

<b>Бабич Максим Олександрович</b>	ІнТКІ	50101	2	7500	✗	Бак.	18/07/2008	293	05/08/2008	Редагувати	
<b>Бевз Сергій Михайлович</b>	ІнТКІ	50102	2	7500	✗	Бак.	09/09/2009	233	25/08/2009	Редагувати	
<b>Белко Іван Володимирович</b>	ІнТКІ	50103	2	7500	✗	Бак.	09/09/2009	236	28/08/2009	Редагувати	
<b>Білічкін Олександр Володимирович</b>	ІнТКІ	50102	2	4500	✗	Бак.	09/09/2009	233	25/08/2009	Редагувати	
<b>Білокінь Олексій Миколайович</b>	ІнТКІ	80403	2	3080	✗	Бак.	01/09/2007	236			
<b>Білоус Дмитро</b>					✗						

Увага!

Студент Бабич Максим Олександрович

Рекомендувати ліквідацію боргу у термін 10 днів.

Рис. 4. Надання рекомендацій користувачеві

### Висновок

Таким чином, у статті було розглянуто можливість використання інтелектуального підходу для розробки системи аналізу контингенту студентів договірної форми навчання у ВНЗ. Проведено аналіз моделей знань, за яким для інтелектуальної системи визначено доцільним використання продукційної моделі знань. Запропонована математична модель процесу аналізу контингенту студентів договірної форми навчання враховує складність формування інтегрального висновку на підставі групи множин характеристик, що є важливими при проведенні аналізу.

Інтелектуальна система здатна виконувати аналіз контингенту студентів договірної форми навчання, та вчасно надавати правильні рішення та рекомендаційні вказівки завідувачам кафедри, директорам, деканам, та іншим працівникам ВНЗ по поведінці з роботою студентів договірної форми навчання.

### Література

1. Рогач І.Ф., Сендзюк М.А., Антонюк В. А. «Інформаційні системи у фінансово-кредитних установах». Електронний ресурс: <http://library.if.ua/book/94/6502.html>
2. Путівник в світі особистих фінансів. Кредит на навчання. Електронний ресурс: <http://na.dn.ua/kredyt-na-navchannya.html>
3. Нильсон Н. Искусственный интеллект. – Москва: Мир, 2003. – 280 с.
4. Романюк О.Н., Савчук Т.О. Організація баз даних і знань. Навчальний посібник. – Вінниця: Універсум – Вінниця, 2003. – 217с.
5. Методы практической реализации концепции производственных правил [Электронный ресурс]. – Электронно-текстовые данные – Режим доступа: <http://sites.google.com/site/ekspertsystems/konceptia-produkcionnyh-pravil>.

Надійшла 17.10.2011 р.

УДК 620.193.41

В.Є. ГАВРОНСЬКИЙ, Р.В. СОРОКАТИЙ  
Хмельницький національний університет

## ВПЛИВ ЗМІННОГО СТРУМУ З МОДИФІКОВАНИМ ФРОНТОМ СИГНАЛУ НА ЕЛЕКТРОХІМІЧНЕ ТРАВЛЕННЯ АЛЮМІНІЄВОЇ ФОЛЬГИ

*На підставі проведених експериментів зроблено висновки про доцільність травлення з використанням змінного струму з модифікованою формою імпульсу, оскільки утворена таким чином алюмінієва фольга має ємність більшу, ніж ємність, що отримується при дії струму з прямокутною, синусоїдальною чи пилкоподібною формою хвилі при такому ж електроліті й анодному заряді.*

*On the basis of experiments made conclusions about the feasibility of etching using alternating current with a modified form of the pulse formed in such a way as aluminum foil has a capacity greater than the capacity obtained by the action current with rectangular, sinusoidal or sawtooth waveforms at the same electrolyte and anodic charge.*

Ключові слова: електролітичний конденсатор, електрохімічне травлення, модифікований фронт сигналу.

### Вступ

У виробництві електролітичних конденсаторів широко застосовуються методи штучного збільшення поверхні алюмінієвих анодів [1– 3], які найчастіше реалізуються шляхом електрохімічного травлення. В усіх відомих методах травлення активним іоном травлення є хлор. У присутності води іони хлору вступають в сполуку з оксидним шаром, причому, реакція ця не протікає так швидко, як, наприклад,

реакція між лугами і цим шаром. Іони хлору, підходячи до алюмінієвого аноду, покритого тонким природним шаром оксиду алюмінію, руйнують його в окремих найбільш слабких і тонких місцях. У цих місцях електроліт вступає в сполуку з алюмінієм, і тут починається бурхлива реакція алюмінію з іонами хлору. Сусідні ділянки поверхні алюмінію, покриті більш товстими шарами оксиду, залишаються захищеними і не зазнають впливу хлору. Внаслідок цього, розчинення алюмінію в електролітах з хлором йде надто нерівномірно і поверхня алюмінієвого аноду після електролізу в таких розчинах являє собою чергування поглиблень, у яких протікала реакція алюмінію з хлором, з ділянками, що залишилися захищеними і не зазнали руйнування. При травленні в розчинах хлориду натрію, отримують фольгу з питомою ємністю меншою, ніж при травленні в розчині соляної кислоти, оскільки концентрація іонів хлору нижча.

Таким чином, процес травлення можна характеризувати двома конкуруючими процесами, що протікають одночасно. З одного боку, при анодній поляризації алюмінію можливе утворення оксидних плівок в електролітах неагресивних стосовно оксиду і алюмінію, з іншого боку, в концентрованих розчинах хлоридів, якими є розчини для електрохімічного травлення алюмінію, процес утворення оксиду стає практично неможливим внаслідок розчинення оксиду. Якщо травлення алюмінію проводиться з метою створення розвиненої поверхні, то утворення оксидної плівки буде сприяти збільшенню кількості піттингів, оскільки стає можливим блокування деяких ділянок, на яких відбувається травлення і відкриваються можливості для початку травлення на сусідніх ділянках поверхні, що неминуче приведе до її збільшення. Створити умови для утворення оксидної плівки, безпосередньо при травленні, можна збільшивши концентрацію розчиненого кисню в електроліті, при цьому оксид утвориться внаслідок хімічної взаємодії кисню з алюмінієм.

#### Постановка завдання

Метою цієї роботи стало дослідження методів травлення на змінному струмі та встановлення значень питомої ємності анодної фольги.

#### Вирішення завдання

За базові приймалися наступні режими травлення та склад розчину: концентрація соляної кислоти в розчині 20–130 г/л, частота змінного струму 5–120 Гц, щільність струму 0,1–0,6 А/см<sup>2</sup>, температура розчину 25–60°C. Дотримувалися наступних величин, наведених в таблиці 1.

Таблиця 1

#### Технологічні параметри експериментів

Технологічні параметри	Дослід 1	Дослід 2	Дослід 3
Концентрація соляної кислоти, г/л	20	70	130
Частота змінного струму, Гц	5	50	120
Щільність струму, А/см <sup>2</sup>	0,1	0,3	0,6
Температура розчину, °С	25	40	60

При цьому питома ємність фольги становила  $61 \pm 4$  мкФ/см<sup>2</sup>.

Якщо ж в цей розчин додати 25–65 г/л водного трихлориду алюмінію та 2–35 г/л іонів фосфату, то отримуємо питому ємність  $64 \pm 3$  мкФ/см<sup>2</sup>.

В наступних двох експериментах за базовий було взято режим, приведений в досліді 2. У першому випадку в розчин соляної кислоти було додано 25–50 г/л фосфорної кислоти і 100–200 г/л хромового ангідриду. При цьому отримали питому ємність фольги  $63 \pm 2$  мкФ/см<sup>2</sup>. У другому випадку електроліт додатково містив перхлорат натрію (5–360 г/л), сірчану кислоту (1–250 г/л), гексагідрат хлориду алюмінію (1–10 г/л), як рекомендується у [1]. При цьому масове співвідношення хлориду і перхлорату 0,14–0,17. Анодне травлення фольги проводили при температурі 80–95°C. Тривалість травлення вибиралась таким чином, щоб кількість пропущеної електрики складала 10–50 Кл/см<sup>2</sup>. При цьому питома ємність анодної фольги становила  $65 \pm 3$  мкФ/см<sup>2</sup>.

Для визначення впливу форми імпульсу змінного струму при травленні на питому ємність фольги було проведено ряд дослідів, у яких використовувались шість типів імпульсів: з прямокутною, синусоїдальною, пилкоподібною формою хвилі та їх модифікації, які приведені на рис. 1.

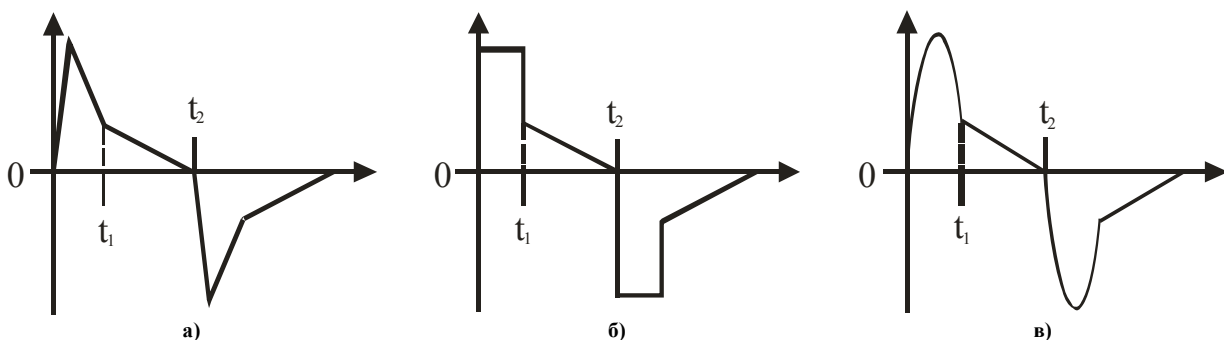


Рис. 1. Змінний струм з модифікованою пилкоподібною (а), прямокутною (б) та синусоїдальною (в) формою імпульсів

Повне коливання поділяється на два півперіоди, однакові по тривалості і амплітуді та з однаковими площами, що утворюються під графічним зображенням кривої. При такому зображенні коливального процесу півперіоди анодного чи катодного струмів складаються з двох фаз. Фаза перша – це фаза наростання, а потім спадання струму, що продовжується за межі часу, позначеного  $t_1$ ; потім слідує друга фаза – зниження струму відбувається повільніше в порівнянні з фазою один, фаза продовжується за межі часу, позначеного  $t_2$ .

Модифікованою пілкоподібною формою хвилі названо форму хвилі з двома схилами (градієнтами зміни струму) в кожному півперіоді. На рис. 1а показана форма хвилі, характерна для швидкого наростання струму до максимального значення в першій фазі, з наступним менш швидким спаданням до  $t_1$ . Потім починається друга фаза більш повільного спадання струму. На рис. 1б наведено приклад хвилі модифікованої прямокутної форми в першій фазі, після якої настає друга фаза плавного спадання струму до нульового рівня. На рис. 1в показана гармонійна хвиля в її першій фазі з плавним спаданням струму в другій фазі.

Час, необхідний для досягнення хвилею максимального (амплітудного) значення, може відрізнятись від 0 до 60 % величини  $t_1$  залежно від характеристик джерела живлення і форми хвилі. Для початкового імпульсу хвилі модифікованої прямокутної форми час досягнення максимального значення практично дорівнює нулю (див. рис. 1в); у той же час для модифікованої трикутної форми хвилі тривалість часу може складати 20 – 60 % від  $t_1$  (див. рис. 1а).

Для лабораторного травлення фольги на змінному струмі з модифікованим фронтом сигналу збиралася спеціальна установка, яка приведена на рис. 2.

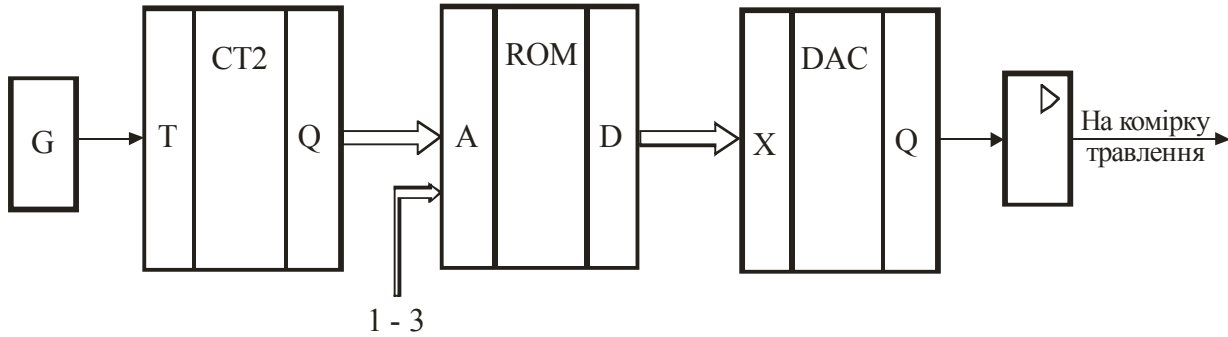


Рис. 2. Установка лабораторного травлення

Наведена функціональна схема установки дозволяє генерувати три типи модифікованих імпульсів з прямокутною, синусоїдальною, пілкоподібною формою хвилі (див. рис. 1), вибір яких здійснюється шляхом подачі логічної одиниці на старші адреси ППЗП: 1 – прямокутний; 2 – синусоїдальний, 3 – пілкоподібний.

У наведеній вище установці використовується:

11. Комірка травлення з регульованою стабілізованою температурою розчину в посуді в межах 40–90°C, з П-подібною пластиною-катодом.

12. Джерело постійного струму 8–30 В, з максимальним струмом до 300А.

13. Секундомір.

14. Термостат з температурою до 300°C.

15. Лабораторна піч для відпалу з температурою до 680°C.

Спеціальним пресом вирізаються лабораторні зразки фольги, наведені на рис. 3.

При травленні використовувалась анодна фольга товщиною 100 мкм, чистотою 99,99 % Al. Ємність травленої фольги вимірювалася в електроліті наступного складу (при температурі 30±2°C):

- деіонізована вода – 1 л;
- адипінат амонію – 100 г;
- РН=6,8–7,0.

Вимірювач ємності має такі характеристики:

- похибка вимірювання ±1 %;
- вимірювальна частота – 100 Гц±5 %;
- вимірювальна напруга (макс) – 50 мВ.

Зразки для випробувань занурюють в електроліт без витримки часу. Вимірювання ємності необхідно провести під напругою 0 В. Вимірювану ємність ділять або множать на масштабний коефіцієнт залежно від розмірів зразка та необхідної системи представлення одиниць вимірювання.

Формування фольги та вимірювання питомої ємності

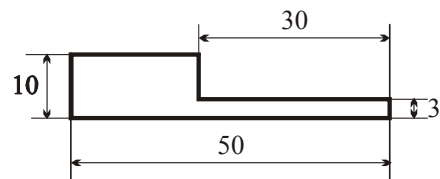


Рис. 3. Зразок фольги

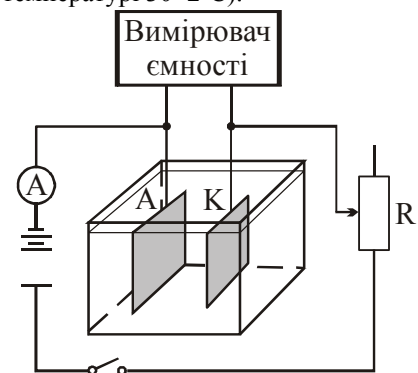


Рис. 4. Схема формування та вимірювання ємності

зразків велося згідно тесту D1 фірми "Becromal" [1]. Схема тестового формування та вимірювання питомої ємності фольги наведена на рис. 4.

Реактив для травлення, у якому відбувається процес електролізу, представляє собою розчин зі вмістом соляної кислоти 20– 90 г/л, азотної кислоти 3– 15 г/л, фосфорної кислоти 5– 25 г/л і сірчаної кислоти 0,01– 0,03 г/л при температурі розчину 40°C, частоті змінного струму, 50Гц, щільності струму, 0,3А/см<sup>2</sup>. Під час травлення йде процес розчинення алюмінію в кислотному середовищі з віддачею іонів. При цьому після формування одержали результати, представлені в таблиці 2.

Таблиця 2

## Результати експериментів травлення на змінному струмі

Технологічні параметри	Форма струму		
	модифікована пилкопод.	модифікована прямокутн.	модифікована синусоїд.
Концентрація соляної кислоти, г/л	20	55	90
Концентрація азотної кислоти, г/л	3	10	15
Концентрація фосфорної кислоти, г/л	5	15	25
Концентрація сірчаної кислоти, г/л	0,01	0,02	0,03
Питома ємність, мкФ/см <sup>2</sup>	67±2	66±2	65±2
	65±3	64±3	63±2

В загальному випадку електрохімічне травлення на змінному струмі в розчині соляної кислоти дозволяє утворити на фользі велику кількість тунельних піттингів, структуру одного з яких приведено на рис. 5 [5].

Великими проблемами при травленні в розчинах соляної кислоти є її агресивність, а це потребує стійких матеріалів для машин, споруд, водопроводів, каналізацій, а також особливих вимог з техніки безпеки. Проблематичною є утилізація відходів, які утворюються при травленні та мають залишки соляної кислоти. Утилізація потребує великих споруд за площею значно більших, ніж самі машини та декілька озер для відстою та очистки води.

**Висновки**

Таким чином, можна зробити висновки, що на утворення зародків та ріст піттингів впливають два фактори: швидкість зміни миттєвих значень потенціалу електрода та розчинність продуктів реакції травлення, а також швидкість їхнього відводу з зони взаємодії.

При використанні змінного струму з модифікованою формою імпульсу електрична ємність алюмінієвої фольги більша ємності, що отримується при дії струму з прямокутною, синусоїдальною чи пилкоподібною формою хвилі при такому ж електроліті й анодному заряді. Конкретна форма імпульсу з двома швидкостями спадання струму дає систему змінного струму для травлення алюмінію, ефективність якої приблизно на 10 % вища, ніж ефективність змінного струму з іншою формою хвилі за умови використання такого ж алюмінію та реактиву для травлення при однаковій температурі і витратах часу.

Недоліками даного методу є проблеми, пов'язані з отриманням складної форми імпульсів та великої густини струму, для створення якої в промислових умовах буде потрібне дуже складне джерело струму, що повинно виробляти 1– 10 кА, при напрузі біля 20 В.

**Література**

1. Офіційний сайт фірми "Becromal" [Електронний університет]. – Режим доступу: [www.becromal.eu](http://www.becromal.eu)
2. Офіційний сайт фірми "JCC" [Електронний університет]. – Режим доступу: [www.jcc-foil.co.jp](http://www.jcc-foil.co.jp)
3. Офіційний сайт фірми "Satma" [Електронний університет]. – Режим доступу: [www.satmappe.com](http://www.satmappe.com)
4. Пат. 6168706 США, МПК C25F3/02. Process for producing high etch gains for electrolytic capacitor manufacturing / Hemphill Ralph Jason, Strange Thomas Flavian, Pacesetter, Inc. – № 09/210314; заявл. 11.12.1998; опубл. 02.01.2001; НПК 205/675.
5. Пат. 0054990 Нідерланды, МКИ H 01 G 9/04. Aluminium foil for electrolytic capacitor/Ruijgrok R., Tempelman G.; Gloellampenfabrieken. – № 8006998; заявл. 25.11.81; опубл. 30.06.82; НКІ 11/08. – 9 с.

Надійшла 4.10.2011 р.



Рис. 5. Структура піттинга при травленні на змінному струмі