

Prosty tor podczerwieni aktywnej dalekiego zasięgu



Nie słabnie zainteresowanie wszelkiego typu urządzeniami wykorzystującymi promieniowanie podczerwone. W EdW przedstawiliśmy już kilka układów wykorzystujących podczerwień, a listy Czytelników przynaglają nas do przedstawienia kolejnych.

W niniejszym artykule przedstawiono układ toru podczerwieni dalekiego zasięgu, umożliwiający stworzenie bariery o zasięgu 50m i większym. Uwaga! **Tak duży zasięg uzyskano bez jakichkolwiek soczewek czy innych układów optycznych.** Co ciekawe, sumaryczny pobór prądu przez nadajnik i odbiornik wynosi mniej niż 10mA, z czego ponad 90% pobiera nadajnik.

Artykuł pokazuje, w jaki sposób można uzyskać bardzo duży zasięg przy minimalnym poborze prądu. Zawarte w nim wiadomości będą wielką pomocą dla osób chcących samodzielnie zaprojektować podobny układ według własnych potrzeb.

Przedstawiany układ przeznaczony jest głównie do celów eksperymentalnych, ale może także znaleźć praktyczne zastosowania. Każdy, kto interesuje się wykorzystaniem promieniowania podczerwonego, powinien wykonać oraz praktycznie przebadać opisany dalej prosty i tani układ.

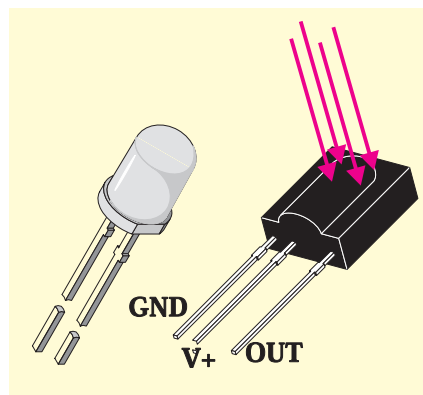
Zasada działania

Wykonanie dobrego łącza podczerwieni było niegdyś bardzo trudnym zadaniem. Aby uzyskać duży zasięg, trzeba było stosować soczewki. Oczywiście regulacja zestawu składającego się z nadajnika, odbiornika i współpracujących z nimi dwóch soczewek była bardzo trudna lub wręcz niemożliwa do wykonania, ze względu na niewidzialne promieniowanie.

Obecnie wykonanie łącza, czy też bariery podczerwieni aktywnej o zasięgu 20...30m bez jakichkolwiek soczewek nie stanowi żadnego problemu. Przy odrobieniu staranności można uzyskać zasięg znacznie przekraczający 50m. Wszystko to jest możliwe dzięki zastosowaniu i peł-

nym wykorzystaniu parametrów nowoczesnych podzespołów.

W opisywanym układzie zastosowano dobrze znany scalony odbiornik podczerwieni TFMS5360 oraz wysokosprawną diodę podczerwoną o wąskim kącie świecenia. Ich właściwe wykorzystanie umożliwia osiągnięcie wręcz rewelacyjnych parametrów łącza. Jednocześnie każda niedoróbka mści się dotkliwie i znacznie zmniejsza zasięg. Ponieważ chodzi o „wyduszenie” ze wspomnianych podzespołów wszystkich ich możliwości, konieczne jest zapoznanie się z głównymi parametrami. Bez ich zrozumienia nie można zaprojektować (i prawdopodobnie wykonać) dobrego łącza podczerwieni.



Kluczem do sukcesu są parametry zarówno nadajnika, jak i odbiornika.

W przypadku diody nadawczej podstawowe znaczenie mają dwie sprawy:

- kąt świecenia diody
- maksymalny dopuszczalny prąd impulsowy.

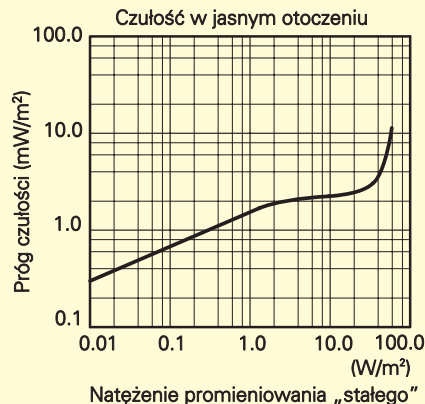
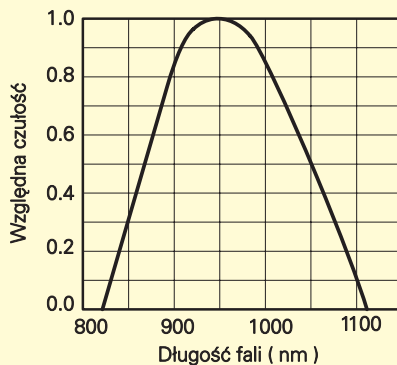
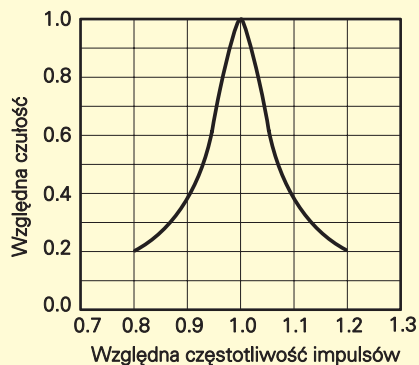
W przypadku odbiornika podstawowe znaczenie ma częstotliwość impulsów oraz długość fali świetlnej.

W tabeli 1 podano podstawowe parametry diod nadawczych TSIP5201

Tabela 1

Podstawowe parametry diod TSIP520X:

Dopuszczalne napięcie wsteczne:	7 V
Prąd przewodzenia:	150 mA
Szczytowy prąd przewodzenia (tp /T=0,5, tp =100µs):	300 mA
Niepowtarzalny prąd przewodzenia (tp =100µs):	3 A
Moc strat:	210 mW
Maksymalna temperatura złącza:	100°C
Rezystancja termiczna Rthja:	350 K/W
Kąt świecenia:	±17 stopni
Długość fali promieniowania:	925 nm
Czas włączania i wyłączenia:	500...800 ns
Natężenie promieniowania (IF =100mA, tp =20ms):	
TSIP5200:	40 mW/sr
TSIP5201:	50 mW/sr



Rys. 1. Charakterystyki diod nadawczych TSIP520X

i TSIP5202 firmy Telefunken (koncern Te-1mic).

Na rysunku 1 pokazano kluczowe charakterystyki tych diod. Rysunek 1a pokazuje charakterystykę promieniowania. Jak widać, światło emitowane jest w postaci stosunkowo wąskiego stożka. Dzięki zmniejszeniu kąta stożka promieniowania uzyskuje się kilku-, a nawet kilkusetkrotne zwiększenie natężenia promieniowania w porównaniu z „klasycznymi” diodami, o kącie świecenia $\pm 25 \dots \pm 40$.

Bardzo ważne informacje zawiera rysunek 1b. Pokazuje on, że przy zastosowaniu impulsowej pracy diody, możliwa jest praca przy prądach znacznie większych niż nominalny prąd przewodzenia (który zwykle wynosi 100...150mA). Przykładowo przy współczynniku wypełnienia $t_p/T = 0,01$ i czasie impulsu 0,1 milisekundy, wartość prądu podczas impulsu może wynieść 2A! W prezentowanym układzie współczynnik wypełnienia jest jeszcze mniejszy, a czas impulsu – krótszy, można więc pracować przy prądzie o wartości 3A! Nikomu chyba nie trzeba tłumaczyć, że ze wzrostem prądu rośnie także natężenie promieniowania, a tym samym zasięg łącza. Przykładowo w katalogach zazwyczaj podaje się natężenie przy prądzie 100mA. Omawiane diody przy prądzie przewodzenia równym 1.5A i czasie impulsu równym 100µs zapewniają natężenie promieniowania:

TSIP5200: 240...520 mW/sr
 TSIP5201: 360...650 mW/sr

Rysunek 1c pokazuje zależność napięcia i prądu przewodzenia – jak widać, przy prądzie 3A spadek napięcia na diodzie wyniesie około 2,5V. Jest to potrzebne do oszacowania wartości rezystora szeregowego ograniczającego prąd diody.

Rysunek 1 pokazuje charakterystyki diod TSIP520X. W ofercie firmy Telefunken (Temic) można znaleźć kilka innych diod o zbliżonych parametrach, które również można stosować w opisywanym urządzeniu:

TSUS5200 15° 20mW/sr
 (przy 100mA)
 TSUS5201 15° 20mW/sr

TSUS5202 15° 20mW/sr
 TSIL5200 10 60mW/sr

W tabeli 2 podano kluczowe parametry kilku diod produkowanych przez firmę Siemens.

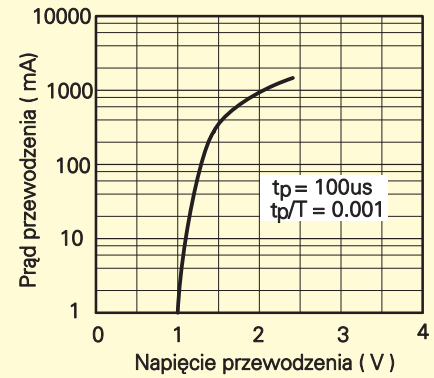
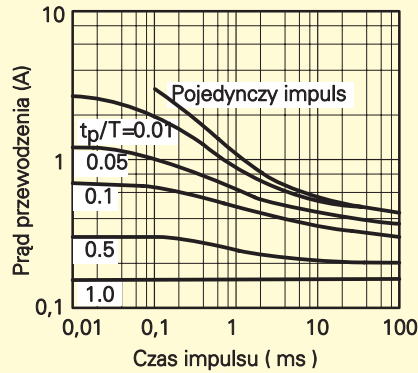
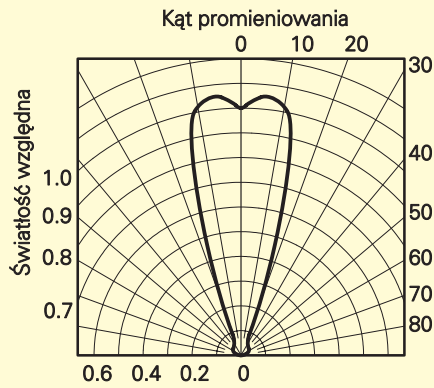
Również tu najważniejszym parametrem jest natężenie promieniowania, wyrażone w miliwatach na steradian (mW/sr). Warto zauważyć, że duże natężenie promieniowania uzyskuje się tylko przy małych kątach świecenia – cała moc skoncentrowana jest wówczas w małym stożku promieniowania. Dla porównania w tabeli zamieszczono dane popularnej diody LD271, która ma znacznie większy kąt rozsyłu światła (± 25), a tym samym małe natężenie (tylko 10mW/sr). Jak widać z przedstawionych danych, zasięg łącza podczerwieni będzie zależał głównie od kąta promieniowania diody (oraz szczytowej wartości prądu). Aby uzyskać zasięg kilkudziesięciu metrów, w opisywanym układzie konieczne trzeba zastosować diodę o jak największym kącie –

jak widać z tabel, nadaje się tutaj wiele typów diod. W żadnym przypadku nie nadają się tu jednak popularne diody od pilotów zdalnego sterowania, ponieważ z reguły mają one szeroki kąt świecenia. Przy zastosowaniu takiej „zwykłej” diody od pilota nie ma co liczyć na uzyskanie zasięgu rzędu 50m.

Drugim kluczowym czynnikiem jest zastosowanie dobrego odbiornika. Aby maksymalnie uprościć konstrukcję zastosowano typowy scalony odbiornik podczerwieni TFMS5360. Czytelnicy EdW sporo już o tym układzie wiedzą. Układ TFMS5360 zawiera w sobie fotodiody, wzmacniacz, filtr i inne obwody, dzięki którym nie reaguje na przypadkowe sygnały podczerwieni, a tylko na przebiegi o określonej częstotliwości. Dwie środkowe cyfry oznaczenia podają tę częstotliwość (w kilohercach) – układ TFMS5360 reaguje jedynie na impulsy promieniowania podczerwonego o częstotliwości powtarzania 36kHz. Rysunek 2a pokazuje,

Tabela 2

Typ	Kąt [°]	mW/sr	µs	nm	Obudowa
LD271L	25	10,00	1,0	950	5-mm-LED
LD274	10	50,00	1,0	950	5-mm-LED
LD274-2	10	50,00	1,0	950	5-mm-LED
LD274-3	10	80,00	1,0	950	5-mm-LED
SFH400	6	20,00	1,0	950	TO-18
SFH400-2	6	20,00	1,0	950	TO-18
SFH400-3	6	32,00	1,0	950	TO-18
SFH400-4	6	50,00	1,0	950	TO-18
SFH401	15	16,00	1,0	950	TO-18
SFH401-3	15	16,00	1,0	950	TO-18
SFH401-4	15	25,00	1,0	950	TO-18
SFH415	17	16,00	0,5	950	5-mm-LED
SFH415-T	17	25,00	0,5	950	5-mm-LED
SFH415-U	17	40,00	0,5	950	5-mm-LED
SFH416-R	28	10,00	0,5	950	5-mm-LED
SFH480-2	6	40,00	0,6	880	TO-18
SFH480-3	6	63,00	0,6	880	TO-18
SFH481	15	''	''	880	TO-18
SFH481-1	15	10,00	0,6	880	TO-18
SFH481-2	15	16,00	0,6	880	TO-18
SFH481-3	15	25,00	0,6	880	TO-18
SFH484	8	50,00	0,6	880	5-mm-LED
SFH484-1	8	50,00	0,6	880	5-mm-LED



Rys. 2. Charakterystyki odbiornika TFMS5360

że już niewielkie odchyłki od częstotliwości nominalnej radykalnie zmniejszają czułość. Jak wynika z rysunku 2a już odchyłka o 10% od częstotliwości środkowej daje ponad dwukrotne zmniejszenie czułości. Do tego dochodzi jeszcze nieunikniona tolerancja związana z rozrzutami produkcyjnymi – należy liczyć się z odchyłkami częstotliwości środkowej rzędu do 5%. Biorąc to pod uwagę, należy zapewnić właściwą, stabilną częstotliwość impulsów wysyłanych z nadajnika. O czułości i stabilności parametrów decyduwać więc będzie stabilność częstotliwości generatora impulsów 36kHz w nadajniku.

Drugą sprawą, którą należy wziąć pod uwagę jest długość fali promieniowania. Niektóre diody (np. LD274) promieniują światło podczerwone o długości fali 950nm, czyli dokładnie w zakresie największej czułości odbiornika. Opisywane diody TSIP520X wytwarzają promieniowanie o długości fali 925nm. Jak widać z **rysunku 2b** niewiele zmniejsza to czułość odbiornika – tylko o około 5%. Ale już zastosowanie diod nadawczych wytwarzających promieniowanie o długości 870nm (np. TSHA520X) dałoby zmniejszenie czułości odbiornika o około 50%. Przykładowo dioda TSHA5203 ma natężenie promieniowania 65mW/sr. Ale wskutek innej długości fali czułość odbiornika jest mniejsza i sytuacja jest taka, jak przy zastosowaniu diody nadawczej o długości fali 950nm i natężeniu 32,5mW/sr.

Wymienione wcześniej diody nadawcze mają długość fali promieniowania przypadającą w zakresie największej czułości.

Istotnym parametrem odbiornika jest niewrażliwość na sygnały zakłócające, zwłaszcza na stałe promieniowanie tła. Odbiorniki TFMS wyposażone są w czarny filtr, przepuszczający tylko promieniowanie podczerwone, a nie przepuszczający światła widzialnego. Ale w grę wchodzi jeszcze stałe promieniowanie pod-

czerwone. Może ono pochodzić ze słońca, z żarówek, czy podobnych źródeł. Impulsy promieniowania o częstotliwości 36kHz są więc prawie zawsze nałożone na stałe promieniowanie tła. **Rysunek 2c** pokazuje, jak zmienia się czułość na impulsy w zależności od tego stałego promieniowania tła. Jak widać czułość znacznie się zmniejsza przy wzroście tego stałego promieniowania. Na rysunku 2 nie pokazano charakterystyki czułości kątowej (przestrzennej) odbiornika. Wystarczy wiedzieć, że odbiornik „patrzy” bardzo szeroko, mniej więcej $\pm 55^\circ$ od osi (obszar największej czułości zaznaczony jest fioletowymi strzałkami na rysunku wstępnym).

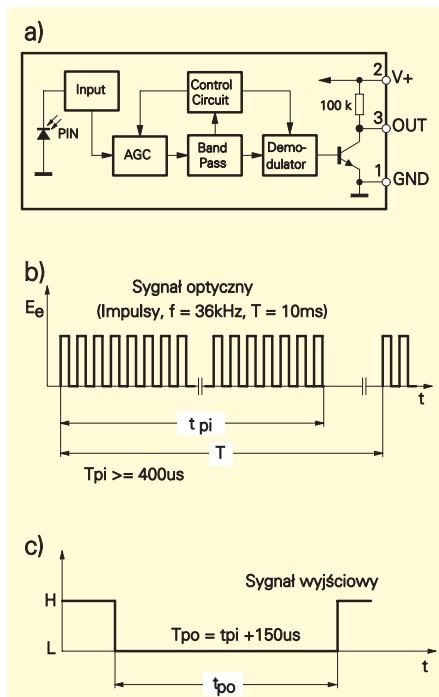
Jeśli tak, to aby zapobiec utracie czułości pod wpływem „obcego” promieniowania podczerwonego (słońca, lamp), należy ograniczyć kąt widzenia odbiornika. Odbiornik powinien „widzieć” nadajnik, a poza tym... jak najmniej. W najprostszym przypadku do ograniczenia pola widzenia wystarczy rurka o niewielkiej średnicy i odpowiedniej długości.

Czytelnik uzbrojony w powyższe dane mógłby już próbować budować układ nadajnika i odbiornika. Ale konieczne są dalsze informacje.

Wyjaśnienia wymaga sprawa impulsów. Spora rzesza elektroników już się na to nacięła. Wydaje im się, że już wszystko wiedzą o odbiornikach TFMS5XX0. Tymczasem tych, którzy tylko pobieżnie przejrzyli informacje katalogowe czeka przykra niespodzianka. Pierwszy rzut oka na blokowy schemat wewnętrzny (**rysunek 3a**) sugeruje, że po pojawieniu się impulsów promieniowania o właściwej częstotliwości (36kHz), na wyjściu powinien na stałe pojawić się stan niski. Tak jednak nie jest. Układy rodziny TFMS przeznaczone są do odbioru sygnałów z pilotów zdalnego sterowania, a takie sygnały nie są ciągłe – są to „paczki impulsów”. Aby odbiornik prawidłowo działał, taka paczka impulsów musi być przedzielona przerwą. Ilustruje to **rysunek 3b**.

„Paczka” zawierająca przynajmniej kilkanaście impulsów ma czas trwania t_{pi} . Według zaleceń producenta czas t_{pi} nie powinien być krótszy niż 400μs. Biorąc pod uwagę, że impulsy o częstotliwości 36kHz mają okres równy 27,7μs, w każdej paczce nie powinno być mniej niż 15 impulsów. Jeśli będzie ich mniej, to układ może nieprawidłowo reagować na pobudzenie. A jeśli będzie ich więcej? To akurat nic nie przeszkadza, pod warunkiem, że czas trwania paczki impulsów t_{pi} jest krótszy od czasu przerwy. Ścisiej biorąc, dla prawidłowej pracy odbiornika czas powtarzania, oznaczony na rysunku 3b literą T, powinien być przynajmniej 2,5 raza dłuższy niż czas t_{pi} .

W praktyce czas przerwy może być, i często jest, bardzo długi. Na rysunku 3b zaznaczono, że czas t_{pi} może być krótszy niż 1ms (np. 400μs), natomiast czas po-



Rys. 3. Schemat blokowy i przebiegi odbiornika TFMS5360

Projekty AVT

wtarzania paczek impulsów może być wielokrotnie większy – na przykład 10ms. Nic nie stoi na przeszkodzie, aby czas powtarzania paczek był jeszcze dłuższy.

Rysunek 3c pokazuje sygnał na wyjściu odbiornika – jak widać, impuls wyjściowy jest równy czasowi trwania paczki z dokładnością do 150 μ s (byłoby tylko czas tpi nie był krótszy niż 400 μ s).

Do omówienia pozostał jeszcze **rysunek 4** przedstawiający typowe warunki pracy odbiornika. Diody nadawcze w pilocie wysyłają szereg paczek impulsów o czasie trwania i czasie przerwy rzędu 600 μ s. Dla częstotliwości 36kHz, każda paczka składa się z 30 impulsów.

W praktyce czas trwania „paczki” i przerwy między paczkami nie jest równy 600 μ s – różnice długości niosą zakodowaną informację cyfrową.

Po nadaniu grupy paczek w czasie mniejszym niż 10ms, następuje dłuższa przerwa i następna grupa paczek zostanie nadana dopiero po 60ms (o ile klawisz w pilocie jest ciągle naciśnięty).

Tak mniej więcej pracuje pilot, a na wyjściu odbiornika TFMS występuje przebieg podobny, jak pokazano na dole rysunku 4. Czasy Ton i Toff odpowiadają czasowi trwania paczki impulsów oraz przerwy między paczkami.

Tak pracuje typowy system zdalnego sterowania z pilotem.

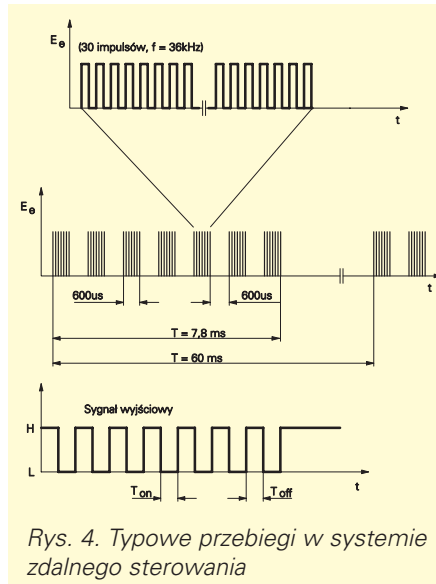
Natomiast opisywany tor podczerwieni pracuje w trochę innym rytmie. Tu również nadajnik wysyła paczki impulsów zawierające około 18 impulsów o częstotliwości 36kHz (co daje czas trwania paczki równą 500 μ s). Tym razem czas powtarzania paczek jest dużo, dużo większy niż czas trwania paczki i wynosi około 100ms. Na wyjściu odbiornika TFMS pojawi się więc ciąg ujemnych impulsów o czasie trwania około 0,5ms i czasie powtarzania około 100ms. Przebiegi w układzie prezentowanego toru aktywnej podczerwieni pokazuje **rysunek 5**.

Dzięki tak małemu współczynnikowi wypełnienia można radykalnie zmniejszyć średni pobór prądu, nie tracąc przy tym wcale zasięgu. Przykładowo, jeśli nawet impulsy prądu diody nadawczej LED miałyby natężenie 3A, to przy podanych czasach, na każde 100ms, dioda będzie świecić tylko przez 250 μ s. Daje to stosunek czasów $0,25 / 100 = 0,0025$. Prąd pobierany przez diodę nadawczą wyniesie więc $3A \times 0,0025 = 0,0075A = 7,5mA$!

Tylko 7,5mA bez jakiegokolwiek straty ciepła! Wynik wręcz rewelacyjny!

Skąd jednak te 100ms? Dlaczego nie przedłużyć czasu powtarzania do 1 sekundy, zmniejszając tym samym pobór prądu do wartości mniejszej niż 1mA?

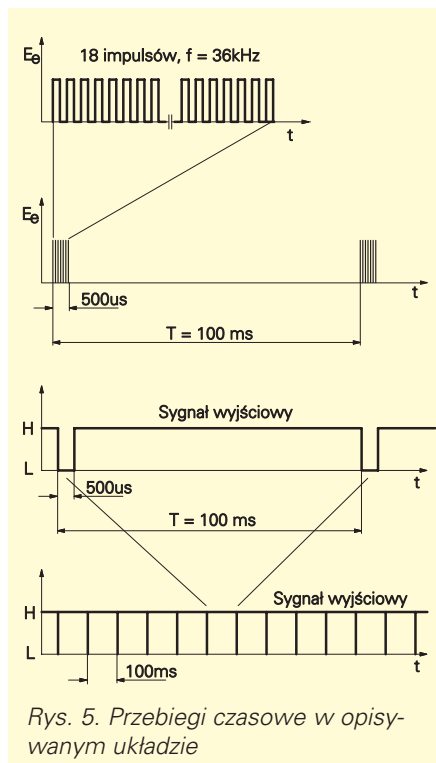
Otóż te 100ms wzięło się to z prostego rozumowania. Jeśli przykładowo tor



Rys. 4. Typowe przebiegi w systemie zdalnego sterowania

miałby służyć jak bariera w systemie alarmowym, to częstotliwość powtarzania paczek powinna być tak dobrana, by nawet szybko idący człowiek przeciął ją na czas w którym pojawi się przynajmniej dwie paczki. Te dwie paczki nie zostaną odebrane przez odbiornik i zostanie wywołany alarm. Jeśli czas między kolejnymi paczkami byłby zbyt długi, wtedy przechodzący człowiek po prostu nie zostałby zauważony – najprawdopodobniej przeszedłby w przerwie między paczkami.

Wartość 100ms wydaje się tu wystarczająca – oczywiście w przypadku stosowania urządzenia w systemie alarmowym częstotliwość powtarzania paczek można zwiększyć z podanych 10Hz (100ms) do na przykład 25Hz (40ms).



Rys. 5. Przebiegi czasowe w opisywanym układzie

Przy pracy układu w systemie alarmowym powstają jednak dwa poważne problemy:

- kwestia fałszywych alarmów
- problem „oszukiwania” systemu za pomocą obcego nadajnika.

Łatwo sobie wyobrazić sytuację, w której przelatująca mucha trafiła właśnie na moment wysyłania paczki impulsów (tylko 0,5ms), i zasłaniając wiązkę spowodowała alarm. Aby uniknąć mnóstwa fałszywych alarmów (ale niestety nie wszystkich, bo rzeczona złośliwa mucha może np. zechcieć spacerować po powierzchni diody nadawczej) trzeba wprowadzić obwód, który wywoływałby alarm dopiero przy braku nie jednego, lecz dwóch impulsów (lub jeszcze większej ich liczby). Tu nie można przesadzić – ewentualnie trzeba też zwiększać częstotliwość nadawania paczek impulsów, bo zbyt duże opóźnienie uniemożliwiłoby wykrycie szybko idącego człowieka.

Łatwo też sobie wyobrazić sytuację, w której przemyślny włamywacz nieszkodliwi tor podczerwieni, świecąc za pomocą dowolnego pilota w odbiornik. Jeśli układ miałby kiedykolwiek pracować w systemie alarmowym, powinien zawierać obwody, które chroniłyby przed takim sabotażem i wywoływały alarm w przypadku wykrycia „obcej” sekwencji paczek impulsów. Sposobem realizacji obu wyżej podanych postulatów jest mnóstwo. W prezentowanym układzie zrealizowano je w bardzo prosty sposób.

Opis układu

Schemat ideowy nadajnika i odbiornika pokazany jest na **rysunku 6**. Stali Czytelnicy EdW zapewne ze zdziwieniem rozpoznali schemat, który przed ponad rokiem pojawił się przy okazji nauki projektowania płytek przy pomocy programu Easytrax. W samej rzeczy! Jest to rzeczywiście tamten układ, tylko nieco zmodyfikowany.

Tu mała dygresja: wszystkim zgłębiającym tajniki programów do rysowania schematów i projektowania płytek można zwrócić uwagę, że wcześniej podany schemat nie zawierał dławików – ich obecność na schemacie mogłaby spowodować zamieszanie w przypadku automatycznego generowania tzw. netlisty – chodzi o to, że z programy do rysowania schematów z założenia łączą nóżki zasilania układów scalonych do szyn oznaczonych VDD i VSS (kostki CMOS) oraz VCC i GND (kostki TTL). Jeśli nóżki plusa zasilania kostek nadajnika i odbiornika zostałyby połączone, to ominięte zostałyby dławiki. Później projekt druku zawierałby błędne połączenie dławików, a program do sprawdzania zgodności płytki z netlis-

tą (Design Rule Check – DRC) nie wykryłby tego błędu.

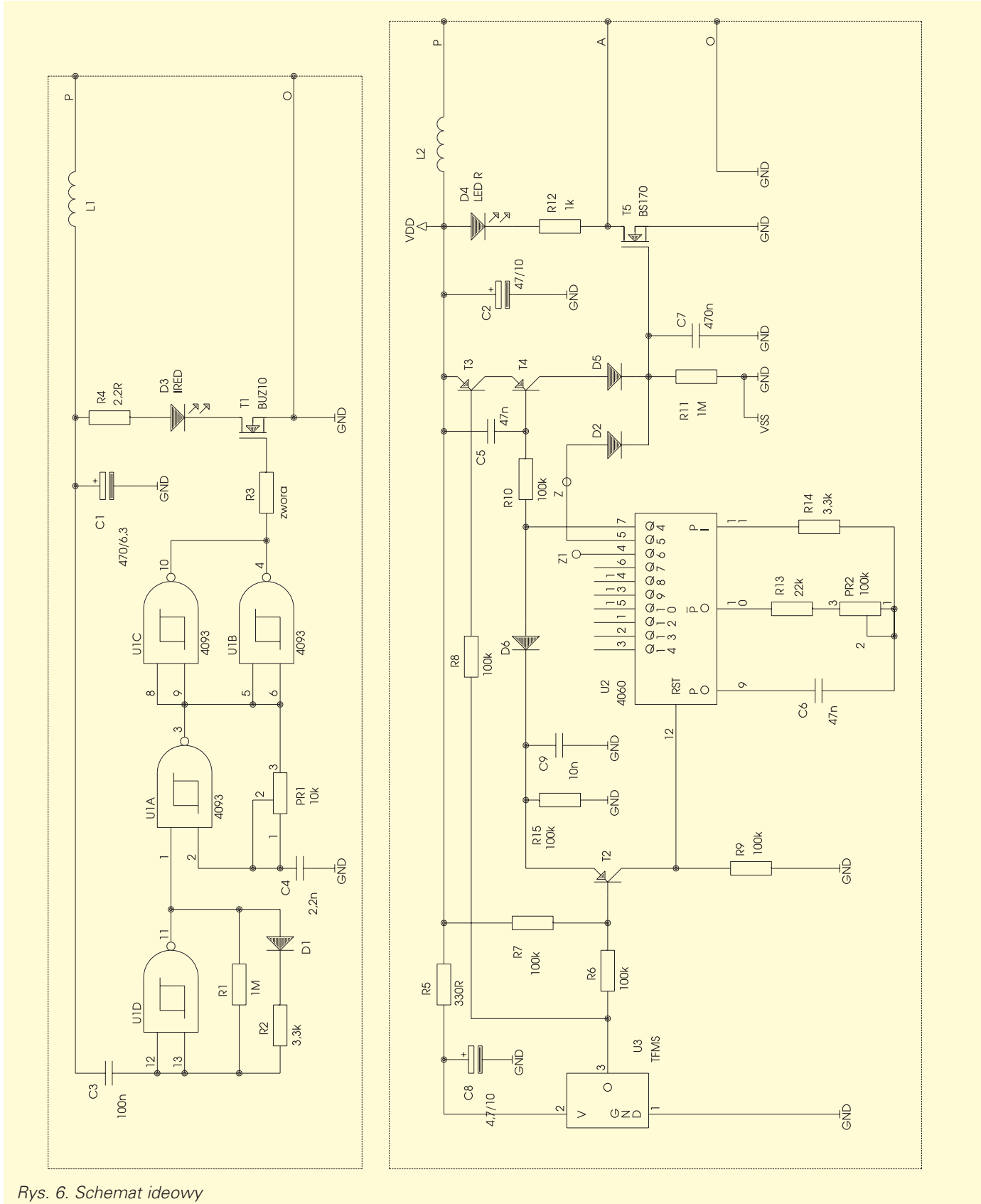
Tyle dygresji.

Teraz prześledźmy działanie układu z rysunku 6. Generatorem impulsów o częstotliwości 36kHz w nadajniku jest bramka U1A z elementami PR1, C4. Kon-

densator C3 z rezystorem R1 wyznacza częstotliwość powtarzania paczek impulsów (około 100ms). Natomiast rezystor R2 i pojemność C3 wyznaczają czas trwania jednej paczki impulsów. Dołączenie kondensatora C3 do plusa zasilania nie

jest konieczne – tak po prostu łatwiej byłoby zaprojektować druk.

W czasie trwania paczki impulsów dioda IRED (infrared – podczerwona) błyska około 18 razy z częstotliwością 36kHz. Kondensator C1 o znacznej pojemności stanowi magazyn energii na czas trwania



Rys. 6. Schemat ideowy

paczki impulsów. Rezystor R4 o bardzo małej wartości pozwala w czasie trwania impulsu na przepływ prądu o dużej wartości (przy napięciu zasilania 9V około 3A). Właśnie ze względu na tak dużą wartość prądu zastosowano tranzystor mocy MOSFET. Małe MOSFETy takie jak BS107 czy BS170 mają rezystancję w stanie otwarcia rzędu kilku omów lub więcej i nie nadają się do tego zastosowania. W obwodzie bramki tranzystora T1 przewidziano rezystor R3. Przy wykorzystaniu tranzystora MOSFET jest on zastąpiony zworą, ale w roli T1 może też pracować „darlington” npn większej mocy i wtedy rezystor będzie potrzebny do ograniczenia prądu bazy. W przypadku stosowania „darlingtona” należy się upewnić, czy jest on dostatecznie szybki. Dużą ostrożność trzeba wykazać przy próbie zastosowania w roli T1 zwykłego tranzystora npn. Przy jego niewielkim wzmacnieniu może się okazać, że bramki U1C i U1D nie są w stanie dostarczyć odpowiedniego prądu bazy. W każdym przypadku stosowania tranzystorów innych niż MOSFET, należy sprawdzić oscyloskopem przebieg na kolektorze tranzystora (na katodzie diody D3).

Przy tak dużych impulsach prądu konieczne są obwody filtrujące – dławiki L1 i L2 oraz kondensatory C1 i C2. Czułość układu odbiorczego jest bardzo duża i bez dławików niemożliwe byłoby zasilanie nadajnika i odbiornika z tego samego źródła, bo impulsy przechodzące z nadajnika do odbiornika przez linie zasilania zakłócałyby pracę układu U3.

Układ odbiornika wygląda dość zawile. Jego działanie nie jest jednak trudne do zrozumienia.

Pomocą w analizie będą **rysunek 7** oraz **8**.

Przede wszystkim trzeba wiedzieć, że w prawidłowo działającym torze, każda odebrana paczka impulsów wytwarza na wyjściu kostki TFMS krótki impuls ujemny (0,5ms), który z kolei powoduje wyzerowanie licznika U1 (CMOS 4060). Od tej chwili określenie „impuls” będzie oznaczać ten właśnie impuls elektryczny o długości 0,5ms, który pojawia się na wyjściu odbiornika U3 (TFMS5360) po odebraniu paczki impulsów świetlnych.

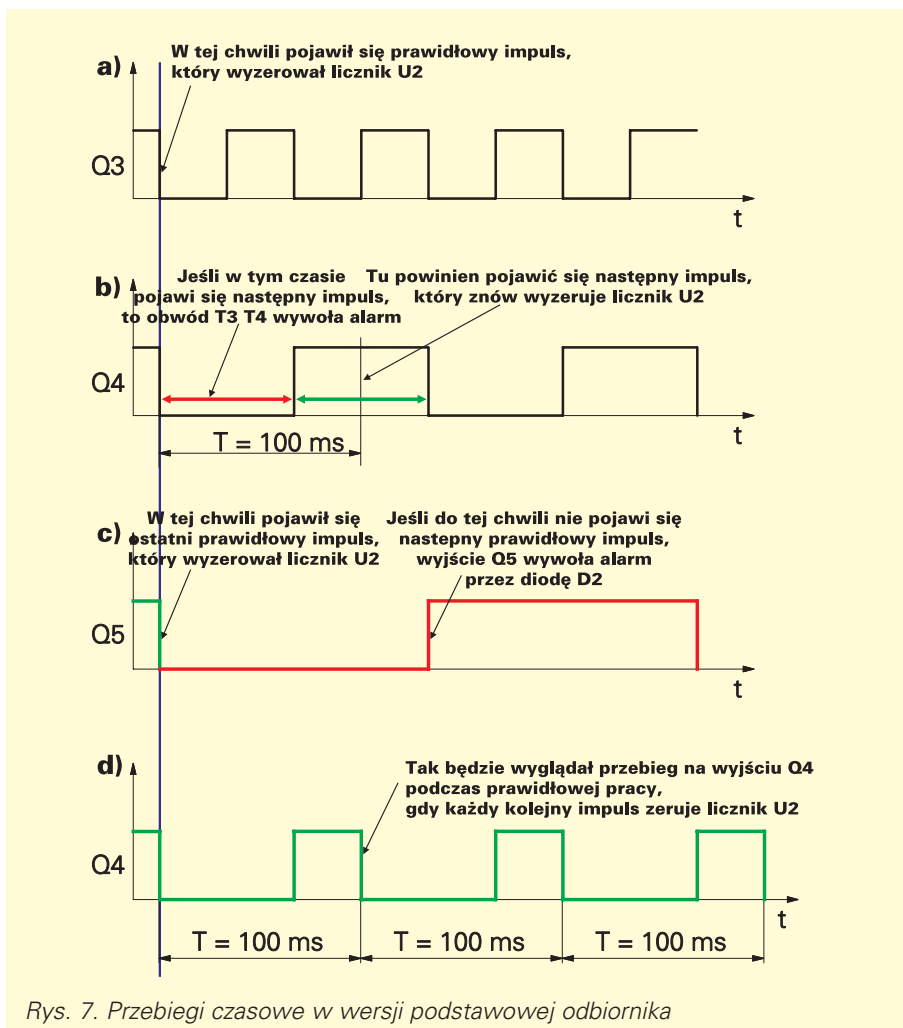
Po każdym takim impulsie licznik U2 zaczyna swą pracę od nowa. Na rysunku 7 pokazano niektóre przebiegi na jego wyjściach. Bardzo ważną rolę pełni syg-

nał z wyjścia Q4 (nóżka 7 układu U2) – przebieg z rysunku 7b.

Na rysunku 7 pokazano, że licznik U2 rozpoczął cykl pracy po kolejnym impulsie zerującym. Moment przyjścia tego impulsu zerującego zaznaczono pionową niebieską linią. Przebieg na wyjściu Q4 decyduje, co stanie się po przyjściu następnego impulsu. Jeśli następny impuls z odbiornika TFMS pojawi się w czasie, gdy na wyjściu Q4 wystąpi stan wysoki (zaznaczono to zielonym kolorem na przebiegu 7b), wtedy licznik zostanie prawidłowo wyzerowany i cykl pracy rozpocznie się od nowa. Zerowanie licznika umożliwi podanie stanu wysokiego przez diodę D6 na kondensator C9 – dopiero wtedy tranzystor T2 będzie mógł pewnie wyzerować kostkę przez jej wejście RST (nóżka 12). Obwód D6, R15 i C9 jest potrzebny do przedłużenia czasu trwania stanu wysokiego z wyjścia Q4. Należy pamiętać, że w chwili zerowania, na wyjściu Q4 pojawia się stan niski. Bez obwodu D6, R15 i C9 impuls zerujący na wejściu RST byłby więc bardzo krótki (kilkadziesiąt nanosekund), co w pewnych warunkach uniemożliwiłoby pełne zerowanie wszystkich stopni licznika. Wspomniany obwód pozwala przedłużyć impuls zerujący kostkę U2 i pewnie ją wyzerować.

Wskutek tego ustawicznego zerowania, w czasie normalnej pracy, przebieg na wyjściu Q4 będzie wyglądał jak na dolnym rysunku – 7d, gdzie zaznaczono go kolorem zielonym. W tym miejscu należy zauważyć, że w czasie normalnej pracy, przebieg na wyjściu Q4 będzie miał wypełnienie różne od 50%. Częstotliwość oscylatora kostki U2 należy ustawić za pomocą potencjometru PR2 w ten sposób, by w czasie normalnej pracy dodatkowe impulsy występujące na wyjściu Q4 były dwukrotnie krótsze od czasu przerwy. Jak wynika z rysunku 7b, czas przerwy na wyjściu Q4 powinien trwać 66,6ms, co zostanie spełnione, jeśli okres drgań oscylatora będzie ustawiony za pomocą PR2 na $133,2\text{ms} / 16 = 8,325\text{ms}$, co odpowiada częstotliwości 120Hz. Przy takiej częstotliwości oscylatora uzyska się optymalny przebieg na wyjściu Q4. Z rysunku 7b jasno wynika, że zapewni to znaczny margines bezpieczeństwa w przypadku, gdyby częstotliwość generatora taktującego w nadajniku (o okresie 100ms) zmieniła się o kilka czy kilkanaście procent.

Właśnie, żeby uzyskać optymalny margines bezpieczeństwa, trzeba tak ustawić potencjometr PR2, aby następny impuls zerujący przychodził dokładnie tak jak pokazano na rysunku 7b. Wtedy właśnie na wyjściu Q4 uzyska się przebieg o wypełnieniu 1/3, jak pokazuje to rysunek 7d.



Rys. 7. Przebiegi czasowe w wersji podstawowej odbiornika

Aby zabezpieczyć układ przed „obcymi” impulsami o innej częstotliwości powtarzania, dodano układy wywołujące alarm w przypadku, gdy następny impuls zerujący przyjdzie za wcześnie lub za późno. Jeśli następny impuls z odbiornika U3 pojawi się za wcześnie, to znaczy jeszcze podczas trwania stanu niskiego na wyjściu Q4 (zaznaczonym czerwono na rysunku 7b), wtedy alarm zostanie wywołany przez przewodzące tranzystory T3 i T4. Spowoduje to naładowanie kondensatora C7, otwarcie tranzystora T5 i zaświecenie czerwonej diody LED D4.

Jeśli z kolei impuls zerujący nie przyjdzie do czasu pojawienia się stanu wysokiego na wyjściu Q5 (porównaj rysunek 7c), wtedy alarm zostanie wywołany przez wyjście Q5 i diodę D2.

Jak z tego widać w stanie alarmu przewodzi tranzystor T5 (co można wykorzystać do współpracy z innymi urządzeniami) i świeci dioda D5 (co znakomicie przyda się podczas prób i regulacji).

Gdy wszystko jest w porządku, tranzystor T5 jest zatkany. Układ pobiera niewielki prąd rzędu 1mA.

W tym miejscu parę słów na temat zasilania.

Ze względu na obecność układu TFMS, odbiornik musi być zasilany napięciem w zakresie 4,5...6V!

Natomiast nadajnik może być również zasilany napięciem rzędu 5...6V, jednak został przewidziany do zasilania napięciem 9V (dopuszczalne jest zasilanie napięciem 12V, co zwiększy prąd impulsów diody LED nieco powyżej katalogowych wartości).

Taki sposób zasilania wybrano, ponieważ układ przeznaczony jest przede wszystkim do prób i eksperymentów, a mniej do praktycznych zastosowań. Jeśli ktoś będzie chciał uzyskać zasięg rzędu kilkudziesięciu metrów, i tak stosuje oddzielne źródło zasilania nadajnika, choćby w postaci bateryjki 9-woltowej lub akumulatora 12V, w miejsce długiego kabla.

Dlaczego układ nie jest zalecany do pracy w systemach alarmowych na wolnym powietrzu?

Należy wziąć pod uwagę, że w tak prostym i tanim układzie nie uda się uzyskać parametrów gwarantujących niezawodną pracę w każdych warunkach. Chodzi tu głównie o zmiany temperatury i napięcia zasilania nadajnika. Proste układy generatorów z bramkami U1D i U1A mogą nie zapewnić wystarczającej stabilności przy zmianach temperatury otoczenia od -20...+30 C, a przynajmniej na takie temperatury narażony jest układ pracujący na wolnym powietrzu. Ponadto częstotliwość wspomnianych generatorów znacznie zależy od napięcia zasilającego

i dla długotrwałej niezawodnej pracy należy stosować stabilizację napięcia zasilającego nadajnik.

Nie umniejsza to w żadnym stopniu zalet prezentowanego układu. Z jego pomocą można uzyskać naprawdę rewelacyjny zasięg bariery.

Teraz kolejna sprawa.

Opisany powyżej sposób pracy wywoła alarm już przy braku jednego jedynego impulsu świetlnego. Jak wspomniano, dla zapobieżenia fałszywym alarmom, wywoływanym choćby przez przelatujące muchy, układ powinien wywoływać alarm dopiero przy braku nie jednego, tylko dwóch impulsów świetlnych.

Można to zrealizować w bardzo prosty sposób, łącząc anodę diody D2 nie do wyjścia Q5, tylko Q6 (nóżka 4). W tym celu trzeba przeciąć istniejące połączenie i połączyć punkty oznaczone Z, Z1.

Przebiegi w układzie będą wyglądać jak na **rysunku 8**. Tym razem, ponieważ dopuszczalne jest „zaginięcie” jednego impulsu, częstotliwość oscylatora kostki U2 należy ustawić nieco mniejszą, tak by czas przerwy wynosił 60ms (częstotliwość oscylatora około 133Hz). Przy takim ustawieniu następny prawidłowy impuls, pojawiający się po kolejnych 100 milisekundach wypadnie mniej więcej na po-

czątku kolejnego impulsu na wyjściu Q4 – pokazuje to rysunek 8b.

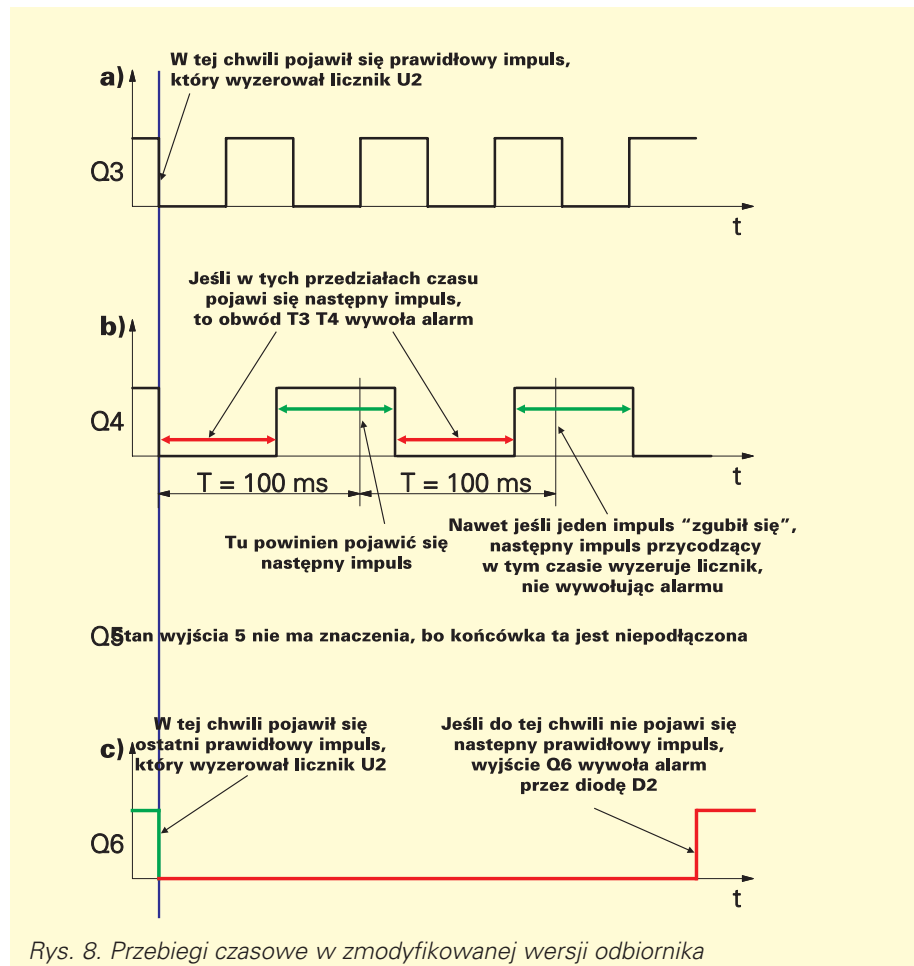
Podobnie, jak poprzednio, jeśli impuls zerujący nie nadejdzie do czasu pojawienia się stanu wysokiego na wyjściu Q6, zostanie wywołany alarm (przez diodę D2).

Przy prawidłowej pracy tej wersji, na wyjściu Q4 powinny występować impulsy o współczynniku wypełnienia, nie jak poprzednio 1/3 (33%), tylko 2/5 (40%).

Oczywiście, można anodę diody D2 dołączyć do wyjścia Q7, i wtedy układ nie zareaguje nawet przy „zagubieniu” trzech kolejnych impulsów świetlnych. W takim wypadku trzeba jeszcze nieco zwiększyć częstotliwość oscylatora kostki U2, a podczas normalnej pracy przebieg na wyjściu Q4 będzie miał większe wypełnienie, zbliżone do 45%.

Jak widać z tego opisu, działanie układu jest w sumie bardzo proste. Okazuje się jednak, że do uruchomienia i wyregulowania układu nie wystarczy miernik uniwersalny, potrzebny będzie oscyloskop. Właśnie ze względu na konieczność starannego wyregulowania, stopień trudności projektu oceniono na dwie gwiazdki.

W zasadzie, na podstawie podanych dalej wskazówek można wyregulować układ korzystając tylko z miernika (współ-



Projekty AVT

czynnik wypełnienia impulsów można określić jako stosunek uśrednionego napięcia stałego do napięcia zasilającego, dołączając miernik przez obwód całkujący RC o dużej stałej czasowej). Jednak w przypadku jakichkolwiek kłopotów czy wątpliwości nie obędzie się bez pomocy oscyloskopu.

Montaż i uruchomienie

Układ można zmontować na dwóch małych płytkach drukowanych pokazanych na **rysunku 9**. Montaż nie sprawi większych kłopotów, a dodatkową pomocą będą fotografie modelu. Płytki zostały przewidziane do umieszczenia w odcinkach rurki instalacyjnej o średnicy wewnętrznej 23mm, używanej przez elektryków.

Warto wcześniej przygotować te rurki i podczas montażu sprawdzać, czy układ zmieści się wewnątrz niej. Szczególną uwagę trzeba zwrócić na kondensator C1 w nadajniku, który prawdopodobnie trzeba będzie zmontować poziomo. Odbiornik TFMS można wlotować wprost w płytkę, ale w modelu nie obcinano jego nóżek, tylko wygięto je w łuk i przylutowano od strony druku.

Na początek, można nie montować w nadajniku rezystora R4, a zamiast niego wlotować rezystor o wartości 68...150Ω. Zabezpieczy to diodę nadawczą w przypadku błędów w działaniu nadajnika.

Montaż nie sprawi kłopotów, nie ma tu nic szczególnie trudnego.

Po zmontowaniu nadajnika i odbiornika całość trzeba wyregulować.

Potencjometrem PR1 należy ustawić częstotliwość powtarzania impulsów równą 36kHz. Posiadacze zwykłych, prostych oscyloskopów mogą mieć kłopoty z zaobserwowaniem krótkich „paczek impulsów” o częstotliwości 36kHz, trwających tylko około 500μs. Na czas ustawiania częstotliwości generatora U1A można zewrzeć wejścia bramki U1D do masy, ale lepiej jest w miejsce rezystora R2 o wartości 3,3kΩ, dać rezystor o wartości 220kΩ...1MΩ. Oczywiście do takich eksperymentów rezystor R4 musi mieć wartość rzędu co najmniej 100Ω, bo przy wartości 2,2Ω dioda nadawcza w krótkim czasie ulegnie uszkodzeniu wskutek przegrzania.

W praktyce do regulacji wcale nie jest potrzebny częstotliwościomierz. Wystarczy podłączyć odbiornik (Uwaga! zasilany napięciem 5V) skierować nań pracujący nadajnik i sprawdzać, czy na wyjściu kostki U3 (TFMS5360) pojawiają się impulsy.

Potencjometr PR1 należy ustawić w położeniu pośrednim między

granicami zanikania impulsów na wyjściu U3. Znalazienie właściwej pozycji potencjometru PR1 będzie jeszcze łatwiejsze, jeśli rezystor R4 zostanie jeszcze bardziej zwiększony – nawet do kilku kiloomów. Czułość odbiornika jest bardzo duża i przy próbach na stole wystarczy bardzo mały prąd diody nadawczej. Pozwoli to dokładniej dobrać nadajnik do częstotliwości filtra odbiornika TFMS.

Po ustawieniu właściwej częstotliwości generatora U1A, należy skontrolować z grubsza czas trwania „paczek impulsów” (ustala ją rezystor R2) i przerwy między paczkami (odpowiada za nią R1). Trzeba obejrzeć przebieg na nóżkach 1 i 11 kostki U1. Jeśli czasy te różnią się nie więcej niż o 20...50% od wcześniej podanych 0,5ms i 100ms, nie trzeba niczego zmieniać. W tak prostym układzie, gdzie dużo zależy od wielkości histerezy bramki (Schmitta) U1D, nie można się spodziewać idealnej dokładności. Czas trwania paczki impulsów nie powinien być jednak krótszy niż 0,4ms. Jeśli będzie dłuższy, to jedynie trochę wzrośnie pobór prądu. Odchyłki czasu powtarzania impulsów nie mają większego znaczenia, bo zostaną uwzględnione przy regulacji odbiornika.

Jeśli nadajnik pracuje poprawnie można przystąpić do regulacji odbiornika. Przede wszystkim należy sprawdzić, czy na wyjściu układu U3 (nóżka 3) regularnie pojawiają się wąskie, szpilkowe ujemne impulsy, zgodnie z rysunkiem 5. Uwaga, impulsy te są bardzo wąskie, trzeba uważnie obserwować ekran oscyloskopu, by ich nie przeoczyć.

Jeśli te impulsy występują regularnie, bez przerw i zakłóceń, należy podłączyć oscyloskop do wyjścia Q4 kostki U2 i potencjometrem PR2 ustawić właściwą częstotliwość oscylatora. To dla bardziej nerwowych elektroników może być najtrudniejsza część uroczystości, bo w pierwszej chwili trudno pojąć zależność kształtu przebiegu na ekranie od położenia suwaka

Dlatego trzeba się do tego zabrać systematycznie. Na początek warto ustawić potencjometr PR2 na maksimum rezystancji. Wtedy najprawdopodobniej okres przebiegu będzie za duży i kolejne impulsy zerujące będą przychodzić „za wcześnie”, w odcinku czasu zaznaczonym na

rysunku 7b kolorem czerwonym. Niestety, nie oznacza to, że na wyjściu Q4 będzie trwał stan niski, albo wystąpią wąskie szpilki. Przy braku stanu wysokiego na wyjściu Q4 tranzystor T2 nie może pracować i licznik nie będzie zerowany. W efekcie na wyjściu Q4 pojawią się niesynchronizowane przebiegi – po prostu śmieci.

Przy zmniejszaniu rezystancji potencjometru PR2, najpierw nie będzie dziać się nic szczególnie godnego uwagi – po prostu zmieniać się będzie rytm występowania wspomnianych śmieci.

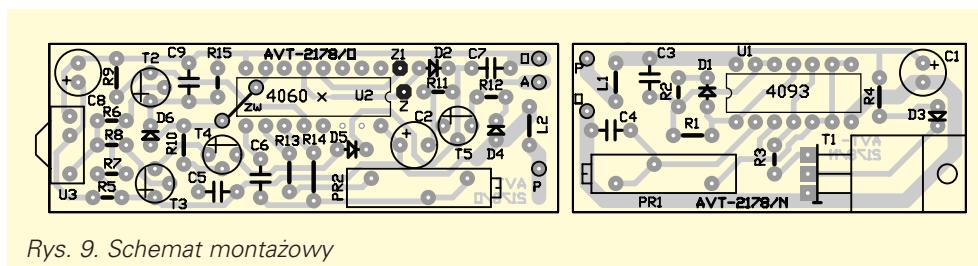
Jednak w pewnym momencie czas impulsów zmniejszy się na tyle, że na wyjściu Q4 pojawi się regularny ciąg impulsów o częstotliwości wyznaczonej przez nadchodzące paczki impulsów optycznych. Układ „złapie synchronizację”. Na wyjściu Q4 pojawi się więc najpierw ciąg dodatnich wąskich szpilek, a przy zmniejszaniu rezystancji PR2, szpilki te zaczną się poszerzać. W końcu przy dalszym zmniejszaniu wartości PR2, te dodatnie impulsy na wyjściu Q4 przybiorą kształt przebiegu prostokątnego o wypełnieniu 50%. Jeśli rezystancja PR2 zostanie zmniejszona jeszcze bardziej, to układ znów straci synchronizację i na wyjściu Q4 znów pojawią się śmieci.

Dla prawidłowej pracy w podstawowym układzie, należy tak ustawić PR2, by dodatnie impulsy na wyjściu Q4 miały wypełnienie 33%, czyli wyglądały tak, jak pokazuje rysunek 7d.

W pierwszym podejściu zaleca się przeprowadzić opisane regulacje w podstawowym układzie, to znaczy gdy anoda diody D2 jest dołączona do nóżki Q5.

Jeśli ktoś chciałby dołączyć diodę D2 do wyjścia Q6 (by uzyskać niewrażliwość układu na brak jednego impulsu) powinien to zrobić dopiero po wyregulowaniu odbiornika w podstawowej wersji. Strojenie tej drugiej wersji jest podobne, ale łatwiej jest najpierw w podstawowym układzie ustawić potencjometrem wypełnienie impulsów na Q4 równe 40%, a dopiero potem przeciąć ścieżkę i połączyć punkty Z – Z1.

Po takim wyregulowaniu na biurku, tor jest gotowy do testów „polowych”. Teraz należy wlotować przepisany rezystor R4 o wartości 2,2Ω. Spowoduje to radykalny wzrost zasięgu. System jest tak



Rys. 9. Schemat montażowy

Wykaz elementów

Rezystory

R6-R10,R15: 100k Ω
 R1,R11: 1M Ω
 R2,R14: 3,3k Ω
 R3: zwora
 R4: 2,2 Ω
 R5: 330 Ω
 R12: 1k Ω
 R13: 22k Ω
 PR1: 10k Ω helitrim
 PR2: 100k Ω helitrim

Kondensatory

C1: 470 μ F/6,3V
 C2: 47 μ F/10V
 C3: 100nF
 C4: 2,2nF
 C5,C6: 47nF
 C7: 470nF
 C8: 4,7 μ F/10V
 C9: 10nF

Półprzewodniki

D1,D2,D5,D6: 4148
 D3: LD274 lub
 D4: LED R
 T1: BUZ10
 T2,T3,T4: BC558B
 T5: BS170
 U1: 4093
 U2: 4060
 U3: TFMS5360

Pozostałe

L1,L2: 100 μ H dławik

czuły, że podczas prób reaguje nie tylko na promieniowanie bezpośrednie, ale i te odbite od podłogi i ścian pomieszczenia. Właśnie ze względu na tak dużą czułość warto stosować wspomnianą rurkę ogra-

niczającą kąt widzenia odbiornika (dobrze byłoby pomalować ją wewnątrz na czarno). Nadajnikiem nie trzeba się przejmować, bo wiązka promieniowania diody D3 jest wąska sama z siebie. Przy testach modelu, dopiero zamknięcie odbiornika w szczelnej szufladzie powodowało alarm. Nawet niewielkie uchylenie szuflady powodowało reakcję odbiornika.

W czasie testów modelu pokazanego na fotografii osiągnięto zasięg około 50m w najprostszycch warunkach, gdy nadajnik i odbiornik były trzymane w rękach przez dwie osoby, a nadajnik zasilany był napięciem 9V z małej baterijki 6F22. Przy zastosowaniu jak najwięcej świejących diod nadawczych i dobrym wycelowaniu nadajnika, zasięg ten powinien być jeszcze większy.

Podczas testów należy zwrócić baczniejszą uwagę na stałość napięcia zasilającego nadajnik. Nie wolno po wyregulowaniu systemu potencjometrami PR1 i PR2 zmieniać napięcia zasilającego nadajnik, na przykład z 9 na 12V, bo spowoduje to niedopuszczalnie dużą zmianę częstotliwości nadajnika oraz zmianę czasu powtórzenia impulsów.

Tak duża moc nadawania i duża czułość odbiornika mają też w pewnych sytuacjach wady. Na przykład w pomieszczeniu nie uda się wykorzystać takiej bariery, bo nie będzie ona reagować na przerwanie wiązki! Dlaczego? To oczy-

wiste. Światło odbite od przedmiotu przecinającego barierę, a potem wielokrotnie odbite od ścian trafi w końcu do odbiornika. W takiej sytuacji trzeba oczywiście zmniejszyć moc nadajnika, zwiększając wartość rezystora R4, stosownie do długości bariery. W takim przypadku pobór prądu przez nadajnik zmniejszy się, nawet poniżej 1 miliampera, a bariera będzie poprawnie funkcjonować. Jeśli zasięg nie będzie przekraczał 10m, można też nadajnik zasiląć napięciem 5V, tak samo jak odbiornik.

W każdym razie, prawidłowo wyregulowany układ umożliwia uzyskanie zaskakująco dobrych efektów, dużego zasięgu i to przy bardzo małym poborze prądu.

Materiał zawarty w niniejszym artykule ma zachęcić wszystkich praktykujących elektroników do samodzielnych prób w tej dziedzinie. Mile widziane są listy opisujące parametry uzyskane w zaprezentowanym układzie, a także doniesienia o samodzielnych próbach. Listy takie koniecznie należy opatrzyć dopiskiem „IRED”.

A w Elektronice dla Wszystkich za jakiś czas przedstawione zostaną kolejne układy wykorzystujące promieniowanie podczerwone.

Piotr Górecki
Zbigniew Orłowski