

## МЕТОД НА ПРИСЪЕДИНЕНИТЕ СХЕМИ ЗА ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ЧУВСТВИТЕЛНОСТ НА СХЕМНИ ФУНКЦИИ НА ЕЛЕКТРИЧЕСКИ ВЕРИГИ

**Христина Спиридонова**  
[hristinaspiridonova@abv.bg](mailto:hristinaspiridonova@abv.bg)

*Висше транспортно училище „Тодор Каблешков” София,  
Факултет „Комуникации и електрообзавеждане в транспорта”  
бул. Гео Милев 158,  
БЪЛГАРИЯ*

**Ключови думи:** чувствителност, електрически вериги, метода на присъединените схеми

**Резюме:** На база на теорията за метода на присъединените схеми за определяне на чувствителност в електрически вериги, в доклада се определя чувствителност на изходното напрежение спрямо стойността на активното съпротивление за RC – верига. Направен е и анализ за преимуществата и недостатъците на метода.

### 1. Въведение в проблема

Теория на чувствителността [1,4] е универсален апарат за решаване на редица задачи, свързани с анализ и диагностика на електрически вериги (ЕВ). Функциите на чувствителност се ползват и като критерий за сравнение на различни конфигурации честотно-селективни вериги и представляват един от най-важните показатели при анализа им.

Функционирането на реалните ЕВ зависи от множество фактори (параметри), които отразяват особеностите на отделните елементи на веригата и условията за тяхното функциониране (технически параметри и параметри на външната среда). Вариациите на параметрите предизвикват съответни изменения на променливите на състоянието на веригата и влияят върху нейните характеристики.

Както е известно от теорията [3], абсолютна чувствителност на величината  $M$  към изменението на параметър  $q$ , представлява отношението:

$$(1) \quad D_q^M = \frac{\partial M}{\partial q} .$$

Често се търси т.нар. относителна чувствителност, която се определя като:

$$(2) \quad S_q^M = \frac{q}{M} \cdot \frac{\partial M}{\partial q}$$

Величината  $M$  може да бъде някоя от характеристиките на веригата в зависимост от изследването: изходно напрежение, предавателна функция, амплитудно-честотна или фазо-честотна характеристика и др.;  $q$  съответно може да е параметър на

елемент от веригата, координати на полюсите или нулите на предавателната функция и т.н.

Известни са няколко метода за определяне на чувствителност на ЕВ [2,4]:

- пряк – чрез аналитично диференциране на разглежданата функция на веригата по съответния параметър;

-метод на малките нараствания, при който функцията се диференцира спрямо параметъра числено [1,4];

- метод на присъединените схеми [4].

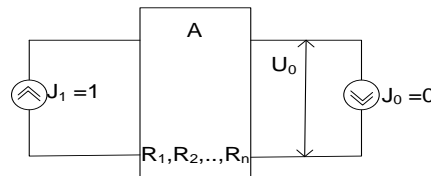
Макар че в литературата съществуват много изследвания по този въпрос, методът на присъединените схеми основно е използван за определяне на чувствителност на електронни схеми.

В настоящата работа, на база на теорията за метода на присъединените схеми [1-4], се определя чувствителността на изходното напрежение спрямо стойността на активното съпротивление за RC – верига и се прави оценка на преимуществата и недостатъците на метода.

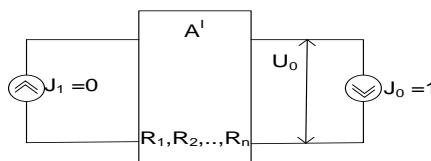
## 2. Теоретична постановка на метода на присъединените схеми

Методът на присъединените схеми за анализ на чувствителност на ЕВ се основава на теоремата на Теледжен [4] за съотношения между токовете и напреженията в две схеми с еднаква топология. В случая това са дадената схема и т.нар. „присъединена” схема. Последната се получава от изходната [4], като се дадат накъсо всички източници на напрежение, а на изхода ѝ се включи източник на единичен ток. Ако в ЕВ има нелинейни елементи, или зависими източници на енергия, спрямо тях се прилагат специални преобразувания [4]. Така от изходната схема, дадена на фиг.1, се получава присъединената, показана на фиг.2.

Към изходното напрежение  $U_0$  на ЕВ от фиг.1 е включен идеален източник на ток  $J_0$ . Така, както е заложено, че е с нулева стойност (съпротивлението му е  $\infty$ ), той не влияе върху работата на веригата.



Фиг.1



Фиг.2

За  $n$  – тия резистивен клон на ЕВ от фиг.1 е изпълнено:

$$(3) \quad I_n R_n = U_n,$$

При изменение  $\Delta R_n$  може да се запише:

$$(4) \quad I_n \Delta R_n + \Delta I_n R_n = \Delta U_n,$$

От теоремата на Теледжен следва, че

$$(5) \quad \sum_{n=1}^k (U_n + \Delta U_n) I_n' = \sum_{n=1}^k U_n' (I_n + \Delta I_n) = 0.$$

Като се отчете, че

$$(6) \quad \sum_i^k U_i(t) I_i(t) = 0 \quad \text{и} \quad \sum_i^k U_i'(t) I_i'(t) = 0,$$

следва:

$$(7) \quad \sum_n^k \Delta U_n(t) I_n'(t) = 0,$$

$$(8) \quad \sum_n^k U_n'(t) \Delta U_n(t) = 0.$$

Тогава, като се направят преобразувания и се отчете, че  $I_n' R_n = U_n'$ , се получава:

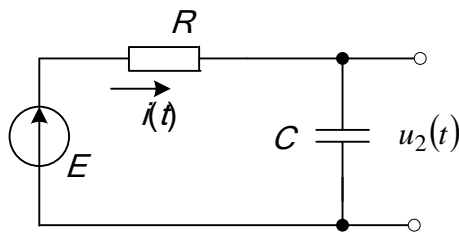
$$(9) \quad \Delta U_0 = -I_i I_i' \Delta R_i.$$

Следователно, чувствителността на изходното напрежение спрямо активното съпротивление в даден клон от ЕВ, се определя като произведение от токовете в този клон в изходната и присъединената схема:

$$(10) \quad S_{R_i} = -I_i I_i'$$

### 3. Илюстративен пример

За илюстрация на метода на присъединените схеми се предлага определяне на чувствителността на изходното напрежение спрямо съпротивлението на резистора за RC – верига (фиг.3).

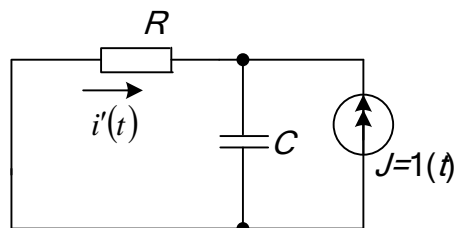


Фиг.3

При включване към напрежение  $E$  токът във веригата се изменя по закона:

$$(11) \quad i(t) = \frac{E}{R} e^{-\frac{t}{RC}}, A,$$

Присъединената схема за ЕВ от фиг.3 е дадена на фиг.4.



Фиг.4

Токът, протичащ във веригата от фиг.4 има вида:

$$(12) \quad i'(t - \tau) = -\frac{1}{RC} e^{-\frac{t - \tau}{RC}}, A$$

Следователно

$$(13) \quad S_{R_i} = -\int_0^t \frac{E}{R} e^{-\frac{t}{RC}} \left( -\frac{1}{RC} e^{-\frac{t-\tau}{RC}} \right) d\tau = \frac{Et}{R^2 C} e^{-\frac{t}{RC}}.$$

Аналогичен резултат би се получил и чрез пряко диференциране на изходното за фиг.3 напрежение:

$$(14) \quad \frac{\partial u_2(t)}{\partial R} = \frac{\partial}{\partial R} \left\{ E \left( 1 - e^{-\frac{t}{RC}} \right) \right\}, V.$$

Но, ако в разглеждания случай е сравнително просто прякото диференциране, то при по-сложни ЕВ, за които и аналитичният израз на съответната функция е по-сложен, това би било труден и продължителен процес.

В случай, че се приложи методът на малките нараствания, производната на изходното напрежение трябва да се определи като отношение на измененията на функцията и аргумента. Но, ако трябва да се определи чувствителността на функцията и относно параметъра  $C$ , схемата трябва да се проанализира още веднъж, което увеличава продължителността на математичните операции.

При метода на присъединените схеми за определяне на чувствителността спрямо всички елементи на ЕВ е достатъчно да се конфигурира само присъединената схема. Това е преимущество на метода. Недостатък е, че изчисленията се правят само за една изходна величина на веригата.

#### 4. Изводи

На база на направеното проучване и разглеждания конкретен пример могат да се направят следните изводи:

1. Определянето и анализът на чувствителността е важен етап от изследването на аналогови електрически вериги, при което се детерминират изискванията за точност на параметрите на елементите на веригата.

2. Методът на присъединените схеми за определяне на чувствителност в електрически вериги е по-общ и удобен за редица практически изследвания.

#### Литература

[1. Гехер К. Теория чувствительности и допусков электронных цепей. М. Сов. радио, 2007.

[2. Prasad S.C., Singh R.P. Group delay sensitivity-its estimation and application. The Radio and Electronic Engineer, 2005

[3Чернева Г. Теоретична електротехника 1 част., С. 2011 г.

Constantinescu F., Marin C.V., Nitescu M., Marin D. A new approach to parameter identification of linear circuits . IEEE Proc. of the international conference on signals, circuits and systems. Romania, 2003, pp. 457–460.

# METHOD OF THE ASSOCIATED CIRCUITS TO DETERMINE THE SENSITIVITY OF CIRCUIT FUNCTIONS OF ELECTRICAL CIRCUITS

**Hristina Spiridonova,**  
[hristinaspiridonova@abv.bg](mailto:hristinaspiridonova@abv.bg),

*Todor Kableshkov University of Transport,*  
*Sofia, 158 Geo Milev Str.*  
**BULGARIA**

***Key words:** sensitivity, loop, coupled circuit method*

***Abstract:** On the basis of the theory of the method of the attached circuits for determining the sensitivity in the loop, the report determines the sensitivity of the output voltage to the value of the active resistance for the RC circuit. An analysis of the advantages and disadvantages of the method is also made.*