

Романова Т. І.

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ СИМЕТРУЮЧИХ ПРИСТРОЇВ В СИСТЕМАХ ОСВІТЛЕННЯ БУДІВЕЛЬ

Запропонований новий принцип електропостачання внутрішньобудинкових систем освітлення на основі світлодіодних джерел світла шляхом застосування мереж живлення постійного струму в поєднанні з симетруючим тиристорним регулятором напруги, чим забезпечується зменшення відхилення напруги, рівня вищих гармонік і несиметрії струмів, втрат потужності та напруги в мережах. Проведене порівняння різних варіантів живлення таких систем освітлення.

Ключові слова: електропостачання, системи освітлення, світлодіодне джерело світла, тиристорний регулятор напруги, симетрування.

1. Вступ

В останній час спостерігається загострення проблем електромагнітної сумісності (ЕМС), яке пов'язано, з одного боку, із зростанням уваги до питань енергозбереження й забруднення середовища проживання електромагнітними перешкодами (ЕМП), а з іншого — з широким впровадженням мікроелектроніки, обчислювальної техніки й засобів радіозв'язку, які є джерелами вищих гармонік (ВГ) і ЕМП.

У даний час системи штучного освітлення є одним із потужних споживачів електроенергії (ЕЕ). Це пов'язано з використанням малоефективних джерел світла (ДС) та світлових приладів (СП) на їх основі, що призводить до збільшення втрат ЕЕ в освітлювальних установках (ОУ) та її витрат в мережах.

Тому актуальним є застосування нових ДС з урахуванням та можливістю коректування режимів їх роботи з метою підвищення ефективності систем освітлення на їх основі.

2. Мета та задачі досліджень

Метою досліджень є оцінка ефективності застосування симетруючих пристроїв — тиристорних регуляторів напруги — в системах освітлення будівель, виконаних на основі світлодіодних джерел світла та світлотехнічних пристроїв на їх основі.

Для досягнення поставленої мети були поставлені наступні задачі:

- провести техніко-економічне порівняння різних варіантів живлення світлотехнічних пристроїв на основі світлодіодних джерел світла;
- оцінити ефективність застосування симетруючого тиристорного регулятора напруги з точки зору усунення несиметрії навантаження, зменшення рівня вищих гармонійних складових у мережі живлення на основі аналізу результатів техніко-економічної оцінки.

3. Аналіз літературних даних і постановка проблеми

В останній час має місце значне збільшення частки ЕЕ, що витрачається на освітлення в мережах зі світлотехнічними пристроями (СТП) на основі світлодіодних джерел світла (СД ДС) [1], як найбільш високо-ефективних ДС, що забезпечують значну економію ЕЕ та покращення якості освітлення.

Проте досвід застосування СД ДС свідчить про наявність проблеми забезпечення ЕМС таких систем із мережею живлення [2].

Це призводить до збільшення втрат напруги й потужності на елементах мережі, викликаних протіканням ВГ струму та зниженням коефіцієнта переданої потужності, а також до підвищення електромагнітної сприйнятливості технічних засобів, і в кінцевому результаті — до зниження ефективності та якості їх функціонування.

Розширення номенклатури СТП на основі СД ДС і поява їх нових типів і характеристик вимагає проведення додаткових досліджень, що мають на меті оцінку режимів і рівня ЕМС споживачів з такими електроприймачами, а також розроблення науково-технічних основ підвищення рівня їх ЕМС, наприклад, за рахунок використання додаткових пристроїв.

Виконання задачі компенсації реактивної потужності може бути здійснено із застосуванням сучасних фільтро-компенсуючих пристроїв (ФКП) із розміщенням їх у будь-якій точці мережі від електроприймача до джерела живлення. При цьому, точкою їх оптимального розміщення є вузол електричної мережі, в якому розміщення ФКП забезпечує мінімум зведених витрат.

Цим обґрунтоване запропоноване в роботі комплексне вирішення питань зниження рівня ВГ, регулювання та симетрування напруг і струмів на основі застосування тиристорних регуляторів напруги (ТРН) та проведення порівняльної оцінки варіантів живлення СД ДС.

4. Матеріали та методи досліджень

Дослідження режимів освітлювальних електричних мереж зі СД ДС та СТП на їх основі [2] дозволило виявити нові режими, пов'язані з несиметрією струмів і напруг, а також деградацією світлодіодних джерел світла. Також їх застосування супроводжується генерацією перешкод, що передаються по мережі і через атмосферу.

Найважливішою особливістю цих ДС є спотворення струму та напруги мережі, яке пов'язане з нелінійністю характеристик СД ДС і використанням в якості джерела їх живлення електронних перетворювачів [3].

Як правило, завдання мінімізації рівня несиметрії й несинусоїдальності струмів і напруг вирішується комплексно з рішенням задачі регулювання напруги та управління технологічними процесами (регулювання та підтримування заданого значення параметрів технологічного процесу) [4].

В теперішній час для електропостачання житлових та громадських будівель використовується в основному трифазна чотирипровідна система з глухозаземленою нейтраллю живильного трансформатора змінного струму напругою 380/220 В, з частотою 50 Гц. Від неї живляться трифазні і однофазні силові приймачі та освітлювальне навантаження.

Наряду з багатьма перевагами ця система має і ряд недоліків. Основні з них є:

- несиметричні режими, які виникають при випадковому вмиканні та вимиканні силових однофазних приймачів та освітлювального навантаження. При застосуванні СТП на основі СД ДС несиметрія виникає навіть при однакових ефективних струмах в фазах (за рахунок різних характерів СД ДС та різної їх деградації, яка збільшується з часом та впливає на значне зниження світлового потоку). Все це призводить до додаткових витрат, додаткових витрат ЕЕ, збільшенню капітальних витрат на провідникові матеріали з кольорових металів. Крім того, в системі виникають ВГ струму і напруги, що також впливає на якість ЕЕ, втрати та зниження коефіцієнту потужності;

- система змінного струму напругою 380/220 В не забезпечує повної електробезпеки оточуючих;
- при експлуатації системи 380/220 В є можливість несанкціонованого відбору ЕЕ та ін.

З практики розрахунку електричних мереж з ФКП для одночасного вирішення питань компенсації реактивної потужності та зниження рівня струмів ВГ відомо, що при наявності великої кількості дрібних і різнотипних споживачів з нелінійним навантаженням набагато економічніше застосування групових ФКП, ніж на вводах до споживачів [4].

При цьому, застосування індивідуальних ФКП значно здорожує вартість електроприймачів, хоча й знижує втрати потужності в мережі. В результаті, можна говорити про те, що необхідність застосування складних індивідуальних ФКП з установленням в кожному СТП на основі СД ДС представляється вельми сумнівною. В першу чергу це стосується споживачів, у яких частка освітлювального навантаження досить мала, наприклад, системи загальнобудинкового освітлення будівель.

Поставлені в роботі задачі вирішувались із застосуванням методів, що базуються на основних положеннях електротехніки та світлотехніки.

Експериментальні дослідження виконувались з використанням методів світло- та електротехнічних вимірювань. Результати вимірювань оброблялись з використанням методів математичної статистики. Обґрунтованість результатів роботи забезпечено адекватним використанням математичних методів.

5. Результати досліджень застосування фільтро-компенсуючих та симетро-регулюючих пристроїв в освітлювальних мережах зі світлодіодними джерелами світла

Для аналізу процесів у мережах в загальному випадку будемо вважати, що однофазний СТП на основі СД ДС працює спільно з регулятором P . В цих умовах рішення задачі симетрування вимагає розгляду застосування крім однофазних індивідуальних регуляторів $P_1, P_2 \dots P_N$ (рис. 1) комплексних групових симетро-регулюючих пристроїв, наприклад, симетруючого ТРН [5], який призначений для отримання постійного струму, крім того, ще він повністю симетрує навантаження за фазами.

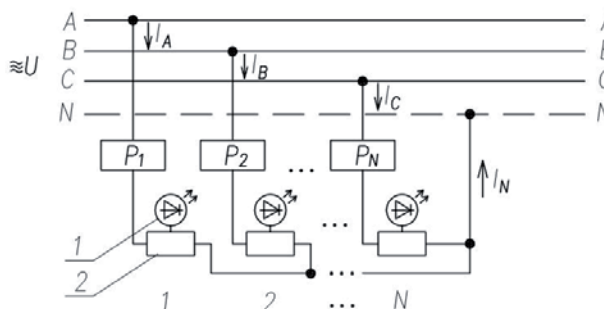


Рис. 1. Схема включення N -ї кількості однофазних СТП на основі СД ДС в трифазну чотирипровідну систему за індивідуальною схемою: $P_1, P_2 \dots P_N$ — однофазні регулятори; 1 — СД ДС; 2 — драйвер АС/ДС; 1, 2, ..., N — світлотехнічні пристрої зі СД ДС; U — напруга живлення; A, B, C — фази трифазної системи; N — нульовий робочий провід; I_A, I_B, I_C, I_N — фазні струми відповідно в фазах A, B, C та в нульовому робочому проводі N

У разі застосування симетруючих ТРН електроприймачі з регулятором по відношенню до мережі перетворюються на симетричний трифазний електроприймач. Це виключає виникнення несиметричних режимів у мережах живлення при випадковому включенні електроприймачів і деградації СД ДС, а також знижує рівень ВГ на стороні трифазної мережі живлення. Більш того, в цьому випадку відкривається можливість живлення СТП на основі СД ДС постійним струмом через драйвери ДС/ДС, що зібрані за спрощеною схемою, за рахунок застосування групової мережі постійного струму.

Згідно з [4] у схемах живлення СТП на основі СД ДС доцільно застосування однофазних ТРН в поєднанні з фільтрами ВГ або трансформаторів з симетруючим ТРН. Тому в цій роботі розглянуті наступні варіанти живлення СТП на основі СД ДС (рис. 2, табл. 1):

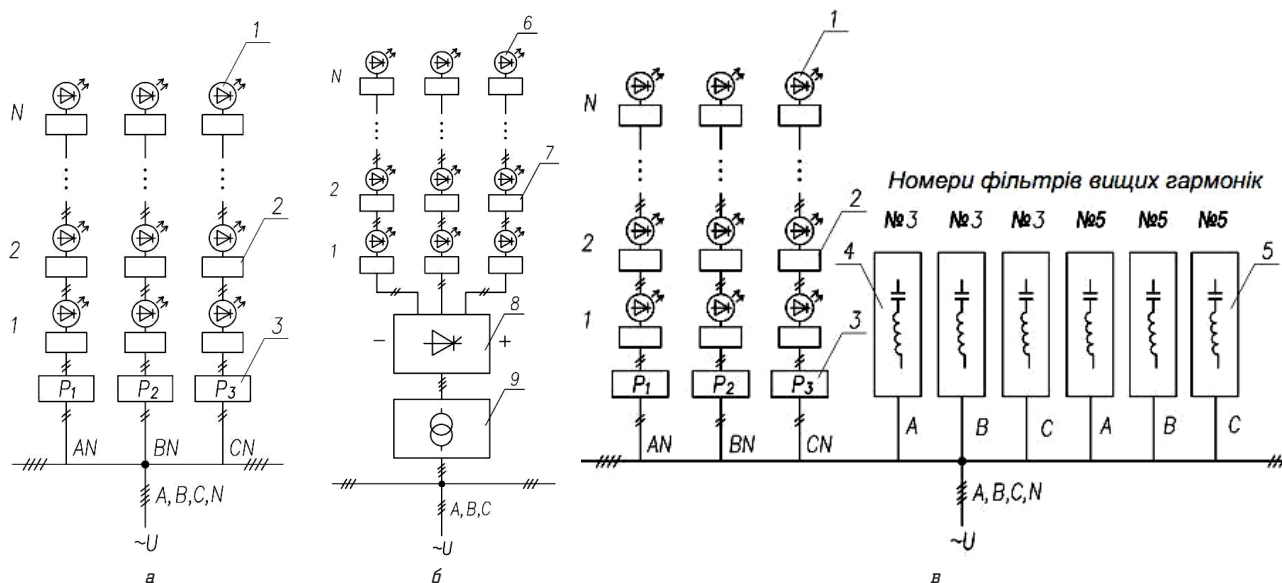


Рис. 2. Схеми включення СП на основі СД ДС з однофазними і трифазними симетруючими ТРН: *а* — варіант 1; *б* — варіант 2; *в* — варіант 3: 1 — СД ДС з драйвером АС/ДС; 2 — драйвер АС/ДС; 3 — однофазний регулятор напруги РНТО (P_1, P_2, P_3); 4 — фільтр 3-ї гармоніки; 5 — фільтр 5-ї гармоніки; 6 — СД ДС з драйвером ДС/ДС; 7 — драйвер ДС/ДС; 8 — симетруючий ТРН; 9 — трифазний трансформатор; 1, 2, ... N — світлотехнічні пристрої зі СД ДС; U — напруга живлення; A, B, C — фази трифазної системи; N — нульовий робочий провід

Таблиця 1

Техніко-економічні порівняння різних варіантів живлення СП на основі СД ДС

№ вар.	Варіанти живлення СП зі СД ДС і найменування їх основних елементів	Напруга/кількість фаз		К, грн.	З, грн.	Q, грн.	Q, в.о.
		на вході	на виході				
1	Три однофазних тиристорних регулятора, потужністю 500 Вт, зі схемою управління, в т. ч.:	220/1	220/1	600	100	190	1,0
	Однофазний тиристорний регулятор РНТО-220-5 зі схемою управління	220/1	220/1	200	33,3	63,3	—
2	Силовий трансформатор спільно з симетруючим тиристорним регулятором напруги, в т. ч.:	380/3	120/ пост. струм	680	113,3	215,3	1,2
	Трифазний трансформатор ТМ-0,5, потужністю 500 Вт, 380/88, 7/51,3 В	380/3	(88,7/51,3)/3	480	80	152	—
	Симетруючий тиристорний регулятор напруги, потужністю 500 Вт, зі схемою управління	88,7/3	120/ пост. струм	220	23,3	66,3	—
3	Фільтро-компенсуючий пристрій спільно з однофазними тиристорними регуляторами напруги, в т. ч.:	220/1	220/1	1200	200	380	2,0
	Фільтри 3-ї та 5-ї гармонік, ФКП-3(5), 6 шт.	220/1	220/1	600	100	190	—
	Однофазний тиристорний регулятор, РНТО-220-5 зі схемою управління, 3 шт.	220/1	220/1	600	100	190	—

Примітка: Варіант 1 — з ТРН однофазними типу РНТО-220-5, 220 В, 5 А, які встановлюються на кожну фазу. Варіант 2 — з трифазним трансформатором ТМ-0,5, 380/88, 7/51,3, 0,5 кВт, $U_{л1} = 380$ В, $U_{ф1} = 220$ В, $U_{л2} = 88,7$ В, $U_{ф2} = 51,3$ В та симетруючим ТРН 0,5 кВт, вхід трифазний 380 В, вихід — постійний струм 60–120 В. Варіант 3 — з ТРН однофазним типу РНТО-220-5 спільно з фільтрами ВГ для нормованих у цьому випадку 3-ї і 5-ї гармонік.

Для техніко-економічної оцінки способів живлення СП на основі СД ДС запропоновано загальноприйнятний підхід, заснований на розрахунку величини зведених розрахункових витрат $Q = 0,15 K + E$ [6], де 0,15 — нормативний коефіцієнт ефективності; K — капітальні витрати; E — експлуатаційні витрати.

При цьому, капітальні витрати K містять: вартість проводів і арматури ліній живлення (від розподільного щита до навантаження), апаратури управління і захисту, трансформаторів, тиристорних регуляторів і фільтрів ВГ. При визначенні експлуатаційних витрат E враховуються: відрахування від капітальних витрат на амортизацію; ремонт та обслуговування ліній живлення і СП на основі СД ДС, апаратури управління і захисту,

трансформаторів, тиристорних регуляторів, обладнання фільтрів ВГ, вартість витрат і витрат ЕЕ.

Порівнювані варіанти зіставлялися за умови однакового енергетичного ефекту, тобто для всіх варіантів значення навантаження і напруга мережі залишаються незмінними. Для визначеності одинична потужність СД ДС приймається рівною 5 Вт, напруга живлення — 60–120 В, потужності симетруючого ТРН і трифазного трансформатора складають 500 Вт.

При порівнянні варіантів пропонувалася рівність капітальних витрат і будівельно-монтажних робіт. Тому в подальших розрахунках цей показник не враховувався. Не враховувалися також однакові за величиною складові капітальних вкладень і річних експлуатаційних витрат.

Результати розрахунків при різних схемах підключення і різних способах регулювання приведені в табл. 1 та на рис. 3.

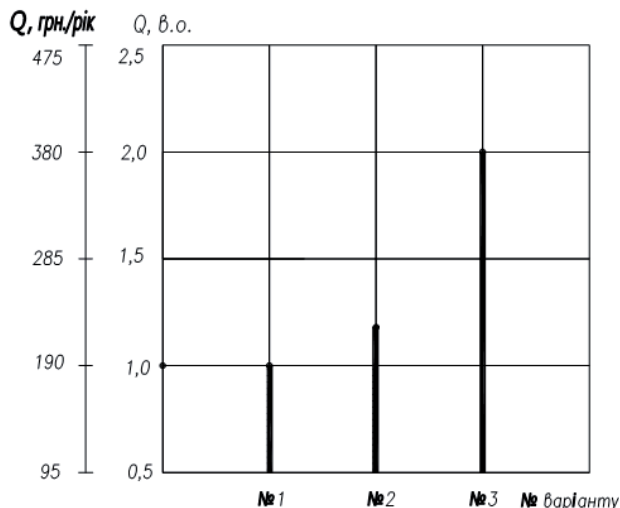


Рис. 3. Зведені розрахункові витрати Q для різних варіантів живлення СТП зі СД ДС

6. Обговорення результатів оцінювання ефективності застосування фільтро-компенсуючих та симетруючих пристроїв в освітлювальних мережах зі світлодіодними джерелами світла

Як видно з табл. 1, найменше значення мають витрати для варіантів 1 і 2. Крім того, необхідно врахувати, що у варіанті 1 мають місце невраховані втрати від несиметричних і несинусоїдальних режимів, які збільшать загальні витрати ще приблизно на 5 %.

Варіант 2 слід вважати більш прийнятним у зв'язку з якісною перевагою, викликаною повним усуненням несиметричних режимів.

Розгляд варіанту 3 позбавлений сенсу із-за великої величини розрахункових витрат, які в 2 рази перевищують витрати за варіантом 1 і в 1,7 рази — за варіантом 2.

Для освітлення об'єктів ЖКГ може бути рекомендоване застосування варіанта 2, впровадження якого сприяє, крім повному усуненню несиметричних режимів, додатковому зменшенню втрат від ВГ за рахунок застосування живлячого трансформатора, з'єданого за схемою «трикутник-зірка», а також зменшенню витрат за рахунок відсутності нейтрального проводу.

Таким чином, застосування симетруючого ТРН (варіант 2) забезпечує зменшення витрат ЕЕ до 7 % і втрат напруги на 3–4 %. При цьому вартість розподільної мережі зменшиться на 17 %. Одночасно з цим збільшиться на 30 % строк служби СТП на основі СД ДС. Це означає, що впровадження таких регуляторів у системах внутрішньобудинкового освітлення зі СД ДС в рамках середнього міста може забезпечити економічний ефект, який вимірюється сотнями тисяч грн. у рік [7]. Фактичний ефект може бути ще більшим, якщо врахувати його соціальну складову, пов'язану з поліпшенням якості освітлення об'єкта, усуненням несанкціонованого відбору ЕЕ та зниженням напруги дотику до величини

менше 120 В, що забезпечує підвищену електробезпеку обслуговування [8].

Крім того, при постійному струмі збільшується надійність роботи, як силового, так і освітлювального обладнання. При цьому більша частина пристроїв споживчої електроніки працює від постійного струму. Перехід на часткове живлення постійним струмом, а згодом на живлення тільки постійним струмом, сприятиме високій енергоефективності, надійності, електробезпеці та ін. [9].

7. Висновки

1. Для компенсації реактивної потужності в освітлювальних мережах зі світлодіодними джерелами світла обґрунтована необхідність застосування схем їх живлення від джерела постійного струму, що виключає необхідність застосування фільтро-компенсуючих пристроїв.

2. Результати проведених досліджень вказали на те, що застосування симетруючого тиристорного регулятора напруги з трифазним входом дозволяє повністю усунути несиметрію навантаження і зменшити рівень вищих гармонійних складових у мережі живлення.

3. Обґрунтована доцільність відмови від традиційних чотирипровідних схем освітлювальних електричних мереж і застосування комбінованої схеми електропостачання споживачів [10], що передбачає живлення силових електроприймачів від мережі змінного струму 380/220 В, а освітлювальних електроприймачів — від мережі постійного струму.

4. Запропоновані рішення забезпечують збільшення на 20–30 % коефіцієнта потужності і зменшення на 30–40 % коефіцієнта несинусоїдальності живильної мережі, що дозволяє зменшити на 15–20 % втрати потужності та напруги в ній, а також забезпечити електробезпеку в цій мережі та усунення несанкціонованого відбору електроенергії в будинках.

Література

- Справочная книга по светотехнике [Текст]: справ. изд. / под ред. Ю. Б. Айзенберга. — 3-е изд., перераб. — М.: [Б. и.], 2008. — 952 с.
- Govorov, P. P. Electromagnetic compatibility of light-emitting diode light sources with a network [Text] / P. P. Govorov, T. I. Romanova, V. P. Govorov // Proceedings International Scientific Conference «UNITECH'11», Gabrovo, 18–19th of November 2011. — Gabrovo: Technical University of Gabrovo, 2011. — Vol. 1. — P. 64–68.
- Манторски, З. Гармонические искажения в сети от источников света, управляемых электронными приборами [Текст] / З. Манторски // Светотехника. — 2008. — № 2. — С. 30–33.
- Жежеленко, И. В. Электромагнитная совместимость потребителей [Текст]: моногр. / И. В. Жежеленко, А. К. Шидловский, Г. Г. Пивняк и др. — М.: Машиностроение, 2012. — 351 с.
- Носанов, Н. И. Симметрирующий тиристорный регулятор мощности для однофазных электроприемников [Текст] / Н. И. Носанов // Промышленная энергетика. — 1976. — № 11. — С. 41–44.
- Денисов, В. И. Технико-экономические расчеты в энергетике [Текст] / В. И. Денисов. — М.: Энергоатомиздат, 1985. — 216 с.
- Носанов, Н. И. Перспективы применения светодиодных источников света на объектах ЖКХ [Текст]: збірник тез доп. III міжнар. конф. «Науково-технічне та організаційно-економічне сприяння реформам у будівництві і житлово-

- комунальному господарстві», Макіївка, 12–13 квітня 2012 р. / Н. І. Носанов, Т. І. Романова. — Ч. II. — Макіївка: Дон-НАБА, 2012. — С. 35–37.
8. ГОСТ 30331.3-95. Электроустановки зданий. Часть 4. Требования по обеспечению безопасности. Защита от поражения электрическим током (МЭК 364-4-41-92) [Текст]: Межгосударственный стандарт. — Введ. 01.01.2002. — М.: ИПК издательство стандартов, 2002. — 17 с.
 9. Wright, M. Lighting industry progresses on DC-power grids that pair well with LEDs [Electronic resource] / Maury Wright. — Available at: \www/URL: <http://www.ledsmagazine.com/articles/print/volume-10/issue-6/features/lighting-industry-progresses-on-dc-power-grids-that-pair-well-with-leds-magazine.html>
 10. Пат. № 94427. Україна, МПК (2014.01) H02J 5/00, F21 L 4/00. Комбінована система електропостачання постійно-змінного струму [Текст] / Говоров П. П., Носанов М. І., Романова Т. І. — № u 2014 06341; заявл. 10.06.2014 р.; опубл. 10.11.2014 р., Бюл. № 21. — 6 с.

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СИММЕТРИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ В СИСТЕМАХ ОСВЕЩЕНИЯ ЗДАНИЙ

Предложен новый принцип электроснабжения внутридомовых систем освещения на основе светодиодных источников

света путем применения питающих сетей постоянного тока в сочетании с симметрирующим тиристорным регулятором напряжения, чем обеспечивается уменьшение отклонения напряжения, уровня высших гармоник и несимметрии токов, потерь мощности и напряжения в сетях. Проведено сравнение различных вариантов питания таких систем освещения.

Ключевые слова: электроснабжение, системы освещения, светодиодный источник света, тиристорный регулятор напряжения, симметрирование.

Романова Тетяна Іванівна, асистент, кафедра електротехніки та автоматики, Донбаська національна академія будівництва та архітектури, Макіївка, Україна, e-mail: ttatianai@mail.ru.

Романова Татьяна Ивановна, ассистент, кафедра электротехники и автоматики, Донбасская национальная академия строительства и архитектуры, Макеевка, Украина.

Romanova Tetiana, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, Makeevka, Ukraine, e-mail: ttatianai@mail.ru