

## Някои методични особености при изследване на преходни процеси в линейни електрически вериги от втори ред по операторния метод във връзка с курсова задача по Теоретична електротехника

Анка Кръстева, Иван Гунев, Станимир Станев

*Training Model of Microprogramming Unit for Operation Control: The paper presents some methodological peculiarities of the transitional processes in relation with the course work in Electrical Engineering.*

**Key words:** transitional process, an electric circuit

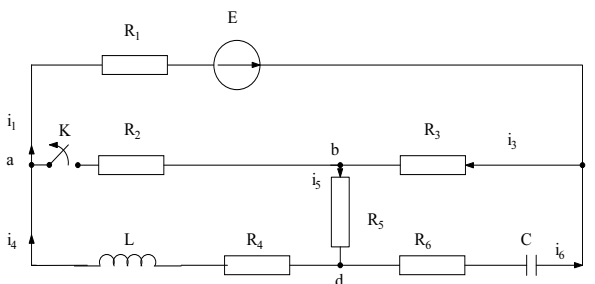
### ВЪВЕДЕНИЕ

В настоящата работа се предлага методика за решаване на курсова задача по Теоретична електротехника по операторния метод при всички възможни варианти, произтичащи, както от топологията на електрическата верига, така и от числените стойности на елементите. Изследваната електрическа верига е сложна верига с четири възела и шест клона с резистори. В четири от клоновете има по един индуктивен  $L$ , капацитивен  $C$ , комутиращ елемент  $K$  или източник на постоянно напрежение  $E$ .

### ИЗЛОЖЕНИЕ

Заданието на курсовата задача съдържа: топологията на електрическата верига, местоположението и стойностите на елементите -  $L, C, E$ , както и местоположението на комутиращия елемент  $K$ , който е затворен и при комутация се отваря. За улеснение се задават и посоките на токовете, които е задължително да бъдат спазвани при всички етапи на решение на задачата.

Една от възможните конфигурации на изследваната електрическа верига е дадена на фиг.1.



Фиг.1. Примерна схема на изследваната електрическа верига в курсовата задача по Теоретична електротехника

Решението се състои от няколко етапа:

#### 1. Определяне на началните условия

При затворен ключ  $K$  се определят всички токове и напрежението  $u_c$  на кондензатора. Тъй като електродвижещото напрежение  $E = \text{const}$ , то  $u_L(0-) = 0, i_C(0-) = 0$ . Това означава, че пад на напрежение върху индуктивния елемент  $L$  няма и ток през кондензатора  $C$  не преминава. Въз основа на първи и втори закон на комутацията се записва

$$i_L(0-) = i_L(0) = i_L(0+) \quad (1)$$

$$u_C(0-) = u_C(0) = u_C(0+) \quad (2)$$

За изчисляване на токовете е удобно прилагане на метода на преобразуване на електрически вериги (фиг.2).

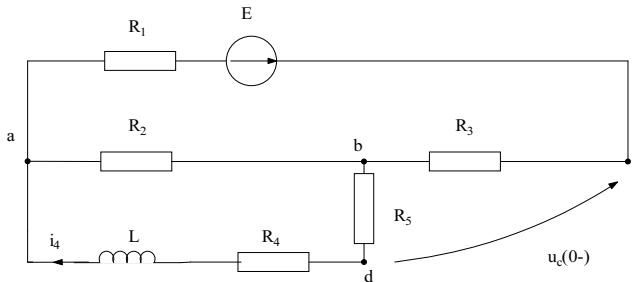
$$R_{245} = \frac{R_2 \cdot (R_4 + R_5)}{R_2 + R_4 + R_5} \quad (3)$$

$$i_1(0-) = \frac{E}{R_1 + R_3 + R_{245}} \quad (4)$$

$$u_{ab} = i_1(0-) \cdot R_{245} \quad (5)$$

$$i_L(0-) = i_4(0-) = \frac{u_{ab}}{R_4 + R_5} \quad (6)$$

$$u_C(0-) = i_1(0-) \cdot R_3 + i_4(0-) \cdot R_5 \quad (7)$$



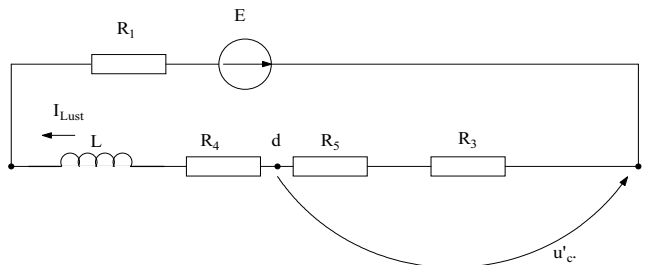
Фиг.2. Еквивалентна схема на електрическата верига преди комутация

### 2. Определяне на установения режим след комутация

Определят се токовете и напрежението на кондензатора достатъчно дълго време след комутацията (предполага се, че тогава преходният процес е затихнал) - фиг.3.

$$i'_L = \frac{E}{R_1 + R_3 + R_4 + R_5} \quad (8)$$

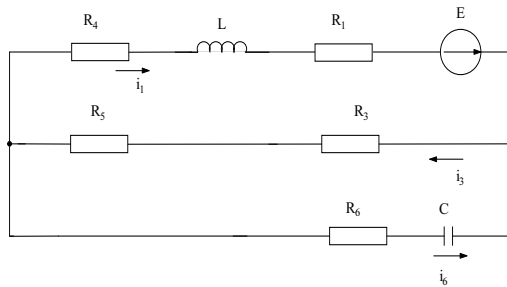
$$u'_C = i'_L \cdot (R_3 + R_5) \quad (9)$$



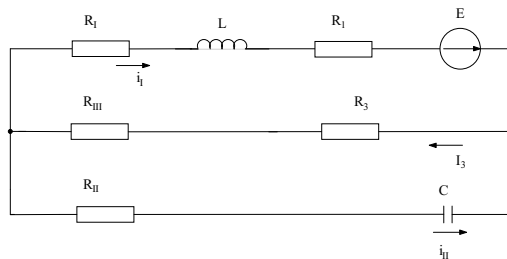
Фиг.3. Електрическа заместваща схема за определяне на установения режим след комутация

### 3. Преходен процес

Начертава се заместващата електрическа схема на веригата в реален вид:

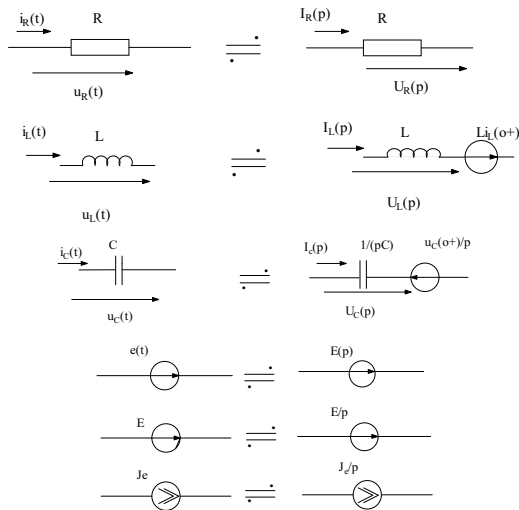


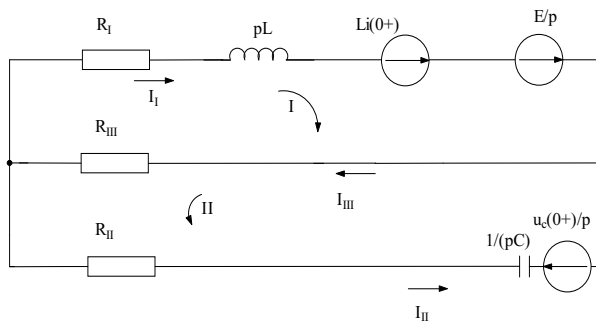
Фиг.4. Заместваща схема в реален вид



Фиг.5. Еквивалентна схема на електрическата верига след комутация

Съставя се еквивалентна операторна схема на веригата след комутация, като всеки елемент се заменя с операторния си образ, а именно [1, 2,3,4]:





Фиг.6.Еквивалентна операторна схема на електрическата верига след комутацията

Съставя се система уравнения по първи и втори закон на Кирхов в операторен вид:

$$\begin{cases} I_I \cdot (R_I + p.L) + I_{III} \cdot R_{III} = \frac{E}{p} + L.i(0+) \\ I_{II} \cdot (R_{II} + \frac{1}{p.C}) + I_{III} \cdot R_{III} = -\frac{u_c(0+)}{p} \\ I_{III} = I_I + I_{II} \end{cases} \quad (10)$$

От първото уравнение се изразява първи ток  $I_I$ , от второто уравнение се изразява втори ток  $I_{II}$  и се замества в третото уравнение. Получават се следните изрази:

$$I_I = \frac{\frac{E}{p} + L.i(0+) - I_{III} \cdot R_{III}}{R_I + p.L}; \quad I_{II} = \frac{-\frac{u_c(0+)}{p} - I_{III} \cdot R_{III}}{R_{II} + \frac{1}{p.C}} \quad (11)$$

$$I_{III} = \frac{\frac{E}{p} + L.i(0+) - I_{III} \cdot R_{III}}{R_I + p.L} + \frac{-\frac{u_c(0+)}{p} - I_{III} \cdot R_{III}}{R_{II} + \frac{1}{p.C}} \quad (12)$$

Търсеният ток представлява отношението на два полинома:

$$I_{III} = \frac{G(p)}{p.H(p)} \quad (13)$$

Намирането на оригинала, след определяне на операторния образ, се извършва чрез теоремата на разлагането - като операторния образ се представя във вида  $Y(p) = \frac{G(p)}{H(p)}$ . За да приложим тази теорема е необходимо операторния

образ  $Y(p)$  да бъде представен като сума от елементарни дроби. Разлагането на елементарни дроби зависи от вида на корените на  $H(p) = 0$ . Възможни са следните случаи[1,2,3,4]:

- а) корените на  $H(p) = 0$  са реални. Тогава процесът е аperiодичен.

$$i(t) = \frac{G(p_1)}{H'(p_1)} \cdot e^{p_1 t} + \frac{G(p_2)}{H'(p_2)} \cdot e^{p_2 t} \quad (14)$$

б) корените на  $H(p)=0$  са реални и има корен  $p=0$ . Процесът е апериодичен.

$$i(t) = \frac{G(0)}{H(0)} + \frac{G(p_1)}{p_1 H'(p_1)} \cdot e^{p_1 t} + \frac{G(p_2)}{p_2 H'(p_2)} \cdot e^{p_2 t} \quad (15)$$

в) корените на  $H(p)=0$  са двойка комплексно спрегнати числа:

$$\begin{cases} p_1 = \delta + j\omega \\ p_2 = \delta - j\omega \end{cases} \quad (16)$$

$$i(t) = 2 \cdot \text{Re} \left[ \frac{G(p_1)}{H'(p_1)} \cdot e^{p_1 t} \right] \quad (17)$$

Процесът е псевдопериодичен.

г) корените на  $H(p)=0$  са двойка комплексно спрегнати числа и имат корен равен на нула.

$$i(t) = \frac{G(0)}{H(0)} + 2 \cdot \text{Re} \left[ \frac{G(p_1)}{H'(p_1)} \cdot e^{p_1 t} \right] \quad (18)$$

Процесът е псевдопериодичен.

Предимството на операторния метод - спрямо класическия, се състои в директно намиране на интеграционните константи.

### Заклучение

Предложена е методика за изследване на преходни процеси в линейни електрически вериги по операторния метод, във връзка с курсовата задача по Теоретична електротехника. В методиката са систематизирани различни варианти, даващи възможност на студентите за по-лесно решаване на зададения вариант.

### ЛИТЕРАТУРА

[1] Армянов, Н., Т. Стоянова. Теоретична електротехника, част I и II, ПБ Русе, 2001.

[2] Армянов, Н. и др. Теоретична електротехника, Ръководство за семинарни упражнения, ПБ Русе, 2005.

[3] Фархи, С., С. Папазов. Теоретична електротехника, част I. Техника, 1987.

[4] Фархи, С., С. Папазов. Теоретична електротехника, част II. Техника, 1989.

### За контакти:

Гл. ас. д-р инж. Анка Кръстева, Катедра "Технически и природо-математически науки", Русенски университет "Ангел Кънчев" - Филиал Силистра, Тел.: 086/821-521, E-mail: [pkj@abv.bg](mailto:pkj@abv.bg).

Гл. ас. инж. Иван Гунев, Катедра "Технически и природо-математически науки", Русенски университет "Ангел Кънчев" - Филиал Силистра, Тел.: 086/821-521.

Гл. ас. мгр. инж. Станимир Станев, Катедра "Технически и природо-математически науки", Русенски университет "Ангел Кънчев" - Филиал Силистра, Тел.: 086/821-521, E-mail: [stanss@mail.bg](mailto:stanss@mail.bg).

**Докладът е рецензиран.**