



IX Encontro Regional Latino-Americano da Cigré

IX Encuentro Regional Latino-Americano del Cigré

27 a 31 de maio de 2001
27 al 31 de mayo de 2001

IX/FI-36.1

COMITÉ 36

COMPATIBILIDAD ELETROMAGNÉTICA EN SISTEMAS DE POTENCIA

ESTUDIO DE LOS DIAGRAMAS $|\underline{U}|$ VS. $|\underline{I}|$ EN CARGAS CONJUNTAS LINEALES Y ALINEALES

M. Deorsola
IITREE-LAT
Facultad Ingeniería. UNLP
La Plata. Bs. As. Argentina

J. C. Barbero
IITREE-LAT
Facultad Ingeniería. UNLP
La Plata. Bs. As. Argentina

P. Morcelle
IITREE-LAT
Facultad Ingeniería. UNLP
La Plata. Bs. As. Argentina

RESUMEN

Los niveles de perturbación que los usuarios pueden generar o inyectar a la red en el punto de suministro rigen en Argentina desde 1997.

En un equivalente circuital para un dado punto de suministro, aparecerán cargas lineales y alineales en paralelo. Las primeras representan a los consumos agredidos por las perturbaciones provenientes de la red, y las segundas a los consumos perturbadores.

Se estudian distintas combinaciones relativas entre ambas componentes de la carga en un punto de suministro genérico, sobre la base de los diagramas de dispersión $|\underline{U}|$ vs. $|\underline{I}|$, equivalentes a las "curvas de regulación" para dichas cargas. Los casos estudiados pueden ayudar a interpretar las proporciones de responsabilidad que le cabe, en situaciones reales, a cada fuente de perturbación armónica (tensión de suministro y carga alineal).

PALABRAS CLAVES

Armónicas. Calidad de servicio. Producto técnico.

1. INTRODUCCIÓN

Desde 1996 rigen en Argentina los niveles de referencia para las componentes armónicas de la tensión que deben ser garantizados por las empresas distribuidoras o concesionarias encargadas del suministro eléctrico [1].

En 1997 se establecieron los límites de emisión individuales, es decir, los niveles de perturbación que los usuarios pueden generar o inyectar a la red en el punto de suministro [2].

En las mediciones que forman parte de las campañas de control que desarrolla el Ente Nacional Regulador de la Electricidad (ENRE), se registran durante 7 días en forma trifásica en el punto de suministro, los valores medios en intervalos de 10 minutos de las tensiones armónicas, las intensidades armónicas y los correspondientes ángulos de desfasaje, a fin de determinar el flujo de potencia activa de cada armónica controlada de forma tal de comprobar la responsabilidad del usuario.

En los casos que el usuario haya superado los límites de emisión individuales durante más del 5% del período total de medición y no haya cumplido con las acciones correctoras en los plazos indicados, podrá ser penalizado económicamente con un recargo en la facturación, previa autorización del ENRE.

En el caso de que sea la Distribuidora la responsable de la mala calidad del servicio, la misma bonificará a los usuarios afectados en la facturación inmediatamente posterior al semestre en que se detectó la falta de calidad. Esta bonificación persistirá hasta que la Distribuidora demuestre que la calidad del servicio se encuentra dentro de los límites reglamentados, la cual será nuevamente verificada por las mediciones encargadas por el ENRE.

Esto demuestra la importancia que tiene efectuar el control de las armónicas tanto para los usuarios como para las empresas distribuidoras de energía, no sólo desde el punto de vista técnico, sino también económico.

Los sistemas reales en los que deben efectuarse las mediciones deben considerarse como sistemas trifásicos cuyos generadores de tensión de fase tienen contenido armónico, siendo la carga una combinación paralelo de requerimientos alineales y/o conmutados junto con lineales.

En estas condiciones, la presencia de un armónico de orden n en la tensión determina un agregado extra de dicha componente en la corriente de suministro por circulación en la carga lineal, además de afectar en alguna medida el resultante de perturbación producido por la carga alineal.

En términos de teoría de circuitos, para cada fase del sistema eléctrico, lo anteriormente comentado puede representarse con la versión equivalente monofásica indicada en la Figura 1.

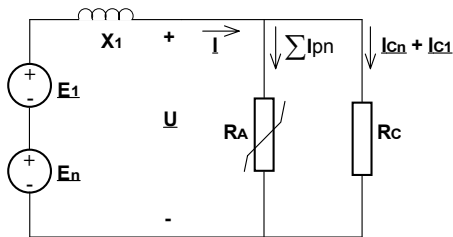


Figura 1. Circuito monofásico simplificado.

Referencias de la Figura 1:

- E_1 : Generador de tensión de frecuencia fundamental ($n=1$), causante de ΣIP_n en R_A y de IC_1 en R_C .
- E_n : Generador de tensión de la armónica n , causante de IC_n en R_C , además de contribuir en la respectiva IP_n .
- R_C : carga lineal, por simplicidad considerada con factor de potencia 1.
- R_A : carga alineal determinante de corrientes perturbadoras armónicas.
- X_1 : Reactancia de cortocircuito del generador de tensión a la pulsación fundamental ($n=1$); se comporta como nX_1 para cada armónica n . Por simplicidad se considera inductiva pura.
- I : Corriente en el punto de suministro requerida por el conjunto de cargas alineales y lineales
- U : Tensión en el punto de suministro sobre el conjunto de cargas alineales y lineales.

2. DIAGRAMAS U_n vs. I_n

Siendo de interés la tensión y la corriente en el punto de suministro para la frecuencia armónica n , es decir I_n y U_n , no interesa el efecto de E_1 en R_C (IC_1) pero sí el resultado IP_n en R_A más la corriente IC_n que E_n produce en R_C .

Lo dicho significa transformar el circuito de la Figura 1 en el de la Figura 2, donde la perturbación de corriente armónica IP_n se representa con un generador de corriente dependiente de E_1 .

Respecto de este generador dependiente, es importante indicar que puede presentar cualquier ángulo de fase (α) respecto de E_n , dado que la componente armónica que aquél representa depende de la característica alineal o conmutada de R_A , con amplia variedad de posibilidades.

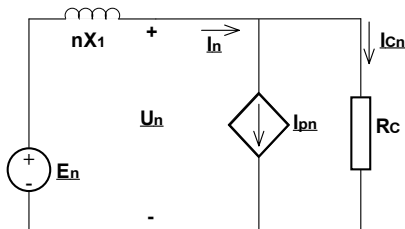


Figura 2. Representación de la carga alineal mediante generador de corriente dependiente

La resolución del circuito de la Figura 2 da los siguientes resultados tanto para I_n como para U_n , considerados ambos en módulo, al igual que los restantes parámetros que intervienen en las fórmulas.

$$U_n^2 = \rho_c^2 [E_n^2 + (nX_1 IP_n)^2 - 2 * nX_1 IP_n * E_n * \sin(\alpha)]$$

$$I_n^2 = \rho_c^2 [(E_n/R_C)^2 + (IP_n)^2 + 2 * E_n/R_C * IP_n * \cos(\alpha)]$$

siendo $\rho_c^2 = R_C^2 / (R_C^2 + (nX_1)^2)$ y α el ya comentado ángulo de desfase entre IP_n y E_n , considerado positivo para la corriente en atraso respecto de la tensión.

En consecuencia, adoptando un valor de n , E_n , X_1 y variando R_C de modo de variar IC_n y otro tanto con IP_n , la representación gráfica de U_n e I_n da por resultado un diagrama de dispersión que corresponde a la "curva de regulación" del circuito de la Figura 2 en el punto de suministro.

3. CASOS SIMULADOS

Se presentan aquí los resultados de las simulaciones efectuadas dando valores a los distintos parámetros.

En la adopción de dichos valores se pretendió dar un panorama general de resultados posibles para distintas combinaciones de E_n y α . Los mismos no corresponden a niveles de servicio de ninguna instalación.

De este modo fueron obtenidas las Figuras 4 a 17. Se han elegido: $X_1=1$, $IP_{n_{max}}=1$, $IP_{n_{min}}=0,01$, y con $R_{C_{min}}=25$, $R_{C_{max}}=500$ se obtienen los valores de la Tabla 1 para distintos valores de E_n y n .

E_n	N	$IC_{n_{max}}$	$IC_{n_{min}}$
20	7	0,77	0,04
10	7	0,39	0,02
5	7	0,19	0,01
10	3	0,40	0,02

Tabla 1

En cada una de las Figuras 4 a 14 se han destacado con los símbolos indicados a continuación, los puntos singulares correspondientes a las siguientes condiciones de la carga:

- [+] $IC_{n_{min}}$, $IP_{n_{min}}$
- [o] $IC_{n_{max}}$, $IP_{n_{min}}$
- [x] $IC_{n_{min}}$, $IP_{n_{max}}$
- [□] $IC_{n_{max}}$, $IP_{n_{max}}$

En las figuras presentadas, con respecto a los mencionados puntos singulares, deben hacerse las siguientes observaciones.

- a) la curva que une el punto marcado por + con el marcado por [o] corresponde a la curva de regulación debida a la variación de la carga lineal con $IP_{n_{min}}$.

- b) la curva que une el punto marcado por **[+]** con el marcado por **[x]** corresponde a la curva de regulación debida a la variación IP_n con IC_{min} .
- c) la curva que une el punto marcado por **[x]** con el marcado por **[□]** corresponde a la curva de regulación debida a la variación de la carga lineal con $IP_{n_{max}}$.
- d) la curva que une el punto marcado por **[o]** con el marcado por **[□]** corresponde a la curva de regulación debida a la variación IP_n con IC_{max} .
- e) el punto marcado por **[+]**, para IC_{min} e IP_{min} , señala el valor de En .

Por otra parte para $En = 20$ y según sea el valor del ángulo α , que se considera constante independientemente de los valores asignados a IP_n , suceden situaciones como las siguientes:

- f) para $0^\circ < \alpha < 180^\circ$ los diagramas muestran la disminución de U con el aumento de l (Figuras 4 a 6) y a la inversa para $180^\circ < \alpha < 360^\circ$ (Figuras 9 a 11).
- g) la ubicación del punto marcado **[□]** pasa de estar por encima del punto marcado **[x]** (Figuras 3, 4, 5, 8 y 10) a estar por debajo (Figuras 6, 7 y 8), considerando la variación en aumento de α .

También, según sean los valores de En , considerados decrecientes, y comparando los gráficos donde $\alpha = 270^\circ$ (Figuras 9, 11, 12 y 13) resulta:

- h) las curvas tienden a la correspondiente de regulación sólo debida a IP_n ; el punto marcado con **[o]** coincide con el marcado con **[+]** y en consecuencia, el punto marcado con **[x]** coincide con el marcado con **[□]**.

Además se incluye el gráfico de la Figura 14, que comparado con el de la Figura 11, permite ver el efecto relativo de dos valores diferentes de n .

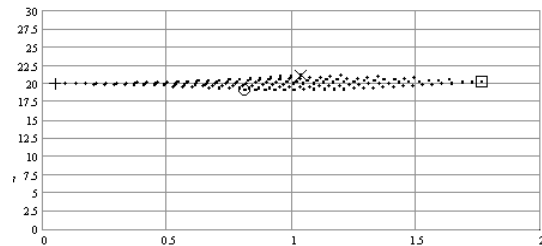


Figura 3. $En = 20 \quad n = 7 \quad \alpha = 0^\circ$

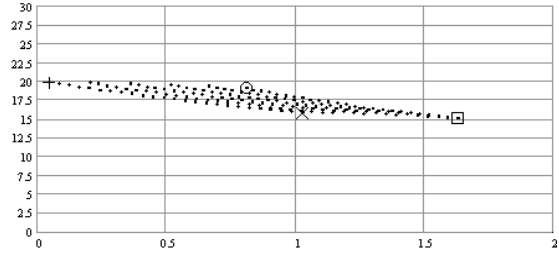


Figura 4. $En = 20 \quad n = 7 \quad \alpha = 45^\circ$

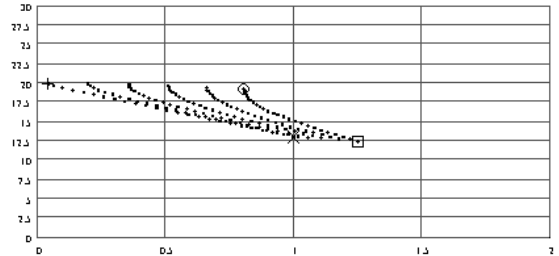


Figura 5. $En = 20 \quad n = 7 \quad \alpha = 90^\circ$

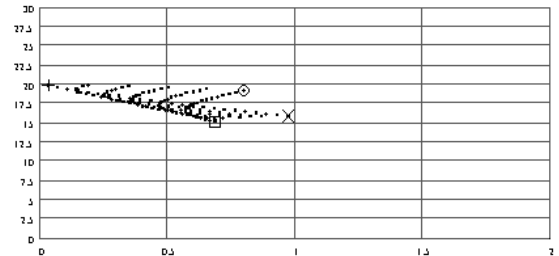


Figura 6. $En = 20 \quad n = 7 \quad \alpha = 135^\circ$

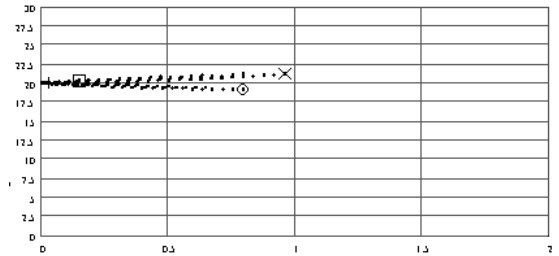


Figura 7. $En = 20 \quad n = 7 \quad \alpha = 180^\circ$

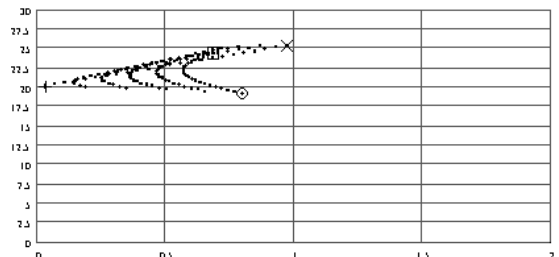


Figura 8. $En = 20 \quad n = 7 \quad \alpha = 225^\circ$

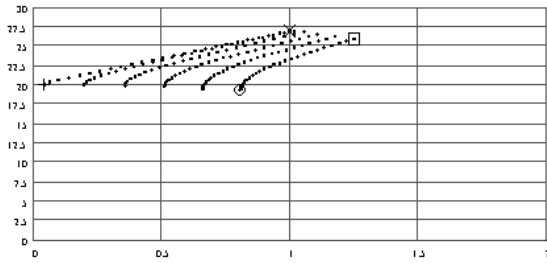


Figura 9. En = 20 n = 7 $\alpha = 270^\circ$

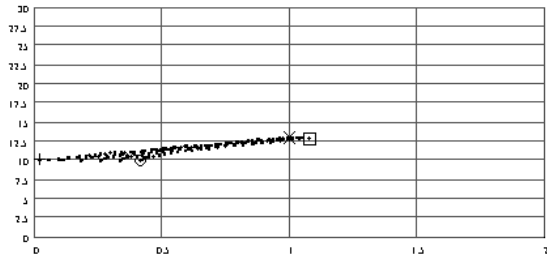


Figura 14. En = 10 n = 3 $\alpha = 270^\circ$

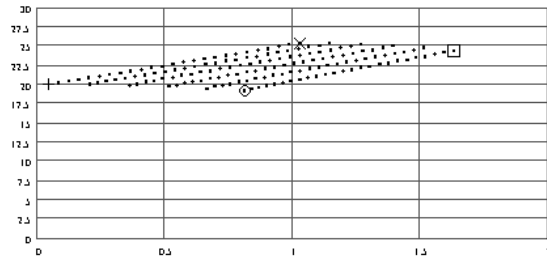


Figura 10. En = 20 n = 7 $\alpha = 315^\circ$

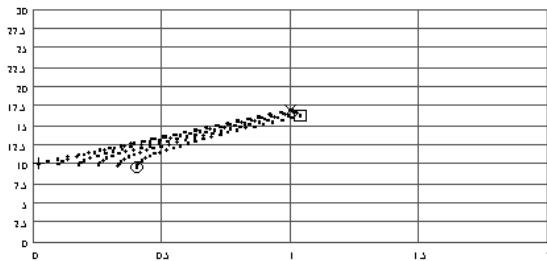


Figura 11. En = 10 n = 7 $\alpha = 270^\circ$

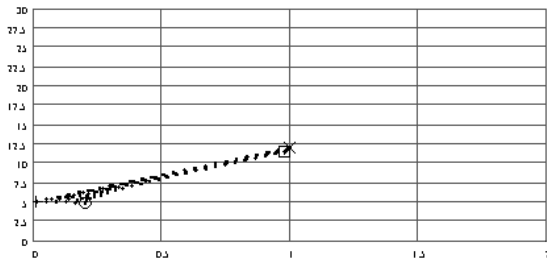


Figura 12. En = 5 n = 7 $\alpha = 270^\circ$

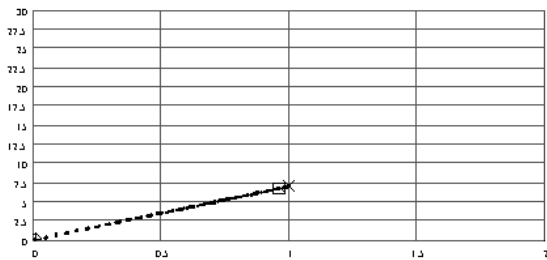


Figura 13. En = 0 n = 7 $\alpha = 270^\circ$

4. CASOS REALES

Se presentan aquí algunos resultados de mediciones efectuadas por el IITREE en el punto de suministro de dos sistemas de ferrocarriles eléctricos.

En las Figuras 15, 16 y 17 se presenta a modo de ejemplo la representación de U vs. I, para la 7ª armónica en cada uno de los puntos medidos y para la 3ª armónica para uno de ellos.

Las magnitudes representadas son los valores eficaces contemporáneos de tensión y corriente de una de las fases, registrados a lo largo de una semana. Cada gráfico resulta de la superposición de puntos ubicados en las "curvas de regulación" correspondientes a las distintas condiciones de carga y para valores de α que no son constantes para cada uno de dichos valores de carga.

Es decir que si bien a lo largo del período de observación puede repetirse un dado par de valores de U e I, resulta altamente probable que los valores de α resulten diferentes.

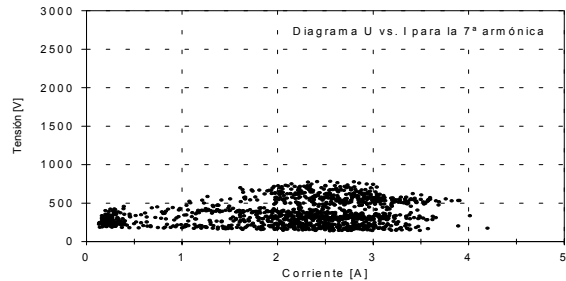


Figura 15. Diagrama U vs. I para 7ª armónica.

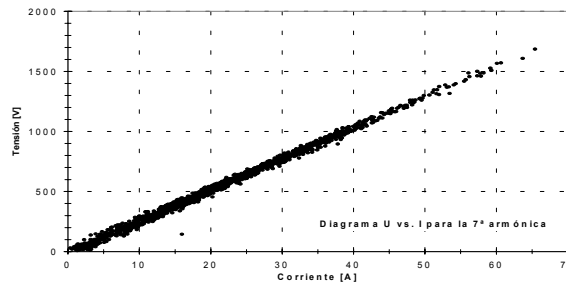


Figura 16. Diagrama U vs. I para 7ª armónica.

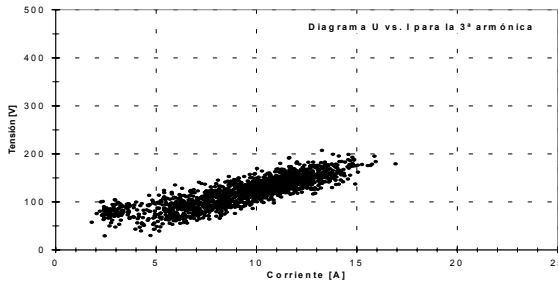


Figura 17. Diagrama U vs. I para 3ª armónica.

5. CONCLUSIONES

Las simulaciones matemáticas presentadas, fueron realizadas con valores fijos, y en consecuencia repetibles, con la intención de conocer la respuesta del circuito equivalente propuesto en función de dichos valores.

La similitud entre los patrones de los resultados de dichas simulaciones y los de las situaciones reales

alienta la posibilidad de usarlas como referencia para discernir la ubicación de los puntos singulares, en particular IP_{nmax} (responsabilidad del usuario perturbador) o detectar En (responsabilidad de la empresa distribuidora).

La efectividad de la posibilidad, sin embargo depende del conocimiento de como varia α para cada tipo de carga alineal.

6. REFERENCIAS

- [1] Ente Nacional Regulador de la Electricidad. Resolución ENRE N° 465/96
- [2] Ente Nacional Regulador de la Electricidad. Resolución ENRE N° 99/97