

# Wzmacniacze operacyjne o zerowym dryfcie

## Właściwości i zastosowania

*Wzmacniacze o zerowym dryfcie temperaturowym i czasowym, dynamicznie korygują napięcie offsetu oraz zmieniają kształt rozkładu gęstości mocy szumów. Powszechnie stosowane są dwie rodziny takich wzmacniaczy tj. samozerujące się (auto-zero) oraz z przetwarzaniem (choppers). Charakteryzują się one bardzo małym napięciem niezrównoważenia (rzędu nV) oraz niezwykle małym dryfem temperaturowym i czasowym. Szum 1/f wzmacniacza również jest traktowany jako błąd DC i jest eliminowany.*

Wzmacniacze o zerowym dryfcie (zero-drift) mają więc bardzo korzystne właściwości, gdyż dryft temperaturowy i szum 1/f są głównymi utrapieniami projektantów, ponieważ nie są łatwe do wyeliminowania przy użyciu prostych metod. Ponadto, wzmacniacze o zerowym dryfcie mają zazwyczaj większe wzmocnienie w konfiguracji otwartej pętli sprzężenia zwrotnego, większe tłumienie szumów i tętnień napięcia zasilania oraz sygnału wspólnego niż wzmacniacze standardowe. Ich sumaryczny błąd wyjściowy jest więc mniejszy niż występujący przy użyciu standardowych wzmacniaczy precyzyjnych w tej samej konfiguracji.

Wzmacniacze o zerowym dryfcie są przewidziane do stosowania w urządzeniach, których spodziewany czas użytkowania jest dłuższy niż 10 lat, a w torach sygnałowych są niezbędne duże wzmocnienia (>100) lub praca w konfiguracji otwartej pętli, ponadto z sygnałami o małej częstotliwości (<100 Hz) i niewielkiej amplitudzie. Do przykładowych aplikacji można zaliczyć precyzyjne wagi, aparaturę medyczną, precyzyjne przyrządy pomiarowe oraz przedwzmacniacze czy układy kondycjonujące sygnałów z czujników podczerwieni, mostków pomiarowych i czujników termoelektrycznych.

### Działanie wzmacniacza samozerującego się

We wzmacniaczach samozerujących się, takich jak AD5838, AD8638, AD8551 i AD8571, następuje korekcja wejściowego napięcia offsetu zazwyczaj w dwóch cyklach zegarowych. W czasie cyklu zegarowego A klucze oznaczone literą A są zamknięte, a klucze B są otwarte (rys. 1). Napięcie offsetu wzmacniacza zerującego jest utrzymywane na kondensatorze  $C_{M1}$ . Natomiast w czasie cyklu zegarowego B klucze oznaczone literą B są zamknięte, a oznaczone literą

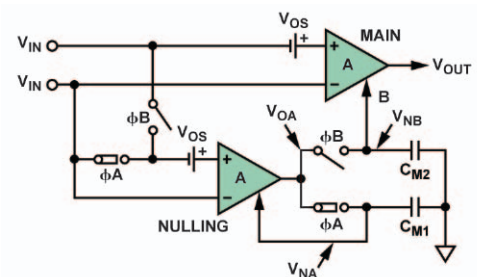
A otwarte (rys. 2). Napięcie offsetu wzmacniacza głównego jest utrzymywane na kondensatorze  $C_{M2}$  w czasie, gdy napięcie z kondensatora  $C_{M1}$  dostosowuje się do napięcia offsetu wzmacniacza zerującego. Sumaryczne napięcie offsetu jest następnie podawane na główny wzmacniacz w trakcie przetwarzania sygnału wejściowego.

Funkcja próbkująco-pamiętająca we wzmacniaczu samozerującym zmienia go w układ próbkujący, czyniąc podatnym na efekty aliasingu i przenoszenia się szumów do pasma podstawowego. Przy małych częstotliwościach szum zmienia się wolno, więc odejmowanie dwóch kolejnych próbek napięcia szumu umożliwia jego eliminowanie. Natomiast, przy większych częstotliwościach skuteczność takiej eliminacji maleje, a błędy odejmowania powodują, że składowe szerokopasmowe szumów przenoszą się do pasma podstawowego. Tym samym wzmacniacze samozerujące mają więcej szumów wewnątrz pasma niż standardowe. W celu zmniejszenia szumów niskoczęstotliwościowych należy zwiększyć częstotliwość próbkowania, co jednak wprowadza efekt wstrzyknięcia dodatkowego ładunku do kondensatora pamiętającego. Ścieżka sygnałowa zawiera jedynie główny wzmacniacz, a więc można uzyskać stosunkowo szerokie pasmo wzmocnienia jednostkowym.

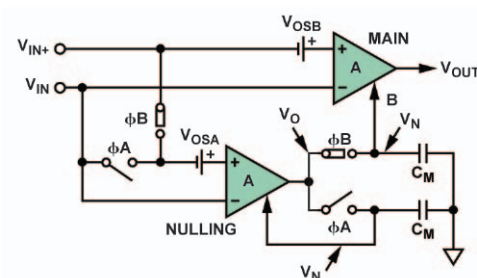
### Działanie wzmacniacza z przetwarzaniem

Na rys. 3 przedstawiono schemat blokowy wzmacniacza prądu stałego z przetwarzaniem ADA4051, który ma lokalną pętlę autokorekcji sprzężenia zwrotnego (ACFB – Autocorrection

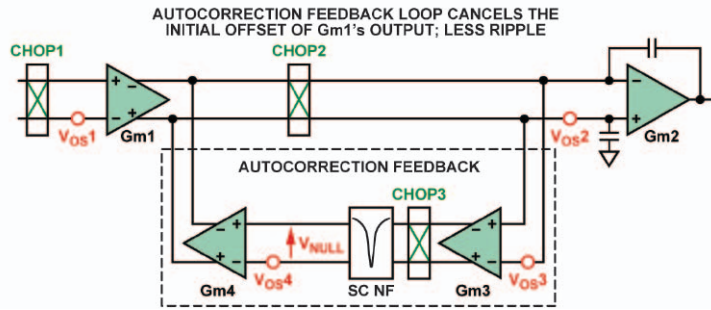
Feedback Loop). W głównej ścieżce sygnałowej jest wejściowy obwód przerywający (klucz - CHOP1), wzmacniacz transkonduktancji  $G_{m1}$ , wyjściowy klucz przerywający CHOP2 oraz wzmacniacz transkonduktancji  $G_{m2}$ . CHOP1 i CHOP2 przekształcają (modulują impulsowo) początkowe napięcie offsetu oraz szum 1/f ze wzmacniacza  $G_{m1}$  z określoną częstotliwością kluczowania. Wzmacniacz transkonduktancji  $G_{m3}$  odbiera zmodulowane zniekształcenia na wyjściu obwodu CHOP2. Klucz CHOP3 demoduluje te zniekształcenia do napięcia stałego. Wszystkie obwody kluczujące są przełączane z częstotliwością 40 kHz. W ostatniej fazie wzmacniacz transkonduktancji  $G_{m4}$  usuwa składową stałą na wyjściu wzmacniacza  $G_{m1}$ , która w przeciwnym przypadku powodowałaby tętnienia na wyjściu całego wzmacniacza. Filtr z przełączaną pojemnością SCNF (Switched Capacitor Notch Filter) selektywnie tłumi niepożądane tętnienia związane z napięciem offsetu, bez usuwania pożądanego sygnału wejściowego z sygnału wyjściowego. Jest on zsynchronizowany z częstotliwością pracy obwodu kluczujące-



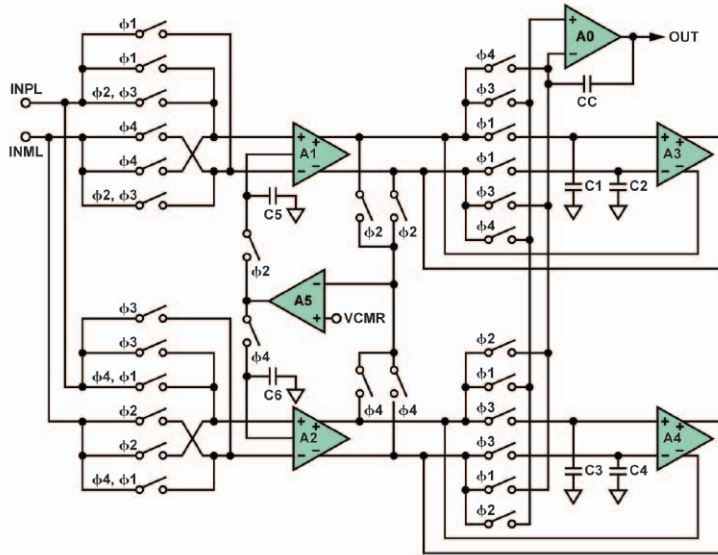
Rys. 1. Cykl pracy A wzmacniacza auto-zero: faza zerowania wzmacniacza zerującego



Rys. 2. Cykl pracy B wzmacniacza auto-zero: faza auto-zero wzmacniacza głównego



Rys. 3. Schemat obwodów kluczujących w układzie ADA4051



Rys. 4. Wzmacniacz AD8628 łączący techniki samozerowania i kluczowania w celu poszerzenia pasma

go w celu dokładnego odfiltrowania składowych zmodulowanych.

Dokładnie taki efekt został uzyskany w nowej serii wzmacniaczy firmy Analog Devices. We wzmacniaczach o zerowym dryfcie AD8628 (rys. 4) zastosowano obie opisywane techniki aby zredukować napięcie w pobliżu częstotliwości kluczowania, jednocześnie utrzymując szum na niskim poziomie przy mniejszych częstotliwościach. Umożliwia to uzyskanie szerszego pasma niż to było możliwe w tradycyjnych wzmacniaczach o zerowym dryfcie.

**Problemy występujące przy korzystaniu ze wzmacniaczy o zerowym dryfcie**

Wzmacniacze o zerowym dryfcie są wzmacniaczami złożonym, w których występuje cyfrowy blok dynamicznej korekcji napięcia offsetu. Efekty wstrzykiwania ładunku, skrośnego przenikania sygnału zegarowego (*clock feedthrough*), zniekształcenia intermodulacyjne oraz zwiększony czas powrotu ze stanu przeciążenia, spowodowane cyfrowym przełączaniem, mogą nasręcać problemy w źle zaprojektowanych obwodach analogowych. Wielkość skrośnego przenikania sygnału zegarowego zwiększa się wraz ze zwiększeniem wzmocnienia zamkniętej pętli sprzężenia zwrotnego lub ze zwiększeniem rezystancji źródła. Dodanie filtra na wyjściu lub stosowanie małej rezystancji na

wejściu nieodwracającym zmniejsza ten efekt. Ponadto, tętnienia wyjściowe wzmacniacza o zerowym dryfcie zwiększają się wraz ze zbliżaniem się częstotliwości sygnału wejściowego do częstotliwości kluczowania.

Sygnały o częstotliwości większej niż częstotliwość samozerowania mogą być wzmocnione. Prędkość pracy wzmacniacza samozerującego jest zależna od pola wzmocnienia. Zależy ono od parametrów wzmac-

niacza głównego a nie od wzmacniacza zerującego. Częstotliwość samozerowania jest tą, powyżej której zniekształcenia związane z przełączaniem zaczynają się ujawniać.

**Różnice między wzmacniaczami z przetwarzaniem a samozerującymi się**

We wzmacniaczach samozerujących się jest stosowane próbkowanie do zmniejszenia offsetu, podczas gdy we wzmacniaczach z przetwarzaniem jest stosowana modulacja i demodulacja. Próbkowanie sprawia, że szum przenosi się do pasma podstawowego, a więc wzmacniacze samozerujące się mają większy szum w paśmie roboczym. Aby go wytłumić podaje się prąd o większym natężeniu, więc w układach jest tracona większa energia. Wzmacniacze z przetwarzaniem mają szum niskoczęstotliwościowy o płaskiej częstotliwościowej charakterystyce gęstości mocy, jednak ze zwiększoną mocą w pobliżu częstotliwości kluczowania i jej harmonicznych. Może być więc potrzebne stosowanie filtrów wyjściowych. Dlatego też wzmacniacze te są najodpowiedniejsze w aplikacjach z sygnałem o niskich częstotliwościach.

Wzmacniacze z przetwarzaniem dobrze sprawdzają się w aplikacjach o małej mocy i pracujących z małą częstotliwością (<100 Hz), podczas gdy wzmacniacze samozerujące są lepsze w aplikacjach szerokopasmowych. Wzmacniacze AD8628, które łączą technologie samozerowania i przetwarzania, są przeznaczone do aplikacji, w których wymagany jest niski poziom szumów, brak krótkich przepięć oraz szerokie pasmo. W tab. 1 zestawiono porównanie technologii wzmacniaczy.

**Reza Moghimi**  
Analog Devices

**Dodatkowe informacje:**  
Artykuł udostępniony przez Farnell we współpracy z Analog Devices

Typ	Samozerujący się	Z przetwarzaniem	Z przetwarzaniem i samozerowaniem
Napięcie offsetu	Bardzo małe	Bardzo małe	Bardzo małe
Zasada działania	Próbkowanie i pamiętanie	Modulacja-demodulacja	Próbkowanie i pamiętanie/modulacja-demodulacja
Charakterystyka szumowa	Wyższy poziom szumu dla niskich częstotliwości wskutek aliasingu	Podobna charakterystyka szumowa do szumu o charakterystyce płaskiej (białego), brak aliasingu	Złożony rozkład szumu zwiększony powyżej częstotliwości kluczowania
Zapotrzebowanie na moc	Większe	Mniejsze	Większe
Pasma	Szerokie	Wąskie	Najszerze
Tętnienia	Najmniejsze	Większe	Mniejsze niż we wzmacniaczach z przetwarzaniem
Rozkład energii	Niewielka energia wokół częstotliwości samozerowania	Dużo energii wokół częstotliwości kluczowania	Niewielka energia wokół częstotliwości samozerowania