УДК 621.576

Анализ параметров управления активного фильтра

Романович Н.М., Чучков А.В.
Научный руководитель – к.т.н., доцент СУХОДОЛОВ Ю.В.

Предложена методика получения значений начальных фаз высших гармонических составляющих тока, протекающего через нелинейную электромагнитную нагрузку на основе анализа характерных точек в форме кривой тока.

Наиболее характерным примером искажения нелинейной нагрузкой питающего тока является работа трансформатора в режиме холостого хода.

На рисунке 1 представлена кривая тока, протекающего через нелинейную электромагнитную нагрузку.

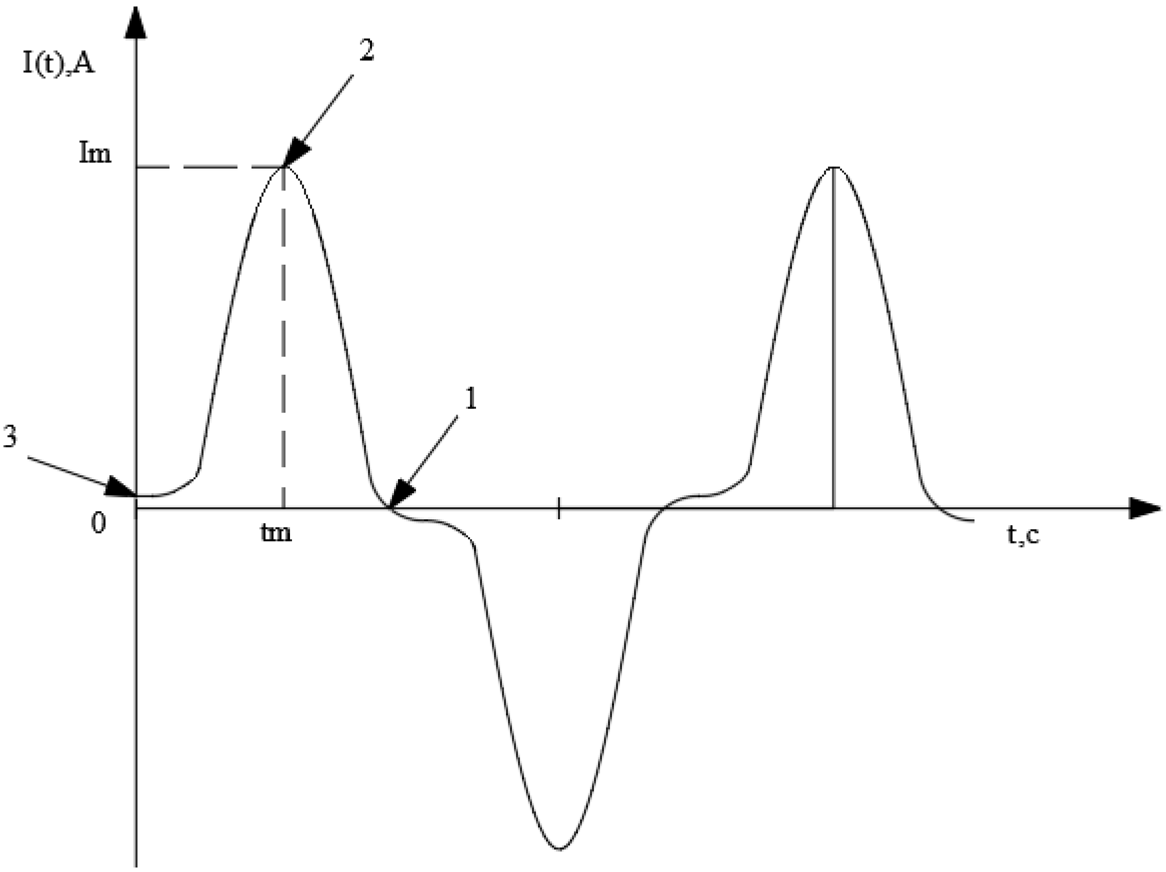

Рисунок 1 – Кривая тока, протекающего через трансформатор

Анализ кривой тока показывает, что в ее форме можно выделить несколько характерных точек:

точка 1 – значение кривой тока $r(t)$ в момент времени $t = t_0$;

точка 2 – значение I_m кривой тока $i(t)$ в момент времени $t = t_m$;

точка 3 – значение I_0 кривой тока $i(t)$ в момент времени $t = 0$.

Известно, что любая периодическая кривая может быть представлена рядом Фурье в тригонометрической форме:

$$i(t) = \sum_{n=1}^{\infty} I_{nm} \sin(\omega t + \varphi_n) \quad (1)$$

где I_{nm} – амплитуды гармонических составляющих;
φ_n – начальные фазы гармонических составляющих;
ω – угловая частота.
В точке 1 значение кривой $i(t)$ в момент времени $t = t_0$ равно нулю:

$$i(t_0) = \sum_{n=1}^{\infty} I_{nm} \sin(\mathrm{n\omega} t_0 + \varphi_n) = 0 \qquad (2)$$

В точке 2 кривая тока $i(t)$ имеет максимум в момент времени $t = t_m$. Следовательно первая производная функции, описывающей кривую тока, в момент времени $t = t_m$ равно нулю:

$$\frac{di(t_m)}{dt} = 0\,;$$

$$\sum_{n=1}^{\infty} nI_{nm} \cos(\mathrm{n\omega} t_m + \varphi_n) = 0 \qquad (3)$$

Точка 3 является точкой перегиба. Следовательно, вторая производная функции, описывающей кривую тока, в момент времени $t = 0$ равна нулю:

$$\frac{di^2(t_m)}{dt} = 0\,;\ -(\mathrm{n\omega})^2 \sum_{n=1}^{\infty} I_{nm} \sin(\mathrm{\omega t} + \varphi_n) = 0$$

Или

$$\sum_{n=1}^{\infty} n^2 I_{nm} \sin(\varphi_n) = 0 \qquad (4)$$

Выражения (2) – (4) представляют собой систему уравнений, связывающих временные параметры кривой тока с параметрами гармонических составляющих.

Преобразуем уравнение (2):

$$I_{m1} \sin(\mathrm{\omega} t_0 + \varphi_1) + \sum_{n=1}^{\infty} I_{nm} \sin(\mathrm{n\omega} t_0 + \varphi_n) = 0$$

$$1 + \sum_{n=3}^{\infty} \frac{I_{nm} \sin(\mathrm{n\omega} t_0 + \varphi_n)}{I_{m1} \sin(\mathrm{\omega} t_0 + \varphi_1)} = 0 \qquad (5)$$

Аналогично преобразуем уравнения (3) и (4). Таким образом, преобразованная система тригонометрических уравнений имеет вид:

$$\begin{cases} 1+\sum_{n=3}^{\infty}\frac{I_{nm}\sin(\mathrm{n}\omega t_0+\varphi_n)}{I_{m1}\sin(\omega t_0+\varphi_1)}=0; \\ 1+\sum_{n=3}^{\infty}n\frac{I_{nm}\cos(\mathrm{n}\omega t_m+\varphi_n)}{I_{m1}\cos(\omega t_m+\varphi_1)}=0\,; \\ 1+\sum_{n=3}^{\infty}n^2\frac{I_{nm}\sin(\varphi_n)}{I_{m1}\sin(\varphi_1)}=0; \end{cases} \qquad (6)$$

Выражение (2) – (6) представляют собой систему уравнений связывающих временные параметры кривой тока с параметрами гармонических составляющих.

Введём в уравнения системы коэффициент гармоник $К_г$:

$$К_{гn}=\frac{I_{nm}}{I_{m1}}\,; \qquad (7)$$

Система уравнений примет вид:

$$\begin{cases} 1+\sum_{n=3}^{\infty}К_{гn}\frac{\sin(\mathrm{n}\omega t_0+\varphi_n)}{\sin(\omega t_0+\varphi_1)}=0; \\ 1+\sum_{n=3}^{\infty}nК_{гn}\frac{\cos(\mathrm{n}\omega t_m+\varphi_n)}{\cos(\omega t_m+\varphi_1)}=0; \\ 1+\sum_{n=3}^{\infty}n^2К_{гn}\frac{\sin(\varphi_n)}{\sin(\varphi_1)}=0; \end{cases} \qquad (8)$$

Получим выражение для вычислений значений начальных фаз высших гармоник тока.

$$\mathrm{tg}(\varphi_n)=\frac{\dfrac{\sin(\mathrm{n}\omega t_0)}{\sin(\omega t_0+\varphi_1)}-n\dfrac{\cos(\mathrm{n}\omega t_m)}{2\cos(\omega t_m+\varphi_1)}}{n^2\dfrac{1}{2\sin(\varphi_1)}-n\dfrac{\sin(\mathrm{n}\omega t_m)}{2\cos(\omega t_m+\varphi_1)}-\dfrac{\cos(\mathrm{n}\omega t_0)}{\sin(\omega t_0+\varphi_1)}}$$

$$\mathrm{tg}(\varphi_n)=\frac{\sin(\varphi_1)\,(2\sin(\mathrm{n}\omega t_0)\cos(\omega t_m+\varphi_1)-n\cos(\mathrm{n}\omega t_m)\sin(\omega t_0+\varphi_1))}{n^2\cos(\omega t_m+\varphi_1)\sin(\omega t_0+\varphi_1)-n\sin(\varphi_1)\sin(\omega t_0+\varphi_1)-2\sin(\varphi_1)\cos(\omega t_m+\varphi_1)}$$

Литература

1. Чумаков, С.А. Обеспечение качества электрической энергии в системах электроснабжения автономных объектов/ С.А. Чумаков, А.Н. Малашин, Ю.В. Суходолов // Вестн. Воен. Акад. Респ. Беларусь. – 2015. – №2(47). – С. 151-161.

2. Жежеленко, И.В. Высшие гармоники в системах электроснабжения предприятий. / И. В. Жежеленко. – 4-е изд., перераб. И доп. – М: Энергоатомиздат, 2000. – 331 с.: ил.