

## ПОРІВНЯННЯ ЗМІНИ У ЧАСІ СТРУМУ ТА ІНТЕНСИВНОСТІ СВІТІННЯ КАНАЛУ ІМПУЛЬСНОГО РОЗРЯДУ В ПОВІТРІ

**Козлов О.Ю., магістрант, Шостак В.О., к.т.н., доц.**

*КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра техніки і електрофізики високих напруг*

**Вступ.** За дослідженням оптичного випромінювання (світіння) з каналу розряду можна дистанційно отримати важливу інформацію щодо характеристик каналу електричного розряду, в т.ч. це стосується і розрядів блискавок [1-4]. Зокрема, можна визначати швидкість розповсюдження блискавки на різних стадіях (лідер, зворотний удар) [3], встановлювати зв'язок інтенсивності оптичного випромінювання та електромагнітного [2], кореляції між інтенсивністю світіння та величинами струмів у каналі [1, 4], визначати наявність різних компонент у струмі блискавки (імпульси зворотних ударів, тривалі струми) [1]. Щодо досліджень зв'язку світіння і струму, спостерігали різні особливості: і нелінійні зміни, і запізнення світіння відносно фронту струму, і продовження світіння після різкого спаду струму та інше [1, 4]. Також встановлення таких зв'язків важливо і для розробки оптичних датчиків для систем попередження про грозу і блискавкозахисту [5].

**Мета роботи:** Провести порівняння зміни в часі струму розрядів та відповідного світіння з каналу для імпульсів грозової форми з ГІС (генератор імпульсних струмів) та ГІН (генератор імпульсних напруг). Для струмів з ГІС дослідити випадки з коливальною та аперіодичною формою імпульсів з амплітудою до кількох десятків кілоампер, що відповідає масштабу найчастіших струмів у зворотних ударах блискавок.

**Матеріали і результати досліджень.** Дослідження з реєстрації струму розряду та інтенсивності оптичного випромінювання проводилися на ГІС та ГІН-500 кВ в лабораторії кафедри ТЕВН. Представлені результати по струму отримано із використанням малоіндуктивного шунта (2 мОм), а інтенсивність світіння із каналу розряду реєструвалася за допомогою спеціально розробленого датчика [5]. Для записів використано USB-осцилограф.

В роботі наводяться результати для трьох характерних випадків:

- 1) розряд ГІС в коливальному затухаючому режимі з амплітудою струму 21 кА, перший півперіод – 14 мкс (рис. 1);
- 2) розряд ГІС в аперіодичному режимі без викиду зі зворотною полярністю на спаді, з амплітудою близько 500 А (рис. 2);
- 3) розряд ГІН в режимі грозового імпульсу напруги 160 кВ та струму 72 А (рис.3).

Криві струму позначено на всіх рисунках як позиція 1. На тих же рисунках наведено відповідні осцилограми інтенсивності світіння з каналу розряду (криві під поз. 2). На рис. 3 крива струму наведена за результатами моделювання [6].

З рис. 1 видно, що струм в каналі спадає набагато швидше, ніж світіння. При цьому інтенсивність світіння розряду виходить на максимальне значення із затримкою близько 5 мкс, що пояснюється часом потрібним для збудження і

ударної іонізації молекул, нагрівання повітря. При переході струму через нуль світіння не згасає, а лише зменшує свою амплітуду десь на 5% та знову підхоплюється зворотнім півперіодом струму. Коли струм зменшує свою амплітуду приблизно до 7%, видно різке зменшення світіння розрядного каналу після найближчого переходу через нуль.

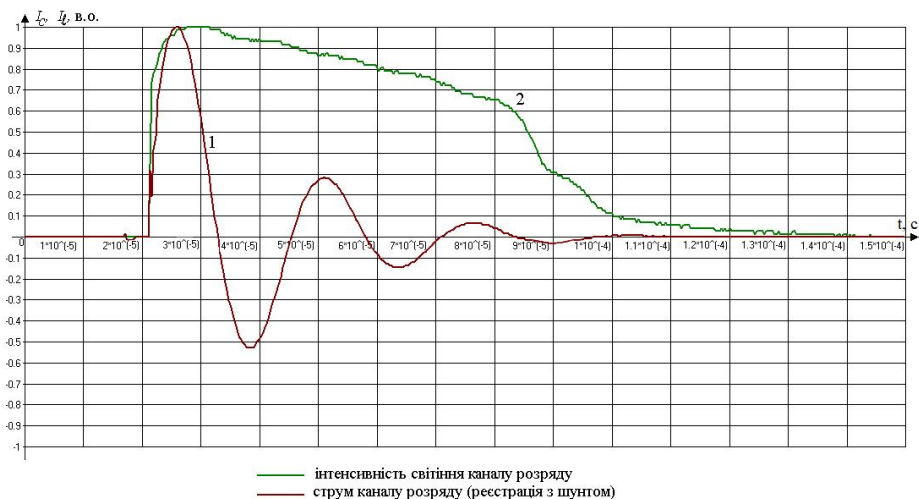


Рисунок 1 – Коливальний струм (1) в контурі ГІС та інтенсивність світіння (2) розрядного каналу, у в.о. (амплітуда струму 21 кА, шунт; 10 мкс/под.)

В досліді з аперіодичною формою струму (рис. 2), оптичний сигнал майже повністю відтворює форму струму, окрім незначних коливань в зоні піка та на початку спаду імпульсу.

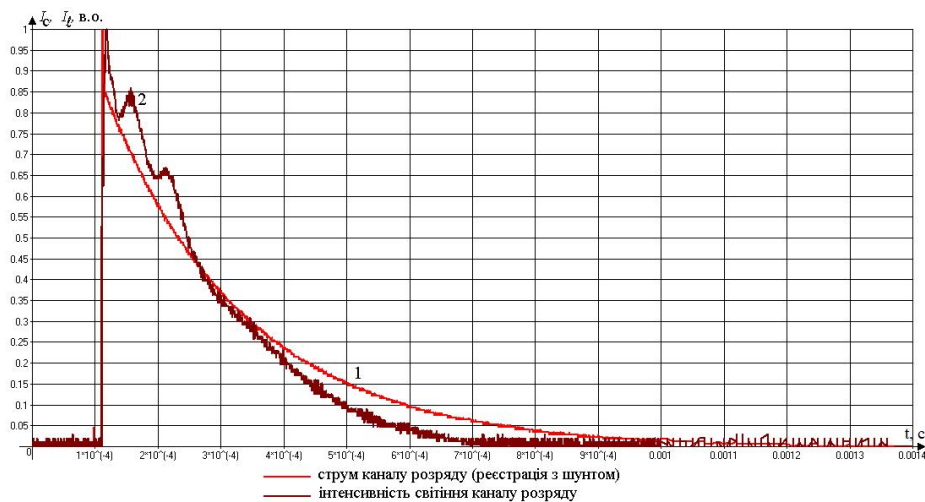


Рисунок 2 – Аперіодичний струм (1) в контурі ГІС та інтенсивність світіння (2) розрядного каналу, у в.о. (амплітуда струму 496 А, шунт; 100 мкс/под.)

Для досліді з ГІН (рис. 3) при моделюванні струму розряду в Micro-Cap 11 Evaluation [6] момент його різкого зменшення до нуля визначався за осцилограмою світіння каналу, що відповідає приблизно часу у 45 мкс. При цьому амплітуда струму зменшилась до 27%, а напруга на джерелі зменшилась приблизно до 23 % свого пікового значення (що дещо вище, ніж у [7], де за

орієнтовну можливу умову для розрахунків згасання каналу називають зниження напруги до 10%).

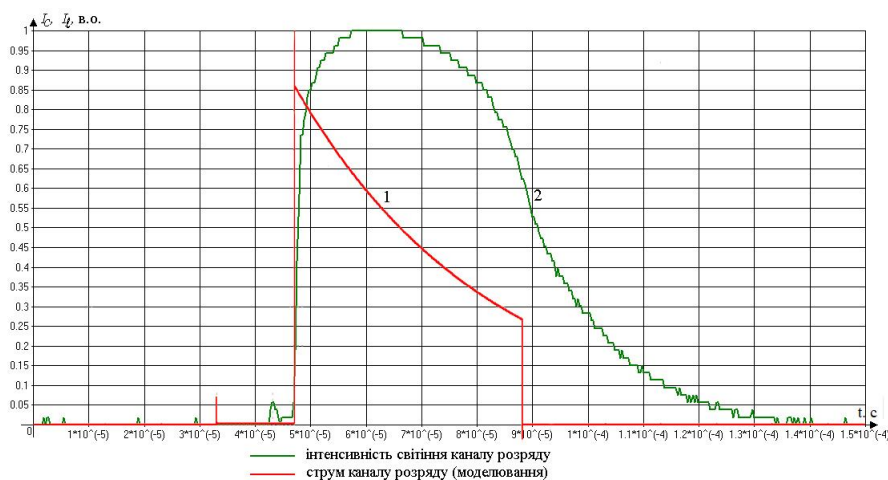


Рисунок 3 – Аперіодичний струм розряду ГІН (1) та світіння (2) каналу, у відносних одиницях (160 кВ, 72 А; 10 мкс/под.)

**Висновок.** Найближче відповідають одна одній форми струму та світіння з каналу розряду (5 мм) у випадку тривалого аперіодичного імпульсу ГІС (500 А, 800 мкс). Для коливального затухаючого імпульсу великого струму (21 кА, 80 мкс), світіння каналу (5 мм) має інерційність, і коливання в оптичному сигналі майже непомітні. У випадку короткотривалої іскри від ГІН форми імпульсів струму (72 А, 45 мкс), та світіння з каналу (300 мм) сильно різняться, і є велика затримка в часі піку світіння відносно піку струму (15 мкс).

#### Перелік посилань

1. Diendorfer G., Mair M., Schulz W. Detailed brightness versus lightning current amplitude correlation of flashes to the Gaisberg Tower // *Proc. 26<sup>th</sup> Intl. Conf. on Lightning Protection (ICLP)*, Cracow, Poland, 2002. – 1a.2, p.8-13.
2. Mason G. Quick and E. Philip Krider. Optical Emission and Peak Electromagnetic Power Radiated by Return Strokes in Rocket-Triggered Lightning // *Proc. 32nd Intl. Conf. on Lightning Protection (ICLP)*, Shanghai, China, 2014.
3. R. C. Olsen III, D. M. Jordan, V. A. Rakov, M. A. Uman, and N. Grimes. Observed one-dimensional return stroke propagation speeds in the bottom 170 m of a rocket-triggered lightning channel // *Geophysical Research Letters*. Vol. 31, L16107, 2004. - p.1-4, doi:10.1029/2004GL020187.
4. D. Wang, N. Takagi, T. Watanabe, V.A. Rakov, M.A. Uman, K.J. Rambo, M.V. Stapleton Wang. A comparison of channel-base currents and optical signals for rocket-triggered lightning strokes, *Atmospheric Research* 76 (2005), p. 412 – 422 doi:10.1016/j.atmosres.2004.11.025.
5. Козлов О. Ю., Датчики системи моніторингу блискавок / Дипл. роб. ступ. бакалавра, 6.050701 «Електротехніка та електротехнології». - НТУУ, Київ, 2016. – 83 с.
6. Козлов О. Ю., Шостак В.О. Моделювання генератора імпульсних напруг // Тези доп. Міжн. наук.-техн. конф. молодих учених, аспірантів і студентів «Сучасні проблеми електроенергетехніки та автоматики», НТУУ «КПІ», Київ: «Політехніка», грудень 2017.
7. Бейер М., Бёк В., Мёллер К., Цаенгль В. Техника высоких напряжений: теоретические и практические основы применения. Пер. с нем. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 555 с.