

Corriente de Inrush.

Corriente de inrush se denomina a la corriente que toma de la red el transformador durante los primeros ciclos desde el momento en que es energizado.

Se trata de un fenómeno transitorio de unos pocos ciclos de red que por la naturaleza no lineal del núcleo magnético lleva a la máquina a la saturación.

Para el análisis se considerará la conexión, a la red, del transformador con su secundario en vacío.

La red se supondrá de potencia infinita igual a:

$$v(t) = \sqrt{2} \cdot V \cdot \cos(\omega t + \varphi)$$

Si se plantea la ecuación de la malla correspondiente al primario del transformador se tiene:

$$v(t) = R \cdot i(t) + N \frac{d\Phi}{dt}$$

Donde N es el número de espiras del bobinado primario y Φ el flujo enlazado por la bobina en cuestión.

$$\Phi = \Phi_m + \Phi_f \cong \Phi_m$$

Para un primer análisis y a los efectos de simplificar el problema se supondrá una relación lineal entre flujo y corriente; se examinará el resultado al que se llega y luego se verá el resultado al levantar esta hipótesis.

Si no se considera la resistencia del bobinado se tendrá una solución de la ecuación sin atenuación para la componente transitoria del flujo, pero que a los efectos de un primer análisis es perfectamente tolerable.

Entonces tomando $R \cdot i(t) \cong 0$ se tiene:

$$\sqrt{2} \cdot V \cdot \cos(\omega t + \varphi) = N \frac{d\Phi}{dt}$$

Integrando la ecuación y considerando flujo remanente en el núcleo igual a cero se tiene:

$$\Phi(t) = \frac{\sqrt{2} \cdot V}{n \cdot \omega} \cdot [\sin(\omega t + \varphi) - \sin\varphi]$$

Se puede observar que el flujo está compuesto por una componente de continua, que si se hubiera considerado la resistencia del bobinado se atenuaría con una constante de tiempo que depende de la inductancia magnetizante y de la resistencia del bobinado, y una componente sinusoidal, que es el flujo en régimen luego del transitorio

El valor máximo del flujo depende del valor φ , o sea depende de la fase con que se toma la tensión de la red en el momento de la conexión.

Si $\varphi = \frac{3\pi}{2}$ entonces en $t = T/2$ el flujo tiene su valor máximo igual a:

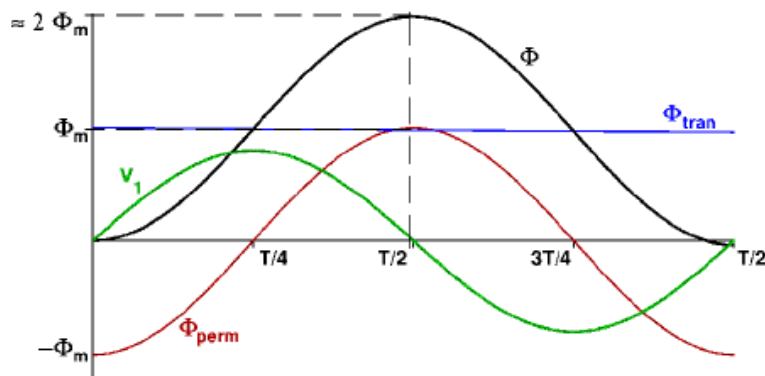
$$\Phi_{max} = 2 \cdot \frac{\sqrt{2} \cdot V}{n \cdot w} = 2 \cdot \Phi_{reg}$$

El valor $\Phi_{reg} = \frac{\sqrt{2} \cdot V}{n \cdot w}$ es el valor de flujo máximo en régimen permanente, una vez que se atenúa totalmente la componente de continua del transitorio.

Este caso estudiado junto con el de $\varphi = \frac{\pi}{2}$ constituyen los peores casos en el sentido de que se obtiene un valor de flujo máximo: $\Phi_{max} = \pm 2 \cdot \Phi_{reg}$

Para cualesquiera otros valores de φ no se alcanza este valor de flujo; por ejemplo para $\varphi = 0$ no existe componente de continua en el flujo y por lo tanto no existe transitorio siendo $\Phi_{max} = \Phi_{reg}$.

El caso examinado anteriormente se puede observar a continuación:

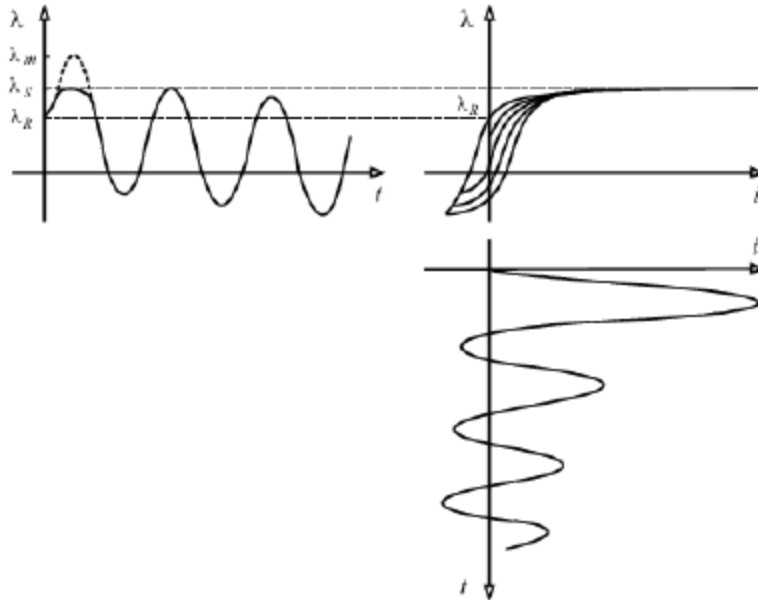


Si se levanta la hipótesis de que no existe flujo remanente $\Phi(0) = 0$ y se considera que el hierro puede tener un flujo remanente de hasta la mitad del flujo de régimen $\Phi_{rem} = \frac{\Phi_{reg}}{2}$ entonces se puede alcanzar valores de flujo máximo de: $\Phi_{max} = 2,5 \cdot \Phi_{reg}$

Dado que durante el transitorio el flujo puede adquirir valores mucho mayores que durante el funcionamiento en régimen la corriente también alcanzará valores mucho mayores que en régimen.

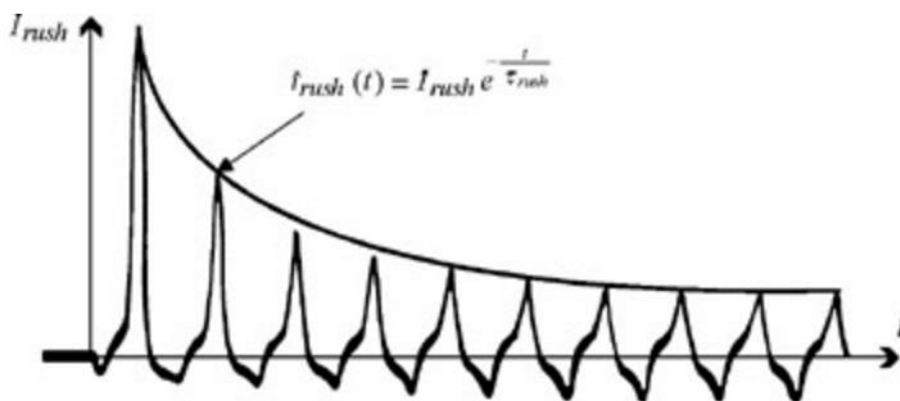
El análisis anterior consideró una relación lineal entre flujo y corriente lo cual no es así; se debe considerar la no linealidad del núcleo magnético y que generalmente los transformadores se diseñan para operar, en régimen, en el codo de la saturación, por lo cual durante los primeros ciclos de este transitorio la máquina satura provocando valores muy altos de corriente lo cual termina por limitar el valor final del flujo.

La máquina no alcanza el valor teórico de flujo que se deduce del análisis lineal del fenómeno debido a la saturación del núcleo magnético; de todos modos los valores de corriente a los que se llega son importantes y se debe tener en cuenta que la misma no es sinusoidal debido a la saturación.



Se puede llegar a valores de corrientes de 100 veces la corriente de vacío (I_0) en régimen esto es, en términos de la corriente nominal del transformador, una corriente entre 5 In y 10 In.

La corriente durante este transitorio tiene la siguiente forma:



La duración de este transitorio es muy breve (algunos ciclos de red) por lo cual no presenta un peligro para el transformador pero si puede provocar disparos espurios de las protecciones durante la energización del mismo; por esta razón, generalmente, las protecciones de corriente de los transformadores presentan un retardo para sobre corrientes entre 5 y 10 veces la corriente nominal.

Un aspecto importante de la corriente de inrush es que la misma presenta un fuerte contenido armónico por la naturaleza no lineal del núcleo magnético; puede presentar un segundo armónico de hasta un 60% de la fundamental

Lo mencionado anteriormente es utilizado por algunos relés de protecciones a los efectos de diferenciar la corriente de energización de una corriente de corriente de cortocircuito la cual no presenta armónicos; en el momento de energizar el transformador filtran la segunda armónica evitando así el disparo innecesario.