

Sprawozdanie końcowe

Laboratorium Otwarte

Dzwonek do drzwi typu słowik

Łukasz Barszczyk
Nr indeksu: 262094

Spis treści

1. Wstęp	3
2. Schemat układu i sposób działania	4
2.1 Modyfikacje schematu	7
3. Symulacja układu w programie LTspice XVII	8
3.1 Wykresy związane z pracą tranzystorów Q4 i Q5	9
3.2 Wykresy związane z pracą tranzystorów Q2 i Q3	10
3.3 Analiza dotycząca sygnału wyjściowego	11
3.4 Analiza działania stabilizatora i prostownika	12
4. Projekt płytki drukowanej w Eagle	13
4.1 Zestawienie wszystkich komponentów	15
5. Wykonanie i pomiary	16
5.1 Schematy pomiarowe	19
5.2 Pomiary dotyczące pracy tranzystorów Q4 i Q5	22
5.3 Pomiary dotyczące pracy stabilizatora i prostownika	23
5.4 Pomiar prądu występującego w układzie	24
5.5 Pomiary dotyczące sygnału wyjściowego	26
6. Wnioski	26
Oświadczenie o samodzielności pracy	27
Literatura i źródła wiedzy	27

1. Wstęp

Projekt obejmuje wykonanie dzwonka do drzwi typu słowik wykorzystując dwa przerzutniki astabilne do generowania i modulowania tonu oraz wzmacniacz głośnikowy w postaci dwóch tranzystorów (jeden NPN, drugi PNP) w układzie Sziklaiego (układ wzmacniacza opartego na tranzystorach bipolarnych o dużym wzmocnieniu, rodzaj układu Darlingtona, w którym zastosowane są tranzystory o przeciwstawnej (komplementarnej) polaryzacji). W celu dostosowania częstotliwości dźwięku do swoich potrzeb mamy możliwość jej regulacji za pomocą potencjometru umieszczonego w układzie.

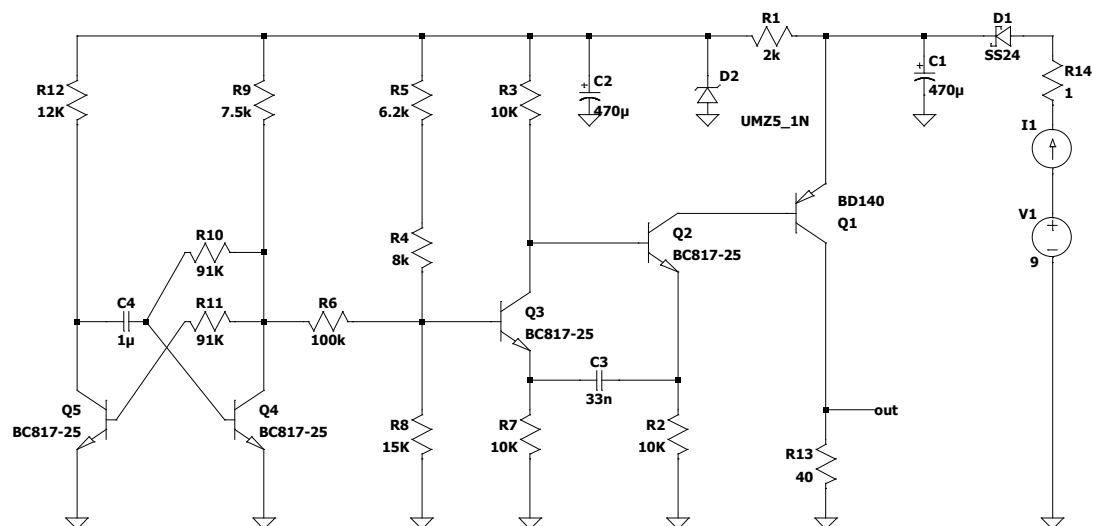
Typowe zastosowanie układu to dołączenie do urządzenia zasilania bateryjnego (np. baterii 9V) lub na co pozwala układ transformatora dzwonekowego. W drugim przypadku należy pamiętać, że w takim systemie występuje napięcie sieci 230V i należy zachować szczególną ostrożność.

Ideę działania układu zaczerpnięto z książki „Dla domu: 24 proste układy elektroniczne do samodzielnego wykonania” autorstwa Marii i Wojciecha Nowakowskich. Na podstawie zmodyfikowanego układu wykonano symulację w programie LTspice.

Ze względu na trudności w znalezieniu źródeł literaturowych opisujących działanie obwodu zbliżonego do analizowanego, podstawowym źródłem wiedzy na temat sposobu działania było badanie układu przez jego symulacje, pobudzanie zmianami parametrów oraz budowę układu na płycie obwodu drukowanego i jego pomiary za pomocą oscyloskopu. Pomimo wielu różnic, względem oryginalnego dzwonka, pomocne w zrozumieniu układu okazały się informacje zamieszczone w Internecie na temat multiwibratorów.

2. Schemat układu i sposób działania

Na rys. 1. przedstawiono schemat ideowy układu.



Rys. 1. Schemat układu dzwonka

Prezentowany układ jest współczesną wersją układu dzwonka do drzwi o przyjemnym brzmieniu, którego pierwowzór został zbudowany z elementów przewlekanych w latach 80. ubiegłego wieku. Ówczesnie zbudowany był z elementów przewlekanych, które obecnie zostały zastąpione elementami elektronicznymi wykonanymi w technologii montażu powierzchniowego SMD. Dzięki temu urządzenie jest mniejsze, tańsze oraz łatwiejsze w montażu.

Sposób działania układu polega na pracy tranzystorów Q2 oraz Q3, które tworzą przerzutnik astabilny pracujący jako generator tonu. Częstotliwość generowanego tonu możemy regulować za pomocą potencjometru (w symulacji LTspice potencjometr został zastąpiony rezystorem). Tranzystory bipolarne Q4 oraz Q5 także pracują w konfiguracji przerzutnika astabilnego. Zadaniem tego przerzutnika jest modulacja wysokości tonu generowanego przez układ zbudowany z tranzystorów Q2 i Q3. Funkcję głośnikowego wzmacniacza mocy pełni zewnętrzny tranzystor bipolarny Q1 – BD140.

W symulacji na wejściu układu znajdują się źródło napięciowe sterowane prądem. Ten element układu jest odpowiedzialny za symulowanie wciskania przycisku przez użytkownika dzwonka, w celu odzwierciedlenia rzeczywistego obwodu (w schemacie właściwym, element ten został zastąpiony przyciskiem). Źródło napięciowe jest zależne od źródła prądowego

Tranzystory Q4 i Q5 tworzą multiwibrator dwustanowy monostabilny – układ jest symetryczny lewa i prawa strona są bardzo podobne. Zakładamy, że po włączeniu napięcia jeden z tranzystorów zostanie włączony, czyli na jego bazie pojawi się napięcie ok 0.7 V. W teorii układ może pozostać w równowadze, jeżeli wartości jego elementów byłyby idealne (takie same). W praktyce jednak tak nie jest więc układ przeskoczy do jednego ze skrajnych stanów. Tranzystor Q5 w tym przypadku przewodzi, a Q4 jest zatkany, ponieważ występuje ujemne napięcie w punkcie pomiędzy C4 a Q4. Ujemne napięcie bierze się stąd, że lewa okładka kondensatora została zwarta do masy poprzez złącze C-E tranzystora Q5, była na potencjale dodatnim, a prawa strona kondensatora na potencjale masy, jeśli kondensator rozładował się poprzez Q5 to w punkcie pomiędzy C4 a Q4 wystąpiło napięcie ujemne, ponieważ potencjał kondensatora obniżył się. Z tego względu Q4 jest zatkany. Jednak potencjał cały czas rośnie, ponieważ kondensator coraz bardziej się rozładowuje. Kiedy napięcie bazy tranzystora Q4 osiągnie ok. 0,7V to tranzystor Q4 się otworzy spowoduje to spadek napięcia na bazie Q5 i jego zatkanie. Po naładowaniu się kondensatora C4, układ jest gotowy do następnego wyzwolenia. Zadaniem tego przerzutnika jest modulacja wysokości tonu generowanego przez układ zbudowany z tranzystorów Q2 i Q3.

Tranzystory Q2 i Q3 pracują w układzie przerzutnika Schmitta. Układem Schmitta nazywamy układ, w którym oba stopnie są połączone gałęzie, w której występuje sumowanie sygnałów pochodzących z obu stopni. Przerzutnik Schmitta ma w obwodzie wejściowym dwa progi przełączania, przy których wyjście zmienia stan na przeciwny. Osiągnięcie przez napięcie wejściowe określonego progu zależy od kierunku zmiany tego napięcia. Dla napięcia narastającego obowiązuje próg górny, dla opadającego - dolny. Odległość między progami określa się mianem szerokości pętli histerezy. Po przekroczeniu pewnego progu przerzutnik przerzuca się na stan wysoki na wyjściu. Jeśli napięcie spadnie poniżej tego progu na wyjściu układu pojawi się stan niski. Wpływ na stan niski w układzie wywiera umieszczony kondensator emiterowy, który przemiennie ładuje się i rozładowuje. Na wyjściu układu znajdują się tranzystor PNP (Q1), umożliwia on lepszą oscylację sygnału pomiędzy stanem niskim, a wysokim, ponieważ do jego otwarcia na bazie wymagane jest napięcie o około 0,6V niższe od napięcia kolektora, a dodatkowo wzmacnia sygnał. Jest to najprostszy generator częstotliwości. Sprężenie zwrotne ujemne stabilizuje punkt pracy, a ponadto może nie

dopuszczać do wystąpienia przesterowania w układzie. Układ pracuje wówczas bez wchodzenia w obszar nasycenia, dzięki czemu uzyskuje się przebiegi o stromych zboczach z małym opóźnieniem czasowym (zwanym histerezą) względem impulsów wyzwalających. Układy Schmitta stosuje się jako przerzutniki monostabilne lub bistabilne oraz do formowania przebiegów prostokątnych. Zaletą układu jest m.in. to, że wejście układu nie jest objęte pętlą sprzężenia zwrotnego i dzięki temu na wejściu nie istnieją sygnały wytworzone wewnątrz układu, jak to występuje w układzie Ecclesa-Jordana. Ponadto wyjście układu jest dobrze odseparowane od wejścia. W tym układzie sygnał wejściowy jest podawany na bazę pierwszego tranzystora, a wyjście odczytuje się z kolektora drugiego tranzystora. W stanie początkowym, kiedy sygnał wejściowy jest na poziomie niskim, oba tranzystory są wyłączone, kondensator jest rozładowany poprzez oporniki bazy i kolektora.

Gdy sygnał wejściowy przekracza poziom progowy, napięcie na bazie pierwszego tranzystora zaczyna rosnąć, co powoduje, że ten tranzystor zaczyna przewodzić. Wskutek tego kondensator zaczyna się ładować poprzez tranzystor pierwszy i opornik bazy tranzystora drugiego. Gdy napięcie na emiterze pierwszego tranzystora osiągnie poziom progowy, napięcie na bazie drugiego tranzystora zaczyna rosnąć, co powoduje, że ten tranzystor także zaczyna przewodzić. Teraz kondensator zaczyna się rozładowywać. Gdy napięcie na emiterze drugiego tranzystora spadnie poniżej poziomu progowego, tranzystor ten przestaje przewodzić, a kondensator zaczyna się ponownie ładować poprzez drugi tranzystor. W ten sposób przerzutnik Schmitta z dwóch tranzystorów NPN ze wspólnym kondensatorem emiterowym umożliwia zmianę stanu sygnału wejściowego między stanem niskim a wysokim w sposób stabilny i jednoznaczny, niezależnie od szumów i zakłóceń w sygnale generując sygnał wyjściowy.

Tranzystory Q1 i Q2 pracują jako układ Sziklaiego układ wzmacniacza oparty na tranzystorach bipolarnych o dużym wzmocnieniu, rodzaj układu Darlingtona, w którym zastosowane są tranzystory o przeciwstawnej (komplementarnej) polaryzacji, tzn. np. pierwszy z nich (na rysunku oznaczony Q2) jest n-p-n, a drugi p-n-p. Emiter pierwszego tranzystora połączony jest z kolektorem drugiego, natomiast kolektor pierwszego tranzystora steruje wprost bazą drugiego. Całość w układzie jak na rysunku obok zachowuje się jak pojedynczy tranzystor n-p-n o dużym wzmocnieniu. Wynikowy tranzystor Sziklaiego swój kolektor ma tam, gdzie jest emiter tranzystora Q1.

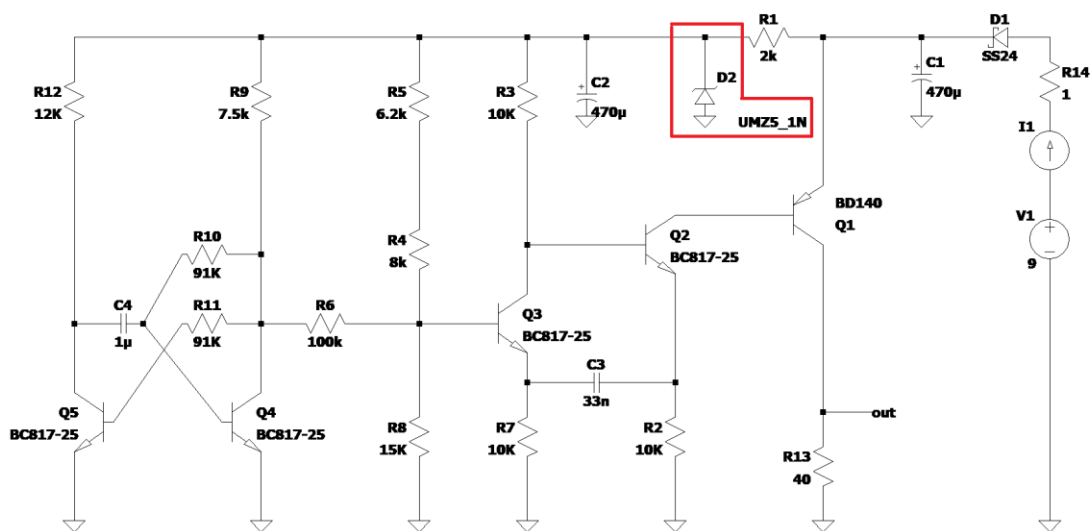
Układ prostownika z diodą (D1) i kondensatorem (C1) pozwala na zmianę napięcia przemiennego na stałe napięcie pulsujące (zasilanie 230V). W przypadku zasilania z baterii 9V, może to pomóc w uzyskaniu wyższych wartości napięcia, co jest przydatne w niektórych układach elektronicznych. Jednakże, należy pamiętać, że napięcie wyjściowe takiego

prostownika jest pulsujące i nie jest idealnie stabilne. Zastosowanie stabilizatora napięcia może być konieczne, aby uzyskać stałe napięcie wyjściowe.

Układ stabilizatora (R1, D2, C2) pozwala na utrzymanie stałego napięcia wyjściowego bez względu na zmiany napięcia zasilania i obciążenia. W przypadku braku stabilizatora, napięcie wyjściowe będzie zmieniać się w zależności od stanu naładowania baterii, co może wpłynąć na działanie urządzenia, które jest zasilane tymi bateriami. Zastosowanie stabilizatora pozwala na uzyskanie stabilnego napięcia wyjściowego, co zwiększa nie tylko niezawodność i trwałość urządzenia, ale także może pomóc w poprawie jakości działania

2.1 Modyfikacje schematu

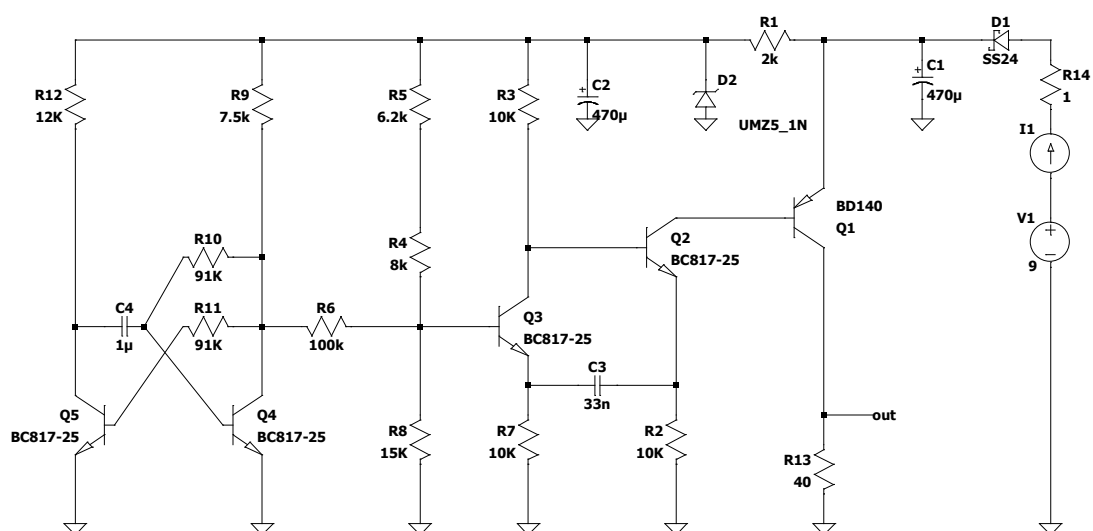
Schemat z rysunku 1. po wstępnym przetestowaniu działa poprawnie i zgodnie z założeniami postawionymi we wstępie. Jednak w celu wyeliminowania konieczności zamawiania nowych elementów dokonano zamiany diody Zenera UMZ5_1N na diodę o zbliżonych parametrach do tej BZV55C5V6. Zmiana ta nie wpływa znacząco na działanie układu, gdzie jest dalej zachowane ustabilizowane napięcie, które nie spowoduje uszkodzenia tranzystora Q4 napięciem wstecznym E-B (deklarowana wartość przez producenta maksymalnego napięcia wstecznego 5V).



Rys. 2. Układ z zaznaczonym elementem, który wymieniono

3. Symulacja układu w programie LTspice

Ze względu na braki niektórych z elementów w LTspice, na których planowano wykonanie układu przyjęto pewne uproszczenia w symulacji: zamiast diody Zenera BZV55C5V6 zastosowane w symulacji diodę UMZ5_1N oraz zamiast przycisku zastosowano źródło napięciowe sterowane źródłem prądowym imitując tym pracę przycisku. Dla możliwości usłyszenia dźwięku dzwonka w symulacji, zastosowano formułę „wave”, która generuje plik dźwiękowy z programu według uzyskanych parametrów na wyjściu „out”. Przed wyjściem układu umieszczono także rezystor o wartości 40 Ohm, służący za przybliżenie oporu brzęczyka na wyjściu.



Rys. 3. Schemat ideowy układu w programie LTspice

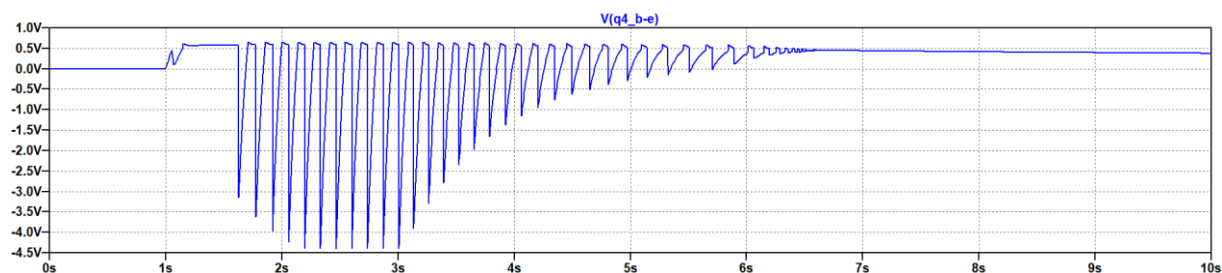
W trakcie symulacji poddano analizie następujące parametry:

- Napięcie baza-emiter tranzystora Q2, Q3, Q4 oraz Q5
- Napięcie kolektora tranzystora Q4 oraz Q5
- Napięcia emitera tranzystora Q3 oraz Q2
- Napięcie uzyskane na wyjściu układu
- Napięcie uzyskane po wyprostowaniu przez prostownik

Biorąc pod uwagę właściwości aplikacyjne układu, za najważniejsze zostały uznane napięcia uzyskane podczas pracy obu przerzutników. Szczegółowa analiza dokonywana jest dla napięcia baterijnego 9V – założono, że takie napięcie będzie najczęściej wykorzystywane.

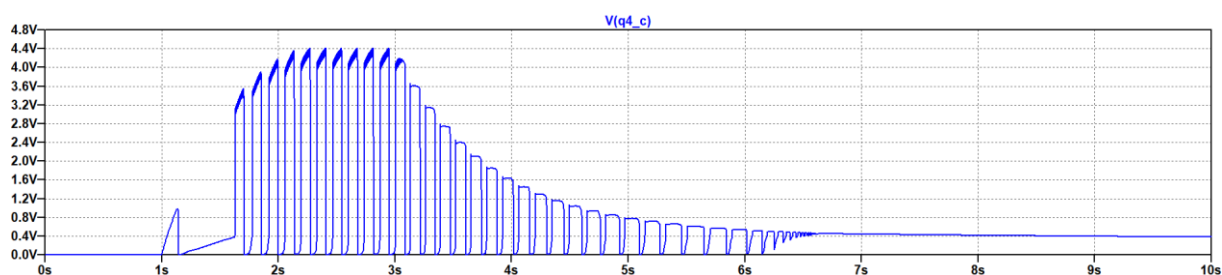
3.1 Wykresy związane z pracą tranzystorów Q4 i Q5

Rysunki 4., 5., 6. i 7. ukazują przebiegi zgodne z oczekiwanymi. Podczas krótkich impulsów włączających naprzemiennie tranzystory Q4 i Q5. Pracując w konfiguracji przerzutnika astabilnego modulują wysokości tonu generowanego przez układ zbudowany z tranzystorów Q2 i Q3.

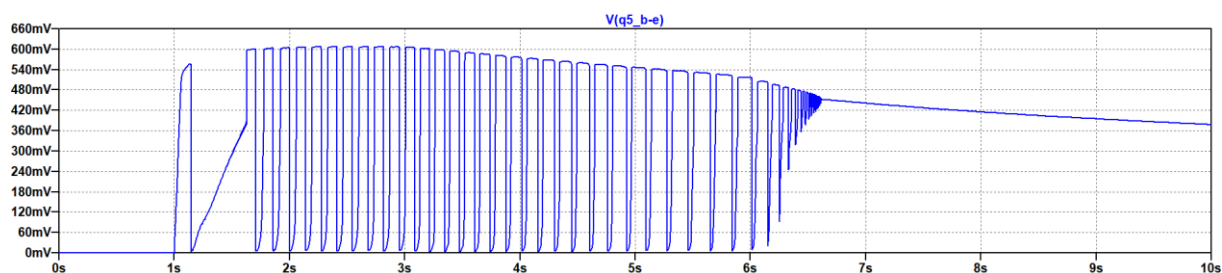


Rys. 4. Przebieg napięcia baza-emiter tranzystora Q4

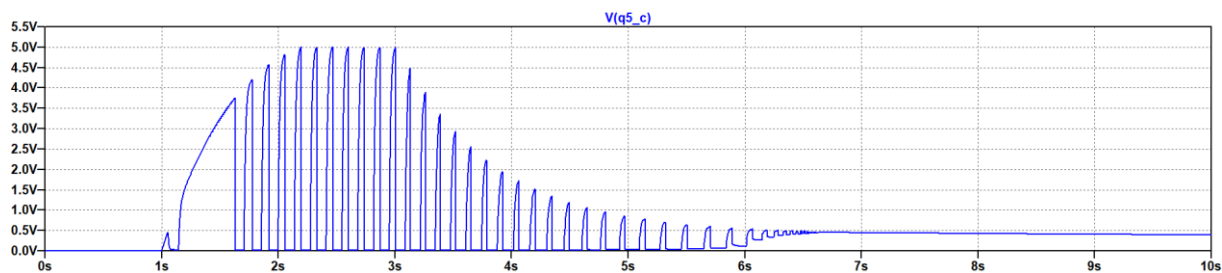
Jak widać na rysunku powyżej (Rys. 4.) napięcie w symulacji nie przekracza wartości deklarowanej przez producenta tranzystora dla napięcia wstecznego emiter-baza. Dzięki czemu tranzystor nie przekracza deklarowanej wartości 5V i nie ulegnie uszkodzeniu w wyniku przekroczenia tej wartości.



Rys. 5. Napięcie kolektora tranzystora Q4

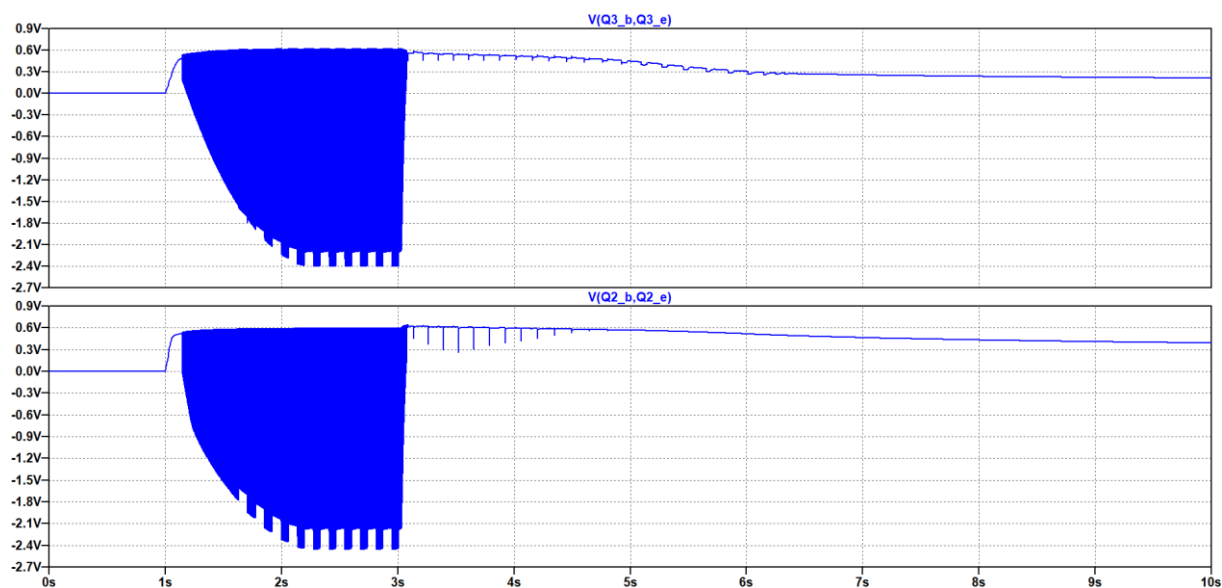


Rys. 6. Przebieg napięcia baza-emiter tranzystora Q5



Rys. 7. Napięcie kolektora tranzystora Q5

3.2 Wykresy związane z pracą tranzystorów Q2 i Q3

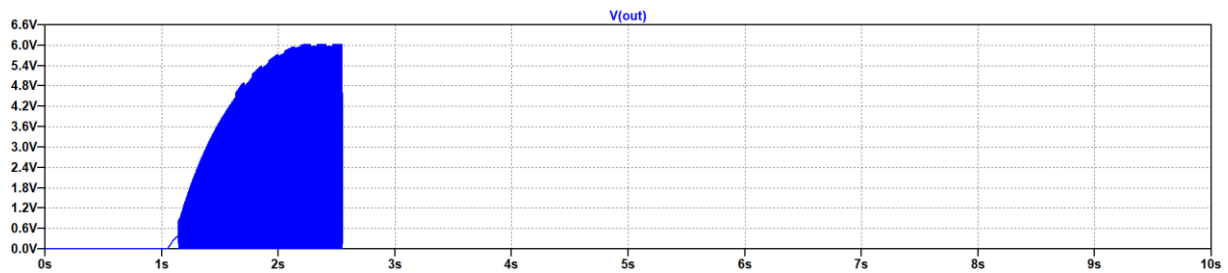


Rys. 8. Napięcie baza-emitera tranzystora Q2 oraz Q3

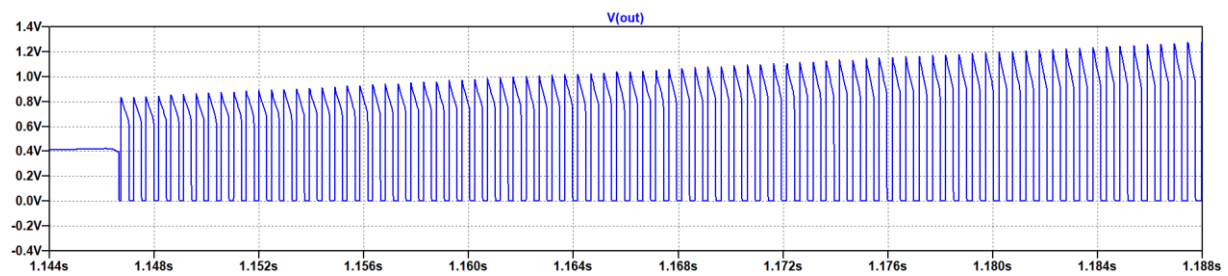
Wykres na rysunku 8 przedstawia charakterystykę napięcia baza-emiter (V_{be}) dla tranzystora Q2 oraz Q3. Zgodnie z oczekiwaniami tranzystory te pracują tworząc przerzutnik astabilny pracujący jako generator tonu w przedstawionym układzie. Wpływ na charakterystyki wywiera rezystor umieszczony w układzie zmieniając jego wartości, charakterystyki ulegną zmianą, a tym samym częstotliwość uzyskiwanego dźwięku.

3.3 Analiza dotycząca sygnału wyjściowego

Wykres na rysunku 9 i 10 przedstawia charakterystykę napięcia wyjścia układu po wygenerowaniu i modulacji tonu. Na podstawie uzyskanej charakterystyki można zauważyć, jak sygnał zmieniał się w czasie i wysokość jego napięcia. Maksymalna amplituda wyjściowa uzyskanego przebiegu wynosiła 6V, a okres drgań w przybliżeniu wynosił 0,00042s.



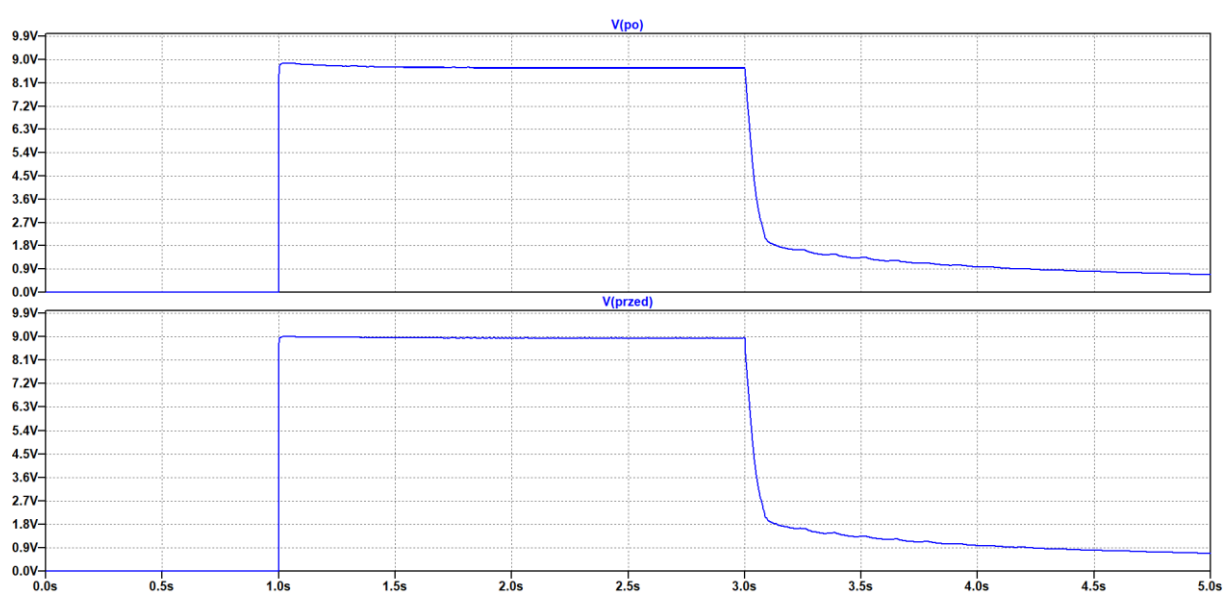
Rys. 9. Napięcie wyjściowe układu dzwonka



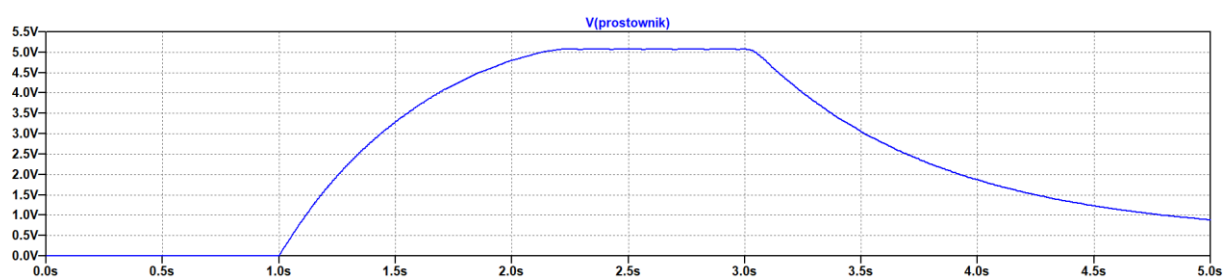
Rys. 10. Napięcie wyjściowe układu dzwonka w przybliżeniu

3.4 Analiza działania stabilizatora i prostownika

W układzie został zastosowany układ prostownika (Rys. 11.) oraz stabilizatora (Rys. 12.). Prostownik napięcia składający się z diody (D1) i kondensatora (C1) pozwala na zmianę napięcia przemiennego na stałe napięcie pulsujące w przypadku zasilania układu napięciem 230V (należy pamiętać o transformatorze dzwonkowym!!!). Stabilizator (R1, D2, C2) pozwala na utrzymanie stałego napięcia wyjściowego bez względu na zmiany napięcia zasilania i obciążenia. W przypadku braku stabilizatora, napięcie wyjściowe będzie zmieniać się w zależności od stanu naładowania baterii, co może wpłynąć na działanie urządzenia, które jest zasilane tymi bateriami.



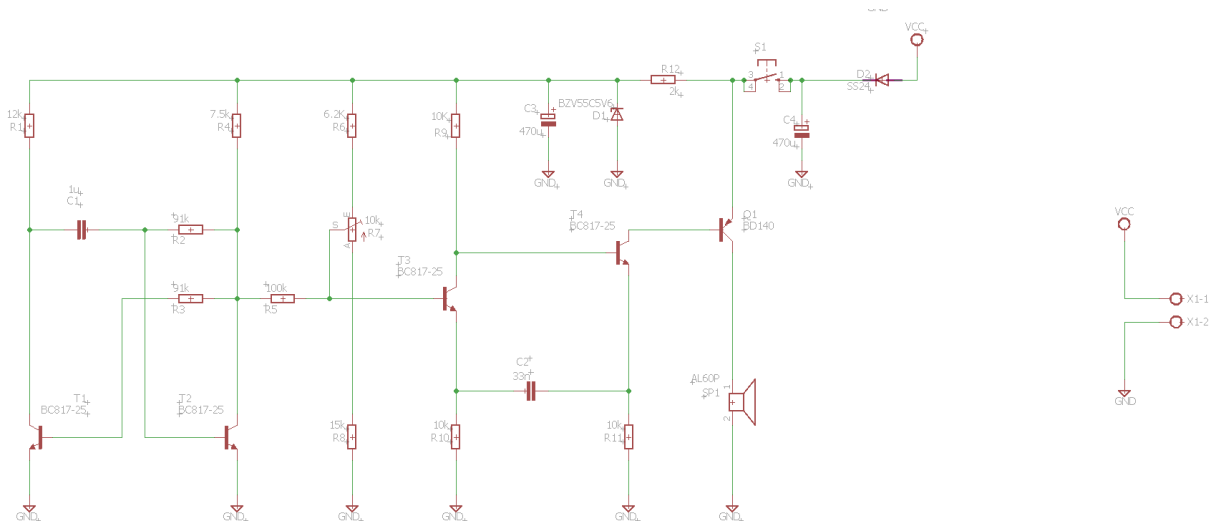
Rys. 11. Napięcie przed układem prostownika i po



Rys. 12. Napięcie układu za stabilizatorem napięcia ($U_{pp} = 5V$ po ustabilizowaniu)

4. Projekt płytki drukowanej w Eagle

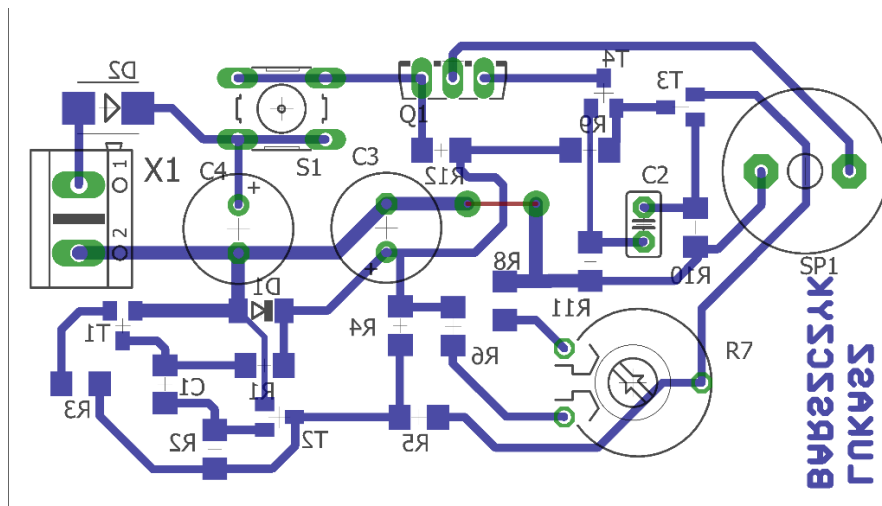
W celu zaprojektowania warstwy ścieżek oraz rozmieszczenia komponentów wykorzystano program Eagle. W trakcie rysowania schematu podjęto decyzję o dodaniu złącza ARK w celu umożliwienia łatwiejszego podłączenia układu. Schemat zaprojektowano zgodnie ze schematem z rysunku 3.



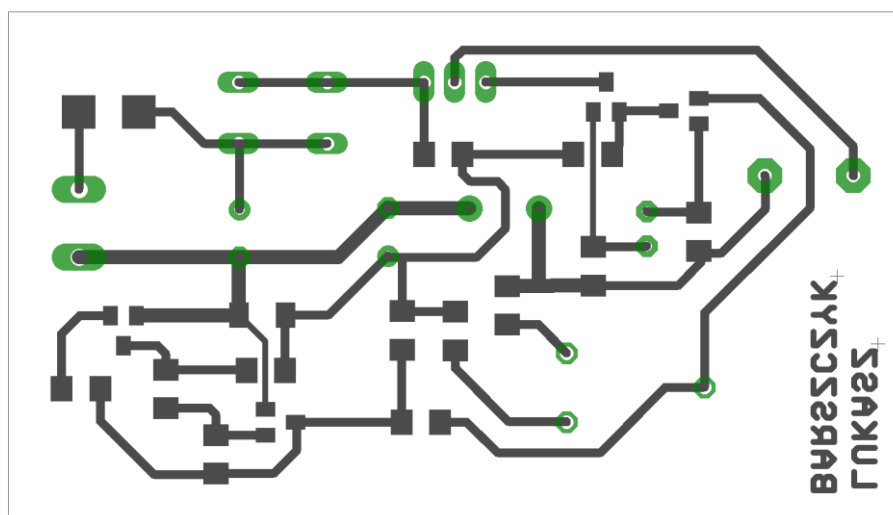
Rys. 13. Schemat zaprojektowany w programie Eagle

Docelowy wymiar płytki to 66x37.5 mm, możliwe jest jednak zmniejszenie tego wymiaru przez zmianę położenia komponentów. Jednak ostatecznie rozłożenie elementów na płytce drukowanej okazało się optymalne i na tej podstawie zdecydowano, że zmniejszanie wymiaru płytki nie jest konieczne.

Po wykonaniu płytki w celu pomiaru prądu na wejściu układu, do schematu dodano rezystor wartości $39\ \Omega$. W trakcie pracy układu zostanie na nim wykonany pomiar napięcia oscyloskopem i zgodnie z przekształconym prawem Ohma wyznaczony zostanie prąd płynący w układzie.



Rys. 14. Rozmieszczenie elementów na płycie PCB



Rys. 15. Topologia połączeń

W trakcie projektowania schematu ścieżek starano się rozmieścić tak elementy, aby zajęły jak najmniej miejsca na laminacie. Jednocześnie ze względu na niewielkie prądy pobierane przez układ oraz zasilanie względnie niskim napięciem (typowo 9 V) rozmieszczenie topologii nie wymagało rygorystycznego planowania odległości między ścieżkami ani ich szerokości. Zastosowano się do podstawowych zasad zaimportowanych z dostarczanych na stronie kursu pliku „OpenLab.dru”. Układ ścieżek i elementów poddawany był modyfikacjom, do czasu aż sprawdzanie błędów DRC przestało wykazywać błędy dotyczące układu. Po ostatecznym ułożeniu wszystkich komponentów jedynym zwracanym błędem były przejścia ścieżek pod niektórymi elementami SMD. Ze względu na małe znaczenie na działanie układu błędy zostały usunięte ręcznie.

4.1 Zestawienie wszystkich komponentów

W tabeli 1. przedstawiono zestawienie wszystkich elementów wykorzystanych do budowy układu.

Nazwa	Typ	Wartość	Obudowa
Q1	tranzystor	BD140	SOT32
Q2	tranzystor	BC817-25	SOT23
Q3	tranzystor	BC817-25	SOT23
Q4	tranzystor	BC817-25	SOT23
Q5	tranzystor	BC817-25	SOT23
C1	kondensator ceram.	1 μ	SMD-1206
C2	kondensator ceram.	33n	raster 2.54 mm
C3	kondensator elektrolityczny	470 μ F	Ø 8x12 mm raster 3.5 mm
C4	kondensator elektrolityczny	470 μ F	Ø 8x12 mm raster 3.5 mm
D1	dioda Zenera	BZV55C5V6	SOD80
R1	rezystor	12k	SMD-1206
R2	rezystor	91k	SMD-1206
R3	rezystor	91k	SMD-1206
R4	rezystor	7.5k	SMD-1206
R5	rezystor	100k	SMD-1206
R6	rezystor	6.2k	SMD-1206
R7	potencjometr	PT10LV10	PT10-leżąca
R8	rezystor	15k	SMD-1206
R9	rezystor	10k	SMD-1206
R10	rezystor	10k	SMD-1206
R11	rezystor	10k	SMD-1206
R12	rezystor	2k	SMD-1206
SP1	brzęczyk	KC-1206	AL60P
D2	dioda Schottky'ego	SS24	SMD-B
S1	przycisk		raster 6x6 mm
X1	złącze		ARK500/2

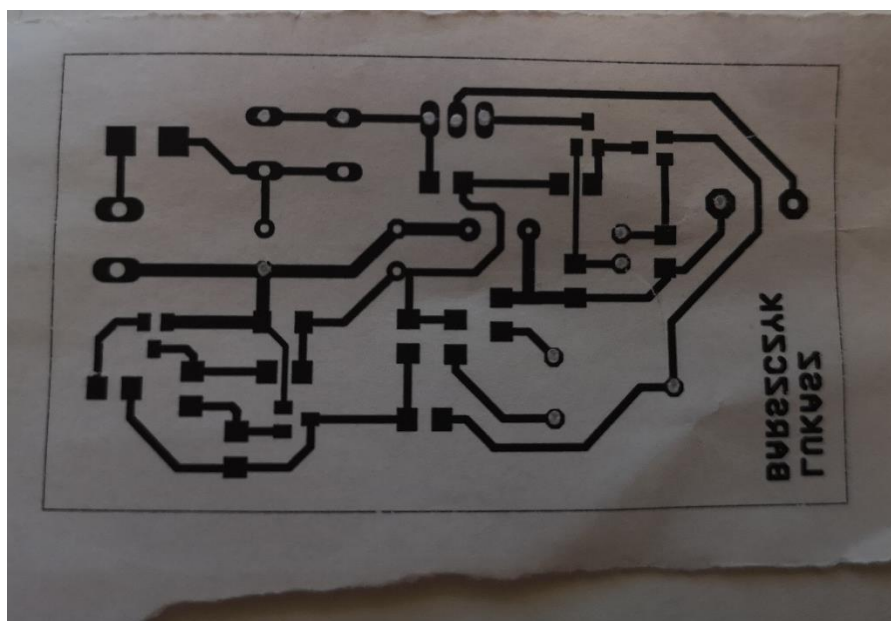
Tabela 1. Zestawienie wszystkich niezbędnych elementów

5. Wykonanie i pomiary

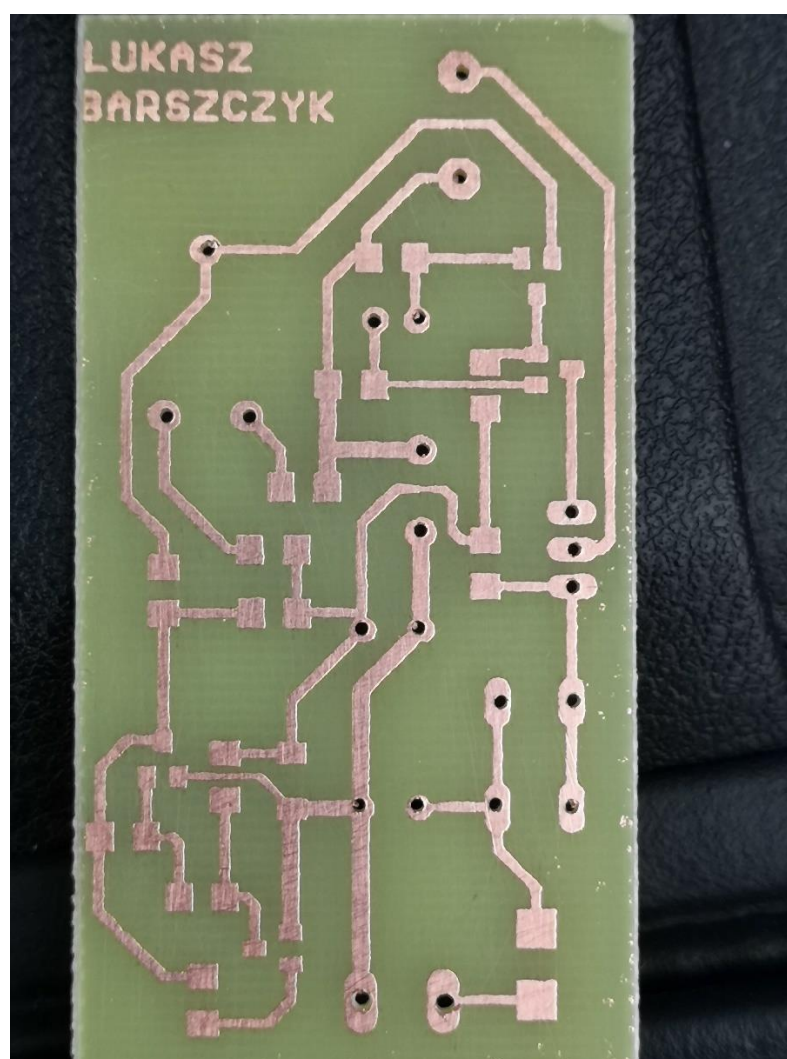
Topologia połączeń z rysunku 15. została wydrukowana przy użyciu drukarki laserowej na papierze kredowym. Przygotowany laminat został docięty do wymiarów wydruków oraz przetarty czyścikiem do laminatu, w celu usunięcia zanieczyszczeń laminat został wmyty wodą oraz przepłukany alkoholem izopropylowym. Wzór naniesiono na jednostronny laminat miedziany przy użyciu techniki termo transferu i trawienia w nadsiarczanie sodu. Procedura wykonania wyglądała następująco:

- Przycięcie laminatu do żądanych wymiarów przy pomocy gilotyny.
- Wydruk ścieżek drukarką laserową na nośniku (papier kredowy).
- Czyszczenie powierzchni laminatu.
- Termo transfer ścieżek z nośnika na laminat.
- Kontrola jakości naniesionych ścieżek
- Trawienie w wodnym roztworze nadsiarczany sodu.
- Kontrola procesu trawienia.
- Zdjęcie maski z laminatu, przy pomocy drucianej szczotki pod wodą.
- Kontrola ścieżek
- Wywiercenie otworów montażowych.

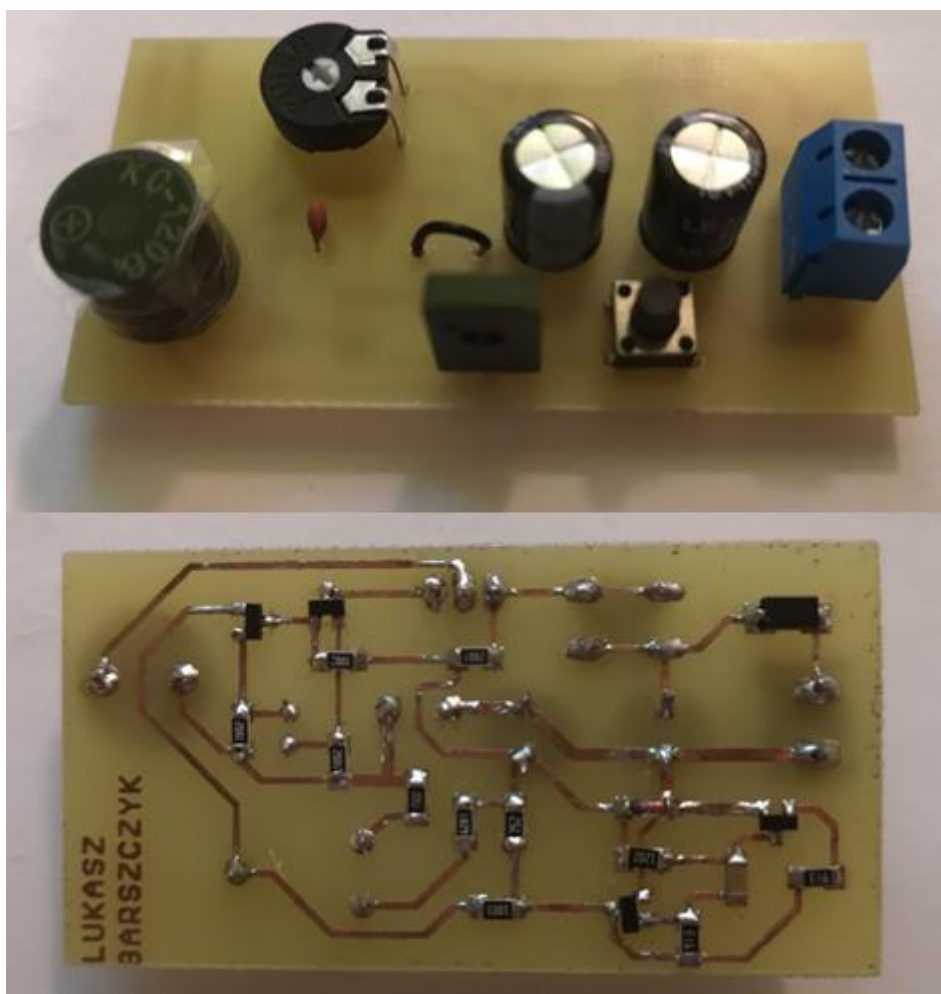
Po odklejeniu papieru i optycznej inspekcji ścieżek na płytce nie była wymagana żadna korekta z wykorzystaniem permanentnego pisaka. Zdecydowano o rozpoczęciu trawienia płytki. Po wytrawieniu powierzchni miedzi niezasłoniętej tonerem i oczyszczeniu powierzchni laminatu przystąpiono do inspekcji powstałych ścieżek. Po stwierdzeniu braku defektów przystąpiono do wywiercenia otworów w celu umieszczenia w nich komponentów.



Rys. 16. Przygotowanie wydruku



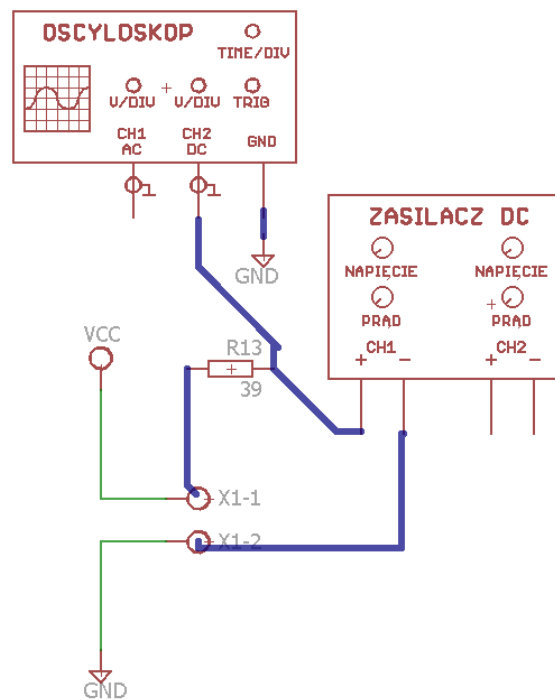
Rys. 17. Wytrawiona płytki z nawierconymi otworami montażowymi



Rys. 18. Rozmieszczone i przylutowane komponenty do laminatu

5.1 Schematy pomiarowe

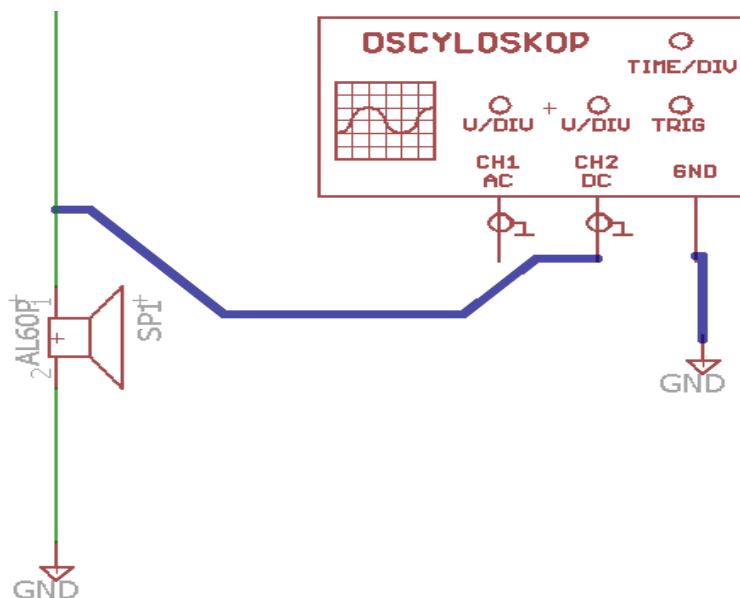
Schemat pomiarowy z rysunku 19. został wykorzystany do pomiaru wartości natężenia prądu w układzie na podstawie tej wartości została wyznaczona moc pobierana przez układ $I=U/R$, $P=I*U$.



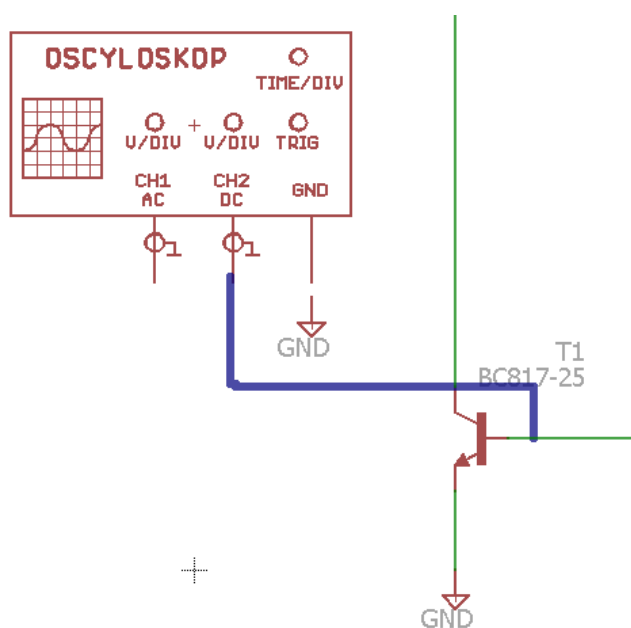
Rys. 19. Pomiar natężenia prądu

Pomiar prądu na wejściu układu wykonano metodą techniczną. Do gałęzi zasilania układu dołączono szeregowo rezystor pomiarowy $39\ \Omega$ i za pomocą oscyloskopu wykonano pomiar spadku napięcia między jego wyprowadzeniami. Następnie zgodnie z przekształconym prawem Ohma, na podstawie odczytanego napięcia i znanej w przybliżeniu rezystancji wyznaczono prąd.

Schemat z rysunku 20. został wykorzystany do pomiaru wartości napięcia na wyjściu układu, a tym samym do zaobserwowania przebiegu charakterystyki napięcia w czasie.

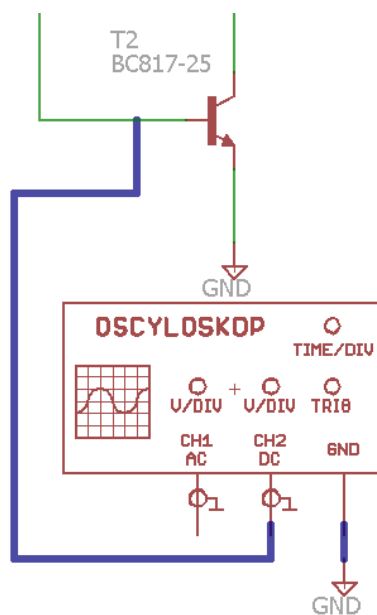


Rys. 20. Pomiar napięcia sygnału wyjściowego



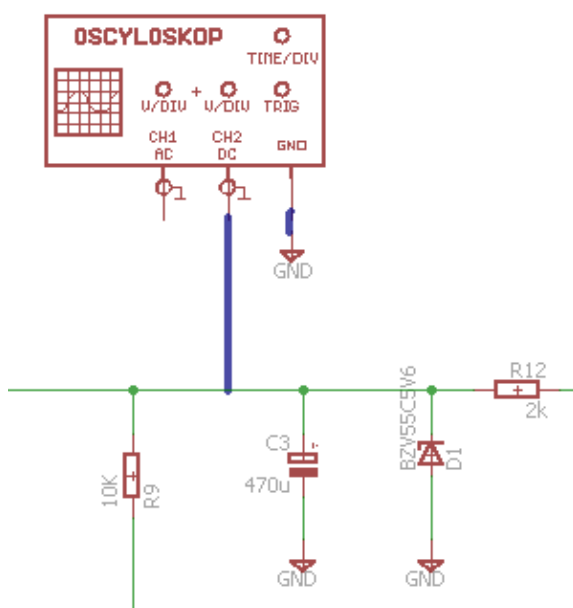
Rys. 21. Pomiar napięcia baza-emiter tranzystora T1

Ze względu na sposób działania układu, zdecydowano, że najistotniejszymi parametrami do zarejestrowania będzie przebieg napięć baza-emiter na tranzystorach umieszczonych w układzie. Te tranzystory odpowiadają za generowanie i modulowanie częstotliwości uzyskiwanego przebiegu na wyjściu układu

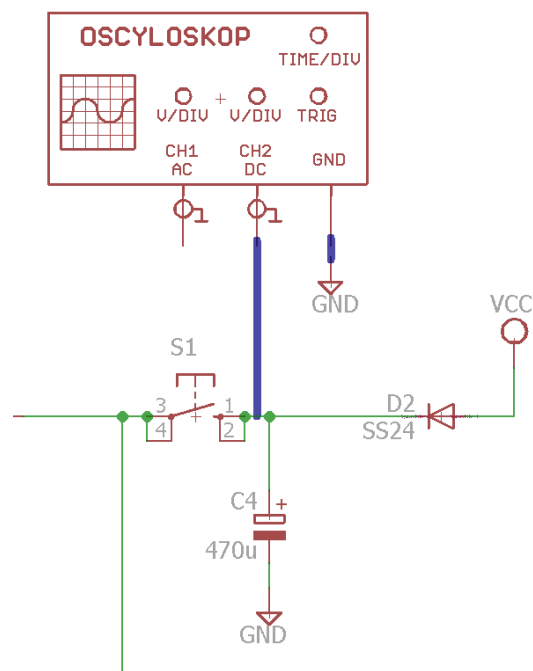


Rys. 22. Pomiar napięcia baza-emiter tranzystora T2

Na zamieszczonym rysunku 23. widać schemat do pomiaru napięcia za stabilizatorem umieszczonym w układzie. Umieszczony stabilizator nie tylko stabilizuje napięcie w układzie, ale również pozwala nie uszkodzić tranzystorów w wyniku napięcia wstecznego emiter-baza.



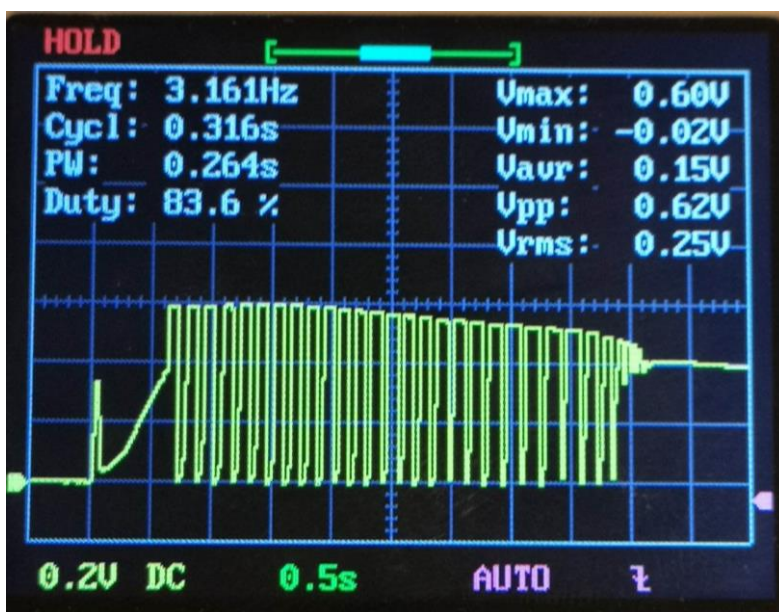
Rys. 23. Pomiar napięcia za stabilizatorem napięcia



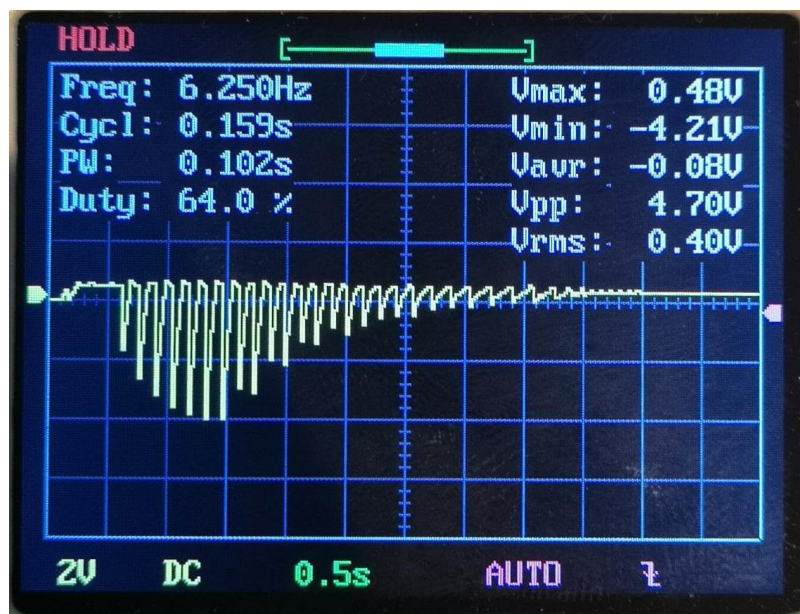
Rys. 24. Pomiar napięcia za prostownikiem napięcia

5.2 Pomiary dotyczące pracy tranzystorów Q4 i Q5

Dokładne dobranie zakresów pomiarowych i podstawy czasu pozwoliło na precyzyjne przedstawienie przebiegów napięć na złączach baza-emiter tranzystorów. Zebrane przebiegi pokrywają się z uzyskanymi w symulacji. Uzyskane przebiegi zostały zebrane dla napięcia zasilającego równego 9 V. Zbieżność przebiegów z symulacją świadczy o poprawnym zaprojektowaniu, wykonaniu i działaniu układu.



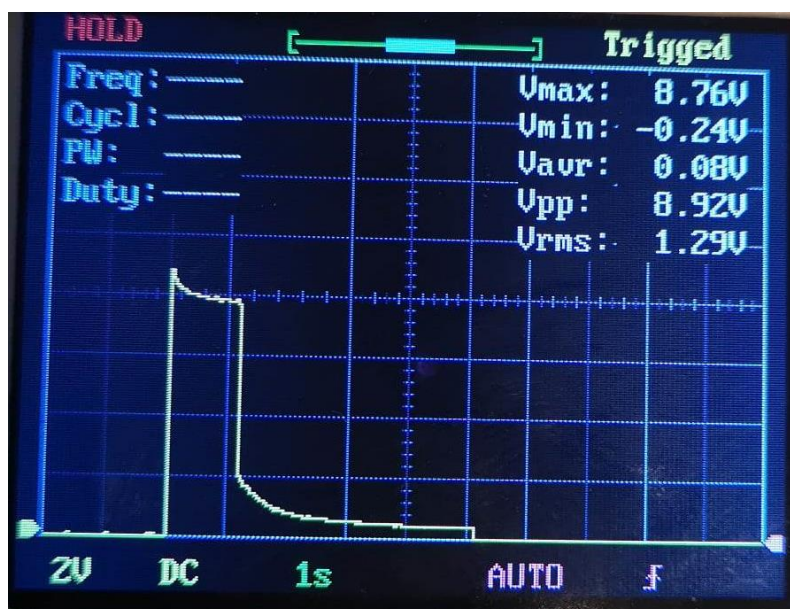
Rys. 25. Pomiar napięcia baza-emiter tranzystora T1



Rys. 26. Pomiar napięcia baza-emiter tranzystora T2

5.3 Pomiary dotyczące pracy stabilizatora i prostownika

Na rysunku 27. prostownika oraz 28. stabilizatora zostały przedstawione przebiegi charakterystyk napięciowych.



Rys. 27. Napięcie za układem prostownika

Prostownik napięcia składający się z diody (D1) i kondensatora (C1) pozwoli na zmianę napięcia przemiennego na stałe napięcie pulsujące w przypadku zasilania układu napięciem

230V (należy pamiętać o transformatorze dzwinkowym!!!). Jak widać na zamieszczonym rysunku 26. przebieg charakterystyki pokrywa się z symulacją programu LTspice.

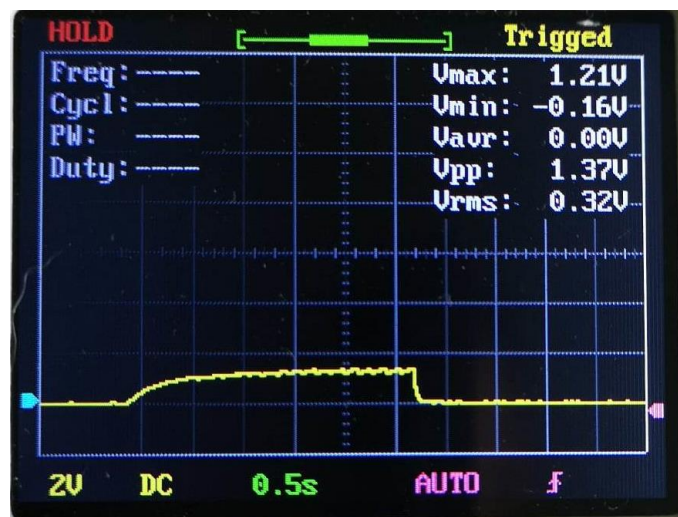


Rys. 28. Napięcie za układem stabilizatora

Stabilizator (R1, D2, C2) pozwolił na utrzymanie stałego napięcia wyjściowego bez względu na zmiany napięcia zasilania i obciążenia. Zastosowanie diody Zenera BZV55C5V6 pozwoliło w układzie na obniżenie napięcia. Ten zabieg zapobiegnie uszkodzeniu tranzystora T2 w przypadku napięcia wstecznego Emiter-Baza co widać na rysunku 26. gdzie przedstawiono napięcie baza-emiter tranzystora. Deklarowana wartość producenta dla takiego napięcia wynosi 5V. Jak widać uzyskana wartość maksymalna wynosi 4.21V, więc nie dojdzie do uszkodzenia tranzystora w wyniku napięcia wstecznego.

5.4 Pomiar prądu występującego w układzie

Do pomiaru prądu w układzie wykorzystany został dołączony na wejściu rezystor pomiarowy o rezystancji wynoszącej 39 Ω . Na danym rezystorze został zanotowany spadek napięcia, a następnie, zgodnie z przekształconym prawem Ohma został wyliczony prąd płynący na wejściu układu oraz obliczona moc.



Rys. 29. Spadek napięcia na rezystorze $39\ \Omega$ w celu pomiaru prądu



Rys. 30. Pomiar spadku napięcia na rezystorze $39\ \Omega$

Jak widać na rysunku 29. uzyskana charakterystyka osiąga wartość maksymalną dla $1.21V$, jest to spadek napięcia na rezystorze $39\ \Omega$. Z przekształconego prawa Ohma zostało obliczone natężenie prądu zasilającego układ:

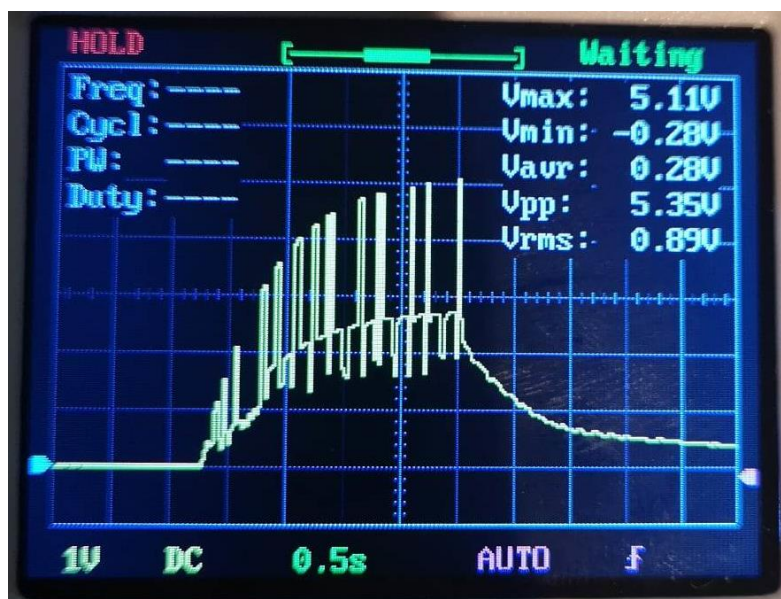
$$I = \frac{U}{R} = \frac{1,21V}{39\Omega} \approx 0,031A$$

Znając wartość natężenia prądu została wyznaczona moc układu:

$$P = U * I = 9V * 0,031A = 0,279W$$

Uzyskane wyniki są zgodne z oczekiwanymi i pokrywają się z symulacją.

5.5 Pomiary dotyczące sygnału wyjściowego



Rys.31. Napięcie wyjściowe układu dzwonka

Wykres na rysunku 31. przedstawia charakterystykę napięcia wyjściowego układu po wygenerowaniu i modulacji tonu. Największa amplituda uzyskanego wyniku wynosi 5,11V. Sygnał względem symulacji jest zbliżony, jednak trochę od niej odbiega. Powstają chwilowe piki, które uzyskują wysokie, bądź niskie wartości. Najprawdopodobniej jest to związane z niewłaściwą charakterystyką tranzystora lub też zakresem pracy brzęczyka 4-8V.

6. Wnioski

Wykonany układ dzwonka zaczerpnięty z książki [4], po modyfikacji i przystosowaniu go do pracy na elementach SMD okazał się być w pełni funkcjonalny i może być z powodzeniem stosowany w praktycznym zastosowaniu. Układ oprócz zasilania bateryjnego 9V, można przystosować do pracy z zasilaniem napięciem przemiennym 230V po wcześniejszym dodaniu transformatora dzwonkowego.

Wyliczone i symulacyjne parametry pracy dla zmodyfikowanego układu w zadowalającym stopniu pokryły się z wartościami zmierzonymi. Odstępstwa najprawdopodobniej wynikają z tolerancji stosowanych elementów, zarówno biernych jak i czynnych.

Ujawnione w pomiarach zjawisko pojedynczych pików na wyjściu układu najprawdopodobniej jest związane z niewłaściwą charakterystyką tranzystora. Aby poznać dokładne przyczyny tego zjawiska i znaleźć możliwość jego wyeliminowania konieczne są dalsze symulacje i prace prowadzące do jego modyfikacji.

Oświadczenie o samodzielności pracy

Oświadczam, że projekt został sprawdzony, jest kompletny i spełnia wymagania projektowe. Oświadczam również, że został wykonany w pełni samodzielnie.

Literatura i źródła wiedzy

[1] <https://www.youtube.com/watch?v=Ll-Jye7EP3g>

[2] <https://www.youtube.com/watch?v=GOGdxS45LCI>

[3] <https://pl.wikipedia.org/wiki/Multiwibrator>

[4] Książka „Dla domu: 24 proste układy elektroniczne do samodzielnego wykonania” autorstwa Marii i Wojciecha Nowakowskich