uc3m | Universidad Carlos III de Madrid

REGULACIÓN DE SISTEMAS ELÉCTRICOS.

Formación de precios en mercados organizados.

Julio Usaola García
Departamento de Ingeniería Eléctrica
Universidad Carlos III de Madrid

CC BY NC SA

En esta práctica se va a reproducir el mecanismo de formación de precio en un mercado eléctrico organizado multizonal a partir de las curvas de oferta y demanda de las distintas zonas que lo constituyen. En la formación de precio no se considerarán las congestiones de las interconexiones entre zonas, que serán el objeto de otra práctica.

uc3m | Universidad Carlos III de Madrid

Objetivos de la práctica

- Formar curvas de oferta y demanda y agregarlas.
- Formar el precio del mercado de electricidad a partir de las curvas de oferta y demanda agregadas.
- Reproducir de forma simplificada el proceso llevado a cabo por un operador del mercado.
- Distinguir el precio sin congestiones de los precios zonales.
- Conocer el mercado escandinavo y la información proporcionada por Nordpool.
- Practicar programación en MATLAB

Se muestran aquí los objetivos de la práctica.

uc3m | Universidad Carlos III de Madrid

Planteamiento del problema a resolver.

- El problema consiste en obtener el precio en un sistema de 5 zonas interconectadas representadas cada una de ellas por un nudo con generación y demanda.
- Datos:
  - Datos de generación/demanda y precios de Nordpool para una fecha y hora dadas.
- Resultados:
  - Las funciones de oferta y demanda agregadas de cada zona.
  - Las funciones de oferta y demanda agregadas conjuntas.
  - El precio y las potencias generadas y consumidas en cada zona sin considerar las capacidades de las interconexiones.

Regulación de sistemas eléctricos 3

Se muestran en esta diapositiva el objetivo de la práctica, los datos necesarios para realizarla y los resultados esperados. Las tareas a desarrollar en la práctica se irán describiendo progresivamente.

uc3m | Universidad Carlos III de Madrid

Secuencia de operaciones

- A partir de los datos de potencia producida/demandada, obtener las curvas de oferta de compra (demanda) y de venta (oferta) agregadas de cada zona.
- Cada zona se comporta como una pareja de generador y consumidor.
- Con estas curvas, obtener las curvas de oferta y demanda agregadas del conjunto.
- Obtener el precio y las potencia intercambiadas entre zonas en el sistema conjunto.
- Obtener la potencia generada y consumida en cada zona.
- Este proceso es análogo al que realiza el operador del mercado.

Regulación de sistemas eléctricos 4

Esta secuencia de operaciones se desarrollará en las diapositivas siguientes.

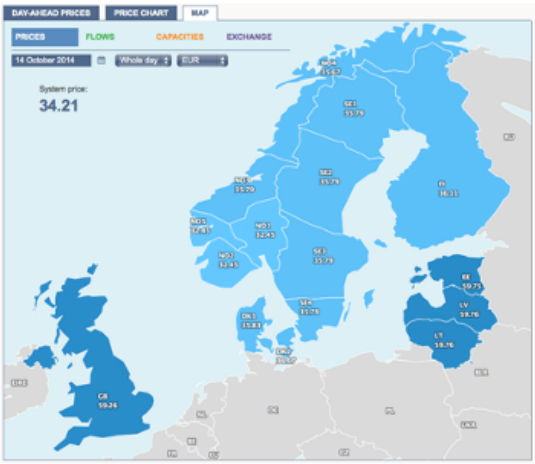
uc3m | Universidad Carlos III de Madrid

Caso de estudio

- Datos tomados de Nordpool, mercado eléctrico escandinavo. http://www.nordpoolspot.com
- Se tomarán los precios diferentes de 5 zonas de Nordpool de una hora del día del **año anterior**.
- La demanda/generación de referencia en cada zona será la media entre la potencia producida y la consumida en la zona y hora correspondiente.

- ***Datos en:*** ***http://www.nordpoolspot.com/Market-data1/#/nordic/table***

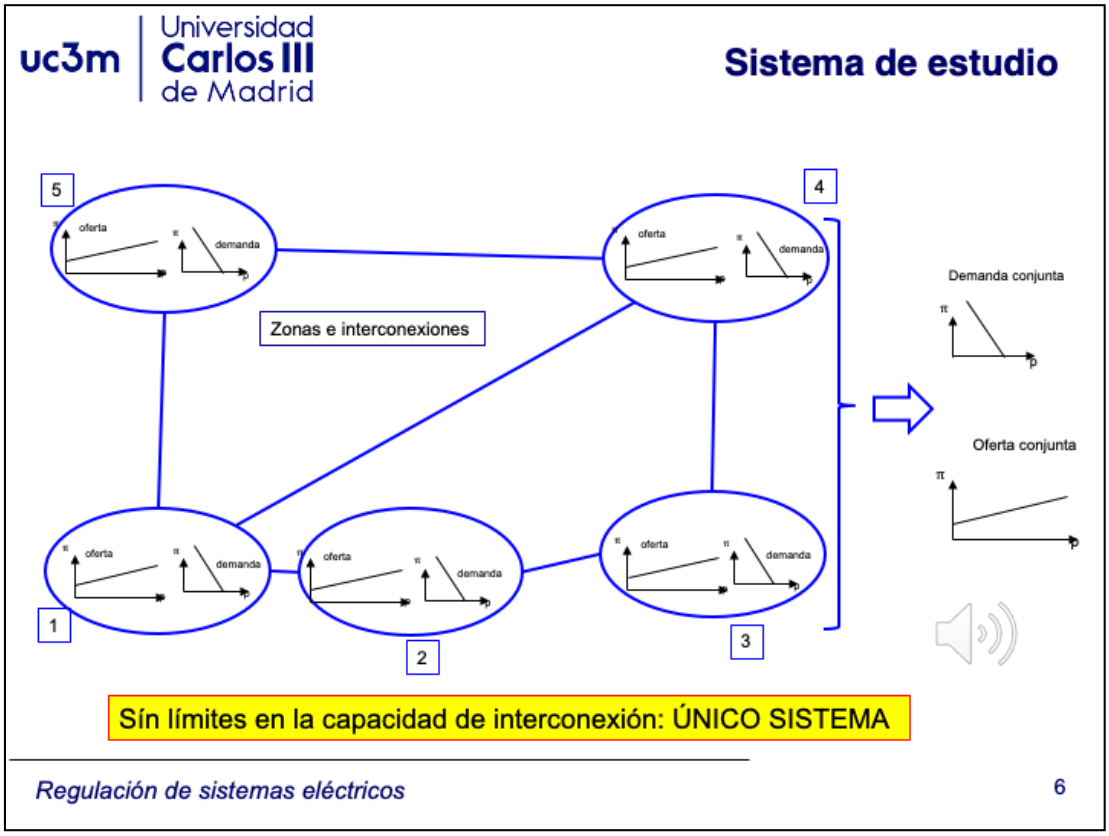
'NORDPOOL DAY-AHEAD' → 'Day-ahead prices"



Regulación de sistemas eléctricos 5

Los datos se tomarán de Nordpool, el mercado eléctrico escandinavo, que incluye también a los países bálticos y que también tiene datos del sistema del Reino Unido. Como se ve en la diapositiva, el sistema está dividido en zonas interconectadas entre sí. En cada una de ellas el precio puede ser diferente.

En la dispositiva se muestra la dirección www a la que se tiene que acudir para recopilar los datos. Para realizar la práctica, cada estudiante deberá elegir 5 zonas con precios diferentes correspondientes a una hora cualquiera de los años disponibles en la página www. Las zonas no tienen que ser contiguas.



Los datos del mercado de estas zonas se asimilarán a los nudos (o zonas) de una red con la topología mostrada en la figura, que no se corresponde con la topología de un sistema eléctrico real. En esta práctica, puesto que no se consideran los límites de transmisión de las interconexiones, esta configuración no tiene influencia en los resultados.

A partir de las curvas individuales de generación y demanda de cada zona se obtienen las curvas de generación y demanda agregadas del conjunto del sistema para hallar el precio. A partir del precio se determinará la potencia generada y consumida en cada zona y los intercambios entre ellas.

uc3m | Universidad Carlos III de Madrid

Curvas de oferta y demanda agregadas de cada zona.

EUR/MWh

21-10-2018	SYS	SE1	SE2
00 - 01	42,57	42,42	42,42
01 - 02	42,11	42,02	42,02
02 - 03	40,53	40,48	40,48
03 - 04	39,43	39,43	39,43
04 - 05	39,38	39,38	39,38
05 - 06	40,00	40,00	40,00
06 - 07	39,78	39,97	39,97
07 - 08	39,29	39,45	39,45
08 - 09	40,71	40,49	40,49
09 - 10	41,95	41,67	41,67
10 - 11	42,13	42,09	42,09
11 - 12	42,13	42,12	42,12
12 - 13	41,81	41,83	41,83
13 - 14	40,71	40,78	40,78

MWh

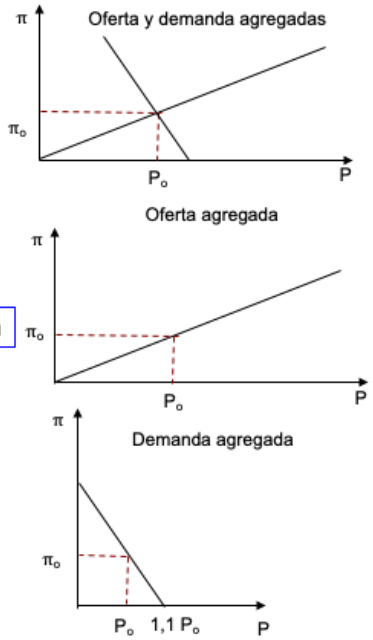
21-10-2018	NO5 Sell	SE1 Buy	SE1 Sell
00 - 01		1 160,9	1 098,7
		1 154,2	1 127,2
		1 145,8	1 030,2
03 - 04		1 141,5	989,5
04 - 05		1 146,7	1 031,0
05 - 06		1 149,2	1 112,6
06 - 07		1 167,1	
07 - 08		1 162,6	
08 - 09		1 196,3	1 325,1
09 - 10		1 231,0	1 656,4
10 - 11		1 248,9	1 799,9
11 - 12		1 245,0	1 793,9
12 - 13		1 245,1	1 694,1
13 - 14		1 231,3	1 324,0
14 - 15		1 214,3	1 192,0
15 - 16		1 224,0	1 142,7

Demanda

Generación

P_o = (Buy+sell)/2

Precio de cada sistema π_o



Regulación de sistemas eléctricos 7

Para construir las curvas de oferta y demanda de cada zona, se toman los datos de precio y potencia generada y demandada de las zonas elegidas. En esta diapositiva se muestra el ejemplo para la zona SE1. El precio se muestra a la izquierda para las horas de un día cualquiera. Puesto que se trata de un mercado con zonas interconectadas, la producción y el consumo de una zona no son las mismas por el intercambio entre una zona y las zonas limítrofes. Con el fin de formar las curvas de oferta y demanda de la zona se va a tomar como potencia de referencia la media entre la potencia consumida y la producida, que se denominará P_o. Junto con el precio π_o se forman ambas curvas, de oferta y demanda agregadas por zona. La curva de oferta se considera lineal y con valor nulo en el origen. La curva de demanda se considera también lineal y con valor nulo para una potencia un 10% superior a la potencia P_o.

Este proceso se realizará para cada una de las zonas elegidas.

uc3m | Universidad Carlos III de Madrid

Formulación.

Parámetros de cada zona *j* (funciones lineales de oferta y demanda)
(**se omite el subíndice *j* de zona por simplicidad**)

Oferta

$$\pi_g = m \cdot P_g$$

$$\pi_0 = m \cdot P_0 \quad \Rightarrow \quad m = \frac{\pi_0}{P_0}$$

Demanda

$$\pi_d = D_0 - k_d P_d$$

$$\left.\begin{array}{l} \pi_0 = D_0 - k_d P_0 \\ 0 = D_0 - k_d P_0 \cdot 1{,}1 \end{array}\right\} \Rightarrow \left\{\begin{array}{l} k_d = \dfrac{\pi_0}{0{,}1 \cdot P_0} \\ D_0 = 11 \cdot \pi_0 \end{array}\right.$$

Regulación de sistemas eléctricos 8

Una vez obtenidos P_o y π_o para cada zona, se obtienen las curvas de oferta y demanda de cada una de ellas mediante las fórmulas que se presentan aquí, que se corresponden con la ecuación de una recta que pasa por dos puntos, tal como se han definido en la diapositiva anterior.

uc3m | Universidad Carlos III de Madrid

Formulación (2).

Parámetros de oferta y demanda agregadas

Oferta

$$\pi_{gj} = m_j \cdot P_{gj}$$

$$P_{gj} = \frac{\pi}{m_j} \qquad P_g = \sum_j P_{gj} = \pi \sum_j \frac{1}{m_j} \Rightarrow \pi = m \cdot P_g \qquad \boxed{m = \frac{1}{\sum_j \frac{1}{m_j}}}$$

Demanda

$$\pi_{dj} = D_{0j} - k_{dj} P_{dj}$$

$$P_{dj} = \frac{D_{0j} - \pi}{k_j} \qquad P_d = \sum_j P_{dj} = \sum_j \frac{D_{0j}}{k_{dj}} - \pi \sum_j \frac{1}{k_{dj}}$$

$$\pi = \frac{\sum_j \frac{D_{0j}}{k_{dj}}}{\sum_j \frac{1}{k_{dj}}} - \frac{1}{\sum_j \frac{1}{k_{dj}}} P_d \Rightarrow \pi = D_0 - k_d P_d \Rightarrow \boxed{k_d = \frac{1}{\sum_j \frac{1}{k_{dj}}}} \quad \boxed{D_0 = \frac{\sum_j \frac{D_{0j}}{k_{dj}}}{\sum_j \frac{1}{k_{dj}}} = k_d \sum_j \frac{D_{0j}}{k_{dj}}}$$

Regulación de sistemas eléctricos 9

A partir de las rectas calculadas en la diapositiva anterior, se obtienen las curvas agregadas de oferta y demanda de las cinco zonas mediante la formulación que se muestra aquí. Hay que tener en cuenta que la expresión de la curva agregada de la demanda solo es válida en el entorno de la solución.

uc3m | Universidad Carlos III de Madrid

Formulación (3).

Obtención del precio y potencia intercambiada.

$$\left.\begin{array}{l}\pi_g = m \cdot P_g \\ \pi_d = D_0 - k_d \cdot P_d\end{array}\right\} \xleftrightarrow{\text{equilibrio}} \left\{\begin{array}{l}P_g = P_d = P \\ \pi_g = \pi_d = \pi\end{array}\right\} \Rightarrow \left\{\begin{array}{l}\pi = \dfrac{m \cdot D_0}{m + k_d} \\ P = \dfrac{D_0}{m + k_d}\end{array}\right.$$

Potencias producidas y demandadas en cada zona

$$P_{gj} = \frac{\pi}{m_j} \qquad P_{dj} = \frac{D_{0j} - \pi}{k_{dj}}$$

Regulación de sistemas eléctricos 10

A partir de las curvas agregadas de oferta y demanda totales se obtiene el precio y la energía producida o consumida en el conjunto. Y a partir de aquí se calcula la potencia producida y consumida en cada una de las zonas.

uc3m | Universidad Carlos III de Madrid

Ficheros de entrada

1. Fichero en el que se tienen que hacer los cálculos. CREACIÓN PROPIA → calprecio.m

```
% 'calprecio.m' realiza el :
% cálculo de funciones de oferta y demanda

clearvars
close all
clc
format compact

precios

% pendiente de las funciones de oferta lineales de los sistemas aislados
% la función pasa por el origen
```

2. Fichero con los datos de red (interconexiones entre sistemas) → precios.m

```
1
2 -   p_isla=[2500 2000 4000 3500 5500]; %potencia generada o consumida en los sistemas aislados
3 -   prec_isla=[45 55 40 60 45]; % precios de los sistemas aislados
4
```

Regulación de sistemas eléctricos 11

La formulación se debe programar en una rutina de matlab. Los datos de precios y potencia de cada zona deberán introducirse en un fichero denominado ‘precios.m’ con el formato mostrado en la diapositiva. La formulación del problema se realizará en una rutina aparte, que llama a la rutina ‘precios.m’. Se proporciona una plantilla para facilitar la introducción de la formulación.

uc3m | Universidad Carlos III de Madrid

Entrega de resultados.

- Se entregará en Aula Global:
  - Ficheros ‘calprecio.m’ y ‘precios.m’ utilizados.
  - Fichero excel con los resultados del problema.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1				zona				
2		1	2	3	4	5	TOTAL	
3	Siglas de zona							
4	Generacíon/demanda de referencia (MW)							
5	Precio de referencia (EUR/MWh)							
6								
7	Pendiente función de oferta							
8	Pendiente función de demanda							
9	Ordenada en origen función de demanda							
10								
11	Generación (MW)							
12	Demanda (MW)							
13	Precio (EUR/MWh)							
14								
15								
16	Nombre							
17	Día considerado (día y mes)							
18								

Una vez formado el precio conjunto de las zonas

Regulación de sistemas eléctricos 12

Los resultados se deben incluir en un fichero de hoja de cálculo con el formato que se muestra aquí. En este fichero se deben introducir los datos del nudo (nombre, precio y potencia media), así como los resultados del cálculo: parámetros de las curvas de oferta y demanda de cada zona, y la generación y demanda de cada una de ellas. También se debe indicar el precio final del sistema, que, por no haber congestiones, será único para todas las zonas.