器により電動機
- ・ の加速トルクの外乱となっている電動機の負荷トルクを打ち消す加速トルク補償
- ・ 信号 T_{RFL} を演算し、その加速トルク補償信号 T_{RFL} を前記電動機加速トルク指
- ・ 令 T_{RFA} に加えた信号を電動機のトルク指令として電動機のトルクを制御するこ
- ・ とを特徴とする電動機速度制御系におけるねじり振動抑制方法。
- 20 4. 電動機速度を検出する速度検出手段と、
- ・ 同速度検出手段によって得られた電動機速度について一定周期毎の平均値を演
- ・ 算する平均速度演算手段(23)と、
- ・ 同平均速度演算手段(23)によって得られた平均速度 N_{MAYO} と速度指令 N_{REF}
- ・ との偏差信号からトルク指令信号 T_{RFA} を演算する、比例ゲインおよび積分器ま
- 25 たは比例ゲインのみを持つ速度制御手段(11)と、
- ・ 同速度制御手段(11)の出力信号であるトルク指令信号 T_{RFA} と、前記電動
- ・ 機平均速度信号 N_{MAYO} を微分または一次遅れ微分した信号に電動機の機械的時定

- ・ 数 τ_M を乗じた信号との偏差信号からトルク指令補償信号 T_{RFL} を演算する、比
- ・ 例ゲインおよび積分器ならびに2次の遅れ要素を持つフィルタ(27)を含む電
- ・ 動機加速トルク制御手段(26)と、
- ・ 前記速度制御手段(11)の出力信号であるトルク指令信号 T_{RFA} と前記電動
- 5 機加速トルク制御手段(26)の出力信号であるトルク指令補償信号 T_{RFL} との
- ・ 和をトルク指令 T_{RPM} に従って電動機のトルクを制御する電動機トルク制御手段
- ・ (17)と
- ・ を備えた、負荷側に設けた低ねじり剛性の駆動軸を介して機械に回転トルクを伝
- ・ 達する機構と反負荷側に設けた低ねじり剛性の駆動軸を介して回転体に回転トル
- 10 クを伝達し、その回転体の回転軸に速度検出器を取り付けた機構を備えた電動機
- ・ 速度制御系における電動機制御装置。

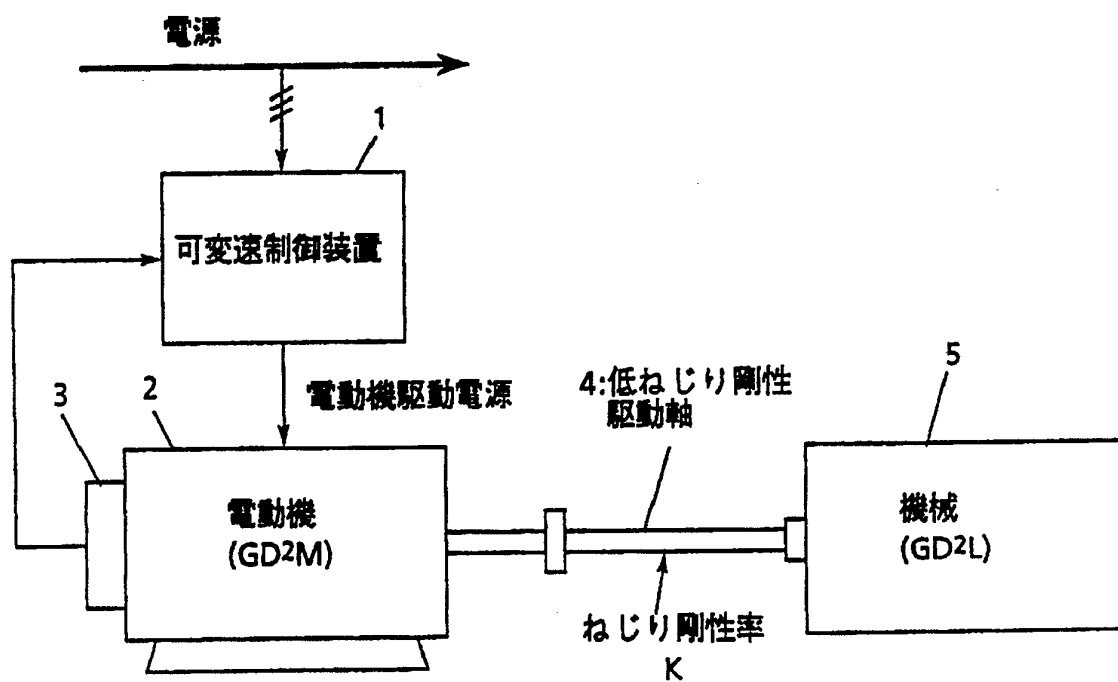
15

20

25

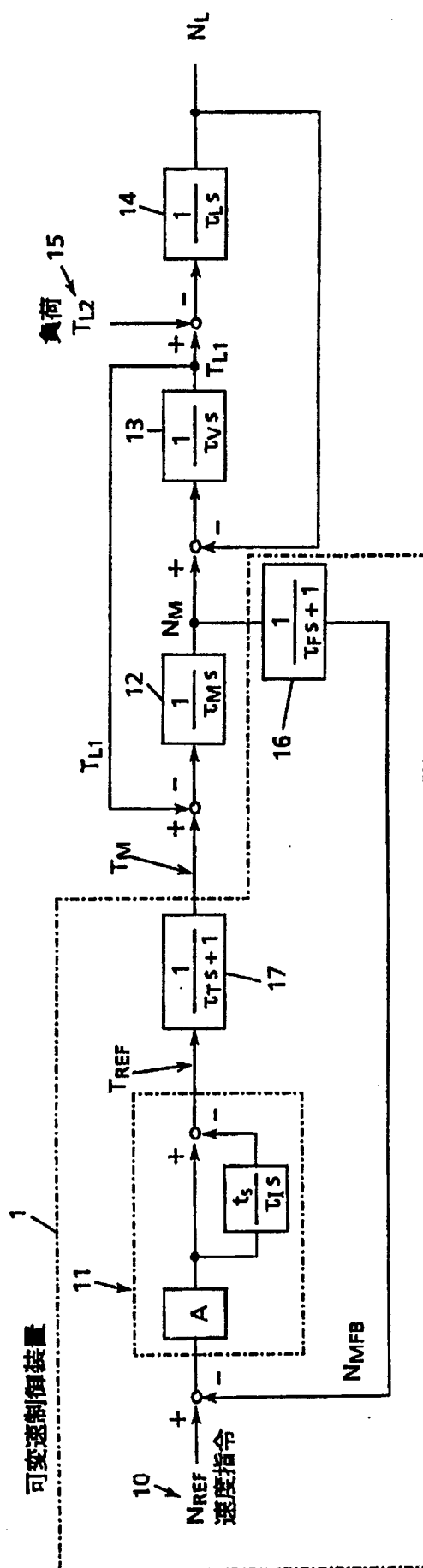
1 / 16

FIG. 1



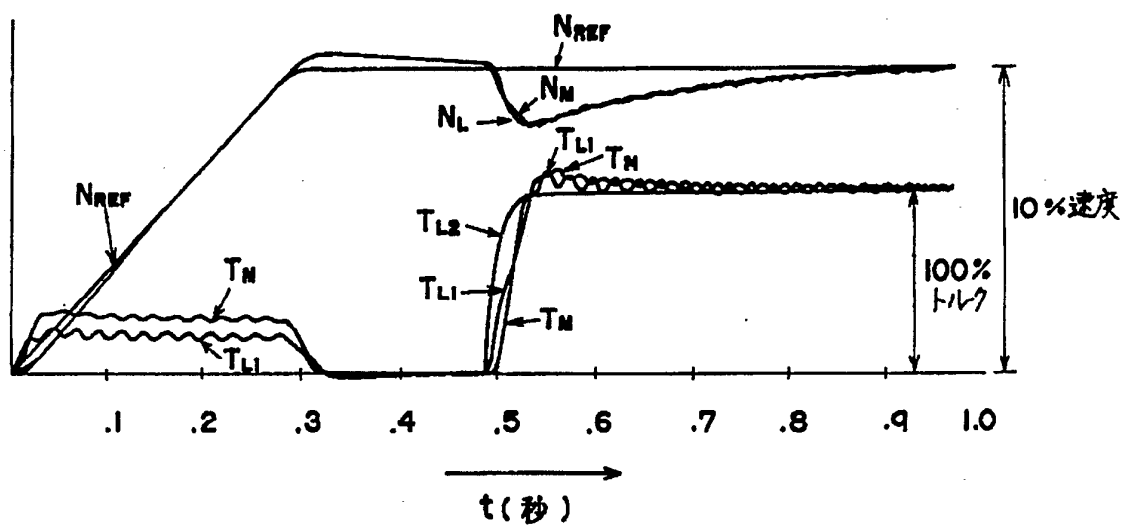
2 / 16

FIG. 2



3 / 16

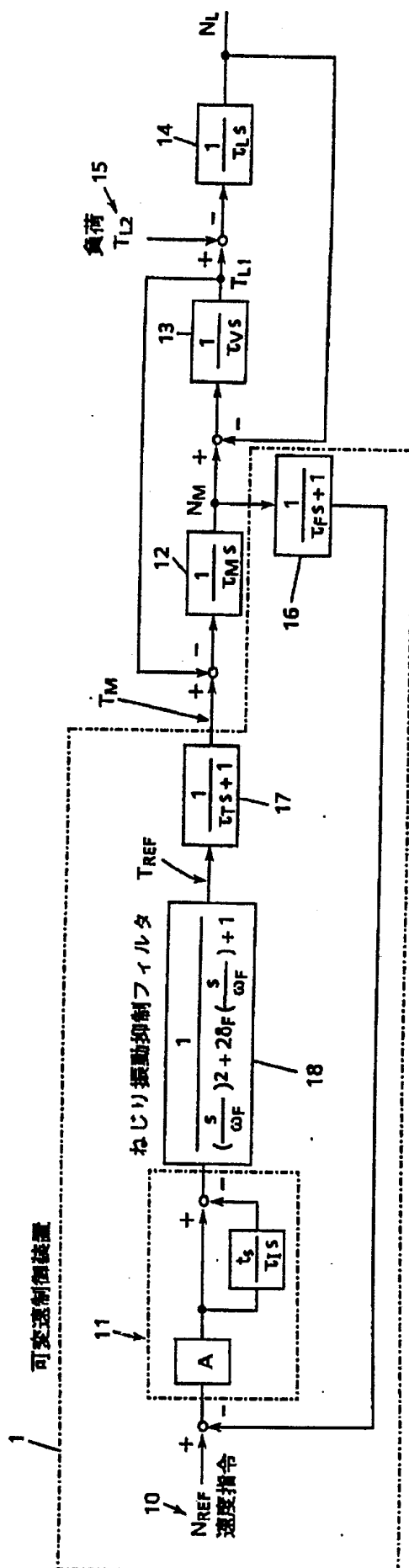
FIG. 3



- N_{REF} = 速度指令
 N_M = 電動機速度
 N_L = 負荷側機械速度
 N_B = 反負荷側回転体速度
 T_M = 電動機トルク
 T_{L1} = 電動機負荷側駆動軸トルク
 T_{L2} = 負荷トルク
 T_B = 反電動機負荷側駆動軸トルク

4/16

FIG. 4



5 / 16

FIG. 5

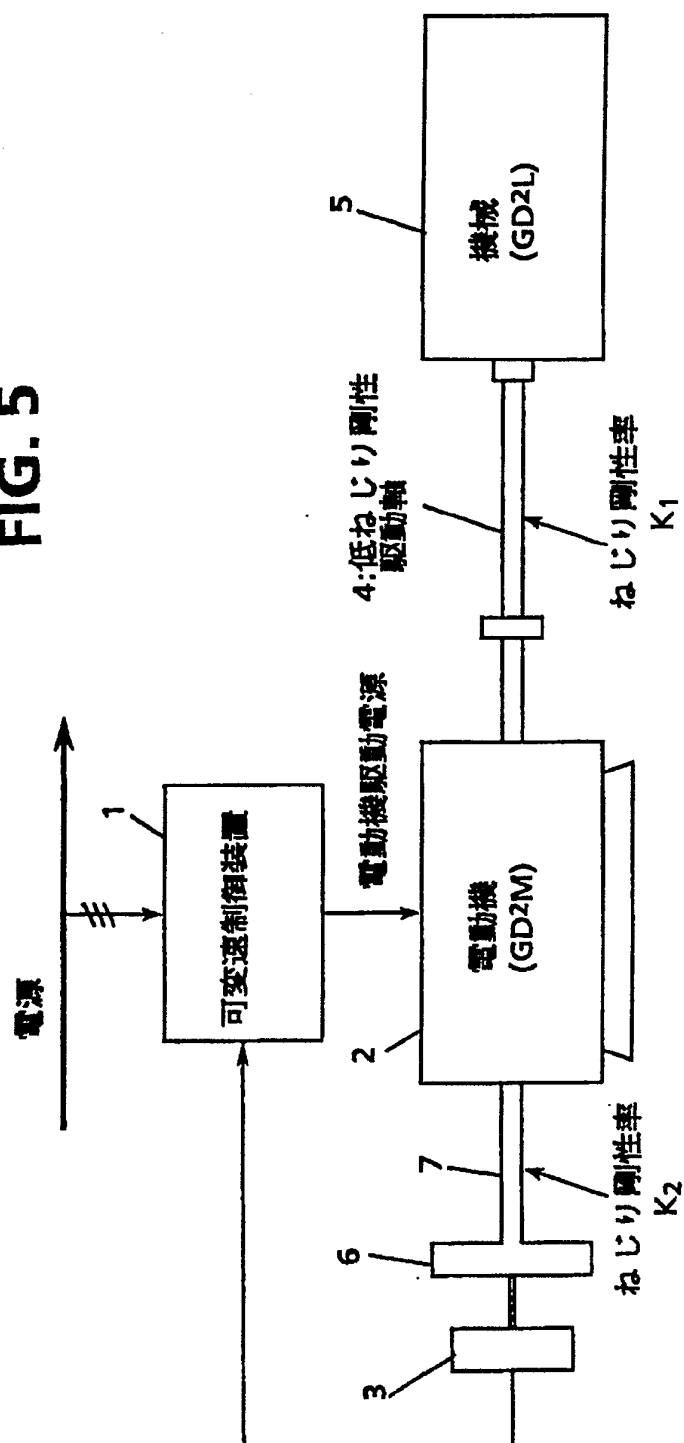
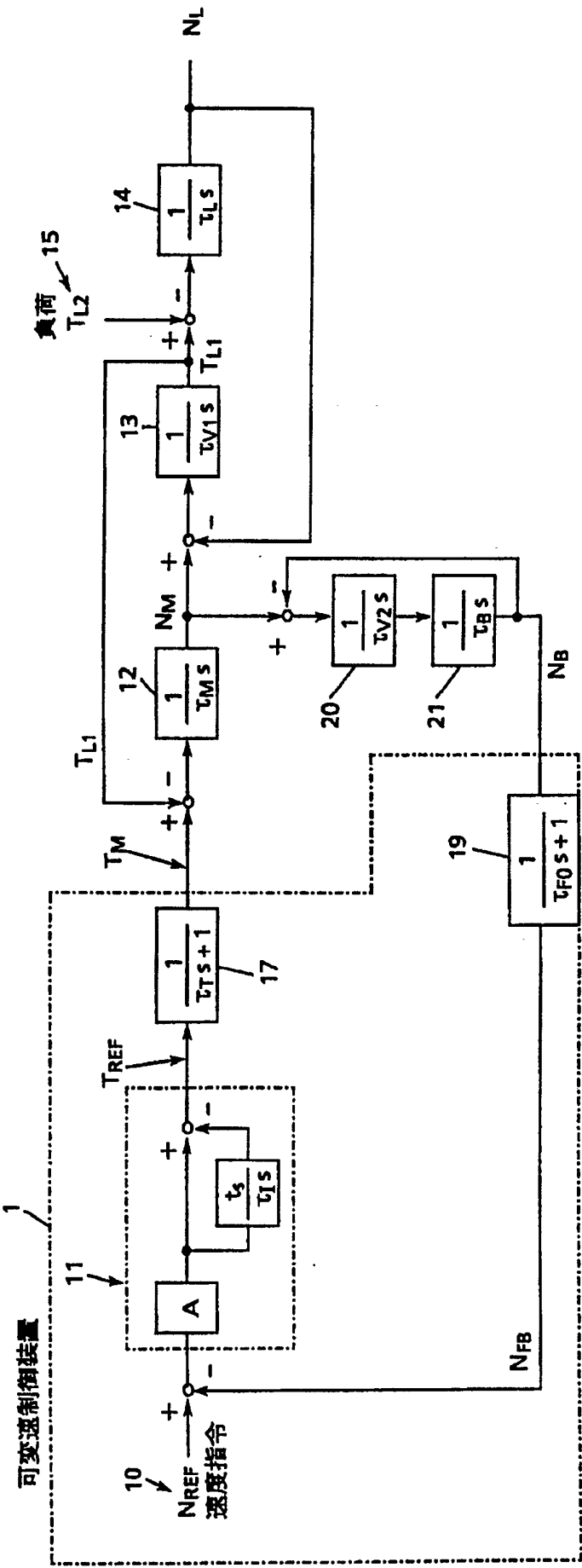
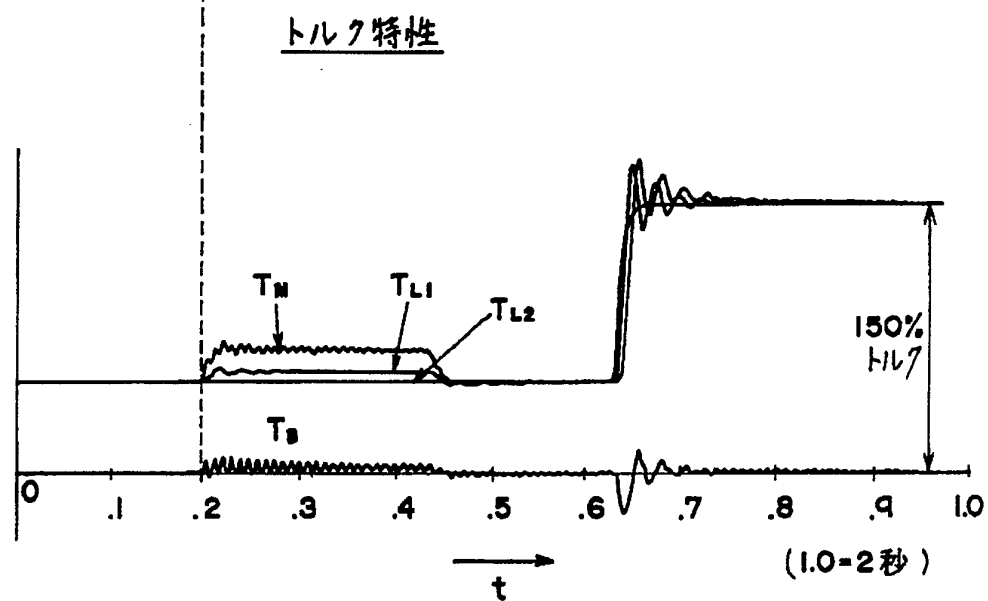
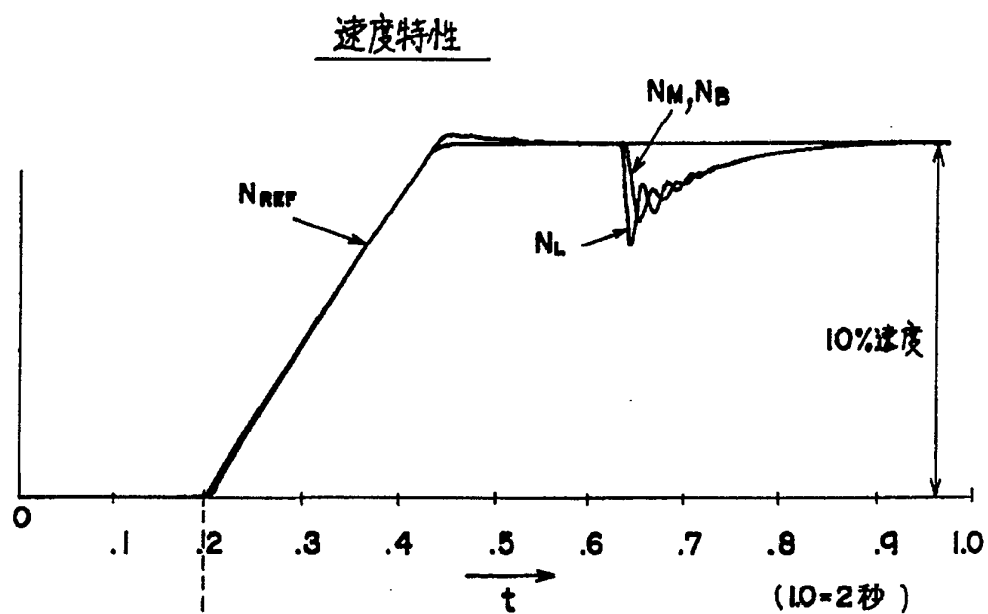


FIG. 6



7 / 16

FIG. 7



- N_{REF} = 速度指令
- N_M = 電動機速度
- N_L = 負荷側機械速度
- N_B = 反負荷側回転体速度
- T_M = 電動機トルク
- T_{L1} = 電動機負荷側駆動軸トルク
- T_{L2} = 負荷トルク
- T_B = 反電動機負荷側駆動軸トルク

FIG. 8

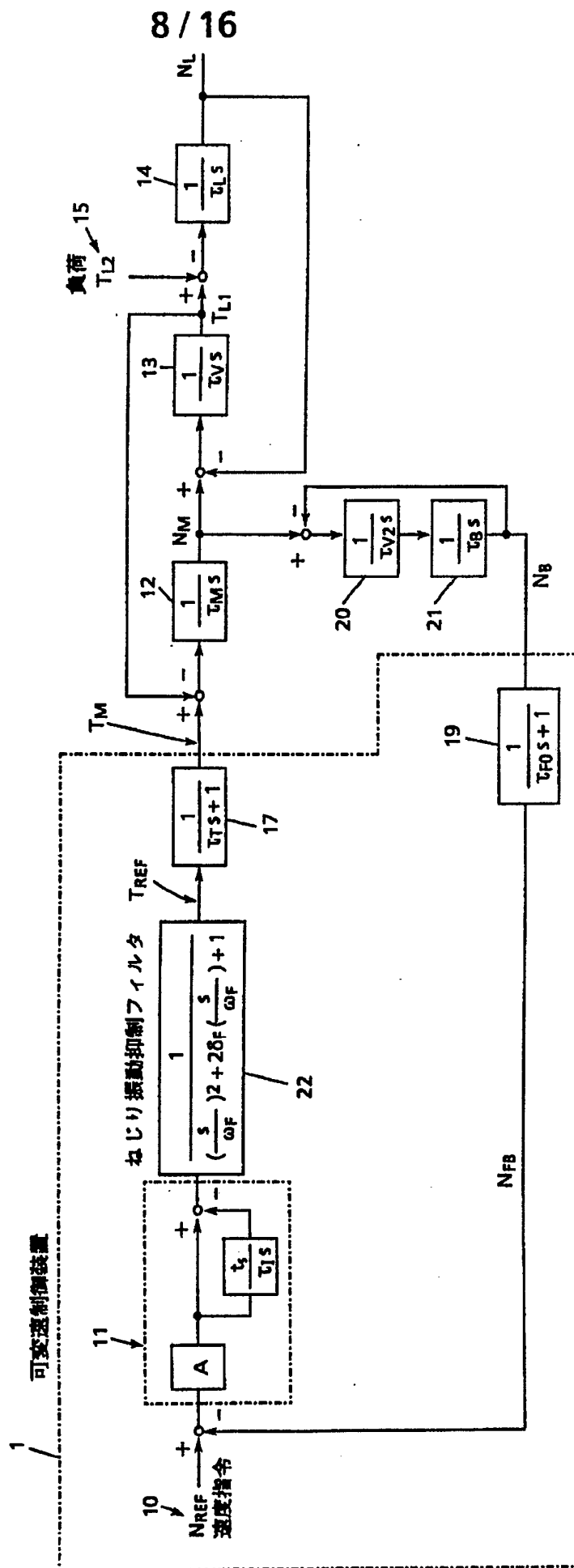
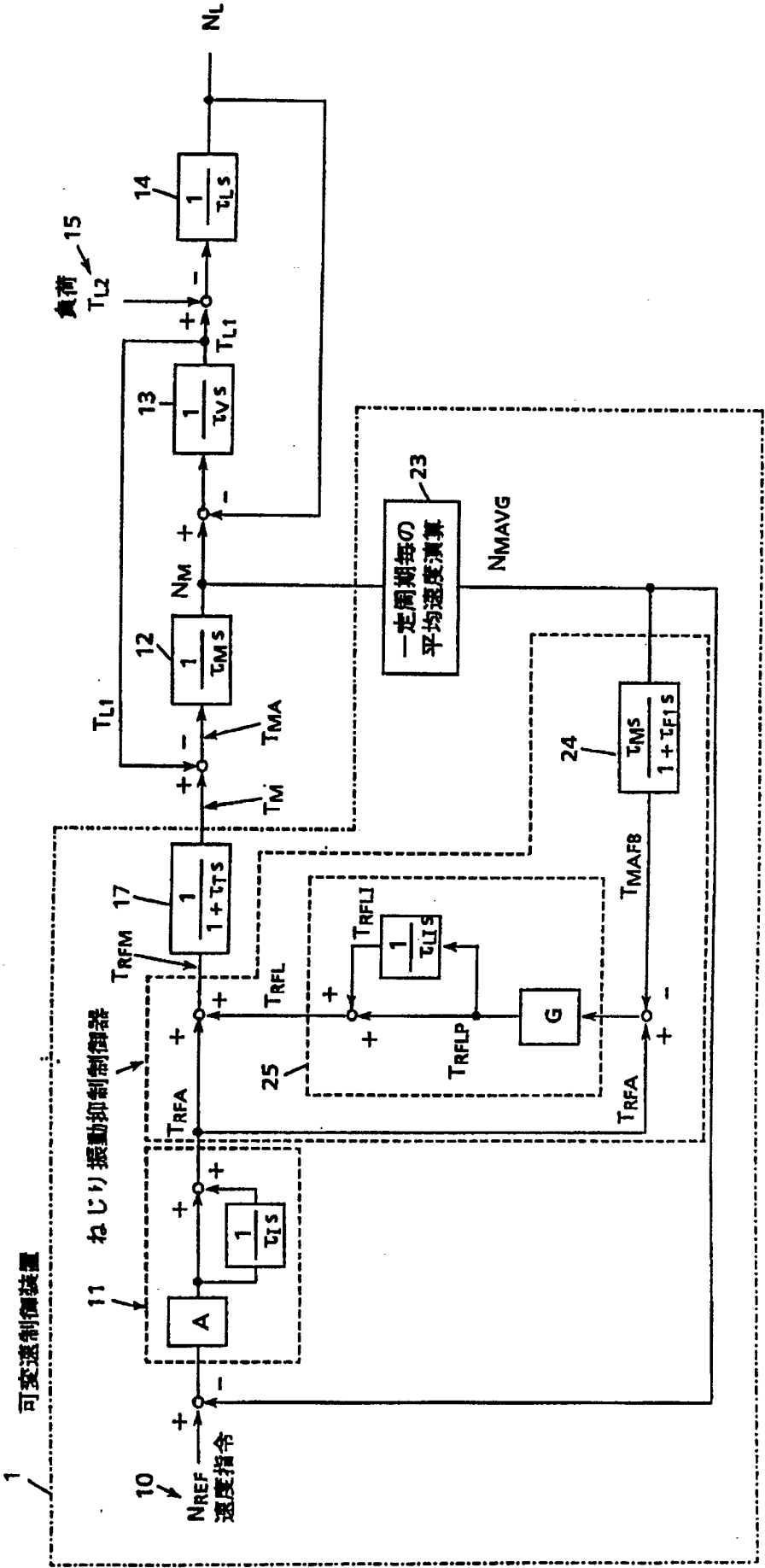
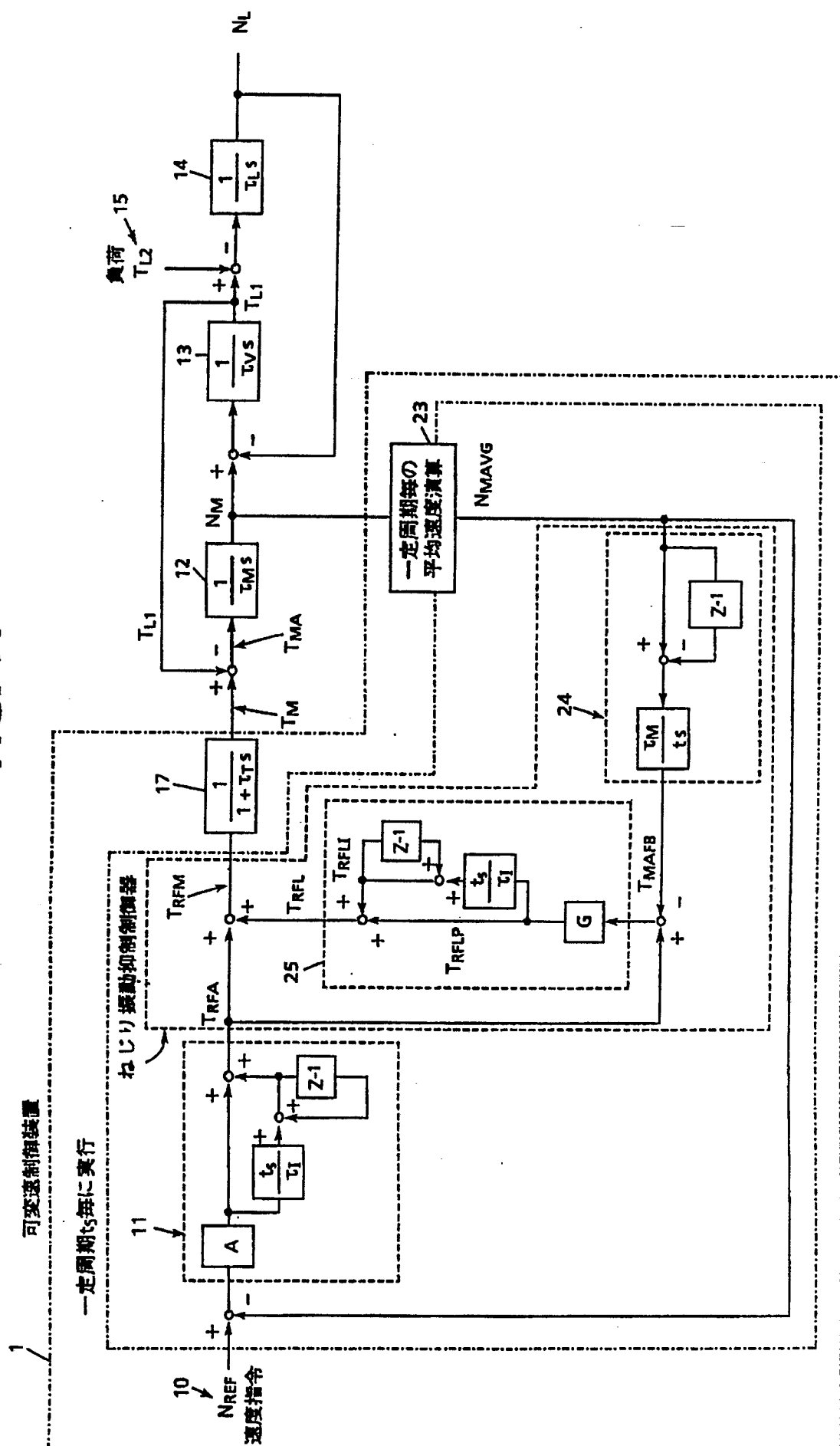


FIG. 9



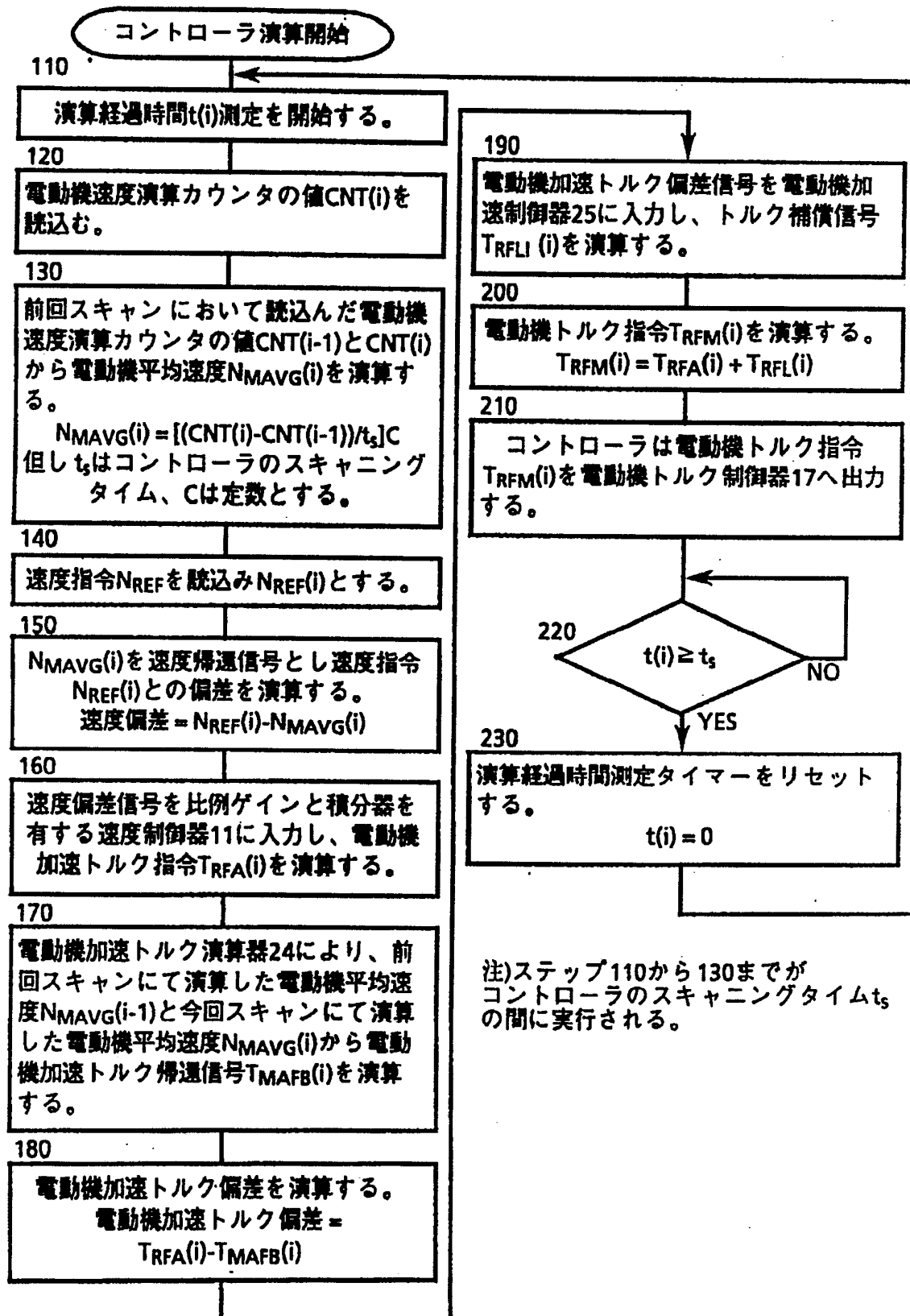
10 / 16

FIG. 10



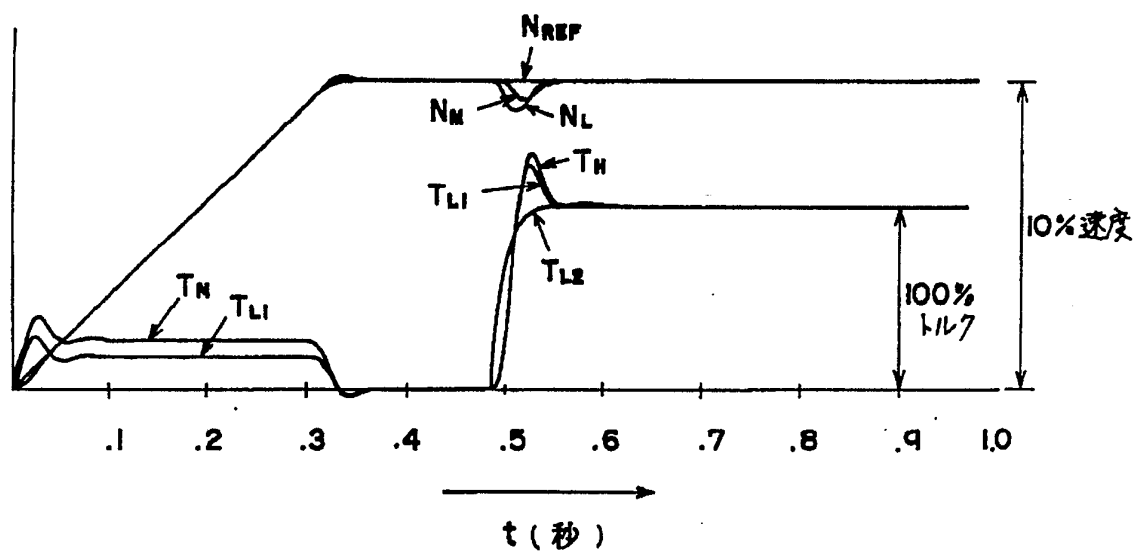
11 / 16

FIG. 11



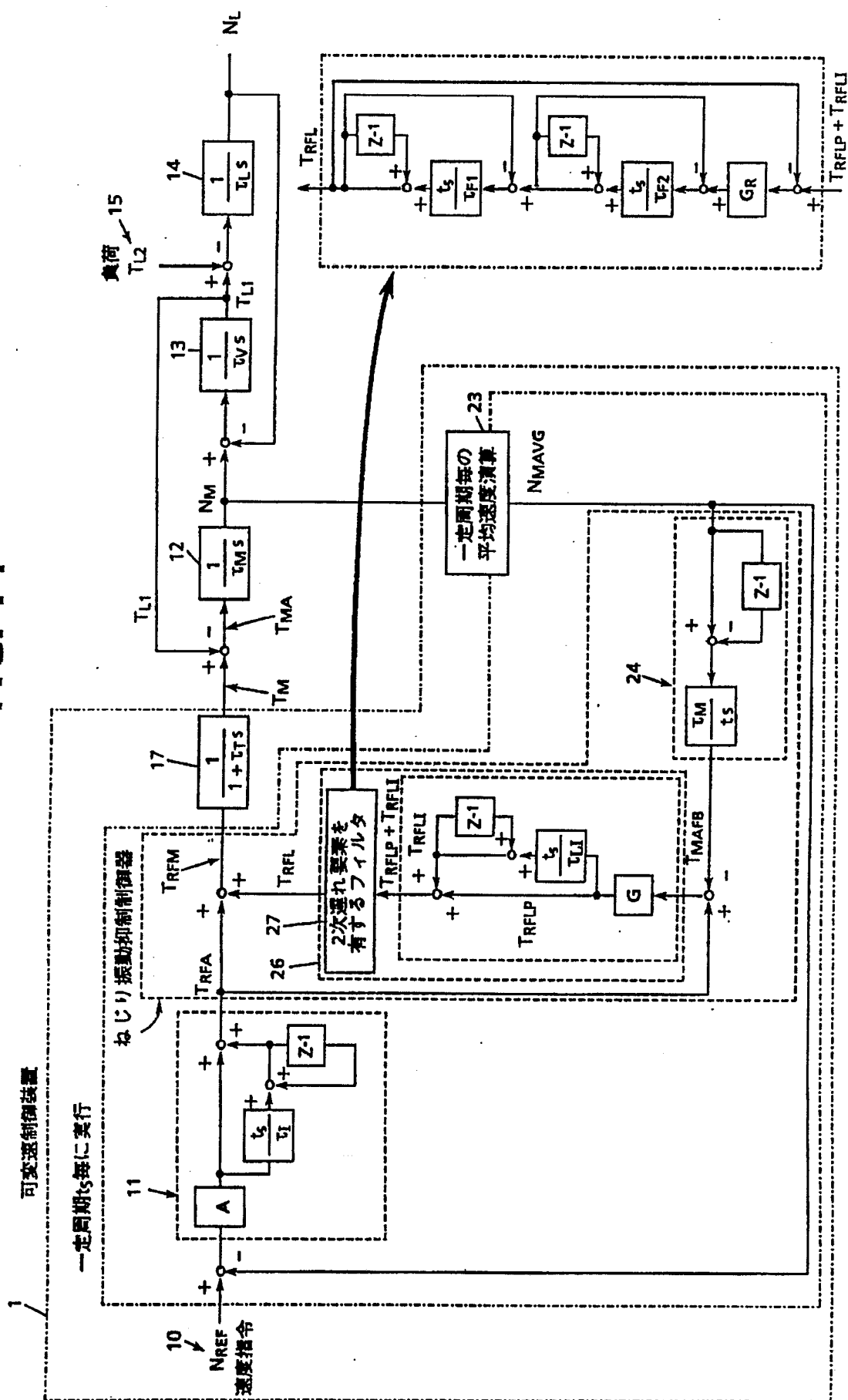
12 / 16

FIG. 12



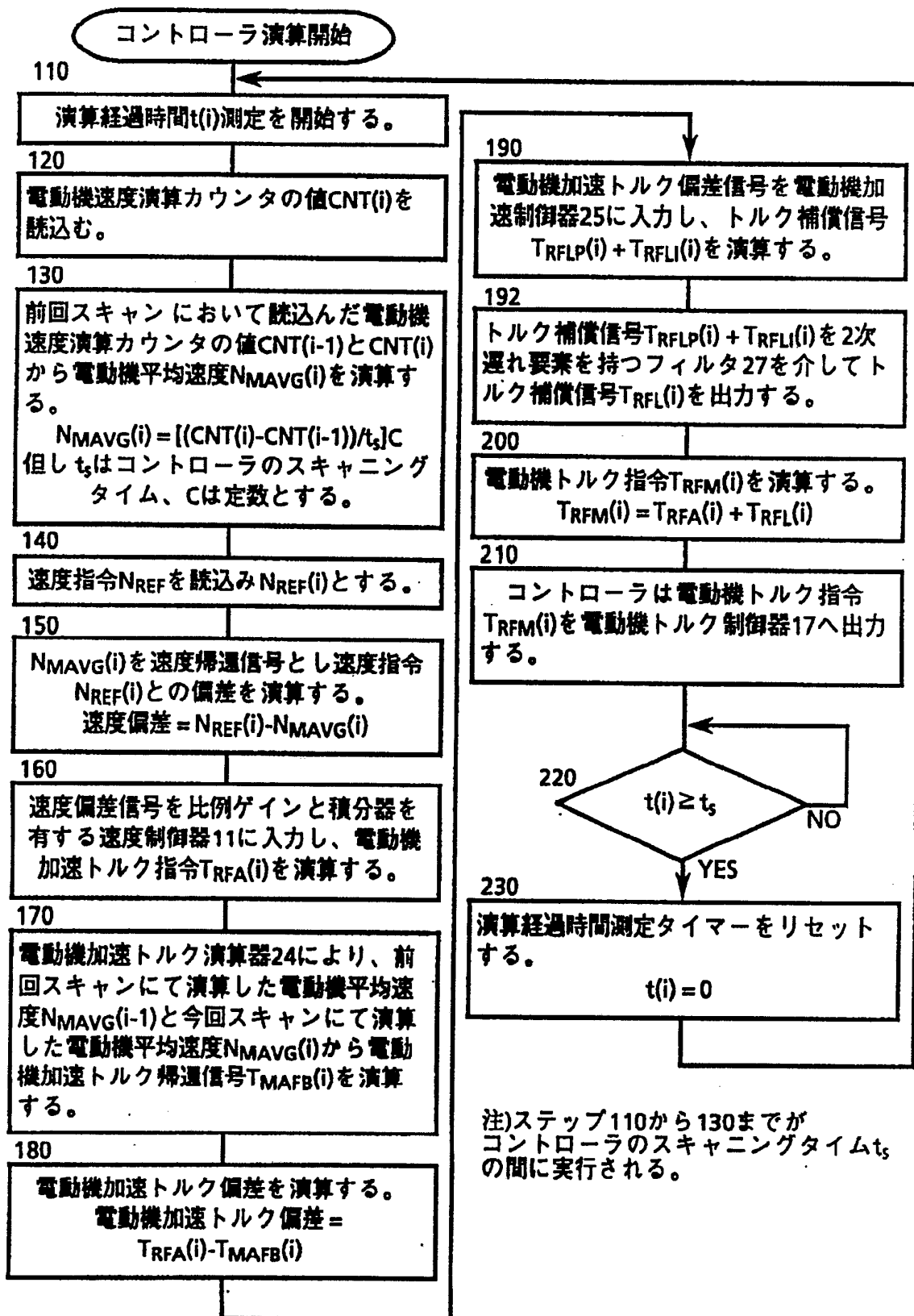
- | | |
|-----------|------------|
| N_{REF} | = 速度指令 |
| N_M | = 電動機速度 |
| N_L | = 負荷速度 |
| T_M | = 電動機トルク |
| T_{L1} | = 負荷駆動軸トルク |
| T_{L2} | = 負荷トルク |

FIG. 14



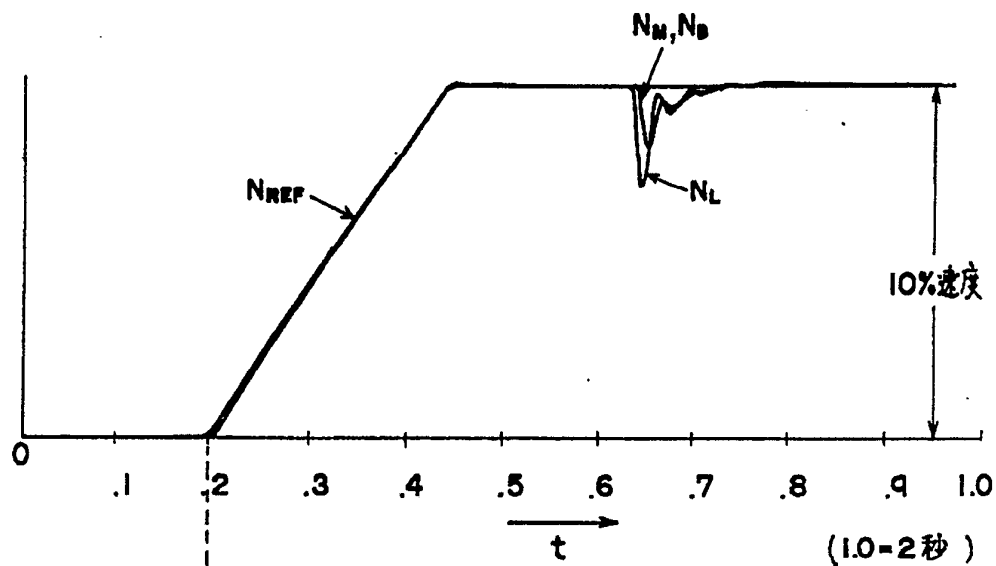
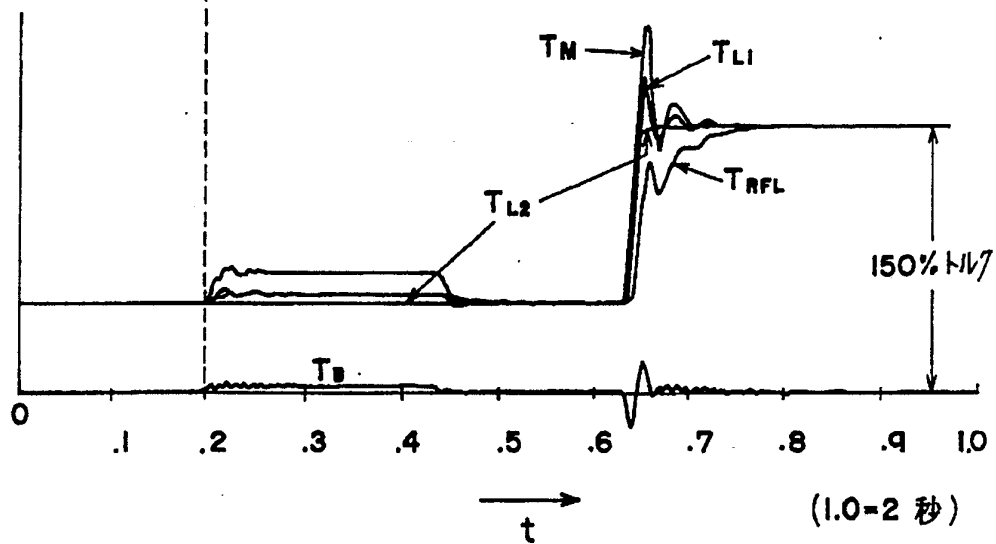
15 / 16

FIG. 15



16 / 16

FIG. 16

速度特性トルク特性

- N_{REF} = 速度指令
- N_M = 電動機速度
- N_L = 負荷速度
- T_M = 電動機トルク
- T_{L1} = 負荷駆動軸トルク
- T_{L2} = 負荷トルク

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No PCT/JP92/00110

I. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER (If several classification symbols apply, indicate all) ⁶				
According to International Patent Classification (IPC) or to both National Classification and IPC				
Int. Cl ⁵ H02P5/00, G05D13/62				
II. FIELDS SEARCHED				
Minimum Documentation Searched ⁷				
Classification System	Classification Symbols			
IPC	H02P5/00, G05D13/62			
Documentation Searched other than Minimum Documentation to the extent that such Documents are included in the Fields Searched ⁸				
Jitsuyo Shinan Koho		1971 - 1992		
Kokai Jitsuyo Shinan Koho		1971 - 1992		
III. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT ⁹				
Category [*]	Citation of Document, ¹¹ with indication, where appropriate, of the relevant passages ¹²	Relevant to Claim No. ¹³		
Y	JP, A, 57-83181 (Fuji Electric Co., Ltd.), May 24, 1982 (24. 05. 82), Line 4, lower right column, page 2 to line 13, upper left column, page 3 (Family: none)	1-4		
Y	JP, A, 2-219485 (Meidensha Electric Mfg. Co., Ltd.), September 3, 1990 (03. 09. 90), Line 11, upper left column, page 4 to line 5, upper left column, page 5 (Family: none)	1-4		
[*] Special categories of cited documents: ¹⁰ <table style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%;"> "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier document but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed </td> <td style="width: 50%;"> "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family </td> </tr> </table>			"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier document but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier document but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family			
IV. CERTIFICATION				
Date of the Actual Completion of the International Search	Date of Mailing of this International Search Report			
May 15, 1992 (15. 05. 92)	June 9, 1992 (09. 06. 92)			
International Searching Authority	Signature of Authorized Officer			
Japanese Patent Office				

国 際 調 査 報 告

国際出願番号PCT/JP 92/ 00110

I. 発明の属する分野の分類			
国際特許分類 (IPC) Int. Cl. ⁸ H 0 2 P 5 / 0 0, G 0 5 D 1 3 / 6 2			
II. 国際調査を行った分野			
調 査 を 行 っ た 最 小 限 資 料			
分 類 体 系	分 類 記 号		
IPC	H 0 2 P 5 / 0 0, G 0 5 D 1 3 / 6 2		
最小限資料以外の資料で調査を行ったもの			
日本国実用新案公報		1971-1992年	
日本国公開実用新案公報		1971-1992年	
III. 関連する技術に関する文献			
引用文献の※ カテゴリー	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	請求の範囲の番号	
Y	JP, A, 57-83181 (富士電機製造株式会社), 24. 5月. 1982 (24. 05. 82), 第2頁右下欄第4行-第3頁左上欄第13行 (ファミリーなし)	1-4	
Y	JP, A, 2-219485 (株式会社 明電舎), 3. 9月. 1990 (03. 09. 90), 第4頁左上欄第11行-第5頁左上欄第5行 (ファミリーなし)	1-4	
※引用文献のカテゴリー 「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの 「E」 先行文献ではあるが、国際出願日以後に公表されたもの 「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す) 「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献 「T」 国際出願日又は優先日の後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの 「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの 「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの 「&」 同一パテントファミリーの文献			
IV. 認 証			
国際調査を完了した日 15. 05. 92		国際調査報告の発送日 09.06.92	
国際調査機関 日本国特許庁 (ISA/JP)		権限のある職員 特許庁審査官 高 松 猛	3 H 7 6 2 3