

де  $t > 1$  - параметр, що визначається експериментальним шляхом і залишається приблизно однаковим для апаратури одного класу.

Співвідношення (2) - (4) разом з заданими параметрами  $P(t)$ ,  $K_r$ ,  $\alpha$  дозволяють в повній мірі сформулювати вимоги відносно системи РЕЗ-СД і оптимізувати конфігурацію останньої, починаючи зі стадії розробки функціональної схеми, наприклад передбачити необхідність збільшення надійності окремих складових РЕЗ, щоб компенсувати вклучення елементів СД.

### Висновки

При організації життєвого циклу РЕЗ, який з метою підвищення коефіцієнта готовності супроводжується СД доцільно розглядати комплексну систему, що складається з двох підсистем – безпосередньо з РЕЗ і відповідної СД, до складу якої входять спеціальні елементи вбудовані в РЕЗ. Такий підхід дозволяє розпочати розробку СД на ранніх стадіях проектування РЕЗ, забезпечивши умови для оптимізації параметрів як РЕЗ так і СД, при мінімальних матеріальних витратах.

### Література

1. Долматов А.В., Кофанов Ю.Н., Увайсов С.Ю. Организация жизненного цикла изделий радиоэлектроники с учетом задач диагностики. // Качество ИПИ-технологии. - 2005, № 1. С.14-19.
2. Скляр Б. Цифровая связь. М.: Изд. дом "Вильямс", 2004. 1104 с.
3. Уткін Д.М., Мірських Г.О. Діагностування радіоелектронної апаратури в інструментальному середовищі LabVIEW. // Вісник Нац. техн. ун-ту України "Київ. політехн. ін-т". Серія – Радіотехніка. Радіоапаратобудування. - 2007.-Вип.35. С. 88-93.
4. Черкесов Г.Н. Надежность аппаратно-програмных комплексов. СПб.: "Питер". 2005. – 479 с.

<b>Ключові слова:</b> радіоелектроніка, радіоелектронний засіб, діагностика, контроль	
Мирских Г.А., Могильный С.Б., Уткин Д.Н.	Mirskikh G.A., Mogylnyi S.B., Utkin D.N.
<b>Организация жизненного цикла радиоэлектронных средств с учетом системы диагностики</b>	<b>Organisation of the life circle with account of the diagnostic system</b>
Показано, что при организации жизненного цикла радиоэлектронного устройства целесообразно рассматривать его как подсистему, которая входит в состав интегрированной системы наряду с подсистемой, выполняющей функции диагностики	It is shown, that at organization of life cycle of the radioelectronic device it is expedient to consider it as a subsystem, which is included into structure of the integrated system alongside with a subsystem carrying out function of diagnostics

УДК 621.314

## ІНЖЕНЕРНА МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ЄМНІСНОГО НАКОПИЧУВАЧА РАДІОЕЛЕКТРОННИХ ЗАСОБІВ

Зінковський Ю.Ф., Смолянінов В.Г., Біденко В.А.

*Наведена методика вибору величини ємності і параметрів напруги форсуемого конденсатора-накопичувача електромагнітних виконуючих пристроїв РЕЗ за допомогою номограм.*

До складу радіоелектронних засобів (РЕЗ) часто входять електромагнітні виконуючі пристрої (механізми та двигуни), для підвищення швидкості спрацювання яких при зменшенні енергетичних витрат використовують

різні методи та схеми форсування.

### Постановка задачі

Покращити швидкодію та енергетичні характеристики електромагнітних виконуючих пристроїв РЕЗ можна за допомогою їх форсованого включення [1], що пов'язане з прискореним накопиченням енергії в обмотках, яке досягається за рахунок підвищення доданої на них потужності. Підвищення потужності можна досягти використовуючи джерела живлення з різними рівнями напруги [2,3], але при цьому коефіцієнт корисної дії (ККД) пристроїв не дуже високий. Інколи, використання джерел живлення з кількома рівнями напруги є не доцільним, або не можливим, наприклад, в автономних РЕЗ. Тоді питання зменшення часу включення (відключення) та підвищення ККД виконуючих пристроїв РЕЗ вирішується за допомогою ємнісних накопичувачів на основі конденсаторів форсування, які акумулюють рекуперуєму енергію, що накопичується в обмотках під час роботи.

Для розрахунку величини ємності та параметрів напруги конденсатора форсування, потрібна розробка методики, що не потребує складних розрахунків. Таким чином задача дослідження полягає в розробці інженерної методики, яка б дозволила при достатній простоті та наочності в використанні, одержати результат максимально наближений до дійсного.

### Теоретичні викладки

Електромагнітні виконуючі пристрої РЕЗ можна уявити як активно – індуктивне навантаження, паралельно до якого увімкнено конденсатор форсування – накопичувач  $C$ , рис. 1, що утворює коливальний  $RLC$  – контур з високою добротністю для більш повної передачі енергії.

З метою визначення максимальної величини напруги підзарядки конденсатора  $C$  проведемо аналіз даного режиму роботи схеми за умови повної передачі енергії, збереженої в індуктивності навантаження, на конденсатор форсування.

Електрична схема для розрахунку підзарядки конденсатора показана на рис.1. На схемі вказана полярність напруги на конденсаторі  $C$  і напрям струму в індуктивності обмотки  $L_H = L_{MAX}$ , що має місце в початковий момент часу після включення навантаження. Для даного електричного ланцюга може бути складене наступне диференціальне рівняння [2]

$$L_{MAX}C \frac{d^2U_C}{dt^2} + R_H C \frac{dU_C}{dt} + U_C = 0. \quad (1)$$

В ланцюзі, що представлений на рис. 1, в залежності від величини параметрів схеми можливі три різні режими: аперіодичний, граничний чи критичний і періодичний чи коливальний. Далі аналіз проводиться для випадку, коли в ланцюзі відбуваються затухаючі синусоїдальні коливання.

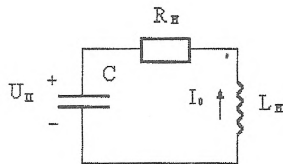


Рис.1

Враховуючи параметри електромагнітних виконуючих пристроїв РЕЗ, такий режим виявляється найбільш характерним для даного ланцюга [1]. Рішення диференціального рівняння (1), для випадку коливального процесу в ланцюзі, при відсутності зовнішнього джерела збудження, зручно записати у вигляді [1]

$$U_C = Ae^{-\alpha t} \sin(\omega_{cb}t + V). \quad (2)$$

Тоді струм в контурі

$$i = C \frac{dU_C}{dt} = C \left[ Ae^{-\alpha t} (-\alpha \sin(\omega_{cb}t + V) + \omega_{cb} \cos(\omega_{cb}t + V)) \right]. \quad (3)$$

Постійні інтегрування  $A$  і  $V$  визначимо з початкових умов  $U_C(0) = U_n$  та  $i(0) = I_0$  при  $t=0$ , початкове значення струму прийнято рівним номінальному струму в навантаженні. В залежності від способу комутації [2], він може відрізнятись від номінального значення, таким чином

$$I_0 = \frac{I_H}{K} = \frac{U_n}{R_H \cdot K},$$

де  $R_H$  - опір навантаження,  $K$  - коефіцієнт, враховуючий в скільки разів струм в навантаженні менше його номінального значення.

З урахуванням прийнятих початкових умов отримуємо

$$A = \frac{U_n}{\sin V}, \quad V = \arctg \frac{\omega_{cb}}{\frac{1}{C \cdot R_H \cdot K} + \alpha}, \quad (4)$$

де  $\alpha = R_H / 2L_{MAX}$ ;  $\omega_{cb} = \sqrt{(1/CL_{MAX}) - (R_H^2/4L_{MAX}^2)}$  - частота власних коливань контуру,  $Q = (1/R_H)\sqrt{L_{MAX}/C}$  - добротність контуру.

Визначимо час  $t_m$ , при якому напруга на конденсаторі форсування досягає максимального значення, при цьому струм в обмотці падає до нуля:

$$\frac{dU_C}{dt} = 0. \quad (5)$$

Розв'язання рівняння (5) отримуємо у вигляді

$$t_m = \frac{1}{\omega_{cb}} \left( \arctg \frac{\omega_{cb}}{\alpha} - V \right) = \frac{1}{\omega_{cb}} \arctg \frac{\omega_{cb}}{\alpha(1+2K)}. \quad (6)$$

Підставляємо (6) в (2) з урахуванням (4) і зробивши математичні перетворення, отримуємо вираз, визначаючий максимальну напругу на форсуючому конденсаторі

$$U_{C_{MAX}} = \frac{U_n}{K} \sqrt{(Q+K)^2 + K(1-2Q)} \exp \left( -\frac{\alpha}{\omega_{cb}} \arctg \frac{\omega_{cb}}{\alpha(1+2K)} \right). \quad (7)$$

З урахуванням того, що  $\omega_{cb} / \alpha = \sqrt{4Q^2 - 1}$  вираз (7) матиме вигляд:

$$U_{C_{max}} = \frac{U_n}{K} \sqrt{(Q+K)^2 + K(1-2Q)} \exp\left(-\frac{1}{\sqrt{4Q^2-1}} \arctg \frac{\sqrt{4Q^2-1}}{1+2K}\right). \quad (8)$$

Мінімальне значення  $U_{C_{max}}$  має при  $Q=0,5$ , що відповідає критичному режиму роботи контуру перезаряду. При цьому величина конденсатора форсування має значення  $C_{kp} = 4L_{max} / R_n^2$ . Подамо цю величину ємності у вигляді  $C = C_{kp} / \lambda$ , де  $\lambda$  – коефіцієнт, що показує у скільки разів значення ємності конденсатора форсування відрізняється від його значення, відповідно до критичного. Таким чином, вираз для визначення ємності конденсатора форсування матиме вигляд:

$$C = \frac{4L_{max}}{R_n^2 \lambda}. \quad (9)$$

З урахуванням, що  $Q^2 = \lambda / 4$ , представимо (8) у вигляді:

$$U_{C_{max}} = \frac{U_n}{2K} \sqrt{4K^2 + 4K + \lambda} \exp\left(-\frac{1}{\sqrt{\lambda-1}} \arctg \frac{\sqrt{\lambda-1}}{1+2K}\right). \quad (10)$$

З використанням виразу (8) та (10) проведемо розрахунки, результати яких наведено відповідно в табл. 1 та табл. 2.

Таблиця 1

Q \ K	1	1,5	2	3	5	7
1	1,280	1,142	1,091	1,053	1,024	1,007
2	1,945	1,513	1,347	1,159	1,071	1,026
3	2,769	2,007	1,680	1,361	1,152	1,073
4	3,649	2,575	2,079	1,584	1,251	1,130
5	4,603	3,162	2,493	1,823	1,379	1,203
6	5,518	3,744	2,916	2,129	1,511	1,281
7	6,525	4,380	3,415	2,400	1,657	1,383
8	7,495	5,014	3,861	2,703	1,826	1,479
9	8,494	5,594	4,397	2,993	1,984	1,584
10	9,511	6,265	4,792	3,288	2,168	1,687

Таблиця 2

\lambda \ K	1	1,5	2	3	5	7
10	1,635	1,349	1,160	1,135	1,041	1,017
40	2,893	2,102	1,739	1,404	1,163	1,085
80	4,118	2,852	2,279	1,720	1,318	1,165
120	5,061	3,429	2,714	1,991	1,444	1,239
160	5,832	3,989	3,098	2,215	1,559	1,322
200	6,589	4,420	3,453	2,421	1,683	1,389
240	7,269	4,861	3,747	2,634	1,786	1,454
280	7,828	5,227	4,056	2,834	1,883	1,515
320	8,438	5,631	4,322	3,004	1,988	1,574
360	9,031	6,018	4,613	3,107	2,083	1,631
400	9,598	6,395	4,894	3,319	2,168	1,710

Розрахункові данні табл. 1, 2 використаємо для побудови номограм розрахунку величини ємності конденсатора форсування (див. рис. 2).

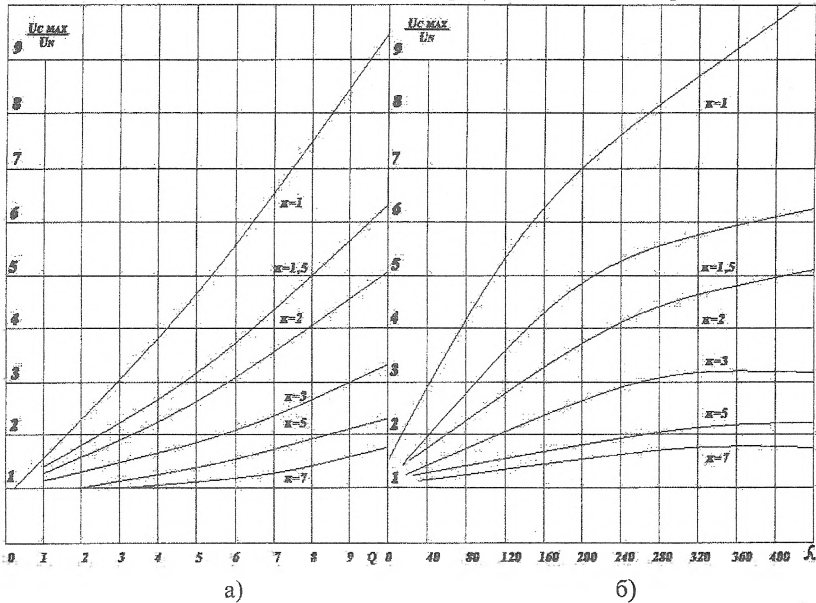


Рис.2. Номограми для розрахунку ємності конденсатор форсування і напруги на ньому

Причому на рис. 2,а наведена залежність відповідного перевищення напруги на конденсаторі  $U_{C_{max}} / U_n$  від добротності контуру  $Q$ , обчислена за формулою (8), а на рис. 2,б - залежність відносного перевищення напруги на конденсаторі  $U_{C_{max}} / U_n$  від коефіцієнта  $\lambda$ , обчислена за формулою (10). Отримане значення  $\lambda$  і використовується при розрахунках ємності конденсатора форсування. В цілому порядок розрахунку ємності конденсатора форсування наступний:

- по рис. 2,б визначається значення коефіцієнта  $\lambda$  для заданого значення перевищення напруги на конденсаторі форсування у порівнянні з напругою джерела живлення;
- за визначеним значенням  $\lambda$  і відомим параметрам електромагнітних пристроїв  $L_{max}$  та  $R_n$ , за формулою (9) розраховується величина ємності конденсатора форсування;
- після розрахунку ємності конденсатора форсування по рис. 2,а, визначається добротність контуру перезарядки  $Q$  і уточнюється значення  $U_{C_{max}}$  по формулі (8).

**Експериментальна перевірка методики**

З метою перевірки адекватності наведеної методики, були визначені параметри ємності та напруги на конденсаторі форсування.

В якості прикладу, виконаємо розрахунок величини ємності конденсатора форсування для отримання  $U_{C_{MAX}} = 80$  В, при наступних вихідних даних:  $U_n = 20$  В,  $R_H = 3$  Ом,  $L_{MAX} = 27$  мГц,  $K = 1$ .

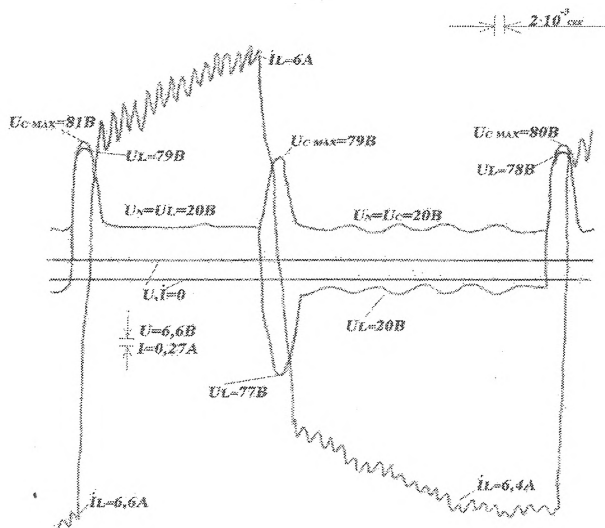


Рис. 3. Осцилограми напруги на конденсаторі форсування та струму на навантаженні.

По номограмі на рис. 2,б для відношення  $U_{C_{MAX}} / U_n = 4$  знайдемо коефіцієнт  $\lambda = 78$ . Підставивши в (9) відомі значення, знайдемо величину ємності форсуючого конденсатора  $C = 153 \cdot 10^{-6}$  Ф. По номограмі на рис. 2,а, знайдемо для  $U_{C_{MAX}} / U_n = 4$  значення добротності контуру перезаряду  $Q = 4,4$ . З виразу (8) уточнюємо значення  $U_{C_{MAX}} = 82,79$  В.

Для порівняння розрахункових і експериментальних даних, з урахуванням того, що величина ємності конденсатора форсування в експерименті була обрана рівною  $C = 150$  мкФ, зробимо уточнюючий розрахунок величини  $U_{C_{MAX}}$ . З виразу (9), визначимо значення коефіцієнта  $\lambda = \frac{4L_{MAX}}{CR_H^2} = 80$ .

По номограмі рис. 2,б для  $\lambda = 80$ , визначаємо величину відношення  $U_{C_{MAX}} / U_n = 4,1$ , звідки  $U_{C_{MAX}} = 82$  В. По номограмі рис. 2,а визначаємо значення добротності контуру перезарядки  $Q = 4,5$ , використовуючи його

в (8) для розрахунку  $U_{C_{max}} = 82,02 \text{ В}$ .

Аналізуючи експериментальні осцилограми, рис. 3, напруги та струму, де  $U_{C_{max}}$  - напруга на конденсаторі форсування під час перезарядки;  $U_H = U_C$  - напруга джерела живлення, та на конденсаторі форсування в робочому режимі;  $I_L$  - струм на навантаженні виконуючих пристроїв РЕЗ, можна побачити, що за рахунок напруги  $U_{C_{max}}$ , яка нагромаджується в форсуючому конденсаторі, значно покращується фронт імпульсу струму навантаження  $I_L$ , що дозволяє збільшити швидкість спрацювання виконуючого пристрою РЕЗ та покращити енергетичні характеристики та ККД схеми. При порівнянні з експериментальними значеннями напруги заряду форсуючого конденсатора, рис. 3, де середня величина становить,  $U_{C_{max}} = 80 \text{ В}$ , тоді відносна похибка для розрахункових та вимірних значень не перевищує 3%, що задовільно для інженерної методики. Розбіжності між експериментальними та розрахунковими даними можна пояснити наявністю в коливальному контурі втрат при перезарядці.

За рахунок форсованого переключення виконуючих пристроїв РЕЗ, можна досягти поліпшення швидкісних та енергетичних характеристик схеми, а наведена методика дозволяє розраховувати величину ємності та напруги на конденсаторі форсування, що дозволяє рекомендувати її для використання в інженерній практиці.

#### Література

1. Леоненко Л.И. Полупроводниковые форсирующие схемы. М.: Энергия, 1974. 96с.
2. Электромагнитный привод робототехнических систем/Афонин А.А., Билозер Р.Р., Гребеников В.В. и др. – Киев: Наук. думка, 1986. – 272с.
3. Шустов М. А. Практическая схемотехника. Кн. 5. Полупроводниковые приборы и их применение. - М.: Альтекс, 2004. – 300с.

**Ключові слова:** ємність, форсуючий конденсатор, номограма.

Зиньковский Ю.Ф., Смолянинов В.Г., Биденко В.А. Инженерная методика расчета емкостного накопителя радиоэлектронных средств	Zinkovskiy Y.F., Smolyaninov V., Bidenko V. Simplify method of the calculation capacity accumulation.
Приведена упрощенная методика, которая позволяет получить величину емкости и напряжения форсирующего конденсатора емкостного накопителя исполнительных устройств.	This article presents the simplify method of the capacity accumulation parameters finding, with make use of nomogrames.