

Aplicación de un grupo Electrónico y la repercusión del tipo de carga

Apellidos, nombre	Puche Panadero, Rubén (rupupca@die.upv.es)
Departamento	Departamento de Ingeniería Eléctrica
Centro	Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño Universidad Politécnica de Valencia

1 Resumen

Los grupos electrógenos son muy utilizados como sistema alternativo de suministro eléctrico, son muchas las aplicaciones que se tiene hoy en día para este equipo, todas ellas muy interesantes para los instaladores y los usuarios.

En este trabajo se realizan una serie de análisis muy útiles de aplicación que permiten al usuario tomar decisiones de funcionamiento que normalmente son desconocidas para los usuarios.

2 Introducción

Un sistema alternativo a las redes convencionales en el suministro de energía eléctrica es el que proporcionan los denominados "**grupos electrógenos**", estos sistemas alternativos de energía son cada día es más frecuentes. Las razones de su uso son múltiples entre ellas cabe destacar algunas:

- a) Hay instalaciones eléctricas que necesitan (por motivos de seguridad) tener al menos dos fuentes de energía alternativas, este tipo de instalaciones son lo que corresponden a locales de pública concurrencia, y con un número alto de posible aglomeración de personas, tales como son los grandes almacenes, centros comerciales, bibliotecas grandes, etc.
- b) Otras instalaciones con esta misma necesidad pero por motivos bien diferentes, son los que no se pueden dejar de funcionar un tiempo, aún siendo corto, tal como pueden ser centros de cálculo (ordenadores de cabecera) de salas de tráfico, de bancos, centrales de bomberos, protección civil, etc.
- c) Hay un tercer tipo de instalación que debe de tener prevista la alimentación desde al menos dos sistemas diferentes, por motivos de seguridad, como son los hospitales y sus departamento más vitales, los quirófanos, las unidades de asistencia intensiva, las de conservación y tratamiento de ciertas materias que necesitan mantener ciertas temperaturas.

Se podría ir enumerando otros tipos de instalaciones que requieran más de un sistema de alimentación, en todos estos casos la responsabilidad de este segundo sistema de alimentación suele recaer en los "**grupos electrógenos**".

Pero además de la importancia reflejada en los comentarios anteriores, hay otro tipo de aplicaciones características de los "**grupos electrógenos**", ya que en determinadas ocasiones se puede precisar del aporte de energía eléctrica en sitios y eventos determinados, tales como retransmisiones deportivas, conciertos, mítines políticos, fiestas, demanda de picos importantes de energía eléctrica en obras civiles, etc. Ante un evento de este tipo lo usual es contratar un equipo de generación autónoma de energía eléctrica de acuerdo con la potencia necesitada.

Una vez mencionadas las necesidades y/o aplicaciones usuales de los "**grupos electrógenos**", hay que decir que tan diversas como son las aplicaciones son el tipo de carga a alimentar, y en cada caso se requiere de un comportamiento diferente del equipo de generación. Normalmente los equipos utilizados hoy en día llevan incorporados aparatos de medida y regulación bastante sofisticados y poseen una

respuesta más o menos adecuada a cualquier aplicación. No obstante es muy interesante que las personas que manejan, contratan, alquilan, fabrican y mantienen estos equipos sepan adaptar óptimamente los equipos a la carga en cada aplicación.

También hay que señalar, que en determinadas aplicaciones se puede precisar de más de un **grupo electrógeno**, bien por la potencia total demandada o por la disponibilidad de equipos en cada instante. En estos casos se debe de suministrar la potencia demandada con más de un equipo y desde un único punto de enganche eléctrico, en este punto se deben de unir las salidas de ambos **grupos electrógenos** en un embarrado o punto de enganche en común. Esta tarea no es nada sencilla y además puede tener consecuencias muy importantes en el transcurso del funcionamiento del conjunto así formado. **Este es sin duda el principal motivo que ha incitado al autor a realizar este trabajo.** La figura 1, trata de representar la situación descrita.

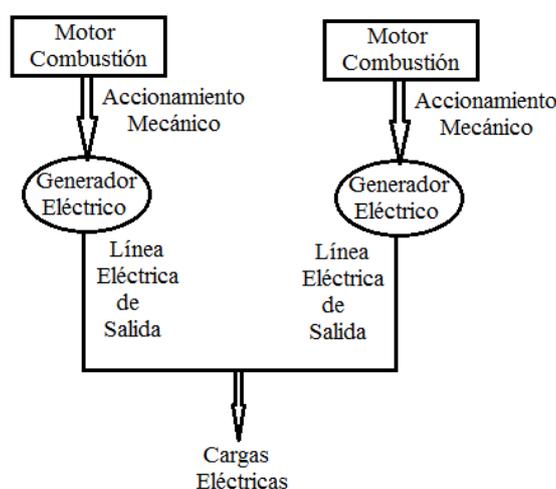


Figura 1. Acoplamiento en un mismo punto de enganche de 2 equipos.

Es por tanto, muy necesario que los técnicos relacionados con los **“grupos electrógenos”**, sepan solventar de forma clara los posibles problemas que se pueden presentar al utilizar uno o más de estos equipos. El autor de este trabajo pretende clarificar de forma sencilla los problemas mencionados para que cualquier técnico sepa actuar de forma adecuada ante cualquier aplicación.

Por último decir que la sensibilidad que tiene el autor de este artículo sobre estos temas nace de la propia experiencia laboral y de la adquirida en el diseño e impartición durante más de 20 años de una práctica docente relacionada con este tema, si bien esta práctica se monta para grupos de alumnos reducidos y con un perfil eminentemente eléctrico.

3 Objetivos

De acuerdo con la experiencia profesional en instalaciones industriales y docentes, el autor ha elaborado y desarrollado una práctica docente, impartida durante bastantes cursos, que clarifique la situación planteada. A lo largo de estos años, los alumnos han planteado diferentes cuestiones, que ha servido de base a la realización de este

artículo, en el que se pretende recoger todas estas inquietudes, para que cualquier Ingeniero o Técnico cualificado, que pueda ser el responsable de gestionar cualquier aplicación de este tipo puede disponer de un texto de consulta básico. Por lo tanto los objetivos más relevantes que se plantean en este artículo son los siguientes:

- Analizar el comportamiento de una red aislada, sin la referencia de la red convencional de alimentación de energía eléctrica.
- Comportamiento del "grupo electrógeno" ante diferentes tipos de cargas (resistivas, inductivas e incluso con carácter capacitivo).
- Estudiar los parámetros principales de regulación básica ante los tipos de carga posibles que se pueden presentar.
- Entender la mayor o menor participación y responsabilidad del motor de arrastre en la regulación y el reparto de la carga entre equipos de generación.
- Análisis de la idoneidad de la puesta en "paralelo" (o unión en un mismo punto) de la salida de los "grupos electrógenos"

Se considera que los lectores de este texto no tienen porqué ser especialistas en el campo eléctrico. Por tanto el planteamiento será desde el punto de vista de aplicación, sin entrar en detalle en las demostraciones rigurosas, pretendiéndose que sea un trabajo puramente intuitivo, muy sencillo y de aplicación directa de estos equipos.

Para el estudio detallado tanto de la máquina síncrona, que es la que de forma usual se utiliza en estos equipos, así como para analizar el comportamiento exhaustivo del motor térmico (motor de combustión), el lector debe de recurrir a la amplia bibliografía específica de esos temas.

4 Desarrollo

Las máquinas síncronas, que son el tipo de máquina eléctrica que se en los grandes generadores y en los "**grupos electrógenos**" son susceptibles de trabajar conectadas a las redes de alimentación convencionales o como generadores de energía eléctrica aislados de la red. Siendo este segundo caso el que se analiza en este artículo.

En los estudios de la máquina eléctrica síncrona se justifican una serie de expresiones importantes a tener en cuenta. En este trabajo se hace uso de las más representativas, invitando a lector a buscar información más detallada para justificar y profundizar en estas expresiones. Entre todas las ecuaciones representativas cabe destacar por su importancia, la ecuación (1):

$$E = K \cdot \hat{\phi} \cdot f \quad (1) \quad \text{donde} \quad k = 4,44 \cdot N \cdot \xi$$

Siendo:

- E la fuerza electromotriz o tensión generada, por la acción del flujo magnético, se expresa en voltios, esta tensión es en valor eficaz y es la que realmente se conoce y se mide con un voltímetro convencional.

- f la frecuencia de la tensión generada, o lo que es lo mismo, el número de ciclos por segundo. En nuestras redes convencionales son 50 hertzios, siendo en estas redes prácticamente constante.

- $\hat{\phi}$ como ya se ha indicado antes este, representa el flujo del campo magnético.

Por otro lado en la constante "k" se engloban parámetros características de fabricación de la máquina, como son el número de espiras de los devanados inducidos (N) y la constante (ξ) denominada "factor de devanado" que depende de la realización de estos. Por otro lado la constante "4,44", se obtiene del ajuste entre los valores máximos y los eficaces de las variables que intervienen en la expresión.

En esta aplicación es muy interesante remarcar que al encontrarse la máquina aislada de las redes convencionales de alimentación, se puede generar energía eléctrica a cualquier tensión y cualquier frecuencia, aunque lógicamente como los receptores a utilizar son los mismos que los utilizados en redes convencionales, los valores de la tensión y frecuencia tampoco pueden ser muy diferentes a los de las redes de alimentación. Por su importancia en la regulación, otra ecuación de la máquina empleada a tener en cuenta, es la que relaciona el campo magnético y su correspondiente flujo ($\hat{\phi}$), con la corriente que lo genera: el flujo puede ser creado por imanes permanentes, aunque es poco usual hasta la actualidad por la limitada potencia que se consigue. La ecuación en cuestión es la (2):

$$\hat{\phi} = \frac{N_{Exc} \cdot I_{ext}}{\mathfrak{R}} \quad (2)$$

Donde:

- $\hat{\phi}$ es el **flujo**, o también conocido como las **líneas de campo magnético**.

- N_{Exc} número de espiras que tiene realizado el devanado que genera el campo magnético, se trata pues, del **devanado de excitación**, esta bobina es independiente de las enunciadas anteriormente.

- I_{ext} la **corriente de excitación**, es corriente continua, obtenida de una batería o a través de un puente rectificador.

- (\mathfrak{R}) es la **reluctancia** del circuito magnético recorrido por " ϕ ", y viene a determinar la calidad del circuito magnético.

En una máquina construida, hay una relación directa entre la velocidad de giro del rotor (que es donde se crea el flujo) y la frecuencia, y esta es la de la expresión (3):

$$n_s = \frac{f \cdot 60}{p} \quad (3)$$

Donde:

.- n_s es la velocidad a la que gira el campo magnético o velocidad de sincronismo, esta viene expresada en revoluciones por minuto (rpm), siendo estas unidades las que frecuentemente se encuentra en las máquinas rotativas.

.- f es la frecuencia de la red eléctrica creada por la máquina eléctrica.

.- p es el número de pares de polos con los que se ha diseñado la máquina eléctrica.

Solo queda indicar que el campo magnético creado por las bobinas de excitación es unidireccional y gira solidario con el rotor a la velocidad de sincronismo " n_s ".

4.1.- Comportamiento ante cargas de tipo resistivo.

Las cargas de tipo resistivo son cargas que demandan la potencia eléctrica útil o potencia activa. En una motor esta potencia útil es entregada a través del giro del motor, por tanto se puede establecer una relación directa en estas máquinas rotativas entre la potencia activa (que entregan o demanda) y el giro del rotor. Se aconseja al lector que busque la justificación que necesite en esta relación en textos de máquinas rotativas.

Así pues, al conectarse cargas de tipo resistivo en el sistema de energía eléctrica generado por el "**grupo electrónico**" la tendencia es a reducir la velocidad de giro de la máquina eléctrica, observando las ecuaciones (1) y (3) que determina el funcionamiento del generador, se aprecia que si la velocidad se modifica con la carga, obviamente se modifica la frecuencia y esta a su vez, afectada a la fuerza electromotriz. Es decir, cualquier modificación en la carga de tipo activo (variación de la resistencia) implica una modificación tanto de la tensión como de la frecuencia.

En el ensayo realizado en el laboratorio, se dispone de un generador síncrono de 5 kVA, que en vacío se prepara para generar una tensión de 400 V., a una frecuencia de 49,5 Hz (por aquello de que no sea exactamente la de la red). Ante una carga resistiva de 2 kW., se aprecia una disminución de unos 4 voltios y 2 hercios.

Hay que decir, que en los ensayos realizados en el laboratorio, antes mencionados, las máquinas no disponen de los reguladores que si que llevan convencionalmente los grupos electrógenos.

4.2.- Comportamiento ante cargas de tipo inductivo (bobina).

Los ensayos con cargas de tipo exclusivamente de tipo inductivo, realizadas en el laboratorio, demuestran el efecto de las bobinas sobre la corriente reactiva, siendo este efecto bastante importante. Este tipo de cargas provocan una desmagnetización significativa sobre la máquina eléctrica, y se debilita sensiblemente el flujo de trabajo del generador.

En el correspondiente ensayo en el laboratorio, si la carga utilizada es de valor similar al ensayo con carga resistiva (de aproximadamente 2 kVAr), la disminución de tensión es de unos 10 voltios, sensiblemente mayor a la disminución de unos 4 voltios del caso anterior. Sin embargo la carga reactiva prácticamente no afecta a la velocidad de giro de la máquina eléctrica, esto implica que la frecuencia generada, permanece prácticamente invariable.

4.3.- Comportamiento ante cargas de tipo capacitivo.

Aunque es conocido que las cargas normalmente no suelen ser condensadores, para poder completar los ensayos, con todo tipo de cargas, se procede a cargar al grupo generador con un conjunto de condensadores trifásicos y como era de esperar el efecto que provoca es el contrario al caso de bobinas, es decir, este tipo de cargas inyecta al generador una corriente reactiva, de sentido inverso al de las bobinas, que provocan una subida del flujo, y atendiendo a la ecuación (1) y (3) esto hace que la tensión generada se incremente.

De nuevo en los ensayos del laboratorio, al añadir alrededor de 2 kVAr, pero ahora de carácter capacitivo, *la velocidad, y en consecuencia la frecuencia no varía, mientras que la tensión aumenta en torno a unos 10 voltios*. El efecto que se estaría produciendo es una hiperexcitación que al no tener limitado ninguna referencia de tensión ni frecuencia, la transformación es automática.

4.4.- Cargas convencionales de aplicación.

Una vez ejercitado el efecto con cargas prácticamente "puras", se procede a simular una situación similar a la correspondiente a las cargas usuales, de esta manera se comprueba el comportamiento real de un grupo generador. Como se ha indicado anteriormente cada carga tiene un factor de potencia particular, pero en un conjunto el valor del factor de potencia es poco variable y suele estar entre 0,8 y 0,9.

En los análisis de los apartados anteriores, la incidencia sobre la frecuencia y la tensión es proporcional al factor de potencia del conjunto de las cargas simuladas y en cada punto de carga se aprecia la variación de ambos parámetros (tensión y frecuencia), tal y como era de prever.

4.5.- Ajuste según el tipo de carga.

Aunque los "**grupos electrógenos**" hoy en día se encuentren totalmente regulados y controlados, y disponen de los accionamientos necesarios para que mantengan prácticamente constantes los valores de tensión y frecuencia, no obstante, no está de más que los técnicos que deban de manejar este tipo de equipos sepan actuar adecuadamente si se conoce previamente el tipo de carga que se va a tener y su factor de potencia, teniendo en cuenta el tipo de instalación. Así, si se sabe que un equipo va a trabajar con una carga con un factor de potencia "malo" (con un

porcentaje alto de componente bobina), hay que ser bastante exigente con la regulación de la corriente de excitación que es la que sensiblemente actúa sobre la potencia reactiva. Son ejemplos de este tipo las cargas de tipo motor eléctrico, lámparas de descarga (tubos fluorescentes o lámparas de alumbrado público, y similares).

Por el contrario si las cargas previstas son de tipo resistivo (que son básicamente estufas eléctricas y similares) hay que prestar mucha atención con la regulación del motor de arrastre, es decir hay que ser muy sensible al ajuste del control del acelerador de los motores de combustión que impulsan al generador.

4.6.- Posibilidad de regular el factor de potencia.

Cuando se utilizan estos equipos y con cargas con factores de potencia "malos" ($\cos\phi$ muy inductivos), no es necesario hacer uso de baterías de condensadores, que actúen como compensadores de la energía reactiva. Los motivos fundamentalmente son dos, uno porque en redes aisladas no debe de preocupar en exceso trabajar con determinados factores de potencia bajos, salvo que se quiera optimizar la capacidad de generación de potencia activa de la máquina eléctrica, ya que puede ocurrir que las necesidades del consumo de energía eléctrica exijan que el generador trabaje cerca de su potencia nominal, en ese caso conviene que el generador trabaje con " $\cos\phi$ " próximo a la unidad. Para analizar más exhaustivamente este concepto, se recomienda al lector estudiar la bibliografía de máquinas síncronas.

Por otro lado, la compensación del factor de potencia se puede realizar de forma muy sencilla incrementando la corriente de excitación, es decir sobrecitando, ya que los consumos "tipo bobina" demandan energía reactiva que provocan una desmagnetización de la máquina eléctrica. Además suele ser muy apropiado esta forma de regular la potencia reactiva, ya que con incrementos pequeños de corriente de excitación (que además es generalmente corriente continua) se puede suministrar potencias reactivas en mayor porcentaje.

4.7.- Puesta "en paralelo" de las salidas de dos o más "grupos electrógenos".

Aunque, a primera vista, parece extraño (incluso poco recomendable) que se necesite en algún momento poner "en paralelo" al menos dos grupos electrógenos, esto puede ocurrir con cierta frecuencia en determinado tipo de instalaciones, como pueden ser las instalaciones temporales y/o móviles (conciertos, obras, festivales, retransmisiones deportivas, circos, etc), en instalaciones que excepcionalmente necesiten de refuerzo en la aportación de suministro eléctrico (averías en centros de transformación, etc.), y otras de características similares. Podría ocurrir que para estos suministros, con un grupo electrógeno no se tuviese suficiente potencia, bien por la elevada potencia del suministro, o porque no se disponga excepcionalmente de los equipos oportunos.

Este punto, puede que sin duda sea el más importante de todos los tratados en este trabajo, ya que parece que una puesta "en paralelo" para obtener una determinada potencia, que con un único "grupo electrógeno" no se puede suministrar, no debe de tener ninguna repercusión, y sin embargo hay que tener en cuenta muchas variables tanto desde el punto de vista eléctrico como desde el punto de vista del motor que arrastre a los generadores.

En primer lugar decir que para poder acoplarlos "en paralelo" se deben de cumplir, una serie de requisitos eléctricos, que básicamente son: "igualdad de tensiones", "igualdad de frecuencias", que ambos sistemas de generación "estén en fase", y por último que el "sentido de giro de las fases sea el mismo". De nuevo se recomienda al lector que acuda a los textos especializados, para poder estudiar allí las consecuencias de no respetar estos requerimientos. Estos requisitos son los mismos que para establecer el funcionamiento en paralelo de dos sistemas eléctricos cualesquiera.

Una vez acoplados ambos grupos de generación, y al procederse a la carga del conjunto, para un buen reparto de cargas entre ambos grupos se deben de tener en cuenta el comportamiento tanto de la máquina eléctrica como del motor de arrastre. Para la máquina eléctrica se ha de tener en cuenta que ambas máquinas síncronas sean lo más idénticas posibles o en cualquier caso que dispongan de:

- a) Tensiones de salida idénticas, en caso contrario puede aparecer unas corrientes circulatorias en vacío, otro parámetro a tener en cuenta es las caídas de tensión en los generadores sean proporcionales al índice de carga (relación entre la corriente de carga y la corriente nominal) de ambos, para que el reparto de cargas sea proporcional sin desestabilizar la tensión de salida.
- b) En segundo lugar la respuesta del motor de arrastre debe ser idéntica, en caso contrario el porcentaje de carga no sea igualitario.

Para cumplir con el apartado (a), se debe verificar que las máquinas eléctricas se han diseñado para poder acoplarse en paralelo entre sí. A tener en cuenta en la compra y fabricación de las máquinas.

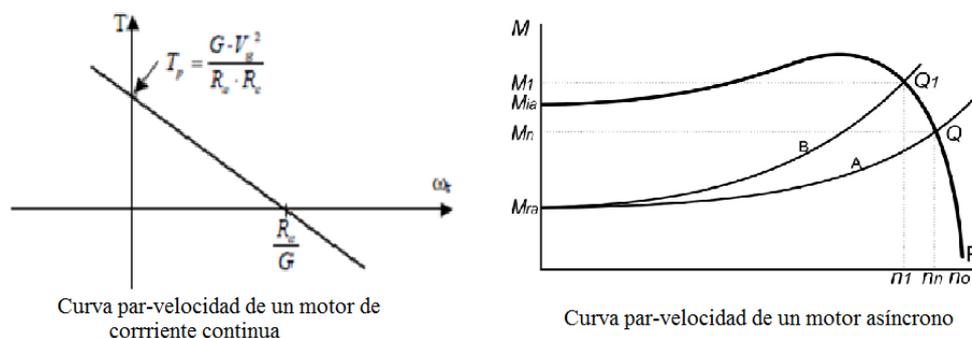


Figura 2.- Característica de funcionamiento de motores eléctricos.

El caso de los motores de arrastre, es más complejo. Para el ejemplo práctico de los ensayos que se realizan en el laboratorio se utilizan dos motores eléctricos diferentes, uno de corriente continua y otro un motor asíncrono. En la figura 2, se dan característica de funcionamiento (gráfica "par-velocidad"), la de la izquierda se corresponde la del motor de corriente continua, la de la derecha con la del motor

asíncrono. Al variar la carga, ambos equipos (por estar unidos eléctricamente) modifican su velocidad en la mismo valor (igualdad de frecuencia), y atendiendo a las curvas de par-velocidad, esto implica un aporte de potencia de arrastre muy diferente. Solo hay que observar las gráficas y comprobar que para una misma variación de velocidad el par o potencia entregada es muy diferente. Para este ejemplo el motor asíncrono entrega una potencia muy superior.

Al acoplar dos **"grupos electrógenos"** en paralelo, si la carga no es repartida proporcionalmente a sus potencias, según lo expuesto en el párrafo anterior, se establece un límite de potencia total a entregar sustancialmente menor a la suma de las potencias de ambos grupos electrógenos. Esto es debido a que uno puede llegar a entregar su 100% de potencia y el otro un porcentaje muy inferior, dependiendo del motor de arrastre en cada caso.

5 Cierre

Con este trabajo, se ha pretendido que el lector pueda disponer de unos conocimientos básicos pero muy clarificantes del uso de uno de los sistemas alternativos de energía eléctrica, que hoy en día es de uso muy frecuente, tanto en aplicaciones habituales, como sistema alternativo de suministro eléctrico, como sistema autónomo de generación, que puede incluso servir como energía eléctrica de "socorro" ante averías importantes en las redes de distribución (el autor se acuerda de la cercana avería en Barcelona donde estuvieron varios días incluso semanas con este tipo de suministro energético).

Por otro lado se ha intentado exponer la incidencia que tiene los diversos tipos de cargas sobre estos generadores aislados de la red de distribución, y donde debe de prestar su máxima atención los usuarios de estos equipos para una respuesta rápida y justificada.

6 Bibliografía

[1] Theodore Wildi. *Máquinas eléctricas y sistemas de potencia*. Pearson educación, 2007.

[2] Orlando Silvio Lobosco, José Luis Pereira da Costa Dias, and David Oliver. *Selección y aplicación de motores eléctricos*. Barcelona: Marcombo; Siemens AG Corporate Communications, 1989.

[3] Xavier Elías Castells. *La recuperación de la energía. Cogeneración, intercambiadores y regeneradores de energía: Tratamiento y valorización energética de residuos*. Editorial Díaz de Santos, SA, 2012.

[4] Ramón R Pecharromán, Eduardo Pilo, and Álvaro López. *Alimentación eléctrica, cogeneración, almacenamiento y diseño de la red*. Fundación de los Ferrocarriles Españoles, 2012.