

Wzmacniacze z regulowanym wzmocnieniem

Przyjmując za kryterium podziału wzmacniaczy PGA postać sygnału, który wpływa na wartość wzmocnienia, można wyróżnić dwie podgrupy tych wzmacniaczy:

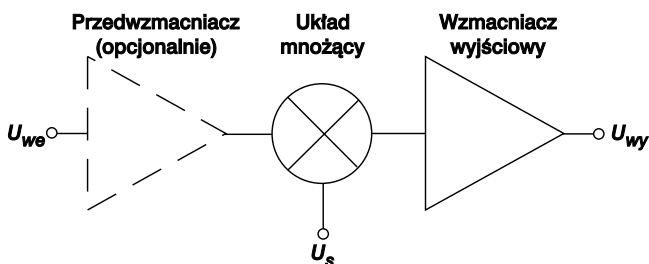
- wzmacniacze sterowane analogowo, ze wzmocnieniem zmienianym w sposób ciągły, zwane też wzmacniaczami ze wzmocnieniem sterowanym napięciem - **VCA** (*Voltage Controlled Amplifier*),
- wzmacniacze sterowane cyfrowo, nazywane wzmacniaczami z programowanym wzmocnieniem lub krótko wzmacniaczami programowalnymi - **PGA** (*Programmable Gain Amplifier*).

Wzmacniacze VGA znajdują szerokie zastosowanie we wszelkiego rodzaju układach elektronicznych, np.:

- w układach automatycznej regulacji wzmocnienia torów nadawczych i odbiorczych,
- w torach kondycjonowania sygnałów z przetworników pomiarowych, np. w celu dopasowania poziomu sygnału do zakresu przetwarzania przetwornika analogowo-cyfrowego,
- w sprzęcie audio (np. w konsolach mikserskich, syntezach dźwięku, kompresorach dynamiki itp.),
- jako modulatory amplitudy.

Ich stosowanie przynosi wiele korzyści, do których należy:

- uproszczenie torów przetwarzania sygnałów analogowych,
- oszczędność miejsca (redukcja wymiarów obwodów drukowanych),
- uproszczenie układów zasilania,
- zmniejszenie poboru energii.



Rys. 1. VCA z wykorzystaniem układu mnożącego

We współczesnych układach elektronicznych istnieje bardzo często potrzeba elektronicznej regulacji wzmocnienia (za pomocą sygnału elektrycznego) w torze przetwarzania sygnału analogowego. Wzmacniacze realizujące tę funkcję oznaczane są w literaturze angielskiej skrótem **VGA** (ang. *Variable Gain Amplifier*).

Trochę teorii, czyli jak zmienić wzmocnienie wzmacniacza

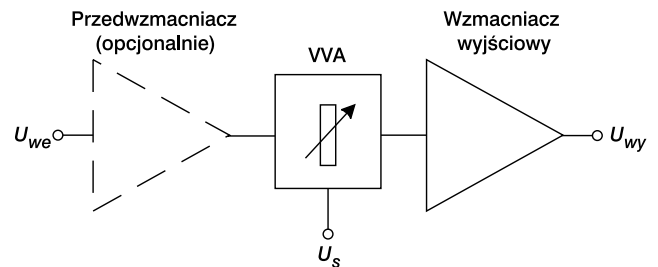
Wzmocnienie wzmacniacza może być regulowane na bardzo wiele sposobów. W przypadku wzmacniaczy VCA podstawową metodą jest zmiana transkonduktancji elementu wzmacniającego, przez co uzyskuje się układ mnożący (rys. 1), w którym napięcie wyjściowe jest iloczynem napięcia sterującego U_s i napięcia wejściowego U_{we} oraz pewnego współczynnika proporcjonalności k , zgodnie z zależnością:

$$U_{wy} = kU_sU_{we}$$

Zmieniając napięcie sterujące U_s (jest to napięcie stałe) zmienia się napięcie wyjściowe U_{wy} (będące sygnałem zmiennym np. harmonicznym, bądź stałym) - zmienia się zatem wzmocnienie napięciowe $G_u = U_{wy}/U_{we}$.

Układ mnożący można zbudować np. z zastosowaniem dwubramkowego tranzystora MOSFET. Do bramki pierwszej podawany jest sygnał wzmacniany, natomiast do bramki drugiej sygnał sterujący - wpływający na transkonduktancję tranzystora, a tym samym wzmocnienie układu. Innym, bardzo

często stosowanym rozwiązaniem układu mnożącego jest zastosowanie do tego celu wzmacniacza różnicowego. Wzmocnienie jest w tym przypadku zmieniane poprzez zmianę

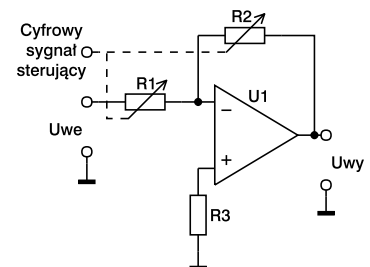


Rys. 2. VCA z wykorzystaniem rezystancji sterowanej napięciem

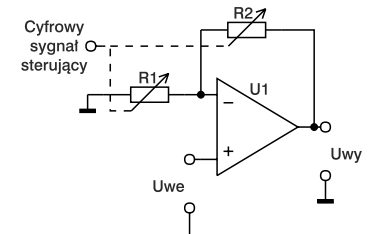
wydajności źródła prądowego ustalającego punkt pracy wejściowej pary różnicowej.

Innym rozwiązaniem wzmacniacza VCA jest zastosowanie rezystora (tłumika) o rezystancji sterowanej napięciem VVA (*Voltage Variable Attenuator*), tak jak to zostało pokazane na rys. 2. Do roli regulowanej rezystancji bardzo dobrze nadają się np. tranzystory unipolarne.

Określenie wartości wzmocnienia powyższych wzmacniaczy na pod-



Rys. 3. Wzmacniacz odwracający w roli wzmacniacza PGA



Rys. 4. Wzmacniacz nieodwracający w roli wzmacniacza PGA

stawie znajomości wartości napięcia sygnału zmieniającego wzmocnienie U_s jest możliwe po uprzednim zdjęciu charakterystyki przejściowej:

$$G_u = f(U_s)$$

Z charakterystyki tej można określić zakres oraz czułość regulacji wzmocnienia. W przypadku stosowania gotowych, scalonych rozwiązań tego typu wzmacniaczy, producenci zamieszczają takie charakterystyki w notach katalogowych.

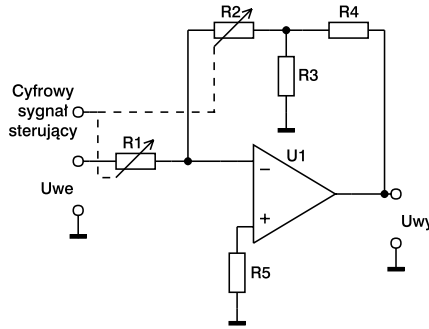
Wzmacniacze PGA buduje się najczęściej z wykorzystaniem wzmacniaczy operacyjnych pracujących w układzie wzmacniacza odwracającego (rys. 3), bądź nieodwracającego (rys. 4). Wartość wzmocnienia wzmacniacza pokazanego na rys. 3 jest określona (dobrze znaną każdemu elektronikowi) zależnością:

$$G_u = -\frac{R_2}{R_1}$$

Zmianę wzmocnienia takiego wzmacniacza można więc uzyskać poprzez zmianę wartości rezystancji rezystora R_2 lub R_1 . Należy jednak pamiętać o tym, że wartość rezystancji rezystora R_1 decyduje o wartości rezystancji wejściowej całego wzmacniacza. Mankamentem tego układu jest to, że trudno jest jednocześnie zapewnić dużą wartość wzmocnienia napięciowego przy dużej wartości rezystancji wejściowej. Stosując np. duże wartości rezystancji rezystora R_2 (rzędu megaomów) pogarszamy własności szumowe wzmacniacza, ponadto może to być przyczyną zwiększenia wejściowego napięcia niezrównoważenia oraz ograniczenia pasma stałych czasowych o dużych wartościach w obwodzie sprzężenia zwrotnego wzmacniacza tworzonych przez tą rezystancję wraz z pojemnościami pasozytniczymi. W sukurs przychodzi nam drobna modyfikacja układu pokazana na rys. 5. Wzmocnienie napięciowe jest w tym przypadku określone zależnością:

$$G_u = -\frac{R_2}{R_1} \left(1 + \frac{R_4}{R_2} + \frac{R_4}{R_3} \right)$$

Analizując powyższą zależność widać, że stosując niezbyt duże wartości rezystancji w pętli sprzężenia zwrotnego można uzyskać duże wartości wzmocnienia, przy jednoczesnym zapewnieniu dużej rezystancji wejściowej.



Rys. 5. Zmodyfikowany wzmacniacz odwracający jako wzmacniacz PGA

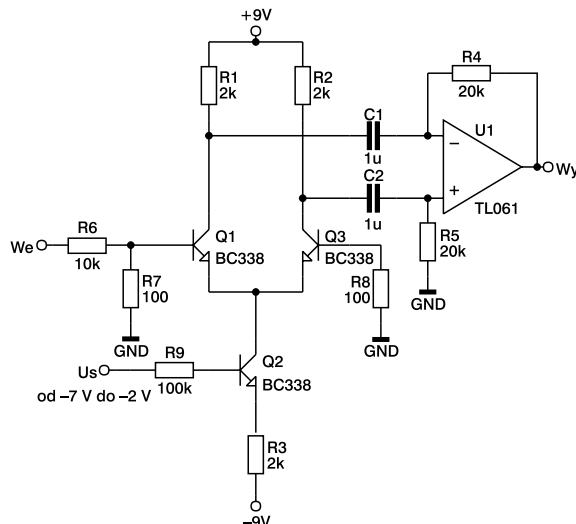
Wadę, związaną z małą (w praktyce) rezystancją wejściową wzmacniacza z rys. 3, można wyeliminować stosując wzmacniacz w układzie nieodwracającym (rys. 4), którego rezystancja wejściowa jest bardzo duża – rzędu megaomów, a nawet gigaomów (w zależności od technologii wykonania wzmacniacza operacyjnego). Należy jednak mieć na uwadze to, że stosowanie tego układu kryje w sobie pewne niebezpieczeństwo – otóż, jeśli wzmacniacz ten jest sprzężony pojemnościowo ze stopniem sterującym (poprzedzającym), to nie będzie działał, gdyż kondensator sprzęgający blokuje drogę dla prądu stałego, polaryzującego stopień wejściowy wzmacniacza operacyjnego dla wejścia nieodwracającego „+”. Można ten problem ominąć podłączając między wejście „+” a masę rezystor, ale tracimy wtedy podstawową zaletę tego wzmacniacza, czyli dużą rezystancję wejściową. Ponadto w układzie tym nie można uzyskać wzmocnień mniejszych od 1, gdyż wzmocnienie napięciowe wynosi:

$$G_u = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

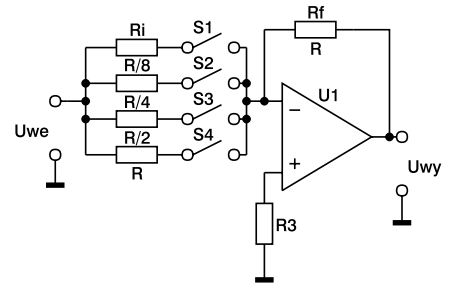
Dlatego układ ten (w przeciwieństwie do wzmacniacza odwracającego) nie może pełnić roli regulowanego tłumika.

Przykładowe realizacje wzmacniaczy VGA

Istnieje wiele gotowych rozwiązań wzmacniaczy VGA w postaci układów scalonych, jednak w celu lepszego zobrazowania zasady ich działania pokażę przykładową realizację takiego wzmacniacza wykonanego w postaci dyskretnej (rys. 6). Wzmacniacz ten (VCA) został zbudowany z wykorzystaniem wzmacniacza różnicowego. Wzmocnienie pary różnicowej (Q1, Q3) zależy od wydajności źródła prądowego (zbudowanego z wykorzystaniem tranzystora Q2). Im większa wartości napięcia U_s przyłożonego do bazy tranzystora Q2, tym większa jest wartość wzmocnienia napięciowego układu. Przy zmianach napięcia U_s od -7 V do -2 V uzyskuje się w przybliżeniu liniową zmianę wzmocnienia napięciowego w granicach od 9 V/V do 39 V/V, z czułością regulacji wynoszącą ok. 6 V/V na 1 V zmiany napięcia sterującego. Wartości te byłyby oczywiście mniejsze, bez zastosowania dodatkowego wzmacniacza U1.



Rys. 6. Wzmacniacz VCA zbudowany z wykorzystaniem wzmacniacza różnicowego ($G_u=9...39$ V/V)



Rys. 7. Wzmacniacz PGA w układzie odwracającym

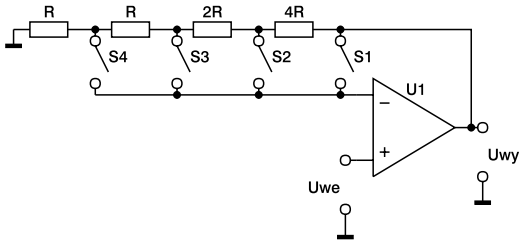
$$G_u = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

Dlatego układ ten (w przeciwieństwie do wzmacniacza odwracającego) nie może pełnić roli regulowanego tłumika.

Przykładowe realizacje wzmacniaczy VGA

Istnieje wiele gotowych rozwiązań wzmacniaczy VGA w postaci układów scalonych, jednak w celu lepszego zobrazowania zasady ich działania pokażę przykładową realizację takiego wzmacniacza wykonanego w postaci dyskretnej (rys. 6). Wzmacniacz ten (VCA) został zbudowany z wykorzystaniem wzmacniacza różnicowego. Wzmocnienie pary różnicowej (Q1, Q3) zależy od wydajności źródła prądowego (zbudowanego z wykorzystaniem tranzystora Q2). Im większa wartości napięcia U_s przyłożonego do bazy tranzystora Q2, tym większa jest wartość wzmocnienia napięciowego układu. Przy zmianach napięcia U_s od -7 V do -2 V uzyskuje się w przybliżeniu liniową zmianę wzmocnienia napięciowego w granicach od 9 V/V do 39 V/V, z czułością regulacji wynoszącą ok. 6 V/V na 1 V zmiany napięcia sterującego. Wartości te byłyby oczywiście mniejsze, bez zastosowania dodatkowego wzmacniacza U1.

Wzmacniacze PGA najwygodniej jest budować z zastosowaniem wzmacniaczy operacyjnych pracujących w układzie odwracającym (rys. 7) lub nieodwracającym (rys. 8). We wzmacniaczu PGA w układzie odwracającym zostały wykorzystane 4 klucze analogowe (S1...



Rys. 8. Wzmacniacz PGA w układzie nieodwracającym (o wzmocnieniach $G_u=1, 2, 4$ i 8 (V/V) – przy włączonym w danej chwili tylko jednym kluczu)

S4), dzięki czemu układ ten pozwala uzyskać wzmocnienia napięciowe wyrażone zależnością:

$$G_u = -\frac{R_f}{R} (8S_1 + 4S_2 + 2S_3 + S_4)$$

gdzie $S_i=1$ oznacza klucz włączony (zwarły), a $S_i=0$ klucz wyłączony (rozwarły) – dla $i=1..4$, natomiast wartość rezystancji wejściowej R_{we} wynosi:

$$R_{we} = -\frac{1}{S_1 \frac{8}{R} + S_2 \frac{4}{R} + S_3 \frac{2}{R} + S_4 \frac{1}{R}}$$

Dla $R_f=R$ mamy

$$G_u = -(8S_1 + 4S_2 + 2S_3 + S_4)$$

czyli wzmocnienie zmienia się od $G_u=-1$ V/V (przy włączonym kluczu S_4 i wyłączonych pozostałych) do $G_u=-15$ V/V (przy włączonych wszystkich kluczach) i przyjmuje 15 wartości (2^4-1) z dyskretyzacją (krokiem) co 1 V/V. Przy budowie układu praktycznego należy oczywiście wziąć pod uwagę niezerową rezystancję kluczy w stanie włączenia, która może osiągać nawet wartość kilkuset omów. Przy zastosowaniu rezystorów R_i o dosyć małych wartościach może to mieć znaczący wpływ na wartość wzmocnienia napięciowego.

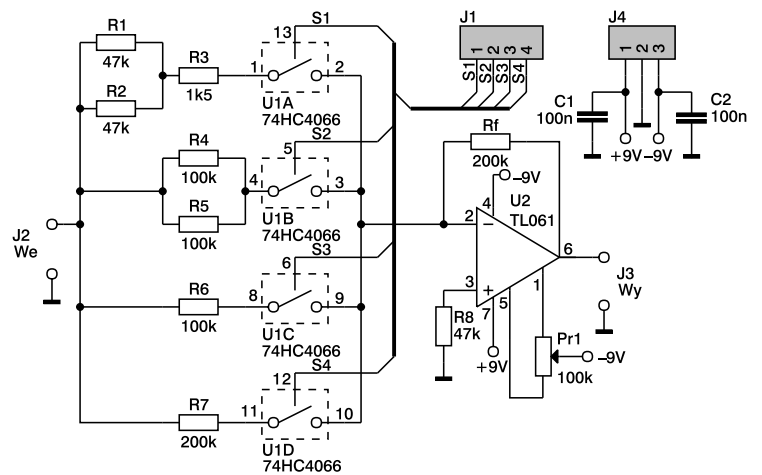
Wzmacniacz PGA w układzie nieodwracającym, pokazany na rys. 8, zapewnia (przy zastosowaniu tej samej liczby kluczy, co w układzie z rys. 7) mniejszy zakres regulacji wzmocnienia, a dodatkowo, gdy wszystkie klucze są wyłączone, wzmacniacz pracuje z otwartą pętlą ujemnego sprzężenia zwrotnego, co nie jest pożądane, gdyż w takich warunkach zachowuje się on jak komparator, doprowadzając do łatwego nasycania się napięcia wyjściowego do granic napięcia zasilania.

Przykładowa realizacja praktyczna wzmacniacza z rys. 7 została

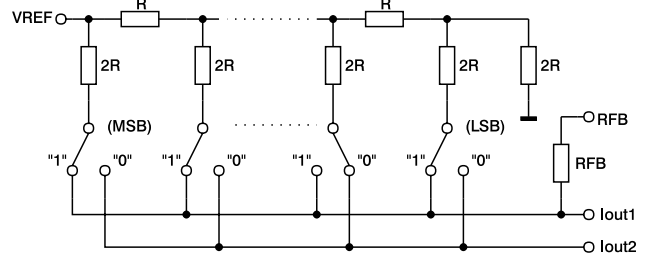
pokazana na rys. 9. Bity słowa ustalającego wartość wzmocnienia są przekazywane

do tego wzmacniacza w sposób równoległy (poprzez złącze J1) i mają poziomy zgodny z logiką TTL. Wartości rezystancji rezystorów R1...R7 zostały dobrane tak, aby zapewnić możliwie dużą rezystancję wejściową (która dla tego wzmacniacza wynosi $R_{we}=25..200$ k Ω przy jednocześnie niezbyt dużej wartości rezystancji rezystora R_f (z powodów, które omawiane były wcześniej)). W roli sterowanych kluczy analogowych został wykorzystany układ U1 74HC4066 firmy Philips, którego rezystancja kluczy w stanie włączenia (przy zasilaniu napięciem $V_{CC}=9$ V) jest stosunkowo mała i wynosi ok. $R_{ON}=35$ Ω .

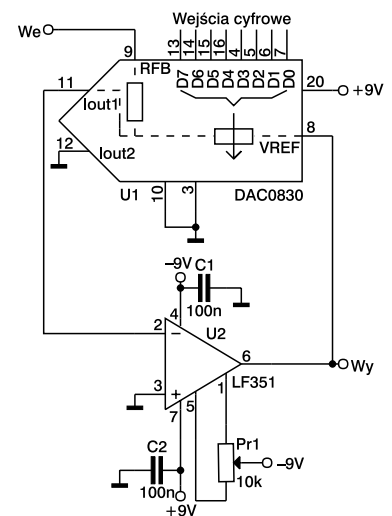
Układ wzmacniacza PGA pokazany na rys. 9 można uprościć stosując zamiast sieci rezystorów i kluczy analogowych scalony przetwornik cyfrowo-analogowy typu MDAC (*Multiplying Digital to Analog Converter*), czyli mnożący przetwornik C/A. Określenie „mnożący” wywodzi się stąd, że wielkość wyjściowa jest iloczynem wejściowego napięcia i wejściowego kodu liczbowego. Podstawowym elementem takiego przetwornika jest sieć rezystorów w układzie drabinkowym typu R-2R (rys. 10). Na rys. 11 został pokazany schemat ideowy wzmacniacza PGA z wykorzystaniem 8-bitowego przetwornika C/A typu DAC0830 firmy National Semiconductor. Wzmocnienie napięciowe tego wzmacniacza określone jest zależnością:



Rys. 9. Schemat ideowy wzmacniacza PGA z 4-bitowym, sterującym interfejsem równoległym



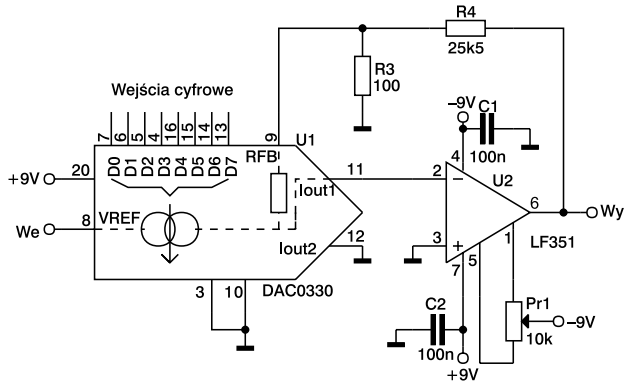
Rys. 10. Uproszczona struktura wewnętrzna mnożącego przetwornika cyfrowo-analogowego



Rys. 11. Wzmacniacz PGA z wykorzystaniem mnożącego przetwornika C/A

$$G_u = -\frac{256}{D} \left[\frac{V}{V} \right]$$

gdzie D – wartości kodu liczbowego (w systemie dziesiętnym) podawanego na wejścia cyfrowe przetwornika. Może być ono regulowane w zakresie od ok. 0 dB (w przybliżeniu 1 V/V) do 48,2 dB (256 V/V) – niestety bez możliwości zmiany z krokiem co 1 V/V. W układzie



Rys. 12. Wzmacniacz PGA o wzmacnieniu $G_u = -1...-256$ V/V z regulacją co 1 V/V

tym należy unikać podawania kodu o wartości $D=0$, gdyż wtedy wzmacniacz będzie pracował z otwartą pętlą ujemnego sprzężenia zwrotnego, co spowoduje nasycenie napięcia wyjściowego. Wartość rezystancji wejściowej wzmacniacza jest równa rezystancji R_{FB} , która dla przetwornika DAC0830 wynosi 15 kΩ. W roli wzmacniacza U2 należy stosować wzmacniacze operacyjne charakteryzujące się bardzo małymi wejściowymi prądami polaryzującymi (wykonane w technologii FET, Bi-FET lub

CMOS), co pozwoli zminimalizować wejściowe napięcie niezrównoważenia, a tym samym wyjściowe napięcie błędne, które może mieć istotne znaczenie dla małych wartości napięcia wejściowego U_{we} .

Czasami może być pożądane uzyskanie regulacji wzmocnienia z krokiem co 1 V/V, tak aby wartość wzmocnienia była równoważna wartości kodu liczbowego przetwornika C/A, tj.:

$$G_u = D \left[\frac{V}{V} \right]$$

Wzmacniacz taki, zbudowany na bazie układu z rys. 5 został pokazany na rys. 12.

Przetwornik DAC0830 pełni tu rolę źródła prądowego o regulowanej wydajności:

$$I_{out1} = \frac{U_{we}}{R} \frac{D}{256} = \frac{U_{we}}{15[k\Omega]} \frac{D}{256}$$

Wzmacniacz operacyjny wraz z rezystancjami R3, R4 i $R_{FB} = 15$ kΩ jest przetwornikiem prąd-napięcie o transmitancji:

$$G_{iu} = -\frac{U_{wy}}{I_{out1}} = -R_{FB} \left(1 + \frac{R_4}{R_{FB}} + \frac{R_4}{R_3} \right)$$

Ponieważ $R_{FB} \gg R_3$, to

$$G_{iu} \approx -R_{FB} \left(1 + \frac{R_4}{R_3} \right) = -R_{FB} 256$$

stąd wzmocnienie napięciowe wzmacniacza jest równe:

$$G_u = \frac{U_{wy}}{U_{we}} = \frac{-R_{FB} 256 I_{out1}}{I_{out1} 256 R \frac{1}{D}} = -D$$

Uzyskujemy zatem możliwość regulacji wzmocnienia w zakresie od -1 V/V do -256 V/V z krokiem co 1 V/V.

W celu uzyskania wzmocnienia $G_u = -D$ z zastosowaniem np. przetwornika 12-bitowego należy tak dobrać wartości rezystancji rezystorów R4 i R3, aby ich stosunek wynosił $2^{12}-1=4095$.

Scalone wzmacniacze VGA

Budowanie wzmacniaczy o regulowanym wzmocnieniu we własnym zakresie jest trudniejsze (zwłaszcza wzmacniaczy VCA), niż wykorzystanie gotowych rozwiązań w postaci układów scalonych, które niestety nie zawsze są tanie. Czołowi producenci układów analogowych i cyfrowych mają w swojej ofercie wiele typów wzmacniaczy VCA. W tab. 1 zostały zestawione parametry wybranych wzmacniaczy VCA, a w tab. 2 wzmacniaczy PGA.

Firma Analog Devices posiada w swej ofercie wzmacniacz VCA o bardzo dobrych parametrach do zastosowań w sprzęcie audio – SSM2018T. Układ ten daje możliwość regulacji wzmocnienia (i tłumienia) w bardzo szerokim zakresie, bo od -100 dB do +40 dB, przy bardzo małych zniekształceniach nieliniowych THD=0,006% (dla $f=1$ kHz i $G_u=1$ V/V) i zakresie dynamicznym wynoszącym 117 dB. Schemat blokowy tego układu jest pokazany na rys. 13, a jego podstawowa aplikacja na rys. 14. Układ z rys. 13 można w łatwy sposób przekształcić we wzmacniacz PGA podając do końcówki 11 ($V_{CONTROL}$) napięcie z przetwornika cyfrowo-analogowego.

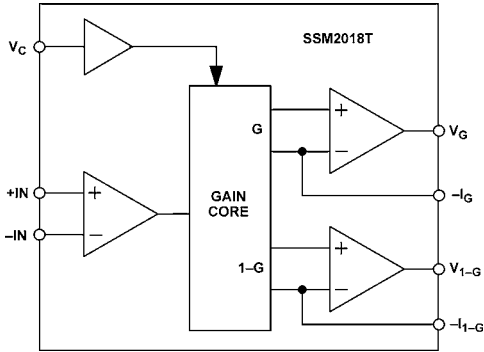
Innym interesującym przykładem wzmacniacza VCA firmy Analog De-

Tab. 1. Podstawowe parametry wybranych wzmacniaczy VCA

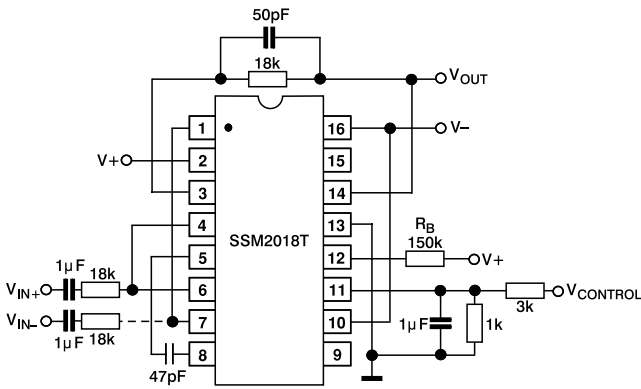
Producent	Typ	Zakres regulacji wzmocnienia	Czołowość regulacji wzmocnienia	Pasmo	Napięcie zasilania
Analog Devices	SSM2018	od -100 dB do +40 dB	-33 dB/V	700 kHz	±5 V...±18 V
	AD600	od 0 dB do +40 dB	32 dB/V	35 MHz	±7,5 V (max.)
National Semiconductor	CLC522	od 1 V/V do 100 V/V	50 V/V na V	165 MHz	±7 V (max.)
Texas Instruments	VCA810	od -40 dB do +40 dB	-40 dB/V	35 MHz	±6,5 V (max.)
	THS7530	od 11,6 dB do +46,5 dB	-38,8 dB/V	300 MHz	+5,5 V (max.)

Tab. 2. Podstawowe parametry wybranych wzmacniaczy PGA

Producent	Typ	Zakres regulacji wzmocnienia	Pasmo	Napięcie zasilania	Interfejs
Analog Devices	PGA204	1,10,100,1000 V/V	od 1 kHz do 1 MHz	±4,5 V...±18 V	Równoległy 2-bitowy
	AD8320	od 0 dB do +36 dB	150 MHz	+5 V...+12 V	SPI
Maxim	MAX532	od 1 V/V do 4096 V/V	1 MHz	±17 V (max.)	SPI Microwire
	DS4420	od -35 dB do +25 dB	20 kHz	+6 V (max.)	I ² C
Microchip Technology	MCP6S92	od 1 V/V do 32 V/V	od 1 MHz do 18 MHz	+2,5 V...+5,5 V	SPI
Linear Technology	LTC6912	od 1 V/V do 100 V/V	do 2 MHz	±11 V (max.) lub +11 V (max.)	SPI
	LTC1564	od 1 V/V do 16 V/V	od 10 kHz do 150 kHz (programowalne niezależnie od wzmocnienia)	±11 V (max.) lub +11 V (max.)	Równoległy 4-bitowy



Rys. 13. Schemat blokowy wzmacniacza SSM2018



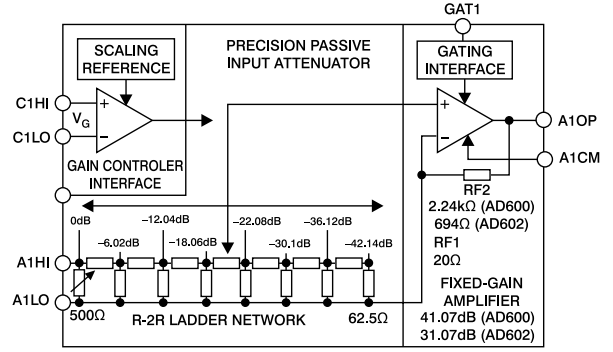
Rys. 14. Podstawowa aplikacja układu SSM2018

vices jest 2-kanałowy układ AD600/AD602, którego schemat blokowy pokazano na rys. 15. Wzmacniacz ten ma możliwość płynnej regulacji wzmocnienia w zakresie od 0 dB do +40 dB z czułością 32 dB/V (od -10 dB do +30 dB - AD602). Jest on układem niskoszumnym, o małych zniekształceniach nieliniowych i szerokim paśmie przenoszenia (0...30 MHz), co predestynuje go do zastosowań np. jako układ automatycznej regulacji wzmocnienia w torze pośredniej częstotliwości. Podstawowa aplikacja tego wzmacniacza (z wykorzystaniem tylko jednego kanału) została pokazana na rys. 16.

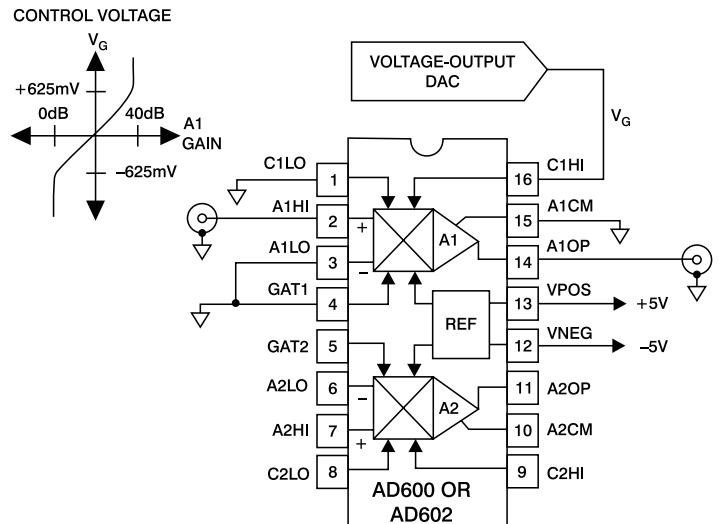
Programowanie wzmocnienia wzmacniacza PGA może się odbywać z wykorzystaniem interfejsów równoległych, bądź szeregowych (np. SPI, I²C). Przykładem wzmacniacza PGA, którego wzmocnienie jest zmienia-

jącą interfejsu SPI jest układ MAX532 firmy Maxim. Jest to w istocie podwójny 12-bitowy przetwornik cyfrowo-analogowy MDAC, ale wbudowane w nim wzmacniacze operacyjne, dają możliwość wykorzystania tego układu jako wzmacniacza PGA (rys. 17).

Zasada działania tego wzmacniacza jest



Rys. 15. Schemat blokowy wzmacniacza AD600/AD602 (jeden kanał wzmocnienia)



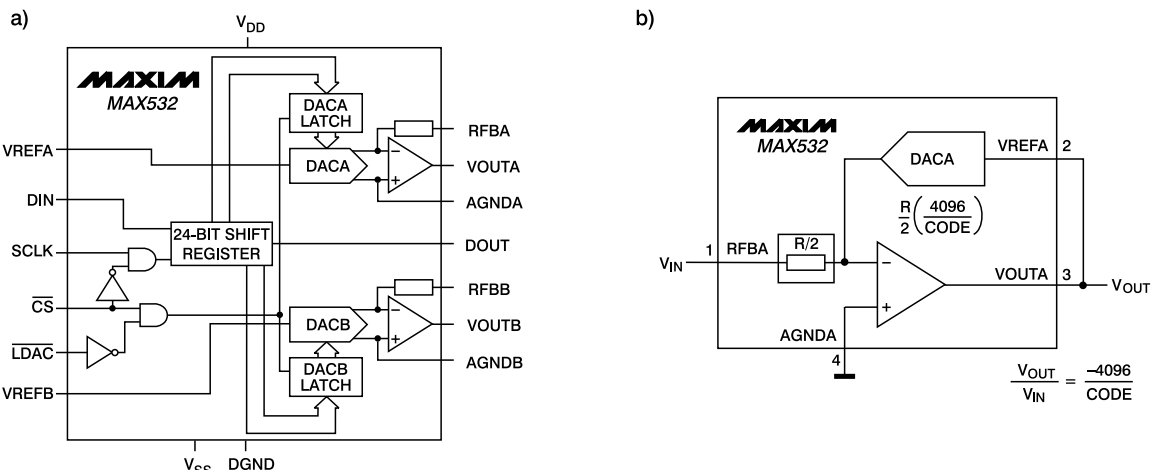
Rys. 16. Podstawowa aplikacja układu AD600/602

identyczna, jak układu pokazanego na rys. 11. Jego wzmocnienie napięciowe jest opisane następującą zależnością:

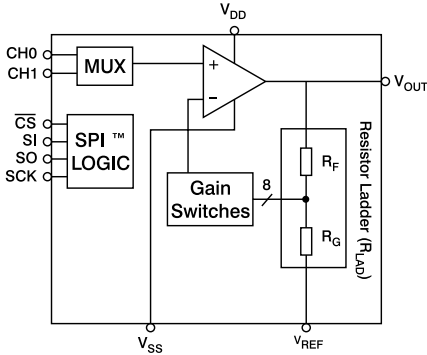
$$G_u = -\frac{4096}{D}$$

Kod liczbowy D jest przekazywany do układu za pomocą interfejsu szeregowego SPI i może być zmieniany w zakresie od $2^{12}-1=4095$ do 1, co daje możliwość zmiany wzmocnienia od 0 dB do 72 dB.

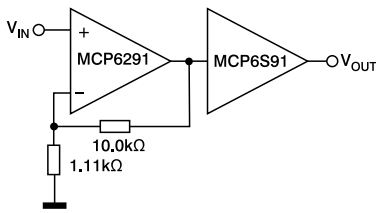
Innym przykładem wzmacniacza PGA ze wzmocnieniem programowanym poprzez interfejs SPI jest układ MCP6S92 firmy MicroChip (rys. 18). Wzmacniacz ten oprócz możliwości programowej zmiany wzmocnienia posiada dodatkowo multipleksowane wejścia, dzięki czemu może przetwarzać sygnały z dwóch niezależnych źródeł. Wzmocnienie napięciowe może przyjmować następujące



Rys. 17. Układ MAX532, a) schemat blokowy, b) idea działania



Rys. 18. Schemat blokowy wzmacniacza MCP6S92



Rys. 19. Wzmacniacz PGA z regulacją wzmocnienia w zakresie od 10 V/V do 320 V/V

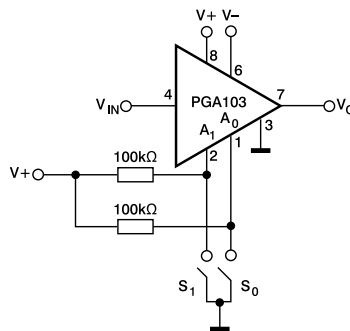
wartości: 1, 2, 4, 5, 8, 10, 16 lub 32 V/V. Zastosowanie dodatkowego przedwzmacniacza pozwala w łatwy sposób zmienić zakres regulacji wzmocnienia, tak jak to zostało pokazane na rys. 19. Układ MCP6S92 ma małe zniekształcenia nieliniowe, szerokie pasmo przenoszenia (od 1 do 16 MHz – w zależności od wartości wzmocnienia) oraz wejścia i wyjścia typu „rail-to-rail”. Ponadto jest przystosowany do zasilania napięciem asymetrycznym +5 V, co pozwala uprościć układy zasilania toru przetwarzania analogowo-cyfrowego.

Jednym z bardziej interesujących wzmacniaczy z programowalnym wzmocnieniem jest układ LTC1564 firmy Linear Technology (rys. 20). Wzmacniacz ten oprócz możliwo-

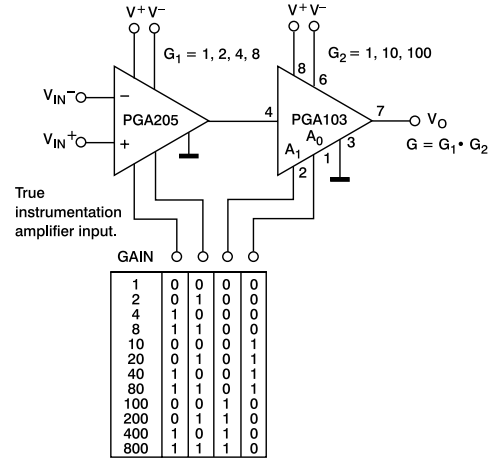
ści zmiany wzmocnienia (od 1 V/V do 16 V/V z krokiem co 1 V/V) ma możliwość programowej zmiany górnej częstotliwości granicznej w zakresie od 10 kHz do 150 kHz. Właściwość ta predestynuje powyższy układ do zastosowań w torach kondycjonowania sygnałów z przetworników wielkości nieelektrycznych.

We wzmacniaczu LTC1564 do zmiany wzmocnienia wykorzystano interfejs równoległy. Identyczne rozwiązanie zostało zastosowane we wzmacniaczu PGA103 firmy Analog Devices (rys. 21). Wprawdzie wzmacniacz ten pozwala uzyskać tylko 3 wartości wzmocnień (1, 10, i 100 V/V), ale dołączenie do niego przedwzmacniacza PGA205 (rys. 22) pozwala uzyskać układ z 4-bitowym interfejsem równoległym dający możliwość zmiany wzmocnienia w dużo szerszym zakresie, bo od 1 V/V do 800 V/V.

Wzmacniacz PGA205 jest programowalnym wzmacniaczem pomiarowym, przez co cały układ z rys. 21 zyskuje cechy wzmacniacza pomiarowego. Osoby chcące dokładniej poznać wzmacniacze pomiarowe pragnę odesłać numeru do 5/2007 i 6/2007 Elektroniki Praktycznej.



Rys. 21. Podstawowa aplikacja wzmacniacz PGA103



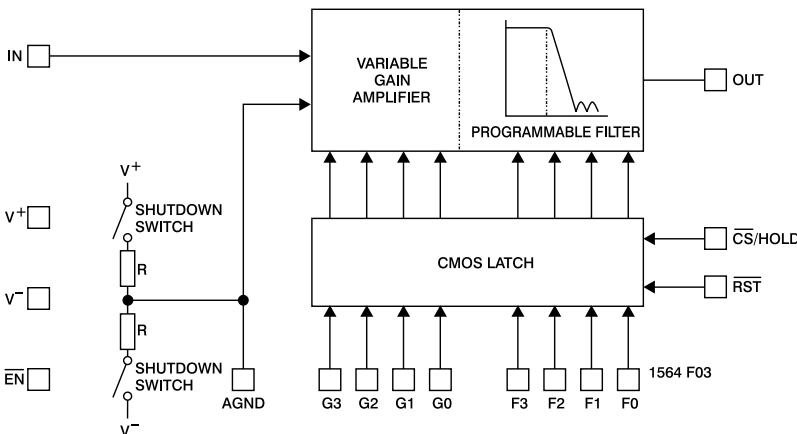
Rys. 22. Wzmacniacz programowalny z kaskadowym połączeniem układów PGA205 i PGA103

Zaprezentowany przegląd sposobów realizacji oraz gotowych rozwiązań wzmacniaczy z regulacją wzmocnienia nie jest oczywiście kompletny, ale (mam taką nadzieję) ułatwi zainteresowanym elektronikom umiejętnie ich wykorzystanie w torach przygotowania sygnałów analogowych do przetwarzania na postać cyfrową, gdyż tylko właściwe skondycjonowanie sygnału analogowego pozwala w pełni wykorzystać możliwości systemów cyfrowych.

Piotr Komur
pkomur@wel.wat.edu.pl

Literatura

1. Woo, B.B., *Digitally programmable gain amplifiers with arbitrary range of integer values*, Proceedings of the IEEE, Volume 68, Issue 7, July 1980
2. A Dobrowolski, P. Komur, A. Sowiński, *Projektowanie i analiza wzmacniaczy małosygnałowych*, BTC, Warszawa, 2005
3. Noty katalogowe wzmacniaczy firm:
 - Analog Devices: <http://www.analog.com/>
 - Linear Technology: <http://www.linear.com>
 - Maxim: <http://www.maxim-ic.com/>
 - Microchip: <http://www.microchip.com/>
 - National Semiconductor: <http://www.national.com/>
 - Texas Instruments: <http://www.ti.com/>
4. Nota aplikacyjna AN137 Analog Devices: http://www.analog.com/UploadedFiles/Application_Notes/478175406758446082AN137.pdf



Rys. 20. Schemat blokowy wzmacniacza LTC1564