

Optimización de la energía solar fotovoltaica en edificaciones

J. C. SÁENZ-DÍEZ MURO, J. M. BLANCO BARRERO, E. JIMÉNEZ MACÍAS,
M. PÉREZ DE LA PARTE Y J. I. LATORRE BIEL

La generación de energías renovables (GER) y el control de la curva de demanda (DSM) son las dos principales directrices para mejorar la eficiencia energética en edificios singulares y de viviendas



Introducción

Se presenta un procedimiento (algoritmos) de optimización para la supervisión, control y gestión de energía eléctrica solar fotovoltaica (ESFV) en edificios singulares y destinados principalmente a viviendas.

Los principios básicos de actuación se encuadran en dos grandes directrices denominadas Generación de Energías Renovables (GER) y Control de la Curva de Demanda (DSM).

Se entiende, desde el punto de vista de GER, que cuanto más energía eléctrica se genere y por lo tanto se venda a la red eléctrica más ingresos se obtendrán. Por otra parte, se está observando que las redes eléctricas de distribución empiezan a tener problemas de imposibilidad manifiesta de atender las puntas de demanda. Por esto, desde el punto de vista de eficiencia energética es muy interesante disponer de un sistema que pueda reducir las puntas de demanda de los edificios, es decir, técnicas de DSM.

Se han obtenido una serie de procedimientos (algoritmos), que sirvan para justificar la implantación de paneles fotovoltaicos en edificios. Se pretende obtener bastante producción científica de dicho procedimiento así como obtener algún modelo de utilidad y patentes.

Descripción

El sistema presentado se subdivide desde el punto de vista de funcionalidad en dos sistemas:

Sistema físico y sistema Lógico.

El *sistema físico* se compone de un subsistema de alimentación ininterrumpida (SAI), de tipo "en línea", adaptado al sistema y de dimensionamiento adecuado.

El subsistema de energía eléctrica fotovoltaico (ESFV) alimenta a tres hilos de corriente continua mediante una etapa adecuada de adaptación y regulación de carga (ARC) el bus de corriente continua del SAI. Por otra parte, el SAI se alimenta de la red de distribución de la compañía eléctrica. El SAI alimenta en dual controladamente el edificio (consumo, DSM) y/o la red de distribución (generación, GER).

El *sistema lógico* lo forman los algoritmos de optimización para la supervisión, control y gestión del sistema.

Se han implementado en PC mediante *software* industrial. El PC estará ubicado en el cuarto técnico (CT). Tendrá comunicación mediante WLAN con los diferentes subsistemas, así como con las posibles entradas y/o salidas tanto digitales

y/o analógicas que haya que leer/escribir en cualquier zona del edificio. El *software* elegido sobre el cual se ha implementado la aplicación es de la firma Siemens®: WinAC®, para control y WinCC Flexible®, para supervisión. En ambos se han implementado rutinas de optimización.

WinAC y WinCC Flexible son productos de vanguardia tecnológica sobre los que se han implementado código novedoso. Se ha empleado para programación de WinAC®, el programa STEP7® Edición Profesional, y el paquete de programación SCL® para generar bloques de función (FB) en pseudoPascal, según normativa EN. Se han implementado algoritmos de optimización en WinCC Flexible® mediante VBS® para estandarizar las mismas.

El sistema lógico presentado se caracteriza por ser en tiempo real y determinístico, con lo cual se pueden cumplir las expectativas más exigentes.

Sistema físico

El sistema físico, según se ha comentado en el párrafo anterior, se compone de:

1. Subsistema de alimentación ininterrumpida (SAI).
2. Subsistema de alimentación de la red eléctrica.
3. Subsistema de alimentación de ESFV.
4. Subsistema de alimentación del edificio.
5. Subsistema de generación de ESFV.

Subsistema de alimentación ininterrumpida (SAI)

El SAI se dimensionará en función de la potencia demandada por el edificio, del sistema de ESFV y del grado de actuación del DSM. Existen en el mercado SAI modulares, de gran potencia, mediante los cuales se puede llegar fácilmente a los 1000 kVA. Estas potencias son suficientes para el campo del presente artículo que son edificios singulares y destinados principalmente a viviendas.

Se compone de :

1. Etapa rectificadora.
 2. Etapa de almacenamiento de energía eléctrica.
 3. Etapa inversora.
 4. Etapa de control.
- *Etapa rectificadora.* Se compone de un puente trifásico de diodos que rectifica la energía eléctrica alterna a 50 Hz a corriente continua. Esta energía se entrega en el bus de corriente continua.

– *Etapa de almacenamiento de energía eléctrica.* La energía eléctrica, como tal, sólo se puede almacenar en forma de corriente continua. Por ello desde el bus de corriente continua se obtiene la energía necesaria para la carga de las baterías.

– *Etapa inversora.* La energía entregada al edificio debe ser alterna a 50 Hz, que es el estándar europeo. Por ello la energía captada en el bus de corriente continua se ondula.

– *Etapa de control.* Se leen/escriben todos los parámetros de entradas /salidas del subsistema mediante protocolo estándar Profibus.

Subsistema de alimentación de la red eléctrica.

Se compone de caja general de protección, acometida e instalación de enlace del edificio con la red de distribución de baja tensión existente. Dicha red puede ser subterránea, que es lo más habitual, o aérea, en su modalidad más común grapeada en fachada. Si la potencia demandada por el edificio supera los 50 kW se deberá prever la dotación de un centro de transformación y alimentar el mismo de la red de distribución de media tensión.

En ambos casos se dispondrán de los equipos de medida homologados por la empresa distribuidora para facturar la energía eléctrica.

Subsistema de alimentación de ESFV.

El subsistema de alimentación de ESFV se compone de:

1. Paneles fotovoltaicos.
2. Equipo de medida de energía eléctrica.
3. Equipo de adaptación y regulación de bus.

– *Paneles fotovoltaicos.* Se dimensionarán según las características propias del edificio y ubicación del mismo.

– *Equipo de medida de energía eléctrica.* Se dispondrá de este equipo para poder contabilizar la energía generada por el ESFV. Esto es necesario para poder cumplir la normativa actual de generación de energía renovable fotovoltaica.

– *Equipo de adaptación y regulación de bus.* Este equipo adapta la tensión y regula la corriente que entrega al bus de cc del SAI.

Subsistema de alimentación del edificio.

Se compone de la línea general de alimentación que alimentará la centralización de contadores o de contador del edificio.

Subsistema de generación de ESFV.

El subsistema de alimentación se compone de:

1. Equipo de control (EC).
2. Relés de protección y control (RPC).
3. Equipo de medida de energía eléctrica generada.

– *Equipo de control (EC).* Este equipo habitualmente funciona en modo pasivo, es decir, sólo hace de conector en “t”. No obstante, para funciones avanzadas se puede hacer que regule la energía eléctrica generada.

– *Relés de protección y control (RPC).* Son los relés habituales de máx/mín - frecuencia/tensión /corriente y protección, que están normalizados para venta de energía eléctrica renovable fotovoltaica a la red.

– *Equipo de medida de energía eléctrica generada.* Se dispondrán de los equipos de medida homologados por la empresa distribuidora para facturar la energía eléctrica.

Sistema lógico

El sistema lógico lo forman los algoritmos de optimización para la supervisión, control y gestión del sistema (*software*) implementados en un PC (*hardware*).

Por lo tanto, el sistema lógico se compone de:

1. *Software.*
2. *Hardware.*

– *Software.* Se compone de dos partes bien diferenciadas. Los paquetes y las aplicaciones. Se han escogido dos paquetes: WinCC y WinAC_RTX. WinCC es un paquete Scada y WinAC que es un controlador lógico programable en Windows. Ambos son productos de la línea de productos Simatic de Siemens, AG.

Las aplicaciones son el código, en el cual se han implementado los algoritmos de control y optimización del sistema. Se han empleado dos lenguajes bien diferenciados: Visual Basic Script (VBS), para el código en WinCC y Pascal (SCL) para WinLC_RTX.

– *Hardware.* Se compone de un PC de características estándar, de una tarjeta procesadora PCI modelo CP5613_A2, la cual dota al PC de capacidad de procesamiento Profibus y de periferias distribuidas tipo ET200M, las cuales captan las entradas/salidas digitales/análogicas de los diferentes subsistemas expuestos.

Algoritmos de optimización

Estos algoritmos son los procedi-

mientos implementados en código tanto en VBS como en SCL según se ha descrito en el párrafo anterior. Los algoritmos son procedimientos que en el presente artículo se han orientado a:

1. Algoritmos de GER.
2. Algoritmos de DSM.

– *Algoritmos de GER.* Tradicionalmente se basan en maximizar la producción. No tienen en cuenta normalmente la curva de consumo. Se trata de vender a la red la energía eléctrica obtenida para obtener la máxima rentabilidad debido a que, por la coyuntura actual, este tipo de energía está fuertemente primada. En el presente artículo se ha tenido en cuenta que, debido a que la materia prima (sol) no es controlable, se almacena la energía en el SAI, para poder cederla a la red cuando más oportuno sea desde el punto de vista de eficiencia.

P_GEN1, es la potencia generada por los paneles fotovoltaicos.

P_GEN2, es la potencia generada e inyectada a la red para su venta.

Los algoritmos programados optimizan P_GEN2, atendiendo a que hay que priorizar siempre la reducción de puntas de consumo.

– *Algoritmos de DSM.* Estos algoritmos son novedosos. Se trata de reducir las puntas de consumo, en la medida que sea posible, para poder aumentar la eficiencia del edificio así como de intentar reducir los problemas que las redes de

distribución tienen actualmente. Para ello los algoritmos calculan el valor de energía eléctrica que hay que inyectar al edificio para reducir la potencia consumida de la red. Es decir, se trata de buscar la P_CON1 óptima.

P_CON2 es la variable que representa la potencia instantánea consumida por el edificio. Se trata, por tanto, de optimizar P_CON1, disponiendo de la energía almacenada en el SAI.

En el presente artículo se presenta modelizado todo el sistema para que posteriormente se puedan probar diferentes ajustes de DSM. Es decir, los parámetros que se pueden modificar para experimentar los resultados a través de los modelos son:

P_BAT, potencia que inyectará el SAI al inversor.

P_Base, potencia que cuando P_CON2 la supere se activará la inyección de potencia anterior.

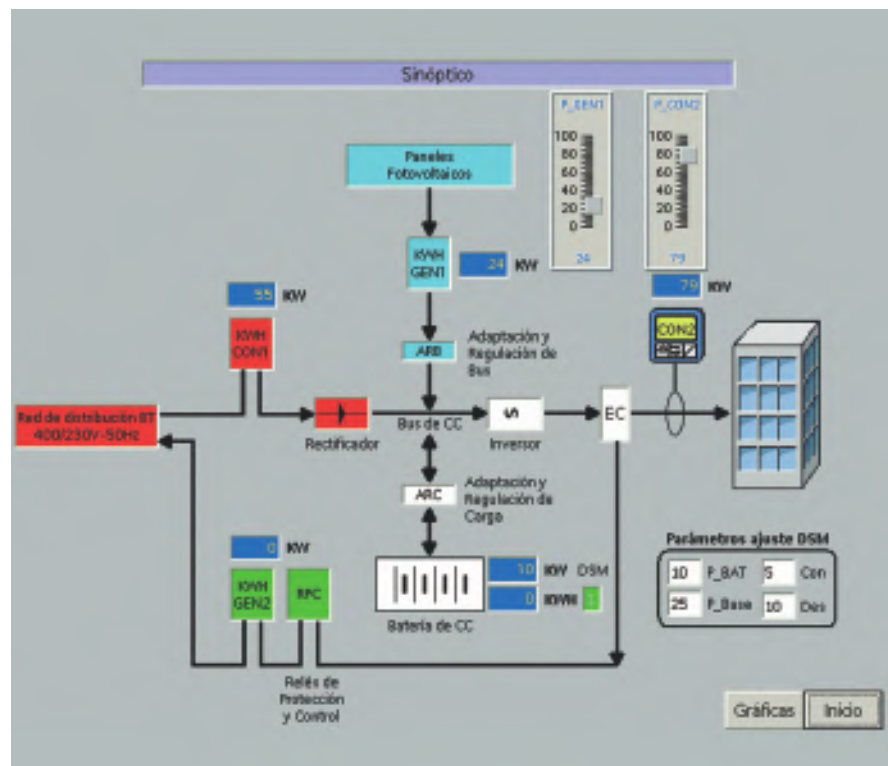
Con, ajuste de la histéresis de conexión.

Des, ajuste de la histéresis de desconexión.

A continuación se presentan las pantallas mediante las cuales se ajustan los parámetros así como las gráficas de tendencias donde se pueden experimentar los resultados de las pruebas.

Mediante esta pantalla se presenta la aplicación para el edificio singular de

Figura 1. Pantalla del sinóptico de la aplicación Scada.



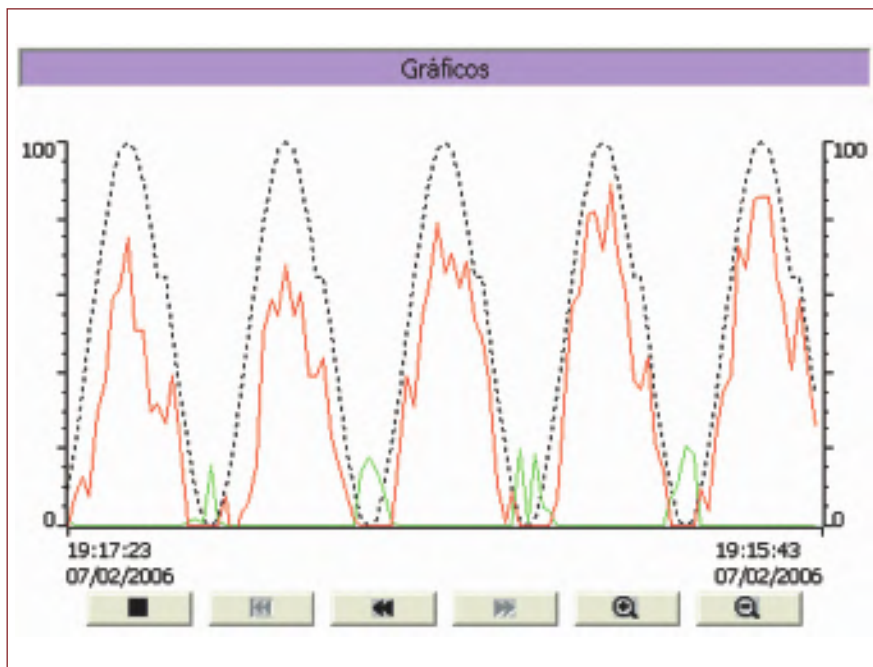


Figura 2. Pantalla de gráficos de tendencias 1.

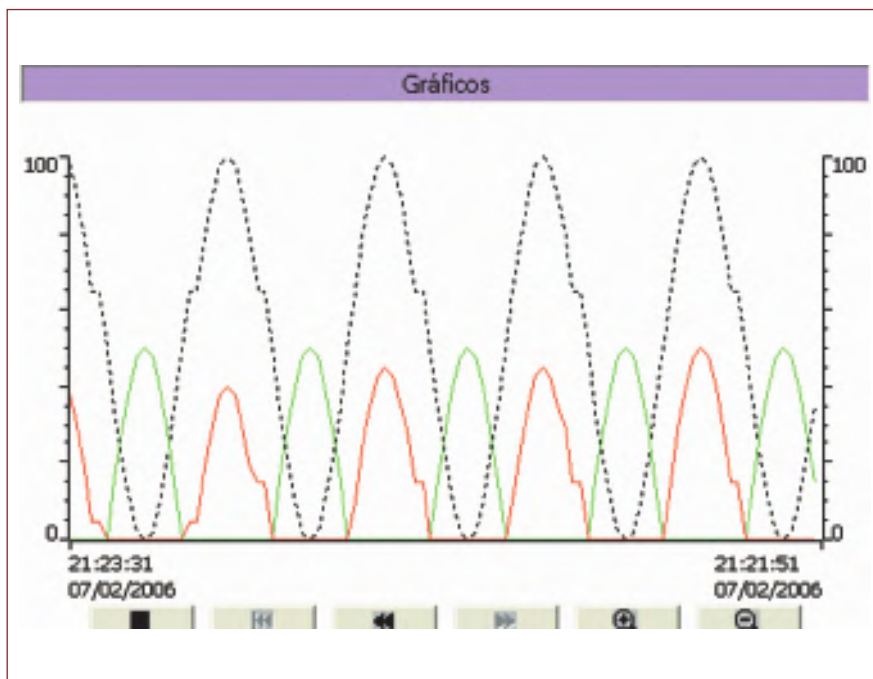


Figura 3. Pantalla de gráficos de tendencias 2.

viviendas y oficinas “Torre Onyx”. Este edificio dispone de un cerramiento exterior de vidrio templado coloreado, formando los muros cortina. El edificio en planta tiene forma de cometa. La cara sur está perfectamente orientada al sur, por lo que representa una ventaja para dotarla de paneles fotovoltaicos. También se estudiará colocar varios grupos de paneles fotovoltaicos en la azotea dotados de seguimiento solar a uno y dos ejes.

El edificio, además, se dotará (estudio) de otras energías renovables: eólica

e hidráulica, que complementarán la aportación al SAI de la ESFV. La energía eólica complementa a la solar debido a que su producción se extiende al período nocturno del día. La energía hidráulica o hidroeléctrica, a pequeña escala, permite tener una fuente de energía controlable y que sirve prácticamente sólo para técnicas DSM de reducción de puntas de consumo.

En esta pantalla se presenta el esquema sinóptico del sistema presentado. Se pueden apreciar en la misma los dife-

rentes subsistemas comentados anteriormente. Además, se pueden apreciar el valor, en tiempo real, que toman las diferentes variables controladas. Se dispone también de unos selectores ajustables lineales para modificar los valores de las variables a simular, como son P_GEN1 y P_CON2.

Con el simulador de variables se dota de una herramienta muy completa a la aplicación. Con el sistema modelizado se pueden realizar multitud de pruebas para comprobar cómo se comportará la instalación real. Es muy útil observar los diferentes cambios que producen unos efectos de optimización mayor.

En esta pantalla se muestran los resultados de la experimentación en forma de gráfica que muestra los valores instantáneos de las variables testeadas.

En color rojo se muestra la variable P_CON1, es decir, la potencia consumida de la red. Esta potencia es objeto de Optimización.

En color negro, y a puntos, se muestra la variable P_CON2; ésta es la potencia instantánea consumida por el edificio.

En color negro, se muestra la variable P_GEN2, o potencia inyectada a la red procedente de la ESFV. Esta potencia también es objeto de Optimización.

La curva de demanda (P_CON2) se ha simulado con tendencia senoidal. Se puede apreciar que la inyección de potencia procedente del SAI reduce la punta de consumo de la red eléctrica. La energía vendida a la red es sólo la excedentaria del sistema (P_GEN2); por ello sólo se produce cuando no hay consumo por parte del edificio. La P_GEN1, que es la aportada por los paneles fotovoltaicos, se ha simulado de forma aleatoria por ser el caso más desfavorable que se produce en días soleados con nubosidad apreciable. Por esto precisamente la curva en rojo aprecia estos altibajos. Se puede modificar los valores de la optimización para que la curva de consumo sea más plana, aunque sea a costa de tirar más del SAI.

Como se ha comentado anteriormente se puede apreciar que la potencia consumida de la red se atenúa de forma muy acentuada y ha suavizado de forma importante.

Conclusion

Se presentan por tanto unos algoritmos de optimización implementados en un paquete Scada, y modelizado el sistema, de forma que permite testear los diferentes ajustes de los parámetros para

de este modo obtener resultados espectaculares de reducción de puntas de consumo así como inyectar la energía excedente a la red y aumentar la eficiencia de los sistemas que disponen de ESFV.

Se ha presentado un procedimiento que se enmarca en los programas de I+D+i europeos para energías renovables y edificaciones sostenibles. Se pretende obtener bastante producción científica de dicho procedimiento, así como obtener algún modelo de utilidad y patentes.

Agradecimientos

A José Miguel López Orive, gerente de la empresa Siemens zona Norte, su colaboración prestada en los productos Simatic: "WinCC Flexible 2005" y "WinAC RTX 2005". El primero es un Scada y el segundo un Controlador Lógico Programable (PLC) implementado en SO MS Windows, que trabaja en tiempo real y es potentísimo.

Al arquitecto Javier Alegre por su ayuda facilitándonos la documentación necesaria sobre el edificio "Torre Onyx", un bonito edificio destinado principalmente a viviendas, construido con muros cortina de vidrio, localizado en el plan parcial Los Lirios en Logroño (La Rioja).

Bibliografía

J. C. Sáenz-Díez, J. M. Blanco, A. Antoñanzas, *Aplicaciones eléctricas industriales de las energías renovables*, 220 pp, Madrid (1999). ISBN: 84-699-1181-3.

J. C. Sáenz-Díez, J. M. Blanco, *Jornadas Eólicas DERioja, Energías renovables para particulares*, pp. 51-68, Logroño (2001).

J. C. Sáenz-Díez, J. M. Blanco. Optimización de generación de energía minihidroeléctrica para estrategias de DSM y sus aplicaciones en edificaciones singulares. *Técnica Industrial*. Madrid (2004). ISSN 0040-1838-2004.

J. C. Sáenz-Díez, J. M. Blanco, *Jornadas Nacionales de Ingeniería Termodinámica. Optimización de generación de energía minihidroeléctrica para estrategias de DSM y su aplicación en edificios singulares*, Logroño (2005).

National Institute of Standards and Technology Gaithersburg, *Measured Versus Predicted Photovoltaic Performance*, Maryland (2005).

L. Dávila, M. Castro, A. Colmenar, J. Carpio, J. Peire, *Situación normativa Española en el tema de conexión a red*, IX Congreso Ibérico de Energía Solar, Córdoba (2000)

S. J. Meléndez García, J. Lloveras Maciá, Tesis Doctoral, *La fachada acristalada como productora de energía eléctrica*, Barcelona (2003).

A. F. Germán Bueno, J. L. Bernal Agustín, *Centrales solares fotovoltaicas como apoyo a las redes de transporte y distribución de energía eléctrica*, XII Reunión de Grupos de Investigación en Ingeniería Eléctrica, Córdoba (2002).

B. Chowdhury, *Evaluating the value of distributed photovoltaic generation in radial distribution systems*, IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol II, N.º3, September (1996).

T. Hoff, D. S. Shugar, *The value of grid-support Photovoltaics in reducing distribution system losses*, IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol X, N.º3, September (1995).

M. A. Castro Gil, *Simulación de centrales de energía solar*, Aplicación a la gestión energética, (1998).

F. J. Argul, M. Castro, A. Delgado, A. Colmenar, J. Peire, *Edificios Fotovoltaicos Técnicas y Programas de Simulación*, Progenisa, UNED (2004). ISBN: 84-95693-12-7.

AUTORES

Juan Carlos Sáenz-Díez Muro

juan-carlos.saenz-diez@die.unirioja.es

Ingeniero técnico industrial en Electricidad e ingeniero industrial en Infraestructuras. Colabora con empresas del sector en proyectos de ingeniería eléctrica. Actualmente es profesor del Dpto. de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de La Rioja.

Juan Manuel Blanco Barrero

juan-manuel.blanco@die.unirioja.es

Ingeniero técnico industrial en Electricidad e ingeniero industrial. Colabora con empresas del sector en proyectos de ingeniería eléctrica. Actualmente es profesor del Dpto. de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de La Rioja.

Emilio Jiménez Macías

emilio.jimenez@die.unirioja.es

Doctor ingeniero industrial. Actualmente es profesor del Departamento de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de La Rioja.

VIKING®

Protección automática contra incendios con rociadores

- Rociadores diseñados especialmente para la protección de las personas en áreas residenciales (hoteles, residencias, hospitales, etc.).
- Rociadores especiales para ser utilizados en edificios de gran altura con presiones de trabajo de hasta 250 psi.
- Rociadores de gran cobertura (hasta 36 m²) para facilitar la protección de habitaciones de gran tamaño.
- Rociadores con acabados que se adaptan a la decoración.
- En VIKING disponemos de la gama más completa para satisfacer la demanda más exigente.



Para más información, póngase en contacto con su distribuidor más cercano, o llame a nuestro centro de servicio para España, Portugal y Latinoamérica:

C/ Mar Cantábrico, 10 - P. I. San Fernando I - San Fernando de Henares

E-28830 Madrid - España

Tel.: +34 91 677 83 52 - Fax: +34 91 677 84 98

E-mail: vikingspain@vikingcorp.com

Visite nuestra tienda: www.vikingspain.com/shop
y participe en: foro.vikingspain.com