

[6] Dubé, L., Bonfanti, I.: “MODELS: A New Simulation Tool in the EMTP”. ETEP Vol. 2, N°1, pág. 45-50, January/February 1992.

[7] CAN/AM EMTP User Group: “Alternative Transients Program (ATP)”. Estados Unidos, 1995.

[8] van der Sluis, L.; Sheng, B.L.: “The influence of the arc voltage in synthetic test circuits”. IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 10, N° 1, January 1995.

Anexo I: Procedimiento para inicializar el modelo de Mayr en Models.

```
INIT
  IF status=open THEN openclose:=open;
conductance:=minconduc
  power:=AP
  tau:=AQ
  ELSE openclose:=closed;
  conductance:=0.1
  ENDF
  arcresis:=recip(conductance);
isopening:=false
  tau:=AQ
  power:=AP
ENDINIT
```

Anexo II: Ejecución del modelo de Mayr en Models..

```
EXEC ----
  tension:=tension1-tension2
  IF status=open AND closecommand THEN
  conductance:= 1.0e10
  openclose:=closed;
conductance:=abs(current/tension);
  arcresis:=recip(conductance)
  ELSIF status=closed AND opencommand
THEN ----empezar la apertura
  isopening:=true
  ENDF
  IF isopening THEN --
conductance<=minconduc
  power:=AP
  tau:=AQ
  IF tau <= TIMESTEP*10.0 THEN tau:=
TIMESTEP*10.0 ENDF
  driving:=current**2/power
  DIFFEQ( 1.0|D0 + tau|D1 )
|conductance:=driving
  IF conductance<=minconduc THEN --
  openclose:=open;
conductance:=minconduc; isopening:=false
  ENDF
  arcresis:=recip(conductance)
  ENDF
  derc:=deriv(conductance)
  deri:=deriv(current)*1.0e-6 {MIN:-
30.0,MAX:30.0}
ENDEXEC
```

valor de la constante de tiempo: un mayor valor de Q se corresponde con un menor valor del pico de tensión lo que se corresponde con una mayor inercia térmica-eléctrica del arco.

Asimismo, se pudo obtener la relación entre Q y el pico de tensión, a partir de la misma serie que el caso precedente y esta vez la relación es de la forma $y^{-1} = a + bx$; con $a = 102 \times 10^{-6}$ y $b = 343 \times 10^{-6}$ tal como se muestra en la figura 11.

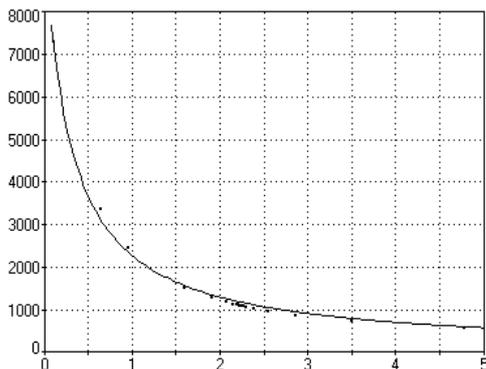


Figura 11.- Relación entre Q y el valor del pico de tensión.

Entre el valor del “valle” de tensión y Q esta vez existe nuevamente una relación lineal similar al del punto 4 según la forma $y = a + bx$, con $a = 644,77$ y $b = -21,19$, que se puede observar en la figura 12.

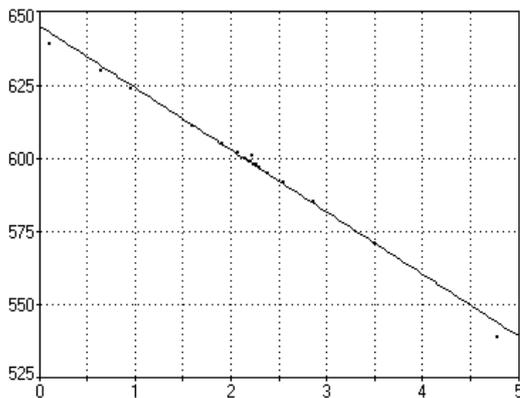


Figura 12.- Relación entre Q y el valor del “valle” de tensión.

6. Conclusiones

Lo realizado sirve para tener una idea valedera a priori de la proximidad del valor del parámetro que determina la apertura fallida o exitosa del interruptor durante la simulación con el EMTP/ATP del funcionamiento de un interruptor de potencia, ya que, como se

demonstró, la forma de la onda de tensión es función de esta proximidad.

También ejemplifica la sucesión de pasos para la determinación de los parámetros del arco eléctrico según la ecuación de Mayr y muestra la aproximación lograda al considerar los parámetros de la ecuación como constantes.

Realizando un análisis de sensibilidad de la ecuación de Mayr respecto de la variación de sus parámetros se muestra su capacidad de simular la influencia de la red sobre la forma de la onda de tensión del arco eléctrico, sobre todo, antes del paso por cero de corriente.

Del mismo análisis se estableció que la tensión es más sensible a la variación de la potencia que a la variación de la constante de tiempo, lo cual implica la no conveniencia de actuar sobre Q para analizar la conducta de un interruptor durante una simulación.

Para finalizar se encontraron relaciones bastantes fuertes entre el valor del pico y del “valle” de tensión y el valor del parámetro que se está variando.

Referencias

- [1] CIGRE WG 13.01: “Practical application of arc physics in circuit breakers. Survey of calculation methods and applications guide”. Electra-CIGRE N° 118, pág. 64-79, May 1988.
- [2] Carvalho, A., Portela, C., Lacorte, M., Colombo, R.: “Disjuntores e Chaves. Aplicação em Sistemas de Potência”. Capítulo 11, CIGRE-FURNAS, Rio de Janeiro-Brasil 1995.
- [3] Habedank, U.: “On the mathematical description of arc behaviour in the vicinity of current Zero”. EtzArchiv (1988) N° 11, pág. 339-343.
- [4] Gimenez, W.; Hevia, O.; Vaillard, E.: “Modelo de arco eléctrico con parámetros dependientes de la conductancia para el EMTP/ATP”. 5^{tas} Jornadas Hispano-Lusas de Ingeniería Eléctrica, Tomo I, pág. 531-538, Julio 1997, Salamanca-España.
- [5] Schavemaker, P., van der Sluis, L.: “The Influence of the Topology of Test Circuits on the Interrupting Performance of Circuit Breakers”. IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 10, N°4, pág. 1822-1828, October 1995.

El análisis de las tres figuras anteriores nos permite obtener una conclusión que es que existe una relación directa entre la magnitud del pico de la onda de tensión y el valor de la potencia: un mayor valor de P_0 se corresponde con un mayor valor del pico de tensión.

Ahora bien, realizado un conjunto de simulaciones para valores de P_0 según la serie

$$X_{n+1} = 2.(X_n - X_{n-1}) + X_n$$

a partir del valor P_0 que indica la reignición (4,6 kW), en más y en menos - dicha serie fue escogida entre muchas posibles solo para dar mayor peso a los valores próximos a la reignición - se ha obtenido un conjunto de valores de pico de tensión que están relacionados siguiendo una ecuación lineal de la forma $y = a + bx$, con $a = 16,85$ y $b = 35,02$, tal como se muestra en la figura 6.

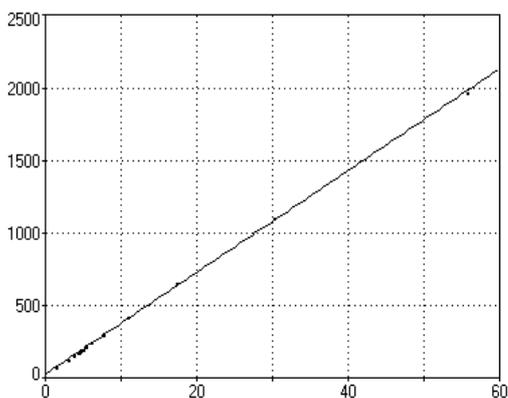


Figura 6.- Relación entre P_0 y el valor del pico de tensión.

De la misma manera se pudo establecer una relación del valor de la tensión en el “valle” con P_0 pero esta vez de la forma $y = a + bx^c$, con $a = 14,47$, $b = 66,52$ y $c = 0,49$, como se muestra en la figura 7.

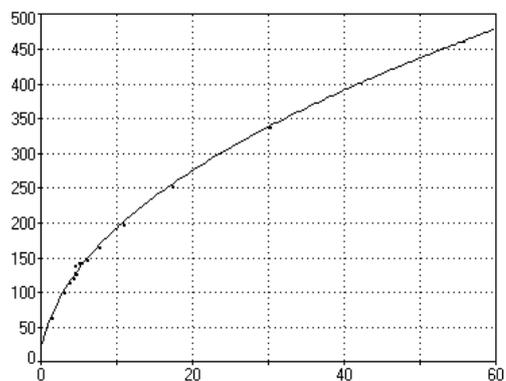


Figura 7.- Relación entre P_0 y el valor del “valle” de tensión.

5. Influencia de Q sobre la onda de tensión.

En las figuras 8, 9 y 10 se puede volver a ver la presencia del pico de tensión antes del cero de la corriente pero esta vez la forma de la onda de tensión es más suave no presentando una acusada sensibilidad con la variación de Q .

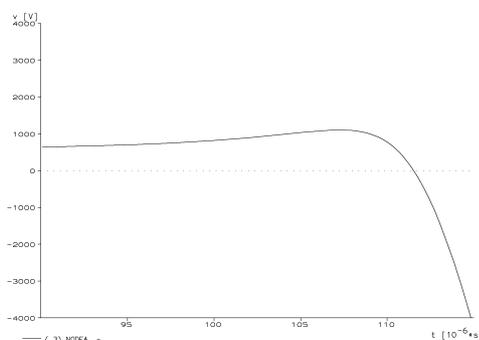


Figura 8.- Forma de la onda de tensión para Q igual a 2,2 μ seg.

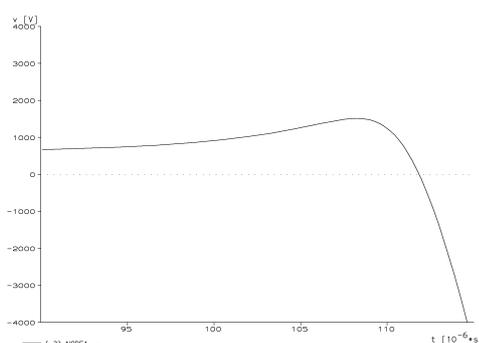


Figura 9.- Forma de la onda de tensión para Q igual a 1,58 μ seg.

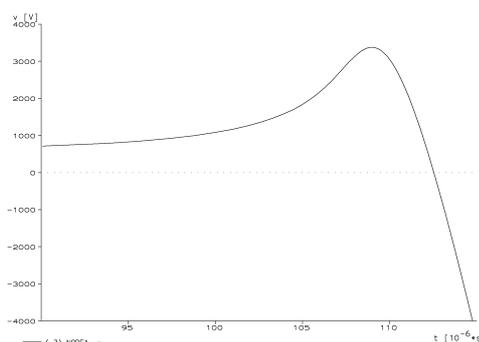


Figura 10.- Forma de la onda de tensión para Q igual a 0,63 μ seg.

Al igual que en el caso anterior se pudo determinar que existe una relación directa entre la magnitud del pico de la onda de tensión y el

se obtuvo que $P_0 = 102 \text{ kW}$ y $Q = 0,63 \text{ } \mu\text{seg}$. Con estos valores se logra una aproximación con el término de la izquierda de la ecuación de Mayr mostrada en la figura siguiente, donde la línea del centro (de menor variación que la línea restante) son los valores reales calculados en base al oscilograma citado anteriormente.

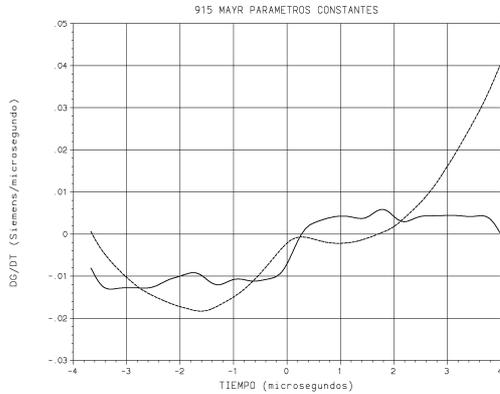


Figura 1.- Variación de la derivada de la conductancia alrededor del cero de corriente para parámetros constantes.

3. El circuito utilizado

El circuito empleado en las simulaciones [5], es el siguiente:

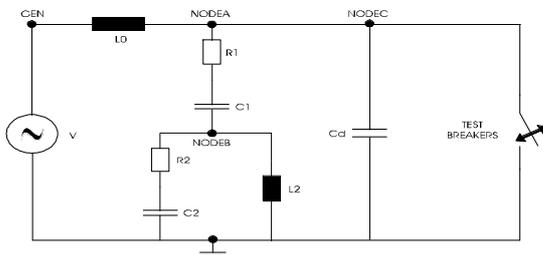


Figura 2.- Circuito utilizado en las simulaciones.

Con $R1 = 192,2 \text{ } \Omega$, $R2 = 33,0 \text{ } \Omega$, $L0 = 15,54 \text{ mH}$, $L2 = 3,2 \text{ mH}$, $C1 = 0,15 \text{ } \mu\text{F}$, $C2 = 0,315 \text{ } \mu\text{F}$ y $Cd = 8,8 \times 10^{-3} \text{ } \mu\text{F}$. El paso de tiempo empleado fue $\Delta t = 1,0 \times 10^{-8}$ y el tiempo total de simulación fue de $200 \text{ } \mu\text{seg}$ [6,7].

4. Influencia de P_0 sobre la onda de tensión.

Debido a la pequeña constante de tiempo del arco, principalmente en los interruptores de SF6, y al hecho de que la resistencia del arco en la zona próxima al cero de corriente es del mismo orden que de la red eléctrica asociada [8]; existe una marcada influencia sobre la forma de la onda de tensión a variaciones de la potencia que retira el medio refrigerante y que se puede comprobar en las figuras 3, 4 y 5,

donde se presenta dicha tensión para distintos valores de P_0 .

Recordemos que el valor de P_0 calculado fue de 102 kW y que el valor límite que marca la reignición es de $4,6 \text{ kW}$.

Del análisis de la figura 3, se observa que existe un “valle” de tensión para $t = 105 \text{ } \mu\text{seg}$ y un pico de tensión para $t = 110 \text{ } \mu\text{seg}$ que se vuelven a repetir en las otras dos figuras pero en posiciones y magnitudes un poco diferentes entre sí.

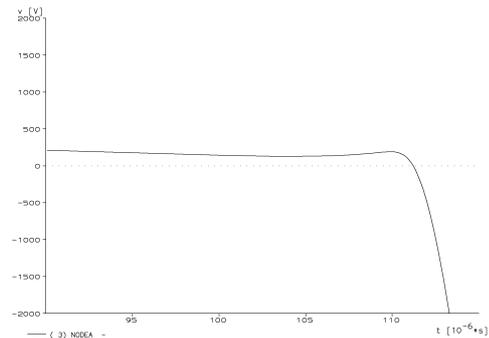


Figura 3.- Forma de la onda de tensión para P_0 igual a 5 kW .

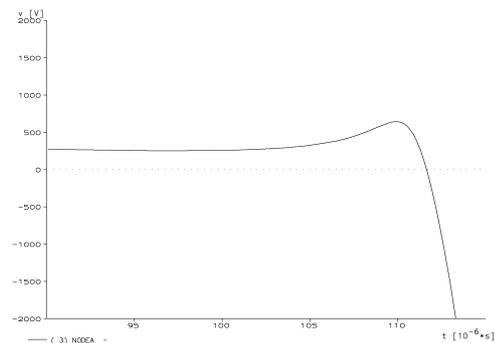


Figura 4.- Forma de la onda de tensión para P_0 igual a 17 kW .

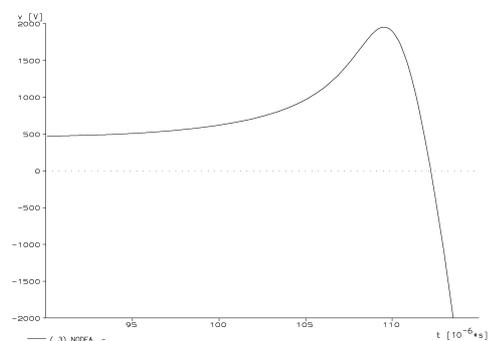


Figura 5.- Forma de la onda de tensión para P_0 igual a 55 kW .

ANALISIS DE LA SENSIBILIDAD DE LA FORMA DE LA ONDA DE TENSIÓN A LA VARIACIÓN DE LOS PARAMETROS DEL ARCO ELECTRICO.

Walter Fernando Gimenez

Orlando Paulino Hevia

Grupo de Investigación de Sistemas Eléctricos de Potencia - GISEP,
 Universidad Tecnológica Nacional, Fac. Reg. Santa Fe.
 Lavaise 610. (3000) Santa Fe, Argentina.
 Tf: (54) 42 - 601579. Fax: (54) 42 - 690348
 E-mail: ggimenez@arcride.edu.ar

RESUMEN.- La forma de la onda de tensión del arco eléctrico antes del paso por cero de la corriente puede ser hallada simulando el comportamiento del arco, por un modelo como el de Mayr considerando los parámetros inmersos en él como constantes o bien como variables en función de la conductancia o del tiempo. Debido principalmente a la interacción arco-circuito, la forma de dicha onda de tensión presenta una particular dependencia respecto a los valores de los parámetros que es analizada utilizando el EMTP/ATP partiendo de la determinación de los parámetros desde un oscilograma real de un interruptor de SF6.

Palabras clave: Arco eléctrico, Mayr, EMTP/ATP, SF6.

1. Introducción

En el proceso de simulación del funcionamiento de un interruptor de potencia en aquellos casos donde se verifican frecuencias elevadas o donde debe soportar una fuerte sollicitación impuesta por su circuito asociado, se deben tomar recaudos especiales para la selección del modelo matemático a emplear. Independientemente del estudio que se trate, es ampliamente utilizada la ecuación de Mayr para aquellos casos donde se requiere un cierto grado de credibilidad a los resultados.

Para la utilización de la ecuación de Mayr se utilizó un oscilograma que corresponde a un interruptor de 145 kV de doble pistón con un rango de cortocircuito de 40 kA a 50 Hz, para determinar sus parámetros y poder analizar así la influencia arco-circuito, teniendo particular cuidado en su determinación ya que la resistencia del arco en la zona del cero de corriente es del mismo orden que la del circuito asociado al interruptor.

2. El modelo de arco

Mayr en el año 1930 [1,2] propuso la ecuación

$$\frac{1}{g} \frac{dg}{dt} = \frac{1}{\Theta} \left(\frac{v \cdot i}{P_0} - 1 \right)$$

para representar un arco eléctrico de sección transversal constante con densidad y temperatura variables con la distancia al centro del arco y donde la transferencia de calor se realiza principalmente por conducción, siendo g la conductancia, Θ su constante de tiempo, P_0 la pérdida de potencia en forma de calor, v e i la tensión y corriente instantáneas en el arco. En la actualidad dicha expresión dinámica es muy utilizada para representar la zona de pequeñas corrientes próximas al cero.

2.1 Determinación de los parámetros

El modelo presentado incluye dos parámetros: Θ y P_0 , que es necesario determinar ya que v e i se pueden medir y/o calcular directamente del oscilograma. Para esto se utilizó el método de Amsinck [2,3,4] que supone que los parámetros tienen la misma dependencia respecto de la conductancia antes y después del cero de corriente y es aplicable para la determinación de los parámetros de un arco eléctrico que se produce en una interrupción seguida de una reignición térmica, es decir, renacimiento del arco a muy pocos microsegundos del primer paso por cero de la corriente.

Para determinar los parámetros se partió del ensayo del interruptor donde se obtuvo una tabla de conductancia en función del tiempo para unos microsegundos antes y después del cero de corriente, de la cual, aplicando la ecuación de Mayr para dos puntos t_A y t_B , se llega a que:

$$P_0(g_1) = \frac{g'_A i_B^2 - g'_B i_A^2}{g_1 (g'_A - g'_B)}$$

y

$$\Theta(g_1) = \frac{g_1 (i_B^2 - i_A^2)}{i_A^2 g'_B - i_B^2 g'_A}$$

Repetiendo este proceso para distintos valores de g y con una regresión matemática adecuada,