

## Електротехнічне забезпечення високовольтної імпульсної обробки металів і сплавів у процесі кристалізації

**Андрій Воробйов,**

здобувач вищої освіти спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Миколаївський національний аграрний університет

м. Миколаїв, Україна

**Анотація.** У роботі обґрунтовано застосування високовольтної електроімпульсної обробки металів на стадії кристалізації для підвищення механічних властивостей литих деталей. Розроблено генератор імпульсного струму та побудовано RLC-модель розрядного контуру для аналізу перехідних процесів, що дозволяє оптимізувати параметри імпульсу. Показано, що керування імпульсним впливом сприяє формуванню дрібнозернистої структури сплавів та підвищенню їх експлуатаційних характеристик.

**Ключові слова:** електродна система, генератор імпульсного струму, імпульс, макроструктура зливків, процес кристалізації.

**Вступ.** Підвищення строку служби деталей сільськогосподарських машин є однією з ключових задач, що постають перед інженерами агропромислового комплексу. Одним із напрямів її вирішення є створення нових сплавів та вдосконалення наявних матеріалів. Сьогодні існує значна кількість методів підвищення якості литого металу, функціональні можливості яких є різноплановими та орієнтованими на досягнення різних технологічних цілей. Водночас універсального способу, здатного забезпечити однаково ефективний вплив на структуру і властивості металу, не існує. Перспективним напрямом є електроімпульсна обробка рідкого металу на стадії кристалізації. Попередні дослідження свідчать про її достатньо високу ефективність, однак цей метод залишається інноваційним і наразі недостатньо вивченим. У зв'язку з цим актуальним є розроблення електротехнічного обладнання для реалізації технології позапічної обробки металів і сплавів.

**Мета роботи** є розробка електророзрядної установки позапічної обробки металу для виготовлення зносостійких деталей сільськогосподарської техніки.

**Результати дослідження.** Джерелом енергії для здійснення високовольтної електроімпульсної обробки металевого розплаву є генератор імпульсного струму (ГІС) (див. рис. 1). Конструктивно він являє собою накопичувальну систему, основу якої становить конденсаторна батарея з паралельним з'єднанням конденсаторів. Кількість елементів у батареї, їх номінальна напруга та сумарна ємність визначають запас енергії, що може бути накопичений і переданий у навантаження.

Принцип роботи ГІС полягає у поетапному накопиченні електричної енергії протягом відносно тривалого часу від джерела живлення через зарядний

пристрій. Після досягнення заданого рівня напруги відбувається швидка комутація розрядного кола, внаслідок чого накопичена енергія вивільняється у вигляді короткочасного імпульсу великої потужності. Тривалість імпульсу є значно меншою за час заряду, що забезпечує високу пікову потужність розряду та ефективний енергетичний вплив на розплав.

Такий режим роботи дозволяє формувати імпульсні струми великої амплітуди, необхідні для інтенсифікації процесів, що відбуваються під час кристалізації металу, зокрема для впливу на структуру розплаву та умови формування кристалічної решітки [1].

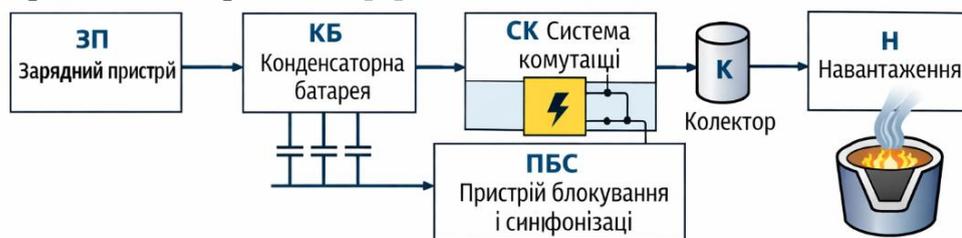


Рис. 1. Структурна схема ГІС

Розрахунок основних параметрів генератора імпульсного струму здійснювався на основі класичних співвідношень теорії електричних кіл [2]. Насамперед визначалася енергія, що накопичується в конденсаторній батареї  $W_0$ , яка залежить від сумарної ємності батареї  $C$  та напруги заряду  $U$ . Середня потужність на виході генератора визначається з урахуванням частоти повторення імпульсів і дорівнює добутку енергії одного імпульсу на частоту їх слідування. Середній струм заряду конденсаторної батареї розраховується як відношення енергії, що накопичується за один цикл, до напруги та часу заряду (або з урахуванням частоти повторення імпульсів).

Споживана потужність зарядного пристрою визначається з урахуванням коефіцієнта корисної дії зарядного контуру  $\eta$  і дорівнює відношенню середньої вихідної потужності до цього коефіцієнта. У виконаних розрахунках значення  $\eta$  приймалося в межах 0,7–0,8, що відповідає реальним параметрам силових випрямлячів та високовольтних зарядних пристроїв.

Таким чином, наведені залежності дозволяють визначити енергетичні можливості генератора імпульсного струму та обґрунтувати вибір його основних конструктивних і електричних параметрів.

На основі визначених значень середнього струму заряду конденсаторної батареї та споживаної потужності здійснюється вибір типового трансформатора-випрямляча, який забезпечує необхідні параметри живлення зарядного контуру. Саме цей вузол є базовим елементом, від якого формується загальна компоновка генератора імпульсного струму, визначаються його габарити, енергетичні можливості та режим роботи.

Для аналізу електричних характеристик ГІС у момент розряду необхідно розглядати перехідні процеси, що виникають під час розряду накопиченої в конденсаторній батареї енергії на рідкий метал [3]. Повний аналітичний розрахунок таких процесів є складним через багатокomпонентність розрядного кола та наявність паразитних параметрів. Тому доцільно використовувати

спрощену еквівалентну схему розрядного контуру (рис. 2), яка адекватно відображає основні електричні параметри системи та дозволяє визначити ключові розрядні характеристики високовольтного обладнання — амплітуду струму, тривалість імпульсу, частоту коливань і швидкість затухання.

Оскільки конденсаторна батарея розряджається на індуктивне навантаження, а металевий розплав характеризується високою електропровідністю, процес розряду відбувається у коливальному режимі. У цьому випадку розрядний контур можна розглядати як RLC-систему, для якої часову залежність струму  $I(t)$  доцільно описувати у вигляді затухаючої синусоїдальної функції. Такий характер зміни струму зумовлений наявністю індуктивності, що спричиняє коливальний процес, та активного опору, який забезпечує поступове зменшення амплітуди імпульсу:

$$I(t) = \frac{I'}{\sqrt{1-\gamma^2}} \cdot \exp(-\gamma \cdot t) \cdot \sin(\sqrt{1-\gamma^2} \cdot t), \quad (1)$$

$$I' = U_0 \cdot \sqrt{C/L}, \quad (2)$$

$$\gamma = 0,5 \cdot R \cdot \sqrt{C/L}, \quad (3)$$

де  $R$  - активний опір розрядного контуру (Ом), який визначається як  $R = R_{дж} + R_p + R_{розп} + R_{пр}$ , де  $R_{дж}$ ,  $R_p$ ,  $R_{розп}$  та  $R_{пр}$  - активні опори накопичувача, розрядника, розплаву та сполучних проводів відповідно;  $L$  - індуктивність розрядного контуру (Гн), що визначається як  $L = L_{дж} + L_p + L_{розп} + L_{пр}$ , де  $L_{дж}$ ,  $L_p$ ,  $L_{розп}$  та  $L_{пр}$  - внутрішня індуктивність накопичувача, індуктивність розрядника, власна індуктивність розплаву та сполучних проводів.

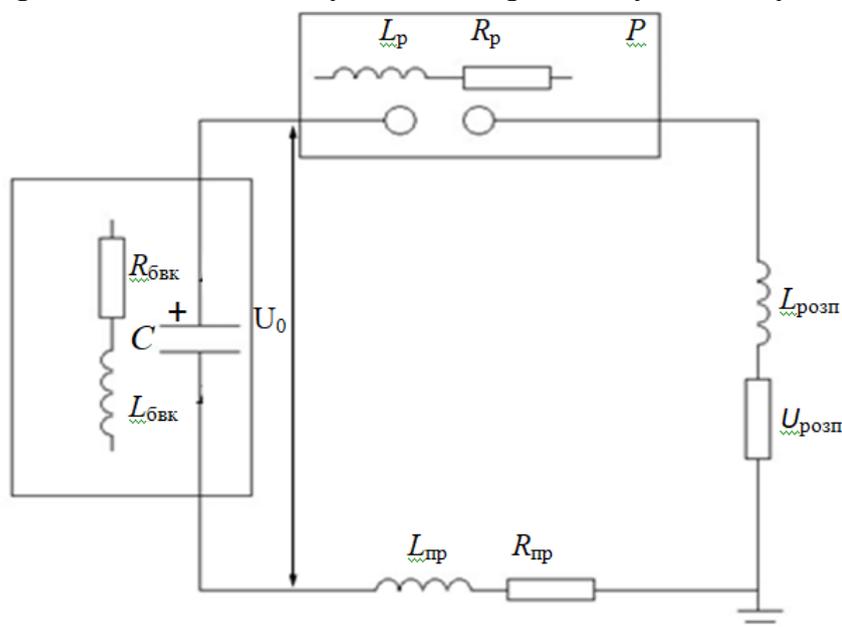


Рис. 2. Спрощена еквівалентна схема розрядного кола генератора імпульсного струму: БВК - батарея високовольтних конденсаторів;  $L_{бвк}$  - внутрішня індуктивність накопичувача енергії;  $R_{бвк}$  - активний опір конденсаторної батареї;  $P$  - повітряний іскровий розрядник;  $L_p$  - індуктивність розрядника;  $R_p$  - активний опір розрядника;  $L_{розп}$  - власна індуктивність

металевого розплаву;  $R_{розп}$  - електричний опір розплаву;  $L_{пр}$  - індуктивність з'єднувальних провідників;  $R_{пр}$  - активний опір сполучних проводів  
Максимально можлива амплітуда струму при розряді  $I_{макс}$ :

$$I_{макс} = \frac{U_0}{\sqrt{\frac{L}{C}}}, \quad (4)$$

Максимальне значення потужності, що реалізується в навантаженні в інтервалі часу до настання амплітуди струму, розраховується за таким виразом:

$$P_{макс} = 2 \cdot U_0 \cdot I \cdot \gamma \cdot \exp\left(\frac{-2 \cdot \gamma}{\sqrt{1 - \gamma^2}} \cdot \arcsin \sqrt{1 - \gamma^2}\right), \quad (5)$$

На основі побудованої еквівалентної схеми розрядного контуру з'являється можливість виконати математичне та комп'ютерне моделювання електророзрядних процесів, що відбуваються під час обробки металів і сплавів імпульсним струмом високої напруги на стадії їх кристалізації. Такий підхід дозволяє дослідити характер перехідних процесів, визначити амплітуду та тривалість імпульсів, швидкість затухання коливань, а також оцінити вплив параметрів  $R$ ,  $L$  і  $C$  на енергетичні показники системи.

Результати моделювання можуть бути використані для оптимізації конструктивних і електричних параметрів генератора імпульсного струму, зменшення втрат енергії та підвищення ефективності передачі імпульсу в розплав. Це створює науково обґрунтовану основу для практичної розробки електротехнічного обладнання, призначеного для реалізації технології позапичної обробки металів і сплавів у процесі кристалізації.

**Висновок.** У роботі обґрунтовано ефективність застосування високовольтної електроімпульсної обробки металів і сплавів на стадії кристалізації для підвищення експлуатаційних властивостей литих виробів. Проаналізовано принцип формування імпульсного впливу на розплав та визначено ключові енергетичні параметри генератора імпульсного струму.

Розроблено структурну та еквівалентну схеми розрядного контуру ГІС, що дозволяють розраховувати амплітуду струму, тривалість імпульсу та потужність розряду з урахуванням активних і індуктивних характеристик системи. Використання спрощеної RLC-моделі забезпечує моделювання перехідних процесів та оптимізацію режимів роботи установки.

Показано, що регулювання параметрів імпульсного впливу створює можливості керування зародженням і ростом кристалів у розплаві, сприяючи формуванню дрібнозернистої структури та поліпшенню механічних властивостей сплавів.

#### Список використаних джерел

1. Вінниченко Д. В., Назарова Н. С. Електротехнічний комплекс струмового захисту в високовольтних генераторах імпульсних струмів. *Електротехніка і енергетика*. 2016. Т. 4, № 2. С. 54–58.

2. Chunyan Ban. Influence of pulse electric current on solidification structure of Al-Si alloy. *Electromagnetic processing of material*. 2017. No. 1. P. 34–39.

3. Зарембо В. Вплив імпульсів струму на процеси плавлення та кристалізації металів. *Металургія машинобудування*. 2015. Т. 3, № 1. С. 11–15.

**Abstract.** *The work substantiates the use of high-voltage electrical pulse treatment of metals at the stage of crystallization to improve the mechanical properties of cast parts. A pulse current generator has been developed and an RLC model of the discharge circuit has been constructed for the analysis of transient processes, which allows optimizing the pulse parameters. It is shown that controlling the pulse effect contributes to the formation of a fine-grained structure of alloys and improving their operational characteristics.*

**Key words:** *electrode system, pulse current generator, pulse, ingot macrostructure, crystallization process.*

**Науковий керівник:**

**Вахоніна Л.В.,**

*канд. фіз. мат. наук, доцент*

*кафедра електроенергетики, електротехніки та електромеханіки*

*Миколаївський національний аграрний університет*

**УДК. 621.3**

## **Аналіз перехідних процесів в електричній мережі 110/35 кВ для розробки мікропроцесорної системи реєстрації**

**Владислав Котельников,**

*здобувачі вищої освіти спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»*

*Миколаївський національний аграрний університет*

*м. Миколаїв, Україна*

**Анотація.** *В даній роботі виконано аналіз перенапружень перехідних процесів в електричній мережі. Для цього в роботі розраховано перехідні процеси при підключенні лінії, що не містить нелінійних елементів синусоїдальної напруги, методом побудови статичних характеристик ударного коефіцієнта.*

**Ключові слова:** *несуїдальний струм, перехідні процеси, електрична мережа, ударний коефіцієнт, відправний вузол, приймальний вузол.*

**Вступ.** Перехідні процеси в системах електропостачання є невід’ємною складовою режимів роботи електричних мереж високої напруги та виникають як під час нормальної експлуатації, так і при комутаційних операціях чи аварійних збуреннях. У ці періоди відбувається порушення динамічної рівноваги між електромагнітною потужністю в електричній мережі та механічною потужністю