

Conclusiones y Futuro :

Consideramos que la evolución del software educativo está siendo realmente rápida pero quizás demasiado dispersa. Se realiza software educativo pero casi siempre con una intencionalidad muy concreta, dirigida a un cierto ámbito temático en exclusiva.

Con este proyecto pretendemos a través de las dos herramientas desarrolladas, lograr un mecanismo de construcción de software educativo que sea de propósito genérico y que sea la información con la cual se le alimenta la que determine el ámbito temático del mismo. Una herramienta de este estilo debería acercar a todos los estamentos educativos al entorno de las herramientas de Enseñanza Asistida por Ordenador, al separar la parte técnica de construcción de las mismas de la parte de docencia pura.

En posteriores versiones se integrará soporte para nuevos formatos de imágenes como el JPEG debido a que su índice de compresión permitirá almacenar mayor cantidad de imágenes en menos espacio. Por el momento los videos utilizan el propio sistema operativo para ser visualizados en pantalla, esto , gracias al sistema DDE (cliente/servidor) que soporta el Visual Basic, pero se piensa incluir en posteriores versiones controles propios de la aplicación que soporten el formato de video previamente mencionado e incluso el formato MPEG que , al igual que el JPEG en imágenes , permite almacenar más información en menor espacio.

Dentro de las consideraciones a futuro está la exportación de esta herramienta del entorno PC a otras plataformas de forma que su capacidad de expansión sea mayor. El plan inmediato es pasarla a un entorno UNIX .

Bibliografía :

- 1.- "MULTIMEDIA EN LA EDUCACIÓN". Rodríguez Damián, Luzón García, González Dacosta, Pérez Cota. CURSO DE VERANO 1995 NFORMATICA EDUCATIVA, CIUDAD REAL, JUNIO 1995.
- 2.- "UTILIZACION DE MULTIMEDIA PARA LA ENSEÑANZA". González Dacosta, Luzón García, Rodríguez Damián, Pérez Cota. IX CONGRESO SOBRE MICROORDENADORES Y MICROELECTRONICA, MADRID SEPTIEMBRE 1995.
- 3.- "BUILDING INTELLIGENT MULTIMEDIA INTERFACES". Wilson Michael. BCS MULTIMEDIA SYSTEMS AND APPLICATIONS CONFERENCE, DICIEMBRE 1993.
- 4.- "CREACIONES MULTIMEDIA". Shadock Philip. EDITORIAL ANAYA MULTIMEDIA, 1995.

DESARROLLO DE UN MÉTODO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA HORARIA DE UN TRANSFORMADOR Y SU APLICACIÓN A LA DOCENCIA

Guillermo Ortega Gómez.
Milagros Gómez Alós.
Departamento de Ingeniería Eléctrica.
Escuela Universitaria Politécnica de Sevilla.
C/ Virgen de África Nº 7. 41011 - Sevilla

RESUMEN

El objeto del siguiente estudio es proponer un método práctico para la determinación de la horaria de un transformador, que aporte ventajas, tanto en la medición como en la resolución, frente a otros métodos, siendo todos ellos estudiados en una práctica de laboratorio para dar al alumno una visión completa de las distintas formas de abordar y resolver el problema.

El método propuesto parte de considerar el transformador dispuesto en cualquier configuración, siendo necesario unir un borne del devanado primario con su homónimo del secundario y aplicar alimentación trifásica equilibrada en secuencia directa. Para la determinación es suficiente realizar tres medidas: tensión de alimentación y tensiones entre los otros dos bornes primarios y uno cualquiera del secundario distinto del utilizado previamente. A partir de estas medidas y las diferentes ecuaciones calculadas en el estudio (fasoriales y algebraicas), se obtiene la horaria del transformador. Para facilitar el proceso de cálculo, se ha implementado éste para QBasic y WinMCad Plus 5.0, el cual facilita otros datos como son la relación de transformación y diversos valores de tensión para comprobación de conexión de devanados, posibles desequilibrios entre fases, etc.

La posibilidad de usar formas de resolución mediante cálculo, introduce mayor simplicidad y exactitud, así como la utilización de medios sencillos y portátiles (es suficiente un voltímetro y una calculadora). Todo ello frente a otros métodos igualmente válidos que requieren mayor número de medidas y/o resoluciones complejas (principalmente gráficas), o utilizando medios más costosos.

No obstante, para poner de manifiesto la eficacia del método propuesto se diseña una práctica de laboratorio, donde es posible realizar y comparar las diferentes formas de determinación horaria. Dicha práctica consiste, una vez facilitada la fundamentación teórica del problema y de los distintos métodos de resolución, en efectuar los montajes y toma de datos necesarios, y posteriormente determinar la horaria con los medios propios de cada método.

El planteamiento expuesto, supone un aporte al simplificar y añadir diversidad en la resolución del problema planteado, así como la posibilidad de utilizar múltiples instrumentos de medida (voltímetro, osciloscopio, multímetro gráfico,...) y herramientas (programas de cálculo para P.C.,...).

1.- INTRODUCCIÓN

Los métodos de determinación horaria no incluyen a la vez resoluciones mediante cálculo y utilización de aparatos de medida sencillos, por ello se ha desarrollado un método que incluya estas características. Para su aplicación a la docencia, se diseña una práctica que incluye los métodos "clásicos" y el propuesto intentando facilitar al alumno una visión global de medios y métodos para abordar y resolver el problema de la determinación horaria de un transformador.

El texto siguiente corresponde a un "extracto" de los conocimientos que se proporcionan al alumno en forma de documentación entregada previamente a la realización de la práctica de laboratorio. Dicha documentación pretende reparar y aclarar someramente conceptos de teoría, a la par que introducir los conceptos "prácticos". Para una mejor comprensión de lo expuesto se utiliza un ejemplo que incluye los datos tomados, el proceso de resolución y los resultados obtenidos.

2.- HORARIA DE UN TRANSFORMADOR

Dependiendo de cómo se conecten entre sí las bobinas que constituyen los devanados primarios y secundarios de un transformador trifásico, se producirán desfases diferentes entre las tensiones de vacío respectivas.

Los desfases introducidos se identifican por el llamado **índice horario**, o simplemente **horaria** de un transformador, por similitud con la posición de las agujas de un reloj donde el minuterero, siempre en las 12, representa el fasor de la tensión en vacío del devanado primario y la aguja horaria representa el fasor de la del secundario también en vacío. La comparación ha de ser entre tensiones del mismo tipo (simples o compuestas) y fases idénticas.

La horaria indica el número de múltiplos de "30°" que el fasor del secundario adelanta, o retrasa, en relación con el del primario en un sistema de tensiones equilibradas. El fasor del secundario, representado por la aguja horaria, nos marcará por tanto horas "en punto".

La horaria de un transformador cambia si lo hace la secuencia de fases de las tensiones de alimentación. Para evitar confusiones, en este estudio se utiliza secuencia directa en la alimentación.

3.- DESCRIPCIÓN DE MÉTODOS

3.1.- MÉTODO DE CORRIENTE CONTINUA

Este método consiste en aplicar tensión a una fase del devanado primario y ver que polaridad posee su homónima del secundario, mediante un voltímetro de "cero centrado" conectado en los extremos de la misma. A continuación se aplica un "golpe" de corriente continua a la fase primaria, con lo que el voltímetro indicará que sentido presenta la f.e.m. inducida en la secundaria. Finalmente, conociendo la configuración del transformador se pueden deducir los diagramas fasoriales de ambos devanados, y de ellos la horaria.

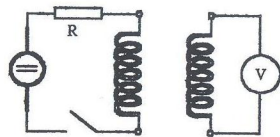


Fig. 1.- Método de corriente continua

3.2.- MÉTODO DE CORRIENTE ALTERNA

Se basa en unir un extremo de una fase del devanado primario con otro de su homónima secundaria. Seguidamente, se aplica corriente alterna a la fase primaria y medimos la tensión de alimentación, la inducida en la fase secundaria y la existente entre los extremos no unidos de ambas fases. Si esta última es suma o diferencia de las dos primeras, implica un sentido u otro de la f.e.m. inducida en el devanado secundario. Por último, se procede a la deducción de los diagramas fasoriales y la horaria de igual forma que en el método de corriente continua.

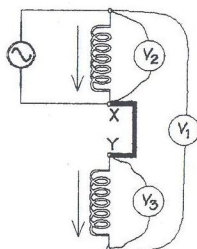


Fig. 2.- Método de corriente alterna

3.3.- MEDIANTE OSCILOSCOPIO

Mediante el uso de un osciloscopio (multímetro gráfico,...), podemos medir el desfase entre tensiones primaria y secundaria. Consiste en unir un borne primario con su homónimo secundario, por ejemplo "U" con "u", con lo que obtenemos un punto común para medir tensión. A continuación alimentamos al transformador con corriente alterna trifásica equilibrada en secuencia directa de valor no superior al nominal y colocamos las sondas de medida entre el punto común y un borne primario ("V" por ejemplo) para un canal, y su homónimo secundario ("v") para el otro canal (figura 3). Visualizando ambas formas de onda en el osciloscopio podemos medir el desfase temporal entre ellas. Éste expresado en grados mediante una simple relación, proporciona el desfase entre tensiones compuestas primaria y secundaria, y por tanto la horaria. Es evidente que el transformador podrá estar con cualquier

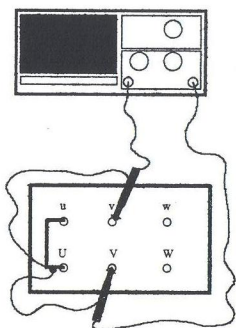


Fig. 3.- Uso del osciloscopio

configuración, que no es necesario conocer, y que podemos repetir la operación en distintos bornes para comprobar que no existen defectos de conexión y/o configuración (desequilibrios entre fases).

3.4.- MÉTODO GRÁFICO

Para la aplicación de este método el transformador estará dispuesto en cualquier configuración, debiéndose unir un punto cualquiera del devanado primario con otro punto del secundario, para que exista continuidad eléctrica.

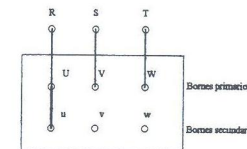


Fig. 4.- Placa de bornes

En nuestro ejemplo hemos unido los bornes "U" y "u". A continuación, se alimenta el devanado primario con corriente alterna trifásica equilibrada en secuencia directa de cualquier valor que no supere el nominal.

Seguidamente se mide la tensión de alimentación y las tensiones que se obtienen de todas las posibles combinaciones entre cada borne primario y todos los secundarios (figura 4), es decir, las tensiones entre "U" y "u", "U" y "v", "U" y "w", "V" y "u", etc. Estas combinaciones y la nomenclatura utilizada para cada medida quedan reflejadas en la tabla I.

Alim.	U - u	U - v	U - w	V - u	V - v	V - w	W - u	W - v	W - w
A	-	D	D	A	B	E	A	C	F

Tabla I.- Medidas entre bornes y nomenclatura de tensiones.

Con estas medidas, se construye gráficamente el triángulo de tensiones equivalente de la configuración primaria de lado "A", y vértices "U", "V" y "W" (figura 5). Con centro en cada uno de estos puntos y radio los valores de la tabla I, se trazan arcos en cuyas intersecciones se obtienen los puntos "u", "v" y "w", correspondientes a los vértices del triángulo de tensiones equivalente de la configuración secundaria.

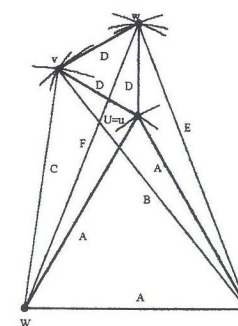


Fig. 5.- Método gráfico

Resta por último, comparar dos direcciones y sentidos correspondientes de primario y secundario, por ejemplo los marcados por la unión de los puntos "U" y "V" (primario), y por "u" y "v" (secundario), para obtener la horaria correspondiente del transformador.

3.5.- MÉTODO PROPUESTO

Para la aplicación del método es necesario unir un borne del devanado primario con su homónimo secundario, por ejemplo "U" con "u", aplicándose a continuación alimentación trifásica equilibrada en secuencia directa al primario, de valor no superior al nominal.

Por último, se procede a medir la tensión de alimentación y las existentes entre los otros dos bornes del primario y uno cualquiera del secundario distinto del "u", por ejemplo entre "V" y "v" y entre "W" y "w".

Para las distintas formas de resolución, llamamos "A" a la tensión compuesta de alimentación al transformador, que corresponde con el módulo de los fasores UV, VW y WU de nuestra configuración triángulo equivalente del devanado primario, los cuales poseen desfases de "-60°", "180°" y "60°" respectivamente, tomando como referencia el fasor -VW. A la tensión medida entre los bornes "V" y "v" la designamos "B", y la medida entre "W" y "v" la denominamos "C", cuyos fasores representativos tienen desfases de "δ" y "γ". Asimismo, al módulo del fasor uv de la configuración triángulo equivalente del secundario lo llamamos "D" y a su desfase "β" (figura 6).

3.5.1.- Resolución fasorial

Para conocer la horaria es necesario determinar la fase "β" del fasor uv. Para ello se plantean las ecuaciones siguientes:

$$\overline{Wv} = \overline{WV} + \overline{Vv}$$

$$\overline{uv} = \overline{UV} + \overline{Vv}$$

Sustituyendo los valores conocidos, tenemos:

$$C \angle(\gamma) = A \angle(0^\circ) + B \angle(\delta)$$

$$D \angle(\beta) = A \angle(-60^\circ) + B \angle(\delta)$$

Descomponiendo en parte real e imaginaria la primera ecuación, resolviéndola y despejando el ángulo "δ":

$$\delta = \arccos\left(\frac{-A^2 - B^2 + C^2}{2 \cdot A \cdot B}\right)$$

El valor de este ángulo "δ", podemos sustituirlo en:

$$D \angle(\beta) = A \angle(-60^\circ) + B \angle(\delta)$$

obteniéndose el fasor uv en módulo "D" y fase "β".

El ángulo "α" que forman ambos fasores homónimos primario y secundario (UV y uv) será el desfase que posee el fasor UV ("-60°" ó "300°") menos el correspondiente del fasor uv ("β"). Puesto que la horaria ("H") de un transformador viene determinada por ángulos múltiplos de 30°, podemos deducir ésta aproximando al número entero más próximo obtenido de la ecuación:

$$H = \frac{300^\circ - \beta}{30^\circ} = \frac{\alpha}{30^\circ}$$

En definitiva, todo este proceso se puede condensar en las tres ecuaciones siguientes:

$$\delta = \arccos\left(\frac{-A^2 - B^2 + C^2}{2 \cdot A \cdot B}\right)$$

$$D \angle(\beta) = A \angle(-60^\circ) + B \angle(\delta)$$

$$H = \frac{300^\circ - \beta}{30^\circ}$$

3.5.2.- Resolución algebraica

El proceso consiste en obtener las coordenadas del punto "v", para determinar que dirección y sentido posee el fasor uv.

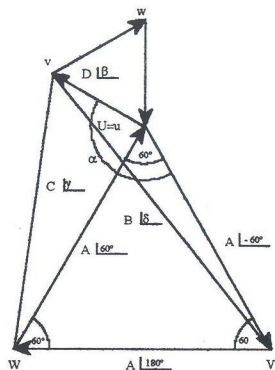


Fig. 6.- Resolución fasorial

La forma de resolverlo se basa en las ecuaciones que marcan el lugar geométrico del punto "v", es decir las ecuaciones de las circunferencias con centro en "V" y radio "B" y centro en "W" y radio "C". La intersección de ambas circunferencias (resolución del sistema de ecuaciones) tendrá como solución las posibles posiciones del punto "v" buscado.

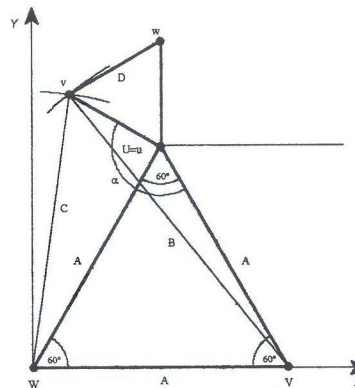


Fig. 7.- Resolución algebraica

Se toma como origen de coordenadas cartesianas el punto "W", por lo que planteando las ecuaciones que determinan el lugar geométrico del punto "v", y sustituyendo los valores de las coordenadas de los puntos "V" y "W", queda:

$$B^2 = (X_v - X_v)^2 + (Y_v - Y_v)^2 = (A - X_v)^2 + Y_v^2$$

$$C^2 = (X_w - X_v)^2 + (Y_w - Y_v)^2 = X_v^2 + Y_v^2$$

Resolviendo el sistema por sustitución, se obtienen las coordenadas del punto "v":

$$X_v = \frac{A^2 - B^2 + C^2}{2 \cdot A}$$

$$Y_v = \pm \sqrt{C^2 - X_v^2}$$

Se tomará siempre el valor positivo de Y_v como se justificará posteriormente.

A partir de las coordenadas del punto "v" se obtienen la dirección y sentido del fasor uv, calculando la pendiente que éste forma con la horizontal (tg φ), mediante la expresión:

$$\text{tg } \varphi = \frac{Y_v - Y_u}{X_v - X_u} = \frac{Y_v - A \cdot \frac{\sqrt{3}}{2}}{X_v - \frac{A}{2}}$$

Finalmente, para obtener la horaria se estudia el ángulo "α" entre los fasores UV y uv. Dependiendo del cuadrante en el que se encuentre el punto "v", que es función de los valores medidos "B" y "C", las expresiones que generalizan la horaria son:

$$\text{Si } B > C \text{ o } B = C < A \Rightarrow H = \frac{300^\circ - (180^\circ + \varphi)}{30^\circ} = \frac{\alpha}{30^\circ}$$

$$\text{Si } B < C \text{ o } B = C > A \Rightarrow H = \frac{300^\circ - \varphi}{30^\circ} = \frac{\alpha}{30^\circ}$$

Se resume la resolución algebraica en las ecuaciones siguientes:

$$X_v = \frac{A^2 - B^2 + C^2}{2 \cdot A}$$

$$Y_v = +\sqrt{C^2 - X_v^2}$$

$$\varphi = \arctg \left(\frac{Y_v - A \cdot \frac{\sqrt{3}}{2}}{X_v - \frac{A}{2}} \right)$$

$$Si B > C \text{ o } B = C < A \Rightarrow H = \frac{120^\circ - \varphi}{30^\circ}$$

$$Si B < C \text{ o } B = C > A \Rightarrow H = \frac{300^\circ - \varphi}{30^\circ}$$

3.5.3.- Justificación

Para aplicar las formas de resolución descritas, se debe realizar el ensayo por el lado de alta tensión. Con ello, el valor negativo de la coordenada Y_v , en la resolución algebraica se puede despreciar en principio, puesto que al realizar el ensayo de esta forma, el módulo del fasor uv ("D") será menor que "A". De hecho, nunca tomará valores negativos si:

$$m = \frac{A}{D} \geq \frac{2}{\sqrt{3}}$$

El caso límite se presentará cuando:

$$1 \leq m < \frac{2}{\sqrt{3}}$$

y para una horaria uno ($H=1$), donde puede darse la ambigüedad de signo para Y_v , como se puede apreciar en la figura 8, para los puntos v y v' . En este último caso y puesto que ambas coordenadas (positiva y negativa) determinan la misma dirección y sentido para el fasor uv (indicativo de la horaria), se puede despreciar el valor negativo y tomar siempre el valor positivo de Y_v . Siguiendo un razonamiento análogo para la resolución fasorial, se toma siempre el valor positivo de "δ".

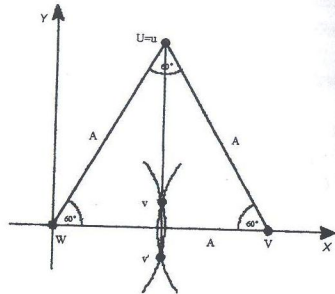


Fig. 8.- Ambigüedad de Y_v

El primario del transformador en su funcionamiento normal puede no coincidir con el lado de alta tensión por donde se realiza el ensayo, por lo que la horaria en este caso cambiará. Si trasladamos la alimentación del lado de alta al de baja, sin realizar ninguna otra modificación, la horaria varía según la expresión:

$$H_b = 12 - H_a$$

donde H_a es la horaria para el lado de alta, obtenida en el ensayo, y H_b para el de baja.

Como consecuencia de adoptar como primario el lado de alta tensión para realizar el ensayo, se puede realizar una resolución similar a la del método gráfico, pero simplificada, basada en las mismas medidas y consideraciones descritas para el método propuesto.

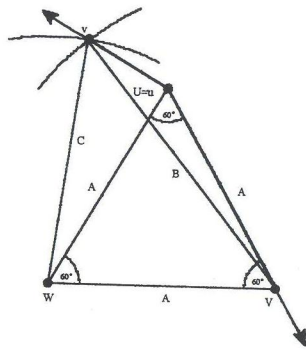


Fig. 9.- Resolución gráfica

Consiste en dibujar el triángulo de la configuración equivalente primaria, conocido el valor "A", trazando a continuación dos arcos, uno de ellos con centro en "V" y radio "B" y el otro con centro en "W" y radio "C". La intersección de ambos arcos dará dos posibles soluciones para la posición del punto "v", despreciándose la inferior como ya se justificó. Queda sólo comparar las direcciones y sentidos marcados por la unión de los puntos "U" y "V" (primario), y por "u" y "v" (secundario), obteniéndose la horaria (figura 9).

3.6.- COMPARACIÓN ENTRE MÉTODOS

En la tabla II se resumen las características principales de los métodos descritos, donde los números entre paréntesis indican el número de medidas adicionales para comprobar posibles defectos de conexión y/o desequilibrio entre fases.

MÉTODO	APARATO DE MEDIDA	NÚMERO DE MEDIDAS	RESOLUCIÓN	DEVANADO PRIMARIO
GRÁFICO	Voltímetro	10	Gráfica	Alta/Baja
CORRIENTE CONTINUA	Voltímetro de cero centrado	1 (+2)	Deductiva	Alta/Baja
CORRIENTE ALTERNA	Voltímetro	1 (+2)	Deductiva	Alta/Baja
OSCIOSC.	Osciloscopio	2 (+4)	Análitica	Alta/Baja
PROPUESTO	Voltímetro	3 (+1)	Fasorial	Alta
	Voltímetro	3 (+1)	Algebraica	Alta
	Voltímetro	3 (+1)	Gráfica	Alta

Tabla II.- Comparación entre métodos.

Los métodos de corriente continua y alterna, se basan en deducir los diagramas fasoriales primario y secundario del transformador. Por tanto es imprescindible conocer la configuración de éste, siendo un impedimento cuando es dudosa o desconocida. De ambos métodos, el de corriente continua puede presentar mayor dificultad por la clase de corriente y el aparato de medida (voltímetro de cero centrado).

En el caso de determinación horaria mediante el osciloscopio, el método es relativamente simple, sin embargo presenta el inconveniente del coste y portabilidad del instrumental (osciloscopio, multímetro gráfico...), por lo que la obtención horaria en el lugar de ubicación de la máquina puede ser problemática.

En el método gráfico, además de la horaria, es posible detectar problemas de conexión y/o desequilibrios entre fases debido al número de medidas y a la construcción completa de los diagramas fasoriales equivalentes primario y secundario. La obtención de triángulos primarios y/o secundarios no equiláteros, indica que existe alguno de los problemas mencionados. No es necesario conocer la configuración, ni utilizar especiales aparatos de medida, pero la resolución

debe ejecutarse con regla y compás y además se pueden cometer errores considerables si la relación entre tensiones primarias y secundarias es importante.

El método propuesto requiere que el ensayo sea realizado exclusivamente por el lado de alta tensión y aporta distintas formas de resolución mediante cálculo (fasorial y algebraica), lo que facilita la misma en función de los medios disponibles.

Al igual que en el método gráfico, es posible comprobar defectos de conexión y/o desequilibrios entre fases realizando una medida adicional. Por ejemplo, sabemos que la tensión entre los terminales "W" y "w" ("F") debe ser igual que el valor conocido entre "V" y "v" (B), por lo que podemos realizar la mencionada comprobación midiendo entre los terminales "W" y "w" y verificando que se obtiene el valor "B". Otra forma sería medir la tensión existente entre los terminales "V" y "w", cuyo valor "E" debería coincidir con el obtenido fasorialmente según:

$$\vec{Vw} = \vec{UV} + \vec{wU}$$

$$E\angle(\theta) = A\angle(-60^\circ) + D\angle(\beta + 120^\circ)$$

4.- PROGRAMAS DE CÁLCULO

A continuación se adjuntan los listados de programas para QBASIC y WINMCAD PLUS 5.0, que realizan los procesos de cálculo descritos para el método propuesto. Además de la horaria, facilita el valor de la tensión compuesta secundaria "D", la relación de transformación "m" y las tensiones entre "V" y "w" ("E") y entre "W" y "w" ("F"), por si se desea conocer otros datos y/o realizar alguna comprobación extra.

4.1.- QBASIC

```
PRINT "***** CÁLCULO DE LA HORARIA DE UN TRANSFORMADOR *****"
pi = 355 / 113
INPUT "Tensión U-v (A)"; A
INPUT "Tensión V-v (B)"; B
INPUT "Tensión W-v (C)"; C
PRINT "***** RESOLUCIÓN FASORIAL *****"
var = (-A^2 - B^2 + C^2) / (2 * A * B)
delta = ATN(SQR(1 - (var^2) / var) / var) + pi
Real = (A / 2) + (B * COS(delta))
Imaginaria = -(SQR(3) * A / 2) + (B * SIN(delta))
Df = SQR(Real^2 + Imaginaria^2)
beta = ATN(Imaginaria / Real)
IF (Real < 0) THEN
    beta = beta + pi
END IF
E = SQR((A / 2 + Df * COS(beta + (2*pi/3)))^2 + (-SQR(3) * A / 2 + Df * SIN(beta + (2*pi/3)))^2)
relacionf = A / Df
horariaa% = 10 - beta * 6 / pi
PRINT "Horaria", "Tensión u-v (D)", "Relación transformación"
PRINT horariaa%, Df, relacionf
PRINT "Tensión V-w (E)", "Tensión W-w (F)"
PRINT "E", B
PRINT "***** RESOLUCIÓN ALGEBRAICA *****"
Xv = (A^2 - B^2 + C^2) / (2 * A)
Yv = SQR(C^2 - Xv^2)
incrementoY = SQR(3) * A / 2 - Yv
incrementoX = A / 2 - Xv
IF incrementoX = 0 THEN
    fi = pi / 2
ELSE
    fi = ATN(incrementoY / incrementoX)
END IF
IF (B = C) THEN
    IF (B < A) THEN
        fi = fi + pi
    END IF
ELSE
```

```
IF (B > C) THEN
    fi = fi + pi
END IF
END IF
horariaa% = 10 - fi * 6 / pi
PRINT "Horaria"
PRINT horariaa%
```

4.2.- WINMCAD PLUS 5.0

CÁLCULO DE LA HORARIA DE UN TRANSFORMADOR (RESOLUCIONES FASORIAL Y ALGEBRAICA)

```
round(x):= if(x-floor(x)<.5,floor(x),ceil(x))
```

Tensión U - v	Tensión V - v	Tensión W - v
A:=	B:=	C:=

RESOLUCIÓN FASORIAL

$$\delta := \text{acos}\left(\frac{-A^2 - B^2 + C^2}{2 \cdot A \cdot B}\right)$$

$$D := A \cdot e^{-\frac{\pi}{3}j} + B \cdot e^{\delta j}$$

$$E := A \cdot e^{-\frac{\pi}{3}j} + D \cdot e^{\frac{2\pi}{3}j}$$

$$\text{Hor.} = 10 - \text{arg}(D) \cdot \frac{6}{\pi}$$

$$\text{Ha} := \text{round}(\text{Hor})$$

$$\text{F} := \text{B}$$

$$m := \frac{A}{|D|}$$

$$\text{Ha} := \text{if}(\text{Ha} > 11, \text{Ha} - 12, \text{Ha})$$

$$\text{Hb} := 12 - \text{Ha}$$

$$\text{Hb} := \text{if}(\text{Hb} > 11, \text{Hb} - 12, \text{Hb})$$

Horaria	Tensión V-v	Relación de transformación	Tensión V-w (E)	Tensión W-w (F)
Ha=	D =	m=	E =	F=

Horaria lado de alta	Horaria lado de baja
Ha=	Hb=

RESOLUCIÓN ALGEBRAICA

$$X_v = \frac{A^2 - B^2 + C^2}{2 \cdot A}$$

$$Y_v = \sqrt{C^2 - X_v^2}$$

$$X = \frac{A}{2} - X_v$$

$$Y = \frac{A \cdot \sqrt{3}}{2} - Y_v$$

$$\phi = \text{if}\left(X = 0, \frac{\pi}{2}, \text{atan}\left(\frac{Y}{X}\right)\right)$$

$$\phi = \text{if}(B = C, \text{if}(B < A, \phi + \pi, \phi), \phi)$$

$$\phi = \text{if}(B > C, \phi + \pi, \phi)$$

$$\text{hor} = 10 - \phi \cdot \frac{6}{\pi}$$

$$\text{ha} := \text{round}(\text{hor})$$

$$\text{ha} := \text{if}(\text{ha} > 11, \text{ha} - 12, \text{ha})$$

$$\text{hb} = 12 - \text{ha}$$

$$\text{hb} := \text{if}(\text{hb} > 11, \text{hb} - 12, \text{hb})$$

Horaria lado de alta	Horaria lado de baja
ha=	hb=

Es conveniente hacer constar que en el caso de que la horaria sea uno, sólo los valores de "D", "m" y "E" pueden ser incorrectos (debido a la ambigüedad de signo de Y_v o "δ"), siendo siempre totalmente válidos "F" y la horaria "H".

5.- EJEMPLO Y RESULTADOS

Para ilustrar las distintas formas de resolución, utilizaremos un transformador Yd5 (figura 10). Realizadas las medidas entre bornes indicadas en los métodos, y reflejadas en la tabla III, se pasa a comprobar la horaria, describiendo procesos de resolución y resultados.

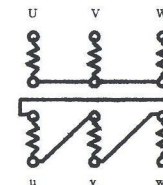


Fig. 10.- Conexión de trafo Yd5

Alim.	U - u	U - v	U - w	V - u	V - v	V - w	W - u	W - v	W - w
220	-	220	220	220	300	300	220	235	300

Tabla III.- Valores medidos entre bornes.

5.1.- MÉTODOS DE CORRIENTE CONTINUA Y ALTERNA

Mediante los métodos de corriente continua y alterna, se comprueba el sentido de las ff.ee.mm. en los devanados (figura 12), a partir de los cuales se deducen los diagramas fasoriales primario y secundario (figura 11).

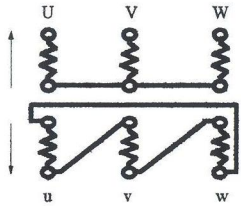


Fig. 12.- Sentido de ff.ee.mm. en los devanados

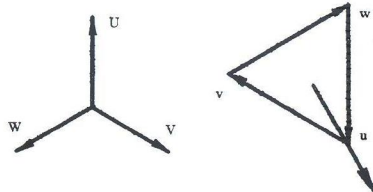


Fig. 11.- Diagramas fasoriales obtenidos

5.2.- MEDIANTE OSCILOSCOPIO

Con el osciloscopio se obtuvieron formas de onda de tensiones similares a las mostradas en la figura 13.

Como se puede apreciar, el desfase existente entre la tensión "U-V" (A) y la "U-v" (D), corresponde a $5/6$ de π , es decir, 150° . Como consecuencia, la horaria que se obtiene es "5".

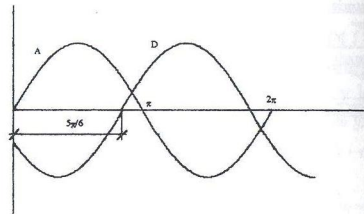


Fig. 13.- Desfase en el osciloscopio

5.3.- MÉTODO GRÁFICO

Partiendo de los valores de la tabla III, se construyen gráficamente a escala los diagramas fasoriales primario y secundario (figura 5).

5.4.- MÉTODO PROPUESTO

Mediante los valores "A", "B", y "C" de la tabla III, se determina la horaria utilizando el programa WinMCad como se aprecia a continuación.

Tensión U - V	Tensión V - v	Tensión W - w
A:= 220	B:= 300	C:= 235
RESOLUCIÓN FASORIAL		
Horaria	Tensión V-v	Relación de transformación
Ha= 5	D = 89.701	m= 2.453
		Tensión V-w (E)
		E = 302.029
		Tensión W-w (F)
		F= 300
Horaria lado de alta	Horaria lado de baja	
Ha= 5	Hb= 7	
RESOLUCIÓN ALGEBRAICA		
Horaria lado de alta	Horaria lado de baja	
ha= 5	hb= 7	

6.- CONCLUSIONES

El método propuesto aporta una forma distinta para la determinación horaria con ventajas tales como:

- Medios simples, baratos y portátiles: basta con un voltímetro y una calculadora.
- Formas de resolución por cálculo: fasorial y algebraica.
- No se necesita conocer previamente la configuración del transformador.
- Aporta otros datos: relación de transformación, tensión secundaria, etc.

Con el citado método se pretende que la determinación horaria de un transformador pueda realizarse con escaso número de medidas, mayor abanico resolutivo y con igual o mayor exactitud que con otros métodos, aunque en algún caso, con condiciones de partida más restrictivas que éstos.

Con su inclusión en las prácticas de laboratorio se aspira a que el futuro técnico sea capaz de resolver problemas, en nuestro caso la determinación horaria de un transformador, e incluso otras cuestiones relacionadas como defectos de conexión o desequilibrios entre fases, de diversas maneras en función de los medios disponibles en cada momento.

7.- BIBLIOGRAFÍA

- (1) Gordon, A.; Barbón, A. (1990). **Prácticas de laboratorio de máquinas eléctricas: 1.- Ensayo de transformadores.** Gijón. Departamento de ingeniería eléctrica, electrónica, de computadores y de sistemas, Universidad de Oviedo.
- (2) Fernández Flórez, M.; Fraile Mora, J.; Molina Martín Urda, A. (1977). **Prácticas de laboratorio I.** Madrid. Cátedra de máquinas eléctricas. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales. Universidad Politécnica de Madrid. Sección de publicaciones.
- (3) Palacios Bregel, J. (1977). **Prácticas de laboratorio de máquinas eléctricas.** Madrid. Editorial Paraninfo.