

Як вибрати джерело опорної напруги

Брендон Хелан (Brendan Whelan)

Ми живемо в аналоговому світі. Усі електронні пристрої, чи то автомобіль, чи то мікрохвильова піч, чи то мобільний телефон, мають якимось чином взаємодіяти з «реальним» світом. Для цього електроніка повинна мати можливість перетворювати величини реального світу (швидкість, тиск, довжина, температура) на відповідну величину зі світу електроніки (напруга).

НАВИЩО ПОТРІБНІ ДЖЕРЕЛА ОПОРНОЇ НАПРУГИ?

Звісно, для вимірювання напруги вам потрібне якесь еталонне або опорне значення. Його може надати джерело опорної напруги. Питання, яке має поставити собі будь-який розробник системи, полягає не в тому, чи потрібне йому джерело опорної напруги, а в тому, яке саме джерело опорної напруги йому необхідне?

Джерело опорної напруги являє собою всього лише схему або елемент схеми, який забезпечує відомий потенціал протягом терміну служби пристрою. Це можуть бути хвилини, години або роки. Якщо для функціонування кінцевого пристрою потрібна інформація про параметри реального світу, як-от, наприклад, напруга або струм акумуляторної батареї, енергоспоживання, величина сигналу або його характеристики чи будь-які індикатори збоїв у роботі, то отриманий сигнал необхідно порівняти з опорним значенням.

Щоб нормально функціонувати, кожен компаратор, АЦП, ЦАП або схема виявлення повинні мати джерело опорної напруги (рис. 1). Порівнюючи сиг-

нал, що цікавить, з відомим значенням, можна з високою точністю визначити величину будь-якого сигналу.

ХАРАКТЕРИСТИКИ ДЖЕРЕЛ ОПОРНОЇ НАПРУГИ

Джерела опорної напруги випускаються в різних варіантах і мають різні функції, але зрештою найважливішими характеристиками джерел опорної напруги вважаються точність і стабільність, оскільки основна мета джерела опорної напруги — забезпечення відомої вихідної напруги. Відхилення від цього відомого значення є похибкою. Характеристики джерел опорної напруги (табл. 1), як правило, дають змогу передбачити похибку опорної напруги за певних умов за допомогою параметрів, наведених далі.

Початкова точність

Цей параметр являє собою відхилення вихідної напруги, виміряне за заданої температури, зазвичай +25 °С. Хоча початкова вихідна напруга може варіюватися залежно від компонента, якщо вона є постійною для цього компонента, то її можна легко відкалібрувати.

Температурний дрейф

Цю характеристику найширше використовують для оцінювання якості роботи джерела опорної напруги, оскільки вона показує зміну вихідної напруги залежно від температури. Температурний дрейф викликаний недосконалістю і нелінійністю елементів схеми і в результаті часто має нелінійну характеристику.

Для багатьох компонентів основним джерелом помилок і похибок стає температурний дрейф, виражений температурним коефіцієнтом, вимірюваним у ppm/°С. Компоненти з постійним дрейфом можна відкалібрувати. Поширена помилка щодо температурного дрейфу полягає в тому, що він видається лінійним. Це призводить до таких припущень, як, наприклад, «у компонента дрейф буде меншим під час роботи в меншому діапазоні температур». Найчастіше буває все з точністю до навпаки. Температурний коефіцієнт зазвичай задається у вигляді чорної скриньки, щоб дати уявлення про ймовірну похибку в усьому діапазоні робочих температур. У результаті виходить розрахункове значення, що ґрунтується тільки на мінімальному і максимальному значеннях напруги та не враховує температури, за яких виникають ці екстремуми.

У випадку з джерелами опорної напруги, що мають високу лінійність у зазначеному температурному діапазоні, або у випадку, якщо вони не були ретельно відкалібровані, можна припустити, що похибка в найгіршому випадку пропорційна температурному діапазону. Це пов'язано з тим, що максимальна і мінімальна вихідна напруга, найімовірніше, будуть знайдені при максимальній і мінімальній робочій температурі. Однак у разі дуже ретельно відкаліброваних джерел опорної напруги, які в основному ідентифікують за їхнім дуже низьким температурним дрейфом, нелінійний характер зміни опорної напруги може домінувати.

Наприклад, характер роботи джерела опорної напруги з температурним коефіцієнтом 100 ppm/°С має тенденцію

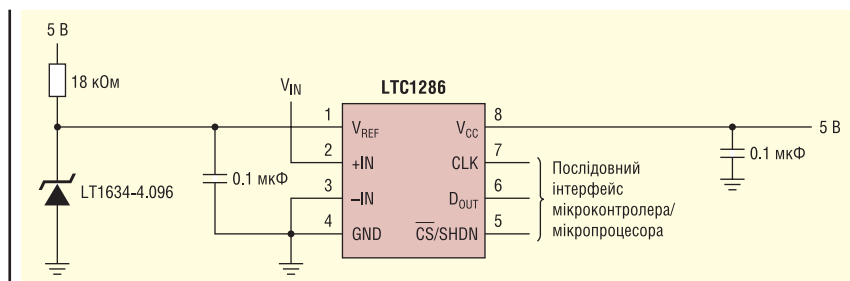


Рис. 1. Типовий приклад використання джерела опорної напруги з АЦП

Таблиця 1. Характеристики високоякісних джерел опорної напруги

	Температурний коефіцієнт, ppm/°C	Початкова точність, %	I _{корист}	Архітектура	V _{вихг} В	Шум напруги*, ppm	Довготривалий дрейф	Корпус
LT1031	5	0.05	1.2 мА	Стабілітрон із прихованою структурою	10	0.6	15 ppm/тис. год	H
LT1019	5	0.05	650 мкА	Бандгап	2.5/4.5/5/10	2.5		SO-8, PDIP
LT1027	5	0.05	2.2 мА	Стабілітрон із прихованою структурою	5	0.6	20 ppm/міс.	SO-8, PDIP
LT1021	5	0.05	800 мкА	Стабілітрон із прихованою структурою	5/7/10	0.6	15 ppm/тис. год	SO-8, PDIP, H
LTC6652	5	0.05	350 мкА	Бандгап	1.25/2.048/2.5/3/3.3/4.096/5	2.1	60 ppm/тис. год	MSOP
LT1236	5	0.05	800 мкА	Стабілітрон із прихованою структурою	5/10	0.6	20 ppm/тис. год	SO-8, PDIP
LT1461	3	0.04	35 мкА	Бандгап	2.5/3/3.3/4.096/5	8	60 ppm/√тис. год	SO-8
LT1009	15	0.2	1.2 мА	Бандгап	2.5	–	20 ppm/тис. год	MSOP-8, SO-8, Z
LT1389	20	0.05	700 нА	Бандгап	1.25/2.5/4.096/5	20	–	SO-8
LT1634	10	0.05	7 мкА	Бандгап	1.25/2.5/4.096/5	6	–	SO-8, SOP-8, Z
LT1029	20	0.20	700 мкА	Бандгап	5	–	20 ppm/тис. год	Z
LM399	1	2	15 мА	Стабілітрон із прихованою структурою	7	1	8 ppm/√тис. год	H
LTZ1000	0,05	4	–	Стабілітрон із прихованою структурою	7.2	0.17	2 мкВ/√тис. год	H

Примітка. *0.1–10 Гц у розмаху.

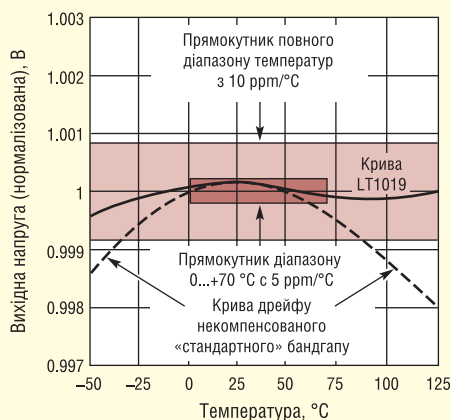


Рис. 2. Температурні характеристики джерел опорної напруги

здаватися досить лінійним у будь-якому діапазоні температур, оскільки дрейф через невідповідність компонентів повністю приховує властиву нелінійність. Навпаки, температурний дрейф джерела опорної напруги з температурним коефіцієнтом 5 ppm/°C, буде характеризуватися нелінійностями.

Це легко побачити на графіку залежності вихідної напруги від температури, показаному на рисунку 2. Зверніть увагу, що тут представлено дві можливі температурні характеристики. Характеристика некомпенсованого бандгапа має вигляд параболі з мінімумами на екстремумах температури та максимумами в середині. Показана тут характеристика бандгапа з температурною компенсацією, такого як LT1019, має вигляд S-подібної кривої з найбільшим нахилом поблизу центру температурного діапазону. В останньому випадку нелінійність збільшується, у зв'язку з чим сумарна похибка за температурою зменшується.

Найповнішим чином характеристику температурного дрейфу можна використовувати, обчисливши максимальну сумарну похибку в певному діапазоні температур. Як правило, недоцільно обчислювати похибки в невизначених діапа-

зонах температур, якщо не вивчені характеристики температурного дрейфу.

Довготривала стабільність

Це міра тенденції джерела опорної напруги до зміни робочих характеристик у часі, незалежно від інших змінних. Початкові зміщення значною мірою проявляються внаслідок змін механічного напруження, які, як правило, відбуваються через різницю у швидкості розширення підкладки з виводами, кристала та корпусу мікросхеми. Унаслідок такої механічної напруги виникає великий початковий зсув, але він швидко зменшується з часом.

Початковий дрейф також передбачає зміни електричних характеристик елементів схеми, зокрема встановлення характеристик пристрою на атомарному рівні. Довготривалі зміщення спричинені електричними змінами в елементах схеми, часто званими «старінням». Цей дрейф проявляється з меншою швидкістю порівняно з початковим дрейфом і з часом ще більше зменшується. Тому його часто виражають як дрейф/√тис. год. Джерела опорної напруги старіють швидше за вищих температур.

Тепловий гістерезис

Ця характеристика, яку часто не беруть до уваги, також може бути основним джерелом похибок. Тепловий гістерезис має механічну природу і є результатом зміни механічного напруження кристала через термоцикування (циклічної зміни температури). Гістерезис можна спостерігати як зміну вихідної напруги за заданої температури після великого температурного циклу. Він не залежить від температурного коефіцієнта та часового дрейфу і знижує ефективність початкового калібрування напруги.

Вихідна напруга більшості джерел опорної напруги може варіюватися відносно номінальної вихідної напруги під час наступних температурних циклів, тому тепловий гістерезис зазвичай обмежується передбачуваним максимальним значенням. Кожен виробник по-своєму вказує цей параметр, а тому типові значення можуть вводити в ома-

Таблиця 2. Джерела опорної напруги виробництва Analog Devices		
Тип	Компонент	Опис
Послідовні	LT1019	Прецизійний бандгап
	LT1021	Прецизійний малощумний стабілітрон із прихованою структурою
	LT1027	Прецизійний стабілітрон з прихованою структурою на 5 В
	LT1031	Прецизійний малощумний стабілітрон з малим дрейфом на 10 В
	LT1236	Прецизійний малощумний стабілітрон з прихованою структурою
	LT1258	Бандгап із мікроспоживанням і малим падінням напруги
	LT1460	Прецизійний бандгап із мікроспоживанням
	LT1461	Надпрецизійний бандгап із мікроспоживанням
	LT1790	Бандгап з мікроспоживанням і малим падінням напруги
	LT1798	Бандгап із мікроспоживанням і малим падінням напруги
	LT6650	Регульований бандгап із мікроспоживанням на 400 мВ
LTC6652	Прецизійний малощумний бандгап з малим падінням напруги	
Шунтові	LM129	Прецизійний стабілітрон з прихованою структурою на 6.9 В
	LM185	Стабілітрон із мікроспоживанням на 1.2/2.5 В
	LM399	Прецизійний стабілітрон на 7 В
	LT1004	Бандгап із мікроспоживанням на 1.2/2.5 В
	LT1009	Прецизійний бандгап на 2.5 В
	LT1029	Бандгап на 5 В
	LT1034	Двоканальний з мікроспоживанням (бандгап на 1.2 В/стабілітрон на 7 В)
	LT1389	Прецизійний бандгап із наноспоживанням
	LT1634	Прецизійний бандгап із мікроспоживанням
	LTZ1000	Надпрецизійний стабілітрон

ну. Дані про розподіл, представлені в технічній документації на такі компоненти, як LT1790 і LTC6652, набагато корисніші під час оцінювання похибки вихідної напруги.

Інші характеристики

До додаткових характеристик, які можуть бути важливими залежно від вимог, належать:

- шум напруги;
- стійкість до нестабільності напруги живлення/коефіцієнт придушення пульсації живлення;
- стабілізація за навантаженням;
- падіння напруги на джерелі;
- діапазон напруги живлення;
- діапазон струму живлення.

ТИПИ ДЖЕРЕЛ ОПОРНОЇ НАПРУГИ

Існує два основних типи джерел опорної напруги — шунтові та послідовні.

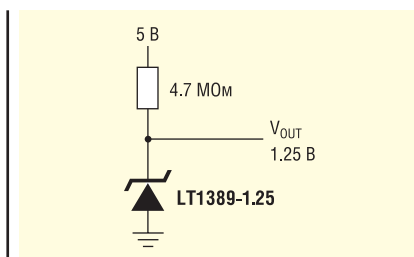


Рис. 3. Шунтне джерело опорної напруги

У таблиці 2 представлено послідовні та шунтові джерела опорної напруги виробництва Analog Devices.

Шунтові джерела опорної напруги

Шунтове джерело опорної напруги являє собою двовивідний пристрій, призначений, як правило, для роботи в певному діапазоні струмів. Хоча більшість шунтових пристроїв є бандгапами й мають різні вихідні напруги, їх можна уявляти просто стабілітроном, і вони так само прості у використанні, як стабілітрон.

У найпоширенішій схемі один вивід джерела опорної напруги під'єднано до «землі», а інший — до резистора. Інший вивід резистора під'єднується до шини живлення. По суті, схема стає трививідною. Загальна лінія, в якій з'єднані виводи джерела опорної напруги і резистора, є вихідною. Резистор має бути обраний таким чином, щоб мінімальний і максимальний струми через джерело опорної напруги перебували в зазначених межах у всьому діапазоні напруги живлення і струму навантаження. Такі джерела опорної напруги досить легко

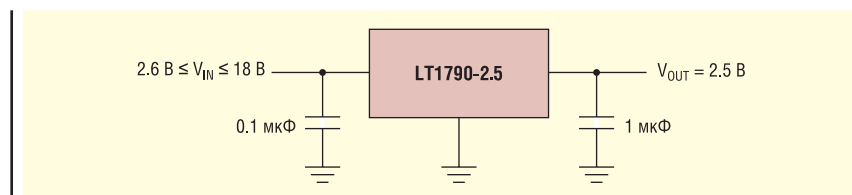


Рис. 4. Послідовне джерело опорної напруги

використовувати під час розроблення проектів, за умови, що напруга живлення і струм навантаження не надто різняться. Якщо один або обидва ці параметри можуть істотно змінюватися, то резистор повинен бути обраний з урахуванням таких змін, але тоді схема буде розсіювати значно більшу потужність, ніж потрібно при роботі в номінальному режимі. У цьому разі подібне джерело опорної напруги можна розглядати як підсилювач класу А.

До переваг шунтових джерел опорної напруги відносяться простота застосування, невеликі розміри і хороша стабільність в широкому діапазоні струмів і навантажень. Крім того, їх легко можна переробити на джерело негативної опорної напруги, водночас вони також можуть працювати з дуже високими напругами живлення, оскільки зовнішній резистор може утримувати більшу частину потенціалу, або з дуже низькими напругами живлення, оскільки вихідна напруга може бути лише на кілька мілівольт нижчою за напругу живлення. Analog Devices випускає шунтові пристрої, зокрема LT1004, LT1009, LT1389, LT1634, LM399 і LTZ1000. Типова схема з шунтовим джерелом опорної напруги представлена на рисунку 3.

Послідовні джерела опорної напруги

Послідовні джерела опорної напруги є пристроями з трьома (або більше) виводами. Вони більше схожі на регулятори з малим падінням напруги (Low Drop Out, LDO), тому здебільшого мають ті самі переваги. Зокрема, споживають відносно фіксовану величину струму в широкому діапазоні напруг живлення і проводять струм навантаження тільки тоді, коли цього вимагає навантаження. Це робить їх оптимальними для застосування в схемах із суттєвими діапазонами зміни напруги живлення або струму навантаження. Вони особливо ефективні в схемах з дуже великими струмами навантаження, оскільки в цьому разі між джерелом опорної напруги та джерелом живлення немає послідовного резистора.

До послідовних джерел опорної напруги, що випускаються Analog Devices, належать LT1460, LT1790, LT1461, LT1021, LT1236, LT1027, LTC6652, LT6660 і багато інших. Такі пристрої, як LT1021 і LT1019, можуть працювати або як шунтові, або як послідовні джерела опорної напруги. Схема з послідовним джерелом опорної напруги показана на рисунку 4.

СХЕМИ ДЖЕРЕЛ ОПОРНОЇ НАПРУГИ

Існує безліч варіантів дизайну мікросхем джерел опорної напруги. Кожен із них має певні переваги та недоліки.

Джерела опорної напруги на основі стабілітрона

Джерело опорної напруги на основі стабілітрона з прихованою структурою вирізняється відносно простою конструкцією. Стабілітрон (або лавинний діод) характеризується передбачуваною зворотною напругою, яка є відносно постійною зі зміною температури та постійною зі зміною часу. Ці діоди, як правило, мають дуже низький рівень шуму і високу стабільність у часі, якщо їх експлуатувати в невеликому діапазоні температур, що робить їх оптимальними варіантами для застосування в схемах, де зміни опорної напруги мають бути якомога меншими.

Подібна стабільність може бути пояснена відносно невеликою кількістю компонентів і малою площею кристала порівняно з іншими типами схем джерел опорної напруги, а також надійною конструкцією стабілітрона. Проте відносно високі відхилення початкової напруги та температурного дрейфу вважаються звичайним явищем. Для компенсації цих недоліків або для забезпечення діапазону вихідних напруг можуть бути використані додаткові кола. Стабілітрони застосовуються як у шунтових, так і в послідовних джерелах опорної напруги.

У таких пристроях, як LT1021, LT1236 і LT1027, передбачено вбудовані джерела струму й підсилювачі для стабілізації напруги та струму стабілітрона з метою підвищення стабільності, а також для забезпечення різних вихідних напруг — наприклад, 5, 7 і 10 В. Ці додаткові кола роблять стабілітрон сумісним із різними прикладними схемами, але вимагають деякого додаткового запасу за напругою живлення та можуть призвести до появи додаткових похибок.

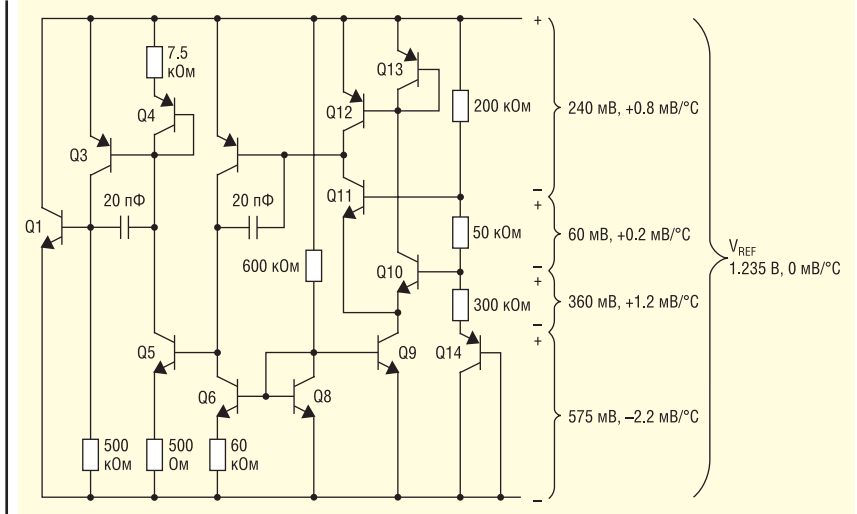


Рис. 5. Схема бандгапа розрахована на забезпечення теоретично нульового температурного коефіцієнта

У компонентах LM399 і LTZ1000 використовують вбудовані термоелементи та додаткові транзистори для стабілізації температурного дрейфу стабілітрона, забезпечуючи найкраще поєднання температурної та часової стабільності. Крім того, пристрої на основі стабілітрона мають дуже низький рівень шуму, що забезпечує найкращі робочі характеристики. LTZ1000 має температурний дрейф $0.05 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$, довготривалу стабільність $2 \text{ мкВ}/\sqrt{\text{тис. год}}$ і шум 1.2 мкВ у розмаху. Наприклад, у разі застосування LTZ1000 у лабораторному приладі сумарна похибка опорної напруги через шум і температуру становитиме всього близько 1.7 ppm плюс частка 1 ppm на місяць через старіння.

Бандгапи

Хоча стабілітрони можна використовувати для створення джерел напруги з дуже високими характеристиками, їм притаманні свої недоліки. Зокрема, їм потрібна напруга живлення вище 7 В, і вони генерують обмежений набір вихідних напруг. Навпаки, бандгапи (джерела опорної напруги, величина яких визначається шириною забороненої зони використовуваного напівпровідника) можуть генерувати різні вихідні напруги, що відрізняються від напруги живлення на невелику величину, яка нерідко становить менше ніж 100 мВ. Бандгапи можуть бути розроблені так, щоб забезпечувати дуже точні початкові вихідні напруги і низький температурний дрейф, що усуває потребу в трудомісткому калібруванні цих пристроїв у польових умовах.

Принцип роботи бандгапів заснований на базовій характеристиці біполяр-

них транзисторів. На рисунку 5 показано спрощений варіант схеми бандгапа LT1004. Тут можна побачити, що неузгоджена пара біполярних транзисторів має різницю в напрузі база-емітер, пропорційну температурі. Цю різницю можна використовувати для створення струму, що лінійно зростає з температурою. Коли струм проходить через резистор і транзистор, зміна напруги база-емітер транзистора з температурою компенсує зміну напруги на резисторі. Хоча ця компенсація не є повністю лінійною, її можна компенсувати й додатковою схемою, щоб отримати дуже низький температурний дрейф.

Математика, що лежить в основі принципу роботи базового бандгапа, цікава тим, що в її межах використовують відомі температурні коефіцієнти з унікальними відношеннями резисторів для отримання опорної напруги з теоретично нульовим температурним дрейфом. На рисунку 5 показано два транзистори, масштабовані таким чином, що площа емітера транзистора Q10 у 10 разів більша за площу емітера транзистора Q11, а струм колектора транзисторів Q12 і Q13 однаковий. Завдяки цьому створюється відома напруга між базами двох транзисторів:

$$\Delta V_{BE} = \frac{kT}{q} \ln\left(\frac{\text{площа Q10}}{\text{площа Q11}}\right), \quad (1)$$

де k — постійна Больцмана ($1.38 \times 10^{-23} \text{ Дж/К}$); T — температура (К); q — заряд електрона ($1.6 \times 10^{-19} \text{ Кл}$). За $+25^\circ\text{C}$ відношення kT/q дорівнюватиме 25.7 мВ із позитивним температурним коефіцієнтом, що дорівнює $86 \text{ мкВ}/^\circ\text{C}$. ΔV_{BE} — це напруга, помножена на $\ln(10)$,

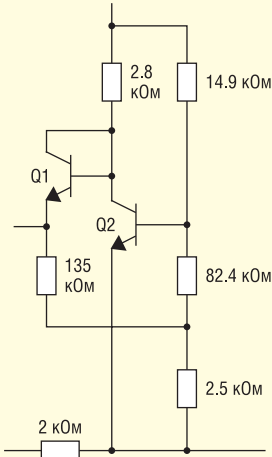


Рис. 6. Схема джерела опорної напруги 200 мВ

або 2.3 для напруги, що дорівнює приблизно 60 мВ, за +25 °С і коефіцієнта температури 0.2 мВ/°С.

Застосування цієї напруги до резистора опором 50 кОм, підключеного між базами, призводить до створення струму, пропорційного температурі. Цей струм зміщує діод Q14 з напругою 575 мВ за +25 °С і температурним коефіцієнтом -2.2 мВ/°С. Для генерації падіння напруги з позитивними температурними коефіцієнтами використовують резистори, і ці падіння напруги додають до напруги на діоді Q14, створюючи опорну напругу, що дорівнює приблизно 1.235 В, з теоретичним температурним коефіцієнтом 0 мВ/°С. Такі падіння напруги показано на рисунку 5. Завдяки балансу схеми забезпечуються струми зміщення та необхідні вихідні струми.

Компанія Analog Devices випускає широкий асортимент бандгапів, зокрема компактне і недороге прецизійне джерело опорної напруги LT1460, шунтове джерело опорної напруги LT1389 з надмалим споживанням шунтової напруги, а також LT1461 і LTC6652, що являють собою надпрецизійні джерела опорної напруги з малим дрейфом. У цьому асортименті можна знайти компоненти з вихідними напругами 1.2/1.25/2.048/2.5/3/3.3/4.096/4.5/5 і 10 В. Ці опорні напруги можуть бути отримані під час роботи в широкому діапазоні напруг живлення і струмів навантаження з мінімальними втратами. Такі пристрої можуть бути дуже точними, як у випадку з LT1461, LT1019, LTC6652 і LT1790, або дуже компактними, як у випадку з LT1790 і LT1460 (у корпусі SOT23) або LT6660 у корпусі DFN розміром 2x2 мм; або з дуже малим

споживанням, як у випадку з LT1389, що споживає всього 800 нА. Хоча джерела опорної напруги на основі стабілітрона найчастіше мають менший рівень шуму і високу довготривалу стабільність, нові бандгапи, зокрема LTC6652, з розмахом шуму 2 ppm (у діапазоні від 0.1 до 10 Гц) скорочують цей розрив.

Дробові бандгапи

Це джерела опорної напруги, робота яких ґрунтується на температурних характеристиках біполярних транзисторів, але їхні вихідні напруги можуть становити лише кілька мілівольт. Вони є оптимальними варіантами для використання в схемах з дуже низькою напругою, особливо в компараторних колах, де граничне значення має бути меншим, ніж звичайна напруга бандгапа (приблизно 1.2 В).

На рисунку 6 показано схему основної частини LM10, яка поєднує елементи з пропорційною та обернено пропорційною залежністю від температури, що аналогічно до випадку зі стандартним бандгапом, це дає змогу отримати на виході постійну опорну напругу 200 мВ. У дробовому бандгапі, як правило, використовується ΔV_{BE} для генерації струму, пропорційного температурі, і V_{BE} для генерації струму, обернено пропорційного температурі. Вони підсумовуються в необхідному співвідношенні на резисторному елементі для створення напруги, що не залежить від температури. Розмір резистора можна змінювати, щоб змінювати опорну напругу, не впливаючи на температурну характеристику. Це відрізняє схему дробового бандгапа від традиційної схеми стандартного бандгапа тим, що

в схемі дробового бандгапа підсумовуються струми, в той час як у схемах стандартних бандгапів підсумовуються напруги, як правило, це напруга база-емітер і добуток $I \times R$ з протилежним температурним коефіцієнтом.

Принцип роботи дробових бандгапів, таких як LM10, теж частково заснований на відніманні. У складі LT6650 у поєднанні з підсилювачем є джерело опорної напруги 400 мВ цього типу, що дає змогу змінювати опорну напругу, змінюючи коефіцієнти підсилювача, і забезпечує буферизований вихідний сигнал. За допомогою цієї простої схеми можна генерувати будь-яку вихідну напругу від 0.4 В до кількох мілівольт, нижчих за напругу живлення. У LT6700 (рис. 7) і LT6703, які являють

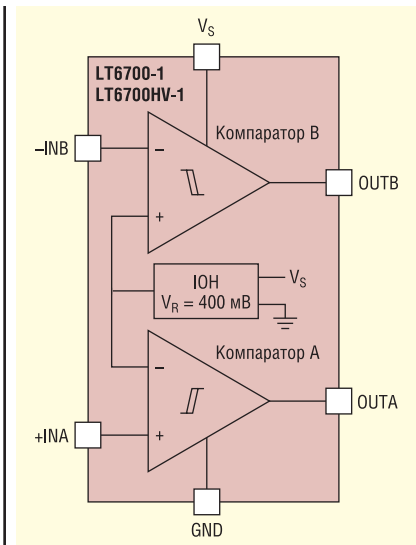


Рис. 7. LT6700 забезпечує порівняння сигналу з пороговими напругами від 400 мВ

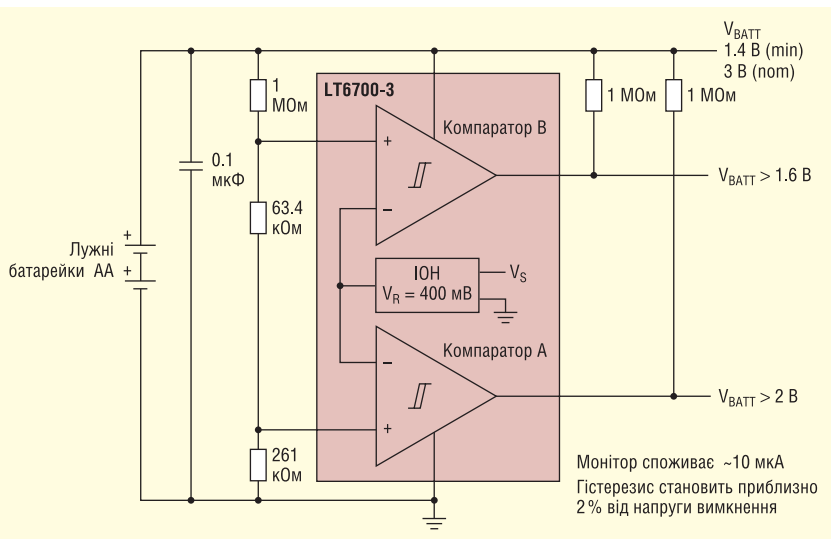


Рис. 8. Вищі порогові можна встановити за допомогою дільника вхідної напруги

собою рішення з більшим ступенем інтеграції, джерело опорної напруги 400 мВ поєднується з компараторами, і ці компоненти можуть використовуватися як монітори напруги або віконні компаратори. Джерело опорної напруги 400 мВ може забезпечити моніторинг слабких вхідних сигналів, що дає змогу знизити складність кіл моніторингу та контролювати елементи схеми, які працюють за дуже низької напруги живлення. Для організації вищих порогів можна додати простий резистивний дільник (рис. 8). Кожен із цих пристроїв випускають у компактному корпусі (SOT23), він споживає мало енергії (менше ніж 10 мкА) і працює в широкому діапазоні напруг живлення (1.4–18 В). Крім того, LT6700 виготовляють у DFN-корпусі розміром 2×3 мм, а LT6703 — у DFN-корпусі розміром 2×2 мм.

ЯК ВИБРАТИ ДЖЕРЕЛО ОПОРНОЇ НАПРУГИ

Отже, розглянувши всі ці типи джерел опорної напруги, перейдемо до питання про те, як вибрати оптимальне джерело опорної напруги для вашої схеми? Ось кілька порад, які можуть звузити діапазон варіантів.

- Напруга живлення є дуже високою? Виберіть шунтовий тип.
- Напруга живлення або струм навантаження змінюються в широкому діапазоні? Виберіть послідовний тип.
- Потрібен високий ККД? Виберіть послідовний тип.
- Визначте реальний температурний діапазон. Продукти Analog Devices забезпечують гарантовані характеристики та надійну роботу за різних діапазонів температур, зокрема 0...+70 °С, -40...+85 °С і -40...+125 °С.
- Будьте реалістами щодо необхідної точності. Важливо розуміти, яка точність необхідна для конкретної схеми. Це допоможе визначити критично важливі характеристики. З урахуванням цієї вимоги помножьте температурний дрейф на потрібний діапазон температур. Додайте початкову похибку точності, тепловий гістерезис і довготривалий дрейф протягом передбачуваного терміну служби пристрою. Відкиньте всі параметри, які будуть калібруватися на заводі або періодично повторно калібруватися. Це дасть уявлення про повну точність. У випадку

з найбільш вимогливими системами можна врахувати шуми, похибки стабілізації напруги живлення і стабілізації напруги навантаження. Наприклад, джерело з початковою похибкою 0.1% (1000 ppm), температурним дрейфом 25 ppm/°С у діапазоні температур -40...+85 °С, тепловим гістерезисом 200 ppm, шумом 2 ppm у розмаху та тимчасовим дрейфом 50 ppm/√тис. год матиме сумарну похибку понад 4300 ppm на момент початку роботи схеми. Ця похибка збільшуватиметься на 50 ppm протягом перших 1000 год роботи схеми. Початкову точність можна відкалібрувати, зменшивши похибку до 3300 ppm + 0 ppm × √(t/1000 год).

- Який реальний діапазон напруги живлення? Яка максимальна очікувана напруга живлення? Чи будуть виникати збої, як-от скидання навантаження акумуляторної батареї або стрибки індуктивного живлення під час гарячої заміни, які джерело опорної напруги має витримувати? Відповіді на ці запитання можуть значно скоротити кількість варіантів під час вибору.
- Скільки енергії може споживати джерело опорної напруги? За енергоспоживанням джерела опорної напруги, як правило, діляться на кілька категорій: понад 1 мА, ~500 мкА, <300 мкА, <50 мкА, <10 мкА, <1 мкА.
- Який струм навантаження? Чи буде навантаження споживати значний струм або видавати струм, який джерело опорної напруги повинно буде споживати? Багато джерел опорної напруги можуть подавати на навантаження тільки невеликі струми, і лише деякі можуть споживати значний струм. У цьому разі оптимальний вибір можна здійснити тільки після аналізу характеристик кола стабілізації навантаження.
- Скільки місця на платі у вас є? Джерела опорної напруги випускають у найрізноманітніших корпусах, зокрема в металевих циліндричних корпусах, пластикових корпусах (DIP, SOIC, SOT) і дуже компактних корпусах, наприклад, як у випадку з LT6660, у корпусі DFN розміром 2×2 мм. Існує широко поширена думка, що джерела опорної напруги в корпусах більшого розміру мають меншу похибку, ніж у компонентів у більш компактних корпусах, внаслідок меншого впливу механічної напруги. Хоча є справедливим той

факт, що деякі джерела опорної напруги в корпусах великого розміру можуть мати вищі характеристики, є дані, які свідчать про те, що відмінності в характеристиках не мають прямого відношення до розміру корпусу. Більш імовірним є припущення, що, оскільки для продуктів, які випускають у менших корпусах, використовують компактніші кристали, необхідно піти на деякі компроміси щодо робочих характеристик, щоб розмістити схему на кристалі. Як правило, спосіб монтажу корпусу має більш істотне значення в плані забезпечення високих характеристик, ніж тип корпусу, — ретельний вибір методів і місць монтажу може максимізувати робочі характеристики. Крім того, пристрої з меншими розмірами можуть забезпечувати менше навантаження під час вигину друкованої плати, ніж пристрої з більшими розмірами. Про це докладно розказано у вказівках щодо застосування AN82 «Розуміння принципів роботи та застосування джерел опорної напруги» (*Understanding and Applying Voltage References*) [1].

ВИСНОВОК

Компанія Analog Devices пропонує широкий асортимент джерел опорної напруги. До них належать як послідовні, так і шунтові пристрої на основі стабілітронів, бандгапи та інші типи джерел опорної напруги. Вони випускаються з різними робочими характеристиками, різними температурними діапазонами та в корпусах різних типів. Асортимент цієї продукції представлений широкою номенклатурою пристроїв, починаючи з прецизійних і закінчуючи компактними та недорогими компонентами. Завдяки такому широкому асортименту джерел опорної напруги Analog Devices розробники зможуть знайти оптимальне рішення, що задовольняє вимогам практично будь-якого проекту.

Для отримання додаткової інформації можна ознайомитися з вказівками щодо застосування AN82 «Розуміння принципів роботи та застосування джерел опорної напруги» [1].

Література:

1. <https://www.analog.com/en/resources/app-notes/an-82f.html> **CN**