

ACTUALIZACIÓN DE LOS CONOCIMIENTOS RELATIVOS AL SIGNIFICADO Y FORMULACIÓN DE LA POTENCIA ELÉCTRICA

V. DONDERIS¹, R. SABATER¹, V. LEÓN¹, R. CAPILLA²

¹Depto. de Ingeniería Eléctrica, Escuela de Ingeniería Técnica Industrial, ²Depto. de Ingeniería Electrónica, Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España.

En esta comunicación se expone una nueva formulación de la potencia eléctrica que, a nuestro juicio, explica y cuantifica de forma más adecuada los fenómenos presentes durante la transferencia de energía en un sistema eléctrico. Estos nuevos conocimientos han sido aplicados a la enseñanza de la potencia eléctrica y los sistemas trifásicos en los primeros cursos de ingeniería técnica, en la especialidad de electrónica industrial.

1. Antecedentes.

El Grupo de Investigación en Nuevas Tecnologías (GINTEC) está constituido por profesores pertenecientes a la Sección de Unidad Docente I.E.1 de la Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Industrial de Valencia. Entre los objetivos del grupo se encuentran la divulgación y la adaptación de los resultados de la investigación a los contenidos de las asignaturas que se imparten en nuestra Unidad Docente. En el tema que nos ocupa se ha elaborado una nueva teoría sobre la potencia eléctrica [1] que explica y cuantifica de una forma más apropiada los fenómenos que ocurren durante la transferencia de energía en un su sistema eléctrico. Creemos que el alumno debe estudiar y aprender los conceptos relacionados con la potencia eléctrica que mejor le ayuden en su futuro como ingeniero técnico en orden a diseñar correctamente los sistemas eléctricos y dispositivos electrónicos que permitan conseguir la máxima eficiencia. Es por ello que presentamos, de forma resumida, lo que representa esta nueva teoría y la estructura del estudio de la potencia eléctrica en la asignatura Teoría de Circuitos de la especialidad Ingeniero Técnico en Electrónica Industrial.

2. Introducción.

El estudio de la potencia eléctrica en el primer ciclo de los estudios universitarios se ha limitado en la mayoría de las ocasiones a una generalización a circuitos monofásicos y trifásicos lineales de la “Teoría General de la Corriente Alterna”, desarrollada por Steinmetz en el año 1897.

En el caso de sistemas no lineales, el modelo utilizado suele ser el propuesto por Budeanu en 1927 y recogido en el IEEE Standard Dictionary. En el caso de asignaturas de segundo y, fundamentalmente, de tercer ciclo, es cada vez más frecuente la enseñanza basada en el modelo propuesto por Fryze en 1932.

Actualmente se sabe que las potencias definidas por ambos modelos (Budeanu y Fryze) no siempre conducen a la obtención de dispositivos de mejora de la eficiencia adecuados. Por ello, se deben revisar y actualizar los contenidos sobre la potencia eléctrica en la docencia universitaria. Nosotros proponemos el modelo basado en la “Teoría General Unificadora de la Potencia Eléctrica” [1, 2, 3] que no tiene las carencias de los otros modelos y, por tanto, servirá como base para que en estudios superiores el ingeniero obtenga mejores resultados en su trabajo.

3. Teoría General “Unificadora” de la Potencia Eléctrica.

La principal característica de esta teoría, que la diferencia de las restantes, es que cada una de las potencias que en ella se definen y que cuantifican cada uno de los fenómenos energéticos, no representan a flujos energéticos del mismo tipo. Según la Teoría Unificadora la transferencia de energía útil es afectada por cada una de las ineficiencias presentes en el sistema eléctrico cuando los generadores son ineficientes, dando lugar a flujos energéticos residuales. De esta manera, las potencias tienen las siguientes expresiones generales:

$$\begin{aligned}
 S &= \sqrt{\left(V_{1da}^2 + V_{1dr}^2 + V_{1i}^2 + V_{1h}^2 + \sum_{n \neq 1}^{\infty} V_n^2 \right) \left(I_{1da}^2 + I_{1dr}^2 + I_{1i}^2 + I_{1h}^2 + \sum_{m \neq 1}^{\infty} I_m^2 \right)} \\
 P_e &= 3 \cdot V_{1da} \cdot I_{1da} \\
 Q &= 3 \sqrt{V_{1dr}^2 I_{1dr}^2 + \sum_{\substack{j \neq k \\ j, k = a, r}} V_{1dj}^2 I_{1dk}^2} \\
 A &= 3 \sqrt{\sum_{x=i, h} V_{1x}^2 I_{1x}^2 + \sum_{\substack{y \neq z \\ y, z = d, h}} V_{1y}^2 I_{1z}^2} \\
 D &= 3 \sqrt{\sum_{\substack{n=m \\ n \neq 1}}^{\infty} V_n^2 \cdot I_m^2 + \sum_{n \neq m}^{\infty} V_n^2 \cdot I_m^2}
 \end{aligned} \tag{1}$$

Cada una de estas potencias:

- a) Tiene significado físico, ya que representan flujos energéticos,
- b) son conservativas,
- c) las que caracterizan a las ineficiencias tienen una formulación semejante.

Las fórmulas anteriores, de carácter general, se pueden simplificar para sistemas trifásicos lineales con generadores eficientes, que es el caso que se estudia en el primer curso de Teoría de Circuitos de la carrera de ingeniería técnica, quedando como siguen:

$$\begin{aligned}
S &= 3 \cdot V_d \sqrt{(I_d^2 + I_i^2 + I_h^2)} \\
P_\varepsilon &= 3 \cdot V_d I_{da} \\
Q &= 3 \cdot V_d I_{dr} \\
A &= 3 \cdot V_d \sqrt{I_i^2 + I_h^2}
\end{aligned}
\tag{2}$$

siendo V_d la tensión simple del generador y I_d, I_i, I_h las componentes simétricas de las corrientes de línea. Las expresiones anteriores nos permiten medir la eficiencia del sistema de forma más apropiada mediante el factor de eficiencia:

$$\varepsilon = \frac{P_\varepsilon}{S} = \frac{P_\varepsilon}{\sqrt{P_\varepsilon^2 + Q^2 + A^2 + D^2}}
\tag{3}$$

4. Las asignaturas.

En el nuevo Plan-98, la docencia de la Potencia Eléctrica está incluida en las siguientes asignaturas del área de Ingeniería Eléctrica:

ASIGNATURAS	TIPO	SEM.	CRÉDITOS
- Teoría de Circuitos	T+O	2	9 (4,5T + 4,5P)
- Gestión Eficiente de la Energía Eléctrica	OPT	3	6 (3T + 3P)

Teniendo en cuenta que solamente la primera (Teoría de Circuitos) es troncal se han tenido que distribuir los contenidos sobre el estudio de la potencia eléctrica de la siguiente forma:

- S Teoría de Circuitos: Incluir los conceptos sobre potencia eléctrica en sistemas trifásicos lineales equilibrados y desequilibrados en cargas.
- S Gestión Eficiente de la Energía Eléctrica: Continuar con los sistemas trifásicos no lineales y equilibrados hasta llegar a los sistemas asimétricos no lineales.

5. Estructura del estudio de la Potencia Eléctrica.

A continuación se explica el proceso seguido en el estudio de la potencia. Comenzando por el estudio de la potencia en sistemas monofásicos, el siguiente esquema representa los conceptos estudiados, los cuales se irán utilizando a lo largo de diversas unidades didácticas hasta llegar a los circuitos no lineales, donde se estudia el concepto de potencia de distorsión. Se puede observar que se comienza estudiando los fenómenos que aparecen como consecuencia de la transferencia de energía desde el generador al receptor para, finalmente, formular las expresiones

que los cuantifican (potencias aparente, activa y reactiva en el caso de circuitos lineales). Una vez llegados a los sistemas trifásicos, los contenidos anteriores se amplían con arreglo al siguiente esquema:

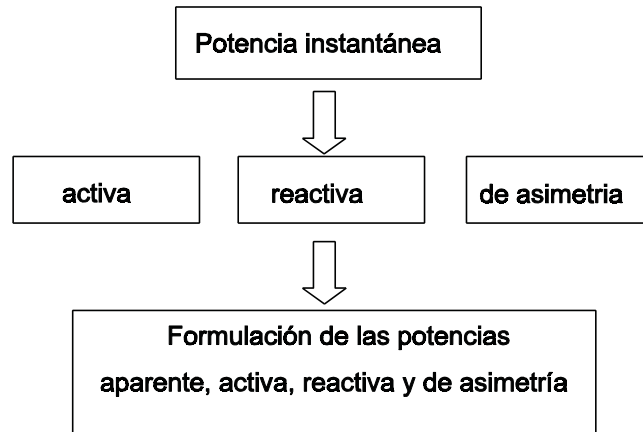


Figura 1. Diagrama de bloques del proceso estudiado en sistemas trifásicos lineales.

A partir del esquema anterior, y por las analogías existentes entre las expresiones de la potencia instantánea y la potencia aparente, se formulan las expresiones de las potencias (aparente, activa, reactiva, de asimetría) de acuerdo con (2).

6. Referencias.

- [1] V. León. *Método integral para la mejora de la eficiencia y la calidad en el suministro de la energía eléctrica en Baja Tensión*. Tesis Doctoral (1997).
- [2] V. León, J. Giner. *Método integral para la mejora de la eficiencia en las instalaciones eléctricas*. 5ª Jornadas Hispano-lusas de Ing. Eléctrica (1997).
- [3] V. León, J. Giner, J. Montañana, A. Cazorla. *Mejora de la eficiencia en S. lineales en B.T. con tensiones desequilibradas*. 8ª R. Nacional de Grupos de Investigación en Ingeniería. Eléctrica (1998).
- [4] V. León, J. Giner, J. Montañana, A. Cazorla. *Revisión de los conocimientos de la potencia eléctrica en la docencia universitaria*. 9ª R. Nacional de G. de Investigación en Ingeniería Eléctrica (1999).
- [5] V. León, J. Giner, J. Montañana, A. Cazorla. *Eficiencia en las instalaciones eléctricas. Nuevas definiciones de potencia*. Revista Mundo Electrónico, nº 322, 28-32 (2001).