

## ПРОГРАМА МОДЕЛЮВАННЯ АНАЛОГОВИХ ТА ЦИФРОВИХ ПРИСТРОЇВ QSPICE, частина 3

У статті наведена коротка інформація про пристрої формування сигналів у безкоштовній програмі моделювання аналогових та цифрових пристроїв QSPICE від компанії Qorvo. Показані особливості налаштування та роботи з пристроями.

В. Макаренко

У третій частині статті розглянемо приклади використання розглянутих пристроїв та інші пристрої програми QSPICE.

На рис. 1 наведена модель амплітудного модулятора та детектора АМ-сигналів на основі довільного джерела напруги. З сигналів генераторів напруги V1 (джерела модулюючого коливання) та V2 (джерела носійного коливання) за допомогою довільного джерела напруги B1 формується АМ-сигнал, а за допомогою B2, яке виконує функцію вилучення квадратного кореня, формується однополярний сигнал (рис. 2). Нагадаємо параметри генератора напруги: sine 1.2 1 2K – синусоїдальний сигнал з постійним зміщенням 1.2 В, амплітудою 1 В та частотою 2 кГц.

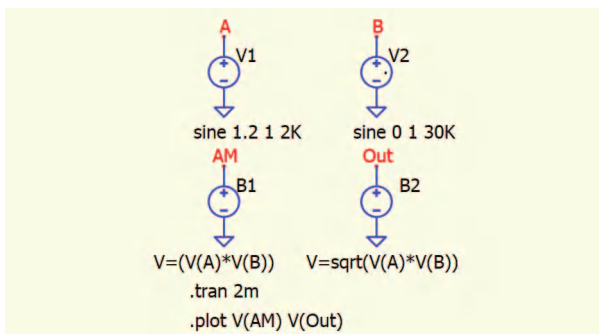


Рис. 1. Амплітудний модулятор та детектор АМ-сигналів на основі довільного джерела напруги

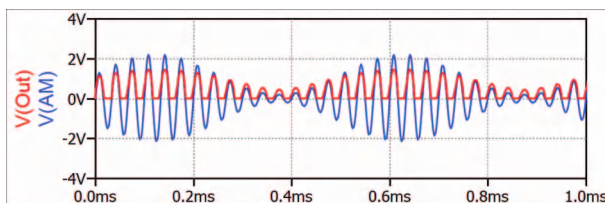


Рис. 2. Сигнали на виходах АМ-модулятора та детектора АМ-сигналів (червоний)

### QSPICE IS A FREE PROGRAM FOR SIMULATING ANALOG AND DIGITAL DEVICES, part 3

Abstract – The article provides brief information about signal generation devices in the free analog and digital device modeling program QSPICE from Qorvo. Features of setting up and working with devices are shown.

V. Makarenko

На основі генератора довільної форми можна побудувати синхронний детектор шляхом множення АМ-сигналу на сигнал носійної частоти. На рис. 3 генератор B2 виконує функцію аналогового перемножувача напруги. Результат детектування наведений на рис. 4.

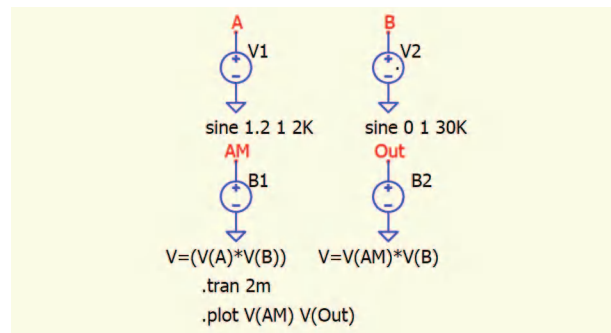


Рис. 3. Синхронний детектор на основі генератора B2

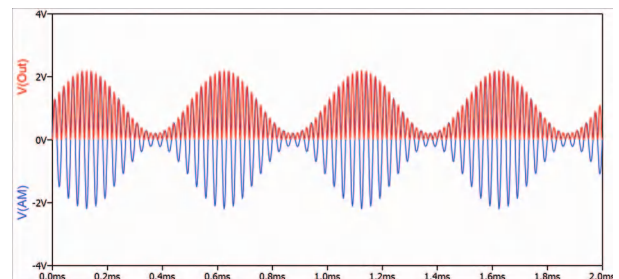
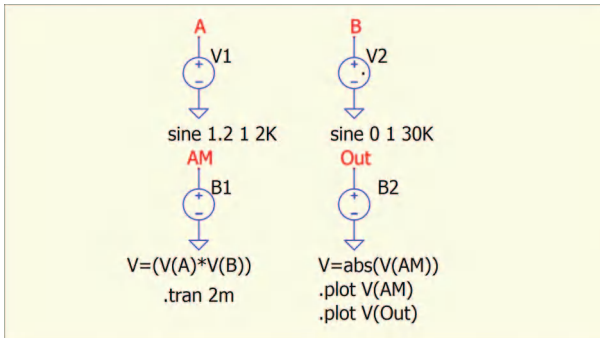
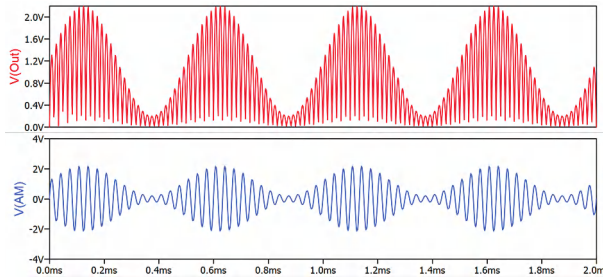


Рис. 4. Сигнали на виходах АМ-модулятора та синхронного детектора АМ-сигналів (червоний)

На основі генератора довільної форми можна побудувати детектор іншим способом. На рис. 5 генератор B2 виконує функцію знаходження абсолютної величини. Результат детектування наведений на рис. 6.

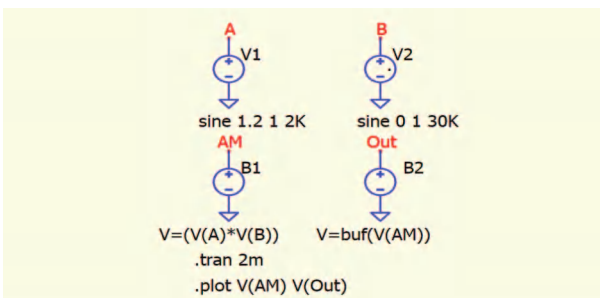


**Рис. 5. Детектор на основі генератора B2 з використанням функції abs(x)**



**Рис. 6. Сигнали на виходах АМ-модулятора та детектора АМ-сигналів (червоний), побудованого з використанням функції abs(x)**

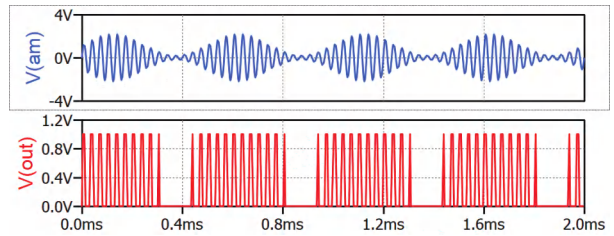
Ще одна функція довільного джерела напруги – buf. Ця функція формує на виході генератора напругу з рівнем 1 В при умові, що  $x > 0.5$ , а в усіх інших випадках формує 0. Модель з використанням функції buf наведена на рис. 7, а результат виконання моделювання – на рис. 8. Коли амплітуда АМ-сигналу перевищує 0.5 В, на виході B2 формується пакет імпульсів з частотою носійного коливання амплітудою 1 В.



**Рис. 7. Використання генератора довільної форми з функцією buf**

Перелік функцій, що реалізуються генераторами довільної форми:

- abortsim(x) – симуляція зупиняється коли  $x > 0.5$ , в іншому випадку повертає значення x



**Рис. 8. Результат формування сигналу на виході генератора довільної форми при використанні функції buf**

- abs(x) – абсолютне значення x
- acos(x), arccos(x) – arccos(x)
- acosh(x) – повертає гіперболічний косинус

числа x

- asin(x) – arcsin(x)
- arcsin(x) – синонім asin()
- asinh(x) – гіперболічний арксинус числа x
- atan(x) – arctn(x)
- arctan(x) – синонім atan()
- atan2(y,x) – чотирьохквadrantний arctn y/x
- atanh(x) – гіперболічний arctn

- buf(x) – 1 при  $x > 0.5$ , в інших випадках 0

- ceil(x) – ціле число, рівне або більше x

- cos(x) – косинус x

- cosh(x) – гіперболічний косинус x

- ddt(x) – похідна за часом від x

- delay(x,y) – x затримується на y

• delay(x,y,z)2 – x затримується на y, але зберігає історію не більше ніж на z

• dlim(x,y,z) – x, обмежений y, до якого він асимптотично починає наблизитися при  $y + z$  як до першого ряду Лорана зворотного порядку

- exp(x) – ex

- floor(x) – ціле число, рівне або менше x

- hypot(x,y) – sqrt(x<sup>2</sup> + y<sup>2</sup>)

• idt(x,y,z) – інтеграл часу від x з початковою умовою, скидається у 0 коли  $z > 0.5$

- if(x,y,z) – якщо  $x > 0.5$ , то y, інакше z

- int(x) – перетворює x у ціле число

- inv(x) – 0 якщо  $x > 0.5$ , в іншому випадку 1

- limit(x,y,z) – проміжне значення x, y і z

- ln(x) – натуральний логарифм від x

- log(x) – альтернативний синтакс для ln()

- log10(x) – логарифм за основою 10

- max(x,y) – найбільше зі значень x або y

- min(x,y) – найменше зі значень x або y

- pow(x,y) – xy

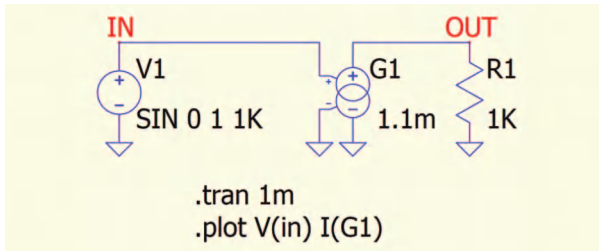
- pwr(x,y) – abs(x)y

• pwrs(x,y) – sgn(x)·abs(x)y – повертає представлення числа y вигляді значення типу Integer (String), яке позначає знак числа abs(x)y

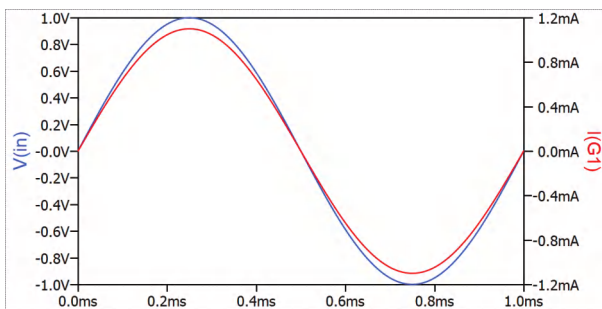


Синтаксис: Gnnn N+ N- NC+ NC- <провідність>  
[Rpar=<опір>]

Відношення вихідного струму до вимірюваної напруги визначається параметром <провідність>. Результат формування струму джерелом струму, що управляється напругою наведено на рис. 14.



**Рис. 13. Приклад використання джерела струму, що управляється напругою**



**Рис. 14. Результат формування струму джерелом струму, що управляється напругою**

G-пристрої є найбільш корисними з лінійно залежних джерел у SPICE, оскільки вони представлені найбільш аналогічно транзисторам у модифікованому вузловому аналізі SPICE. Краще використовувати G-джерела замість E, F або H пристроїв.

Можна додати частотну залежність до G-джерела, вказавши передавальну функцію Лапласа:

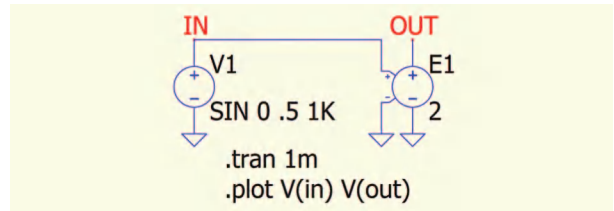
Синтаксис: Nnn N + N-NC + NC - <провідність>  
[Rpar=<опір>] LAPLACE=<вираз у S-області>.

**Пристрій E – джерело напруги, що управляється напругою**

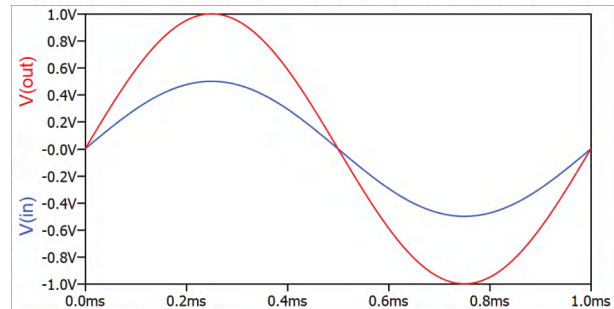
Синтаксис: Ennn N + N-NC + NC - <коефіцієнт підсилення> [RSER=<послідовний опір>]

Електронний пристрій (рис. 15) визначає вхідну напругу між вузлами NC+ і NC- і формує напругу між вузлами N+ і N-. Відношення вихідної напруги до вимірюваного визначається параметром <коефіцієнт підсилення>. Вказівка внутрішнього послідовного опору є необов'язковою.

Можна додати до джерела електронного зв'язку залежність від частоти, вказавши передавальну функцію Лапласа:



**Рис. 15. Джерело напруги E1, що управляється напругою**



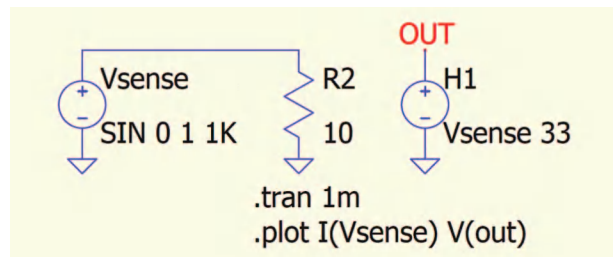
**Рис. 16. Вихідна наруга (червона крива) джерела напруги E1, що управляється напругою**

Синтаксис: Ennn N + N-NC + NC - <коефіцієнт підсилення> LAPLACE=<вираз у S-області>

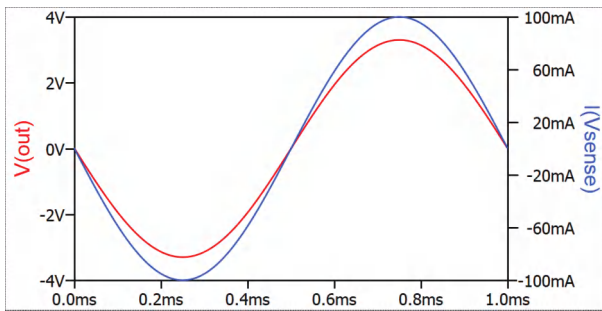
**Пристрій H – джерело напруги, що управляється струмом**

Синтаксис: Hnnn N + N - <назва> <перехідний опір>

H пристрій (рис. 17) визначає струм в пристрої <назва> і встановлює напругу між вузлами N+ і N-. Відношення вихідної напруги до вимірюваного струму визначається параметром <перехідний опір>. Вимірювальним пристроєм може бути будь-який елемент, внутрішньо представлений у вигляді еквівалентної схеми Тевеніна, тобто E, H, L або V пристрої. Пристрій V також може бути використаний як чутливий елемент, якщо цей V пристрій формує напругу. Вихідна напруга джерела напруги H, що управляється струмом, та струм управління наведено на рис. 18.



**Рис. 17. Джерело напруги H, що управляється струмом джерела Vsense**



**Рис. 18. Вихідна напруга джерела напруги  $H$ , що управляється струмом, та струм управління (синя крива)**

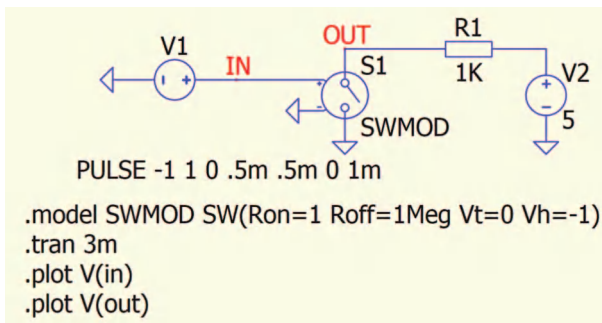
$H$ -пристрій було реалізовано в SPICE для того, щоб застосувати теорію модифікованого вузлого аналізу до всіх можливостей лінійно залежних джерел. Оскільки не існує фізичних електронних компонентів, які насправді поведуться як  $H$ -пристрій, він знаходить обмежене застосування на практиці.

#### Пристрій $S$ – аналоговий ключ що управляється напругою

Синтаксис: Nnn N1 N2 NC+ NC- < модель> [параметри моделі]

Напруга між вузлами NC+ і NC- управляє опором ключа між вузлами N1 і N2. На рис. 19 наведена модель ключа, що управляється генератором трикутної напруги V1 (рис. 20). Параметри моделі:

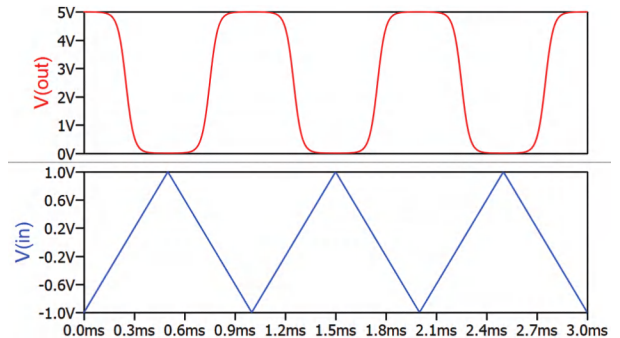
- OFF – ключ закритий за замовчуванням
- ON – ключ відкритий за замовчуванням
- Ron – опір ключа у відкритому стані
- Roff – опір ключа у закритому стані
- Vh – ширина петлі гістерезиса
- Vt – порогова напруга.



**Рис. 19. Модель для ілюстрація роботи ключа з гістерезисом**

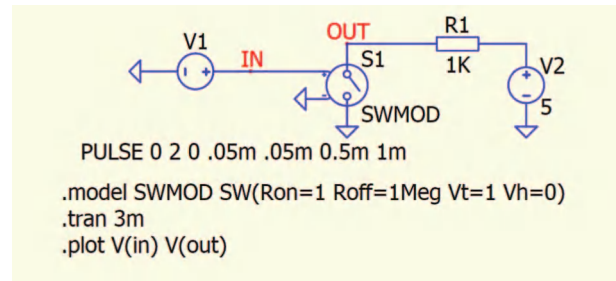
Ключ відкривається, коли керуюча напруга стає новить  $V_t+V_h$ , і закривається при  $V_t-V_h$ . Пристрій дозволяє визначити, наскільки точно слід визначити час перемикання. Якщо напруга гістерезису  $V_h$  негативна, ключ плавно переходить від  $R_{on}$  до  $R_{off}$ , що

ілюструє рис. 20. Це є стандартною поведінкою при моделюванні схем, оскільки більшість аналогових симуляторів не можуть обчислювати схеми з розривами.

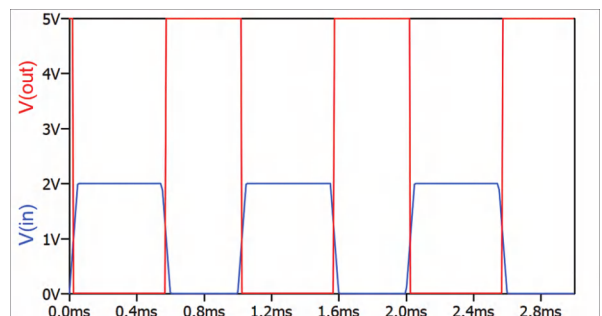


**Рис. 20. Результат моделювання роботи ключа з гістерезисом**

Більш наочно ілюструє роботу ключа модель на рис. 21, результати роботи якої наведено на рис. 22. Напруга керування задана в діапазоні 0...2 В, пороговий рівень спрацьовування ключа – 1 В, гістерезис відсутній.

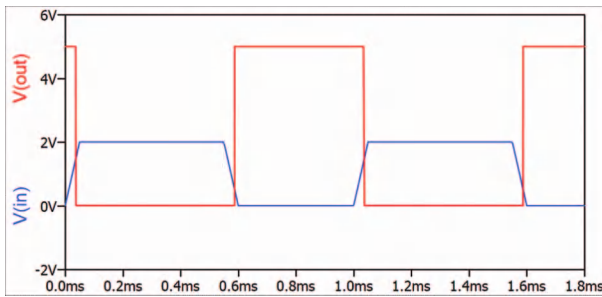


**Рис. 21. Модель з використанням ключа без гістерезиса**



**Рис. 22. Результат моделювання роботи ключа без гістерезиса**

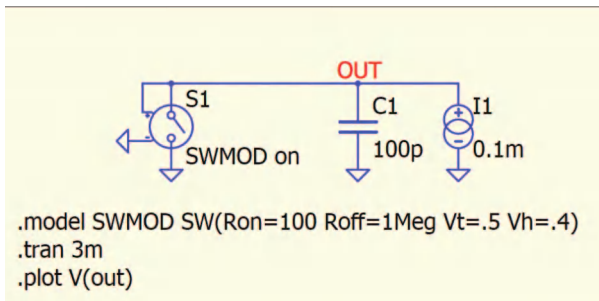
Як впливає з рис. 22, пороговий рівень спрацьовування ключа дорівнює 1 В. На рис. 23 наведено результат моделювання при заданому значенні гістерезиса  $V_h=0.5$  В.



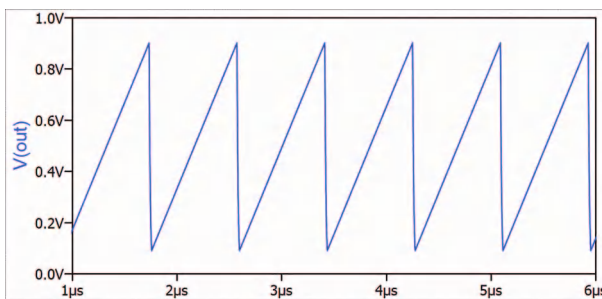
**Рис. 23. Результат моделювання роботи ключа з гістерезисом 0.5 В**

Використання гістерезиса дає змогу імітувати роботу тригера Шмітта.

Ще один приклад використання ключа наведено на рис. 24. Це генератор пилкоподібної наруги. Результат моделювання роботи генератора наведено на рис. 25.



**Рис. 24. Модель генератора пилкоподібної наруги з використанням аналогового ключа**



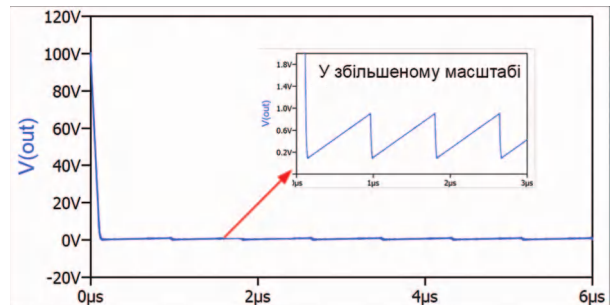
**Рис. 25. Сигнал на виході генератора пилкоподібної наруги з атрибутом SWMOD on**

Конденсатор C1 заряджається струмом 0.1 мА від джерела струму I1. Вхід управління ключа підключений до виходу джерела струму. Коли ключ закритий конденсатор C1 заряджається. При досягненні порогу спрацьовування ключа  $V_t + V_h = 0.5 + 0.4 = 0.9$  В він відкривається і конденсатор швидко розряджається через відкритий ключ до величини  $V_t - V_h = 0.5 - 0.4 = 0.1$  В (рис. 25), при якій ключ закривається. Цикл заряду/розряду повторюється.

Змінюючи співвідношення між  $V_t$  і  $V_h$ , можна регулювати амплітуду і початковий рівень вихідного

сигналу такого генератора.

Для ілюстрації впливу параметра ключа ON/OFF на його поведінку скористаємось моделлю наведеною на рис. 24, замінивши атрибут SWMOD on на SWMOD off.



**Рис. 26. Сигнал на виході генератора пилкоподібної наруги з атрибутом SWMOD off**

Як впливає з рис. 26, зміна атрибута ключа призведе тільки до зміни масштабу відображення сигналу на виході генератора.

**ЛІТЕРАТУРА**

- <https://www.qorvo.com/design-hub/blog/spicier-spice-free-fast-circuit-simulation-for-mixed-analog-and-digital>
- <https://www.qorvo.com/design-hub/design-tools/interactive/qspice>

**VD MAIS**  
**Розробка та серійне виробництво електроніки**

- розробка електричних схем
- проекування та виготовлення друкованих плат
- комплектация виробів електронними компонентами та конструктивами
- контрактне виробництво (за стандартом IPC-A-600J):
  - автоматизований монтаж SMD-компонентів, автоматизована селективна пайка компонентів, що монтується у отвори
  - виготовлення дослідних зразків виробів
  - дрібно- та великосерійне виробництво
  - багаторічний досвід розробки і виробництва
  - гарантія якості.

Сертифікація на відповідність вимогам стандартів ISO 9001:2015, ISO 14001:2015, IATF 16949:2016 і ISO 13485:2016.  
 Ціни оптимальні.

Україна, 03061 Київ, вул. М. Донця, 6  
 Тел.: (0-44) 201-0202, 492-8852, факс: (0-44) 202-1110  
 e-mail: info@vdmmais.ua, www.vdmmais.ua

**VD MAIS**  
**Устаткування та матеріали для монтажу/демонтажу електронних компонентів (ЕК)**

- паяльне та ремонтне обладнання
- системи очищення повітря
- пристрої трафаретного друку
- системи встановлення компонентів
- паяльні печі: конвекційного та селективного паління, паяння хвилею
- випробувальне обладнання
- системи візуального контролю
- координатно-фрезерні верстати
- технологічні матеріали монтажу ЕК
- засоби антистатичного захисту

**Дистрибуція та прямі поставки:**  
 AIM, Bernstein, Charleswater, Electrolube, Essentec, KIC, Kolver, LPKF, Magic Ray, Miele, Nordson, Optilla, PACE, PDT, Hanwha, Seho, TWS, Vision, Weiss

Україна, 03061 Київ, вул. М. Донця, 6  
 Тел.: (0-44) 201-0202, 492-8852, факс: (0-44) 202-1110  
 e-mail: info@vdmmais.ua, www.vdmmais.ua



# Технологічні матеріали фірм AIM та Electrolube



[www.aimsolder.com](http://www.aimsolder.com)



[www.electrolube.com](http://www.electrolube.com)

**VD MAIS**  
ДИСТРИБ'ЮЦІЯ +  
КОНТРАКТНЕ  
ВИРОБНИЦТВО

VD MAIS – офіційний дистриб'ютор компаній AIM та Electrolube в Україні

тел.: (044) 201-0202, [info@vdmαιs.ua](mailto:info@vdmαιs.ua), [www.vdmαιs.ua](http://www.vdmαιs.ua)

# EKIC

ЕЛЕКТРОННІ КОМПОНЕНТИ І СИСТЕМИ

Науково-технічний журнал.  
Призначений для розробників  
та виробників електронної  
та електротехнічної апаратури,  
засобів телекомунікацій, комп'ютерних  
та керуючих систем, промислової  
та транспортної електроніки.  
Видається із 1996 року.  
Засновник та видавець журналу –  
НВФ VD MAIS.

## НВФ VD MAIS

### Центральний офіс:

**03061 Київ**  
вул. М. Донця, 6  
Тел.: (+38-044) 201-0202, 492-8852  
Факс: (+38-044) 202-1110  
E-mail: [info@vdmajs.ua](mailto:info@vdmajs.ua)  
[http:// www.vdmajs.ua](http://www.vdmajs.ua)

**Ukraine**  
03061 Kyiv, M. Dontsia St. 6  
tel.: (+38-044) 201-0202, 492-8852  
fax: (+38-044) 202-1110