

ТЕХНОЛОГІЇ ТА ОБЛАДНАННЯ В ЕНЕРГЕТИЦІ

TECHNOLOGIES AND EQUIPMENT IN ENERGY

УДК 629.031

DOI 10.20535/1813-5420.4.2023.290936

Т.В. Бібік¹, канд. техн. наук, доцент, ORCID 0000-0003-0134-6022

І.А. Остапенко¹, інженер, ORCID 0000-0003-3980-1609

В.Г. Гончарук¹, аспірант, ORCID 0009-0007-9647-1462

¹Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

МЕТОДИКА ОТРИМАННЯ ІОНІЗУЮЧОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ НА ОСНОВІ ЕФЕКТУ ГАЛЬМІВНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

Основною проблемою зняття з експлуатації ядерних установок (ЯУ) є переробка або захоронення радіоактивних відходів. Основним методом є захоронення радіоактивних відходів (РАВ) у спеціальних контейнерах з охолодженням, які потребують постійного нагляду та обслуговування. Як результат маємо велику площу з РАВ яку потрібно утримувати, захищати та обслуговувати. Альтернативою є переробка відходів задля зменшення їх габаритів та, можливо, повторного використання. Скориставшись явищем гальмівного випромінювання можна отримати випромінювання з визначеним енергетичним спектром. Це можливо дозволить іонізувати атоми визначеного ізотопу, що в свою чергу дозволить скористатись взаємодією іонізованих частинок з магнітним полем. Магнітне поле зможе перемістити іонізовані частинки тим самим відділивши їх від неіонізованих.

Ключові слова: радіоактивні відходи, модернізація, ядерна енергоустановка, магнітне поле, іонізовані частинки.

Вступ

Вже існує багато типів прискорювачів заряджених частинок які використовуються для дослідів. Наприклад генератор Ван де Граафа, проста конструкція для показовості наявності явища гальмівного випромінювання. Але при детальному вивченні установки виявилось що є суттєвий недолік, енергія пучка електронів має нерівномірний спектр, коливання наскільки значні що отримати строго визначений перевипромінених хвиль буде неможливо.

Наступний генератор це бетатрон. Досить гарна установка в якості спектру регулювання і точності, але габаритна, має велику вагу, а також розгін електронів займає досить великий період часу. Дорогоартісна установка у виготовленні.

Найбільш гарним варіантом для випробувань в роботі буде лінійний прискорювач. Малогабаритний, швидкий, може робити пучок електронів дуже точного спектру.

Проаналізувавши багато літератури та користуючись досвідом, зроблено припущення що бомбардування високоенергетичними електронами мішені з металу можливо отримати рентгенівське поле.

Коли заряджена частинка рухається в речовині – відбувається її розсіяння в електростатичних полях атомних ядер і електронів. В результаті виникає гальмівне випромінювання що пропорційне квадрату, прискорення а частинки

$$E=2e^2a^2/3c^2, \quad (1)$$

Де, E – енергія що випромінюється зарядом e, c – швидкість світла. Гальмівне випромінювання лежить в основі рентгенівського випромінювання в рентген апаратах за рахунок емісії.

Емісія електронів – випромінювання електронів з катода під дією зовнішнього електричного поля. Також є поняття вторинної електронної емісії – це явище вибивання електронів із твердого тіла пучками швидких заряджених частинок.

Принцип дії рентгенівських трубок зав'язаний на використанні гальмівного випромінювання. Рентгенівські промені виникають при сильному прискоренні заряджених частинок, або при високоенергетичних переходах у електронних оболонках атомів або молекул. Обидва ефекти

використовуються в рентгенівських трубках [1].

Так як прискорення обернено пропорційне масі частинки, то протон не може скласти конкуренції електрону і гальмівне випромінювання електрона буде в тисячі разів інтенсивніше ніж гальмівне випромінювання протона. Спектр енергій гальмівного випромінювання безперервний, та має верхню границю що дорівнює початковій енергії електрона.

Для перевірки було побудовано експериментальну установку та проведено ряд експериментів. Необхідні складові:

- Блок живлення (БЖ).
- Помножувач напруги.
- Захисний корпус.
- Місце проведення експериментів.

Блок живлення

Кожен електричний прилад неодмінно споживає струм з різними характеристиками. Для живлення ПН потрібен постійний струм батарейки або ШІМ сигнал.

За основу взято блок живлення перевірки SMD компонентів електросхем з параметрами 5 вольт та 1 ампер на виході та переобладнав його з модулем регулювання напруги та іншим трансформатором [2].

Коротко про внесені зміни у схему.

R2 змінюється для збільшення порогу спрацьовування захисту від перевищення струму в 2 рази.

VD1 треба перевернути, тому що індикація зроблена так, що в робочому режимі світлодіод світиться червоним, а при спрацьовуванні захисту – зеленим що є косметичною більше зміною, але потрібною.

Rp слід додати для того, щоб при спрацьовуванні захисту на коротке замикання не «прострілювались» та не виходили з ладу транзистори Q1, Q2.

R19 слід зменшити, щоб розширити діапазон регулювання напруги до 15В.

R21 слід замінити, тому що при колишньому номіналі при напрузі 15В, резистор починає перегріватись, чорніти а також диміти.

Отримано блок живлення 15 вольт та 2 ампера на виході (див. рис. 1).

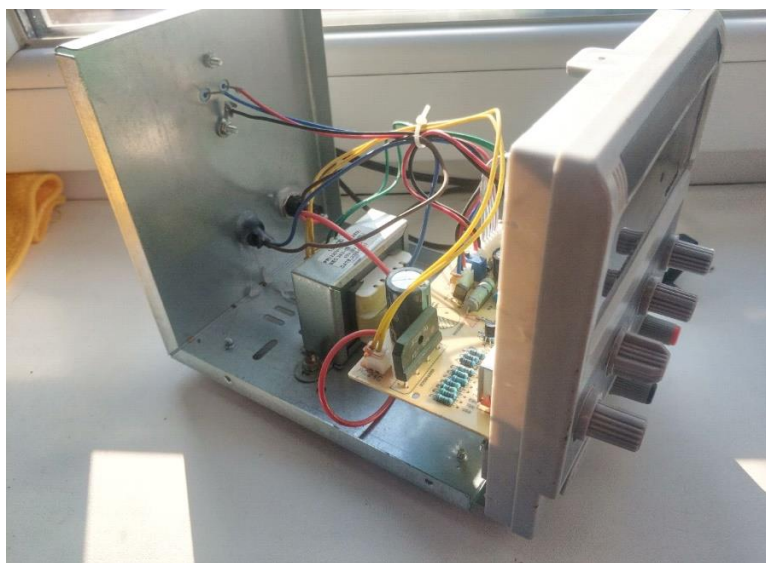


Рисунок 1 - блок живлення

Помножувач напруги

Для отримання високоенергетичного електрона можна використовувати різні методи, генератор Ван Де Граафа, батарея конденсаторів, бетатрон тощо. Найліпшими за простоту обравно ГВДГ та каскади з діодів та конденсаторів.

В роботі використано простий каскадний помножувач (див. рис. 2).

Каскадний генератор – прискорювач прямої дії, заряджені частинки в даному приборі прискорюються безпосередньо за рахунок великої різниці потенціалів. В каскадних генераторах високу постійну напругу отримують з низької перемінної напруги за допомогою помножувачів напруги [3].

Коли на вході від'ємна напівхвиля змінної напруги, перший діод відкритий і перший конденсатор заряджається до максимального значення вхідної напруги. При зміні полярності перший діод закривається, а другий навпаки відкривається, таким чином заряджаючи другий конденсатор. При кожній зміні вхідної полярності напруги – заряд ємностей послідовно сумується. Таким чином вихідна напруга – подвоєна вхідна напруга помножена на кількість каскадів.

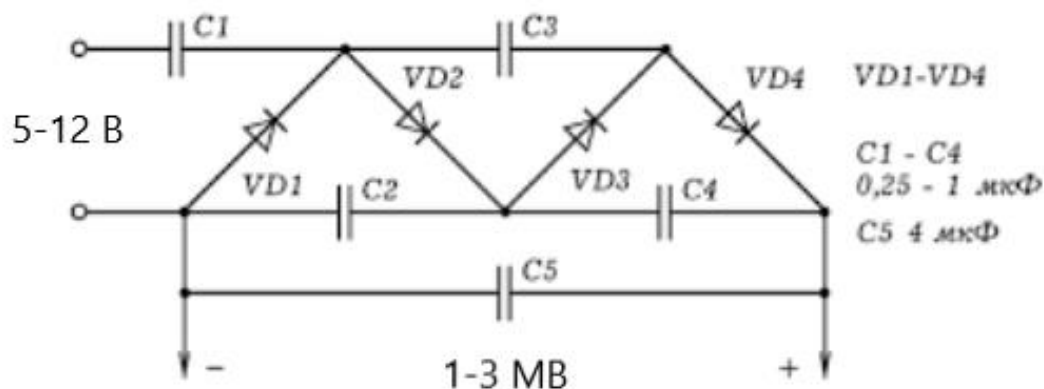


Рисунок 2 - каскадний помножувач

При проведенні дослідів наявний прискорювач вийшов з ладу через високу для нього напругу, один з конденсаторів надувся та перестав тримати ємність. Він був замінений та досліди продовжились. Але все ж після останнього експерименту заради отримання максимального розряду прискорювач знову був виведений з ладу високою напругою. Заявлена напруга прискорювача була 3 МВ, але фактична була значно меншою 3 кВ. Фактично було вираховано вже після першої поломки і розбору обладнання на компоненти, тож після першої поломки було збільшено кількість каскадів в тричі [4].

Найбільш відомим прискорювачем прямої дії є електростатичний генератор (генератор Ван де Грааф), де частки або іони ядер прискорюються безпосередньо за рахунок одно- або дворазового (в тандемі) проходження величезної постійної різниці потенціалів V , що досягає 20 мільйонів вольт. Частка, що має заряд Ze , набуває в такому прискорювачі кінетичну енергію $T = ZeV$. Істотною перевагою прискорювачів прямої дії є безперервність, висока інтенсивність і висока стабільність по енергії прискореного пучка. Струм пучка на прискорювачах Ван-де-Грааф може досягати декількох міліампер. Однак, в таких прискорювачах важко забезпечити енергію частинок більше 40-50 МеВ для протонів і для досягнення ще більших енергій використовують лінійні прискорювачі [5].

ГВДГ при пробному використанні не дав потужності достатньої для експерименту (див. рис. 3). Для отримання високих енергій використовують великі установки які коштують сотні тисяч гривень, тому варіант такого джерела електронів не виправдав себе.

Невдалий генератор був виконаний з наступних матеріалів:

- Металічна сфера (з багатьох слоїв фольги та харчової плівки)
- Електрод
- Ролик
- Діелектрична стрічка
- Щітка
- Ролик
- Джерело електроенергії.
- Захисний корпус

ЗК виконаний зі свинця та представляє собою куб котрим накривається рентгенівське поле. Також для захисту схеми живлення та управління її теж поміщено в корпус з фанери котрий збереже обладнання від механічних ушкоджень, пилу тощо.

В ЗК вкладається рентген плівка для фіксації гамма поля. Це простий метод фіксації, якщо буде можливість – перевірка буде з персональним дозиметром.

Ідеальним варіантом є вакуумна скляна колба з розрядником та пластиною всередині. Це вирішить одразу декілька проблем:

- окислення пластини;
- втрати енергії електронів на взаємодію з середовищем;

Також необхідною для масштабних дослідів складовою є активне охолодження елементів живлення та пасивне охолодження помножувача напруги.

Проведення дослідів

Конструкція була дороблена та готова до експлуатації. Для початку були налаштовані параметри блоку живлення щоб не вивести з ладу прискорювач на мінімальні показники напруги у 8 вольт. Бомбардування мішені виконувалось циклічно по 5 секунд з паузою в 5 секунд. Помічено що дуга прострілює мішень в різних місцях, з мішені виходить в одному місці (див рис 4). На рисунку зліва катод, видно що мішень засвічена зверху і знизу, а посередині ледь помітне потемнення, камера, на жаль не точно зафіксувала дугу.

Після проведення першого дослідження отримані невтішні результати. Плівка засвічена тільки з країв та не інтенсивно, можливо це відбулось якраз тому що електрони влучаючи в мішень починали рух до точки виходу з мішені попутно розсіюючись, а гальмівне випромінювання повторює траєкторію руху електронів в речовині. Плівка була зафіксована у рамці для рентгенівського апарату, що не пропускає альфа та слабке бета випромінювання. Дослід виконувався на низькій напрузі (див. рис. 5).

Ножиці та ключі на фото використані для того щоб побачити на рентген плівці силуети, що достовірно б довело присутність випромінювання саме під час дослідження. Часто на плівці через неправильне користування під час проявлення стають видимими артефакти.

Після дослідження мішень була утилізована. Через перегрів в одному місці з'явився отвір.

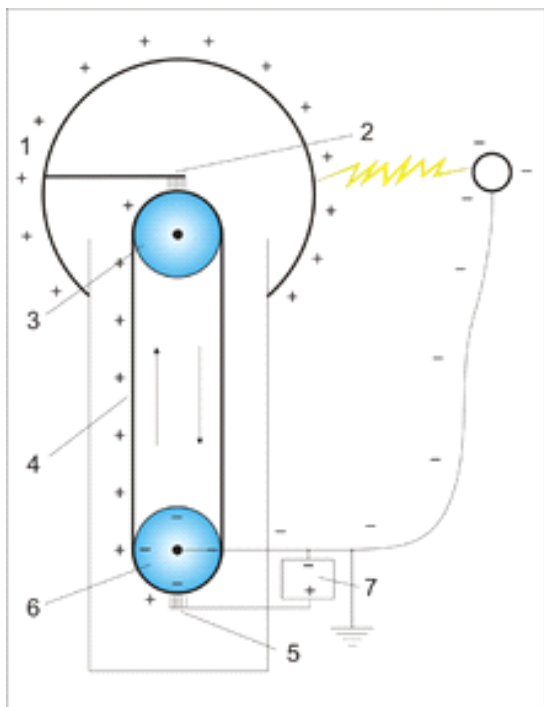


Рисунок 3 - принципова схема ГВДГ



Рисунок 4 - дуга пробою

На рисунку 6 видно пучок електронів зліва що летить від катода та має конусоподібну форму.

Мішень виконана зі свинця, максимально тонкого задля зменшення поглинання випромінювання в самому металі, тому це дешево та просто, заздалегідь було підготовлено десять мішеней, з розбіжністю в товщині.

Після просвітлення мішені зроблене припущення про напрямок випромінювання, а також потужність. Тому наступного разу були внесені такі корективи:

- Напряга була збільшена до максимально допустимої для стабільної роботи.
- Була замінена мішень на потовщену в два рази.
- Під час бомбардування мішень зміщувалася.
- Плівка була без рамки, але в захисному пакеті (захищає від альфа випромінювання).
- Плівка була скручена в тубус, а мішень з прискорювачом поміщена всередину.
- Половину часу мішень опромінювалась стабільною дугою без пробоїв дивитись рисунок 6.

Другу половину на максимальній напрузі, це дало свої результати дивитись рисунок 7.

Зверху видно рівномірне опромінювання, імовірно з'явилось через стабільну дугу тому що засвічення «м'яке», а в лівій верхній частині видимі плями малого діаметру але спричинені сильнішим опромінюванням сам дослід проводився в закритому приміщенні без доступу світла та з мінімальним другорядним опромінюванням.

Упаковка з рентген плівкою відкривалась у темному приміщенні, освітленому світлодіодним ліхтарем потужністю 1,5 Вт, на відстані 2 метрів, що є допустимими параметрами. Такі умови гарантують запобігання виникнення артефактів на плівці.

Обробка проводилась при температурі розчину 20 градусів по цельсію 8 хвилин. Промивка відбувалась за температури 25 градусів С на протязі 30 секунд. Через 30 секунд після промивання проводилась процедура фіксації. Фіксування проводилось при температурі 20 градусів на протязі 10 хвилин і знову плівка промивалась. Після плівка сушилась в спеціальній пічці до повного висихання, це зайняло не більше 15 хвилин. Проявник використовувався ХімРей.



Рисунок 5 - рамка з предметами для силуету

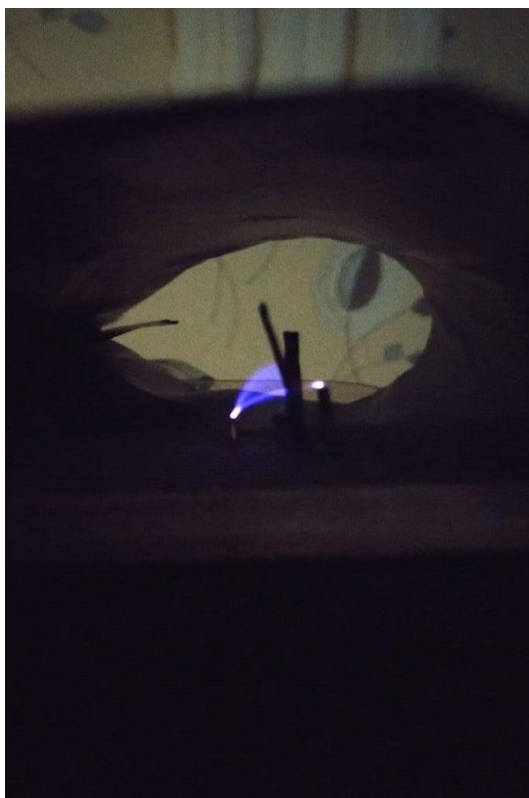


Рисунок 6 - стабільна дуга



Рисунок 7 - плівка після досліді з внесеними корективами

Висновки

1. Результатом досліді на рисунку 7 є овали. При цьому овали з'явилися позаду катоду, а це означає що рентгенівські промені мають не рівно направлений характер руху.
2. Можна стверджувати що промені рухались не крізь мішень, а в протилежному напрямі.
3. Прийняте рішення для подальших дослідів використовувати лінійний прискорювач електронів.

Список використаної літератури

1. Ядерна фізика в інтернеті [Електронний ресурс]/ <http://nuclphys.sinp.msu.ru/>
2. Остряшков Ю. М. — 1978 г. Энциклопедическая книга о кибернетике.
3. Аматорська автоматика. <http://geekmatic.in.ua/>
4. Фрауэнфельдер Г., Хенли Э. Субатомная физика. — М. : Мир, 1979. — 736 с.
5. «Prinzip Einer Methode Zur Herstellung Von Kanalstrahlen Hoher Voltzahl», Gustav Ising, Arkiv för matematik, astronomi och fysik (in German) 18 (30): 1-4 (1924)

T. Bibik¹, Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Prof, ORCID 0000-0003-0134-6022

I. Ostapenko¹, engineer, ORCID 0000-0003-3980-1609

V. Goncharuk¹, Ph. D. student, ORCID 0009-0007-9647-1462

¹National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”

**THE METHOD OF OBTAINING IONIZING RADIATION BASED
ON THE EFFECT OF BRAKE RADIATION**

The main problem of the decommissioning of nuclear installations (NPPs) is the processing or disposal of radioactive waste. The main method is the burial of radioactive waste (RAW) in special refrigerated containers that require constant supervision and maintenance. As a result, we have a large area with RW that needs to be maintained, protected and serviced. An alternative is to recycle waste to reduce its dimensions and possibly reuse it. Taking advantage of the phenomenon of bremsstrahlung, it is possible to obtain radiation with a defined energy spectrum. It is possible to ionize the atoms of a certain isotope, which in turn will make it possible to use the interaction of ionized particles with a magnetic field. The magnetic field will be able to move ionized particles, thereby separating them from non-ionized ones.

Keywords: radioactive waste, modernization, nuclear power plant, magnetic field, ionized particles.

References

1. Nuclear physics on the Internet [Electronic resource] <http://nuclphys.sinp.msu.ru/>
2. Yu. M. Otryashenkov — 1978. Encyclopedic book on cybernetics.
3. Amateur automation. [Electronic resource] <http://geekmatic.in.ua/>
4. Frauenfelder H., Henly E. Subatomic physics. — М.: Мир, 1979. — 736 p.
5. «Prinzip Einer Methode Zur Herstellung Von Kanalstrahlen Hoher Voltzahl», Gustav Ising, Arkiv för matematik, astronomi och fysik (in German) 18 (30): 1-4 (1924)

Надійшла: 04.07.2023

Received: 04.07.2023