

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка 72 сторінка, 20 рисунків, 14 таблиць, 17 джерел.

Об'єктом проектування є електронний пристрій для іонізації повітря.

Мета роботи – розробка пристрою, який призначений для виконання функцій аероіонної терапії

В процесі роботи проведені розробка структурної та принципової схем, розрахунок схеми блоку живлення, розроблені конструкції друкованих плат та вузлів, проведений розрахунок надійності пристрою.

**ПРИСТРІЙ, БЛОК ЖИВЛЕННЯ, ГЕНЕРАТОР, ПОМНОЖУВАЧ НАПРУГИ,
СИЛОВИЙ КЛЮЧ, ТРАНСФОРМАТОР, НАДІЙНІСТЬ**

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД	8
1.1 Призначення та область застосування апарату аероіонної терапії..	8
1.2 Огляд аналогів проєктованого пристрою	9
2 РОЗРОБКА ЕЛЕКТРИЧНОЇ СХЕМИ ПРИСТРОЮ.....	20
2.1 Розробка та обґрунтування структурної схеми пристрою	20
2.2 Розробка та обґрунтування електричної принципової схеми	21
3 РОЗРАХУНОК ВУЗЛІВ ТА ЕЛЕМЕНТІВ ПРИСТРОЮ.....	25
3.1 Розрахунок помножувача	25
3.2 Розрахунок підвищуючого трансформатора	26
3.3 Розрахунок генератора	26
3.4 Розрахунок блока живлення	28
3.5 Розрахунок елементів силового ключа та індикатора	34
3.6 Розрахунок помножувача напруги	36
3.7 Вибір та обґрунтування елементної бази	39
3.7.1 Резистори	39
3.7.2 Мікросхема для побудови задаючого генератора	44
3.7.3 Вибір елементів випрямляча	48
3.7.4 Конденсатори	50
3.7.5 Діоди помножувача напруги	54
3.7.6 Трансформатор	53
4 РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ ДРУКОВАНОГО ВУЗЛА	57
4.1 Розробка конструкції друкованої плати	57
4.2 Розробка конструкції друкованої плати	63
5 РОЗРАХУНОК НАДІЙНОСТІ ПРИСТРОЮ	66
ВИСНОВОК.....	70
ПЕРЕЛІК ЛІТЕРАТУРИ	71

ВСТУП

Те, що повітря в житлових і виробничих приміщеннях відрізняється від природного повітряного середовища, загальновідомо. Але не тільки забрудненням. Вимірювання показали, що в повітрі лісових масивів і луків міститься від 700 до 1500 негативних аероіонів в одному кубічному сантиметрі (іноді до 5000 іон/см^3), а в житлових приміщеннях їх концентрація знижується часом до 25 іон/см^3 . Це, як з'ясується, зовсім небагато для здоров'я людини – ряд наших хвороб пов'язані саме з цим дефіцитом.

У 20-х роках на важливість аероіонного складу повітря звернув увагу Олександр Леонідович Чижевський (1897 – 1964), і запропонував спосіб його нормалізації за допомогою аероіонізатора, який в подальшому дістав назву «люстра» Чижевського.

Основні вузли аероіонізатора – електроефлювіальна «люстра» і перетворювач напруги. У назві «люстри» відображено процес утворення аероіонів (ефлювій – витікання): з загострених частин люстри з великою швидкістю, обумовленою високою напругою, стікають електрони. «Налипаючи» на молекули кисню, вони впливають на аероіонний склад повітряного середовища всього приміщення. Від конструкції «люстри», розмірів тих чи інших її деталей залежить ефективність роботи аероіонізатора.

До «люстри» підключають негативний полюс джерела живлення напругою не менше 25 кВ. Тільки при такому значенні напруги забезпечується достатня «живучість» аероіонів, зберігається їх здатність проникати в легені людини. Для приміщень великого об'єму, наприклад, спортивних залів, напруга на «люстрі» може досягати і 40..50 кВ (обов'язкова умова – відсутність коронного розряду, який легко виявити за запахом озону).

З розвитком прогресу постійно зростали і різні норми безпеки. Тому зараз «Люстра Чижевського» сильно застаріла. Так статична поляризація та високий рівень електромагнітного випромінювання можуть нашкодити здоров'ю людини.

Тому щоб отримувати іонізоване повітря, яке відповідає сучасним санітарним нормам, краще скористатися побутовими іонізаторами, які являють собою доопрацьований варіант «Люстри Чижевського». Згідно з сучасними нормами вони генерують іони обох полярностей, містять низький рівень озону і можуть виготовлятися в різних корпусах, які захищають випромінювач від механічного пошкодження.

Метою дипломного проекту є розробка джерела живлення для аероіонізатора, яке повинне відповідати вищезазначеним вимогам.

1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД

1.1 Призначення та область застосування апарату аероіонної терапії

Апарат аеропонної терапії – «люстра» Чижевського профілактично-лікувальний електричний пристрій, який збагачує повітря негативно зарядженими іонами кисню, що необхідні для функціонування живих організмів. «Люстра» призначена для застосування в закритих житлових та виробничих приміщеннях, оскільки саме в них спостерігається зниження концентрації негативно заряджених іонів кисню, порівняно з їхньою концентрацією на відкритому просторі. Зниження концентрації відбувається внаслідок зіткнення іонів кисню зі стінами приміщення, а також внаслідок вдихання повітря людьми чи тваринами, які в цьому приміщенні знаходяться. "Люстра" Чижевського відновлює концентрацію негативно заряджених іонів кисню до початкової (природної) величини, що відповідає їх концентрації на відкритому просторі (на полі, в лісі і т.п.). Додатковим позитивним побічним ефектом роботи "люстри" Чижевського є зниження концентрації пилу в повітрі.

Основу «люстри» Чижевського складають два функціонально закінчених вузла – помножувач напруги і іонізуючий електрод. Іонізуючий електрод являє собою прилад з металевими вістрями, виведеними назовні, з яких стікають електрони.

Метою дипломного проекту є розробка саме вузла помножувача напруги, який повинен забезпечувати формування високої напруги (вищої за 35 кВ) негативної полярності відносно потенціалу землі.

Проектований вузол має універсальне призначення, і може бути використаним для живлення іонізуючих електродів («люстри») різних конструкцій, які можуть бути як виготовлені самостійно, так і придбані

в торговій мережі, і використовуватись як в домашніх умовах так і на виробництві для забезпечення мікроклімату приміщень відповідно з вимогами санітарно – гігієнічних норм.

Прилад необхідно використовувати строго у відповідності з інструкцією, оскільки помножувач напруги живиться від небезпечної для людини напруги мережі 220 В, а порушення функціонування апарату аероіонної терапії в цілому може призводити до негативного впливу на мікроклімат приміщення.

1.2 Огляд аналогів проектованого пристрою

З моменту винайдення та початку застосування аероіонізаторів основні принципи їх побудови практично не змінювались. Основою пристрою є випромінювач електронів, який різні виробники випускають або у вигляді, наближеному до класичної «люстри» Чижевського, або змінюють форму, розміри, способи розташування та кріплення в приміщенні і т. п.

Другим основним вузлом аероіонізатора є джерело високої напруги негативної полярності, за рахунок якої створюється необхідний ефект витоку електронів з випромінювача. Як було раніш сказано, для досягнення правильного ефекту від роботи пристрою, величина напруги негативної полярності, що підводиться до випромінюючих електродів, повинна бути не меншою за 25 кВ. Для створення такої напруги розроблено велику кількість перетворювачів напруги, які мають різні способи побудови, живляться від автономних або стаціонарних джерел первинної напруги живлення, мають різні ступені безпеки та надійності роботи. Розглянемо деякі з них.

За часів життя О. Л. Чижевського наявна елементна база значно відрізнялась від сучасної (20 – 30 роки минулого 20-го століття – це ера лампової техніки). Тому високовольтні джерела живлення для своїх конструкції винахідник будував на електромеханічних та лампових

перетворювачах. З появою напівпровідників схеми значно спростились, зменшились габарити, споживана потужність, підвищилась надійність роботи. Схема на рисунку 1.1 є одною з найпростіших.

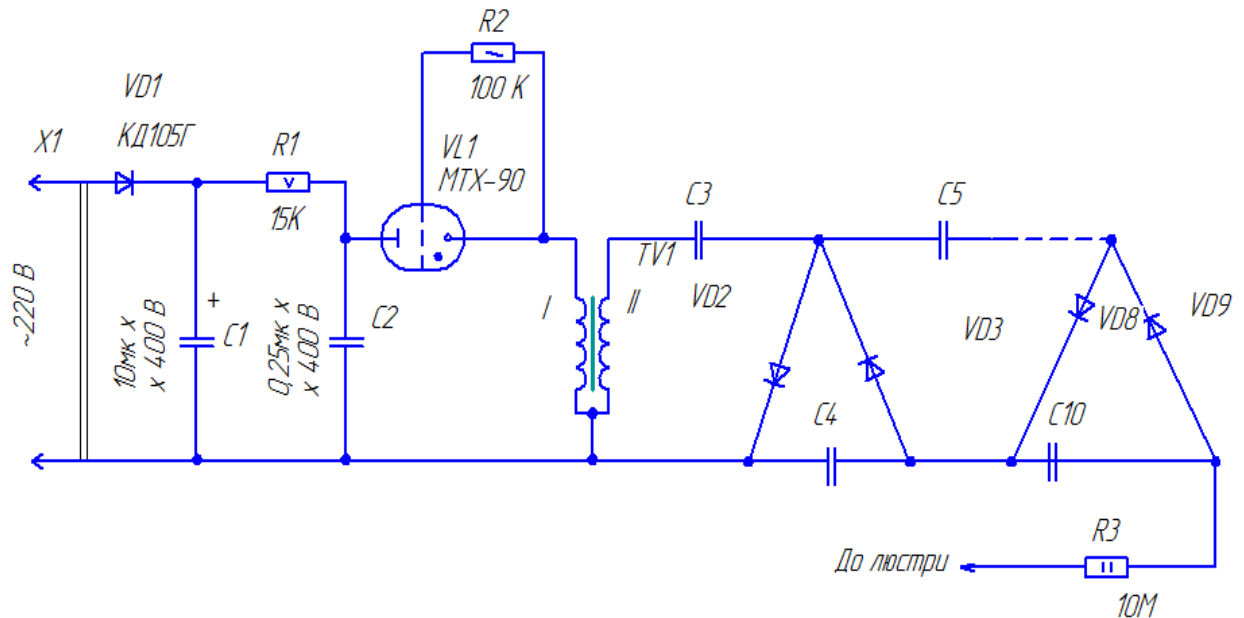


Рисунок 1.1 – Схема джерела живлення на тиратроні.

Мережева напруга випрямляється діодом VD1. Випрямлена напруга фільтрується конденсатором C1 і подається на зарядний ланцюг R1-C2. Як тільки напруга на конденсаторі C2 досягає напруги запалювання тиратрона VL1, він спалахує. Конденсатор розряджається через первинну обмотку трансформатора T1, тиратрон гасне, конденсатор починає заряджатися і т.д. Імпульси високої напруги, що виділяються на вторинній обмотці трансформатора T1 надходять на помножувач напруги, а з його виходу – на люстру.

Перевагою даної схеми є її простота, але значною вадою є недовговічність та ненадійність роботи тиратрону.

У схемі на рисунку 1.2 в якості активного комутуючого елемента використовуються диністори. Принцип роботи даної схеми повністю аналогічний попередній.

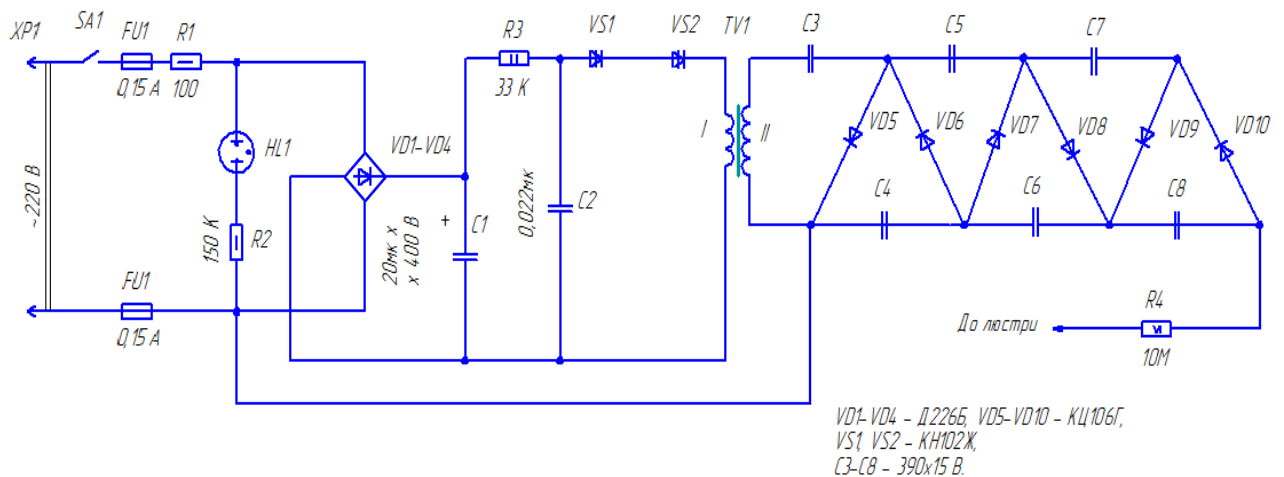


Рисунок 1.2 – Перетворювач напруги на диністорах.

Мережева напруга, що надходить через вилку XP1 і вимикач SA1, подається на мостовий випрямляч, виконаний на діодах VD1-VD4. Випрямлена напруга фільтрується конденсатором C1. На цьому конденсаторі присутня постійна напруга близько 300 В, яка використовується для живлення релаксаційного генератора, складеного з елементів R3, C2, VS1, VS2. Навантаження генератора – обмотка I трансформатора T1. З його обмотки II імпульси амплітудою приблизно 5 кВ і частотою 800 Гц надходять на помножувач напруги, зібраний на діодах VD5-VD10 і конденсаторах C3-C8.

Сформована на виході помножувача постійна напруга близько 0 кВ подається через струмообмежуючий резистор R4 на "люстру".

У схемі на рисунку 1.3 в якості комутуючого елемента застосовується більш надійний та потужний елемент – тиристор.

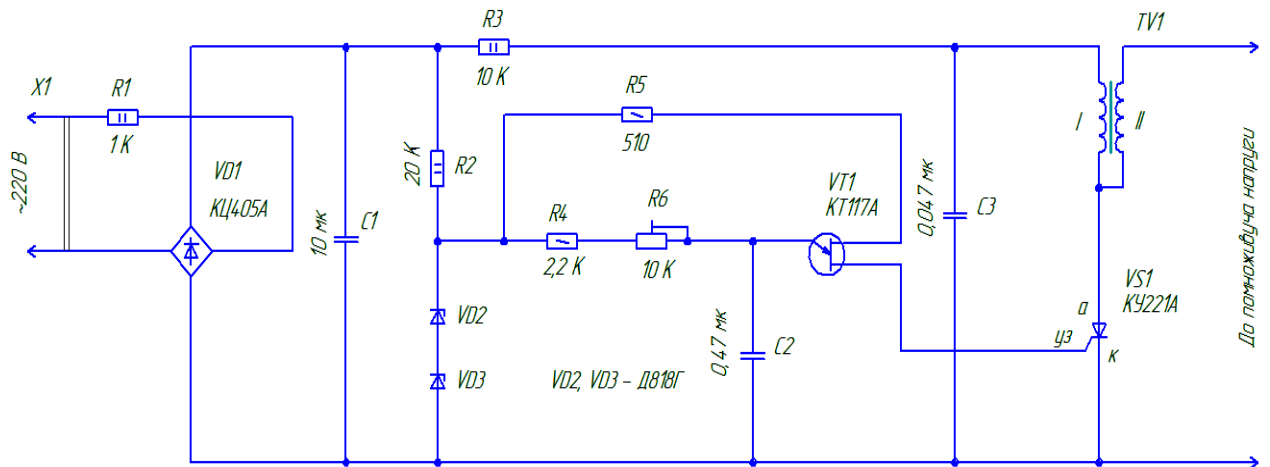


Рисунок 1.3 – Перетворювач напруги на тиристорі.

Як правило, такі схеми розрізняються способами керування тиристором. У даному випадку напруга мережі випрямляється діодним мостом VD1. Пульсації випрямленої напруги згладжує конденсатор C1, струм зарядки конденсатора в момент включення пристрою в мережу обмежує резистор R1. Через резистор R3 заряджається конденсатор C3. Одночасно вступає в дію генератор імпульсів, виконаний на одноперехідному транзисторі VT1. Його "спусковий" конденсатор заряджається через резистори R4, R5 від параметричного стабілізатора, виконаного на баластному резисторі R2 і стабілітронах VD2, VD3.

Як тільки напруга на конденсаторі C2 досягає певного значення, "спрацьовує" транзистор і на керуючий перехід триністора надходить відкриваючий імпульс. Конденсатор C3 розряджається через триністор на первинну обмотку трансформатора (рис. 1.3). На його вторинній обмотці формується імпульс високої напруги. Частота проходження цих імпульсів визначається частотою генератора, яка, в свою чергу, залежить від параметрів ланцюга R4, R5, C2. Схема на рисунку 1.4 є більш досконалою в порівнянні з попередніми.

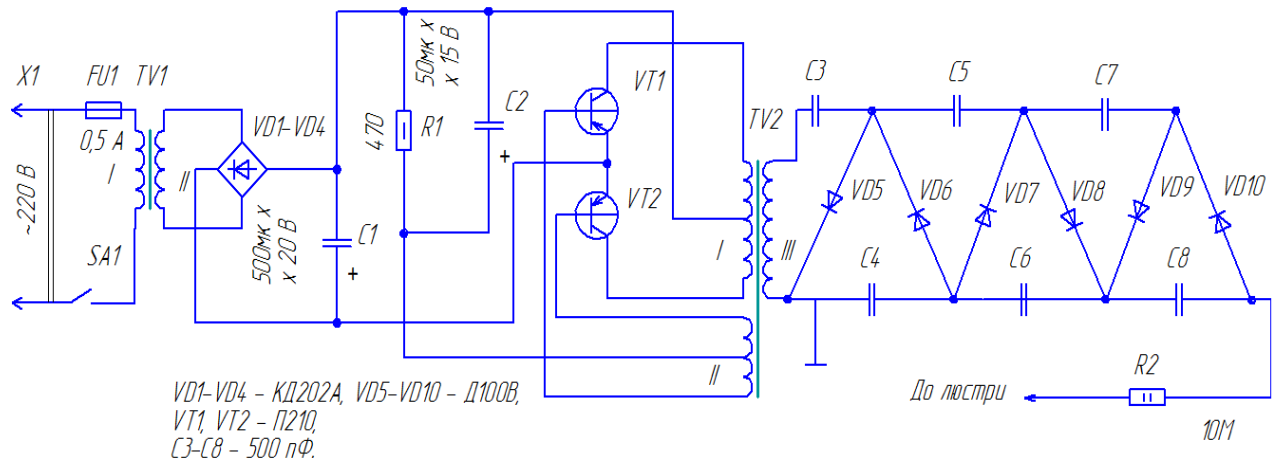


Рисунок 1.4 – Перетворювач напруги на транзисторах

Це перетворювач напруги, виконаний на двох потужних транзисторах $VT1, VT2$. Вони працюють в генераторі, зібраному за двотактною схемою. Колекторні виводи транзисторів з'єднані з обмоткою I трансформатора, а виводи бази – з обмоткою II. Самозбудження генератора виникає завдяки позитивному зворотному зв'язку між колекторними і базовими ланцюгами транзисторів. Цьому процесу сприяє також ланцюжок $R1-C2$, що визначає режим роботи транзисторів.

В результаті самозбудження генератора на виводах обмотки I з'являється змінна (точніше імпульсна) напруга частотою 3000...4000 Гц. Вона підвищується в сотні разів вихідний обмоткою III і подається на випрямляч, зібраний за схемою множення напруги на високовольтних діодах $VD5-VD10$ і конденсаторах $C3-C8$. Випрямлена напруга негативної полярності подається на люстру через обмежувальний резистор $R2$.

Для живлення генератора використаний випрямляч, зібраний на потужних діодах $VD1-VD4$ за мостовою схемою. Випрямлена напруга фільтрується конденсатором $C1$. Змінна напруга на випрямляч знімається з вторинної обмотки знижувального трансформатора T1

Первинна обмотка трансформатора включається в мережу через запобіжник FU1, вимикач SA1 і вилку X1.

Сучасна елементна база дозволяє використовувати широкий асортимент спеціалізованих мікросхем, призначених для роботи в генераторах та перетворювачах напруги. Наступні схеми побудовані саме з використанням таких ІМС.

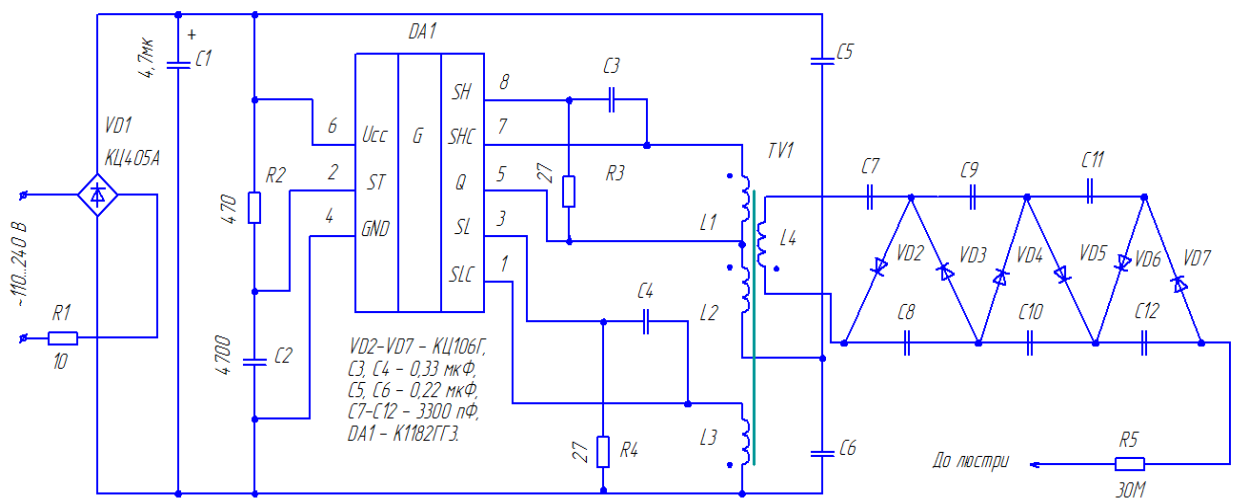


Рисунок 1.5 – Схема блока живлення аероіонізатора на мікросхемі.

ВБП складає з випрямляча напруги на діодному мості VD1, конденсатора фільтра C1 і високовольтного напівмостового автогенератора на мікросхемі DA1 (K1182ГГЗ). Мікросхема DA1 перетворює випрямлену мережеву напругу в високочастотну (30...50 кГц). Трансформатор Т1 служить для створення необхідної напруги на обмотках управління L1, L3 і для гальванічної розв'язки високовольтної обмотки від мережі. ВБП працює наступним чином.

Випрямлена мережева напруга надходить на ІМС DA1, стартовий ланцюжок R2-C2 запускає автогенератор ІМС.

Ланцюжки R3-C3 і R4-C4 задають частоту автогенератора. При цьому R3 і R4 стабілізують тривалість відповідних на півперіодів частоти генерованих імпульсів.

Вихідна напруга підвищується в сотні разів вихідною обмоткою L4 трансформатора і подається на випрямляч, зібраний за схемою помножувача напруги на високовольтних конденсаторах C7...C12 і діодах VD2...VD7. Випрямлена напруга негативної полярності подається на люстру через обмежувальний резистор R5.

Також серед сучасних елементів у якості силових елементів часто використовуються уніполярні (польові) транзистори. Прикладом такої схеми є блок живлення, зображений на рисунку 1.6.

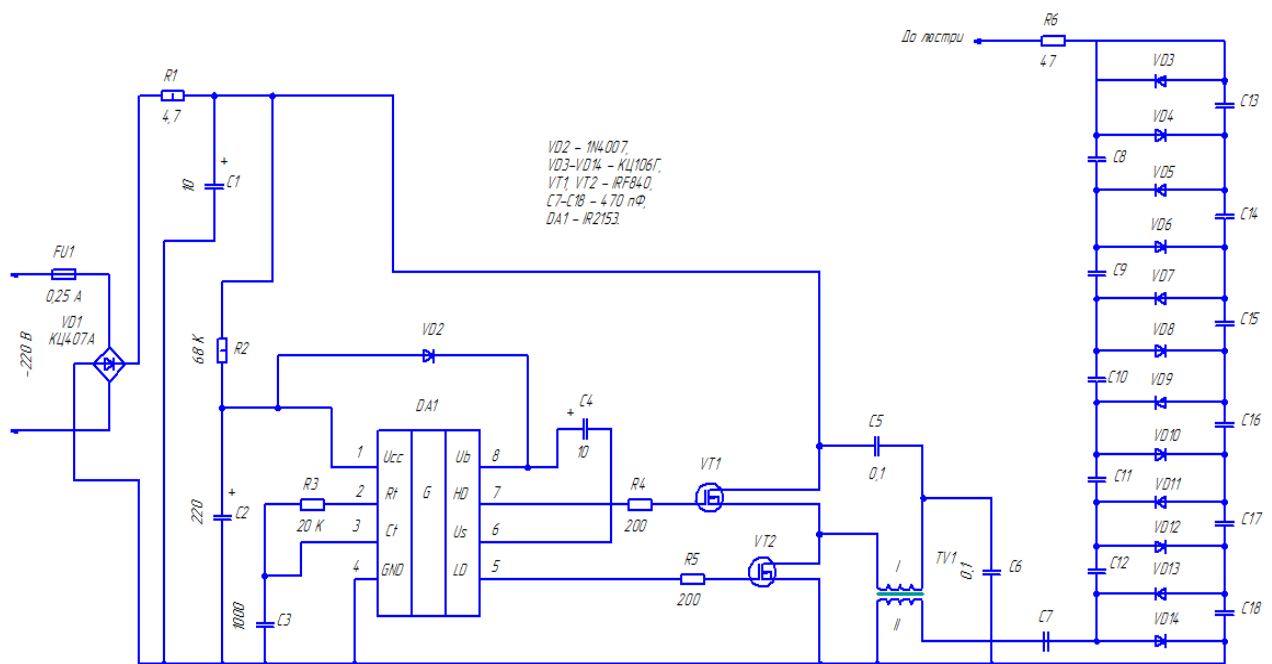


Рисунок 1.6 – Перетворювач напруги з використанням польових транзисторів.

Пропонований блок живлення має ряд переваг перед іншими пристроями, виконаними на біполярних транзисторах, тиристорах, диністорах і симісторах:

- простота схемної реалізації.
- відсутність складних намотувальних вузлів (застосований уніфікований рядковий трансформатор від лампового чорно білого телевізора);

- висока повторюваність, відсутність регулювальних елементів;
- відсутність одночасного відкривання ключових транзисторів з протіканням через них "наскрізного струму".

Блок живлення має наступні технічні характеристики:

- вихідна напруга при нарузі живлення 220 В і вихідному струмі 50 мкА - 25 кВ,
- максимальна споживана потужність - 15 Вт.

Схема включає в себе мережевий випрямляч VD1; генератор імпульсів на мікросхемі DA1 (IR2153); вихідний каскад на транзисторах VT1, VT2 (IRF840); помножувач напруги на елементах C7-C18, VD3-VD14. Мережевий випрямляч виконаний по мостовій схемі. Конденсатор C1 згладжує пульсації випрямленої напруги, резистор R1 служить для обмеження імпульсу струму при включенні блоку в мережу. Генератор імпульсів виконаний на мікросхемі IR2153 фірми International Rectifier, що представляє собою драйвер потужних польових транзисторів з ізольованим затвором (MOSFET). Мікросхема містить внутрішній генератор, аналогічний генератора на таймері серії 555, і працює безпосередньо від випрямленої напруги мережі через гасить резистор R2. Особливістю цієї мікросхеми є наявність інтегрованого вихідного драйвера, плаваючого рівня, з максимальним робочим напругою 600 В. Внутрішній паралельний стабілізатор запобігає перевищенню напруги живлення мікросхеми, а блокування при зниженні напруги вимикає обидва виходи управління затворами польових транзисторів, коли напруга живлення мікросхеми падає нижче 9 В. Мікросхема DA1 має два керуючих виходи (виводи 7 і 5).

Вихід 5 формує керуючий сигнал. Другий вихід є плаваючим, що забезпечує функціонування високовольтної частини пристрою. Вивід 7 призначений для управління VT1, а вивід 5 – для VT2. Живлення драйвера

верхнього рівня (виводи 8 і 6), що знаходиться під плаваючим рівнем, проводиться від конденсатора С4, який заряджається

через діод VD2 від ланцюга U_{cc} при включенні VT2. Мікросхема забезпечує затримку 1,2 мкс при комутації силових ключів VT1, VT2 для запобігання їх одночасного відкриття і виходу з ладу. Частота імпульсів внутрішнього генератора залежить від номіналів елементів ланцюга R3C3 і дорівнює 35 кГц. Резистори R4, R5 обмежують струми затворів транзисторів і оберігають вихідні каскади мікросхеми від замикання. Живлення мікросхеми здійснюється від випрямленої напруги мережі через ланцюжок R2, C2. Вихідний каскад виконаний за напівмостовою схемою на транзисторах VT1, VT2 і конденсаторах C5, C6, в діагональ якої включена первинна обмотка трансформатора Т1. З обмотки II трансформатора Т1 імпульси напруги з амплітудою 6...7 кВ надходять на помножувач, виконаний на діодах VD3-VD14 і конденсаторах C7-C18. Резистор R6 обмежує вихідний струм блоку живлення.

При виготовленні блоків живлення аероіонізаторів найбільше уваги необхідно приділяти якості та надійності високовольтних вузлів, тому цікавим рішенням даної проблеми є використання стандартних елементів та вузлів, які промислово випускаються для застосування в телевізорах та моніторах. В якості таких елементів (або вузлів) можна застосувати високовольтні трансформатори рядкових розгортки телевізорів та моніторів (з електронно-променевими трубками), помножувачі напруги та діоди і конденсатори, що призначені для роботи у їх високовольтних вузлах.

Прикладом цього можна вважати схему на рисунку 1.7, базою якої є вузли рядкової розгортки телевізорів вітчизняного виробництва.

Хоча блок підключений до мережі за безтрансформаторною схемою, завдяки наявності великого опору резистора R10 при замиканні високовольтного виходу на землю, викликаному, наприклад, дотиком до "люстри", струм через тіло не перевищить декількох мікроампер, що

абсолютно безпечно. Невелике падіння напруги на цьому резисторі в робочому режимі ефективності "люстри" не знижує. Оскільки струм, споживаний блоком від мережі, а з ним і його потужність обмежені реактивним опором з'єднаних паралельно конденсаторів С1 - С3, робота генератора високої напруги при замиканні його виходу припиниться.

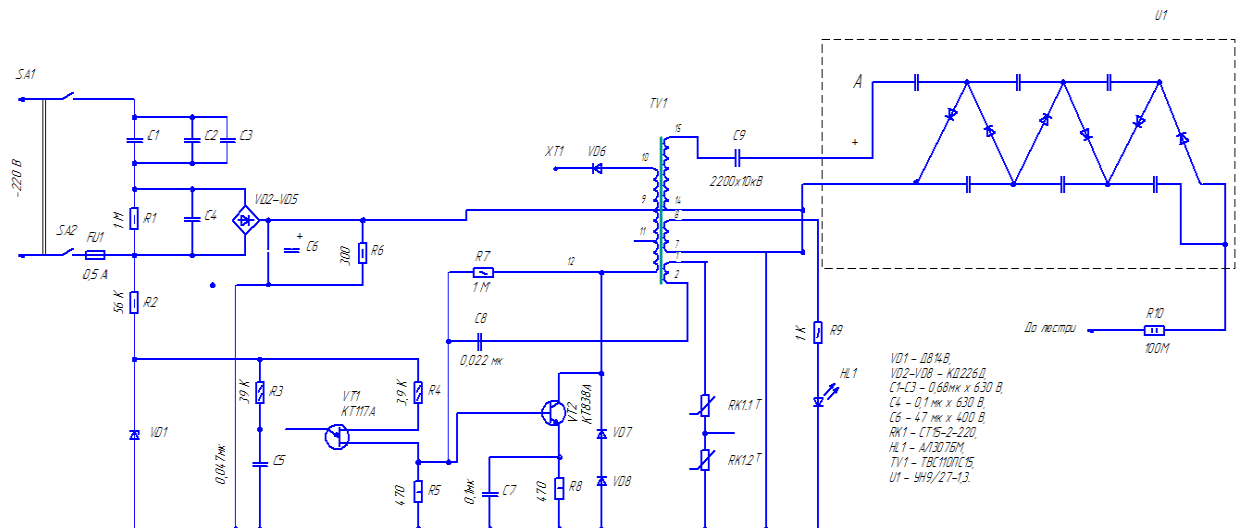


Рисунок 1.7 – Перетворювач напруги на елементах вузла рядкової розгортки.

Генератор імпульсів високої напруги побудований на транзисторі VT2 і трансформаторі Т1 за схемою з індуктивною зворотним зв'язком. Імпульси, що надходять на базу транзистора VT2 від генератора на одноперехідному транзисторі VT1, полегшують запуск основного генератора.

Як відомо, на кінескоп телевізора з помножувача надходить позитивна напруга, а для генерації аероіонів необхідна негативна. Щоб отримати його, помножувач напруги УНЭ/27-1,3 слід доопрацювати.

Перевагою такого способу побудови є використання елементів промислового виготовлення, які забезпечуватимуть надійність роботи. До недоліків можна віднести необхідність доробки телевізійного помножувача напруги, що доволі складно технологічно.

Тому, проводячи аналіз розглянутих схем, можливо виділити основні принципи, які необхідно застосувати при розробці проєктованого пристрою, а саме:

- використання сучасної елементної бази, в т. ч. мікросхем;
- використання стандартних виробів від високовольтних вузлів телевізійної та іншої техніки;
- живлення генераторних вузлів необхідно здійснювати від максимально можливої зниженої напруги, що повинно підвищувати надійність та безпеку експлуатації;

2 РОЗРОБКА ЕЛЕКТРИЧНОЇ СХЕМИ ПРИСТРОЮ

2.1 Розробка та обґрунтування структурної схеми пристрою

Аналіз методів побудови аналогічних пристроїв показує, що для реалізації необхідних функцій з урахуванням необхідності дотримання технічних параметрів, визначених завданням на проектування, пристрій повинен мати структуру, зображену на рисунку 2.1.

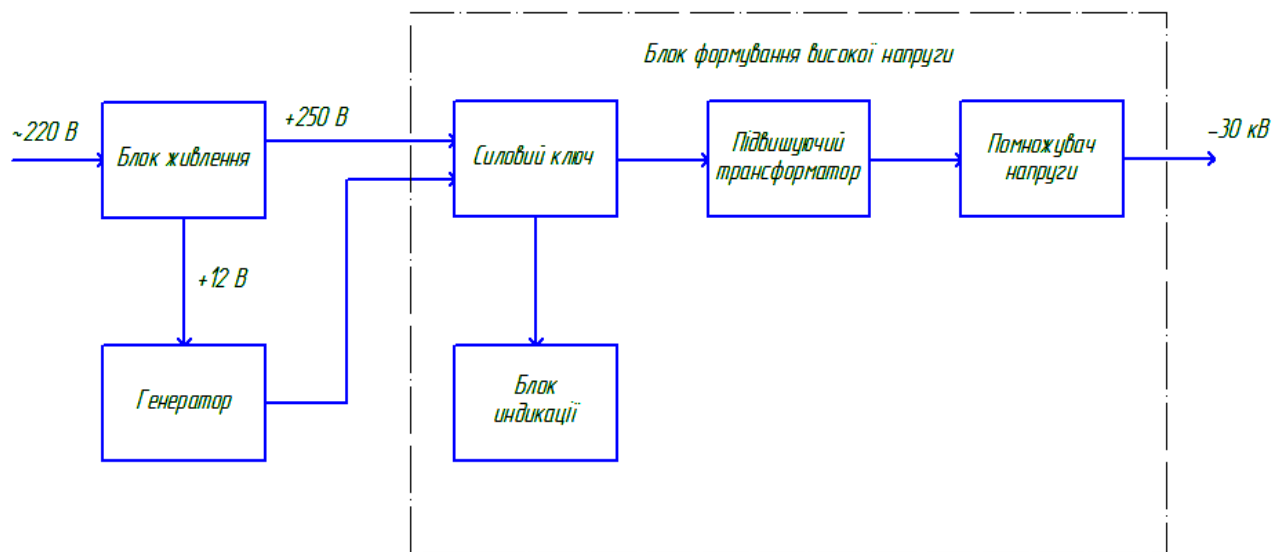


Рисунок 2.1 – Структурна схема пристрою

Блок живлення забезпечує основні вузли пристрою необхідними напругами, а саме:

- + 12 В для живлення елементів генератора;
- + 250 В для живлення силового ключа.

Генератор формує послідовність імпульсів для керування силовим ключем. Від шпаруватості імпульсів залежить величини вихідної напруги пристрою.

Силовий ключ забезпечує погодження електричних параметрів сигналу для керування підвищуючим трансформатором.

Індикатор відображає наявність генерації імпульсної послідовності та струму через первинну обмотку підвищуючого трансформатора, що свідчить про ввімкнений стан пристрою.

Підвищуючий трансформатор забезпечує формування високої напруги змінного струму (близько 8 кВ).

Помножувач напруги формує на виході постійну високу напругу (30 кВ) зі змінної напруги з виходу підвищуючого трансформатора. Ця висока напруга подається на випромінювач іонізатора повітря.

2.2 Розробка та обґрунтування електричної принципової схеми

Блок живлення. З мережевої напруги 220 В змінного струму частотою 50Гц формується напруга +12 В постійного струму для живлення елементів генератора. Джерело живлення виконується по безтрансформаторній схемі з використанням обмежувачих конденсаторів С4, С5. Резистори R9, R10, що підключені паралельно обмежувачим конденсаторам, служать для розряду конденсаторів після відключення пристрою від мережі. Діодний міст VD7 випрямляє напругу, яка обмежується до напруги живлення мікросхем стабілітроном VD10. Пульсації цієї напруги згладжуються конденсатором С10.

Аналогічно формується постійна напруга +250 В для живлення силового ключа. Відмінністю є відсутність необхідності обмеження напруги мережі. Для обмеження струму через елементи в момент включення перед випрямлячем вмикаються опори R2, R3. Діодний міст VD1 випрямляє мережеву напругу, пульсації якої згладжуються конденсатором С1. Стабілізація напруги здійснюється стабілізатором на транзисторі VT1. Величину напруги стабілізації визначають послідовно включені стабілітрони VD4 ...VD6. Генератор на елементах DD1.1, DD1.2 формує керуючу послідовність імпульсів для наступних каскадів схеми.

З допомогою змінних резисторів R4, R5 можливе регулювання частоти сигналу та шпаруватості імпульсів, що дозволить оперативно встановлювати значення вихідної напруги пристрою при його кінцевому налаштуванні. Частота імпульсів залежить від ємності конденсатора C2 та опору резисторів R4, R5. На елементах DD1.3, DD1.4 побудовано підсилювач сигналу, з допомогою якого здійснюється стабілізація вихідної високої напруги пристрою. З допомогою резистора R8 задається режим роботи елементів, а через конденсатор C7 та резистор R12 на його вхід подається напруга зворотного зв'язку, яка пропорційна струму первинної обмотки підвищуючого трансформатора.

Силовий ключ.

При відсутності імпульсу від генератора транзистор VT2 знаходиться у відкритому стані за рахунок напруги зсуву через резистор R13. При цьому конденсатор C11 заряджається до напруги + 250 В через ланцюг: VT2, C11, 1-2-4-6 T1, R16, VD11, «загальний провід».

При надходженні імпульсу запуску від генератора транзистор VT3 відкривається і створюється ланцюг розряду конденсатора C11: C11, VD9, колектор-емітер VT1, «загальний провід». При цьому транзистор VT2 закривається, оскільки напруга на його базі, завдяки діоду VD8 стає нижчою напруги відкривання. Через первинну обмотку T1 протікає імпульс струму розряду конденсатора C11, на вторинних обмотках T1 створюється імпульс високої напруги. Після закінчення дії імпульсу транзистор VT1 закривається, напруга на базі VT2 підвищується до напруги його відкривання. Схема готова до проходження наступного імпульсу від генератора.

Індикатор на світлодіодах VD11, VD13 відображає наявність струму через первинну обмотку підвищуючого трансформатора.

Зустрічно-паралельне включення елементів забезпечує обмеження зворотної напруги на світлодіодах на рівні, що не перевищує допустимий для обраного типу елементів.

Підвищуючий трансформатор забезпечує формування високої напруги змінного струму (близько 8 кВ). При проходженні імпульсу струму в первинній обмотці у вторинних обмотках формується імпульс високої напруги. Оскільки на трансформатор поступає послідовність імпульсів, на його виході підтримується змінна напруга амплітудою близько 8 кВ.

Помножувач напруги формує на виході постійну високу напругу (30 кВ).

Число каскадів для створення необхідної вихідної напруги 30 кВ:

$$U_{\text{вих}} = n \cdot U_{\text{вх}}. \quad (2.1)$$

$$U_{\text{вх}} = 8 \text{ кВ}.$$

$$n = U_{\text{вих}} / U_{\text{вх}} = 30 / 8 = 3,5 \quad (4).$$

При негативній напівхвилі $U_{\text{вх}}$ заряджається конденсатор С1 до амплітудного значення $U_{\text{вх}}$ через діод D1. При позитивній напівхвилі заряджається конденсатор С2 через діод D2, але оскільки конденсатор С1 вже заряджений, то він виконуватиме роль додаткового джерела живлення і оскільки він виявляється включеним послідовно з основним джерелом живлення, то конденсатор С2 зарядиться вже до подвоєного амплітудного значення напруги $U_{\text{вх}}$. Таким же чином працюють і наступні ступені помножувача, знімається ж вихідна напруга $U_{\text{вих}}$ з послідовно з'єднаних конденсаторів з парними (за схемою) номерами. Відповідно результуюча напруга $U_{\text{вих}}$ буде дорівнює сумі напруг на парних конденсаторах.

Мінімальна ємність конденсаторів розраховується за спрощеною формулою:

$$C(n) = 2,85 \cdot n \cdot I_H / (K_{\Pi} \cdot U_{\text{вих}}), \quad C(n) = 2,85 \cdot n \cdot I_H / (K_{\Pi} \cdot U_{\text{вих}}), \quad (2.2)$$

де, n – кратність множенням 4 $U_{\text{вх}}$ в В;

I_H – струм навантаження (0,5 мА);

K_{Π} – коефіцієнт пульсацій вихідної напруги у відсотках - 0,1%;

$U_{\text{вих}}$ – вихідна напруга в В - 30 000 В.

$$C(n) = 2,85 \cdot n \cdot I_H / (K_{\Pi} \cdot U_{\text{вих}}) = 2,85 \cdot 4 \cdot 0,5 / (0,1 \cdot 30000) = \\ = 0,0019 \text{ мкФ} = 1900 \text{ пФ}.$$

З стандартного ряду вибираємо конденсатор ємністю 2200 пФ.

Електрична принципова схема пристрою, вказана у графічній частині дипломного проекту.

3. РОЗРАХУНОК ВУЗЛІВ ТА ЕЛЕМЕНТІВ ПРИСТРОЮ

Проведемо розрахунок основних вузлів проектного пристрою з метою подальшого вибору елементної бази, що забезпечуватиме надійність та безпеку експлуатації пристрою.

3.1 Розрахунок помножувача

В результаті розрахунку помножувача напруги необхідно визначити необхідне число каскадів помноження та значення ємностей конденсаторів для кожної ступені помноження.

При виборі елементів для побудови помножувача необхідно враховувати, що струм через діоди помножувача дорівнює подвійному струму навантаження, а напруга на конденсаторах – подвійній вхідній напрузі.

За основу беремо припущення, що в якості підвищуючого трансформатора будемо використовувати трансформатор рядкової розгортки телевізора. Як правило, більшість таких трансформаторів розраховано на вихідну імпульсну напругу в діапазоні 4...8 кВ. Тому за вхідну напругу помножувача приймаємо напругу 4 кВ.

Число каскадів для створення необхідної вихідної напруги (30 кВ)

$$U_{\text{вих}} = n \cdot U_{\text{вх}} \quad (3.1)$$

$$U_{\text{вх}} = 4 \text{ кВ.}$$

$$n = U_{\text{вих}} / U_{\text{вх}} = 30 / 4 \approx 7.$$

Мінімальна ємність конденсаторів помножувача (в мкФ) розраховується за формулою:

$$C(n) = 2,85 \cdot n \cdot I_H / (K_{\Pi} \cdot U_{\text{вих}}), \quad (3.2)$$

де, n – кратність помноження $U_{\text{вх}}$, $B - 7$;

I_H – струм навантаження в мА (без струмообмежуючого резистора) – 0,3 мА;

K_{Π} – коефіцієнт пульсацій вихідної напруги, відсотків – 0,1%;

$U_{\text{вих}}$ – напруга, В (30 000В).

$$C(n) = 2,85 \cdot n \cdot I_H / (K_{\Pi} \cdot U_{\text{вих}}) = 2,85 \cdot 7 \cdot 0,3 / (0,1 \cdot 30000) = 0,00195 \text{ мкФ} = 1900 \text{ пФ}.$$

Зі стандартного ряду обираємо конденсатори ємністю – 2200 пф.

Напруга на конденсаторах – $U_c = 2 \cdot U_{\text{вх}} = 2 \cdot 4 = 8 \text{ кВ}$.

Струм через діоди – $I_d = 2 \cdot I_H = 2 \cdot 0,3 \text{ мА} = 0,6 \text{ мА}$.

3.2 Розрахунок підвищуючого трансформатора

Функція цього вузла – формування імпульсної напруги амплітудою 4 кВ з напруги живлення величиною 250 В. Розрахунок необхідно провести з метою визначення коефіцієнта трансформації.

$$K_T = U_{\text{вих}} / U_{\text{вх}}; \quad (3.3)$$

$$K_T = 4000 / 250 = 16;$$

3.3 Розрахунок генератора

Згідно принципу роботи пристрою, генератор повинен керувати процесом заряду-розряду накопичуючого конденсатора, а саме давати йому

можливість заряджатись до напруги + 250 В від відповідного джерела живлення, та розряджатись на первинну обмотку підвищую чого трансформатора.

Процес розряду має складний характер і точні розрахунки його параметрів практично не можливі, тому генератор повинен забезпечувати оперативне управління частотою та шпаруватістю імпульсів, що дозволить вибрати оптимальний режим роботи схеми при її налагоджені.

Обрана для використання в пристрої схема генератора на елементах 2І-НІ (рисунок 3.1) є одною з найпростіших, а тому надійною. Схема дозволяє роздільно регулювати тривалість імпульсу та паузи між імпульсами:

$$t_i = 0,8C_1R_1, \quad (3.4)$$

$$t_{II} = 0,8C_1R_2, \quad (3.5)$$

де, t – тривалість, с,

C – ємність конденсатора, Ф,

R – опір резистора, Ом.

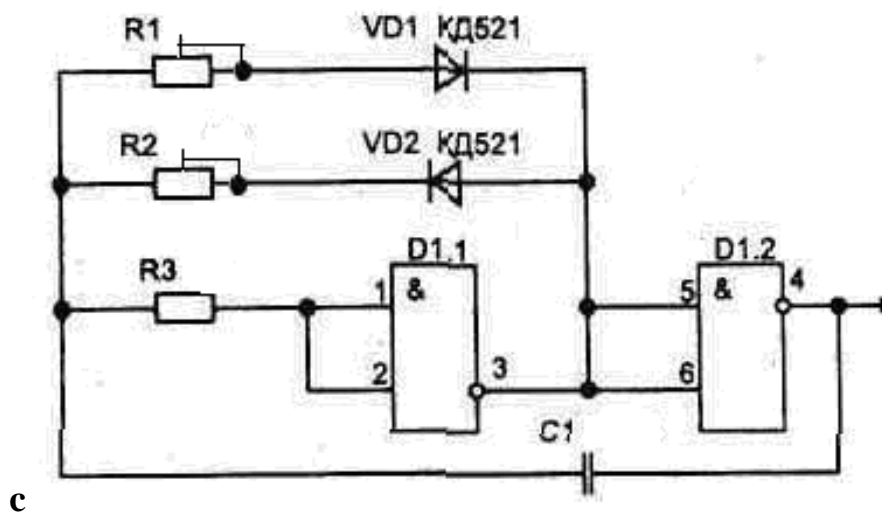


Рисунок 3.1 - Схема генератора на елементах 2І-НІ

Вихідні дані для розрахунку:

Мікросхема К561ЛА7;

напруга живлення $U_{cc} = 12 \text{ В}$;

середня частота імпульсів $f = 0,5 \text{ Гц}$.

Період імпульсів:

$$T = 1/f = t_i + t_n,$$

$$T = 1/0,5 = 2 = 0,05 + 1,95 \text{ с.}$$

Обираємо конденсатор ємністю $2,2 \text{ мкФ}$, і розрахуємо номінали резисторів R1, R2. З формули (3.4):

$$R1 = t_i / 0,8C1 = 0,05 / (0,8 \cdot 0,0000022) = 28\,409 \text{ Ом} \approx 28 \text{ кОм.}$$

$$R2 = t_n / 0,8C1 = 1,95 / (0,8 \cdot 0,0000022) = 1\,101\,954 \text{ Ом} \approx 1,1 \text{ МОм}$$

Оскільки для розрахунку брались середні значення параметрів імпульсів, для забезпечення достатнього діапазону регулювання при налагодженні вибираємо резистори змінного опору з величинами, у 2 рази більшими від розрахункових: $R1 = 47 \text{ кОм}$; $R2 = 2,2 \text{ МОм}$.

3.4 Розрахунок блока живлення

Розрахунок джерела + 12 В.

Джерело використовується для живлення мікросхеми генератора.

Максимальний струм, що споживає мікросхема К561ЛА7 згідно з довідковими даними становить $0,55 \text{ мА}$ на один елемент. Оскільки мікросхема складається з чотирьох елементів, струм живлення мікросхеми може досягати $2,2 \text{ мА}$.

Для такого малого струму можливо використовувати без трансформаторний варіант джерела живлення з струмообмежуючим (баластним) конденсатором і стабілізатором на стабілітроні. Його схему приведено на рисунку 3.2.

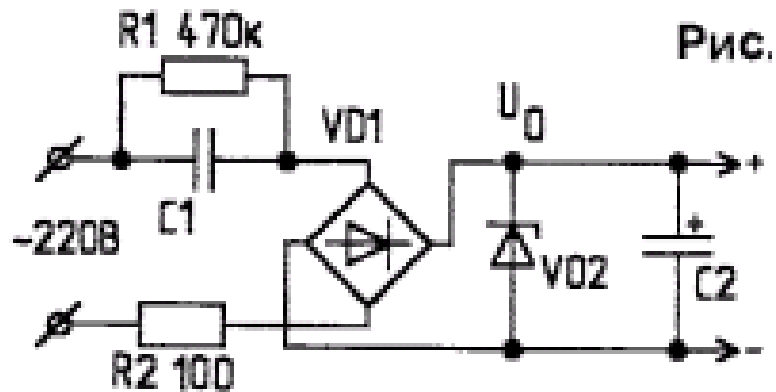


Рисунок 3.2 – Схема стабілізатора на стабілітроні

Розрахунок полягає у визначенні ємності баластного конденсатора, а також у визначенні вимог до параметрів інших елементів схеми для їх вибору.

Ємність конденсатора знаходимо за формулою:

$$C1 = 3,5 (I_{CT \min} + I_{H \max}) / (U_{M \min} - 0,7U_{\text{вих}}), \quad (3.6)$$

де, $C1$ – ємність баластного конденсатора, мкФ;

$I_{CT \min}$ – мінімальний струм стабілітрона, мА, (5);

$I_{H \max}$ – максимальний струм навантаження, мА, (2,2);

$U_{M \min}$ – мінімальна напруга живлючої мережі, В, (190);

$U_{\text{вих}}$ – вихідна напруга, В, (12).

Тобто

$$C_1 = 3.5 (5 + 2,2)/(190 - 0,7 \cdot 12) = 0,14 \text{ мкФ.}$$

Для підвищення надійності елементів можна використати два послідовно включених конденсатори, загальною ємністю, що дорівнює розрахунковій. Таким чином, обираємо два конденсатори ємністю 0,33 мкФ, що при послідовному з'єднанні складе ємність 0,165 мкФ, що близько до розрахункової.

Максимально допустима напруга на обкладинках конденсаторів повинна бути більшою амплітудного значення максимальної напруги мережі, тобто:

$$U_{C \max} > U_{a_{M \max}} \quad (3.7)$$

$$U_{\max} = 1,41 \cdot U_{M \max} = 1,41 \cdot 250 = 352,5 \text{ В.}$$

Для одного конденсатора: $U_{C \max} = 352,5/2 = 172,25 \text{ В.}$

З метою вибору стабілітрону необхідно провести розрахунок максимального струму через нього при максимальній напрузі мережі і мінімальному струмі споживання:

$$I_{ст \max} = (U_{M \max} - 0,7 U_{вих})C_1/3,5 - I_{H \min}, \quad (3.8)$$

де, $I_{ст \max}$ - максимальний струм стабілітрона, мА;

$I_{H \min}$ - мінімальний струм навантаження, мА, (0,5);

$U_{M \max}$ - максимальна напруга живлючої мережі, В, (250);

C_1 - ємність баластного конденсатора, мкФ;

$U_{вих} = U_{ст \text{ ном}}$ - вихідна напруга, В, (12).

Тобто

$$I_{ст\ max} = (250 - 0,7 \cdot 12) \cdot 0,165 / 3,5 - 0,5 = 10,89\ \text{мА} \approx 11\ \text{мА}.$$

Від ємності конденсатора $C2$ залежить коефіцієнт пульсацій вихідної напруги, тому необхідно провести розрахунок його мінімальної ємності.

$$C2 = 5 I_{н\ max} / 2 U_{пул}, \quad (3.9)$$

де, $C2$ – ємність конденсатора, мкФ;

$I_{н\ max}$ – максимальний струм навантаження, мА, (2,2);

$U_{пул}$ – напруга пульсацій, В, (0,1).

Тобто

$$C2 = 5 \cdot 2,2 / (2 \cdot 0,1) = 55\ \text{мкФ}.$$

Оскільки у (3.9) коефіцієнт 5 враховує необхідний запас, ємність конденсатора можна вибрати зі стандартного ряду, округливши розрахункове значення не до більшого, а до меншого значення.

Таким чином ємність конденсатора $C2 = 47\ \text{мкФ}$.

Розрахунок джерела $U_{вих.в} = 250\ \text{В}$

Це джерело призначене для живлення високовольтної частини пристрою, а саме силового ключа, який навантажено на підвищуючий трансформатор.

Схему наведено на рисунку 3.3.

Оскільки струм, що споживає високовольтна частина пристрою (100 мА), значно більший за струм стабілітронів, для його забезпечення в схемі застосовано емітерний повторювач.

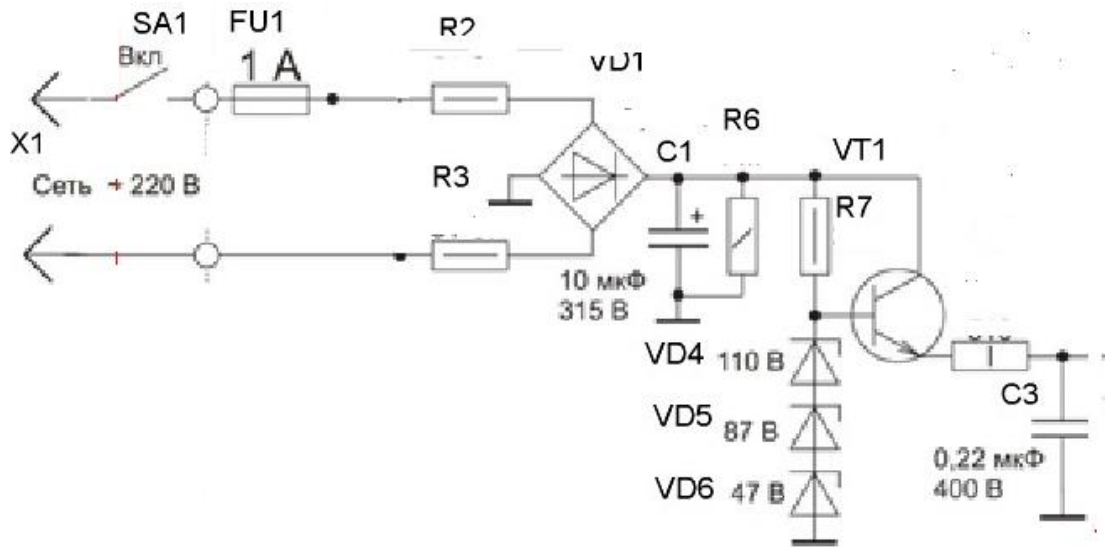


Рисунок 3.3 – Схема джерела живлення

Розрахунок полягає у визначенні необхідних параметрів для вибору елементів схеми. Зі змінної мережевої напруги $U_M = 220$ В частотою 50 Гц ($U_{M \max} = 250$ В) після двонапівперіодного випрямлення отримуємо напругу:

$$U_{\text{випр ном}} = 1,41 U_M = 1,41 \cdot 220 = 310,2 \text{ В.} \quad (3.10)$$

$$U_{\text{випр max}} = 1,41 U_{M \max} = 1,41 \cdot 250 = 352,5 \text{ В.}$$

При розрахунку значення випрямленої напруги падінням напруги на обмежуючих резисторах нехтуємо, оскільки їх вплив помітний (і обов'язково необхідний) лише в момент включення (до заряду конденсатора на виході випрямляючого моста). Завдяки цим резисторам обмежується струм через діоди випрямляча у момент, коли опір конденсатора $C1$ змінному струму мінімальний (близький до нуля).

Робоча напруга конденсатора $C1$ повинна бути більшою за розраховану $U_{\text{випр max}}$

Розрахуємо максимальну розсіювану транзистором потужність:

$$P_{\max} = 1,3 (U_{\text{вип}} - U_{\text{н}}) I_{\text{н}} \quad (3.11)$$

$$P_{\max} = 1,3 (U_{\text{вип}} - U_{\text{н}}) I_{\text{н}} = 1,3(352,5 - 250) \cdot 0,1 = 13,325 \text{ Вт.}$$

При виборі транзистора необхідно враховувати, що його гранично допустима розсіювана потужність повинна бути більшою значення P_{\max} , гранично допустима напруга між емітером і колектором – більше $U_{\text{вип}}$, а струм колектора, який допускається, – більше $I_{\text{н}}$.

Визначаємо максимальний струм бази транзистора:

$$I_{\text{б.макс}} = I_{\text{н}} / h_{21\text{Э min}}, \quad (3.12)$$

де, $h_{21\text{Э min}}$ – коефіцієнт передачі струму вибраного (з довідника) транзистора (40).

$$I_{\text{б.макс}} = I_{\text{н}} / h_{21\text{Э min}} = 0,1/40 = 0,0025 \text{ А} = 2,5 \text{ мА}$$

Обираємо стабілітрон. Його напруга стабілізації повинна бути рівною вихідній напрузі стабілізатора (250 В), а значення максимального струму стабілізації перевищувати максимальний струм бази $I_{\text{б max}}$.

З довідникових даних можна зробити висновок, що більшість стабілітронів широкого вжитку мають струм від 3 до 8 мА /КС582, тому саме це значення (3 мА) і обираємо для подальших розрахунків.

Розраховуємо опір резистора R7:

$$R7 = (U_{\text{вип}} - U_{\text{ст}}) / (I_{\text{б max}} + I_{\text{ст min}}); \quad (3.13)$$

де, R7 – опір резистора, Ом;

$U_{\text{ст}}$ – напруга стабілізатора стабілітрона, В;

$I_{б.маx}$ – значення максимального струму бази транзистора, А;

$I_{ст.мин}$ – мінімальний струм стабілізації даного стабілітрона;

$$R7 = (310,2 - 220)/(0,0025 + 0,003) = 16400 \text{ Ом}$$

Зі стандартного ряду обираємо резистор з опором $R7 = 16 \text{ кОм}$.

Визначаємо потужність резистора R7:

$$P_{R7} = (U_{вип} - U_{ст})^2 / R7 = (310,2 - 220)^2 / 16000 = 0,51 \text{ Вт.}$$

Для забезпечення надійної роботи обираємо більше значення потужності резистора – 1 Вт.

3.5 Розрахунок елементів силового ключа та індикатора

Для правильного вибору елементів силового ключа необхідно провести розрахунок максимальних напруг, під якими вони можуть знаходитись, а також визначити максимальні струми в ланцюгах цих елементів.

Оскільки елементи індикатора вмикаються послідовно в ланцюг первинної обмотки підвищуючого трансформатора, максимальний струм через цей ланцюг не повинен перевищувати струм елементів індикатора (світлодіодів АЛ307БМ). Ці елементи мають наступні технічні параметри:

- постійна пряма напруга: не більше 2 В;
- максимально допустимий постійний прямий струм: 20 мА;
- максимальний імпульсний струм при заданій тривалості імпульсу: 100 мА;
- максимально допустима зворотна постійна напруга: 2 В;
- максимально допустима імпульсна зворотна напруга: 2 В.

Обмеження максимальної зворотної напруги дуже простим способом можливо забезпечити шляхом зустрічно-паралельного включення двох однакових світлодіодів. При цьому зворотна напруга ні в якому разі не перевищить прямої напруги на паралельному світлодіоді. Тому розрахувати необхідно лише елементи, що забезпечують обмеження струму в ланцюгу.

Максимальна напруга не перевищує 250 В, оскільки її стабілізація забезпечується блоком живлення пристрою. Саме до такого значення напруги заряджається конденсатор С11. Струм заряду в початковий момент обмежується опором R8 і може бути визначений за формулою:

$$i = U/R; \quad (3.14)$$

$$i = 250/510 = 0,49 \text{ А.}$$

Оскільки заряд конденсатора відбувається по експоненціальній функції, значення сили струму через дуже невеликий проміжок часу зменшиться, і через час:

$$t = 0,7\tau, \quad (3.15)$$

$$\tau = R \cdot C;$$

Зменшиться на половину, тобто до значення 0,245 А.

Розрахуємо цей час:

$$\tau = R \cdot C = 510 \cdot 0,01 \cdot 10^{-6} = 5,1 \cdot 10^{-6} \text{ с} \approx 5,0 \text{ мкс.}$$

Через проміжок часу, рівний 3τ , струм через ланцюг припиняється, оскільки конденсатор зарядиться до максимальної напруги – 250В.

$$3\tau = 3 \cdot 5,0 = 15 \text{ мкс.}$$

Визначення цього проміжку часу необхідне для вибору елементів ланцюга з врахуванням їх максимально допустимого імпульсного струму. Так для світло діодів АЛ307БМ максимальний імпульсний струм при заданій тривалості імпульсу 10 мкс складає 100 мА, тому перевищення цього параметру не відбуватиметься.

Для транзисторів силового ключа необхідно забезпечити, щоб максимальна напруга була більшою за 250 В, що діють в схемі, а струм в імпульсному режимі був більшим за 0,49А.

Цим вимогам задовольняють обрані для побудови вузла транзистори КТ538А.

3.6 Розрахунок помножувача напруги

Помножувачем напруги називають пристрій, який перетворює змінну напругу або постійне пульсуюче в більш високу постійну напругу. Як правило помножувач збільшує напругу в таке число раз, яке відповідає кількості каскадів множення. За допомогою помножувача напруги можна відмовитися від важких і габаритних підвищувальних трансформаторів.

Перевага цієї схеми в тому, що на конденсаторах розвивається всього лише подвоєне амплітудне значення вхідної напруги. Відповідно конденсатори і діоди схеми можуть бути розраховані на цю напругу.

На схемі рис. 3.4 зображено універсальний помножувач з довільною кількістю каскадів. Тобто беремо число каскадів для створення необхідного нам напруги. Приблизно $U_{\text{вих}} = n \cdot U_{\text{вх}}$.

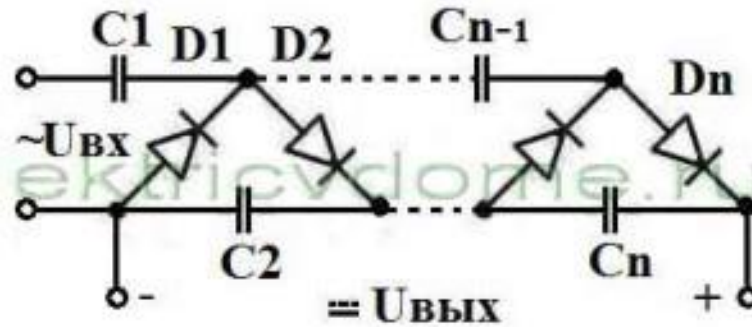


Рисунок 3.4 – Схема помножувача

На схемі рис. 3.4 зображено універсальний помножувач з довільною кількістю каскадів. Тобто беремо число каскадів для створення необхідного нам напруги. Приблизно $U_{\text{вих}} = n \cdot U_{\text{вх}}$.

При негативній напівхвилі $U_{\text{вх}}$ заряджається конденсатор C_1 до амплітудного значення $U_{\text{вх}}$ через діод D_1 . При позитивній напівхвилі заряджається конденсатор C_2 через діод D_2 , але оскільки конденсатор C_1 вже заряджений, то він виконуватиме роль додаткового джерела живлення і оскільки він виявляється включеним послідовно з основним джерелом живлення, то конденсатор C_2 зарядиться вже до подвоєного амплітудного значення напруги $U_{\text{вх}}$.

Таким же чином працюють і наступні ступені помножувача, знімається ж вихідна напруга $U_{\text{вих}}$ з послідовно з'єднаних конденсаторів з парними (за схемою) номерами. Відповідно результуюча напруга $U_{\text{вих}}$ буде дорівнює сумі напруг на парних конденсаторах.

Розрахунок помножувача напруги.

Для розрахунку помножувача потрібно знати струм навантаження ($I_{\text{н}}$), необхідну вихідна напруга ($U_{\text{вих}}$) і бажаний коефіцієнт пульсацій ($K_{\text{п}}$). Мінімальна ємність конденсаторів (в мкФ) розраховується за спрощеною формулою:

$$C(n) = 2,85 \cdot n \cdot I_{\text{н}} / (K_{\text{п}} \cdot U_{\text{вих}}), \quad (3.16)$$

де, n - кратність множення $U_{\text{вх}}$ в В;

$I_{\text{н}}$ - струм навантаження в мА;

$K_{\text{п}}$ - коефіцієнт пульсацій вихідної напруги у відсотках ;

$U_{\text{вих}}$ - вихідна напруга в В.

Ємність першого конденсатора C_1 потрібно збільшити в 2-3 рази від розрахункової ємності інших конденсаторів, інакше повна напруга на виході схеми з'явиться через кілька періодів вхідного напруги. Якщо це не важливо для роботи навантаження, то можна поставити конденсатор такої ж ємності, як і інші.

Для прикладу скажу, що коефіцієнт пульсацій вважається відмінним при значенні 0,1 % і менше, хорошим при значенні 1 - 3 %. Якщо коефіцієнт не важливий, то прийміть його рівним 100.

Максимальний струм, що протікає через діоди буде дорівнює подвоєному струму навантаження . Також помножувач можна розрахувати більш точно за такою формулою:

$$U_{\text{вих}} = n \cdot U_{\text{вх}} - (I_{\text{н}} \cdot (n_3 + 9 \cdot n_2 / 4 + n / 2) / (12 \cdot f \cdot C)) , \quad (3.17)$$

де, $I_{\text{н}}$ - струм навантаження в А;

n - кратність множення ;

f - частота вхідної напруги в Гц;

C - ємність конденсатора в Ф.

Складно назвати конкретні типи і номінали деталей не знаючи необхідних параметрів помножувача , тому розгляну деталі для помножувача з середніми показниками, що живиться від мережі змінного струму 220В.

Конденсатори найкраще брати з мінімальним струмом витоку, наприклад серії K73. Робоча напруга конденсаторів повинна бути для $U_{\text{вх}} = 220\text{В}$: C_1 - не нижче 300В, C_2 - C_n - не нижче 600В. Ємність

конденсаторів порядку 0,1 - 1 мкФ $U_{вх} = 220В$: С1 - не нижче 300В, С2 - С_п - не нижче 600В. Ємність конденсаторів порядку 0,1 - 1 мкФ

Діоди можна взяти, наприклад, КД411 або КД226Г (Д, Е). Струм навантаження в цьому випадку може бути до 1А.

Будьте вкрай обережні при експлуатації даної схеми, небезпечна напруга залишається на конденсаторах навіть після відключення помножувача від джерела живлення.

3.7 Вибір та обґрунтування елементної бази

3.7.1 Резистори

До резисторів, що використовуються для побудови вузлів пристрою (окрім високовольтної його частини), яких будь спеціальних вимог не висувається. Тому при виборі цих елементів будемо орієнтуватись на їх доступність, низьку ціну та надійність роботи.

Резистори призначені для перерозподілу і регулювання електричної енергії між елементами схеми. Принцип дії резисторів заснований на здатності матеріалів чинити опір електричному струму, що протікає через них. Особливістю резисторів є те, що електрична енергія в них перетворюється в тепло, що розсіюється в навколишнє середовище.

Параметри резисторів характеризують експлуатаційні можливості застосування конкретного типу резистора в конкретній електричній схемі.

Резистори класифікуються по характеру зміни опору (постійні, змінні регульовані), за призначенням (загального призначення, високочастотні, високовольтні і ін.), за матеріалом резистивного елементу (дротяні, недротяні).

Недротяні резистори залежно від матеріалу струмопровідного шару підрозділяються на металодіелектричні, металоокисні, вуглецеві, на провідній пластмасі і ін.

Параметрами резистора є номінальна потужність розсіяння $P_{\text{ном}}$, номінальний опір R , відхилення опору, або допуск, що допускається, температурний коефіцієнт опору (ТКО), який показує відносну зміну опору при зміні температури резистора на 1°C . Чим менше ТКО, тим більша температурна стабільність резистора. Номінальну потужність резистора можна розпізнати по маркуванню на корпусі або залежно від розмірів.

На корпус резистора наноситься маркування, якщо дозволяють його розміри, яке містить скорочене позначення, номінальну потужність, номінальний опір, допуск.

Номінальний опір позначається цифрами з вказівкою одиниці вимірювання: Ом (R або E по-старому або без букви) — оми; кОм (K) — кілооми, МОм (M) — мегаоми, ГОм (G) — гігаоми, Томи (T) — тераоми.

Останнім часом дуже розповсюджене маркування елементів з допомогою кольорових поясоків.

На схемах постійні резистори мають у середині символу позначення знак, вказуючи номінальну потужність розсіяння резистора. Поряд з умовним позначенням резистора вказується величина його номінального опору і знак R з цифрою або числом, вказуючи порядковий номер резистора на схемі.

Відмови резисторів відбуваються в основному через обриви в струмопровідному ланцюзі, через порушення контактів і від перегріву, що приводить до перегорання провідного шару. Унаслідок перегорання провідного матеріалу відбуваються раптові відмови, а унаслідок дрейфу опору резистора — поступові відмови.

При виборі резистора потрібно враховувати як його параметри, так і умови середовища, де він працюватиме — температуру, вогкість, вібрації і т.д. Слід також враховувати, що в резисторів існує максимальна частота прикладеної напруги, при якій їх опір починає мінятися, і напруга, що допускається.

По величині відхилення опору резистора від номінального резистори вибирають з урахуванням особливостей ланцюгів, де вони працюють. Якщо велике відхилення опору мало впливає на роботу пристрою, то можна застосовувати резистори з відхиленням 20%. Такими резисторами можуть бути резистори в ланцюгах управляючих сіток ламп, в ланцюзі колекторів транзисторів.

Якщо від величини опору резистора залежить режим роботи ланцюга, то слід застосовувати резистори з допуском 5 або 10%. До них відносяться резистори в ланцюгах емітера і бази транзистора.

У ланцюгах, де потрібна постійність опору, застосовуються резистори з допуском не більше 2%.

Робота резистора в схемі виявляється його нагрівом. Відносно сильний нагрів (до 300° С) для резистора не небезпечний, тепло, що виділяється, може негативно вплинути на сусідні деталі. В таких випадках для зменшення нагріву резистора його потрібно замінити на інший, більшої потужності, але з такими ж іншими параметрами.

В схемі джерела живлення для аероіонізатора використовуємо резистори С2-23, оскільки вони мають оптимальні параметри для даного використання. Їх основні характеристики наведені нижче.

Резистори С2-23 - металодіелектричні, призначені для роботи в ланцюгах постійного, змінного і імпульсного струму.

Номінальна потужність: 0,062Вт, 0,125Вт, 0,25Вт, 0,5Вт, 1Вт, 2Вт.

Діапазон номінальних опорів: 10 Ом - 10 МОм; ряд Е24; ряд Е96.

Точність: $\pm 2\%$ (G), $\pm 5\%$ (J), ряд Е24, $\pm 1\%$, (F) ряд Е96

Температурний діапазон: -55°C ч $+125^{\circ}\text{C}$

Температурний коефіцієнт опору: $100 \cdot 10^6 /^{\circ}\text{C}$

Низький рівень шумів: $0,2 \text{ мкВ/В}$.

Потужність резисторів повинна бути не меншою за розрахункову.

Креслення корпусу резистора наведено на рисунку 3.5, а основні розміри резисторів, в залежності від їх потужності, що розсіюється, наведено в таблиці 3.1.

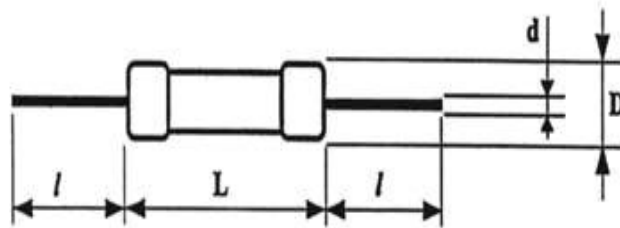


Рисунок 3.5. – Креслення корпусу резисторів С2-23

Таблиця 3.1 – Габаритні розміри резисторів С2-23

Вид резистора	Розміри, мм				Маса, г
	L_{\max}	D_{\max}	d	l	
С2-23-0,062	4,6-0,3	1,6-0,1	0,5±0,06	16±1	0,12
С2-23-0104				20±3	
С2-23-0,125	6,0-0,6	2,2-0,3	0,5±0,06	29-1	0,15
С2-23-0206				20±3	
С2-23-0,25	7,0-0,7	3,0-0,3	0,6**±0,06	28-1 20±3	0,25
С2-23-0,5	10,8-1,1	4,2-0,6	0,6±0,06	25+1 25±3	1,0
С2-23-1 С2-23-2а	13-1,1	6,6-0,6	0,6±0,06	25+1 25±3	2,0
С2-23-2	18,5-1,5	8,6-0,6	0,8±0,06	25±3	3,5

Високовольтний резистор, що включений на виході джерела високої напруги забезпечує безпеку експлуатації пристрою, тому до його вибору необхідно поставитись з особливою увагою. Головним критерієм для його вибору повинна бути надійність роботи при високій напруги, щоб виключити можливість ураження струмом при доторканні до випромінювача аероіонів.

Таблиця 3.2 – Основні технічні параметри резисторів P1-32

Від резистора	Номинальна потужність розсіювання, Вт	Межі номінального опору, МоМ	Допустимі відхилення опору, %	Гранична робоча напруга постійного струму або амплітуда значення змінного струму, В
P1-32-0,125	0,125	1 – 1000	±5; ±10	200
P1-32-0,25	0,25	1 – 3900	±5; ±10	1000
P1-32-0,5	0,5	1 – 3900	±5; ±10	2500
P1-32-1	1,0	0,47 – 2400	±5; ±10	10 000
P1-32-1M	1,0	0,1 – 100	±5; ±10	10 000

Таблиця 3.3 – Основні технічні параметри резисторів P1-201

Параметри	Значення					
Потужність розсіювання, Вт	1	2	5	7,5	10	15
Діапазон номінальних опорів, ряд E24, Ом	$10^2 \div 10^8$	$15 \cdot 10^4 \div 51 \cdot 10^7$	$2 \cdot 10^5 \div 10^9$	$3 \cdot 10^5 \div 10^{10}$	$51 \cdot 10^4 \div 15 \cdot 10^9$	
Допустиме відхилення опору, %	±0,1; ±0,25; ±0,5; ±1; ±2; ±5					
Гранична робоча напруга, кВ	4	6	15	20	25	30
Температурний коефіцієнт опору, $100 \cdot 10^{-3} 1/^\circ\text{C}$	±100 ±50 ±100; ±150					
Маса, г	6,0	6,5	13,0	17,0	20,0	25,0
Габаритні розміри, мм, L	26	35	71	101	121	151

Резистори КЭВ-40 постійні, недротові.

Високовольтні лакоплівкові з композиційним лакосажовим провідним шаром, для навісного монтажу. Призначені для роботи в електричних колах постійного та змінного струмів.

Основні технічні характеристики резисторів КЭВ-40:

- діапазон номінальних опорів: 2,4 КОм... 49 ГОм;
- номінальна потужність: 40 Вт;
- гранична напруга: 60 кВ;
- допустимі відхилення опорів: $\pm 5\%$; $\pm 10\%$; $\pm 20\%$;
- діапазон температур: $-60\text{...} +40\text{ }^\circ\text{C}$.

Порівняльний аналіз дозволяє зробити висновок, що резистори мають найвище значення допустимої напруги (до 60 кВ). Тому саме їх і обираємо для використання в проектованому пристрої.

3.7.2 Мікросхема для побудови задаючого генератора

До параметрів генератора не пред'являється особливих вимог, тому при виборі елементів для його реалізації будемо прагнути досягнення мінімального енергоспоживання і мінімальної вартості.

Низькочастотні генератори можна реалізувати кількома способами, тому проведемо їх порівняльний аналіз за наведеними вище критеріям.

Мікросхеми ТТЛ-серій, навіть найсучасніші, мають досить високе енергоспоживання, тому застосовувати їх недоцільно. Більш перспективними для даного застосування є КМОП-мікросхеми.

Основною КМОП-схемою є інвертор, показаний на рисунку 3.6. Він складається з двох польових транзисторів, що працюють в режимі збагачення: з каналом Р-типу (верхній) і каналом N-типу (нижній). Для позначення виводів живлення прийняті: V_{DD} або V_{CC} - для позитивного вивода і V_{SS} або GND - для негативного.

Логічними рівнями в КМОП-системі є V_{CC} (логічна "1") і GND (логічний "0"). Оскільки струм, що протікає через "включений" МОП-транзистор, практично не створює на ньому падіння напруги, і, оскільки вхідний опір КМОП-вентиля дуже великий (вхідна характеристика МОП-транзистора, в основному, ємнісна і виглядає подібно до вольтамперної характеристики МОП-транзистора опором 1012 Ом, зашунтованого конденсатором ємністю 5 пФ), то і логічні рівні в КМОП-системі будуть практично рівні напрузі джерела живлення.

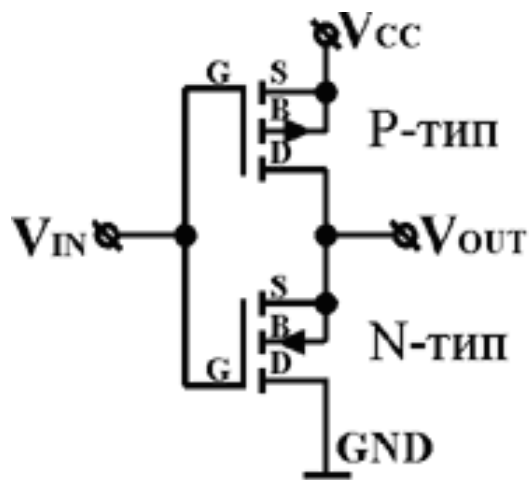


Рисунок 3.6 – Найпростіший КМОП-інвертор

Промисловість випускає широкий асортимент логічних мікросхем, що використовують структури метал-оксид-напівпровідник (МОП або КМОП). На їх основі виконані такі поширені серії, як К176 (CD4000), К561 (CD4000А), КР1561 (CD4000В), 564 і 1564 - в дужках вказані аналогічні імпорتنі серії. Ці мікросхеми відрізняються дуже малим споживанням струму в статичному режимі - 0,1... 100 мкА, високою надійністю і завадостійкістю.

Відмінна особливість серії КР1561 від К561 – наявність буферних елементів на входах і виходах, в результаті чого всі мікросхеми серії мають приблизно однакові вихідні характеристики.

Крім того, мікросхеми КР1561 захищені від перевантажень як по входу, так і по виходу (у вихідні ланцюги додані струмообмежувальні резистори), але деякі з елементів даної серії мають менший допустимий діапазон напруги живлення.

Логіка роботи мікросхем з ідентичними літерно-цифровими позначеннями після номера серії у К176, К561, КР1561, 564 і 1564 однакова (нумерація виводів також).

Мікросхеми серії К561 (564,1561,1564) є більш сучасними в порівнянні з серією 176 і перевершують їх по всіх параметрах. Крім того, у них більш широкий номенклатурний перелік. Порівняти основні параметри серій КМОП-мікросхем можна по наведеній нижче таблиці.

Таблиця 3.4 – Параметри КМОП-мікросхем

Параметри мікросхеми	К176 CD4000	К561 CD4000А	CD4000В МС14000В	564
P , (мкВт/вент)	10	0,4	0,4	0,4
$T_{\text{зад}}$, (нс)	200	50	50	50
$U_{\text{жив}}$, (В)	5...12	3...15	3...15	3...15

Серії 564 і 1564 випускаються з планарним розташуванням виводів і відрізняються від інших серій МОП мікросхем меншими розмірами корпусу і підвищеною радіаційною стійкістю (використовуються військовими).

Живлення мікросхем може перебувати в широкому діапазоні: для серії К176 від 5 до 12 В (номінальна напруга 9); для серій К561, 564: +3...15, для 1554: +2...6 В.

Діапазон допустимої температури довкілля для мікросхем серії К176 від -10 до +70 °С; К561 і КР1561 від -45 до +85 °С; 564 від -60 до +125 °С,

1564 і 1554 від -60 до $+125$ °С. Фактично мікросхеми зберігають працездатність в більш широкому діапазоні, але розробники не гарантують в цьому випадку їх паспортні параметри.

Більшість МОП мікросхем застосовуються на частотах до 1 МГц, а деякі елементи серії, наприклад К561ЛН2, К561ТМ2, можуть працювати на частотах до 4 МГц. При використанні мікросхем на гранично допустимій частоті живлення має бути максимальним (забезпечується більш крутий фронт імпульсів). Збільшення напруги живлення мікросхем також покращує їх стійкість.

Вихідні рівні мікросхем практично не відрізняються від напруги живлення (лог. "1") і потенціалу загального проводу (лог. "0").

На підставі розглянутого матеріалу вибираємо для побудови схем низькочастотних генераторів поширену і дешеву мікросхему К561ЛА7, що містить у своєму корпусі 4 елементи І-НІ.

Призначення її виводів наведено на рисунку 3.7, а креслення її корпусу – на рисунку 3.8.

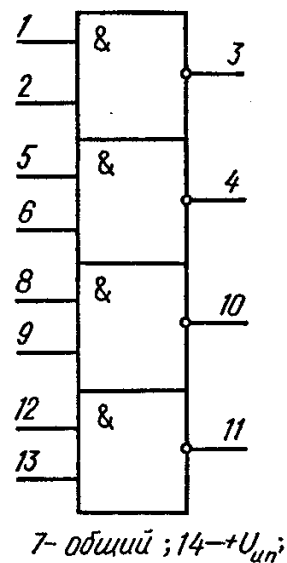


Рисунок 3.7 – Призначення виводів ІМС К561ЛА7

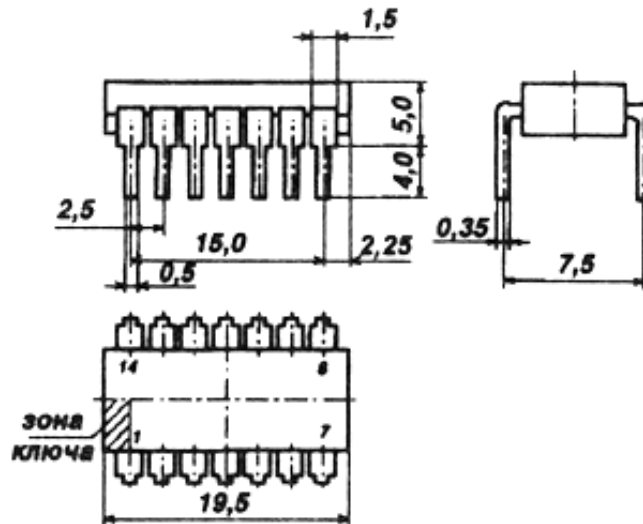


Рисунок 3.8 – Креслення корпусу ІМС К561ЛА7

3.7.3 Вибір елементів випрямляча

Для випрямлення напруги живлення в проєктованому пристрої використовуються схеми двонапівперіодних випрямлячів на діодних мостах. При виборі цих елементів потрібно враховувати їх робочий струм, значення максимально допустимої зворотної напруги на діодах, розсіювану потужність, а також вважати на габаритні розміри, доступність в торговій мережі та їхню вартість.

Серед сучасних елементів аналогічного призначення вибір зупинимо на діодних мостах КЦ407, параметри якого наведено в таблиці 3.5, а креслення корпусу – на рисунку 3.9.

Таблиця 3.5 – Параметри КЦ407

$I_{\text{прям.пост.}}(\text{max})$	0,5А
$U_{\text{обр.пост.}}(\text{max})$	300V
$U_{\text{обр.имп.}}(\text{max})$	400V
F_{max}	20KHz
$U_{\text{прям.пад.}}$	<2,5V
Максимальная температура	+85°

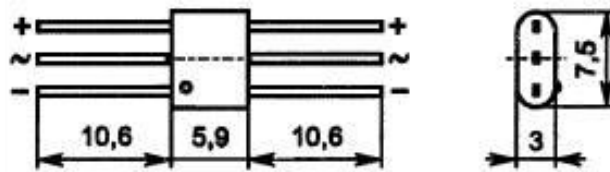


Рисунок 3.9 – Креслення корпусу

Вибір транзисторів

В проектуваному пристрої транзистори використовуються у якості емітерного повторювача та в якості елементів силового ключа. При виборі транзисторів необхідно не перевищити їх гранично допустимі параметри:

- $U_{\text{еб обр}}$ – електричний, або тепловий пробій переходу Б-Е;
- $U_{\text{кб обр}}$ – максимально допустимі зворотні напруги на переходах;
- $U_{\text{ке max}}$ – максимально допустима пряма напруга, котра може бути прикладеною до транзистора;
- P_{max} – максимальна потужність, яка допускається.

Зваживши данні попередньо проведених розрахунків вузлів та блоків пристроїв, обираємо для їх побудови транзистори МJE13001. Їх параметри наведено в таблиці 3.6, а габаритні та установочні розміри – на рисунку 3. 10.

Таблиця 3.6 – Параметри транзисторів МJE13001

$U_{\text{KE(max)}}$	400В
$I_{\text{K(max)}}$	300mA
$I_{\text{к.імп(max)}}$	600mA
$P_{\text{(max)}}$, при $t=25^{\circ}\text{C}$	750mW
K_{I} (коэф. передачі по струму)	10..40
$I_{\text{к.обр}}$, не більше	100uA
$F_{\text{гр}}$. (гранична частота)	8MHz
Корпус	ТО-92

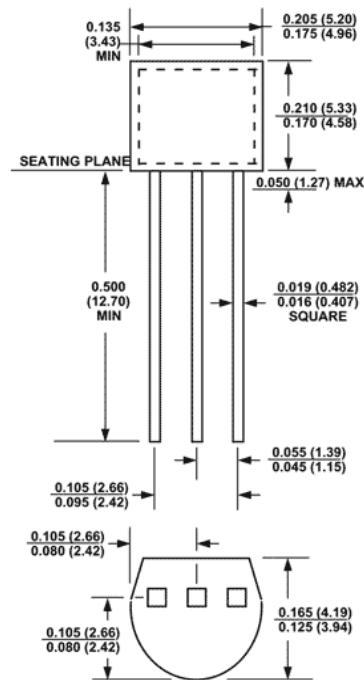


Рисунок 3.10 – Корпус транзистора МJE13001 (ТО-92)

3.7.4 Конденсатори

Конденсатори в схемі проектованого пристрою можна віднести до трьох груп, кожна з яких має свої певні вимоги до тих чи інших параметрів:

- 1) конденсатори частотозадаючих ланцюгів, прохідні конденсатори, конденсатори для згладжування пульсацій живлячої напруги;
- 2) обмежуючі конденсатори в колах джерел живлення;
- 3) конденсатори високовольтного помножувача напруги.

Конденсатори першої групи працюють в найбільш сприятливих режимах, їх надійність впливає лише на стабільність та якість роботи пристрою, і майже не впливає на його загальну працездатність та безпеку експлуатації. Тому особливих вимог до цих конденсаторів не висувається.

Вибір будемо здійснювати по відповідності основних електричних параметрів режимам роботи в схемі, а також враховуючи габаритні розміри та ціну і доступність елементів.

В якості частото задаючого конденсатора в генераторі, а також для побудови перехідних ланцюгів між вузлами пристрою будемо використовувати конденсатори К73-17, параметри та габаритні розміри яких наведено в таблиці 3.7.

Таблиця 3.7 – Основні параметри конденсаторів

Тип	Межі номінальних ємностей, що використовуються в схемі	Робоча напруга, В	Габаритні розміри (довжина x висота x ширина), мм
К73-17	0,005мкФ ÷ 2,2мкФ	63	12x10x6
К73-17	0,005мкФ ÷ 2,2мкФ	250	12x10x6
К73-9	0,005мкФ ÷ 0,1мкФ	100	12x14x6
К74-5	0,005мкФ ÷ 0,1мкФ	50	16,5x13,5x10,5
КМ-6	0,005мкФ ÷ 0,1мкФ	25 ÷ 50	9,5x9,5x6

Для згладжування пульсації напруги живлення будемо використовувати електролітичні конденсатори К50-35, параметри та габаритні розміри яких наведено в таблиці 3.8.

Таблиця 3.8 – Параметри електролітичних конденсаторів

Тип конденсатора	Ємність, мкФ/ робоча напруга, В	Діаметр, мм	Висота, мм	Відстань між выводами, мм	Діаметр виводів, мм
К50-16А	500/25	19	26,5	7,5	0,8
К50-22	470/50	24	40	10	1,0
К50-6	500/25	18	45	8	0,8
К50-35	470/25	14	19	6	0,8

До конденсаторів другої групи висуваються вимоги надійної роботи при мереженій напрузі 220 В (її амплітудному значенні), тому що у разі їх пробою інші елементи схеми також вийдуть з ладу. Для вибору конденсаторів будемо використовувати дані попередніх розрахунків, з яких витікає, що для одного конденсатора $U_{C_{\max}} = 352,5/2 = 172,25$ В.

Як показує аналіз, для цього вузла також можна використовувати конденсатори К73-17 з робочою напругою, більшою за розрахункову $U_{C_{\max}}$, а саме – 250 В. При цьому габаритні розміри конденсатора будуть відповідати даним таблиці 3.7.

Як видно, серед них не можливо вибрати елемент, що забезпечує роботу при напрузі 8 кВ.

Конденсатори у помножувачі напруги повинні забезпечувати працездатність при надзвичайно високих напругах (до 8 кВ), тому до їх вибору необхідно поставитись з найбільшою увагою.

Параметри конденсаторів К78-2 наведено в таблиці 3.9.

Таблиця 3.9 – Параметри конденсаторів К78-2

Основні параметри	
Стандарт	GB10188 (IEC 60384-13)
Інтервал робочих температур	-40 ... +85°C; під заказ (-55 ... +105°C)
Номінальна напруга, В	1000, 1200, 1600, 2000, 3000
Діапазон ємностей, мкФ	00010 ... 1.0
Допустимі відхилення ємності	± 5%(J); ± 10%(K)
Гранично допустима напруга (5сек)	1,75 $U_{\text{ном}}$
Тангенс кута втрат (20 °С, 1кГц)	не більше 0,0008
Опір ізоляції (Т = 20 °С, 1 min)	
C_R не більше 0,1мкФ	не менше 30000 МОм
C_R більше 0,1мкФ	не менше 3000 МОм

Конденсатори К73-14М (поліетилентерефталатні, фольгові),

Виробник: ВАТ НДІ "Гіріконд"

Технічні умови: АДПК.673633.015 ТУ

Призначені для роботи в колах постійного, змінного і пульсуючого струмів. Конструкція: обернуті ліпкою стрічкою, залиті по торцях епоксидним компаундом.

Параметри конденсатора:

- номінальна ємність 0,00047...0,1мкФ;
- номінальна напруга (в інтервалі температур $-60^{\circ}\text{C} \dots +70^{\circ}\text{C}$) – 4; 10; 16; 25кВ;
- допустиме відхилення ємності для $U_r=4\text{кВ}$ для $U_r=10\dots 25\text{кВ}$ +5; +10; +20 % +10; +20 %
- тангенс кута втрат при $f=1\text{кГц} < 0,008$;
- опір ізоляції $> 100000 \text{ МОм}$;
- інтервал робочих температур $-60\dots +85^{\circ}\text{C}$;
- кліматичне виконання УХЛ (93+3% відн. вологості при $40+2^{\circ}\text{C}$).

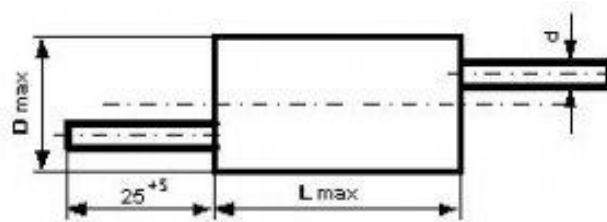


Рисунок 3.11 – Корпус конденсатора К73-14М

Як бачимо, серед конденсаторів К73-14 можливо вибрати саме такі, що задовольняють вимогам використання в помножувачі напруги, тому обираємо конденсатори ємністю 2200 пФ на напругу 10 кВ.

Таблиця 3.10 – Габаритні розміри конденсаторів К73-14

Напруга, кВ	Ємність	D, мм	L, мм	Маса не більше, г
4	3300пФ; 3900, 4700, 5600, 6800, 8200пФ; 0,01мкФ, 0,012; 0,015;	от 9	25	от 4
	0,018; 0,022; 0,027; 0,033; 0,039; 0,047; 0,056; 0,068; 0,082; 0,1мкФ	до 26	45	до 50
10	2200пФ; 3300пФ	от 17 до 25	25	от 13 до 65
	4700пФ; 6800пФ; 0,01мкФ; 0,015мкФ		45	
	0,022мкФ		65	
16	470пФ; 680; 1000	от 14 до 27	25	от 9 до 75
	1500пФ; 2200; 3300; 4700пФ		45	
	6800пФ; 0,01мкФ		65	
25	470пФ; 680; 1000пФ; 1500пФ	от 14	45	от 17
	2200пФ; 3300пФ	до 25	65	до 65

3.7.5 Діоди помножувача напруги

Не менше ніж конденсатори, на надійність роботи впливають і високовольтні діоди в помножувачі напруги. Тому для їх вибору у відповідності з вимогами нашої схеми, проведемо огляд номенклатури високовольтних діодів, що пропонуються виробниками. Найбільш доступними і дешевими є діоди КЦ106, параметри яких наведено в таблиці 3.11

Таблиця 3. 11 – Основні параметр діода КЦ106Г

Граничні значення параметрів при $T=25^{\circ}\text{C}$			Значення параметрів при $T=25^{\circ}\text{C}$				$T_{\text{к.мах}}$ ($T_{\text{п.}}$) $^{\circ}\text{C}$
$U_{\text{обр.макс.}}$ ($U_{\text{обр.и.макс.}}$) кВ	$I_{\text{пр.макс.}}$ ($I_{\text{пр.и.макс.}}$) мА	$I_{\text{прг.}}$ А	$f_{\text{раб.}}$ ($f_{\text{макс.}}$) кГц	$U_{\text{пр.}}$ В	при $I_{\text{пр.}}$ мА	$I_{\text{обр.}}$ мкА	
10,0(10,0)	10	1,0	20(50)	25	10	5,0	85

3.7.6 Трансформатор

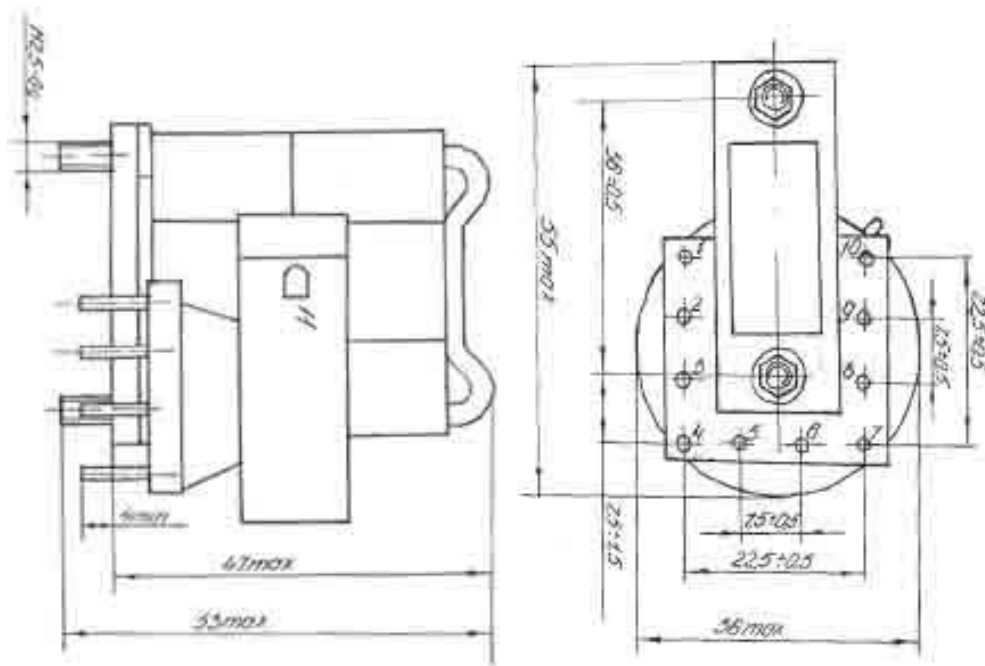


Рисунок 3.12 – Габаритні та установочні розміри трансформатора

Як видно, їх параметри повністю відповідають вимогам нашого пристрою, тому саме їх і обираємо для побудови помножувача напруги.

Для перетворення напруги використовуємо стандартний трансформатор рядкової розгортки телевізорів ТВС-90П4. Його характеристики приведені в таблиці 3.12.

Таблиця 3.12 - Параметри трансформатора ТВС-90П4

Параметр	Значення
Напруга живлення , В:	12+0,6
Тривалість зворотного ходу, мкс:	12,5+0,5
Напруга на виході випрямляча високої напруги, кВ:	12
Струм навантаження, мкА :	200
Середній струм колектора вихідного транзистора, мкА (не більше):	700
Коефіцієнти трансформації обмоток: - обмотка 3-11 - обмотка 3-5 - обмотка 3-9 - обмотка 4-6 - обмотка 1-2	1,00 0,0191±5% 0,0967±5% 0,00753±7% 0,0021±5%
Індуктивність обмотки 3-, мГн (не менше):	0,7

4 РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ ДРУКОВАНОГО ВУЗЛА

4.1 Розробка конструкції друкованої плати

В даному курсовому проекті обраний другий клас точності, так як плати другого класу точності більш надійні і мають меншу вартість, ніж класи вищих рівнів. Плати другого класу точності мають наступні конструктивні параметри:

- мінімальне значення ширини провідника $t = 0,45$ мм;
- мінімальне значення відстані між провідниками $S = 0,45$ мм;
- гарантований поясок $b = 0,2$ мм;
- граничне відхилення діаметра отвору $\Delta d = \pm 0,15$ мм;
- граничне відхилення ширини друкованого провідника $\Delta t = \pm 0,1$ мм;
- допуск на розташування осей отворів $T_d = 0,15$ мм;
- допуск на розташування центрів контактних площадок $T_D = 0,25$ мм.

При проектуванні друкованої плати обрано другий клас точності, тому що цей клас точності має достатню точність для обраних елементів і має невелику вартість.

Елементи друкованого монтажу для друкованих плат другого класу точності мають наступні конструктивні параметри:

- мінімальна ширина провідника $t = 0,45$ мм;
- мінімальна відстань між провідниками $S = 0,45$ мм;
- гарантована планка $b = 0,2$ мм;
- граничне відхилення діаметра отвору $\Delta d = \pm 0,15$ мм;
- граничне відхилення ширини провідника $\Delta t = \pm 0,1$ мм;
- допуск на розташування осей ствола $T_d = 0,15$ мм;
- допуск на положення центрів контактної поверхні $T_D = 0,25$ мм.

В якості матеріалу для виготовлення друкованої плати, яка розробляється, використовується склотекстоліт, облицьований мідною оксидованою фольгою марки СФ-1-35. Товщина фольги - 35 мкм. Товщина плати - 1 мм. Робочий діапазон температур: від -60°C до $+85^{\circ}\text{C}$. Враховуючи те, що крок друкованої плати дорівнює 2,54 мм, а для розміщення елементів знадобилася площа 24 кроки на 22, то розміри друкованої плати будуть складати 60,96 мм на 55,88 мм.

За ГОСТ 23751 - 86 [2] раціональним розміщенням вважається таке, при якому розподілені рівномірно з урахуванням електричних зв'язків і теплових режимів та забезпеченням мінімальних значень довжин зв'язків, кількості переходів друкованих провідників із шару на шар, а також з відсутністю або мінімальним рівнем паразитних зв'язків між елементами друкованого вузла.

Відповідно до ГОСТ 23751-86 [2] раціональним розміщенням вважається таким, щоб елементи були рівномірно розподілені з урахуванням електричних з'єднань і теплових режимів, для забезпечення мінімальних значень довжин з'єднань, кількості переходів друкованих провідників із шару до шару, а також для забезпечення відсутності або наявності мінімального паразитного зв'язку між елементами друкованої одиниці.

Друкована плата виконана за правилами встановленими ГОСТ 2.417-91 [3]. Розміри на кресленні друкованої плати вказані в прямокутній системі координат на відповідних лініях координатної сітки. Розмір кроку координатної сітки. Нижній лівий кут друкованої плати взято за початкову точку. Відповідно до [3], діаметри кріпильних отворів слід вибрані з ряду числа значень від 0,4 до 3,0 мм через 0,1 мм, без значення 1,4; 1,9; 2,3; 2,9 мм

Виходячи з вимог ГОСТ 23751-86 [2] вибрано діаметр монтажних отворів. Для елементів з діаметром виводів 0,9 мм, 0,65 мм і 0,75 мм вибрано діаметр монтажних отворів рівний 1 мм; для елементів з діаметром виводів

0,53 мм, 0,51 мм, 0,5 мм, 0,6 мм, 0,59 мм вибрано діаметр монтажних отворів рівний 0,7 мм.

Таблиця 4.1 - Вибір діаметрів монтажних отворів.

Елемент	Кількість елементів	Діаметр виводів елемента	Кількість виводів	Кількість монтажних отворів	Діаметр монтажних отворів
1	2	3	4	5	6
Мікроконтролер NE555	1	0,7	8	8	1
Транзистор 18N20E	1	0,9	3	3	1
Конденсатори					
C2-23-0,062	2	0,51	2	4	0,7
C2-23-0104	1	0,51	2	2	0,7
C2-23-0,125	1	0,51	2	2	0,7
C2-23-0206	1	0,6	2	2	1
C2-23-0,25	1	0,6	2	2	0,7
C2-23-0,5	1	0,5	2	2	0,7
C2-23-1	1	0,5	2	2	0,7
C2-23-2					
Резистори					
МЛТ-0,25	1	0,6	2	2	0,7
P1-32-0,125	1	0,8	2	2	0,7
P1-32-1	1	0,6	2	2	0,7
Діоди					
SR202	1	0,9	2	2	1
1N4154	1	0,59	2	2	0,7
КЦ106Г	1	0,75	2	2	1

Розміри та конструкція елементів кріплення та конструктивних отворів, для кріплення навісних елементів, вибрано відповідно до [4] залежно від конструктивних вимог елемента, що закріплюється.

Мінімальний діаметр контактної площадки D навколо монтажного отвору відомого діаметра d визначається за формулою

$$D = (d + \Delta d_{в.о}) + 2b_H + \Delta t_{po} + 2\Delta d_{тр} + \sqrt{T_d^2 + T_D^2 + \Delta t_{н.о}^2} \quad (4.1)$$

де $\Delta d_{в.о}$ - верхнє граничне відхилення діаметра отвору (при $d \leq 1$ мм дорівнює $\pm 0,10$ мм, а при $d > 1$ мм дорівнює $\pm 0,15$ мм);

b_H – гарантійний пасок на зовнішньому шарі (0, 20 мм);

$\Delta t_{в.о}$ и $\Delta t_{н.о}$ - верхнє і нижнє граничні відхилення ширини провідника відповідно (0,10 мм);

$\Delta d_{тр}$ – значення підтравлювання діелектрика (для однобічних плат дорівнює нулю);

T_d – допуск на розташування осей отворів для відповідного класу точності і розмірів плати - (для 2 класу точності при розмірі плати по більшій стороні до 180 мм дорівнює 0,15 мм);

T_D – допуск на розташування контактних площадок для відповідного класу точності і розмірів плати (для 2 класу точності при розмірі плати по більшій стороні до 180 мм дорівнює 0,25 мм).

$$D_1 = 0,7 + 0,1 + 2 \cdot 0,2 + 0,1 + 2 \cdot 0 + \sqrt{0,15^2 + 0,25^2 + 0,1^2} = 1,6 \text{ (мм)},$$

$$D_2 = 1 + 0,15 + 2 \cdot 0,2 + 0,1 + 2 \cdot 0 + \sqrt{0,15^2 + 0,25^2 + 0,1^2} = 1,95 \text{ (мм)}.$$

Мінімальне значення номінальної ширини провідника розраховуємо виходячи з допустимої щільності струму (для гальванічної міді 20 А/мм²)

Значення ширини провідника залежить від:

- класу точності друкованої плати;
- від струму, який проходить через друкований провідник.

$$t = \frac{S}{h_\phi}, \quad (4.2)$$

де t - ширина провідника, мм;

S - площа друкованого провідника, мм²;

h_{ϕ} - товщина друкованого провідника, мм ($h_{\phi} = 0,05$ мм, так як товщина фольги дорівнює 50 мкм).

Площу друкованого провідника знаходимо за формулою:

$$S = \frac{I}{j}, \quad (4.3)$$

де I - максимальний струм, що протікає через провідник, А;

j - щільність струму, А, мм².

$$S_1 = \frac{3}{20} = 0,15 \text{ (мм}^2\text{)};$$

$$S_2 = \frac{0,1}{20} = 0,005 \text{ (мм}^2\text{)};$$

$$t_1 = \frac{0,15}{0,05} = 3 \text{ (мм)};$$

$$t_2 = \frac{0,005}{0,05} = 0,1 \text{ (мм)}.$$

Вибираємо два значення ширини провідника:

- $t_1 = 3$ мм;



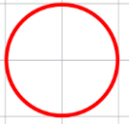
- $t_2 = 1$ мм.

Креслення друкованої плати як деталі виконані за правилами ГОСТ 2.417-91 [3].

Розміри і конфігурацію кріпильних, конструктивних технологічних отворів вибрано по ГОСТ 11284-75 [4].

Діаметр отвору, його умовний знак, діаметр контактної площадки, наявність металізації, кількість отворів представлені в табл. 4.2.

Таблиця 4.2 - Параметри монтажних отворів і контактних площадок.

Умовне позначення контактних площадок	Діаметр отворів, мм	Наявність металізації в отворі	Кількість отворів	Мінімальний діаметр контактної площадки, мм
	1	Металізація	16	2
	0,7	Металізація	30	1,7
	5	Без металізації	4	-

Перша сторона друкованої плати показана на рис. 4.2 і на рис. 4.3 показана друга сторона друкованої плати.

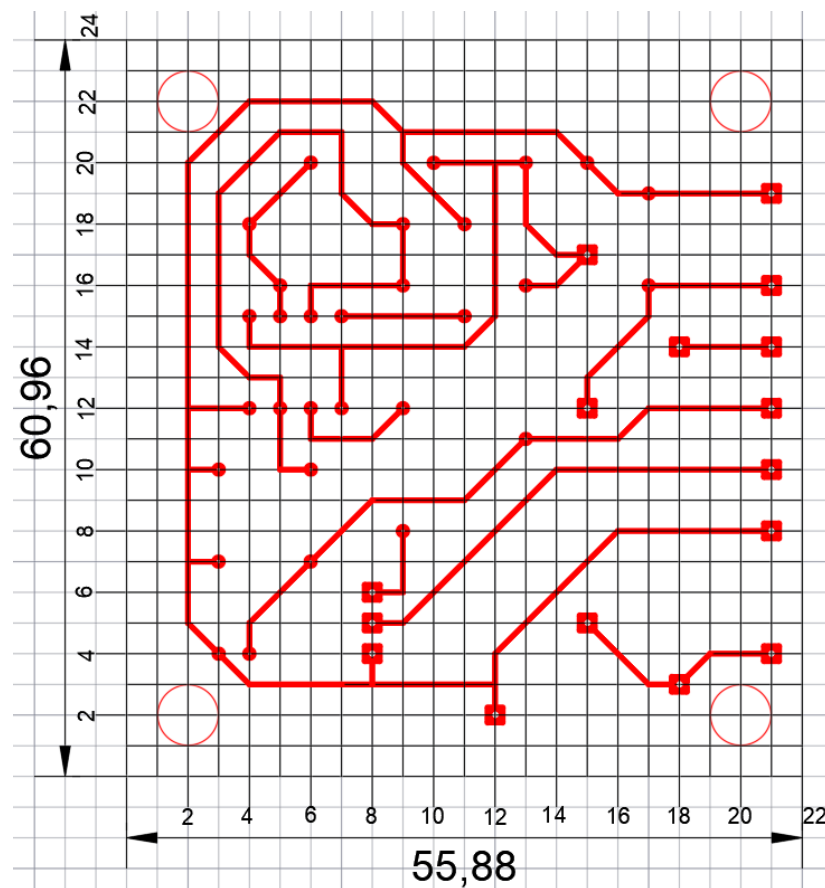


Рисунок 4.2 – Друкована плата (сторона 1)

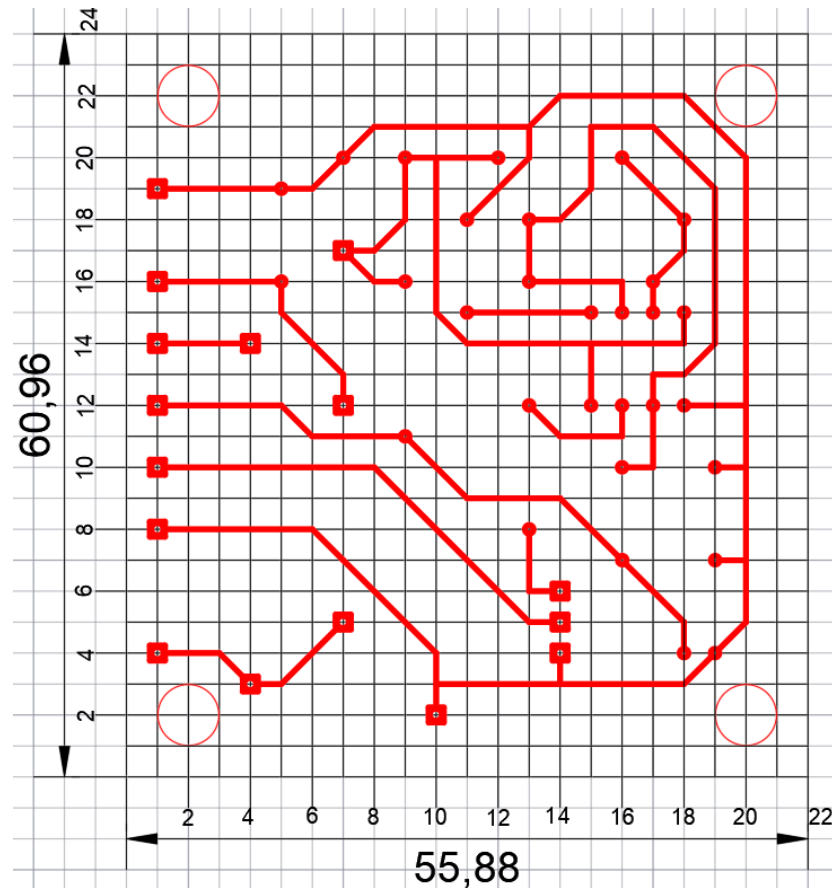


Рисунок 4.3 – Друкована плата (сторона 2)

4.2 Розробка конструкції друкованого вузла

Основними складовими друкованого вузла є друкована плата і навісні й настановні елементи. При необхідності встановлюються додаткові кріплення, радіатори.

Складальне креслення напірної установки і специфікація виконані згідно з ГОСТ 2.413-72 [5].

На складальному кресленні вузла електрорадіоелементи показано спрощено зовнішніми обрисами.

Позиційні позначення елементів на кресленні друкованої плати показані ідентично їхньому позначенню на принциповій електричній схемі. Елементом, не зазначеним на електричній схемі, але задіяним в електричних з'єднаннях для позначення адрес з'єднання провідників, присвоєні наступні

після зображених на схемі елементів, що мають таке ж функціональне призначення, позиційні позначення.

Варіанти монтажу навісних виробів:

- мінімальний розмір від корпусу елемента до центру кола згину при формуванні виводів для резисторів і конденсаторів, мікросхем - 1 мм; для транзисторів - 2 мм;

- мінімальний радіус вигину проводів для проводів діаметром від 0,5 до 1 мм включно - 1 мм; для ліній діаметром більше 1 мм - 1,5 мм;

- постійна рівномірна довжина формування з'єднувача для проводів діаметром більше 0,5 мм до 1,0 мм включно - $4,2 \text{ мм} \pm 0,1$, для проводів діаметром більше 1 мм - $5,7 \pm 0,1$ мм;

- мінімальна довжина ділянки виводу, що контактує з контактним майданчиком - 1 мм;

- глибина формовки, 5 мм.

При розміщенні елементів на друкованій платі необхідно дотримуватися наступних правил:

- кожен вихід елемента повинен встановлюється в окремий монтажний отвір;

- елементи, встановлені в монтажні отвори, розташовуються з одного боку друкованої плати.

Складальне креслення друкованої плати показано на рис. 4.2

В результаті роботи, проведеної на ділянці, розроблено односторонню друковану плату пристрою іонізації повітря другого класу точності.

В якості матеріалу для виготовлення друкованої плати використовується скляний текстоліт, покритий мідною фольгою товщиною 50 мкм.

Габаритні розміри друкованої плати - 75мм x 60мм при товщині 1мм. Розміри друкованої плати задаються за допомогою координатної сітки в прямокутній системі координат. Ширина сітки 2,54 мм. Отвори для

кріплення виконані діаметром 0,7 мм і їх кількість становить 32 отвори, 1 мм - 14 отворів і 5 мм з 5 отворами для кріплення.

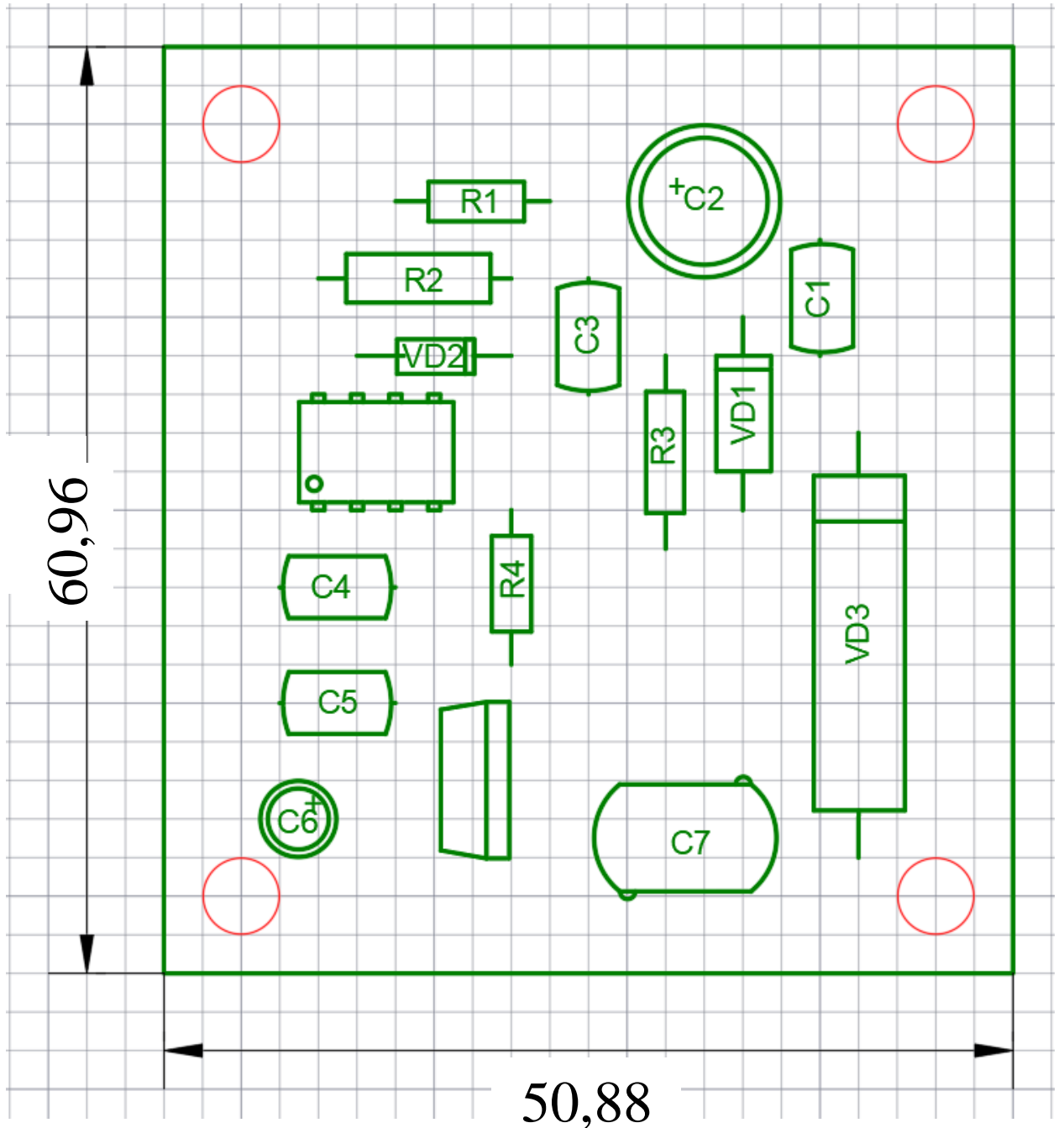


Рисунок 4.2 - Складальне креслення пристрою

5 РОЗРАХУНОК НАДІЙНОСТІ ПРИСТРОЮ

Надійність пристрою визначається розрахунковим методом за методикою розрахунку раптових відмов в роботі за відомими показниками надійності елементів пристрою з урахуванням наступних припущень: відмови елементів статистично незалежні, а відмова одного елемента призводить до виходу з ладу всього пристрою [17].

Інтенсивність відмов пристрою визначиться за формулою (6.1).

$$\lambda_c = k_\lambda \cdot \sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot \lambda_{0i}, \quad (5.1)$$

де λ_{0i} - інтенсивність відмови i -го елемента;

α_i - поправочний коефіцієнт, що враховує вплив температури навколишнього середовища і електричне навантаження приладу;

$k_\lambda = k_{\lambda 1} \cdot k_{\lambda 2} \cdot k_{\lambda 3}$ - поправочний коефіцієнт, що враховує умови експлуатації пристрою;

$k_{\lambda 1}$ - вплив механічних чинників ($k_{\lambda 1}=1,07$);

$k_{\lambda 2}$ - вплив кліматичних факторів ($k_{\lambda 2} = 1$);

$k_{\lambda 3}$ - умови роботи при зниженому атмосферному тиску. ($k_{\lambda 3} = 1$).

Середнє напрацювання на відмову всього пристрою розраховуємо за формулою [17]

$$T_c = \frac{1}{\lambda_c}, \quad (5.2)$$

Мікросхема NE555.

Інтенсивність відмов $\lambda_0 = 1,5 \cdot 10^{-6} \frac{1}{ч}$.

Кількість елементів – 1.

Транзистор 18N20E

Інтенсивність відмов $\lambda_0 = 0,5 \cdot 10^{-6} \frac{1}{ч}$.

Коефіцієнт навантаження $k_H = 0,8$.

Поправочний коефіцієнт $\alpha = 0,72$.

Кількість елементів – 1.

Трансформатор РЕТ-22-15В

Інтенсивність відмов $\lambda_0 = 52 \cdot 10^{-6} \frac{1}{ч}$.

Коефіцієнт навантаження $k_H = 0,7$.

Поправочний коефіцієнт $\alpha = 1,20$.

Кількість елементів – 1.

Керамічні конденсатори

Інтенсивність відмов $\lambda_0 = 0,7 \cdot 10^{-6} \frac{1}{ч}$.

Коефіцієнт навантаження $k_H = 0,7$.

Кількість елементів – 5.

Електролітичний конденсатор

Інтенсивність відмов $\lambda_0 = 0,9 \cdot 10^{-6} \frac{1}{ч}$.

Коефіцієнт навантаження $k_H = 0,7$.

Поправочний коефіцієнт $\alpha = 1,24$.

Кількість елементів – 2.

Резистори МЛТ

Інтенсивність відмов $\lambda_0 = 0,4 \cdot 10^{-6} \frac{1}{ч}$.

Коефіцієнт навантаження $k_H = 0,6$.

Поправочний коефіцієнт $\alpha = 0,32$.

Кількість елементів – 3.

Резистор PR01

Інтенсивність відмов $\lambda_0 = 0,4 \cdot 10^{-6} \frac{1}{ч}$.

Коефіцієнт навантаження $k_H = 0,6$.

Поправочний коефіцієнт $\alpha = 0,32$.

Кількість елементів – 1.

Діод Шоттки

Інтенсивність відмов $\lambda_0 = 0,9 \cdot 10^{-6} \frac{1}{ч}$.

Коефіцієнт навантаження $k_H = 0,5$.

Поправочний коефіцієнт $\alpha = 0,97$.

Кількість елементів – 1.

Випрямні діоди

Інтенсивність відмов $\lambda_0 = 0,9 \cdot 10^{-6} \frac{1}{ч}$.

Коефіцієнт навантаження $k_H = 0,7$.

Поправочний коефіцієнт $\alpha = 1,05$.

Кількість елементів – 2.

Плата друкована.

Інтенсивність відмов $\lambda_0 = 0,1 \cdot 10^{-6} \frac{1}{ч}$.

Кількість елементів – 1.

Отже, визначимо інтенсивність відмови пристрою за формулою (5:

$$\lambda_c = 1,07 + 1 + 1 + 10^{-6} \cdot (1,5 \cdot 1 + 0,5 \cdot 0,72 \cdot 1 + 52 \cdot 1,20 \cdot 1 + 0,7 \cdot 0,7 \cdot 5 + 0,9 \cdot 1,24 \cdot 2 + 0,4 \cdot 0,32 \cdot 3 + 0,4 \cdot 0,32 \cdot 1 + 0,9 \cdot 0,97 \cdot 1 + 0,9 \cdot 1,05 \cdot 2 + 0,1 \cdot 1) = 90,262 \cdot 10^{-6}$$

Середнє напрацювання на відмову всього пристрою розраховуємо за формулою (5.2).

$$T_c = \frac{1}{\lambda_c} = \frac{1}{90,262 \cdot 10^{-6}} = 11079 \text{ год} = 3,8 \text{ року} \quad (5.2)$$

Таким чином, результат розрахунку надійності аероіонізатора повітря дозволив оцінити середнє напрацювання на відмову, яке складає 11079 годин, тобто 3,8 роки, при восьми годинах роботи за добу.

ВИСНОВОК

Для забезпечення повітря оптимального складу повітря необхідна наявність в ньому негативних іонів. Для цього використовують спеціальні прилади, принцип роботи яких заснований на електроєффлювальному ефекті, тобто на використанні коронного розряду. Такі прилади отримали назву іонізатори повітря. І даному дипломному проєкті розроблена конструкція іонізатора повітря з використанням електромагнітного трансформатора.

Цей прилад виконаний у кліматичному виконанні У, яке відноситься до умов роботи в районах з помірним кліматом із середньорічними екстремумами температури у діапазоні $-45^{\circ}\text{C} \dots +40^{\circ}\text{C}$ і категорії розміщення 3, яке призначене для експлуатації приладу у закритих приміщеннях із природною вентиляцією без кондиціонування. Елементна база вибрана з урахуванням балансу між ціною, якістю і надійністю.

В результаті роботи розроблена одnobічна друкована плата на склотекстоліті, облицьованій мідною оксидованою фольгою, товщиною 35 мкм, з габаритними розмірами 60,96 мм на 55,98 мм і товщиною в 1 мм. Крок сітки складає 2,54 мм. Діаметри отворів за результатами розрахунку прийняті у двох розмірах, а саме 0,7 мм і 1 мм. Діаметр кріпильного отвору прийнятий 5 мм.

Результат теплового розрахунку електронних компонентів показав, що найбільш нагрітим елементом схеми будуть резистори CF14, з температурою перегріву поверхні $67,3^{\circ}\text{C}$. Результат розрахунку інших елементів іонізатора показав, що їх температура не перевищує допустиму. Для конструкції розробленого іонізатора для забезпечення нормального теплового режиму достатньо природнього охолодження.

Розрахунок надійності показав, що середній наробіток на відмову пристрою складає 11079 годин, що відповідає 3,8 років при восьми годинах роботи за добу.

ПЕРЕЛІК ЛІТЕРАТУРИ

1. ГОСТ 15150-69. Машины, прилади та інші технічні вироби. Виконання для різних районів. Категорії, умови експлуатації, зберігання і транспортування в частині впливу кліматичних факторів зовнішнього середовища. Введ. 01.01.70.
2. ГОСТ 23751-86. Плати друковані. Основні параметри конструкції. - Введ. 01.07.87.
3. ГОСТ 2.417-91. ЕСКД. Плати друковані. Правила виконання креслень. - Введ. 01.07.92.
4. ГОСТ 11284 – 75. Отвори крізні під кріпильні деталі. Розміри. –Введ. 01.01.77
5. ГОСТ 2.413-72. Правила виконання конструкторської документації виробів, виготовлених із застосуванням електричного монтажу. - Введ. 01.01.77.
6. ГОСТ 12.1.007-76 Класифікація і загальні вимоги безпеки. – Введ. 10.03.1976. УДК 351.777.5:658.382.3:006.354
7. ОНТП 24-86 «Визначення категорій приміщень і будинків по вибухопожежної і пожежної небезпеки» Введ. 1.01.87
8. СНиП II-М.2-72 “Виробничі будівлі промислових підприємств. Норми проектування”. – Введ. 01.01.1987.
9. ГОСТ 10317 – 79. Друковані плати. Основні розміри. – Введ. 01.01.80.
10. ГОСТ 10316-78. Гетинакс і фольгований склотекстоліт. Технічні умови. – Введ. 01.01.79.
11. ГОСТ 4 ГО.010.030 – 81. Установка навісних елементів на друковані плати. Конструювання.– Введ. 01.01.83.
12. ДСТУ 2779-94. Монтаж електричний радіоелектронної апаратури та приладів. Загальні технічні вимоги до формування висновків і до установки виробів електронної техніки на друковані плати. – Введ.01.01.96.

13. ГОСТ 12.0.003-74 Небезпечні і шкідливі виробничі фактори. Класифікація. – Введ. 01.01.1976. УДК.389.6.658.382.3:006.354. Група Т58
14. ГОСТ 12.1.005-88 «Повітря робочої зони. Загальні санітарно-гігієнічні вимоги». – Введ. 01.01.1989.
15. ДСН 3.3.6.042-99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. – Введ. 01.12.1999.
16. СНиП 2.04.0591*У Опалення, вентиляція і кондиціонування. – Введ. 01.01.1996
17. Методичні вказівки до виконання курсового проекту з дисципліни «Основи конструювання та надійність електронних пристроїв» /Укл.: Ю.Е. Паеранд - Лисичанськ: ДонДТУ, 2015. 55 - с.