



ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

SEDE LATACUNGA

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA E INSTRUMENTACIÓN

**“ESTUDIO, DIMENSIONAMIENTO Y APLICACIONES PARA EL
USO DE ULTRACAPACITORES EN EL ARRANQUE DE UN
MOTOR ASÍNCRONO DE 2HP, COMO RESPALDO AL BANCO DE
BATERÍAS DEL PROTOTIPO DE UN VEHÍCULO HÍBRIDO
REALIZADO POR EL MINISTERIO DE ELECTRICIDAD Y ENERGÍA
RENOVABLE”.**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO
ELECTRÓNICO EN INSTRUMENTACIÓN**

**CÉSAR FABIÁN TENORIO CHANGO
NELVI JOHANA VALLEJO AGUIRRE**

Latacunga, enero 2010

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

SEDE LATACUNGA

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA E INSTRUMENTACIÓN

AUTORIZACIÓN

Autorizamos a la ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO, la publicación en la Biblioteca Virtual de la Institución el trabajo realizado, como tema de tesis titulado “ESTUDIO, DIMENSIONAMIENTO Y APLICACIONES PARA EL USO DE ULTRACAPACITORES EN EL ARRANQUE DE UN MOTOR ASÍNCRONO DE 2HP, COMO RESPALDO AL BANCO DE BATERÍAS DEL PROTOTIPO DE UN VEHÍCULO HÍBRIDO REALIZADO POR EL MINISTERIO DE ELECTRICIDAD Y ENERGÍA RENOVABLE”.

Cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad.

Latacunga, enero 2010

Autores:

César Fabián Tenorio Chango

Nelvi Johana Vallejo Aguirre

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD.

El proyecto de grado denominado “ESTUDIO, DIMENSIONAMIENTO Y APLICACIONES PARA EL USO DE ULTRACAPACITORES EN EL ARRANQUE DE UN MOTOR ASÍNCRONO DE 2HP, COMO RESPALDO AL BANCO DE BATERÍAS DEL PROTOTIPO DE UN VEHÍCULO HÍBRIDO REALIZADO POR EL MINISTERIO DE ELECTRICIDAD Y ENERGÍA RENOVABLE”, ha sido desarrollado en base a una investigación exhaustiva, respetando los derechos intelectuales de terceros, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía.

Consecuentemente este trabajo es de nuestra autoría.

En virtud de esta declaración, nos responsabilizamos del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto de grado en mención.

Autores:

César Fabián Tenorio Chango

Nelvi Johana Vallejo Aguirre

CERTIFICACIÓN

Certificamos, que el presente proyecto de grado fue desarrollado en su totalidad por los señores CÉSAR FABIÁN TENORIO CHANGO y NELVI JOHANA VALLEJO AGUIRRE, bajo nuestra supervisión, previo a la obtención de su Título de Ingeniero Electrónico en Instrumentación.

Latacunga, Enero del 2010

Ing. Galo Ávila
DIRECTOR DE PROYECTO

Ing. Julio Cuji
CODIRECTOR DE PROYECTO

AGRADECIMIENTO

Mis más sinceros agradecimientos a Dios a mi madre y a mis hermanos quienes con su esfuerzo, sacrificio e incondicional apoyo han sido el pilar fundamental para culminar con éxito la carrera de ingeniería y han servido de ejemplo para cumplir con el logro de mis metas, gracias a mi novia Diana e hijo Johan por estar siempre a mi lado con su amor, cariño y comprensión.

A la Escuela Politécnica del Ejército, por los conocimientos adquiridos en mi formación profesional.

César Fabián Tenorio Chango

Primero agradezco a Dios, a mis padres quienes con su incansable e incondicional apoyo, esfuerzo y sacrificio, día a día han sido el cimiento fundamental que necesitaba para culminar con éxito la carrera, en base a sus principios y ejemplos inculcados en toda mi vida.

A la Escuela Politécnica del Ejército, por los conocimientos adquiridos en toda la formación profesional, especialmente al Ingeniero Galo Ávila y al Ingeniero Julio Cuji, por su acertada dirección, recomendaciones y apoyo incondicional.

Nelvi Johana Vallejo Aguirre

DEDICATORIA

Con profundo cariño dedico este proyecto a Dios y a quienes la ilusión de su vida ha sido convertirme en persona de provecho, a quienes nunca podré pagar todos sus desvelos ni aún con las más grandes riquezas del mundo, a mi madre Sonia Mercedes que por su sacrificio, su ejemplo de superación incansable, su comprensión y confianza, me ha dado la oportunidad de existir, por su amor y amistad sincera e incondicional, gracias porque sin su apoyo no hubiera sido posible la culminación de mi carrera profesional.

César Fabián Tenorio Chango

Este trabajo está dedicado primero a Dios, el guía de nuestras vidas, a mis padres Jorge y Rosario que con su esfuerzo, sacrificio, confianza y apoyo fueron el pilar de mi vida y que siempre me han apoyado en todo, a mi hija Odalis por ser la parte fundamental de mi vida. Brindándome así la fuerza necesaria para culminar con éxito este trabajo.

Nelvi Johana Vallejo Aguirre

CONTENIDO

CAPÍTULO I: FUNDAMENTOS TEÓRICOS

1.1.- INTRODUCCIÓN	1
1.2.- ULTRACAPACITORES.....	1
1.2.1.- PRINCIPIO DE PSEUDOCAPACITANCIA	4
1.2.2.- CLASIFICACIÓN Y ELABORACIÓN DE SUPERCAPACITORES ..	5
1.2.2.1.- Supercapacitores electrolíticos de interfaz de carbono de doble capa	5
1.2.2.2.- Supercapacitores no electrolíticos de interfaz de carbono de doble capa.....	5
1.2.2.3.- Supercapacitores acuosos de óxido de doble capa con pseudocapacitancia redox..	5
1.2.2.4.- Supercapacitores de polímeros conductores	6
1.2.3.- VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS ULTRACAPACITORES	6
1.2.3.1.- Ventajas	6
1.2.3.2.- Desventajas	7
1.3.- APLICACIONES DE LOS ULTRACAPACITORES	8

1.3.1.- AUTOMÓVILES HÍBRIDOS	9
1.3.2.- APOYO ENERGÉTICO	9
1.3.3.- ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA	10
1.3.4.- SISTEMAS DE TRANSFERENCIA DE POTENCIA	10
1.4.- VEHÍCULOS HÍBRIDOS	11
1.4.1.- VEHÍCULO HÍBRIDO – CONFIGURACIÓN SERIE	13
1.4.2.- VEHÍCULO HÍBRIDO – CONFIGURACIÓN PARALELO	15
1.5.- AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL CON PLC`S.....	17
1.5.1.- CONTROLADOR PROGRAMABLE	18
1.6.- MOTORES ASÍNCRONOS.....	21
1.6.1.- CONCEPTOS BÁSICOS DE LOS MOTORES DE INDUCCIÓN	22
1.6.2.- TIPOS CONSTRUCTIVOS	23
1.7.- BANCO DE BATERÍAS	25
1.7.1.- MANTENIMIENTO MENSUAL DE UN BANCO DE BATERIAS ..	26
1.8.- CARGADOR DE BATERÍAS	27
1.8.1.- TIPOS DE CARGADORES DE BATERÍAS	27
1.8.2.- CARGADOR TRIFÁSICO.....	30
1.9.- INVERSOR DC A AC	32
1.9.1.- CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL INVERSOR	34
1.10.- VARIADOR DE FRECUENCIA.....	35

1.10.1.- PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO.....	35
1.10.2.- DESCRIPCIÓN DEL VFD.....	36
1.10.2.1.- Motor del VFD	36
1.10.2.2.- Controlador Del VFD	37

CAPÍTULO I I: DIMENSIONAMIENTO DE ULTRACAPACITORES

2.1.- DIMENSIONAMIENTO DEL BANCO DE ULTRACAPACITORES.....	39
2.2.1.- CÁLCULO DE LA TENSIÓN NOMINAL	40
2.2.2.- CÁLCULO DE LA CAPACITANCIA DE LOS ULTRACAPACITORES.	42
2.2.3.- ULTRACAPACITORES EN SERIE.....	45
2.2.4.- CARGA Y DESCARGA DE LOS ULTRACAPACITORES.....	49
2.2.4.1.- Carga de los Ultracapacitores	49
2.2.4.2.- Descarga de los Ultracapacitores.....	49

CAPÍTULO III: DISEÑO DE SOFTWARE Y HARDWARE

3.1.- ESPECIFICACIONES Y REQUISITOS DEL SISTEMA.....	52
--	----

3.2.- DIAGRAMA DE BLOQUES DEL SISTEMA.....	53
3.3.- DIAGRAMA DE POTENCIA DEL SISTEMA	57
3.4.- DISEÑO DE SOFTWARE DE CONTROL	57
3.5.- SELECCIÓN DE COMPONENTES.....	58
3.5.1.- SELECCIÓN DE ULTRACAPACITORES.....	58

CAPÍTULO IV: PRUEBAS EXPERIMENTALES Y ANÁLISIS ECONÓMICOS

4.1.- PRUEBAS EXPERIMENTALES	59
4.2.- FORMAS DE ONDAS	61
4.2.1.- FORMA DE ONDA DE CARGA DEL BANCO DE ULTRACAPACITORES.....	61
4.2.2.- FORMA DE ONDA DE DESCARGA DEL BANCO DE ULTRACAPACITORES.	62
4.2.3.- FORMA DE ONDA DE CARGA Y DESCARGA DEL BANCO DE ULTRACAPACITORES	63
4.3.- ALCANCE Y LIMITACIONES	64
4.4.- ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO.....	66

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1.- CONCLUSIONES	67
5.2.- RECOMENDACIONES.....	70
BIBLIOGRAFÍA	72

ANEXOS

- A. GLOSARIO DE TÉRMINOS.
- B. HOJA DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS.
- C. DIAGRAMAS.

INTRODUCCIÓN

La batería no es más que un modo de almacenar energía. Los ultracapacitores también lo son, con algunas ventajas: se cargan más rápido, tienen capacidad de descargar la energía más rápido, y tienen mayor vida útil. Un ultracapacitor es un componente electrónico pasivo que se compone por dos placas de metal, que al recibir electricidad, almacenan una parte de ella durante un tiempo. No tiene ni partes móviles ni procesos químicos.

Los ultracapacitores son útiles en vehículos híbridos, con sus diseños actuales esos vehículos utilizan motores eléctricos y baterías para ayudar a un motor convencional de gasolina. Las baterías de un vehículo híbrido también pueden capturar una pequeña parte de la energía que usualmente se pierde en forma de calor cuando se pisan los frenos. Puesto que los ultracapacitores pueden cargarse y descargarse rápidamente sin dañarse, es posible diseñar vehículos híbridos que hagan un mayor uso de un motor eléctrico.

Estos ultracapacitores pueden coleccionar mayor cantidad de energía en el frenado, estos sistemas mejorarían la eficiencia de un motor convencional en un 40 por ciento durante varios viajes en la ciudad, los ultracapacitores, podrían disminuir en cientos o incluso miles de dólares el costo de los paquetes de baterías en vehículos híbridos eléctricos al disminuir a la mitad el tamaño de estos paquetes de baterías.

El presente proyecto de grado tiene como objetivo el estudio, dimensionamiento y aplicaciones para el uso de ultracapacitores en el arranque de un motor asíncrono de 2 Hp, como respaldo al banco de baterías del prototipo de un vehículo híbrido realizado por el Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, buscando de esta manera ayudar a la creación del primer vehículo híbrido diseñado en el país.

El prototipo posee un banco de baterías, que alimenta de energía al motor de 2HP que es el cual permite el funcionamiento del vehículo híbrido, las mismas que al tener un respaldo de energía para el arranque y aceleraciones bruscas, podemos

conseguir alargar el tiempo de vida útil, también asegurar que el vehículo híbrido pueda acelerar con la misma eficiencia al final de su vida útil que como lo hacía al principio, para estos se dimensionará un banco de ultracapacitores como respaldo al banco de baterías.

Este prototipo ayudará a disminuir el grado de contaminación ambiental, principalmente en la zona urbana, ya que por cada hora que un vehículo con carburantes circula, se consume la misma cantidad de oxígeno que dieciséis personas en un día. Permitiendo además economizar los bienes naturales como la gasolina y el diesel que están a punto de desaparecer, ahorrando al país grandes cantidades de dinero, mejorando la calidad de vida de las personas y rescatando los recursos naturales.

Para la realización de este proyecto de tesis se va a desarrollar los siguientes capítulos.

En el **Capítulo I** Fundamentos, vamos a realizar un breve análisis sobre algunos conceptos básicos que necesitamos conocer para la realización del proyecto. En el **Capítulo II** se dimensionará el Banco de Ultracapacitores el mismo que nos servirá como respaldo para el banco de baterías. En el **Capítulo III** Realizaremos el diseño de Software y Hardware el mismo que nos servirá para implementar los equipos, lenguaje de programación y diferentes materiales que se utilizarán en la realización del proyecto. En el **Capítulo IV** realizaremos pruebas experimentales y el análisis económico; para poder conocer los alcances y limitaciones, y de la misma forma los gastos y las adquisiciones que se hicieron para la realización del proyecto. En el **Capítulo V** hacemos énfasis a las Conclusiones que obtuvimos luego de la realización de este trabajo y daremos algunas recomendaciones para el correcto funcionamiento del prototipo.

CAPÍTULO I

I.- FUNDAMENTOS TEÓRICOS.

1.1.- INTRODUCCIÓN.

El combustible fósil ha sido la fuente primaria de energía dominante en los sistemas de transporte existentes. Sin embargo, existe conciencia de que las reservas de este combustible en la tierra son limitadas. Si a esto agregamos la gran inestabilidad existente en los últimos años en el medio oriente y la creciente preocupación por el ecosistema, encontramos que ha comenzado a tomar gran relevancia la posibilidad de utilizar formas alternativas de energía.

Hoy en día, la búsqueda de automóviles más eficientes ha impulsado el desarrollo de los vehículos híbridos (HEV) y eléctricos (EV). Junto a ello, nuevos elementos de tracción más eficientes, como motores de imanes permanentes (Brushless DC); electrónica de potencia, IGBT's; y fuentes de almacenamiento de energía tales como celdas de combustible, baterías, baterías de alta densidad de potencia y ultracapacitores.

Los ultracapacitores son elementos de última tecnología que permiten almacenar energía suficiente, en cortos períodos de tiempo, para controlar fenómenos de potencia de punta como la aceleración o el frenado repentino de un vehículo eléctrico. Ello permite entregar y recuperar energía que las baterías no serían capaces de manejar bajo circunstancias extremas, como una frenada muy violenta, o una aceleración muy exigida.

1.2.- ULTRACAPACITORES.

Los condensadores (capacitores eléctricos de doble capa) (también conocidos como supercapacitores, capacitores electroquímicos de doble capa (EDLCs por

sus siglas en inglés) o ultracapacitores, son capacitores electroquímicos que tienen una densidad de energía inusualmente alta en comparación con los capacitores comunes, generalmente miles de veces mayor que un capacitor electrolítico de alta capacidad. Por ejemplo, un típico capacitor electrolítico D-Cell tendrá una capacidad de decenas de mili Faradios (mF). Un EDLC del mismo tamaño tendría una capacidad de varios Faradios (F), una mejora de alrededor de dos o tres órdenes de magnitud en la capacidad, pero generalmente a un menor voltaje de trabajo. Los EDLCs comerciales cuentan con capacidades tan altas como 5000 F. La mayor densidad de energía en la producción es de 30 W/Kg. Un capacitor es un elemento pasivo de circuito eléctrico con dos terminales formado por dos placas conductoras separadas por un aislante, donde se almacena energía eléctrica debido al paso de las corrientes de una placa a otra a través del aislante.

Los supercapacitores son dispositivos pasivos de almacenamiento de energía con una capacitancia mayor a un faradio. El primer supercapacitor fue patentado por el ingeniero eléctrico H. E. Becker para la General Electric en 1957, y se basaba en el principio de aumento del área de las placas sustituyendo la interfaz cerámica o polimérica entre las placas con un material poroso de carbono en una disolución electrolítica, produciendo un aumento en el área de las placas y por tanto en la capacitancia.

El primer supercapacitor fue ofrecido por Standard Oil of Ohio (SOHIO) en 1969, con una interfaz de carbono y solución electrolítica de sal de tetralquilamonio. A pesar de los enormes problemas derivados de la enorme resistencia interna de los primeros supercapacitores, en los siguientes veinte años fueron utilizados para el desarrollo de las primeras videocasetas, respaldos de memoria para computadoras y cámaras de alta tecnología; usando para ello interfaces de carbono con placas de aluminio en plasma. A final de los ochenta se desarrolló el primer supercapacitor de un faradio, y compañías rusas a principios de los noventa presentaron el primer supercapacitor que superaba los cien faradios.

El primer éxito para obtener supercapacitores rentables fue el uso de bióxido de rutenio por Conway y sus colaboradores en 1991, ya que fue el primer supercapacitor que presentó una baja resistencia interna. Estos dispositivos generaron un gran interés debido a su aplicación a automóviles híbridos, por lo que se impulsó su investigación en todo el mundo. Una de las más importantes fue la iniciada en 1998 por el Departamento de Energía de los Estados Unidos y que aún sigue vigente. Actualmente los supercapacitores comerciales son de base carbono con un electrolito de metal alcalino o alcalinotérreo. Los principales productores son Panasonic y Maxwell Technologies. Figura 1.1. Supercapacitores con capacidad de más de 3000 Faradios. Se ocupan actualmente para diseño de sistemas de potencia para la estabilización de voltaje, por lo que encontramos supercapacitores de 1500 y 3000 faradios, con un peso que va del kilo y medio a los tres kilogramos. Continúa la investigación en autos híbridos y su uso en sistemas de energía solar y eólica.



Figura. 1.1 Supercapacitores (con capacidad de más de 3000 Faradios) producidos por Maxwell Technologies

1.2.1.- PRINCIPIO DE PSEUDOCAPACITANCIA.

Los estudios en supercapacitancia llevaron a proponer un nuevo modelo de almacenaje de energía eléctrica: la pseudocapacitancia. Como veíamos en la capacitancia clásica el almacenamiento de energía está asociado a la acumulación de carga eléctrica entre las láminas del capacitor gracias al medio aislante. En cambio, se descubrió que la acumulación de carga en los supercapacitores, principalmente los de carbono con disolución electrolítica de un metal, era producida por la deficiencia electrónica producto de la interacción de los iones metálicos con el medio de carbono.

La pseudocapacitancia es un fenómeno dependiente de voltaje, con lo cual poseemos por tanto una capacitancia variable que debe ser modelada adecuadamente. Sin embargo, en los rangos de voltaje en que son utilizados los supercapacitores permiten su manejo como un capacitor convencional con un valor alto de capacitancia y una serie de resistores e inductores. Además, se aumenta la capacitancia con una delgada capa de material aislante entre las interfaces de carbono.

De acuerdo con este modelo teórico, uno de los principales aspectos a estudiar en el fenómeno de supercapacitancia es la concentración del electrolito y la naturaleza de los electrodos (denominación común de las barras conductoras) así como la naturaleza de la capa de aislante. Zhang reporta que los electrolitos recomendados para la construcción de supercapacitores son los hidróxidos de sodio y potasio, y reporta que hay un aumento de la capacitancia hasta un punto crítico en 2 y 10 molar respectivamente; sin embargo, el aumento de la concentración trae consigo un aumento constante de la resistencia interna del dispositivo. Por otro lado la presencia de la interfaz de carbono incrementa la capacitancia únicamente si la porosidad promedio del medio es máxima, por lo que los diseños de nanotubos y nanoespumas son fundamentales para el desarrollo de supercapacitores. Por último Obreja reporta que la capa ideal debe de oscilar entre los 50 a los 200 micrómetros.

1.2.2.- CLASIFICACIÓN Y ELABORACIÓN DE SUPERCAPACITORES.

Los supercapacitores actualmente se clasifican de acuerdo con los materiales de los que se encuentran elaborados. Actualmente se distinguen de acuerdo con Zhou y Dinh – Nguyen principalmente cuatro tipos:

1.2.2.1.- Supercapacitores electrolíticos de interfaz de carbono de doble capa.

Los principales son los que utilizan hidróxido de sodio y potasio o ácido sulfúrico. En ellos la disolución se disocia en iones positivos de sodio o potasio, que ante la presencia de voltaje por aumento de la atracción entre cargas se acumula una mayor energía eléctrica.

1.2.2.2.- Supercapacitores no electrolíticos de interfaz de carbono de doble capa.

Los principales son los que son elaborados como aerogeles, sólidos, los de nanotubos de carbono y carbón activado.

Un gel es un sólido que posee una gran cantidad de líquido y una estructura que permite que se encuentren ambas fases combinadas. Para la formación de sólidos para capacitores se forma el óxido de metal elegido en agua, sea a altas temperaturas o con un exceso de base para formar el sólido. Posteriormente el sólido por deshidratación o aumento de pH. También se pueden formar sólidos orgánicos con resorcinol en formaldehído. El resultado de los procesos es la formación de un material homogéneo muy poroso que permite una alta capacitancia. Si el sólido es combinado con la interfaz de carbono se calcula que puede alcanzarse una capacitancia de 400 faradios por gramo.

1.2.2.3.- Supercapacitores acuosos de óxido de doble capa con pseudocapacitancia redox.

Los principales son los de óxido de litio, bióxido de rutenio, bióxido de iridio, óxido de cobalto y bióxido de manganeso. Los supercapacitores pueden fabricarse siguiendo la metodología de la sección anterior para elaborar un sólido. Otra

forma de obtenerlo es por la deposición de un óxido metálico por medio de un procedimiento de electrólisis. Se han hecho investigaciones donde se han alcanzado capacitancias de 400 F/g con óxido de rutenio. Supercapacitores más rentables de alrededor de 50 F/g se han logrado con óxido de níquel. Una forma alternativa para generar la estructura porosa es la adición de óxido de litio a un metal como el platino; este material se le agrega ácido para retirar el litio y mantener la estructura porosa de escala nanométrica.

1.2.2.4.- Supercapacitores de polímeros conductores.

Se define como polímero conductor como una sustancia orgánica que conduce la electricidad de manera parecida a la de un metal, buena reversibilidad entre estado conductor y no conductor y flexibilidad mecánica. Los principales son los de politiofeno, polipirrol y polianilina. Tienen una densidad de energía mayor a 500 Watts por kilogramo, y aún se estudian sus propiedades de capacitancia.

1.2.3.- VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS ULTRACAPACITORES.

1.2.3.1.- Ventajas.

a. Los ciclos de carga.

Los supercapacitores pueden cargarse y descargarse cientos de miles (incluso millones) de ciclos sin perder rendimiento. Las pilas solo funcionan correctamente con una cantidad limitada de ciclos de carga/descarga, es decir, en el teléfono celular, cuanto más tiempo tienen las baterías, menor carga retienen.

b. Los períodos de carga.

Como sabemos, las baterías se basan en reacciones químicas, y el tiempo requerido para su carga suele ser largo. Por el contrario los supercapacitores se cargan y descargan muy rápidamente.

c. El tamaño y peso.

Las baterías son más grandes y más pesadas que los supercapacitores.

d. Impedancia baja.

Realza la dirección actual del pulso siendo paralelo a una batería electroquímica.

e. Métodos simples de la carga.

El voltaje limitación del circuito compensa para la autodescarga.

f. Almacenaje rentable de la energía.

Una densidad más baja de la energía es compensada por una cuenta de ciclo muy alta.

1.2.3.2.- Desventajas.

a. Densidad energética.

Normalmente los supercapacitores almacenan entre una quinta y una décima parte de lo correspondiente a una pila. Pero esta desventaja va mejorando conforme se avanza en el desarrollo de los ultracondensadores.

b. Liberación de energía.

Las baterías liberan la energía de forma lenta y durante un período de tiempo más largo, mientras que los supercapacitores liberan su carga muy rápidamente. En vehículos eléctricos, estas explosiones energéticas vendrían muy bien para superar obstáculos como las cuestas empinadas.

c. Incapaz de utilizar el espectro de energía completo.

Dependiendo del uso, no toda la energía está disponible.

d. Las células tienen bajas tensiones.

Las conexiones seriales son necesarias para obtener voltajes más altos.

Se requiere balancear el voltaje si más de tres condensadores están conectados en serie.

e. Alta autodescarga.

La autodescarga es considerablemente más alta que la de una batería electroquímica.

Por la naturaleza, el voltaje que limita el circuito compensa para la autodescarga. El supercapacitor se puede recargar y descargar virtualmente un número ilimitado de veces. Su tasa de autodescarga es muy alta, pierden la mitad de la carga en un mes. Aunque esto último no sería mayor problema, dado la rapidez con la que se cargan.

1.3.- APLICACIONES DE LOS ULTRACAPACITORES.

La investigación en supercapacitores se encuentra motivada por las enormes ventajas que su uso representa para el desarrollo de circuitos eléctricos:

- Gran período de operación.
- Capacidad de manejar altos valores de corriente.
- Valor de carga fácil de monitorear.
- Alta eficiencia.
- Gran rango de voltaje.
- Gran rango de temperatura.
- Ciclos de funcionamiento largos.
- Facilidad de mantenimiento.

La vida útil de un supercapacitor disminuye conforme aumenta su capacitancia, pero actualmente contamos con dispositivos que superan una vida útil de veinte años con pérdidas en el voltaje suministrado de alrededor de un voltio.

Debido a estas propiedades de vida útil y manejo de voltaje y corriente los supercapacitores han sido utilizados en diversas aplicaciones.

1.3.1.- AUTOMÓVILES HÍBRIDOS.

Por la eficiencia en el uso de la energía estos dispositivos son un elemento prometedor para el desarrollo de medios de transporte que combinen la energía solar con la proveniente de combustibles fósiles. Su aprovechamiento se debe fundamentalmente a que permiten una mejor descarga de energía durante la aceleración del vehículo. En la prueba realizada en el 2000 para los nuevos autobuses de transporte de la NASA que con el uso de capacitores se podía acelerar a 157 pies en 10 segundos con el mínimo de pérdidas de energía.

Un desarrollo importante es el uso de supercapacitores para el desarrollo de la unidad de apoyo auxiliar (APU por sus siglas en inglés). Freightliner y Delphi demostraron su uso en sistemas automotrices de pasajeros, aunque BMW argumenta que hay poca sensibilidad para su regulación debido a las modificaciones hechas a la gasolina para reducir la emisión de contaminantes, por lo que es viable instalarlos en sistemas basados en hidrógeno.

1.3.2.- APOYO ENERGÉTICO.

Muchos proyectos en ingeniería, requieren de ciclos donde en una etapa se requiera una baja descarga de energía y otros de una alta descarga. Esta demanda requiere de sistemas que permitan una regulación precisa de la energía suministrada y una alta capacidad de almacenamiento de energía. De esta manera los supercapacitores suministran la energía, sin necesidad de sobrecargar la red eléctrica.

En aplicaciones de energía solar es necesario estabilizar el voltaje suministrado por las fotoceldas, por lo que se utilizan supercapacitores de 2400 F dispuestos en paralelo para estabilizar el suministro de energía eléctrica. De las fotoceldas generalmente se traslada la diferencia de potencial a una válvula de regulación de descarga ácida. Actualmente se estudia la manera de controlar el voltaje a través de un banco de supercapacitores que permite disminuir los picos de voltaje y proveer una corriente constante de 1.37 A por 45 segundos cada hora, gracias al almacenamiento de energía en el capacitor y su liberación estable en un circuito equivalente RLC.

1.3.3.- ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA.

Uno de los usos más extendidos de supercapacitores es en el uso de sistemas microelectrónicos, memorias de computadoras, relojes y cámaras de alta precisión. El uso de estos permite mantener el funcionamiento de los dispositivos durante horas e incluso días. Una aplicación estudiada ampliamente en la actualidad es el uso de supercapacitores en sistemas UPS (sistema de energía ininterrumpible) unido a sistemas de transferencia de energía acoplados por inducción (ICPT). Se utilizan para facilitar la transferencia de energía, hacer más eficiente la carga de energía eléctrica, permitiendo el aislamiento de los sistemas UPS para el funcionamiento de sistemas eléctricos.

1.3.4.- SISTEMAS DE TRANSFERENCIA DE POTENCIA.

En el área de energía las propiedades de los supercapacitores son de gran importancia para la transferencia de energía. Los sistemas STATCOM (Compensadores Estáticos) son dispositivos de la familia de los sistemas de transmisión de corriente flexible alternante, y se utiliza para el control de los picos de voltaje en sistemas eléctricos. Cuando se conectan con sistemas de transferencia de potencia a elementos STATCOM, se produce una gran inductancia que produce un incremento en la corriente y picos de voltaje, por lo que es necesario tener capacitores de gran capacitancia para compensar este

fenómeno. Su uso permite mantener una corriente constante y menores picos de voltaje para facilitar la transmisión de la energía eléctrica.

Los ultracapacitores prometen llenar la brecha entre los capacitores y baterías.

Los EDLCs tienen una variedad de aplicaciones comerciales, especialmente en "suavización de energía" y los dispositivos de carga momentánea. Dentro de sus primeros usos cabe destacar como fuente de energía para el arranque de motores en grandes tanques de guerra y submarinos. Debido a que se ha reducido el coste de producción, han comenzado a aparecer en los camiones diesel y en locomotoras. Más recientemente se han convertido en un tema de gran interés en la llamada Energía verde, pues su capacidad de absorber energía rápidamente los hace particularmente adecuados para aplicaciones de freno regenerativo. Mientras que las pilas, por otro lado, tienen dificultades en esta tarea debido su lenta velocidad de carga. Por su tamaño y peso reducido, los EDLCs, se están adaptando para almacenar electricidad en vehículos eléctricos.

Un capacitor de alta capacidad tiene un gran rendimiento (el 98% de la carga se devuelve); almacena mucha energía en relación a su peso (4W/kg), aunque no tanto como una batería; no presentan efecto memoria y tienen una gran capacidad de carga y descarga rápida (5kW/kg).

1.4.- VEHÍCULOS HÍBRIDOS

Actualmente existen dos líneas de desarrollo, los vehículos eléctricos (EV), y los vehículos híbridos eléctricos (HEV). El principio de funcionamiento de los EV se caracteriza por su sencillez, y es prácticamente el mismo que en sus comienzos. Este consiste en una fuente primaria de energía, baterías (Plomo Ácido, Zinc Aire, Níquel Metal Hidruro, Litio lón, de Sodio, etc.) o celda de combustible, y un elemento rotatorio motriz: motor de inducción, Brushless DC, etc. Se ha agregado un convertor DC-AC (inversor) para la transformación de la energía proveniente de la fuente y el control de velocidad del vehículo. En la figura 1.2 se ilustra la dirección de los flujos de energía dentro de un EV.

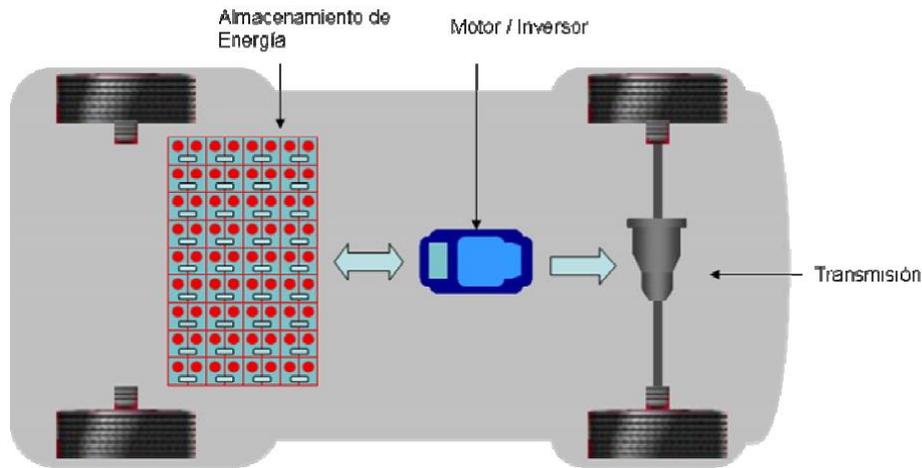


Figura 1.2 Dirección de los flujos de energía dentro de un EV.

Su principal ventaja es que permiten regeneración, es decir, recuperan parte de la energía del vehículo en cada frenada. Si se compara con el vehículo de combustión, los EV son más eficientes y sencillos, poseen menos partes móviles, requieren menos mantenimiento y no liberan emisiones. Sin embargo, son más caros y su autonomía es limitada.

Los vehículos híbridos (HEV) combinan el motor de combustión interna de un vehículo convencional con un conjunto de baterías y un motor eléctrico de un EV obteniendo, producto de la combinación de ambos, un ahorro de combustible significativo si lo comparamos con los vehículos convencionales. Esta combinación otorga la amplia autonomía y rápida recarga esperada por los usuarios, además de un gran beneficio ambiental al disminuir significativamente las emisiones y ser notablemente más eficientes.

Las ventajas que poseen los HEV sobre los automóviles convencionales se resumen en:

1. Capacidad de frenado regenerativo, permitiendo la recuperación de energía en cada frenada y ayudando a minimizar las pérdidas.
2. El motor de combustión puede ser dimensionado para entregar la potencia media, lo cual reduce significativamente su peso.

3. Aumento en la eficiencia de consumo de combustible.
4. Las emisiones son reducidas notablemente.
5. La utilización de materiales especiales ayudan a disminuir el peso total del vehículo.

Dentro de los HEV se pueden encontrar diferentes configuraciones. Básicamente, los vehículos híbridos combinan un sistema de almacenamiento de energía, una unidad de potencia y un sistema de propulsión. Las alternativas para sistemas de almacenamiento incluyen baterías, ultracapacitores y flywheels (conocido como volante, sirve para mantener la inercia de rotación ósea, su función es de mantener en marcha con la misma inercia además de unir ciertas partes de la transmisión al motor, (embrague) y pues así transmitir el movimiento del motor a la transmisión). Hoy las baterías son la opción más utilizada, sin embargo no está todo definido y la investigación se realiza en las distintas áreas. La unidad de potencia puede estar formada por motores de inyección, turbinas de gas o celdas de combustible. La propulsión puede ser otorgada completamente por un motor eléctrico, *configuración serie*, o en conjunto con el motor a combustión, *configuración paralela*.

La eficiencia y nivel de emisiones de un vehículo híbrido depende de la combinación de cada uno de los subsistemas, de cómo estos son integrados en un sistema global, y de la estrategia de control que integra a cada uno de los subsistemas. A modo de ejemplo, un vehículo híbrido que utiliza celdas de combustible alimentadas con hidrógeno produce sólo agua como residuo.

1.4.1.- VEHÍCULO HÍBRIDO – CONFIGURACIÓN SERIE

Un vehículo híbrido con configuración serie posee una unidad de potencia, que puede estar formada por un motor a combustión y un generador eléctrico, o una celda de combustible. Es ésta unidad la encargada de producir la electricidad requerida por las baterías y el motor de tracción.

En un vehículo serie sólo un elemento es el que produce la potencia mecánica de tracción. En él, la energía es transformada, en una primera instancia, de energía química a energía mecánica, luego a energía eléctrica y finalmente nuevamente a energía mecánica para mover las ruedas.

La figura 1.3 muestra el esquema típico de esta configuración. Además se muestra la dirección de los flujos de energía dentro del vehículo.

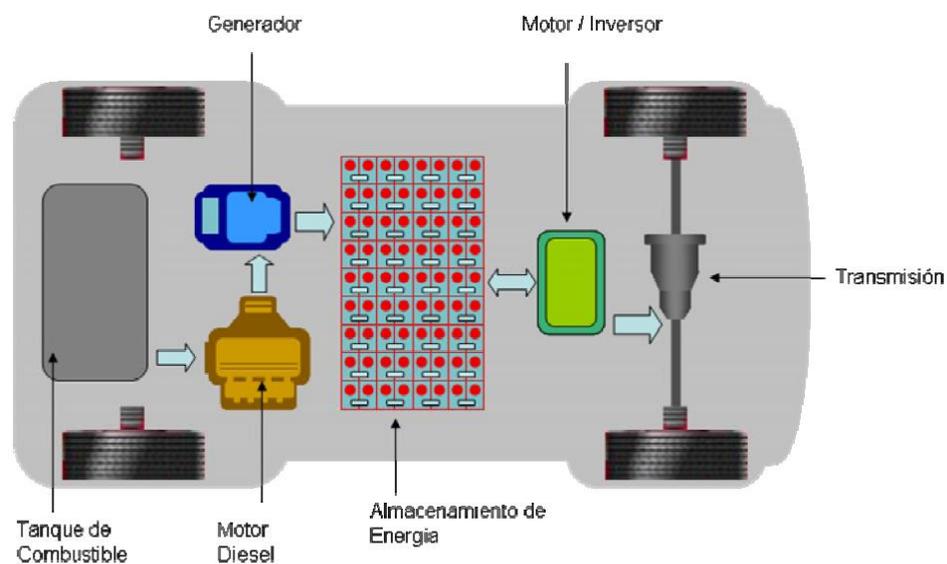


Figura 1.3 Vehículo Híbrido – Configuración Serie y dirección de los flujos de energía dentro del vehículo.

Los beneficios de esta configuración se resumen en:

1. El motor nunca se detiene ya que debe preocuparse de mantener el estado de carga de las baterías.
2. El motor a combustión se mantiene funcionando en una zona óptima, lo que reduce las emisiones.
3. No necesita caja de transmisión.

Finalmente, una de las desventajas de esta configuración es que el motor a combustión trabaja arduamente en mantener la carga de las baterías.

1.4.2.- VEHÍCULO HÍBRIDO – CONFIGURACIÓN PARALELO

A diferencia de la configuración serie, en el vehículo paralelo la potencia mecánica de las ruedas es proporcionadas por dos unidades de manera independiente. Esto es, un motor a combustión, similar al de un vehículo convencional, y un motor eléctrico. A modo de ejemplo, un vehículo paralelo puede utilizar la potencia del motor de combustión interna para manejo en carretera y la potencia del motor eléctrico para la aceleración. La figura 1.4 muestra el esquema de tracción de esta topología junto a la dirección de los flujos de energía producidos.

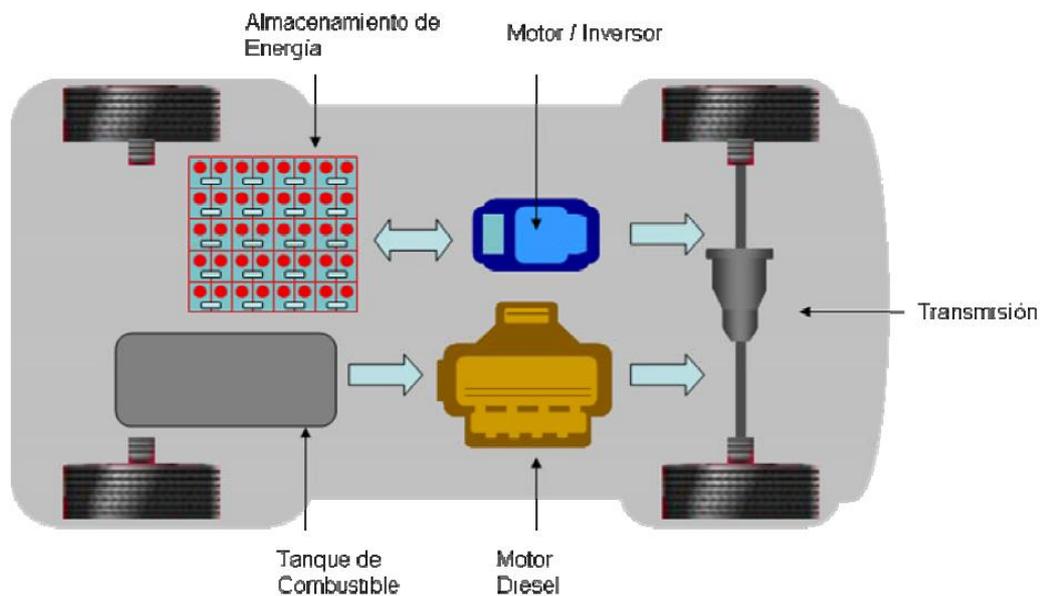


Figura 1.4 Vehículo Híbrido – Configuración Paralelo y dirección de los flujos de energía.

Los beneficios de esta configuración se resumen en:

1. El vehículo tiene más potencia debido a que tanto el motor a combustión como el eléctrico proveen la potencia simultáneamente.
2. No necesitan un generador separado debido a que el motor eléctrico regenera a las baterías.
3. Debido a que la potencia va acoplada directamente a la transmisión, suelen ser más eficientes.

La gran versatilidad de configuraciones de los vehículos híbridos junto a la necesidad de interacción de las distintas fuentes de energía hace necesario un sistema de manejo global de los flujos de energía, de modo que ambas fuentes operen de manera óptima. Esto último agrega un nivel de complejidad no encontrado en los automóviles convencionales.

Otra distinción entre los vehículos híbridos corresponde a los que mantienen la carga de la fuente de energía y los que la van descargando a través del tiempo. En ambos casos, el hardware y la estrategia de control utilizada son notoriamente distintos.

En el segundo caso, las baterías no pueden ser recargadas a la misma tasa que son descargadas. Los vehículos que son diseñados para mantener la carga poseen una unidad de potencia dimensionada para otorgar la potencia media, de modo que, si es operada en las condiciones esperadas, será capaz de mantener un nivel de carga en las baterías de modo indefinido.

La flexibilidad de los HEV viene de la capacidad de la estrategia de control de manejar cuanta potencia fluye de cada uno de los componentes. De esta forma, los componentes del vehículo pueden ser integrados junto con la estrategia de control para obtener el diseño óptimo dado un conjunto de restricciones. Entre los objetivos deseables para los HEV encontramos:

1. Maximizar la economía de combustible.
2. Minimizar las emisiones.
3. Minimizar el costo del sistema de propulsión, de modo de hacerlos cada día más alcanzables.
4. Realizar lo anterior bajo ciertas condiciones de desempeño (aceleración, ruido, rango, etc.)

En suma, la gran flexibilidad de configuración y control de los vehículos híbridos hacen que éstos puedan ser diseñados de distinta forma, de modo de abarcar las necesidades particulares de cada grupo de mercado, automóviles más eficientes y con menor gasto de combustible, alternativas de mayor potencia, etc. Por lo cual, la tracción eléctrica, y en particular el desarrollo de medios eléctricos de transporte, es un área que ha presentado un desafío importante a los científicos e investigadores de hoy en día, que estudian temas tan diversos como electrónica de potencia, diseño de motores, control de motores, optimización, aerodinámica, etc., los que se combinan para buscar solución a las problemáticas planteadas para esta área del desarrollo. Dentro de los problemas a solucionar se encuentran el mejor aprovechamiento de la energía, la capacidad de almacenarla, mejorar la confiabilidad de los sistemas, reducir los costos de desarrollo y producción, entre otros.

1.5.- AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL CON PLC'S.

La automatización representa la optimización de procesos, reducción de costos e incremento de la productividad. Tanto los equipos convencionales como los modernos han sufrido cambios sustanciales, permitiendo excelentes ventajas. Para distintos problemas de automatización, se menciona una variedad de soluciones, unas más sofisticadas que otras, cuya aplicación depende no sólo del conocimiento de la técnica, sino también del personal que tendrá la responsabilidad de su ejecución.

Por otro lado, muchos sistemas están conformados por equipos de diferentes fabricantes y funcionan en distintos niveles de automatización; además, a menudo se encuentran distanciados entre sí, pero se desea que trabajen en forma coordinada para un resultado satisfactorio del proceso. Es así que nos apoyamos en las comunicaciones para su integración.

Para lo cual nos hemos propuesto para nuestro desarrollo de proyecto:

- Dimensionar y seleccionar arrancadores eléctricos y electrónicos para motores de corriente alterna.
- Realizar programas de automatización para los PLCs.
- Diagnosticar fallas en los PLCs.
- Configurar el hardware y software para el sistemas de control de las fuentes de energía de nuestro vehículo híbrido.
- Evaluar técnicas alternativas para la automatización en nuevos proyectos.

1.5.1.- CONTROLADOR PROGRAMABLE.

Es un aparato electrónico operado digitalmente, que usa una memoria programable para el almacenamiento interno de instrucciones para implementar funciones específicas, tales como lógica, secuenciación, registro y control de tiempos, conteo y operaciones aritméticas para controlar, a través de módulos de entrada/salida digitales (ON/OFF) o analógicos (1 - 5 VDC, 4 - 20 mA, etc.), varios tipos de máquinas o procesos.

Los Controladores Lógicos Programables o PLC (Programmable Logic Controller) son dispositivos electrónicos muy usados en Automatización Industrial.

Los PLC no sólo controlan la lógica de funcionamiento de máquinas, plantas y procesos industriales, sino que también pueden realizar operaciones aritméticas, manejar señales analógicas para realizar estrategias de control, tales como controladores proporcional integral derivativo (PID).

Los PLC actuales pueden comunicarse con otros controladores y computadoras en redes de área local, y son una parte fundamental de los modernos sistemas de control distribuido.

Los PLCs están bien adaptados para un amplio rango de tareas de automatización. Estos son típicamente procesos industriales en la manufactura donde el costo de desarrollo y mantenimiento de un sistema de automatización es relativamente alto contra el costo de la automatización, y donde existirán cambios al sistema durante toda su vida operacional.

Los PLCs contienen todo lo necesario para manejar altas cargas de potencia; se requiere poco diseño eléctrico y el problema de diseño se centra en expresar las operaciones y secuencias en la lógica de escalera (o diagramas de funciones).

Normalmente se requiere un PLC para:

- Reemplazar la lógica de relés para el comando de motores, máquinas, cilindros, neumáticos e hidráulicos, etc.
- Reemplazar temporizadores y contadores electromecánicos.
- Actuar como interfase entre una PC y el proceso de fabricación.
- Efectuar diagnósticos de fallas y alarmas.
- Controlar y comandar tareas repetitivas y peligrosas.
- Regulación de aparatos remotos desde un punto de la fábrica.

Sus principales beneficios son:

- Menor cableado, reduce los costos y los tiempos de parada de planta.
- Reducción del espacio en los tableros.
- Mayor facilidad para el mantenimiento y puesta en servicio

- Flexibilidad de configuración y programación, lo que permite adaptar fácilmente la automatización a los cambios del proceso

Existen algunos modelos de un Controladores lógicos programables como son:

- PLC's S7-200 (Comunicativos, compactos y modulares)
- PLC's S7-300 (Robustos, modulares, amplias capacidades de comunicación y soporte TIA-Totally Integrated Automation)
- PLC's S7-400 (El PLC más poderoso en el mercado mundial para las industrias de Procesos y de producción).
- ET-200 (Soluciones para periferia descentralizada con E/S distribuidas hasta con grado de protección IP67)
- Sensores BERO (Inductivos, Inteligentes, capacitivos, ultrasónicos, fotoeléctricos, mecánicos, etc.).
- Buses de Campo: Potentes sistemas que permiten una intercomunicación fluida (Profibus, Profinet, AS-i, Fibra óptica, etc.)
- Barreras de seguridad: Sistemas de protección para humanos y máquinas
- Sistemas de identificación mediante Radio Frecuencia (RFID- Sensors).
- Fuentes de Poder SITOP (Fuentes para sistemas de Control de CD con salidas desde los 5VCD hasta los 48VCD y de 0.5 a 40 A) e inclusive módulos de respaldo UPS.
- Paneles de Visualización y Operación (HMI's)
- Contactores SIRIUS.
- Licencias de Software SIMATIC tales como: WinCC, Step 7, MicroWin, Simatic-Net, Doc-Pro, entre otros.

1.6.- MOTORES ASÍNCRONOS.

Los motores asíncronos o de inducción son un tipo de motores eléctricos de corriente alterna como se muestra en la Figura 1.5. Motor asíncrono.

El motor asíncrono trifásico está formado por un rotor, que puede ser de dos tipos: a) de jaula de ardilla; b) rotor bobinado, y un estator, en el que se encuentran las bobinas inductoras. Estas bobinas son trifásicas y están desfasadas entre sí 120°. Según el Teorema de Ferraris, cuando por estas bobinas circula un sistema de corrientes trifásicas, se induce un campo magnético giratorio que envuelve al rotor. Este campo magnético variable va a inducir una tensión en el rotor según la Ley de inducción de Faraday:

$$E = -N \frac{d\phi}{dt} \quad (1.1)$$

Donde:

E = Tensión en el rotor.

N = Número de vueltas del alambre en el bobinado

Ø = Flujo magnético

t = Tiempo

Entonces se da el efecto Laplace (efecto motor), todo conductor por el que circula una corriente eléctrica, inmerso en un campo magnético experimenta una fuerza que lo tiende a poner en movimiento. Simultáneamente se da el efecto Faraday (ó efecto generador): en todo conductor que se mueva en el seno de un campo magnético se induce una tensión.

El campo magnético giratorio gira a una velocidad denominada de sincronismo. Sin embargo el rotor gira algo más despacio, a una velocidad parecida a la de sincronismo. El hecho de que el rotor gire más despacio que el campo magnético originado por el estator, se debe a que si el rotor girase a la velocidad de sincronismo, esto es, a la misma velocidad que el campo magnético giratorio, el campo magnético dejaría de ser variable con respecto al rotor, con lo que no aparecería ninguna corriente inducida en el rotor, y por consiguiente no aparecería un par de fuerzas que lo impulsarán a moverse.

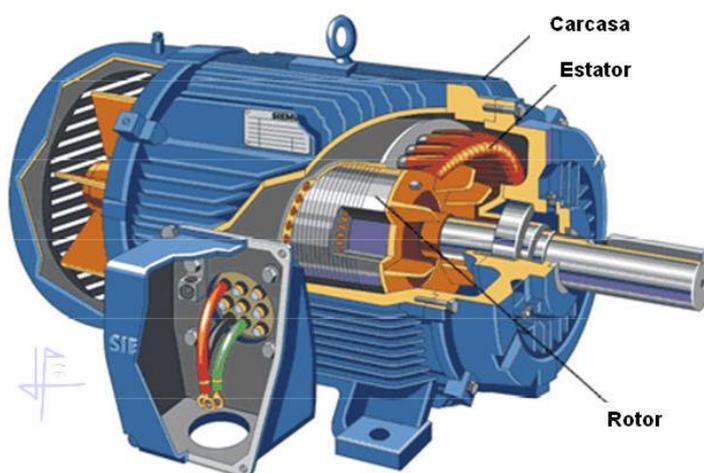


Figura 1.5. Motor asíncrono o de inducción

También existen motores asíncronos monofásicos, en los cuales el estator tiene un devanado monofásico y el rotor es de jaula de ardilla. Son motores de pequeña potencia y en ellos, en virtud del Teorema de Leblanc, el campo magnético es igual a la suma de dos campos giratorios iguales que rotan en sentidos opuestos.

1.6.1.- CONCEPTOS BÁSICOS DE LOS MOTORES DE INDUCCIÓN

La velocidad de rotación del campo magnético o *velocidad de sincronismo* está dada por:

$$n_{sinc} = \frac{120 f}{p} \quad (1.2)$$

Donde:

n_{sinc} = Velocidad de sincronismo

f = Frecuencia del sistema, en Hz,

p = Número de polos en la máquina.

Estando así la velocidad dada en revoluciones por minuto (rpm).

El voltaje inducido en cierta barra de rotor está dado por:

$$E_{ind} = (\vec{v} \times \vec{B}) l \quad (1.3)$$

Donde:

E = Voltaje inducido

\vec{v} = Velocidad de la barra *en relación con el campo magnético*

\vec{B} = Vector de densidad de flujo magnético

l = Longitud del conductor en el campo magnético

\times = Representa la operación "producto vectorial"

Lo que produce el voltaje inducido en la barra del rotor es el movimiento relativo del rotor en comparación con el campo magnético del estator.

1.6.2.- TIPOS CONSTRUCTIVOS.

El motor de jaula de ardilla consta de un rotor constituido por una serie de conductores metálicos (normalmente de aluminio) dispuestos paralelamente unos

a otros, y cortocircuitados en sus extremos por unos anillos metálicos, esto es lo que forma la llamada jaula de ardilla por su similitud gráfica con una jaula de ardilla. Esta 'jaula' se rellena de material, normalmente chapa apilada. De esta manera, se consigue un sistema n-fásico de conductores (siendo n el número de conductores) situado en el interior del campo magnético giratorio creado por el estator, con lo cual se tiene un sistema físico muy eficaz, simple, y muy robusto (básicamente, no requiere mantenimiento).

El motor de rotor bobinado tiene un rotor constituido, en vez de por una jaula, por una serie de conductores bobinados sobre él en una serie de ranuras situadas sobre su superficie. De esta forma se tiene un bobinado en el interior del campo magnético del estator, del mismo número de polos, y en movimiento. Este rotor es mucho más complicado de fabricar y mantener que el de jaula de ardilla, pero permite el acceso al mismo desde el exterior a través de unos anillos que son los que cortocircuitan los bobinados. Esto tiene ventajas, como la posibilidad de utilizar un reóstato de arranque que permite modificar el par de arranque, y el reducir la corriente de arranque.

En cualquiera de los dos casos, el campo magnético giratorio producido por las bobinas inductoras del estator genera unas corrientes inducidas en el rotor, que son las que producen el movimiento.

Por otro lado para que el motor asíncrono se vuelva generador se produce la autoexcitación del generador donde debe existir una tensión inicial, un magnetismo o una energía remanente en el hierro de la máquina, en la práctica, la existencia o no del magnetismo o **energía remanente** depende de las condiciones de parada de la máquina. En el caso que la máquina se desenergice por un aumento excesivo de la carga o por una disminución de la velocidad, se produce su total desmagnetización lo que impide que esta pueda autoexcitarse.

1.7.- BANCO DE BATERÍAS.

Para empezar se debe establecer que la célula principal es la pila. Un conjunto de pilas conectadas en serie, en paralelo o en serie-paralelo forman una batería, se dice pues que un banco de pilas es una batería. Si deseamos obtener una mayor intensidad de corriente, debemos hacer las mismas conexiones (serie, paralelo o serie-paralelo) con las baterías. Con lo que se forma un banco de baterías.

Estos conjuntos (bancos) de baterías son muy importantes en lugares donde no debe interrumpirse la energía. En los equipos grandes se utilizan combinaciones serie paralelos de distintas baterías, de hecho son todas baterías iguales, de la misma capacidad y preferentemente fabricadas juntas, sino se presentan innumerables inconvenientes. La figura 1.6 muestra la forma de conectar diferentes cantidades de baterías. Se concluye que al colocar en paralelo baterías iguales, de igual voltaje y de igual capacidad se multiplica la capacidad tantas veces como baterías se coloquen en paralelo y el voltaje del conjunto queda constante. Y que al conectarlas en serie, se multiplica el voltaje tantas veces como baterías se conecten en serie, quedando la capacidad constante. La configuración serie/paralelo es una combinación de ambas conclusiones. Si las baterías que se conectan en cualquiera de estas configuraciones no son iguales hay problemas serios y la calidad del banco será la de la batería que se encuentra peor, desmejorando el comportamiento del resto, por este motivo no se deben mezclar baterías de distintas calidades, marcas, modelos, fechas de producción, características y tipos. También es importante cuidar algunos detalles constructivos de estos bancos por ejemplo con los cables, los cables que conecten a las baterías entre ellas para crear un banco de baterías deben de ser cables gruesos.

Generalmente el cable no debe ser más pequeño que el cable principal que vaya al inversor. Si el cable principal es 4 mm², las conexiones entre las baterías deben de ser también de 4 mm², todos deben tener la misma longitud, los internos y los

externos, los mismos terminales y el mismo método de sujeción de los terminales al borne de la batería.

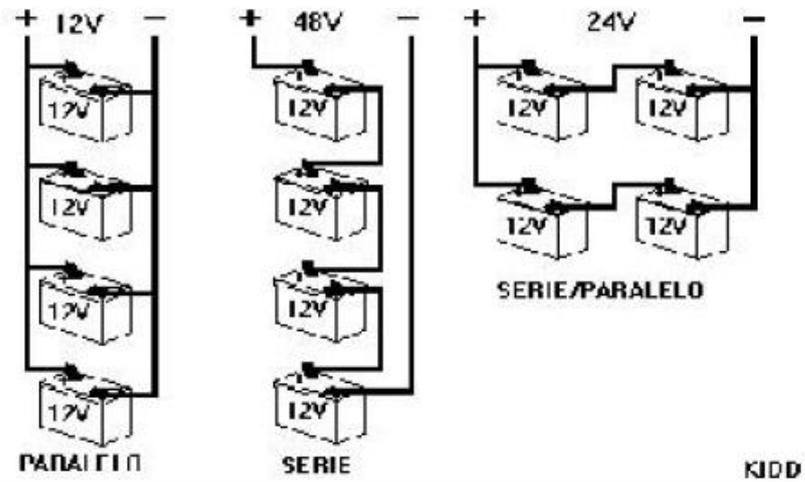


Figura 1.6 Conexión de diferentes cantidades de baterías.

1.7.1.- MANTENIMIENTO MENSUAL DE UN BANCO DE BATERIAS

Como mínimo comprobar el nivel de electrolito en cada vaso de la batería una vez al mes después de que las baterías hayan sido cargadas, no antes. El nivel debería de estar aprox. 1 Cm por encima de los platos, pero no completamente llenas. Solamente se debe rellenar las baterías con agua destilada.

Comprobar las conexiones de la batería por si existiera algún indicio de corrosión. Si existe corrosión desconectar los cables y limpiar con cuidado la zona afectada con una solución de bicarbonato de sodio y agua. NO PERMITIR QUE LA SOLUCIÓN ENTRE EN LA BATERÍA. Limpiar la parte superior de la batería con agua limpia cuando haya terminado.

Medir el voltaje de cada batería, para que todo esté bien, no deberían diferir en más del 2%.

Provocar una pequeña descarga del banco, de un 30% y observar la reacción del cargador de baterías.

Si se apaga por un tiempo prolongado se debe tener presente que antes se debe cargar bien, a pleno, al banco de batería. Ya que las baterías en vacío y sin conexión también se degradan, es decir una batería sin utilizarla también se arruina.

1.8.- CARGADOR DE BATERÍAS

Un cargador de baterías es un dispositivo utilizado para suministrar la corriente eléctrica o tensión eléctrica que almacenará una o varias pilas recargables o una batería.

La carga de corriente depende de la tecnología y de la capacidad de la batería a cargar. Por ejemplo, la corriente y la tensión que debería suministrarse para una recarga de una batería de auto de 12V deberán ser muy diferentes a la corriente para recargar una batería de teléfono móvil por que difieren en el amperaje.

La batería es un acumulador de energía cuya función principal es poner en marcha el motor del vehículo híbrido. La acumulación de energía de la batería se realiza por medio de un proceso químico entre dos placas de plomo y un líquido llamado electrolito formado por agua y ácido sulfúrico.

En el mantenimiento de las baterías es importante comprobar el nivel del electrolito en cada uno de los seis vasos, que debe estar un centímetro por encima de la parte más alta de las placas. En caso contrario será necesario añadir agua destilada hasta alcanzar el nivel correcto. Es muy importante no utilizar agua potable porque contiene minerales que interfieren en las reacciones químicas y dañan a las placas.

1.8.1.- TIPOS DE CARGADORES DE BATERÍAS

➤ Sencillo

Un cargador sencillo trabaja haciendo pasar una corriente continua o tensión, entre otras, por ejemplo para la tecnología de plomo constante por la batería que va a ser cargada. El cargador sencillo no modifica su corriente de salida

basándose en el tiempo de carga de la batería. Esta sencillez facilita que sea un cargador barato, pero también de baja calidad. Este cargador suele tardar bastante en cargar una batería para evitar daños por sobrecarga. Incluso así, una batería que se mantenga mucho tiempo en un cargador sencillo pierde capacidad de carga y puede llegar a quedar inutilizable.

➤ **Mantenimiento**

Un cargador de mantenimiento es un tipo de cargador sencillo que carga la batería muy despacio, a la velocidad de auto descarga; es el tipo de cargador más lento. Una batería puede dejarse en un cargador de este tipo por tiempo indefinido, manteniéndose cargada por completo sin riesgo de sobrecarga o calentamiento. Está indicado para el mantenimiento de la fuente de energía de sistemas desatendidos, como sistemas de alarma o de iluminación de emergencia.

➤ **Con temporizador**

La corriente de salida de un cargador de este tipo se corta tras un tiempo predeterminado. Estos cargadores fueron los más comunes para baterías Ni-Cd de alta capacidad a finales de la década de 1990. (Para las pilas de consumo Ni-Cd, de baja capacidad, se suele usar un cargador sencillo).

Es frecuente encontrar a la venta este tipo de cargadores junto a un paquete de pilas. El tiempo de carga viene configurado para ellas. Si se utilizan en ellos otras pilas de menor capacidad, podrían sufrir una sobrecarga. De otro lado, si se cargan pilas de mayor capacidad que las originales solo quedarán cargadas parcialmente. Los avances en este tipo de tecnología incrementan la capacidad de las pilas cada año, por lo que un cargador antiguo puede que solo cargue parcialmente las pilas actuales.

Los cargadores basados en un temporizador tienen también el inconveniente de provocar sobrecargas en pilas que, aún siendo las adecuadas, no están totalmente descargadas cuando se ponen a cargar.

➤ **Inteligente**

La corriente de salida depende del estado de la batería. Este cargador controla el voltaje de la batería, su temperatura y el tiempo que lleva cargándose, proporcionando una corriente de carga adecuada en cada momento. El proceso de carga finaliza cuando se obtiene la relación adecuada entre voltaje, temperatura y/o tiempo de carga.

En las baterías de Ni-Cd, el voltaje que puede ofrecer la batería aumenta poco a poco durante el proceso de carga hasta que la batería está totalmente cargada. Tras esto el voltaje disminuye, lo que indica a un cargador inteligente que la batería está totalmente cargada.

Un cargador inteligente típico carga la batería hasta un 85% de su capacidad máxima en menos de una hora, entonces cambia a carga de mantenimiento, lo que requiere varias horas hasta conseguir la carga completa.

➤ **Rápido**

Un cargador rápido puede usar el circuito de control de la propia batería para conseguir una carga rápida de ésta sin dañar los elementos de sus celdas. Muchos de estos cargadores disponen de un ventilador para mantener la temperatura controlada. Suelen actuar como un cargador normal, carga en una noche si se usan con pilas normales de NiMH, que no tienen un circuito de control. Algunos, como los fabricados por Energizer, pueden realizar una carga rápida de cualquier batería NiMH aunque ésta no disponga del circuito de control.

➤ **Pulsador**

Algunos cargadores utilizan una tecnología de pulsador en la cual el pulsador es conectado a la batería.

➤ Para "NO recargables"

En contra de la leyenda que figura en casi cualquier pila, sobre el peligro de explosión si se recarga este tipo de pilas "NO recargables", están comercializándose y apareciendo en la Web para autoconstrucción, diseños de dispositivos electrónicos cuya peculiaridad es suministrar a la pila una mínima polarización inversa facilitada por la corriente alterna de la red (contrariando la norma de recarga sólo con corriente continua); el circuito también limita especialmente la corriente máxima, pues de sobrepasarse esta, tras un corto aviso de calentamiento excesivo de la pila, si que sobreviene la explosión de esta.

La única "NO recargable" beneficiada (aunque también funcionan con las recargables normales de litio y metal-hidruro) de estos cargadores es precisamente la batería alcalina, la de más capacidad y mayor precio en el mercado. Se han demostrado unas 75 recargas útiles de una pila alcalina, la mayoría con una capacidad similar a la de nueva, hasta que comienza a declinar rápidamente dicha capacidad. El número de recargas eficaces será mayor si no se supera el 50% en la descargas en su uso y se reduce drásticamente si se emplean hasta agotarlas.

El precio del cargador comercial es similar al de un cargador inteligente o universal.

1.8.2.- CARGADOR TRIFÁSICO

Los cargadores trifásicos serán alimentados desde una fuente trifásica de 210 V, 60 Hz, se debe tener, tanto para la entrada como para las salidas a la carga externa y a las baterías, fusibles de alta capacidad de ruptura, de calibre adecuado, con indicador de fallas.

Los rectificadores serán del tipo trifásico con puentes de diodos de silicio y deberán suministrar en funcionamiento a flote una tensión de $\pm 1\%$ respecto a la nominal frente a variaciones de tensión de alimentación de $\pm 15\%$ y de frecuencia $\pm 5\%$ y de la carga entre 10 y 100 % de la corriente nominal.

La estabilización de la tensión deberá ser efectuada mediante reactores saturables o tiristores controlados por una corriente proporcional a la diferencia entre la tensión de salida y la tensión de referencia. Esta última podrá regularse manualmente en forma continua.

Los cargadores deberán limitar automáticamente la corriente de salida a un valor máximo de 100% de la corriente nominal bajando para ello la tensión de salida. De esta manera se obtendrá para carga a fondo una característica del tipo "corriente constante inicial tensión constante final".

La conmutación de carga "a flote" a carga "a fondo" deberá poder ser seleccionada para operar en forma "manual" ó "automática". La conmutación automática a posición de carga "a fondo" será por baja tensión de batería y/o con posterioridad a una falta de tensión de entrada. Una vez completada la carga a fondo de, la batería y transcurrido el tiempo seleccionado para la carga final a tensión constante, el cargador pasará automáticamente a la posición normal de carga "a flote".

Los cargadores deben contar con filtro sobre la derivación al consumo para mantener la forma de onda dentro de los valores especificados.

Deberán contar además, sobre la derivación al consumo, un sistema adecuado para mantener la tensión dentro de los rangos máximos y mínimos especificados cuando se realiza la carga a fondo de la batería. Se deberá contar con diodos dispuestos de manera tal de evitar la descarga de la batería sobre el cargador en caso de baja tensión de este último.

Los cargadores, estarán contenidos en gabinetes metálicos autoportantes de acceso frontal con paneles abisagrados y ventilación natural, aptos para montaje interior.

1.9.- INVERSOR DC A AC

Los inversores, también llamados onduladores han revolucionado nuestra vida cotidiana con sistemas de energía independientes al proporcionar electricidad de CA en cualquier momento y lugar. Un inversor transforma la electricidad de CC almacenada en baterías o en fuentes de energía renovable en energía de CA estándar de uso doméstico.

La función de un inversor es cambiar un voltaje de entrada de corriente directa a un voltaje simétrico de salida de corriente alterna, con la magnitud y frecuencia deseada por el usuario o el diseñador. Los inversores son utilizados en una gran variedad de aplicaciones, desde pequeñas fuentes de alimentación para computadoras, hasta aplicaciones industriales para manejar alta potencia. Los inversores también son utilizados para convertir la corriente continua generada por los paneles solares fotovoltaicos, acumuladores o baterías, etc. en corriente alterna y de esta manera poder ser inyectados en la red eléctrica o usados en instalaciones eléctricas aisladas. La UPS (Uninterrumpible Power Supply), que se utiliza para suministrarle energía a una computadora en momentos de falta del suministro público, no es otra cosa que un inversor convertidor.

Un inversor simple consta de un oscilador que controla a un transistor, el cual es utilizado para interrumpir la corriente entrante y generar una onda cuadrada. Esta onda cuadrada alimenta a un transformador que suaviza su forma, haciéndola parecer un poco más una onda senoidal y produciendo el voltaje de salida necesario. Las formas de onda de salida del voltaje de un inversor ideal deberían ser sinusoidales. Una buena técnica para lograr esto es utilizar la técnica de PWM logrando que la componente principal senoidal sea mucho más grande que las armónicas superiores.

Los inversores más modernos han comenzado a utilizar formas más avanzadas de transistores o dispositivos similares, como los tiristores, los triac's o los IGBT's.

Inversores más eficientes utilizan varios artificios electrónicos para tratar de llegar a una onda que simule razonablemente a una onda senoidal en la entrada del transformador, en vez de depender de éste para suavizar la onda.

Hay modelos que pueden ser conectados en “Paralelo con Reparto de Carga”. En esta configuración, un Inversor toma el mando de la distribución de corriente enviándole una señal de referencia a cada control. Se pueden agregar y desconectar inversores en caliente, sin interrumpir el servicio de salida de CA.

Poseen capacidad de ser controlados y suministrar información de parámetros de trabajo, alarmas y estados:

- a. **local:** Display LCD y Leds en el panel frontal,
- b. **remoto:** Vía comunicación RS232/RS485 y contactos secos.

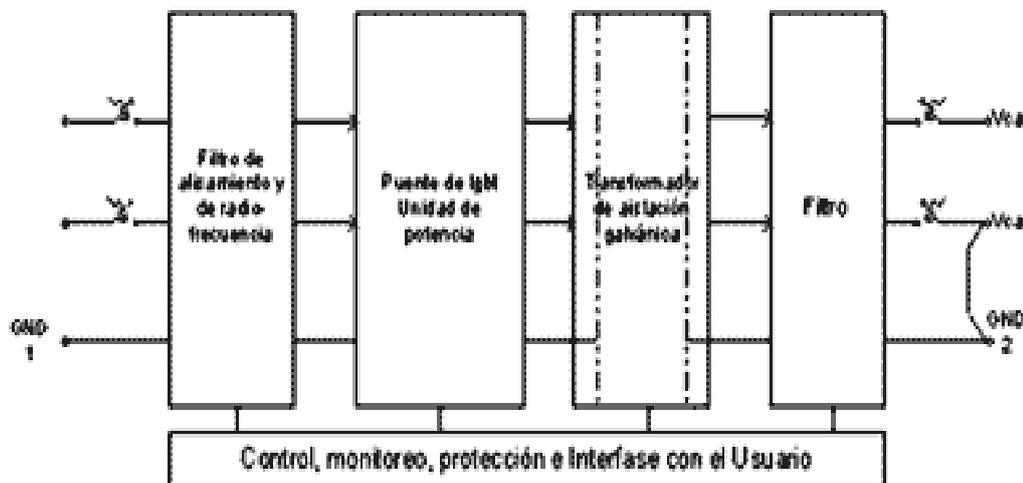


Figura 1.7. Diagrama de Bloques del Inversor DC A AC

1.9.1. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL INVERSOR:

- Diseño de Grado Industrial.
- Tecnología IGBT.
- Alto rendimiento.
- Tensión de entrada hasta 750Vcc.
- Amplia tolerancia de tensión de entrada.
- Tensión senoidal monofásica o trifásica, 50/60Hz.
- Aislación galvánica entrada / salida.
- Modulación por ancho de pulso PWM.
- Filtro de radiofrecuencias.
- Alisamiento de corriente de entrada.
- Protección por polaridad inversa de CC.
- Alto factor de corriente de salida.
- Protecciones electrónicas y termomagnéticas.
- Protección ante cortocircuitos de salida.
- Capacidad extra de sobrecarga.
- Display, señales luminosas y acústicas.
- Interfase de comunicación RS232/485.
- Señales remotas por contactos secos.
- Bajo nivel de ruido acústico.

1.10.- VARIADOR DE FRECUENCIA.

Un variador de frecuencia (siglas VFD, del inglés: Variable Frequency Drive) es un sistema para el control de la velocidad rotacional de un motor de corriente alterna (AC) por medio del control de la frecuencia de alimentación suministrada al motor. Un variador de frecuencia es un caso especial de un variador de velocidad. Como se muestra en la figura 1.8 los variadores de frecuencia son también conocidos como drivers de frecuencia ajustable (AFD), drivers de CA, microdrivers o inversores. Dado que el voltaje es variado a la vez que la frecuencia, a veces son llamados drivers VVVF (variador de voltaje variador de frecuencia).



Figura 1.8. Pequeño dispositivo variador de frecuencia (VFD)

1.10.1.- PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

Los dispositivos variadores de frecuencia operan bajo el principio de que la velocidad síncrona de un motor de corriente alterna (CA) está determinada por la frecuencia de CA suministrada y el número de polos en el estator, de acuerdo con la relación:

$$RPM = \frac{120 f}{p} \quad (1.4)$$

Donde:

RPM = Revoluciones por minuto

f = frecuencia de suministro AC (hertz)

p = Número de polos (adimensional)

Las cantidades de polos más frecuentemente utilizadas en motores síncronos o en Motor asíncrono son 2, 4, 6 y 8 polos que, siguiendo la ecuación citada resultarían en 3600 RPM, 1800 RPM, 1200 RPM y 900 RPM respectivamente para motores sincrónicos únicamente. Dependiendo de la ubicación funciona en 50Hz o 60Hz.

En los motores asíncronos las revoluciones por minuto son ligeramente menores por el propio asincronismo que indica su nombre. En estos se produce un desfase mínimo entre la velocidad de rotación (RPM) del rotor (velocidad "real" o "de salida") comparativamente con la cantidad de RPMs del campo magnético debido a que sólo es atraído por el campo magnético exterior que lo aventaja siempre en velocidad (de lo contrario el motor dejaría de girar en los momentos en los que alcanzase al campo magnético)

1.10.2.- DESCRIPCIÓN DEL VFD

Un sistema de variador de frecuencia (VFD) consiste generalmente en un motor AC, un controlador y un interfaz operador.

1.10.2.1.- Motor del VFD

El motor usado en un sistema VFD es normalmente un motor de inducción trifásico. Algunos tipos de motores monofásicos pueden ser igualmente usados, pero los motores de tres fases son normalmente preferidos. Varios tipos de

motores síncronos ofrecen ventajas en algunas situaciones, pero los motores de inducción son más apropiados para la mayoría de propósitos y son generalmente la elección más económica. Motores diseñados para trabajar a velocidad fija son usados habitualmente, pero la mejora de los diseños de motores estándar aumenta la fiabilidad y consigue mejor rendimiento del VFD (variador de frecuencia)

1.10.2.2.- Controlador Del VFD

Como se muestra en la figura 1.9. El controlador de dispositivo de variación de frecuencia está formado por dispositivos de conversión electrónicos de estado sólido. El diseño habitual primero convierte la energía de entrada AC en DC usando un puente rectificador. La energía intermedia DC es convertida en una señal casi-senoidal de AC usando un circuito inversor conmutado. El rectificador es usualmente un puente trifásico de diodos, pero también se usan rectificadores controlados. Debido a que la energía es convertida en continua, muchas unidades aceptan entradas tanto monofásicas como trifásicas (actuando como un convertidor de fase, un variador de velocidad).

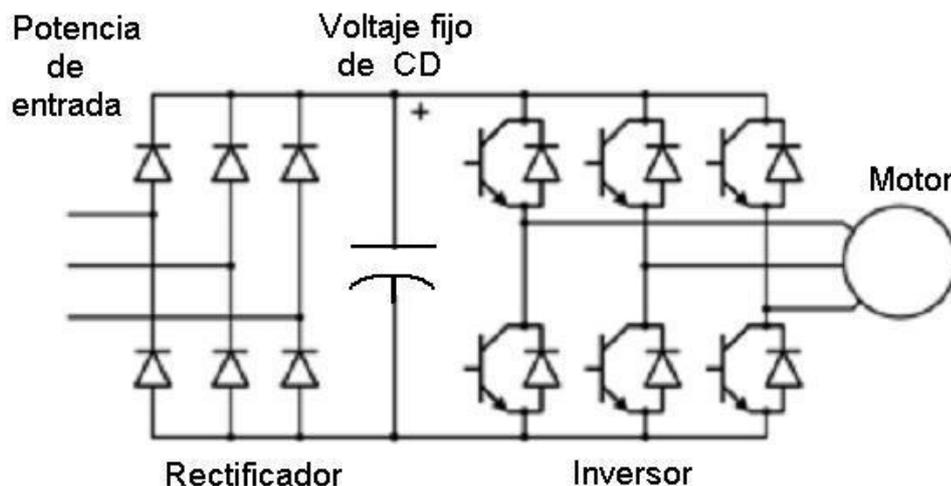


Figura 1.9. Diagrama de Variador de frecuencia con Modulación de Ancho de Pulso (PWM)

Tan pronto como aparecieron los interruptores semiconductores fueron introducidos en los VFD, ellos han sido aplicados para los inversores de todas las tensiones que hay disponible. Actualmente, los transistores bipolares de puerta aislada (IGBT's) son usados en la mayoría de circuitos inversores.

Las características del motor AC requieren la variación proporcional del voltaje cada vez que la frecuencia es variada. Por ejemplo, si un motor está diseñado para trabajar a 460 voltios a 60 Hz, el voltaje aplicado debe reducirse a 230 volts cuando la frecuencia es reducida a 30 Hz. Así la relación voltios/hertzios deben ser regulados en un valor constante ($460/60 = 7.67$ V/Hz en este caso). Para un funcionamiento óptimo, otros ajustes de voltaje son necesarios, pero nominalmente la constante es V/Hz es la regla general.

CAPÍTULO II

II.- DIMENSIONAMIENTO DE ULTRACAPACITORES.

2.1.- DIMENSIONAMIENTO DEL BANCO DE ULTRACAPACITORES.

Para seleccionar la cantidad de Ultracapacitores a utilizar, se debieron considerar varios aspectos. Los más importantes son la capacidad, la tensión nominal y máxima, la resistencia interna y las corrientes de carga y consumo del prototipo. Estos datos se evaluaron considerando las limitaciones del vehículo, las tensiones con que trabaja y la capacidad que se requiere para lograr el objetivo planteado para el equipo. Ecuación de la cantidad de energía.

$$E = \frac{1}{2} C \cdot V^2 \quad (2.1)$$

Donde:

E = Es la cantidad de energía (J = Joule).

C = Capacitancia (F = Faradios).

V = Tensión máxima, (Vdc.) que este soporta. (V)

Además, para el manejo de altas potencias, lo ideal es trabajar con las mayores tensiones que se pueda en los Ultracapacitores, de modo de evitar las pérdidas por la resistencia interna equivalente en serie (*ESR*). Estas dos condiciones hacen deseable que se conforme un paquete de Ultracapacitores de la más alta tensión que se pueda manejar.

Debido a que los Ultracapacitores tienen una enorme superficie molecular con la que logran sus altas capacidades, la distancia entre ánodo y cátodo es infinitesimal y por esto las tensiones internas que pueden manejar sin tener problemas de aislación son pequeñas. Esta característica limita la capacidad de almacenaje de energía $\frac{1}{2} C \cdot V^2$ y las tensiones con que se puede trabajar.

Prácticamente todos los modelos, incluso de distintas capacidades, tienen las mismas tensiones nominales y máximas, mencionadas anteriormente.

2.2.1.- CÁLCULO DE LA TENSION NOMINAL.

La tensión nominal del paquete de baterías es de 120 Vdc, y debido a las características de la topología, nunca se podrá cargar el paquete de ultracapacitores a una tensión mayor que la de las baterías. Por lo tanto, no tiene objeto instalar un banco de ultracapacitores con una tensión nominal mayor que el voltaje de las baterías, porque parte de su capacidad de almacenar energía siempre permanecerá inutilizada. Por otro lado, si la tensión máxima del paquete de ultracapacitores es despreciable o demasiado pequeña en relación a la de las baterías, se corre el riesgo de sobrecargar los primeros con su consiguiente destrucción. Entonces es deseable que la tensión máxima de los ultracapacitores sea similar a la tensión mínima de las baterías para tener la menor capacidad inutilizable posible. Las tensiones en el paquete de baterías durante una descarga normal pueden alcanzar aproximadamente los 140 Vdc., y su tensión nominal es de 5.4 V.

Por lo tanto para obtener un voltaje de 120 Vdc se optó por colocar ultracapacitores en serie para así sumar sus voltajes nominales y obtener el voltaje deseado de la siguiente manera:

Obtención del voltaje total

$$V_{\tau} = V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_n \quad (2.2)$$

Donde:

V_t = Voltaje total (Voltios).

V_1, V_2, V_n = Voltajes nominales (Voltios).

$$V_1 = V_2 = V_3 = \dots = V_n = 5.4 \text{ Vdc}$$

$$V_t = 120 \text{ Vdc}$$

Entonces:

De la obtención de números de supercapacitores en serie a utilizarse se obtiene la siguiente ecuación.

$$n = \frac{V_t}{V_{dc}} \quad (2.3)$$

$$n = \frac{120 \text{ Vdc}}{5.4 \text{ Vdc}}$$

$$n = 22.22$$

Donde:

n = # de ultracapacitores en serie.

V_t = Voltaje total (Voltios).

V_{dc} = Voltaje en corriente directa (Voltios).

Con una cantidad de 23 ultracondensadores se resguardan las tensiones máximas y no se mantiene capacidad inutilizada, ya que con su tensión nominal 5.4 V es posible llegar a 124.2 V.

2.2.2.- CÁLCULO DE LA CAPACITANCIA DE LOS ULTRACAPACITORES.

En cuanto a la capacidad de los ultracapacitores, lo óptimo es adquirir condensadores de capacidad similar a la que se necesita utilizar debido al alto costo de éstos. Sin embargo la capacidad óptima es uno de los puntos a estudiar en este proyecto de investigación, por lo que no es un dato que se conozca con precisión. Por otro lado, se puede calcular teóricamente la cantidad de energía que se necesitaría para llevar al vehículo a un estado de velocidad crucero. Esta cantidad de energía podría considerarse como la máxima cantidad que deberían entregar los ultracapacitores en un período de potencia de punta por sobre la energía media que entrega la batería. Este valor se calcula como la energía cinética que lleva el vehículo a su velocidad crucero, expresado en la siguiente ecuación.

Cálculo de la energía cinética que lleva el vehículo a su velocidad crucero.

$$E_{cinética}[J] = \frac{1}{2} \times M[Kg] \times V^2 \left[\frac{m^2}{s^2} \right] \quad (2.4)$$

Donde:

E = Energía cinética que lleva el vehículo (Joul)

M = Es la masa del vehículo $M = 1000$ (Kg).

V = Es su velocidad $\left[\frac{m^2}{s^2} \right]$

m = metros

s = segundos

Si la velocidad crucero del vehículo es de 60 Km/h y su masa de 1000 Kg, entonces el valor de la energía cinética a esta velocidad es:

$$E_{cinética} = \frac{1}{2} \times M \times V^2$$

Cálculo de la velocidad:

$$V = \frac{60 \text{ Km}}{h} \times \frac{1000 \text{ m}}{1 \text{ Km}} \times \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} = 16.66 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad (2.5)$$

Entonces:

$$E_{\text{cinética}} = \frac{1}{2} \times 1000 \text{ Kg} \times \left[16.66 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right]^2$$

$$E_{\text{cinética}} = 138.777,8 \text{ J}$$

Si se asume que la tensión nominal de los ultracapacitores (23 unidades en serie) es de 124.2 V, entonces la capacidad que debe tener el paquete para almacenar esa cantidad energía es:

$$E = \frac{1}{2} \times C \times V^2 \quad (2.6)$$

Donde:

- C capacitancia (Faradios).
- V voltaje nominal (Voltios).
- E energía cinética (Joul).

Obtención de la capacitancia

Entonces:

$$C = \frac{2 \times E}{V^2} \quad (2.7)$$

Donde:

$$V = 124.2 \text{ Vdc}$$

$$E = 138.777,8 \text{ J}$$

Entonces:

$$C = \frac{2 \times 138.777,8 J}{124,2^2 V_{dc}}$$

$$C = 17,99 F$$

C = capacitancia total del banco de ultracapacitores (F).

Y por lo tanto como su configuración es en serie cada ultracapacitor debe ser calculado con los ultracapacitores en serie.

2.2.3.- ULTRACAPACITORES EN SERIE.

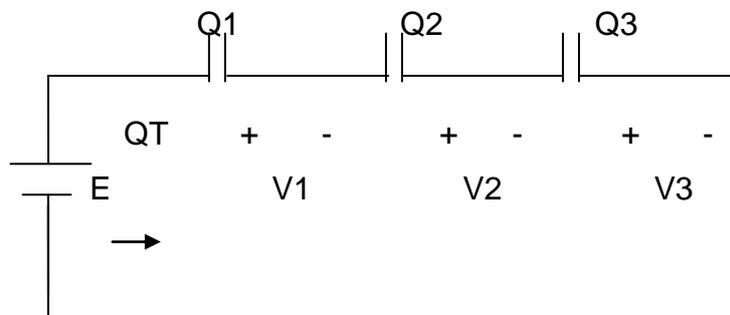
Para los capacitores en serie, la carga es la misma en todos ellos.

Obtención de la carga total

$$Q_T = Q_1 = Q_2 = Q_3 \quad (2.8)$$

Q = Carga

Al aplicar la ley de tensiones de Kirchoff en el lazo cerrado se tiene:



$$E = V_1 + V_2 + V_3 \quad (2.9)$$

Donde:

$$V_T = E \text{ Voltaje total (Voltios).}$$

$$V_1, V_2, V_3 = \text{ Voltajes nominales.}$$

Entonces:

$$Q = C \times V \text{ (carga = capacidad x voltaje)}$$

Donde:

Q = está en coulombios

C = está en faradios

V = está en voltios

Pero:

$$V = \frac{Q}{C} \quad (2.10)$$

De modo que:

Proporción de igualdad de las cargas con la capacitancia.

$$\frac{Q_T}{C_T} = \frac{Q_1}{C_1} + \frac{Q_2}{C_2} + \frac{Q_3}{C_3} \quad (2.11)$$

Al utilizar la ecuación donde la carga es la misma y dividir ambos lados entre Q se tiene:

$$\frac{1}{C_T} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} \quad (2.12)$$

Que es similar al modo en que se determina la resistencia total de un circuito resistivo en paralelo. La capacitancia total de dos capacitores en serie.

Capacitancia total de capacitores en serie.

$$C_T = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} \quad (2.13)$$

Entonces:

$$\frac{1}{C_T} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots + \frac{1}{C_{23}} \quad (2.14)$$

Donde:

$$C_1 = C_2 = C_3 = \dots = C_{23} = C$$

$$\frac{1}{C_T} = \frac{23}{C}$$

$$C = 23 \times C_T \quad (2.15)$$

$$C = 23 \times 17.99$$

$$C = 413.77 \text{ F}$$

C = valor de capacitancia para cada uno de los ultracapacitores.

Sin embargo, ellos no se utilizan a su plena capacidad, ya que esto involucra descargar el paquete desde sus 124,2 V iniciales a cero. Lo recomendado por los fabricantes es descargarlos sólo hasta un tercio de su tensión nominal, ya que en estas condiciones se aprovecha un 89% de su capacidad y descargarlos más es ineficiente.

Por las razones dadas anteriormente, se utiliza un banco de ultracapacitores que considera las limitaciones mencionadas. El ultracapacitor seleccionado fue uno que tiene una capacidad de 473.77 F, con características de volumen y peso que se ajustan a los requerimientos del vehículo.

Con esta capacidad se garantiza que se podrá almacenar la cantidad de energía que se necesita para acelerar al vehículo desde cero a su velocidad crucero y sobra capacidad para experimentar con distintas estrategias de manejo de energía.

Obteniendo un banco de ultracapacitores de 17,99 [F] y 124,2 Vdc. nominales. La figura 2.1 muestra, en un gráfico de Rogone (energía específica vs potencia específica), una comparación de los ultracapacitores con otras formas de almacenamiento de energía.

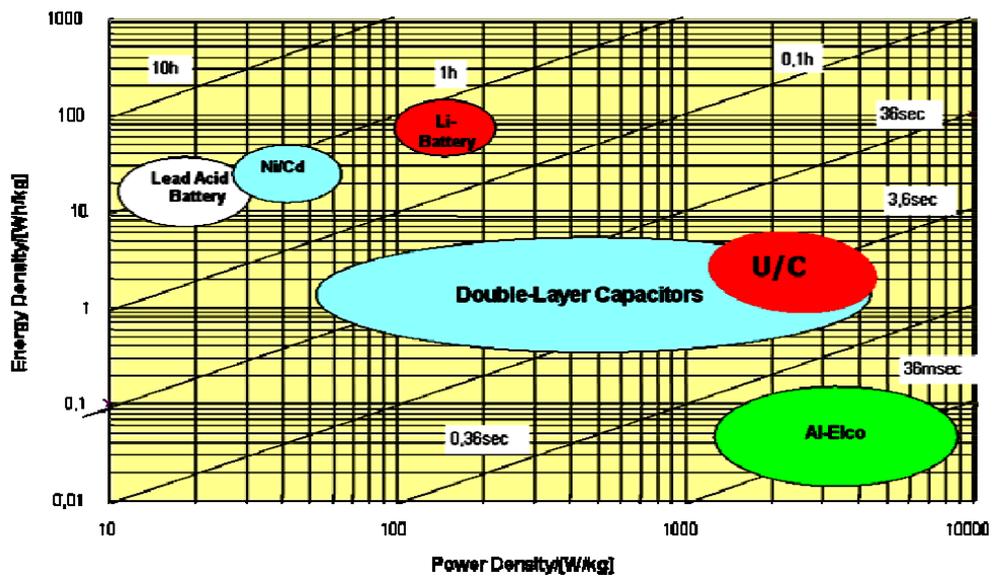


Figura 2.1 Gráfico de Rogone (energía específica vs potencia específica)

Se observa también una comparación de Ultracapacitores con otras fuentes de almacenamiento de Energía en la Tabla 2.1

CARACTERISTICA	BATERIA DE PLOMO ACIDO	ULTRACAPACITOR	CONDENSADOR ELECTROLITICO
Tiempo de carga	1 a 5 horas	0.3 a 30 s.	10^{-3} a 10^{-6} s.
Tiempo de descarga	0.3 a 3 horas	0.3 a 30 s.	10^{-3} a 10^{-6} s.
Energía (W/Kg)	10 a 40	1 a 10	< 0.1
Ciclos de Carga y Descarga	1,000	>500,000	>500,000
Potencia Especificada	< 250	<10,000	<100,000
Eficiencia de Carga y Descarga	0.7 a 0.85	0.85 a 0.98	>0.95

Tabla 2.1 Comparación de Ultracapacitores con otras fuentes de almacenamiento de Energía

Los ultracapacitores son muy tolerantes con respecto al método de recarga. Todos los métodos de recarga están permitidos, siempre y cuando el voltaje máximo especificado no sea sobrepasado.

Las características mencionadas hacen que hoy en día los ultracapacitores sean una de las mejores alternativas de fuente de almacenamiento secundaria de energía (Ver Anexo B).

2.2.4.- CARGA Y DESCARGA DE LOS ULTRACAPACITORES.

Cuando al ultracapacitor le aplicamos una diferencia de potencial este se carga, ya que al no estar las dos placas metálicas unidas entre sí directamente, sino por medio de una batería o pila, cada una de las placas se cargará con electricidad positiva o negativa, debido a que una de las placas cederá electrones para que la otra los gane.

2.2.4.1.- Carga de los Ultracapacitores.

Las armaduras de un ultracapacitor cuando se conectan a los polos de un generador de cc, adquieren cargas iguales y de signo contrario, diciéndose entonces que el ultracapacitor está cargado. La carga se debe a un flujo de electrones que va hacia a una de las placas desde la otra, dando por resultado una placa con carga negativa y otra con carga positiva. Este proceso no es instantáneo sino que se va realizando paulativamente, dependiendo la mayor o menor rapidez del mismo de la capacidad del ultracapacitor y de la resistencia del circuito.

2.2.4.2.- Descarga de los Ultracapacitores.

Se lleva a cabo cuando un flujo de electrones desde la placa de un ultracapacitor con carga negativa va hacia la placa con carga positiva, eliminando así las cargas en las placas.

Normalmente en un circuito, los ultracapacitores se cargarán y se descargarán a través de resistencias. La carga y descarga de un ultracapacitor a través de resistencias se produce según una constante de tiempo y dependiendo de la resistencia y de corriente que le administremos según $T = R \cdot C$.

Siendo T el tiempo, R el valor, R el valor de la resistencia en Ohmios y C el valor del ultracapacitor en Faradios.

En una constante de tiempo K el ultracapacitor se carga aproximadamente un 63%, en la segunda constante de tiempo se carga otro 63%, y así sucesivamente,

se considera que el ultracapacitor está totalmente cargado en 5 constantes de tiempo. El proceso de descarga es similar al de carga.

Las corrientes de carga y descarga de un Ultracapacitor comienzan con un valor máximo y van declinando a cero a medida que el Ultracapacitor se carga del todo o se descarga. En el caso del Ultracapacitor en carga, las placas descargadas ofrecen poca oposición a la corriente de carga al principio, pero a medida que se van cargando ofrecen más y más oposición. Reduciendo el flujo de corriente.

Del mismo modo, la corriente de descarga es grande al iniciarse la descarga porque la tensión del Ultracapacitor cargado es alta, pero a medida que se produce la descarga, la tensión del Ultracapacitor cae, dando como resultado un flujo de corriente menor.

Debido a que las corrientes de carga y descarga son más grandes en la iniciación de la carga y de la descarga del ultracapacitor, el promedio de corriente es más alto si la polaridad se invierte rápidamente manteniendo la circulación de la corriente en valores altos.

$$T_{UC} = R C 5 \quad (2.16)$$

Donde:

T_{UC} = tiempo ultracapacitor (segundos)

R = resistencia (ohm)

C = *Capacitancia* (Faradios)

K = 5

En nuestro caso encontramos el valor de la resistencia utilizando los valores obtenidos en el dimensionamiento así con un τ_{uc} de 3 segundos.

$$R = \frac{\tau_{uc}}{5C} \quad (2.17)$$

$$T_{uc} = 3 \text{ S}$$

$$C = 18 \text{ F}$$

$$K = 5$$

$$V = 124.2 \text{ V}$$

$$R = \text{Valor a calcularse (OHM)}$$

$$R = \frac{3 \text{ s}}{5 \times [18 \text{ F}]}$$

$$R = 0.033 \text{ } [\Omega]$$

R = Resistencia de potencia

CAPÍTULO III

III.- DISEÑO DE SOFTWARE Y HARDWARE

En este capítulo se va presentar el diseño de software y hardware para la aplicación de Ultracapacitores en el prototipo del vehículo híbrido necesario para la elaboración del proyecto, los mismos que servirán para la implementación en dicho prototipo.

3.1.- ESPECIFICACIÓN DE REQUISITOS DEL SISTEMA.

El trabajo de investigación comenzó con el Ing. Diego Egas asesor del Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, quien inicio la construcción del primer vehículo híbrido armado en el Ecuador con tecnología de punta, y con aportes financieros del MINISTERIO DE ELECTRICIDAD Y ENERGÍA RENOVABLE del Ecuador conjuntamente con la colaboración de alumnos de la ESPE sede Latacunga se desarrolla dicho proyecto.

El vehículo cuenta con un motor de 1HP para movilizar el vehículo y un generador de 2HP para el cargado de las baterías. Como unidad de almacenamiento de energía posee 10 baterías de 12 V / 105 Ah cada una. Posee dos variadores de frecuencia con los cuales se controla la velocidad del motor y del generador. Un cargador de baterías de 360 Vac de entrada y 120 Vdc. de salida. Un inversor DC/AC de 120 Vdc. a 220 Vac de donde se alimentara el vehículo híbrido.

La fuente de almacenamiento del sistema auxiliar de energía que es un requerimiento del proyecto para optimizar el consumo de energía de las baterías está formada por un banco de Ultracapacitores, cuyo voltaje nominal es 120 Vdc., y capacidad total igual a 17,99 Faradios.

En la actualidad, se puede encontrar dichos ultracapacitores con diferentes voltajes nominales. Para obtener mayores voltajes se debe conectar módulos de

capacitores en serie. Para el caso particular de nuestro vehículo híbrido, se han considerado ultracapacitores de 5.4 Vd. conectados en serie 23 Ultracapacitores de 473,77 (F).

Las fuentes de energía tanto principal como auxiliar estará controlado por medio de un PLC el cual será el encargado de realizar el circuito de mando de la carga y descarga del banco de baterías y del banco de Ultracapacitores según los requerimientos del vehículo híbrido.

3.2.- DIAGRAMA DE BLOQUES DEL SISTEMA

El diagrama de bloques del sistema nos muestra la forma como está conectado el sistema y su funcionamiento (ver **Figura. 3.6** y Anexo C)

Banco de Baterías B: Las baterías sirven para el almacenamiento de la energía y se cargan y descargan lentamente. Las baterías entregan la energía almacenada, como un pulso eléctrico poderoso, para mover los motores.



Figura. 3.1 Banco de Baterías

Inversor I: El inversor permite transformar el voltaje continuo de las baterías en voltaje alterno trifásico activar al variador de frecuencia.



Figura. 3.2 Inversor de Corriente 120 VDC – 220 VAC

Variador de frecuencia V: Sirve para ajustar la velocidad del motor eléctrico a través de una señal analógica, que proviene de un sensor.



Figura. 3.3 Variador de frecuencia VFD-L Delta

Circuito Principal CP: El circuito principal proporciona energía al cargador de baterías y también se alimenta de la energía suministrada por el variador de frecuencia.

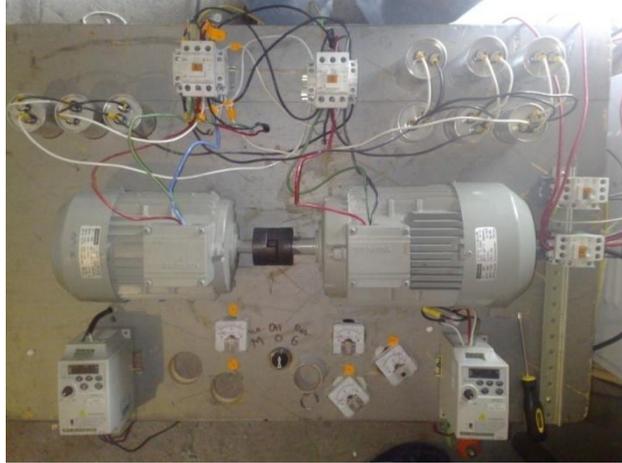


Figura. 3.4 Variador de frecuencia VFD-L Delta

Cargador de Baterías CB: El cargador recibe la energía que proviene del banco de baterías y del banco de ultracapacitores y carga las baterías que serán ocupadas en proceso.



Figura. 3.5 Cargador de Baterías

Banco de Ultracapacitores BU: El banco de ultracapacitores sirve para el almacenamiento de energía y cargar las baterías ayudando así a alargar la vida útil de las mismas.

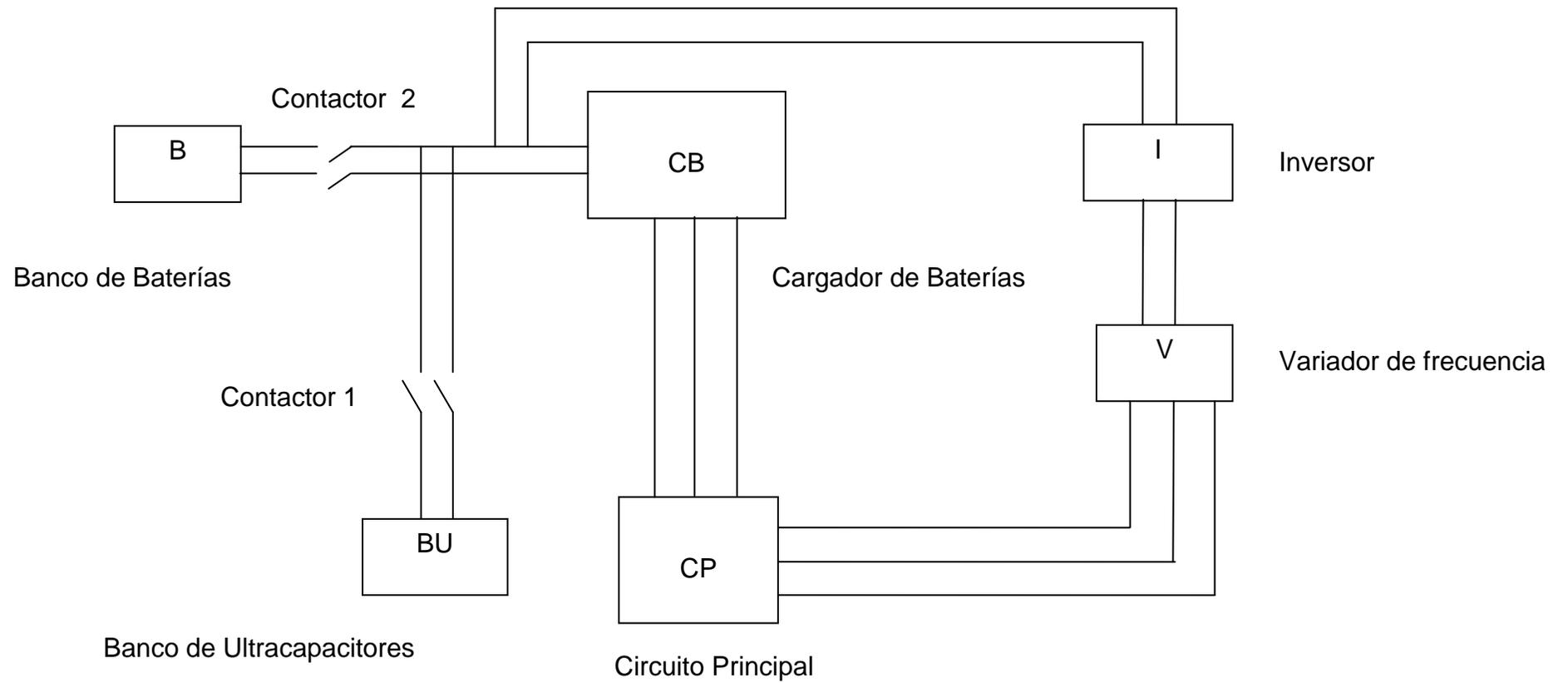


Figura. 3.6 Diagrama de bloques del sistema

3.3.- DIAGRAMA DE POTENCIA DEL SISTEMA.

Es aquel que está formado por dos motores uno de 1HP que hace de motor principal del vehículo y el otro de 2HP el cual hace de generador para el cargado del banco de baterías y el de ultracapacitores los cuales están controlados por dos contactores individuales los mismos que se encuentran controlados por el acelerador de efecto Hall. Estos a su vez cargan dos bancos de capacitores los cuales nos sirven el uno para la alimentación del cargador de baterías y el otro para simular las diferentes marchas del vehículo (ver **Figura. 3.7** y Anexo C).

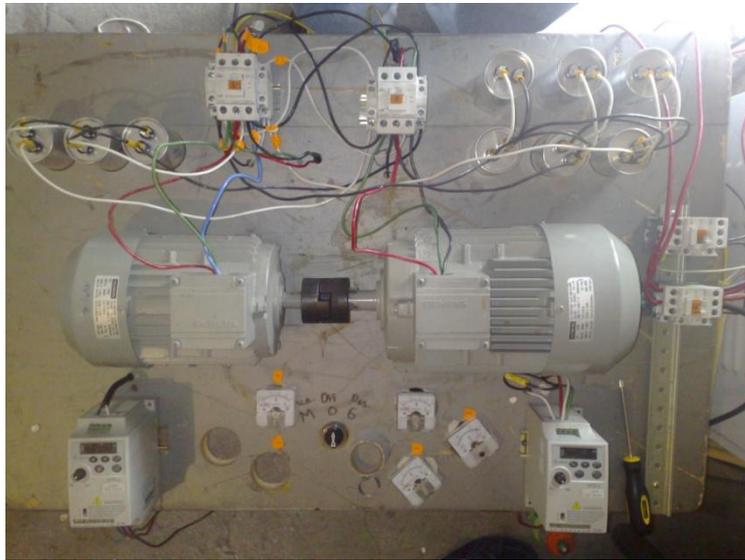


Figura. 3.7 Potencia del sistema

3.4.- DISEÑO DEL SOFTWARE DE CONTROL.

Este está implementado en el PLC el cual está controlado por dos pulsos de entrada, los cuales están dado por los contactores del motor y del generador los mismos que son las entradas X000 y X001 respectivamente en el módulo del PLC, y estos sirven para el cumplimiento de fines específicos requeridos del control de sus salidas, siendo estas Y001 para el control del banco de baterías y Y000 para el banco de ultracapacitores (ver Anexo C).

3.5.- SELECCIÓN DE COMPONENTES.

En el estudio y dimensionamiento de los ultracapacitores es importante tener en cuenta los diferentes parámetros de dichos dispositivos, para la correcta selección de los mismos que cumplan con las necesidades y aplicaciones que necesita el vehículo híbrido.

3.5.1.- SELECCIÓN DE ULTRACAPACITORES

Los ultracapacitores seleccionados son los PBL 15.0/5.4 de la fábrica TECATE GROUP que es la parte fundamental del estudio y dimensionamiento del mismo para la aplicación en dicho proyecto, ya que estos permiten entregar la suficiente energía para el arranque de un motor asíncrono de 2HP con la suficiente energía y voltaje que el prototipo lo requiere (ver **Figura. 3.8.**)



Figura. 3.8 Ultracapacitores

CAPÍTULO IV

IV.-PRUEBAS EXPERIMENTALES Y ANÁLISIS ECONÓMICO.

4.1.- PRUEBAS EXPERIMENTALES.

El análisis de pruebas experimentales, nos permite conocer y determinar las deficiencias y los logros que se cumplieron al momento de la realización del estudio y el dimensionamiento de los ultracapacitores.

Las pruebas de corrientes que se tomaron se presentan en la tabla.

FUNCIONAMIENTO COMO GENERADOR				
Frecuencia (Hz)	$I_{in\ pico}$ Baterías (A)	$I_{in\ estabilizada}$ Baterías (A)	$I_{in\ pico}$ Cargador (A)	$I_{in\ estabilizada}$ Cargador (A)
0	0	0	0	0
10	0	0	0	0
20	0	0	0	0
30	0	0	0.03	0
40	0.06	0	0.06	0
45	0.30	0	0.14	0
50	2.24	2.04	1.1	0.8
55	3.89	2.44	1.17	1
60	4.27	2.44	1.80	1

Tabla 3.1 Corrientes trabajando como generador

NOTA:

EL cargador empieza a trabajar desde los 31 Hz. no de forma adecuada, pero ya genera una pequeña corriente que sirve para la carga/generación de las baterías.

FUNCIONAMIENTO COMO MOTOR		
Frecuencia (Hz)	I_{out} Baterías (A)	I_{in} Motor (A)
0	0.3	0
5	2.25	2.35
10	2.35	2.78
15	2.39	2.68
20	2.32	2.48
25	2.40	2.36
30	3.17	2.22
35	3.47	2.20
40	5.17	2.28
45	7.80	2.54
48	10.22	2.77
50	11.42	2.78
55	13.58	2.78
60	16.68	2.78

Tabla 3.2 Corrientes trabajando como motor

4.2.- FORMAS DE ONDAS.

4.2.1.- FORMA DE ONDA DE CARGA DEL BANCO DE ULTRACAPACITORES.

La forma de onda al momento que los ultracapacitores se cargan es la que se indica en la **Figura. 4.1.**

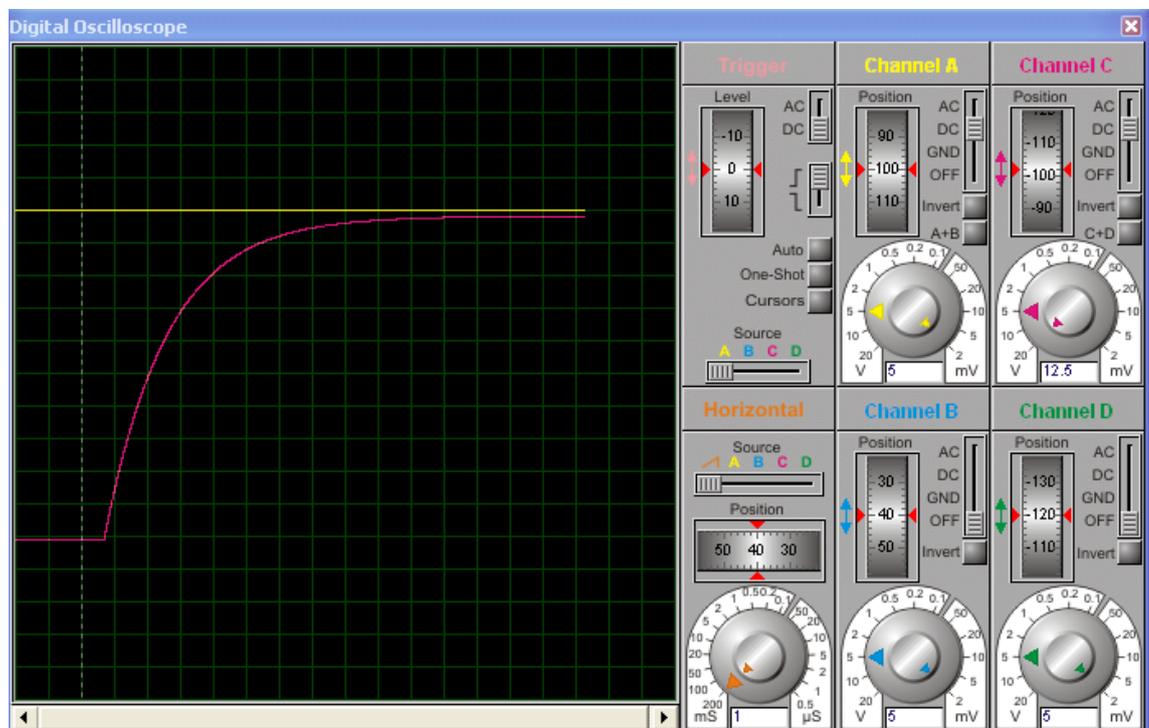


Figura. 4.1. Carga de los ultracapacitores

4.2.2.- FORMA DE ONDA DE LA DESCARGA DEL BANCO DE ULTRACAPACITORES.

La forma de onda al momento que los ultracapacitores se descargan es la que se indica en la **Figura. 4.2**.

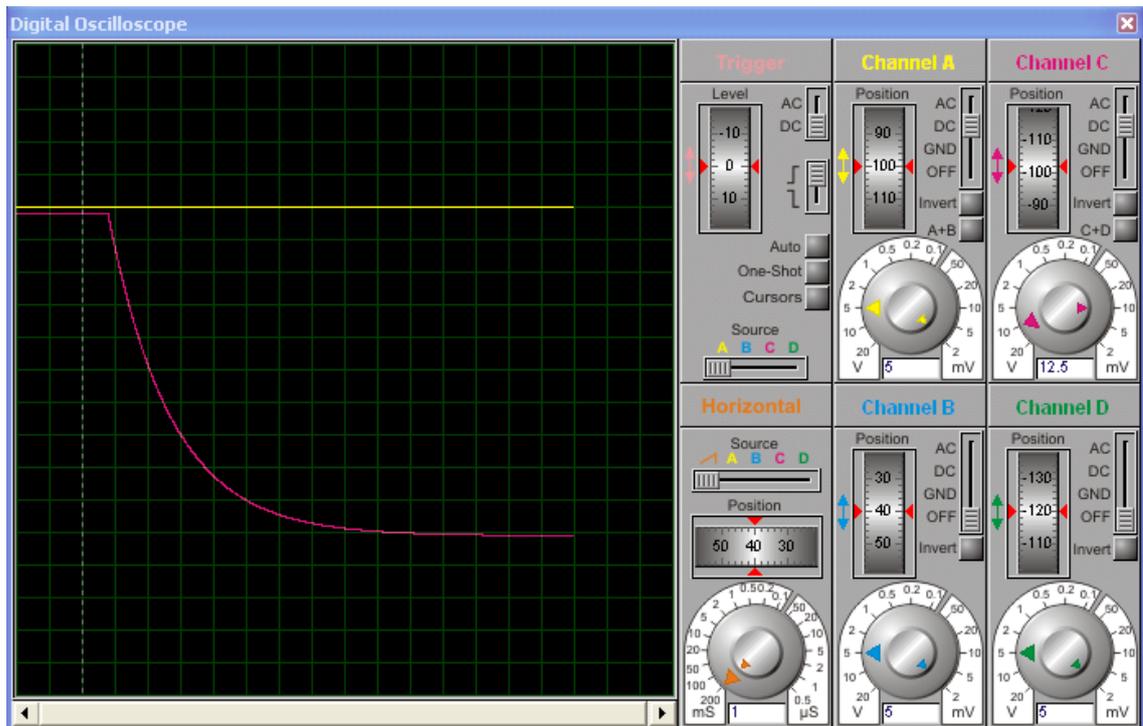


Figura. 4.2. Descarga de los ultracapacitores

4.2.3.- FORMA DE ONDA DE CARGA Y DESCARGA DEL BANCO DE ULTRACAPACITORES.

La forma de onda al momento que los ultracapacitores se carga y descargan es la que se indica en la **Figura. 4.3.**

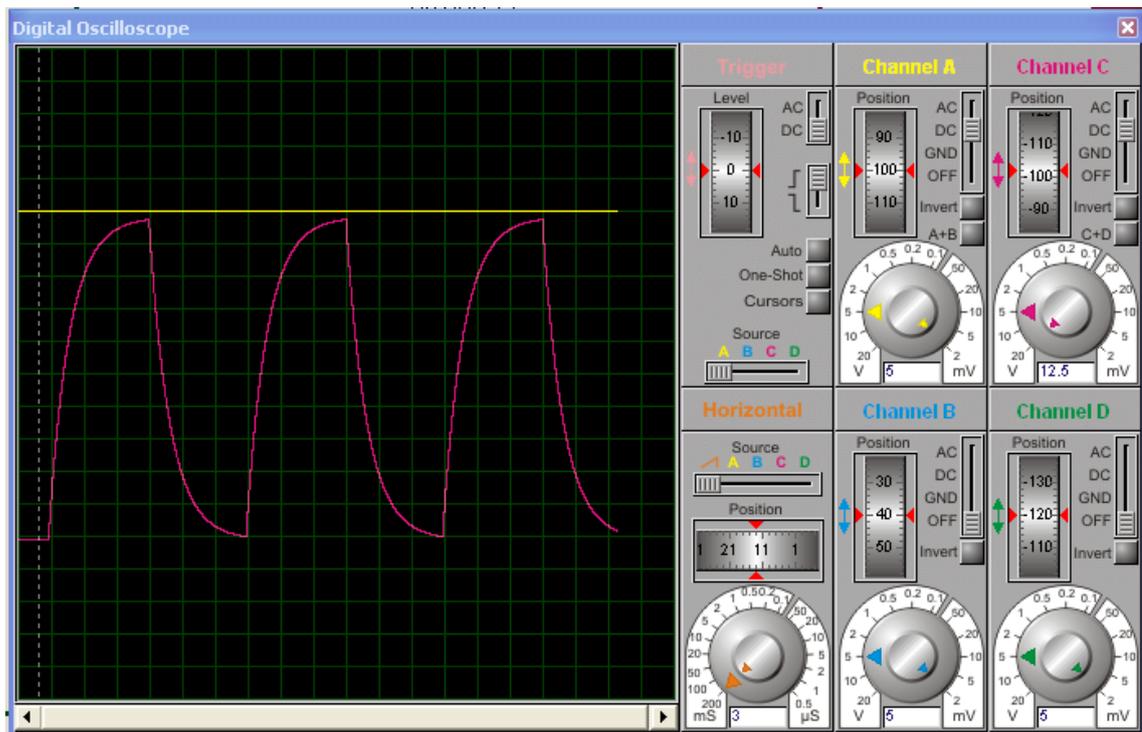


Figura. 4.3. Carga y descarga de los ultracapacitores

4.3.- ALCANCES Y LIMITACIONES.

Una vez realizado estudio, dimensionamiento y aplicaciones para el uso de ultracapacitores en el arranque de un motor asíncrono de 2hp, como respaldo al banco de baterías del prototipo de un vehículo híbrido realizado por el Ministerio de Electricidad y Energía Renovable se han notado las siguientes limitaciones:

- El supercapacitor es incapaz de utilizar el espectro de energía completo, dependiendo del uso no toda la energía está disponible.
- La densidad baja de energía lleva a cabo típicamente un quinto a un décimo de energía de una batería electroquímica.
- Las células tienen bajas tensiones, es por eso que las conexiones seriales son necesarias para obtener voltajes más altos.
- Se requiere balancear el voltaje si más de tres ultracapacitores están conectados en serie.
- Para cambiar el funcionamiento o la estructura del programa, es necesario tener el software que el fabricante del PLC especifica.
- No se puede trabajar como motor y generador al mismo tiempo ya que las corrientes se elevan al realizar cambios rápidos y dañan al inversor.
- Se puede encender solo una carga cuando la frecuencia sea mayor o igual a 30 Hz, si encendemos a más de 40 Hz ya sobrepasa la corriente que se puede ingresar al inversor.
- Las dos cargas se pueden encender solo cuando la frecuencia sea mayor o igual a 35 Hz, a más de este valor ya sobrepasa la corriente que puede ingresar al inversor.
- Las tres cargas se pueden encenderse solo cuando la frecuencia sea mayor o igual a 45 Hz, a más de este valor ya sobrepasa la corriente que puede ingresar al inversor

En el estudio realizado en el prototipo se han establecido los siguientes alcances:

- Actualmente se están investigando una variedad de tecnologías prometedoras con la idea de aumentar las densidades de energía y eliminar los componentes más tóxicos.
- El alcance de este estudio es presentar el diseño de una nueva estrategia, en la cual las consideraciones de eficiencia en la operación del sistema sean consideradas.
- Los ultracapacitores son utilizados para alargar el tiempo de vida útil de las baterías ya que estos almacenan energía.
- Los ultracapacitores al no depender de reacciones químicas (como las baterías) pueden ser cargados y descargados rápidamente, El ultracapacitor entrega la energía almacenada en él, como un pulso eléctrico poderoso.
- Los ultracapacitores es una tecnología renovable y sobre todo amigable con el medio ambiente.
- Menor esfuerzo de las baterías.

4.4.- ANÁLISIS TÉCNICO – ECONÓMICO

Para el estudio y dimensionamiento de los ultracapacitores se optó por varios tipos de los mismos que se hacen referencia en la Tabla 3.1.

DESCRIPCIÓN	CANT.	UNITARIO	TOTAL
TPLS-200/30X50F	55	18,00	990,00
PBL-15.0/5.4	35	27,50	962,50
BCAP0140-E250	60	26,00	1560,00
BPAK0058-E015-B1 (Energy)	12	204,00	2448,00

Tabla 3.1 Comparación de precios de los Ultracapacitores.

NOTA:

Hemos visto que los más aconsejables a comprar son los PBL-15.0/5.4 por precio ya que todos nos entregan la misma energía necesaria para el perfecto funcionamiento del vehículo híbrido.

CAPÍTULO V

V.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Al finalizar el desarrollo del presente “ESTUDIO, DIMENSIONAMIENTO Y APLICACIONES PARA EL USO DE ULTRACAPACITORES EN EL ARRANQUE DE UN MOTOR ASÍNCRONO DE 2HP, COMO RESPALDO AL BANCO DE BATERÍAS DEL PROTOTIPO DE UN VEHÍCULO HÍBRIDO REALIZADO POR EL MINISTERIO DE ELECTRICIDAD Y ENERGÍA RENOVABLE”, se pone a consideración las siguientes conclusiones y recomendaciones obtenidas durante el estudio, el dimensionamiento, las experiencias y pruebas realizadas en esta investigación, a la espera que en un futuro sirvan como ayuda para la realización en estudios similares.

5.1.- CONCLUSIONES.

- Al término del proyecto se logró cumplir con el objetivo general que fue realización del estudio, el dimensionamiento y las aplicaciones de ultracapacitores en el arranque de un motor asíncrono de 2hp, como respaldo al banco de baterías del prototipo de un vehículo híbrido realizado por el Ministerio De Electricidad Y Energía Renovable.
- Al realizar el estudio del comportamiento de los ultracapacitores en la aplicación del funcionamiento del motor asíncrono de 2HP de un vehículo híbrido constatamos que estos sirven para eliminar las demandas de energía instantáneas colocadas sobre la batería y esto a su vez amplía a la batería el tiempo de vida.
- El principal objetivo de los Ultracapacitores es apoyar a las baterías durante las aceleraciones y frenado del vehículo, sin embargo el sistema de control debe predecir también la necesidad de energía antes de aceleraciones y dejar espacio para el almacenamiento de

energía antes de cada frenada, para este se debe monitorear la velocidad del vehículo, la corriente de carga y el estado de carga de los ultracapacitores.

- Los Ultracapacitores se los emplea en los vehículos híbridos para aportar un empuje extra en la aceleración cuando circulan y cuando suben cuestas.
- Al observar el tiempo de carga de los ultracapacitores para el funcionamiento del vehículo híbrido se observó que son capaces de cargarse por completo en apenas unos minutos, ofreciendo capacidades superiores a las baterías convencionales.
- Los supercapacitores pueden cargarse y descargarse cientos de miles de ciclos sin perder rendimiento, sin apenas degradación de los materiales, al contrario de una batería convencional de plomo y ácido que no suele llegar en óptimas condiciones al millar de ciclos de recarga.
- Comprobamos que por su tamaño y peso reducido, los EDLCs, se están adaptando para almacenar electricidad en vehículos eléctricos, minimizando el desgaste de las baterías.
- Las baterías liberan la energía de forma lenta y durante un período de tiempo más largo, mientras que los ultracondensadores liberan su carga muy rápidamente. En vehículos híbridos, estas explosiones energéticas vendrían muy bien para superar obstáculos como las cuestas empinadas.
- El almacenamiento de electricidad es la tecnología de almacenamiento de energía más atractiva, pero continúa siendo un importante estudio a nivel tecnológico, un descubrimiento en esta área tendría un impacto fundamental en todo el mundo. En primer lugar, disminuiría espectacularmente las considerables pérdidas de energía de las fuentes de energía clásicas (por ejemplo, electricidad fuera de horas

punta) y en segundo lugar, daría un impulso a las energías renovables, en particular las fuentes intermitentes como el sol y el viento.

- El variador de frecuencia VDF – DELTA puede ser utilizado como inversor si suspendemos la parte de entrada de corriente alterna y ocupamos la parte del bus de continua para transformar la corriente de la batería de DC a AC, de esta forma ya no se tendría la necesidad de usar un inversor.
- Se colocó contactores cruzados en el cable que sirve tanto para la alimentación del motor como para recargar las baterías con el fin aislar las corrientes que salen de las baterías y las que llegan a ellas evitando así daños en los elementos que componen el prototipo.
- La implementación de este proyecto fortaleció nuestros conocimientos acerca de cómo puede ser usada y almacenada la energía renovable en los vehículos híbridos.

5.2.- RECOMENDACIONES.

- Para correcto dimensionamiento de los ultracapacitores para el arranque del motor asíncrono de 2hp, como respaldo al banco de baterías del prototipo del vehículo híbrido, se recomienda seguir el proceso de diseño de software y hardware detallado en el capítulo 2.
- Antes de la instalación y puesta en marcha de los Ultracapacitores que comprenden el prototipo, lo aconsejable es leer los manuales de especificaciones técnicas de los elementos y materiales a utilizarse.
- Los Ultracapacitores son muy tolerantes con respecto al método de recarga, todos estos métodos son permitidos, siempre y cuando el voltaje máximo especificado no sea sobrepasado.
- Para seleccionar la cantidad de ultracapacitores a utilizarse se consideraron varios aspectos, los más importantes son la capacidad, la tensión nominal y máxima, la resistencia interna y las dimensiones y peso de cada unidad. Estos datos se evaluaron considerando las limitaciones del vehículo, las tensiones con que se trabaja y la capacidad que se requiere para lograr el objetivo planteado para el equipo.
- El proceso de selección y dimensionamiento del PLC se recomienda como primer paso determinar el, tipo de entradas y salidas además la conexión con módulos adicionales.
- En el caso de futuras modificaciones al nivel de hardware o software, se recomienda documentar correctamente y actualizar los planos correspondientes.
- Se debe redimensionar el banco de capacitores utilizados para convertir al motor en generador, para que no funcione como una fuente extra almacenadora de energía, sino que sirva únicamente

para la conversión de motor asíncrono en síncrono.

- Se puede colocar un banco de resistencias en la salida de las baterías para limitar la corriente que entra al inversor, siempre y cuando no se necesite altas corrientes para manejar el motor.
- El inversor está dimensionado para soportar una corriente máxima de 10 A, y como al momento de realizar cambios rápidos las corrientes se elevan es necesario que se adquiriera un inversor más robusto con más capacidad corriente.
- Por el momento el prototipo consta de dos variadores de frecuencia, uno para controlar el motor y otro para controlar el generador; el variador que controla al generador debe ser remplazado por un rueda de inercia para ayudar a evita el error OC y disminuir costos.
- Para que no existan cruces de corrientes en la línea por donde se alimenta y se carga se debería a mas de aislar con contactores, tener un banco de alimentación y otro banco de carga con un sensor de corriente de modo que cuando se alimente al sistema se haga desde un banco y se cargue a otro, para así cuando el sensor indique descarga del banco de alimentación se intercambien y sea ahora el banco de de carga el de alimentación y viceversa.

BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA

- MERINO, José. Arranque de motores asíncronos.
- CAÑA, Marco. Automatización de los circuitos del control de mando de los motores de corriente alterna con el PLC, ESPE-L, Latacunga 2002.
- CÁRDENAS, Guillermo. Diseño y construcción de un inversor DC/AC, ESPE-L, Latacunga 1989.

WEBGRAFÍA

www.ruelsa.com/cime/boletin/indice.html

<https://www.u-cursos.cl/ingenieria/2007/1/el31a/1/.../121552>

www.technologyreview.com/es/read_article.aspx?id=693

www.quiminet.com.mx/pr5/ultracapacitores.htm

www.lanacion.com.ar/nota.asp?nota_id=1157081

www.quiminet.com/pr5/ultracapacitores.htm

www.pentacom.com.ar/.../ultracapacitores-para-autos-electricos-02-08-09.htm

www.engadgetdr.com/.../carros-electricos-con-ultracapacitores.html

www.portaldenoticias.com/tag/ultracapacitores

[www.autoalias.com/tag/ultracapacitores/ - española](http://www.autoalias.com/tag/ultracapacitores/)

<http://ipts.jrc.ec.europa.eu/home/report/spanish/articles/vol36/ene1s366.htm>

<http://www.afinidadelectrica.com.ar/articulo.php?idarticulo=168>

<http://www.afinidadelectrica.com.ar/articulo.php?idarticulo=54>

http://www.funken.com.mx/activosfunken_base/funkenat-02.pdf

http://html.rincondelvago.com/capacitores_1.html

[http://e-articles.info/t/i/987/l/es/ ventaja y desventaja](http://e-articles.info/t/i/987/l/es/)

<http://www.materiales-sam.org.ar/sitio/biblioteca/bariloche/trabajos/a10/1004.pdf>

<http://www.cps.unizar.es/~transp/dahe.html>

www.tuveras.com/maquinaasincrona/motorasincrono1.htm

www.monografias.com › tecnología

www.tesisenxarxa.net/tdx.../index_cs.html

www.forosdeelectronica.com/.../sincronismo-dos-motores-asincronos-disposicion-maestro-esclavo-19934

www.app.etsit.upm.es/.../arranque%20motor%20asinc%20trifas.pdf

www.nichese.com/asincrono.html

www.elprisma.com/apuntes/curso.asp?id=12953

www.die.eis.uva.es/~daniel/docencia/te/motores_induccion.pdf

www.wikipedia.org/wiki/variador_de_frecuencia

www.directindustry.es/.../variador-frecuencia-61017.html

www.solomantenimiento.com/.../motores-electricos-variadores-frecuencia.htm

www.todoexpertos.com

www.directindustry.es/.../convertidor-dc-ac-73104.html

www.deep-ing.com.ar/.../inversores_de_tension_dc_ac.html

www.dara.es/ener/inversores.htm

www.alcuaderno.com/.../inversor-ac-dc/tutiendasolar.html

www.electronicafacil.net/.../cargadores-baterias.html

www.tecnocem.com/cargadores-baterias-mantenimiento.htm

www.lightinthebox.com/.../multi-usb-pinguino-estilo-cargador-de-baterias-de-la-funcion--shb597-_p64751.html

www.tecnocem.com/cargadores-baterias.htm

www.sc.ehu.es/sbweb/webcentro/.../plc/plc.htm

www.infoplcn.net/

www.plt.citic.org.ec/index.php?option

www.wikilearning.com/...plc...plc/18471-1

www.sc.ehu.es/sbweb/webcentro/.../plc/plc.htm

www.ekoplcn.net/que-es-plc/index.htm

ANEXOS

ANEXO A

GLOSARIO DE TÉRMINOS

GLOSARIO.

Analógico	En electrónica y en informática, se refiere a una señal o dato que varía en forma continua, como por ejemplo una tensión o una temperatura
Automatización	Aplicación de máquinas o de procedimientos automáticos a un proceso o a una industria
Campo magnético	Distribución de la energía magnética en el espacio, creado por un imán o por el flujo de una corriente
Corriente Eléctrica	Es el flujo de electricidad que pasa por un material conductor; siendo su unidad de medida el amperio. y se representan por la letra I.
Digital	Que utiliza o contiene información codificada con un código binario: <i>telefonía digital; emisión digital; reloj digital</i>
EDLCs	Conocidos como supercapacitores, capacitores electroquímicos de doble capa
Electromecánico	Referido a un dispositivo o a un aparato mecánico, que son accionados o controlado por medio de corrientes eléctricas
Energía Remanente	Es la dependencia condiciones de parada de una máquina
ESR	Resistencia interna equivalente en serie
EV	Vehículos Eléctricos
Flywheels	Conocido como volante sirve para mantener la inercia de rotación

Freno Regenerativo	Al desacelerar o frenar, el motor eléctrico actúa como generador, recuperando la energía cinética desde las ruedas, convirtiéndola en electricidad que puede ser guardada en la batería
HEV	Vehículos Híbridos
ICPT	Sistemas de transferencia de energía acoplados por inducción
PID	Proporcional integral derivativo
PLC	Controlador Lógico Programable
Pseudocapacitancia	Se denomina así a causa de su dependencia de la frecuencia.
RFID	Sistemas de identificación mediante Radio Frecuencia
RPM	Revoluciones por minuto
UPS	Sistema de energía ininterrumpible
VFD	Variador de frecuencia
VVVF	Variador de voltaje variador de frecuencia

ANEXO B

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL ULTRACAPACITOR PBL 15,0/5,4

Tecate Group
ELECTRIC DOUBLE LAYER CAPACITOR
TYPE PBL

FEATURES

- Small size and low-resistance
- Quick charge & discharge
- RoHS compliant
- UL recognized

APPLICATIONS

- Pulse power demand
- Hybrid battery packs
- Portable Electronic Devices

PART NUMBERING

Part Number Example: PBL-5.0/5.4				
PBL	-	5.0	/	5.4
Type		Capacitance Code (F)		Module Voltage

SPECIFICATIONS

Item	Performance	
Operating temperature range	-40°C ~ +65°C	
Rated voltage	5.4 VDC	
Capacitance	0.25 to 15.0 F	
Capacitance tolerance	±20%	
Characteristics at low temperature	Capacitance Change	Within ±30% of initial measured value at +25°C(-40°C to +65°C)
	Internal resistance	Within 4 times of initial measured value at +25°C(at -40°C)
Endurance	After 1,000 hours application of 5.4V. DC at +65°C, the capacitor shall meet the following limits.	
	Capacitance Change	Within ±30% of initial measured value
	Internal resistance	Within 2 times of initial specified value
Shelf Life	After 1,000 hours storage at +70°C without load, the capacitor shall meet the specified limits for Endurance.	
Humidity Test	After 500 hour storage at 40±2°C,90 to 95% R.H, the capacitor shall meet the specified limits for Endurance.	

© Tecate Products Phone: (519) 395-8750 Fax: (519) 395-8757 Web Site: www.tecategroup.com
 Specifications and dimensions are subject to change without notice.
 Please confirm technical specifications with Tecate Group before purchasing.

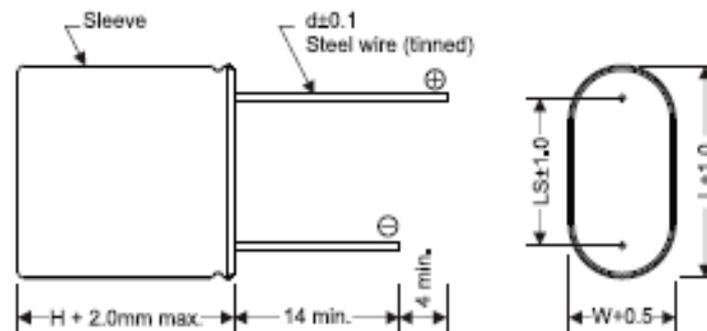
Tecate Products

2006/05/27 Rev08

DIMENSIONS

POWERBURST[®]
ULTRACAPACITORS

Units = mm



STANDARD PRODUCTS

Part Numbers	CAP (F)	ESR/DC (m ohm)	ESR/AC 1 kHz (m ohm)	Leakage Current (mA/72 hrs)	L	W	H	d	LS
PBL-0.25/5.4	0.25	3000	1400	0.08	18.0mm	9.0mm	16.0mm	0.6mm	12.0mm
PBL-0.5/5.4	0.5	1100	500	0.08	18.0mm	9.0mm	16.0mm	0.6mm	12.0mm
PBL-0.75/5.4	0.75	800	400	0.08	18.0mm	9.0mm	17.0mm	0.6mm	12.0mm
PBL-1.0/5.4	1	700	300	0.09	18.0mm	9.0mm	19.0mm	0.6mm	12.0mm
PBL-1.65/5.4	1.65	600	240	0.18	21.0mm	10.5mm	23.0mm	0.6mm	15.4mm
PBL-2.0/5.4	2	500	300	0.19	21.0mm	10.5mm	23.0mm	0.6mm	15.4mm
PBL-2.5/5.4	2.5	300	180	0.19	21.0mm	10.5mm	23.0mm	0.6mm	15.4mm
PBL-3.0/5.4	3	200	180	0.19	21.0mm	10.5mm	23.0mm	0.6mm	15.4mm
PBL-4.0/5.4	4	160	140	0.19	21.0mm	10.5mm	28.0mm	0.6mm	15.4mm
PBL-5.0/5.4	5	140	100	0.20	21.0mm	10.5mm	33.0mm	0.6mm	15.4mm
PBL-11/5.4	11	70	50	0.58	25.0mm	13.0mm	37.0mm	0.8mm	20.3mm
PBL-15/5.4	15	56	32	0.62	34.0mm	17.0mm	35.0mm	0.8mm	24.1mm



Ultracapacitor Sizing Tool

INPUT

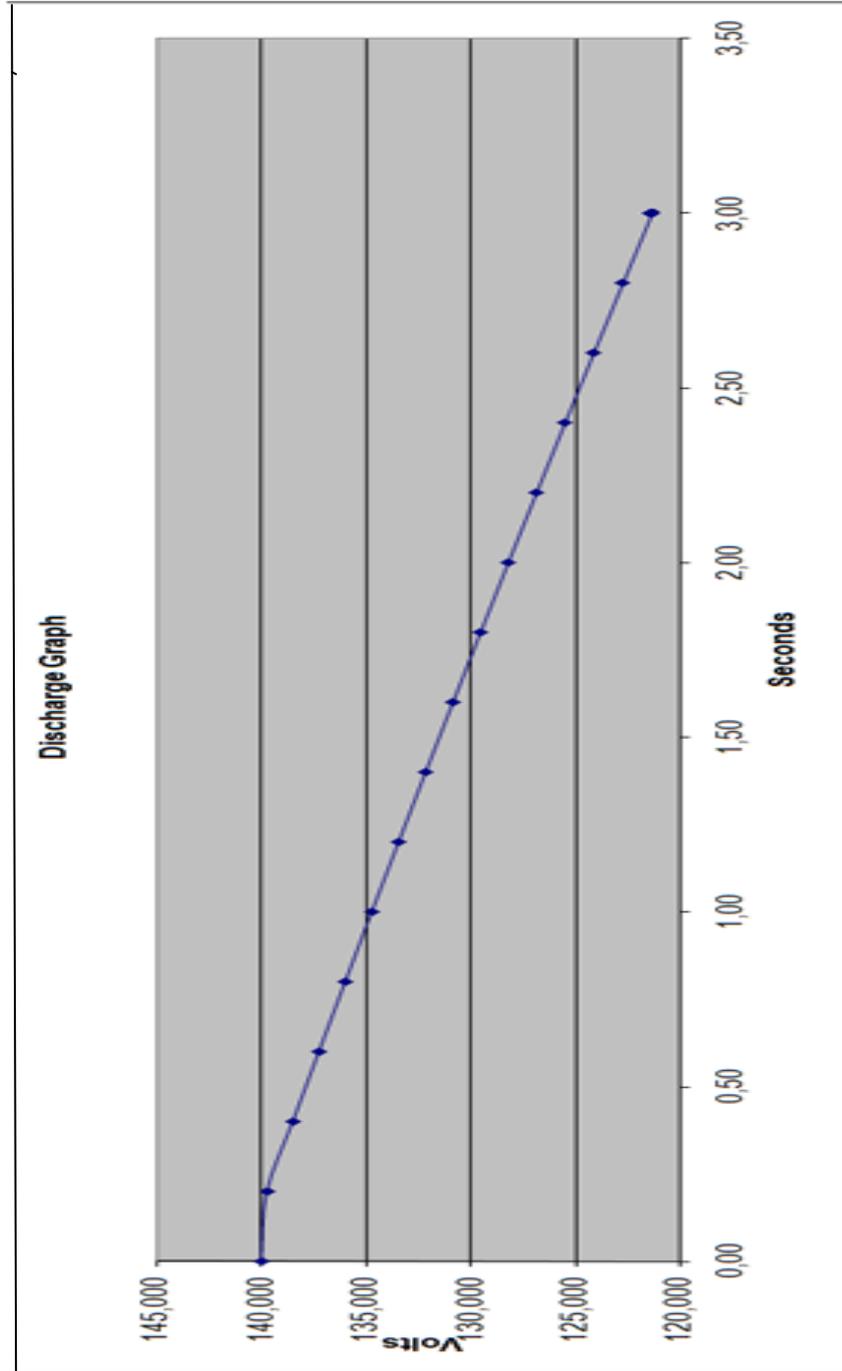
	Enter Known Values
Working Voltage (Vw)	140 Volts
Minimum Voltage (Vmin)	120 Volts
Power (W)	1492 Watts
Time (t)	3 seconds
Temp Input	25 to 70C
Graph Resolution	5 C
Which Product Series do you want to search	All
Do you want search cells or modules?	Both
Do you prefer an active or passive balanced module	No Preference
Which of the solutions below would you like to graph?	

Disclaimer: This tool is for estimation only.
 For more accurate sizing please contact Tecate Group
 directly @ info@tecategroup.com or 619-398-9700.

SOLUTION

	Powerburst	Powerburst Module	Maxwell	Maxwell Module	CAP-XX	CAP-XX Module	Value
Part Number	TPLS-100/22X45F	PBL-15.0/5.4	BCAP0140-E0250	BPAK0023 E015 B01			
Number in series	52	26	56	10			
Number in parallel	1	3	1	1			
Minimum capacitance needed (F)	1,72	1,72	1,72	1,72			Farads
Total capacitance (F)	1,9	1,7	2,5	2,3			Farads
Total ESR (mohm)	1,300,00	693,33	403,20	420,00			mOhm
Weight (g)	1,300,00	Contact us for more info	1,624,00	2,300,00			g
Volume (L)	0,8891	1,5779	1,5156	2,9619			L
Minimum Energy needed	4,476,0000	4,476,0000	4,476,0000	4,476,0000			Joules
Energy Stored @ Vw	18,846	16,962	24,500	22,540			Joules
Energy Stored between Vmax and Vmin	5,000	4,500	6,500	5,980			Joules
Balancing Resistor value recommendation	159	Passive Balancing Included	2,700	Active Balancing Included			Ohm

GRÁFICA DE DESCARGA DEL ULTRACAPACITOR



MANUAL PLC



Changes for the Better

FX3G SERIES PROGRAMMABLE CONTROLLERS

HARDWARE MANUAL

Manual Number	JY997D33401
Revision	E
Date	March 2009

This manual describes the part names, dimensions, mounting, cabling and specifications for the product. This manual is extracted from FX3G Series User's Manual - Hardware Edition. Refer to FX3G Series User's Manual - Hardware Edition for more details. Before use, read this manual and manuals of relevant products fully to acquire proficiency in the handling and operating the product. Make sure to learn all the product information, safety information, and precautions.

And, store this manual in a safe place so that you can take it out and read it whenever necessary. Always forward it to the end user.

Registration

The company name and the product name to be described in this manual are the registered trademarks or trademarks of each company.

Effective March 2009

Specifications are subject to change without notice.

© 2008 Mitsubishi Electric Corporation

Safety Precaution (Read these precautions before use.)

This manual classifies the safety precautions into two categories:

DANGER and **CAUTION**.

	Indicates that incorrect handling may cause hazardous conditions, resulting in death or severe injury.
	Indicates that incorrect handling may cause hazardous conditions, resulting in medium or slight personal injury or physical damage.

Depending on the circumstances, procedures indicated by **CAUTION** may also cause severe injury.

It is important to follow all precautions for personal safety.

STARTUP AND MAINTENANCE PRECAUTIONS



- Do not touch any terminal while the PLC's power is on. Doing so may cause electric shock or malfunctions.
- Before cleaning or retightening terminals externally cut off all phases of the power supply. Failure to do so may cause electric shock.
- Make sure to connect the battery for memory backup correctly. Do not charge, disassemble, heat, short-circuit, or expose the battery to fire. Doing so may rupture or ignite it.
- Before modifying or disrupting the program in operation or running the PLC, carefully read through this manual and the associated manuals and ensure the safety of the operation. An operation error may damage the machinery or cause accidents.

STARTUP AND MAINTENANCE PRECAUTIONS



- Turn off the power to the PLC before attaching or detaching the memory cassette. If the memory cassette is attached or detached while the PLC's power is on, the data in the memory may be destroyed, or the memory cassette may be damaged.
- Do not disassemble or modify the PLC. Doing so may cause fire, equipment failures, or malfunctions. For repair, contact your local Mitsubishi Electric distributor.
- Turn off the power to the PLC before connecting or disconnecting any extension cable. Failure to do so may cause equipment failures or malfunctions.
- Turn off the power to the PLC before attaching or detaching the following devices. Failure to do so may cause equipment failures or malfunctions.
 - Peripheral devices, Display module, expansion boards, and special adapters
 - Connector conversion adapter, extension blocks, and FX Series terminal blocks
 - Battery and memory cassette

DISPOSAL PRECAUTIONS



- Please contact a certified electronic waste disposal company for the environmentally safe recycling and disposal of your device.

TRANSPORT AND STORAGE PRECAUTIONS



- When transporting the FX3G Series PLC incorporating the optional battery, turn on the PLC before shipment, confirm that the battery mode is set using a parameter and the ALM LED is OFF, and check the battery life. If the PLC is transported with the ALM LED on or the battery exhausted, the battery-backed data may be unstable during transportation.
- The PLC is a precision instrument. During transportation, avoid impacts larger than those specified in Section 2.1. Failure to do so may cause failures in the PLC. After transportation, verify the operations of the PLC.

Compliance with EC directive(CE Marking)

This document does not guarantee that a mechanical system including this product will comply with the following standards. Compliance to EMC directive and LVD directive of the entire mechanical system should be checked by the user / manufacturer. For more details please contact the local Mitsubishi Electric sales site.

Requirement for Compliance with EMC directive

The following products have shown compliance through direct testing (of the identified standards below) and design analysis (through the creation of a technical construction file) to the European Directive for Electromagnetic Compatibility (89/336/EEC) when used as directed by the appropriate documentation.

Type : Programmable Controller (Open Type Equipment)

Models : MELSEC FX3G series manufactured

from June 1st, 2005 FX3U-232ADP FX3U-485ADP
FX3U-4AD-ADP FX3U-4DA-ADP
FX3U-4AD-PT-ADP FX3U-4AD-TC-ADP

from April 1st, 2007 FX3U-232ADP-MB FX3U-485ADP-MB

from December 1st, 2007 FX3U-4AD-PTW-ADP
FX3U-4AD-PNK-ADP

from November 1st, 2008 FX3G-**MT/ES(-A)
Where ** indicates:14,24,40,60
FX3G-232-BD FX3G-422-BD
FX3G-485-BD
FX3G-EEPROM-32L
FX3G-CNV-ADP
FX3G-2AD-BD FX3G-1DA-BD
FX3G-8AV-BD FX3G-5DM

from December 1st, 2008 FX3G-**MR/ES(-A)
Where ** indicates:14,24,40,60

from March 1st, 2009 FX3G-**MT/ESS
Where ** indicates:14,24,40,60

Standard	Remark
EN61131-2:2003 Programmable controllers - Equipment requirements and tests	Compliance with all relevant aspects of the standard. EMI <ul style="list-style-type: none"> • Radiated Emissions • Conducted Emissions EMS <ul style="list-style-type: none"> • Radiated electromagnetic field • Fast transient burst • Electrostatic discharge • High-energy surge • Voltage drops and interruptions • Conducted RF • Power frequency magnetic field

Models : MELSEC FX2N series manufactured

from July 1st, 1997 FX2N-**ER-ES/UL FX2N-**ET-ESS/UL
Where ** indicates:32,48
FX2N-16EX-ES/UL FX2N-16EYR-ES/UL
FX2N-16EYT-ESS/UL

from August 1st, 1998 FX2N-48ER-UA1/UL

from August 1st, 2005 FX2N-8ER-ES/UL FX2N-8EX-ES/UL
FX2N-8EYR-ES/UL FX2N-8EYT-ESS/UL

For the products above, PLCs manufactured before March 31st, 2002 are compliant with EN50081-2 (EN61000-6-4) and EN50082-2
from April 1st, 2002 to April 30th, 2006 are compliant with EN50081-2 (EN61000-6-4) and EN61131-2:1994+A11:1996+A12:2000
after May 1st, 2006 are compliant with EN61131-2:2003

Standard	Remark
EN61000-6-4:2001 - Generic emission standard Industrial environment EN50081-2:1993 Electromagnetic compatibility	Compliance with all relevant aspects of the standard. <ul style="list-style-type: none"> • Radiated Emissions • Mains Terminal Voltage Emissions
EN50082-2:1995 Electromagnetic compatibility - Generic immunity standard Industrial environment	Compliance with all relevant aspects of the standard. <ul style="list-style-type: none"> • RF immunity • Fast Transients • ESD • Conducted • Power magnetic fields
EN61131-2:1994 /A11:1996 /A12:2000 Programmable controllers - Equipment requirements and tests	Compliance with all relevant aspects of the standard. <ul style="list-style-type: none"> • RF Immunity • Fast Transients • ESD • Damped oscillatory wave
EN61131-2:2003 Programmable controllers - Equipment requirements and tests	Compliance with all relevant aspects of the standard. EMI <ul style="list-style-type: none"> • Radiated Emissions • Conducted Emissions EMS <ul style="list-style-type: none"> • Radiated electromagnetic field • Fast transient burst • Electrostatic discharge • High-energy surge • Voltage drops and interruptions • Conducted RF • Power frequency magnetic field

Requirement for Compliance with LVD directive

The following products have shown compliance through direct testing (of the identified standards below) and design analysis (through the creation of a technical construction file) to the European Directive for Low Voltage (2006/95/EC) when used as directed by the appropriate documentation.

Type : Programmable Controller (Open Type Equipment)

Models : MELSEC FX3G series manufactured

from November 1st, 2008 FX3G-★MT/ES(-A)
Where ★★ indicates:14,24,40,60

from December 1st, 2008 FX3G-★MR/ES(-A)
Where ★★ indicates:14,24,40,60

from March 1st, 2009 FX3G-★MT/ESS
Where ★★ indicates:14,24,40,60

Standard	Remark
EN61131-2:2003 Programmable controllers - Equipment requirements and tests	The equipment has been assessed as a component for fitting in a suitable enclosure which meets the requirements of EN61131-2:2003

Models :MELSEC FX2N series manufactured

from July 1st, 1997 FX2N-★ER-ES/UL FX2N-★ET-ESS/UL
Where ★★ indicates:32,48

FX2N-16EYR-ES/UL

from August 1st, 1998 FX2N-48ER-UA1/UL

from August 1st, 2005 FX2N-8ER-ES/UL FX2N-8EYR-ES/UL

For the products above, PLCs manufactured before March 31st, 2002 are compliant with IEC1010-1 from April 1st, 2002 to April 30th, 2006 are compliant with EN61131-2:1994+A11:1996+A12:2000 after May 1st, 2006 are compliant with EN61131-2:2003

Standard	Remark
IEC1010-1:1990 /A1:1992 Safety requirements for electrical equipment for measurement, control, and laboratory use - General requirements	The equipment has been assessed as a component for fitting in a suitable enclosure which meets the requirements of IEC 1010-1:1990+A1:1992
EN61131-2:1994 /A11:1996 /A12:2000 Programmable controllers - Equipment requirements and tests	The equipment has been assessed as a component for fitting in a suitable enclosure which meets the requirements of EN61131-2:1994+A11:1996+A12:2000
EN61131-2:2003 Programmable controllers - Equipment requirements and tests	The equipment has been assessed as a component for fitting in a suitable enclosure which meets the requirements of EN61131-2:2003

Caution for compliance with EC Directive

Installation in Enclosure

Programmable logic controllers are open-type devices that must be installed and used within conductive control boxes. Please use the FX3G Series programmable logic controllers while installed in conductive shielded control boxes. Please secure the control box lid to the control box (for conduction). Installation within a control box greatly affects the safety of the system and aids in shielding noise from the programmable logic controller.

Associated manuals

FX3G Series PLC (main unit) comes with this document (hardware manual).

For a detailed explanation of the FX3G Series hardware and information on instructions for PLC programming and special extension unit/block, refer to the relevant documents.

Manual name	Manual No.	Description
FX3G Series User's Manual - Hardware Edition	JY997D31301 MODEL CODE: 09R521	Explains FX3G Series PLC specification details for I/O, wiring, installation, and maintenance.
FX3G/FX3U/FX3UC Series Programming Manual - Basic & Applied Instruction Edition	JY997D16601 MODEL CODE: 09R517	Describes PLC programming for basic/applied instructions STL/SFC programming and devices.
FX Series User's Manual - Data Communication Edition	JY997D16901 MODEL CODE: 09R715	Explains N:N link, parallel link, computer link, no protocol communication by RS instructions/FX2N-232IF.
FX3G/FX3U/FX3UC Series User's Manual - Analog Control Edition	JY997D16701 MODEL CODE: 09R619	Describes specifications for analog control and programming methods for FX3G/FX3U/FX3UC Series PLC.
FX3G/FX3U/FX3UC Series User's Manual - Positioning Control Edition	JY997D16801 MODEL CODE: 09R620	Explains the specifications for positioning control of FX3G/FX3U/FX3UC Series and programming procedures

How to obtain manuals

For the necessary product manuals or documents, consult with the Mitsubishi Electric dealer from where you purchase your product.

Incorporated Items

Check if the following product and items are included in the package:

Included Items		
Main units		
FX3G-14M□~ FX3G-60M□	Product	1 unit
	Dust proof protection sheet	1 sheet
	Manuals [Japanese version ^{*1} , English version]	1 manual each
Input/output extension units		
FX2N-32E□, FX2N-48E□	Product	1 unit
	Extension cable	1 cable
	Input/output number label	1 sheet
Input/output extension blocks		
FX2N-8E□ FX2N-16E□	Product	1 unit
	Input/output number label	1 sheet

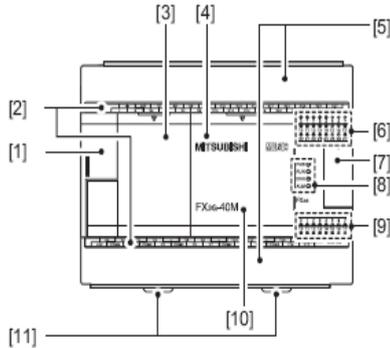
*1 The FX3G-□□M□/ES-A becomes Chinese version.

1. Outline

For the input/output extension units/blocks, refer to the following manual.

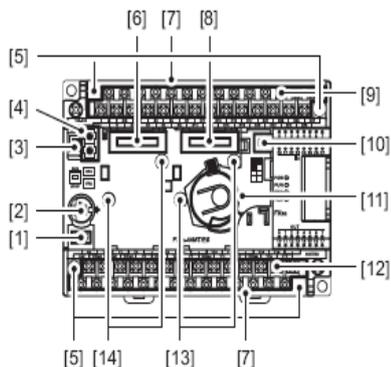
→ Refer to FX3G Series User's Manual - Hardware Edition.

1.1 Part names



No.	Name		
[1]	Peripheral device connecting connector cover		
[2]	Terminal names		
[3]	Top cover(S) (40points, 60points type only)		
[4]	Top cover		
[5]	Terminal block covers		
[6]	Input display LEDs (red)		
[7]	Extension device connecting connector cover		
[8]	Operation status display LEDs		
	POW	Green	On while power is on the PLC.
	RUN	Green	On while the PLC is running.
	ERR	Red	Flashing when a program error occurs.
		Red	Lights when a CPU error occurs.
ALM	Red	Lights when the battery voltage drops. (When the optional battery is used)	
[9]	Output display LEDs (red)		
[10]	Model name (abbreviation)		
[11]	DIN rail mounting hooks		

With terminal cover open

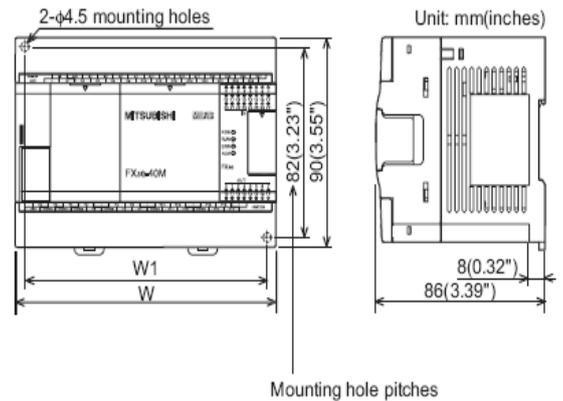


No.	Name	
[1]	Peripheral device connecting connector (USB)	
[2]	Peripheral device connecting connector (RS-422)	

No.	Name
[3]	RUN/STOP switch
[4]	Variable analog potentiometers Upper side : VR1, Lower side : VR2
[5]	Terminal block mounting screws
[6]	Optional equipment connector1
[7]	Terminal cover (FX3G-□□MT/ES-A is excluded)
[8]	Optional equipment connector2 (40points, 60points type only)
[9]	Power supply terminal, Input (X) terminals
[10]	Battery connector
[11]	Battery holder
[12]	Power supply terminal, Output (Y) terminals
[13]	Optional equipment connecting screw holes2 (40points, 60points type only)
[14]	Optional equipment connecting screw holes1

1.2 External dimensions and weight

→ For the input/output extension units/blocks, refer to FX3G Series User's Manual - Hardware Edition.



Model name	W: mm (inches)	W1: mm (inches) Direct mounting hole pitches	MASS (Weight): kg (lbs)
FX3G-14M□	90 (3.55")	82 (3.23")	0.50 (1.10lbs)
FX3G-24M□	90 (3.55")	82 (3.23")	0.55 (1.21lbs)
FX3G-40M□	130 (5.12")	122 (4.81")	0.70 (1.54lbs)
FX3G-60M□	175 (6.89")	167 (6.58")	0.85 (1.87lbs)

Installation

- 35-mm-wide DIN rail or Direct (screw) mounting (M4)

2. Installation (general specifications)

As for installation of the input/output extension units/blocks, special adapters and expansion boards, refer to the following manual.

→ Refer to FX3G Series User's Manual - Hardware Edition.

INSTALLATION PRECAUTIONS



- Use the product within the generic environment specifications described in section 2.1 of this manual.
Never use the product in areas with excessive dust, oily smoke, conductive dusts, corrosive gas (salt air, Cl₂, H₂S, SO₂ or NO₂), flammable gas, vibration or impacts, or exposed to high temperature, condensation, or rain and wind.
If the product is used in such conditions, electric shock, fire, malfunctions, deterioration or damage may occur.
- Do not touch the conductive parts of the product directly to avoid failure or malfunctions.
- Install the product securely using a DIN rail or mounting screws.
- Install the product on a flat surface.
If the mounting surface is rough, undue force will be applied to the PC board, thereby causing nonconformities.
- When drilling screw holes or wiring, make sure cutting or wire debris does not enter the ventilation slits.
Failure to do so may cause fire, equipment failures or malfunctions.
- Be sure to remove the dust proof sheet from the PLC's ventilation port when installation work is completed. Failure to do so may cause fire, equipment failures or malfunctions.
- Connect the extension cables, peripheral device cables, input/output cables and battery connecting cable securely to their designated connectors.
Unsecured connection may cause malfunctions.
- Turn off the power before attaching or detaching the following devices.
Failure to do so may cause device failures or malfunctions.
 - Peripheral devices, display modules, expansion boards and special adapters
 - Extension units/blocks and the FX Series terminal block
 - Battery and memory cassette

Notes

- When a dust proof sheet is supplied with an extension unit/block, keep the sheet applied to the ventilation slits during installation and wiring work.
- To prevent temperature rise, do not install the PLC on a floor, a ceiling or a vertical surface.
Install it horizontally on a wall as shown in section 2.2.
- Keep a space of 50mm (1.97") or more between the unit main body and another device or structure (part A). Install the unit as far away as possible from high-voltage lines, high-voltage devices and power equipment.

WIRING PRECAUTIONS



- Cut off all phases of the power supply externally before installation or wiring work in order to avoid damage to the product or electric shock.

2.1 Generic specifications

Item	Specification				
Ambient temperature	0 to 55°C (32 to 131°F) when operating and -25 to 75°C (-13 to 167°F) when stored				
Ambient humidity	5 to 95%RH (no condensation) when operating				
Vibration resistance	When installed on DIN rail	Fre-quency (Hz)	Accele-ration (m/s ²)	Half ampli-tude (mm)	Sweep Count for X, Y, Z: 10 times (80 min in each direction)
		10 to 57	-	0.035	
	When installed directly	57 to 150	4.9	-	
		10 to 57	-	0.075	
	57 to 150	9.8	-		
Shock resistance	147m/s ² Acceleration, Action time: 11ms, 3 times by half-sine pulse in each direction X, Y, and Z				
Noise resistance	By noise simulator at noise voltage of 1,000Vp-p, noise width of 1μs, rise time of 1ns and period of 30 to 100Hz				
Dielectric withstand voltage*1	1.5kV AC for one minute		Between each terminals*1 and ground terminal		
	500V AC for one minute				
Insulation resistance*1	5MΩ or more by 500V DC megger				
Grounding	Class D grounding (grounding resistance: 100Ω or less) <Common grounding with a heavy electrical system is not allowed.>*2				
Working atmosphere	Free from corrosive or flammable gas and excessive conductive dusts				
Working altitude	<2000m*3				

*1

Terminal	Dielectric strength	Insulation resistance
Main units, Input/output extension units/blocks		
Between power supply terminal (AC power) and ground terminal	1.5 kV AC for one minute	5MΩ or more by 500V DC megger
Between input terminal (24V DC) and ground terminal	500V AC for one minute	
Between input terminal (100V AC) and ground terminal*4	1.5 kV AC for one minute	
Between output terminal (relay) and ground terminal	1.5 kV AC for one minute	
Between output terminal (transistor) and ground terminal	500V AC for one minute	
Between output terminal (triac) and ground terminal*4	1.5 kV AC for one minute	

Terminal	Dielectric strength	Insulation resistance
Expansion boards, Special function adapters, Special function blocks		
Between terminal of expansion board and ground terminal	Not allowed	Not allowed
Between terminal of special adapter and ground terminal	500V AC for 1min	5MΩ or more by 500V DC megger
Special function block	Each manual	

For dielectric with stand voltage test and insulation resistance test of each product, refer to the following manual.

→ Refer to **FX3G Series User's Manual - Hardware Edition**.

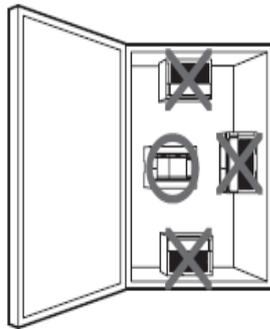
- *2 For common grounding, refer to section 3.3.
- *3 The PLC cannot be used at a pressure higher than the atmospheric pressure to avoid damage.
- *4 Input/output extension units/blocks only

2.2 Installation location

Install the PLC in an environment conforming to the generic specifications (section 2.1), installation precautions and notes.

For more details, refer to **FX3G Series User's Manual - Hardware Edition**.

Installation location in enclosure

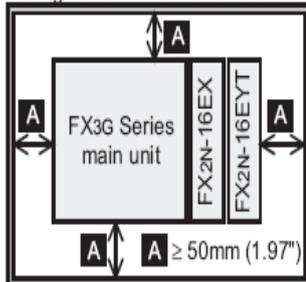


Space in enclosure

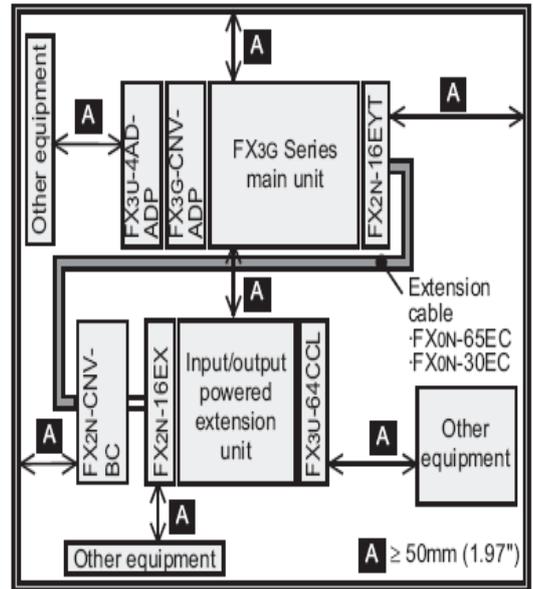
Extension devices can be connected on the left and right sides of the main unit of the PLC.

If you intend to add extension devices in the future, keep necessary spaces on the left and right sides.

Configuration without extension cable



Configuration in 2 stages with extension cable



2.2.1 Affixing The Dust Proof Sheet

The dust proof sheet should be affixed to the ventilation port before beginning the installation and wiring work.

→ For the affixing procedure, refer to the instructions on the **dust proof sheet**.

Be sure to remove the dust proof sheet when the installation and wiring work is completed.

2.3 Procedures for installing to and detaching from DIN rail

The products can be installed on a DIN46277 rail [35 mm (1.38" wide)].

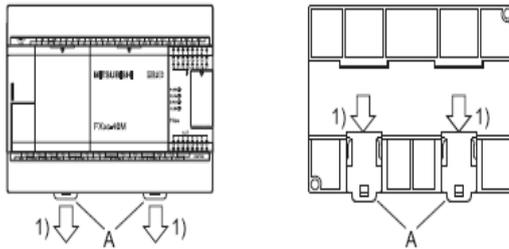
This section explains the installations of the main units.

For the input/output extension units/blocks and special adapters, refer to the following manual.

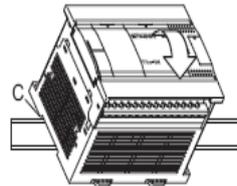
→ Refer to FX3G Series User's Manual - Hardware Edition.

2.3.1 Installation

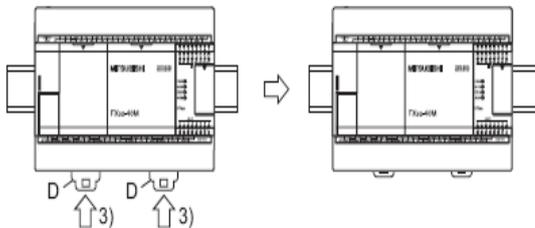
- 1) Push out all DIN rail mounting hooks (below fig.A).



- 2) Fit the upper edge of the DIN rail mounting groove (right fig.C) onto the DIN rail.



- 3) Lock the DIN rail mounting hooks (below fig.D) while pressing the PLC against the DIN rail.



2.4 Procedures for installing directly (with M4 screws)

The product can be installed directly on the panel (with screws).

This section explains the installation of the main units.

As for the details of the installation/detaching for input/output extension units/blocks and special adapters, refer to the following manual.

→ Refer to FX3G Series User's Manual - Hardware Edition.

2.4.1 Mounting hole pitches

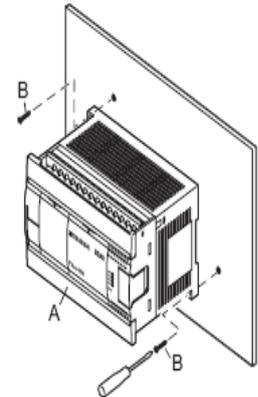
Refer to the External Dimensions (section 1.2) for the product's mounting hole pitch information.

As for the details of the mounting hole pitches for extension unit/block and special adapters, refer to the following manual.

→ Refer to FX3G Series User's Manual - Hardware Edition.

2.4.2 Installation

- 1) Make mounting holes in the mounting surface referring to the external dimensions diagram.
- 2) Fit the main unit (A in the right figure) based on the holes, and secure it with M4 screws (B in the right figure).
The mounting hole pitches and number of screws depend on the product. Refer to the external dimensions diagram (Section 1.2).



3. Power supply/input/output specifications and examples of external wiring

As for the details of the power supply wiring and input/output wiring, refer to the following manual.

→ Refer to FX3G Series User's Manual - Hardware Edition.

DESIGN PRECAUTIONS



- Make sure to have the following safety circuits outside of the PLC to ensure safe system operation even during external power supply problems or PLC failure. Otherwise, malfunctions may cause serious accidents.

- 1) Most importantly, have the following: an emergency stop circuit, a protection circuit, an interlock circuit for opposite movements (such as normal vs. reverse rotation), and an interlock circuit (to prevent damage to the equipment at the upper and lower positioning limits).
- 2) Note that when the PLC CPU detects an error, such as a watchdog timer error, during self-diagnosis, all outputs are turned off. Also, when an error that cannot be detected by the PLC CPU occurs in an input/output control block, output control may be disabled.
External circuits and mechanisms should be designed to ensure safe machinery operation in such a case.
- 3) Note that when an error occurs in a relay, triac or transistor output device, the output could be held either on or off.
For output signals that may lead to serious accidents, external circuits and mechanisms should be designed to ensure safe machinery operation in such a case.

DESIGN PRECAUTIONS



- Do not bundle the control line together with or lay it close to the main circuit or power line. As a guideline, lay the control line at least 100mm (3.94") or more away from the main circuit or power line.
Noise may cause malfunctions.
- Install module so that excessive force will not be applied to the built-in programming connectors, power connectors or I/O connectors.
Failure to do so may result in wire damage/breakage or PLC failure.

Notes
<ul style="list-style-type: none"> • Simultaneously turn on and off the power supplies of the main unit and extension devices. • Even if the power supply causes an instantaneous power failure for less than 10 ms, the PLC can continue to operate. • If a long-time power failure or an abnormal voltage drop occurs, the PLC stops, and output is turned off. When the power supply is restored, it will automatically restart (when the RUN input is on).

WIRING PRECAUTIONS	 DANGER
<ul style="list-style-type: none"> • Cut off all phases of the power supply externally before installation or wiring work in order to avoid damage to the product or electric shock. 	

WIRING PRECAUTIONS	 CAUTION
<ul style="list-style-type: none"> • Connect the AC power supply to the dedicated terminals specified in this manual. If an AC power supply is connected to a DC input/output terminal or DC power supply terminal, the PLC will burn out. • Do not wire vacant terminals externally. Doing so may damage the product. • Use class D grounding (grounding resistance of 100Ω or less) with a wire of 2mm² or thicker on the grounding terminal of the FX3G Series main unit. However, do not connect the ground terminal at the same point as a heavy electrical system. • When drilling screw holes or wiring, make sure cutting or wire debris does not enter the ventilation slits. Failure to do so may cause fire, equipment failures or malfunctions. 	

Notes
<ul style="list-style-type: none"> • Input/output wiring 50 to 100m (164'1" to 328'1") long will cause almost no problems of noise, but, generally, the wiring length should be less than 20m (65'7") to ensure the safety. • Extension cables are easily affected by noise. Lay the cables at a distance of at least 30 to 50mm (1.19" to 1.97") away from the PLC output and other power lines.

3.1 Wiring

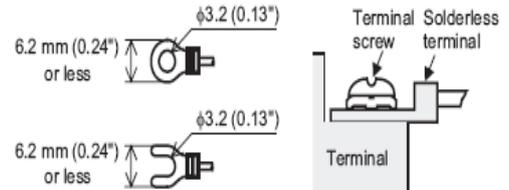
This section explains the wiring of the terminal type.
For the connectors types, refer to the following manual.

→ Refer to FX3G Series User's Manual - Hardware Edition.

3.1.1 Cable end treatment and tightening torque

For the terminals of FX3G series PLC, M3 screws are used.
The electric wire ends should be treated as shown below.
Tighten the screws to a torque of 0.5 N·m to 0.8 N·m.

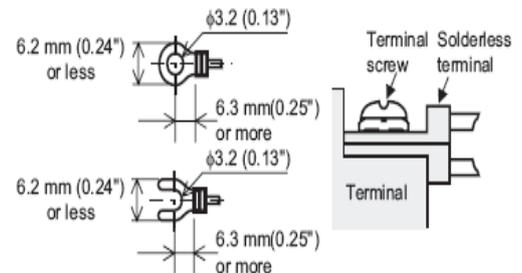
- When one wire is connected to one terminal



<Reference>

Terminal Manufacturer	Type No.	Certification	Pressure Bonding Tool
JAPAN SOLDERLESS TERMINAL MFG CO LTD (JST)	FV1.25-B3A	UL Listed	YA-1(JST)
	FV2-MS3		

- When two wires are connected to one terminal



<Reference>

Terminal Manufacturer	Type No.	Certification	Pressure Bonding Tool
JAPAN SOLDERLESS TERMINAL MFG CO LTD (JST)	FV1.25-B3A	UL Listed	YA-1(JST)

3.1.2 Removal and installation of quick-release terminal block

Removal Unscrew the terminal block mounting screw [both right and left screws] evenly, and remove the terminal block.

Installation Place the terminal block in the specified position, and tighten the terminal block mounting screw evenly [both right and left screws].

Tightening torque 0.4 to 0.5 N·m

* Pay attention so that the center of the terminal block is not lifted.

3.2 Power supply specifications and example of external wiring

As for the details of the power supply specifications and example of external wiring, refer to the following manual.

→ Refer to **FX3G Series User's Manual - Hardware Edition**.

3.2.1 Power supply specifications

[Main unit, Input/output extension units]

Item		Specification
Supply voltage		100 to 240V AC
Allowable supply voltage range		85 to 264V AC
Rated frequency		50/60Hz
Allowable instantaneous power failure time		Operation can be continued upon occurrence of instantaneous power failure for 10 ms or less.
Power fuse	FX3G-14M□, FX3G-24M□	250V 1A
	FX3G-40M□, FX3G-60M□	250V 3.15A
	FX2N-32E□	250V 3.15A
	FX2N-48E□	250V 5A
Rush current	Main unit	30A max. 5ms or less/100 V AC 50A max. 5ms or less/200 V AC
	FX2N-32E□, FX2N-48E□	40A max. 5ms or less/100 V AC 60A max. 5ms or less/200 V AC
Power consumption *1	FX3G-14M□	31W
	FX3G-24M□	32W
	FX3G-40M□	37W
	FX3G-60M□	40W
	FX2N-32E□	30W(35VA)
	FX2N-48E□	35W(45VA)
24V DC service power supply	Main unit	400mA
	FX2N-32E□	250mA
	FX2N-48E□	460mA
5V DC built-in power supply	FX2N-32E□	690mA or less
	FX2N-48E□	

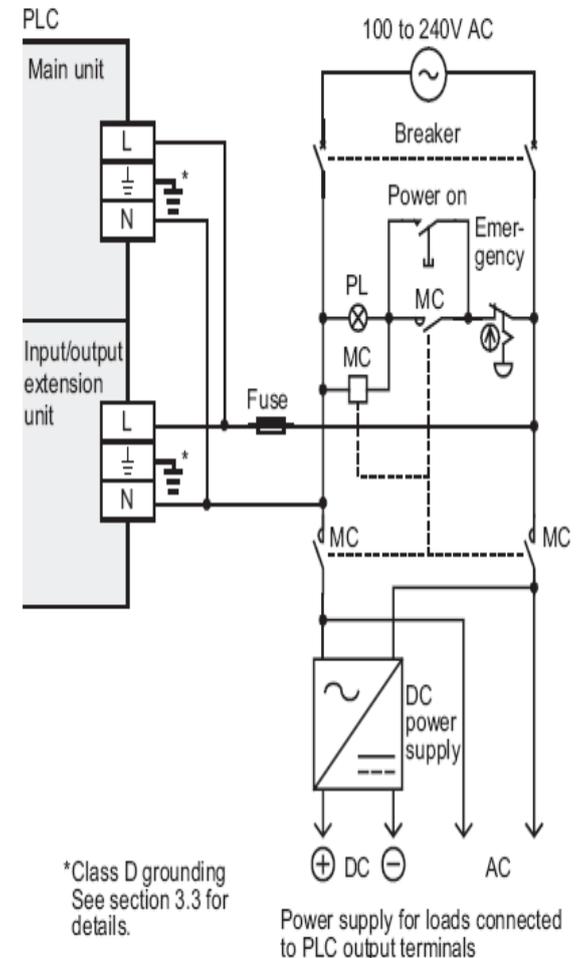
*1 This item shows values when all 24V DC service power supplies are used in the maximum configuration connectable to the main unit or input/output extension units, For the power (current) consumed by the input/output extension units/blocks, refer to FX3G Series User's Manual - Hardware Edition.

For the power consumed by the special extension blocks, refer to the respective manual.

→ Refer to **FX3G Series User's Manual - Hardware Edition**.

3.2.2 Example of external wiring (AC power type)

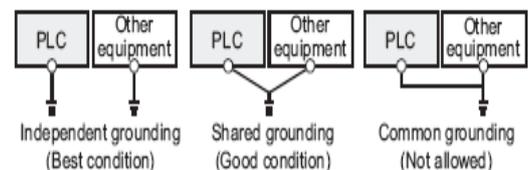
100 to 240V AC power is supplied to the main unit and input/output extension unit. For the details of wiring work, refer to section 3.1.



3.3 Grounding

Ground the PLC as stated below.

- Perform class D grounding. (Grounding resistance: 100 Ω or less)
- Ground the PLC independently if possible. If it cannot be grounded independently, ground it jointly as shown below.



- Use ground wires thicker than AWG14 (2 mm²).
- Position the grounding point as close to the PLC as possible to decrease the length of the ground wire.

3.4 Input specifications and external wiring

As for the details of the Input specifications and external wiring, refer to the following manual.

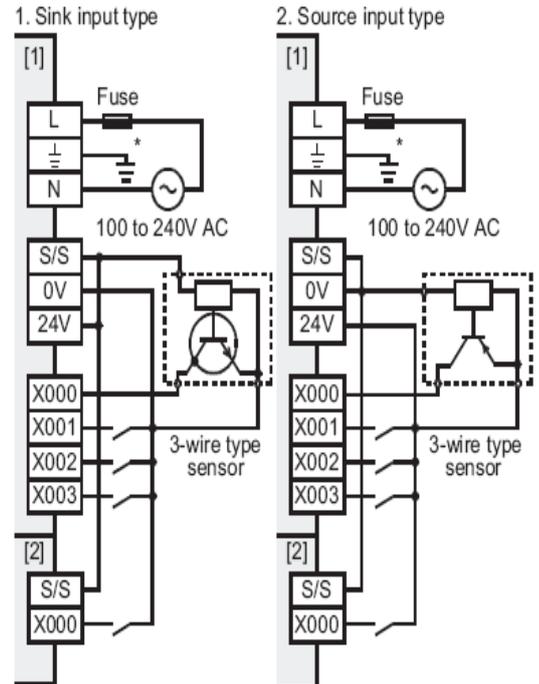
→ Refer to **FX3G Series User's Manual - Hardware Edition**.

3.4.1 Input specifications (24V DC input type)

Item		Specification
Number of input points	FX2N-8ER□	4 points
	FX3G-14M□, FX2N-8EX□	8 points
	FX3G-24M□	14 points(16 points)* ¹
	FX2N-16EX□, FX2N-32E□	16 points
	FX3G-40M□, FX2N-48E□	24 points
	FX3G-60M□	36 points(40 points)* ¹
Input connecting type		Refer to FX3G Series User's Manual - Hardware Edition
Input form		Refer to FX3G Series User's Manual - Hardware Edition
Input signal voltage		24V DC +10%, -10%
Input impedance	Main unit	X000 to X007 3.3kΩ X010 or more 4.3kΩ
	Input/output extension unit/block	4.3kΩ
Input signal current	Main unit	X000 to X007 7mA/24V DC X010 or more 5mA/24V DC
	Input/output extension unit/block	5mA/24V DC
ON input sensitivity current	Main unit	X000 to X007 4.5mA or more X010 or more 3.5mA or more
	Input/output extension unit/block	3.5mA/24V DC
OFF input sensitivity current		1.5mA or less
Input response time		Approx. 10ms
Input signal form		<ul style="list-style-type: none"> Sink input: No-voltage contact input, NPN open collector transistor Source input: No-voltage contact input, PNP open collector transistor
Input circuit insulation		Photocoupler insulation
Input operation display		LED on panel lights when photocoupler is driven.

*1 Each value inside () indicates the number of occupied points.

3.4.2 Examples of 24V DC input wiring



*Class D grounding
See section 3.3 for details.

[1]: Main unit, Input/output extension unit
(Common to both sink and source inputs)

[2]: Input/output extension block
(Common to both sink and source inputs)

3.4.3 Instructions for connecting input devices

As for the details of Instructions for connecting input devices, refer to the following manual.

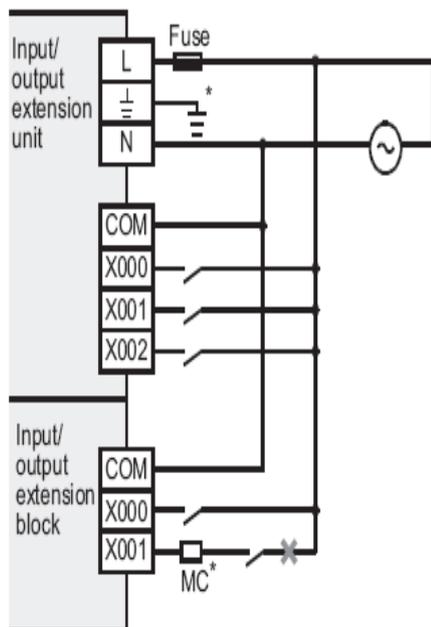
→ Refer to **FX3G Series User's Manual - Hardware Edition**.

- In the case of no-voltage contact:
The input current of this PLC is 5 to 7mA/24V DC.
Use input devices applicable to this minute current.
If no-voltage contacts (switches) for large current are used, contact failure may occur.
- In the case of input device with built-in series diode:
The voltage drop of the series diode should be approx. 4V or less.
When lead switches with a series LED are used, up to two switches can be connected in series.
Also make sure that the input current is over the input-sensing level while the switches are ON.
- In the case of input device with built-in parallel resistance:
Use a device with a parallel resistance of 15kΩ or more.
When the resistance is less than 15kΩ, connect a bleeder resistance.
- In the case of 2-wire proximity switch:
Use a two-wire proximity switch whose leakage current is 1.5mA or less when the switch is off.
When the current is 1.5mA or more, connect a bleeder resistance.

3.4.4 Input specifications (100V AC input type)

Item		Specification
Number of input points	FX2N-8EX-UA1/UL	8 points
	FX2N-48ER-UA1/UL	24 points
Input connecting type		Refer to FX3G Series
Input form		User's Manual - Hardware Edition
Input signal voltage		100V AC to 120V
Input impedance		Approx. 21kΩ/50Hz Approx. 18kΩ/60Hz
Input signal current		4.7mA/100V AC 50Hz 6.2mA/110V AC 60Hz
ON input sensitivity current		3.8mA/80V AC
OFF input sensitivity current		1.7mA/30V AC
Input response time		Approx. 25ms to 30ms
Input signal form		Contact input
Input circuit insulation		Photocoupler insulation
Input operation display		LED on panel lights when photocoupler is driven.

3.4.5 Examples of 100V AC input wiring



*Do not take input signals from loads generating surge.

3.5 Relay output specifications and example of external wiring

As for the details of the relay output specifications and external wiring, refer to the following manual.

→ Refer to FX3G Series User's Manual - Hardware Edition.

3.5.1 Relay output specifications

Item		Specification
Number of output points	FX2N-8ER□	4 points(8 points)* ¹
	FX3G-14MR□	6 points(8 points)* ¹
	FX2N-8EYR□	8 points
	FX3G-24MR□	10 points(16 points)* ¹
	FX3G-40MR□, FX2N-32ER□, FX2N-16EYR□	16 points
	FX3G-60MR□, FX2N-48ER□	24 points
Output connecting type		Refer to FX3G Series User's Manual - Hardware Edition
Output form		Relay
External power supply		30V DC or less 240V AC or less* ²
Max. load	Resistance load	2A/point* ³
	Inductive load	80VA
Min. load		5V DC, 2mA (reference value)
Open circuit leakage current		-
Response time	OFF→ON	Approx. 10ms
	ON→OFF	
Circuit insulation		Mechanical insulation
Display of output operation		LED lights when power is applied to relay coil.

*¹ Each value inside () indicates the number of occupied points.

*² Between 250V and 240V CE, UL, and cUL are not compliant.

*³ The total load current of resistance loads per common terminal should be the following value or less.

- 1 output point/common terminal : 2A
- 4 output points/common terminal : 8A
- 8 output points/common terminal : 8A

As for the number of outputs per common terminal, refer to "Chapter 4 interpretation of partition" and the following manual.

→ Refer to FX3G Series User's Manual - Hardware Edition.

3.5.2 Life of relay output contact

The product life of relay contacts considerably varies depending on the load type used. Take care that loads generating reverse electromotive force or rush current may cause poor contact or deposition of contacts which may lead to considerable reduction of the contact product life.

1) Inductive load

Inductive loads generate large reverse electromotive force between contacts at shutdown may cause arcing. At a fixed current consumption, as the power factor (phase between current and voltage) gets smaller, the arc energy gets larger.

The standard life of the contact used for Inductive loads, such as contactors and solenoid valves, is 500 thousand operations at 20VA.

The following table shows the approximate life of the relay based on the results of our operation life test.

Test condition: 1 sec. ON / 1 sec.OFF.

Load capacity		Contact life
20VA	0.2A/100V AC	3 million times
	0.1A/200V AC	
35VA	0.35A/100V AC	1 million times
	0.17A/200V AC	
80VA	0.8A/100V AC	2 hundred thousand times
	0.4A/200V AC	

The product life of relay contacts becomes considerably shorter than the above conditions when the rush overcurrent is shut down.

→ For countermeasures while using inductive loads, refer to Subsection 3.5.4.

Some types of inductive loads generate rush current 5 to 15 times the stationary current at activation. Make sure that the rush current does not exceed the current corresponding to the maximum specified resistance load.

2) Lamp load

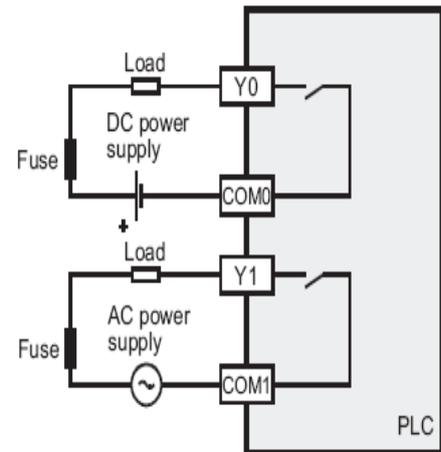
Lamp loads generally generate rush current 10 to 15 times the stationary current. Make sure that the rush current does not exceed the current corresponding to the maximum specified resistance load.

3) Capacitive load

Capacitive loads can generate rush current 20 to 40 times the stationary current. Make sure that the rush current does not exceed the current corresponding to the maximum specified resistance load. Capacitive loads such as capacitors may be present in electronic circuit loads including inverters.

→ For the maximum specified resistance load, refer to Subsection 3.5.1.

3.5.3 Example of relay output wiring



3.5.4 Cautions in external wiring

As for the details of Instructions for connecting input devices, refer to the following manual.

→ Refer to FX3G Series User's Manual - Hardware Edition.

Protection circuit for load short-circuiting

When a load connected to the output terminal short-circuits, the printed circuit board may be burnt out. Fit a protective fuse on the output circuit.

Protection circuit of contact when inductive load is used

An internal protection circuit for the relays is not provided for the relay output circuit in this product. It is recommended to use inductive loads with built-in protection circuits. When using loads without built-in protection circuits, insert an external contact protection circuit, etc. to reduce noise and extend the product life.

1) DC circuit

Connect a diode in parallel with the load.

Use a diode (for commutation) having the following specifications.

Item	Standard
Reverse voltage	5 to 10 times the load voltage
Forward current	Load current or more

2) AC circuit

Connect the surge absorber (combined CR components such as a surge killer and spark killer, etc.) parallel to the load.

Select the rated voltage of the surge absorber suitable to the output used. Refer to the table below for other specifications.

Item	Standard
Electrostatic capacity	Approx. 0.1μF
Resistance value	Approx. 100 to 200Ω

Interlock

Loads, such as contactors for normal and reverse rotations, that must not be turned on simultaneously should have an interlock in the PLC program and an external interlock.

Common mode

Use output contacts of the PLC in the common mode.

3.6 Transistor output specifications and example of external wiring

As for the details of the transistor output specifications and external wiring, refer to the following manual.

→ Refer to FX3G Series User's Manual - Hardware Edition.

3.6.1 Transistor output specifications

Item		Specification	
Number of output points	FX3G-14MT□	6 points (8 points)*1	
	FX2N-8EYT□	8 points	
	FX3G-24MT□	10 points (16 points)*1	
	FX3G-40MT□, FX2N-32ET□, FX2N-16EYT□	16 points	
	FX3G-60MT□, FX2N-48ET□	24 points	
Output connecting type		Refer to FX3G Series User's Manual - Hardware Edition	
Output form	FX3G-□MT/ES(-A), FX2N-□ET, FX2N-□EYT, FX2N-8EYT-H	Transistor(Sink)	
	FX3G-□MT/ESS, FX2N-□ET-ESS/UL, FX2N-□EYT-ESS/UL,	Transistor(Source)	
External power supply		5 to 30V DC	
Max. load	Resistance load	FX3G-□MT□, FX2N-□ET, FX2N-□ET-□, FX2N-□EYT, FX2N-□EYT-ESS/UL	0.5A/point*2
		FX2N-8EYT-H	1A/point*3
		FX2N-16EYT-C	0.3A/point*2
	Inductive load	FX3G-□MT□, FX2N-□ET, FX2N-□ET-□, FX2N-□EYT, FX2N-□EYT-ESS/UL	12W/24V DC*4
		FX2N-8EYT-H	24W/24V DC*3
		FX2N-16EYT-C	7.2W/24V DC*4
Min. load		-	
Open circuit leakage current		0.1mA or less/30V DC	
ON voltage		1.5V or less	

Item		Specification	
Response time	OFF → ON	FX3G-14MT□, FX3G-24MT□	Y000, Y001 5μs or less/10mA or more (5 to 24V DC)
		FX3G-40MT□, FX3G-60MT□	Y002 or more 0.2ms or less/200mA or more (at 24V DC)
			Y000 to Y002 5μs or less/10mA or more (5 to 24V DC)
	ON → OFF	FX3G-14MT□, FX3G-24MT□	Y003 or more 0.2ms or less/200mA or more (at 24V DC)
			Y000 to Y002 5μs or less/10mA or more (5 to 24V DC)
		FX3G-40MT□, FX3G-60MT□	Y003 or more 0.2ms or less/200mA or more (at 24V DC)
Input/output extension units/blocks		0.2ms or less/200mA or more (at 24V DC)	
Circuit insulation		Photocoupler insulation	
Display of output operation		LED on panel lights when photocoupler is driven.	

*1 Each value inside () indicates the number of occupied points.

*2 The total load current of resistance loads per common terminal should be the following value or less.

- 4 output points/common terminal : 0.8A
As for the number of outputs per common terminal, refer to "Chapter 4 interpretation of partition" and the following manual.

→ Refer to FX3G Series User's Manual - Hardware Edition.

*3 The response time is as follows in the FX2N-8EYT-H

- OFF→ON : 0.2ms or less/1A
- ON→OFF : 0.4ms or less/1A

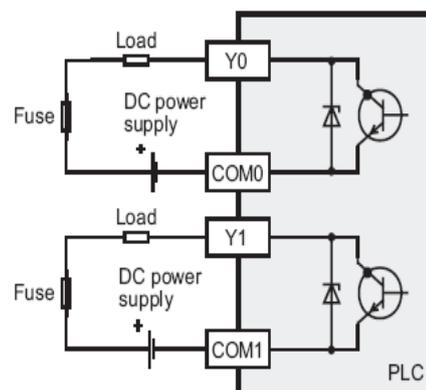
*4 The total of inductive loads per common terminal should be the following value or less.

- 1 output point/common terminal : 12W/24V DC
- 4 output points/common terminal : 19.2W/24V DC
As for the number of outputs per common terminal, refer to "Chapter 4 interpretation of partition" and the following manual.

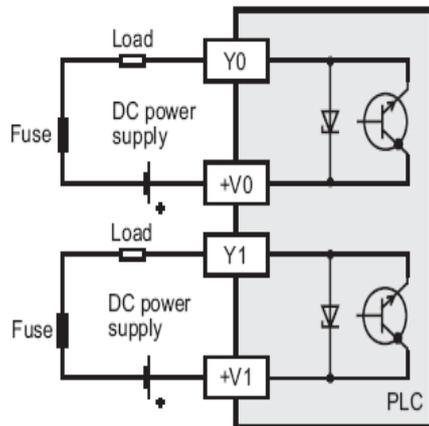
→ Refer to FX3G Series User's Manual - Hardware Edition.

3.6.2 External Wiring of Transistor Output

1. External Wiring of Sink Output Type



2. External Wiring of Source Output Type



3.6.3 Cautions in external wiring

As for the details of Instructions for connecting input devices, refer to the following manual.

→ Refer to FX3G Series User's Manual - Hardware Edition.

Protection circuit for load short-circuits

A short-circuit at a load connected to an output terminal could cause burnout at the output element or the PCB. To prevent this, a protection fuse should be inserted at the output.

Use a load power supply capacity that is at least 2 times larger than the total rated fuse capacity.

Contact protection circuit for inductive loads

When an inductive load is connected, connect a diode (for commutation) in parallel with the load as necessary.

The diode (for commutation) must comply with the following specifications.

Item	Guide
Reverse voltage	5 to 10 times of the load voltage
Forward current	Load current or more

Interlock

Loads, such as contactors for normal and reverse rotations, that must not be turned on simultaneously should have an interlock in the PLC program and an external interlock.

3.7 Triac output specifications and example of external wiring

As for the details of the triac output specifications and external wiring, refer to the following manual.

→ Refer to FX3G Series User's Manual - Hardware Edition.

3.7.1 Triac output specifications

Item		Specification
Number of output points	FX2N-16EYS, FX2N-32ES	16 points
Output connecting type		Refer to FX3G Series User's Manual - Hardware Edition
Output form		Triac (SSR)
External power supply		85 to 242V AC
Max. load	Resistance load	0.3A/point*1
	Inductive load	15VA/100V AC, 30VA/200V AC
Min. load		0.4VA/100V AC, 1.6VA/200V AC
Open circuit leakage current		1mA/100V AC, 2mA/200V AC
Response time	OFF→ON	1ms or less
	ON→OFF	10ms or less
Circuit insulation		Photo-thyristor insulation
Display of output operation		LED on panel lights when photo-thyristor is driven.

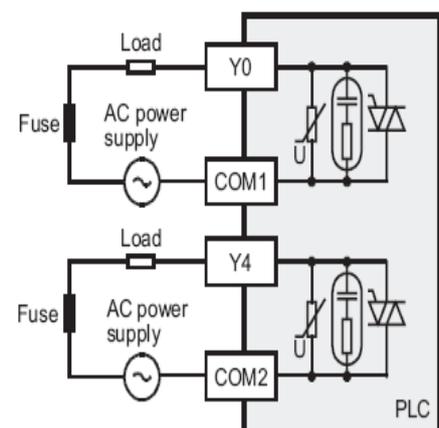
*1 The total load current of resistance loads per common terminal should be the following value or less.

- 4 output points/common terminal : 0.8A
- 8 output points/common terminal : 0.8A

As for the number of outputs per common terminal, refer to "Chapter 4 interpretation of partition" and the following manual.

→ Refer to FX3G Series User's Manual - Hardware Edition.

3.7.2 External Wiring of Triac Output



3.7.3 Cautions in external wiring

As for the details of Instructions for connecting input devices, refer to the following manual.

→ Refer to **FX3G Series User's Manual - Hardware Edition**.

Protection circuit for load short-circuits

A short-circuit at a load connected to an output terminal could cause burnout at the output element or the PCB. To prevent this, a protection fuse should be inserted at the output.

Micro current load

The PLC's internal Triac output circuit is equipped with a turn-off C-R absorber. When connecting a very low current load of "0.4VA/100V AC or less, or 1.6VA/200V AC or less", please connect a surge absorber parallel to the load.

Select the rated voltage of a surge absorber that is suitable for the load being used. Refer to the table below for other specifications.

Item	Guide
Static electricity capacity	Approx. 0.1 μ F
Resistance value	Approx. 100 to 200 Ω

Interlock

Loads, such as contactors for normal and reverse rotations, that must not be turned on simultaneously should have an interlock in the PLC program and an external interlock.

4. Terminal block layouts

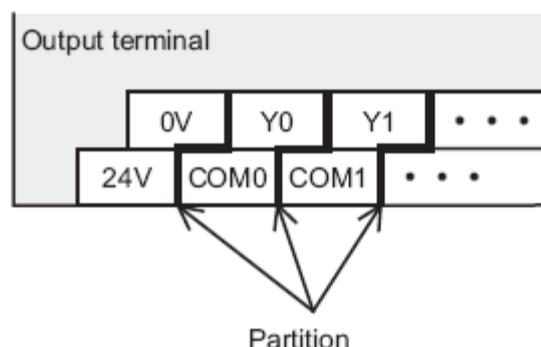
For details on the terminal block layout, refer to the following manual.

→ Refer to **FX3G Series User's Manual - Hardware Edition**.

Interpretation of partition

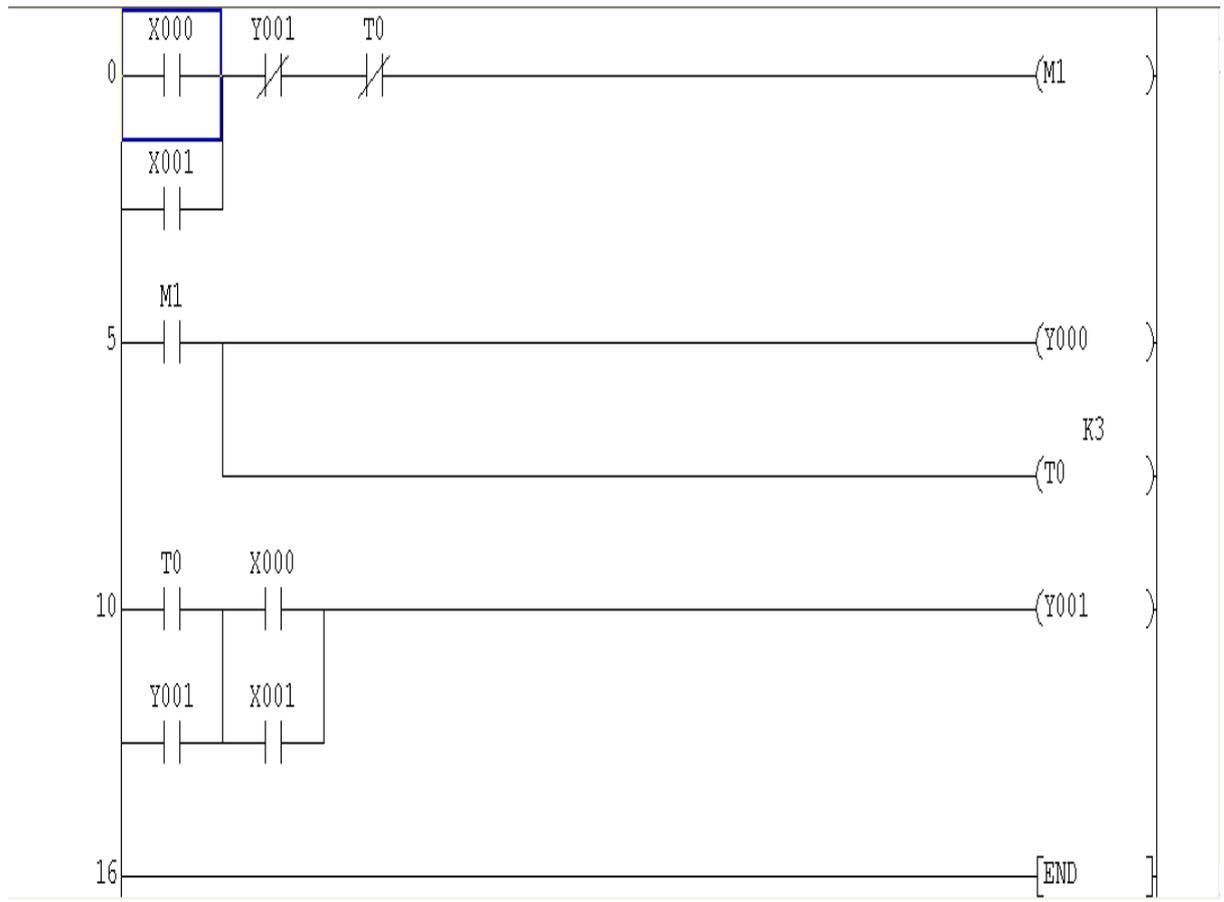
The partition of the output terminals (see following figure) indicates the range of the output connected to the same common.

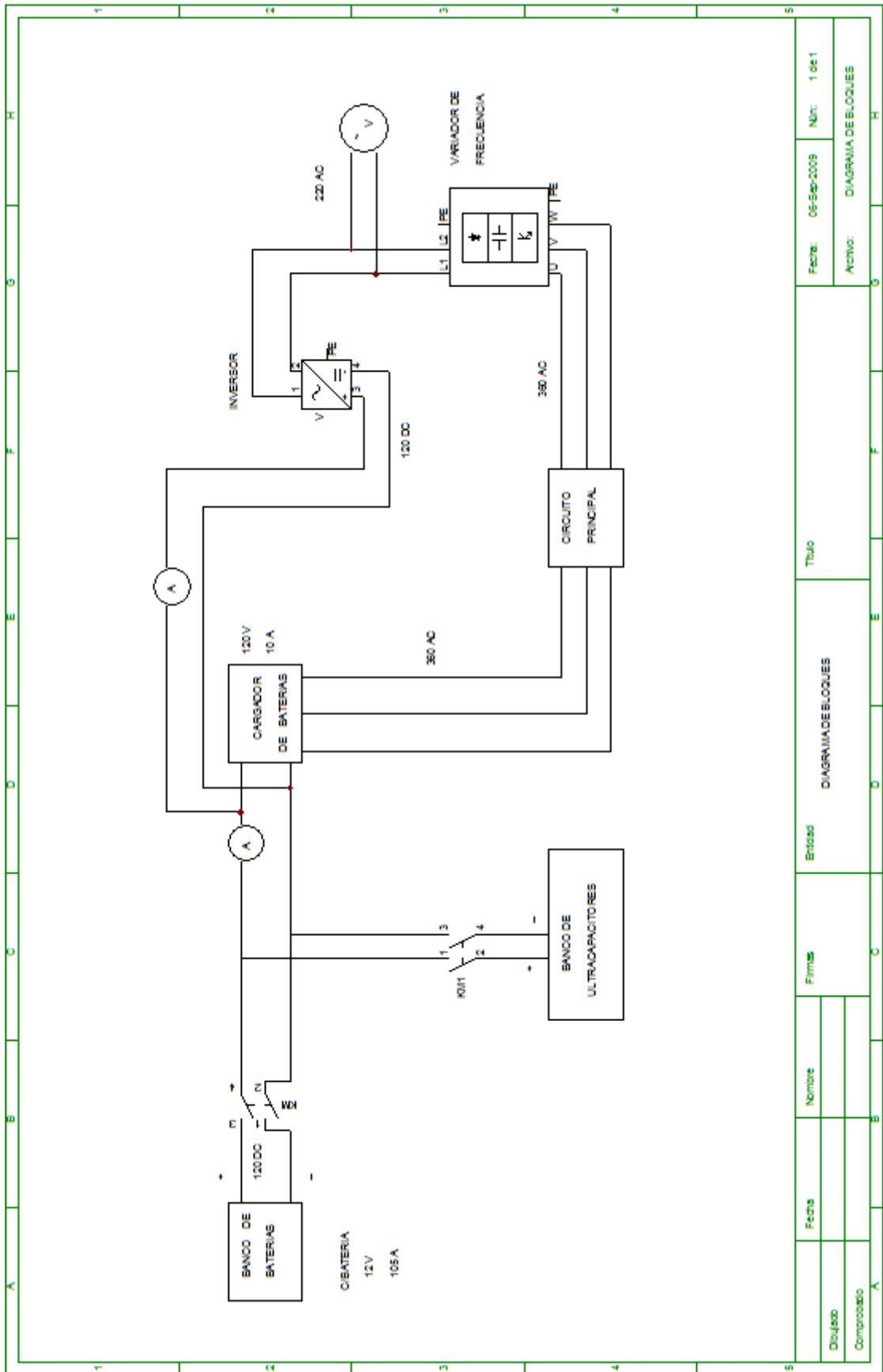
Example: FX3G-40MT/ES



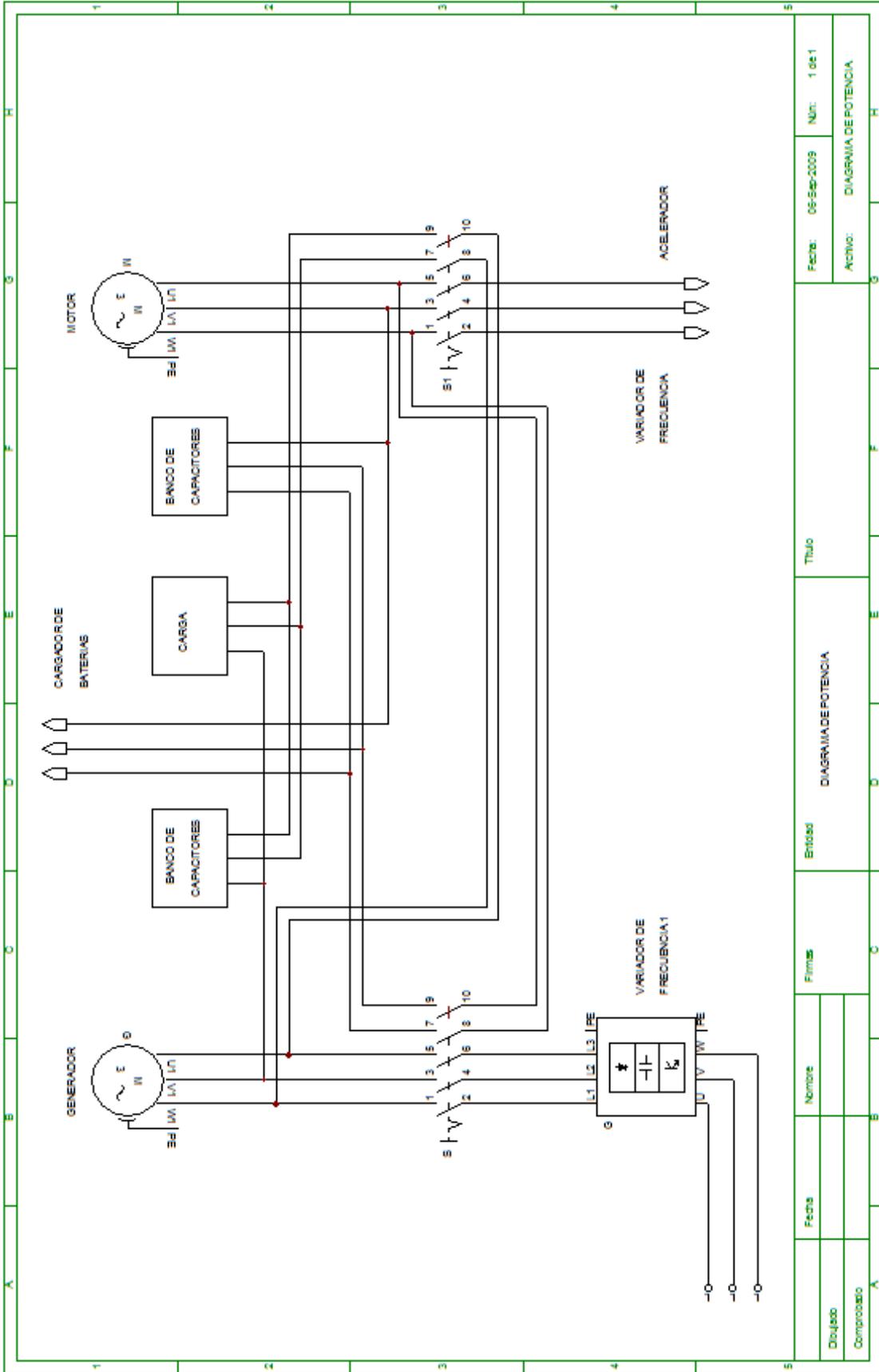
ANEXO C

DIAGRAMAS





Fecha		Nombre		Firma		Estado		Titulo		Fecha		Nro	
Dibujado								DIAGRAMA DE BLOQUES		05-SEP-2009		1 06 1	
Comprobado										AC/DC		DIAGRAMA DE BLOQUES	



Fecha		06-SEP-2009		Núm:		1 06 1	
Dibujado				Título		DIAGRAMA DE POTENCIA	
Comprobado				Estado		DIAGRAMA DE POTENCIA	
		Firmas					
		Nombre					

Latacunga, Enero del 2010

César Fabián Tenorio Chango

Nelvi Johana Vallejo Aguirre

Ing. Armando Álvarez S.
DIRECTOR DE LA CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA E
INSTRUMENTACIÓN

Ab. Eduardo Vásquez Alcázar
SECRETARIO ACADÉMICO