

# Preskalaler 7,5GHz – pętla fazowa na ADF4007

## Do czego to służy?

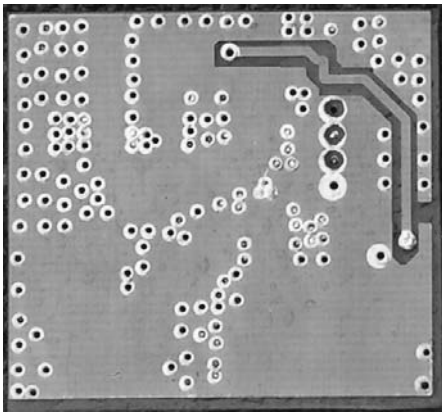
Wielu z nas posiada częstotściomierze, najczęściej do 100MHz. Problem poszerzenia zakresu mierzonych częstotliwości rozwiązywało się najczęściej przez zastosowanie zewnętrznego dzielnika częstotliwości, tzw. preskalera. Łatwo dostępne i tanie preskalery ze sprzętu RTV miały częstotliwość maksymalną na poziomie 1,3GHz. Wraz z rozpowszechnieniem kart Wi-Fi powstał dla wielu z nas problem pomiaru wyższych częstotliwości. O ile problem ten dla pasma 2,4GHz nie jest zbyt duży – można było stosunkowo łatwo dobrać preskalery starszego typu ze sprzętu TV-SAT, o tyle problem pomiaru częstotliwości dla pasma 5,6GHz jest już dużo trudniejszy do rozwiązania. Istnieją bardzo dobre preskalery pracujące w zakresie 2...12GHz (a nawet do 24GHz) np. firmy Hittite. Jednak ich zakup jest bardzo kosztowny, a ponadto podlegają one ograniczeniom eksportowym ze względu na możliwość zastosowania ich w aparaturze wojskowej. Wadą większości preskalerów mikrofalowych jest też ograniczony zakres częstotliwości pracy wynoszący najczęściej kilka GHz. Za ograniczenie zakresu częstotliwości pracy preskalera winę ponoszą: sprzężenie pojemnościowe wewnątrz układu scalonego preskalera i rezonanse własne w zakresie mikrofalowym. Większość preskalerów ma ograniczony jeszcze bardziej zakres częstotliwości pracy niż wymienione wyżej układy firmy Hittite, zwykle do paru GHz np. układy firmy NEC ubp508 ma zakres

częstotliwości pracy od 8 do 14GHz (bardzo podobnie zachowują się preskalery Zarlinka – dawny Plessey). Zmusza to konstruktora do podziału całego zakresu pracy miernika na szereg podzakresów, co jest bardzo niewygodne. Korzystnie na tym tle wyróżnia się układ firmy Analog Devices ADF4007. Układ ten jest scaloną pętlą PLL z programowaniem równoległym (za pomocą zwerek). Można go również skonfigurować jako preskaler. Układ ten według specyfikacji producenta pracuje od 0,5 do 7,5GHz. Jednak pomiary, a także wykresy z noty katalogowej wskazują, że działa doskonale już od 50MHz do 8GHz. Obecnie praktycznie nie produkuje się już samych preskalerów (poza specjalistycznymi i kosztownymi preskalerami mikrofalowymi), są one wbudowywane w układ pętli synchronizacji fazowej, praktycznie zawsze programowane szeregowo z użyciem mikroprocesora. Układ ADF4007 jest wyjątkiem od tej reguły.

## Jak to działa?

Schemat ideowy preskalera przedstawiony jest na **rysunku 1**. Układ ten opiera się na typowej aplikacji producenta. Skonfigurowany został przeze mnie jako preskaler o stopniu podziału równym 64 (stopień podziału można ustawić na: 8, 16, 32 i 64). Na wejściu układu zastosowano wzmacniacz ERA1 o impedancji wejścia i wyjścia równej 50Ω. Zadaniem tego wzmacniacza jest nie tyle wzmacnienie sygnału, ale zabezpieczenie wejścia preskalera

przed uszkodzeniem za pomocą zbyt silnego sygnału mierzonego. Układ ERA1 jest znacznie łatwiej wymontować w wypadku uszkodzenia w porównaniu do układu ADF4007. Kluczem do prawidłowej pracy układu jest zastosowanie cienkiego laminatu o grubości 0,5mm oraz elementów SMD typu 0603 w części mikrofalowej układu i dwustronnej płytki z metalizacją otworów. Zastosowanie tak cienkiego laminatu ma na celu dopasowanie impedancji linii mikropaskowej do wymiarów fizycznych układu ADF4007. Dla laminatu FR4 (typowy laminat szklano-epoksydowy) ścieżka o impedancji 50Ω ma szerokość około 0,4mm, dla laminatu 1,6mm szerokość ścieżki 50-omowej wynosi aż 3mm. Widać z tego dokładnie, że szerokość ścieżki powinna być jak najmniejsza, a tym samym i grubość laminatu (kostka ma wymiary 4 na 4mm i 20 wyprowadzeń, a właściwie 24, ale o tym nieco dalej). Układ jest bardzo prosty w uruchomieniu. Jedyne praktycznie błędy, jakie się zdarzają, to problemy z wlutowaniem układu ADF4007 (np. zwarcia). Dodatkowe elementy to stabilizator scalony 3,3V o niskim spadku napięcia LM1117. Kondensatory 10μF są kondensatorami tantalowymi. W układzie znajduje się dużo elementów odsprzęgających o różnych pojemnościach, co zapewnia odsprzężenie układu w szerokim zakresie częstotliwości. Zasada przy odsprzężaniu jest taka, że kondensatory o najmniejszej pojemności są położone najbliżej układu ADF4007. Zasilanie do układu ERA1 jest doprowadzone



Fot. 1

przez dwa dławiki i rezystor 39Ω. Praktycznie we wszystkich preskalerach mikrofalowych obserwuje się zjawisko oscylacji pasożytniczych, powodujące występowanie sygnału na wyjściu preskalera bez doprowadzenia żadnego sygnału na jego wejście. Jest to zjawisko normalne i wynika z bardzo dużej czułości tego typu układów. Rezystor R3 tłumi oscylacje preskalera. Konsekwencją zastosowania R3 jest obniżenie czułości o około 10dB, co nie jest wartością tak dużą, a jest skompensowane zastosowaniem wzmacniacza ERA1. Wskazania naszego częstotliwościomierza dzięki zastosowaniu R3 będą równe zero bez doprowadzenia żadnego sygnału na jego wejście. Układ ADF4007 ma wyjście testowe Muxout (pin 15), które używane jest do sprawdzenia poprawności działania układu, a jednocześnie w naszym rozwiązaniu stanowi wyjście dzielnika częstotliwości. Rezystor R4 zabezpiecza wyjście układu przed uszkodzeniem na przykład w wyniku przypadkowego zwarcia kabla na wyjściu preskalera. Programowanie układu ADF4007 odbywa się za pomocą rezystorów 0Ω (A i B oraz rezystorów podłączonych do pinów od 11 do 14 ADF4007) i usuwania metalizacji ze spodniej warstwy płytki za pomocą wiertła (fotografia 1).

**Uwaga! Trzeba pamiętać, że nie-usunięcie masy powoduje zwarcie napięcia zasilania 3,3V do masy.** Początkujący mogą w miejsce oporników 0Ω zastosować rezystory 330Ω (podłączone do pinów od 11 do 14 ADF4007), w tym wypadku prąd zwarcia będzie ograniczony przez rezystory 330Ω w przypadku niesfrezowania otworu z metalizacją. Opornik 0Ω B montujemy w przypadku wykorzystania układu jako preskalera a A – w przypadku wykorzystaniu układu jako pętli fazowej (montujemy tylko jeden z rezystorów). W przypadku

podłączenia jak na schemacie ideowym, układ pracuje jako preskaler o stopniu podziału równym 64. Jak wyżej wspomniano, układ może również pełnić funkcję pętli fazowej – układu stabilizującego częstotliwość. W przypadku wykorzystania naszego modułu jako pętli fazowej montujemy elementy oznaczone indeksami X. Częstotliwość wyjściową obliczamy ze wzoru

$$F_{wy} = N \cdot (F_{odniesienia} / 2)$$

gdzie N jest ustawionym stopniem podziału dzielnika N.

Częstotliwość odniesienia powinna się zawierać w przedziale 20–240MHz, a wartość szczytowa sygnału odniesienia nie powinna przekraczać 2,5V.

Wartość prądu emitowanego (pochłanianego) przez pompę ładunkową wyrażoną w miliamperach można obliczyć według wzoru:

$$I = 25,5 / R_{set}$$

co dla typowej wartości rezystora Rset 5,1kΩ daje wartość prądu równą 5mA.

Funkcję oscylatora odniesienia może pełnić zarówno oscylator kwarcowy, jak i generator DDS (opisywane również w EdW). Układ U3 jest wzmacniaczem napięcia stałego typu rail to rail. Układ wymaga tylko odłączenia VCO, zakres częstotliwości generowanych przez nasz generator będzie zależał jedynie od parametrów zastosowanego VCO. Wartości elementów potrzebne do prawidłowego działania pętli można wyliczyć za pomocą programu

AdsimPLL dostępnego po zarejestrowaniu na stronie firmy Analog Devices.

Programowanie układu ADF 4007 opisują **tabele 1 i 2.**

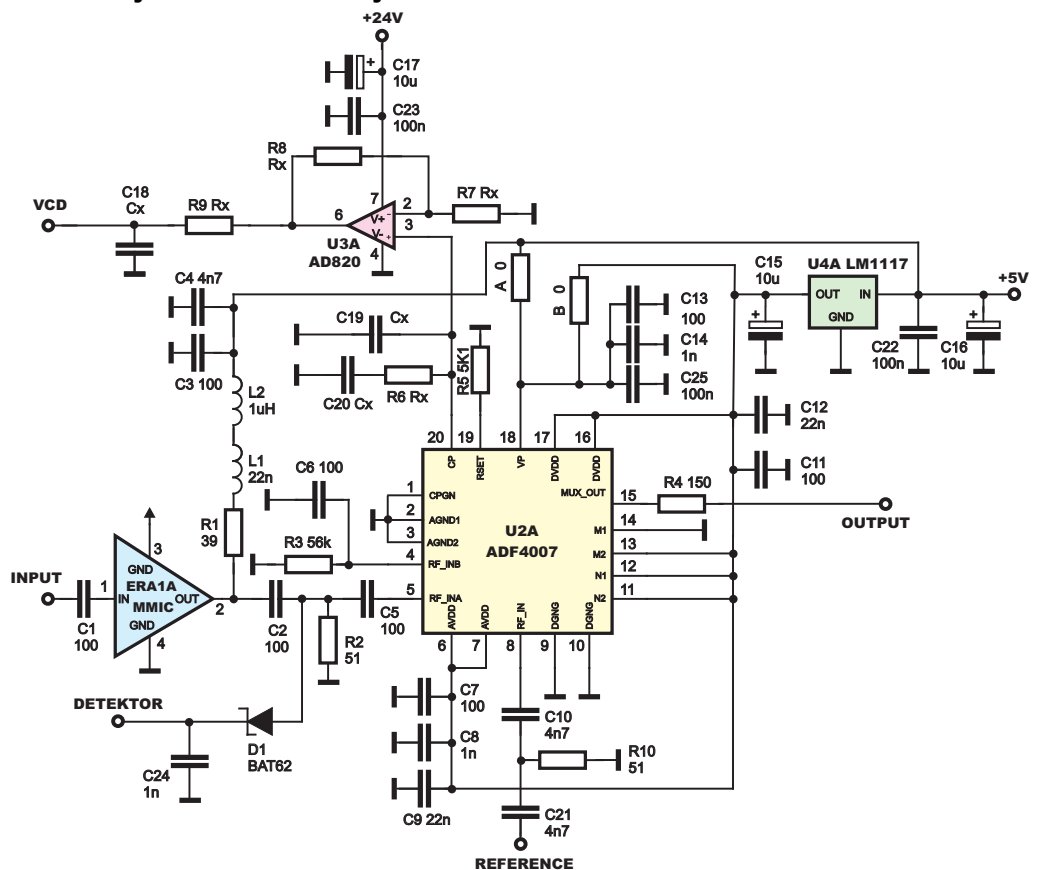
Dioda BAT62 pełni funkcję detektora poziomu i jej stosowanie nie jest konieczne (mój częstotściomierz ma wskaźnik siły sygnału). Całość układu zasilana jest z napięcia stabilizowanego 5V.

## Montaż i uruchomienie

Układ można zmontować na płytce drukowanej o dwustronnym laminacie 0,5mm FR4. Płytkę drukowaną w formacie Gerbera i rysunek montażowy (dla ułatwienia montażu – w skali 300%) można ściągnąć z Elportalu.

Montaż to czynność, która może początkującym przysporzyć najwięcej kłopotów. Zaczynamy od układu scalonego ADF4007. Są dwie metody montażu układu ADF4007 wypróbowane przez autora, pierwsza z nich to położenie kropli pasty do lutowania SMD pod układ scalony i dalej wlutowanie układu lutownicą na gorące powietrze. Druga, może nieco bardziej kłopotliwa, ale za to do wykonania przez każdego, pozycjonujemy dokładnie układ, przyklejamy jeden z jego rogów klejem szybkoschnącym (np.: Kropelka, Superglue, nanosząc minimalną jego ilość np. łepkiem od igły) i czekamy, aż klej stwardnieje. Lutujemy wyprowadzenia znajdujące się na rogach kostki – minimum dwa (znajdują się one nieco powyżej pozosta-

Rys. 1 Schemat ideowy



M2 pin 13	M1 pin 14	Efekt
0	0	Pompa ładunkowa aktywna Muxout – dodatnie napięcie zasilania Polaryzacja układu – wzrost napięcia zwiększa częstotliwość oscylatora przestrajanego
0	1	Wyjście trójstanowe detektora fazy Muxout – wyjście dzielnika R (częstotliwość odniesienia podzielona przez 2) Polaryzacja układu – wzrost napięcia zwiększa częstotliwość oscylatora przestrajanego
1	0	Pompa ładunkowa aktywna Muxout – wyjście dzielnika N Polaryzacja układu – wzrost napięcia zwiększa częstotliwość oscylatora przestrajanego
1	1	Pompa ładunkowa aktywna Muxout – potencjał masy Polaryzacja układu – wzrost napięcia zmniejsza częstotliwość oscylatora przestrajanego

Tabela 1

N2 -pin 11	N1 -pin 12	Stopień podziału dzielnika N
0	0	8
0	1	16
1	0	32
1	1	64

Tabela 2

pozorem nie używamy lutownicy transformatorowej, gdyż grozi to uszkodzeniem elementów mikrofalowych. Przy odrobinie wprawy, drugą z opisanych metod możemy wylutować układ w ciągu 15 minut, wliczając w to czas potrzebny do wyschnięcia kleju. Oczyszczamy płytkę z kalafonii. Sprawdzamy, czy wszystkie wyprowadzenia są przylutowane. Nadmiar cyny możemy ściągnąć za pomocą plecionki nasączonej kalafonią. W razie wystąpienia błędów poprawiamy poszczególne luty. Układ można wylutować tylko za pomocą lutownicy na gorące powietrze. Bardzo pomocna przy szukaniu uszkodzeń jest znajomość napięć na

odpowiednich wyprowadzeniach układu scalonego ADF4007. Na wyprowadzeniach 4 i 5 napięcie wynosi 1,8V. Po wlutowaniu tłumiącego oscylacje opornika R3 spadają do około 1,4V. Napięcie na wyjściu 15 wynosi około 1,25V, za rezystorem 150Ω jest o parę mV wyższe (mierzone multimetrem cyfrowym), jest to reguła (napięcie na wyjściu preskalera mierzymy przed wlutowaniem opornika tłumiącego oscylacje). Częstotliwość wyjściowa generowana przez preskalera powinna wynosić około 100MHz (przed jego s tłumieniem za pomocą opornika R3). Napięcie na wejściu wzmacniacza ERA1 (oznaczone

kropką) powinno wynosić około 2,5V na wyjściu 3,5V. Montaż elementów typu 0603 nie powinien przysporzyć problemów. W celu osiągnięcia deklarowanej maksymalnej częstotliwości pracy, układ wejściowy częstotliwościomierza powinien charakteryzować się odpowiednio wysoką częstotliwością wejściową. Kit częstotliwościomierza AVT-2820 z układem 74F393 umożliwia pomiar do 100MHz (ograniczeniem jest tu zegar procesora wynoszący 12,8MHz, co daje maksymalną mierzoną częstotliwość na poziomie 102,4MHz), dla uproszczenia przyjmujemy równe 100MHz po pomnożeniu przez 64 (podział preskalera na ADF4007), daje to maksymalną częstotliwość mierzoną 6,4GHz. Po zmianie programu i częstotliwości zegara na 15,36MHz maksymalna częstotliwość mierzona przez częstotliwościomierz wynosi 122,8MHz, a z użyciem preskalera 7,86432GHz (wymaga to jednak wgrania nowej wersji programu do układu ATTINY2313). W przypadku zastosowania w kicie AVT-2820 układu 74HC(HCT)393 maksymalna częstotliwość wejściowa jest ograniczona do około 60MHz, co ogranicza również zakres miernika do około 3,7GHz. Problem ten można rozwiązać, zmieniając stopień podziału układu 74393 na 4 i dorabiając małą płytkę z łatwo dostępnym i tanim układem 74F74 lub 74ACT74 pracującym jako dzielnik przez 4. W wypadku zastosowania rezonatora kwarcowego 15,36MHz warto umieścić rezonator kwarcowy w najprostszym nawet termostacie, a uzyskamy uniwersalny i dobrej klasy miernik częstotliwości. Układ jest bardzo czuły: z rezystorem tłumiącym R3 = 33kΩ pozwala mierzyć moc od 0,35mW na 8GHz; 0,1mW na 7GHz a w zakresie 2–6 GHz moce powyżej 0,08mW. Poniżej tego zakresu czułość jest jeszcze lepsza, a poniżej 150MHz wzrosła do maksimum 0,15mW. Uruchomiłem kilka takich preskalerów i zawsze działały dobrze już od 50MHz. Do pomiarów warto używać dobrej jakości kabli teflonowych i złączy SMA. W celu zabezpieczenia układu przed uszkodzeniem przez silny sygnał, warto stosować tłumiki lub mierzyć sygnał przez opór kilkaset omów (ten sposób wprowadza niedopasowanie, ale jest bardzo prosty i wbrew pozorom skuteczny). Otrzymane rezultaty należy uznać za bardzo dobre przy tak niskim nakładzie kosztów.

Chciałbym podziękować firmie Addis z Gliwic za dostarczenie próbek układów scalonych firmy Analog Devices i Stefanowi SP9QZO za wykonanie pomiarów czułości preskalera.

Rafał Orodziński sq4avs  
sq4avs@gmail.com  
sq4avs.googlepages.com

tych wyprowadzeń – dodatkowe wspomniane wcześniej 4 wyprowadzenia). Najlepiej wyprowadzenia układu potrzebne nieco kalafonią i cyną tak, by je pocynować – znacznie ułatwia to lutowanie układu. Klej usuwamy za pomocą zmywacza acetonowego do paznokci i szczoteczki do zębów (warto, by aceton podziałał na klej 2-3 minuty tak, żeby go nieco rozpuścił). Lutujemy pozostałe wyprowadzenia kostki. Pamiętajmy, by nie grzać układu zbyt długo w jednym miejscu. Do lutowania całego układu używamy tylko lutownicy oporowej z uziemionym grotom, pod żadnym

**Wykaz elementów**

**Rezystory**

- R1 ..... 39Ω (0805)
- R2 ..... 51Ω (0603)
- R3 ..... 33kΩ (0805)
- R4 ..... 150Ω (0805)
- R5 ..... 5,1kΩ (0603)
- R6-R9 ..... \* patrz tekst (0805)
- R10 ..... 51Ω (0805)
- A, B ..... 0Ω, patrz tekst (0805)

**Kondensatory**

- C1,C2,C5-C7,C13 ..... 100pF (0603)
- C3,C11 ..... 100pF (0805)
- C4,C10,C21 ..... 4n7 (0805)
- C8,C24 ..... 1nF (0805)

- C9,C12 ..... 22nF (0805)
- C14 ..... 1nF (0603)
- C15-C17 ..... 10μF/30V (tantal)
- C18-C20 ..... \* patrz tekst (0805)
- C22,C23,C25 ..... 100nF (0805)

**Półprzewodniki**

- D1 ..... BAT62
- U1 ..... ERA1
- U2 ..... ADF4007
- U3 ..... LM1117 (SOT223)
- U4 ..... AD820 – montowany w opcji z pill-em

**Pozostałe**

- L1 ..... 22nH (0805)
- L2 ..... 1μH (0805)

Płytką drukowaną jest dostępna w sieci handlowej AVT, jako kit szkolny AVT-2867.