Тематичний напрям № 6

Математичне моделювання в інженерії, енергетиці та агропромисловому виробництві

УДК 621:37

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ФОРМУВАННЯ ІМПУЛЬСІВ У РЕЗОНАНСНОМУ ГЕНЕРАТОРІ НА ОСНОВІ НЕЛІНІЙНОГО ДІОДА

Віталій Мардзявко, Андрій Руденко

Миколаївський національний аграрний університет, м. Миколаїв, Україна

Сучасні технології обробки та знезараження зернової продукції потребують пошуку способів, які дають змогу зменшити використання хімічних реагентів та забезпечити необхідний електрофізичний вплив на оброблюване середовище. Одним із перспективних напрямів є застосування високочастотних та імпульсних електромагнітних полів. Реалізація такого способу обробки потребує відповідного джерела електромагнітних імпульсів, характеристики якого мають відповідати заданому режиму технологічного впливу. У дослідженні [1] розглядалася можливість застосування резонансного генератора імпульсів на основі нелінійного діода для електрофізичної обробки зернової продукції.

Особливість такого генератора полягає у взаємодії резонансного (*LC*)-контуру з нелінійною вольт-амперною характеристикою діода (рис. 1). Під час роботи відбувається періодичний обмін енергією між індуктивністю та ємністю, а нелінійний елемент впливає на перебіг струму та напруги в контурі. Унаслідок цього форма та характер електричного сигналу можуть відрізнятися від звичайних коливань у лінійному (*LC*)-контурі. Для розуміння цього процесу необхідно розглянути взаємозв’язок між основними електричними величинами та простежити їх зміну в часі.

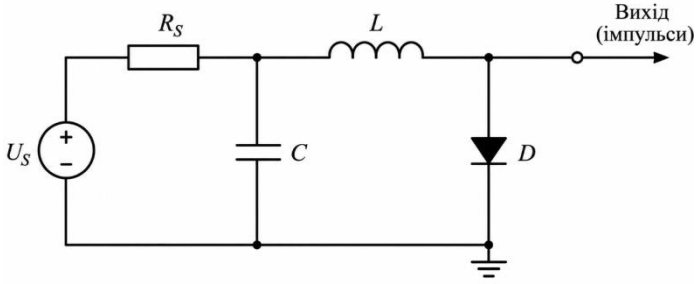


Рис. 1. Принципова електрична схема резонансного генератора імпульсів на основі нелінійного діода

На схемі U_s позначає напругу джерела живлення, R_s - обмежувальний резистор, L та C - відповідно індуктивність і ємність резонансного контуру, D - нелінійний діодний елемент. Взаємодія L, C та нелінійної характеристики діода забезпечує виникнення й підтримання резонансних автоколивань.

Безпосередній аналіз роботи реального генератора потребує відповідного електричного обладнання, вимірювальних засобів та проведення експериментальних досліджень. Водночас для первинного ознайомлення з принципом формування імпульсів доцільно використовувати спрощений математичний опис, який дає змогу представити основні електричні процеси без урахування всіх конструктивних та фізичних особливостей реального пристрою.

Отже, побудова математичної моделі є доцільним першим етапом розгляду резонансного генератора імпульсів на основі нелінійного діода, що дозволяє пов’язати його основні електричні параметри з процесом формування імпульсного сигналу та отримати наочне уявлення про перебіг електричних процесів у генераторі.

Метою роботи є ознайомлення з спрощеною математичною моделлю резонансного генератора імпульсів на основі нелінійного діода для опису формування імпульсного сигналу.

Результат дослідження. Основною характеристикою нелінійного діода є його вольт-амперна характеристика:

$$I_D = f\left(U_D\right), \tag{1}$$

де I_D - струм через діод, U_D - напруга на діоді, $f(U_D)$ - нелінійна функція, що визначає вольт-амперну характеристику діода.

Для виникнення та підтримання автоколивань важливою є наявність ділянки негативного диференціального опору. Математично ця умова визначається як:

$$\frac{dI_D}{dU_D} \le 0, \tag{2}$$

Негативний знак похідної означає, що на певній ділянці ВАХ [2] збільшення напруги супроводжується зменшенням струму. Така властивість діода дає змогу компенсувати активні втрати енергії в резонансному контурі.

Динамічні процеси в резонансному генераторі описуються системою диференціальних рівнянь:

$$\begin{cases} L\dfrac{dI}{dt} = U_s - RI - U_D \\ C\dfrac{dU_D}{dt} = I - I_D\left(U_D\right) \end{cases}, \tag{3}$$

де L - індуктивність контуру; C - ємність; R - активний опір; I - струм у контурі; U_s - напруга джерела живлення; U_D - напруга на діоді.

Перше рівняння описує зміну струму в індуктивності, а друге - зміну напруги на ємності. Їх спільний розв'язок характеризує процес обміну енергією між індуктивним і ємнісним елементами з урахуванням нелінійної характеристики діода.

Резонансна частота LC-контуру визначається виразом:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}, \tag{4}$$

де f_0 - резонансна частота контуру. Вибір параметрів L і C визначає частотний режим роботи генератора.

У спрощеному вигляді умову виникнення автоколивань можна представити співвідношенням:

$$\left|R_D\right| \ge R, \tag{5}$$

де R_D - негативний диференціальний опір діода, а R - активний опір резонансного контуру. За цієї умови компенсація втрат у контурі за рахунок нелінійного діодного елемента забезпечує можливість підтримання коливального процесу.

Амплітуда сформованого імпульсного сигналу визначається максимальним значенням напруги на діоді:

$$U_m = \max\left|U_D(t)\right|, \tag{6}$$

Період повторення імпульсів визначається часовим інтервалом між двома послідовними імпульсами:

$$T = t_{k+1} - t_k, \tag{7}$$

а частота їх повторення:

$$f = \frac{1}{T}, \tag{8}$$

Таким чином, система (3) у поєднанні з нелінійною характеристикою (1) та умовою негативного диференціального опору (2) формує спрощений математичний опис процесів у резонансному генераторі. Чисельне розв'язання цієї системи дає змогу отримати часові залежності $I(t)$ та $U_D(t)$, за якими можна наочно простежити характер зміни струму і напруги та ознайомитися з основними характеристиками сформованого імпульсного сигналу - амплітудою, періодом і частотою.

Висновок. У роботі розглянуто спрощену математичну модель резонансного генератора імпульсів на основі нелінійного діода. Розглянута система диференціальних рівнянь дає змогу описати зміну струму та напруги в часі з урахуванням основних параметрів резонансного контуру і нелінійного діодного елемента. На основі математичного опису можна наочно простежити процес обміну енергією між індуктивністю та ємністю, вплив нелінійної характеристики діода на коливальний процес і формування імпульсного сигналу. Визначення амплітуди, періоду та частоти імпульсів у межах моделі дає базове уявлення про основні характеристики сформованого сигналу.

Запропонована модель має спрощений та ознайомчий характер і не передбачає відтворення всіх фізичних процесів реального генератора або його експериментальної перевірки. Її використання є доцільним для базового ознайомлення з принципом роботи резонансного генератора та розуміння взаємозв'язку між параметрами LC-контуру, нелінійною характеристикою діода і процесом формування імпульсного сигналу.

Список використаних джерел

1. Кунденко М. П., Вахоніна Л. В., Руденко А. Ю. Аналіз проблеми якості обробки в установках для електромагнітної обробки зернової продукції. Інженерія природокористування. 2022. № 1 (23). С. 40–45. DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.6807892.

2. Akdemir Evrendilek G., Atmaca B., Bulut N., Uzuner S. Development of pulsed electric fields treatment unit to treat wheat grains: Improvement of seed vigour and stress tolerance. Computers and Electronics in Agriculture. 2021. Vol. 185. Article 106129. DOI: 10.1016/j.compag.2021.106129.

УДК:331.101.1:519.6:664.6

ВІД ВИРОБНИЧОГО ПРОЦЕСУ ДО МОДЕЛІ: МАТЕМАТИЧНЕ ОЦІНЮВАННЯ ФІЗІОЛОГІЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ПРАЦІ НА ХЛІБОЗАВОДІ

Антоніна Галєєва

Миколаївський національний аграрний університет, м. Миколаїв, Україна

На ТОВ «Терновський хлібзавод» система охорони праці спрямована на запобігання виробничому травматизму, професійним захворюванням та створення належних санітарно-гігієнічних умов у виробничих приміщеннях. Особливості хлібопекарського виробництва пов'язані з використанням теплового обладнання, механізованих ліній, електрообладнання, а також виконанням робіт у приміщеннях із підвищеною температурою та запиленістю повітря, що потребує постійного контролю за станом умов праці.

Система охорони праці на підприємстві організовується відповідно до вимог чинного законодавства України та включає комплекс санітарно-гігієнічних та профілактичних заходів [1, с. 429]. На підприємстві відповідальність за створення безпечних умов праці покладається на керівника та посадових осіб структурних підрозділів. Для координації роботи з охорони праці створюється