

Análisis de flujos de potencia en un sistema de N barras mediante Gauss Seidel en Python

Alejandro Arroyo Valle, 2016108971
 Fabricio Hidalgo Rodríguez, 2015089132
 Samuel Monge Alvarado, 2016108972

Resumen—El siguiente informe muestra los resultados obtenidos al simular un sistema de potencia de 14 barras, con un programa desarrollado en el lenguaje de programación Python, el cual es capaz de resolver sistemas de N barras. Se detallan tanto los perfiles de tensión para cada una de las barras, como los flujos de potencia en todas las líneas del sistema. Los resultados fueron obtenidos por el método numérico de Gauss-Seidel.

Index Terms—Potencia, Gauss Seidel, Generación, Python.

I. INTRODUCCIÓN

EN la actualidad, la energía eléctrica es primordial para que los consumidores lleven a cabo sus necesidades de manera satisfactoria. Los usuarios son variados, aplicaciones industriales, residenciales y de servicios, son las más comunes. Los sistemas de potencia diseñados y operados por las compañías eléctricas deben ser capaces de suministrar la potencia requerida por el cliente, a niveles de tensión y frecuencia constante (condición ideal).

El comportamiento de los sistemas de potencia puede llegar a ser complejo, y su dificultad de análisis aumentará cuanto mayor sea el número de componentes del mismo. Para las compañías es importante relizar estudios de flujos de potencia que permitan tanto la planeación como el diseño de la expansión futura de los sistemas de potencia. Además ayudan a determinar las mejores condiciones de operación para el sistema existente. [1]

La gran cantidad de incógnitas por analizar en un estudio de flujos de potencia lleva a la necesidad de utilizar métodos numéricos computarizados, siendo los preferidos el método de Newton Raphson y el de Gauss Seidel. Estos métodos iterativos permiten conocer los perfiles de tensión y de potencia para todas las buses que componen un sistema. Y de igual manera permiten calcular los flujos de potencia entre la red.

II. PLANTEO DEL PROBLEMA

Se cuenta con un sistema de potencia de 14 barras interconectadas (figura 1), en donde los principales datos con que se cuentan son la impedancia y susceptancia conectada entre barras, esto en representación de un modelo π ; así como al tipo de barra presente, por ejemplo si es de referencia, PQ o PV.

En el caso de las barras PV, se conoce la magnitud de la tensión, la potencia real de generación, al igual que

la potencia acoplada en forma de carga; mientras que el ángulo de la tensión y la potencia reactiva generada son sus respectivas incógnitas. En cuanto a las barras PQ, de estas se conocen únicamente la carga real y reactiva que cada una lleva conectada; por ende, es necesario obtener el fasor de la tensión para estos casos.

Con respecto a la barra oscilante, esta cumple la función de referencia para toda la matriz, ya que de esta se sabe la magnitud y ángulo del voltaje. Sin embargo, la potencia de generación para este tipo de barras es desconocida inicialmente, ya que depende de los flujos de potencia que se tengan en el sistema, por lo que hasta el final es posible calcularla.

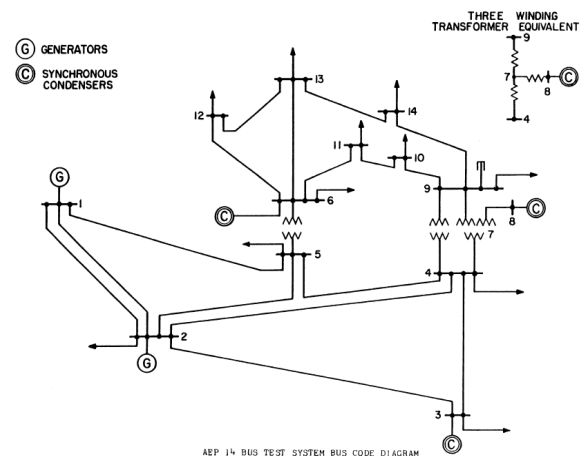


Figura 1: Diagrama unifilar del sistema de 14 barras
[Fuente: American Electric Power System]

Por lo tanto, en el presente proyecto se desarrolló una aplicación mediante el uso de Python, como lenguaje de programación y específicamente con la plataforma Spyder, en donde se pretende resolver cualquier sistema de potencia de N barras, siempre y cuando se ingresen los datos anteriormente mencionados.

Al haberse desarrollado por medio de Spyder, se tiene la facilidad de importar los datos iniciales mediante tablas de Excel y a su vez, de manera inversa, poder exportar los resultados finales en forma de tablas para una mejor

visualización de los mismos.

Como ya se mencionó, para resolver este tipo de problemas, es fundamental la utilización de algún método numérico. Para este caso se aplicó el método de Gauss Seidel; este modelo consiste en el cálculo de las incógnitas, primeramente, mediante la asignación de valores semilla para aquellas variables desconocidas; una vez que se obtienen estas incógnitas, se repite el proceso pero ahora actualizando los valores de acuerdo a la última iteración y así se sigue hasta llegar a un porcentaje de error aceptable.

Este modelo propuesto para la obtención de flujos de potencia en sistemas de N barras, se basó en el diagrama de flujo desarrollado por D.P. Kothari:

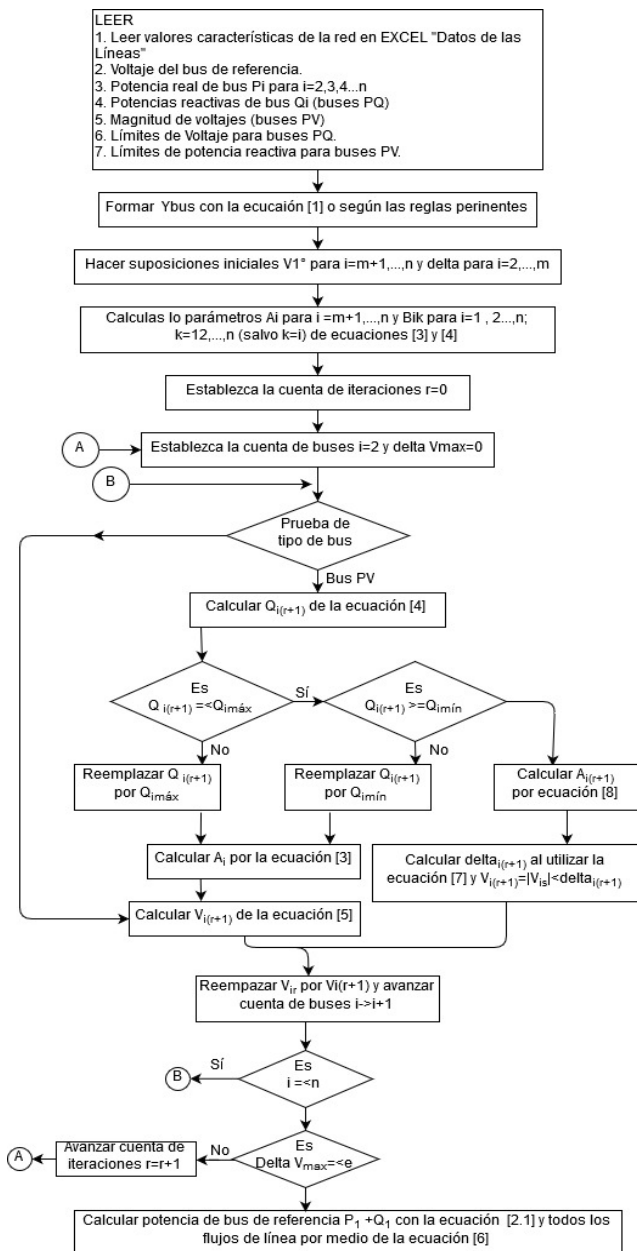


Figura 2: Diagrama de flujo bajo el método Gauss Seidel.
Fuente: [2]

La ecuación utilizada para resolver los voltajes en las barras es:

$$V_i = \frac{1}{Y_{ii}} \left[\frac{P_i - jQ_i}{V_i^*} - \sum_{k=1, k \neq i}^n Y_{ik} V_k \right]; \quad i = 2, 3, \dots, n \quad (1)$$

La ecuación (1) se utiliza tanto para las barras PV como PQ. El valor de potencia reactiva, es desconocido en las barras de voltaje controlado. Por lo tanto, debe ser calculado previamente a realizar la iteración correspondiente a los voltajes, para ello se aplica la ecuación (2).

$$Q_i^{(r+1)} = -Im[(V_i^{(r)})^* \sum_{k=1}^{i-1} Y_{ik} V_k^{(r+1)} + (V_i^{(r)})^* \sum_{k=i}^n Y_{ik} V_k^{(r)}] \quad (2)$$

Siempre se debe de considerar que la potencia reactiva generada no debe de exceder la capacidad de la barra que presenta generador, de manera que debe de ajustarse en caso de ser necesario como se muestra a continuación:

$$Q_{min} \leq Q_g \leq Q_{max} \quad (3)$$

Una vez obtenido la tensión en las barras de control, debe corregirse de acuerdo con la magnitud del voltaje, la cual ya es conocida previamente, para desarrollar la corrección se utiliza la siguiente ecuación:

$$V_{n,corr}^{(1)} = |V_n| \frac{V_n^{(1)}}{|V_n^{(1)}|} \quad (4)$$

Finalizado el método numerico, se procede a calcular la potencia de la barra oscilante, dicho calculo se desarrolla de la siguiente forma:

$$P_i - jQ_i = V_i^* \sum_{k=1}^n Y_{ik} V_k; \quad i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (5)$$

Por último se calculan los flujos de potencia entre las barras, para ello se utiliza la ecuación (6).

$$S_{ki} = V_k (V_k^* - V_i^*) y_{ik}^* + V_k V_k^* y_{ki0}^* \quad (6)$$

III. RESULTADOS

Los resultados se encuentran tabulados en la sección de anexos, en dicho apartado se muestra tanto la Matriz Ybus, los perfiles de tensión y de potencia de las barras y los flujos de potencia, para una potencia base de 100 MVA y un porcentaje de error de 0,001 %. En el caso de los voltajes base se utilizó 69 kV, 18 kV, Y 13,8 kV, para alto, medio y bajo voltaje respectivamente. [3]

IV. CONCLUSIONES

- Se obtuvo un modelo funcional para el cálculo de flujos de potencia en un sistema de eléctrico de potencia de N barras.
- Se utilizó el método numérico de Gauss Seidel para el cálculo de los flujos, usándose Python como lenguaje de programación.
- Se alcanzó un porcentaje de error del 0,0001 % y un total de 107 iteraciones fueron requeridas.

V. RECOMENDACIONES

- Se sugiere utilizar un software especializado en flujos de potencia para la debida corroboración de resultados.
- Se recomienda para futuros proyectos de este tipo el uso de Spyder o en dado de caso de Matlab para el desarrollo de estas aplicaciones.
- Se puede repetir el ejercicio pero ahora con la utilización del factor de aceleración, esto para hacer más eficiente el proceso.
- Se debe considerar resolver el mismo caso pero ahora bajo el empleo de otro método numérico como lo puede ser Newton Raphson y de esta forma comparar cuál método es más preciso.

REFERENCIAS

- [1] J. Grainger and W. Stevenson, *Análisis de Sistemas de Potencia*, 1996.
- [2] D. P. Kothari and I. J. Nagrath, *Modern power system analysis*. Tata McGraw-Hill Pub. Co, 2003.
- [3] V. Singh and N. R. Patne, "Power Quality Problems Study On IEEE 14 Bus System And Their Mitigation Using UPQC With Different Control Schemes (Methodology for deciding the most sensitive load and voltage sag mitigation)," Tech. Rep.

VI. ANEXOS

Tabla I: Matriz de la Ybarra

Barra	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	(6.02-19.45j)	(-5+15.26j)	0j	0j	(-1.03+4.24j)	0j	0j	0j	0j	0j	0j	0j	0j	0j
2	(-5+15.26j)	(9.52-30.27j)	(-1.14+4.78j)	(-1.69+5.12j)	(-1.7+5.19j)	0j	0j	0j	0j	0j	0j	0j	0j	0j
3	0j	(-1.14+4.78j)	(3.12-9.82j)	(-1.99+5.07j)	0j	0j	0j	0j	0j	0j	0j	0j	0j	0j
4	0j	(-1.69+5.12j)	(-1.99+5.07j)	(10.51-38.32j)	(-6.84+21.58j)	0j	4.68j	0j	1.74j	0j	0j	0j	0j	0j
5	(-1.03+4.24j)	(-1.7+5.19j)	0j	(-6.84+21.58j)	(9.57-34.93j)	3.7j	0j	0j	0j	0j	0j	0j	0j	0j
6	0j	0j	0j	0j	3.7j	(6.58-16.82j)	0j	0j	0j	0j	(-1.96+4.09j)	(-1.53+3.18j)	(-3.1+6.1j)	0j
7	0j	0j	0j	4.68j	0j	0j	-19.34j	5.68j	9.09j	0j	0j	0j	0j	0j
8	0j	0j	0j	0j	0j	0j	5.68j	-5.68j	0j	0j	0j	0j	0j	0j
9	0j	0j	0j	1.74j	0j	0j	9.09j	0j	(5.33-23.98j)	(-3.9+10.37j)	0j	0j	0j	(-1.42+3.03j)
10	0j	0j	0j	0j	0j	0j	0j	0j	(-3.9+10.37j)	(5.78-14.77j)	(-1.88+4.4j)	0j	0j	0j
11	0j	0j	0j	0j	0j	(-1.96+4.09j)	0j	0j	0j	(-1.88+4.4j)	(3.84-8.5j)	0j	0j	0j
12	0j	0j	0j	0j	0j	(-1.53+3.18j)	0j	0j	0j	0j	0j	(4.01-5.43j)	(-2.49+2.25j)	0j
13	0j	0j	0j	0j	0j	(-3.1+6.1j)	0j	0j	0j	0j	0j	(-2.49+2.25j)	(6.72-10.67j)	(-1.14+2.31j)
14	0j	0j	0j	0j	0j	0j	0j	0j	(-1.42+3.03j)	0j	0j	0j	(-1.14+2.31j)	(2.56-5.34j)

[Fuente: Excel]

Tabla II: Perfiles de tensión y potencia de cada barra

Barra	Tipo	Voltaje (pu)	Voltaje (kV)	Ángulo	Carga (MW)	Carga (MVAR)	Generación (MW)	Generación (MVAR)	Q máx gen (MVAR)	Q mín gen (MVAR)
1	Referencia	1,060	73,140	0	0	0	232,272	-16,767	0	0
2	Control (PV)	1,045	72,105	-4,982	21,700	12,700	40	43,201	50,00	-40,00
3	Control (PV)	1,010	69,690	-12,730	94,200	19,000	0	25,004	40,00	0,00
4	Carga (PQ)	1,018	70,227	-10,326	47,800	-3,900	0	0		
5	Carga (PQ)	1,020	70,381	-8,764	7,600	1,600	0	0		
6	Control (PV)	1,070	14,766	-14,821	11,200	7,500	0	14,347	24,00	-6,00
7	Carga (PQ)	1,062	14,657	-13,652	0	0	0	0		
8	Control (PV)	1,090	19,620	-13,652	0	0	0	17,273	24,00	-6,00
9	Carga (PQ)	1,057	14,583	-15,300	29,500	16,600	0	0		
10	Carga (PQ)	1,052	14,514	-15,500	9,000	5,800	0	0		
11	Carga (PQ)	1,057	14,591	-15,291	3,500	1,800	0	0		
12	Carga (PQ)	1,055	14,562	-15,658	6,100	1,600	0	0		
13	Carga (PQ)	1,051	14,498	-15,722	13,500	5,800	0	0		
14	Carga (PQ)	1,036	14,298	-16,483	14,900	5,000	0	0		

[Fuente: Excel]

Tabla III: Flujos de potencia entre cada barra

Desde barra	Hasta Barra	Potencia real (pu)	Potencia reactiva (pu)	Potencia real (MW)	Potencia reactiva (MVAR)
1	2	1,569	-0,204	156,873	-20,402
2	1	-1,526	0,277	-152,576	27,672
1	5	0,754	0,036	75,408	3,634
5	1	-0,727	0,024	-72,654	2,412
2	3	0,733	0,036	73,287	3,555
3	2	-0,710	0,016	-70,960	1,620
2	4	0,563	-0,016	56,252	-1,641
4	2	-0,546	0,031	-54,568	3,133
2	5	0,413	0,009	41,348	0,917
5	2	-0,405	-0,019	-40,452	-1,872
3	4	-0,232	0,044	-23,236	4,385
4	3	0,236	-0,048	23,607	-4,753
4	5	-0,624	0,153	-62,386	15,289
5	4	0,629	-0,136	62,918	-13,612
4	7	0,300	-0,207	29,983	-20,693
7	4	-0,300	0,234	-29,983	23,372
4	9	0,168	-0,064	16,764	-6,402
9	4	-0,168	0,081	-16,764	8,131
5	6	0,457	-0,178	45,700	-17,812
6	5	-0,457	0,236	-45,700	23,639
6	11	0,065	0,038	6,455	3,753
11	6	-0,064	-0,037	-6,408	-3,656
6	12	0,077	0,025	7,672	2,547
12	6	-0,076	-0,024	-7,602	-2,401
6	13	0,173	0,073	17,284	7,307
13	6	-0,171	-0,069	-17,081	-6,906
7	8	0,000	-0,168	0,000	-16,830
8	7	0,000	0,173	0,000	17,273
7	9	0,293	0,056	29,341	5,578
9	7	-0,293	-0,047	-29,341	-4,709
9	10	0,061	0,040	6,111	4,007
10	9	-0,061	-0,040	-6,095	-3,967
9	14	0,100	0,035	9,990	3,465
14	9	-0,099	-0,032	-9,863	-3,195
10	11	-0,029	-0,018	-2,900	-1,836
11	10	0,029	0,019	2,908	1,856
12	13	0,015	0,008	1,505	0,798
13	12	-0,015	-0,008	-1,499	-0,793
13	14	0,051	0,019	5,082	1,898
14	13	-0,050	-0,018	-5,037	-1,805

[Fuente: Excel]