

Sobretensiones por corte del neutro

Félix Redondo Quintela, Norberto Redondo Melchor, Juan Manuel García Arévalo,
Roberto Carlos Redondo Melchor.
Universidad de Salamanca

Resumen

En ocasiones se achacan a la interrupción del neutro ciertas averías que se producen en las instalaciones eléctricas. Para contribuir a aclarar las consecuencias que sobre la carga provoca el corte del conductor neutro de las líneas de distribución, se cuantifican en este artículo las sobretensiones producidas por esta causa. Se particulariza el análisis para instalaciones de alumbrado.

Introducción

La energía eléctrica se distribuye por medio de líneas trifásicas de cuatro conductores: las fases R , S y T , y el conductor neutro N . Habitualmente los receptores monofásicos se conectan entre las fases y el neutro. La recomendación de distribuir la carga por igual entre las fases[1] debería entenderse en el sentido de procurar que, en todo momento, las intensidades de las fases estuvieran equilibradas. Esto es lo que llamaremos *equilibrio real*. Sin embargo lo habitual es que la carga se distribuya sin tener en cuenta la simultaneidad de funcionamiento de los receptores, por lo que, aunque se tienda a igualar las potencias instaladas en las tres fases, las intensidades pueden resultar fuertemente desequilibradas si no se ha procurado repartir los receptores que funcionan simultáneamente. En [2] expusimos el ahorro de energía como razón para intentar el mayor equilibrio real posible de las cargas, pues el funcionamiento desequilibrado produce mayores pérdidas de potencia en los conductores de la instalación que si la carga está equilibrada. En este artículo se verá que el equilibrio real de las cargas tiene, además, la ventaja de eliminar las sobretensiones que pueda producir un eventual corte del conductor neutro.

Tensiones en el transformador

Las tensiones permanecen aproximadamente equilibradas en la salida de los transformadores de la última etapa de la distribución, cuyo secundario está conectado en estrella; por eso, en los cálculos que siguen, el centro de esa estrella será el punto neutro N de referencia de potenciales, que llamaremos *punto neutro del transformador* o *punto neutro de la fuente*. Además, para nuestros propósitos, influye poco la impedancia equivalente de cada devanado del secundario del transformador y de cada fase de la línea, por ser *pequeños* sus módulos comparados con los de la impedancia resultante de los receptores conectados entre cada fase y el neutro; por eso representaremos el secundario del transformador solo por tres fuentes de tensión conectadas en estrella (fig. 1). Por tanto, si se toma como origen de fases la tensión entre la fase R y el neutro del transformador, los fasores de las tensiones simples del transformador son[3]

$$\bar{V}_R = V/\underline{0^\circ}; \quad \bar{V}_S = V/\underline{-120^\circ} \quad \text{y} \quad \bar{V}_T = V/\underline{-240^\circ} \quad (1)$$

Desplazamiento del neutro

Con las hipótesis expresadas, en la figura 1a) se representa una línea trifásica de tres hilos que alimenta receptores pasivos en estrella. Esta es la situación que se crea cuando se interrumpe la conexión con el punto neutro del transformador. Designaremos el centro de la estrella en la parte de los receptores con la letra n . Llamaremos a n punto neutro de la carga. Materialmente n es la porción de conductor neutro al que quedan conectados todos los receptores cuando se interrumpe el conductor neutro común. Entonces n y N no están unidos directamente por ningún conductor. Se indican las admitancias resultantes de los receptores conectados a las fases por resultar más simples las fórmulas que si se utilizan las impedancias. \bar{Y}_R es la admitancia resultante de todos los receptores conectados entre la fase R y el neutro de la carga, o sea, es la suma de las admitancias de todos los receptores conectados entre esa fase y el neutro n . De forma similar para el resto de las fases.

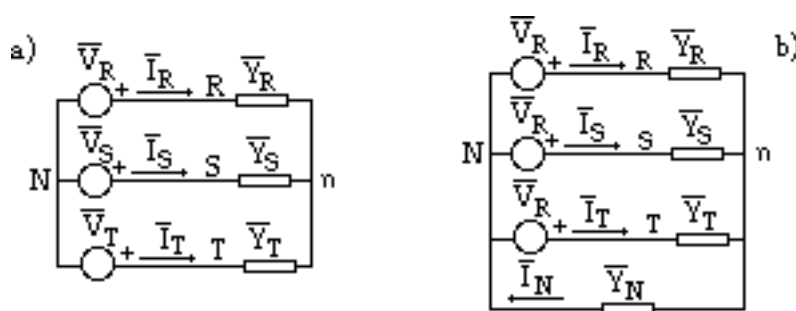


Fig. 1.- Redes equivalentes de una línea de distribución trifásica de tres hilos y de cuatro hilos.

Se llama *desplazamiento del neutro* a \bar{V}_{nN} , es decir, al fasor de la tensión entre el punto neutro de la carga y el neutro del transformador. Conocido el desplazamiento del neutro, se ve en la figura 1a) que los fasores de las tensiones de los receptores de las fases son respectivamente

$$\begin{aligned}\bar{V}_{Rn} &= \bar{V}_R - \bar{V}_{nN} \\ \bar{V}_{Sn} &= \bar{V}_S - \bar{V}_{nN} \\ \bar{V}_{Tn} &= \bar{V}_T - \bar{V}_{nN}\end{aligned}\quad (2)$$

Por eso, para estudiar los desequilibrios de las tensiones, lo mejor es hallar el desplazamiento del neutro. Se ve de inmediato en (2) que *si el desplazamiento del neutro es cero, las tensiones de los receptores permanecen equilibradas si lo están en el secundario del transformador.*

En cualquier caso, conocidas las admitancias complejas de los receptores, el desplazamiento del neutro se halla muy fácilmente aplicando el método de los nudos con referencia de potenciales en N . Del único nudo restante, n , se obtiene la ecuación[3][4]:

$$(\bar{Y}_R + \bar{Y}_S + \bar{Y}_T)\bar{V}_{nN} = \bar{V}_R\bar{Y}_R + \bar{V}_S\bar{Y}_S + \bar{V}_T\bar{Y}_T$$

y

$$\bar{V}_{nN} = \frac{\bar{V}_R \bar{Y}_R + \bar{V}_S \bar{Y}_S + \bar{V}_T \bar{Y}_T}{\bar{Y}_R + \bar{Y}_S + \bar{Y}_T} \quad (3)$$

Con las (2) y este valor hallado de \bar{V}_{nN} se pueden hallar ya las tensiones de los receptores. Dependiendo de las admitancias, o sea, de la distribución de los receptores en las fases, estas tensiones pueden resultar muy alejadas de las tensiones nominales.

Si la carga está totalmente equilibrada las admitancias complejas son iguales,

$$\bar{Y}_R = \bar{Y}_S = \bar{Y}_T$$

y el desplazamiento del neutro vale entonces

$$\bar{V}_{nN} = \frac{\bar{Y}_R(\bar{V}_R + \bar{V}_S + \bar{V}_T)}{3\bar{Y}_R}$$

Si, además, como se ha supuesto, las tensiones en el transformador están equilibradas, la suma de sus fasores vale cero[3]:

$$\bar{V}_R + \bar{V}_S + \bar{V}_T = 0$$

y el desplazamiento del neutro también resulta nulo, por lo que, según las (2), las tensiones de los receptores siguen equilibradas aunque el neutro no exista. Es decir, *si el neutro se interrumpe, no se produce ninguna sobretensión si la carga está realmente equilibrada.*

Instalaciones de alumbrado

En algunas instalaciones todos los receptores son iguales; por ejemplo, en las de alumbrado público, cuyas luminarias suelen ser idénticas. El cálculo del desplazamiento del neutro y, por tanto, de las sobretensiones que pueden producirse por la interrupción del conductor neutro es entonces especialmente fácil. Basta, como se verá, contar el número de luminarias de cada fase. En efecto, si es \bar{Y} la admitancia compleja de cada conjunto formado por la luminaria y su equipo auxiliar, que en lo que sigue llamaremos simplemente luminaria, y los números de las conectadas entre las fases y el neutro son n_R , n_S y n_T respectivamente, como las que están conectadas entre cada fase y el neutro están en paralelo, las admitancias totales de las conectadas a cada fase son

$$\begin{aligned} \bar{Y}_R &= n_R \bar{Y} \\ \bar{Y}_S &= n_S \bar{Y} \\ \bar{Y}_T &= n_T \bar{Y} \end{aligned}$$

y el desplazamiento del neutro con el conductor neutro interrumpido que da la (3) vale

$$\begin{aligned}\bar{V}_{nN} &= \frac{n_R \bar{Y} \bar{V}_R + n_S \bar{Y} \bar{V}_S + n_T \bar{Y} \bar{V}_T}{n_R \bar{Y} + n_S \bar{Y} + n_T \bar{Y}} = \frac{n_R \bar{V}_R + n_S \bar{V}_S + n_T \bar{V}_T}{n_R + n_S + n_T} = \\ &= \frac{n_R V / 0^\circ + n_S V / -120^\circ + n_T V / -240^\circ}{n_R + n_S + n_T}\end{aligned}$$

Es decir,

$$\bar{V}_{nN} = V \frac{n_R / 0^\circ + n_S / -120^\circ + n_T / -240^\circ}{n_R + n_S + n_T} \quad (4)$$

Como se ve, *no hace falta conocer la admitancia de las luminarias para hallar el desplazamiento del neutro, sino solo el número de ellas en cada fase.* V es el valor eficaz de la tensión entre fase y neutro.

Ejemplo 1

Evaluaremos las tensiones que se producirán en una instalación de alumbrado fuertemente desequilibrada si, permaneciendo las fases conectadas al transformador, por accidente u otras causas se interrumpe el conductor neutro entre el transformador y el cuadro general. La tensión del transformador es de 400 V entre fases, lo que da aproximadamente 230 V entre cada fase y el neutro. Supongamos que del cuadro general se han derivado tres líneas monofásicas formadas por cada fase y un conductor neutro con $n_R = 5$ luminarias conectadas en paralelo a la fase R , $n_S = 20$ en S y $n_T = 50$ en T . En estas condiciones el punto neutro n de la carga puede identificarse con el punto neutro del cuadro general, del que parten los conductores neutros de cada línea monofásica. Si, permaneciendo las fases conectadas al transformador, el conductor neutro que va del transformador al cuadro general se interrumpiera, el desplazamiento del neutro sería

$$\bar{V}_{nN} = 230 \frac{5/0^\circ + 20/-120^\circ + 50/-240^\circ}{5 + 20 + 50} = 121.705 / 139.107^\circ$$

y la tensión de las luminarias de la fase R

$$\bar{V}_{Rn} = \bar{V}_R - \bar{V}_{nN} = 230 / 0^\circ - 121.705 / 139.107^\circ = 331.711 / -13.898^\circ$$

La de S

$$\bar{V}_{Sn} = \bar{V}_S - \bar{V}_{nN} = 230 / -120^\circ - 121.705 / 139.107^\circ = 279.807 / -94.715^\circ$$

Y la de T

$$\bar{V}_{Tn} = \bar{V}_T - \bar{V}_{nN} = 230 / -240^\circ - 121.705 / 139.107^\circ = 121.705 / 100.893^\circ$$

Es decir, se produce una *fuerte sobretensión* permanente en la fase R , que es la que tiene menor número de luminarias. La tensión pasa de 230 a más de 330 V, un cuarenta y tres por ciento más. En la fase S la tensión es 21% mayor. Como la intensidad crece aproximadamente como la tensión puede ocurrir que, aunque cada luminaria tenga protección, esta no salte y, con el tiempo, se funda

alguna lámpara o se dañe algún equipo. Si así ocurre, el número de luminarias conectadas a esa fase disminuye, con lo que la tensión se hace aún mayor en esa fase y aumenta la probabilidad de avería de otra luminaria de esa misma fase, y así sucesivamente. Se produce, como se ve, un efecto en cadena, que puede averiar todas las luminarias de una fase.

Así que si el desequilibrio de la carga es grande, la interrupción del neutro puede provocar fuertes sobretensiones permanentes en los receptores de las fases menos cargadas. En la fase más cargada se produce una subtensión.

Veremos, sin embargo, que, con cargas solo ligeramente desequilibradas, las sobretensiones y subtensiones que un eventual corte del neutro produce son mucho menores.

Supongamos las mismas 75 luminarias repartidas ahora así: $n_R = 24$, $n_S = 25$ y $n_T = 26$. El desplazamiento del neutro vale

$$\bar{V}_{nN} = 230 \frac{24/0^\circ + 25/-120^\circ + 26/-240^\circ}{24 + 25 + 26} = 5/150^\circ$$

Y las tensiones

$$\bar{V}_{Rn} = \bar{V}_R - \bar{V}_{nN} = 230/0^\circ - 5/150^\circ = 234.343/-0.611^\circ$$

$$\bar{V}_{Sn} = \bar{V}_S - \bar{V}_{nN} = 230/-120^\circ - 5/150^\circ = 230.054/-118.755^\circ$$

$$\bar{V}_{Tn} = \bar{V}_T - \bar{V}_{nN} = 230/-240^\circ - 5/150^\circ = 225.684/119.365^\circ$$

La mayor sobretensión se produce en la fase R, que es la menos cargada, pero en este caso no llega al 2%, incremento perfectamente tolerado por la mayor parte de las luminarias[5].

Límite superior de la tensión con el neutro interrumpido

La tensión más alta que puede alcanzarse en los receptores de una fase por corte del neutro es la tensión entre fases (tensión compuesta). En efecto, basta observar en la figura 1a) que si se anula la impedancia de una de las fases, por ejemplo la R, lo que equivale a cortocircuitar la carga de esa fase, las tensiones de los receptores de las otras dos son las compuestas

$$\bar{V}_{Sn} = \bar{V}_S - \bar{V}_R = \bar{U}_{SR}$$

$$\bar{V}_{Tn} = \bar{V}_T - \bar{V}_R = \bar{U}_{TR}$$

De (3) se obtiene el mismo resultado: hacer cero el módulo de la impedancia de la fase R equivale a hacer infinito el de su admitancia y el desplazamiento del neutro vale

$$\bar{V}_{nN\text{máx}} = \lim_{Y_R \rightarrow \infty} \frac{\bar{V}_R \bar{Y}_R + \bar{V}_S \bar{Y}_S + \bar{V}_T \bar{Y}_T}{\bar{Y}_R + \bar{Y}_S + \bar{Y}_T} = \bar{V}_R$$

Es decir, el desplazamiento del neutro coincide con la tensión \bar{V}_R , como es por otra parte evidente si se observa la figura 1a) después de cortocircuitar los receptores de R . Entonces las tensiones de los receptores de las fases S y T son

$$\bar{V}_{Sn} = \bar{V}_S - \bar{V}_{nN} = \bar{V}_S - \bar{V}_R = \bar{U}_{SR}$$

$$\bar{V}_{Tn} = \bar{V}_T - \bar{V}_{nN} = \bar{V}_T - \bar{V}_R = \bar{U}_{TR}$$

las mismas que se habían obtenido por observación directa de la figura 1a).

Efecto equilibrador del conductor neutro

En la figura 1b) se representa la misma línea, pero ahora con el punto neutro n de la carga conectado al punto neutro N del transformador. Si es \bar{Y}_N la admitancia del conductor neutro, tomando N como referencia para aplicar el método de los nudos, puede hallarse el nuevo desplazamiento del neutro: la ecuación de la red de la figura 1b) resulta ahora[3][4]

$$(\bar{Y}_R + \bar{Y}_S + \bar{Y}_T + \bar{Y}_N)\bar{V}_{nN} = \bar{V}_R\bar{Y}_R + \bar{V}_S\bar{Y}_S + \bar{V}_T\bar{Y}_T$$

y el desplazamiento del neutro

$$\bar{V}_{nN} = \frac{\bar{V}_R\bar{Y}_R + \bar{V}_S\bar{Y}_S + \bar{V}_T\bar{Y}_T}{\bar{Y}_R + \bar{Y}_S + \bar{Y}_T + \bar{Y}_N} \quad (5)$$

La única diferencia con (3) es que ahora aparece la admitancia del conductor neutro como sumando en el denominador. Como esta admitancia es muy grande frente a las de los receptores (la impedancia del conductor neutro es muy pequeña frente a la de los receptores), la sola existencia del neutro hace disminuir fuertemente el módulo del desplazamiento del neutro y, por tanto, según (2), las tensiones de los receptores resultan muy próximas a las de equilibrio.

La puesta a tierra de los puntos N y n contribuye a disminuir aún más el desplazamiento del neutro, pues disminuye el módulo de la impedancia del neutro o, lo que es equivalente, aumenta el de la admitancia \bar{Y}_N . En este caso, en (5) \bar{Y}_N es la admitancia resultante del conductor neutro y tierra, que es siempre mayor que la del conductor neutro propiamente dicho. Como consecuencia, la puesta a tierra de los dos puntos neutros favorece el equilibrio de las tensiones de los receptores. Incluso si se produjera el corte del conductor neutro entre los puntos N y n , pero de forma que ambos permanecieran bien conectados a tierra, \bar{Y}_N no se anularía, pues sería la admitancia de la tierra, limitándose así el del desplazamiento del neutro y, por tanto, de las sobretensiones. Esta limitación, sin embargo, dependerá mucho de la calidad conductora del terreno y de la calidad de las puestas a tierra. Por el contrario, poner a tierra solo el punto N o solo el n , no influye en el desplazamiento del neutro.

Para el caso de instalaciones de alumbrado con lámparas iguales de admitancia \bar{Y} con un neutro de admitancia $\alpha\bar{Y}$ la (5) queda:

$$\begin{aligned}\bar{V}_{nN} &= \frac{n_R \bar{Y} \bar{V}_R + n_S \bar{Y} \bar{V}_S + n_T \bar{Y} \bar{V}_T}{n_R \bar{Y} + n_S \bar{Y} + n_T \bar{Y} + \alpha \bar{Y}} = \frac{n_R \bar{V}_R + n_S \bar{V}_S + n_T \bar{V}_T}{n_R + n_S + n_T + \alpha} = \\ &= \frac{n_R V / 0^\circ + n_S V / -120^\circ + n_T V / -240^\circ}{n_R + n_S + n_T + \alpha}\end{aligned}$$

Es decir,

$$\bar{V}_{nN} = V \frac{n_R / 0^\circ + n_S / -120^\circ + n_T / -240^\circ}{n_R + n_S + n_T + \alpha} \quad (6)$$

$\bar{\alpha}$ es la relación entre la admitancia del conductor neutro y la de una luminaria, es decir,

$$\bar{\alpha} = \frac{\bar{Y}_N}{\bar{Y}}$$

El efecto equilibrador del conductor neutro puede captarse de una forma más próxima a la intuición viendo en la figura 1b) que el desplazamiento del neutro vale también

$$\bar{V}_{nN} = \bar{Z}_N \bar{I}_N = \frac{\bar{I}_N}{\bar{Y}_N}$$

Para una intensidad dada del neutro, el desplazamiento es menor cuanto menor sea el módulo Z_N de la impedancia del conductor neutro.

Ejemplo 2

Hallaremos de nuevo el desplazamiento del neutro y la tensión de los receptores del ejemplo 1, pero ahora con un conductor neutro de admitancia mil veces mayor que la de cada lámpara:

$$\bar{Y}_N = 1000 \bar{Y}$$

Es decir, $\bar{\alpha} = 1000$. El desplazamiento del neutro resulta ahora para la primera distribución de lámparas

$$\bar{V}_{nN} = 230 \frac{5/0^\circ + 20/-120^\circ + 50/-240^\circ}{5 + 20 + 50 + 1000} = 8.491 / 139.107^\circ.$$

Y las tensiones

$$\bar{V}_{Rn} = \bar{V}_R - \bar{V}_{nN} = 230/0^\circ - 8.491/139.107^\circ = 236.484 / -1.347^\circ$$

$$\bar{V}_{Sn} = \bar{V}_S - \bar{V}_{nN} = 230/-120^\circ - 8.491/139.107^\circ = 231.755 / -117.938^\circ$$

$$\bar{V}_{Tn} = \bar{V}_T - \bar{V}_{nN} = 230/-240^\circ - 8.491/139.107^\circ = 221.994 / 119.238^\circ$$

Muy próximas a las tensiones de equilibrio, a pesar del fuerte desequilibrio de la carga.

Con la segunda distribución de lámparas

$$\bar{V}_{nN} = 230 \frac{24/0^\circ + 25/-120^\circ + 26/-240^\circ}{24 + 25 + 26 + 1000} = 0.002/150^\circ$$

Es decir, el desplazamiento del neutro es inapreciable, por lo que las tensiones de la carga son las de equilibrio.

Corte de las fases

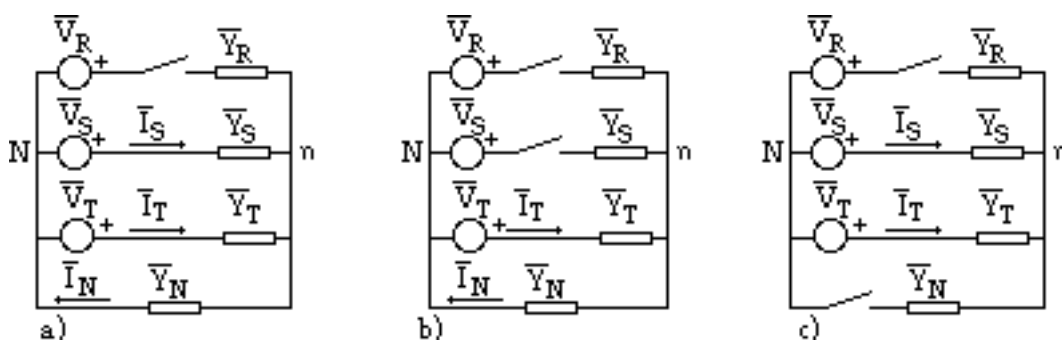


Fig. 2.- Cortes de las fases

En la figura 2a) se representa la instalación con neutro, pero con la fase R cortada. El desplazamiento del neutro se halla de la misma forma por el método de los nudos[3][4]:

$$\begin{aligned} (\bar{Y}_S + \bar{Y}_T + \bar{Y}_N) \bar{V}_{nN} &= \bar{V}_S \bar{Y}_S + \bar{V}_T \bar{Y}_T \\ \bar{V}_{nN} &= \frac{\bar{V}_S \bar{Y}_S + \bar{V}_T \bar{Y}_T}{\bar{Y}_S + \bar{Y}_T + \bar{Y}_N} \end{aligned} \quad (7)$$

La fórmula anterior puede obtenerse también como caso particular de (5) haciendo $\bar{Y}_R = 0$ ya que cortar la fase R significa hacer infinita la impedancia de los receptores conectados a ella, lo que equivale a que la admitancia es cero.

De nuevo el conductor neutro asegura un escaso desplazamiento del neutro debido al alto valor del módulo de \bar{Y}_N , por lo que mantiene un alto grado de equilibrio de las tensiones de las fases y, por tanto, los receptores de S y T siguen funcionando con normalidad. Si se cortan dos fases la tensión de los receptores de la que queda es la simple de esa fase (fig. 2).

Por tanto, manteniéndose el conductor neutro, el corte de cualquier fase no produce ninguna sobretensión permanente.

Si, estando el conductor neutro interrumpido, se corta una fase, por ejemplo la R (fig. 2c), resulta un circuito simple en el que los receptores de las dos fases quedan en serie, alimentados por la tensión compuesta $\bar{U}_{ST} = \bar{V}_S - \bar{V}_T$. Se ve de inmediato que, si las admitancias \bar{Y}_S e \bar{Y}_T son iguales,

el valor eficaz de la tensión de cada una de ellas es la mitad del valor eficaz de la tensión compuesta.

En cualquier caso el desplazamiento del neutro es ahora

$$\bar{V}_{nN} = \frac{\bar{V}_S \bar{Y}_S + \bar{V}_T \bar{Y}_T}{\bar{Y}_S + \bar{Y}_T} \quad (8)$$

y las tensiones de los receptores

$$\bar{V}_{Sn} = \bar{V}_S - \bar{V}_{nN}$$

$$\bar{V}_{Tn} = \bar{V}_T - \bar{V}_{nN}$$

Si se trata de n_S receptores iguales conectados entre la fase S y el neutro, y n_T entre T y el neutro, el desplazamiento del neutro es

$$\bar{V}_{nN} = V \frac{n_S / -120^\circ + n_T / -240^\circ}{n_S + n_T} \quad (9)$$

Ejemplo 3

Veremos con dos ejemplos que si se corta la fase R estando interrumpido el conductor neutro, y el desequilibrio entre las dos fases es muy grande, puede producirse sobretensión en una de ellas; pero si no hay desequilibrio o es muy pequeño, se produce subtensión en ambas.

Supongamos primero 5 luminarias en la fase S y 10 en la T . El desplazamiento del neutro es

$$\bar{V}_{nN} = 230 \frac{5 / -120^\circ + 10 / -240^\circ}{5 + 10} = 132.791 / 150^\circ$$

$$\bar{V}_{Sn} = \bar{V}_S - \bar{V}_{nN} = 230 / -120^\circ - 132.791 / 150^\circ = 265.581 / -90^\circ$$

$$\bar{V}_{Tn} = \bar{V}_T - \bar{V}_{nN} = 230 / -240^\circ - 132.791 / 150^\circ = 132.791 / 90^\circ$$

Es decir, la tensión de los receptores de la fase S es 265 V, superior a los 230 V nominales, mientras que la de los receptores de T es 132 V, inferior a los 230.

Si se reparten las 15 lámparas de forma que $n_S = 7$ y $n_T = 8$, resulta:

$$\bar{V}_{nN} = 230 \frac{7 / -120^\circ + 8 / -240^\circ}{7 + 8} = 115.764 / 173.413^\circ$$

$$\bar{V}_{Sn} = \bar{V}_S - \bar{V}_{nN} = 230 / -120^\circ - 115.764 / 173.413^\circ = 212.465 / -90^\circ$$

$$\bar{V}_{Tn} = \bar{V}_T - \bar{V}_{nN} = 230 / -240^\circ - 115.764 / 173.413^\circ = 185.907 / 90^\circ$$

Es decir, quedan sometidas a 212 V las de la fase S y 185 V las de la T, ambas tensiones menores que la nominal.

Si el número de lámparas en las dos fases es el mismo, $n_S = n_T = n$, la (9) queda

$$\bar{V}_{nN} = V \frac{n/-120^\circ + n/-240^\circ}{n+n} = V \frac{1/-120^\circ + 1/-240^\circ}{2} = 0.5V/\underline{180^\circ}$$

Para $V=230$ V,

$$\bar{V}_{nN} = 0.5 \times 230/\underline{180^\circ} = 115/\underline{180^\circ}$$

$$\bar{V}_{Sn} = \bar{V}_S - \bar{V}_{nN} = 230/\underline{-120^\circ} - 115/\underline{180^\circ} \approx 200/\underline{-90^\circ}$$

$$\bar{V}_{Tn} = \bar{V}_T - \bar{V}_{nN} = 230/\underline{-240^\circ} - 115/\underline{180^\circ} \approx 200/\underline{90^\circ}$$

O sea, cada receptor está sometido a la mitad de la tensión compuesta.

Conclusiones

Si permanecen las fases de una línea de distribución trifásica conectadas al transformador, el corte del conductor neutro origina siempre sobretensión en los receptores de la fase menos cargada y subtensión en los de la más cargada. En los receptores de la otra fase puede producirse sobretensión, subtensión o mantenerse la tensión en su valor nominal, dependiendo del reparto efectivo de la carga. Estos valores de la tensión se mantienen mientras el neutro esté interrumpido y las fases conectadas. En líneas con un reparto real equilibrado de la carga las tensiones permanecen equilibradas aunque se interrumpa el neutro.

Si, a causa del desequilibrio de la carga, la sobretensión es grande en la fase menos cargada, puede existir riesgo de avería de los receptores. Si la avería de un receptor de esa fase lo desconecta, disminuye la carga de esa fase aún más y aumenta por ello la tensión en sus receptores y, por tanto, se incrementa la posibilidad de daño. Es decir, el riesgo de avería por corte del neutro en la fase menos cargada aumenta progresivamente a medida que el daño que produce la sobretensión inicial va desconectando sus receptores.

El conductor neutro es un elemento esencial de equilibrio de las tensiones de la carga. Aunque esta esté muy desequilibrada, el conductor neutro asegura muy aproximadamente el equilibrio de las tensiones, tanto más cuanto menor sea el módulo de su impedancia.

La puesta a tierra del punto neutro del transformador y del conductor neutro en todos los puntos que sea posible refuerza el papel del neutro en el equilibrio de las tensiones, más cuanto mejores sean las puestas a tierra. Incluso en caso de interrupción del neutro, una buena puesta a tierra puede aminorar las sobretensiones.

En instalaciones sensibles o que deban ser especialmente seguras pueden conocerse de antemano, con las fórmulas anteriores, las sobretensiones que se

producirían en el caso de corte accidental del neutro para estar seguros de que se mantendrán en valores no peligrosos.

La interrupción de una o más fases nunca provoca sobretensiones si está el neutro conectado. Por tanto, para evitar el riesgo de sobretensión por corte del neutro, al desconectar una línea trifásica conviene no interrumpir antes el neutro que las fases.

Referencias

[1] Ministerio de Industria y Energía. *Instrucción complementaria número 17 del Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión*. Madrid 1973.

[2] Redondo Quintela F., García Arévalo J. M., Redondo Melchor N. *Desequilibrio y pérdidas en las instalaciones eléctricas*. Montajes e Instalaciones. N° 338. Abril, 2000. Pág. 77-82.

[3] Redondo Quintela, F. *Redes con Excitación Sinusoidal*. Ed. Revide, S.L. Béjar 1997.

[4] Redondo Quintela, F. *Redes Eléctricas de Kirchhoff*. Ed. Revide, S.L. Béjar 1999.

[5] Osram. *Catálogo general de luz 2000*.