МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ВАСИЛЯ СТУСА

КОРОТКИХ ОЛЕКСІЙ АНДРІЙОВИЧ

Допускається до захисту:
Завідувач кафедри
інформаційних технологій,
к.т.н., доцент
_____Нескородєва Т. В.
«__»_____20__р.

РОЗРОБКА ВИСОКОЕФЕКТИВНОГО ПІДСИЛЮВАЧА УСТАНОВКИ НАГРІВУ АСФАЛЬТОВОГО ДОРОЖНЬОГО ПОКРИТТЯ

Спеціальність 105 Прикладна фізика та наноматеріали

Кваліфікаційна (бакалаврська) робота

Науковий керівник:
Сергієнко С.П., доцент кафедри
інформаційних технологій,
к.ф.- м.н., доцент
_____
(підпис)

Оцінка : _____ / _____ / _____
(бали/за шкалою ЄКТС/за національною шкалою)

Голова ЕК: _____
(підпис)

Вінниця 2021

АНОТАЦІЯ

Коротких О.А. Розробка високоефективного підсилювача установки нагріву асфальтового дорожнього покриття. Спеціальність 105 «Прикладна фізика та наноматеріали», Освітня програма «Технології інтернету речей», Донецький національний університет імені Василя Стуса, Вінниця, 2021.

У кваліфікаційній (бакалаврській) роботі запропоновано та промодульовано високоефективний підсилювач Е-класу для установки нагріву асфальтового дорожнього покриття.

Ключові слова: . асфальт, нагрів, підсилювач, Е-клас, електроіндуктивний активатор.

Табл. 1. Рис.11. Бібліограф.: 14 найм.

ABSTRACT

Korotkykh O.A. Development of a highly efficient amplifier for heating the asphalt pavement. Specialty 105 "Applied Physics and Nanomaterials", Educational Program "Internet of Things Technologies", Vasyl Stus Donetsk National University, Vinnytsia, 2021.

In the qualification (bachelor's) work, a highly efficient E-class amplifier for heating the asphalt pavement is proposed and modulated.

Keywords: . asphalt, heating, amplifier, E-class, electroinductive activator.

Tabl. 1. Fig. 11 Bibliography .: 14 items

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ 5

ВСТУП 6

1. РОЗДІЛ 1. ПРИНЦИП ДІЇ ІНДУКЦІЙНОГО НАГРІВАЧА ТА ЙОГО БЕЗПОСЕРЕДНЄ ЗАСТОСУВАННЯ 7

1.1. Принцип індукційного нагріву 7

1.1.1. Що таке індукційне опалення? 7

1.1.2. Як працює індукційне опалення? 7

1.1.3. Схема індукційного нагріву 8

1.1.4. Фактори, які слід враховувати при проектуванні індукційної системи опалення. 9

1.1.5. Формула індукційного нагріву 10

1.1.6. Дизайн індукційної нагрівальної котушки 10

1.1.7. Застосування індуктивного нагрівання 11

1.2. Принцип ямкового ремонту асфальтобетонного покриття із застосуванням асфальтонагрівачу 12

2. **РОЗДІЛ 2. ЩО ТАКЕ ІНФРАЧЕРВОНЕ ВИПРОМІНЮВАННЯ. ПРИНЦИПИ ЙОГО РОБОТИ.** 14

2.1. Що таке інфрачервоний метод ремонту асфальтобетону? 14

2.2. Види інфрачервоних випромінювачів та сфери їх застосування 15

2.3. **Переваги та недоліки, що притаманні всім типам інфрачервоних обігрівачів.** 18

2.4. **Принцип роботи ІЧ-обігрівачів** 21

2.5. **Вимоги до ІЧ-обігрівачів** 22

2.6. **Застосування інфрачервоних опалювальних приладів** 23

2.7. **Особливості та ефективність** 24

2.8. **Ринкова складова** 25

2.9. **Порівняльні характеристики газових променистих обігрівачів** 26

3. РОЗДІЛ 3. ПОБУДОВА СХЕМИ ВИСОКОЕФЕКТИВНОГО ПІДСИЛЮВАЧА КЛАСА Е. 28

ВИСНОВОК 33

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ 34

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ІЧ - Інфрачервоні випромінювачі

ККД - коефіцієнт корисної дії

ВСТУП

Проблема пошуку нових способів і технологій асфальтування та ремонту дорожнього покриття, а також продовження його терміну служби донині зберігає свою актуальність і є одним з головних завдань, що стоять перед фахівцями дорожньо - будівельної сфери. Результати цього пошуку періодично з'являються на ринку будівельних послуг, який постійно поповнюється новими технологіями і матеріалами, які дозволяють вирішувати старі проблеми новими методами. У всі часи, основними умовами успіху та розвитку тих чи інших будівельних технологій, у тому числі асфальтування та ремонту доріг були ефективність, економічність, скорочення часу на проведення робіт. Таким чином, одні технології завойовують успіх і визнання, інші ж виявляються або занадто дорогими для кінцевого споживача, або попросту малоефективними і тому забуваються і зникають з ринку так же стрімко як і з'явилися.

Актуальність теми. На даний час стан автодорожнього покриття в нашій країні потребує ремонту та відновлення. Тому впровадження нових засобів ремонту, які будуть більш ефективні та потребувати меншого кошторису для їх виконання - є актуальною задачею.

Метою дослідження є поняття принципу та моделювання високоефективного підсилювача установки нагріву асфальтового дорожнього покриття.

1. РОЗДІЛ 1. ПРИНЦИП ДІЇ ІНДУКЦІЙНОГО НАГРІВАЧА ТА ЙОГО БЕЗПОСЕРЕДНЄ ЗАСТОСУВАННЯ

1.1. Принцип індукційного нагріву

Принцип індукційного нагріву застосовується у виробничих процесах з 1920-х років. Як сказано, що необхідність є матір'ю винаходу, під час Другої світової війни потреба в швидкому процесі зміцнення деталей металевого двигуна швидко розробила технологію індукційного нагріву. Сьогодні ми бачимо застосування цієї технології в наших повсякденних вимогах. Нещодавно потреба у вдосконаленому контролі якості та безпечних технологіях виготовлення знову поставила цю технологію в центр уваги. Завдяки сучасним високим технологіям впроваджуються нові та надійні методи впровадження індукційного нагріву.

1.1.1. Що таке індукційне опалення?

Принципом роботи індукційного процесу нагрівання є комбінований рецепт електромагнітної індукції та Джоулевого нагрівання. Індукційний процес нагрівання - це безконтактний процес нагрівання електропровідного металу шляхом генерування вихрових струмів у металі з використанням принципу електромагнітної індукції. Коли генерований вихровий струм протікає проти опору металу, за принципом Джоулевого нагрівання в металі генерується тепло. (рис 1.1.)

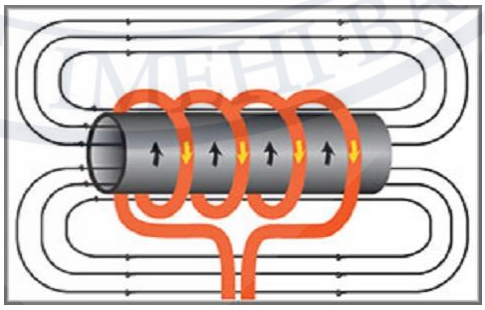

Рис 1.1. Індукційне опалення

1.1.2. Як працює індукційне опалення?

Знання закону Фарадея дуже корисно для розуміння роботи індукційного нагріву. Відповідно до закону електромагнітної індукції Фарадея, зміна електричного поля в провіднику породжує навколо нього змінне магнітне поле, сила якого залежить від величини прикладеного електричного поля. Цей принцип також працює навпаки, коли в провіднику змінюється магнітне поле.

Отже, вищезазначений принцип використовується в процесі індуктивного нагрівання. Тут твердотільний РЧ- джерело живлення подається на котушку індуктивності, а матеріал, що нагрівається, розміщується всередині котушки. Коли через котушку проходить змінний струм, навколо неї генерується змінне магнітне поле згідно із законом Фарадея. Коли матеріал, розміщений всередині індуктора, потрапляє в діапазон цього змінного магнітного поля, в матеріалі створюється вихровий струм.

Зараз дотримується принцип Джоулевого нагріву. Відповідно до цього, коли через матеріал проходить струм, у ньому утворюється тепло. Отже, коли в матеріалі створюється струм через індуковане магнітне поле, струм, що протікає, виробляє тепло зсередини матеріалу. Це пояснює процес безконтактного індуктивного нагрівання.

1.1.3. Схема індукційного нагріву

Установка, що використовується для процесу індукційного нагрівання, складається з радіочастотного джерела живлення для забезпечення змінного струму в ланцюзі. В якості індуктора використовується мідна котушка, на яку подається струм. Матеріал, що нагрівається, поміщається всередину мідної катушки (рис 1.2.).

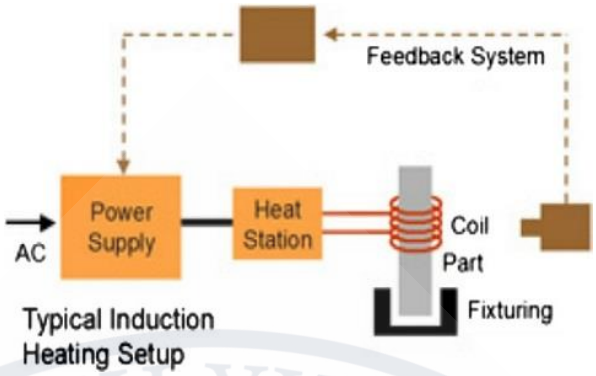

Рис. 1.2. Типова установка індукційного нагріву

Змінюючи силу прикладеного струму, ми можемо контролювати температуру нагрівання. Оскільки вихровий струм, що виробляється всередині матеріалу, протікає протилежно електричному опору матеріалу, в цьому процесі спостерігається точне та локалізоване нагрівання.

Крім вихрового струму, тепло також генерується за рахунок гістерезису в магнітних частинах. Електричний опір, який надає магнітний матеріал у напрямку до змінюваного магнітного поля в індукторі, викликає внутрішнє тертя. Це внутрішнє тертя створює тепло.

Оскільки індукційний процес нагрівання є безконтактним процесом нагрівання, нагрівальний матеріал може знаходитися подалі від джерела живлення або занурюватися в рідину або в будь-яке газоподібне середовище або у вакуумі. Цей тип нагрівання не потребує газів, що згоряють.

1.1.4. Фактори, які слід враховувати при проектуванні індукційної системи опалення.

Існує кілька факторів, які слід враховувати при розробці індукційної системи опалення для будь-якого типу застосувань:

- Зазвичай індукційний процес нагрівання застосовується для металів та провідних матеріалів. Непровідний матеріал можна нагрівати безпосередньо.
- При нанесенні на магнітні матеріали тепло генерується як вихровим струмом, так і ефектом гістерезису магнітних матеріалів.

- Маленькі та тонкі матеріали швидко нагріваються порівняно з великими та товстими матеріалами.
- Чим вище частота змінного струму, тим нижче глибина нагрівання проникнення.
- Матеріали з більшим опором швидко нагріваються.
- Індуктор, в який повинен бути поміщений нагрівальний матеріал, повинен забезпечувати легке вставлення та видалення матеріалу.
- Під час розрахунку потужності джерела живлення слід враховувати питому теплоємність матеріалу, що нагрівається, масу матеріалу та необхідне підвищення температури.
- Втрати тепла внаслідок провідності, конвекції та випромінювання також слід враховувати при виборі потужності джерела живлення.

1.1.5. Формула індукційного нагріву

Глибина, що проникає вихровим струмом у матеріал, визначається частотою індуктивного струму. Для шарів, що несуть струм, ефективну глибину можна розрахувати як

$$D = 5000\frac{\sqrt{p}}{\text{мкф}}$$

Тут d позначає глибину (см), відносну магнітну проникність матеріалу позначають μ, ρ питомий опір матеріалу в Ом-см, f вказує частоту змінного поля в Гц.

1.1.6. Дизайн індукційної нагрівальної котушки

Катушка, що використовується як індуктор, до якої подається потужність, буває різних форм. Індукований струм у матеріалі пропорційний кількості витків в котушці. Таким чином, для ефективності та ефективності індукційного нагріву важлива конструкція котушки.

Зазвичай індукційні котушки - це мідні провідники з водяним охолодженням. На основі наших застосувань використовуються різні форми котушок. Найчастіше застосовується гвинтова котушка з декількома оборотами. Для цієї котушки ширина схеми нагрівання визначається кількістю витків в котушці. Однообертові котушки корисні для застосувань, де потрібно нагрівання вузької смуги заготовки або кінчика матеріалу.

Багатопозиційна спіральна котушка використовується для нагрівання декількох заготовок. Млинова котушка використовується, коли потрібно нагрівати лише одну сторону матеріалу. Внутрішня котушка використовується для нагрівання внутрішніх отворів.

1.1.7. Застосування індуктивного нагрівання

- Цілеспрямоване нагрівання для поверхневого нагрівання, плавлення, пайки можливе в процесі індуктивного нагрівання.
- Крім металів, індуктивним нагріванням можливе нагрівання рідких провідників та газоподібних провідників.
- Для нагрівання кремнію в напівпровідникових галузях застосовується принцип індуктивного нагрівання.
- Цей процес використовується в індуктивних печах для нагрівання металу до температури плавлення.
- Оскільки це безконтактний процес нагрівання, вакуумні печі використовують цей процес для виготовлення спеціалізованої сталі та сплавів, які окислюються при нагріванні у присутності кисню.
- Індукційний процес нагрівання застосовується для зварювання металів, а іноді і пластмас, коли вони леговані феромагнітною керамікою.
- Індукційні печі, що використовуються на кухні, працюють за принципом індуктивного нагріву.
- Для пайки карбідом до валу використовується індукційний нагрівальний процес.

- Для герметичного ущільнення кришки на пляшках та фармацевтичних препаратах використовується індукційний процес нагрівання.
- Машина для моделювання пластикових ін'єкцій використовує індукційне нагрівання для підвищення енергоефективності ін'єкцій.

Для промислових виробництв індукційне нагрівання забезпечує потужний пакет послідовності, швидкості та контролю. Це акуратний, швидкий і екологічно чистий процес опалення. Втрати тепла, що спостерігаються під час індуктивного нагрівання, можна вирішити, використовуючи закон Ленца. Цей закон показав спосіб продуктивного використання втрат тепла, що виникають в процесі індуктивного нагрівання.

1.2. Принцип ямкового ремонту асфальтобетонного покриття із застосуванням асфальтонагрівачу

Технологія роботи значно спрощується в разі виконання ямкового ремонту з попередніми розігрівом асфальтобетонного покриття по всій площі карти. Для цих цілей може бути використана спеціальна самохідна машина - асфальту, який дозволяє розігрівати асфальтобетонне покриття до 100-200 ° С. Цю ж машину застосовують для просушування в сиру погоду ремонтованих ділянок.

Режим розігріву складається з двох періодів: розігрів поверхні покриття до температури 180° С і подальший більш плавний нагрів покриття по всій ширині до температури близько 80° С в нижній частині розігрівається шару при незмінній температурі на поверхні покриття. Режим розігріву регулюється зміною витрати газу і висоти пальників над покриттям від 10 до 20 см.

Після розігріву асфальтобетонне покриття розпушується граблями на всю глибину вибоїни, до нього додають нову гарячу асфальтобетонну суміш з бункера-термоса, перемішують зі старою сумішшю, розподіляють по всій ширині карти шаром більше глибини в 1,2-1,3 рази з урахуванням коефіцієнта ущільнення і ущільнюють від країв до середини ремонтується місця ручним віброкотком або самохідним катком. Місця сполучення старого і нового

покриттів розігрівають за допомогою лінійки пальників, що входять до складу асфальту. Лінійка пальників - це пересувна металева рама з укріпленими на ній пальниками інфрачервоного випромінювання, які забезпечуються газом з балонів по гнучкому шлангу. Під час проведення ремонтних робіт температура покриття повинна бути в межах 130 150 ° С, а до кінця робіт по ущільненню - не нижче 100-140 ° С.

Застосування асфальтонагрівачу значно спрощує технологію ямкового ремонту і підвищує якість робіт.

Застосування асфальтонагрівачу, що працюює на газі, вимагає особливої \u200b\u200b уваги і дотримання правил техніки безпеки. Не допускається робота газових пальників при швидкості вітру більше 6-8 м / с, коли поривом вітру може бути погашено полум'я на частини пальників, а газ з них буде надходити, сконцентрується в великій кількості і може вибухнути.

Значно безпечніше асфальту, що працюють на рідкому паливі або з електричними джерелами інфрачервоного випромінювання.

Ремонт асфальтобетонних покриттів з застосуванням спеціальних машин для ямкового ремонту або дорожніх ремонтеров. Найбільш ефективним і якісним видом ямкового ремонту є ремонт, що виконується із застосуванням спеціальних машин, які називають дорожніми ремонтёрамі. Дорожні ремонтёри застосовуються як засіб комплексної механізації дорожньо-ремонтних робіт, оскільки з їх допомогою проводиться не тільки ямковий ремонт дорожніх покриттів, але також закладення тріщин і заливка швів.

Технологічна схема ямкового ремонту з використанням дорожнього ремонтера включає в себе звичайні операції. Якщо ремонтер обладнаний розігрівачем, технологія ремонту значно полегшується.

2. РОЗДІЛ 2. ЩО ТАКЕ ІНФРАЧЕРВОНЕ ВИПРОМІНЮВАННЯ. ПРИНЦИПИ ЙОГО РОБОТИ.

2.1. Що таке інфрачервоний метод ремонту асфальтобетону?

Інфрачервоний метод ремонту асфальтобетону заснований на використанні енергії інфрачервоного випромінювання, яке займає спектральну область між червоним кінцем видимого світла і мікрохвильовим випромінюванням, і лежить за межами людського зору. Суть інфрачервоного ремонту асфальту полягає в тому, що нагрівання асфальтованої дорожньої поверхні відбувається зсередини, як результат прискореного руху молекул речовини (асфальту), а не за рахунок прямого впливу на верхні шари з поступовим проникненням тепла в середину матеріалу, регенерація існуючого асфальту і його повторне використання. При використанні інфрачервоного нагріву відсутнє відкрите полум’я, що не приводить до вигоряння бітуму. Поряд з інноваційним характером даної розробки, основним призначенням якої є усунення різних дефектів дорожнього покриття, ця технологія позиціонується в якості швидкого, економічного й ефективного способу проведення ямкового ремонту доріг протягом всього року, незалежно від температури навколишнього середовища. Крім усього іншого, застосування даної технології знімає ряд проблем, що мають місце при ремонті традиційним способом. Саме тому є сенс розглянути суть і технічні особливості даної технології відновлення асфальтобетонного покриття. Слід також зазначити, що для нагріву дефектної області затрачається менше енергії, ніж при традиційному способі. Для більш доступного розуміння даної технології, допустимо провести аналогію з принципом роботи мікрохвильової печі: продукт нагрівається швидко, але при цьому не пригорає. Використання процесу інфрачервоного ремонту за якістю порівнюється з капітальним ремонтом (без урахування проблем з основою).

Застосування даного методу позбавляє від дорогого фрезерування (безумовно, економічний ефект) і пов'язаного з ним цілого комплексу робіт,

вирішує проблеми ремонту навколо люків. Одним з мінусів даного методу є слабке зчеплення різних верств асфальту (нового і старого), внаслідок різниці температур дорожньої основи та укладання суміші, що через деякий період часу знову призводить до руйнування дорожнього покриття. Послідовність операцій при здійсненні інфрачервоного ремонту асфальту: - очищення поверхні від сміття і вологи; - установка і включення інфрачервоного випромінювача над ремонтованою ділянкою; - розпушування ручними засобами розігрітого асфальту; - додавання невеликої кількості нової асфальтобетонної суміші; - вирівнювання і ущільнення асфальтованої поверхні.

При ремонті асфальтованого покриття звичайним способом, з використанням нагріву поверхні, досить часто відбувається перегрів матеріалу, що в свою чергу знижує його фізико-механічні показники і призводить до подальшого руйнування. Інфрачервона технологія дозволяє нагрівати асфальт зсередини, уникаючи тим самим перегрівання і пошкодження зовнішніх шарів покриття, дозволяючи при цьому перевести асфальтобетонне покриття в більш пластичний стан для подальшої обробки. Отже, згідно результатам експериментальних досліджень та польових спостережень, у разі застосування технології інфрачервоного ремонту, скорочується кількість необхідних операцій. Але головним плюсом даного методу є те, що в результаті впливу випромінювача, нагрівається не тільки проблемна ділянку але й сусідні області, що дозволяє уникнути холодних з'єднань різних верств асфальту, а тому проблема швидкого руйнування відремонтованої ділянки теж зникає. До всього іншого, слід також додати економічність даної технології (до 20%) у порівнянні з традиційним способом, відсутність швів і зняття обмежень на сезонність асфальтування і дорожніх робіт.

2.2. Види інфрачервоних випромінювачів та сфери їх застосування

У природі ІЧ випромінювання відноситься до однієї зі складових сонячного спектра. Інфрачервоні промені відносяться до самої низькочастотної зони сонячного світла. Завдяки цьому спектру наша планета отримує теплову енергію. ІЧ потік променів без жодних перешкод проникає крізь повітряний простір, не витрачаючи енергії на прогрів атмосфери. Нагріванню піддаються всі фізичні тіла, включаючи землю та різні предмети, що потрапляють на шляху. Повітряний простір в свою чергу отримує тепло другорядне, тобто від уже прогрітих поверхонь. Тут задіяний закон фізики, який свідчить, що більш теплі тіла віддають енергію холодним. Саме тому повітря в нічний час доби набагато прохолодніше, ніж вдень. Тому же принципом працюють і ІЧ нагрівачі, що входять до складу побутових і промислових установок.

Природно, спектр штучно вироблених ІЧ нагрівачів не такий широкий, як ІЧ променів сонячного світла і знаходиться він в області хвиль інфрачервоного діапазону довжиною $\lambda = 50 - 2000$ мкм. Враховується ще той факт, що чим нижче температура тіла, що нагрівається, тим довше хвиля. В цілому, діапазон інфрачервоного випромінювання значно ширше і розділяється на три категорії залежно від довжини хвиль:

- короткі хвилі: $\lambda = 0{,}74 - 2{,}5$ мкм,
- середньої довжини хвилі: $\lambda = 2{,}5 - 50$ мкм,
- довгі хвилі: $\lambda = 50 - 2000$ мкм.

ІЧ нагрівачі якісно виконують свої завдання тільки в довгохвильовому діапазоні. Різні види ІК пристроїв є основою для виробництва ІК обігрівального обладнання. Так як теплова енергія від інфрачервоних нагрівачів передається найчастіше методом випромінювання, то їх відносять до випромінювачів.

Інфрачервоні (ІЧ) випромінювачі все частіше використовують в практиці. Ці пристрої вже перестали бути екзотикою і стають повсякденністю. Проте досі не багато навіть фахівців в змозі пояснити, наприклад, яка ж

ефективність інфрачервоних обігрівачів, який критерій вибору, не кажучи вже про складніші питання. Але тим не менше ринок цих пристроїв формується згідно з усіма законами економіки, і розвиток його відбувається досить інтенсивно.

Інфрачервоні випромінювачі (обігрівачі) – один з видів опалення. Інфрачервоні електричні обігрівачі, як правило, використовуються для допоміжного обігріву житлових приміщень, відкритих майданчиків, складів, а також виробничих приміщень. Такі прилади грунтовані на принципі, що кардинально відрізняється від принципу побудови звичайних опалювальних систем-конвекции. Інфрачервоні обігрівачі нагрівають не повітря в приміщенні, а предмети, які потім передають теплову енергію повітрю. Як правило, обігрів робочого місця або майданчика є точковим, тому ІЧ-обігрівачі частіше використовуються для обігріву конкретних предметів або областей приміщення. Такий принцип дії інфрачервоних обігрівачів значно зменшує енерговитрати на опалення. Розміщення інфрачервоних обігрівачів може бути різним: його кріплять до стелі (такі обігрівачі називають стельовими), є також можливість віконної або настінної установки інфрачервоного обігрівача.

Інфрачервоне обладнання, представлене сьогодні на українському ринку, має різні дизайн, компактність і зручність в застосуванні.

Представлені в Україні ІЧ-випромінювачі можна розділити за кількома ознаками. В першу чергу, по виду енергоносія – електричні та газові. За сферою застосування ІЧ-випромінювачі поділяють на побутові та промислові. За місцем монтажу – стельові, настінні, віконні, підлогові і ін.

Для промислового обігріву, як правило, використовують газові ІЧ-випромінювачі, так як експлуатація електричних обходиться десь у 3 дорожче. Електричні інфрачервоні обігрівачі в основному застосовують в побуті, в адміністративних приміщеннях і т.д. Найбільш яскравим прикладом електричного обігрівача є широко рекламовані популярные коротковолновые излучатели. Менш відомі, але які вирішують проблеми загального побутового

та промислового опалення, які по економічності прирівнюються до газових – довгохвильові обігрівачі системи Білюкс.

2.3. **Переваги та недоліки, що притаманні всім типам інфрачервоних обігрівачів.**

Електричні пристрої працюють безшумно, без вібрацій. Відсутність продуктів згоряння усуває потребу в додаткових системах витяжної вентиляції, але не в газових ІЧ. Використовують інфрачервоні електричні обігрівачі і в приміщеннях, і на відкритому повітрі: стадіонах, вуличних кафе, концертних майданчиках. Такі пристрої знаходять також широке застосування в різних промислових процесах, наприклад, для сушки і нагріву. Їх висока практичність полягає в простому і швидкому монтажі, простоті експлуатації устаткування і управлінні температурним режимом, звільняються значні площі, виключається небезпека розморожування системи. У інфрачервоних електричних обігрівачів не використовуються рухомі частини. Основною проблемою їх застосування є необхідність дотримання гігієнічних нормативів: обмеження температури поверхні обігрівача і щільності променистого теплового потоку на робочому місці. Це вимагає детального розрахунку розподілу променистого тепла по поверхнях обслуговуваних приміщень.

Газові обігрівачі класифікуються: за типом пальників і по температурі на поверхні випромінювача на так звані «світлі» випромінювачі (ГІІ – високотемпературні, 850-1200°С), «темні» випромінювачі (середньотемпературні – ІГТО, 350-550°С) і «супертемні» (низькотемпературні – 200-250°С). Сучасні інфрачервоні обігрівачі різних марок і виробників, як правило, можуть відрізнятися ступенем автоматизації і управління, монтуватися у вертикальній або горизонтальній площині.

Рис. 2.1. Інфрачервоне випромінювання

«Світлі» випромінювачі є різновидом інжекційних пальників, розрахованих на роботу з коефіцієнтом надлишку повітря 1,05-1,1, що забезпечує стандартну повноту згоряння газу. При нормальній експлуатації пальників в продуктах згоряння виявляються тільки сліди чадного газу (CO) і невеликі концентрації оксидів азоту. Газ, виходячи з великою швидкістю з сопла, інжектує необхідну для згоряння кількість повітря і разом з повітрям, надходить в змішувальну камеру. При цьому відбувається інтенсивне перемішування повітря з газом. З розподільної камери, повністю підготовлена для згорання суміш через отвори керамічного випромінюючого тіла виходить на поверхню останнього, де згорає в тонкому (приблизно 1-1,5 мм) шарі. Значна частина теплоти при горінні передається керамічним плиткам (випромінювачу), поверхня яких через 40-60с нагрівається до температури 850-1200ºС. Пластини стають потужним джерелом теплового (інфрачервоного) випромінювання. Залежно від конструкції керамічних плиток та їх температури променистий ККД становить 40-65% від теплової потужності випромінювача.

«Темні» випромінювачі найчастіше складаються з атмосферного пальника, випромінюючих труб, відбивачів, вентилятора і системи забезпечення подання і згорання газового палива. Розрядження, що

створюється вентилятором в трубах, призводить до того, що під атмосферним тиском через калібрований отвір в труби надходить повітря. Пальники зазвичай сконструйовані так, щоб забезпечити максимально можливе змішування газу і повітря. Деякі виробники в своїх пальниках застосовують пристосування для рекуперативного підігріву повітря відпрацьованими газами. Підпал суміші виконується електродом, який в процесі згоряння газу здійснює моніторинг за наявністю полум'я. Пальники забезпечені електронікою контролю полум'я. Є пристрої, які використовують електроніку, здатну визначати стан працездатності обігрівача. До вентилятора і труб випромінювачів пред'являються підвищені вимоги з точки зору надійності і термостійкості, оскільки і труби і вентилятор стикаються з високотемпературним і агресивним середовищем. При цьому необхідно забезпечити високий променистий ККД обігрівачів. Сама по собі висока випромінююча здатність пристрою не гарантує високий ККД випромінювача. Багато що залежить від відбивачів, що направляють променеву енергію в робочу зону.

«Супертемні» (компактні) випромінювачі від стандартних «темних» випромінювачів відрізняються рядом параметрів:

- – потужність пальника може досягати декількох сотень кВт;
- – оснащеність трубами більшого діаметра і ізольованими відбивачами;
- – завдяки примусовій циркуляції димових газів була отримана майже рівномірна температура на всій довжині випромінювача;
- – частина димових газів виводиться з системи (виведена кількість димових газів оптимізовано залежна від режиму роботи пальника);
- – довжина випромінюючих труб становить від десятків до сотень метрів;
- – потужність може регулюватися в межах 10-100% (правда, у більшості моделей є лише 2-ступінчасте регулювання);

- – «супертемні» випромінювачі можна встановлювати на висоті 4 м і більше.

2.4. **Принцип роботи ІЧ-обігрівачів**

Спектральна область ІЧ-випромінювання лежить між кінцем видимого світла (з довжиною хвилі 0,74 мкм) і короткохвильовим випромінюванням (0,1-0,2 мкм). Інфрачервону область спектра умовно поділяють на ближню (від 0,74 до 2,5 мкм), середню (2,5-50 мкм) і далеку (50-2000 мкм) частини.

Принцип роботи інфрачервоного обігрівача можна пояснити на класичних прикладах нагріву тел (предметів) тепловою енергією Сонця або багаття. І хоча цей принцип відомий людству з давніх часів, його матеріальне втілення стало можливим завдяки розвитку інфрачервоної техніки.

Опалення за допомогою інфрачервоних обігрівачів істотно відрізняється від конвекційного, при якому спочатку відбувається розігрів повітря, і тільки потім від нього нагріваються предмети. Довгохвильове інфрачервоне випромінювання, навпаки, в першу чергу рівномірно нагріває предмети і поверхні, які потім передають тепло повітрю. Фізична сутність цього явища полягає в тому, що ІЧ-випромінювання не поглинається і практично не розсіюється повітрям, а, значить, всю свою енергію інфрачервоні промені передають навколишнім предметам і поверхням.

При конвекційному опаленні різниця температур у підлоги і стелі може становити 6-10°С, а температурний градієнт по висоті – від 1,7°С/м до 2,5°С/м. При цьому нагріте повітря природним чином піднімається вгору, а холодне повітря залишається внізу.

При інфрачервоному обігріві температура в поверхні підлоги вище, ніж у стелі, температурний градієнт становить приблизно 0,3°С/м. Доведено, що в цих умовах комфортна температура на висоті 1,5 м може бути знижена на 2-3°С без шкоди для здоров’я людини, так як температура підлоги буде становити 18-19°С. Завдяки суттєвому зменшенню витрат на опалення і зниження комфортної температури економія коштів при використанні

інфрачервоних обігрівачів в порівнянні з електроконвекторним опаленням може становити 20-25%. Крім того, побудова системи ІЧ-обігріву за принципом локального і/або зонального обігріву також забезпечує певну економію електроенергії.

Встановлений на стелі інфрачервоний обігрівач створює спрямований потік теплової енергії, яка не нагріває повітря. Тому такий опалювальний прилад забезпечує в приміщенні, що обігрівається абсолютно інший розподіл температури по висоті, ніж при конвекційному опаленні. В цьому випадку температура предметів і поверхонь стає вище за температуру навколишнього повітря, а повітря внизу прогрівається сильніше, ніж вгорі. Все це обумовлює більш приємний і комфортний характер опалювання.

2.5. **Вимоги до ІЧ-обігрівачів**

Для опалення виробничих приміщень з висотою стель від 4 м і більше, крім виробництв і приміщень, що відносяться з вибухопожежної безпеки до категорій А та Б, та будинків із ступенем вогнестійкості IV і V, згідно ДБН В.2.5-20-2001 «Газопостачання», допускається встановлювати під стелею інфрачервоні газові трубчасті обігрівачі (ІГТО) променистого опалення («темні» випромінювачі), з відводом продуктів згоряння в атмосферу. Застосування ІГТО в житлових і громадських будинках не допускається.

Застосовувані ІГТО повинні бути обладнані повною автоматизацією процесу згоряння газового палива з блокуванням подачі газу на пальник випромінювача у випадках:

– зниження або підвищення тиску газу понад встановлених меж;

– відсутність розрядження в камері змішування газу з повітрям, тобто припинення роботи витяжного вентилятора;

– згасання полум’я в пальниках;

– при відсутності напруги в блоці управління і безпеки;

– при наявності несправностей в блоці управління.

Відповідно до ГОСТ і паспортом світлого випромінювача в продуктах згоряння цього типу випромінювачів вміст оксидів азоту не повинен перевищувати 40 мг/куб.м і СО – 220-250 мг/куб.м . Гранично допустима концентрація (ГДК) зазначених речовин в робочій зоні згідно ГОСТ «Повітря робочої зони» не повинна перевищувати 5 мг/ куб.м NOx і 20 мг/куб.м СО, при цьому, відповідно до рекомендацій АВОК, розрахункова концентрація повинна прийматися в розмірі 30% від ГДК.

Забезпечення безпечної концентрації шкідливих речовин під час роботи світлих випромінювачів може бути здійснено тільки за допомогою загальнообмінної вентиляції.Для того щоб довести концентрацію шкідливих речовин зазначених до нормативної, необхідно, за розрахунками фахівців, подавати на розбавлення продуктів горіння одного світлого випромінювача близько 62 куб.м повітря в годину на 1 кВт встановленої потужності. Витрата електроенергії на подачу і підігрів такої кількості повітря становить приблизно 0,82 кВт·год на кВт встановленої потужності.

2.6. **Застосування інфрачервоних опалювальних приладів**

Для опалення житлових приміщень, висота стель яких становить 2,5-3,5 м, фахівці рекомендують використовувати інфрачервоні нагрівачі з температурою випромінюючої поверхні від 100°С до 200°С. Ето м’яке і безпечне випромінювання, найбільш близьке за своїм спектром до природного тепла.

Для відкритих майданчиків, балконів з висотою більше 4 м слід застосовувати інфрачервоні обігрівачі з температурою поверхні, що випромінює до 950°С.

Найбільш повно переваги інфрачервоних обігрівачів проявляються при використанні їх для опалення офісів, магазинів, кафе і т.п., а також виробничих приміщень. Фахівці рекомендують встановлювати в цих приміщеннях касетні стелі і вбудовані стельові системи опалення. Використання такого обладнання забезпечує тепловий комфорт, дозволяє здійснювати оптимальне розміщення

меблів і устаткування (відсутні радіатори, труби, кріпильні елементи). Крім цього, оскільки конвекція повітря при інфрачервоному опаленні практично відсутній, то піднімається значно менше пилу. На робочих місцях співробітників можна забезпечити локальний посилений обігрів, а в інших зонах промислових приміщень і в залах, де знаходяться відвідувачі, можна підтримувати більш низьку температуру. Все це дозволяє істотно зменшити енерговитрати на обігрів приміщень. Для цих цілей застосовують низькотемпературні прилади, спектр інфрачервоного випромінювання яких безпечний для знаходяться в приміщенні людей.

Крім того, перемикання системи інфрачервоного опалення на економічний режим обігріву (приблизно на рівні + 5°С протягом 2/3 опалювального часу) після закриття виробничого приміщення, магазину дозволяє істотно (на 30-40%) знизити споживання енергоресурсів (електроенергії, газу). У певний час система управління (грубо кажучи, таймер) може автоматично включити опалення і підвищити температуру приміщення до заданої.

2.7. **Особливості та ефективність**

Конструктивне виконання інфрачервоних обігрівачів забезпечує можливість їх установки в різних приміщеннях без будь-яких ускладнень.

Найбільш ефективним є застосування інфрачервоного опалення для приміщень з високими стелями (склади, виробничі приміщення, спортзали). У цих та подібних їм приміщеннях економія електроенергії може становити від 40% до 50%, так як немає необхідності прогрівати більшу частину об’єму приміщення через дуже незначну конвекцію теплого воздуха. ІЧ-обігрівачі здатні ефективно боротися з тим, що відволожується стін, пліснявою і надмірною вологістю. Їх також застосовують для захисту вітрин, вітражів тощо від снігу та льоду.

При локальному обігріві на робочому місці в навколишній зоні створюється більш комфортний температурний режим, ніж на решті площі

приміщення. При цьому середня температура в приміщенні може бути на 2-3°С нижче оптимальної (22°С), проте за рахунок прямого поглинання енергії від інфрачервоного обігрівача, людина в зоні його дії відчуває себе комфортно. Крім того, в приміщенні при інфрачервоному опаленні не виникають протяги.

Електричні інфрачервоні обігрівачі не становлять небезпеки для людини: рівень їх електромагнітного випромінювання менше, ніж у деяких побутових електроприладів. Під час роботи ці пристрої не спалюють кисень і, отже, не виділяють шкідливих продуктів згоряння і неприємних запахів, зберігають природну вологість повітря в приміщенні, працюють безшумно.

Використання інфрачервоного опалення не викликає у людей астматичних і алергічних рецидивів. Тепло відчувається відразу після включення інфрачервоних обігрівачів, навколишні предмети мають теплі поверхні. При необхідності можуть бути створені зони підвищеного комфорту або більш рівномірно прогріте приміщення.

Суворе дотримання вимог з безпеки, правильний монтаж спільно з установкою пристроїв захисного відключення і автоматичних вимикачів виключає випадки ураження струмом і загоряння при експлуатації електричних інфрачервоних обігрівачів.

При установці систем інфрачервоного опалення немає необхідності в прокладанні складних і дорогих теплотрас. Поряд з цим, застосування інфрачервоних обігрівачів виключає незручності, пов’язані з експлуатацією та ремонтом традиційних систем опалення.

Для інфрачервоного обладнання характерний тривалий термін служби (більше 25 років). Витрати на інфрачервоне опалення менше в порівнянні з конвекторним на 20-25%. Капітальні витрати на створення системи інфрачервоного обігріву трохи вище в порівнянні з електроконвекторним опаленням, але нижче, ніж у традиційного опалення.

2.8. **Ринкова складова**

Ще кілька років тому на українському ринку були представлені ІЧ-обігрівачі виключно зарубіжного походження. Домінували, зрозуміло, вироби з країн Європи (Угорщини, Німеччини, Італії, Польщі, Словаччини, Франції, Чехії, Швеції), але присутні і пристрої з США, Туреччини, Росії. З тих пір ситуація трохи, але змінилася – з'явилося досить велика пропозиція інфрачервоних обігрівачів вітчизняного складання.

Проте на ринку як і раніше «правлять бал» імпортери. Найбільш широко представлені вироби Frico (Швеція), Roberts Gordon (США), «Теплофон» (Росія), популярные коротковолновые излучатели (Туреччина), MO-EL (Італія), ADRIAN (Чехія). Просувають закордонні інфрачервоні обігрівачі такі компанії, як Heating Ukraine, «Шванк Україна», Uden-Ukraine, «СКС», «Термо Плюс», «Грань-енерго», ВКФ «Енергогарант», «Бриллион», НВП «Ребус», ЦЕК «ЕСКО-Центр».

Українська продукція – це, в першу чергу, інфрачервоні обігрівачі заводу «Сейм» (Путивль Сумської обл.), «РОСС» (Харків), «Внедренческая фірма «РЕТА» (ТМ «Геліос», Донецьк), «Укрпром» (ТМ «Теплов», Харків), ТОВ Білюкс (ТМ "Білюкс").

2.9. **Порівняльні характеристики газових променистих обігрівачів**

Параметр	**Світлі**	**Темні**	**Супертемні**
Поверхнева температура,°С	800-1200	400 (ефективна)	150-200 (ефективна)
Добавка променевої температури, °С	~7-10	~ 4-5	~ 2
Потужність випромінювання, кВт/кв. м	100-140	6-8	1-2
ККД променевої складової,%	<72	45-65	25-45

Довжина хвилі, мкм	1,55-2,55	3,6-8,1	6-14
Необхідність вентиляції приміщення	Так (немає відводу відпрацьованих газів)	ні (є висновок відпрацьованих газів)	ні (є висновок відпрацьованих газів)
Використання для опалення робочих приміщень	обмежена	не обмежена для типових об’єктів	для об’єктів з хорошими теплотехнічними властивостями
Променисте тепло, яке використовується в робочій зоні, %	65	60	25-45
Втрати з димовими газами, %	30	10-15	5-10
Конвекція, %		20	45-70
Абсорбція, %	3-6	3-6	
За даними компанії «Адріан»			

3. РОЗДІЛ 3. ПОБУДОВА СХЕМИ ВИСОКОЕФЕКТИВНОГО ПІДСИЛЮВАЧА КЛАСА Е.

Першим кроком для моделювання підсилювача було макетування та виготовлення електроіндуктивного активатора нагріву асфальта.

Для цього була розроблена конструктивна схема активатора яка представлена на малюнку 3.1.

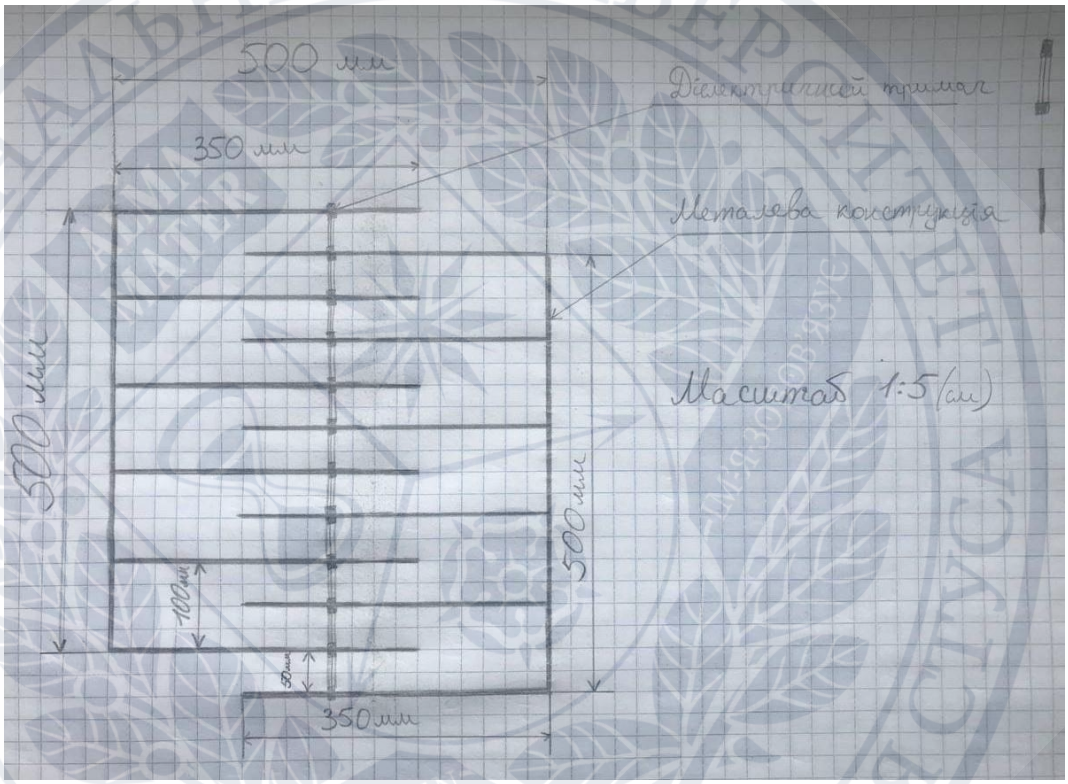

Рис. 3.1. Схема електроіндуктивного активатора

Після розробки схеми ми перейшли до практичної стадії виконання роботи. Була зварена конструкція з проволки діаметром 3мм, яка була закріплена в корпусі з дерев’яних дощок. (рис. 3.2.)

Рис.3.2. Електроіндуктивний активатор

Нашим наступним кроком було під’єднання електроіндуктивного активатору до приладу аналізатора ланцюгів Ronde/ScwaRZ FPC 1500.

Згідно проведеним вимірам, нам вдалося отримати необхідні данні для побудови моделі необхідного підсилювачу.

Рис 3.3. Результати з вимірювання параметрів індуктора за допомогою аналізатора ланцюгів Ronde/ScwaRZ FPC 1500

В результаті побудування ємнісного електроіндуктивного активатора для нагріву асфальту та проведення практичних вимірів отримані параметри еквівалентної схеми активатора. Результати вимірів використовувалися для розрахунку підсилювачу Е-класу.

Далі за допомогою програми MATHCAD ми вирахували усі необхідні значення для побудови власного підсилювача класу Е.

Для цього були виведені наступні формули:

$$C = \frac{8}{\pi(\pi^2 + 4) * \omega * R} = 47{,}379\ pF$$

$$V_I = \sqrt{\frac{R * (\pi^2 + 4) * p}{8}}$$

$$C_1 = \frac{1}{\omega * R[Q_L - \pi\frac{(\pi^2 - 4)}{16}}$$

$$\omega = 2\pi f = 2 * 3{,}14 * 13{,}56 * 10^6 = 85{,}16 * 10^6$$

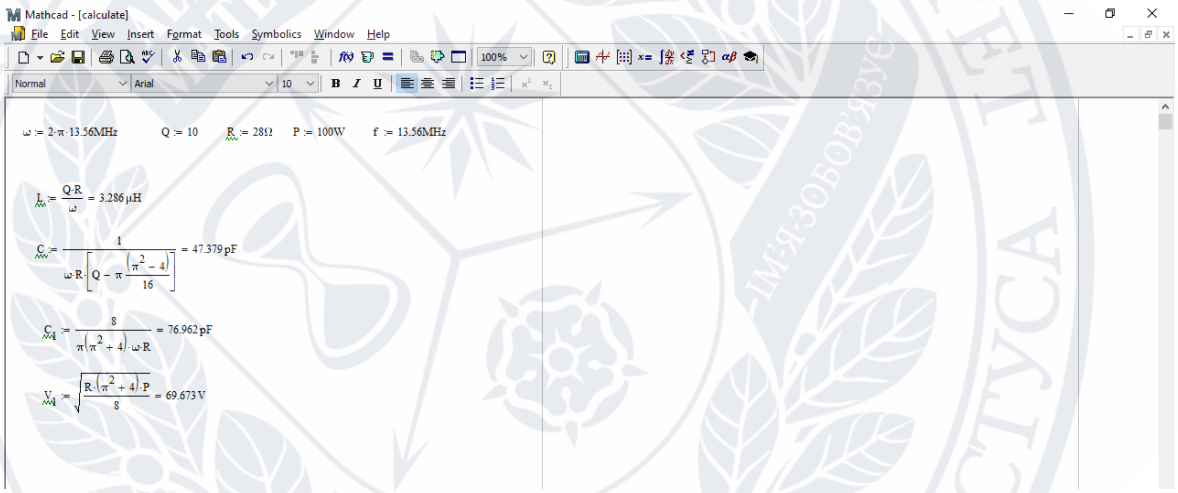

Рис. 3.4. Вікно програми MATHCAD з усіма проведеними вимірами

Нашою наступною дією була побудова схеми підсилювача Е класу за допомогою програми LTspice. Згідно усім вимірам та проведеним розрахункам наша схема мала такий вигляд:

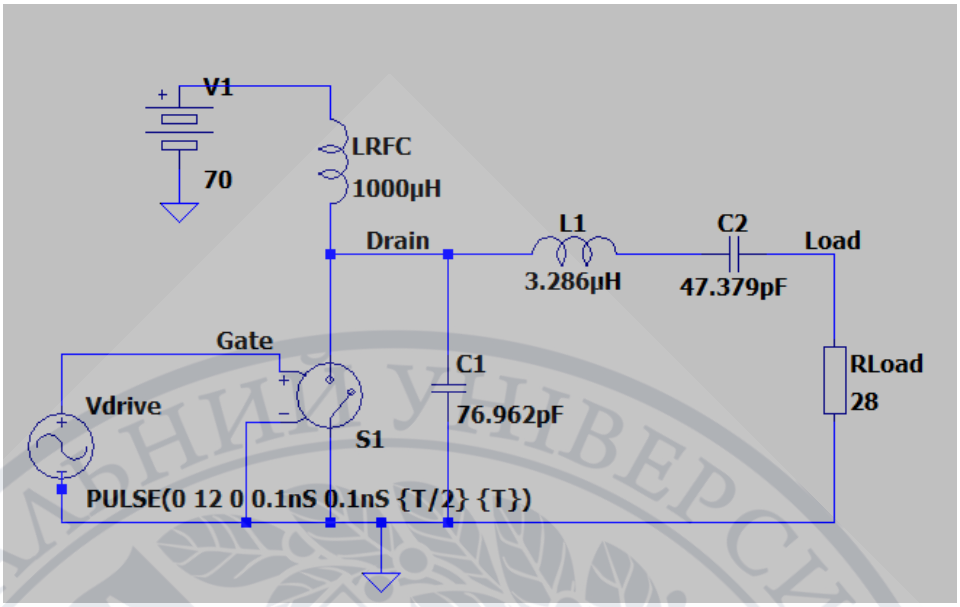

Рис. 3.5. Схема підсилювача Е класу

Наступним кроком була підстановка значень, що я отримав в своїх розрахунках :

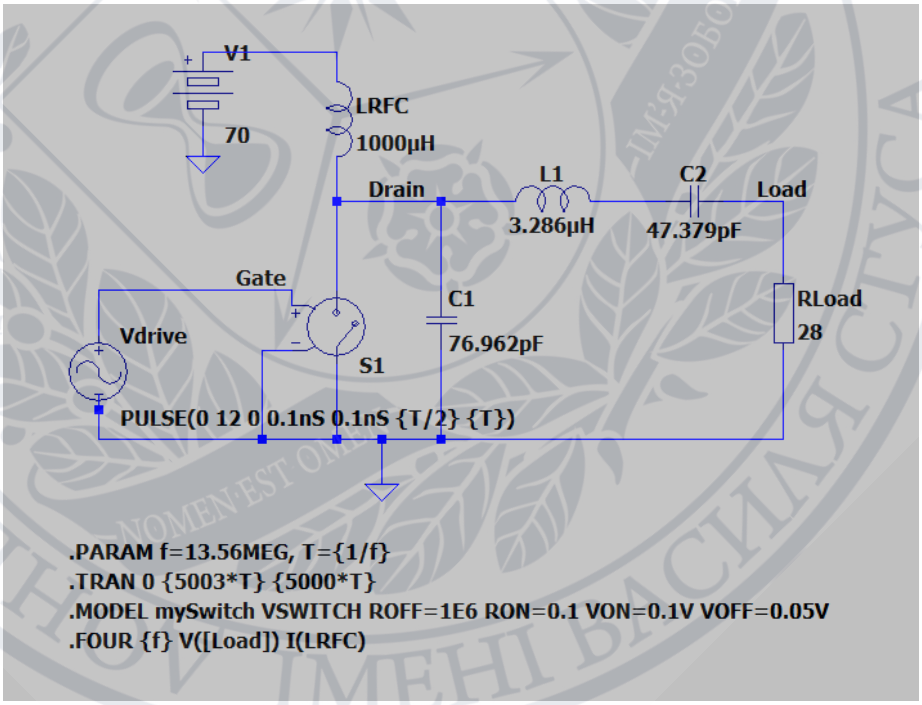

Рис. 3.6. Схема підсилювача Е-класу з усіма необхідними параметрами

Отриману схему з даними я запустив у графічному вікні програми LTspice, у якому я отримав графічний вигляд підсилювачу:

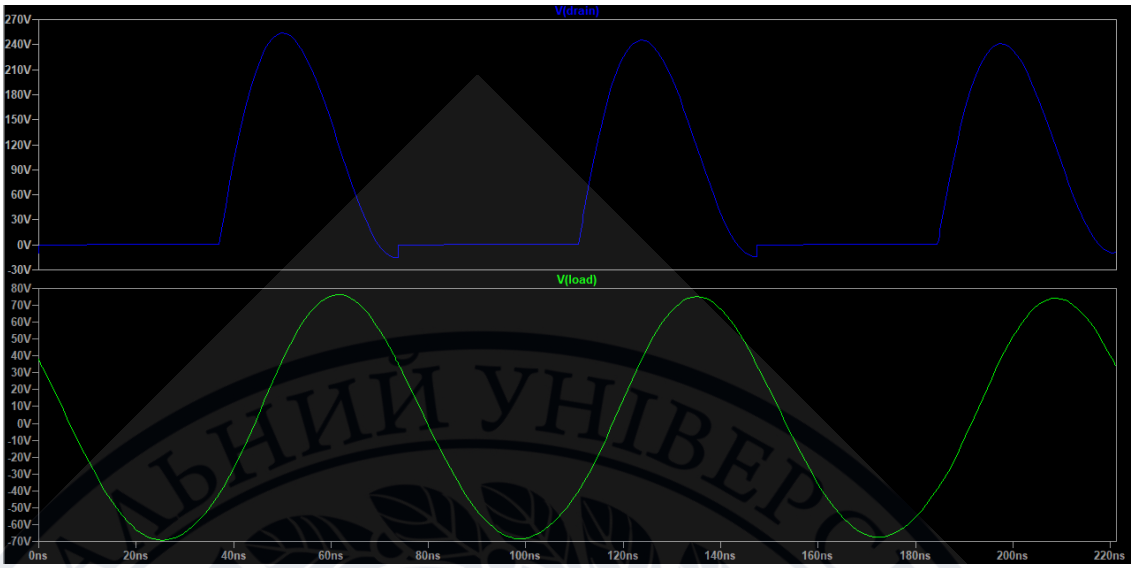

Рис. 3.7. Графіки результату моделювання струму і напруги транзистора в режимі E у вікні програми LTspice.

У наступному вікні програми LTspice ми можем бачити показання гармонічного номеру, за допомогою якого, використавши формули Ми можемо вирахувати КПД даного підсилювача:

$$P_{\text{вих}} = \frac{Vm^2}{2R}$$

$$P_1 = \frac{Vm_2^2}{2R}, P_2 = \frac{Vm_3^2}{2R}, P_3 = \frac{Vm_3^2}{2R}$$

І отримаємо, що при ідеальних умовах КПД нашого підсилювача буде дорівнювати 91%.

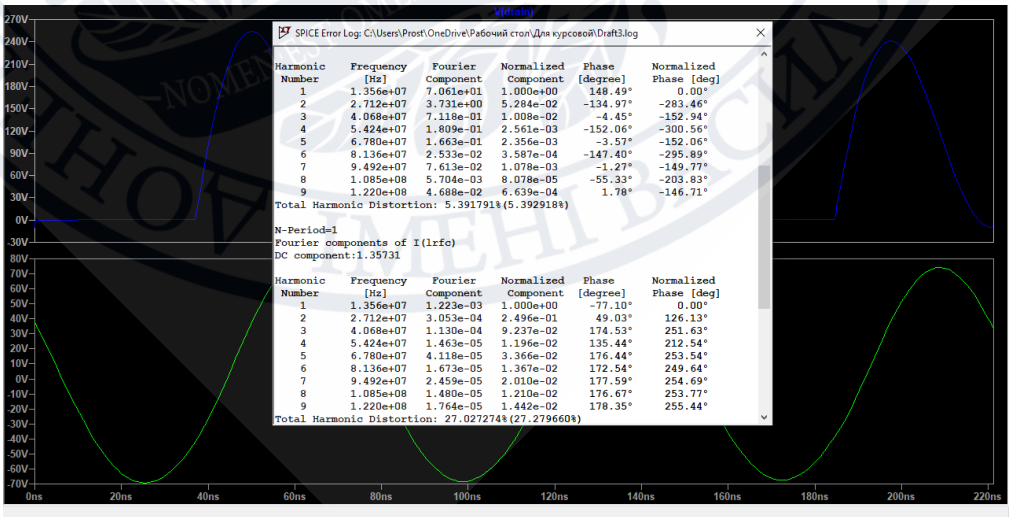

Рис. 3.8. Таблиці результатів моделювання.

ВИСНОВОК

1) В роботі, на основі еквівалентної схеми ємнісного індуктора нагріву асфальтобетонного покриття, був вирахуван та промодульован високоефективний підсилювач Е-класу.

2) В роботі запропоновані зміни в конструкції індуктора нагріву асфальтобетонного покриття для підвищення ККД.

3) Результати моделювання в програмі LTspice отримано, що електричний ККД підсилювача становить 91%. Ефективність перетворення енергії накопиченої в ємності активатора для оптимального активатора досягає 86%. Повний ККД буде 78%, що буде набагато ефективнішим, чим існуючі на даний час засоби відновлення асфальтодорожнього покриття з використанням інфрачервого реміксера.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Прохоров. А. М. Асфальтобетон // Большая советская энциклопедия. В 30 т. Т. 2 [Електронний ресурс] / А. М. Прохоров. // uk.wikipedia.org. – 2010. – Режим доступу до ресурсу: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D1%81%D1%84%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D1%82%D0%BE%D0%B1%D0%B5%D1%82%D0%BE%D0%BD. (дата звернення: 01.06.2021)

2. Солодкий С. Й. Дорожні одяги : навч. посіб [Електронний ресурс] / С. Й. Солодкий // Нац. ун-т "Львів. політехніка". - Львів : Вид-во Львів. – 2015. – Режим доступу до ресурсу: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%94%D0%BE%D1%80%D0%BE%D0%B6%D0%BD%D1%94_%D0%BF%D0%BE%D0%BA%D1%80%D0%B8%D1%82%D1%82%D1%8F. (дата звернення: 01.06.2021)

3. Частотні характеристики [Електронний ресурс] // Студопедия. – 2013. – Режим доступу до ресурсу: https://studopedia.su/8_56961_chastotni-harakteristiki.html. (дата звернення: 01.06.2021)

4. Боровська Т. М. Теорія автоматичного управління [Електронний ресурс] / Т. М. Боровська // ІРВЦ ВНТУ. – 2016. – Режим доступу до ресурсу: https://web.posibnyky.vntu.edu.ua/fksa/11Borovska_tau_kl/02.html#02_2. (дата звернення: 01.06.2021)

5. Способ оценки состояния дорожных конструкций при эксплуатационном вибрационном воздействии транспортных средств [Електронний ресурс] / [Е. Б. Бурштейн, В. А. Елистратов, М. Г. Селезнев та ін.]. – 2004. – Режим доступу до ресурсу: https://findpatent.ru/patent/225/2250445.html. (дата звернення: 01.06.2021)

6. ЛОБОВ Д. В. ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ КОНСТРУКТИВНЫХ СЛОЕВ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД НЕЖЕСТКОГО ТИПА МЕТОДОМ СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА ВОЛНОВЫХ ПОЛЕЙ [Електронний ресурс] / ДМИТРИИ ВЛАДИМИРОВИЧ ЛОБОВ // "Автомобильные дороги" Ростовского государственного строительного университета. – 2005. – Режим

доступу до ресурсу: https://www.dissercat.com/content/otsenka-sostoyaniya-konstruktivnykh-sloev-dorozhnykh-odezhd-nezhestkogo-tipa-metodom-spektra/read. (дата звернення: 01.06.2021)

7. Илиополов С.К., Лобов Д.В. Оценка состояния дорожных конструкций методом спектрального анализа поверхностных волн //Тезисы докладов Международной научно-практической конференции "Строительство-2003" - Ростов-на-Дону, 2003. С. 14-15. (дата звернення: 01.06.2021)

8. Илиополов С.К., Лобов Д.В. Исследование деформативных свойств материалов дорожных конструкций при их динамическом нафужении //Тезисы докладов Международной научно практической конференции "Строительство 2004" - Ростов-на-Дону, 2004. ~ С. 31-33. (дата звернення: 01.06.2021)

9. Лобов Д.В. Полевые обследования состояния дорожных конструкций путём анализа волновых полей при динамическом воздействии //Известия РГСУ.- 2004.- No8. С. 261. (дата звернення: 01.06.2021)

10. Илиополов С.К., Лобов Д.В. Динамические характеристики деформирования слоев дорожной конструкции при ударном воздействии падающего груза //Материалы научно-практической конференции "Проблемы проектирования, строительства и эксплуатации автомобильных дорог". - Пермь, 2004. С. 98-102. (дата звернення: 01.06.2021)

11. Лобов Д.В. Параметры состояния дорожных конструкций //Дальний Восток: Автомобильные дороги и безопасность движения: Региональный ежегодный сборник научных трудов. Выпуск 4. - Хабаровск: Изд. XI ТУ, 2004. С. 43-54. (дата звернення: 01.06.2021)

12. Илиополов С.К., Селезнёв М.Г., Углова Е.В., Дроздов А.Ю., Елистратов В.Д., Лобов Д.В., Бурштейн Е.Б. Способ оценки состояния дорожных конструкций при эксплуатационном вибрационном воздействии транспортных средств //Решение о выдаче патента на изобретение No 2004113230/28(014124). (дата звернення: 01.06.2021)

13. Iliopolov S.K., Uglova E.V., Lobov D.V. Dynamic characteristics of deformation of layers a road construction at shock influence of a falling weight. //Proceedings of X international conference "Durable and safe road pavements". - Kielce. - 11-12 May 2004. P. 303 - 308. (дата звернення: 01.06.2021)

14. «Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві.» // 7. – 2017.