

(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 1925310 B

(45) 授权公告日 2010.05.12

(21) 申请号 200510096699.7

(22) 申请日 2005.08.30

(73) 专利权人 台达电子工业股份有限公司

地址 中国台湾桃园县

(72) 发明人 蔡清雄 吴家明

(74) 专利代理机构 北京汇泽知识产权代理有限公司 11228

代理人 张颖玲 张谨

(51) Int. Cl.

H02P 23/00 (2006.01)

H02P 23/14 (2006.01)

(56) 对比文件

US 4679103, 1987.07.07, 全文.

CN 1525148 A, 2004.09.01, 全文.

US 5191272 A, 1993.03.02, 全文.

US 6900607 B2, 2005.05.31, 全文.

JP 特开 2001-209403 A, 2001.08.03, 全文.

审查员 王水迎

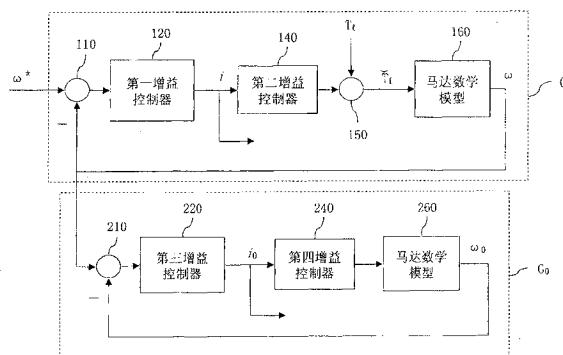
权利要求书 2 页 说明书 5 页 附图 3 页

(54) 发明名称

利用逆算模型的马达速度控制系统和负载惯量估测方法

(57) 摘要

一种利用逆算模型的马达速度控制系统和负载惯量估测方法, 应用于一交流伺服模块, 主要是利用一逆向系统连结于实际系统上, 以逆向推演实质的扭矩输出, 于此当实际系统产生的速度信号的值逐渐增加时, 会累加净惯量比; 而当实际系统产生的速度信号的值增加到一定值时, 则会更新净惯量比。



1. 一种利用逆算模型的负载惯量估测方法, 应用于一交流伺服模块, 借由接收一速度命令和一扭矩信号来估算一负载惯量, 包括下列步骤:

设定如下列的一第一关系式于一实际系统中:

$$\check{T}_\ell = Kt \cdot i + T_\ell = \frac{\omega}{J_1 : s}$$

其中 \check{T}_ℓ 代表一净扭矩信号, Kt 代表一增益常数, i 代表该实际系统产生的一电流信号, T_ℓ 代表该扭矩信号, ω 代表该实际系统产生的一速度信号, J_1 代表该负载惯量, 以及该电流信号 i 为该实际系统根据该速度命令和反馈的该速度信号 ω 而产生;

设定如下列的一第二关系式于一逆算系统中:

$$i_0 \times Kt = \frac{\omega_0}{J_0 : s}$$

其中 i_0 代表该逆算系统产生的一电流信号, Kt 代表该增益常数, ω_0 代表该逆算系统产生的一速度信号, J_0 代表一单位马达惯量, 以及该电流信号 i_0 是该逆算系统根据来自该实际系统的该速度信号 ω 和反馈的该速度信号 ω_0 而产生, 并且该速度信号 $\omega = \omega_0$;

根据该第一关系式和该第二关系式得到一第三关系式, 如下:

$$i_0 \times Kt = (Kt \cdot i + T_\ell) \times \frac{J_\ell}{J_0} = \frac{1}{\eta} \check{T}_\ell;$$

当该交流伺服模块的马达为等速率转动时, 根据该第三关系式而得到该扭矩信号 T_ℓ 为 $-Kt \cdot i$; 以及当该交流伺服模块的马达为加减速率转动时, 根据该第三关系式而得到该净扭矩信号 \check{T}_ℓ 为 $T_\ell + Kt \cdot i$; 其中 η 为该单位马达惯量 J_0 除以所述负载惯量 J_1 的一惯量比。

2. 如权利要求 1 所述的利用逆算模型的负载惯量估测方法, 其特征在于, 还包括下列步骤:

根据该第三关系式得到一第四关系式, 如下:

$$\hat{\eta} = \hat{\eta} + \mu \sum_{\omega=\omega_0}^{\omega_1} (\check{T}_\ell - \hat{\eta} \times K_t \times i_0),$$

其中 η 代表该单位马达惯量 J_0 除以该负载惯量 J_1 的一惯量比, $\hat{\eta}$ 代表一净惯量比, 以及 ω_1 与 ω_0 的差值的绝对值和 μ 分别为一定值;

当该速度信号 ω 的值由 ω_0 增加至 ω_1 时, 根据该第四关系式累加该净惯量比 $\hat{\eta}$, 以及

当该速度信号 ω 的值达到 ω_1 时, 根据该第四关系式更新该净惯量比 $\hat{\eta}$ 。

3. 如权利要求 1 所述的利用逆算模型的负载惯量估测方法, 其特征在于, 该逆算系统为频宽为 300Hz 的频宽回路。

4. 一种利用逆算模式的马达速度控制系统, 应用于一交流伺服模块, 包括:

一实际系统, 包括:

一第一合成器, 用以接收一输入速度信号并根据该输入速度信号和反馈的一速度信号产生一误差信号;

一第一增益控制器, 连接至该第一合成器, 以根据该误差信号产生一第一增益信号;

一电流回路, 连接至该第一增益控制器, 以将该第一增益信号转换为相应的一电流信

号；

一第二增益控制器，连接至该电流回路，以根据相应该第一增益信号的该电流信号产生一第二增益信号；

一第二合成器，连接至该第二增益控制器，以将一扭矩信号与该第二增益信号合成为一净扭矩信号；以及

一马达数学模型，连接至该第一和第二合成器，以根据该净扭矩信号产生一速度信号并反馈至该第一合成器；以及

一逆算系统，包括：

一第三合成器，连接至该实际系统的该马达数学模型，以将该实际系统产生的该速度信号和反馈的一速度信号而产生一误差信号；

一第三增益控制器，连接至该第三合成器，以根据该第三合成器产生的该误差信号产生一第三增益信号；

一电流回路，连接至该第三增益控制器，以将该第三增益信号转换为相应的一电流信号；

一第四增益控制器，连接至该电流回路，以根据相应该第三增益信号的该电流信号产生一第四增益信号；以及

一马达数学模型，连接至该第三合成器和该第四增益控制器，以根据该第四增益信号产生一速度信号并反馈至该第三合成器；

其中，利用适应性算法可根据该实际系统和该逆算系统产生的该些电流信号估测得该净扭矩信号，进而估测得该交流伺服模块的负载惯量。

5. 如权利要求4所述的利用逆算模式的马达速度控制系统，其特征在于，该实际系统所产生的该速度信号约等于该逆算系统所产生的该速度信号。

6. 如权利要求4所述的利用逆算模式的马达速度控制系统，其特征在于，该实际系统和该逆算系统的频宽远小于该电流回路所具有的频宽。

7. 如权利要求4所述的利用逆算模式的马达速度控制系统，其特征在于，该第一和第三增益控制器分别为一比例积分控制器。

利用逆算模型的马达速度控制系统和负载惯量估测方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种负载惯量估测技术,特别涉及一种利用逆算模型的马达速度控制系统和负载惯量估测方法。

背景技术

[0002] 在交流伺服模块中主要包括驱动器和马达二部分。将伺服马达装设于应用的机构上,即可达到定位或控速的需求。因而,在设计交流伺服驱动器时,负载物的转动惯量 (rotor inertia) 为设计时的一项重要参数,在达到精准估测此参数的情况下,才能确保交流伺服驱动器在进行运算控制时,能对此参数有一正确数值来作出准确的控制运算。然而,机构的惯量值的大小较难借由数学计算而求得,需以在线实时估测方法来获得,才能提供交流伺服驱动器实时了解本身及周遭环境的因素变化。

[0003] 参照图 1,为传统马达速度控制系统,主要由第一合成器 110、第一增益控制器 120、电流回路 130、第二增益控制器 140、第二合成器 150 和马达数学模型 160 依序串联成一回路。第一合成器 110 接收一速度命令 ω^* 和马达数学模型 160 反馈的速度信号 ω 而输出一误差信号,此误差信号再通过第一增益控制器 120 以输出第一增益信号,再经由电流回路 130 转换成一电流信号 i 以输入至第二增益控制器 140,而第二增益控制器 140 根据此电流信号 i 产生第二增益信号,接着第二合成器 150 接收此第二增益信号和一扭矩信号 T_1 并合成为一合成信号输入至马达数学模型 160,以控制其的速度。于此,电流信号 i 会输出,借以估测得实际负载惯量。

[0004]

其中,第一增益控制器 120 为一比例积分控制器,其增益值为: $K_p + \frac{K_i}{s}$ 。
第二增益控制器 140 的增益值为: K_t 。马达数学模型 160 的型式为: $\frac{1}{J_\ell:s+B}$ 。

其中, K_p 、 K_i 、 K_t 为三常数值, $\frac{K_i}{s}$ 代表 K_i 的积分, J_ℓ 为负载惯量, $J_\ell : s$ 即代表负载惯量的微分,而 B 为机械阻尼。

[0005] 于一般设计下,电流回路频宽都远大于速度回路频宽,因此电流回路的影响都会予以忽略;并且负载惯量 (J_1) 会远大于机械阻尼 (B),故 B 值亦可忽略不计。

[0006] 因而可得一简化的传统马达速度控制系统,如图 2 所示,其中马达数学模型 160 的型式为: $\frac{1}{J_\ell:s}$ 。于此,可得到输出速度信号 ω 、电流信号 i 、扭矩信号 T_1 的关系式如下:

$$[0007] \omega = \frac{i \times K_t + T_\ell}{J_\ell:s} \dots \dots \dots \text{公式一}$$

[0008]

$$\rightarrow \int J_\ell \frac{d\omega}{dt} = i \times K_t + T_\ell$$

$$[0009] \rightarrow \int J_1 d\omega = \int (i \times K_t + T_1) dt$$

$$[0010] \rightarrow J_\ell = \frac{\int (i \times Kt + T_\ell) dt}{\int d\omega} \dots \text{公式二}$$

[0011] 借由公式一简化可得到公式二，并且于取样系统中，当取样率为 h 秒 (sec) 且从 t_0 至 t_1 ，可由公式二得到一负载惯量的关系式如下：

$$[0012] J_\ell = \frac{h \sum (i \times Kt + T_\ell) dt}{\omega_1 - \omega_0} \dots \text{公式三}$$

[0013] 由公式三可得知由于其分母为变动值因此取样点的多寡对负载惯量 J_1 的估测值影响甚大，以致使负载惯量 J_1 的估测值变化甚大。

发明内容

[0014] 鉴于以上的问题，本发明的主要目的在于提供一种利用逆算模型的马达速度控制系统和负载惯量估测方法，借以解决先前技术所存在的诸多问题与限制。

[0015] 本发明所公开的利用逆算模型的马达速度控制系统和负载惯量估测方法，借由一逆算模型来逆向推演实质的扭矩输出。

[0016] 本发明所公开的利用逆算模型的马达速度控制系统和负载惯量估测方法，可实现收敛快速且稳态误差缓动的负载惯量估测。

[0017] 因此，为达上述目的，本发明所公开的利用逆算模型的负载惯量估测方法，应用于一交流伺服模块，借由接收一速度命令和一扭矩信号来估算一负载惯量，包括下列步骤：首先，设定如下列的一第一关系式于一实际系统中： $\check{T}_\ell = Kt \cdot i + T_\ell = \frac{\omega}{J_1 : s}$ ；接着，设定如下列

的一第二关系式于一逆算系统中： $i_0 \times Kt = \frac{\omega_0}{J_0 : s}$ ；然后根据第一关系式和第二关系式得到一

第三关系式，如下： $i_0 \times Kt = (Kt \cdot i + T_\ell) \times \frac{J_\ell}{J_0} = \frac{1}{n} \check{T}_\ell$ ；当交流伺服模块的马达为等速率转动时，

根据第三关系式而得到扭矩信号 T_1 为 $-Kt \cdot i$ ；以及当交流伺服模块的马达为加减速率转动时，根据第三关系式而得到净扭矩信号 \check{T}_ℓ 为 $T_\ell + Kt \cdot i$ ；其中 n 为该单位马达惯量 J_0 除以所述负载惯量 J_1 的一惯量比。

[0018] 其中 \check{T}_ℓ 代表净扭矩信号； Kt 代表增益常数； i 、 i_0 分别代表实际系统和逆算系统产生的电流信号； T_1 代表扭矩信号； ω 、 ω_0 分别代表实际系统和逆算系统产生的速度信号； J_1 、 J_0 分别代表负载惯量和单位马达惯量；电流信号 i 为实际系统根据速度命令和反馈的速度信号 ω 而产生；而电流信号 i_0 则逆算系统根据来自实际系统的速度信号 ω 和反馈的速度信号 ω_0 而产生，并且此速度信号 $\omega = \omega_0$ 。

[0019] 此外还包括下列步骤：根据第三关系式得到一第四关系式，如下： $\hat{n} = \hat{n} + \mu \sum_{\omega=\omega_0}^{\omega_1} (\check{T}_\ell - \hat{n} \times Kt \times i_0)$ ；当速度信号 ω 的值由 ω_0 增加至 ω_1 时，根据第四关系式累加净惯量比 \hat{n} ；以及当速度信号 ω 的值达到 ω_1 时，根据第四关系式更新净惯量比 \hat{n} 。其中，其中 n 代表单位马达惯量 J_0 除以负载惯量 J_1 的一惯量比， \hat{n} 代表一净惯量比，以及 ω_1 与

ω_0 的差值的绝对值和 μ 分别为一定值。

[0020] 本发明还公开一种利用逆算模式的马达速度控制系统,应用于一交流伺服模块,包括:一实际系统和一逆算系统

[0021] 于实际系统中包括:一第一合成器、一第一增益控制器、一电流回路、一第二增益控制器、一第二合成器和一马达数学模型。此六元件依序串联成一回路。第一合成器用以接收一输入速度信号并根据输入速度信号和反馈的一速度信号产生一误差信号,第一增益控制器则根据误差信号产生一第一增益信号,电流回路再将第一增益信号转换为相应的一电流信号,第二增益控制器根据电流信号产生一第二增益信号,第二合成器将一扭矩信号与第二增益信号合成为一净扭矩信号,最后马达数学模型则根据净扭矩信号产生一速度信号并反馈至第一合成器。

[0022] 而于逆算系统中则包括:一第三合成器、一第三增益控制器、一电流回路、一第四增益控制器和一马达数学模型。此六元件依序串联成一回路,并且第三合成器会与实际系统的马达数学模型相连接。其中,第三合成器会根据实际系统产生的速度信号和反馈的速度信号而产生一误差信号,第三增益控制器则根据第三合成器产生的误差信号产生第三增益信号,接着电流回路再将第三增益信号转换为相应的电流信号,第四增益控制器根据电流信号产生第四增益信号,最后马达数学模型根据第四增益信号产生一速度信号并反馈至第三合成器。

[0023] 其中,利用适应性算法可根据实际系统和逆算系统产生的电流信号估测得净扭矩信号,进而估测得交流伺服模块的负载惯量。

[0024] 再者,实际系统所产生的速度信号大致上相等于逆算系统所产生的速度信号。

[0025] 此外,实际系统和逆算系统的频宽远小于电流回路所具有的频宽。

[0026] 于此,第一和第三增益控制器分别为比例积分控制器。

[0027] 有关本发明的特征与实作,配合图示作最佳实施例详细说明如下。

附图说明

[0028] 图 1 为说明传统马达速度控制系统的概要结构图;

[0029] 图 2 为图 1 的简化系统的概要结构图;

[0030] 图 3 为说明根据本发明的一实施例的利用逆算模式的马达速度控制系统的概要结构图;以及

[0031] 图 4 为图 3 中的系统产生的各个信号的示意图。

[0032] 其中,附图标记说明如下:

[0033] 110 第一合成器 120 第一增益控制器 130 电流回路

[0034] 140 第二增益控制器 150 第二合成器 160 马达数学模型

[0035] 210 第三合成器 220 第三增益控制器 240 第四增益控制器

[0036] 260 马达数学模型

[0037] ω^* 速度命令 ω 速度信号 ω_0 速度信号

[0038] i 电流信号 i_0 电流信号 T_1 扭矩信号

[0039] G 实际系统 G_0 逆算系统 $\hat{\eta}$ 净惯量比

具体实施方式

[0040] 以下举出具体实施例以详细说明本发明的内容，并以附图作为辅助说明。说明中提及的符号参照附图符号。

[0041] 本发明主要借由一逆算系统来逆向推演实质的扭矩输出，进而以适应性算法估测得实际负载惯量，以达到实时估测且精准控制的目的。

[0042] 参照图3，为本发明一实施例的利用逆算模式的马达速度控制系统，应用于一交流伺服模块，主要由一实际系统G和一逆算系统G₀所组成。

[0043] 此实际系统G的元件组成和运作大致上与上述的传统马达速度控制系统相同，因于此不再重复说明。此实际系统G由第一合成器110、第一增益控制器120、电流回路（于此电流回路的影响亦可忽略不计，因未显示于图中）、第二增益控制器140、第二合成器150和马达数学模型160依序串联成一回路。其中，第二合成器150将第二增益信号和扭矩信号T₁合成为一净扭矩信号T̄_ℓ，此净扭矩信号T̄_ℓ输入至马达数学模型160，以控制其的速度，并且马达数学模型160所产生的速度信号ω除了会反馈至第一合成器110，亦会输入之至逆算系统G₀中。

[0044] 此逆算系统G₀由第三合成器210、第三增益控制器220、第四增益控制器240、电流回路（于此电流回路的影响亦可忽略不计，因未显示于图中）和马达数学模型260依序串联成一回路。第三合成器210接收来自实际系统G的速度信号ω和马达数学模型260反馈的速度信号ω₀而输出一误差信号，此误差信号再通过第三增益控制器220以输出第三增益信号，再经由电流回路230转换成一电流信号i₀以输入至第四增益控制器240，而第四增益控制器240根据此电流信号i₀产生第二增益信号，并输入至马达数学模型260中以控制其的速度。于此，电流信号i₀会输出，进而可借由电流信号i和电流信号i₀并利用适应性算法而估测得实际负载惯量。其中，第一和第三增益控制器120、220分别为一比例积分控制器（P/I controller）。

[0045] 于此，此逆算系统G₀设计为高频宽（例如：300Hz）回路，且其输出的速度信号ω₀相当近似于实际系统G输出的速度信号ω，即ω₀≈ω。

[0046] 于实际系统G中，第一增益控制器120为一比例积分控制器，其增益值为： $K_p + \frac{K_i}{s}$ ；第二增益控制器140的增益值为：K_t；马达数学模型160的公式为： $\frac{1}{J_t:s + B}$ 。而于逆算系统G₀中，第三增益控制器220亦为一比例积分控制器，其增益值为： $K_{p_0} + \frac{K_{i_0}}{s}$ ；第四增益控制器240的增益值亦为：K_t；马达数学模型260的公式为： $\frac{1}{J_0:s + B}$ 。

[0047] 其中，K_p、K_{p0}、K_i、K_{i0}、K_t均为常数值， $\frac{K_i}{s}$ 和 $\frac{K_{i_0}}{s}$ 分别表示K_i的积分和K_{i0}的积分；J_t为负载惯量，J_t:s表示负载惯量的微分；J₀为单位马达惯量，J₀:s表示单位马达惯量的微分；而B亦为机械阻尼且因负载惯量（J_t）和单位马达惯量（J₀）会远大于机械阻尼（B），故B值均可忽略不计，故马达数学模型160的公式则为： $\frac{1}{J_t:s}$ ，且马达数学模型260的公式为： $\frac{1}{J_0:s}$ 。因而可得到第一和第二关系式如公式四和公式五所示：

$$[0048] \quad \dot{T}_\ell = K_t:i + T_\ell = \frac{\omega}{J_t:s} \dots \text{公式四}$$

[0050] 其中,由于 $\omega_0 \doteq \omega$,因此由公式四~五可得公式六(即第三关系式),如下:

[0051]

$$\check{T}_\ell \times (J_\ell : s) = (Kt : i + T_\ell) \times (J_\ell : s) = (i_0 \times Kt) \times (J_0 : s)$$

$$[0052] \quad \rightarrow i_0 \times Kt = (Kt : i + T_\ell) \times \frac{J_\ell}{J_0} = \check{T}_\ell \times \frac{J_\ell}{J_0} \dots \dots \dots \text{公式六}$$

[0053] 并且,惯量比 η 定义为单位马达惯量除以负载惯量,因此公式六可简化为公式七(即第三关系式),如下:

$$[0054] \quad i_0 \times Kt = (Kt : i + T\ell) \times \frac{J\ell}{J_0} = \frac{1}{n} T\ell \dots \dots \text{公式七}$$

[0055] 其中,当逆算系统 G_0 产生的电流信号 i_0 的绝对值极小时,此时代表马达处于等速率转动,因而净电流 i 几乎为零,进而可得到 $T_\ell = -Kt \cdot i$;而当电流信号 i_0 的绝对值够大时,即代表马达处于加减速率转动,也就是净扭矩信号 \dot{T}_ℓ 已足够大,且此时输出的电流信号为 i ,因此可得 $\dot{T}_\ell = T_\ell + Kt \cdot i$ 。并且,由公式七可导得公式八(即第四关系式)以进行惯量比 η 的估测,如下:

$$[\text{0056}] \quad \hat{\eta} = \hat{\eta}_0 + \mu \sum_{\ell=1}^{n-1} (\check{T}_\ell - \hat{\eta} \times K_t \times i_0) \dots \dots \dots \text{公式八}$$

[0057] 其中, $|\omega_1 - \omega_0|$ 和 μ 分别为一定值。

[0058] 当速度 ω 从 ω_0 变化至 ω_1 时, $\hat{\eta}$ 即会进行一次更新, 然后重新开始进行累加, 并反复于 ω 增加一定值时, 使 $\hat{\eta}$ 进行一次更新, 如图 4 所示。其中 $\hat{\eta}$ 代表一净惯量比。

[0059] 于此,于公式八中已不存在分母的运算,因此于实际运用上,比公知技术有较低的稳态误差变动性,同时收敛速度也相当快。此外,于此所得的电流信号 i_0 可用以判断等速或加减速的时机已决定扭矩信号 T_1 是否更新估测值,因此可得到较正确的扭矩信号 T_1 进而能准确地估测负载惯量 J_1 。

[0060] 虽然本发明以前述的较佳实施例公开如上，然其并非用以限定本发明，任何本领域的普通技术人员，在不脱离本发明的精神和范围内，当可作些许的更动与润饰，因此本发明的专利保护范围须视本说明书所附的权利要求书的范围为准。

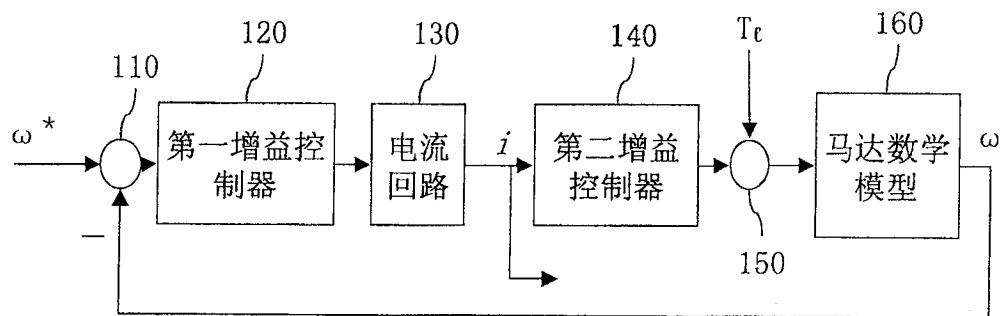


图 1

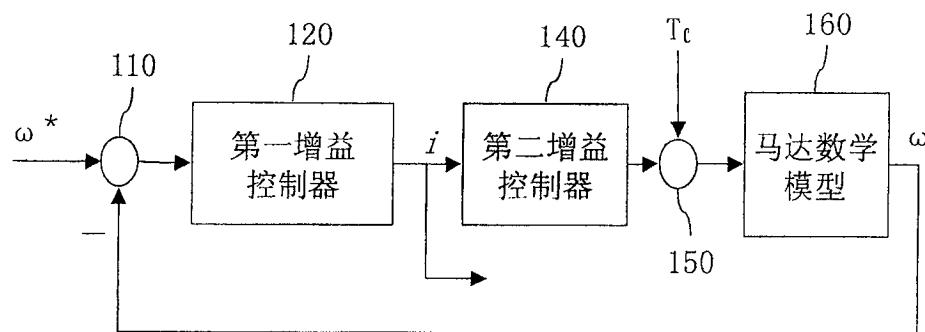


图 2

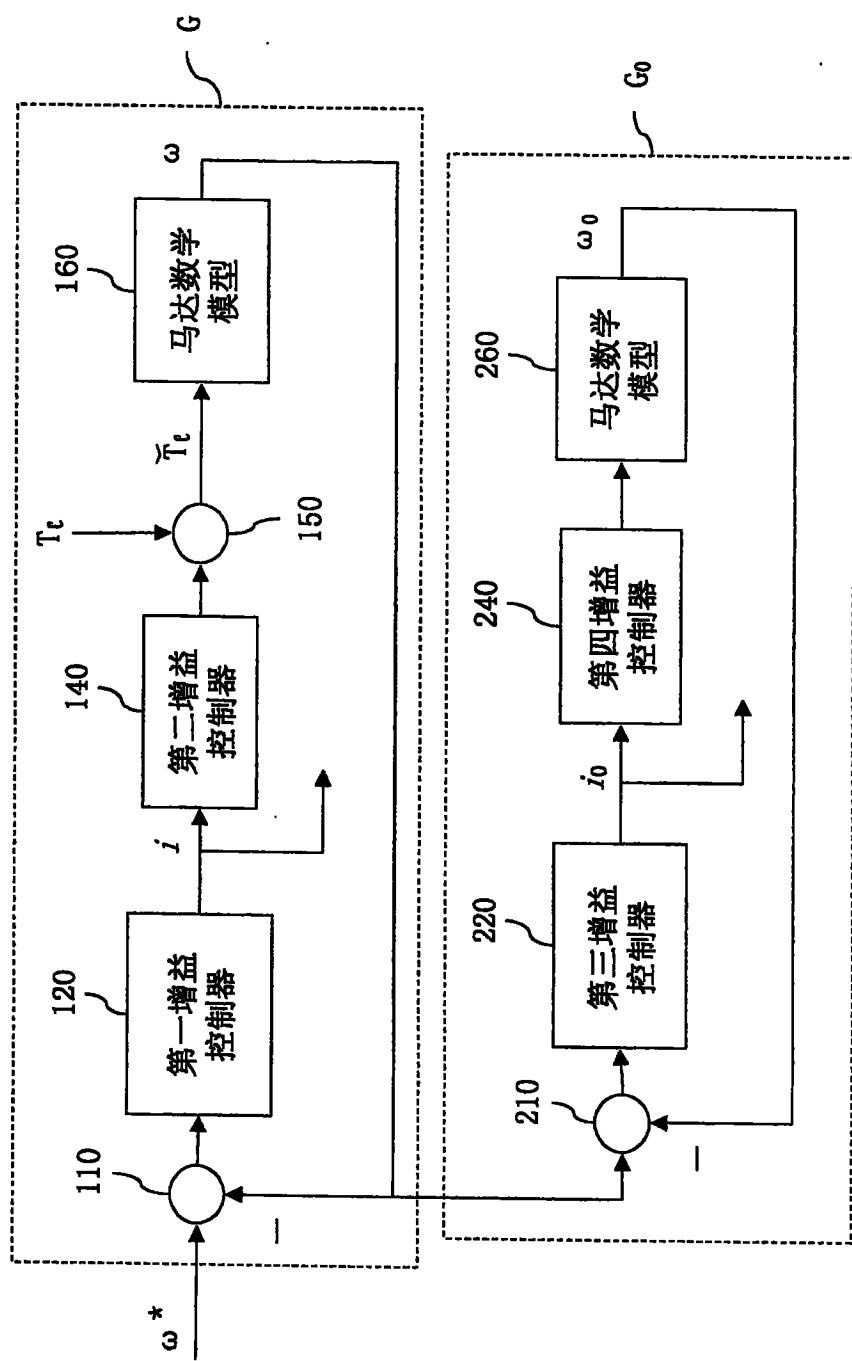


图 3

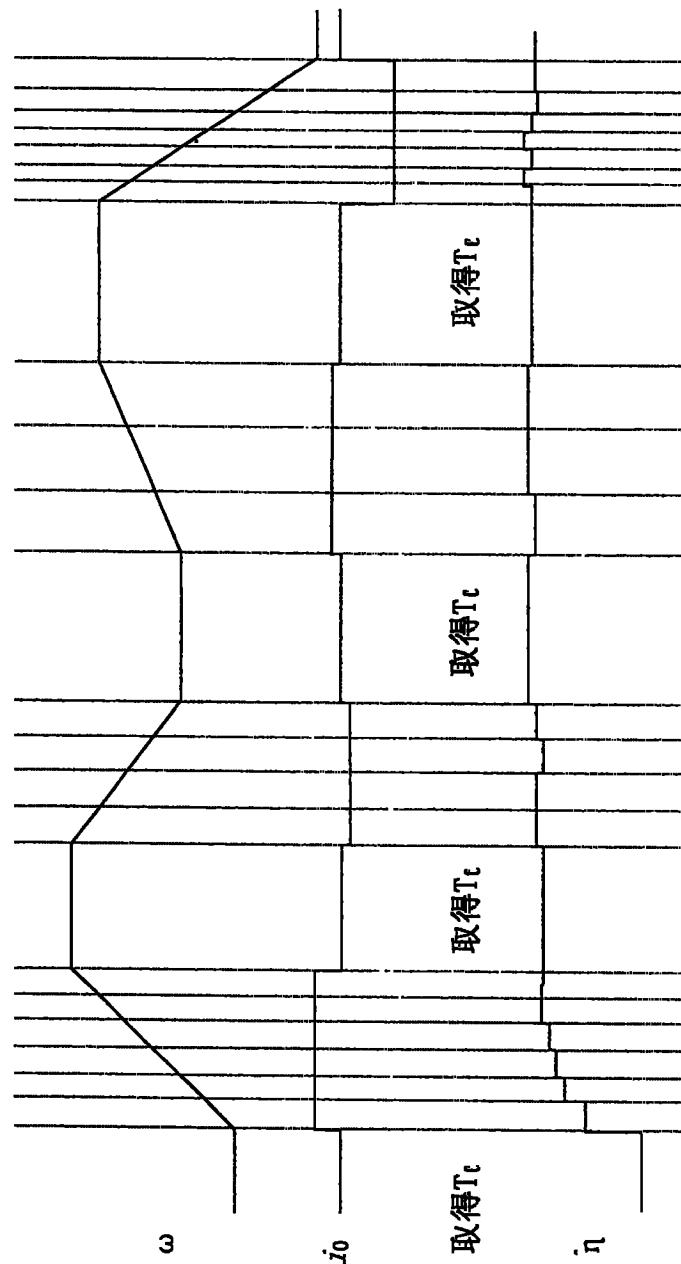


图 4