

1. Introducción a las Fuentes de alimentación ininterrumpidas

Las fuentes de alimentación ininterrumpidas, Uninterruptible Power Supply (UPS), proporcionan de manera ininterrumpida una tensión fiable y de alta calidad con la que se alimentan cargas de vital importancia.

Este tipo de fuentes protege a la carga de cortes de fluido eléctrico así como de sobre tensiones o bajadas de la misma.

Como se puede ver, este tipo de sistemas son necesarios para determinadas aplicaciones cuyo funcionamiento ininterrumpido es primordial, éste puede ser el caso de equipos médicos, sistemas de almacenamiento de datos, equipos de emergencia...

Una fuente de estas características debe ser capaz de suministrar potencia de manera ininterrumpida con las condiciones necesarias que exija cada aplicación, por ello una UPS ideal debe presentar las siguientes características:

- La salida de tensión debe tener un bajo contenido en armónicos, independientemente de los cambios en la tensión de entrada, y en la carga. Ya sea ésta lineal o no lineal y esté o no balanceada.
- El paso de modo normal, red funcionando correctamente, a modo back-up, modo en el que se extrae la potencia consumida por la carga, del sistema de almacenamiento de energía de la UPS, debe ser instantáneo.
- Si el SAI es alimentado por la Red, la corriente de entrada debe tener un bajo contenido en armónicos, ser sinusoidal, y con factor de potencia cercano a la unidad.
- Alta fiabilidad.
- Bypass con una fuente de alimentación redundante, para el caso en el que existiera un fallo interno.
- Aislamiento eléctrico del sistema de alimentación (típicamente baterías), de la salida y de la entrada.
- Bajo mantenimiento
- Bajo coste, peso y tamaño

1.1 Clasificación

Los sistemas UPS se clasifican en tres grandes grupos: Estáticos, Rotatorios e híbridos de los dos anteriores.

1.1.1 UPS Estáticos

Son el tipo de UPSs más empleadas, debido a la gran adaptación que presentan para trabajar a diferentes potencias, ya sean bajas, caso de ordenadores personales, o elevadas.

Sus principales ventajas son la alta eficiencia, elevada fiabilidad y bajo THD.

En su contra se tiene un rendimiento bajo cuando se alimentan cargas no lineales o no balanceadas y el elevado costo que supone asegurar esa elevada fiabilidad mencionada en las ventajas.

Dentro de este tipo de sistemas existen tres configuraciones posibles, On-Line, Off-Line y Line-Interactive.

- On-Line UPS:

Estos sistemas aparecieron en la década de los 70. Están compuestos de un rectificador/cargador, un sistema de almacenamiento de energía, al que nos referiremos como banco de baterías por ser el más común de éstos, un inversor, y un interruptor estático (Bypass). En la Figura 1 se puede ver un esquema con los constituyentes de éste tipo de UPSs.

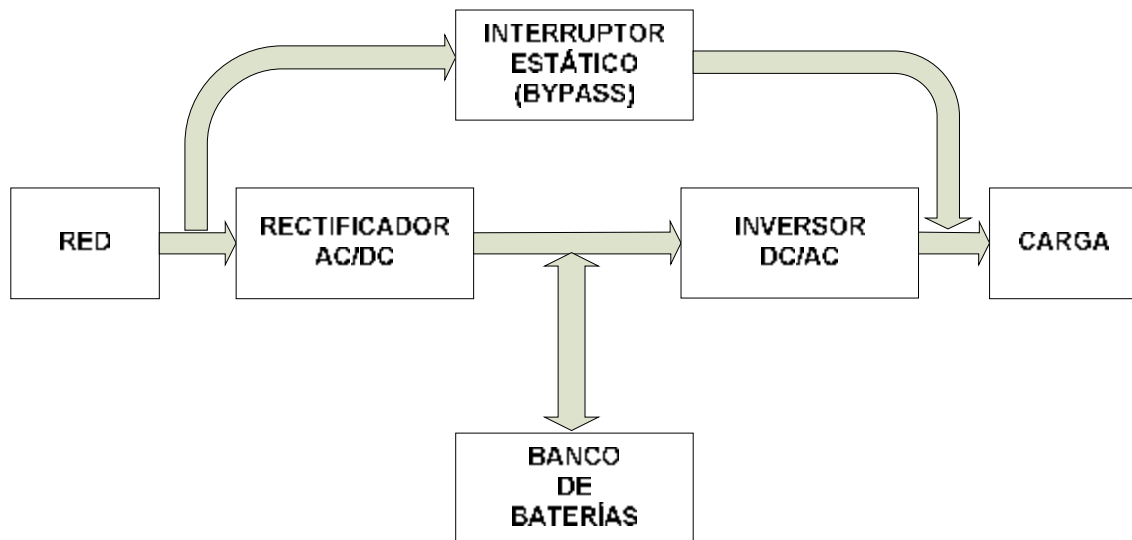


Figura 1. Elementos que conforman una UPS On-Line

El rectificador/cargador suministra potencia de forma continua al Bus de continua. La potencia de éste debe asegurar el suministro del 100% de la requerida por la carga así como la exigida por el banco de baterías.

Las baterías suelen ser de plomo-ácido y se dimensionan para que alimenten la carga durante el periodo back-up, tiempo durante el cual la red no se encuentra disponible. La duración de este periodo depende de la aplicación.

El inversor se dimensiona para aportar a la carga el 100% de la potencia requerida ya sea en el modo normal o en el back-up.

El interruptor permitirá el suministro de potencia a partir de una fuente redundante, en el caso del mal funcionamiento o sobrecarga de la UPS.

Dentro de esta topología existen tres modos distintos de operación: modo normal, el modo de almacenamiento de energía y el modo bypass.

- Modo Normal de Operación

Mientras que la UPS se encuentre en este modo de operación, la potencia suministrada a la carga se hace vía rectificador-inversor, teniendo lugar una doble conversión, AC/DC en primer lugar y DC/AC a continuación.

El primero de los convertidores no sólo suministra potencia a la carga a través del inversor, sino que también cargará las baterías.

- Modo de Almacenamiento de Energía

Cuando la tensión de entrada, AC, está fuera de rango, será el inversor junto a las baterías el que mantenga alimentada de manera continuada la carga. Este modo de funcionamiento debería estar operativo desde el momento en que se produce la salida de rango hasta la vuelta al mismo, cuando esto suceda se debe conectar de nuevo a la línea AC, para ello debe tener la misma fase que ésta. Una vez conseguida la sincronización la UPS vuelve a su estado normal de funcionamiento.

- Modo Bypass

La UPS entrará a funcionar en este modo cuando exista un error interno, como podría ser una sobrecorriente. También es usado para el despeje de faltas.

La principal ventaja de las UPS on-line, es su amplia tolerancia a las variaciones de la tensión de entrada y la precisa regulación de la tensión de salida. Además no existe tiempo de transferencia en la transición de modo normal al modo de almacenamiento de energía.

La principal desventaja son los bajos factores de potencia, altos THD a la entrada y la baja eficiencia. La corriente de entrada se ve distorsionada a causa de la presencia del rectificador, para disminuir dicha distorsión sería necesario el empleo de un compensador del factor de potencia (PFC), lo que aumentaría más los costes de la UPS. Debido a esta bajo factor de potencia en la entrada, este tipo de UPS no puede utilizar de manera eficiente la red y la instalación local.

Por otro lado, la baja eficiencia anteriormente mencionada es intrínseca a esta topología debido a la doble conversión llevada a cabo. Aunque esta doble conversión presente una desventaja, realmente es la topología más usada debido a su rendimiento, acondicionamiento de potencia y protección de la carga. Por estos motivos esta topología es empleada dentro de un rango muy amplio de potencia, esto es desde los pocos kVA hasta varios MVA.

Dentro de la doble conversión existen dos tipologías, en una se emplea un transformador de aislamiento de baja frecuencia y en la otra uno de alta.

A continuación se presenta el primer caso:

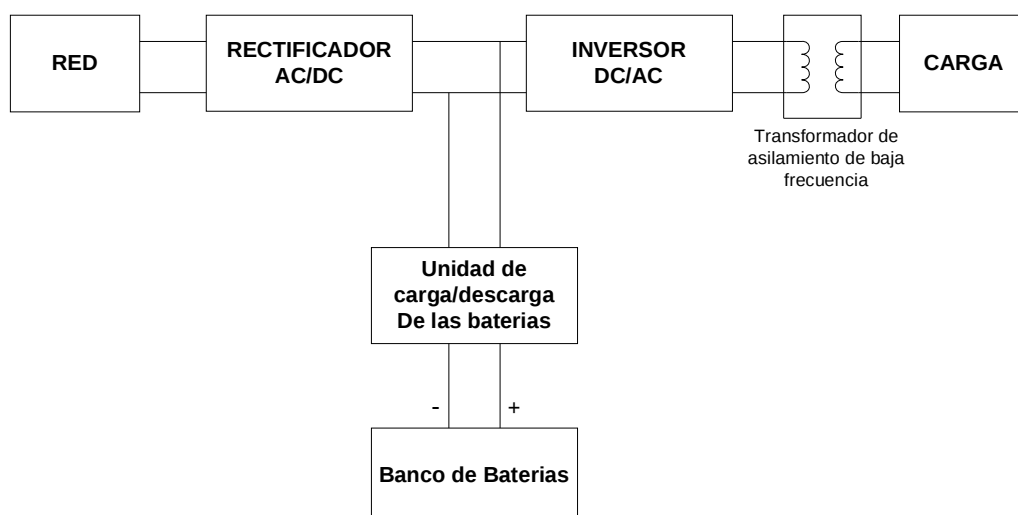


Figura 2. UPS On-line de doble conversión a baja frecuencia

La topología anterior va ligada a un transformador en la salida de gran tamaño. Esta variante de las UPSs son empleada para potencias elevadas, mayores de 20kVA donde las frecuencias de conmutación no exceden los 2kHz. A parte del tamaño del

transformador, el inconveniente de esta topología es el ruido acústico producido tanto del transformador como del ventilador del filtro de salida.

Este sistema presenta una respuesta transitoria pobre ante los cambios en la carga y la tensión de entrada.

Si se aumenta la frecuencia de conmutación del inversor, sobre los 20kHz, estos problemas se solucionan, excepto el del tamaño del transformador de aislamiento, ya que este es independiente de la frecuencia de conmutación.

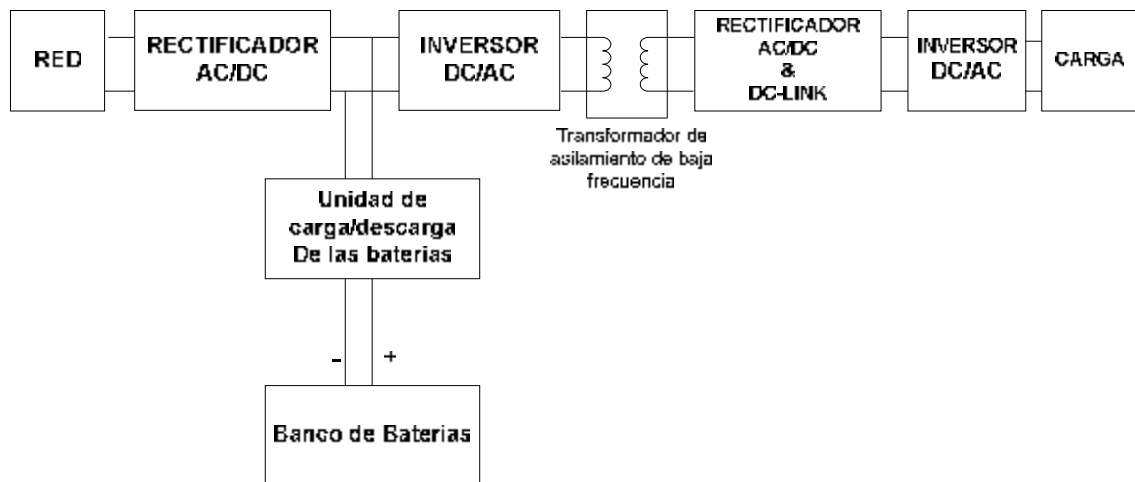


Figura 3. UPS On-line de doble conversión a alta frecuencia

- Off-Line UPS:

Esta configuración es también conocida como standby UPS. En la Figura 4 se muestra un esquema de esta topología.

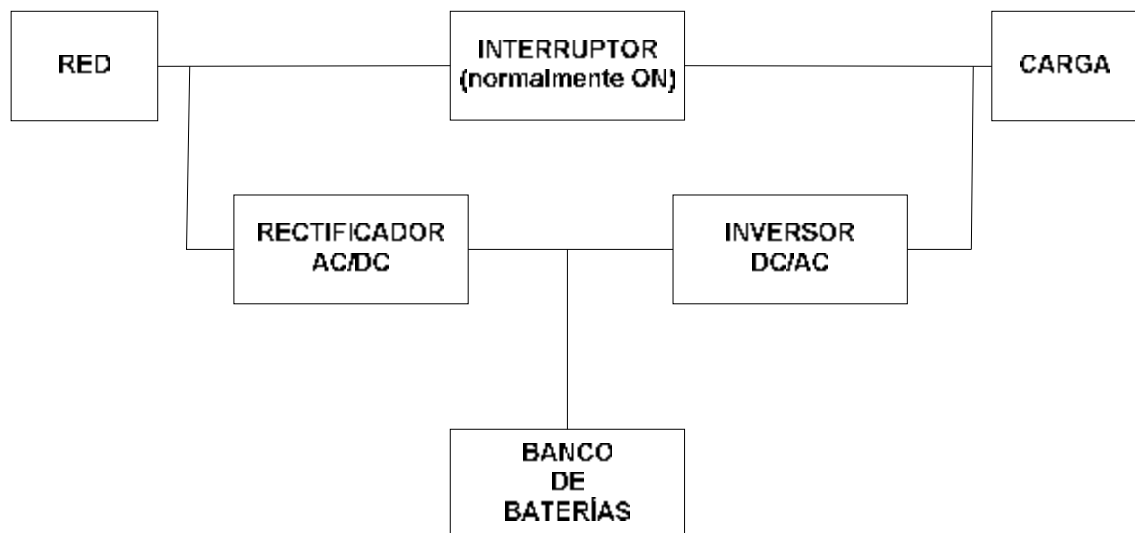


Figura 4. Diagrama de bloques de una UPS Off-line

Como se ve consta de un convertidor AC/DC, un banco de baterías, un inversor DC/AC y un interruptor estático. El interruptor estará cerrado durante el modo de operación normal, la red AC funciona dentro de un rango determinado.

Por ello la carga se alimenta directamente de la misma, sin ningún tipo de conversión. Por otro lado el convertidor AC/DC carga el banco de baterías. En este caso el rectificador es dimensionado para valores mucho menores que en el caso anterior, puesto que ahora a través de él no va pasar la potencia demandada por la carga. Sin embargo el inversor sí que será dimensionado para el 100% de la potencia demandada por la carga.

El convertidor DC/AC, está conectado en paralelo a la carga y en standby mientras que el comportamiento de la Red sea el adecuado, cuando ésta se salga del rango la energía demandada por la carga será suministrada por las baterías a través del inversor, durante el tiempo de back-up establecido o hasta que la Red se estabilice. El tiempo de transferencia está normalmente sobre un cuarto del ciclo de la línea.

En modo normal, es usual emplear el inversor como filtro activo para reducir el contenido de armónicos de la red o para mejorar el factor de potencia de la carga.

Existen dos tipos de funcionamiento posible para esta topología: el modo normal, y el modo de energía almacenada.

- Modo Normal de Operación

En este modo, la energía fluye directamente de la Red a la carga, generalmente se coloca un filtro antes de la carga para mejorar las condiciones de entrada a la misma.

Por otro lado el convertidor AC/DC irá cargando las baterías con el fin de suministrar potencia cuando sea requerida en el modo de energía almacenada.

- Modo de Energía almacenada

Cuando la Red sale de rango, se suministra la potencia requerida a la carga mediante las baterías a través del inversor, esto será así o hasta que la red vuelva a valores

tolerables o hasta que termine el tiempo de back-up establecido. Como ya se indicó anteriormente al no tener que dimensionar el rectificador para el 100% de la potencia demandada por la carga el coste de esta topología es menor que la de las UPS on-line.

Como ventajas principales de esta topología se encuentran su diseño simple, bajo costo y reducido tamaño.

Por otro lado, la falta de aislamiento entre la carga y la Red puede ser un problema en el caso en que ésta fuese necesaria, la no existencia de regulación para la tensión de salida, los largos tiempos de conmutación y un bajo rendimiento cuando se alimentan cargas no lineales. El uso de un transformador trifásico puede proporcionar el aislamiento eléctrico necesario, éste proporciona una alta fiabilidad a un coste moderado.

- Line-Interactive UPS:

En la Figura 5 se representan los elementos constituyen esta topología de las UPS:

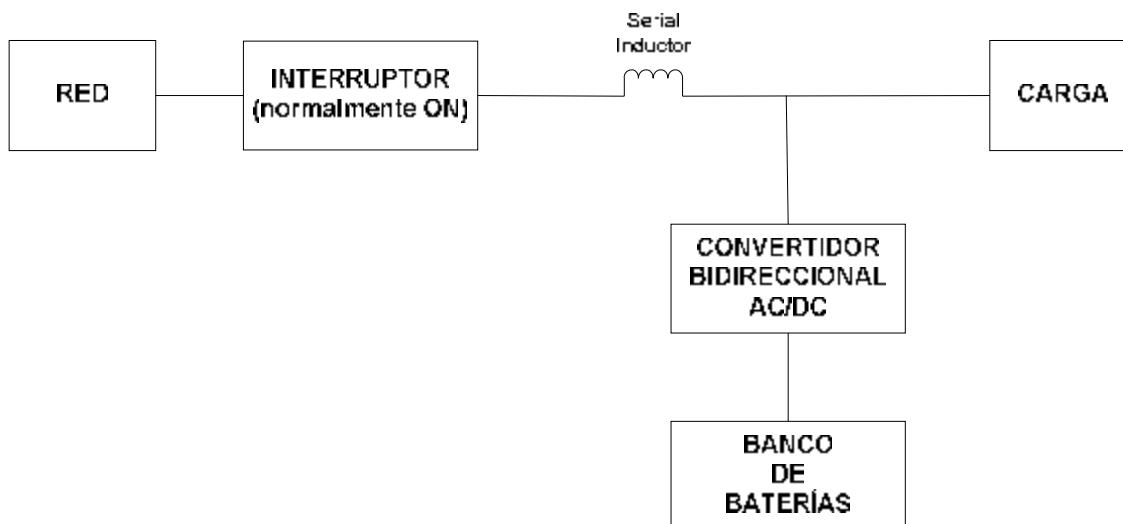


Figura 5. Diagrama de bloques de una Line-interactive UPS

Este tipo de UPS puede funcionar como cualquiera de las dos topologías anteriores. Para el caso de la Off-line UPS la bobina en serie no es requerida. Sin embargo, la mayoría de las line-interactive UPS operan como On-line para así mejorar el factor de potencia de la carga o regular la tensión de entrada de la misma.

Cuando la Red está dentro de unos límites aceptables será ésta la que suministre directamente a la carga. El convertidor se conecta en paralelo con la carga y el cargador de baterías. Éste también puede proporcionar la cantidad de potencia reactiva necesaria para mantener el factor de potencia cercano a uno o para regular la tensión de salida. Estas funciones del inversor son sólo llevadas a cabo en el modo On-line.

Para el ver el funcionamiento del sistema se estudiará el circuito equivalente representado en la Figura 6.

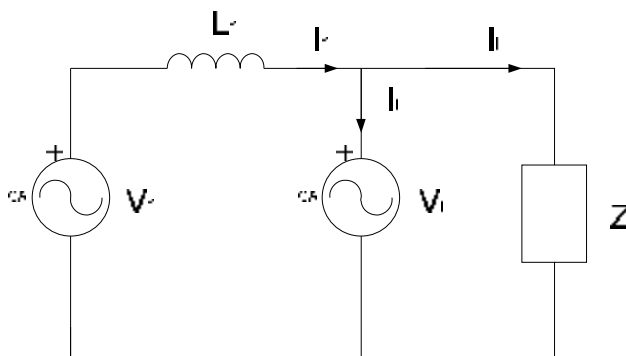


Figura 6. Circuito equivalente para la frecuencia fundamental de un UPS Line-interactive

La amplitud de V_i es determinada mediante la de las baterías y el índice de modulación m del convertidor PWM, de esta manera se podrá ajustar independientemente del valor de la tensión de Red.

El desfase entre ambas, δ , es proporcionado por la potencia activa según:

$$P = \frac{(V_i V_1 \sin d)}{j\omega L}$$

Asumiendo que en condiciones normales la caída de tensión en la inductancia es pequeña, nos encontramos con que δ está cercano a los 15° . De esta forma se asegura que el factor de potencia se encuentre cercano a la unidad ya que bajo estas condiciones $\cos\phi = \cos(\delta/2)$.

Si se considera una carga puramente resistiva, el inversor suministrará tan sólo la potencia reactiva necesaria para compensar la reactiva introducida por la inductancia. Si la carga tuviese una parte reactiva, el inversor la compensaría también.

- Modo Normal de Operación

El flujo de potencia circula desde la Red hasta la carga, en este caso, el convertidor juega un papel de cargador de las baterías. Éste además, mediante control PWM, puede proporcionar una tensión de salida estabilizada y sinusoidal o proporcionar el factor de potencia requerido por la carga.

La mayor parte de la corriente absorbida de la red va destinada a la carga, de hecho con esta topología no se inyectan armónicos adicionales a la red, lo que es una ventaja respecto de las otras topologías.

- Modo de Energía Almacenada

En este modo, el convertidor bidireccional trabaja como inversor y alimenta a la carga con la energía extraída de las baterías. La UPS se desconectará de la red para evitar la realimentación del inversor.

Las principales ventajas de las line-interactive UPS son su simple diseño y sin embargo su alta fiabilidad y bajo coste comparado con las otras topologías.

Poseen una gran capacidad para la supresión de armónicos en las corrientes de entrada. Todo esto provoca que la eficiencia de esta topología sea mucho mayor que la de las anteriormente comentadas.

Su principal desventaja es la falta de un aislamiento entre la Red y la carga, por ello sería conveniente el uso de un transformador, el cual solventaría este problema pero aumentaría el coste, tamaño y peso de la UPS. Debido a que el inversor no está conectado en serie con la carga, la tensión de salida no está bien acondicionada. A parte de todo esto, cabe mencionar que no es posible regular la frecuencia de la tensión de salida cuando se trabaja en el modo normal.

Existe una nueva serie de topologías (series-parallel line-interactive), Figura 7, denominadas delta-conversión UPS, que logran simultáneamente un factor de potencia unidad y una regulación precisa de la tensión de salida.

Ésta consta de dos convertidores bidireccionales, uno en serie y otro en paralelo, conectados a un grupo de baterías común, interruptor estático y un transformador en serie.

El convertidor en serie es dimensionado para un 20% de la potencia de salida de la UPS y se conecta a través de un transformador a la Red. El convertidor en paralelo se dimensiona para un 100% de la potencia de salida. Éste mantendrá la tensión de salida estable mediante un control PWM.

El convertidor dispuesto en serie compensa las diferencias entre la tensión de entrada y de salida, controla el factor de potencia a la entrada y la carga de las baterías. Cuando la Red se encuentra dentro de unos parámetros aceptables, la mayor parte de la potencia absorbida de ésta fluye directamente hacia la carga, siendo tan sólo un 15% lo que se desvía hacia las baterías.

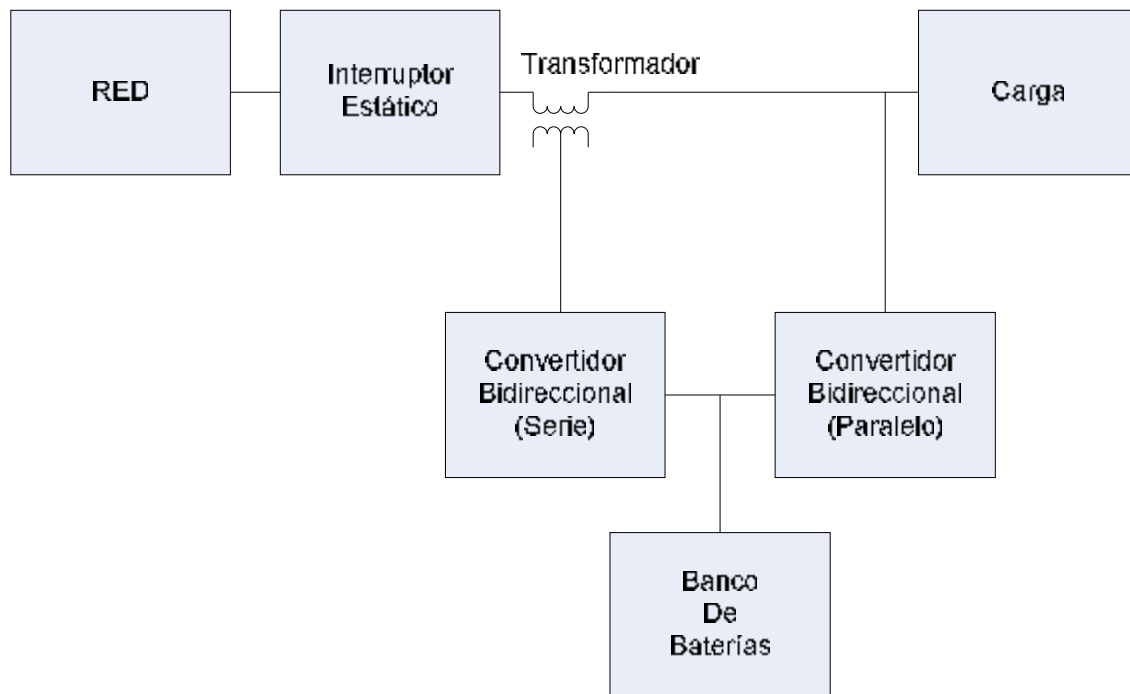


Figura 7. Diagrama de bloques de una UPS serie-paralelo line-interactive

1.1.2 UPS Rotatorios

Este tipo de UPS constan de un motor AC, una máquina DC, un generador AC y un banco de baterías. Se puede ver su diagrama de bloques en la Figura 8.

Poseen dos modos de operación al igual que las otras, el modo normal y el de energía almacenada. Durante el primero de ellos, la Red suministra energía al motor, el cual mueve la máquina DC que a través del generador AC suministra potencia a la carga. En el modo de energía almacenada son las baterías las que suministran potencia a la máquina DC.

Este tipo de sistemas son más fiables que las UPS estáticas, sin embargo requieren un mayor mantenimiento y poseen un mayor tamaño y peso.

Una de sus mayores ventajas es que en régimen transitorio pueden soportar sobrecargas de entre un 300%-600% de la nominal, siendo de un 150% para las UPS estáticas. El rendimiento de esta nueva topología cuando la carga es no lineal es bueno, debido a la baja impedancia de salida.

A lo anterior se puede añadir un THD menor del 3% en la corriente de entrada, ruidos EMI muy bajos y una eficiencia superior al 85%.

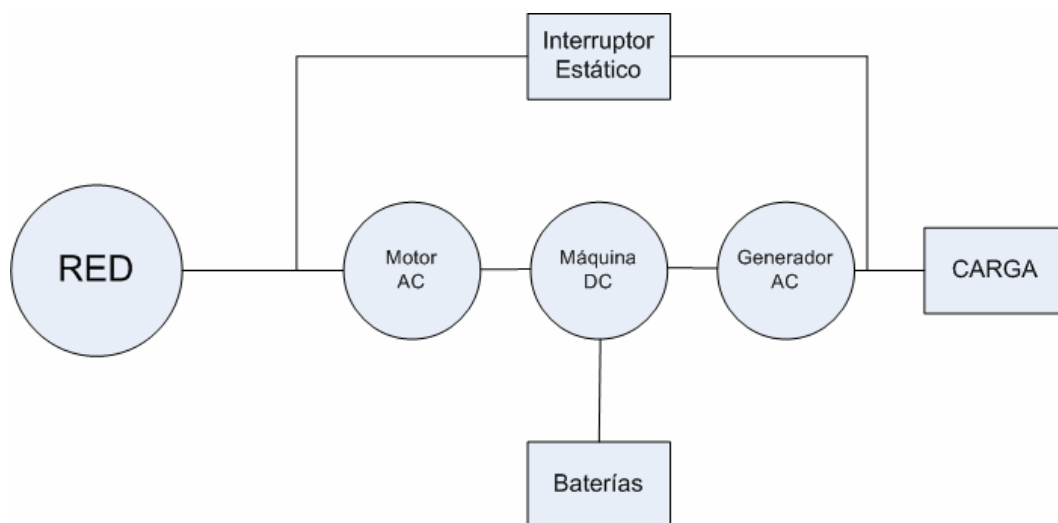


Figura 8. Diagrama de bloques una UPS rotatoria

1.1.3 UPS Híbridos

Estos combinan rasgos de las UPS estáticas y de las rotatorias. Por este motivo nos tienen una baja impedancia de salida, alta fiabilidad, una excelente estabilidad de la frecuencia y bajos costes de mantenimiento.

Constan de un convertidor bidireccional AC/DC, un motor AC, un generador AC, un banco de baterías y un interruptor.

Durante el modo normal, el motor es alimentado desde la Red y mueve al generador, será este último quien suministre finalmente a la carga. El convertidor bidireccional, el cual se comporta como un rectificador, carga las baterías.

Durante el modo de energía almacenada, el inversor suministra potencia al generador desde las baterías a través del motor AC.

Cuando existe un mal funcionamiento interno de la fuente, el interruptor estático se cierra y haciendo que sea la Red la encargada de alimentar directamente a la carga.

Habrá que tener en cuenta la sincronización entre la red y el voltaje de salida de la UPS.

Est  configuración, representada en la Figura 9, tiene la ventaja de que la transferencia desde la Red al inversor tiene lugar bajo condiciones controladas en vez de bajo condiciones de fallo. Otro punto a su favor es que el inversor est  siempre funcionando, de esta manera se evitan tiempos de transición para pasar del modo de energía almacenada al de funcionamiento normal.

La principal ventaja de esta UPS, sobre las est ticas, son la baja impedancia de salida, el bajo THD con cargas no lineales, alta fiabilidad y un mejor asilamiento.

Este tipo de fuentes son muy usadas en aplicaciones de muy alta potencia, como es el caso de cientos de kVA.

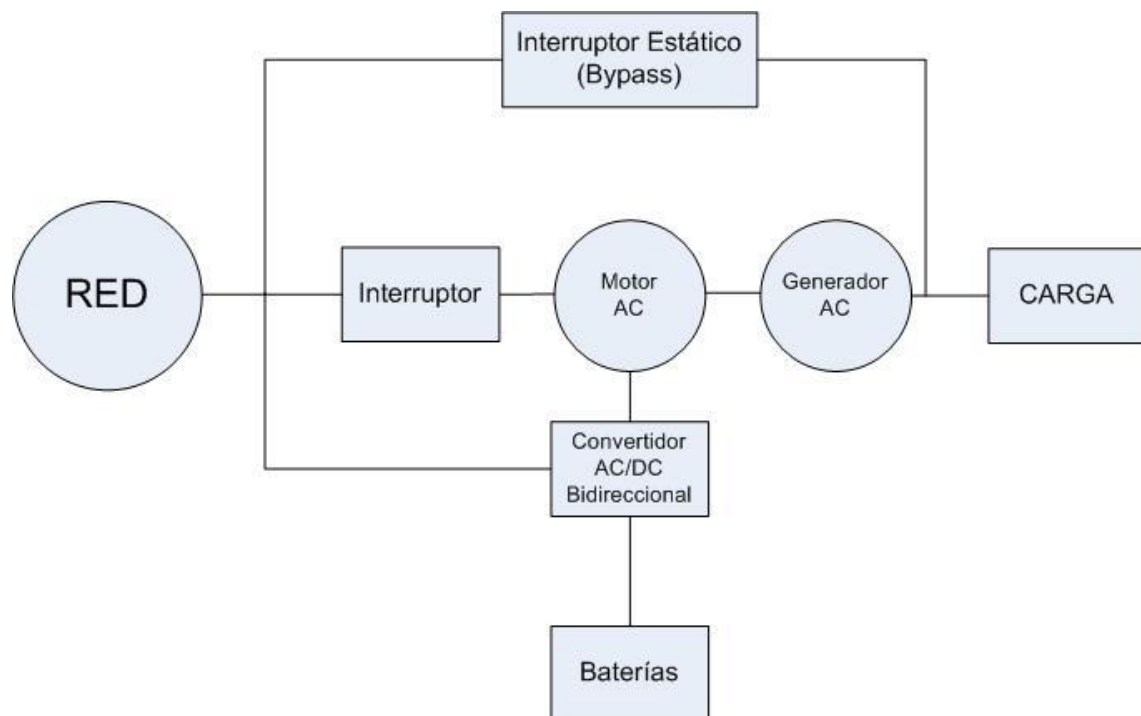


Figura 9. Diagrama de bloques de una UPS Híbrida (Est tica/Rotatoria)

- Sistemas de almacenamiento de energía

Cuando se habla de sistemas de almacenamiento de energía se piensa en baterías. Así es, en un principio el principal recurso para almacenaje de energía fue la batería electroquímica, siendo la más empleada la batería de ácido-plomo.

Hoy en día se presentan distintas posibilidades para llevar a cabo ésta función. Cuando buscamos elementos capaces de almacenar energía además de lo ya comentado, encontramos súper condensadores, Superconducting magnetic energy storage (SMES) y volantes de inercia.

Hoy en día son estos últimos los que más rápidamente se están desarrollando, compitiendo con las baterías electro-químicas en una gran variedad de aplicaciones, incluyendo calidad en la potencia, sistemas UPS, telecomunicaciones, vehículos terrestres y aviones.

Tradicionalmente los volantes de inercia se usaron solo como dispositivos de alto almacenamiento de energía, los cuales aportaban ésta cuando era necesario durante unos pocos segundos.

Sin embargo, hoy en día, existen volantes en el mercado capaces de proporcionar energía en el rango de kWh.

1.2 Comparativa entre la batería electroquímica y el volante de inercia

Los volantes de inercia son únicos entre los dispositivos de almacenamiento de energía por su capacidad para suministrar potencias muy altas. De hecho, el rango de energía que puede ser extraído de éstos está sólo limitado por el diseño del motor-generador y es muy alta. Esto es bastante diferente para el caso de las baterías, en las cuales su porcentaje de descarga es proporcional a la superficie de los platos y la resistencia interna de la misma. A mayor área mayor grado de descarga e igual sucede cuanto menor sea la resistencia interna. Con el fin de aumentar dicha área, se tienen dos opciones. La primera de ellas es hacer los platos lo más finos posibles y la otra es emplear un mayor número de éstos. El problema principal en el primer caso, es que la vida de la batería es proporcional al espesor de los platos, a menor espesor menor vida. En el segundo caso aunque la superficie aumenta al aumentar el número de platos, la capacidad también lo hace. Por ello, normalmente se suele sobredimensionar la capacidad, lo que implica un elevado costo, peso y volumen de la batería.

Cuando se disminuye la resistencia interna aparecen nuevos problemas. El primero de ellos es que se produce un acortamiento de la vida de la misma y el segundo es que aparecen efectos negativos en el rizado de los voltajes a través de la batería.

A pesar de todo esto, se ha llegado a un punto de equilibrio consiguiendo baterías capaces de suministrar elevadas corrientes durante cortos periodos de tiempo, estos es, entre 10 y 60 minutos. Sin embargo, quedan aún algunos problemas en el campo de alta potencia, estos son, un grado de recarga lento, estrecho margen de temperaturas para operar de forma óptima, no existe un método fiable para controlar el estado de carga y de “salud” y contaminación medio ambiental.

Los volantes de inercia presentan una solución a todos los problemas anteriormente mencionados, éstos poseen una rápida recarga y depende de la temperatura en muy baja medida, además de no emitir sustancias al ambiente. Por último su monitorización es muy fiable, simplemente sabiendo su velocidad se puede saber la cantidad de energía almacenada.

Sin embargo no se debe pensar en éstos como los sustitutos de las baterías electroquímicas. Más bien, deberían considerarse como una alternativa en aplicaciones donde la vida del dispositivo, volumen, peso, mantenimiento, sensibilidad a la temperatura, ambiente y fiabilidad sean críticas. Algunas de estas aplicaciones pueden ser, generación distribuida, sistemas UPS o la industria aeroespacial.

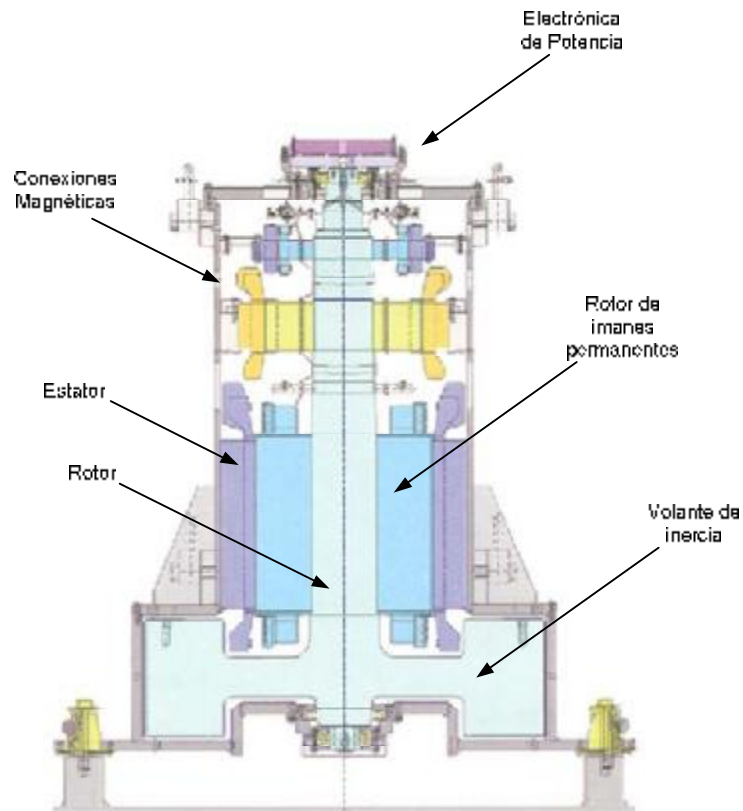


Figura 10. Corte longitudinal de un volante de inercia de alta-velocidad



Figura 11. Volante de inercia KST Rotablock(200kVA a 1500kVA)



Figura 12. Distintos tipos de UPSs industriales



Figura 13. UPS junto a su grupo de baterías

