TECNOLÓGICO DE ESTUDIOS SUPERIORES
VALLE DE BRAVO

# MANUAL DE PRÁCTICAS DE ANÁLISIS ARMÓNICOS EN SISTEMAS ELÉCTRICOS DE MEDIA Y ALTA TENSIÓN

JEFATURA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

ACADEMIA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

NOMBRE DEL DOCENTE:

NOMBRE DEL ALUMNO:

OCTAVO SEMESTRE

VERSIÓN 1

# INDICE


| | Página |
|---|---|
| INTRODUCCIÓN | 3 |
| Práctica 1 Disturbios que se presentan en sistemas de media y alta tensión | 4 |
| Práctica 2 Discretización de funciones periódicas aplicando la Transformada Discreta de Fourier (TDF) | 14 |
| Práctica 3 Determinación de factores de calidad en circuitos eléctricos | 22 |
| Práctica 4 Análisis de redes eléctricas con contenido armónico | 29 |
| Práctica 5 Respuesta de transformadores al contenido armónico | 40 |
| BIBLIOGRAFÍA | 47 |

# INTRODUCCIÓN

Las practicas elaboradas en el presente manual, están enfocadas en el análisis y simulación de sistemas eléctricos de media y alta tensión los cuales por las cargas no lineales conectadas, presentan la presencia de armónicos y pueden llegar a ocasionar daños a los elementos que se encuentran conectados al sistema.

Durante el desarrollo de las prácticas, se analizaran modelos de sistemas con inyección de corrientes y voltajes armónicos, buscando una propuesta de mitigación de los mismos. Para cumplir con el objetivo de reducir los armónicos, se deben desarrollar algoritmos computacionales que permitan trabajar con sistemas industriales y redes eléctricas.

En la aplicación del presente manual, se busca que los alumnos lleguen a aprender conceptos básicos de calidad de la energía, modelar sistemas para su análisis y estudios de propagación de armónicos que permitan realizar propuestas de corrección y de mejora en instalaciones y redes eléctricas.

# PRÁCTICA 1

# DISTURBIOS QUE SE PRESENTAN EN SISTEMAS DE MEDIA Y ALTA TENSIÓN

INGENIERÍA ELÉCTRICA OCTAVO SEMESTRE

# DISTURBIOS QUE SE PRESENTAN EN SISTEMAS DE MEDIA Y ALTA TENSIÓN

## Objetivo general

Identificar de lecturas gráficas los diferentes tipos de disturbios para comprender su comportamiento y determinar los efectos que originan en el sistema.

## Objetivos específicos:

- Analizar cada una de las gráficas para conocer su comportamiento en los sistemas eléctricos.
- Buscar los efectos que originan para especificar los daños o inconvenientes que pueden ocasionar en el sistema o equipos

## Material necesario:

*Otros:*

Software ATP

## Procedimiento:

1. Identificar cada una de los efectos que se presentan en forma gráfica y anotar las problemáticas que producirían en sistemas industriales y en la red eléctrica de media y alta tensión (Figuras: 1a, 1b, 1c, 1d, 1e, 1f).
2. Elaborar la simulación de una descarga atmosférica en una red de distribución y mencionar conforme a las gráficas de comportamiento que tipo de transitorio se presenta (Figura 2).

## Desarrollo de la práctica

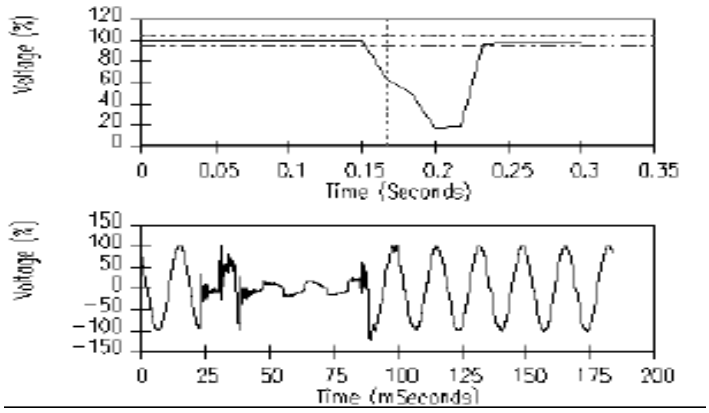



Figura 1a.-

Factores que lo originan:

Problemáticas que se presentan en los sistemas industriales y la red eléctrica de media o alta tensión.

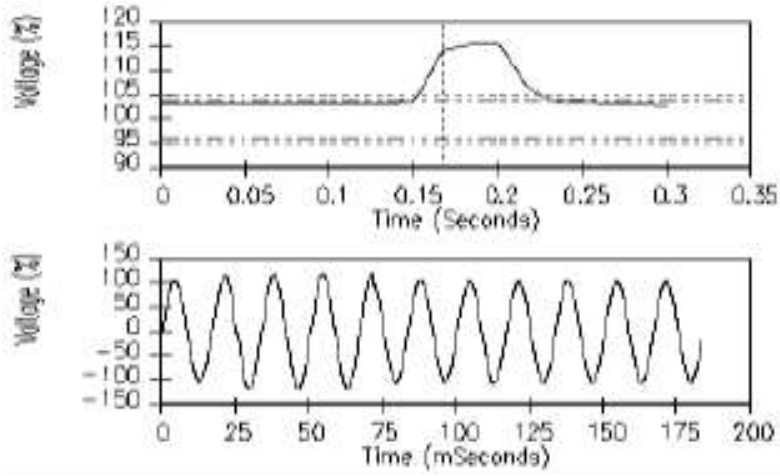



Figura 1b.-

Factores que lo originan:

Problemáticas que se presentan en los sistemas industriales y la red eléctrica de media o alta tensión.

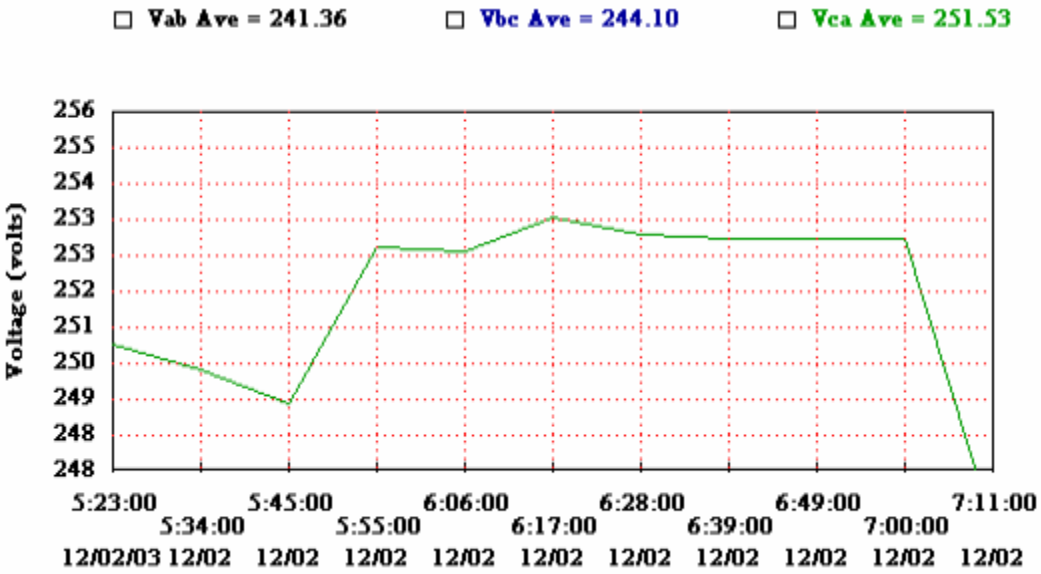



Figura 1c.-

Factores que lo originan:

Problemáticas que se presentan en los sistemas industriales y la red eléctrica de media o alta tensión.

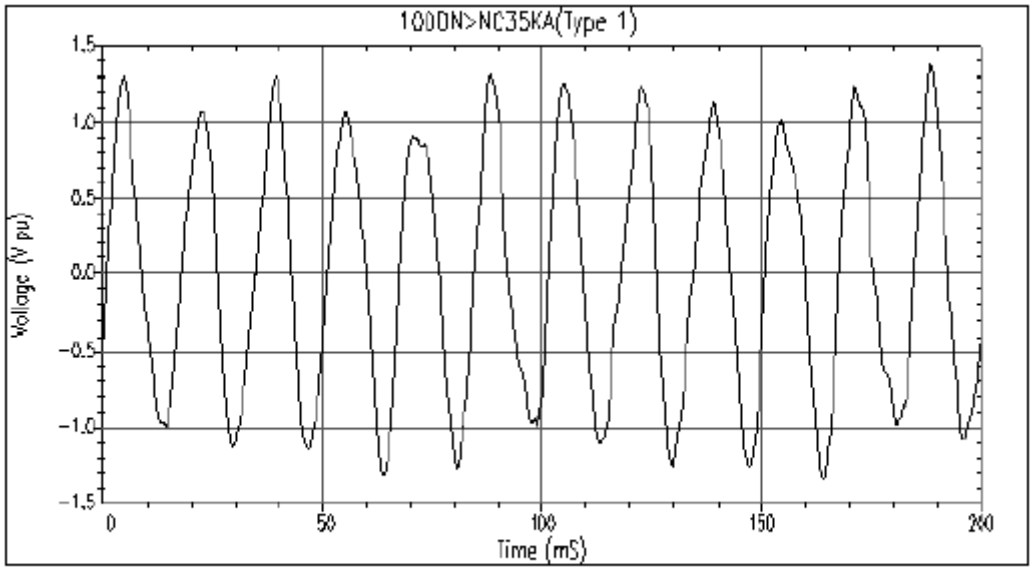



Figura 1d.-

Factores que lo originan:

Problemáticas que se presentan en los sistemas industriales y la red eléctrica de media o alta tensión.

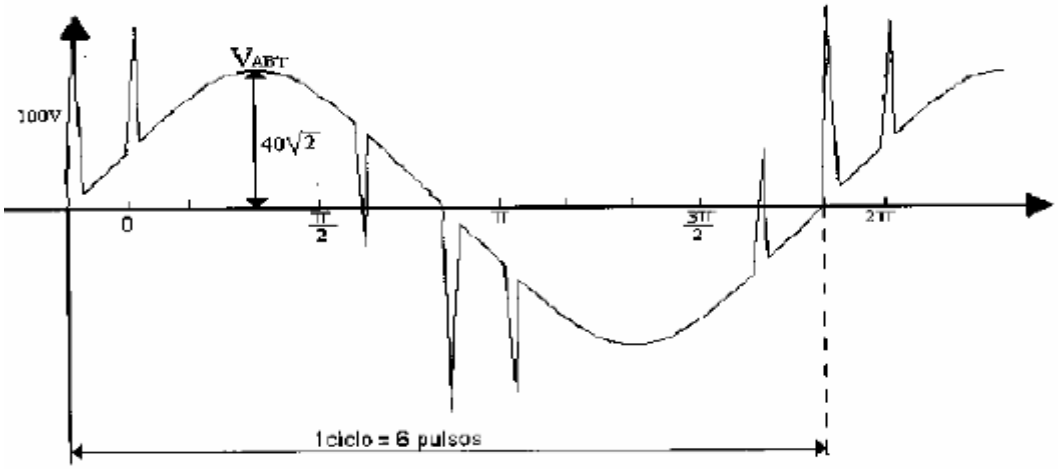



Figura 1e.-

Factores que lo originan:

Problemáticas que se presentan en los sistemas industriales y la red eléctrica de media o alta tensión.

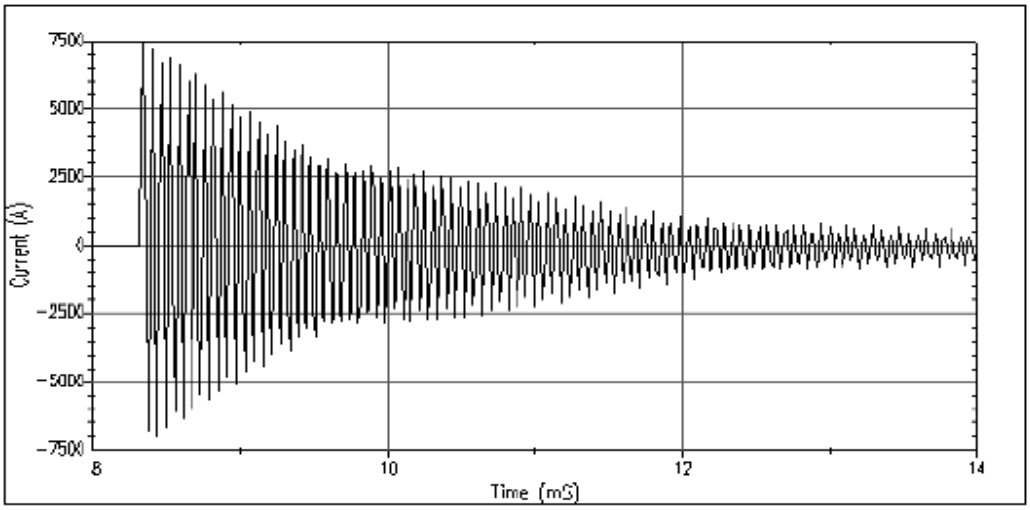



Figura 1f.-

Factores que lo originan:

Problemáticas que se presentan en los sistemas industriales y la red eléctrica de media o alta tensión.

*Simulación de transitorio en una red de distribución en ATP*

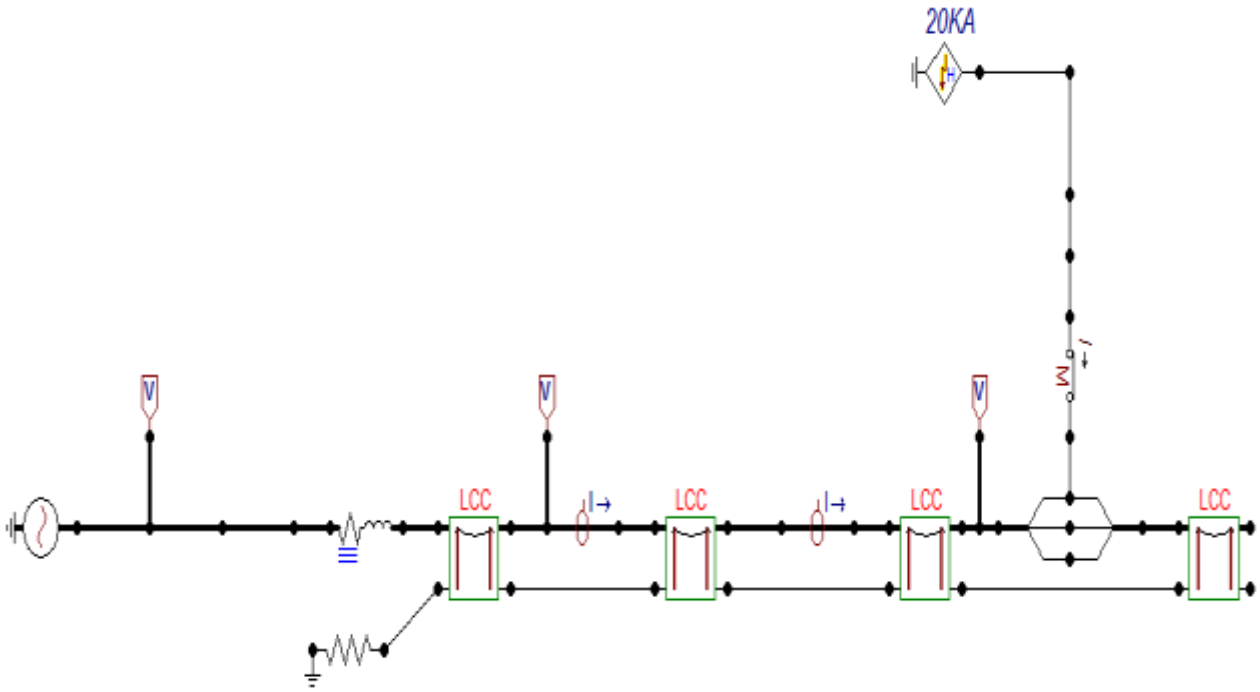
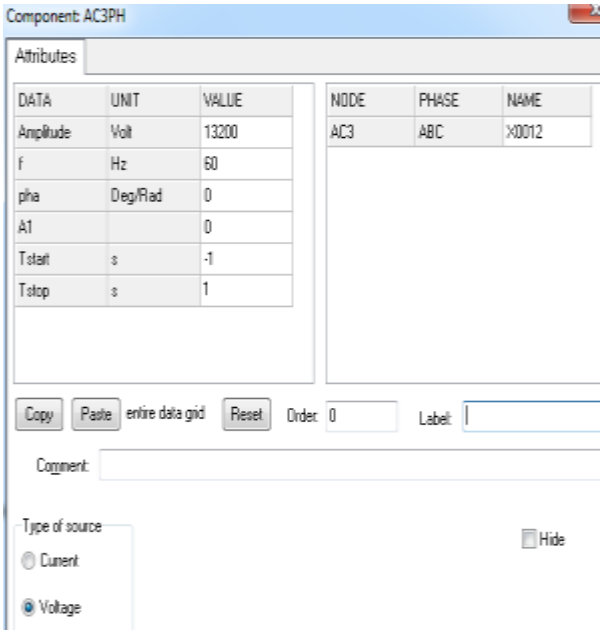
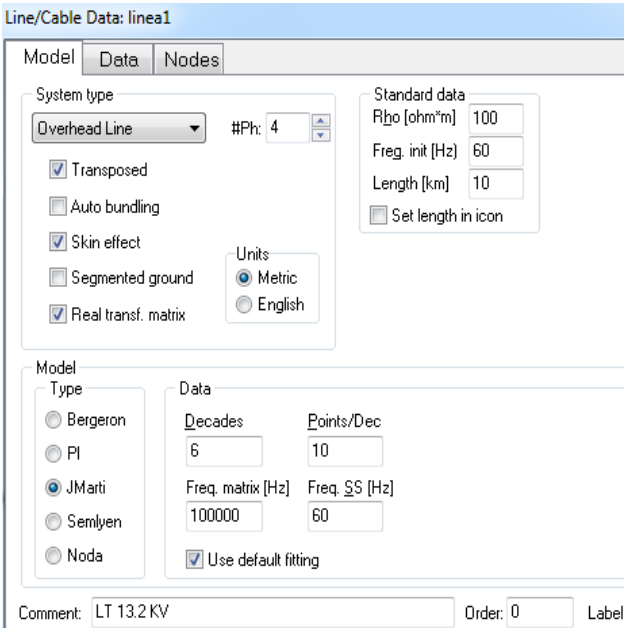


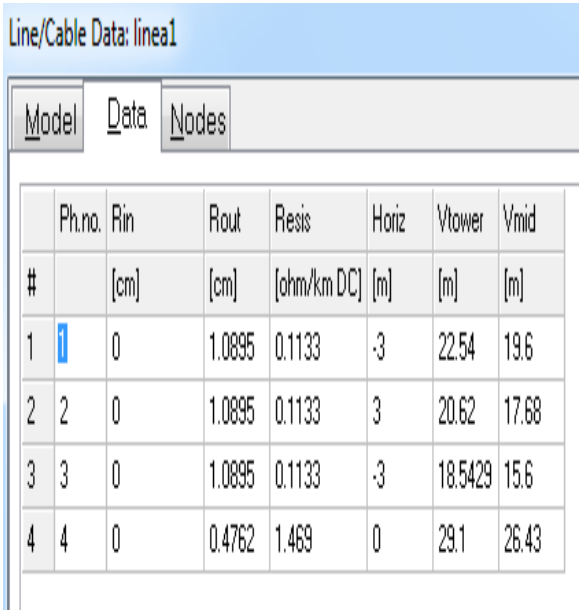

Figura 2.- Representación de una red de media tensión

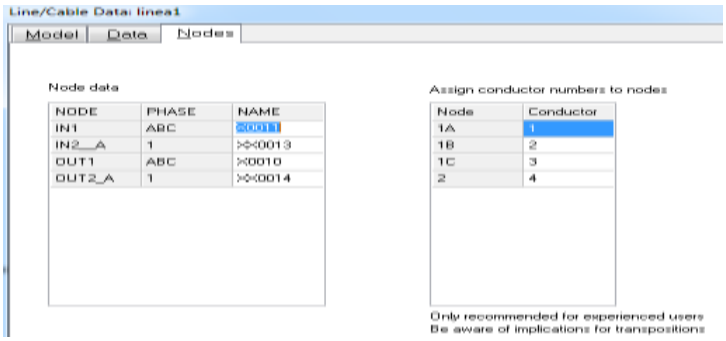
Los parámetros eléctricos a ingresar de los elementos

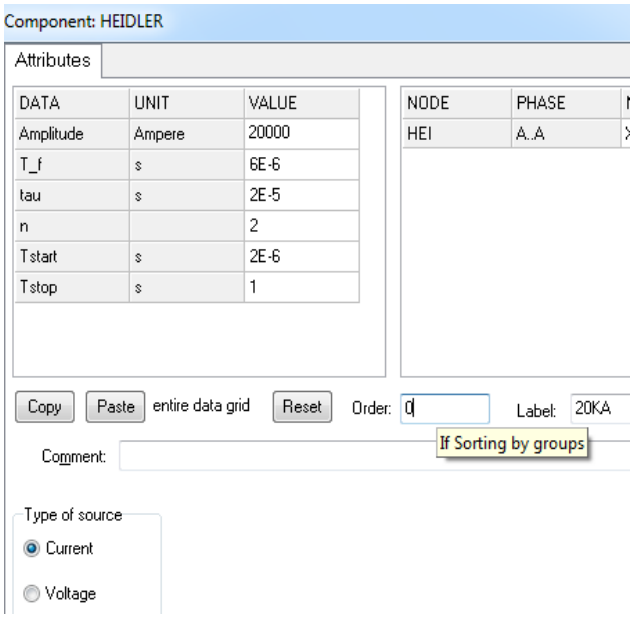

Component: AC3PH
Attributes
DATA UNIT VALUE
Amplitude Volt 13200
f Hz 60
pha Deg/Rad 0
A1 0
Tstart s -1
Tstop s 1
NODE PHASE NAME
AC3 ABC X0012
Copy
Paste
entire data grid
Reset
Order 0
Label
Comment:
Type of source
Current
Voltage
Hide

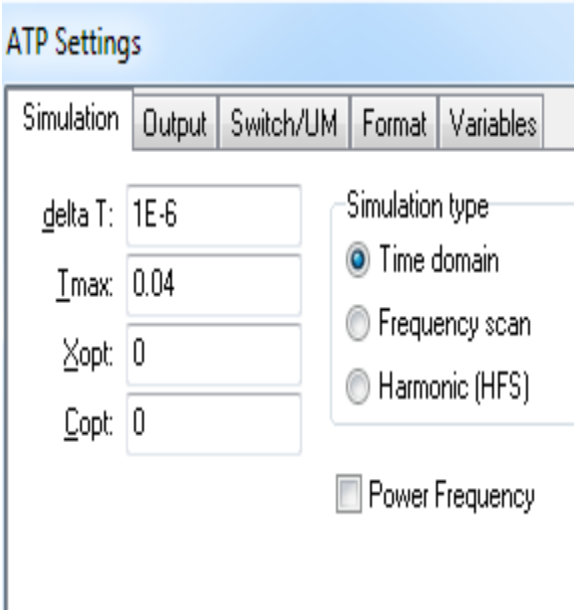
Component: RLC3
Attributes
DATA UNIT VALUE
R_1 Ohms 1
L_1 mH 0.001
C_1 µF 0
R_2 Ohms 1
L_2 mH 0.001
C_2 µF 0
R_3 Ohms 1
L_3 mH 0.001
NODE PHASE NAME
IN1 ABC X0012
OUT1 ABC X0011


Line/Cable Data: linea1
Model
Data
Nodes
System type
Overhead Line
#Ph: 4
Transposed
Auto bundling
Skin effect
Segmented ground
Real transf. matrix
Units
Metric
English
Standard data
Rho [ohm*m] 100
Freq. init [Hz] 60
Length [km] 10
Set length in icon
Model
Type
Bergeron
PI
JMarti
Semlyen
Noda
Data
Decades 6
Points/Dec 10
Freq. matrix [Hz] 100000
Freq. SS [Hz] 60
Use default fitting
Comment: LT 13.2 KV
Order: 0
Label


Line/Cable Data: linea1
Model
Data
Nodes
Ph.no. Rin Rout Resis Horiz Vtower Vmid
# [cm] [cm] [ohm/km DC] [m] [m] [m]
1 1 0 1.0895 0.1133 -3 22.54 19.6
2 2 0 1.0895 0.1133 3 20.62 17.68
3 3 0 1.0895 0.1133 -3 18.5429 15.6
4 4 0 0.4762 1.469 0 29.1 26.43


Line/Cable Data: linea1
Model
Data
Nodes
Node data
NODE PHASE NAME
IN1 ABC X0011
IN2_A 1 X0013
OUT1 ABC X0010
OUT2_A 1 X0014
Assign conductor numbers to nodes
Node Conductor
1A 1
1B 2
1C 3
2 4
Only recommended for experienced users
Be aware of implications for transpositions




Obtener con ATP, la gráfica correspondiente del transitorio de voltaje

## Cuestionario

1. Explique cómo es el comportamiento de la red eléctrica al caer una descarga atmosférica en la línea de media tensión.

2. ¿Qué tipo de transitorio se presenta en la red de distribución al simularlo en ATP y de cuánto tiempo es su duración?

## Conclusiones

# PRÁCTICA 2

# DISCRETIZACIÓN DE FUNCIONES PERIODICAS APLICANDO LA TRANSFORMADA DISCRETA DE FOURIER (TDF)

INGENIERÍA ELÉCTRICA OCTAVO SEMESTRE

# DISCRETIZACIÓN DE FUNCIONES PERIODICAS APLICANDO LA TRANSFORMADA DISCRETA DE FOURIER (TDF)

## Objetivo general

Aplicar la TDF en funciones periódicas para su implementación en el análisis de circuitos eléctricos

## Objetivos específicos:

- Establecer periodos de análisis para la discretización de funciones periódicas y representar las magnitudes de forma gráfica

## Material necesario:

*Otros:*

Software Matlab

## Procedimiento:

1. Determinar la serie de Fourier en el intervalo $-2 \leq x \leq 2$ para la función definida por:

$$f(x) = \begin{cases} -2, & -2 < x \leq 0 \\ x, & 0 \geq x < 2 \end{cases}$$

2. Encontrar la serie de Fourier para la función cuya forma de onda se muestra en la figura 3.

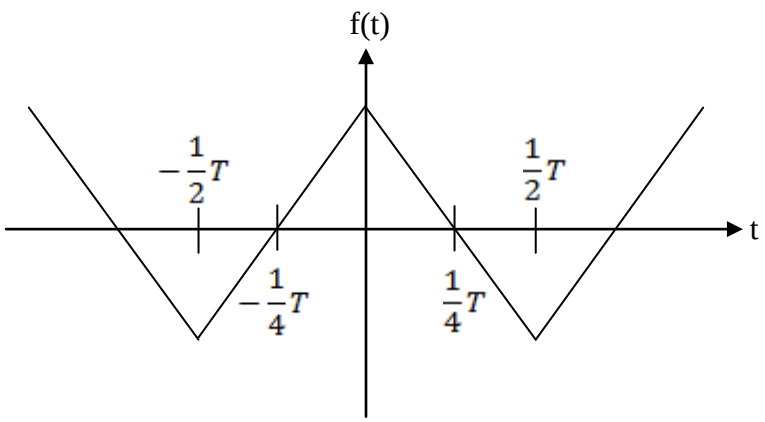



Figura 3.- Forma de onda

$$f(x) = \begin{cases} 1 + \dfrac{4t}{T}, & -\dfrac{T}{2} < t \leq 0 \\ 1 - \dfrac{4t}{T}, & 0 \leq t < \dfrac{T}{2} \end{cases}$$

3. Una vez obtenidas las series correspondientes, graficarlas en un tiempo de 4/60 segundos, con incrementos en el tiempo de 0.00001.

4. Emplear la TDF para un número de muestras de 65 en cuatro ciclos a una frecuencia de 60 Hz, realizar el cálculo analítico para los dos primeros valores.

5. Graficar los valores obtenidos con la aplicación de la TDF.

6. Agregar el pseudocódigo empleado en Matlab como un anexo al final de la práctica.

## Desarrollo de la práctica

## Conclusiones:

# PRÁCTICA 3

# DETERMINACIÓN DE FACTORES DE CALIDAD EN CIRCUITOS ELÉCTRICOS

INGENIERÍA ELÉCTRICA OCTAVO SEMESTRE

# DETERMINACIÓN DE FACTORES DE CALIDAD EN CIRCUITOS ELÉCTRICOS

## Objetivo general

Efectuar el análisis de un circuito eléctrico para obtener valores de potencia y de distorsión que influyan en la operación del circuito eléctrico

## Objetivos específicos:

- Obtener las corrientes y valores de distorsión que permitan establecer un criterio de análisis sobre los efectos que se presentan en el sistema.

## Material necesario:

*Otros:*

Software Matlab

## Procedimiento:

1. Se tiene una serie de cargas conectadas al lado de baja de la red de distribución como se muestra en la figura 4.

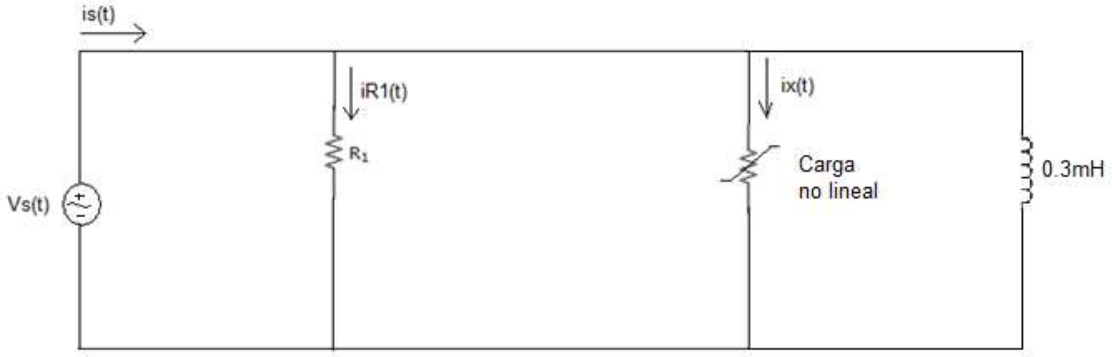



Figura 4.- Representación de la red con cargas conectadas

$R_1$ = 20 Ω
Vs(t) = 35Cos(ωt)
Ix(t) = $3Vs(t)+{}^{1}/_{4}\,Vs^{3}(t)$

Determinar la corriente is(t); así como, la capacidad del capacitor para corregir la potencia activa.

2. Graficar la función de voltaje y de corriente is(t) obtenida.

3. Obtener el voltaje y corriente RMS, las potencias: aparente, activa, reactiva y de distorsión, factores de: potencia y de distribución y factor de desplazamiento.

## Desarrollo de la práctica:

## Conclusiones:

# PRÁCTICA 4

# ANÁLISIS DE REDES ELÉCTRICAS CON CONTENIDO ARMÓNICO

INGENIERÍA ELÉCTRICA OCTAVO SEMESTRE

# ANÁLISIS DE REDES ELÉCTRICAS CON CONTENIDO ARMÓNICO

## Objetivo general

Efectuar el análisis de una red eléctrica para obtener su contenido armónico y especificar las características eléctricas de los filtros que compensen al sistema.

## Objetivos específicos:

- Modelar el sistema en un programa para determinar los armónicos que se producen en la red por la fuente de contenido armónico.
- Obtener las capacidades de los filtros a conectar en la red para disminuir las magnitudes de los armónicos.

## Material necesario:

*Otros:*

Software Matlab

## Procedimiento:

1. Modelar el sistema mostrado en la figura 5, empleando el software Matlab.

2. Llevar a cabo la corrida correspondiente de la red modelada y anotar los valores de voltaje en los nodos, así como del THD que se encuentra presente por nodos.

3. Anexar las gráficas obtenidas de DPI y de contenido armónico de la red.

4. Determinar las capacidades del banco o de los bancos de compensación que permitan mejorar las condiciones de operación de la red, anotar los valores obtenidos y las gráficas correspondientes.

5. Calcular el valor de los filtros que permitan mitigar los armónicos de la red, anotar los resultados obtenidos y las gráficas correspondientes.

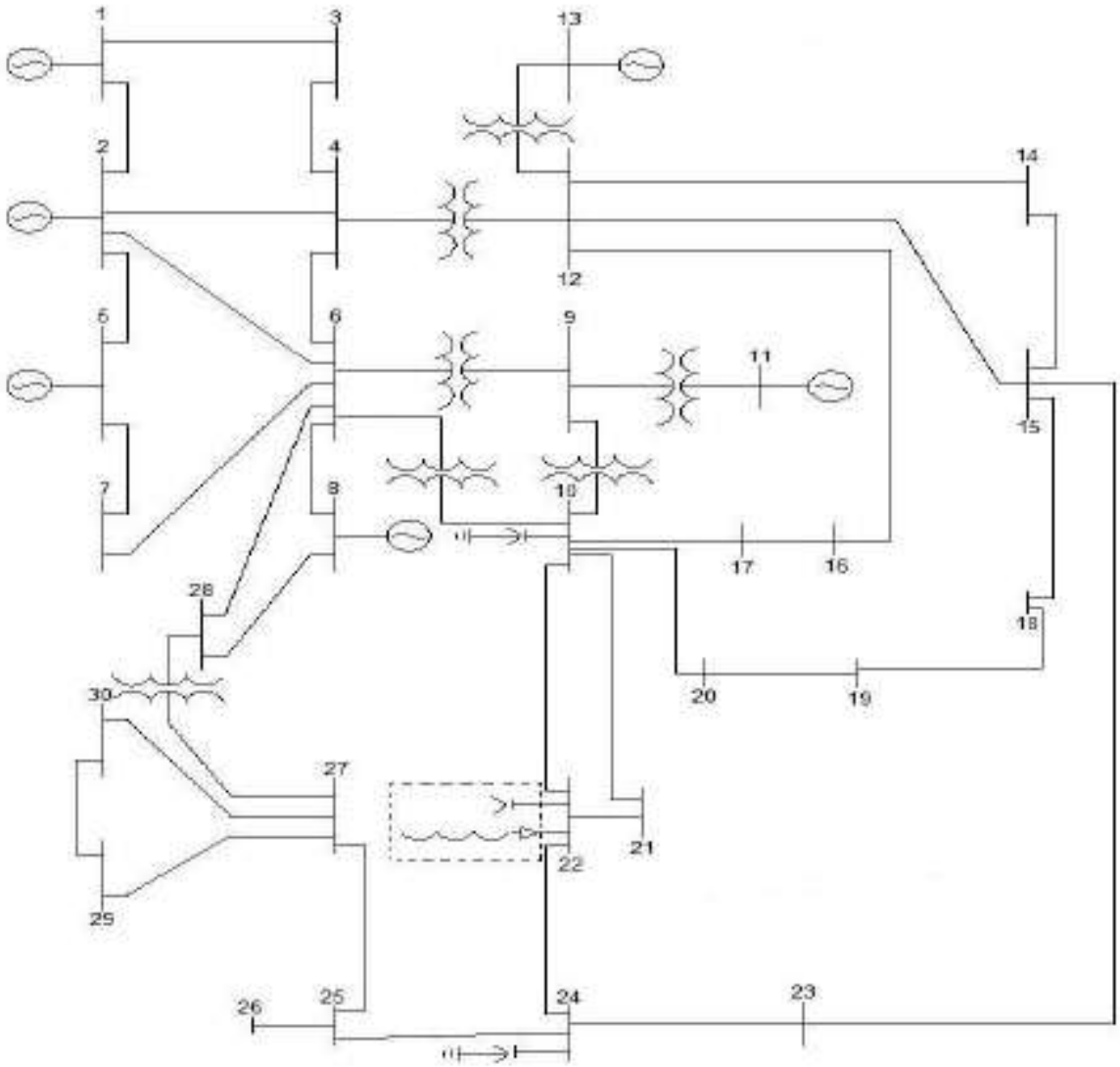



Figura 5.- Sistema eléctrico de potencia de 30 nodos

Datos de líneas y transformadores

| N1 | N2 | R | X | B/2 | Tiempo de Elementos | Tap |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 0.0192 | 0.0575 | 0.0264 | Línea | 1 |
| 1 | 3 | 0.0452 | 0.1852 | 0.0204 | Línea | 1 |
| 2 | 4 | 0.0570 | 0.1737 | 0.0184 | Línea | 1 |
| 3 | 4 | 0.0132 | 0.0379 | 0.0042 | Línea | 1 |
| 2 | 5 | 0.0472 | 0.1983 | 0.0209 | Línea | 1 |
| 2 | 6 | 0.0581 | 0.1763 | 0.0187 | Línea | 1 |
| 4 | 6 | 0.0114 | 0.0414 | 0.0045 | Línea | 1 |
| 5 | 7 | 0.0460 | 0.1160 | 0.0102 | Línea | 1 |
| 6 | 7 | 0.0267 | 0.082 | 0.0085 | Línea | 1 |
| 6 | 8 | 0.012 | 0.042 | 0.0045 | Línea | 1 |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 6 | 9 | 0 | 0.2080 | 0 | Transformador. | 0.978 |
| 6 | 10 | 0 | 0.556 | 0 | Transformador. | 0.969 |
| 9 | 11 | 0 | 0.208 | 0 | Transformador. | 1 |
| 9 | 10 | 0 | 0.11 | 0 | Transformador. | 1 |
| 4 | 12 | 0 | 0.256 | 0 | Transformador. | 0.932 |
| 12 | 13 | 0 | 0.14 | 0 | Transformador. | 1 |
| 12 | 14 | 0.1231 | 0.2559 | 0 | Línea | 1 |
| 12 | 15 | 0.0662 | 0.1304 | 0 | Línea | 1 |
| 12 | 16 | 0.0945 | 0.1987 | 0 | Línea | 1 |
| 14 | 15 | 0.2210 | 0.1997 | 0 | Línea | 1 |
| 16 | 17 | 0.0824 | 0.1923 | 0 | Línea | 1 |
| 15 | 18 | 0.1073 | 0.2185 | 0 | Línea | 1 |
| 18 | 19 | 0.0639 | 0.1292 | 0 | Línea | 1 |
| 19 | 20 | 0.034 | 0.068 | 0 | Línea | 1 |
| 10 | 20 | 0.0936 | 0.209 | 0 | Línea | 1 |
| 10 | 17 | 0.0324 | 0.0845 | 0 | Línea | 1 |
| 10 | 21 | 0.0348 | 0.0749 | 0 | Línea | 1 |
| 10 | 22 | 0.0727 | 0.1499 | 0 | Línea | 1 |
| 21 | 22 | 0.0116 | 0.0236 | 0 | Línea | 1 |
| 15 | 23 | 0.1 | 0.202 | 0 | Línea | 1 |
| 22 | 24 | 0.115 | 0.179 | 0 | Línea | 1 |
| 23 | 24 | 0.132 | 0.27 | 0 | Línea | 1 |
| 24 | 25 | 0.1885 | 0.3292 | 0 | Línea | 1 |
| 25 | 26 | 0.2544 | 0.38 | 0 | Línea | 1 |
| 25 | 27 | 0.1093 | 0.2087 | 0 | Línea | 1 |
| 28 | 27 | 0 | 0.3960 | 0 | Transformador | 0.968 |
| 27 | 29 | 0.2198 | 0.4153 | 0 | Línea | 1 |
| 27 | 30 | 0.3202 | 0.6027 | 0 | Línea | 1 |
| 29 | 30 | 0.2399 | 0.4533 | 0 | Línea | 1 |
| 8 | 28 | 0.0636 | 0.2 | 0.0214 | Línea | 1 |
| 6 | 28 | 0.0169 | 0.0599 | 0.065 | Línea | 1 |

Datos de generación

| N | Pg | V | Xg | Rg |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 0 | 1.06 | 0.001 | 0.0001 |
| 2 | 0.4 | 1.043 | 0.001 | 0.0001 |
| 5 | 0 | 1.01 | 0.001 | 0.0001 |
| 8 | 0 | 1.01 | 0.001 | 0.0001 |
| 11 | 0 | 1.082 | 0.001 | 0.0001 |
| 13 | 0 | 1.071 | 0.001 | 0.0001 |

Datos de las cargas

| N | P | Q |
|---|---|---|
| 1 | 0 | 0 |
| 2 | 0.217 | 0.127 |
| 3 | 0.024 | 0.012 |

| | | |
|---|---|---|
| 4 | 0.076 | 0.016 |
| 5 | 0.442 | 0.19 |
| 6 | 0 | 0 |
| 7 | 0.228 | 0,109 |
| 8 | 0.3 | 0.3 |
| 9 | 0 | 0 |
| 10 | 0.058 | 0.020 |
| 11 | 0 | 0 |
| 12 | 0.112 | 0.075 |
| 13 | 0 | 0 |
| 14 | 0.062 | 0.016 |
| 15 | 0.082 | 0.025 |
| 16 | 0.035 | 0.013 |
| 17 | 0.09 | 0.058 |
| 18 | 0.032 | 0.009 |
| 19 | 0.095 | 0.034 |
| 20 | 0.022 | 0.007 |
| 21 | 0.175 | 0.112 |
| 22 | 0.35 | 0.25 |
| 23 | 0.032 | 0.016 |
| 24 | 0.087 | 0-067 |
| 25 | 0 | 0 |
| 26 | 0.035 | 0.023 |
| 27 | 0 | 0 |
| 28 | 0 | 0 |
| 29 | 0.024 | 0.009 |
| 30 | 0.106 | 0.019 |

Corrientes armónicas de las cargas no lineales

| TCR | | |
|---|---|---|
| H | Magnitud en % | Angulo en grados |
| 1 | 100% | 0 |
| 3 | 33.33% | 0 |
| 5 | -20% | 0 |
| 7 | 14.25 | 0 |
| 11 | -9.09% | 0 |
| 13 | 7.69% | 0 |
| 15 | -6.66% | 0 |

No. Armonicas a consideracion armonicas maxima para respuesta a fecuencia DPI----- 50

Incrementos en h para respuesta a frecuencia DPI ….. 0.1.

## Desarrollo de la práctica

## Conclusiones

# PRÁCTICA 5

# RESPUESTA DE TRANSFORMADORES AL CONTENIDO ARMÓNICO

INGENIERÍA ELÉCTRICA OCTAVO SEMESTRE

# RESPUESTA DE TRANSFORMADORES AL CONTENIDO ARMÓNICO

## Objetivo general

Efectuar el análisis de un transformador para determinar la corriente de magnetización y flujo magnético en él núcleo.

## Objetivos específicos:

- Obtener los parámetros eléctricos a partir de pruebas eléctricas en el lado de alta y baja tensión.
- Determinar los valores de la corriente de magnetización y flujo magnético, empleando un programa de simulación.

## Material necesario:

*Otros:*

Software Matlab

## Procedimiento:

1. De los siguientes datos a 60 Hz fueron registrados para un transformador de 460:220 V, 28 KVA, en donde el núcleo opera a temperaturas aproximadas a las normales. Las pruebas realizadas al transformador, son las siguientes:

   Prueba de cortocircuito (lado de alta tensión)

   $V_{SC}$ = 37.2 V  $I_{SC}$ = 52.1 A  $P_{SC}$ = 754 W

   Prueba de circuito abierto (Lado de baja tensión)

   $V_{OC}$ = 220 V  $I_{OC}$ = 9.5 A  $P_{OC}$ = 714 W

   Además, las resistencias en cd de los dos devanados se midieron y se determinaron los valores $R_{1dc}$ =0.117 Ω y $R_{2dc}$ =0.032 Ω.

   Determinar los parámetros eléctricos y dibujar el circuito equivalente del transformador.

2. Una vez determinados los parámetros del transformador, obtener la forma de onda de la corriente $i_1$ (t) y del flujo total (ψt), considerando la siguiente función polinomial

$$i\psi(t) = 0.9734\psi(t) + 1.3456 * 10^{-6}\ \psi^{19}(t)$$

El voltaje de la fuente es el siguiente:

$V_p = 220 \cos(\omega t - 53.18°)$ V

3. Obtener su comportamiento de la corriente y el flujo total de forma gráfica cuando h=3,5,7,9 y 11.

## Desarrollo de la práctica

## Conclusiones

## BIBLIOGRAFÍA

1. Enrique Acha & Manuel Madrigal. Power System Harmonics Computer Modelling and Analysis, John Wiley & sons LTD, New York, 365 pp.

2. J. Arrillaga, N.R. Watson, S. Chen. Power Systems Quality Assessment, John Wiley & sons LTD, Chichester, 2000.

3. J. Arrillaga, B.C. Smith, N.R. Watson, A.R. wood. Power System Harmonic Analysis, John Wiley & sons LTD, Chichester, 1997.

4. G.W. Stagg, A.H. El-Abiad. Computer Methods in Power System Analysis, McGraw-Hill, New York, 1968.

5. R.N. Bracewell. The Fourier Transform and its Applications. McGraw-Hill, New York, 1965.

6. O. Brigham. The fast Fourier Transform and its Applications, Prentice Hall, 1988.