

WCWICZENIE 9

INTEGRATORY LINIOWE

I. Zakres cwiczenia

- Praktyczne zaznajomienie się z podstawowymi konfiguracjami analogowych integratorów liniowych, pomiar ich współczynników konwersji, czasowej zdolności rozdzielczej, nieliniowości całkowitej, oraz wyznaczenie nominalnego (roboczego) zakresu pomiarowego.

II. Przedmiot cwiczenia

Przedmiotem cwiczenia są cztery konfiguracje konwerterów częstotliwość-napięcie stosowane w komercyjnych układach analogowych integratorów impulsów. Dwie z nich stanowią układy z iniekcją standardowych porcji ładunku do obwodu całkującego za pośrednictwem kluczowanych źródeł prądowych. Kolejne dwie, to klasyczny układ Elmora–Sandsa oraz bardziej zaawansowany układ Cooke’a–Yarborough i Pulsforda, wykorzystujące do dozowania ładunku pompy diodowe. Wymienione dwie grupy układowe zostały zmontowane w formie oddzielnych modułów ćwiczeniowych.

Rysunek 1 przedstawia schematy ideowe integratorów pierwszego typu w oryginalnych wersjach układowych zastosowanych odpowiednio w torze liniowym INTEGRATORA LINIOWO-LOGARYTMICZNEGO ILL-41 systemu STANDARD-70 (układ A), oraz w INTEGRATORZE LINIOWYM typu 1301-A systemu CAMAC (układ B). Podstawowe struktury, stanowiące właściwy przedmiot cwiczenia uzupełniono – ujętymi w ramki – stowarzyszonymi subukładami funkcjonalnymi związanymi bądź z ekstrakcją sygnału wyjściowego (A) bądź z poprawą liniowości charakterystyki (B).

W obu konfiguracjach zastosowano identyczny sposób dozowania ładunku, polegający na iniekcji do obwodu usredniającego R - C standardowych impulsów prądowych o zadanej amplitudzie i rozciągłości czasowej. W obu też układach zastosowano taki sam standaryzator długości impulsu prądowego, wykorzystując w tym celu monowibrator scalony typu SN 74121N. Różnice dotyczą realizacji sterowanych źródeł prądowych. W przypadku (A) funkcje te pełni prosty, sterowany napięciowo stopień OE (T_{1A}), wspomagany obwodami ustalającymi stan jego odcięcia (dioda D_{1A} i tranzystor T_{2A}). Wartość prądu tego źródła jest podyktowana przez wartości rezystorów (stałego R_{7A} oraz nastawczego R_{xA}) w obwodzie emiterowym tranzystorów T_{1A} i T_{2A} . Alternatywne rozwiązanie (B) w charakterze źródła prądowego wykorzystuje stopień wzmacniający w konfiguracji OB (tranzystor T_{2B}) z regulacją poziomu w obwodzie emiterowym (sterowany dzielnik $T_{1B} \div R_{2B}$, komutujący napięcie wejściowe stopnia T_{2B} , oraz rezystor szeregowy R_{xB}).

W odmienny sposób realizowany jest również pomiar odpowiedzi obu konwerterów. Wersja (A) dokonuje go w systemie napięciowym przez pomiar napięcia na obwodzie całkującym R_i - C_i , natomiast w wersji (B) przedmiotem bezpośredniego pomiaru jest prąd w gałęzi rezystorowej tego obwodu. (w module ćwiczeniowym przewidziano możliwość pomiaru napięcia na zaciskach obwodu całkującego – obwód pomiaru prądu w przypadku braku zewnętrznego mikroamperomiera należy wówczas zewrzeć na krótko).

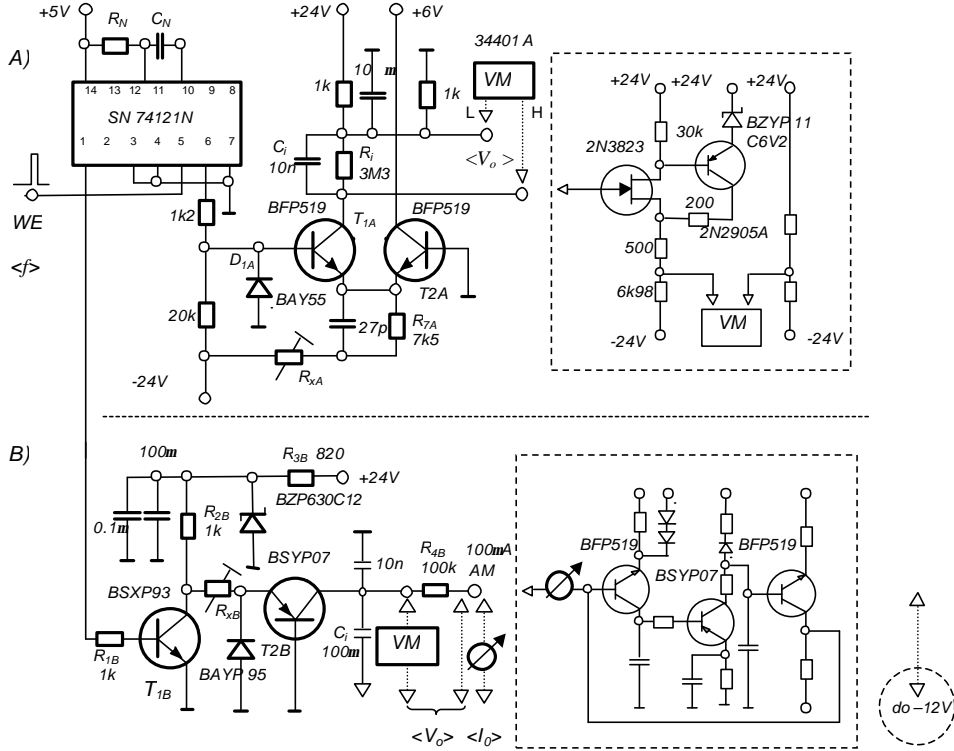
Dla zadanych elementami nastawczymi wartości parametrów wejściowych impulsów prądowych (I_i , t_i) relacje między wymuszeniem ($\langle f \rangle$) a odpowiedzią ($\langle V_o \rangle$) wyznacza

INTEGRATORY LINIOWE

równanie bilansu prądów obwodu całkującego (*akumulatora z odpływem*). Prowadzi ona do prostej zależności liniowej

$$\langle V_o \rangle = R_i I_i t_i \langle f \rangle,$$

w której czynnik przed symbolem średniej częstotliwości zliczeń stanowi podstawowy parametr integratora liniowego zwany *współczynnikiem konwersji* (przemiany) k_p .



Rys. 1. Schematy integratorów zmontowanych w module INTEGRATORY LINIOWE I

Kolejny rysunek (rys. 2) przedstawia schematy ideowe pary konwerterów drugiej grupy z iniekcją ładunku do obwodu usредniającego za pośrednictwem pompy diodowej. Podstawowa wersja (układ C) według oryginalnej koncepcji Elmora–Sandsa reprezentuje tu układ stosowany w torze liniowym INTEGRATORA LINIOWO-LOGARYTMICZNEGO typu ILL-21 wchodzącego w skład systemu aparatury jądrowej STANDARD-70. W stopniu standaryzatora impulsów wejściowych wykorzystuje on monowibrator zrealizowany na czterech bramkach logicznych układu scalonego UCY 7400N. Generowane w nim impulsy po wzmacnieniu w konwencjonalnym stopniu OE przekazywane są do pompy diodowej (kondensator dozujący C_d, dioda D_{2C} oraz połączony w układzie diody tranzystor T_{1C}) iniekującej określone porcje ładunku do obwodu całkującego R_i – C_i. Formowana w tym obwodzie odpowiedź napięciowa konwertera <V_o> jest w ogólności nieliniowa funkcja wymuszenia (tj. średniej częstotliwości zliczeń <f>). Zależność tę opisuje charakterystyka przenoszenia układu pompy diodowej

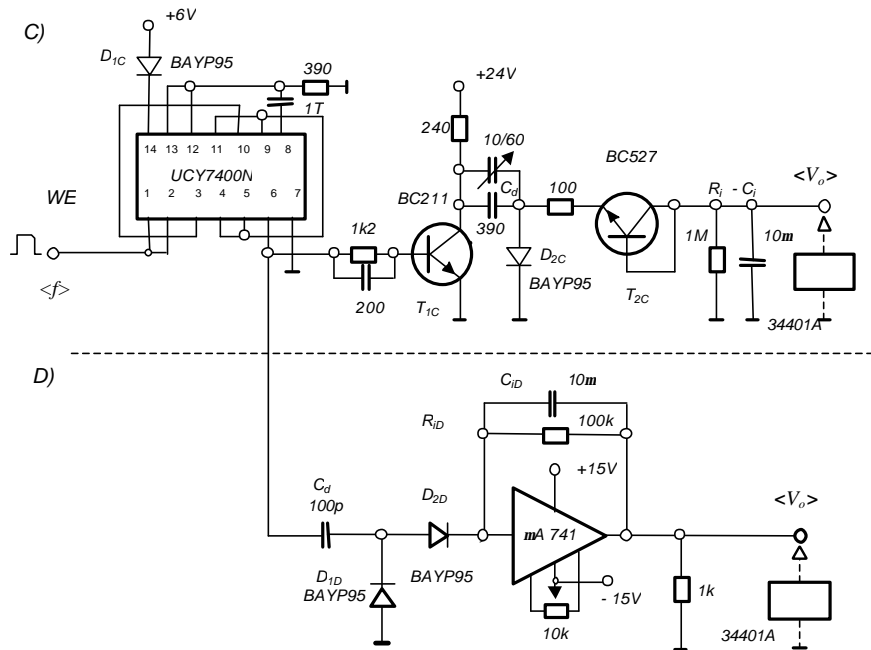
$$\langle V_o \rangle = V_i \frac{\langle f \rangle R_i C_d}{1 + \langle f \rangle R_i C_d},$$

która dla wartości

$$\langle f \nu \rangle \ll \frac{1}{R_i C_d}$$

wykazuje akceptowalna w praktyce pomiarowej liniowosc.

Dla uzyskania pozadanych, dostatecznie duzych wartosci napiecia wyjsciowego w warunkach ograniczenia zakresu pomiarowego do poczatkowej zaledwie czesci charakterystyki przenoszenia niezbedne jest odpowiednie zwiekszenie napiecia impulsow wejsciowych V_i . W omawianym ukladzie celowi temu sluzycy wlasnie stopien wzmacniajacy T_{1C} . Na schemacie pominieto rozbudowany uklad elektronicznego woltomierza z odczytem analogowym oznaczajac go jedynie umownym symbolem graficznym.



Rys. 2. Schematy integratorów zmontowanych w module INTEGRATORY LINIOWE II

Wolna od niedostatków prostego ukladu z pompa diodowa jest konfiguracja zaproponowana przez Cooke’a-Yarborough i Pulsforda, stanowiaca tandem pompy diodowej i calkujacego wzmacniacza operacyjnego. W module cwiczeniowym wykorzystano jej zmodyfikowana „replike” (uklad D) wykonana calkowicie na elementach i podzespolach wspolczesnej techniki polprzewodnikowej. Odpowiedz konwertera ($\langle V_o \rangle$) na wymuszenie ($\langle f \rangle$) opisana jest w tym przypadku zaleznoscia

$$\langle V_o \rangle \nu = V_i \sqrt{\frac{\langle f \nu R_i C_d \rangle}{\left[\varepsilon 1 + \frac{1 + \langle f \nu R_i C_d \rangle \nu}{k_v} \right]}}$$

która przy odpowiednio wysokim wzmacnieniu napieciowym k_v wzmacniacza sprowadza sie z dobrym przyblizeniem do zwiastku liniowego. Wspolczynnik konwersji integratora okres-

Właściwe pomiary poprzedzić pomiarami orientacyjnymi dla zgrubnego wyznaczenia obszaru górnego zakrzywienia charakterystyki i określenia *nominalnej wartości maksimum odpowiedzi*. Wartość tę, określającą zakres pomiarowy, przyjmując wstępnie równą około 90% poziomowi nasycenia.

Określone w ten sposób przedziały częstotliwości pokryć co najmniej dziesięcioma równomiernie rozłożonymi punktami pomiarowymi. Wyniki pomiarów przedstawić tabelarycznie i wykreslnie w formie charakterystyk $\langle V \rangle(\langle f \rangle)$ względnie $\langle I_o \rangle(\langle f \rangle)$.

UWAGA

W pomiarze napięcia wyjściowego integratora w konfiguracji (A) użyty w tym celu woltomierz elektroniczny podłączyć w trybie „wizyjnym” (zaciski H-L)

2) Wyznaczenie współczynników konwersji k_p i nieliniowości całkowitej ϵ_i integratorów

Na podstawie uzyskanych rezultatów pomiarowych wyznaczyć:

- wartość współczynnika konwersji dla założonego a priori zakresu pomiarowego,
- nieliniowość całkowita ϵ_i dla tego zakresu,
- wg kryterium zadanej wartości ϵ_i (np. $\epsilon_i = 1\%$) określić *nominalny zakres pomiarowy* oraz przynależna mu wartość współczynnika konwersji.

Globalnym parametrem opisującym nieliniowość układu jest tzw. *współczynnik nieliniowości całkowitej* ϵ_i . W domenie odpowiedzi napięciowej układu z mocy definicji wyraża się on zależnością

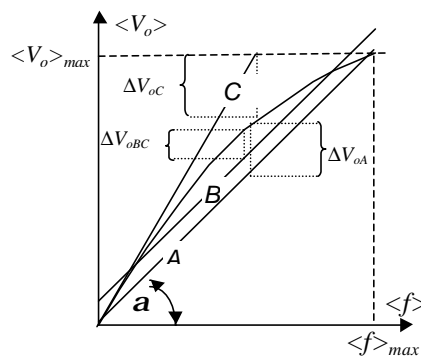
$$e_i \stackrel{def}{=} \frac{\Delta V_o}{V_{o\max}}$$

gdzie:

ΔV_o – maksymalne odchylenie charakterystyki przejściowej od idealizowanego przebiegu liniowego,

$V_{o\max}$ – maksymalna wartość nominalna odpowiedzi.

W praktyce metrologicznej upowszechniły się trzy sposoby określania odchyłki ΔV_o . Zilustrowano je na rysunku 5.



Rys. 5. Ilustracja ogólnych definicji liniowości przenoszenia układów

Największa popularność zyskał sposób, w którym ΔV_o stanowi *naturalną*, maksymalną odległość punktów charakterystyki *rzeczywistej* i *idealnej* (ΔV_{oA}) leżących na wspólnej rzędnej, przy czym referencyjna charakterystyka idealna reprezentuje prosta A przechodząca przez skrajne punkty charakterystyki *rzeczywistej*. Drugi sposób przyjmuje za odniesienie prosta B równoległa do A, stanowiąca *symetralną* punktów charakterystyki rzeczywistej (ΔV_{oB}). Według tego sposobu wyznaczana jest nieliniowość całkowita urządzeń systemu aparaturowego STANDARD. Najczęściej stosowany, trzeci sposób, za reprezentatywną odchyłkę (ΔV_{oC}) przyjmuje odległość między punktem przecięcia stycznej do charakterystyki rzeczywistej w „zerze” C z poziomem $\langle V_o \rangle_{\max}$, a leżącym na wspólnej rzędnej punktem charakterystyki *rzeczywistej*. Ze względu na niezgodność wartości ε_i wyznaczanych różnymi sposobami dane katalogowe odnoszących urządzeń zawierają z reguły informacje jakim sposobem w danym przypadku się posłużono.

W ramach ćwiczenia należy dokonać wyznaczenia *współczynnika nieliniowości całkowitej* metoda graficzna według sposobu pierwszego. Prosta odniesienia jest w tym przypadku *charakterystyka idealna* wykreślona od początku układu współrzędnych do punktu o współrzędnych $\langle f \rangle_{\max}$ i $\langle V_o \rangle_{\max}$. Zauważmy, że współrzędne końcowe charakterystyki idealnej determinują zarazem wartość *współczynnika konwersji* (przemiany) k_p zgodnie z oczywistą relacją

$$k_p = \frac{\langle V_o \rangle_{\max}}{\langle f \rangle_{\max}} = \operatorname{tg} \mathbf{a}.$$

W zadaniu tym posłużyc się metoda kolejnych przybliżeń, wyznaczając wartości współczynnika nieliniowości całkowitej przy stopniowo zawężanym zakresie pomiarowym.

3) Pomiar czasu rozdzielczego integratorów

Pomiar przeprowadzić w układzie podanym na rysunku 3. Przelączyć generator impulsów PGP-6 w tryb generacji impulsów podwójnych (pary impulsów). Nastawić częstotliwość repetycji impulsów na wartości odpowiadającej środkowi zakresu pomiarowego integratora. Pomiar rozpocząć od minimalnej odległości czasowej pary impulsów, zwiększając ją stopniowo aż do momentu (skokowego) dwukrotnego wzrostu wskazan integratora. Odpowiadający temu momentowi odstęp czasowy pary impulsów określa wyznaczany czas rozdzielczy integratora.

4) Rekalibracja integratora

Dla zadanych parametrów znamionowych (zakres częstotliwości zliczeń, stała czasowa) obliczyć wartości elementów nastawczych wskazanej przez prowadzącego zajęcia konfiguracji integratora (z grupy drugiej), wmontować je do układu i sprawdzić doświadczalnie uzyskane rezultaty.

IV. Wyposażenie stanowiska ćwiczeniowego

- Moduł ćwiczeniowy: INTEGRATORY LINIOWE I (A-B)
- Moduł ćwiczeniowy: INTEGRATORY LINIOWE II (C-D)
- Generator impulsów: typ PGP-6
- Woltomierz cyfrowy: typ HP 34401 A
- Mikroamperomierz laboratoryjny
- Zasilacz niskiego napięcia typu KB-60-01
- Przelicznik impulsów serii STANDARD 70: typ P-44
- Podzespoły elektroniczne
- Kable i przewody łączące

V. Literatura pomocnicza

- [1] Instrukcja obsługi: *Integrator linearno-logarytmiczny - typ ILL-41*. Warszawa, ZZUJ POLON 1973
- [2] Instrukcja obsługi: *Integrator liniowo-logarytmiczny - typ ILL-21a*. Zielona Góra, ZZUJ POLON 1979
- [3] Instrukcja obsługi: *Integrator liniowy – typ 1301A*. Warszawa, ZZUJ POLON 1976
- [4] Instrukcje obsługi pomocniczej aparatury pomiarowej
- [5] Korbel K.: *Elektronika jądrowa. Cz.III. Układy i systemy elektroniki jądrowej*. Kraków, Wyd. AGH 1987