

Хаотични режими в нелинейни електрически вериги

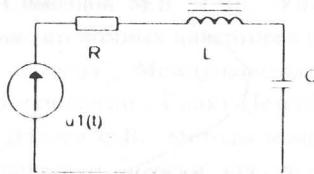
Димитър Захариев Вълчев,
ТУ-София, кат. Теоретична електротехника

1. Увод В настоящата работа е извършено изследване на няколко електрически вериги с възможно хаотично поведение. С термина "хаос" се обозначават непериодични колебания в детерминирани динамични системи от никакък ред. Двете основни характеристики на хаотичните режими са:

- сложна форма на траекторията (съответно широколентов спектър);
- голяма чувствителност към началните условия.

Известни са редица критерии, за определяне типа на решението [1], но дори при по-простия случай на симулация на системи със зададени уравнения е трудно да се посочи единствен универсален и достатъчно сигурен критерий. В настоящата работа е реализирана и използвана програмна система, в която са комбинирани и се прилагат различни критерии за идентификация. Това повишава значително надеждността при разпознаване на режима.

2. RLC схема с бобина с наопашане Показаната на Фиг. 1 схема е една от най-простите схеми, с възможно хаотично поведение [2]. Параметрите на elementите са: $R = 2.2 \Omega$, $C = 240 \text{ pF}$.



Фиг. 1

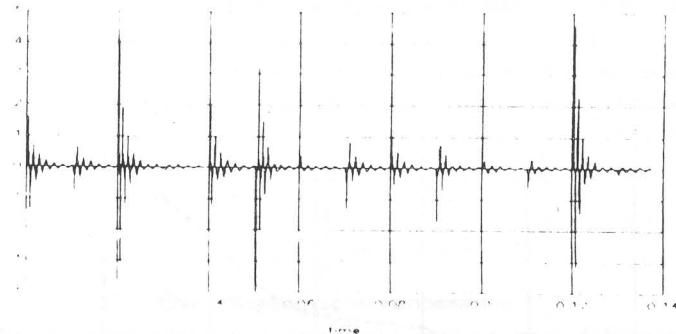
Входното напрежение е периодично с честота 50Hz и се изменя между стойностите 0 и 20 V, като фронтовете на импулсите са с продължителност 1 ms.

Решението при даденото входно въздействие е периодично и съдържа много висши гармоники, което може да се объясни с гармоничният състав на входния сигнал. Характерно е че не се доказва областта на насищане

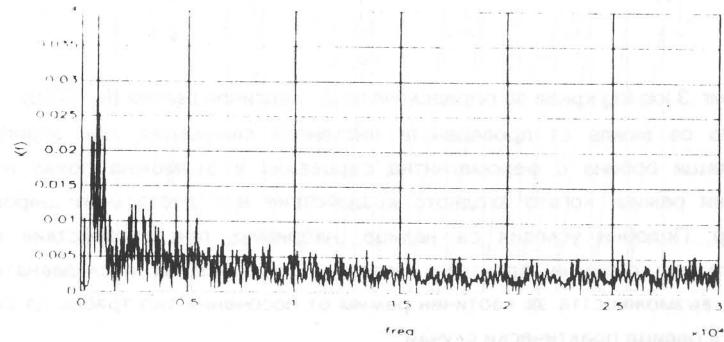
на магнитопровода на бобината. Корелационната размерност на траекторията е равна на 1.

При увеличаване стойностите на входния сигнал се получава насищането на магнитопровода, но характерът на режима не се променя. Появяват се повече висши гармоники и режима отново е периодичен. Корелационната размерност е единица.

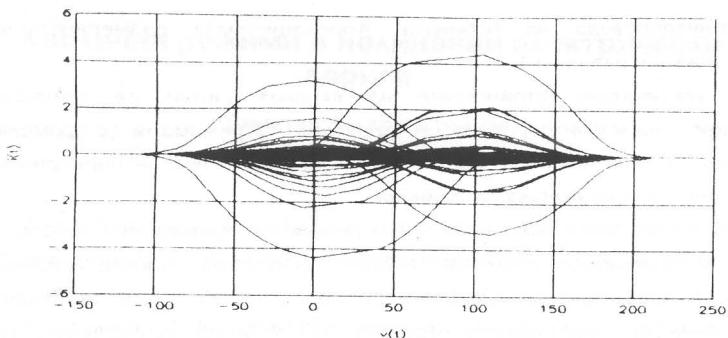
Възможност за поява на хаотичен режим се появява при по-бързи изменения на входния сигнал. На Фиг. 2 е изобразен токът $i(t)$, неговият спектър и траекторията във фазовото пространство $i(t)-v(t)$ за входно напрежение със максимална стойност 100 V и продължителност на предния и задния фронт на импулса 0.1 ms.



Фиг. 2 а) Изменение на тока $i(t)$

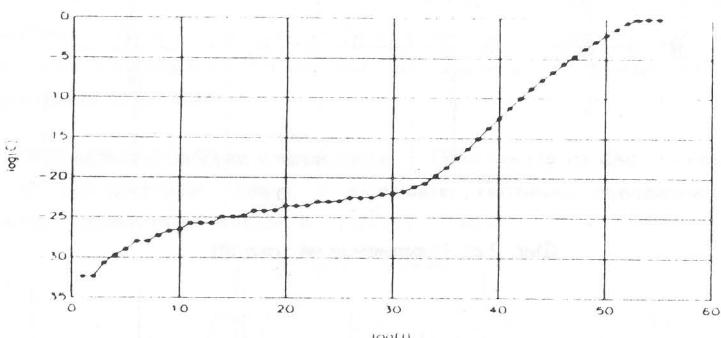


Фиг. 2 б) Спектър на тока $i(t)$



Фиг. 2 с) Траектория на решението във фазовата равнина

От показаните графики се вижда хаотичния характер на режима. Токът във веригата е непериодичен и спектърът му е широколентов. На Фиг. 3 е изобразена построената крива за намиране на корелационната размерност по 2000 точки от траекторията на решението. Изчислената размерност по линейния участък от кривата е $D_c = 1.198$.

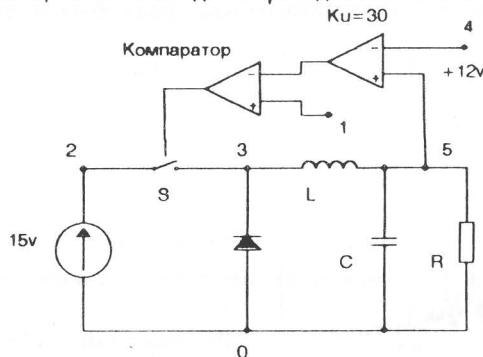


Фиг. 3 log-log крива за определяне на D_c , хаотичен режим ($N=2000$)

Както се вижда от проведената числената симулация, при вериги съдържащи бобина с феромагнитна сърцевина е възможна поява на хаотичен режим, когато входното въздействие е с достатъчно широк спектър. Подобни условия са налице, например, при въздействие с импулси със стръмни фронтове. Поради простотата на изследваната верига, възможността за хаотичен режим от посочения тип трябва да се отчита в редица практически случаи.

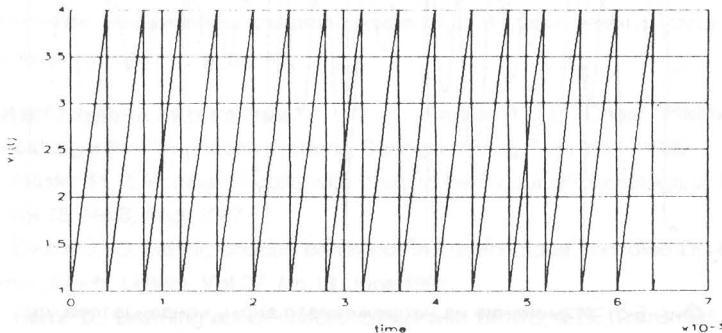
3 Конвертор на напрежение с широчинно-импулсна модулация

Друга схема с възможно хаотично поведение е конверторът от Фиг. 4 [3, 4]. В точка 4 от схемата се подава задаващо напрежение, равно на 12V. Състоянието на ключа S, се управлява от компаратора, на чиито входове постъпва разликата от напрежението върху товара и задаващото напрежение, и трионообразно напрежение, показано на Фиг. 5. По този начин времето, през което ключът S е затворен се управлява от състоянието на изхода, като целта е да се получи напрежение с малки колебания около задаващото напрежение. При определена форма и честота на трионообразното напрежение, обаче, е възможно възникване на хаотичен режим, което се вижда от проведената числена симулация.

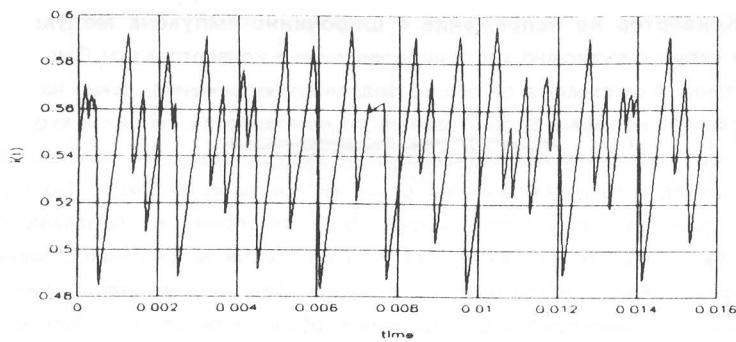


Фиг. 4 Конвертор на напрежение

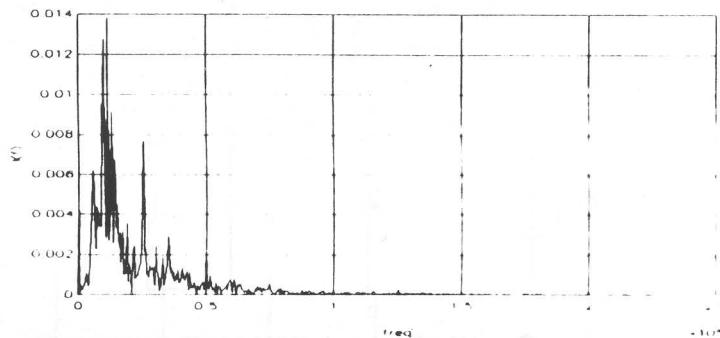
На Фиг. 5 са показани още изменението на тока през бобината $i(t)$, напрежението върху кондензатора $u(t)$ и спектърът на тока през бобината.



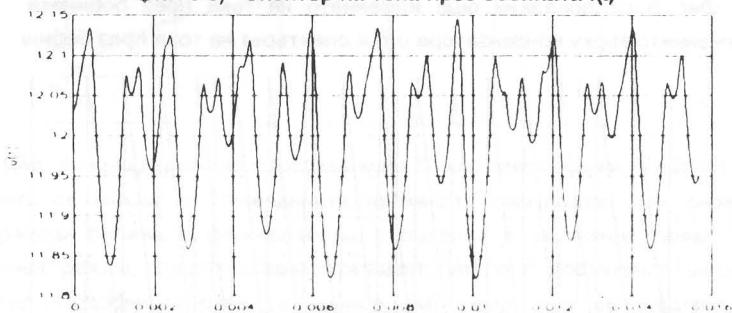
Фиг. 5 а) Изменение на напрежението във възел 1



Фиг. 5 b) Изменение на тока през бобината $i(t)$



Фиг. 5 c) Спектър на тока през бобината $i(t)$



Фиг. 5 d) Изменение на напрежението върху кондензатора $v(t)$

За намерената траектория е построена зависимостта $\log(C) \cdot \log(I)$ и е изчислена корелационна размерност на атрактора $D = 1.25$. Необходимо е да се отбележи, че линейният участък на изменение е много тесен, което

се дължи на малкият брой точки и на сравнително малката продължителност на сигнала. Въпреки всичко полученото дробно число за размерността е аргумент в подкрепа на извода за хаотичен характер на решението.

Разгледаният пример показва че в редица практически схеми, в които има комутиращи елементи (диоди, тиристори, електронни ключове и тн.) е възможна появата на хаотични решения. Особено добре механизма на възникване на непериодични колебания може да се проследи в максимално опростени електрически вериги [2]. На Фиг. 6 е представена схема на изправител, в който блокът за управление е моделиран чрез един нелинеен елемент.



Фиг. 6 Изправителна схема

На входа на веригата постъпва напрежение от един двупътен изправител

$$(1) \quad e_1 = \text{abs}(e_{\text{u}} \sin(\omega t))$$

Блокът за управление играе ролята на ключ, който се затваря когато напрежението върху кондензатора С стане по-малко от $\frac{e_u}{2}$ и се отваря когато токът през него стане равен на нула. Затвореният ключ е еквивалентен на линейно съпротивление R_k . В тази верига също е установено хаотично поведение.

- 4. Използвана литература**
1. Parker T., L. Chua, Practical numerical algorithm for chaotic systems, Springer-Verlag, New York, 1989.
 2. Hasler M., Electrical circuits with chaotic behaviour, Proceedings of the IEEE, Vol.75, No.8, Aug. 1987.
 3. Deane J., D. Hamil, Chaotic behaviour in current-mode controled DC-DC convertor, Electr. Letters, Vol.27, No.13, June 1991.
 4. Hamil D., Learning about chaotic circuit with SPICE, IEEE Trans. Educ., Vol. 36, No.1, Feb. 1993.