

CALCULUL CIRCUITELOR ELECTRICE CU INDUCTANȚĂ MUTUALĂ ÎN REGIM TRANZITORIU

Andronic Ion , Spînu Vasile, Arhip Potâng

Universitatea Tehnică a Moldovei

Abstracții: Ideea de bază a lucrării este analiza circuitelor electrice cu inductanță mutuală în regim tranzitoriu. Aplicarea metodei decuplării legăturii inductive. Descrierea algoritmului și procedurilor ce trebuie efectuate la aplicarea metodei clasice și metodei operaționale pentru circuitele electrice liniare în regim tranzitoriu. Analiza efectuată ne permite să apreciem eficiența metodelor aplicate prin luarea în considerație a dificultăților la calculele efectuate. Pentru verificarea calculelor date este necesar să se adeverească condiția, că rezultatele obținute în urma aplicării ambelor metode trebuie să fie identice sau cu o diferență foarte mică.

Cuvintele cheie: Regim tranzitoriu, procese tranzitorii, decuplarea legăturii inductive, metoda clasică, metoda operațională, rădăcinile ecuației caracteristice, componenta forțată.

În afară de calculul și studiul proprietăților circuitelor electrice în regim permanent o importanță deosebită are studiul fenomenelor tranzitorii în circuitele electrice liniare. Analiza fenomenelor tranzitorii ne permite de a pune în evidență supratensiunile eventuale pe diferite porțiuni ale circuitului ce pot fi periculoase pentru izolația instalației. Deasemenea, de a lua în considerație majorările eventuale ale amplitudinilor curentului în ramurile circuitului la regim tranzitoriu. Prezintă dificultăți analiza circuitelor electrice cu inductanță mutuală la regim tranzitoriu. În lucrarea de față este pusă problema analizei circuitelor electrice cu inductanță mutuală la regim tranzitoriu prin aplicarea metodei clasice și metodei operaționale.

Calculul mărimilor circuitului electric în regim tranzitoriu prin metoda clasică constă în rezolvarea directă a ecuației diferențiale față de mărimea în căutare. În această lucrare se propune de aplicat următoarea procedură la calculul mărimilor circuitului cu inductanță mutuală în regim tranzitoriu. Procedura propusă este demonstrată sub forma de etape. Etapele de calcul se pot urmări schematic mai jos:

I-etapa

Aplicarea metodei de decuplare a legăturii inductive pentru circuitul considerat pînă la comutație.

Determinarea valorilor inițiale independente cu aplicarea schemei echivalente de substituție fără legatură inductivă.

Datele numerice

$$e = 141 \sin(314t + 90^\circ), V;$$

$$R = 10, \Omega;$$

$$R_1 = 40, \Omega;$$

$$R_2 = 30, \Omega;$$

$$L_1 = 0,2, H;$$

$$L_2 = 0,15, H;$$

$$M = 0,05, H;$$

II-etapa

Alcatuirea sistemului de ecuații prin aplicarea teoremelor lui Kirchhoff pentru circuitul considerat după comutație.

Rezolvarea sistemului de ecuații pentru obținerea ecuației față de mărimea în căutare

Rezolvarea directă a ecuațiilor diferențiale față de mărimea în căutare.

Expresiile marimilor în căutare în formă generală.

Determinarea constantelor de integrare prin aplicarea valorilor inițiale independente și dependente.

Se determină legea curenților $i(t)$, $i_1(t)$, $i_2(t)$ în regim tranzitoriu (fig1).

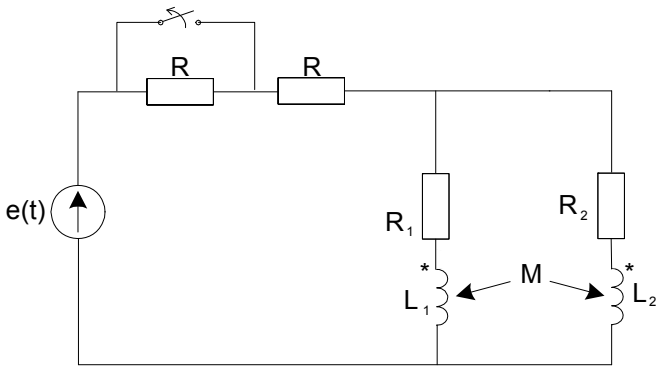


Fig.1 Circuit electric cu inductanță mutuală

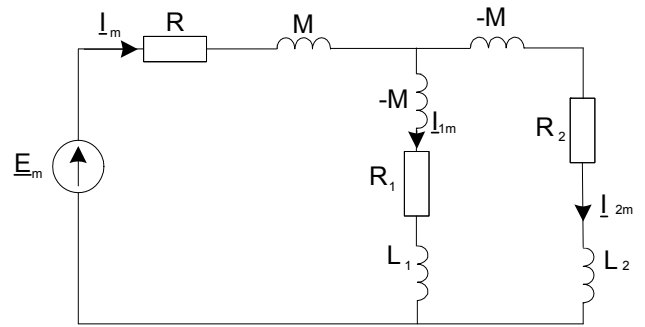


Fig.2 Circuit electric fără legătură

Schema echivalentă de substituiri fără legătură inductivă este prezentată în fig.2 (circuitul considerat pînă la comutație). Valorile inițiale independente calculate pentru circuitul din fig.2 sunt:

$$i(0) = 2.024, A$$

$$i_1(0) = 0.799, A$$

$$i_2(0) = 1.224, A$$

$$i(t) = i_f(t) + A_1 e^{p_1 t} + B_1 e^{p_2 t}, A$$

$$i_1(t) = i_{1f}(t) + A_2 e^{p_1 t} + B_2 e^{p_2 t}, A$$

$$i_2(t) = i_{2f}(t) + A_3 e^{p_1 t} + B_3 e^{p_2 t}, A$$

Sistemul de ecuații alcătuit conform teoremelor lui Kirchhoff pentru circuitul din fig.3 (Circuitul considerat după comutație).

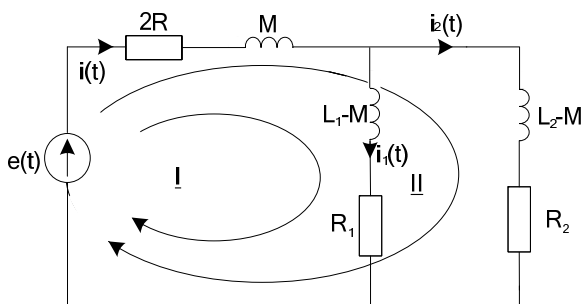


Fig.3 Circuit electric pentru valori momentane

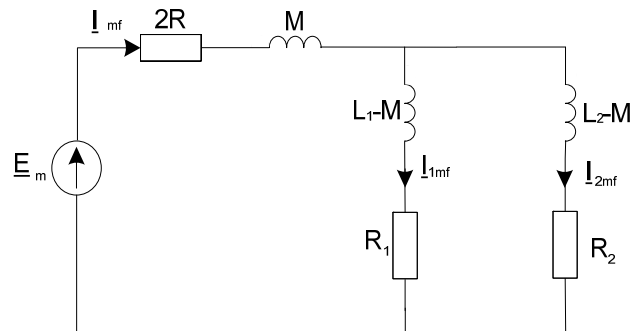


Fig.4 Circuit electric pentru valori amplitudinale complexe

Sistemul de ecuații alcătuit conform teoremelor Kirchhoff pentru circuitul din fig. 3:

$$\begin{cases} i(t) = i_1(t) + i_2(t), (1) \\ 2Ri(t) + M \frac{di}{dt} + (L_1 - M) \frac{di_1}{dt} + i_1(t) \cdot R_1 = e(t), (2) \\ 2Ri(t) + M \frac{di}{dt} + (L_2 - M) \frac{di_2}{dt} + i_2(t) \cdot R_2 = e(t), (3) \end{cases} \quad \begin{cases} i = i_f + i_l \\ i_1 = i_{1f} + i_{1l} \\ i_2 = i_{2f} + i_{2l} \end{cases}$$

Unde $i_f(t), i_{1f}(t), i_{2f}(t)$ sunt determinate în regim permanent aplicînd circuitul din fig.4.

Luînd în considerație că rădăcinile ecuației caracteristice respectiv sunt : $p_1 = -222,76s^{-1}$
 $p_2 = -364,734s^{-1}$

Avem expresiile funcțiilor în cautare în formă generală:

$$\begin{cases} i(t) = 2,799 \sin(\omega t + 47^\circ 35') + A_1 e^{p_1 t} + B_1 e^{p_2 t}, A \\ i_1(t) = 1,151 \sin(\omega t + 45^\circ 35') + A_2 e^{p_1 t} + B_2 e^{p_2 t}, A \\ i_2(t) = 1,644 \sin(\omega t + 48^\circ 58') + A_3 e^{p_1 t} + B_3 e^{p_2 t}, A \end{cases}$$

La determinarea $i(0)$ și derivatelor $i'(0), i_1'(0), i_2'(0)$ s-a aplicat sistemul de ecuații alcătuit conform teoremelor lui Kirchhoff pentru circuitul din fig.5:

$$\begin{aligned} i(0) &= 2.024, A \\ i'(0) &= 597.31, A \\ i_1'(0) &= 257.964, A \\ i_2'(0) &= 339.345, A \end{aligned}$$

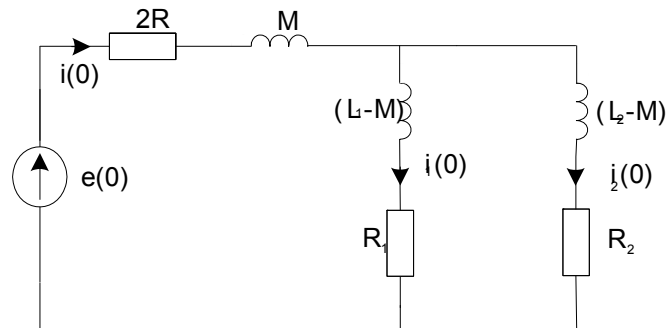


Fig.5 Circuitul electric la t=0.

Deci,avem sistemul :

$$\begin{cases} A_1 + B_1 = -0.0429, (1) \\ A_2 + B_2 = -0.0233, (2) \\ A_3 + B_3 = -0.0167, (3) \\ -222.76 A_1 - 364,734 B_1 = 4.675, (4) \\ -222.76 A_2 - 364,734 B_2 = 5.096, (5) \\ -222.76 A_3 - 364,734 B_3 = 0.677, (6) \end{cases}$$

De unde avem :

$$\begin{aligned} A_1 &= -0,0773 & B_1 &= 0,0344 \\ A_2 &= -0,024 & B_2 &= 0,0007 \\ A_3 &= -0,0381 & B_3 &= 0,0214 \end{aligned}$$

În rezultatul substituirii valorilor obținute avem expresiile pentru curenții respectivi :

$$i(t) = 2,799 \sin(\omega t + 47^\circ 30') - 0.0773 e^{-222,76 s^{-1}t} + 0.0344 e^{-364,734 s^{-1}t}, A$$

$$i_1(t) = 1,151 \sin(\omega t + 45^\circ 35') - 0.024 e^{-222,76 s^{-1}t} + 0.0007 e^{-364,734 s^{-1}t}, A$$

$$i_2(t) = 1,644 \sin(\omega t + 48^\circ 58') - 0.0381 e^{-222,76 s^{-1}t} + 0.0214 e^{-364,734 s^{-1}t}, A$$

Graficul funcției $i(t)$:

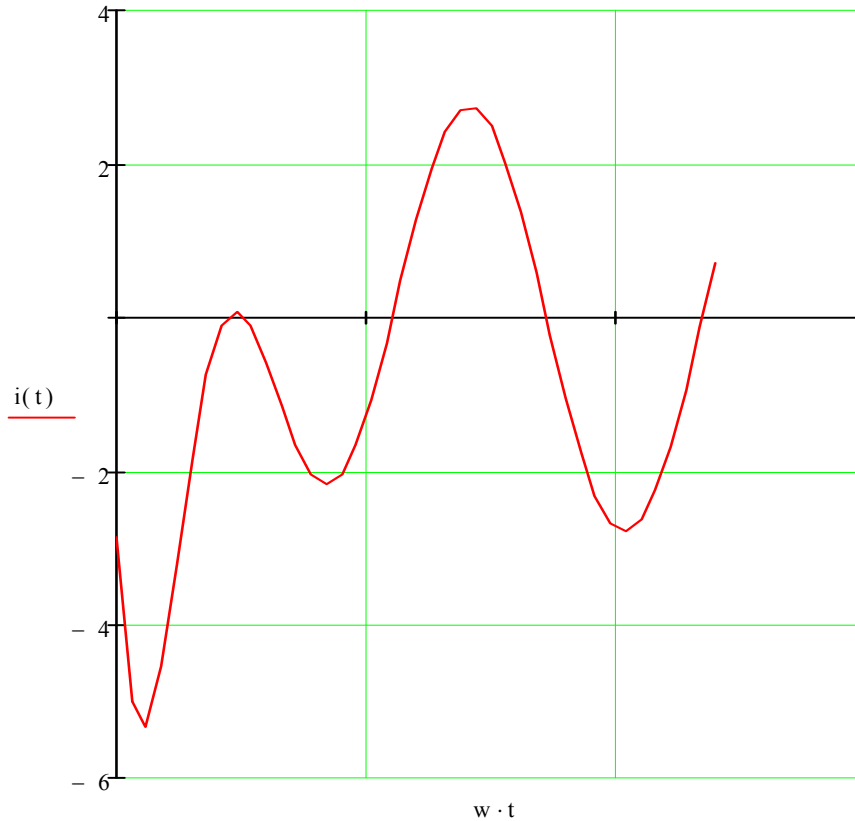


Fig.6 Graficul funcției $i(t)$ la regim tranzitoriu.

Concluzii:

- Procedura propusă pentru calculul mărimilor circuitelor electrice în regim tranzitoriu ne permite de analizat circuitele electrice cu inductanță mutuală.
- Procedura propusă poate fi aplicată deasemenea, la analiza transformatorului fără miez de fier în regim tranzitoriu.
- Metoda clasică poate fi aplicată numai la analiza circuitelor electrice cu „n” ecuații diferențiale ce nu depășesc ordinal „2” .
- În cazul când ordinul ecuațiilor depășesc ordinal „2” se recomandă de aplicat metoda operațională .

Bibliografie:

1. G. V. Zeveche. *Osnovo teorii țepei*. Moskva, 1985.
2. C. Șora. *Bazele electrotehnicii*. București, 1980.
3. L. A. Bessonov. *Teoreticeskie osnovi electrotehnikii*. Moskva, 1973.
4. Șimoni. *Electrotehnica teoretică*. București, 1978.
5. A.Potâng. *Procesele tranzitorii în circuite electrice liniare. Circuite cu parametri distribuți. (ciclul de prelegeri)*. U.T.M. 2002.