Джерела живлення, керування та експозиції РДА. Розрахунок параметрів головного ланцюга апарату.

Мета: Вивчити особливості принципів побудови, конструкції, складу, принципу дії та структури джерел живлення, керування та експозиції РДА. Робота електросхеми, експлуатація та міри безпеки, робота та технічне обслуговування систем та блоків апарату. Освоїти методику розрахунку параметрів головного ланцюга.

І. Теоретична частина

1.1. Будова, технічні характеристики та склад джерел живлення РДА

1.2. Будова, технічні характеристики та склад систем керування РДА

1.3. Будова, технічні характеристики та склад системи експозиції РДА

1.4. Принципи побудови та робота системи живлення, системи керування та експозиції РДА.

1.5. Конструкція блоків системи живлення, системи керування та експозиції РДА

1.6. Принцип дії однофазної та трифазної системи живлення.

1.7. Робота електричних схем живлення, керування та експозиції.

1.8. Методика розрахунку параметрів головного ланцюга РДА.

1.9. Управління режимами роботи.

1.10. Робота систем захисту.

ІІ. Міри безпеки

2.1. Електробезпека та радіаційна безпека.

III. Режими роботи джерел живлення, керування та експозиції

IV. Підготовка і порядок включення РДА

V. Технічне обслуговування систем живлення, керування та експозиції

VI. Протокол дослідження

VII. Висновки

I. Теоретична частина

1.1. Будова, технічні характеристики та склад джерел живлення РДА

Джерело живлення рентгендіагностичного апарату складається з пристрою, що живить рентгенівську трубку. Цей пристрій є високовольтним підвищуючим трансформатором, який під'єднаний до рентгенівської трубки. У випадку побудови діючого вузла рентгенівського апарата у вигляді моноблоку високовольтний трансформатор знаходиться в одній структурній одиниці з рентгенівською трубкою. Трансформатор представлений первинною та вторинною обмотками з металевою серцевиною. Кількість витків забезпечує потрібний коефіцієнт трансформації. До джерела живлення також можна віднести випрямляч, який перетворює вхідну змінну напругу та подає узгоджений сигнал на високовольтний трансформатор.

До джерела живлення також можна віднести вузол, який структурно знаходиться після високовольтного трансформатора –це випрямляч. Найбільш поширені діодні випрямлячі, які забезпечують непогані параметри

випрямлення вхідної напруги. Після проходження випрямляча напруга подається на високовольтний блок.

Технічними характеристиками випрямляча є: кількість фаз, матеріал діодів, рівень пульсацій і т.д.

Технічними характеристиками трансформатора є: кількість витків обмоток, опір обмоток, матеріал серцевини, коефіцієнт трансформації.

1.2. Будова, технічні характеристики та склад систем керування РДА

Система керування рентгенівського апарата – блок, який забезпечує режими установки роботи рентгенівської трубки.

Основним параметром роботи трубки є експозиція, що задає час роботи трубки у відповідності з іонізацією камери трубки. Система керування складається з пульта управління (пультик). До технічних характеристик пульта управління можна віднести: кількість можливих установок експозиції, довжина виносного шнура, тип кнопки знімків та др.

Пультик управління керує роботою системи експозиції та є основним керуючим вузлом рентгенівського апарата «Арман-1», який дозволяє виконувати основні операції під час роботи апарату.

1.3. Будова, технічні характеристики та склад системи експозиції РДА

До системи експозиції рентгенівського апарата «Арман-1» можна віднести реле часу та схему управління реле.

Реле представляє собою систему двохпозиційних контактів, які керується струмом, що протікає через котушку управління. В залежності від нього, якір реле займає відповідну позицію, тим самим забезпечуючи необхідне положення контакту. Схема управління представляє собою ємність *С2Ш*, яка заряджається до необхідного рівня та пробиває стабілітрон *Д4Ш*. При цьому струм підсилюється транзистором *Т2Ш* та змушує якір реле *РШ* зайняти положення, яке відповідає положеню «вимкнено» для РДА.

До технічних характеристик системи експозиції можна віднести: напруга пробою стабілітрона (вона ж напруга порогового заряда ємності), коефіцієнт

посилення струму транзистором, пороговий струм вимкнення реле, тип реле і т.д.

1.4. Принципи побудови та робота систем живлення, керування та експозиції

Система живлення.

Система живлення проектується з розрахунку забезпечити потрібну напругу рентгенівської трубки. Важливим параметром тут є коефіцієнт трансформації високовольтного трансформатора, оскільки це число задає можливість трансформатора підвищити напругу до потрібного рівня. Отже, отримання потрібного коефіцієнта трансформації є одним з принципів побудови системи живлення. Узагальнене структурна схема системи живлення наведена на рис. 3.1.

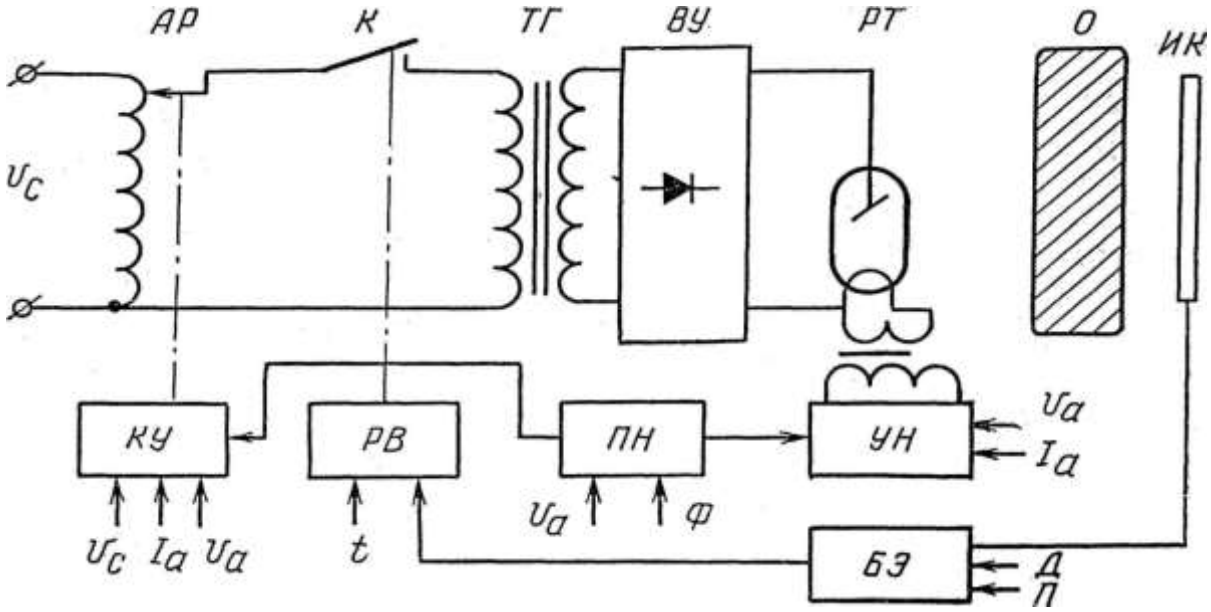

Рис.3.1. Узагальнена структурна схема системи живлення РДА

АР – аналізатор режиму; К – комутатор; ТГ – трансформатор; ВУ – випрямляч; РТ – рентгенівська трубка; О – об’єкт дослідження; ИК – іонізаційна камера; УН – блок накалу; БЭ – блок експонометра; ПН – перетворювач напруги; РВ – реле часу; КУ – компенсаційний пристрій.

Робота системи живлення. АР є елементом регулювання і в залежності від необхідних значень анодного струму, напруги та вхідної напруги $И_c$, блок КУ підстроює АР на необхідний режим. Комутатор К є комутатором реле часу РВ, який вимикається після завершення часу витримки *t*. ТГ – головний високовольтний трансформатор, який підвищує мережеву напругу в залежності від потреби живлення рентгенівської трубки РТ. ВУ – випрямляч, перетворює змінну напругу в постійну з деяким допуском на пульсації, фактично є мостом, на вхід якого подається змінна напруга з ТГ, а на виході маємо напругу живлення РТ. УН – блок накала, розжарює катод.

Система керування

Будова пульта управління апарата «Арман-1» наведена на рис. 3.2.

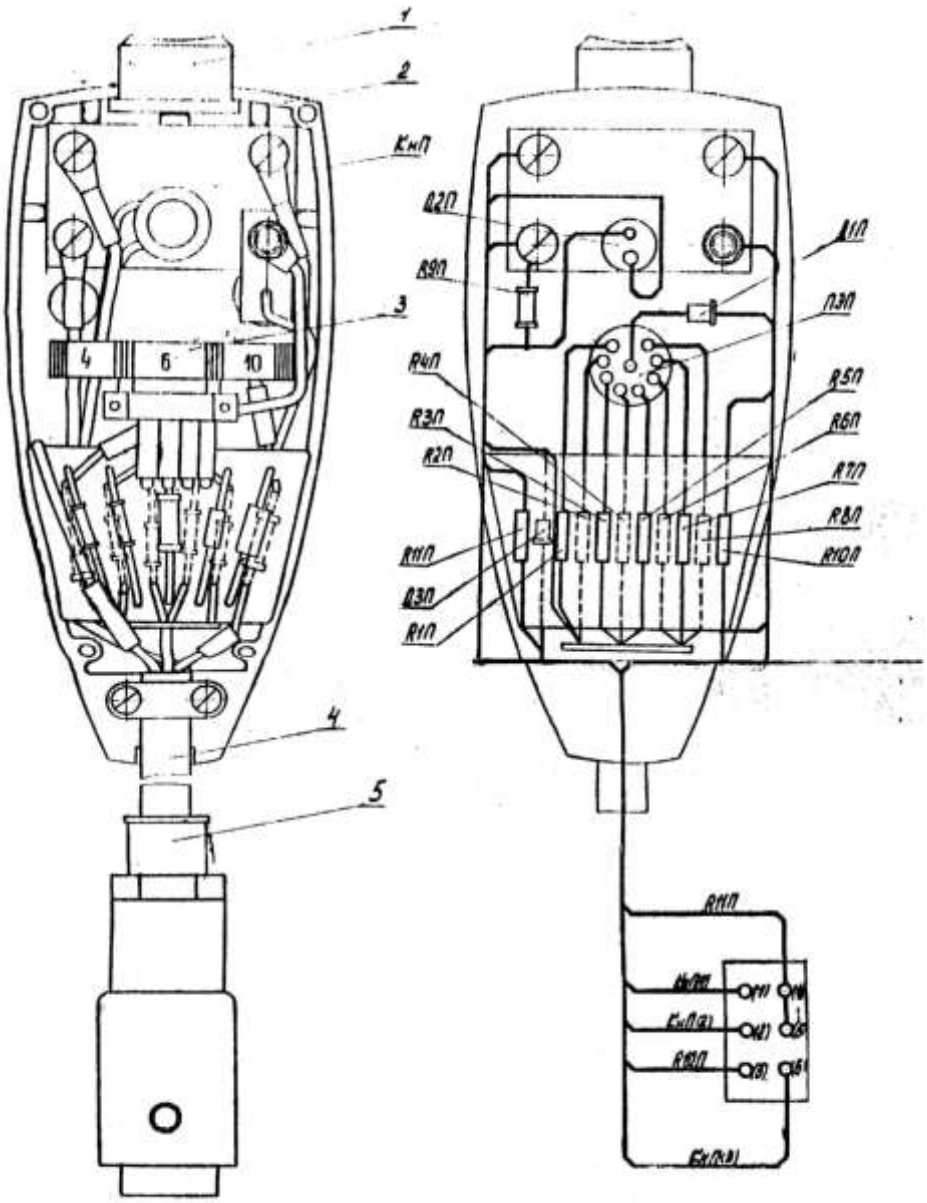

Рис. 3.2. Будова пульта управління (Пультик)

1 – кнопка; 2 – корпус; 3 – кільце; 4 – кабель; 5 – вилка.

Система управління подачею живлення має бути побудована таким чином, щоб забезпечити: точну установку експозиції знімку, сигналізацію ввімкнення високої напруги, кнопку початку знімка. Це мінімальний набір функцій, які має виконувати пульт управління рентгенівського апарата.

Робота пульта. Оператором виставляється величина експозиції, та якщо все готове до знімку, натискає кнопку. Час експозиції буде заданий часозадаючим ланцюгом з певного резистора та ємності С2Ш. При цьому повинен загорітись світлодіод Д2П, що сигналізує про подачу на трубку високої

напруги. Після закінчення експозиції діод має згаснути. Це означатиме, що висока напруга відімкнена від рентгенівської трубки.

Система експозиції

До системи експозиції рентгенівського апарата входять, реле часу та схема управління реле. Принципом побудови системи експозиції є забезпечення точності витримки рентгенівського знімку у відповідності до ступеня іонізації камери трубки (анодний струм). Розглянемо роботу експозиції апарату «Арман-1» за принциповою схемою (рис. 9, с. 18).

Доки напруга на конденсаторі С2Ш не досягла напруги пробою стабілітрона Д3Ш, то система експозиції працює, контакт реле знаходиться в положенні «ввімкнено». Як тільки напруга досягає рівня пробою, обернений струм стабілітрона підсилюється транзистором Т2Ш і тече через обмотку реле, тим самим змушуючи його вимикання. Цей процес означає закінчення знімку, контакт реле розімкнутий, силовий контакт КШ розмикається, подача високої напруги припиняється.

1.5. Конструкція блоків системи живлення, системи керування та експозиції РДА

Розглянемо конструкцію блоків відповідно до будови апарата«Арман-1».

Система живлення

В апараті «Арман-1» діючий вузол представлений у вигляді моноблока. Це означає, що високовольтний трансформатор і рентгенівська трубка зібрані в одній складальній одиниці. Всередині моноблока знаходиться трансформаторне масло, що використовується для охолодження та частково для фільтрації. Трансформатор являє собою пристрій, що складається з первинної та вторинної обмоток та металевої серцевини, кількість витків задає коефіцієнт трансформації.

Система керування.

Пульт управління рентгенівського апарата «Арман-1» представляє собою складальну одиницю, зібрану в пластмасовому корпусі (рис. 3.2). Основним елементом пульта управління є перемикач ПЕП, який забезпечує встановлення розміру експозиції. ПЕП представляє собою восьми позиційний ковзаючий контакт, який підмикає один з резисторів R1П-R8П до часозадаючого ланцюга R9-С2Ш. Кнопка знімків є чотрьохконтактною (рис. 3.2). На рисунку кнопка знаходиться в початковому положенні.

Система експозиції

Конструктивно система експозиції складається з звичайного реле часу та електричної схеми керування реле. Реле часу має двопозиційний контакт, який може знаходитись в положенні «ввімкнено» чи «вимкнено». Під час роботи рентгенівської трубки контакт знаходиться у ввімкненому положенні, в режимі спокою – у вимкненому.

1.6. Принцип дії однофазної та трифазної системи живлення

Однофазна система живлення передбачає стандартне включення апарата до звичайної розетки, коли мережева напруга подається між фазним та загальним провідником. Принцип такого живлення фактично і є принципом роботи трансформатора в апараті «Арман-1». Випрямлення в такому випадку однонапівперіодне безвентильне. Принцип дії такої системи живлення просте – мережева напруга подається на елемент регулювання, і через замкнені контактори подається на високовольтний трансформатор, який підвищує напругу, та далі на випрямляч, який перетворює її в постійну.

Схема трифазного живлення наведена на рис.3.3.

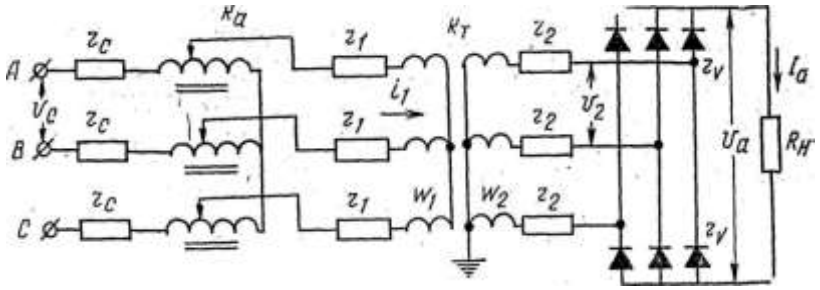

Рис. 3.3. Схема трифазного живлення.

В даному випадку в колі кожної фази присутній автотрансформатор, який є елементом регулювання в даному випадку. К – підвищуючий високовольтний трансформатор, після якого напруга потрапляє на діодний випрямляч. Випрямлена напруга подається на навантаження – рентгенівську трубку.

1.7. Робота електричних схем живлення, керування та експозиції

Робота електричної схеми живлення

Схема живлення апарата «Арман-1» працює наступним чином. На вхід схеми подається мережева змінна напруга. Якщо силовий контакт КШ розімкнений, то ця напруга на високовольтний трансформатор не подається. Контакт КШ замкнеться у випадку натиснення кнопки знімків. При цьому мережева напруга подається на високовольтний трансформатор, який підвищує напругу до необхідного рівня.

Робота схеми керування

Пульт керування працює наступним чином. Оператором виставляється величина експозиції, та якщо все готове до знімку, натискає кнопку. Час експозиції буде заданий часозадаючим ланцюгом з певного резистора та ємності С2Ш. При цьому повинен загорітись світлодіод Д2П, що сигналізує про подачу на трубку високої напруги. Після закінчення експозиції діод має згаснути. Це означатиме, що висока напруга відімкнена від рентгенівської трубки.

Робота системи експозиції

До системи експозиції рентгенівського апарата входять, реле часу та схема управління реле. Розглянемо роботу системи експозиції апарату «Арман-1» за принциповою схемою (рис. 3). Доки напруга на конденсаторі С2Ш не досягла напруги пробою стабілітрона Д3Ш, то система експозиції працює, контакт реле знаходиться в положенні «ввімкнено». Як тільки напруга досягає рівня пробою, обернений струм стабілітрона підсилюється транзистором Т2Ш і тече через обмотку реле, тим самим змушуючи його вимикання. Цей процес означає закінчення знімку, контакт реле розімкнутий, силовий контакт КШ розмикається, подача високої напруги припиняється.

1.8. Методика розрахунку головного ланцюга РДА

Співвідношення, отримані при аналізі процесів у головного ланцюга апарату, дають можливість перейти до розрахунку конструктивних елементів головного ланцюга. Розрахунок зручно розділити на три основні етапи: розрахунок головного ланцюга по допустимому падінню напруги; розрахунок регулювального автотрансформатора; розрахунок високовольтного трансформатора [7].

Розрахунок головного ланцюга є найважливішим етапом проектування рентгенодіагностичного апарату, що визначає основні електричні й конструктивні параметри елементів ланцюга, а також вимоги до мережі живлення і до пристроїв захисту високовольтної ізоляцій при аварійному відключень навантаження. Розрахунок головного ланцюга полягає в

оптимальному виборі допустимих опорів мережі живлення і апарату, забезпечують отримання всіх режимів роботи рентгенівської трубки. Допустимий опір мережі живлення визначає можливості використання апаратури в електричних мережах загального призначення, а опір апарату обумовлює вибір конструктивних параметрів елементів головного ланцюга. Вибір припустимого опору, крім того, визначає дані для розрахунку системи автоматичної компенсації падіння напруги. Розрахунок головного ланцюга в цьому випадку грунтується на оптимальному виборі коефіцієнта а, який представляє відношення напруги холостого ходу до напруги навантаження:

$$a = \frac{U_{xx}}{U_a} \tag{1}$$

Відмінною рисою головного ланцюга сучасного рентгено-діагностичного апарата великої потужності є два режими роботи: режим максимального напруження при деякому значенні струму рентгенівської трубки і режим максимальної потужності при зниженому значенні напруги. У зв'язку з цим коефіцієнт а втрачає однозначність і може змінюватися в досить широких межах. Методика базується на рішенні основного рівняння головного ланцюга апарату.

На рис.3.3 наведена схема включення рентгенівської трубки через високовольтний трансформатор і трифазну мостову схему випрямлення зірка-зірка до трифазної джерела живлення з опором r_c кожної фази.

Опір кожної фази первинної обмотки високовольтного трансформатора, а також опір фаз вторинної обмотки позначимо r_1 і r_2, опір кожного вентиля позначимо r_v.

Аналіз процесів в головного ланцюга, розглянутий раніше, дозволяє виходити з наступних припущень:

1. Нехтуємо впливом індуктивності розсіяння елементів лавная ланцюга на величину максимального значення напруги навантаження. Як було показано раніше, таке припущення приводить до похибки не більше 3%, якщо індуктивність розсіювання X<0,2. Ця умова є визначальним при виборі конструктивних параметрів елементів головного ланцюга, тому що якщо воно не виконується, то зростає величина пульсацій і знижується амплітуда випрямленного напруги.

2. Опір навантаження (рентгенівської трубки) приймемо лінійним і залежних від напруги та струму трубки.

3. Опір підвідних проводів, контактів пускачів та інших елементів, розташованих до автотрансформатора, відносимо до опору мережі r_c.

Відомо, що при розрахунку головного ланцюга апарату користуються максимальним значенням випрямленного напруги на трубці і середнім значенням анодного струму. Для середнього значення струму справедливо співвідношення $K_M = \frac{I_{am}}{I_a}$. Для трифазної мостової схеми при граничних значеннях режимів апарату Км = 1,07. Розраховується методами графічного інтегрування по кривих, миттєвого значення струму навантаження.

У момент часу, що відповідає максимуму випрямленої напруги на трубці, у схемі включені дві фази обмотки зірки. Струм, що протікає по обмотках зірки, відповідає амплітудне значення, а падіння напруги на вторинній обмотці високовольтного трансформатора рівне:

$$\Delta U_{2m} = 2r_2 I_{am}. \quad (2)$$

Прийнявши до уваги падіння напруги на опорах випрямлячів, отримаємо для падіння напруги на вторинній стороні головного ланцюга

$$\Delta U_{2m} = I_a K_m (2r_2 + 2r_v). \quad (3)$$

Струм, що протікає по первинних обмоток трансформатора, має різко несинусоїдальних форму. У момент, що відповідає максимуму випрямленого - напруги на трубці, падіння напруги в двохпровідній лінії живлення на первинній стороні високовольтного трансформатора набуде вигляду:

$$\Delta U_{1m} = I_a K_m K_T (2r_1 + 2r_{at} + 2r_c K_a^2), \quad (4)$$

де $r_{ат}$ - прохідний опір фазною обмотки автотрансформатора, приведений до його вторинної сторони (або, що одне й те саме, до первинної стороні високовольтного трансформатора).

Загальне рівняння головного ланцюга прийме вигляд:

$$2U_M K_a \sin\frac{\pi}{3} = \frac{1}{K_T} U_a + 2I_a K_M K_T (r_2^{'} + r_v^{'} + r_1 + r_{at} + r_c K_a^2). \quad (5)$$

Потужність рентгенівської трубки розраховується наступним чином:

$$P_a = K_p U_a I_a (кВт), \quad (6)$$

де K_p – коефіцієнт потужності випрямляючих схем, однонапівперіодної та двохнапівперіодної 0,74; шестифазної – 0,95; дванадцятифазної – 0,98.

1.9. Управління режимами роботи

Управління режимами роботи в апараті «Арман-1» проходить в залежності від експозиції, виставленої в початкових настройках. Фактично, експозиція задаватиме анодну напругу на трубці, відповідно, і струм (закон Ома). В апараті присутній так званий підстройщик кіловольт – реостат, який обмежує анодний струм через трубку. При повірці струм не має виходити за межі 16-20 мА, тоді режим роботи буде оптимальним. У випадку виходу струму за межі діапазону необхідно підкрутити регулювальний реостат (змінити його опір), тим самим «завести» струм в потрібний діапазон.

Робота систем захисту

До системи захисту апарата Арман-1 відноситься газовий розрядник РШ (рис.9). Він призначений для захисту низьковольтних кіл рентгенівського апарата від високої напруги.

Газовий розрядник підключений між землею та вторинною обмоткою високовольтного трансформатора. Якщо на нього внаслідок неполадок у роботі подається висока напруга, він пробивається та відводить надлишковий заряд на землю, не дозволяючи його потрапляння на низьковольтних ланцюгів апарата – схеми керування (пульт управління) та схеми експозиції.

II. Міри безпеки

Електробезпека та радіаційна безпека

При роботі з моноблоком слід пам’ятати, що всередині міститься високовольтний трансформатор. Тому під час ремонту моноблоку необхідно у цілях безпеки вимикати апарат з мережі, або виймати штекер кабеля живлення. Незважаючи на те, що при ввімкненій мереженій напрузі трансформатор у неробочому режимі знеструмлений, за халатністю може бути натиснена кнопка знімків, що призведе до подачі напруги на трансформатор.

Корпус виконаний з металу, і отже може проводити струм. Тому після ремонту небажане торкання оголених частин проводів металевих частин моноблока, без додаткової перевірки параметрів РДА та випробувань.

При користуванні рентгенівським апаратом потрібно чітко розрізняти робочий пучок і розсіяне випромінювання. Під робочим пучком розуміють

пучок рентгенівського випромінювання, який проходить через досліджувану ділянку організму хворого і дає зображення на рентгенівській плівці. Під невживаним випромінюванням розуміють промені, що розсіюються організмом хворого, повітрям, а також промені, що проходять через стінки кожуха моноблока. У апараті «Арман-1» прийняті необхідні заходи для захисту від невживаного випромінювання. Внутрішня частина кожуха моноблока має захист зі свинцю.

Для зменшення розсіяного випромінювання при роботі апарату потрібно користуватися тубусами, що додаються, обмежують поле опромінення. Не слідує під час знімка знаходиться без потреби поблизу апарату. Триметровий шнур з пультиком управління на його кінці дозволить вам відійти від апарату на безпечну відстань. Стежите за тим, щоб під час знімка в зоні дії прямого пучка променів не знаходилися ні ви, ні інші люди, а лише пацієнт.

По існуючих нормах захист моноблока від невживаного рентгенівського випромінювання має бути такій, щоб при закритому вихідному вікні, сумарна експозиційна доза рентгенівського випромінювання апарату, що працює в номінальному режимі (напруга мережі 220 В, опір мережі 2 Ом, напруга на аноді трубки 75 кВ, анодний струм трубки 18 мА, експозиція 300 мА·с за 15 хв. роботи), на відстані 1 м від фокусу трубки в будь-якому напрямі, не перевищувала 36 мілірентген за 1 годину роботи. Захист моноблоку відповідає цій вимозі.

У апараті використовується рентгенівське випромінювання з жорсткістю 75 кВ. Ефективним засобом захисту від розсіяного випромінювання є просвинцьований гумовий фартух. Ця таблиця, безумовно, не замінить досвіду роботи на апараті. Абсолютно очевидно, що кожен грамотний медичний працівник може працювати з тими установками мілліамперсекунд і з тими фокусними відстанями, які він рахує для себе найбільш відповідними. Його досвід може виявитися вельми корисним і для інших фахівців, що працюють з апаратом.

III. Режими роботи систем живлення, керування, експозиції

Режим роботи системи живлення. Система живлення апарата працює фактично в режимі подачі напруги під час роботи рентгенівської трубки. Тобто, якщо трубка не генерує промені (вимкнена) система живлення повинна забезпечувати недопустимість подачі високої напруги на трубку. Це забезпечується за допомогою силового контактора КШ, який в режимі спокою розриває коло подачі мережевої напруги на високовольтний трансформатор.

У режимі знімку контактор замкнний і напруга подається на трансформатор, підвищується до потрібного рівня і подається на трубку.

Режим роботи системи керування. Система керування працює в режимі виставлення потрібної експозиції. Інакше вона знаходиться у спокої. Пуьт може знаходитись у режимі знімку або у вимкненому режимі, в залежності від положення кнопки знімків.

Режим роботи системи експозиції. Система експозиції працює у режимі ввімкненого реле або розімкненого. Час витримки залежить від виставлених установок на пульті управління.

IV. Підготовка і порядок включення РДА

Робота з апаратом після того, як він із зарядженими касетами доставлений в дане приміщення, виконуватися згідно порядку (с.23-24)

V. Технічне обслуговування та повірка системи живлення, керування та експозиції.

Система живлення. Основним заходом обслуговування системи живлення є вимірювання анодного струму. Схема вимірювання наведена на рис.3.4.

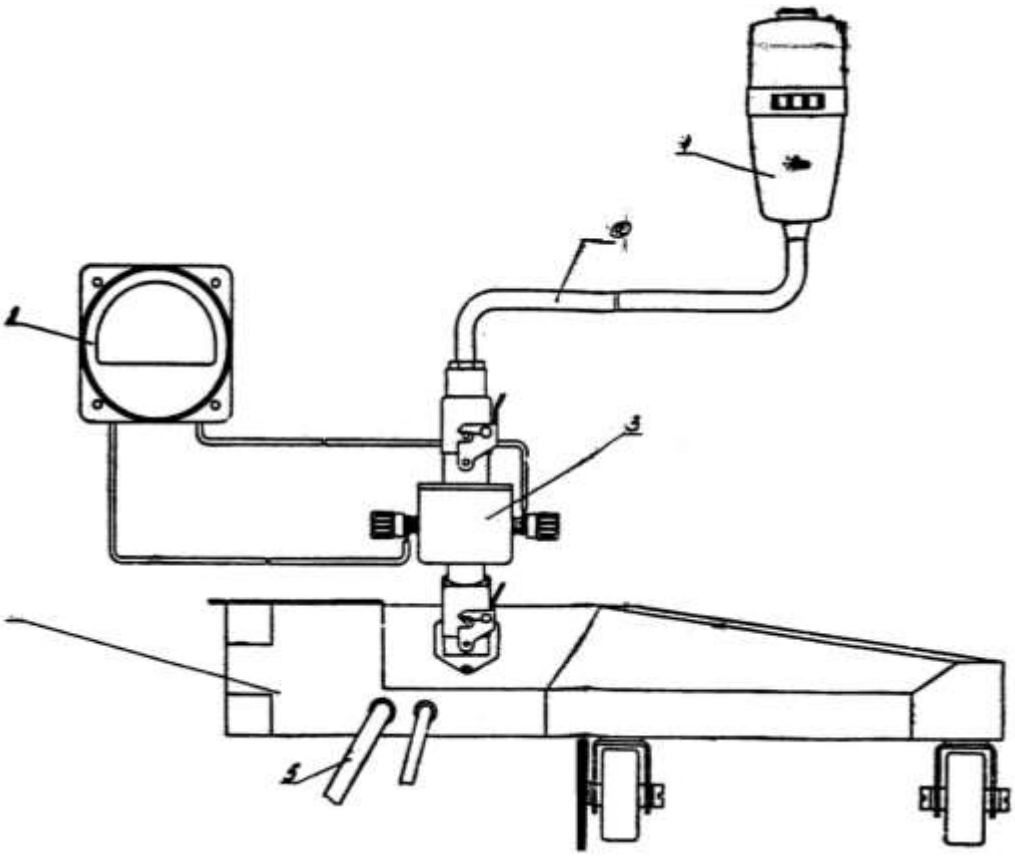

Рис. 3.4. Вимірювання анодного струму

1 – основа; 2 – міліамперметр; 3 – клема; 4 – роз'єм; 5 – пультик; 6 – пристосування для підключення вимірювального приладу в коло анодного струму; 7 – клема.

Вимірювання заключається у визначенні анодного струму при живленні апарата від лабораторного автотрансформатора. Якщо струм в межах 16-20 мА, то регулювання робити не треба, в інших випадках необхідно робити підстройку реостата.

Важливим заходом є також перевірка контактора. У випадку виявлення нагара його необхідно прочистити.

Система керування. Технічне обслуговування пульта управління зводиться до контролю контактів кнопки знімків, заміни елементів схеми, що вийшли з ладу та контролю контактів перемикача ПЕП. У випадку забруднення їх необхідно почистити, а у випадку поломки – замінити.

Система експозиції. Технічне обслуговування зводиться до перевірки справності реле та елементів схеми управління – транзистора, стабілітрона та конденсатора. У випадку пробиття напівпровідникових елементів необхідна їх заміна. Контакти реле мають бути вільні від бруду.

VI. Протокол розрахунків та дослідження

Проведемо розрахунок головного ланцюга за умов: U=75кВ, I = 4 мА, t=1с.

Розглянемо трьохфазну схему живлення (рис.3.5.)

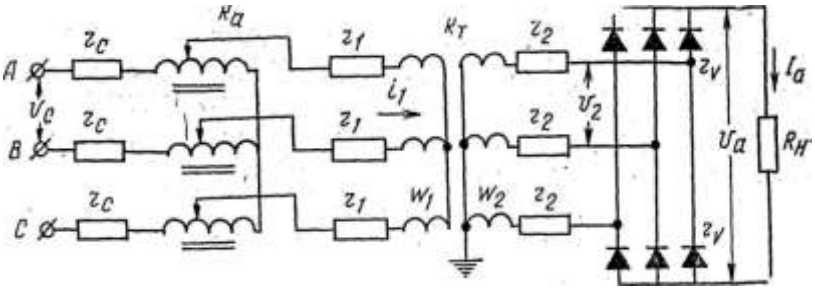

Рис. 3.5. Схема живлення

Розрахунок проведемо для подібної схеми. Нехай опір відкритого діода $r_v = 0{,}2$ Ом , опір обмотки також невеликий, $r_2 = 12$ Ом. Коефіцієнт

$К_м = 1{,}07$ для трифазних схем. За формулами (2)-(4) отримаємо:

$$\Delta U_{2m} = I_a K_m (2r_2 + 2r_v) = 0.004 \cdot 1.07(24 + 0.4) = 0.10\text{В};$$

Коефіцієнт потужності $К_р = 0.74$.

$$Р_a = К_р U_a I_a = 0.74 \cdot 75\,000 \cdot 0.004 = 222\text{Вт};$$

З таблиці допустимих значень опору мережі в залежності від потужності отримаємо $r_c = 1.8$ Ом

$$\Delta U_{1m} = I_a K_m K_T (2r_1 + 2r_{at} + 2r_c K_a^2) = 0.004 \cdot 1.07 \cdot 243 \cdot (0.4 + 1 + 3.6) = 5.2\ B.$$

Напруга холостого ходу трубки вибирається на третину менше за номінальну, тоді коефіцієнт a буде рівним:

$$a = \frac{U_{xx}}{U_a} = \frac{50}{75} = 0.667.$$

$$\sum \Delta U_m = 2 \cdot I_a \cdot K_m \cdot K_T \cdot (r_2' + r_v' + r_c K_a^2 + r_{am})$$

Де $r_2' = \frac{r}{K_T}$, $r_v' = \frac{r_v}{K_T}$, $K_T = 100$, $r_2' = \frac{20}{100} = 0.2$, $r_v' = \frac{0.2}{100} = 0.002$ Ом.

Звідси

$$\sum \Delta U_m = 2 \cdot I_a \cdot K_m \cdot K_T \cdot (r_2' + r_v' + r_c K_a^2 + r_{am}) = 2 \cdot 0.02 \cdot 1.07 \cdot 100(0.2 + 0.002 + 1.8 + 1) = 12.8$$

Для автотрансформатора струм короткозамкнутого витка

$I_K = \frac{U_0}{R_a + R_Щ + R_К}$,

де R_a – опір витка, $R_{Щ}$ – опір щітки, R_K – контактний опір, U_0 – число вольт на виток. Оскільки $R_a, R_Щ, R_К$,то струм залежатиме в більшій степені від контактного опору щітки. Його можна графічно визначити з залежності контактного опору від тиску (рис. 3.6)

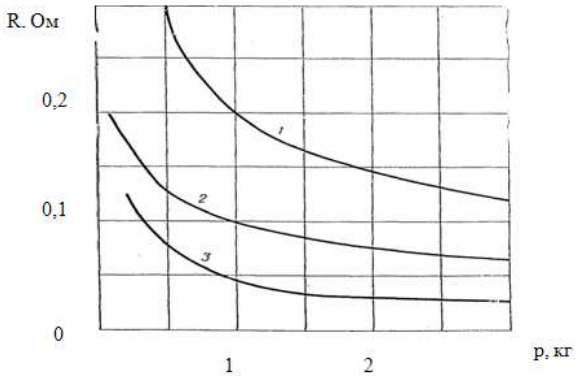

Рис. 3.6 Залежність контактного опору від тиску

1 - мідно-графітова щітка; 2 – електрографітова щітка; 3 – вугільно-графітова щітка.

Вибираємо вугільно-графітову щітку, навантаження 1,5 кг, отже контактний опір буде рівний $R_K = 0.025$ Ом. Падіння напруги на витку $U_0 = 0.00002$В.

Отже, струм буде рівний:

$$I_K = \frac{U_0}{R_a + R_Щ + R_К} \approx \frac{U_0}{R_К} = \frac{0.00002}{0.025} = 0.8\ мА.$$

Індуктивність розсіяння буде рівна:

$$L = 2 \cdot 10^{-9} \cdot l \cdot w_1^2 \cdot (K_a - 1)^2 \cdot K_a^2 \cdot K_c \cdot ln \frac{K_a \cdot \frac{K_a}{K_a - 1}}{(K_a - 1)^{K_a}}$$

де l —довжина витка, w_1 —число витків первинної обмотки, K_a —коефіцієнт трансформації, $K_c = 1$ (матеріал магнітопроводу не впливає). Отже, індуктивність буде рівна:

$L = 2 \cdot 10^{-9} \cdot l \cdot w_1^2 \cdot (K_a - 1)^2 \cdot K_a^2 \cdot K_c \cdot ln \frac{K_a \cdot \frac{K_a}{K_a - 1}}{(K_a - 1)^{K_a}} = 2 \cdot 10^{-9} \cdot 0.02 \cdot 100 \cdot (10 - 1)^2 \cdot 100 ln \frac{10^{\frac{100}{9}}}{9^{10}} = 1.12 \cdot 10^{-4}$ ГнРозраховані дані наведені в таблиці.

Таблиця

Параметр	Значення
ΔU_{1m}	5,2 *В*
ΔU_{2m}	0,10 *В*
$\sum \Delta U_m$	12,8 *В*
I_K	0,8 *мА*
L	$1{,}12 \cdot 10^{-4}$ *Гн*
P	222 *Вт*

VII. Висновки

В рентгендіагностичних апаратах основними вузлами, що потребують серйозного підходу є: система живлення, системи керування та експозиції. Ці системи забезпечують роботу апарата та управління його режимами.

Проведений розрахунок головного ланцюга апарата за трифазною схемою живлення. Отримані значення падінь напруги на первинній, вторинній обмотці, та загальне падіння напруги на системі живлення. Також визначений контактний струм, індуктивність розсіяння автотрансформатора та потужність, що виділяється на рентгенівській трубці.