

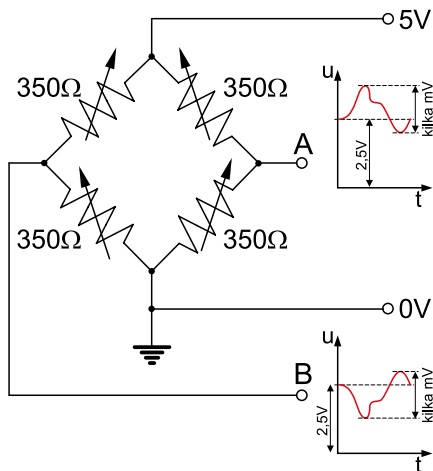
Symulator tensometru

Urządzenia współpracujące z czujnikami mostkowymi, na przykład z tensometrami, mają jedną dość niewygodną w uruchamianiu i testowaniu cechę. Wejściowy wzmacniacz instrumentalny jest sterowany napięciem różnicowym o bardzo małej amplitudzie i dużej składowej stałej. Zastąpienie do testów rzeczywistego czujnika wymaga stosowania odpowiedniego generatora lub... opisanego w artykule adaptera.

Wszelkiego rodzaju czujniki mostkowe (tensometry, czujniki ciśnienia itp.) są obecnie powszechnie stosowane w wielu aplikacjach automatyki i sterowania. Współpracują one ze specjalnymi wzmacniaczami, tzw. instrumentalnymi, przystosowanymi do wzmacniania sygnałów różnicowych. Sygnał tego typu jest więc niezbędny do wykonania pomiarów i testów urządzenia, ale większość powszechnie stosowanych generatorów małosygnałowych nie ma odpowiedniego trybu pracy. Rozwiązaniem jest zastosowanie odpowiedniego adaptera, który asymetryczny przebieg ze zwykłego generatora zmieni na różnicowy sygnał taki, jaki jest odbierany z mostka tensometrycznego.

Zasada działania czujnika tensometrycznego

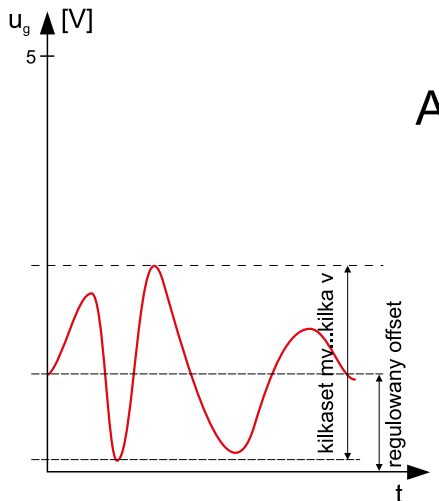
Przyjrzyjmy się, jak taki sygnał powstaje. Na **rysunku 1** przedstawiono czujnik tensometryczny w układzie pełnego mostka Wheatstone'a. W konfiguracji takiej tensometry są umieszczone w każdej gałęzi mostka, dzięki czemu uzyskuje się największą czułość. Spotykane są również rozwiązania prostsze. Na przykład układ z dwoma tensometrami i dwoma zwykłymi rezystorami jest nazywany pół-mostkiem. Idąc dalej można stosować tylko jeden tensometr uzupełniony



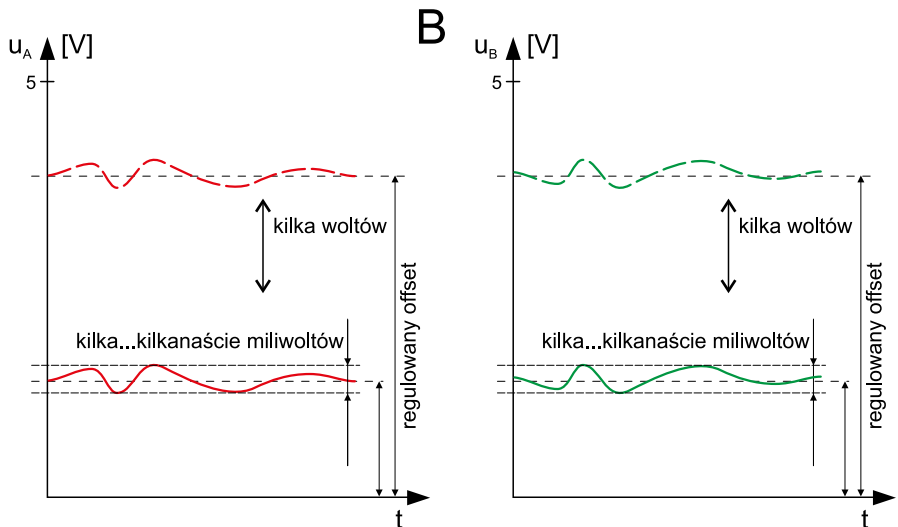
Rysunek 1. Czujnik tensometryczny w układzie pełnego mostka zasilany napięciem stałym

trzema rezystorami. Każda z tych konfiguracji co do zasady działa identycznie, co wynika z budowy samego mostka Wheatstone'a, różnice polegają na uzyskiwanej czułości i ewentualnej komplikacji połączeń ze wzmacniaczem pomiarowym.

Mostek jest zasilany najczęściej napięciem stałym (typowo 5 lub 10 V), ale spotykane są również aplikacje, w których jest stosowane napięcie zmienne. Zasilane jest podawane do przeciwległych węzłów



A



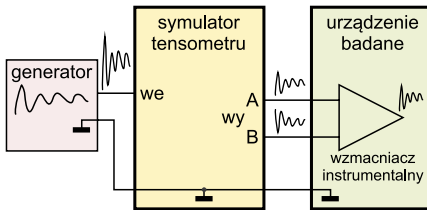
B

Rysunek 2. Sygnały symulatora tensometrów a) przebieg wejściowy o dużej amplitudzie, b) przebiegi wyjściowe o regulowanej składowej stałej i małej amplitudzie

mostka, zaś z pozostałych dwóch (też przeciwległych) odbierany jest sygnał wyjściowy. W umownym stanie spoczynkowym rezystancje w każdej z gałęzi powinny być równe, natomiast podczas pobudzenia mostka muszą zmieniać się w odpowiednich kierunkach tak, aby sygnał wyjściowy sumował się, a nie kompensował. Spełnienie tego warunku wymaga odpowiedniego oklejenia tensometru, co jest sztuką samą w sobie.

Zalóżmy dla ustalenia uwagi, że mostek jest zasilany napięciem stałym 5 V. Z uwagi na równość rezystancji w gałęziach mostka w stanie równowagi napięcie mierzone bezpośrednio między zaciskami „A” i „B” jest równe zero, natomiast napięcia mierzone na każdym z tych zacisków względem masy jest równe połowie napięcia zasilania, czyli 2,5 V. Każde pobudzenie tensometru spowoduje zmianę jego rezystancji, jednak nawet w układzie pełnego mostka sygnał wyjściowy między zaciskami „A” i „B” zwykle nie jest większy od kilku do kilkunastu miliwoltów. Teraz już wiadomo na czym polega trudność generowania sygnału. Musi to więc być przebieg różnicowy o amplitudzie od kilku do kilkunastu miliwoltów ze względnie dużym napięciem wspólnym, np. 2,5 V. Przykładowe sygnały przedstawiono na rys. 1. Typowe, najbardziej dostępne generatory mają na ogół jedno wyjście, a nawet jeśli są dwa, nie zawsze można je skonfigurować do pracy różnicowej. Dodatkowa trudność polega na wytwarzaniu małych, zaledwie kilkumiliwoltowych napięć. Często do sygnału dostaje się brum sieciowy, z którym walka jest niełatwa.

W urządzeniach pomiarowych sygnał z tensometrów jest podawany

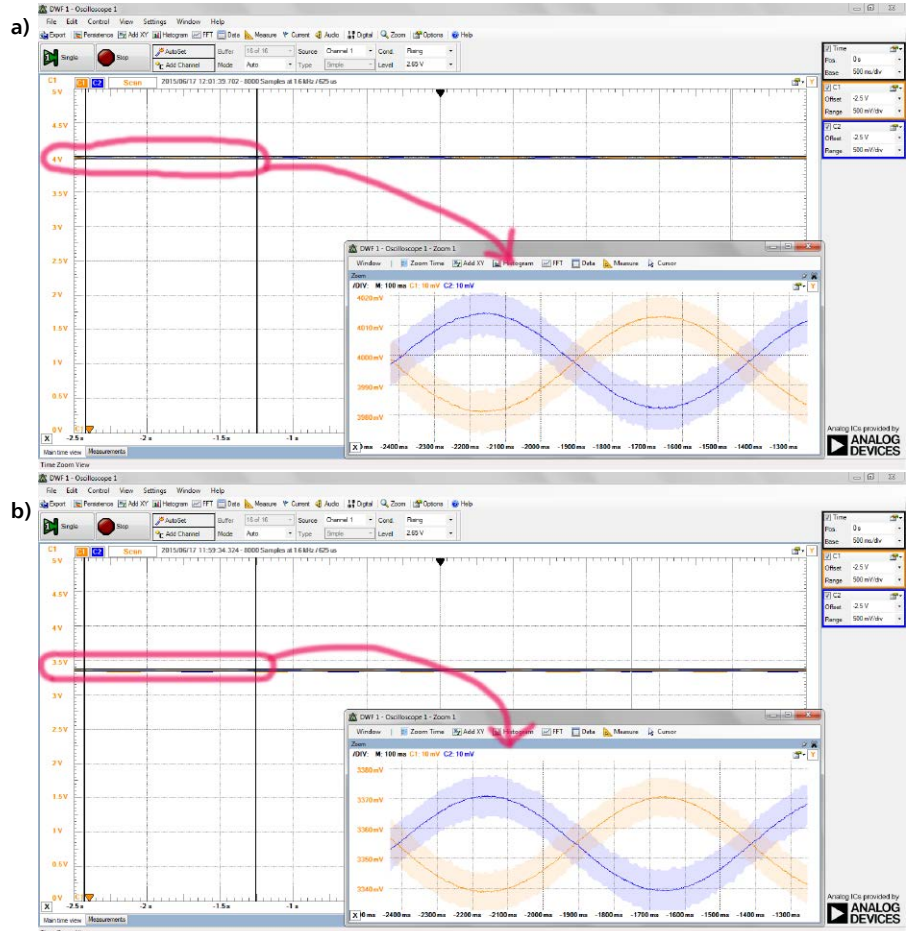


Rysunek 3. Schemat blokowy adaptera/symulatora tensometrów

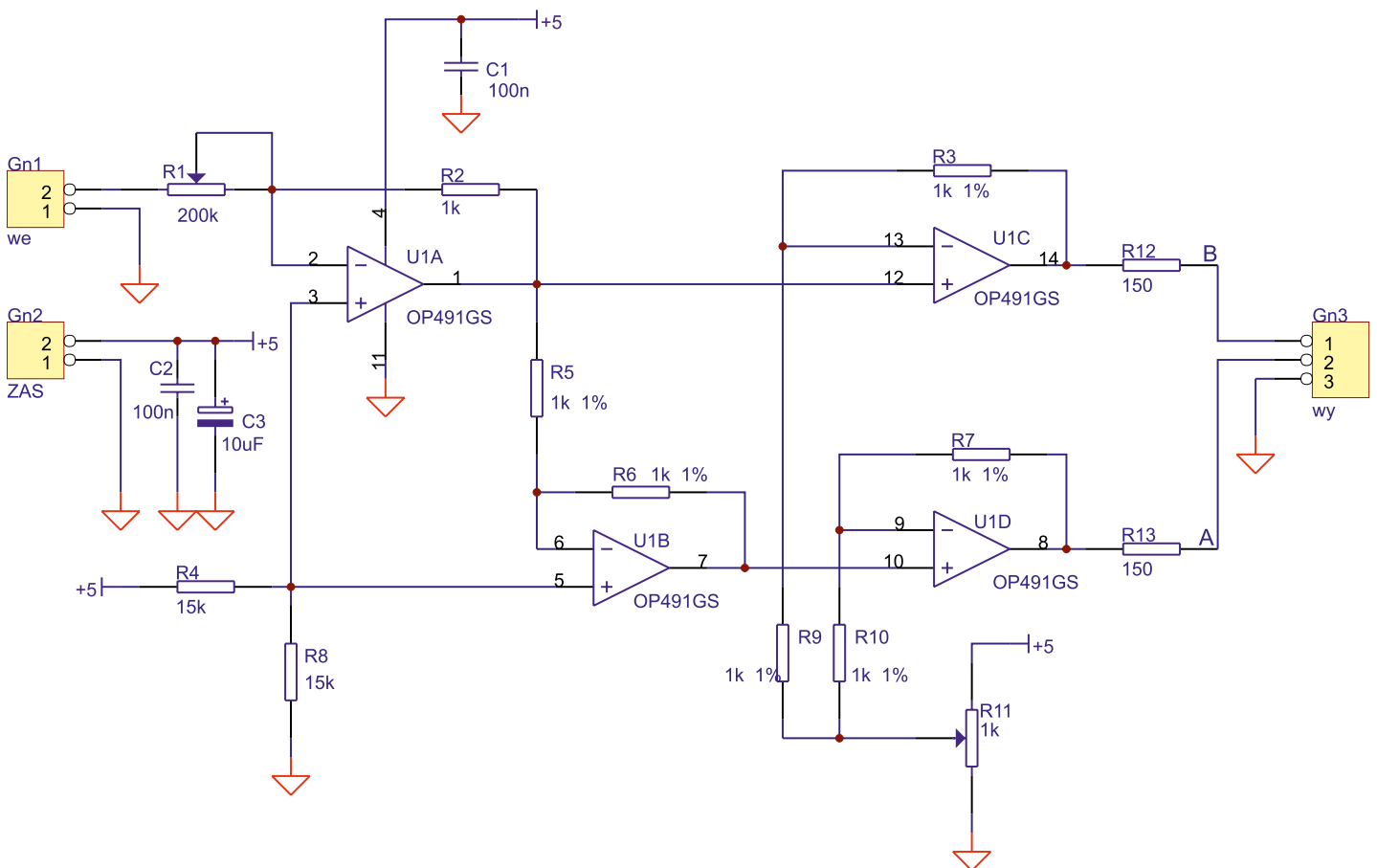
do wzmacniacza instrumentalnego z wejściem różnicowym. Brak testowego sygnału różnicowego można ominąć na przykład przez podanie na jedno z wejść takiego wzmacniacza napięcia stałego, równego składowej stałej otrzymywanej z mostka, na drugie wejście podaje się natomiast asymetryczny sygnał o amplitudzie kilku miliwoltów z taką samą składową stałą. Oszukanie w ten sposób wzmacniacza instrumentalnego jest skuteczne, będzie on prawidłowo wzmacniał sygnał różnicowy, jednak bardzo małe sygnały wejściowe występujące na tle dużych składowych stałych nie ułatwiają pracy.

Zasada działania symulatora tensometru

Nadszedł wreszcie moment, w którym zdecydowałem się zbudować adapter do zwykłego, nawet najprostszego generatora, umożliwiając uruchamianie, testowanie i badanie parametrów wzmacniaczy tensometrycznych. Założenie było proste: należało skonstruować



Rysunek 5. Regulacja składowej stałej sygnału na wyjściach „A” i „B”, a) składowa stała równa ok. 4 V, składowa stała równa ok. 3,36 V



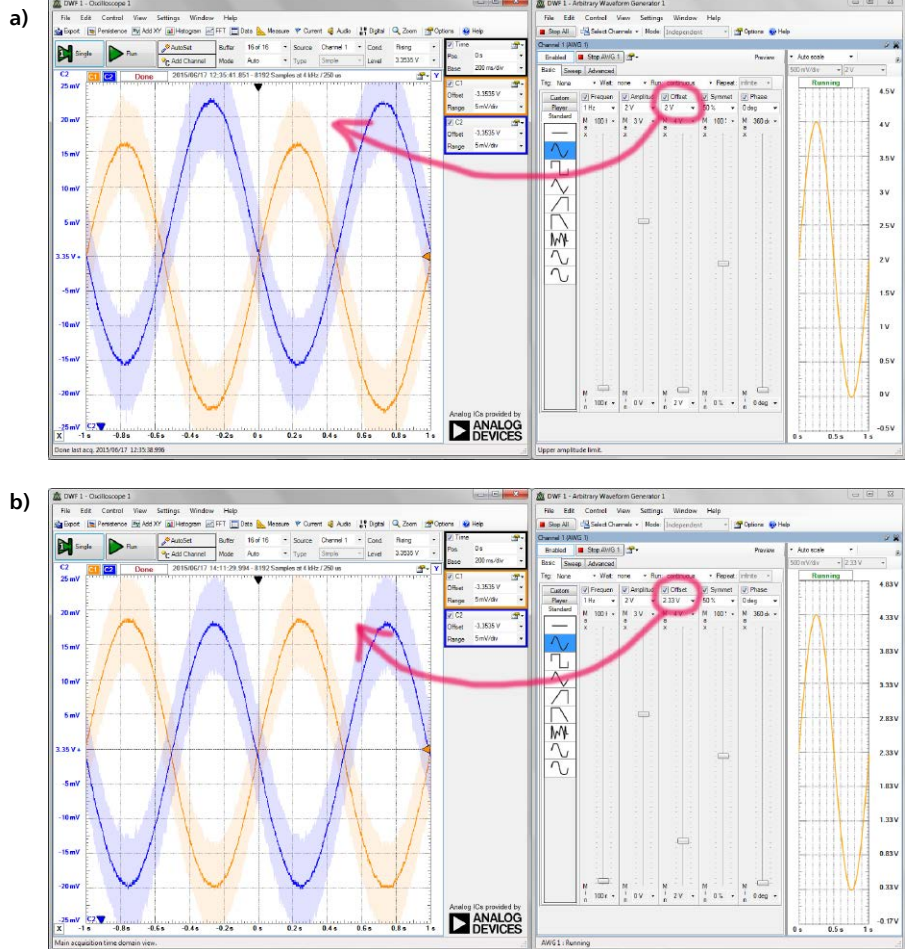
Rysunek 4. Schemat ideowy adaptera/symulatora tensometrów

układ, który asymetryczny sygnał o amplitudzie od kilkuset miliwoltów do pojedynczych woltów podawany z generatora m.c.z. będzie modyfikował na sygnał różnicowy o budowie przedstawionej na **rysunku 2**. Układ ma zatem jedno wejście asymetryczne i wyjście symetryczne. Powinien ponadto mieć dwa elementy umożliwiające regulację wzmocnienia (tłumienia) i offsetu. Schemat blokowy adaptera/symulatora przedstawiono na **rysunku 3**, zaś schemat ideowy na **rysunku 4**. Jak widać układ pełni funkcję czynnego tłumika sygnału i symetryzatora. Sygnał z generatora o amplitudzie od kilkuset miliwoltów do kilku woltów jest podawany na wejście odwracające pierwszego wzmacniacza operacyjnego. Zastosowano tu poczwórny wzmacniacz OP491 produkowany przez Analog Devices, ale z powodzeniem mogą być użyte niemal dowolne inne wzmacniacze rail-to-rail przystosowane do zasilania jednym napięciem. Wzmacniacz U1A zmniejsza duże napięcie generatora do wymaganych kilku, kilkunastu miliwoltów. Jego wzmocnienie jest równe $-R2/R1$. Przy ustawieniu suwaka w położeniu odpowiadającym maksymalnej rezystancji będzie więc równe 1:200 (ok. -46 dB), co odpowiada największemu możliwemu tłumieniu. Układ OP491 jest zasilany napięciem $+5$ V podawanym z zewnętrznego zasilacza przez gniazdo Gn2. Rezystory R4 i R8 polaryzują wejścia nieodwracające wzmacniaczy U1A i U1B napięciem równym połowie napięcia zasilania zapewniając maksymalną dynamikę układu. Pracujący w typowej konfiguracji z wejściem odwracającym wzmacniacz U1B zmienia o 180° fazę zmniejszonego wcześniej sygnału. Jego wzmocnienie jest równe -1 , ale osiągnięcie dokładnie tej wartości wymaga stosowania rezystorów 1-procentowych lub lepszych. Jak widać, generator jest dołączony stałoprądowo do adaptera. Podawany z niego sygnał powinien więc mieć składową stałą o takiej wartości, aby przebieg nie był ucinany ani z dołu, ani z góry. Kolejne dwa wzmacniacze: U1C i U1D pracują w konfiguracji z wejściem nieodwracającym. Mają one wzmocnienie równe $2 (1 + R3/R9 + 1 + R7/R10)$. Ich zadaniem jest wprowadzenie regulowanej potencjometrem R11 składowej stałej napięć wyjściowych. Regulacja jest współbieżna, tzn. że zmiana położenia suwaka R11 powoduje identyczne przesunięcie tej składowej na wyjściu „A” i „B”. Przykład takiej regulacji przedstawiono na **rysunku 5**. Składowa stała na wyjściach „A” i „B” odpowiada napięciom w gałęziach pomiarowych mostka tensometrycznego mierzonych względem masy w stanie spoczynkowym. W rzeczywistym układzie napięcie to, jak wiemy, jest równe połowie napięcia zasilającego mostek. Rezystory R12 i R13 odpowiadają rezystancjom widzianym na wyjściach „A” i „B” mostka (**rysunek 1**).

W tym miejscu nasuwa się pytanie, co będzie się działo przy zmianie offsetu

sygnału wejściowego? Regulację taką wykonuje się przede wszystkim wtedy, gdy okaże się, że składowe stałe na wyjściach „A” i „B” nie są równe, co wobec dopuszczalnego rozrzutu parametrów użytych elementów nie jest niemożliwe. Przykładową rozbieżność balansu na wyjściach „A” i „B” przedstawiono na **rysunku 6a**. Przy offsecie sygnału generatora równym 2 V na wyjściach „A” i „B” widoczne są wyraźnie inne składowe stałe, dopiero po skorygowaniu przesunięcia

napięcia generatora na $2,33$ V uzyskano identyczny offset na obu wyjściach adaptera (**rysunek 6b**). Offset sygnału wejściowego będzie także wpływał na składową stałą różnicowego sygnału wyjściowego U_{AB} . Zmieniając offset sygnału generatora można więc symulować niezrównoważenie mostka w stanie spoczynkowym. Jest to dość powszechnie występujący problem, z którym borykają się użytkownicy tensometrycznych mostków pomiarowych.



Rysunek 6. Regulacja równowagi wyjścia różnicowego, a) sygnał niezbalansowany przy offsecie wejściowym 2 V, b) sygnał zbalansowany przy offsecie wejściowym $2,33$ V



Rysunek 7. Pomiar pasma wzmacniacza tensometrycznego z wykorzystaniem symulatora tensometru

Nieźródnoważenie wyniku z różnic w rezystancjach tensometrów użytych do budowy mostka, może być także powodowane niedokładnym oklejeniem tensometrów oraz dryftem temperaturowym.

Odpowiednikiem zerowania mostka tensometrycznego jest w symulatorze taka kalibracja różnicowego sygnału wyjściowego, aby był on pozbawiony składowej stałej.

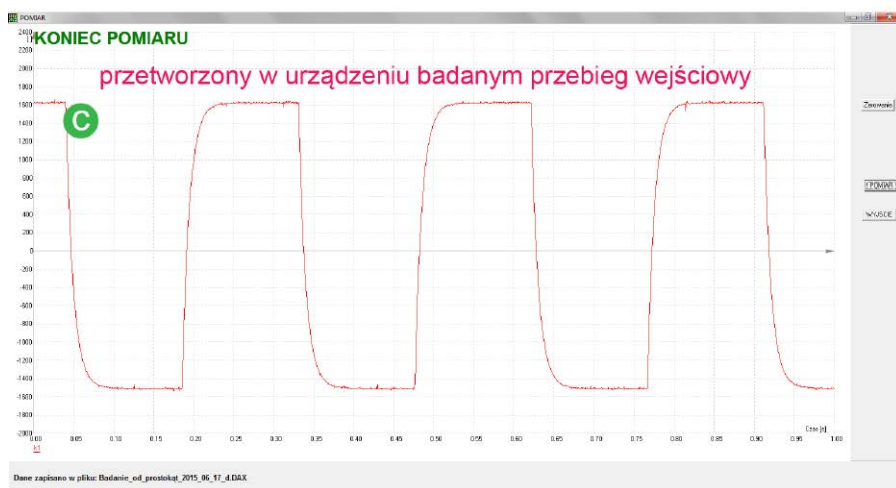
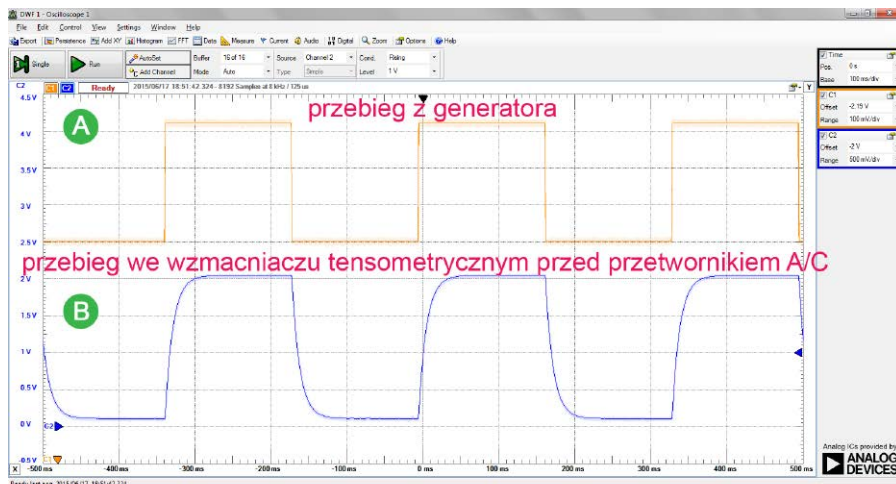
Problem techniczny w tym przypadku polega na konieczności stosowania różnicowej sondy pomiarowej, która jednak może być zastąpiona dostępnymi w każdym oscyloskopie cyfrowym obliczeniami matematycznymi. Należy korzystać z operacji odejmowania kanałów. Wartość średnia CHA i CHB musi być równa zero. Do kalibracji najlepiej nadaje się sygnał sinusoidalny.

Zastosowania praktyczne

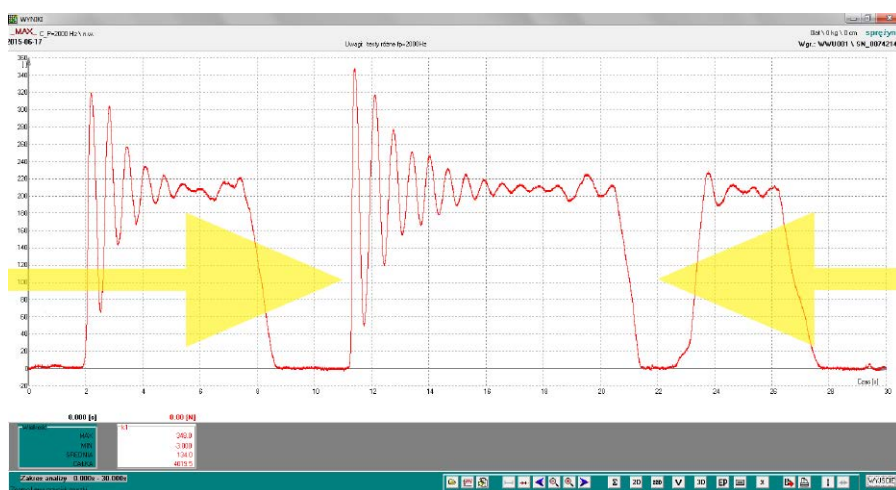
Pomiary wzmacniaczy tensometrycznych pobudzanych sygnałami z samych tensometrów jest bardzo kłopotliwe, często wręcz niewykonalne. Nielatwo byłoby na przykład przygotować stanowisko służące do mierzenia pasma wzmacniacza. Wymagałoby ono mechanicznego pobudzania tensometru w szerokim zakresie częstotliwości. Symulator wykazuje tu nieocenioną przydatność praktyczną. Przykład pomiaru pasma wzmacniacza tensometrycznego przedstawiono na **rysunku 7**. Do jego wejścia zamiast rzeczywistego tensometru dołączono symulator, który z kolei był sterowany sygnałem z generatora. W badanym wzmacniaczu zastosowano filtr 1-biegunowy o częstotliwości granicznej ok. 16 Hz, co zostało potwierdzone testami. W końcowej części pomiaru sygnał przyjmował już na tyle niskie poziomy, że w zasadzie stał się niemierzalny. Na wykresie pojawiły się więc widoczne fluktuacje, które należy ignorować.

Znając już pasmo robocze wzmacniacza można porównać sygnał mierzony wzmacniaczem z sygnałem oryginalnym podawanym na wejście. Przy okazji sprawdzimy jaka jest odpowiedź wzmacniacza na pobudzenie przebiegiem prostokątnym. Wyniki takiego eksperymentu przedstawiono na **rysunku 8**. Sygnał z generatora (**rysunek 8a**) po wzmocnieniu przez wzmacniacz instrumentalny przybiera kształt jak na **rysunku 8b**. Widoczne są zaokrąglenia zboczy wynikające z działania filtra. Sygnał ten jest przetwarzany przez znajdujący się w badanym urządzeniu procesor współpracujący z przetwornikiem analogowo-cyfrowym, a następnie jest przesyłany interfejsem USB do komputera, na którym jest wyświetlany w postaci wykresu widocznego na **rysunku 8c**.

Kolejnym zastosowaniem opisywanego symulatora jest zastąpienie tensometru do badania i modelowania różnych zjawisk. Załóżmy, że do pracy potrzebny będzie sygnał z tensometru przymocowanego do sprężyny, na której jest zawieszony ciężar poddawany następnie drganiom. Podobne zagadnienie może dotyczyć na przykład badania reakcji resoru samochodowego podczas jazdy na wybojach. Do eksperymentu konieczne jest zastosowanie generatora arbitralnego. W pierwszym kroku przeprowadzono pomiar na rzeczywistym obiekcie. Podwieszony do sprężyny ciężar został więc trzykrotnie odciągnięty od stanu równowagi w celu obserwacji fazy stabilizowania się układu. Zarejestrowane wyniki przedstawiono na **rysunku 9**. Teraz, korzystając z dysponowania już cyfrowym zapisem takiego sygnału wydzielono fragment przebiegu znajdujący się między strzałkami i wpisano go do generatora arbitralnego, jako sygnał użytkownika. Od tej chwili ani ciężar ze sprężynami ani tensometr nie jest już potrzebny do dalszych prac. Generowany przez taki zestaw sygnał został zastąpiony sztucznym



Rysunek 8. Porównanie sygnałów w różnych punktach wzmacniacza tensometrycznego, a) sygnał wejściowy z generatora, b) sygnał na wyjściu filtra za wzmacniaczem instrumentalnym, c) przetworzony cyfrowo sygnał w aplikacji użytkowej

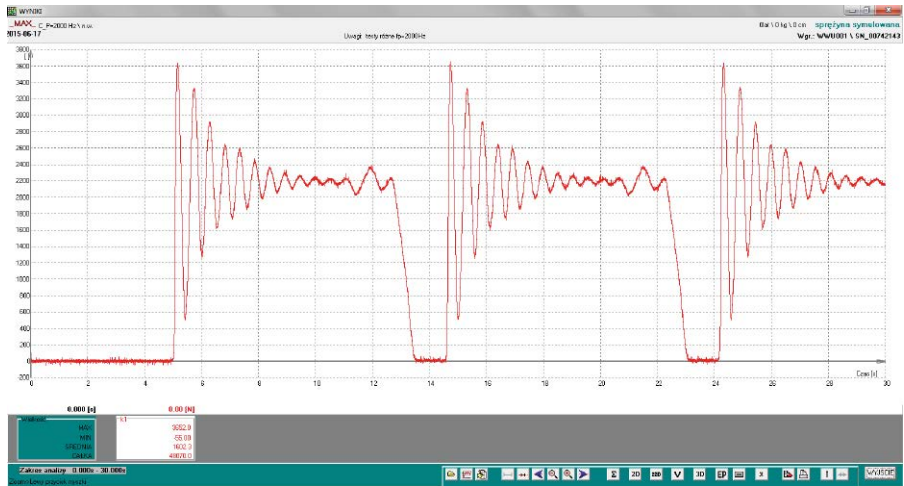


Rysunek 9. Pomiar naprężenia pobudzonej sprężyny z ciężarem w celu pozyskania danych dla symulacji

sygnałem wytwarzanym przez generator arbitralny. Doprowadzono go do wzmacniacza za pośrednictwem symulatora tensometru, a sam tensometr powędrował na półkę. Teraz ponownie dokonano pomiaru, tym razem jednak już ze sztucznym sygnałem. Dodatkową korzyścią stała się możliwość regulacji częstotliwości drgań sztucznej sprężyny i obserwowanie reakcji wzmacniacza (rysunek 10).

Okazuje się, że ten mały, niepozorny i prosty w budowie adapterek może być bardzo przydatny w pracach konstrukcyjnych i serwisowych związanych z urządzeniami współpracującymi ze wszelkiego rodzaju czujnikami mostkowymi. Próby przeprowadzono z czujnikiem tensometrycznym, ale zakres zastosowań nie ogranicza się tylko do tego typu elementów.

Jarosław Doliński, EP



Rysunek 10. Pomiary wzmacniacza tensometrycznego sterowanego sygnałem imitującym drgania sprężyny

Materiały termoprzewodzące w Klubie Aplikantów Próbek



Dzięki uprzejmości firmy Semicon, dostarczającej m.in. wysokiej jakości materiały termoprzewodzące firm 3M i Fujipoly, czytelnicy Elektroniki Praktycznej będą mogli samodzielnie sprawdzić skuteczność tych materiałów.

Mamy do rozdania, na zasadach Klubu Aplikantów Próbek, ponad 170 różnych taśm i podkładek termoprzewodzących. W przypadku produktów firmy 3M są to następujące modele o podanych wymiarach:

5590H 1,5 mm:

48 szt. po 4×4 cm

8940:

48 szt. po 4×4 cm

8810:

49 szt. po 4×3,5 cm

W przypadku produktów Fujipoly, mamy dla naszych czytelników następujące materiały:

100GR-L 1,0 mm:

10 szt. po 8×2 cm

GR-M 1,5 mm:

1 szt. po 20×4 cm

1 szt. po 20×2 cm

GR-M 1,0 mm:

3 szt. po 20×2,5 cm

1 szt. po 20×4 cm

GR-M 0,5 mm:

2 szt. po 20×2 cm

GR-L 0,5 mm:

10 szt. po 8×2 cm



Zapraszamy do uczestnictwa w Klubie Aplikantów Próbek!