

Universidad Carlos III de Madrid
Departamento de Ingeniería Eléctrica.

Julio Usaola García.

Regulación de sistemas eléctricos.

Ejemplo de examen. Cuestiones teóricas.

En estas cuestiones se incluyen preguntas que requieren una contestación de extensión variable

Pregunta 1.

Tras realizar un despacho óptimo en la hora H , a la central A se le adjudican P_A MW, donde P_A es su potencia mínima, y a otra central B una potencia P_B , donde P_B es su potencia máxima. El coste marginal del sistema en la hora H es λ . Indíquese si los costes marginales de las centrales A y B, λ_A y λ_B respectivamente, son mayores o menores que λ , razonando la respuesta.

Solución

$\lambda_A \geq \lambda$ la central A no puede reducir su producción para reducir su coste marginal, igualándolo al resto de las centrales.

$\lambda_B \leq \lambda$ la central B no puede aumentar su producción para que se reduzca el coste marginal del sistema, al reducirse la producción de otras centrales más caras.

Pregunta 2.

Una central de bombeo de rendimiento η bombea en una hora de valle $h_b V m^3$ de agua, para lo que emplea E_b MWh. El coste de la energía en la hora h_b es de λ_b R/MWh. El mismo volumen V se emplea para generar energía eléctrica en la hora h_g , en la que el coste de la energía es λ_g . Determínese, en función de los datos, la energía E_g que producirá el volumen V y los beneficios totales que se obtendrían de esta operación. Indíquese en qué condiciones estos beneficios serían positivos.

Solución

$$E_g = E_b \cdot \eta$$

$$\text{Beneficios} = E_g \cdot \lambda_g - E_b \cdot \lambda_b = E_b \cdot (\lambda_g \eta - \lambda_b)$$

$$\text{Condición de beneficios positivos } \lambda_b < \eta \cdot \lambda_g$$

Pregunta 3.

Defínase que es el beneficio social neto en un mercado de electricidad.

Solución

Es la suma del excedente del consumidor y del excedente del generador.



Pregunta 4.

Defínase qué es el excedente del consumidor para un consumidor que participa en un mercado marginalista.

Solución

Es la suma de los productos de la energía comprada en el mercado por las diferencias entre el precio marginal y los precios a los que ha hecho cada oferta de compra.

Pregunta 5.

Defínase qué es el excedente de generación para un generador que participa en un mercado marginalista.

Solución

Es la suma de los productos de la energía vendida por las diferencias entre el precio marginal y los precios a los que ha hecho cada oferta.

Pregunta 6.

Indíquese qué es la separación de actividades en un mercado eléctrico y por qué debe producirse en un mercado liberalizado.

Solución

La separación de actividades consiste en impedir que una misma empresa realice actividades en competencia (generación, comercialización) y actividades con costes regulados (transporte, distribución). Esta separación es necesaria para evitar que se transfieran recursos de las actividades reguladas a las actividades en competencia y para garantizar la igualdad de acceso a las redes.

Pregunta 7.

Indíquese cuál es la diferencia entre un mercado eléctrico con operador único y uno con doble operador.

Solución

Los mercados con operador único son aquellos en el que una única entidad (ISO - Independent System Operator) es responsable de la gestión del mercado y de la gestión de la red. Se realiza la optimización conjunta del sistema mediante una optimización que tiene en cuenta las restricciones de red.

Los mercados con doble operador tienen entidades distintas para la coordinación económica y la gestión técnica de la red. El Operador del mercado recibe ofertas de compraventa de energía y, a partir de ellas obtiene el precio de la energía y la energía intercambiada, tanto la que debe entregar cada suministrador, como la que adquiere cada consumidor. El proceso de optimización de las ofertas queda a criterio de los ofertantes.

El Operador del sistema se encarga de la gestión técnica de la red: verifica que el programa de generación que ha elaborado el Operador del mercado es técnicamente viable, y realiza las correcciones oportunas a este fin, además de supervisar la operación en tiempo real con el fin de que esta sea segura en todo momento. En este modelo, suele haber una proporción importante de contratos bilaterales, que deben comunicarse al operador del sistema para que este pueda gestionar las posibles restricciones.

Pregunta 8.

Defínase qué es la renta de congestión y cuál es su valor en un mercado eléctrico en el que las restricciones se resuelven mediante el método de redespacho.

Solución

La renta de congestión o excedente de congestión se produce en mercados que utilizan precios zonales o nodales. Es la diferencia entre el pago de energía por los consumidores en todos los nudos o zonas y lo que se paga a los generadores por la energía producida en los nudos o zonas. En cada nudo o zona los precios pueden ser distintos de los de otros nudos o zonas.

Si las restricciones se resuelven por redespacho no hay excedente de congestión.

Pregunta 9.

La Figura 1 representa dos mercados interconectados entre sí que utilizan el mecanismo de precios zonales y que están intercambiando energía. En una hora determinada las curvas de oferta y demanda agregadas de los dos sistemas son como se muestran en las Figuras 2 y 3. Indíquese, a partir de los precios y potencias mostradas en las figuras:

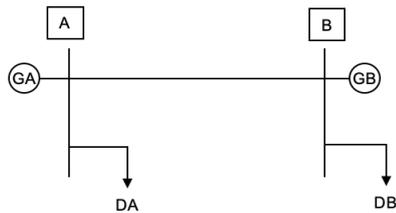


Figura 1

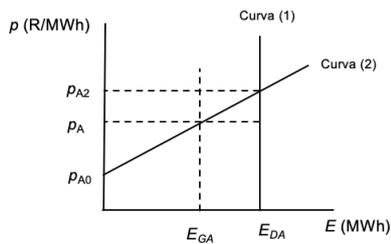


Figura 2

(1) Curva agregada de ofertas de compra
(2) Curva agregada de ofertas de venta

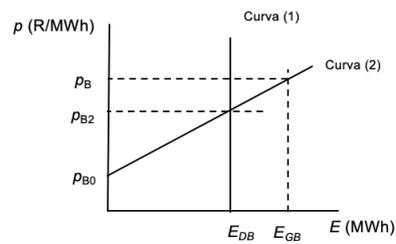


Figura 3

(1) Curva agregada de ofertas de compra
(2) Curva agregada de ofertas de venta

- 1.Cuál es el sistema exportador y cuál el importador, y los precios de la energía en cada uno de ellos.
2. El valor de la energía que intercambiada en la interconexión. Se utiliza la totalidad de la capacidad de esta interconexión.
3. El excedente de generación del sistema importador y del sistema exportador.
4. La renta de congestión.

NOTA: p indica *precio*, en R/MWh, y E *energía*, en MWh. E_{DA} y E_{DB} son las energías consumidas en A y B, respectivamente. E_{GA} y E_{GB} son las energías generadas en A y B, respectivamente.

Solución

1. El sistema exportador es B, pues produce más de lo que consume. Precio de la energía en A: p_A y en B, p_B .
2. El valor de la energía que intercambiada en la interconexión es $E_{DA} - E_{GA} = E_{GB} - E_{DB}$.
3. Sistema importador $E_{GA} \cdot \frac{p_A - p_{A0}}{2}$ - sistema exportador $E_{GB} \cdot \frac{p_B - p_{B0}}{2}$
4. Renta de congestión: $(p_A - p_B)(E_{DA} - E_{GA}) = (E_{GB} - E_{DB})(p_A - p_B)$

Pregunta 10.

Defínase que es la reserva primaria, secundaria y terciaria.

Solución

Reserva primaria: Se trata de reservas que actúan ante variaciones de la frecuencia y que mantienen el balance de potencia en un área síncrona. La actuación de estas reservas y la restauración del equilibrio conlleva una variación de la frecuencia de su valor nominal. Esta categoría incluye típicamente reservas de operación con un tiempo de actuación de hasta 30 segundos (en algunos casos hasta 2-3 minutos). Las reservas de operación de este tipo actúan normalmente de forma automática y local (en cada generador).

Reserva secundaria : Son las reservas necesarias para devolver la frecuencia del sistema a su valor nominal tras una perturbación. Este tipo de reservas tienen un tiempo de actuación entre 30 segundos y 15 minutos. Este tipo de reservas se activan normalmente de forma centralizada, y su actuación puede ser manual o automática.

Reserva terciaria : Se trata de la reserva necesaria para sustituir a la reserva secundaria. Su tiempo usual de actuación está entre algunos minutos y horas.

Pregunta 11.

Explíquense los mecanismos de pago de desvíos de precio simple y de precio doble.

Solución

Los precios del desvío pueden regirse según dos sistemas: precio único o precio doble.

Sistema de precio único: En este sistema todos los desvíos pagan o reciben el precio de la reserva que se paga a los que proveen el servicio.

Sistema de precio doble: En este sistema pagan de forma diferente los que se desvían en el mismo sentido del sistema, y los que se desvían en sentido opuesto. Existe un precio principal, que es el precio del desvío coincidente con el global del sistema, y un precio inverso, que es el que se emplea cuando el desvío es opuesto al del sistema.

Pregunta 12.

Un generador participa en el mercado diario y en el mercado de reserva terciaria. El operador del sistema le ha requerido que baje su producción en ΔE_{RB} en una hora dada como consecuencia de la participación en terciaria. El precio del mercado diario en esa hora es π_{MD} y el precio de la reserva terciaria a bajar es π_{RB} . Si la energía vendida en el mercado diario por el generador es E_{MD} en esa hora, indíquese los ingresos del generador por su participación en el mercado de terciaria en esta hora.

Solución

$$I_{RB} = \Delta E_{RB} (\pi_{MD} - \pi_{RB})$$

Pregunta 13.

Indíquese cuáles son los ingresos marginales de un tomador de precios que participa en un mercado organizado marginalista.

Solución

El precio marginal de la energía en el mercado.

Pregunta 14.

Indíquense brevemente los efectos del ejercicio del poder de mercado en un oligopolio. Indíquese si resulta conveniente a una empresa oligopolística dominante conseguir el máximo beneficio a corto plazo según el modelo de oligopolio de función de oferta.

Solución

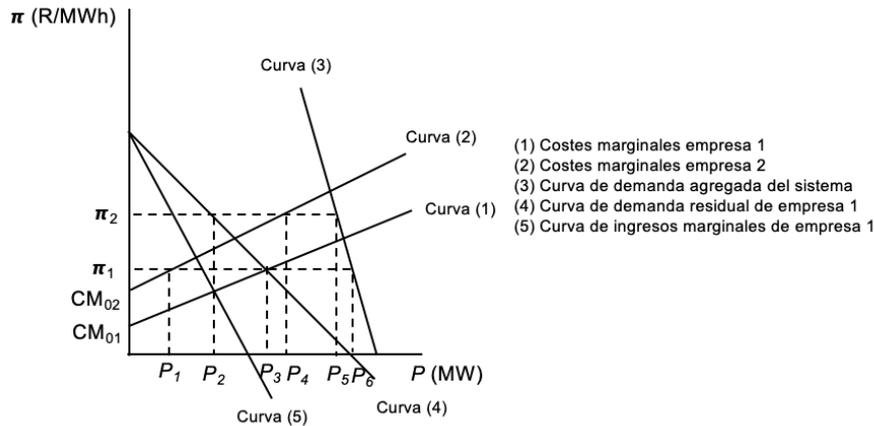
En el oligopolio, la central más cara produce más. El conjunto funciona de forma menos eficiente.

El precio de la energía es más alto en el oligopolio que en la competencia perfecta.

El comportamiento óptimo a largo plazo según el modelo de función de oligopolio de oferta no suele producirse en la práctica, puesto que las empresas tienen también en cuenta las estrategias a medio plazo, en las que no desean perder cuota de mercado. Además, una manipulación de precios en este sentido puede dar lugar a sanciones por parte de las entidades reguladoras. Por otra parte, los precios altos pueden atraer nuevos competidores.

Pregunta 15.

En un mercado eléctrico hay dos empresas suministradoras que abastecen la demanda. En una hora determinada tienen lugar las curvas que se muestran en la figura adjunta. Las potencias son potencias medias horarias.



Según el modelo de oligopolio de la función de oferta, indíquese a partir de los precios y potencias de la figura y razonando la respuesta:

- 1.Cuál es la empresa dominante y cuál la tomadora de precios.
2. Entre π_1 y π_2 , cuál es el precio de la energía en caso de competencia perfecta.
3. Cómo se han obtenido los precios π_1 y π_2 .
4. La producción de las empresas 1 y 2 en caso de competencia perfecta.

5. La potencia consumida por la demanda en caso de competencia perfecta.
6. El precio de la energía que produce los máximos beneficios a la empresa dominante.
7. Las producciones de las empresas 1 y 2 que dan lugar a los máximos beneficios a la empresa dominante.
8. La potencia consumida por la demanda cuando la empresa dominante tiene sus máximos beneficios.

NOTA: Se contestará únicamente en el espacio de la respuesta. No se pueden enviar ficheros adjuntos.

Solución

1. La empresa 1 es la dominante y la 2 la tomadora de precios
2. π_1 es el precio de la energía en competencia perfecta.
3. π_1 se obtiene a partir del cruce entre la curva de costes marginales y la demanda residual de la empresa 1. π_2 se obtiene a partir del cruce entre los ingresos marginales y los costes marginales de la empresa 1. Este punto determina la potencia que da los máximos beneficios a la empresa 1. Para ese valor de potencia, la demanda residual estaría dispuesta a pagar un precio π_2 .
4. P_1 es la potencia suministrada por la empresa 2 y P_3 la potencia suministrada por la empresa 1 en competencia perfecta.
5. P_6 es la potencia consumida por la demanda en competencia perfecta.
6. π_2 es el precio de la energía que produce los máximos beneficios a la empresa dominante.
7. Las producciones de las empresas 1 y 2 que dan lugar a los máximos beneficios a la empresa dominante son P_2 y P_4 , respectivamente.
8. P_5 es la potencia consumida por la demanda cuando la empresa dominante tiene sus máximos beneficios.

Pregunta 16.

Defínase qué es *monopolio natural*. Cuáles son los monopolios naturales en el sector eléctrico y cómo se retribuyen en un mercado liberalizado.

Solución

Monopolio natural: situación en la que es más eficiente que una sola empresa realice la actividad, que el que haya varias empresas compitiendo. Esta situación se produce en actividades con grandes costes de inversión, que favorecen las economías de escala.

Monopolios naturales en el sector eléctrico: actividades de transporte y distribución.

Las redes de transporte y distribución se retribuyen con cargo a las tarifas de acceso de red. Las modalidades de la retribución son muy variadas:

Red de transporte: asignación de costes del transportista, aprobados por el organismo regulador, líneas privadas.

Red de distribución: por costes incurridos, limitación de ingresos, limitación de precios, red de referencia, con complementos por calidad y pérdidas.

Pregunta 17.

Derechos de acometida. Definición y modalidades, indicando las ventajas e inconvenientes de cada una de ellas.

Solución

Los derechos de acometida son la contraprestación económica que debe ser abonada a la empresa propietaria de la red por la realización del conjunto de actuaciones necesarias para atender un nuevo suministro o para la ampliación de uno ya existente. Estos derechos recuperan costes a largo plazo que se pueden atribuir directamente

a un usuario. Estos cargos pueden calcularse, bien adjudicando la mayor parte posible de los costes al usuario (*deep*, en inglés), o sólo aquellos cuyo carácter individual es indiscutible (*shallow* en inglés).

Los costes *deep* tienen la ventaja de reducir la socialización de costes lo más posible, por lo que se debe recuperar una parte menor de los mismos mediante las tarifas de acceso. Sin embargo, son más discutibles y problemáticos cuantos más costes abarquen. Por ejemplo, es evidente que la línea que conecta un generador al punto de conexión más cercano de la red no beneficia más que al propio generador. Pero también es cierto que el diseño de líneas vecinas a este punto de conexión ha tenido que considerar a este generador; por ejemplo, puede haber sido necesaria alguna redundancia para garantizar el acceso, que puede afectar también a otro generador próximo. Es difícil hacer reglas simples y transparentes para determinar esos costes.

Los costes *shallow* tienen la ventaja de que son menos discutibles, pero a cambio socializan más los costes de la red. Un generador, por ejemplo, estará poco dispuesto a asumir parte de los costes de conexión de otro muy alejado, que además sea de la competencia

Pregunta 18.

Indíquense los aspectos que forman parte de la calidad de suministro.

Solución

Continuidad del suministro eléctrico, que se determina a partir del número y duración las interrupciones producidas, tanto de forma individual como en el conjunto del sistema.

Calidad del producto, o de la forma de onda, que se refiere a las perturbaciones de la onda de tensión, y que pueden tener efectos sobre los equipos conectados.

Atención comercial, que se puede medir a partir del tiempo de espera de conexión, respuesta a reclamaciones, etc.

Pregunta 19.

Definición de SAIDI y unidades en que se mide. Definición de TIEPI y unidades en que se mide. Compárese el TIEPI frente al índice SAIDI.

Solución

SAIDI: Tiempo de interrupción equivalente de un consumidor. Se mide en minutos/año

TIEPI: Tiempo de interrupción equivalente de la potencia instalada. Se mide en horas/año.

Aunque el SAIDI y el TIEPI son conceptualmente muy parecidos (igual que el SAIFI y el NIEPI), el hecho de ponderar la interrupción con la potencia instalada, da más peso a las incidencias sufridas por los usuarios de mayor potencia, que son normalmente los que tienen una calidad de suministro mejor.

Pregunta 20.

Definición de SAIFI y unidades en que se mide. Definición de NIEPI y unidades en que se mide. Compárese el NIEPI frente al índice SAIFI.

Solución

SAIFI: Frecuencia de interrupción equivalente de un usuario. Se mide en interrupciones por consumidor y año.

NIEPI: Número de interrupciones equivalente de la potencia instalada. Se mide en interrupciones por consumidor y año

Aunque el SAIFI y el NIEPI son conceptualmente muy parecidos, el hecho de ponderar la interrupción con la potencia instalada, da más peso a las incidencias sufridas por los usuarios de mayor potencia.

