

КОМП'ЮТЕРНІ ЗАСОБИ, МЕРЕЖІ ТА СИСТЕМИ

V. Hrusha

MODELLING AND USING DIFFERENTIAL DRIVERS FOR HIGH SPEED ADCs

The basis circuits of connecting, features of operating and formulas of calculating of differential drivers parameters are represented. Different configurations of ADC drivers are considered on example of using modern modeling programs.

Key words: differential driver, amplifier, ADC, analysis.

Приведены основные схемы включения, особенности работы и формулы расчета параметров усилителей-драйверов. На примере использования современных программ моделирования рассмотрены разные конфигурации драйверов АЦП.

Ключевые слова: дифференциальный драйвер, усилитель, АЦП, анализ.

Наведено основні схеми включення, особливості роботи та формули розрахунку параметрів підсилювачів-драйверів. На прикладі застосування сучасних програм моделювання розглянуті різні конфігурації драйверів АЦП.

Ключові слова: дифференціальний драйвер, підсилювач, АЦП, аналіз.

© В.М. Груша, 2010

УДК 681.3

В.М. ГРУША

МОДЕЛЮВАННЯ І ЗАСТОСУВАННЯ ДИФЕРЕНЦІАЛЬНИХ ДРАЙВЕРІВ ДЛЯ ШВИДКОДІЮЧИХ АЦП

Вступ. На вході аналого-цифрового перетворювача (АЦП) при кодуванні сигналів аналогових датчиків, як правило, використовують відповідний операційний підсилювач (ОП) – драйвер АЦП. Застосування диференціальних драйверів на вході швидкодіючих АЦП з симетричними входами дозволяє підключити їх до датчиків, які мають несиметричний вихід, що дає змогу покращити технічні характеристики вимірювального каналу в цілому, зокрема, виконати додаткове підсилення сигналу, фільтрацію, ослаблення завад загального стану і т. п. [1]. При цьому потрібно враховувати характеристики драйвера (час встановлення ОП, нелінійні спотворення, шумові характеристики тощо). Чим більша розрядність і швидкодія перетворювача, тим більше уваги треба приділяти вибору оптимального драйвера. Використання нових диференціальних драйверів і правильний вибір схеми його підключення до АЦП дозволяють досягти більш високих параметрів аналогово-цифрових схем без ускладнення схемотехнічних рішень розроблюваних приладів [2]. При цьому доцільно разом з урахуванням рекомендацій виробників драйверів застосовувати спеціалізовані моделюючі програмні засоби для тестування та оцінки нових схемотехнічних рішень, причому програмні засоби для швидкої оцінки параметрів елементів надає і виробник драйверів.

Використання диференціальних драйверів дозволяє зменшити рівень нелінійних спотворень другого порядку, які можуть бути записані в наступному вигляді [3]:

$$U_{\text{вих}+} = K_1(U_{\text{вх}})^2 + K_2(U_{\text{вх}})^2 + K_3(U_{\text{вх}})^2 + \dots, \quad (1)$$

$$U_{\text{вих}-} = K_1(-U_{\text{вх}})^2 + K_2(-U_{\text{вх}})^2 + K_3(-U_{\text{вх}})^2 + \dots, \quad (2)$$

де $U_{\text{вх}}$, $-U_{\text{вх}}$ – вхідні напруги; $U_{\text{вих}+}$, $U_{\text{вих}-}$ – вихідні напруги підсилювачів з диференціальним входом/виходом; K_1, K_2, K_3, \dots – постійні коефіцієнти.

З виразів (1) і (2) випливає, що крім підсиленого вихідного сигналу на виході підсилювача маємо нелінійні спотворення другого, третього і більш високих порядків. Якщо вхід АЦП є диференціальний (симетричний), то забезпечується компенсація спотворень другого порядку, що присутні на виході підсилювача-драйвера, тобто:

$$U_{\text{вих}+} - U_{\text{вих}-} = 2K_1(U_{\text{вх}}) + K_3(U_{\text{вх}})^3 + \dots \quad (3)$$

У виразі (3) рівнем спотворень третього порядку можна знехтувати, так як величина цих спотворень мала.

Постановка задачі. Сучасні драйвери виробляються у вигляді інтегральних мікросхем (ІМС). Функціональна і еквівалентна схеми диференціальних драйверів сімейств AD813x і ADA493x виробництва компанії Analog Devices показані на рис.1, а, б відповідно.

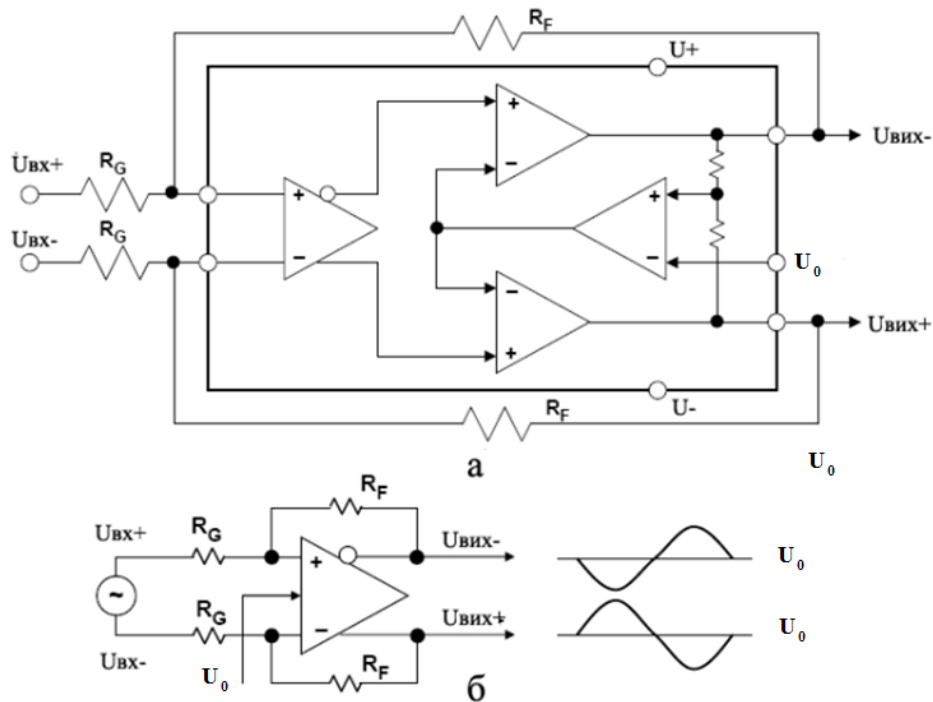


РИС. 1. Схеми драйверів: а – еквівалентна, б – функціональна

Теоретично, як драйвер швидкодіючих АЦП можна використовувати трансформатор, проте, в зв'язку з обмеженою смугою пропускання трансформатора, в широкосмуговому вимірювальному каналі доцільно використовувати ІМС диференціальних підсилювачів-драйверів з добре узгодженими вхідними/вихідними каналами.

Синфазна напруга зсуву U_0 на виході драйвера рівна:

$$U_0 = \frac{(U_{\text{вих}+} + U_{\text{вих}-})}{2}. \quad (4)$$

Враховуючи те, що напруга $U_{\text{вих}+}$ та $U_{\text{вих}-}$ зміщені одна відносно другої на 180° , то в диференціальному драйвері при відсутності на вході диференціального сигналу вихідна синфазна напруга буде рівна нулю. Відповідно до еквівалентної схеми підсилювача-драйвера (рис. 1, б), вхідний диференціальний опір $R_{\text{ВХg}}$:

$$R_{\text{ВХg}} = 2R_G.$$

Якщо у драйвера використовується лише один вхід (неінвертуючий), а інвертуючий заземлений, то вхідний опір:

$$R_{\text{ВХod}} = \frac{R_G}{1 - \frac{R_F}{2 \times (R_G + R_F)}}.$$

Типова схема включення драйвера ADAA4937-1 на вході 14-розрядного АЦП AD6645 подана на рис. 2. Драйвер сімейства ADA493x з коефіцієнтом підсилення від 1 до 4 забезпечує полосу пропускання до 100 МГц. У ньому передбачена можливість зсуву вихідного сигналу при однополярній напрузі живлення АЦП.

Для розрахунку такої схеми включення можуть бути використані інструменти моделювання компанії Analog Devices типу ADIsimDiffAmp. Особливості таких інструментів розглянуті далі.

Спектральна щільність вихідного шуму драйвера складає $5 \frac{\mu\text{В}}{\sqrt{\text{Гц}}}$, що спричиняє шум на вході АЦП в 103 мкВ (середньоквадратичне значення).

Зазначимо, що шум квантування АЦП AD6645 не перевищує 138 мкВ, а відношення сигнал/шум дорівнює 73 дБ, що призводить до сумарного шуму на виході АЦП в 172 мкВ. Якщо смуга вхідного сигналу вужча смуги пропускання цього АЦП, то на його вході може бути використаний однополюсний фільтр низьких частот (ФНЧ).

Схема широкосмугового вимірювального каналу з 14-розрядним АЦП AD9445, частота вибірки якого становить 125 МГц, показана на рис. 3.

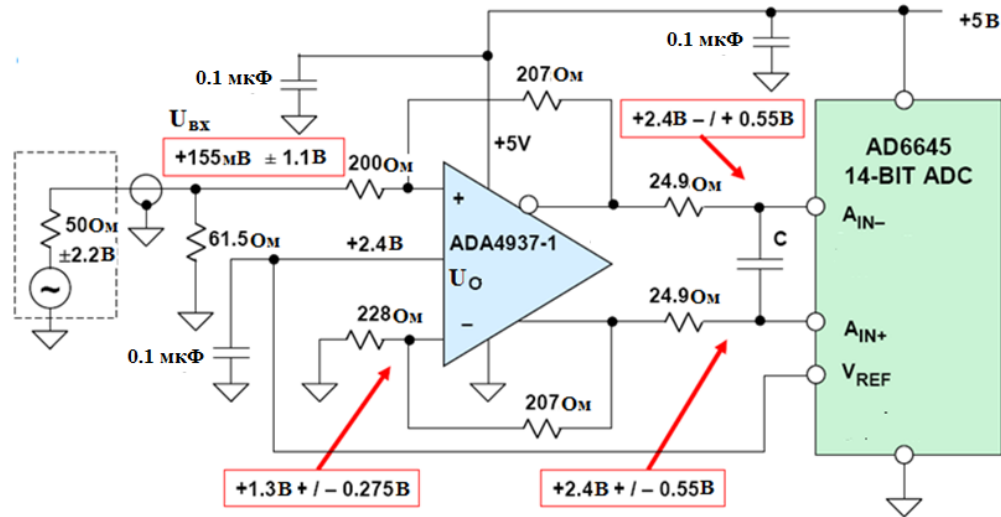


РИС. 2. Схема включення драйвера ADA4937-1 на вході АЦП AD6645

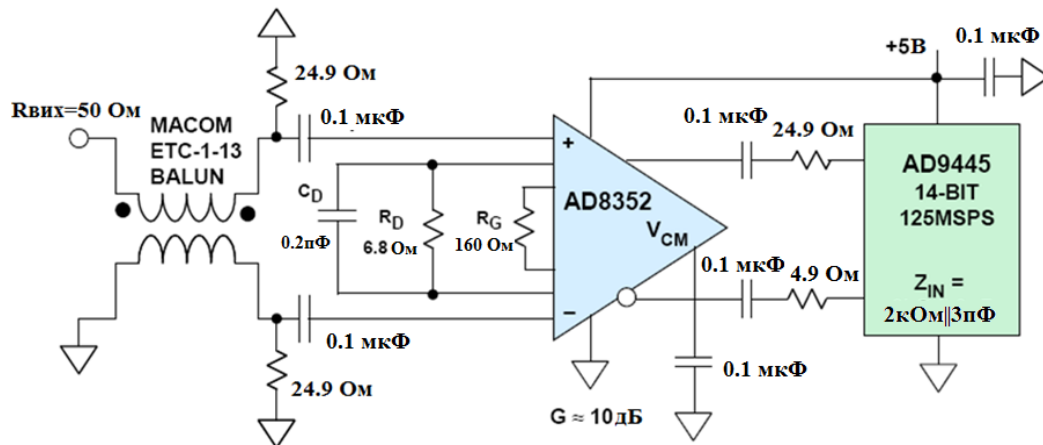


РИС. 3. Схема включення драйвера AD8352 на вході АЦП AD9445

Смуга пропускання цього АЦП становить 615 МГц, динамічний діапазон неспотвореного сигналу – 95 дБн на частоті вхідного сигналу 100 МГц. В якості драйвера використано диференціальний підсилювач AD8352 з смугою пропускання 2 ГГц і регульованим коефіцієнтом підсилення G в діапазоні від 3 до 21 дБ. Регулювання коефіцієнта підсилення забезпечується зовнішнім резистором R_G . Підведений до входу шум підсилювача при $G = 10$ становить $2,7 \text{ нВ}/\sqrt{\text{Гц}}$, нелінійні спотворення третього порядку – 82 дБн на частоті

100 МГц. Нижня частота смуги пропускання вимірювального каналу становить 10 МГц. На вході каналу використовується трансформатор із смугою пропускання від 4,5 МГц до 3 ГГц, що перетворює несиметричний сигнал джерела в симетричний. Основні характеристики вимірювального каналу наступні:

- динамічний діапазон неспотвореного сигналу 83дБн на частоті входного сигналу 98,9 МГц і частоті вибірки 105 МГц;
- спектральна щільність шуму $8,5 \text{ нВ}/\sqrt{\text{Гц}}$ (307 мкВ, с.к.з) при $G = 10$;
- відношення сигнал/шум 67 дБ.

Віртуальна технологія проектування драйверів. При виборі типу драйвера-підсилювача необхідно враховувати ряд параметрів диференціального підсилювача, що потребує високої кваліфікації спеціаліста, а також вивчити схеми його підключення тощо [4, 5]. Компанія Analog Devices пропонує ряд програмних засобів, які дозволяють швидко здійснити попередню оцінку поведінки типового драйвера. Зокрема пропонуються як SPICE-моделі, так і засоби, які дозволяють оцінити підсилювач безпосередньо на сайті. Одним із таким інструментів є ADIsimDiffAmp [6], який доступний он-лайн безпосередньо на сайті компанії Analog Devices, www.analog.com (рис. 4).

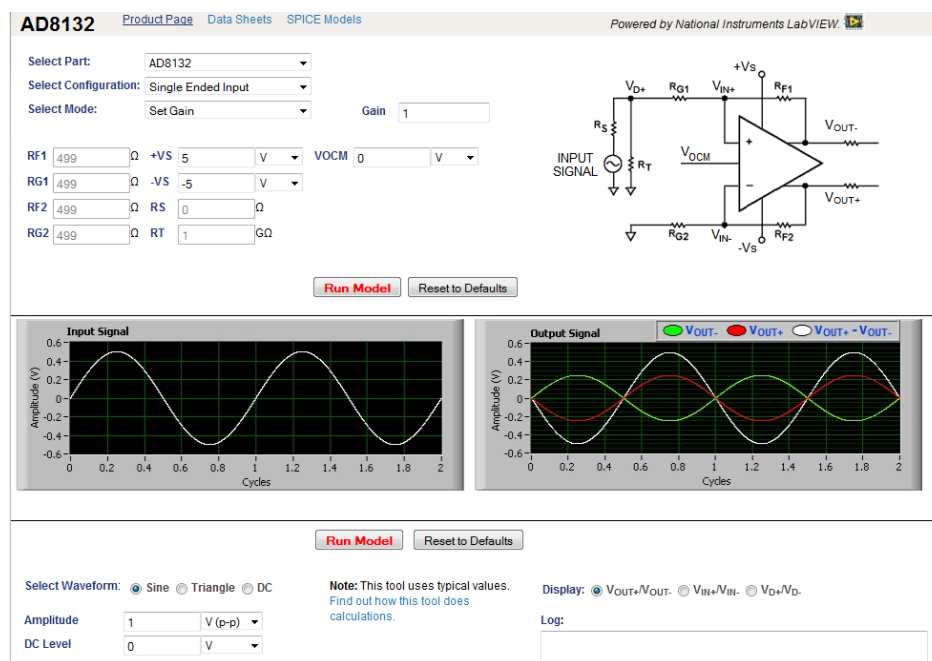


РИС. 4. Зовнішній вигляд вікна програми моделювання ADIsimDiffAmp

Призначенням даного засобу є допомога у виборі, оцінці й пошуку несправності при підключенні диференціальних операційних підсилювачів (ОП) до входу АЦП. Даний засіб використовує типові моделі схмотехнічних рішень, створених для ОП, дозволяє обчислити коефіцієнт підсилення вибраної схеми з певними параметрами або вказати, які значення повинні мати елементи схеми для отримання певного коефіцієнта підсилення. Також дозволяє задавати діапазони напруг на входах і отримувати значення на виходах, задавати бажаний вигляд вихідного сигналу (U_0) і рівень обмеження напруги. Це все супроводжується наочною візуалізацією вхідних і вихідних сигналів у вигляді графіків. Щоправда, цей засіб не обчислює, не моделює і не перевіряє частотну характеристику або ефективність пристрою. Для цієї мети краще скористатися спеціалізованими програмами для моделювання і тестування: SPICE, Multisim, Proteus. З цією метою компанія Analog Devices випускає відповідні спайс-моделі ОП (SPICE Macro Model).

Розглянутий нами засіб створений для швидкого вибору підсилювача і пошуку несправностей. Він також може використовуватися для ознайомлення з новими підсилювачами Analog Devices.

Інтерфейс інструмента ADIsimDiffAmp складається з 3-х частин:

- 1) вибору конфігурації (випадаючі меню і текстові форми вибору компонентів, схеми, завдання значень для окремих деталей схеми);
- 2) завдання форми вхідного сигналу;
- 3) засоби аналізу роботи операційного підсилювача (графіки, текстова форма для виводу помилок та попереджень).

Так, при виборі конфігурації з меню Select Configuration, можна вибрати вид схеми, наприклад, (рис. 5):

- 1) з несиметричним входом (Single-Ended Input);
- 2) з несиметричним входом та зсувом (Single Ended Input-Offset);
- 3) з диференціальним входом;
- 4) з підсилення без зовнішніх резисторів (Resistorless Gain of 2).

У залежності від того, що необхідно отримати на виході, програма дозволяє користувачу ввести бажаний коефіцієнт підсилення, а програма сама обчислить і покаже рекомендовані значення резисторів (R_{F1} , R_{G1} , R_{F2} , R_{G2}). Також користувачу надається можливість ввести значення резисторів, напругу живлення і програма обчислить коефіцієнт підсилення при заданих параметрах. У разі введення параметрів, що можуть призвести до виходу з ладу ОП або неправильної його роботи, будуть виведені відповідні рекомендації. Також можна задати форму вхідного сигналу: синусоїдальну, триангулярну чи у вигляді цифрового сигналу.

Таким чином, використання нових інформаційних технологій проектування дає можливість ще на етапі проектування оцінити параметри пристрою, перевірити його працездатність і т. п.

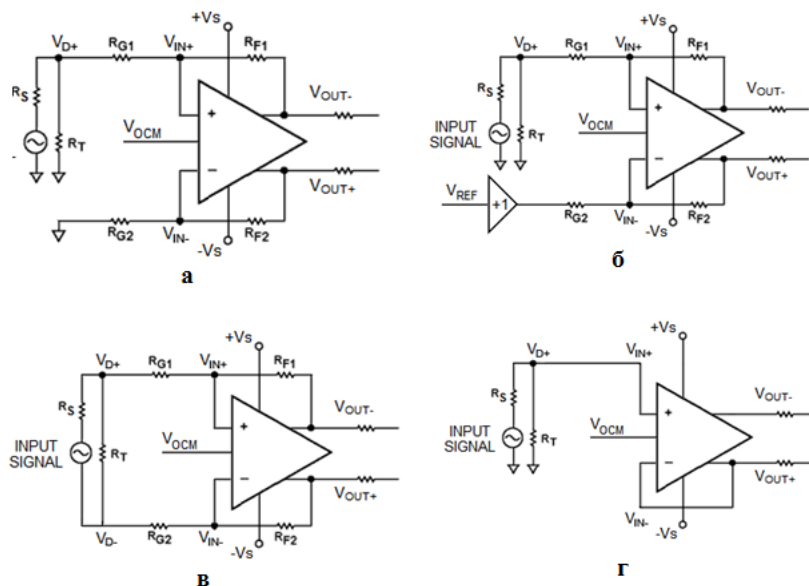


РИС. 5. Типові схеми підключення підсилювача: а – з несиметричним входом; б – з несиметричним входом та зсувом; в – з диференціальним входом; г – з підсиленням без зовнішніх резисторів

Висновки. Для зменшення нелінійних спотворень при з'єднанні швидкодіючого диференціального АЦП з несиметричним джерелом вихідного сигналу доцільно використовувати широкосмугові підсилювачі-драйвери на основі інтегральних мікросхем.

Широкосмуговий підсилювач-драйвер має бути узгоджений з швидкодіючим АЦП як по смузі пропускання, так і по рівню шумів. При цьому параметри драйвера мають бути кращими порівняно з аналогічними параметрами перетворювача.

Для розрахунку типової конфігурації драйверів запропоновані засоби моделювання компанії Analog Devices і методи їх застосування.

1. Звонарев Е. Драйверы для АЦП на основе ОУ компании Texas Instruments // Компоненты и технологии. – 2007. – № 11. – http://www.kit-e.ru/articles/usil/2007_11_33.php
2. Дифференциальный драйвер для быстродействующих АЦП // Электронные компоненты и системы. – 2010. – № 5. – С. 6 – 9.
3. MT-075 Tutorial. Differential Drivers for High Speed ADCs Overview – <http://www.analog.com/static/imported-files/tutorials/MT-075.pdf>
4. MT-076 Differential Driver Analysis. – <http://www.analog.com/static/imported-files/tutorials/MT-076.pdf>
5. Walter G. Jung. Op. Amp. Applications, Analog Devices, 2002. – http://www.analog.com/library/analogDialogue/archives/39-05/op_amp_applications_handbook.html
6. ADIsimDiffAmp – <http://designtools.analog.com/dtDiffAmpWeb/dtDiffAmpMain.aspx>

Отримано 29.07.2010