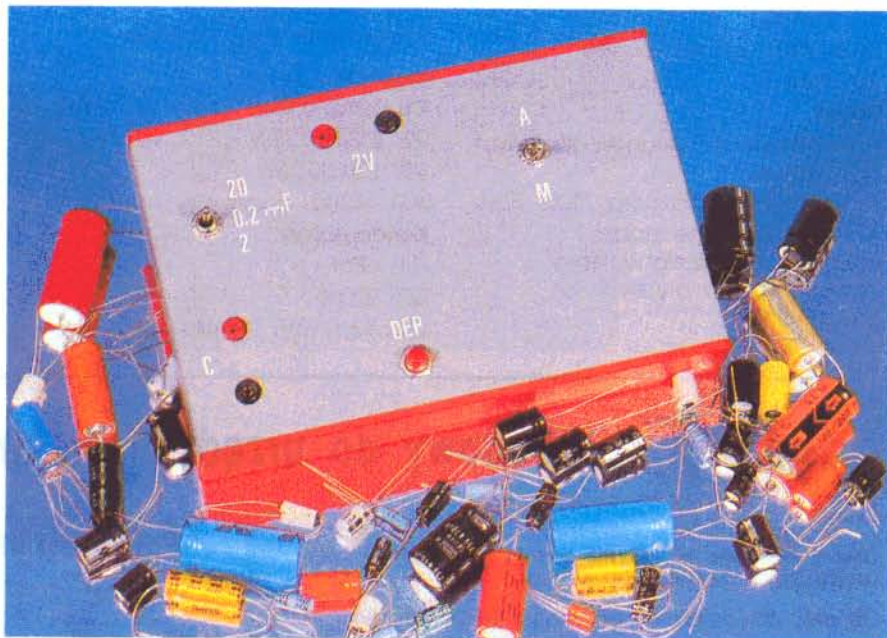


Moduł do pomiaru pojemności większych od $20\mu\text{F}$

W wielu multimetrach brak funkcji miernika pojemności, a już rzadkością jest miernik z zakresem wykraczającym poza $20\mu\text{F}$. Lukę tę może wypełnić przystawka do multimetru, o zakresie pomiaru od $20\mu\text{F}$ do $20.000\mu\text{F}$. Do odczytu pojemności wykorzystuje się zakres napięciowy multimetru.



Schemat blokowy (rys. 1)

Naciśnięcie przycisku START pobudza układ logiczny, który wyzwala monowibrator oraz uruchamia licznik i przetwarzanie pojemność-napięcie. Monowibrator generuje impuls o długości T1 wprost proporcjonalnej do mierzonej pojemności Cx oraz do oporności jednego z trzech rezystorów, wybieranych przełącznikiem K. Rezystory te wyznaczają trzy zakresy pomiarowe:

$20 \dots 200\mu\text{F}$, $200 \dots 2000\mu\text{F}$ i $2000 \dots 20.000\mu\text{F}$.

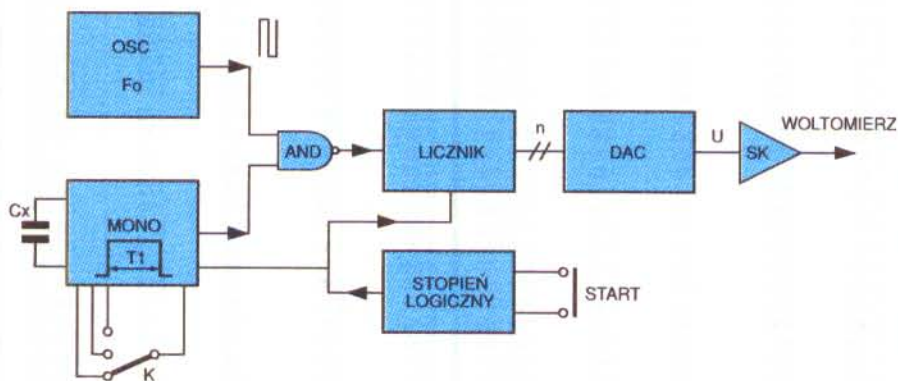
Oscylator dostarcza sygnału o częstotliwości F_0 , który jest przekazywany do licznika tylko w czasie trwania T1. Wskutek tego po zakończeniu T1 zawartość „n” licznika odzwierciedla mierzoną pojemność Cx, ponieważ Cx jest proporcjonalna do T1. Pozostaje tylko zamienić „n” w napięcie za pomocą przetwornika cyfrowo-analogowego

(DAC). Stopień końcowy SK wprowadza współczynnik „k”, aby można było odczytywać wyniki bezpośrednio na zakresie 2V woltomierza. Reasumując, zostaje wykonany ciąg konwersji: $C_x \rightarrow T_1 \rightarrow n \rightarrow U \rightarrow V_s$, tak aby na zakresie $200\mu\text{F}$ woltomierz wskazywał dokładnie 2V przy $C_x = 200\mu\text{F}$. Przy woltomierzu cyfrowym o 3,5 miejscowym wyświetlaczu błąd odczytu wynosi $0,1\mu\text{F}$, a maksymalny odczyt $199,9\mu\text{F}$.

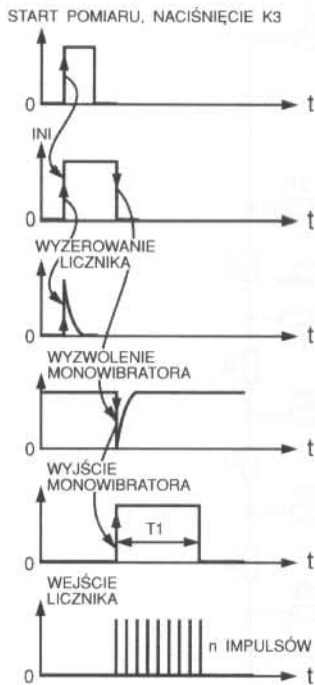
Schemat elektryczny

Zasilanie (rys. 4b)

Układ jest zasilany z baterii 9V. Napięcie to zostaje obniżone do +5V i stabilizowane przez układ IC2. Biorąc pod uwagę przyjęte rozwiązanie DAC i fakt, że wzmacniacze operacyjne wymagają symetrycznego zasilania, wykonano dodatkowy zasilacz napięcia -5V przy pomocy multiwibratora 555 (IC1) i prostownika D1, D2, C3 i C4. Napięcie na C4 jest bliskie -5V, ale nie stabilizowane. Nie ma to jednak wielkiego znaczenia, gdyż napięcie



Rys. 1.



Rys. 2.

to służy tylko do polaryzacji. W przypadku napięcia +5V stabilizacja jest potrzebna, jest ono bowiem napięciem odniesienia dla DAC.

Monowibrator

Do tego zastosowania również użyto układu 555 (IC3) (rys. 4a). Sygnał wyzwalający jest doprowadzony do końcówki 2 przez układ różniczkujący C9, R7, D4. Stała czasowa monowibratora wynosi $T1 = 1,1 \cdot R \cdot Cx$, gdzie R oznacza oporność rezystora R8, względnie równoległego połączenia R8 z R9 lub R10, zależnie od położenia przełącznika zakresów K2. Impulsy o długości T1 są odbierane z końcówki 3 IC3.

Oscylator

Jako oscylator została wykorzystana jedna z czterech bramek

NAND układu CD 4093 (IC4B). Częstotliwość oscylacji jest wyznaczona przez C10 i (R5 + R6), ale także przez histerezę bramki, zależną od egzemplarza. Wynika stąd potrzeba dostrajania częstotliwości za pomocą potencjometru R6. IC4A i IC4D wykorzystano jako bramkę AND.

Układ wstępny

Wyzierowanie licznika i wyzwolenie monowibratora zostaje dokonane za pośrednictwem R3, C7 i IC4C. Naciśnięcie K3 powoduje całkowite rozładowanie C7, wskutek czego na wyjściu IC4C pojawia się stan wysoki (sygnał INI). Po upływie czasu około 0.7 R3 C7, w trakcie którego C7 ładuje się do napięcia progu przełączenia IC4C, bliskiego $Vcc/2$, sygnał INI powraca do stanu niskiego, aż do następnego naciśnięcia przycisku K3. Narastające zbocze sygnału INI, zróżniczkowane przez C8, R4, D3, zeruje licznik IC5, podczas gdy opadające zbocze, zróżniczkowane przez C9, R7, D4, wyzwala monowibrator IC3. Przebiegi czasowe na rys. 2 pozwalają prześledzić kolejność opisanych zjawisk.

Licznik

Jest to dwunastostopniowy licznik dwójkowy 4040, który liczy impulsy otrzymane z bramki AND poprzez końcówkę 10. Sygnały z jego ośmiu pierwszych wyjść (Q1 do Q8) są zbierane bezpośrednio przez 8-bitowy przetwornik analogowo-cyfrowy (R - 2R), wykonany z precyzyjnych (albo dobranych za pomocą omomierza) rezystorów.

DAC

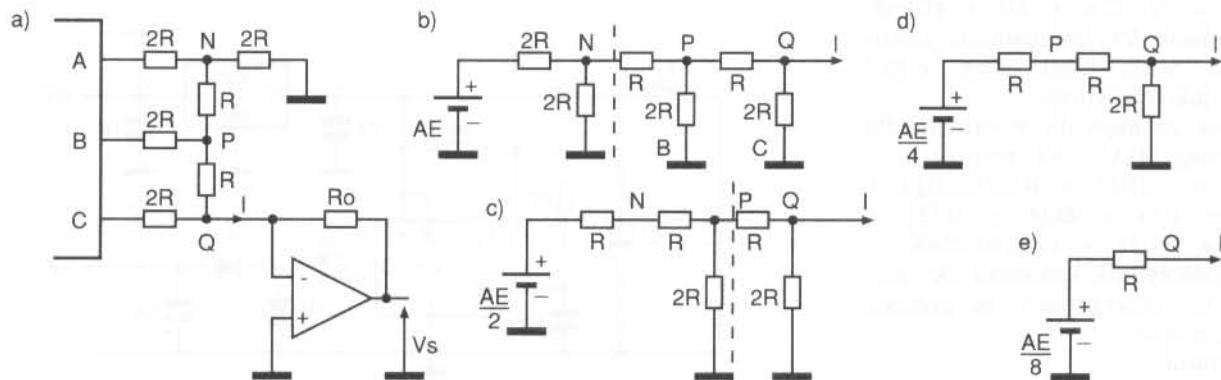
Na rys. 3a został przedstawiony podstawowy schemat przetwornika 3-bitowego (A, B, C) aby nie komplikować objaśnień. A jest bitem najmłodszym, a C bitem naj-

starszym. Przedstawione objaśnienia łatwo można przenieść na przetwornik 8-bitowy, czy też o innej ilości bitów. Nazwa konwertera R - 2R bierze się oczywiście z zestawienia rezystorów o wielkości R i 2R. Na rys. 3a widać, że rezystory 2R są dołączone do wyjść A, B i C licznika, oraz jeden z nich łączy punkt „N” z masą, a rezystory R połączone są szeregowo. Sygnałem wyjściowym przetwornika jest prąd I, od strony najstarszego bitu.

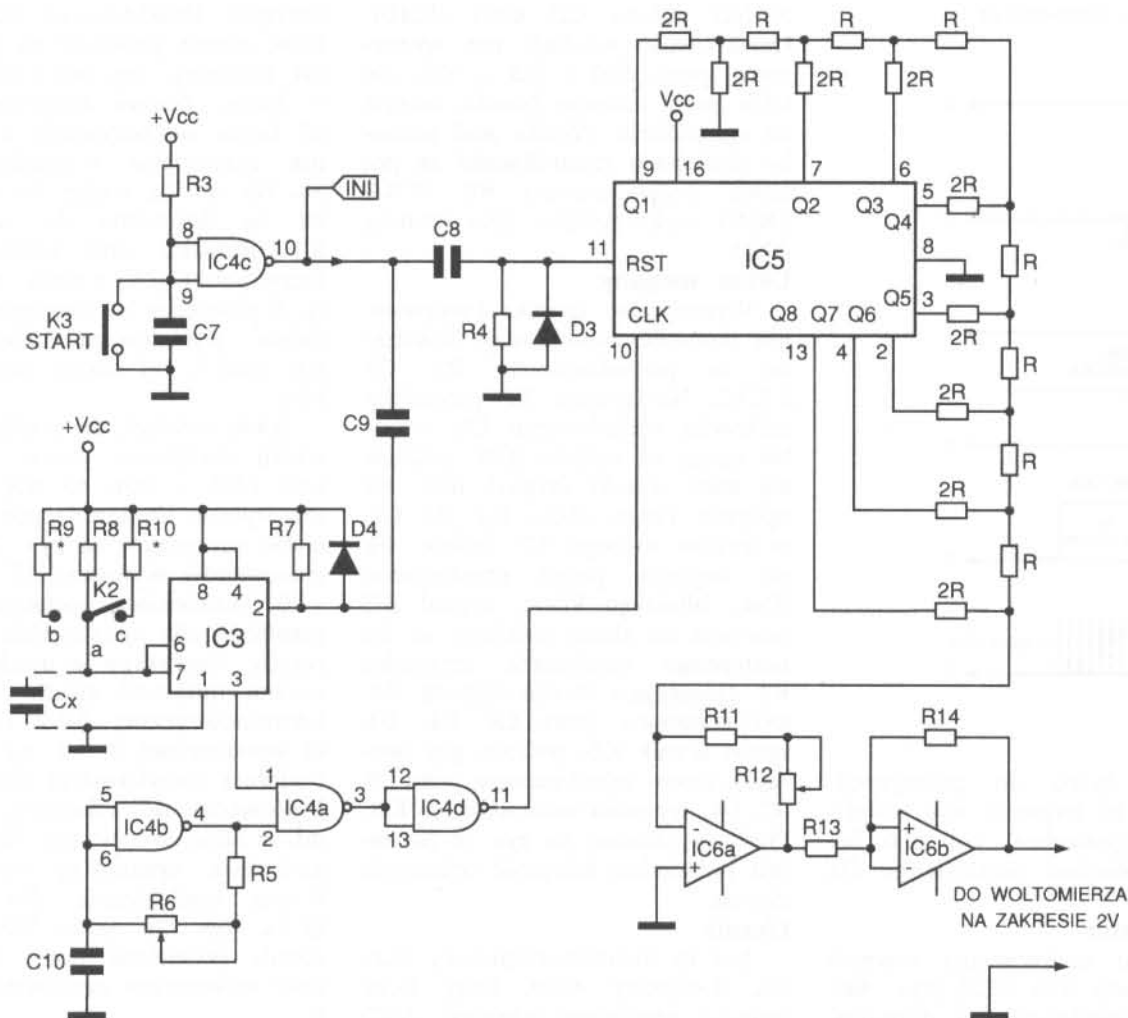
Jeżeli założyć, że poddane konwersji dwójkowe słowo ma wartość $CBA = 001$, to siły elektromotoryczne występujących w schemacie zastępczym na rys. 3b trzech generatorów wynoszą: AE i $B = C = 0$. Wzmacniacz operacyjny został pominięty dla uproszczenia. Według reguły Thevenina w punkcie „N” można umieścić źródło o sile elektromotorycznej $AE/2$ i oporności wewnętrznej R, jak na rys. 3c. Podobna transformacja dla punktu P prowadzi do schematu na rys. 3d, z SEM wynoszącą $AE/4$ i nie zmienioną opornością wewnętrzną R oraz analogicznie dla punktu Q na rys. 3e, gdzie SEM znowu została podzielona przez 2 a oporność wewnętrzna zachowała wartość R.

Przeprowadzone transformacje pokazują, że dla tego 3-bitowego DAC, SEM związana z najmłodszym bitem została podzielona przez 8, czyli 23, dla starszego bitu „B” SEM wynosi $BE/4$ (dzielenie E przez 4 = 22) a dla najstarszego „C” SEM wynosi $CE/2$ (dzielenie E przez 2 = 21). Stosując prawo superpozycji, całkowita SEM wynosi $E (A/8 + B/4 + C/2)$.

Wzmacniacz operacyjny zastosowano do konwersji prąd-napięcie.



Rys. 3.



Rys. 4a.

Prąd I dopływający do punktu Q , nie mogąc wpłynąć do wzmacniacza, płynie przez R_o , na którym występuje napięcie

$$RoI = -Vs$$

Potencjały $e+$ i $e-$ wzmacniacza są identyczne i równe zero, prąd I wynosi

$$I = E(A/8 + B/4 + C/2)/R$$

i dalej

$$I = E(A + 2B + 4C)/8R$$

skąd wielkość napięcia V_s

$$Vs = Ro E(A + 2B + 4C)/8R$$

Napięcie V_s jest ujemne, zastosowano więc IC6B wraz z R13 i R14 jako inwerter.

Przez analogię do wyrażenia dla 3-bitowego DAC, V_s wynosi

$$Vs = - (R11 + R12)Vcc(Q1 + 2Q2 + 4Q3 + 8Q4 + 16Q5 + 32Q6 + 64Q7 + 128Q8)/256R$$

Współczynnik konwersji „ k ” może zostać skorygowany za pomocą rezystora R12.

Obliczenia

Obliczenia $R8$, $R9$ i $R10$

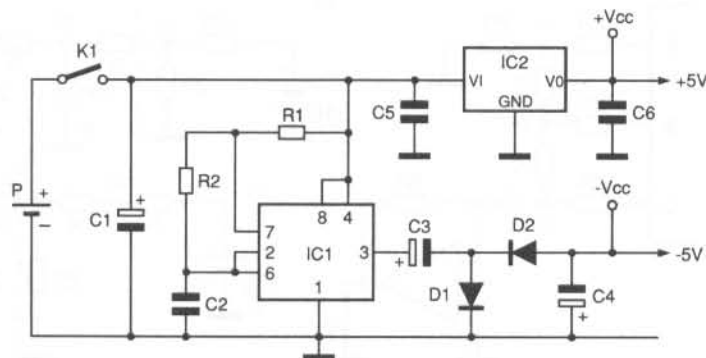
Długość impulsu dostarczanego

przez monowibrator, wynosząca $T1 = RC_x$, przedstawia również czas trwania konwersji $C_x \rightarrow V_s$, istotne jest więc, aby był on dostatecznie krótki.

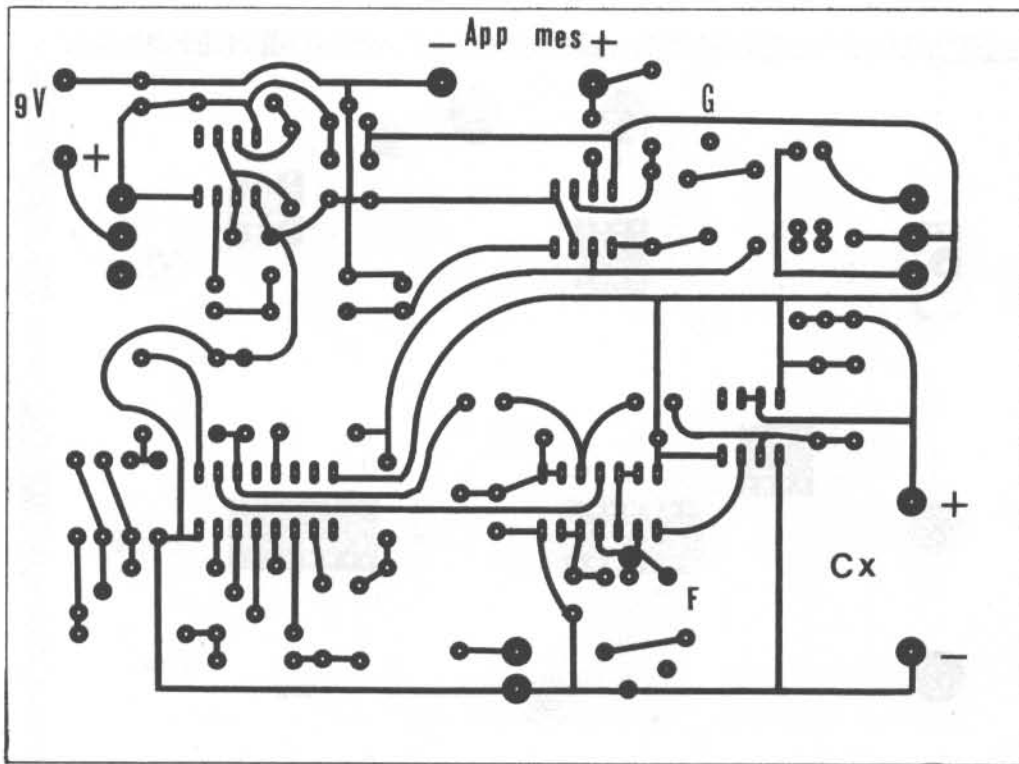
Czas $T1$ jest taki sam dla wszystkich trzech zakresów. Przyjęto następujące wartości R : 22,6kΩ, 2,26kΩ i 226Ω, dla zakresów 200μF, 2.000μF i 20.000μF, co odpowiada maksymalnemu, jeszcze do zaakceptowania, czasowi konwersji 5 sekund. Przelicznik $K2$ jest trójpozycyjny. W pozycji „a” użyty jest $R8$, w „b” $R8$ i $R9$ połączone równolegle, a w „c” $R8$ i $R10$. Z obliczenia otrzymuje się $R8 = 22,6kΩ$, $R9 = 2,49kΩ$ i $R10 = 226Ω$, serii 1%.

Wybór częstotliwości F_o

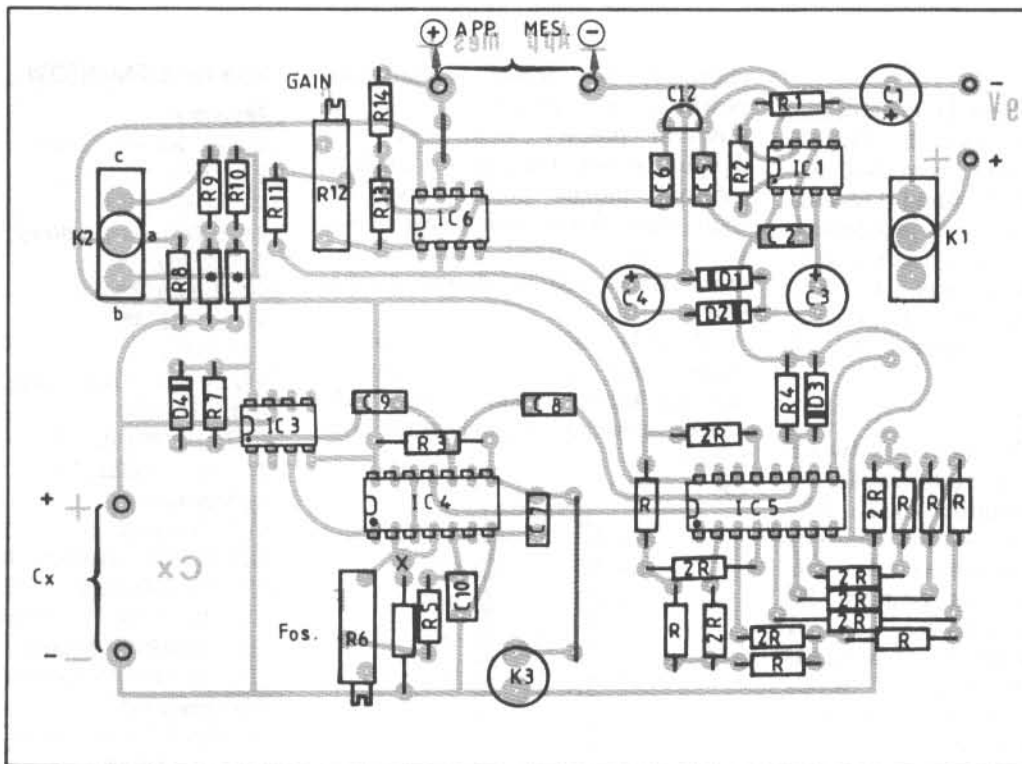
W przypadku 8-bitowego DAC licznik powinien liczyć do 255. Częstotliwość F_o powinna więc wynieść $F_o = 255/T1$, a ponieważ



Rys. 4b.



Rys. 5.



Rys. 6.

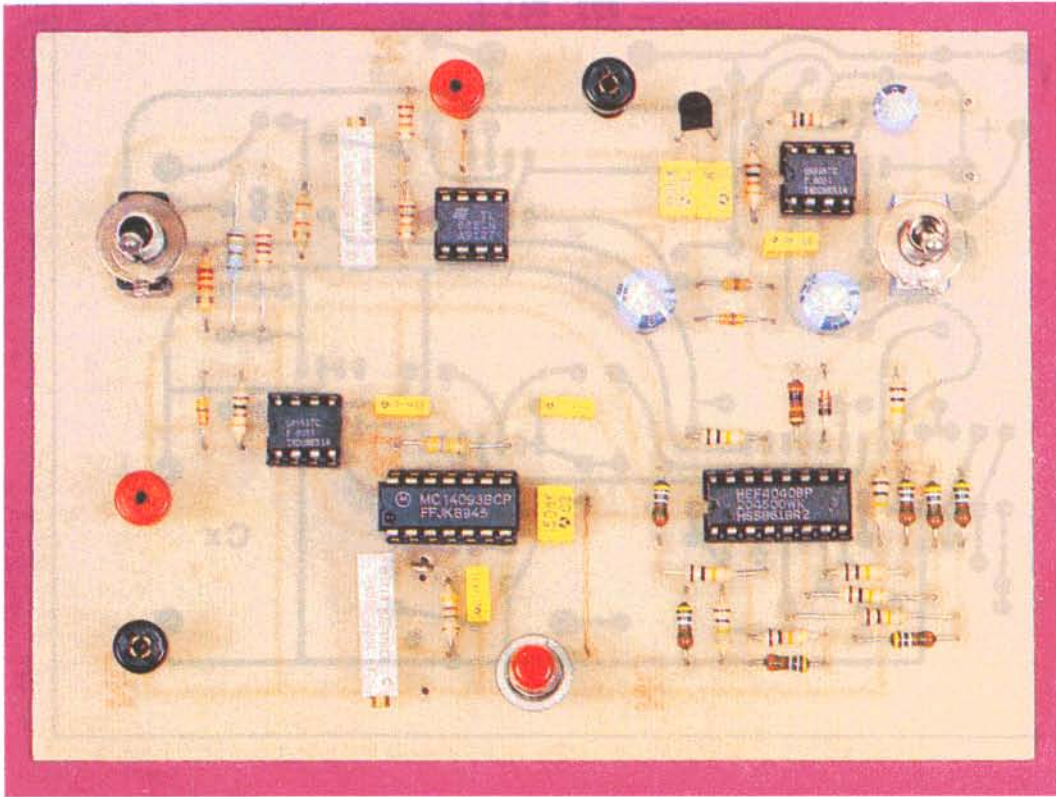
$T1 = 1,1 \cdot R \cdot Cx$, dla $Cx = 200\mu\text{F}$,
 $R = R8 = 22,6\text{k}\Omega$, otrzymuje się
 $Fo = 51,28\text{Hz}$.

Współczynnik skali DAC

Wybór wartości oporności R
 w DAC został narzucony doborem

dokładnych oporności R i $2R$.
 Wybrano wartości $R = 49,9\text{k}\Omega$ i
 $2R = 100\text{k}\Omega$. Dla maksymalnej
 zakresu pojemności prąd I wynosi
 $255/256 R$, czyli około $100\mu\text{A}$. Na-
 pięcie wyjściowe Vs wynosi $2V$,

jeśli $Ro = R11 + R12 = 20\text{k}\Omega$.
 Warunek ten jest spełniony przez
 zastosowanie $R11 = 18\text{k}\Omega$ i nas-
 tawnego $5\text{k}\Omega$ jako $R12$, co pozwala
 skompensować wszystkie drobne
 odchylenia poprzednich stopni.



Wykonanie

Wzór ścieżek płytki drukowanej przedstawiono na rys. 5. Zostały na niej umieszczone wszystkie elementy, łącznie z zaciskami i wyłącznikami, dla uniknięcia problemów z doprowadzeniami. Rozmieszczenie elementów pokazuje rys. 6. Aby wyniki pomiarów były poprawne, należy zachować wartości R i 2R przyjęte w DAC.

Uruchomienie

Dokonuje się tego w dwóch etapach: regulacja częstotliwości F_0 i dobór współczynnika skali „k”.

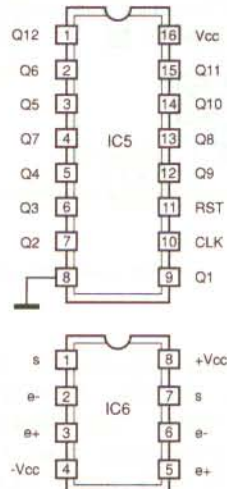
W pierwszym etapie należy przyłączyć częstotliciomierz do końcówki 2 w IC4 i za pomocą R6 doregulować częstotliwość do 51 lub 52Hz. Ze względu na nieunikniony wpływ temperatury, próba doregulowania do obliczonej wartości 51,28Hz nie ma sensu. Różnica ta zostanie zresztą wyrównana przy regulacji współczynnika skali.

Do skorygowania współczynnika skali potrzebny jest kondensator wzorcowy, na przykład 100μF. Przy K2 w środkowej pozycji „a” doregulowuje się R12 w taki sposób, aby pomiar wykazywał 1V, czyli 100μF. Można zresztą użyć i innej

wartości, dla dobrej dokładności powinna ona jednak znaleźć się powyżej połowy skali. Jeśli nie dysponuje się dokładnym kondensatorem, można posłużyć się innym miernikiem pojemności, mającym zakres 200μF, lub więcej, oraz jakimś kondensatorem z zapasów.

Po zakończeniu regulacji, płytka może zostać umieszczona w obudowie, na której zaciski i przełączniki należy zaznaczyć odpowiednimi symbolami.

EP



Rys. 7.

WYKAZ ELEMENTÓW

Rezystory

- R1, R2, R4, R7: 10kΩ
- R3: 470kΩ
- R5: 47kΩ
- R6: 500kΩ, 10-obrotowy, nastawny
- R8: 22,6kΩ, 1%
- R9: 2,49kΩ, 1%
- R10: 226Ω, 1%
- R11: 18kΩ
- R12: 4,7kΩ, 10-obrotowy, nastawny
- R13, R14: 22kΩ
- R (7 szt): 49,9kΩ, 1%
- 2R (9szt): 100kΩ, 1%

Kondensatory

- C1: 100μF/25V
- C2, C8, C9: 10nF/63V, foliowy
- C3, C4: 220μF/25V
- C5, C6: 330nF/63V, foliowy
- C7: 150nF/63V, foliowy
- C10: 220nF/63V, foliowy

Półprzewodniki

- D1, D2, D3, D4: 1N4148
- IC1, IC3: NE555
- IC2: REG MC78L05
- IC4: MC14093B
- IC5: HEF 4040
- IC6: TL082

Różne

- K1: przełącznik 1 obw. 2 poz.
- K2: przełącznik 1 obw. 3 poz.
- K3: przycisk 1 obw. styki aktywne