

УДК 621.317.373

*Коренівська О.Л., к.т.н., доцент,
Бенедицький В.Б., ст. викладач
Державний університет «Житомирська політехніка»*

ВИМІРЮВАННЯ РІЗНИЦІ ФАЗ ПРИ ВИКОРИСТАННІ ПРОГРАМНОГО СЕРЕДОВИЩА LTSPICE

Вивчення нормативної дисципліни «Теорія кіл і сигналів» у ЗВО ефективно лише тоді, коли поряд із засвоєнням основ теорії студенти в умовах лабораторного експерименту ознайомлюються на практиці з роботою електричних схем, джерелами живлення, осцилографом та вимірювальними приладами. Основним завданням лабораторного практикуму є засвоєння студентами практичних навичок підготовки та випробування електричних схем і пристроїв, зокрема набуття навичок вимірювання електричних величин, обробки експериментальних даних, побудова часових і векторних діаграм електричних величин і характеристики приладів, а також отримання експериментального підтвердження (з прийнятною точністю) теоретичних положень, викладених на лекціях.

Поряд з натурними експериментами в даний час широке поширення отримали комп'ютерне моделювання та аналіз схем електронних пристроїв в таких програмних середовищах, як PSpice, TINA-TI, KICad EDA, LabVIEW, NI Multisim та ін.

Одне з найпоширеніших завдань при аналізі ланцюгів змінного струму – це вимірювання різниці фаз. При використанні в роботі програмного середовища LTSpice (Linear Technology), в порівнянні з NI Multisim, відсутня наявність контрольно-вимірювальних приладів, які за зовнішнім виглядом і характеристиками наближені до їх промислових аналогів.

В LTSpice вимірювання різниці фаз можна реалізувати кількома способами:

Спосіб 1: Пряме вимірювання за графіками (осцилографічний). Це найпростіший і наочний спосіб, який ідеально підходить для разових вимірювань. Недолік даного методу: вимагає ручного розрахунку, невисока точність.

Спосіб 2: Використання вбудованих математичних функцій. Цей спосіб є більш точним і автоматизованим. LTSpice дозволяє будувати графіки не тільки сигналів, але і математичних виразів на їх основі.

Недолік даного методу: вимагає знання частотних і часових параметрів, менш точний, ніж AC Analysis.

Спосіб 3: Аналіз у частотній області (AC Analysis) – спосіб для вимірювання АЧХ і ФЧХ (амплітудно-частотної та фазо-частотної характеристик). Він показує різницю фаз безпосередньо. Недолік даного методу: вимагає налаштування, не показує перехідні процеси.

Для прискорення вимірювання різниці фаз при виконанні лабораторних робіт нормативної дисципліни «Теорія кіл і сигналів» пропонується апаратно-програмний спосіб реалізації фазометра, заснований на перетворенні різниці фаз у напругу (рис. 1).

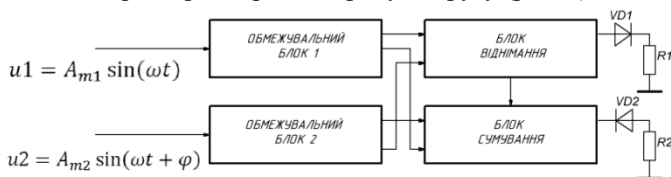


Рисунок 1

З використанням штатних функціональних блоків LTSpice вхідні синусоїдальні напруги u_1 і u_2 однакової частоти ω , що мають різницю фаз φ , перетворюють в напруги прямокутної форми, що мають однакові амплітуди. Отримані напруги подаємо на входи функціональних блоків, що реалізують сумування і віднімання, виходи яких під'єднанні послідовно до ідеальних діодів з навантаженням, в вигляді опорів.

Використовуючи вбудовані математичні функції, обчислюємо різницю фаз за формулою:

$$\varphi = \left(\frac{I_{cp}}{I_0} + 0.5 \right) \cdot 180^\circ,$$

де I_0 – амплітуди імпульсів струмів на виходах блоків сумування і віднімання; I_{cp} – середнє значення різниці струмів, що викликаються напругами на виходах блоків сумування і віднімання.

Залежність φ від I_{cp} не є однозначною в межах періоду. Виникаючу двозначність усувають реєструючи збіг позитивних фронтів напруги і струму. Якщо $0 < \varphi < \pi$ – фронти збігаються, при $\pi < \varphi < 2\pi$ фронти не збігаються.

Представлений спосіб, використовує можливості програмного середовища LTSpice, реалізовано у вигляді функціонального блока, вимірювання різниці фаз.

Список використаних джерел:

1. The LTSpice Help Manual. Analog Devices. Режим доступу: <https://ltspice.analog.com/help/LTSpiceHelp.chm> (дата звернення: 25.11.2025).