

LABORATORIUM UKŁADÓW PRZETWARZANIA SYGNAŁÓW OPTYCZNYCH

GRUPA:	PROTOKÓŁ DO ĆWICZENIA nr	
Skład podgrupy nr	Temat ćwiczenia: Badanie układów detekcji z synchronicznym całkowaniem – wzmacniacz Boxcar	
1. 2. 3. 4.	Data wykonania ćwiczenia	Prowadzący ćwiczenie
	Ocena	Podpis prowadzącego ćw.

Dane urządzeń pomiarowych

Lp.	Nazwa urządzenia	Marka	Typ
1	<i>Komputer z oprogramowaniem LabVIEW</i>
2	<i>Generator Tektronix3252</i>
4	<i>Zestaw układu Boxcar firmy Stanford Reserach</i>
6	<i>Oscyloskop cyfrowy RIGOL 1052</i>

1 Cel ćwiczenia

Zapoznanie studentów z zaawansowanymi technikami przetwarzania sygnałów umożliwiającymi zwiększenie stosunku mocy sygnału do mocy szumów w układach detekcji sygnałów optycznych. W trakcie ćwiczenia przedstawione zostaną podstawowe właściwości układów detekcji z synchronicznym całkowaniem oraz wzmacniaczy typu Boxcar.

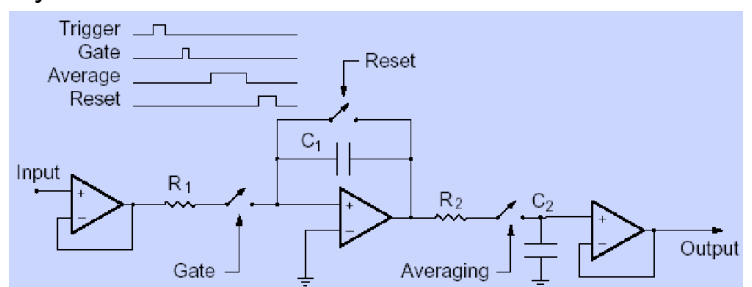
2 Opis układu pomiarowego

Stanowisko laboratoryjne składa się z dwóch zasadniczych bloków:

- komputera z oprogramowaniem symulacyjnym,
- wzmacniacza typu Boxcar z generatorem i oscyloskopem.

2.1. Moduł symulacyjny

Moduł symulacyjny został opracowany w oparciu o zasadę działania układu z synchronicznym całkowaniem. Idea jego pracy odzwierciedla schemat funkcjonalny wzmacniacza Boxcar przedstawiony na rys. 1.

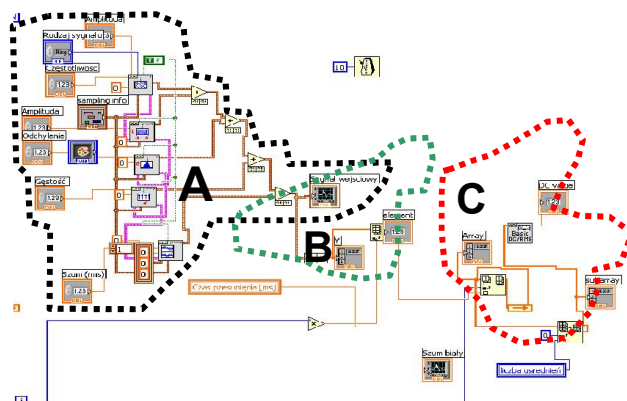


Rys.1. Schemat ideowy układu wzmacniacza Boxcar.

Opracowany program symulacyjny umożliwi pomiar sygnału nie tylko w jednej chwili czasowej, ale również i określenie jego kształtu. Użytkownik ma możliwość regulacji ilości próbek, które zostaną poddane operacji uśredniania a oraz odstępu czasu skanowania badanego przebiegu. Program składa się z trzech zasadniczych bloków:

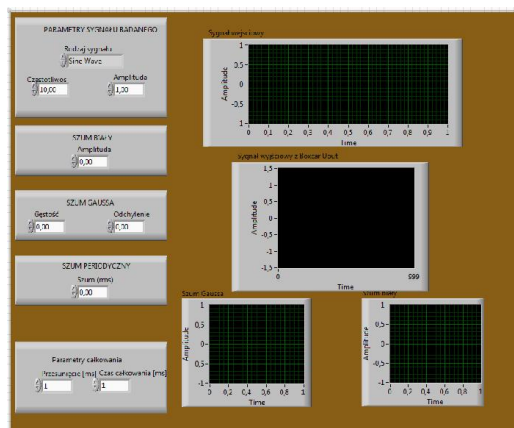
- bloku generatora (A),
- bloku skanowania (B),
- bloku uśredniania (C).

Na rysunku 2 przedstawiono schemat funkcjonalny oprogramowania wraz z zaznaczonymi blokami. Sygnał użyteczny jest wytwarzany w specjalnie przygotowanym generatorze. W generatorze tym istnieją możliwości określenia parametrów wytwarzanego sygnału: standardowych: rodzaj kształtu, amplituda, częstotliwość, współczynnik wypełnienia, składowa stała oraz rozszerzonych: dodanie szumu o ściśle określonym charakterze tzn. szum biały, okresowy, Gaussa. Sygnał ten zostaje następnie zapamiętany w macierzy w postaci punktów, które przekazywane do bloku uśredniania. W bloku tym, liczba uśrednień jest realizowana w pętli FOR.



Rys. 2. Schemat funkcjonalny oprogramowania symulacyjnego wzmacniacza typu Boxcar

W pętli następuje również proces skanowania czasowego sygnału, czyli chwili pobrania próbek sygnału. Proces ten jest sterowany zadaniem przesunięciem (krokiem) i kolejną iteracją realizowanej pętli. Szybkość działania symulatora jest regulowana przez procedurę WAIT UNTIL. Zatem poprzez zmianę odpowiednich parametrów czasowych oraz zastosowanie zadanej liczby uśrednień można zaobserwować zasadę działania wzmacniacza typu Boxcar. Całość programu symulacyjnego jest sterowana przy użyciu panelu użytkownika – rys. 3.



Rys. 3. Widok panelu użytkownika.

2.2. Stanowisko z układem typu Boxcar firmy Stanford Research

System SR200 firmy Stanford Research jest przyrządem modułowy przeznaczonym do próbkowania i analizy szybkozmiennych sygnałów analogowych. Przyrząd ten składa się z kilku modułów umieszczonych we wspólnej obudowie umożliwiającej wspólne ich zasilanie oraz przesyłanie danych – rys.4.



Rys. 3. Widok systemu SR200

W skład tego modułu wchodzi:

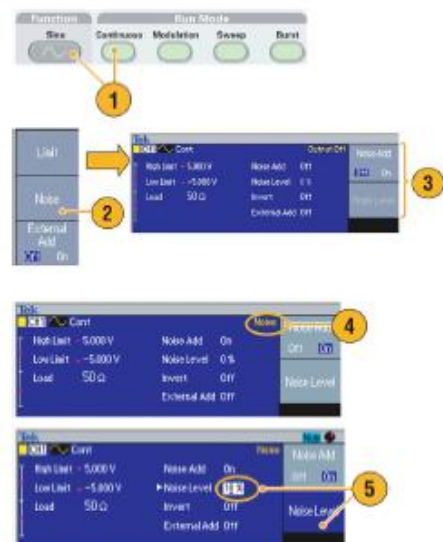
- moduł bramkowanego integratora SR250, jednoweściowy element z regulacją czasu otwarcia bramki od 2 ns do 5 μ s. oraz możliwością uśrednienia do 10 000 próbek,
- moduł interfejsowy SR245 umożliwia przetwarzanie i gromadzenie danych w ośmiu kanałach i komunikowanie się z komputerem przy użyciu interfejsu RS 232 lub GPIB,
- moduł przedwzmacniacza SR240A zawierającego cztery kanały o wzmacnieniu do 5 i pracujących do 300 MHz,
- moduł skanujący SR200
- moduł procesora sygnałowego SR235 umożliwia realizację kilku podstawowych operacji na sygnałach wejściowych A, B, A-B, AB/10, 10A/B, lub $\sqrt{(A^2+B^2)}$ oraz funkcji $F(x)=x, x^2, \ln(x), dx/dt$, lub $(dx/dt)/100$,
- moduł wyświetlacza SR275.

Cały system umożliwia sterowanie czasem otwarcia bramki dla integratora w zakresie od 100 ps do 150 μ s oraz pracę z częstotliwością 50 kHz. Dzięki tym właściwościom przyrząd SR 200 może pełnić rolę bramkowanego integratora lub wzmacniacza typu Boxcar. Może on być zatem zastosowany do rejestracji szybkich, powtarzających się sygnałów analogowych.

Istotnym elementem stanowiska jest źródło sygnałów testowych – generator Tektronix AFG3252. W przypadku ćwiczenia laboratoryjnego, generator ten będzie zastosowany jako źródło sygnału użytecznego oraz ewentualnych szumów. Dodanie szumów może odbywać się dwoma metodami. W pierwszej z nich, generator standardowo może dodać szum do przebiegu w opcjach jego parametrów wyjściowych. Na rysunku 4 przedstawiono procedurę związaną z operacją dodania szumów do generowanego przebiegu. Istotnym ograniczeniem tej metody jest dopuszczalny względny poziom szumów (50%).

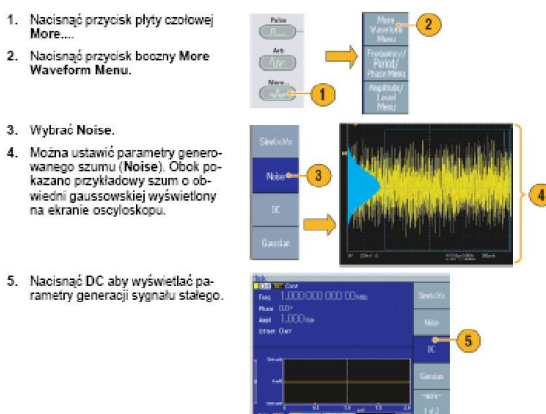
Aby do przebiegu dodać wytwarzany wewnętrznie sygnał szumu należy użyć menu Output.

1. Naciśnięcie przycisku płyty czołowej Sine > Continuous aby wyświetlić ekran przebiegu sinusoidalnego, jak w przykładzie obok.
2. Postępować zgodnie z opisem ze strony 46 aby wyświetlić menu Output. Aby dodać szum do przebiegu sinusoidalnego należy nacisnąć przycisk boczny Noise.
3. Wyświetlił się menu Noise Add. Naciśnięcie przycisku Noise Add i wybranie opcji On.
4. Naciśnięcie przycisku płyty czołowej CH1 Output, uaktywniając wyjście. Status wyjścia (Output Status) – patrz str. 20 – zmienił się z Output Off na Noise.
5. Aby dobrać poziom szumu, należy nacisnąć przycisk boczny Noise Level. Do wprowadzania wartości można użyć pokrętła głównego lub klawiatury numerycznej.



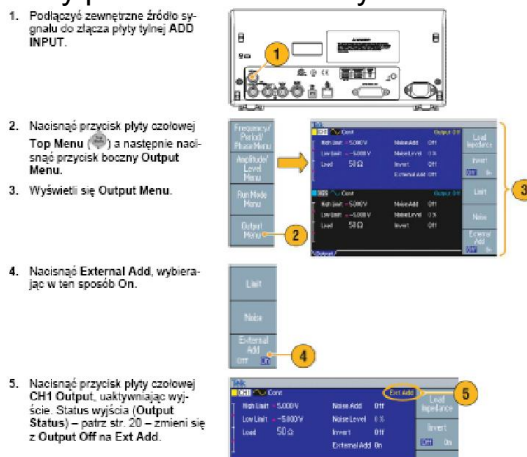
Rys. 4. Opis procedury dodawania wewnętrznego szumu do sygnału użytecznego

W drugiej metodzie, stosuje się możliwość dodawania dwóch sygnałów. W tym celu należy jedno z wyjść generatora zadeklarować jako źródło szumów – opis procedury przedstawiono na rys. 5.



Rys. 5. Opis procedury generacji szumu

Następnie drugie z wyjść zadeklarować jako źródło sygnału użytecznego – (sinus, prostokąt, impuls itp.). Dokonać procedury dodawania dwóch sygnałów (sygnałów dwóch kanałów) przy wykorzystaniu wejścia ozn. ADD INPUT znajdującego się na tylnym panelu generatora. Opis całej procedury przedstawiono na rys. 6.

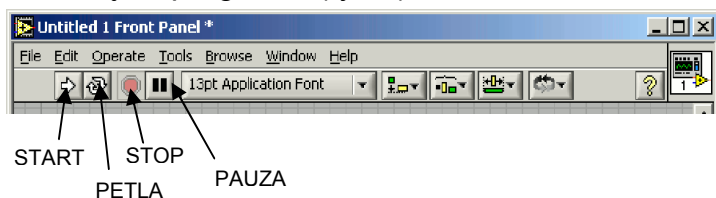


Rys. 6. Opis procedury dodawania zewnętrznego szumu do sygnału użytecznego

3 Przebieg ćwiczenia

3.1. Symulacje

Symulator został opracowany w środowisku LabVIEW. Do jego uruchomienia służy górny pasek narzędzi programu (rys.6)



Rys. 7. Pasek uruchomieniowy programu

Zmianę parametrów dokonuje się poprzez umieszczenie wskaźnika myszki w danym polu wpisaniu wymaganej wartości. UWAGA: przed każdą zmianą parametrów symulacji należy zatrzymać program (przycisk STOP) i następnie go uruchomić.

1. Dokonać oceny wpływu zmian wartości kroku skanowania na amplitudę sygnału wyjściowego wzmacniacza.

- I. Przyjąć następujące parametry w oknie Sygnału użytecznego.

- Przebieg prostokątny: $f=10$ Hz, $U=1V$,
- II. Przyjąć następujące parametry w oknie Sygnału szumu.
 - brak, wszystkie parametry szumowe zero.
- III. Przyjąć następujące parametry w oknie Parametry całkowania:
 - przesunięcie $\Delta t=1ms$, czas całkowania $t_c=10$ ms
- IV. Zarejestrowane oscylogramy Sygnał wyjściowy z Boxcar dla dwóch przesunięć (kroków skanowania) umieścić w tabeli 1.

Tab. 1. Wyniki symulacji wpływu kroku skanowania

Oscylogram dla $\Delta t=1ms$	Oscylogram dla $\Delta t=50ms$

II. Dokonać oceny wpływu zmian wartości czasu całkowania (czas bramki) na amplitudę sygnału wyjściowego wzmacniacza.

- V. Przyjąć następujące parametry w oknie Sygnału użytecznego.
 - Przebieg prostokątny: $f=10$ Hz, $U=1V$,
- VI. Przyjąć następujące parametry w oknie Sygnału szumu.
 - brak, wszystkie parametry szumowe zero.
- VII. Przyjąć następujące parametry w oknie Parametry całkowania:
 - przesunięcie $\Delta t=1ms$, czas całkowania $t_c=10$ ms
- VIII. Zarejestrowane oscylogramy Sygnał wyjściowy z Boxcar dla dwóch przesunięć (czas bramki) umieścić w tabeli 2.

Tab. 2. Wyniki symulacji wpływu kroku skanowania

Oscylogram dla $t_c=10ms$	Oscylogram dla $t_c=50ms$

III. Dokonać oceny skuteczności metody detekcji z synchronicznym całkowaniem na zwiększenie stosunku SNR

- I. Przyjąć następujące parametry w oknie Sygnału użytecznego.
 - przebieg sinusoidalny: $f=1$ Hz, $U=1V$,
- II. Przyjąć następujące parametry w oknie Sygnału szumu.
 - Szum Gaussa: gęstość 100mV, odchylenie = 100mV
- III. Przyjąć następujące parametry w oknie Parametry całkowania:
 - przesunięcie $\Delta t=1ms$, czas całkowania $t_c=50$ ms
- IV. Zarejestrowane oscylogramy Sygnał wyjściowy z Boxcar dla zadanych parametrów szumów i procedury całkowania umieścić w tabeli 3.

Tab. 3. Wyniki symulacji dla @różnych parametrów szumu

Szum Gaussa: gęstość 100mV, odchylenie = 100mV	
Sygnał wejściowy	Sygnał wyjściowy U_{out}
Szum okresowy (PERIODIC RANDOM): Amplituda 1 V	
Sygnał wejściowy	Sygnał wyjściowy U_{out}
Szum biały: Amplituda 2 V	
Sygnał wejściowy	Sygnał wyjściowy U_{out}

3.1. Wzmacniacz BOXCAR

Wyjście generatora Tektronix AFG 3252 ozn. OUT 1 podłączyć przy użyciu rozgałęziacza BNC do wejścia wzmacniacza Boxcar SR250 ozn. INPUT SIGNAL oraz do kanału 2 oscyloskopu RIGOL 1052. Wyjście synchronizacyjne generatora OUTPUT połączyć z wejściem ozn. TRIGGER wzmacniacza Boxcar SR 250.

Wyjście wzmacniacza Boxcar SR250 ozn. GATE połączyć z wejściem oscyloskopu ozn. CH1, natomiast wyjście ozn. LAST SAMPLE połączyć z wejściem bloku SR280 ozn. DIGITAL METER.

I. Dokonać pomiaru wpływu szerokości bramki na wartość amplitudy sygnału wyjściowego ze wzmacniacza Boxcar

II. Ustawienia na oscyloskopie:

- dla kanału 1 ustawienia sprzężenia według potrzeb (preferowane AC),
- pokrętko VERTICAL = 500 mV
- pokrętko HORIZONTAL = 20 μ s

- III. Ustawienia na generatorze TEKTRONIX AFG3252:
- kształt sygnału: prostokątny,
 - amplituda: $U_{p-p}=0,5$ V,
 - częstotliwość: $f=10$ kHz,
 - przed każdą zmianą wartości amplitudy lub częstotliwości należy wyłączyć wyjście sygnałowe generatora (przycisk OUTPUT jego podświetlenie świadczy o załączeniu sygnału)
- II. Ustawienia na wzmacniaczu Boxcar
- TRIGGER → EXT
 - DELAY - 1 ns (min.)
 - WIDTH - 15 μ s (max.)
 - SIGNAL → SENSITIVITY 1V
 - INPUT FILTER AC > 10Hz
 - AVERAGING → LAST
- III. Dla zadanych wartości szerokości bramki (regulacja pokrętkiem) zmierzyc wartości sygnału na jego wyjściu (wyświetlacz SR280)
- IV. Wyniki zapisać w tabeli 4.

Tab. 4. Wartość napięcia wyjściowego wzmacniacza dla różnych wartości szerokości bramki

WIDTH	15 μ s	12 μ s	9 μ s	6 μ s	3 μ s
U _{wy} [V]					

- I. **Dokonać pomiaru wpływu zmian położenia bramki na wartość amplitudy sygnału wyjściowego ze wzmacniacza Boxcar**
- II. Ustawienia na oscyloskopie:
- dla kanału 1 ustawienia sprzężenia według potrzeb (preferowane AC),
 - pokrętko VERTICAL = 500 mV
 - pokrętko HORIZONTAL = 20 μ s
- III. Ustawienia na generatorze TEKTRONIX AFG3252:
- kształt sygnału: prostokątny,
 - amplituda: $U_{p-p}=0,5$ V,
 - częstotliwość: $f=10$ kHz,
 - przed każdą zmianą wartości amplitudy lub częstotliwości należy wyłączyć wyjście sygnałowe generatora (przycisk OUTPUT jego podświetlenie świadczy o załączeniu sygnału)
- V. Ustawienia na wzmacniaczu Boxcar
- TRIGGER → EXT
 - DELAY - 1 ns (min.)
 - WIDTH - 15 μ s (max.)
 - SIGNAL → SENSITIVITY 1V
 - INPUT FILTER AC > 10Hz
 - AVERAGING → LAST
- VI. Dla zadanych wartości przesunięcia położenia bramki (regulacja pokrętkiem) zmierzyc wartości sygnału na jego wyjściu (wyświetlacz SR280). W trakcie pomiarów należy obserwować stabilność sygnałów na oscyloskopie. Przesunięcie czasu ustalać według wskazań oscyloskopu lub też odczytu z pokrętła samego wzmacniacza Boxcar.
- VII. Wyniki zapisać w tabeli 5.

Tab. 5. Wartość napięcia wyjściowego wzmacniacza dla różnych wartości opóźnienia bramki.

WIDTH 3μs			
DELAY	20μs	40μs	60μs
U _{wy} [V]			
WIDTH 15μs			
U _{wy} [V]			

VIII. Narysować przebiegi $U_{wy}=f(DELAY)$ dla dwóch wartości szerokości bramki.

	20		40		60			

4 Wnioski

Pytanie 1. Uzasadnić właściwy dobór kroku skanowania w procedurze detekcji z synchronicznym całkowaniem.

.....

.....

.....

.....

Pytanie 2. Uzasadnić właściwy dobór czasu całkowania w procedurze detekcji z synchronicznym całkowaniem.

.....

.....

.....

Pytanie 3. Określić efektywność pracy wzmacniacza Boxvar dla różnych rodzajów szumów.

.....

.....

.....

Pytanie 4. Określić wpływ doboru szerokości bramki na wartość amplitudy sygnału wyjściowego ze wzmacniacza Boxcar SR 250

.....

.....

.....

Pytanie 5. Określić wpływ zmian położenia bramki na wartość amplitudy sygnału wyjściowego ze wzmacniacza Boxcar SR 250

.....

.....

.....

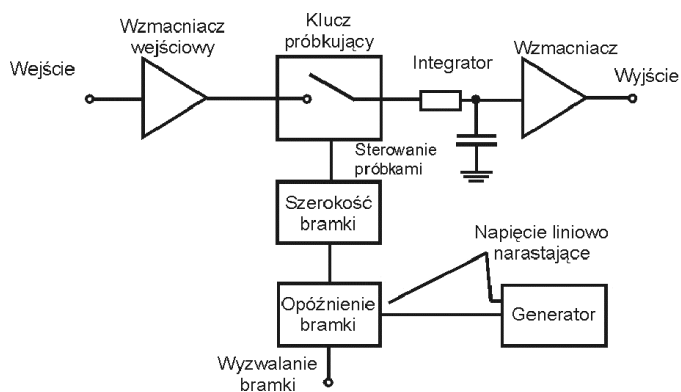
5 PODSTAWOWE WIADOMOŚCI TEORETYCZNE

5.1. Wprowadzenie

Promieniowanie optyczne jest wykorzystywane w wielu dziedzinach nauki i techniki. Jednym z istotnych zagadnień jest zatem opracowanie wysokoczułych odbiorników tego promieniowania. Jednak uzyskanie odpowiedniej wykrywalności czasami nie jest możliwe dla systemów bezpośredniej detekcji. Istniejące szумы mogą powodować nieprawidłową pracę fotoodbiornika. Efektem tego może być utrata danych w optycznych systemach łączności (ang. *Free Space Optics*), brak reakcji systemu ostrzegania o włamaniu lub fałszywy alarm, błąd w określeniu procesów technologicznych itp.. W celu polepszenia właściwości systemów stosuje się w nich zaawansowane metody detekcji. Do tych technik można zaliczyć detekcję fazoczułą, detekcję z uśrednianiem pomiarów, detekcję z synchronicznym całkowaniem, detekcję korelacyjną oraz detekcję koherentną.

5.2. Metoda z synchronicznym całkowaniem

Metoda z synchronicznym całkowaniem zwłaszcza w sytuacjach, gdy informacja zawarta jest kształcie, czasie trwania impulsów promieniowania lub też w amplitudzie impulsów o bardzo małym współczynniku wypełnienia. Z takimi sytuacjami można się spotkać np. w pomiarach fluorescencyjnych, reflektometrii lub spektroskopii. Aby można było zastosować tą metodę badany sygnał musi być powtarzalny i musi istnieć odpowiedni sygnał synchronizujący cykl pomiarowy. W układzie detekcji z synchronicznym całkowaniem sygnał wejściowy jest wzmacniany i podawany poprzez klucz elektroniczny na wejście układu RC. Sygnał wyzwalający pochodzi zazwyczaj ze źródła promieniowania (lub modulatora mechanicznego) i określa czas zamknięcia klucza. W układzie Boxcar przedstawionym na rys. 1 nastawiane są kolejno czas opóźnienia otwarcia bramki i czas trwania bramki czasowej. Poprawa stosunku sygnału do szumu jest w zasadzie proporcjonalna do ograniczenia pasma.



Rys. 8. Schemat blokowy układu typu Boxcar

5.3. Wzmacniacz Boxcar

Wzmacniacz Boxcar jest przyrządem, który przeprowadza operację całkowania sygnału wejściowego w zdefiniowanym momencie i przedziale czasu. Całkowanie to wymaga jednak ściśle określonego sygnału synchronizacji. Próbkę scałkowanego sygnału mogą być następnie uśredniane przy użyciu analogowego układu uśredniającego lub też uśredniania wartości cyfrowych po przeprowadzeniu wcześniejszej operacji ich kwantyzacji.

Wzmacniacz Boxcar może przeprowadzić operację odczytu sygnału w dwóch trybach. W pierwszym trybie, sygnał wejściowy jest podawany na wejście układu całkującego tylko przez ściśle określony przedział czasu, w którym jest on próbkowany. Inne przedziały czasowe są nieistotne. Unika się przez to możliwości występowania ewentualnych przekroczeń poziomu sygnału dla dużych wartości wzmocnienia. Okno próbkowania (pobierania sygnału) zapewnia czasową separację sygnału od ewentualnych szumów i

zakłóceń. Poprawia się zatem stosunek mocy sygnału do mocy szumu. Dla przykładu, w eksperymentach przy zastosowaniu impulsowych laserów sygnał jest mierzony w przedziale jedynie kilku nanosekund, podczas gdy częstotliwości repetycji wynosi kilkadziesiąt lub kilkanaście Hz.

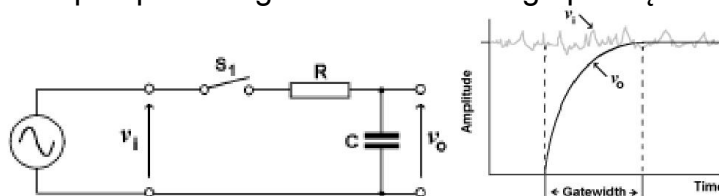
W drugim trybie odczytu sygnału, sygnał wejściowy jest całkowany w czasie otwarcia bramki, podczas gdy sam pomiar jest wykonywany pojedynczo w trakcie trwania tego przedziału czasowego. Powoduje to minimalizację wpływu ewentualnych szumów i zakłóceń na wejściu układu dla częstotliwości znacznie większych od pasma określonego przez czas otwarcia bramki.

Wzmacniacz Boxcar może być zastosowany w dwóch trybach pracy. W przypadku tzw. statycznej bramki czasowej (static gate work), odstęp czasu między sygnałem synchronizacji a położeniem bramki jest stały. Wzmacniacz mierzy sygnał w tym samym czasie. Tryb ten jest stosowany dla określenia wpływu kolejnego pojedynczego impulsu na zmiany sygnału wyjściowego. Przykładowo, dla określenia zależności czasu zaniku fluorescencji od temperatury, może być zastosowany impulsowy laser pobudzający i fotodetektor rejestrujący poziom tego promieniowania. Wzmacniacz Boxcar może być zastosowany w tym przypadku, do pomiaru poziomu fluorescencji w określonym przedziale czasu po wystąpieniu impulsu laserowego dla różnych temperatur.

W przypadku drugiego trybu pracy wzmacniacza, odczyt przebiegu (waveform recovery) dokonuje się poprzez skanowania czasowe tego przebiegu (zasada działania podobna jak w przypadku pracy oscyloskopu). Płynnie przestrajane jest opóźnienie bramki czasowej względem sygnału synchronizacji. Efektem czego jest zapis nie tylko wartości sygnału, ale również jego zmian w czasie.

Wzmacniacz Boxcar umożliwia zapis bardzo szybkich sygnałów rozdzielczością do sub-nanosekund. Mogą jednak być one mało efektywne czasowo i dlatego bardzo często zastopowane są analogowymi układami uśredniającymi lub oscyloskopami.

Głównym elementem wzmacniacza jest bramkowany układ całkujący – rys. 7. Składa się on z prostego filtra dolnoprzepustowego RC kluczowanego przełącznikiem.

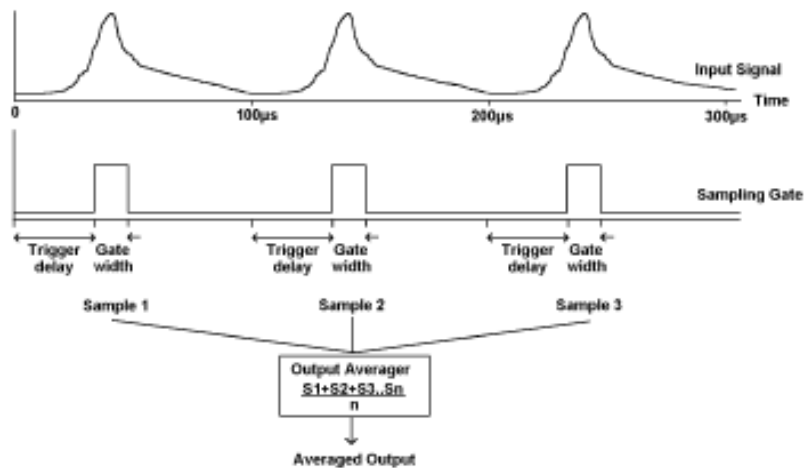


Rys. 9. Bramkowany układ całkujący

Kiedy bramka jest otwarta (zamknięty klucz), sygnał wyjściowy zaczyna wzrastać eksponentalnie do wartości ustalonej. Stała czasowa bramki jest tak dobrana, aby amplituda sygnału wyjściowego wynosiła kilka procent wartości sygnału wejściowego. Powoduje to, że składowe wysokoczęstotliwościowe sygnału wejściowego są skutecznie eliminowane. Ekwiwalentne pasmo szumowej w tym przypadku jest wyrażone wzorem

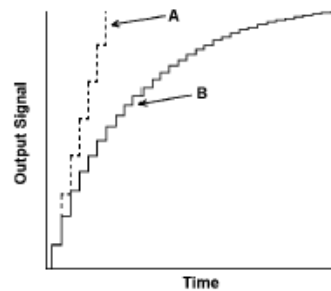
$$f_{sz} = \frac{1}{4 R C}$$

W trybie bramki statycznej, zachowana jest stała wartość czasu opóźnienia między sygnałem synchronizacji i pojawieniem się bramki. Pomiar polega na określeniu amplitudy bardzo krótkich impulsów (szpilek) w badanym przebiegu, których czas trwania jest znacznie krótszy od częstotliwości powtarzania – rys. 8.



Rys. 10. Tryb pracy statyczne

Czas opóźnienia jest dopasowany tak, aby bramka pojawiała się w chwili powstawania impulsu. Każda wartość próbki pomiarowej jest odwzorowaniem pola powierzchni pod wykresem przebiegu wejściowego określonym przez położenie i czas trwania bramki. Następnie próbki te są podawane operacji uśredniania. Stosując liniowy układ uśredniania, wszystkie próbki mają taką samą wagę i sygnał wyjściowy wzrasta liniowo w postaci krzywej schodkowej – rys. 9 (przebieg A).



Rys. 11. Uśredniony sygnał wyjściowy

Każdy krok oznacza na wykresie kolejny pomiar. W procedurze uśredniania dokonywany jest dobór ilości próbek podlegających uśrednieniu lub też operacja zerowania wyniku uśredniania. Ponieważ składniki sygnału dodają się bezwzględnie, natomiast ewentualny szum sumuje się wektorowo, po pomiarze i uśrednieniu (n) próbek sygnału o stałej amplitudzie (S) oraz szumu (N) oraz optymalnym wyborze szerokości bramki (nie zakłóceniu kształtu sygnału) wartość wyjściowa stosunku mocy sygnału do mocy szumu jest określona wzorem

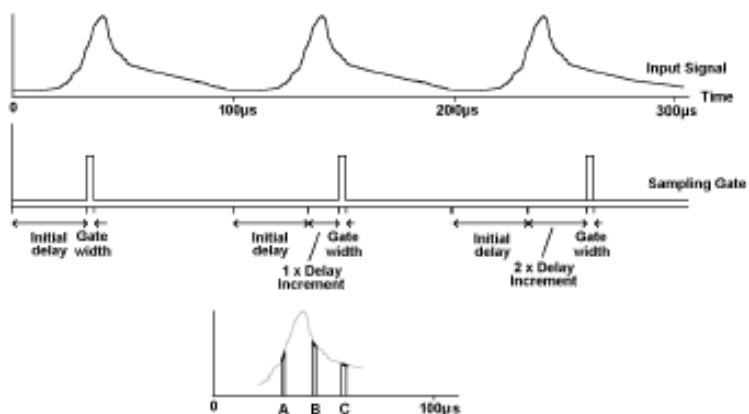
$$SNR_{wy} = \frac{S_1 + S_2 + \dots + S_n}{\sqrt{(N_1^2 + N_2^2 + \dots + N_n^2)}} = \frac{n S}{\sqrt{(n N^2)}} = \frac{S}{N} \sqrt{n} = SNR_{we} \sqrt{n}$$

W tym trybie pracy, ekwiwalentne pasmo szumowe dla układu całującego nie jest stałe i zmniejsza się wraz ze wzrostem wartości (n).

Uśrednianie liniowe posiada istotną wadę wynikającą z konieczności zerowania wyniku po wykonaniu operacji uśrednienia zadanej ilości próbek. Jest to szczególnie kłopotliwe w przypadku układów analogowych. W takich przypadkach stosuje się układy uśredniania eksponentyjalnego. Ich konstrukcja jest identyczna jednak dobrana stała czasowa układu integratora jest znacznie dłuższa od czasu bramkowania. Bramka jest otwarta na krótki czas (kilka mikrosekund). Dla uśredniania eksponentyjalnego sygnału wejściowego a stałej amplitudzie, sygnał wyjściowy wzrasta zgodnie z funkcją eksponentyjalną.

Głównym zadaniem trybu pracy wzmacniacza *waveform recovery* jest rejestracja kształtu sygnału wejściowego. W procesie tym, odstęp czasu między sygnałem synchronizacji a czasem otwarcia bramki nie jest stały i zmienia się z założonym krokiem (prędkością). Odstęp ten jest definiowany przez początkowa i końcowa wartość opóźnienia. W trybie tym wzmacniacz pełni rolę układu czasowego przetwarzania sygnału, który umożliwia

rejestrację bardzo szybkich przebiegów. Na rysunku 10 przedstawiono zasadę pracy wzmacniacza w tym trybie.



Rys. 12. Tryb pracy z odczytem kształtu sygnału

Czas otwarcia bramki jest znacznie krótszy od okresu badanego sygnału. Pierwsza grupa (n) próbek jest szczytowana dla opóźnienia początkowego. Następnie próbki te są uśrednianie w układzie uśredniającym. Wzmacniacz liczy pojawiające się impulsy synchronizujące i po wykryciu zadanej ich liczby (n), zostaje zwiększona wartość opóźnienia czasu. Proces zostaje powtórzony. Proces ten jest trwa aż do momentu osiągnięcia końcowej wartości opóźnienia. Liczbę zarejestrowanych punktów pomiarowych (m) wyznaczyć można ze wzoru

$$m = \frac{t_k - t_p}{\Delta t}$$

gdzie t_p jest opóźnieniem początkowym, t_k - opóźnieniem końcowym a Δt – krokiem zmian opóźnienia.

5.4. Literatura:

1. Detekcja sygnałów optycznych, Z. Bielecki, A. Rogaliki, Warszawa : WNT, 2001, sygn. 57533; Czytelnia Główna: sygn. 57533/Fiz.2-001.
2. Wstęp do współczesnej detekcji promieniowania optycznego, Z. Kielecki, Warszawa, WAT, 1999, sygn. S-56092; Czytelnia Główna: sygn. S-56092/Elt.S/017.