



УДК 62-768.3

STUDY OF ARC RAY SPECTRUM**ДОСЛІДЖЕННЯ СПЕКТРУ ВИПРОМІНЮВАННЯ ДУГОВОГО РОЗРЯДУ****Parkhomenko R.A. / Пархоменко Р.О.***Senior Lecturer / ст. викладач**ORCID: 0000-0003-1770-1631***Tsibulevsky Y. E. / Цибулевский Ю. Е.***s.t.s., as.prof. / к.т.н., доц.**ORCID: 0000-0002-2032-2782***Diguts A.V. / Дігуць А. В.***student/ студент**Kyryvi Rih National University, Kyryvi Rih, Vitaliya Matushevycha 11, 50027**Криворізький національний університет, Кривий Ріг, вул. Віталія Матусевича 11, 50027*

Анотація. В роботі розглядаються фактори, які виникають під час дугового розряду, та визначено можливість використання для прискорення роботи захисту від дугового замикання. Це дає можливість створення комбінованого пристрою для точного визначення місця дугового розряду. Зокрема, може бути розширено спектр чутливості оптичного датчика за рахунок використання ультрафіолетового випромінювання без його заміни. Розглянуто можливість прискорення спрацьовування захисту від дугового замикання за рахунок відмови від його блокування з релейними схемами максимального струмового захисту та зменшення впливу сонячного випромінювання на роботу ЗДЗ (захисту від дугового замикання). Обґрунтовано можливість розроблення більш досконалого пристрою для захисту від дугових замикань, який дозволяє розширити спектр оптичного датчика в область ультрафіолетового випромінювання.

Ключевые слова: захисту від дугового замикання, чутливість захисту, спектр випромінювання, перетворення ультрафіолетового випромінювання.

Вступ.

Проблемою, яка потребує вирішення, є необхідність прискорення спрацьовування захисту від дугового замикання. Це можливо за рахунок відмови від його блокування з релейними схемами максимального струмового захисту та зменшення впливу сонячного випромінювання на роботу ЗДЗ (захисту від дугового замикання).

Чим швидше може бути виявлена і ліквідована дуга, що виникла в розподільних пристроях, тим менше ризик для персоналу отримання серйозної травми або смерті [1]. Інші переваги мінімізації часу зварювання включають зниження додаткового збитку, зниження часу простою виробництва та, як наслідок, зниження вимог до індивідуальних засобів захисту (ІЗЗ).

Зазвичай при реєстрації дугового розряду використовують фототиристри, що реєструють вузьку частину видимого оптичного спектру на межі з інфрачервоним. Для визначення місця дугового розряду використовують різницю часу надходження світлового імпульсу до кінців світловоду. Це зумовлює малу точність визначення точки дугового розряду.

Дослідження оптичного спектру дугового розряду

При згорянні хімічні елементи випромінюють спектр характерний для кожного окремого елемента. Ці спектри отримують при спалюванні у



ацетиленово-повітряному полум'ї або при взаємодії з електричною дугою, або при взаємодії з електричною іскрою. Ці дані наведені у великих атласах дугових та іскрових оптичних спектрів, які виявилися дуже корисними для розшифрування результатів оптичних досліджень електричної дуги. У табл. 1 наведені спектральні лінії для декількох хімічних елементів, які мають можливість потрапити під дію електричного розряду на підстанції або у розподільчому пункті [2]. Для детального аналізу виберемо шість найбільше розповсюджених елементів: алюміній, вольфрам, залізо, мідь, нікель та свинець. З табл. 1 видно, що основна частина (15 чутливих ліній) припадає на

Таблиця 1

Довжина хвиль випромінювання дугових та іскрових спектрів окремих хімічних елементів [12]

Хімічний елемент	Число ліній		Чутливі лінії, нм	Інтенсивність
	Дуга	Іскра		
Алюміній – Al	23	19	308,2	8
			309,2	9
			394,4	9
			396,1	10
Водень – H ₂	-	1	656,2	(2000) - Іскра
Вольфрам -W	34	49	289,6	7
			294,4	7
			291,6	7
			400,8	6
Залізо – Fe	15	10	259,9	10
			302,0	9
			358,1	9
			371,9	9
			385,9	10 – полум'я
Мідь – Cu	74	68	324,7	>10
			327,3	>10
Нікель – Ni	73	57	341,4	9
			349,2	7
			352,4	9
Олово – Sn	45	45	283,9	10
			300,9	10
			303,4	10
			317,5	10
			326,2	9
Свинець – Pb	39	39	280,2	8
			283,3	8
			405,7	8
Вуглець – C	1	12	247,8	400



УФ частину спектра з довжиною хвиль < 380 нм, а видиму частину (фон) випромінювання складають численні мало інтенсивні лінії, а також випромінювання продуктів згоряння у полум'ї до 670 нм. Спектр характеристик будують з інтервалом 50–100 нм, а у області максимума через кожні 10–20 нм. Аналіз спектрів показав, що для швидкого виявлення іскрового розряду ще до того як він перейшов у дуговий необхідно вибрати оптичний детектор чутливий до ультрафіолетового випромінювання.

Існуючі схеми захисту від дугового замикання обладнано кремнієвими фотоелементами. Це обумовлено тим, що максимум їхньої диференціальної характеристики припадає на максимум випромінювання полум'я електричної дуги в області (0,7–1,1) нм. В основному це приймачі з внутрішнім підсилюванням фотоструму: лавинні фотодіоди, фототранзистори, польові фототранзистори та фототиристри, які набули найширшого застосування у схемах захисту від дугового замикання.

Дуговий розряд зручно досліджувати на електрозварювальних апаратах. Ультрафіолетове випромінювання розподіляють на три спектри: УФ-А (315–400) нм, УФ-Б (280–315) нм, УФ-С (200–280) нм. При цьому найбільш жорстким є УФ-С, яке при струмі 200 А має інтенсивність випромінювання до 5 Вт/м², що є шкідливим для людини на відстані більше 60 метрів [3]. Спектр розряду зварювальної дуги складається з 70 % ультрафіолетового, 15 % видимого та 15 % інфрачервоного випромінювання.

Спектр УФ-С з довжиною хвилі менше 280 нм відсутній у Сонячному випромінюванні на поверхні Землі [4]. Це пояснюється тим, що шар озону повністю поглинає цю частину спектру і вона не доходить до поверхні Землі. Для датчиків «жорсткого» УФ випромінювання використовують широкозонні матеріали на основі фосфіда галія, нітридів галія і алюмінія, карбіда кремня і алмаза. Але вказані пристрої в умовах реальних комірок або розподільних пунктів не набули належного розповсюдження, що пояснюється їхньою великою вартістю та не достатньою інформацією у технічній літературі. Тому для переведення не видимого ультрафіолетового випромінювання в область видимого оптичного спектра було обрано застосування фотохромних матеріалів, кристалофосфорів або флюоресцентних барвників. Як правило, при цьому спектральні здвиги лежать у межах між ультрафіолетовою та видимою частинами спектру. Чим вище потужність випромінювання, тим швидше вихідна фотоформа перейде з ультрафіолетової у видиму частину оптичного спектра.

Для подальшого дослідження були обрані фототиристри типу ТФ 132-25-10, які більше як 20 років використовуються у схемах захисту від дугових замикань. Час спрацьовування захисту 10^{-5} сек. Номінальний струм 25 А, напруга 1000 В. Потужність управляючого світлового потоку від 1,0 до 1000 МВт.

Фототиристри мають цілий ряд переваг у порівнянні з іншими напівпровідниковими оптичними датчиками: висока навантажувальна спроможність при низькій потужності керуючого сигналу, можливість запам'ятовування після зняття керуючого сигналу, висока швидкодія, висока



чутливість.

Для зняття характеристик фототиристора у видимому та інфрачервоному спектрі було обрано лампу розжарювання типу БК215-225-60 напругою 220 В, потужністю 60 Вт з світловим потоком 750 лм. Подібна лампа рекомендована заводом-виробником для контролю спрацьовування фототиристорів на світловий сигнал. При живленні від 12 Вольт постійного струму фототиристор спрацьовує від світла 60-ватної лампи на відстані 10 см.

Для переведення ультрафіолетового випромінювання дугового розряду у спектр до якого чутливий фототиристор було використано червоний барвник-флюорофор. А джерелом ультрафіолетового випромінювання обрано ртутну лампу з колбою із світлофільтром УФС-3. Резонансна лінія ртуті має довжину хвилі випромінювання 253 нм. Корпус лампи з середини покритий люмінофором, який випромінює хвилі (300–400) нм з максимумом 350 нм.

Крива на рис. 1 ілюструє характеристику управління фототиристора: від порогового мінімуму нечутливості освітлювання, до мінімального порогового опору включення фототиристора. Область управління знаходиться між кривою та осями координат. Чим більша освітленість світлового входу фототиристора, тим менший його опір: струм включення залишається постійним, а напруга включення зменшується майже до нуля. Світловий потік від флюорофору викликає додаткове зменшення внутрішнього електричного опору, що сприяє підвищенню чутливості фототиристора.

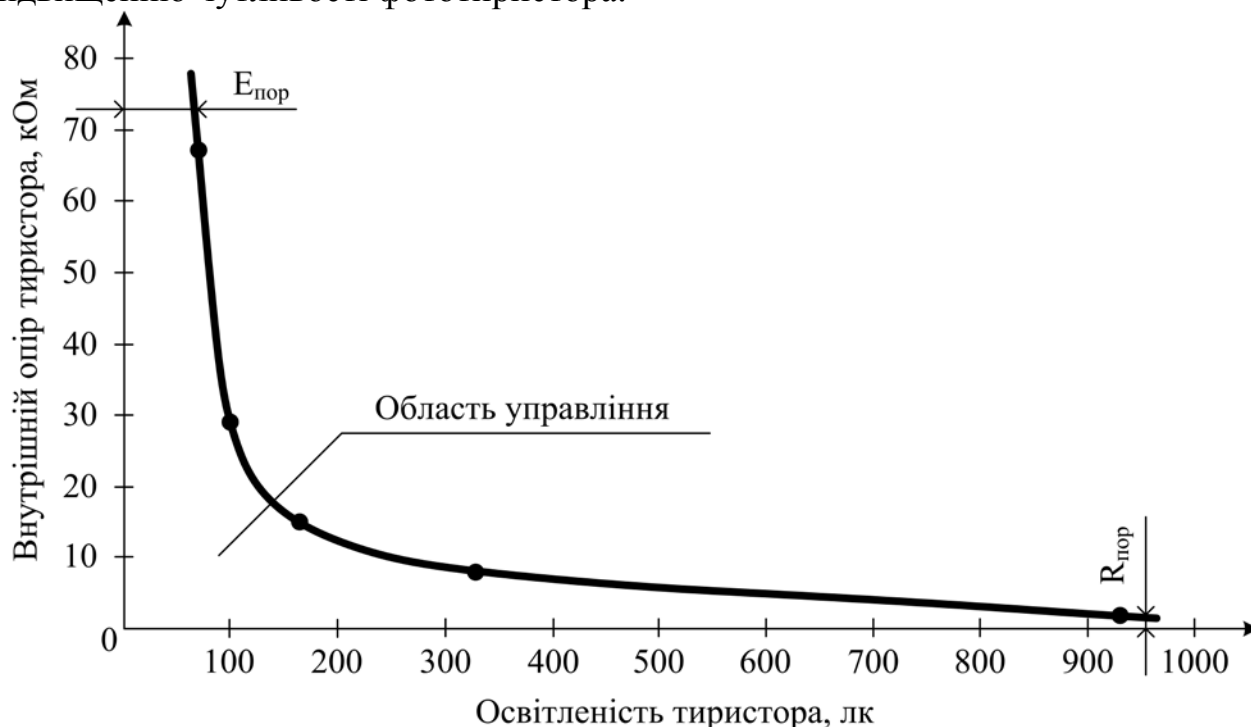


Рис. 1. Залежність внутрішнього електричного опору фототиристора від величини світлового потоку, де $E_{\text{пор}}$ – поріг освітленості, лк; $R_{\text{пор}}$ – внутрішній пороговий опір тиристора, кОм

Заклучение и выводы.

Будо розроблено спосіб розширення оптичного діапазону чутливості фотодатчиків за допомогою реєстрації додаткового світлового потоку від



флюорофору, що викликає додаткове зменшення внутрішнього електричного опору та сприяє підвищенню чутливості фототиристора. Визначено необхідний оптичний діапазон чутливості фотодатчиків і доведено можливість його розширення в УФ-діапазон. Було отримано характеристику управління фототиристора: від порогового мінімуму нечутливості освітлювання, до мінімального порогового опору включення фототиристора. Чим більша освітленість світлового входу фототиристора, тим менший його опір: струм включення залишається постійним, а напруга включення зменшується майже до нуля.

Литература:

1. Arc flash – Safety at the speed of light. URL: https://www.electricalreview.co.uk/features/7650Arc_flash_-_Safety_at_the_speed_of_light.html/
2. Русинов А. К., Ильясова Н. В. Атлас пламенных, дуговых и искровых спектров элементов. М.: Госгеолтехиздат, 1958. 120 с.
3. Левченко О. Г., Малахов А. Т., Арламов А. Ю. Ультрафиолетовое излучение при ручной дуговой сварке покрытыми электродами // Автоматическая сварка. 2014. № 6-7. С. 155–158.
4. Лазоренко Я. П., Шаповалов Е. В., Коляда В. А. Анализ спектра излучения сварочной дуги для мониторинга дуговой сварки // Автоматическая сварка. 2011. № 11 (703). С. 24–27.

References:

1. Arc flash – Safety at the speed of light. Available at: https://www.electricalreview.co.uk/features/7650Arc_flash_-_Safety_at_the_speed_of_light.html/
2. Rusinov, A., Ilyasova, N. (1958). Atlas of fiery, arc and spark spectra of elements. Moscow: Gosgeoltekhizdat, 120.
3. Levchenko, O., Malakhov, A., Arlamov, Y. (2014). Ultraviolet radiation in manual arc welding of coated electrodes. Automatic welding, 6-7, 155–158.
4. Lazorenko, Ya. P., Shapovalov, E. V., Kolyada, V. A. (2011). Analysis of the arc welding radiation spectrum for monitoring arc welding. Automatic welding, 11 (703), 24–27.

Abstract. The factors that arise during the arc discharge are determined, and the possibility of using them to accelerate the operation of the arc fault protection is determined. This makes it possible to create a combined device to accurately determine the arc discharge. In particular, the sensitivity spectrum of an optical sensor can be expanded by using ultraviolet radiation without replacing it. The possibility of accelerating the operation of the arc circuit protection due to the refusal to block it with relay overcurrent protection circuits and reduce the influence of solar radiation on the RFS (arc circuit protection) has been considered. The possibility of developing a more advanced device for protection against arc faults, which allows you to expand the spectrum of the optical sensor in the ultraviolet region, is substantiated.

Key words: protection against arc fault, protection sensitivity, radiation spectrum, ultraviolet radiation transformation.

Стаття відправлена: 07.11.2018 г.
© Пархоменко Р.О.