

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 438 846**

51 Int. Cl.:

H02P 21/00 (2006.01)

H02P 29/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **15.06.2012 E 12172122 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **20.11.2013 EP 2546977**

54 Título: **Procedimiento de control implementado en un variador de velocidad para controlar la deceleración de un motor eléctrico en caso de corte de la alimentación**

30 Prioridad:

12.07.2011 FR 1156347

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

20.01.2014

73 Titular/es:

**SCHNEIDER TOSHIBA INVERTER EUROPE SAS
(100.0%)**

**33, rue André Blanchet
27120 Pacy sur Eure, FR**

72 Inventor/es:

**KERMARREC, LUDOVIC y
MALRAIT, FRANÇOIS**

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 438 846 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Procedimiento de control implementado en un variador de velocidad para controlar la deceleración de un motor eléctrico en caso de corte de la alimentación

Campo técnico de la invención

5 La presente invención se refiere a un procedimiento de control implementado en un variador de velocidad para controlar la deceleración de un motor eléctrico en caso de corte de la alimentación eléctrica. La invención se refiere igualmente a un sistema de control adaptado para implementar dicho procedimiento de control.

Estado de la técnica

10 La patente de Estados Unidos US 4.678.980 describe un procedimiento empleado en un variador de velocidad para gestionar la deceleración de un motor eléctrico cuando interviene un corte de la alimentación. El procedimiento consiste en seleccionar un perfil de frecuencia particular cuando se detecta un corte de alimentación con el fin de seguir un perfil de deceleración determinado, memorizado en el variador velocidad, siendo diferente este perfil de frecuencia particular del perfil de frecuencia empleado en funcionamiento normal. En ese documento, al estar previamente memorizado en el variador velocidad el perfil de deceleración, no está siempre adaptado por lo tanto a la aplicación en la que se emplea el motor eléctrico.

Son igualmente conocidos otros procedimientos de control por las publicaciones siguientes:

- Raj Narayanan, Don Platt, Sarath Perera: "Improvements to voltage sag ride-through performance of AC variable speed drives" - 21/09/1999, XP002671315
- 20 - Holtz J et ál.: "Controlled AC drives with ride-through capability at power interruption" - 02/10/1993, XP010118698
- Terorde G et ál.: "Drive DC bus voltage control during power interruptions using kinetic energy recovery" - 06/10/2003, XP010650833

25 El objeto de la invención es proponer un procedimiento de control en el que sea posible adaptar la rampa de deceleración a la aplicación, de manera que pueda detener el motor eléctrico tan rápido como lo permita la mecánica de la máquina que utiliza el motor eléctrico.

Exposición de la invención

Este objeto se consigue mediante un procedimiento de control tal como el indefinido en la reivindicación 1.

30 Según una particularidad, las pérdidas por efecto Joule se determinan mediante una etapa de comparación que efectúa una comparación entre la tensión medida en el bus de continua de alimentación del variador velocidad y un valor de referencia.

Según otra particularidad, el valor de referencia corresponde a la energía disponible necesaria para seguir la rampa de deceleración del motor eléctrico.

35 Según otra particularidad, el procedimiento comprende una etapa de activación o de desactivación de una limitación del par aplicado al motor eléctrico ejecutada de acuerdo con la comparación efectuada durante la etapa de comparación.

La invención se refiere igualmente a un variador de velocidad tal como el definido en la reivindicación 5.

Según una particularidad, el variador de velocidad comprende unos medios de comparación entre la tensión medida en el bus de continua de alimentación del variador de velocidad y un valor de referencia con el fin de deducir las pérdidas por efecto Joule a aplicar al motor eléctrico.

40 Según otra particularidad, el valor de referencia corresponde a la energía disponible necesaria para seguir la rampa de deceleración del motor eléctrico.

Según otra particularidad, el variador de velocidad comprende unos medios de activación o de desactivación de una limitación del par aplicado al motor eléctrico ejecutada de acuerdo con la comparación efectuada durante la etapa de comparación.

Breve descripción de las figuras

Surgirán otras características y ventajas en la descripción detallada a continuación realizada en relación con unos dibujos adjuntos en los que:

- la figura 1 representa un esquema de control empleado en un variador velocidad para la implementación del

procedimiento de control de la invención

- las figuras 2 y 3 muestran los cronogramas que ilustran la deceleración de un motor eléctrico, respectivamente durante la aplicación del procedimiento de control de la invención y durante la aplicación de un procedimiento estándar conocido en el estado de la técnica,
- 5 - la figura 4 representa, de manera esquemática, un variador de velocidad conectado a un motor eléctrico.

Descripción detallada de al menos un modo de realización.

La invención se refiere un procedimiento de control implementado en un variador velocidad cuando se detecta un corte de la alimentación.

10 Como se ha representado en la figura 4, un variador de velocidad destinado a controlar un motor eléctrico M se conecta aguas arriba, a través de varias fases de entrada, a una red eléctrica R y, aguas abajo, a través de varias fases de salida, al motor eléctrico M. El variador de velocidad comprende:

- en la entrada, un módulo 10 rectificador compuesto por regla general de un puente de diodos destinado a rectificar la tensión alterna suministrada por la red eléctrica R,
- 15 - un bus 15 de continua de alimentación sobre el que se aplica la tensión rectificada por el módulo rectificador, estando dotado el bus de continua de alimentación de un condensador C_{bus} del bus que permite mantener la tensión del bus en un valor constante,
- en la salida, un módulo 20 ondulator destinado a transformar la tensión V_{bus} del bus de continua de alimentación en una tensión variable a aplicar al motor eléctrico. El módulo ondulator comprende varios ramales de conmutación dotados cada uno de varios transistores de potencia, controlado cada uno en apertura o en cierre para aplicar una tensión variable al motor eléctrico M.
- 20

De manera conocida, los transistores de potencia están controlados por una unidad de control que ejecuta una ley de control determinada en la que se determina una tensión de control a aplicar al motor eléctrico en función de una referencia de velocidad ω_{ref} (designado igualmente como referencia de frecuencia) y de una referencia de flujo φ_{ref} (figura 1). La ley de control puede integrar igualmente un bloque de control b₁ que permite limitar el par aplicado al motor M en función de la tensión V_{bus} del bus de continua de alimentación. Cuando la tensión V_{bus} del bus de continua de alimentación se hace inferior a un valor V_{bus_ref} de referencia, el módulo 20 ondulator está controlado en limitación de par de manera que regule la tensión V_{bus} del bus de continua de alimentación.

25

El principio de la invención es adaptar esta ley de control a la gestión de la rampa de deceleración del motor eléctrico M en caso de corte de la alimentación eléctrica, es decir cuando el variador de velocidad detecta que una tensión de funcionamiento pasa por debajo de un valor de umbral determinado. La tensión de funcionamiento puede ser una tensión medida en las fases de entrada, o la tensión del bus de continua de alimentación.

30

Según la invención, la ley de control integra un bloque de control b₂ de las pérdidas por efecto Joule sufridas por el motor eléctrico y el variador velocidad (designadas en lo que sigue como pérdidas). El procedimiento de control de la invención consiste por lo tanto en gestionar las pérdidas de manera que se utilice la energía disponible en el variador de velocidad después del corte de la alimentación con el fin de regular la tensión V_{bus} del bus de continua de alimentación a un valor V_{bus_ref} de referencia adaptado para respetar la rampa de deceleración del motor eléctrico M. Para gestionar las pérdidas, el procedimiento de control de la invención consiste en modificar la referencia de flujo φ_{ref}.

35

Al ser bien conocidos en el estado de la técnica ciertos bloques de control representados en la figura 1, no se describen en la presente solicitud de patente.

40

La gestión del tiempo de deceleración del motor eléctrico M, y por tanto de su rampa de deceleración con relación a las pérdidas se explica mediante la demostración a continuación.

La energía acumulada en la tensión V_{bus} del bus de continua de alimentación de un variador de velocidad que controla un motor de inducción se puede escribir mediante la relación siguiente:

45
$$\frac{d}{dt} (E_{BUS} + E_{Meca} + E_{Elec}) = -P_{Var} - P_{Meca} - P_{Mot} \quad (1)$$

En la que:

- E_{BUS} corresponde a la energía acumulada en el bus de continua de alimentación E_{BUS} = $\frac{1}{2} \cdot C_{BUS} \cdot V_{BUS}^2$ teniendo en cuenta la tensión del bus de continua de alimentación V_{BUS} y la capacidad del condensador C_{BUS} del bus,

- E_{Meca} corresponde a la energía mecánica generada por el motor eléctrico $E_{Meca} = \frac{1}{2} \cdot J \cdot \left(\frac{\omega}{n_p} \right)^2$ según su velocidad mecánica $\frac{\omega}{n_p}$ (relación de la velocidad en la referencia eléctrica y del número de pares de polos n_p) y su inercia J ,
- E_{Elec} corresponde a la energía eléctrica acumulada por el motor eléctrico,
- 5 - P_{Var} corresponde a las pérdidas por efecto Joule sufridas por el variador de velocidad,
- P_{Meca} corresponde a las pérdidas mecánicas sufridas por el motor debidas al efecto de carga mecánica o del rozamiento,
- P_{Mot} corresponde a las pérdidas por efecto Joule sufridas por el motor debido al efecto eléctrico.

10 O, para unas aplicaciones que sean fuertemente inerciales y que posean un modo de funcionamiento en el que se desconecta la carga, se tiene:

$$E_{Meca} \gg E_{Bus}, E_{Elec}$$

y

$$P_{Meca} \approx 0$$

15 Cuando interviene un corte de la alimentación eléctrica, es necesario conservar suficiente energía en el variador (E_{Bus}) para alimentar el variador de velocidad. Es necesario por lo tanto regular la energía en el condensador C_{bus} del bus (que entonces ya no estará alimentado por la red) en un valor suficiente para controlar la deceleración del motor eléctrico.

Teniendo en cuenta la dinámica "reducida" del sistema, es decir:

$$\frac{d}{dt} (E_{Bus} + E_{Meca}) = -P_{Var} - P_{Mot} \quad (2)$$

20 Con $E_{Meca} = \frac{1}{2}$, se obtiene:

$$\frac{d}{dt} (E_{Meca}) = -C_{Mot} \left(\frac{\omega}{n_p} \right) \quad (3)$$

mientras que con $E_{Bus} \approx$ constante la relación (2) se convierte entonces

$$\frac{d}{dt} (E_{Meca}) = -P_{Var} - P_{Mot} \quad (4)$$

En las que:

- 25 - C_{Mot} representa el par aplicado por el motor y es igual a $C_{Mot} = \frac{J}{n_p} \cdot \frac{d}{dt} \omega$,
- J representa la inercia del motor,
- ω representa la velocidad del motor eléctrico expresada en la referencia eléctrica,
- n_p representa el número de pares de polos.

30 De (3), se deduce que para unas pérdidas nominales, el tiempo de deceleración t_{dec} se fija por el sistema variador de velocidad/motor eléctrico y no se puede modificar para responder a una necesidad de la aplicación. Se obtiene:

$$\begin{aligned} E_{Meca}(t) &= E_{Meca} (Inicial) - (P_{Var} + P_{Mot}) \cdot t \\ \Rightarrow t_{dec} &= \frac{E_{Meca} (Inicial)}{P_{Var} + P_{Mot}} \end{aligned}$$

En la que t_{dec} corresponde al tiempo de deceleración del motor eléctrico M. Para incrementar el tiempo de deceleración del motor eléctrico M, conviene por lo tanto disminuir las pérdidas y para reducir el tiempo de deceleración del motor eléctrico, es necesario por lo tanto incrementar las pérdidas.

5 Como se ha descrito anteriormente, para gestionar las pérdidas, es necesario actuar sobre la referencia de flujo aplicada en la ley de control. Esto se explica mediante el razonamiento siguiente:

10 Las pérdidas están compuestas principalmente por dos términos, es decir unas pérdidas del motor y unas pérdidas del variador. Éstas se pueden reescribir en la forma de dos funciones $F_d(i_d)$ y $F_q(i_q)$ que dependen respectivamente de la corriente de flujo i_d y de la corriente de par i_q . Cuando se detecta un corte de la alimentación, en primera aproximación, la función $F_q(i_q)$ es despreciable frente a la función $F_d(i_d)$ puesto que se estaría con un reducido par de deceleración. La función $F_d(i_d)$ es monótona en i_d , es decir que las pérdidas no harían más que aumentar cuando la corriente de flujo i_d aumenta. Una disminución de la corriente de flujo i_d permite por lo tanto disminuir las pérdidas. Lo que da como resultado que actuando sobre la referencia del flujo φ_{ref} es posible controlar las pérdidas sufridas por el motor eléctrico M y el variador de velocidad.

15 A partir de los principios evocados anteriormente, es posible así proponer un esquema de control particular tal como se representa en la figura 2. Este esquema de control comprende las etapas siguientes:

- Cuando una tensión de funcionamiento desciende por debajo de un umbral determinado, sinónimo de corte de la alimentación, se aplica una rampa de deceleración al motor eléctrico M por el variador velocidad hasta una velocidad nula.
- 20 - Las pérdidas se inicializan en un valor reducido, por ejemplo en un valor nulo, con el fin de limitar la caída de tensión.
- El corte de la alimentación implica una bajada de la tensión V_{bus} del bus de continua de alimentación, que activa su regulación mediante la limitación del par aplicado al motor eléctrico M. Se pueden presentar dos casos según la rampa de desaceleración aplicada a la referencia de velocidad ω_{ref} .
- 25 - Si la rampa de deceleración es corta, la tensión V_{bus} del bus de continua de alimentación tiene tendencia a aumentar. Es necesario entonces
 - incrementar las pérdidas sufridas por el motor M y el variador de velocidad para seguir la rampa de deceleración,
 - o alternativamente ralentizar la rampa de deceleración.
- 30 - Si la rampa de deceleración es larga, la tensión V_{bus} del bus de continua de alimentación tiene una tendencia a caer. Es necesario entonces:
 - disminuir las pérdidas sufridas por el motor M y el variador de velocidad para seguir la rampa de deceleración,
 - o alternativamente acelerar la rampa de deceleración.

35 Para responder a estos dos casos, es necesario regular la tensión V_{bus} del bus de continua de alimentación con relación a un valor V_{bus_ref} de referencia de la tensión del bus. La regulación se produce como sigue:

- 40 - Si la tensión V_{bus} del bus de continua de alimentación es superior al valor V_{bus_ref} de referencia de tensión del bus, la limitación del par disminuye hasta alcanzar un valor nulo. El par motor se calcula para que siga la rampa de deceleración. Si la rampa de deceleración es corta, hay una fuerte solicitud de par. Éste se limita entonces al valor de limitación, a menos que se incrementen las pérdidas. Si la rampa es larga, la tensión V_{bus} del bus de continua de alimentación bajará naturalmente a menos que se disminuyan las pérdidas.
- 45 - Si la tensión V_{bus} del bus de continua de alimentación es inferior al valor V_{bus_ref} de referencia de tensión del bus, la limitación del par se eleva hasta su valor nominal. El par motor se calcula para que siga la rampa de deceleración. Si la rampa de deceleración es corta, hay una fuerte solicitud de par. La tensión V_{bus} del bus de continua de alimentación aumentará naturalmente a menos que se incrementen las pérdidas. Si la rampa es larga, el par puede volver a aumentar naturalmente hasta la limitación con el fin de volver a aumentar la tensión V_{bus} del bus de continua de alimentación, a menos que se disminuyan las pérdidas.

Según el estado de limitación del par, el procedimiento de control de la invención controla las pérdidas para regular la tensión V_{bus} del bus de continua de alimentación al valor V_{bus_ref} de referencia y adaptar así la rampa de deceleración del motor eléctrico M. Esto se produce de la manera siguiente:

- 50 - Si la limitación del par está activa, se controla el módulo 20 ondulator para aumentar las pérdidas con el fin de seguir la rampa de deceleración,

- Si la limitación del par está inactiva (el par es entonces reducido y no tiene necesidad de ser limitado), se controla el módulo 20 ondulator para disminuir las pérdidas con el fin de seguir la rampa de deceleración.

La referencia de flujo φ_{ref} se ajusta a continuación en el sentido de incremento o disminución de las pérdidas a aplicar al motor eléctrico M.

- 5 Las figuras 2 y 3 muestran unos cronogramas que ilustran la deceleración del motor eléctrico respectivamente cuando se emplea en el variador de velocidad el procedimiento de control de la invención o cuando se emplea en el variador de velocidad un procedimiento estándar conocido en el estado de la técnica.

En estas figuras, los cronogramas muestran cada uno la curva de velocidad del motor eléctrico M, la variación de la tensión del bus de continua de alimentación V_{bus} y la variación de las pérdidas.

- 10 En la figura 2, para el procedimiento de control de la invención, la secuencia es la siguiente:

Entre t_0 y t_1 , el motor eléctrico gira a una velocidad constante, la tensión V_{bus} del bus de continua de alimentación es constante y las pérdidas son igualmente constantes.

En t_1 , interviene un corte de la alimentación.

- 15 Entre t_1 y t_2 , la velocidad del motor eléctrico M permanece constante pero la tensión V_{bus} del bus de continua de alimentación decrece hasta un valor inferior al valor V_{bus_ref} de referencia de la tensión del bus. Las pérdidas permanecen constantes.

En t_2 , el variador de velocidad detecta el corte de la alimentación.

- 20 Entre t_2 y t_3 , la deceleración del motor eléctrico M implica un incremento de la tensión V_{bus} del bus de continua de alimentación. Según el valor de la tensión V_{bus} del bus de continua de alimentación con relación al valor V_{bus_ref} de referencia, el procedimiento de control consiste en gestionar las pérdidas aplicadas al motor eléctrico con el fin de optimizar la energía disponible para seguir la rampa de deceleración del motor eléctrico. La gestión de las pérdidas se realiza ajustando el flujo de referencia.

A partir de t_3 , la tensión del bus de continua de alimentación se regula al valor de referencia permitiendo seguir la rampa de deceleración del motor eléctrico.

- 25 En la figura 3, la deceleración del motor eléctrico se realiza en ausencia del bloque de control b_2 de las pérdidas. Las pérdidas permanecen por lo tanto constantes permanentemente, cualquiera que sea el valor de la tensión V_{bus} del bus de continua de alimentación. La rampa de deceleración seguida por el motor no puede respetar por lo tanto la mecánica de la máquina.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de control implementado en un variador de velocidad para controlar la deceleración de un motor eléctrico (M) en caso de corte de la alimentación eléctrica, comprendiendo particularmente dicho variador de velocidad un bus (15) de continua de alimentación sobre el que se aplica una tensión, estando conectado dicho bus (15) de continua de alimentación a un módulo (20) ondulator, estando conectado dicho módulo (20) ondulator al motor eléctrico (M) y controlado según una ley de control en la que se determina una tensión de control a aplicar al motor eléctrico (M) a partir de una referencia de flujo (φ_{ref}) y de una referencia de velocidad (ω_{ref}), **caracterizado porque** el procedimiento de control comprende:
- una etapa de determinación de las pérdidas por efecto Joule sufridas por el motor eléctrico (M) y el variador de velocidad según una rampa de deceleración a aplicar al motor eléctrico (M) durante un corte de la alimentación eléctrica,
 - una etapa de determinación de la referencia de flujo (φ_{ref}) en función de dichas pérdidas por efecto Joule sufridas por el motor eléctrico (M) y el variador de velocidad,
 - una etapa de modificación de la referencia de flujo para gestionar las pérdidas por efecto Joule de manera que se optimice la energía disponible en el variador de velocidad después del corte de la alimentación con el fin de regular la tensión (V_{bus}) del bus de continua de alimentación a un valor (V_{bus_ref}) de referencia adaptado para respetar la rampa de deceleración del motor eléctrico (M).
2. Procedimiento de control según la reivindicación 1, **caracterizado porque** las pérdidas por efecto Joule están determinadas por una etapa de comparación que efectúa una comparación entre la tensión (V_{bus}) medida en el bus de continua de alimentación del variador de velocidad y un valor (V_{bus_ref}) de referencia.
3. Procedimiento de control según la reivindicación 2, **caracterizado porque** el valor (V_{bus_ref}) de referencia corresponde a la energía disponible necesaria para seguir la rampa de deceleración del motor eléctrico (M).
4. Procedimiento de control según la reivindicación 2 o 3, **caracterizado porque** comprende una etapa de activación o de desactivación de una limitación del par aplicado al motor eléctrico (M) ejecutada según la comparación efectuada durante la etapa de comparación.
5. Variador de velocidad destinado a controlar la deceleración de un motor eléctrico (M) en caso de corte de la alimentación eléctrica, comprendiendo particularmente dicho variador de velocidad un bus (15) de continua de alimentación sobre el que se aplica una tensión (V_{bus}), estando conectado dicho bus (15) de continua de alimentación a un módulo (20) ondulator, estando conectado dicho módulo (20) ondulator al motor eléctrico (M) y controlado según una ley de control en la que se determina una tensión de control a aplicar al motor eléctrico (M) a partir de una referencia de flujo (φ_{ref}) y de una referencia de velocidad (ω_{ref}), **caracterizado porque** el variador de velocidad comprende:
- unos medios de determinación de las pérdidas por efecto Joule sufridas por el motor eléctrico (M) y el variador de velocidad según una rampa de deceleración a aplicar al motor eléctrico (M) durante un corte de la alimentación eléctrica,
 - unos medios de determinación de la referencia de flujo (φ_{ref}) en función de dichas pérdidas por efecto Joule sufridas por el motor eléctrico (M) y el variador de velocidad,
 - unos medios de modificación de la referencia de flujo para gestionar las pérdidas por efecto Joule de manera que se optimice la energía disponible en el variador de velocidad después del corte de la alimentación con el fin de regular la tensión (V_{bus}) del bus de continua de alimentación a un valor (V_{bus_ref}) de referencia adaptado para respetar la rampa de deceleración del motor eléctrico (M).
6. Variador de velocidad según la reivindicación 5, **caracterizado porque** comprende unos medios de comparación entre la tensión (V_{bus}) medida en el bus de continua de alimentación del variador de velocidad y un valor (V_{bus_ref}) de referencia con el fin de deducir las pérdidas por efecto Joule a aplicar al motor eléctrico (M).
7. Variador de velocidad según la reivindicación 6, **caracterizado porque** el valor (V_{bus_ref}) de referencia corresponde a la energía disponible necesaria para seguir la rampa de deceleración del motor eléctrico (M).
8. Variador de velocidad según la reivindicación 6 o 7, **caracterizado porque** comprende unos medios de activación o de desactivación de una limitación del par aplicado al motor eléctrico (M) ejecutada según la comparación efectuada durante la etapa de comparación.

50

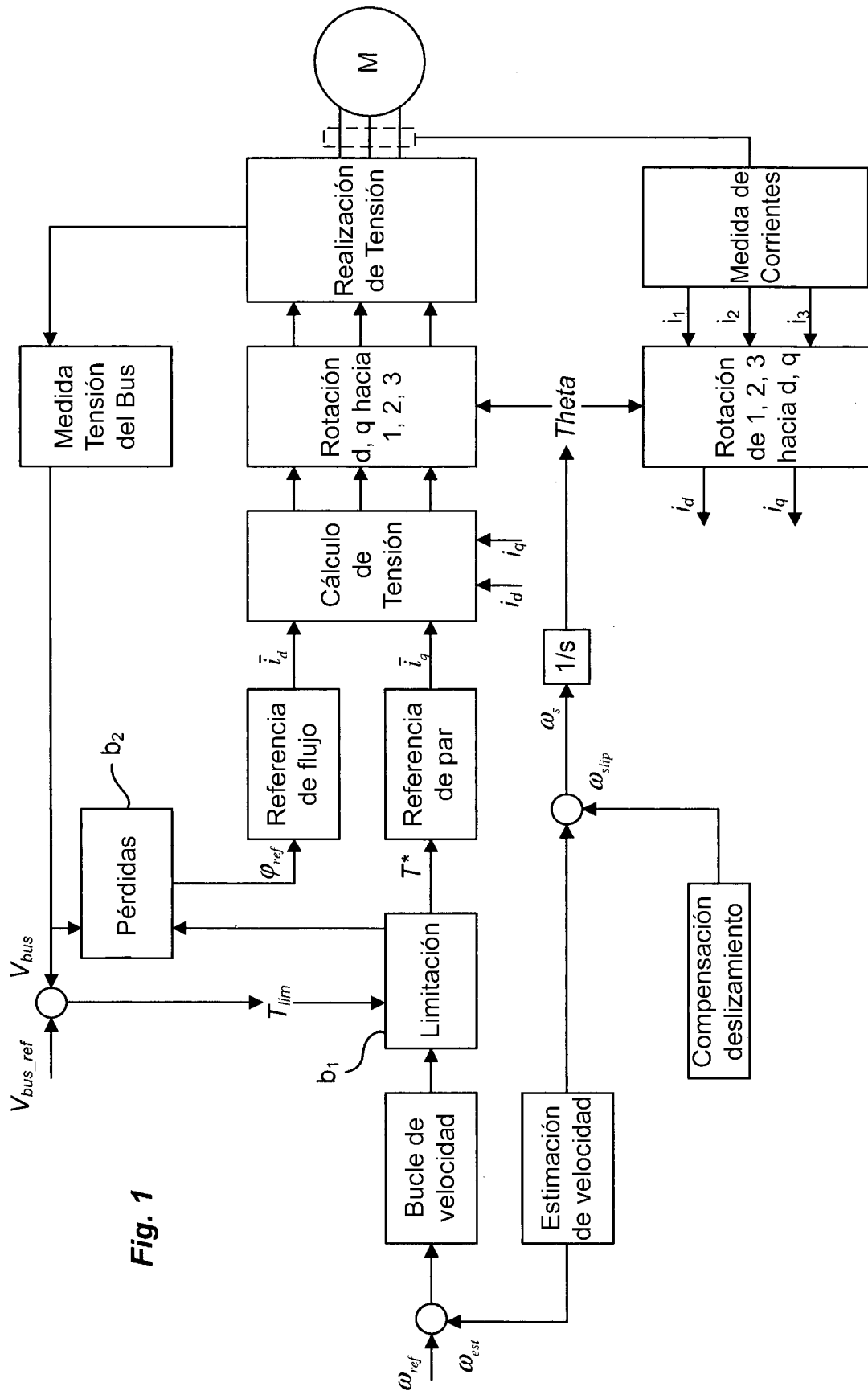


Fig. 1

Fig. 2

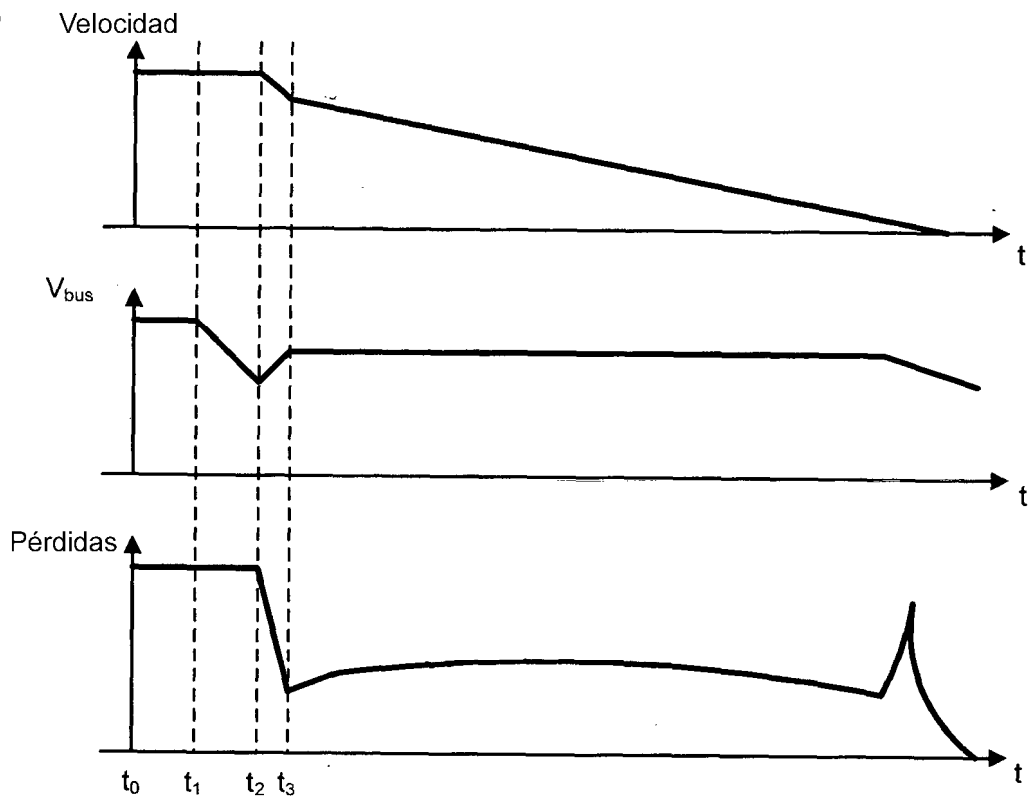


Fig. 3

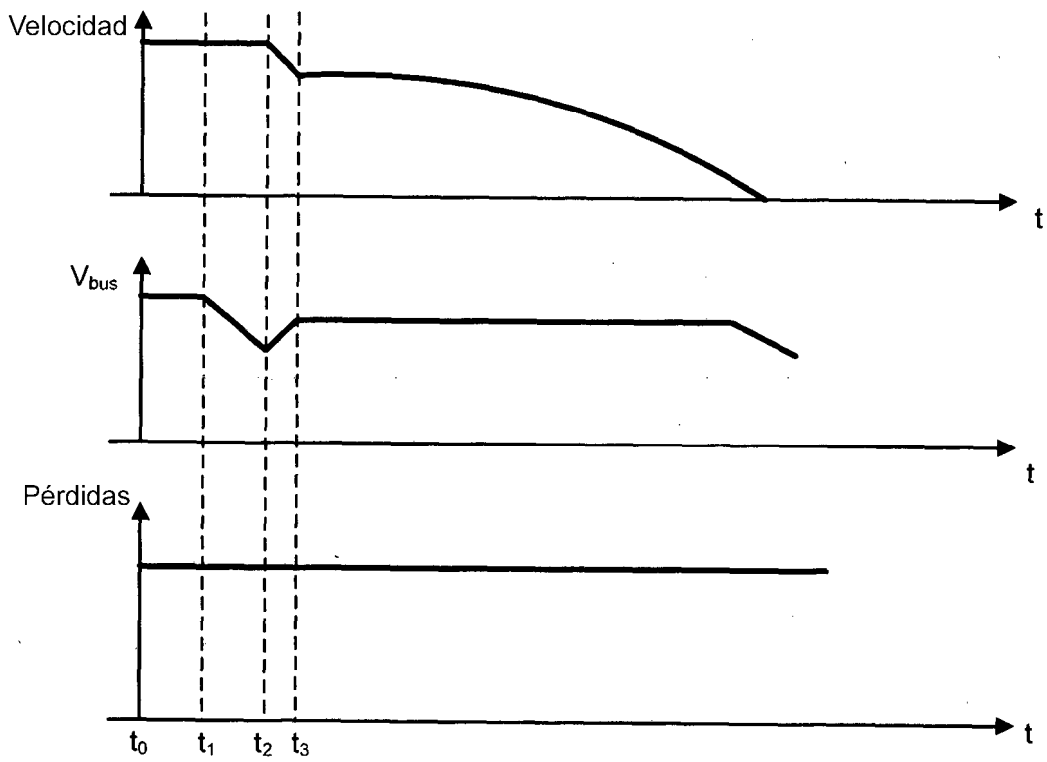


Fig. 4

