

Подальші уточнення під час моделювання процесів можуть відноситись до врахування внутрішніх параметрів мережі живлення щодо їхніх еквівалентних опорів та індуктивностей, зміни внутрішніх параметрів навантаження та комплексного аналізу процесів щодо впливів можливих зовнішніх та внутрішніх факторів.

Висновки і пропозиції. Підтверджено доцільність використання програмного пакета MATHCAD для аналізу електромагнітних процесів та оптимізації параметрів напівпровідникових перетворювачів. Такий підхід дозволяє зменшити нестабільність режимів у технологічному навантаженні та режимів споживання електроенергії від мережі електроживлення.

У подальшому можна провести моделювання у декілька етапів з різними початковими припущеннями, розглядаючи НПП як систему зі своєю структурною побудовою, що визначає внутрішні впливи, в середовищі надсистеми зі своїми системами, які ззовні впливають на НПП.

Список використаних джерел

1. *Макаренко М. П.* Математична модель перетворювача трифазної напруги в постійну напругу / М. П. Макаренко, В. В. Михайленко // *Електроніка и связь*. – 2002. – № 14. – С. 73–75.
2. *Патент 18750* Україна. МПК H02M 1/02. Інвертор напруги / М. П. Макаренко, В. В. Михайленко, В. В. Пілінський ; заявник та власник патенту НТУУ “КПІ” ; заявл. 31.05.2006 ; опубл. 15.11.2006, Бюл. № 11.
3. *Патент 20985* Україна. МПК H02M 1/02. Модулятор випрямленої напруги / М. П. Макаренко, В. В. Михайленко ; заявник та власник патенту НТУУ “КПІ” ; заявл. 18.09.2006 ; опубл. 15.02.2007, Бюл. № 2.

УДК 621.3.038.616

А.Л. Приступа, канд. техн. наук

А.В. Галюга, аспірант

Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

ОЦІНЮВАННЯ ДІЮЧИХ МЕТОДИК РОЗРАХУНКУ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ВИТРАТ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ В РОЗПОДІЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ

А.Л. Приступа, канд. техн. наук

А.В. Галюга, аспірант

Черниговский национальный технологический университет, г. Чернигов, Украина

ОЦЕНКА ДЕЙСТВУЮЩИХ МЕТОДИК РАСЧЕТА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РАСХОДА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

Anatolii Prystupa, PhD in Technical Sciences

Andrii Haliuha, PhD student

Chernihiv National University of Technology, Chernihiv, Ukraine

EVALUATION OF EXISTING METHODS OF CALCULATION OF TECHNOLOGICAL ELECTRIC POWER LOSSES IN DISTRIBUTIVE ELECTRIC NETWORKS

Описано основні методики розрахунків та нормування технологічних витрат електричної енергії в діючих розподільних електричних мережах, висвітлено їх основні недоліки. Проведено порівняльний аналіз методик, визначено основні проблеми та подальші шляхи дослідження, спрямовані на підвищення точності нормування технологічних витрат електричної енергії, а саме врахування під час розрахунків зміни механічних характеристик провідників.

Ключові слова: технологічні витрати електричної енергії, активний опір проводу, математична модель.

Описаны основные методики расчетов и нормирования величины технологического расхода электрической энергии в действующих распределительных электрических сетях, отмечены их основные недостатки. Проведен сравнительный анализ методик, определены основные проблемы и дальнейшие пути их исследования, направленные

на повышение точности расчета нормирования технологического расхода электроэнергии, а именно с учетом при расчетах изменений механических характеристик проводников.

Ключевые слова: технологический расход электроэнергии, активное сопротивление провода, математическая модель.

The article describes the basic methods of calculation and rationing value of technological consumption of electric energy, marked their main drawbacks. The main problems and solutions have been identified to improve the accuracy of the calculation of technological consumption of electric energy.

Key words: technological consumption of electric energy, resistance wire, mathematical model.

Постановка проблеми. Проблема витрат електроенергії при її транспортуванні є досить гострою для електроенергетики. За статистикою, саме в розподільчих мережах (РМ) щорічно фактичні технологічні витрати сягають 20 % від відпущеної з шин знижувальних підстанцій електроенергії, що істотно впливає на тарифи на електроенергію. Судячи зі статистичних даних російського Холдингу «МРСК» [3], більша частина структури технологічних витрат електроенергії (ТВЕ) припадає на витрати електричної енергії у проводах ліній електропередач ЛЕП (рис. 1), виходячи з аналогічної структури та конфігурації електричних мереж такою ж є ситуація і в Україні та інших країнах колишнього Радянського Союзу. Перевищення нормативних показників технологічних витрат електричної енергії через недовраховані при нормуванні величини ТВЕ параметри приносить значні збитки енергопостачальним компаніям. Тому найбільш актуальними є заходи щодо зниження величини ТВЕ та уточнення методик їх розрахунку саме у проводах ЛЕП.

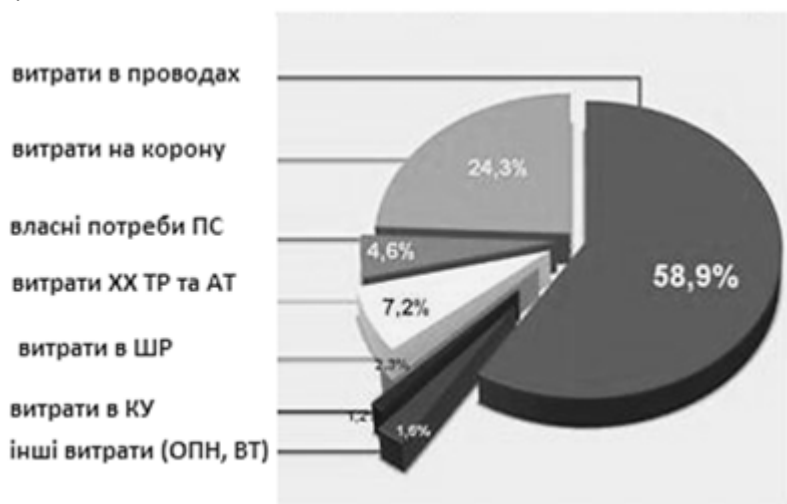


Рис. 1. Структура технологічних витрат електричної енергії

Аналіз досліджень і публікацій. На теренах колишнього Радянського Союзу розроблено та були діючими багато методик розрахунку й нормування витрат електричної енергії [6]:

1. «Временные нормативы по эксплуатации городских и сельских электрических сетей» (Министерство коммунального хозяйства РСФСР).

2. «Временная инструкция по расчету и анализу потерь электроэнергии в электрических сетях энергосистем («Уралтехэнерго»).

3. «Инструкция по расчету и анализу технологического расхода электрической энергии на передачу по электрическим сетям энергосистем и энергообъединений» (ВНИИЭ и «Уралтехэнерго»).

4. «Методические рекомендации по определению потерь электрической энергии в городских электрических сетях напряжением 10(6)–0,4 кВ» («Роскоммунэнерго» и ЗАО «АСУ Мособлэлектро»).

Вказані методики використовують схожі залежності для розрахунку постійних та змінних складових витрат електричної енергії. На їх основі розроблено потужні про-

грамні апарати для автоматизованого розрахунку значення технологічних витрат [6]. У зв'язку з тим, що величина технологічних витрат електричної енергії залежить як від режимних параметрів мережі (навантаження у вузлах, характеристики перетоки активної та реактивної потужності), так і від конструктивних (каталожних) параметрів елементів мережі та враховуючи велику протяжність та розгалуженість розподільних електричних мереж, а також недостатній рівень інформаційного забезпечення, уточнення в методиках розрахунку ТВЕ здебільшого вносились у частині методів розрахунку режимних параметрів мережі.

У методиці визначення технологічних витрат електричної енергії [1], яка діюча в Україні, технологічні витрати активної електричної енергії обчислюються за такою формулою:

$$\Delta W_{\Pi}^{(P)} = a \cdot I^2 \cdot R_{EK} \cdot k_{\phi} \cdot T_p \cdot 10^{-3} \text{ (кВт)}, \quad (1)$$

де a – коефіцієнт, що для однофазної мережі дорівнює 2, для трифазної – 3;

I – величина струму, що протікає в елементі, А;

R_{EK} – еквівалентний опір електричного кола, Ом;

k_{ϕ} – коефіцієнт форми графіка навантаження;

T_p – час роботи обладнання протягом розрахункового періоду, год.

Величина питомого опору жил кабелів та проводів, необхідна для розрахунку еквівалентного опору повітряної лінії, визначається за формулою [1]:

$$R_{\Pi} = R_0 \cdot (1 + a(\theta - \theta_0)), \quad (2)$$

де R_0 – питомий активний опір ділянки проводу (кабелю) визначений за температури θ_0 , Ом/км;

a – температурний коефіцієнт опору, $1/^{\circ}\text{C}$;

θ – температура навколишнього середовища, $^{\circ}\text{C}$ (приймається середньомісячною).

Питанню уточнення методик розрахунку ТВЕ через врахування температури проводу приділені праці таких учених, як А.А. Герасименко, Г.С. Тимофєєв, А.В. Тихонович [4], В.Е. Воротницький [2] та інші.

Мета статті. Метою цієї статті є аналіз діючих методик розрахунку витрат електричної енергії у проводах ЛЕП. Визначення основних факторів, що впливають на точність розрахунку витрат та виділення напряму подальших досліджень у галузі уточнення розрахунків та внесення поправок до діючих методик розрахунку.

Виклад основного матеріалу. На сьогодні на теренах Російської Федерації діюча методика [7], застосування якої дає уточнення значення ТВЕ. Питомий опір жил кабелів та проводів згідно з методикою [7] розраховується за формулою, аналогічною формулі (2), з тією відмінністю, що замість температури повітря в ній використовується температура поверхні проводу.

На рис. 2–5 наведені криві залежностей зміни величини ТВЕ $\Delta P\%$, що розраховані для різних параметрів навколишнього середовища за методикою [2] щодо методики [1], для найбільш вживаних у розподільних мережах марок проводів (АС-35/6,2, АС-50/8, АС-70/11).

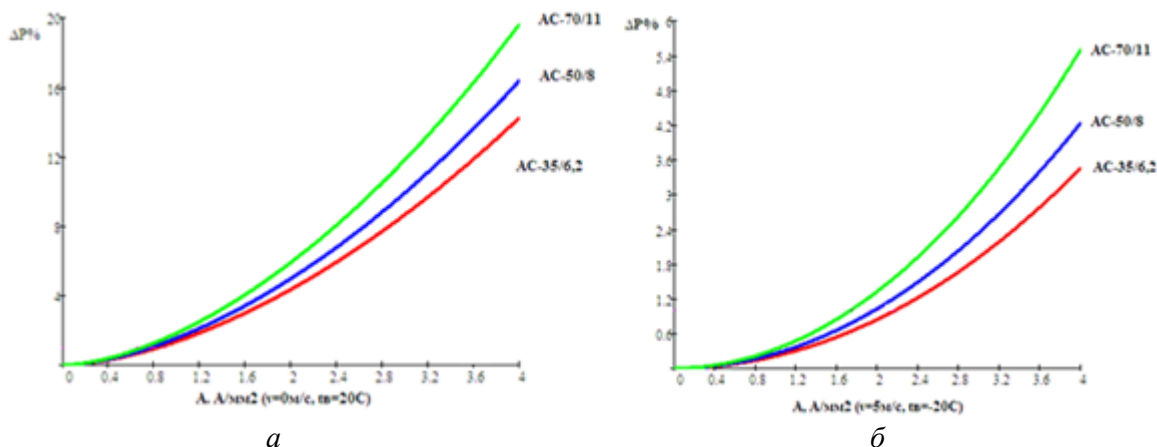


Рис. 2. Різниця у розрахунку ТВЕ між методиками від щільності струму в найважчому (а) та найлегшому (б) режимі охолодження

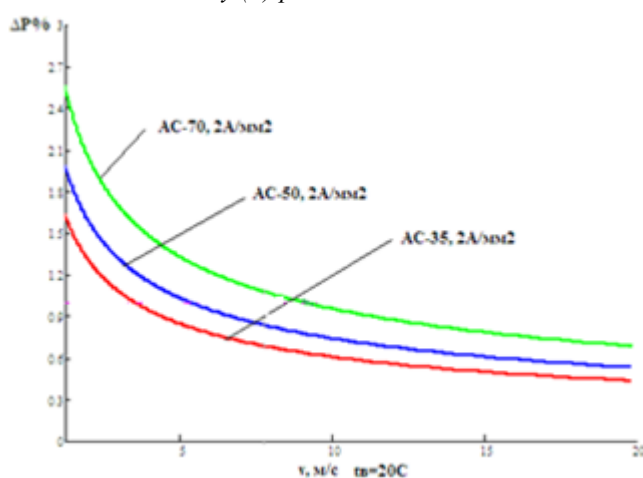


Рис. 3. Різниця у розрахунку ТВЕ між методиками залежно від швидкості вітру

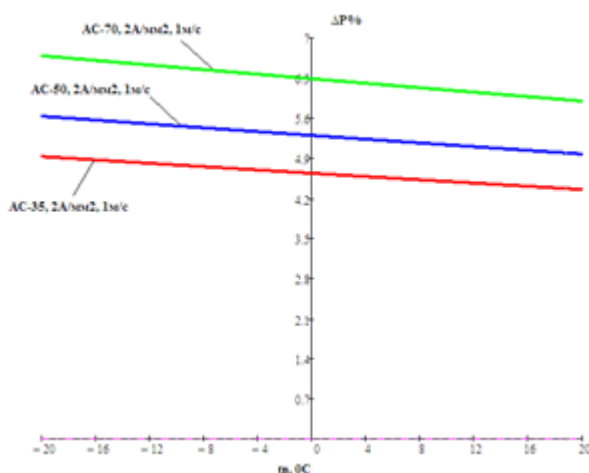


Рис. 4. Різниця у розрахунку ТВЕ між методиками залежно від температури повітря

Судячи з аналізу наведених кривих, можна зробити висновки про те, що прийняття за температуру проводу температури навколишнього середовища є припустимим (різниця між методами менше 1 %) при значеннях щільності струму до $0,8 \text{ A/mm}^2$ у найважчому режимі охолодження проводу (рис. 2, а) та до $1,6 \text{ A/mm}^2$ у найлегшому режимі охолодження (рис. 2, б).

У випадках розрахунків величини активного опору та величини ТВЕ з урахуванням швидкості вітру різниця до 1 % забезпечується при швидкостях вітру від 5 до 10 м/с

залежно від величини поперечного перерізу провідника. У випадках малих перерізів (для прикладу з проводом АС-35, рис. 3) згадана різниця забезпечується при будь-яких швидкостях вітру за умови щільності струму до $1,6 \text{ А/мм}^2$. Виходячи з кривих на рис. 4, різниця між методиками від 4 до 7 % забезпечується у всьому діапазоні температур навколишнього середовища (при щільності струму 2 А/мм^2 та швидкості вітру до 2 м/с). Тобто методика [7] є більш точною у випадку струмових навантажень порядку 2 А/мм^2 , що є характерним для головних фідерів ПЛ-35 та 10кВ, а також ПЛ-0,4 кВ.

На сьогодні ні методика [1], ні [7] не враховують величини зміни поперечного перерізу провідника під впливом механічних напружень, що виникають при зміні навантажень на провід та процесу старіння проводу.

У процесі експлуатації ПЛ на проводи та лінійну арматуру діють статичні (вагові), вітрові, ожеледні та кліматичні (температурні) навантаження [8]. Під час проектування ЛЕП та в різних методиках оцінювання стану, в тому числі у сучасних системах температурного моніторингу, проводи приймаються «гнучкими нитками», тобто не враховується поперечна деформація. Згідно з даними вимірювань поперечного перерізу проводів, отриманих з ПЛ, що тривалий час експлуатуються (30–40 років), спостерігається зменшення поперечного перерізу алюмінієвих та сталелегуючих проводів від 5 до 10 %. Також під впливом навантаження провід зазнає поздовжньої деформації («повзучості»), яка взагалі не досліджена у вітчизняних методиках розрахунку механічних характеристик провідників. У роботі [5] автор зазначив необхідність урахування зносу проводів, пов'язаного з їх експлуатацією та його впливу на величину активного опору, але, на його думку, такий вплив урахувати дуже складно через недостатнє інформаційне забезпечення.

Розглянемо вплив зміни механічних характеристик провідників на величину питомого опору.

Активний опір проводів визначається за формулою:

$$R = \rho \frac{L}{S}, \quad R = \rho \frac{L}{S}, \quad (3)$$

де R – питомий опір матеріалу проводу, $\text{Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$;

L – довжина проводу, м;

S – площа поперечного перерізу провідника, мм^2 .

На рис. 5 наведена залежність зміни активного опору проводів ПЛ (у відсотках) від лінійного видовження (збільшення довжини проводу в прогоні) та зменшення величини поперечного перерізу.

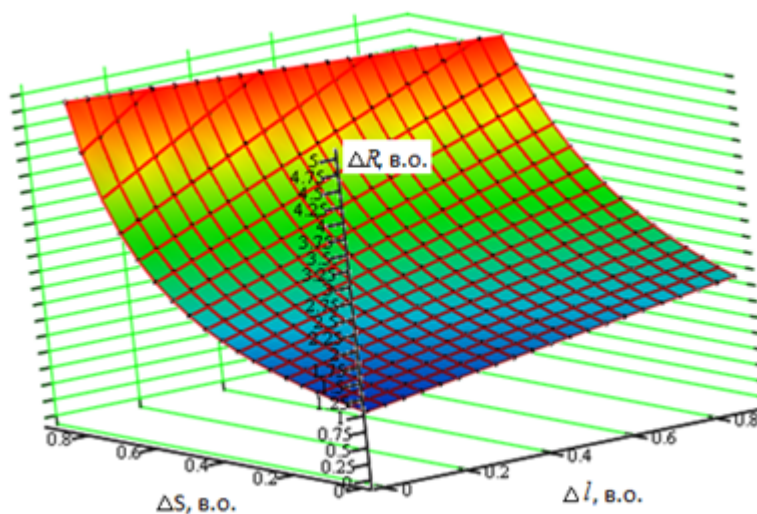


Рис. 5. Залежність зміни активного опору проводів ПЛ від лінійного видовження та зміни поперечного перерізу

Як видно з графіка, збільшення довжини проводів ПЛ у прогоні, обмежене регулюванням стріли провисання при капітальному ремонті та технічному обслуговуванні ПЛ, спричиняє незначний вплив на величину активного опору проводів.

У той же час зміна на 5–10 % поперечного перерізу приводить до збільшення опору приблизно на 20 %. Діючі методики нормування та розрахунку технологічних витрат електроенергії цю зміну не враховують. Тому для ПЛ, що перебувають в експлуатації тривалий час, значення нормативу ТВЕ може бути суттєво заниженим.

Індуктивний опір проводів ПЛ також залежить від геометричних розмірів поперечного перерізу і визначається за формулою [1]:

$$x_{II} = 0,144 \cdot \lg \left(\frac{S_{c2}}{r} \right) + 0,016, \text{ Ом}, \quad (4)$$

де r – радіус проводу, м;

S_{c2} – середньгеометрична відстань між проводами окремих фаз, м.

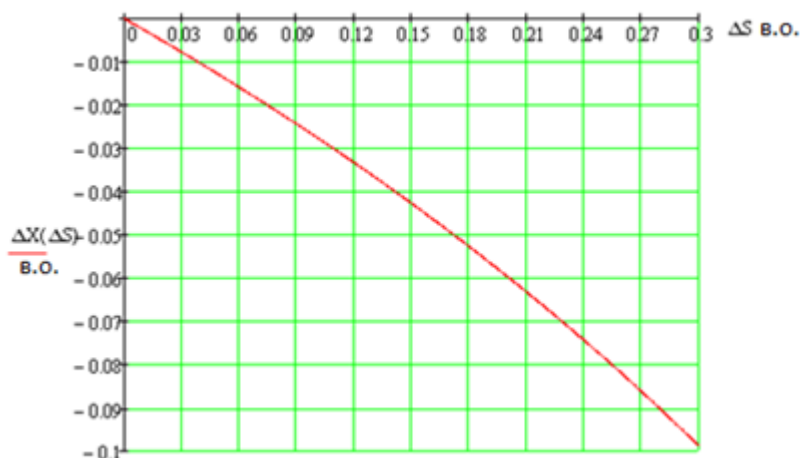


Рис. 6. Залежність зміни величини індуктивного опору проводів ПЛ від зміни поперечного перерізу

Однак, як видно з графіка, наведеного на рис. 6, зміна поперечного перерізу проводу навіть на величину до 20 % приводить до зменшення реактивної складової опору проводів не більше ніж на 5–6 %. Отже, можна вважати, що індуктивний опір проводів ЛЕП залишається незмінним протягом довгого строку експлуатації ЛЕП.

Висновки і пропозиції. Підсумовуючи вищесказане, можна відзначити, що діючі методики нормування та аналізу ТВЕ не враховують зміни поперечного перерізу провідника під впливом механічних напружень, що змінюються під дією зовнішніх факторів та струмового навантаження, яка суттєво впливає на зміну опору провідника, а отже, і на значення ТВЕ. Тому вбачається доцільним створення математичної моделі (на основі рівняння стану проводу, методик розрахунку температури проводу та математичних залежностей з опору матеріалів) для дослідження впливу зовнішніх умов та режимів роботи електричних мереж на зміни механічних характеристик та геометрії поперечного перерізу проводів ЛЕП у процесі експлуатації, для подальшого її використання під час уточнення наявних методик нормування та аналізу ТВЕ, нормування строку служби проводів ПЛ залежно від умов експлуатації.

Список використаних джерел

1. *Визначення технологічних витрат електричної енергії в трансформаторах і лініях електропередавання. Методика:* СОУ Н ЕЕ 40.1-37471933-54:2011. – К. : ГРІФРЕ : Мін-во енергетики та вугільної промисловості, 2011. – 65 с.

2. *Воротницкий В. Э.* Оценка погрешностей расчета потерь электроэнергии в ВЛ из-за неучёта метеоусловий / В. Э. Воротницкий, О. В. Туркина // *Электрические станции.* – 2008. – № 10. – С. 42–49.

VISNYK OF CHERNIHIV STATE TECHNOLOGICAL UNIVERSITY

3. Галюга А. В. Щодо уточнення розрахунку технологічних витрат електричної енергії / А. В. Галюга, А. Л. Приступа // Збірник матеріалів науково-технічної конференції : тези конф. – Суми, 2014. – 182 с.

4. Герасименко А. А. Учет схемно-режимных и атмосферных факторов при расчете технологических потерь электроэнергии в распределительных сетях / А. А. Герасименко, Г. С. Тимофеев, А. В. Тихонович // Журнал Сибирского Федерального Университета. Серия: Техника и технология. – 2008. – № 1(2). – С. 188–206.

5. Дерзский В. Г. Обоснование уровня нормативных потерь элетроэнергии в распределительных сетях / В. Г. Дерзский, В. Ф. Скиба // Электрические сети и системы. – 2007. – № 6. – С. 30–41.

6. Железко Ю. С. Расчет, анализ и нормирование потерь электроэнергии в электрических сетях : руководство для практических расчетов / Ю. С. Железко, А. В. Артемьев, О. В. Савченко. – М. : НИЦ ЭНАС, 2004. – 208 с.

7. Инструкция по расчету и обоснованию нормативов технологических потерь электроэнергии при ее передаче по электрическим сетям : утв. Приказом Минэнерго России от 30 декабря 2008 г. № 326 (с изменениями).

8. Крюков К. П. Конструкции и механический расчет линии электропередачи / К. П. Крюков, Б. П. Новгородцев. – 2-е изд. перераб. и доп. – Л. : Энергия, Ленингр. отд-ние, 1979. – 312 с.

УДК 621.314.12

А.С. Ревко, канд. техн. наук

С.Ю. Грозов, магістрант

Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

СТАБІЛІЗАТОРИ СТРУМУ НА ОСНОВІ КВАЗИРЕЗОНАНСНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ

А.С. Ревко, канд. техн. наук

С.Ю. Грозов, магістрант

Черниговский национальный технологический университет, г. Чернигов, Украина

СТАБИЛИЗАТОРЫ ТОКА НА ОСНОВЕ КВАЗИРЕЗОНАНСНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Anatolii Revko, PhD in Technical Sciences

Serhii Hrozov, Master's Degree student

Chemihiv National University of Technology, Chernihiv, Ukraine

CURRENT STABILIZERS ON THE BASIC OF QUASI-RESONANT CONVERTERS

Досліджено квазірезонансний перетворювач як стабілізатор струму. Проаналізовано електромагнітні процеси у квазірезонансному імпульсному перетворювачі, що перемикається при нульовому струмі з навантаженням у вигляді світлодіодів або акумулятора. Проведено моделювання процесів у такому перетворювачі.

Ключові слова: КРІП-ПНС, джерело струму, живлення світлодіодів, електромагнітні процеси, моделювання КРІП-ПНС, зарядний пристрій на основі КРІП.

Исследован квазирезонансный преобразователь в качестве стабилизаторов тока. Проанализированы электромагнитные процессы в квазирезонансном импульсном преобразователе, который переключается при нулевом токе с нагрузкой в виде светодиодов или аккумулятора. Проведено моделирование процессов в таком преобразователе.

Ключевые слова: КРИП-ПНТ, источник тока, питание светодиодов, электромагнитные процессы, моделирование КРИП-ПНТ, зарядное устройство на основе КРИП.

Investigated quasi-resonant converters as current stabilizers. The analysis of electromagnetic processes in quasi-resonant pulse converter, which switches at zero current to the load in the form of LEDs or battery. Conducted simulation of quasi resonant pulse converter.

Key words: QRC-ZCS, current source, LED power, electromagnetic processes, simulation QRC-ZCS, battery charger, which based on QRC.

Вступ. Сучасне народне господарство характеризується інтенсивним використанням систем силової електроніки, представниками якої є напівпровідникові перетворювачі електромагнітної енергії. Силова електроніка та її сфери, які пов'язані з перетворенням електричної енергії в електричну, є динамічним науково-технічним напрямом, з