

ПРОГРАМА МОДЕЛЮВАННЯ АНАЛОГОВИХ ТА ЦИФРОВИХ ПРИСТРОЇВ QSPICE, частина 1

QSPICE IS A FREE PROGRAM FOR SIMULATING ANALOG AND DIGITAL DEVICES, part 1

У статті наведена коротка інформація про безкоштовну програму моделювання аналогових та цифрових пристроїв QSPICE від компанії Qorvo. Показані особливості налаштування та роботи з програмою.

Abstract – The article provides brief information about QSPICE, a free analog and digital device simulation program from Qorvo. Features of setting up and working with the program are shown.

V. Макаренко

V. Makarenko

У міру внесення нових удосконалень і випуску ітерацій програмне забезпечення загального користування набуло популярності серед інженерів-проектувальників. Сьогодні програми SPICE, включаючи численні комерційні та похідні з відкритим кодом, такі як LTSPICE, PSPICE та NGSPICE набули поширення серед розробників електронної апаратури. А тепер доступна ще швидша, надійніша, безкоштовна версія симулятор Qorvo QSPICE™ для аналізу і моделювання радіочастотних і силових кіл. Розробником програми, як і LTSpice, є Майк Енгельхардт.

Чим QSPICE від Qorvo відрізняється від інших? QSPICE було створено з нуля. Переписаний код SPICE щоб включити кращі властивості SPICE. Однією з ключових відмінностей є те, що він пропонує моделювання змішаних сигналів. Він підтримує величезну кількість цифрових схем – найважливіше досягнення для симуляторів SPICE. Включення цифрових технологій було здійснено з урахуванням інженерів-енергетиків, щоб надати їм можливість імітувати схеми та системи, які поєднують швидкодію і роботу з пристроями з високим рівнем потужності.

Крім того, користувачі можуть писати вихідний код C++ або Verilog у власний об'єктний код, що забезпечує швидше та ефективніше виконання симуляції, потенційно дозволяючи виконувати більші та складніші симуляції в розумні часові рамки.

У минулому розробники потужної електроніки поклалися на аналогові схеми та кремнієві перемикачі живлення. Сьогодні цифрове керування та складні напівпровідники є звичайними елементами передових енергетичних конструкцій. Незалежно від того, чи розробляє інженер алгоритми штучного інтелекту для заряджання батареї електромобілів, оптимізує джерело живлення або оцінює найновіші польові транзистори з карбиду кремнію, QSPICE є

ідеальною платформою для їхніх інновацій.

Вдосконалення внесені в QSPICE сприяють збільшенню швидкості та точності моделювання. Одним з них є усунення розривів BAX пристрою, що дозволяє швидше моделювати. А щоб підвищити точність, у програму включені детальні моделі транзисторів для кращого моделювання на рівні транзисторів, а також повністю оновлений адаптивний контроль за часом.

Програмне забезпечення містить кілька виконуваних програм, які обробляють отримання шаблонів, моделювання, відображення форми сигналу – усі вони запускаються локально. Основна програма, QUX.exe, за потреби викликає інші виконувані файли. Вона працює на ПК з Windows із прискорювачами GPU для високоякісної графіки в реальному часі. Вона також може бути запущений у захищеному просторі – захід безпеки, який використовується для ізоляції комп'ютера або мережі користувача від зовнішніх з'єднань, зокрема від Інтернету чи інших потенційно ненадійних мереж, щоб запобігти несанкціонованому доступу. Це дозволяє використовувати в дуже чутливих середовищах, таких як військові, державні, фінансові установи, дослідницькі лабораторії та певні промислові системи управління.

Програма не має штучних обмежень щодо розміру чи складності схеми, а також обмежень щодо імпорту, експорту чи вимірювання. Єдиним обмеженням є потужність комп'ютера користувача.

Програма містить моделі продуктів компанії Qorvo з карбиду кремнію (SiC) і багату інших продуктів для енергетики, склад яких постійно оновлюється. Моделі для нових рішень керування живленням Qorvo будуть включені в оновлення QSPICE, що полегшить клієнтам оцінку та проектування з Qorvo power.

Оновлення запропоновані користувачам QSPICE після запуску програми. Користувачі також можуть створювати власні моделі та інтегрувати їх у програмне забезпечення, а моделі сторонніх виробників можна легко імпортувати.

QSPICE доступний виключно від Qorvo. Щоб завантажити його, потрібно зареєструватись, викори-

стовуючи дійсну адресу електронної пошти [2].

При запуску програми відкривається основне вікно (рис. 1).

У лівій частині вікна у згорнутому вигляді показаний перелік бібліотек QSPICE, що налічують велику кількість компонентів. На рис. 2 і 3 наведений склад бібліотек програми.

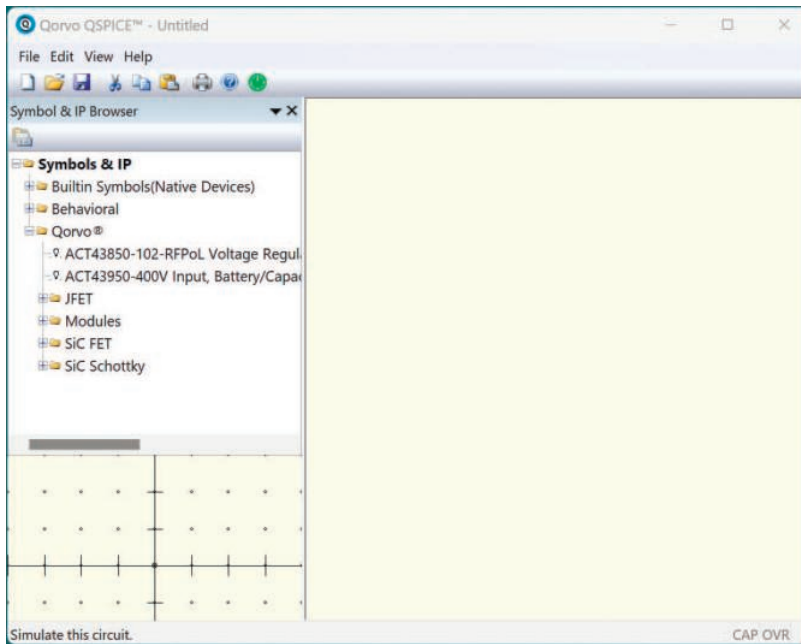


Рис. 1. Основне вікно програми QSPICE

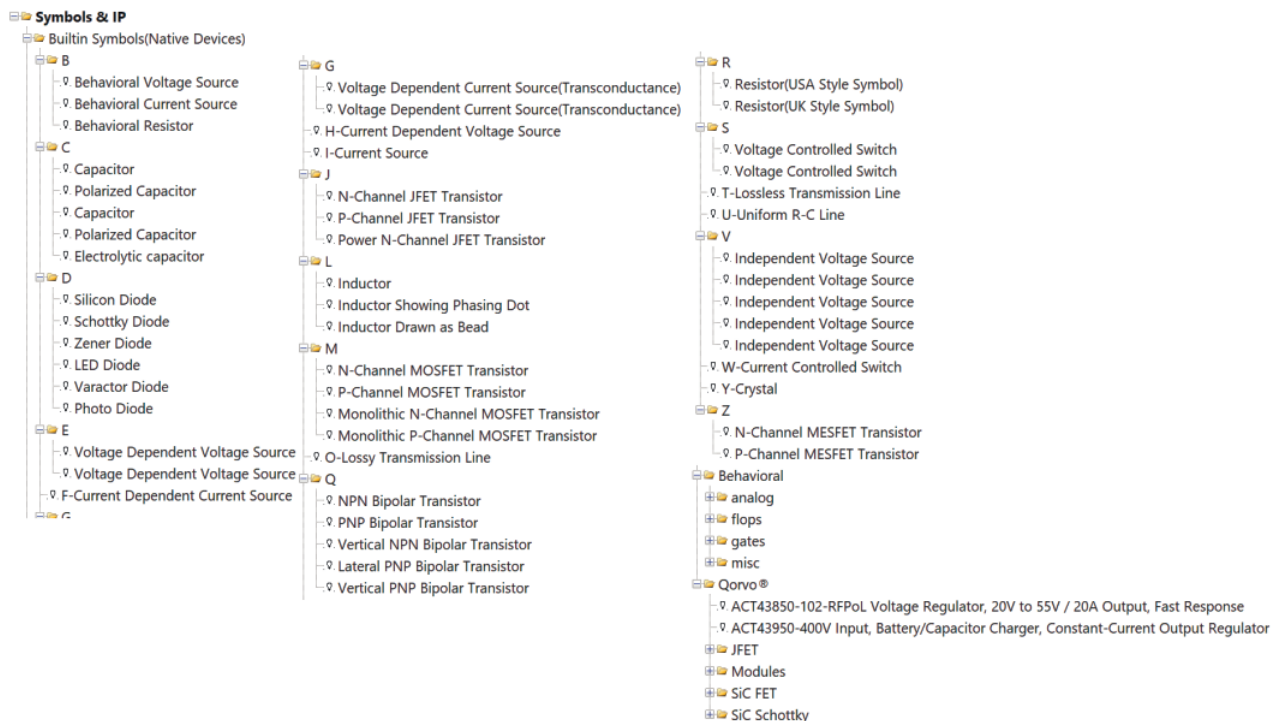


Рис. 2. Склад бібліотек QSPICE

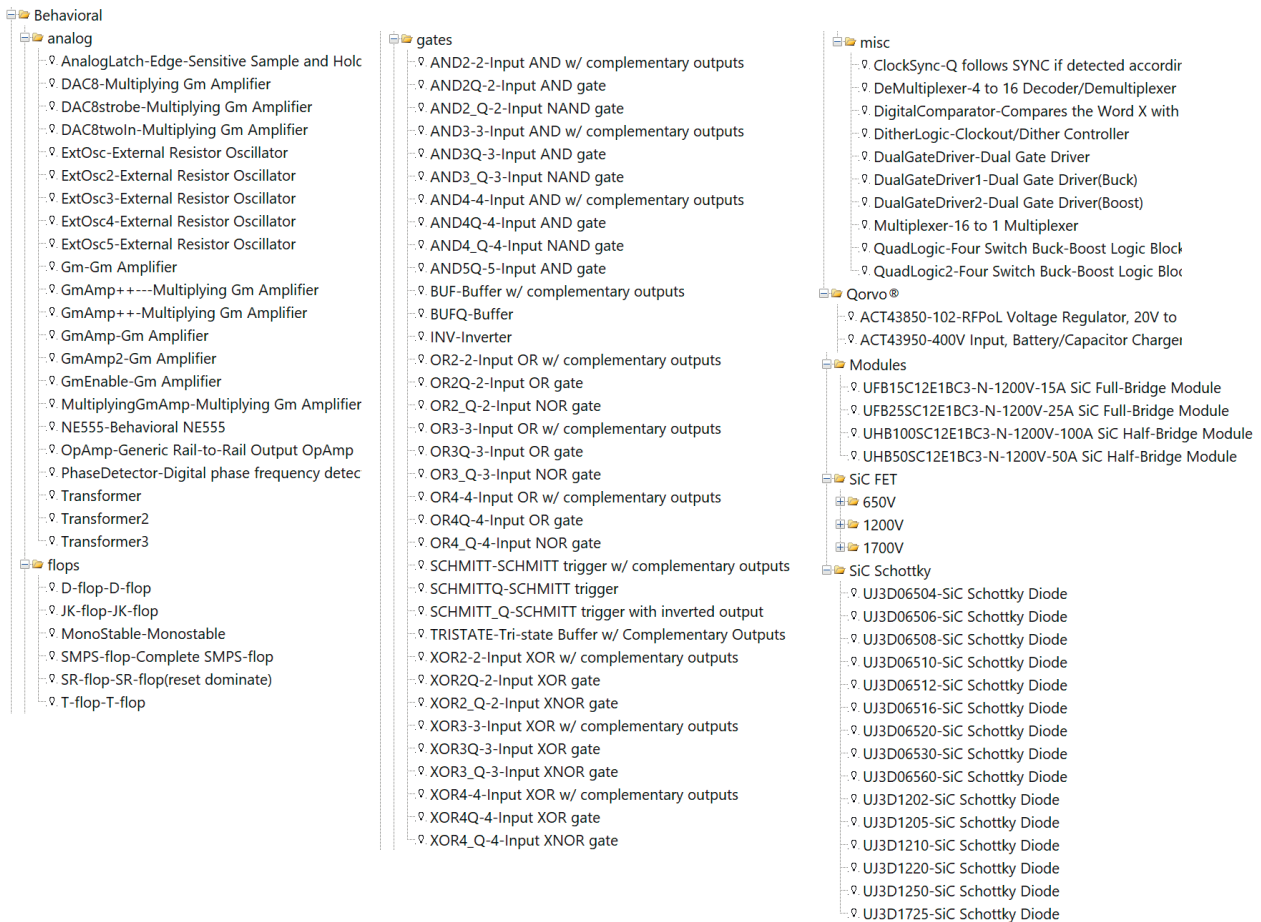


Рис. 3. Склад бібліотек QSPICE

Всі компоненти у програмі відображаються у стандарті ANSI (American National Standards Institute). Для налаштування кольору інтерфейсу потрібно у меню Edit обрати пункт Color Preferences (рис. 4).

Після відкриття пункту Color Preferences можна задати колір основи (Background) робочого аркушу, як показано на рис. 5.

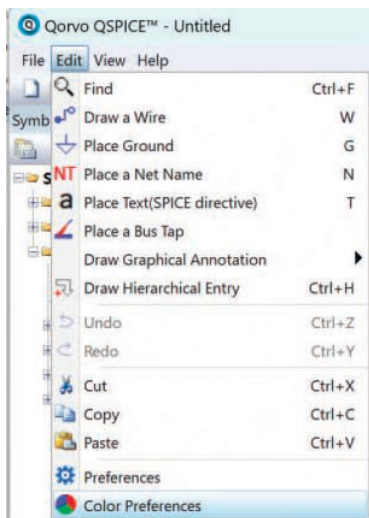


Рис. 4. Вибір меню налаштування кольорів інтерфейсу

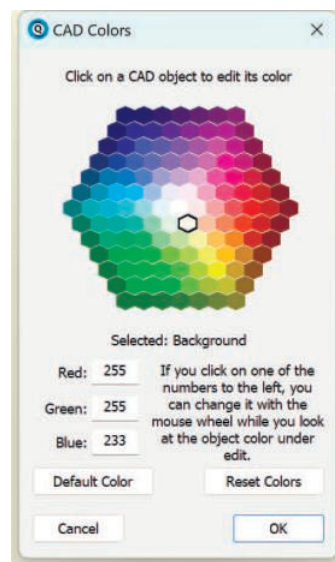


Рис. 5. Вибір кольору основи робочого аркушу

Колір відображення графіків налаштовується окремо для кожного елемента і буде розглянуто пізніше.

Для розміщення на схемі ліній зв'язку необхідно натиснути клавішу *w* або *W* у англійській розкладці клавіатури. Для розміщення загального – *g* або *G*, *t* або *T* – для розміщення тексту. Клавіши виклику елементів схеми наведені на рис. 4. Треба звернути увагу на те, що **при вводі тексту кирилиця не підтримується**. Для копіювання і вставки використовуються стандартні комбінації клавіш *Ctrl + C*, *Ctrl + V*. А от для видалення елемента схеми потрібно використати комбінацію *Ctrl + X*.

Для розміщення елементів треба звернутися до потрібної бібліотеки у лівому вікні програми і обрати компонент. Наприклад, на рис. 6 показано вибір кремнієвого діода з бібліотеки *D/Silicon Diode*. Після вибору елемента він розміщується у нижній частині лівої частині вікна програми (рис. 6).

Після вибору елемента стає доступним контекстне меню цього елемента (рис. 7). Для виклику контекстного меню потрібно розмістити курсор на зображенні елемента і натиснути праву кнопку миші.

Як впливає з рис. 7 можна розмістити елемент на робочому аркуші (*Place on Schematic*), скопіювати у буфер обміну (*Copy to Clipboard*), відкрити елемент для редагування (*Open a Copy & Edit*) або повернутися у вікно вибору елементів (*Show in Tree*).

Покажемо можливості редагування елементів на прикладі діода. На рис. 8 наведено вікно редагування

зображення діода яке відкривається після вибору пункту меню *Open a Copy & Edit*.

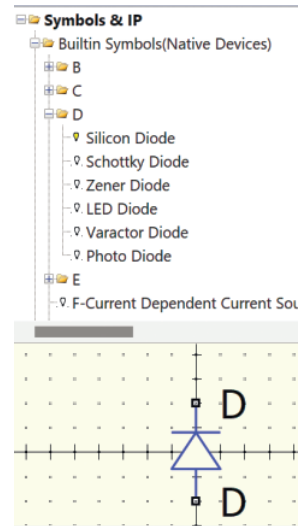


Рис. 6. Вибір кремнієвого діода для розміщення на схемі

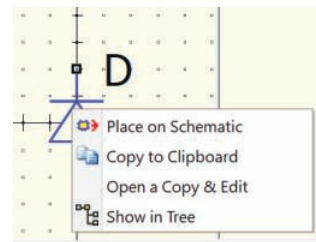


Рис. 7. Контекстне меню для роботи з компонентом

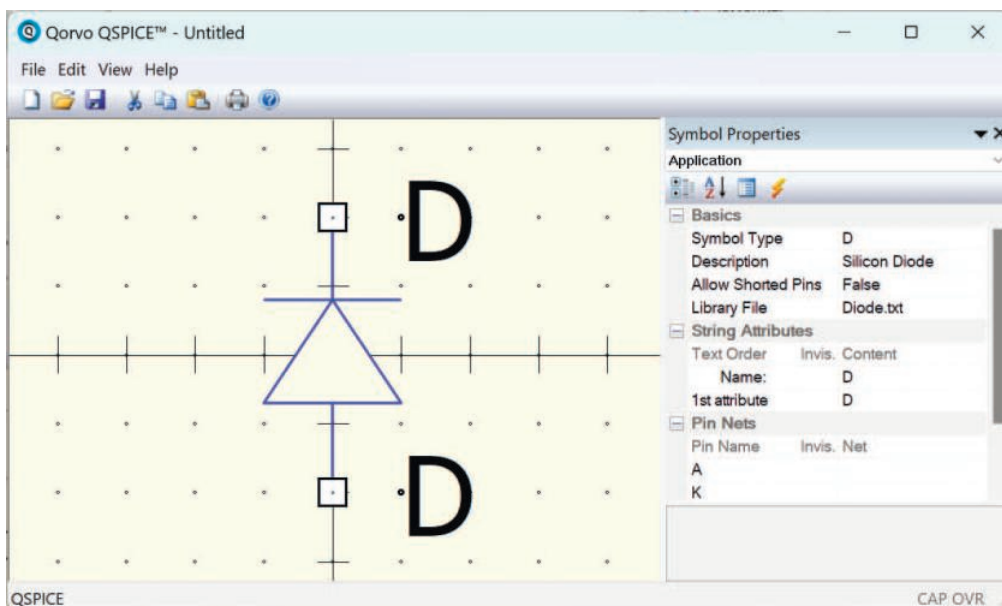


Рис. 8. Вікно редагування зображення діода

Якщо розмістити курсор на вільному полі редактора символів і натиснути праву кнопку миші то відкривається контекстне меню (рис. 9), у якому можна обрати елемент для створення графічних елементів.

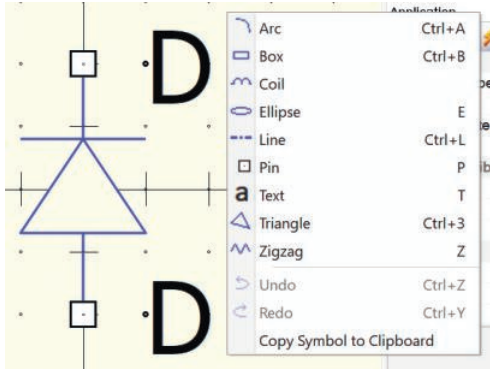


Рис. 9. Контекстне меню редактора QSPICE

Якщо ж розмістити курсор на зображенні елемента і натиснути праву кнопку миші, то випадає зовсім інше контекстне меню (рис. 10).

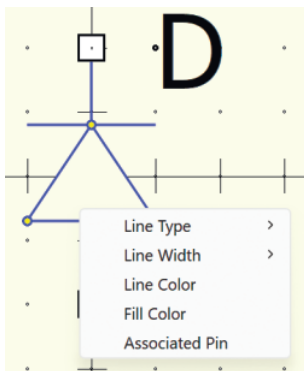


Рис. 10. Контекстне меню редагування елемента

У випадку з діодом достатньо обрати пункт Fill Color та обрати у вікні що відкривається пункт Not Filled (рис. 11). Результат цієї дії наведений на рис. 12. Тіло діода стає прозорим і залишається продовжити лінію зв'язку верхнього або нижнього виводу до з'єднання з протилежним виводом.

Після завершення редагування треба зберегти нове зображення елемента. Для збереження пропонується папка c:\Users\User\Documents\QSPICE\ (по замовчужанню). Збережемо відредаговане зображення діоду у файлі diode.qsym (рис. 13). Звісно, папку для збереження можна обрати і іншу, оскільки відредагований елемент не підключається автоматично до існуючої бібліотеки.

Для того, щоб на схемі використати нове позначення елемента, доведеться його завантажувати

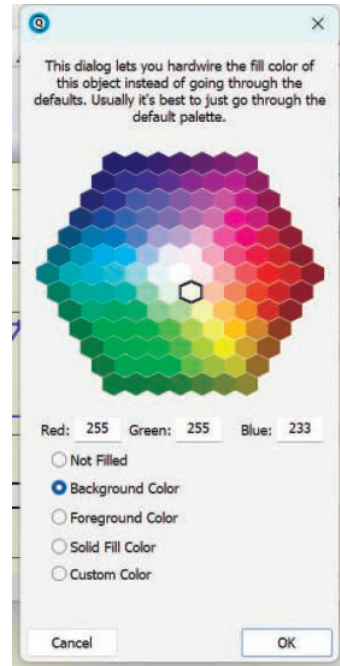


Рис. 11. Вибір кольору заливки тіла елемента

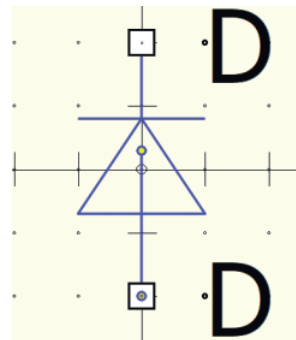


Рис. 12. Продовження лінії зв'язку на рисунку діода

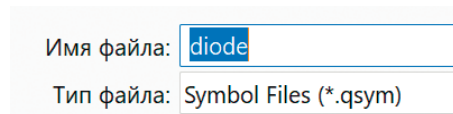


Рис. 13. Збереження відредагованого файлу

окремо із збереженого файлу.

Аналіз бібліотек QSPICE в папці c:\Program Files\QSPICE\Behavioral\ показав, що там відсутні бібліотеки окремих елементів – діодів, резисторів, конденсаторів і т.д. Але присутні бібліотечні елементи що знаходяться у паках c:\Program Files\QSPICE\Behavioral\; analog\, flops\, gates\, misc\.

В бібліотеках flops, gates і misc розташовані цифрові компоненти, а в бібліотеці analog – операційні під-

силовачі, трансформатори та інші елементи. Якщо відредагувати зображення цих елементів, то вони будуть автоматично завантажуватись під час вибору. Однак, треба звернути увагу а те, що при оновленні програми всі компоненти видаляються і тому потрібно зберігати копії відредагованих елементів.

У папці c:\Program Files\QSPICE\Qorvo\ знаходяться елементи компанії Qorvo які теж можна відредагувати при необхідності.

Після розміщення компоненту на робочому полі необхідно обрати тип компоненту з бібліотеки. Для цього потрібно розташувати курсор на зображенні елемента і натиснути праву кнопку миші. У випадяючому меню (рис. 14) обрати пункт Selection Guide і у вікні, що відкривається, обрати потрібний компонент (рис. 15).

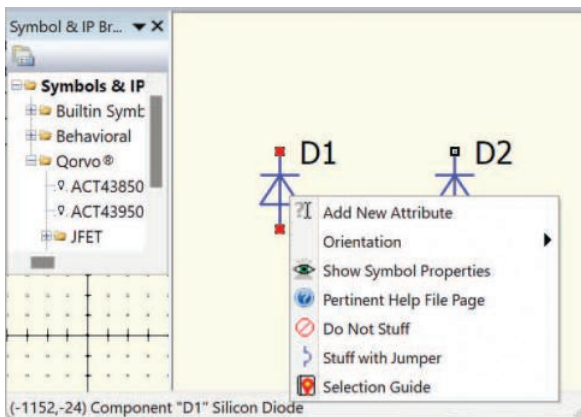


Рис. 14. Контекстне меню параметрів компоненту

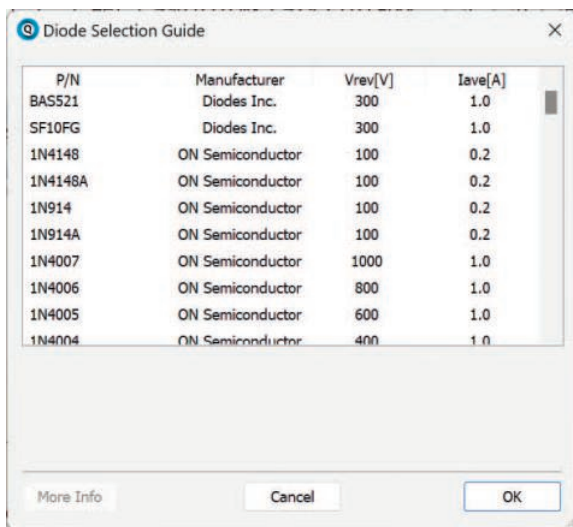
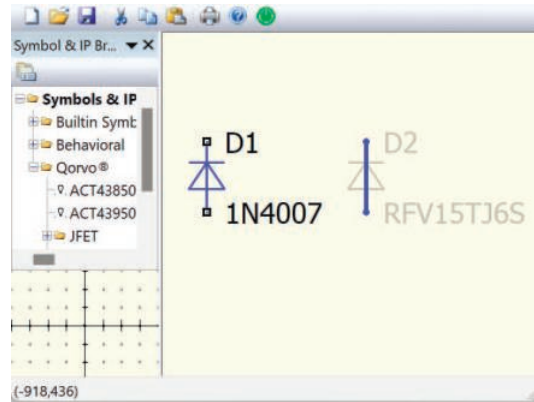
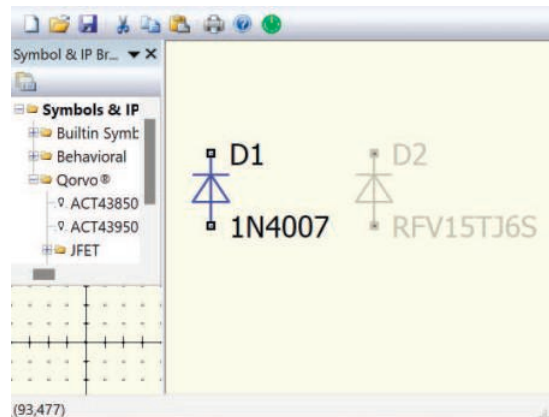


Рис. 15. Вибір типу компоненту з бази даних програми

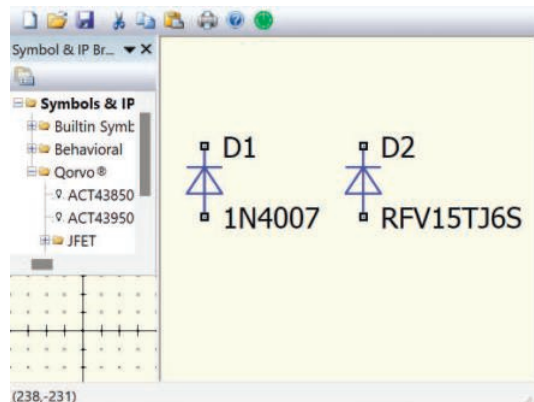
При розташуванні курсора на зображенні компонента і виборі у контекстному меню пункту **Stuff with Jumper** компонент буде закорочено перемичкою (рис. 16,а). Для видалення перемички потрібно обрати пункт **Do not Stuff** (рис. 16,б). Для того, щоб зображення компонента стало знов яскравим, необхідно ще раз виконати процедуру **Do not Stuff** (рис. 16.в).



а)



б)



в)

Рис. 16. Реакція програми на вибір пункту меню Stuff with Jumper (а), перша реакція на вибір пункту Do not Stuff (б) і повторний вибір пункту Do not Stuff (в)

Така процедура, закорочування елемента на схемі без його видалення, ні в одній іншій програмі моделювання не існує.

Якщо навести курсор на обраний компонент (наприклад, RFV15TJ6S), то у контекстному меню при натисканні правої кнопки миші з'являється пункт **Buy Now From Mouser** (рис. 17).

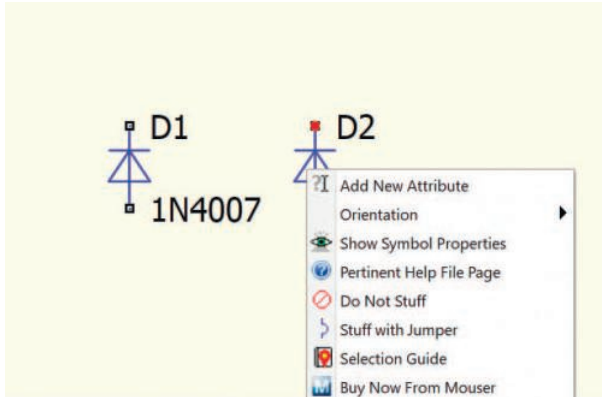


Рис. 17. Додатковий пункт Buy Now From Mouser у контекстному меню обраного типу компонента

При виборі пункту **Buy Now From Mouser** відкривається сторінка сайту Mouser Electronics з обраним компонентом (рис. 18).

Це дуже зручна функція яка дозволяє при потребі швидко отримати вичерпну інформацію про обраний

компонент.

Розглянемо роботу з програмою, використовуючи приклади, що знаходяться у папці `c:\Program Files\QSPICE\Examples\`. На рис. 19 наведена модель підсилювача.

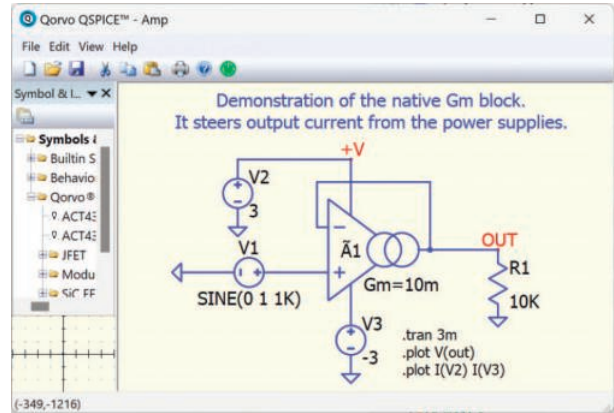


Рис. 19. Модель підсилювача

На рисунку моделі присутні позначення точок для зручності формування команд моделювання. Це +V та OUT. Створимо ще одну контрольну точку. Для цього на вільному від компонентів місці треба натиснути праву кнопку миші і обрати у випадяючому меню пункт Place a Net Name (рис. 20). Потім розташувати курсор у потрібній точці схеми і натиснути ліву кнопку миші. На проводі з'явиться червона точка і після цього по-

RFV15TJ6SGC9

Images are for reference only
See Product Specifications

[Share](#)

Compare Product

Mouser No:	755-RFV15TJ6SGC9
Mfr. No:	RFV15TJ6SGC9
Mfr.:	ROHM Semiconductor
Customer No:	<input type="text" value="Customer No"/>
Description:	Diodes - General Purpose, Power, Switching Super Fast Recovery Diodes
Datasheet:	RFV15TJ6SGC9 Datasheet
ECAD Model:	PCB Symbol, Footprint & 3D Model
Download the free Library Loader to convert this file for your ECAD Tool. Learn more about the ECAD Model.	
More Information	Learn more about ROHM Semiconductor RFV15TJ6SGC9

[Add To Project](#) | [Add Notes](#)

Рис. 18. Сторінка сайту Mouser Electronics з обраним компонентом

трібно ввести ім'я контрольної точки (рис. 21).

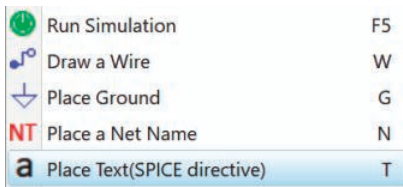


Рис. 20. Випадаюче меню для створення контрольної точки

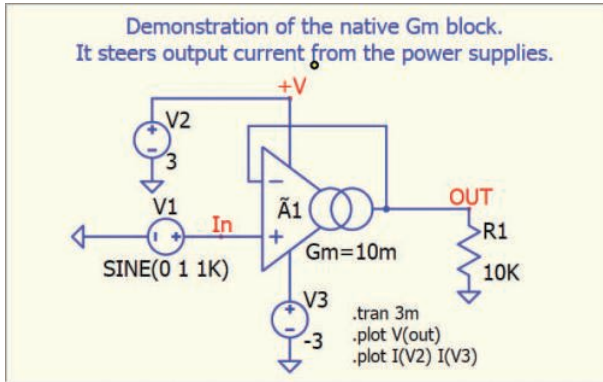


Рис. 21. Додатково створена на моделі контрольна точка In

Для аналізу напруги у цій точці треба додати команду `.plot V(In)`. Для розміщення команди потрібно у випадаючому меню (рис. 20) обрати пункт Place Text(Spice directive) або натиснути букву t (рис. 22).

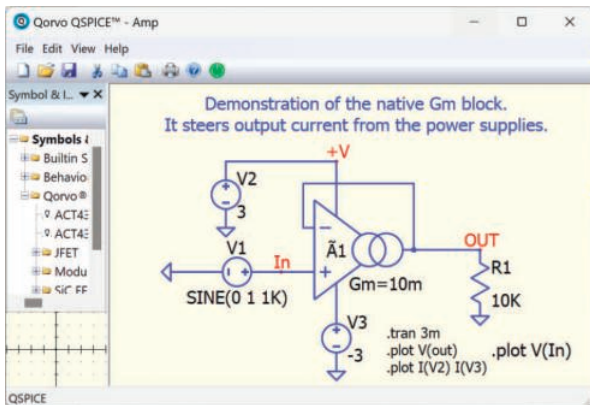


Рис. 22. Додавання команди аналізу на робочий аркуш моделі

Для початку моделювання потрібно або натиснути зелений кружечок на панелі інструментів, або обрати у випадаючому меню пункт Run Simulation (рис. 20), або натиснути кнопку F5.

На рис. 23 наведені результати моделювання – відображення напруги і струмів у точках заданих директивами (командами) QSPICE.

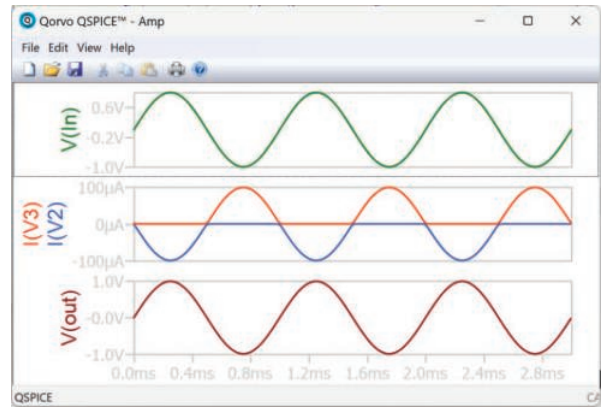


Рис. 23. Результати аналізу струмів та напруги у моделі підсилювача

На рис. 23 інтерфейс відображення результатів моделювання світлий і позначки на осях ледве помітні. Налаштувати колір тексту на осях неможливо, а колір всіх інших елементів інтерфейсу можна змінювати. Для налаштування кольору інтерфейсу потрібно у меню Edit обрати пункт Color Preferences (рис. 4). Після вибору цього пункту відкривається вікно корегування кольору (рис. 24). По замовчуванню фон основи (Background) чорний. Для відновлення встановленого по замовчуванню кольору достатньо натиснути кнопку Default Color. Інтерфейс приймає вигляд наведений на рис. 25.

Для зміни кольору графіків необхідно розмістити курсор на потрібній кривій (на рис. 25 це Selected: Data Trace 4 Color у нижній частині вікна. Тобто колір четвертого графіка. Після вибору кольору у палітрі чи вводу значень у віконця для кожного з трьох кольорів необхідно натиснути кнопку Reset Colors. Рзом з кольором кривої змінюється колір напису з назвою кривої.

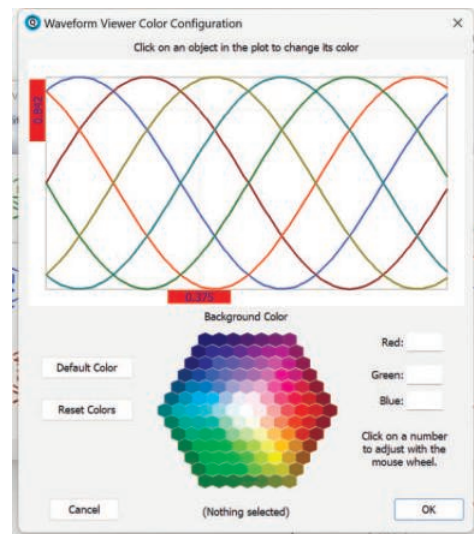


Рис. 24. Вікно налаштування кольорів вікна виводу графіків

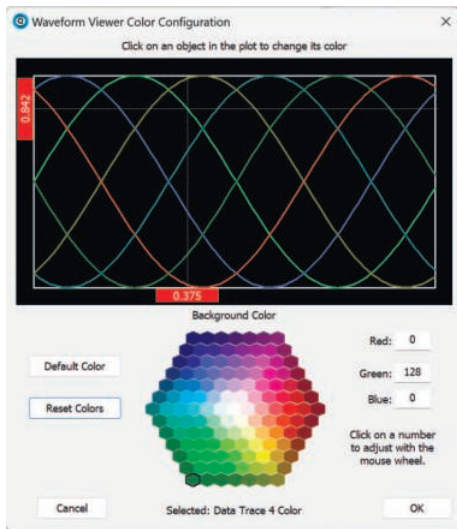


Рис. 25. Вікно налаштування кольорів вікна виводу графіків після натискання кнопки Default Color

Вікно виводу графіків після встановлення чорного кольору основи наведено на рис. 26.

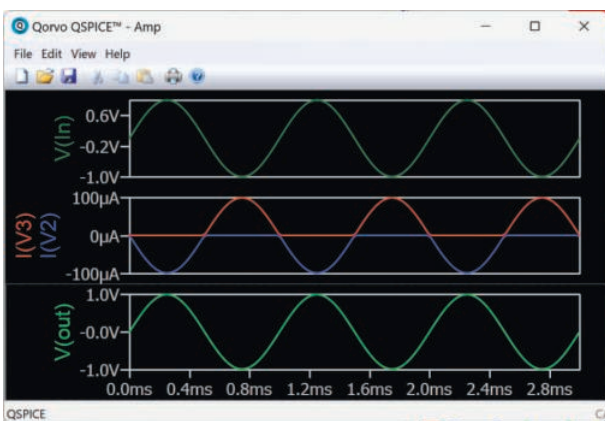


Рис. 26. Вікно виводу графіків з чорним фоном

Якщо на вільному полі графіки натиснути праву кнопку миші то відкривається випадаюче меню (рис. 27) у якому можна обрати пункт Add Plot. Відкривається вікно (рис. 28) у якому можна задати математичні операції зі змінними на графіках.

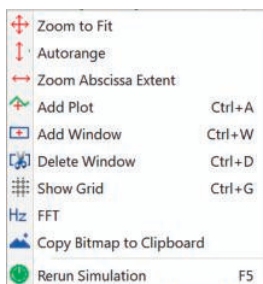


Рис. 27. Випадаюче меню вікна графіків

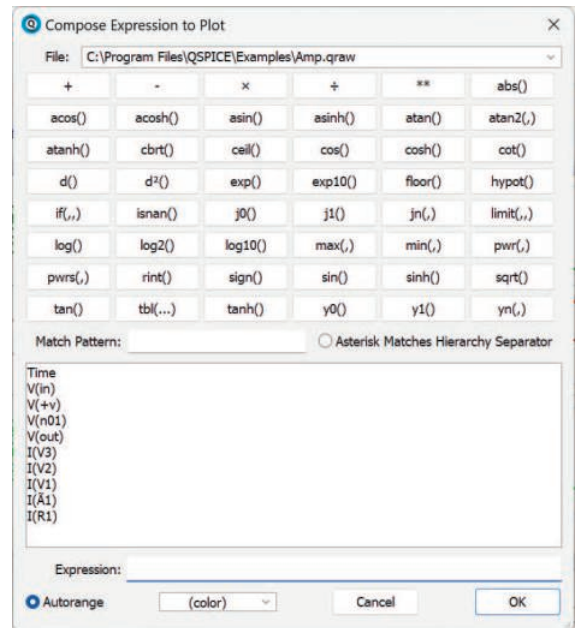


Рис. 28. Вікно задання математичних операцій над змінними

Оберемо, наприклад, вхідну напругу і піднесемо її у квадрат. Для цього, скориставшись меню калькулятора і іменами змінних, формуємо командний рядок як показано на рис. 29. Одночасно можна задати колір нового графіка і автоматичний вибір масштабу по вертикалі (Autorange).

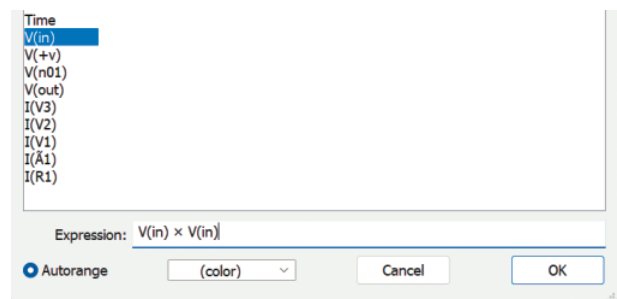


Рис. 29. Формування команди для виконання математичної операції піднесення у квадрат змінної V(in)

Результат виконання команди наведено на рис. 30. Сигнал подвоєної частоти $V(in) \times V(in)$ відображено на верхньому графіку разом з сигналом $V(in)$.

Результат виконання команди $\sqrt{V(in) \times V(in)}$ наведено на рис. 31 червоним кольором.

Якщо потрібно відобразити окремо новий графік, то спочатку треба додати нове вікно (Add Window на рис. 27) а потім додати у нього графік (рис. 32).

Якщо обрати аналіз Фур'є (FFT) у меню (рис. 27), то відкривається вікно параметрів аналізу що наведено на рис. 33.

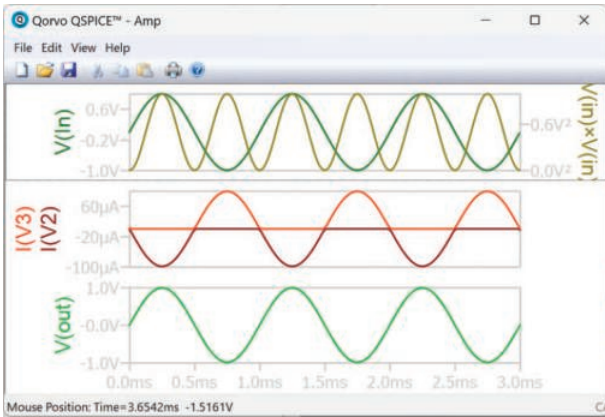


Рис. 30. Результат виконання команди $V(in) \times V(in)$ відображено на верхньому графіку разом з $V(in)$

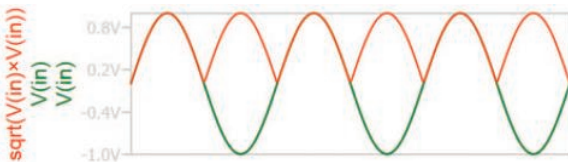


Рис. 31. Результат виконання команди $\text{sqrt}(V(in) \times V(in))$ (червона крива)

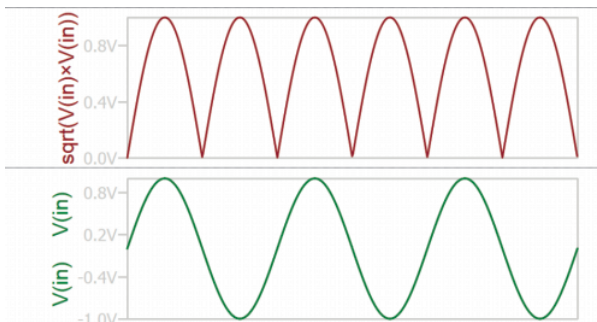


Рис. 32. Результат виконання команди $\text{sqrt}(V(in) \times V(in))$ у новому вікні

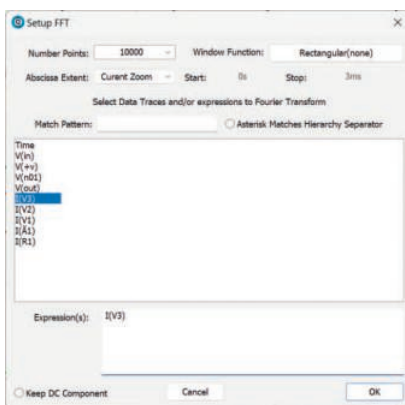


Рис. 33. Вікно вибору графіку для аналізу спектру та встановлення параметрів перетворення Фур'є

Для аналізу був обраний струм джерела V3. Віконна функція не задавалась. Результат аналізу наведено на рис. 34.

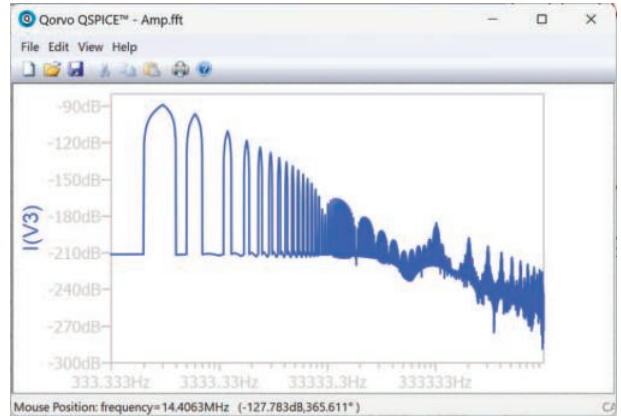


Рис. 34. Результат аналізу спектру струму джерела V3

Якщо потрібно задати більшу кількість точок аналізу та віконну функцію спектрального аналізу, то число точок прямо вписується у верхній рядок Number Points (рис. 35). А щоб вибрати віконну функцію потрібно натиснути праву кнопку миші у віконці Window Function і у вікні (рис. 36), що відкривається обрати потрібну функцію.

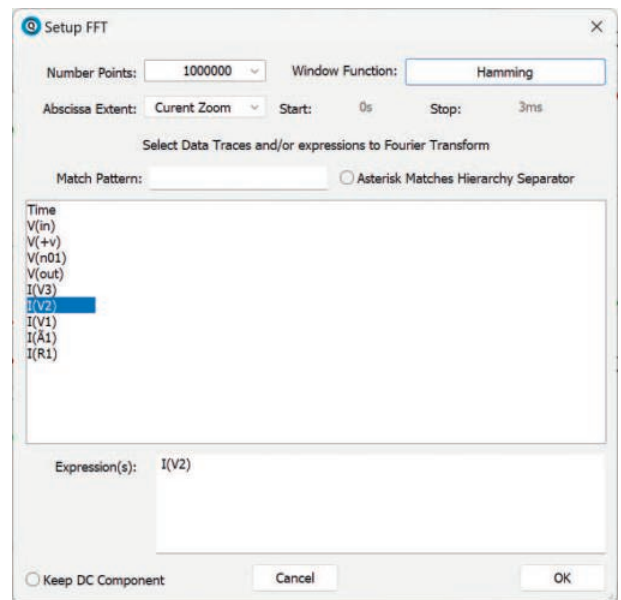


Рис. 35. Вікно вибору параметрів FFT з вікном Hamming і кількістю точок аналізу 1000000

Результат вимірювання часу та рівня сигналу виводиться у нижній частині вікна для відображення графіків (рис. 38) у точці де розташований курсор.

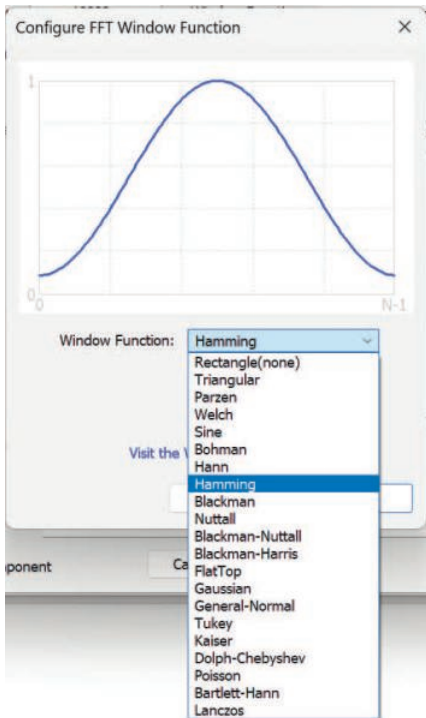


Рис. 36. Вікно вибору віконної функції спектрального аналізу

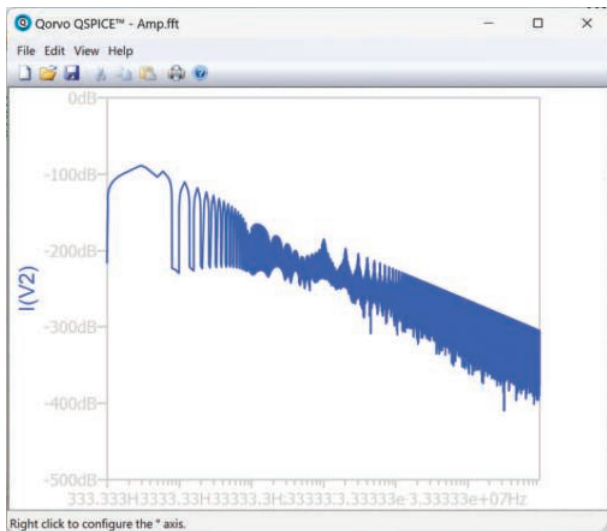
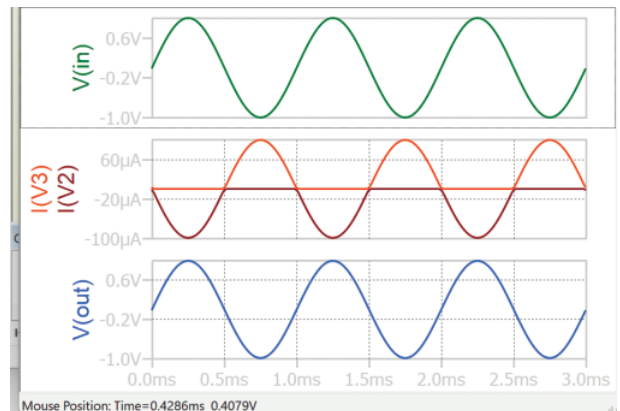


Рис. 37. Результат спектрального аналізу струму джерела V2 з вікном Hamming

Для розміщення таких елементів на схемі як джерело вхідної напруги, резистор, конденсатор, котушка індуктивності необхідно натиснути, відповідно, клавіши V, R, C, L у нижньому чи верхньому регістрі (не має значення).

При розміщенні генератора напруги на схемі потрібно знати з якою метою він розміщується. Якщо для аналізу форми сигналу, то його робота повинна описуватись виразом $\text{sine}(0 \ 1 \ \mathbf{K})$, де перша цифра в



Положення курсору на осі часу Рівень сигналу

Рис. 38. Результат вимірювання часу та рівня сигналу у точці розташування курсору виводиться у нижній частині вікна

дужках – напруга зміщення, друга – амплітуда сигналу, третя – частота сигналу. Ще більше параметрів можна задати у відповідності з підказкою у меню Help, а саме, **SINE(Voffset Vamp Freq Td Theta Phi Ncycles)**, де:

- SINE – форма сигналу (синусоїда)
- Voffset – постійне зміщення
- Vamp – амплітуда сигналу
- Freq – частота сигналу
- Td – затримка сигналу
- Theta – коефіцієнт демпфування
- Phi – фаза синусоїдального сигналу у градусах
- Ncycles – кількість періодів (пропустіть, якщо не обмежена).

Така підказка є для кожного типу генератора і у ній є посилання на приклад що виводиться на екран у вигляді схеми.

Але якщо потрібно *аналізувати амплітудно-частотну та фазо-частотну характеристики*, то генератор описується виразом **ac 1**, де цифра означає амплітуду сигналу.

Звісно, що в рамках однієї статті описати особливості роботи з багатофункціональною програмою неможливо. Тому розгляд інших можливостей програми проведемо в наступній частині статті.

ЛІТЕРАТУРА

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