~ CURS 8 ~

Cap. III – REGIM PERMANENT NESINUSOIDAL (DEFORMANT)

III.1. Cauzele regimului periodic nesinusoidal

Dacă în numeroase instalații de telecomunicații și automatizări astfel de regimuri sunt realizate intenționat (neliniaritatea unor elemente de circuit – bobine cu miez de fier saturat, condensatoare neliniare – este utilizată la realizarea unor aparate electrice), în circuitele electrice destinate producerii, transportului și curenților, alta decât cea riguros sinusoidală, este un factor care afectează negativ calitatea energiei electrice furnizate consumatorilor.

Abaterea undei fată de forma sinusoidală se numeşte **distorsiune** sau **deformare**. Forma nesinusoidală a undelor se datorează apariției în rețea (circuit), pe lângă unda sinusoidală (de tensiune sau de curent) de frecvență 50 Hz, numită *fundamentală*, a altor unde de frecvențe superioare, eventual a unei componente continue, care se compun dând forma finală distorsionată a undei.

Cauzele prezentei armonicilor superioare, după clasificarea făcută de C.I. Budeanu, așa numitele:

a. elementele deformante de primă categorie – care produc armonici superioare de tensiune sau curent (motoare electrice, transformatoare, redresoare, inversoare, cuptoare cu arc, linii de înaltă tensiune);
b. elemente deformante de categorie a doua – care fiind alimentate cu unde nesinusoidale de tensiune, accentuează deformarea acestora (condensatoare, linii electrice aeriene).

Principalele efecte ale armonicilor superioare sunt:

a. suprasolicitarea termică a elementelor (pierderile Joule cresc odată cu creșterea valorii efective a curentului);
b. degradarea izolației prin funcționarea echipamentelor la temperaturi superioare decât cele corespunzătoare regimului normal;
c. funcționarea anormală a instalațiilor;
d. factorul de putere scade;
e. compensarea puterii reactive cu condensatoare nu este în general posibilă;
f. apar rezonanțe care produc supratensiuni sau supracurenți.

În figura 3.1 poate fi urmărită o funcție deformantă, periodică.

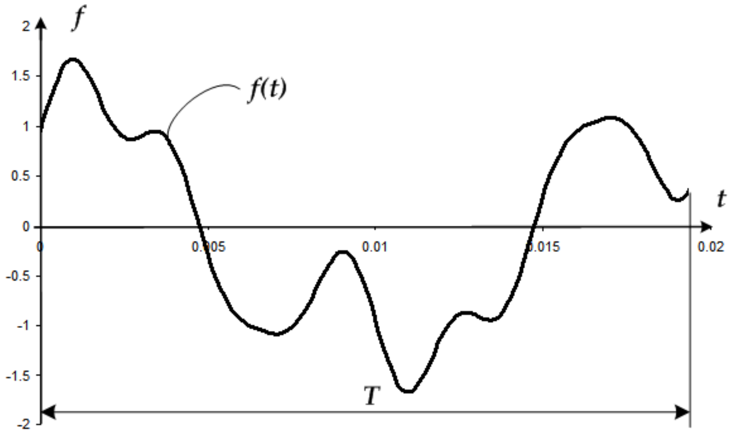

Fig. 3.1. Funcție periodică nesinusoidală

Datorită descompunerii Fourier, orice semnal periodic de perioadă T (curent sau tensiune) poate fi exprimat ca o sumă de semnale sinusoidale de diverse frecvențe (pulsații) și o componentă de curent continuu (armonica de ordin 0).

$$f(t) = A_0 + \sum_{k=1}^{\infty}\left[B_k \sin(k\omega t) + C_k \cos(k\omega t)\right]$$

în care coeficienții transformării se calculează după cum urmează:

$$A_0 = \frac{1}{T}\int_0^T f(t)dt$$

$$B_k = \frac{2}{T}\int_0^T f(t)\sin(k\omega t)dt$$

$$C_k = \frac{2}{T}\int_0^T f(t)\cos(k\omega t)dt$$

În aceste relații k (un număr natural) reprezintă *ordinul armonicii*. Componenta cu k = 1 se numește *fundamentală*, iar pentru $k \geq 2$ acestea poartă denumirea de *armonici superioare*.

Seria Fourier a unui semnal periodic admite şi o scriere mai restrânsă, utilizată în practica inginerească îndeosebi:

$$f(t) = A_0 + \sum_{k=1}^{\infty} A_k \sin(k\omega t + \varphi_k)$$

în care nou introduși coeficienți sunt:

$$A_k = \sqrt{B_k^2 + C_k^2}$$

$$\varphi_k = arctg\frac{B_k}{C_k}$$

După aplicarea acestei transformări, semnalul din figura 3.1 este în fapt o sumă de 4 funcții sinusoidale defazate între ele cu diverse unghiuri (fig. 3.2).

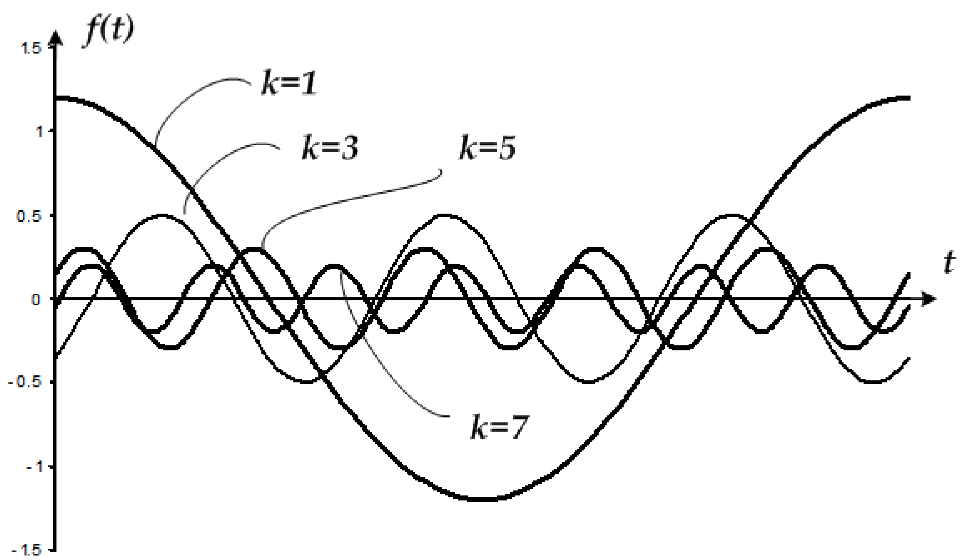

Fig. 3.2. Descompunerea unui semnal periodic nesinusoidal

Coeficienţii descompunerilor Fourier au o serie de proprietăţi:

- dacă funcţia $f(t)$ este impară: $A_0 = 0$, $C_k = 0$;
- dacă funcţia $f(t)$ este pară: $B_k = 0$.

Aceste proprietăţi au o importanţă practică deosebită. Spre exemplu, un semnal electroenergetic este prin excelenţă simetric faţă de axa ordonatelor, ceea ce determină ca descompunerea lui să nu conţină armonici pare (2, 4, s.a.m.d.) Pe de altă parte, semnalele redresate din electronica de putere sunt preponderent pline de armonici pare.

III.2. Parametri caracteristici mărimilor periodice nesinusoidale

Fie două funcţii periodice nesinusoidale:

$$m(t) = M^{(0)} + \sum_{k=1}^{\infty} M^{(k)}\sqrt{2}\sin(k\omega t + \alpha_k) = M^{(0)} + \sum_{k=1}^{\infty} m^{(k)}(t)$$

$$n(t) = N^{(0)} + \sum_{k=1}^{\infty} N^{(k)}\sqrt{2}\sin(k\omega t + \beta_k) = N^{(0)} + \sum_{k=1}^{\infty} n^{(k)}(t)$$

$$m(t)\cdot n(t) = M^{(0)}\cdot N^{(0)} + M^{(0)}\sum_{k=1}^{\infty} n^{(k)}(t) +$$

$$+ N^{(0)}\sum_{k=1}^{\infty} m^{(k)}(t) + \sum_{k=1}^{\infty}\sum_{j=1}^{\infty} m^{(k)}(t)\cdot n^{(j)}(t)$$

Pentru aceleaşi armonici:

$$(m(t)\cdot n(t))_{med} = M^{(0)}\cdot N^{(0)} + \sum_{k=1}^{\infty} M^{(k)}\cdot N^{(k)}\cdot\cos(\alpha_k - \beta_k)$$

a. *Valoarea efectivă*:

$$M_{ef} \overset{d}{=} \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T m^2(t)dt}$$

$$M_{ef}^2 = \frac{1}{T}\int_0^T \left[M^{(0)} + \sum_{k=1}^{n} m^{(k)}(t)\right]\cdot\left[M^{(0)} + \sum_{k=1}^{\infty} m^{(k)}(t)\right] =$$

$$= \frac{1}{T}\int_0^T M^{(0)^2} dt + \frac{M^{(0)}}{T}\int_0^T \left[\sum_{k=1}^{\infty} m_1^{(k)}(t) + \sum_{j=1}^{\infty} m^{(j)}(t)\right] dt +$$

$$+ \frac{1}{T}\int_{k=1}^{\infty}\sum_{j=1}^{\infty} m^{(k)}(t)\cdot m^{(j)}(t)dt =$$

$$= M^{(0)^2} + 2M^{(0)}\sum_{k=1}^{\infty} m_{med}^{(k)} + \sum_{k=1}^{\infty}\sum_{j=1}^{\infty}\left[m^{(k)}\cdot m^{(j)}\right]_{med}$$

Dar, $\sum_{k=1}^{\infty} m_{med}^{(k)} = 0$ *si* $\sum_{k=1}^{\infty}\sum_{j=1}^{\infty}\left[m^{(k)}\cdot m^{(j)}\right]_{med} = \sum_{k=1}^{n}\left(m^{(k)^2}\right)_{med} = \sum_{k=0}^{\infty} M_{ef}^{(k)^2}$

Deci:

$$M_{ef} = \sqrt{M^{(0)^2} + M^{(1)^2} + M^{(2)^2} + \dots} = \sqrt{M^{(0)^2} + M^{(1)^2} + M_d^2}$$

$$M_d \overset{d}{=} \sqrt{M^{(2)^2} + M^{(3)^2} + \dots} = \text{reziduu deformant}$$

Caracterizarea formei de undă se poate face cu ajutorul unor parametrii/coeficienți energetici.

b. *Coeficientul de vârf* - se definește ca raportul dintre valoarea maximă (amplitudinea curbei nesinusoidale periodice) notată cu M_{Max} sau $\hat{M}$ și valoarea efectivă M_{ef} a acesteia:

$$CF \overset{d}{=} \frac{M_{\max}}{M_{ef}},$$

1. pentru o curbă sinusoidală, $CF = \sqrt{2}$;
2. pentru o curbă ascuțită, $CF > \sqrt{2}$ – aceste curbe pot determina solicitări termice (în cazul curentului) sau de izolație (în cazul tensiunii) asupra echipamentelor electrice și de rețea.
3. pentru o curbă aplatizată, $CF < \sqrt{2}$.

c. *Nivelul armonicii* - de rang k a unei mărimii periodice nesinusoidale se determină ca raport exprimat în procente dintre valoarea efectivă a armonicii considerate M_k (evaluate din analiza armonică) și valoarea efectivă a armonicii fundamentale M_1:

$$\gamma_k[\%] = \frac{M^{(k)}}{M^{(1)}}\cdot 100[\%]$$

În figura 3.3 este reprezentat spectrul armonic pentru curba prezentată anterior.

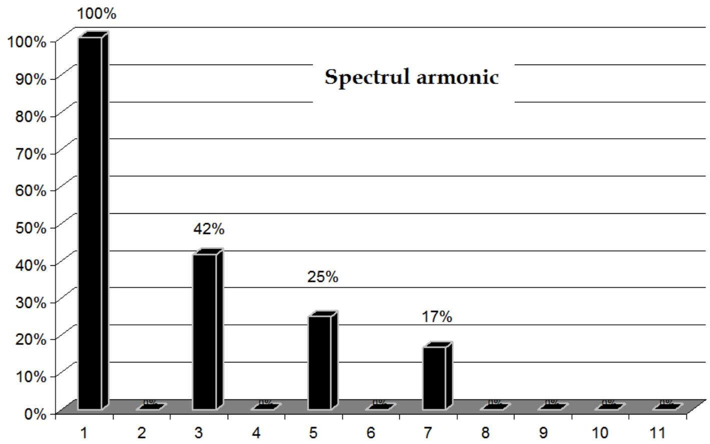

Fig. 3.3. Spectrul armonic al funcției nesinusoidale

d. *Factorul de distorsiune* – este raportul între reziduul deformant al mărimii nesinusoidale și valoarea efectivă a semnalului:

$$DF \stackrel{d}{=} \frac{M_d}{M_{ef}} = \frac{\sqrt{\sum_{k=2}^{\infty} M^{(k)^2}}}{M_{ef}}$$

e. *Factorul de distorsiune armonică totală* (THD) – este raportul dintre reziduul deformant și valoarea efectivă a fundamentalei.

$$THD = \frac{M_d}{M_1} = \frac{\sqrt{\sum_{k=2}^{\infty} M^{(k)^2}}}{M_1}$$