

17. *Dapeng Wu*. Fault-Tolerant and Scalable Key Management for Smart Grid / Wu Dapeng, Zhou Chi // IEEE Transactions on Smart Grid. – 2010. – № 2. – P. 375-381.
18. *Ramaswamy P. C.* Relevance of voltage control, grid reconfiguration and adaptive protection in smart grids and genetic algorithm as an optimization tool in achieving their control objectives / P. C. Ramaswamy, G. Deconick // Networking, Sensing and Control. – 2011. – № 1. – P. 26-31.
19. *Рутковская Д.* Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечёткие системы / Д. Рутковская, М. Пилинский, Л. Рутковский ; пер. с польск. И. Д. Рудинского. – М. : Горячая линия – Телеком, 2006. – 452 с.
20. *Metke A. R.* Security Technology for Smart Grid Networks / A. R. Metke, R. L. Ekl // IEEE Transactions on Smart Grid. – 2010. – № 1. – P. 99-107.
21. *Yanmei Li*. The Fuzzy Neural Network Model of Smart Grid Risk Evaluation Based on Bayes / Li Yanmei, Wang Jingmin, Li Shuangtao // Journal of Computers. – 2011. – № 1. – P. 90-97.
22. *Erol-Kantarci M.* Wireless Sensor Networks for Cost-Efficient Residential Energy Management in the Smart Grid / M. Erol-Kantarci, H. T. Mouftah // IEEE Transactions on Smart Grid. – 2010. – № 2. – P. 314-325.
23. *Ковальчук О. А.* Оптимізація схем приєднання розосереджених джерел електроенергії в локальній електричній системі / О. А. Ковальчук, В. В. Кулик, О. Б. Бурикін // Технічна електродинаміка. – 2012. – № 3. – С. 27-28.
24. *Security Technology for Smart Grid Networks* / A. Moldernik, V. Bakker, M. G. C. Bosman, J. L. Hurink, G. J. M. Smit // IEEE Transactions on Smart Grid. – 2010. – № 2. – P. 109-119.
25. *Raju A. D. J.* Recurrent neural network for faulty data identification in smart grid / A. D. J. Raju // Recent Advancements in Electrical, Electronics and Control Engineering. – 2011. – № 1. – P. 303-308.
26. *Жуйков В. Я.* Силовая электроника в смарт-сетях / В. Я. Жуйков // Технічна електродинаміка. – 2012. – № 3. – С. 49-50.

УДК 621.3.05

**А. Л. Приступа**, канд. техн. наук

Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

## РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ БЕЗКОНТАКТНОЇ ПІДЗАРЯДКИ АКУМУЛЯТОРІВ ІМПЛАНТОВАНИХ ЕЛЕКТРОПРИЛАДІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ТЕСЛІВСЬКИХ ПРОЦЕСІВ

*Наведено результати експериментальних досліджень теслівських процесів щодо бездротової передачі енергії для підзарядки акумуляторів імплантованих електроприладів. Показано, що відхилення результатів математичного моделювання від експериментальних не перевищує 5 % у робочому діапазоні. Виділено напрями подальших досліджень щодо створення ефективних систем безконтактної підзарядки акумуляторів імплантованих електроприладів.*

**Ключові слова:** бездротова передача енергії, підзарядка акумулятора, імплантовані електроприлади.

*Приведены результаты экспериментальных исследований тесловских процессов при беспроводной передаче энергии для подзарядки аккумуляторов имплантируемых электроприборов. Показано, что отклонение результатов математического моделирования от экспериментальных не превышает 5 % в рабочем диапазоне. Выделены направления дальнейших исследований для создания эффективных систем бесконтактной подзарядки аккумуляторов имплантируемых электроприборов.*

**Ключевые слова:** беспроводная передача энергии, подзарядка аккумулятора, имплантируемые электроприборы.

*The results of experimental researches of Tesla processes at wireless transmission of energy to recharge the batteries of implantable electrical appliances. It is shown that the deviation of the results of mathematical modeling from experimental does not exceed 5 % of the operating range. Identified areas for further research to establish effective contactless recharging the batteries of implantable electrical appliances.*

**Key words:** wireless transmission of energy, battery recharge, implantable electrical appliances.

Для перевірки справедливості теорії теслівських процесів щодо бездротової передачі енергії, коли відстань, на яку здійснюється передача енергії, має один порядок з відстанню між передавальними антенами та можливості використання таких схем для підзарядки акумуляторів імплантованих електроприладів, було проведено декілька експериментів. Експериментальна установка для зняття відповідних характеристик наведена на

рис. 1. Детальний опис експериментальної установки представлено в [1], але стосовно дослідів щодо бездротової передачі енергії для підзарядки акумуляторів імплантованих електроприладів установка має такі особливості.

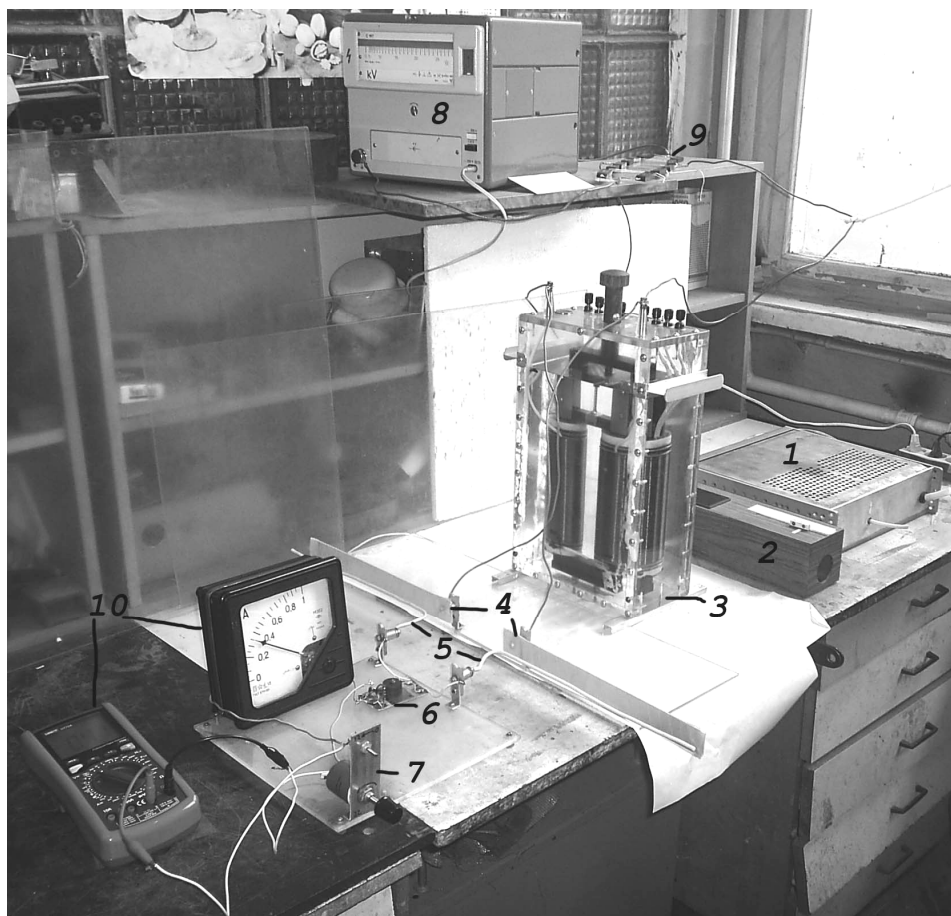


Рис. 1. Експериментальна установка для зняття характеристик теслівських процесів при безконтактній підзарядці акумуляторів імплантованих електроприладів:

1 – високочастотний інвертор, 2 – резонансний дросель, 3 – високочастотний трансформатор, 4 – передавальні антени, 5 – приймальні антени, 6 – блок випрямлення та узгодження, 7 – навантаження, 8 – кіловольтметр, 9 – випрямляч, 10 – вимірювальні прилади для контролю параметрів навантаження

Як передавальні антени використовувались стрічкові провідники. Використання стрічкових передавальних антен, на відміну від дротових, дозволяє збільшити часткові ємності між передавальними та приймальними антенами, а отже, і струм навантаження. Крім того, використання як передавальних антен стрічкових провідників поліпшує взаємне позиціонування передавальних антен відносно приймальних, зменшуючи тим самим розбіжність між розрахунковими та експериментальними значеннями параметрів процесу передачі енергії. В експерименті передавальні антени були ізольовані від приймальних антен шаром поліетилену. Однак для подальших досліджень цього способу підзарядки акумуляторів імплантованих електроприладів (бажано за участю представників медицини та охорони здоров'я) необхідно приділяти особливу увагу міцності ізоляції антен, тому що під час проведення експериментів спостерігався пробій ізоляції під час наближення антен на неприпустимо малу відстань.

Як приймальні антени використовувалися дротові провідники. Використання дротових приймальних антен обумовлено тим, що при підзарядці акумулятора імплантованого електроприладу ці антени разом з іншими елементами, що утворюють приймальну частину, вшиваються під шкіру людини. Чим менше розміри всієї імплантованої частини, тим мен-

ше виникне проблем з адаптацією організму до імплантату. Відповідно до вимоги мініатюризації накладаються й на інші елементи приймального блока. Однак при мініатюризації складових елементів імплантованого блока необхідно враховувати й функціональні особливості елементів, їх здатність забезпечувати необхідні для ефективної підзарядки акумулятора параметри. У проведених експериментах як матеріал для приймальних антен були використані звичайні алюмінієві провідники з полівінілхлоридною ізоляцією як найбільш доступні. На фізику процесу бездротової передачі енергії за допомогою теслівських процесів матеріал антен суттєво не впливає, але в подальших дослідженнях питанню вибору матеріалу антен та їх ізоляції необхідно приділяти значну увагу.

Окремим питанням, що потребує більш ретельного вивчення, є підбір такого ізоляційного матеріалу, який у випадку імплантації приймальних антен під шкіру людини буде екологічно безпечним, і в той же час здатним витримувати значні напруги, що виникають під час роботи пристрою.

Інші частини приймального блока (узгоджуючий високочастотний трансформатор, блок випрямлення, стабілізації й керування) повинні розташовуватися або в корпусі імплантованого електроприладу, або в окремому корпусі, виконаному з екологічно безпечного для організму людини матеріалу. Який з варіантів буде найбільш прийнятний, повинні показати подальші дослідження.

Вимоги екологічної безпеки для організму людини повинні накладатися й на ізоляцію з'єднувальних проводів імплантованого приймального блока.

Як відзначалося в [3; 4], використання теслівських процесів для бездротової підзарядки акумуляторів (одержання струму навантаження, достатнього для ефективного процесу зарядки акумулятора) можливе тільки на невеликих відстанях між антенами, коли ці відстані не перевищують довжини антен. Через об'єктивні обмеження (товщина ізоляції антен, глибина імплантації приймальних антен тощо) оптимальної відстані між передавальними й приймальними антенами при такого роду передачі енергії не завжди вдається домогтися. Незважаючи на це, при певних параметрах джерела та навантаження процес безконтактної підзарядки за допомогою теслівських процесів є досить ефективним. На рис. 2 наведені експериментальні залежності зміни струму зарядки акумулятора від відстані між передавальними та приймальними антенами й відповідні теоретичні криві струму, побудовані відповідно до математичних моделей, що обґрунтовано в [1; 3; 4].

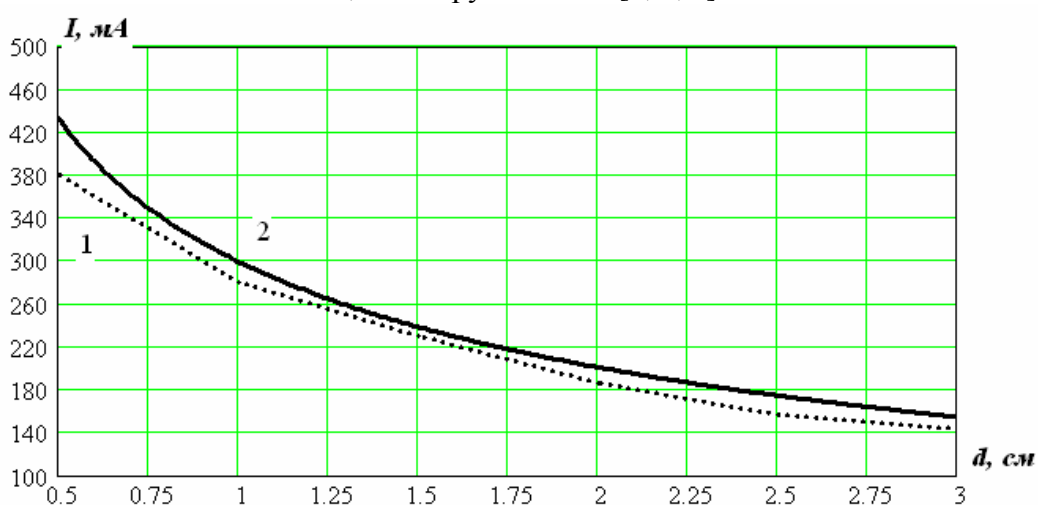


Рис. 2. Зміна струму навантаження від відстані між передавальними й приймальними антенами:  
1 – експериментальна крива струму; 2 – теоретична крива струму

Експериментальні характеристики були отримані для таких вихідних даних: напруга інвертора 150 В, величина резонансної індуктивності 250 мкГн, відстань між прийма-

льними антенами 13 см, довжина передавальних (приймальних) антен 30 см, радіус проводу антен 1 мм, опір навантаження 22 Ом.

Як видно з рис. 2, результати експерименту дають гарний збіг з теоретично отриманими характеристиками, що підтверджує справедливість теоретичних положень, представлених у [4].

Ще однією важливою характеристикою процесу безконтактної підзарядки акумуляторів є вольтамперна характеристика (ВАХ) (рис. 3).

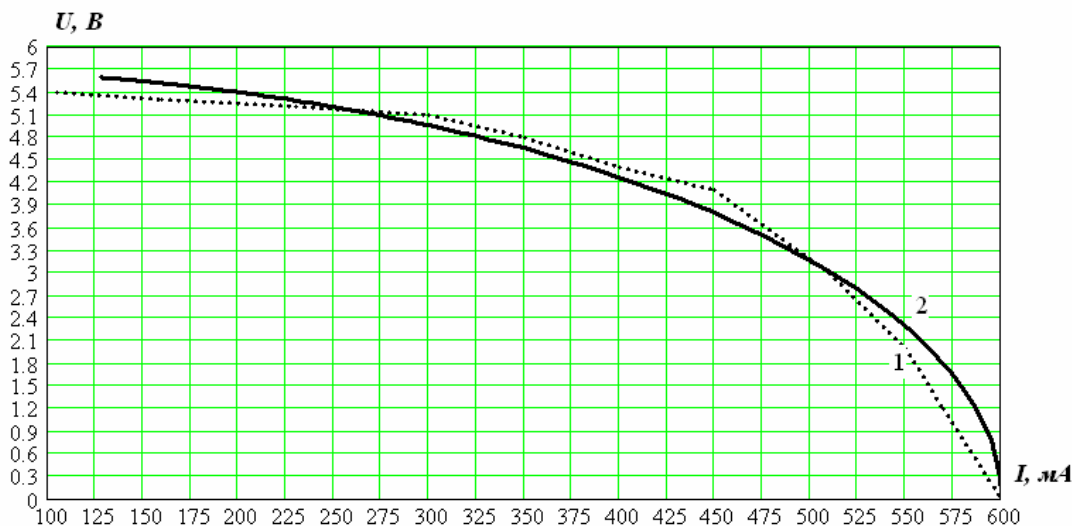


Рис. 3. Вольтамперна характеристика підзарядки акумулятора імплантованого електроприладу:  
1 – експериментальна ВАХ; 2 – теоретична ВАХ

Під час побудови вольтамперної характеристики розглядалася ділянка, що відповідає найпоширенішим режимним параметрам заряду акумуляторів (струм 450 мА, напруга 4 В) [5; 6]. На рис. 3 представлено порівняння експериментально отриманої ВАХ з ВАХ, отриманою в результаті математичного моделювання. Як і попередня характеристика, експериментально отримана ВАХ процесу підзарядки акумулятора має досить гарний збіг з теоретичною.

Якщо використовується імплантований електроприлад, для підзарядки акумулятора якого необхідні інші режимні параметри, то варіюючи параметри елементів установки, можна одержати необхідні значення зарядного струму та напруги.

Найбільше на характер теслівських процесів при безконтактній підзарядці акумуляторів будуть впливати частота та вихідна напруга високочастотного інвертора та резонансна індуктивність передавального контуру. Збільшення напруги джерела приводить лише до збільшення переданої потужності, не змінюючи характеру процесу передачі; зміна ж частоти та резонансної індуктивності змінює положення резонансу в системі [4]. Вихідна напруга більшості сучасних високочастотних інверторів не перевищує 500 В. Подальше збільшення напруги вимагає додаткових витрат, пов'язаних зі встановленням підвищувального високочастотного трансформатора. Виконання високочастотного інвертора з широким діапазоном регулювання частоти також веде до збільшення вартості установки. Тому дуже зручно виконувати регулювання енергетичних параметрів процесу безконтактної підзарядки акумуляторів за допомогою зміни індуктивності резонансного дроселя в передавальному колі.

На рис. 4 наведені експериментально отримані вольтамперні характеристики бездротової передачі енергії при зміні індуктивності резонансного дроселя  $L_0$  від 250 мкГн до 350 мкГн. Як бачимо, досить легко, змінюючи лише величину резонансної індуктивності, можна одержати різні значення зарядного струму та напруги.

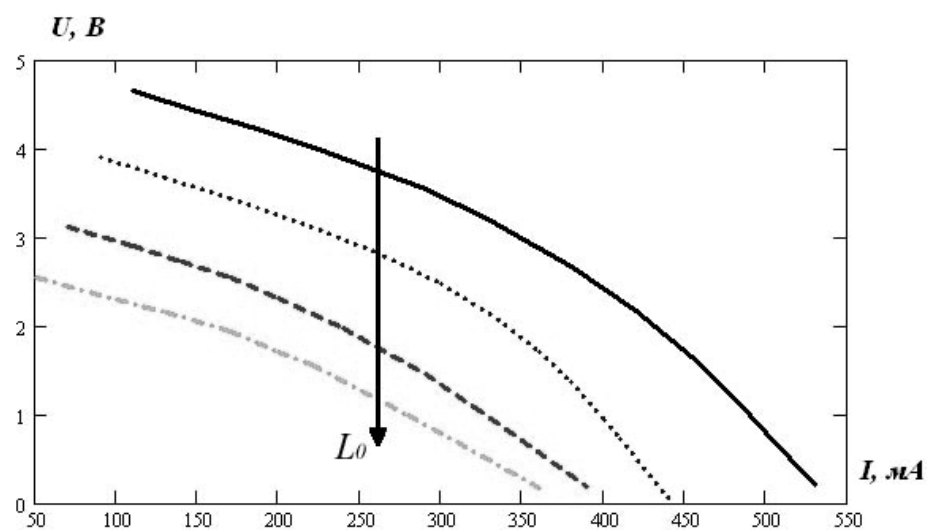


Рис. 4. Вплив резонансної індуктивності на ВАХ зарядки імплантованого акумулятора

Було проведено декілька дослідів з вертикально розташованими антенами (рис. 5). Отримано експериментальні залежності струму навантаження від відстані між передавальними й приймальними антенами, ВАХ, досліджено вплив параметрів установки, навантаження на процес бездротової передачі енергії.

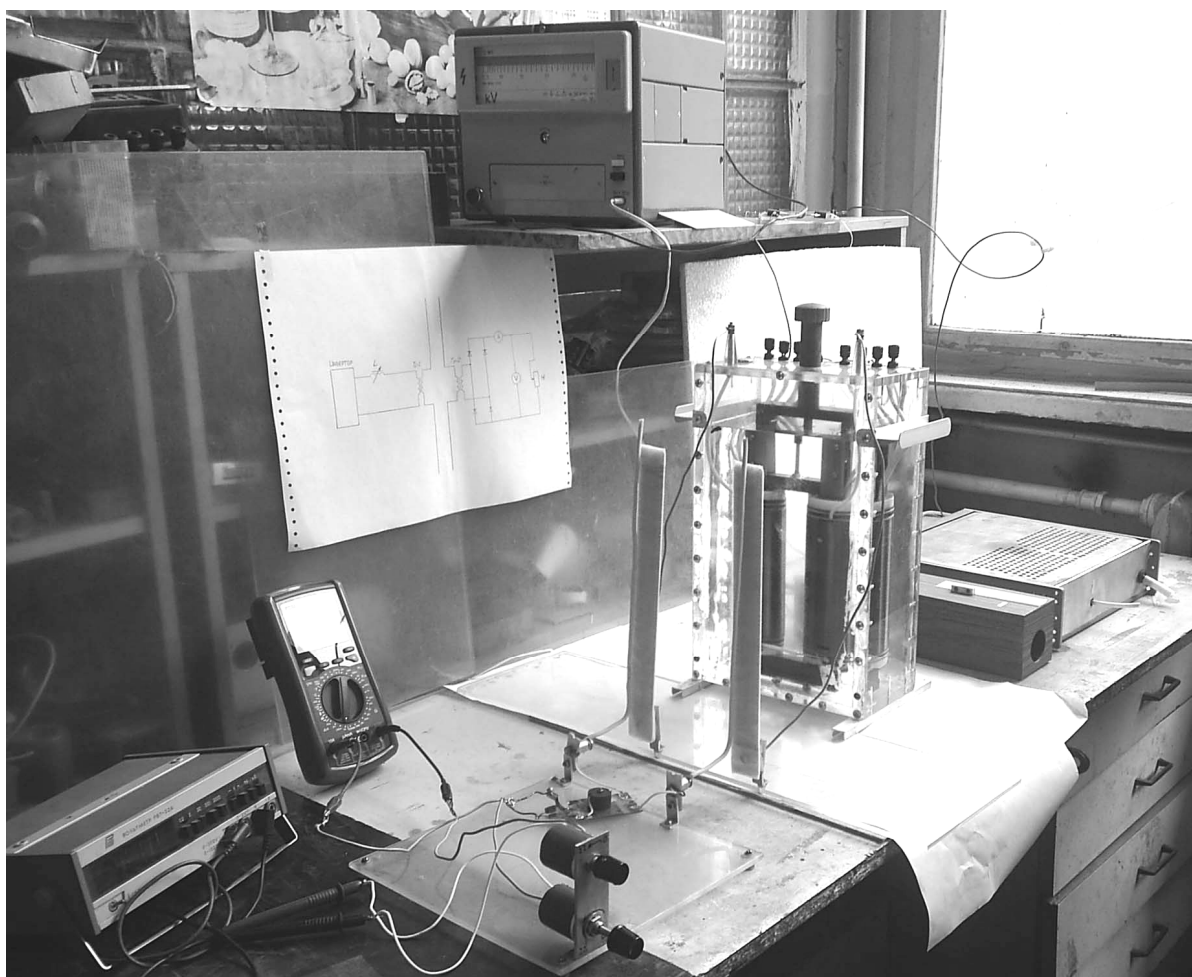
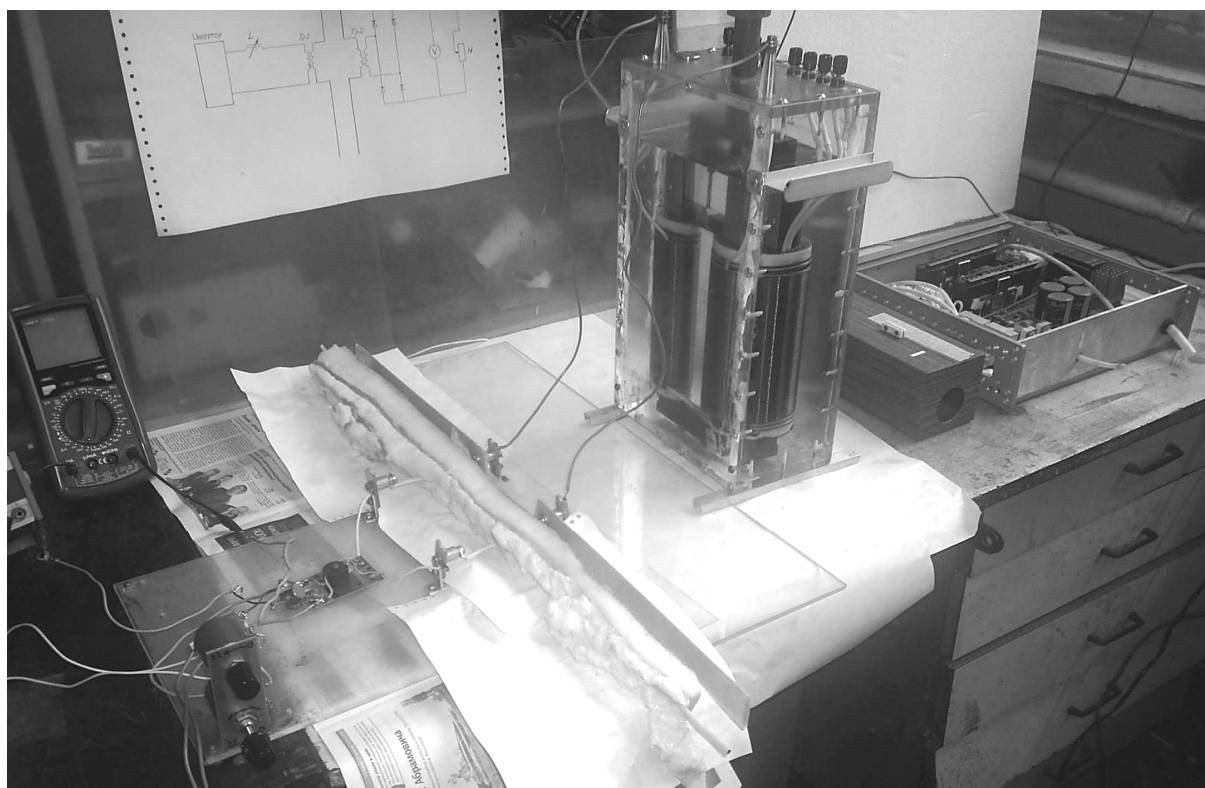


Рис. 5. Експериментальна установка для зняття характеристик теслівських процесів при безконтактній підзарядці акумуляторів імплантованих електроприладів з вертикально розташованими антенами

Результати експерименту в цьому випадку також з достатньою точністю збігаються з теоретичними. Закон зміни струму та форма вольтамперної характеристики аналогічні випадку з горизонтально розташованими антенами. Чисельна відмінність характеристик пов'язана з незначними змінами часткових ємностей при зміні відносного положення передавальних і приймальних антен.

Були проведені досліді щодо бездротової передачі енергії через органічне середовище (рис. 6). Цей експеримент повинен був відповісти на запитання про можливість бездротової передачі енергії за допомогою теслівських процесів через біологічну тканину. За органічне середовище було обрано свиняче сало, яке було обрано через те, що за своїми властивостями найбільш близьке до жирової тканини людини, крім того, воно легкодоступне. Передача енергії без проводів була здійснена успішно. При відстані між антенами 4 см і резонансній індуктивності 400 мкГн вдалося одержати струм у навантаженні 400 мА при напрузі 4 В.



*Рис. 6. Передача енергії без проводів через органічне середовище*

Таким чином, результати експериментів підтверджують положення теорії бездротової передачі енергії за допомогою теслівських процесів та технічну можливість застосування теслівських процесів для безконтактної підзарядки акумуляторів імплантованих електроприладів.

### **Висновки**

1. Експериментально показана можливість здійснення безконтактної підзарядки акумуляторів імплантованих електроприладів.
2. Експериментально підтверджено справедливність теоретичних положень теорії теслівських процесів щодо бездротової передачі енергії для безконтактної підзарядки акумуляторів імплантованих електроприладів. Розбіжність між експериментальними та теоретичними результатами в робочому діапазоні не перевищує 5 %.
3. Виділено напрями подальших досліджень щодо створення ефективних систем безконтактної підзарядки акумуляторів імплантованих електроприладів.

### Список використаних джерел

1. *Пентегов І. В.* Експериментальна установка для дослідження теслівських процесів при безконтактній зарядці акумуляторів / І. В. Пентегов, А. Л. Приступа // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. Серія “Технічні науки” : зб. – Чернігів : ЧДТУ, 2012. – №1(55). – С. 233-239.
2. *Пат. України* на корисну модель. МПК А61N1/362, Н04В10/10. Пристрій для безконтактної підзарядки акумуляторів імплантованих електростимуляторів / І. В. Пентегов, І. В. Волков, А. Л. Приступа, Д. О. Шейковський, Є. П. Стемковський. – № 31659 ; заявл. 03.03.06 ; опубл. 25.04.08, Бюл. № 8. – 4 с.
3. *Пентегов І. В.* К расчету тесловских процессов при беспроводной передаче энергии / И. В. Пентегов, И. В. Волков, А. Л. Приступа // *Електротехніка і електромеханіка.* – 2007. – № 2. – С. 70-73.
4. *Пентегов І. В.* О возможности осуществления бесконтактной подзарядки аккумуляторов имплантированных электростимуляторов / И. В. Пентегов, И. В. Волков, А. Л. Приступа // *Технічна електродинаміка.* Тем. вип. “Проблеми сучасної електротехніки”. – 2008. – Ч. 5. – С. 109-113.
5. *Литиевые элементы и батареи.* Техническое руководство фирмы Panasonic. – 2000. – 100 с.
6. *Никель-металлогидридные аккумуляторы.* Техническое руководство фирмы Panasonic. – 2000. – 44 с.

УДК 537.311:532.783

**О.В. Рогоза**, канд. фіз.-мат. наук

**А.О. Ковтун**, канд. фіз.-мат. наук

**Ю.Є. Шоломій**, студент

Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

### ТЕМПЕРАТУРНІ ЗАЛЕЖНОСТІ ПИТОМОЇ ПРОВІДНОСТІ І РУХЛИВОСТІ НОСІЇВ ЗАРЯДУ В ХОЛЕСТЕРИЧНОМУ РІДКОМУ КРИСТАЛІ

*Досліджені температурні залежності питомої електричної провідності і рухливості носіїв зарядів у холестеричному рідкому кристалі. Визначені величини енергій активації питомої провідності і рухливості зарядів у різних рідкокристалічних станах. Аналіз температурних залежностей показує, що зміни провідності в областях фазових переходів у межах похибок обумовлені змінами рухливості носіїв заряду. Як під час охолодження до рідкокристалічного стану, так і під час нагрівання із цього стану природа механізму генерації і рекомбінації носіїв однакова.*

**Ключові слова:** холестеричний рідкий кристал, питома електрична провідність, рухливість носіїв заряду.

*Исследованы температурные зависимости удельной электрической проводимости и подвижности носителей зарядов в холестерическом жидком кристалле. Определены величины энергий активаций удельной проводимости и подвижности зарядов в разных жидкокристаллических состояниях. Анализ температурных зависимостей показывает, что изменения проводимости в областях фазовых преобразований в пределах погрешностей определены изменениями подвижности носителей заряда. Как при охлаждении к жидкокристаллическому состоянию, так и при нагревании из этого состояния природа механизма генерации и рекомбинации носителей одинакова.*

**Ключевые слова:** холестерический жидкий кристалл, удельная электрическая проводимость, подвижность носителей заряда.

*Temperature dependencies of specific conductivity and charge carrier mobility in cholesteric liquid crystal have been researched. Energy values of specific conductivity and charge carrier mobility in different liquid crystal states have been defined. Temperature dependencies analysis shows that changes of conductivity in the areas of phase transformation are defined by changes of the charge carrier mobility within the inaccuracy limits. While cooling to liquid crystal state, same as heating from this state, the nature of generation and carrier recombination is the same.*

**Key words:** cholesteric liquid crystal, specific electrical conductivity, charge carrier mobility.

**Вступ.** Рухливість носіїв заряду є одним із фундаментальних та інформативних параметрів і дає багато інформації про характер електричних процесів у рідкому кристалі (мезофазі). Дослідження температурної залежності рухливості у різних рідкокристалічних станах, включаючи й області фазових переходів, аналіз взаємозв'язку результатів з відповідними даними про провідність, дозволяє зробити висновки про механізм провідності рідкокристалічної фази і процеси генерації носіїв заряду. Однак таких досліджень виконано мало.

**Методи та результати.** Електропровідність у рідкокристалічній фазі здійснюється іонами.