



Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia

ISSN: 0120-6230

revista.ingenieria@udea.edu.co

Universidad de Antioquia

Colombia

Bele, Ioan; Bocîi, Liviu Sevastian

La transformación de un vehículo eléctrico, con la regulación con VTC (variador de tensión continua), en un vehículo con inversor de frecuencia y motor eléctrico asíncrono

Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia, núm. 30, diciembre, 2003, pp. 148-154

Universidad de Antioquia

Medellín, Colombia

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=43003014>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal

Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

La transformación de un vehículo eléctrico, con la regulación con VTC (variador de tensión continua), en un vehículo con inversor de frecuencia y motor eléctrico asíncrono

Ioan Bele y Liviu Sevastian Bocî***

(Recibido el 10 de febrero de 2003. Aceptado el 15 de septiembre de 2003)

Resumen

El trabajo presenta la metodología y las condiciones que deben cumplirse para transformar los vehículos de corriente continua, con regulación de la velocidad de marcha por VTC (chopper), en vehículos accionados por corriente alterna con la regulación mediante inversor y motor eléctrico de tracción asíncrono. Tanto en el primer sistema como en el segundo la regulación de la velocidad se hace mediante el autómata programable.

En el primer sistema la regulación de la velocidad es posible mediante el control por impulsos del chopper, mientras que en el segundo la regulación se realiza con la modificación tanto de la tensión como de su frecuencia.

Las siguientes funciones del autómata programable no se cambian: el control y el seguimiento de las instalaciones auxiliares del interruptor principal, el control y seguimiento de los contactores de línea y también el diseño de los indicadores de la velocidad, la corriente y la tensión. Otras características del autómata programable se cambian totalmente: el control de los tiristores o los transistores, las informaciones con respecto a la corriente, se elimina una serie de componentes y aparatos y además se pueden montar otros aparatos directamente en el inversor.

En conclusión, el paso del sistema de accionamiento con máquina eléctrica de corriente continua, y la regulación de la velocidad de marcha con variador de tensión continua VTC (chopper), al sistema de accionamiento con máquina de corriente alterna y la regulación mediante el inversor, puede realizarse de una manera relativamente fácil después de un análisis de las funciones de las instalaciones de control y regulación.

Palabras clave: vehículo eléctrico, regulación con VTC, inversor de frecuencia, motor eléctrico asíncrono.

* Profesor. Departamento de Ingeniería Mecánica. Universidad Aurel Vlaicu. Arad. Rumania.

** Profesor catedrático. Universidad Aurel Vlaicu. Arad. Rumania. cancelar.uav@inext.ro.

Transformation the contunuum current vehicles actuated by a chopper in alternating current actuated by frequency converter and asynchronous power engine

Abstract

The present work shows the methodology and the conditions that have to be fulfilled to transform the continuum current vehicles actuated by a chopper into alternating current vehicles actuated by frequency converter and asynchronous power engine. In both systems the speed regulation is done through a programmable actuated system. But, for the first system the speed regulation is done by chopped impulses command, while for the second one the regulation is made by current tension and frequency modification.

A part of programmable automatically actuation system is unchanged, particularly: the auxiliary equipment command and surveillance for the main switch, lines and network contact devices, as wlle as the signal displays for speed, current and tension.

Other programmable actuated system tasks are totally changed: controlled rectifier diode or transistors command, current information, some components and equipment are eliminated and other could be located directly on the frequency converter.

Concluding, the passing from continuum current vehicles actuated by a chopper system to alternating current actuated by frequency converter and speed actuation by a frequency converter, could be done in a inrelatively easy manner if an exact function analysis is done of the the command and regulation equipment.

----- *Key words:* continuum currente vehicles, chopper, frequency converters, asynchronous power motor.

Presentación de los vehículos eléctricos accionados con VTC y motor eléctrico de tracción de corriente continua

Los accionamientos modernos se han diversificado muchísimo durante los últimos treinta años, especialmente debido a la utilización de los elementos estáticos aparecidos en este tiempo: diodos, transistores, tiristores, etc.

El variador de tensión continua (VTC) es el convertidor que tiene el papel de regular la circulación (el flujo) de energía, en circuitos de corriente continua, basado en el principio de control por variación de la frecuencia, la variación de la duración del pulso de tensión o la variación de ambos, obtenido mediante la conmutación entre los estados de conducción y de bloqueo del convertidor.

El valor medio de la tensión de salida del VTC se puede modificar teóricamente entre cero y el valor de la tensión de la línea de alimentación, por ello se pueden regular, mediante la tensión, los motores eléctricos de corriente continua.

Uno de los esquemas principales de accionamiento con máquina de corriente continua y con regulación de la velocidad de marcha por VTC se presenta en la figura 1, donde se han hecho las siguientes anotaciones:

MT: motor eléctrico de tracción.

LM: inductividad del circuito serie de los motores eléctricos.

LR: inductividad del filtro de entrada.

CF: condensador del filtro de la red.

VTC: variador de tensión continua.

DF: diodo de circulación libre.

U_1 : tensión de la línea de alimentación.

U_m : tensión aplicada al motor de tracción eléctrico.

E: tensión electromotriz.

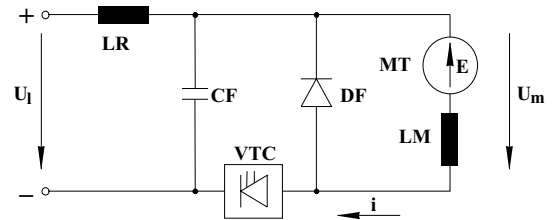


Figura 1 Esquema principal de accionamiento mediante la máquina de corriente continua y la regulación de la velocidad de marcha con VTC

Además:

T_C : tiempo de conducción.

T: período de actuación del VTC.

entonces la relación de conducción será:

$$a = \frac{T_C}{T} \quad (1)$$

Durante el régimen estacionario, la tensión media aplicada sobre el motor eléctrico de tracción será:

$$U_m = \frac{1}{T} \int_0^{T_C} U_1 dt = \frac{T_C}{T} U_1 = a U_1 \quad (2)$$

Para $0 < a < 1$ en régimen transitorio, se pueden escribir las siguientes relaciones:

• En el intervalo desde 0 hasta aT :

$$U_1 = Ri + L \frac{di}{dt} + E \quad (3)$$

En el intervalo desde aT hasta T:

$$0 = Ri + L \frac{di}{dt} + E \quad (4)$$

donde:

R: resistencia del circuito del motor eléctrico de tracción.

L: inductividad total del motor eléctrico de tracción.

E: tensión electromotriz del motor eléctrico.

Notando: $T_m = \frac{L}{R}$ constante de tiempo del motor, la ecuación (3) deviene:

$$\frac{L}{R} \frac{di}{dt} + i = \frac{U_1 - E}{R} \quad (5)$$

$$T_m \frac{di}{dt} + i = \frac{U_1 - E}{R} \quad (6)$$

Mediante la resolución de estas ecuaciones diferenciales, se obtienen los valores de la corriente mínima y máxima del motor eléctrico:

$$I_{\max} = \frac{U_1}{R} \cdot \frac{1 - e^{-\frac{aT}{T_m}}}{1 - e^{-\frac{T}{T_m}}} - \frac{E}{R} \quad (7)$$

$$I_{\min} = \frac{U_1}{R} \cdot \frac{e^{\frac{aT}{T_m}} - 1}{e^{\frac{T}{T_m}} - 1} - \frac{E}{R} \quad (8)$$

Según las relaciones (2), (7) y (8), con la variación del tamaño “a”, se puede obtener una variación de la tensión media a la salida del variador y, por tanto, la regulación de la corriente por motor, con pérdidas pequeñas de energía en VTC.

Haciendo una comparación entre un arranque con reóstato y uno con VTC, la potencia tomada por VTC de la red es utilizada casi toda sólo para producir trabajo mecánico, muy necesario para el desplazamiento del vehículo (que es una de las grandes ventajas de este sistema de accionamiento).

La elección de un nuevo sistema de accionamiento eléctrico tiene que hacerse de manera que las inversiones de capital puedan ser amortizadas y la seguridad de marcha tiene que aumentar así como también la comodidad de los pasajeros.

En el caso de la regulación de la velocidad por VTC se utiliza el más moderno medio de automatización para conducir y regular la velocidad, el autómata programable, que, mediante un programa bien establecido, puede modificarse fácilmente y adaptarse a otras situaciones de operación. La utilización del tiristor GTO permite que la conexión entre éstos y el microprocesador sea mediante fibra óptica, eliminando muchas desventajas y señales parásitas que podrían aparecer en los circuitos de control. La verificación del funcionamiento del autómata programable y la de la instalación en el vehículo, puede realizarse fácilmente mediante un programa y una computadora conectada a una interfaz del microprocesador.

El accionamiento con máquina eléctrica de corriente alterna trifásica asíncrona y la regulación de la velocidad mediante el inversor de frecuencia

Tradicionalmente la tracción eléctrica ha sido por corriente continua, con motores eléctricos de tracción de corriente continua con excitación en serie, debido a la simplicidad constructiva y la forma de variación de las características $\Omega(I)$ y $\mu(\Omega)$, es decir, las características de la fuerza de tracción F_0 (V).

Debido al aumento de la velocidad de marcha de los trenes, es necesaria la construcción de motores de tracción de grandes potencias, capaces de asegurar unas aceleraciones suficientemente elevadas, especialmente para los trenes con muchas paradas. El aumento de la potencia se ha llevado a cabo mediante el aumento de la tensión y de la corriente del motor eléctrico.

Los grandes problemas que presenta el uso del actual motor de tracción (especialmente la existencia del colector y de los cepillos colectores) nos permiten considerar que este motor no se debe utilizar en la tracción de los nuevos vehículos ferroviarios o de los trenes metropolitanos. Por esta razón, una de las soluciones sería el motor eléctrico asíncrono trifásico de corriente

alterna con el rotor en cortocircuito, que se utiliza en la mayoría de los accionamientos eléctricos y cuya fiabilidad es alta.

Como la línea de contacto (de alimentación) y las subestaciones de tracción son de corriente continua, se ha hecho necesario un vehículo eléctrico alimentado por la misma red, pero que el motor de tracción sea asíncrono trifásico.

Los vehículos eléctricos ferroviarios y metropolitanos de transporte tienen que respetar ciertas exigencias, como por ejemplo:

- La disminución del consumo de energía eléctrica durante el arranque, régimen que es muy frecuente.
- El aseguramiento de la frenada eléctrica combinada (recuperativa-reostática).
- La eliminación (si fuera posible) de los elementos de conexión electromecánicos, en régimen de tracción, también en régimen de frenada eléctrica y, especialmente, en el paso de un régimen a otro.
- La regulación continua y rápida de la fuerza de tracción y de la fuerza de frenada.
- El motor asíncrono con el rotor en cortocircuito, utilizado en la tracción eléctrica, presenta las siguientes ventajas, en comparación con el motor de corriente continua con colector:
 - Con el mismo tamaño desarrolla potencia y duración mayores.
 - Con la misma potencia tiene dimensiones y peso menores.
 - La fiabilidad es mayor por la falta del colector.
 - Es robusto y necesita mantenimiento mínimo.
 - La frenada eléctrica recuperativa es inherente, no son necesarios contactores para pasar del régimen de tracción al régimen de frenada.
 - Las características mecánicas del motor asíncrono permiten el reestablecimiento de la

adherencia, sin el riesgo de aumentar el desgaste de los ejes que han perdido la adherencia.

- El consumo de cobre es menor.

En el caso de utilizar en la tracción eléctrica la máquina eléctrica asíncrona trifásica, la regulación de la velocidad de marcha se hace mediante el inversor. La única posibilidad de modificar la velocidad de la máquina asíncrona trifásica, con rendimientos aceptables, es realizar la alimentación con energía eléctrica mediante convertidores estáticos de frecuencia (CSF), que permiten la modificación de la velocidad independientemente de la frecuencia y tensión de salida.

En los vehículos provistos de convertidores estáticos de frecuencia, el control se hace de manera que hasta a la velocidad nominal, correspondiente a la tensión máxima de salida, el CSF funciona a un flujo magnético constante, condición equivalente a un régimen de momento constante.

En el intervalo desde la velocidad nominal hasta la velocidad máxima, el CSF funciona a una tensión constante y un flujo magnético atenuado, es decir un régimen de potencia constante, lo que lleva a la disminución hiperbólica de la fuerza de tracción, en función de velocidad de marcha.

El paso de un sistema de accionamiento al otro sistema

El paso de un sistema de accionamiento al otro debe tener en cuenta que una parte de las instalaciones y agregados quedan sin modificaciones y otras se modifican considerablemente. Así mismo, una parte de las funciones del autómata programable quedan sin modificaciones.

Las instalaciones que quedan sin modificaciones son:

- El control, el seguimiento y la desconexión del interruptor autómata ultrarrápido.
- El control y el seguimiento de los contactores de línea y para cargar el condensador filtro.

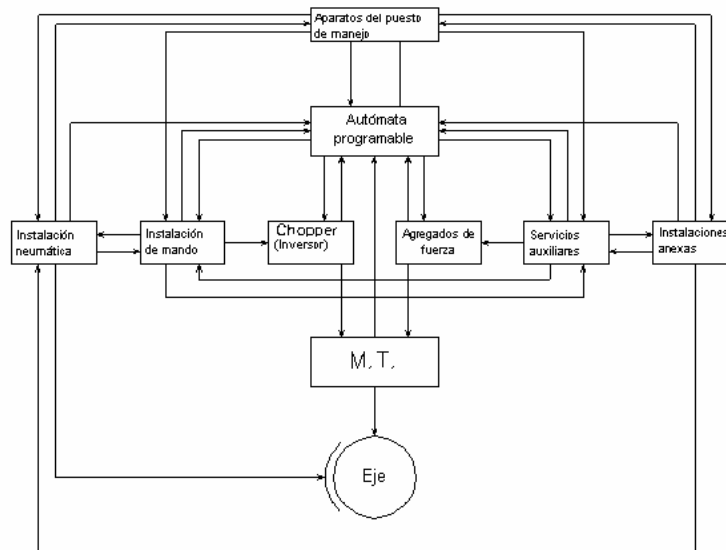


Figura 2 Diagrama de bloques de la organización general de los controles

- El control y el seguimiento de los contactores para cerrar el circuito de línea.
 - El control y el seguimiento de los contactores para cerrar el circuito de frenada.
 - Las informaciones de entrada del autómata programable, con respecto a los controles de la tracción o la frenada, la temperatura de las instalaciones de calentamiento, las posiciones de los botones de preselección, la posición cerrada o abierta de las puertas de acceso de los pasajeros, el estado conectado de los fusibles autómatas, el estado de todos los contactores de la instalación de potencia y de control.
 - Las informaciones de salida del autómata programable con respecto a: las señalizaciones transmitidas hacia el puesto de control, el control transmitido hacia la instalación de frenada neumática, los controles para todos los contactores de la instalación de potencia y de control.
 - El control y el seguimiento de las instalaciones de climatización de las cabinas de manejo o del salón de pasajeros.
- Las instalaciones que van a modificarse son:
- El motor eléctrico de tracción (motor eléctrico asíncrono trifásico).
 - El control de los tiristores de tracción y el modo de regulación de la velocidad de marcha.
 - El control de los tiristores para frenada eléctrica recuperativa.
 - El control de los tiristores para la frenada eléctrica reostática.
 - La transmisión y la manipulación de las informaciones con respecto a la corriente.
 - La transmisión y la manipulación de las informaciones con respecto a la tensión.
 - El tamaño del inversor en comparación con el chopper.
 - Se elimina del circuito eléctrico una serie de contactores que alimentan el circuito en régimen de tracción y frenada.
 - Se elimina el inversor de sentido pues el cambio de sentido se realiza mediante los tiristores.

- Una parte de los componentes del control del autómata programable se puede montar directamente en el inversor, eliminando las fibras ópticas para el control de los tiristores.

El diagrama de bloques de los dos tipos de vehículos (ver figura 2) es muy semejante, por eso, el paso de un sistema al otro se puede hacer relativamente fácil. La diferencia consiste en la presencia del chopper en la primera variante (con motor eléctrico de corriente continua) y del inversor, a la segunda variante (motor eléctrico asíncrono trifásico con rotor en cortocircuito).

Referencias

1. Bele, I. "Stand for the check of the control and drive installation before the coupling to the microprocessor of the trolleybus adjusted to VTC". En: *Revista UAV*. Arad. Mai, 1999.
2. Bele, I. "Contribuții privind alegerea și optimizarea sistemelor de acționare electrică la metrou". *Teză de doctorat*. UP. Timișoara. 1999.
3. Bele, I y L. Bocîi. "Etude sur le changement du système d'actionnement électrique au métro en Roumanie". En: *Buletinul științific UP*. Timișoara. 2000.
4. Bele, I y L. Bocîi. "L'importance des essais expérimentaux au système d'actionnement en courant continu avec VTC pour le métro". En: *Buletinul științific UP*. Timișoara. 2000.
5. Bele, I. *Cartea tehnică a metroului cu automat programabil, SC Astra Vagoane Călători Arad*. Arad, 2000.
6. Bele, I. *Cartea tehnică a Troleibuzului cu automat programabil, SC Astra Bus SRL Arad*. Arad. 2002.
7. Kelemen, A. Imecs, M. *Electrotehnică de putere*. Editorial Didactică și Pedagogică. București. 1983.
8. Mihăilescu, D. *Locomotive și trenuri electrice cu motoare de tracțiune asincrone*. Editorial Didactică și Pedagogică. București. 1997.
9. Străinescu, I. e I. Dan. *Echipamente moderne tiristorizate pentru ramele de metrou* M.I.C.M. București. 1981.
10. Străinescu, I. *Variatoare statice de tensiune continuă*. Editorial Tehnică. București. 1983.
11. *Cartea tehnică a metroului*. No. 239. Vol. I-Vol. VII. Arad. 1988.
12. Documentația tehnică de execuție a metroului din București.
13. Documentația tehnică de execuție a troleibuzului 415T din București.