

W historii mikroelektroniki są takie układy scalone, które odegrały rolę koni pociągowych i stały się niezwykle popularne. Do ich twórców, postaci dziś niemalże legendarnych, zwróciliśmy się z prośbą o napisanie dla EP opowieści o tym, jak doszło do opracowania tych kultowych układów. Publikowany niżej artykuł jest pierwszym z tego cyklu, jednocześnie staramy się o kontynuację. Rozpoczynamy od jednego z najbardziej popularnych układów w dziejach elektroniki – timera 555.

Minęło już blisko 40 lat od jego ukazania się, a ciągle, corocznie produkuje się miliard sztuk tych układów. Twórcą 555 jest Hans Camenzind. Oto jego opowieść.

Każde słowo wypowiedziane przez autorów występujących w tej rubryce – najwybitniejszych postaci współczesnej elektroniki – to świadectwo historii, dlatego z wielkiego szacunku dla autorów i prawdy historycznej, obok polskiego tłumaczenia publikujemy ich oryginalne teksty.

Ten unikalny artykuł Hansa Camenzinda zmobilizował redakcję EP do dokonania swoistej reasumpcji tematyki 555. Stąd dalej możecie przeczytać naszpikowaną erudycją rozprawkę Piotra Zbysińskiego na temat 555, na CD znajdziecie ponad 100 niezwykle pomysłowych projektów z użyciem 555 oraz... zapraszamy do udziału w KONKURSIE na stronie 115. Zapraszamy szczególnie młodych mikroprocesorowców – zawalczyć z legendą 555.

History of the 555 Timer

By Hans Camenzind, May 2009

In early 1968 I moved to California. I was born and raised in Switzerland, but had been living in America for the past eight years. My last job was in a research laboratory near Boston, where I designed integrated circuits.

The integrated circuit as we know it today was invented in 1958 at Fairchild. Their first products were simple digital gates with fewer than 10 transistors. When I joined the research laboratory in 1962, my assignment was to design linear integrated circuits.

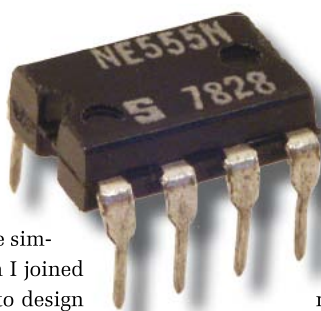
Bob Widlar was in the same field at Fairchild and shortly brought out the first IC operational amplifier. I went in a different direction; I had some experience with radios and began to explore which parts of a radio could be put onto an integrated circuit. The first block I got working was the speaker amplifier. To reduce the power dissipation I used pulse-width modulation. The circuit worked very well, but it could produce only one Watt in power output because there were no power transistors in ICs yet. The work resulted in the first paper on the subject, but not in a useful product.

In the evenings I went to school at Northeastern University, getting myself a master's degree. After my paper on the pulse-width modulated amplifier was published I was invited to teach a course on IC design at the university (before I even had my master's degree). This is perhaps less surprising if you consider the fact that there were only about five engineers in the Boston area who had any experience in IC design. The field was at its very beginning.

Shortly before I left the research lab I turned my attention to the tuned circuit. There are no inductors above a few nano-Henrys in ICs, but you can make reasonable capacitors. The commonly accepted solution at the time was the gyrator. This is a circuit block which turns the phase 180 degrees, so that a capacitor looks and behaves like an inductor. Most IC companies worked on gyrators, and the journals were beginning to be flooded with papers about it.

My previous experience with radios told me that this approach would never work. In the AM band, for example, stations are 10kHz apart; at 1MHz this amounts to 1%. At the edge of the filtered window where the neighboring station may be, the attenuation must be at least 60dB. To achieve this, even the cheapest conventional radio needs several filters in series, which need to be precisely tuned after manufacturing.

IC components are inaccurate. You can fabricate thousands (or even millions now) at the same time on a wafer, which makes each component inexpensive. But you cannot measure a component while it is being made because of the high diffusion temperatures. You can trim some of them later with a laser beam, but in the case of a radio,



Historia timera 555



Na początku 1968 roku przeprowadziłem się do Kalifornii. Urodziłem się w Szwajcarii, ale przez ostatnie osiem lat mieszałem w Ameryce. Pracowałem w laboratorium badawczym w pobliżu Bostonu, gdzie opracowywałem układy scalone.

Układ scalony, który znamy dziś, został opracowany w 1958 roku w firmie Fairchild. Ich pierwsze produkty były prostymi bramkami cyfrowymi, zawierającymi mniej niż 10 tranzystorów. Gdy w 1962 roku przenieśliśmy się do ich laboratorium, zostałem przydzielony do opracowywania liniowych układów scalonych.

Tym samym zajmował się w Fairchildzie Bob Widlar, który wkrótce opracował pierwszy scalony wzmacniacz operacyjny. Ja zmierzałem w innym kierunku. Miałem jakieś doświadczenia z techniką radiową i rozpocząłem rozpoznawanie, które części radia mogą być wbudowane w układ scalony. Pierwszym blokiem, nad którym pracowałem, był wzmacniacz głośnikowy. Aby zredukować straty mocy, zastosowałem modulację szerokości impulsu. Układ pracował bardzo dobrze, jednak osiągał moc wyjściową tylko 1 W, ponieważ w układach scalonych jeszcze nie umieszczano tranzystorów mocy. Rezultatem pracy był pierwszy artykuł na ten temat, ale nie użyteczny produkt.

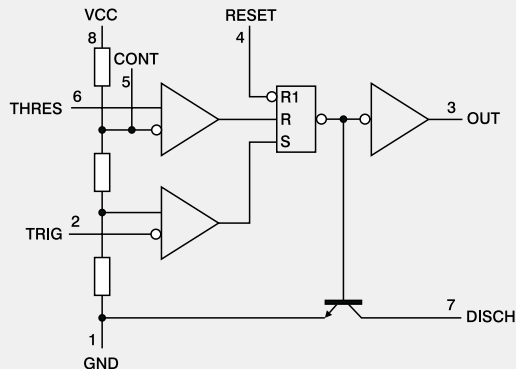
Wieczorami uczęszczałem na uniwersytet Northeastern, aby zdobyć tytuł magistra. Po publikacji mojej pracy na temat wzmacniacza z modulacją szerokości impulsu zostałem poproszony przez uniwersytet o poprowadzenie kursu na temat projektowania układów scalonych (zanim jeszcze zdobyłem tytuł magistra). Przypuszczalnie będzie to mniej zaskakujące, jeśli weźmie się pod uwagę fakt, że w Bostonie było przypuszczalnie tylko pięciu inżynierów, którzy mieli jakiegokolwiek doświadczenie w projektowaniu układów scalonych. Takie były początki.

Krótko przed opuszczeniem laboratorium zwróciłem uwagę na obwód strojenia. W układzie scalonym nie można było umieszczać cewek o indukcyjności powyżej kilku nH, ale można było wytwarzać odpowiednie kondensatory. Powszechnie akceptowanym rozwiązaniem w tym czasie był żyrator. Jest to blok obwodów, który odwraca fazę o 180° tak, że pojemność zachowuje się jak cewka. Większość producentów układów scalonych pracowała nad żyratorami, a czasopisma zaczynały być zalewane artykułami na ten temat.

Moje poprzednie doświadczenia z techniką radiową podpowiadały mi, że to rozwiązanie nigdy nie będzie działać. Na przykład na zakresie AM stacje rozmieszczone są co 10 kHz; przy 1 MHz jest to 1%. Na krawędzi okna filtra, gdzie mogą być sąsiadujące stacje, tłumienie musi być równe co najmniej 60 dB. Aby to osiągnąć, nawet konwencjonalne radio potrzebuje kilku połączonych szeregowo filtrów, które po zamontowaniu muszą być precyzyjnie dostrojone.

555 to układ scalony (chip) implementujący wiele funkcji timera i multiwibratora. Układ ten został zaprojektowany i wynaleziony przez Hansa R. Camenzinda w 1970 roku, a wprowadzony był do sprzedaży w 1971 roku przez Signetics (przejęty później przez Philipsa). Jego oryginalną nazwą było SE555.

Timer 555 był też nazywany „The IC Time Machine” (układ scalony – wehikuł czasu). Dzięki prostocie użytkowania, niskiej cenie i dobrej stabilności jest wciąż w zastosowaniu. Do roku 2003 corocznie produkowano miliard takich układów.



Timer 555 jest jednym z najpopularniejszych i najbardziej wszechstronnych układów, które kiedykolwiek wyprodukowano. Składa się z 23 tranzystorów, 2 diod i 16 rezystorów wykonanych w strukturze krzemowej, zainstalowanej w 8-wyprowadzeniowej obudowie.

556 to 14-nóżkowy układ, który zawiera w sobie dwie 555-tki. 558 ma 16-nóżkową obudowę DIP i składa się z czterech, nieznacznie zmodyfikowanych 555-tek na jednej strukturze. W 558 sygnały DIS i THR są wewnętrznie połączone, a wejście TR reaguje na zbocze opadające zamiast na poziom napięcia. Dostępne są także wersje o ultraniskim poborze mocy, jak 7555 i TLC555.

555 może pracować w jednym z trzech trybów:

- Monostabilny: w tym trybie 555 funkcjonuje jako generator pojedynczego impulsu. Zastosowania tego trybu to np. timery, wykrywanie brakującego impulsu, przełączniki z zabezpieczeniem przed drganiem styków, przełączniki dotykowe, dzielniki częstotliwości, układy do pomiaru pojemności, modulatory długości impulsu itp.
- Astabilny: 555 może działać jako oscylator. Tryb ten jest używany wszędzie tam, gdzie wymagane jest generowanie sygnału o pewnej częstotliwości. Mogą to być układy sygnalizatorów optycznych i dźwiękowych, generatory sygnałów zegarowych dla układów logicznych itp.
- Bistabilny: 555 działa jako przerzutnik flip-flop, jeśli doprowadzenie DIS nie jest połączone i w obwodzie nie ma kondensatora.

that would be very expensive and, in 1967, a formidable technical challenge.

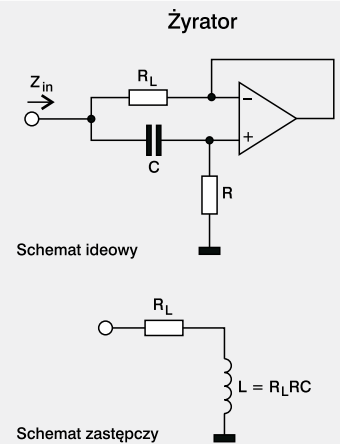
I was convinced that a solution different from the Gyrator had to be found for ICs and that, in the 50-year history of radio development, alternate approaches had been developed which didn't need this great precision. So I spent several days at the MIT library, which had the largest collection of periodicals and books on radio.

I found the solution in the Proceedings of the IRE (the forerunner of the IEEE). A 1935 article described the phase-locked loop, which had been used in a few obscure applications since then. The phase-locked loop has an oscillator whose frequency doesn't need to be accurate. There is a feedback loop. When an external frequency close to that of the oscillator is detected, the feedback loop pulls its frequency so that it precisely matches the incoming one. If the incoming signal is frequency-modulated, the output of the feedback loop automatically represents the modulation. With some additional circuitry, amplitude modulation can be detected as well.

This, I thought, was the way to go in ICs. Unfortunately I didn't get a chance to try it at the research lab, for my job there was coming to an end. My main interest was to design IC which would be sold, but the parent company decided not to produce ICs and to discontinue the research. And the main center of activity for integrated circuits was not in Boston, but in Silicon Valley.

I was offered a job by Signetics in Sunnyvale, a company formed by four former Fairchild employees. I suggested to them that I work on

Żyrator jest układem elektronicznym umożliwiającym „odwracanie” impedancji. Innymi słowy układ zbudowany na elementach pojemnościowych będzie przejawiał właściwości indukcyjne (nie będzie to indukcyjność w sensie fizycznym, ale indukcyjność z punktu widzenia teorii obwodów). Idea żyratora została opracowana około 1948 roku w laboratoriach firmy Philips. Stosuje się go głównie w układach filtrów aktywnych.



Komponenty układu scalonego są niedokładne. Można ich wytworzyć tysiące (współcześnie nawet miliony) na tym samym podłożu, co czyni każdy komponent tanim. Ale ze względu na wysoką temperaturę dyfuzji nie można zmierzyć komponentu podczas produkcji. Później niektóre z nich można dostroić promieniem lasera, ale w przypadku układu radiowego będzie to bardzo kosztowne, a w 1967 było to strasznym wyzwaniem technicznym.

Byłem przekonany, że dla układów scalonych musi być znalezione inne rozwiązanie niż żyrator i że w 50-letniej historii konstrukcji urządzeń radiowych opracowano alternatywne rozwiązania, które nie potrzebowały tej wielkiej precyzji. Spędziłem wiele dni w bibliotece MIT, która jest największą kolekcją periodyków i książek na temat urządzeń radiowych.

Znalazłem rozwiązanie w „Postęпах IRE” (protoplasta IEEE). Artykuł z 1935 roku opisywał pętlę synchronizacji fazowej, która od tamtego czasu była używana w kilku nieznanymi aplikacjach. Pętla synchronizacji fazowej ma oscylator, którego częstotliwość nie musi być dokładna. Działa w niej sprzężenie zwrotne i kiedy zostanie wykryty zewnętrzny sygnał o częstotliwości bliskiej częstotliwości oscylatora, wtedy pętla sprzężenia zwrotnego reguluje jego częstotliwość tak, że ta dokładnie odpowiada przychodzącej. Jeśli przychodzący sygnał jest modulowany częstotliwościowo, to wyjście pętli sprzężenia zwrotnego automatycznie odzwierciedla modulację. Z kilkoma dodatkowymi obwodami elektrycznymi równie dobrze można wykręcić modulację amplitudy.

To – pomyślałem – jest sposób, właściwy dla układu scalonego. Niestety nie miałem żadnej szansy wypróbowania rozwiązania w laboratorium, w którym pracowałem. Nadszedł bowiem koniec mojej pracy. Moim głównym przedmiotem zainteresowania było opracowanie układu scalonego, który mógłby być sprzedawany, ale firma zarządzająca zdecydowała się nie produkować układów i zakończyć prace badawcze. Główne centrum opracowywania i produkcji układów scalonych było nie w Bostonie, ale w Dolinie Krzemowej.

Zaoferowano mi pracę w Signetics w Sunnyvale, w firmie utworzonej przez czterech byłych pracowników Fairchilda. Powiedziałem im o swoich pracach nad pętlą synchronizacji fazowej; odpowiedzieli, że włożyli wiele wysiłku w opracowanie żyratora, ale równolegle chcą prowadzić prace nad pętlą synchronizacji fazowej i zobaczyć, kto będzie pierwszy.

Dla pierwszej pętli synchronizacji fazowej potrzebowałem oscylatora, którego częstotliwość mogła być kontrolowana przez napięcie sprzężenia zwrotnego. Aby uczynić ją użyteczną w szerokim zakresie zastosowań, chciałem pozostawić rezystor i kondensator poza układem scalonym, tak aby użytkownik mógł ustawiać częstotliwość za pomocą tych dwóch komponentów. Idealne rozwiązanie byłoby takie, że ani napięcie zasilania, ani temperatura, ani żaden element wewnątrz układu scalonego nie miałby żadnego wpływu na generowaną częstotliwość.

Jak powiedziano wcześniej, komponenty układu scalonego mają tę wadę, że są niedokładne. Ale mają też ważną zaletę: jako że są ro-

the phase-locked loop; they responded that they had already an effort on Gytrators going, but they were willing to explore the phase-locked loop in parallel and see who would get there first.

For the phase-locked loop IC I needed an oscillator whose frequency could be controlled by the feedback voltage. To make it useful for a wide range of applications I wanted to leave a resistor and a capacitor outside the IC, so that the user could set the frequency with these two components. The ideal design the would be such that neither the supply voltage, nor the temperature nor any part inside the IC would have any effect on the frequency.

As I mentioned before, integrated components have the disadvantage of being inaccurate. But they also have an important advantage: whatever their variation may be, they all vary together, since they are made at the same time and under the same conditions. In other words, they match very well. I used that feature to build a novel oscillator, which turned out to be extremely stable.

First, you charge the external capacitor with a constant current. The voltage across the capacitor will now rise linearly with time. When it reaches a certain voltage, a comparator triggers a flip-flop, which reverses the direction of the current. The capacitor is now being discharged at the same rate. When the voltage across it drops to a lower voltage threshold, a second comparator resets the flip-flop and the cycle starts again. The resulting waveform is a triangle.

With an op-amp and an open-collector transistor at the output you can build a very accurate current source (Figure 1). In the oscillator I split the current in two halves by using two matching transistors. I then inverted one of the currents (Figure 2) with what is called a current mirror. The theory behind this circuit is this: the bases and emitters of the two transistors are connected to the same nodes, therefore the two devices produce the same collector current. The circuits shown is very simple and has some inaccuracies, which can be eliminated with a slightly more complex circuit.

In the actual oscillator I doubled the resulting current by the use of two emitters in Q4 and the mirror is switched on an off by the flip-flop. So, during the up-stroke the capacitor is charged with I ; during the down-stroke, the charging current I remains but there is also a discharge current of $2I$ and the net result is a discharge current of I . Thus the triangle wave has a precise duty cycle of 50%.

The last design feature is the most important one: make both the thresholds of the two comparators and the control voltage of the current source a fraction of the supply voltage. If, for example, the reference voltages for the two comparators are derived from a resistor divider (between V_{cc} and ground) with three identical resistors (again, taking advantage of matching), the peaks of the triangle voltage will be at $1/3 V_{cc}$ and $2/3 V_{cc}$. That means, the amplitude of the waveform will increase as the supply voltage is increased and the frequency will decrease since it take longer to charge and discharge the capacitor.

However, if the input of the current source is *also* connected to such a voltage divider, the charge and discharge current will increase *by precisely the same percentage* and the frequency is unchanged. Thus the frequency of the oscillator is only determined by the external R and C .

After the first design Signetics asked me to head a development group with seven engineers. We added a few more phase-locked loop ICs, but then the company got into trouble. There was a deep recession in 1970 and Signetics was hit hard. 50% of all employees were laid off and development came to a stand-still.

bione w tym samym czasie i w tych samych warunkach, to właściwości wszystkich elementów zmieniają się w ten sam sposób. Innymi słowami – są podobne. Użyłem tej własności do budowy innowacyjnego oscylatora, który jest ekstremalnie stabilny.

Po pierwsze, prądem o stabilizowanej wartości ładuje się zewnętrzny kondensator. Napięcie na kondensatorze narasta liniowo w czasie. Kiedy osiąga pewną wartość, komparator wyzwala flip-flop, który odwraca kierunek przepływu prądu. Kiedy napięcie na kondensatorze spada poniżej progu zadziałania, drugi komparator zeruje flip-flop i cykl rozpoczyna się ponownie. Rezultatem jest przebieg trójkątny.

Za pomocą wzmacniacza operacyjnego i tranzystora o otwartym kolektorze można zbudować precyzyjne źródło napięcia (rys. 1). W oscylatorze, używając pary tranzystorów, podzieliłem prąd na dwie połówki. Następnie odwróciłem fazę jednego z prądów (rys. 2), nazywanego prądem lustrzanym. Teoria jest następująca: bazy i emiterów dwóch tranzystorów podłączone są do tych samych węzłów, więc przez oba obwody przepływa ten sam prąd kolektora. Pokazany na rysunku układ jest bardzo prosty i ma pewne niedociągnięcia, które można wyeliminować kosztem nieznacznej jego komplikacji.

W oscylatorze podwoiłem prąd wynikowy przez zastosowanie dwuemiterowego tranzystora Q4, a prąd lustrzany włączany i wyłączany jest przez flip-flop. Tak więc podczas fazy nadszania napięcia kondensatoru ładowany jest prądem I ; podczas fazy zmniejszania się napięcia prąd ładowania I pozostaje, ale płynie również prąd rozładowania $2 \times I$, co skutkuje rozładowaniem z prądem I . Dlatego też przebieg prostokątny ma wypełnienie równe dokładnie 50%.

Ostatnie zagadnienie było najważniejsze: ustalić progi wyzwalań obu komparatorów i kontrolować napięcie źródła prądowego, będące ułamkiem napięcia zasilania. Jeśli, na przykład, napięcie referencyjne dla obu komparatorów dostarczane jest przez dzielnik rezystancyjny (włączony pomiędzy V_{CC} i masą) zbudowany z trzech rezystorów o tej samej rezystancji (ponownie korzystamy tu z zasady podobieństwa elementów), to szczyty napięcia przebiegu trójkątnego będą na $1/3 V_{CC}$ i $2/3 V_{CC}$. Oznacza to, że amplituda przebiegu zwiększy się, gdy zwiększy się napięcie zasilania, a częstotliwość zmaleje, ponieważ dłużej będzie trwało ładowanie i rozładowanie kondensatora.

Aczkolwiek wejście źródła prądowego jest również podłączone do takiego dzielnika napięcia, prąd ładowania i rozładowania zmieni się *o dokładnie taką samą wartość procentową* i częstotliwość pozostanie niezmienną. Dlatego też częstotliwość oscylatora jest określana wyłącznie przez zewnętrzne elementy R i C .

Po pierwszym opracowaniu Signetics poprosił mnie o poprawienie grupy wynalazczej składającej się z siedmiu inżynierów. Dodałiśmy do oferty kilka układów scalonych pętli synchronizacji fazowej, ale firma popadła w tarapaty finansowe. W 1970 była głęboka recesja i Signetics mocno na tym ucierpiał. 50% wszystkich pracowników otrzymało wypowiedzenia, a prace badawcze zostały wstrzymane.

Zasugerowałem zarządowi, że opracuję produkt na moje własne ryzyko pod takimi warunkami, że przez rok będę opłacany na poziomie połowy moich dochodów, natomiast oni wypożyczą mi całe wyposażenie elektroniczne, którego będę potrzebował. Zaproponowałem opracowanie uniwersalnego układu bazującego na oscylatorze z pętlą synchronizacji fazowej, takiego, który mógłby pracować równie dobrze jako generator, jak i timer.

Reakcja była mieszana. Dział inżynierski uważał, że taki produkt nie jest potrzebny; te same funkcje mogą być zrealizowane za pomocą istniejących komparatorów i kilku elementów dyskretnych.

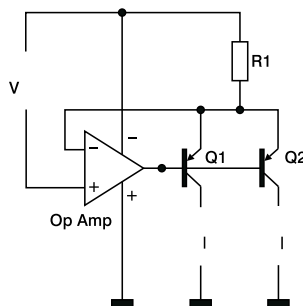


Figure 1. A current source (or voltage to current converter)
Rys. 1. Źródło prądowe (lub konwerter napięcie na prąd)

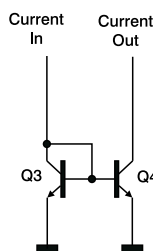


Figure 2. An IC current mirror
Rys. 2. Lustro prądowe w strukturze układu scalonego

I suggested to the management that I develop a product for them on my own, that I be paid for one year at half my present salary, and that they lend me all the electronic equipment I needed. I proposed to develop a universal circuit based on the oscillator for the phase-locked loop, one that could function as a oscillator as well as a timer.

The reaction was mixed. The engineering department thought that such a product was not needed; the same function could be achieved with existing comparators and a few discrete components. But the marketing manager liked the idea and over-ruled the engineers. He never did any marketing research, he just had the feeling that it would sell well. All of Signetics' linear ICs had a 500 number; he thought that the circuit needed a special number and reserved 555 for it.

It was reckless of me to become independent at that time. It was the bottom of a recession. I was 36 years old and had a wife and four small children at home. I went to school at night, pursuing a Master's of Business Administration. From 7 to 9 in the morning I taught a graduate school class in IC design at a nearby university. And on top of all that I needed more design work to make ends meet.

With the help of a small loan from my bank I rented an office space between two Chinese restaurants in Sunnyvale and hired a technician. Despite the recession I got two more design contracts.

The design took an entire year. It is hard to imagine now how difficult and time-consuming IC design was then. There were no PCs, no circuit simulation. You had to build a breadboard and check it out carefully, making sure it worked with the variations you get in an IC and over the desired temperature range.

The layout had to be done by hand. That means you first had to make several drawings until all the components fit without wasting and space. Then you put a plastic sheet (called a Rubylith) over the drawing on a large light table. The plastic sheet had two layers, transparent and red; you cut the red layer with a knife and then peeled off the cut sections that needed to be transparent.

The worst part was the checking. You have a schematic from the breadboard and you need to make sure the layout corresponds to that

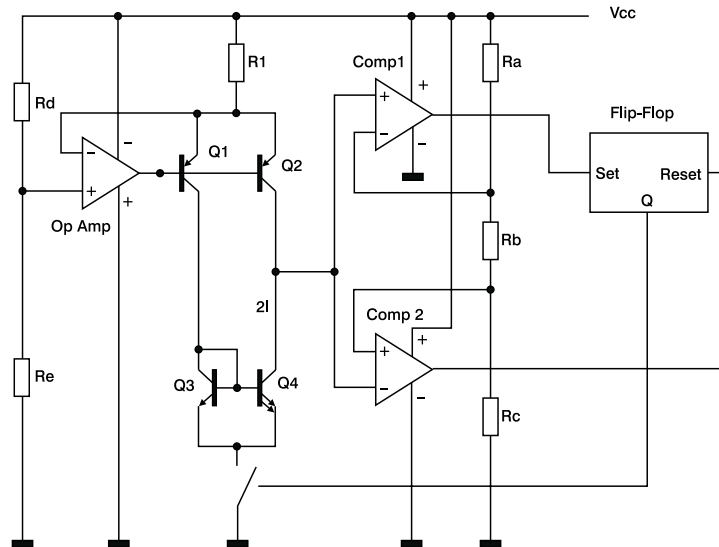


Figure 3. Block diagram of the oscillator for the phase-locked loop
Rys. 3. Schemat blokowy oscylatora z fazową pętlą synchronizacji

Ale szefowi marketingu spodobał się pomysł i to przeżyło zdanie inżynierów. Nie zrobił żadnego badania rynku – po prostu miał przeczuć, że układ będzie się dobrze sprzedawać. Numeracja wszystkich układów firmy Signetics rozpoczynała się od 500; szef marketingu uważał, że układ potrzebował specjalnego numeru i zarezerwował dla niego numer 555.

W tym czasie moje zatrudnienie jako wolnego strzelca było nierozsądne. Panowała recesja. Miałem 36 lat, żonę i czwórkę małych dzieci na utrzymaniu. Nocami chodziłem do szkoły, zdobywając MBA. Od 7 do 9 rano uczyłem

konstruowania układów scalonych w szkole podyplomowej w pobliżu uniwersytetu. I na domiar wszystkiego, musiałem wykonać jeszcze więcej pracy konstruktorskiej, aby sprostać zadaniu.

Wziąłem niewielką pożyczkę z banku i wynajmłem przestrzeń biurową pomiędzy dwoma restauracjami chińskimi w Sunnyvale oraz zatrudniłem technika. Pomimo recesji otrzymałem też o dwa kontrakty więcej.

Praca zajęła cały rok. Teraz trudno jest wyobrazić sobie, jak trudne i czasochłonne było wówczas projektowanie układów scalonych. Nie było komputerów PC, nie można było symulować obwodów. Konstruktor musiał zbudować prototyp na płycie uniwersalnej i dokładnie sprawdzić jego działanie, upewniając się, że pracuje on w warunkach, które panują w układzie scalonym i powyżej pożądanego zakresu temperatur.

Klisza musiała być wykonana ręcznie. Oznaczało to, że po pierwsze, było się zmuszonym do wykonania kilku rysunków aż do momentu, w którym można było uznać, że wszystkie komponenty pasują i nie marnuje się powierzchnię. Następnie należało położyć plastikowy arkusz (Rubylith) na rysunku ułożonym na wielkiej tablicy świetlnej. Plastikowy arkusz miał dwie warstwy: przezroczystą i czerwoną. Warstwę czerwoną wycinało się nożem, a następnie odrywało się te odcięte sekcje, które musiały być przezroczyste.

Najgorszą częścią była kontrola poprawności. Mając do dyspozycji schemat prototypu, konstruktor musiał upewnić się, że topologia odpowiada schematowi, ponieważ jeśli tylko był chociaż jeden błąd, to układ nie będzie pracował. I dlatego ślęczało się nad tym przez kilka dni, zgitym nad tablicą świetlną, sprawdzając każdy komponent i każde połączenie na nie mniej niż 10 warstwach. Niestety, człowiek nie jest w tym zbyt dobry, męczyliśmy się i popełnialiśmy błędy. Dlatego kilka z układów nie pracowało za pierwszym razem lub nawet za

drugim. Niektóre układy scalone potrzebowały więcej niż alfabetu dla oznaczenia kolejnych wersji.

Latem 1971 roku, gdy prototyp był ukończony, zostałem poproszony o prezentację projektu Signeticsowi. Taka prezentacja to świetny pomysł; bronił swojego opracowania przed kolegami, aby

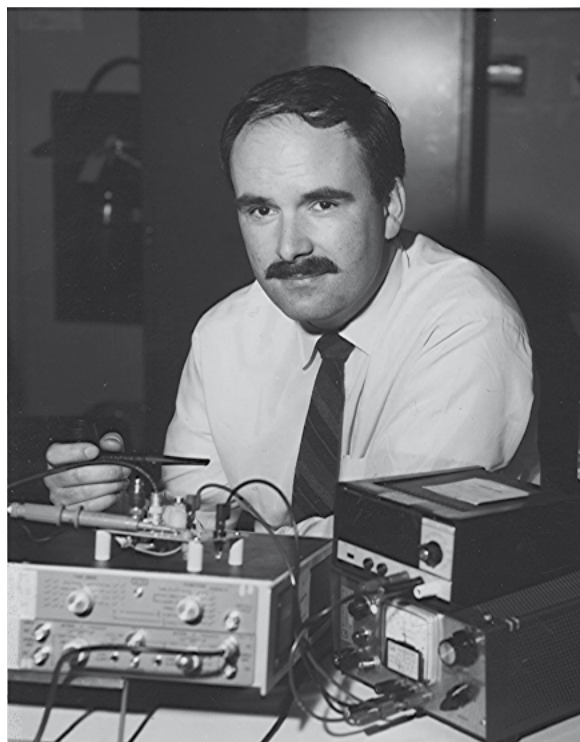


Figure 4. Hans Camenzind in 1971
Fot. 4. Hans Camenzind w 1971 roku

schematic. If there is even one mistake, the IC won't work. So you stand there for days, bent over a light table, checking each component and each connection in as many as 10 layers. Unfortunately the human being is not very good at this, we get tired and make mistakes. That is why few circuits haven't worked the first time, or even the second. Some ICs used up much of the alphabet for revision letters.

When the breadboard was finished in the summer of 1971, I was asked to give a design review at Signetics. A design review is a great idea; you defend your design in front of all your colleagues to make sure you didn't overlook anything. At Signetics it was also customary to make a written version of the presentation for future reference.

The design review went well, nobody found any mistakes. So I started on the layout.

Three days later, as I was driving home from work, it suddenly occurred to me that the circuit could be improved. The one thing that bothered me all through the design was the fact that there were 9 pins. At that time there were 8, 14 and 16 pin IC packages, so 9 was a very unfortunate number, forcing the chip to be put into a 14-pin package, leaving 5 of them empty.

The phase-locked loop oscillator had been my starting point, and it used current sources. Would it be possible to eliminate the current source and use a resistor directly? This would eliminate one pin, but would that still make the frequency (or time) independent of the supply voltage, despite the fact that the waveform would no longer be linear?

I hit the brakes, made U-turn and went back to the lab. I called my wife and told her that I would be late for dinner and then tried the idea. To my great surprise the performance was unchanged, I didn't need the current source. This simplified the circuit and I could put one timer into an 8-pin package or two into a 14-pin one.

I didn't want to waste any time going through a second design review. Instead I explained the change to the marketing manager, who was delighted that he could sell the product in an 8-pin package and told me to just go ahead with the layout.

The prototypes came out in October 1971, just inside the one year deadline. They worked perfectly the first time and the 555 went into production.

But it wasn't the first timer on the market. One of the engineers attending the design review had left Signetics and duplicated the design at his new company, a start-up. But he was unlucky: he had duplicated the schematic from my presentation, including the current source and the ninth pin. Needless to say, his company withdrew the product when the real 555 came on the market.

In 1971 Signetics used 50mm wafers and the minimum dimension was 10um. 300 chips fit on a wafer. Over the years the design has remained unchanged but the layout has been shrunk several times and the wafer-sizes have increased. Today most 555 timers are fabricated on 200mm wafers and each wafer yields some 30,000 chips.

By 1972 the 555 had been copied by 12 companies and became the best-seller of the industry. It has remained in that position every year up to the present time.

Hans R. Camenzind urodził się w 1934 roku, w Szwajcarii, w Zurychu. Jest inżynierem elektroniką najbardziej znanym z wynalezienia timera 555 w 1970 roku. Oprócz tego jest autorem 20 patentów, napisał kilka książek i wiele artykułów technicznych. Był wykładowcą na uniwersytecie w Santa Clara.

Uzyskał stopień magistra na Uniwersytecie Northeastern i MBA na Uniwersytecie Santa Clara. Po kilku latach pracy w Bostonie przeniósł się na Zachodnie Wybrzeże i zatrudnił w firmie Signetics (obecnie Philips), a później założył własną firmę o nazwie Interdesign. Po siedmiu latach sprzedał ją firmie Plessey. Aktualnie pracuje jak niezależny konsultant do spraw konstrukcji analogowych układów scalonych.

W swojej karierze napisał trzy książki poświęcone pierwszemu scalonemu wzmacniaczom klasy D, wprowadził koncepcję pętli synchronizacji fazowej do układów scalonych, do maja 2009 skonstruował 150 standardowych i budowanych na życzenie klientów układów scalonych.

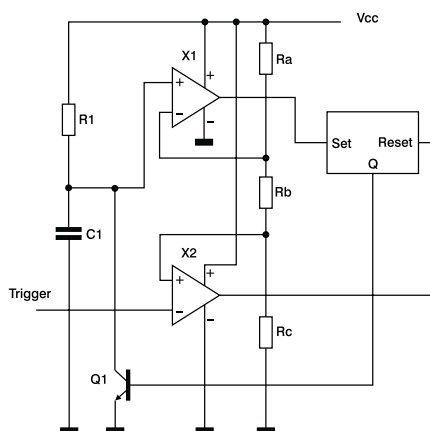
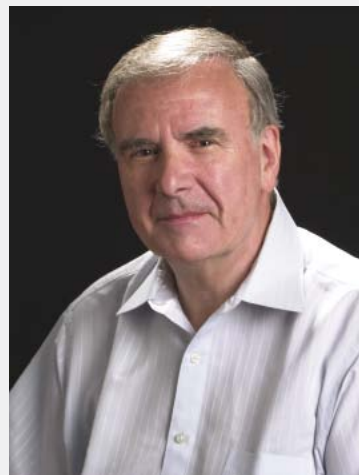


Figure 5. The 555 connected as a Timer
Rys. 5. 555 pracujący jako Timer

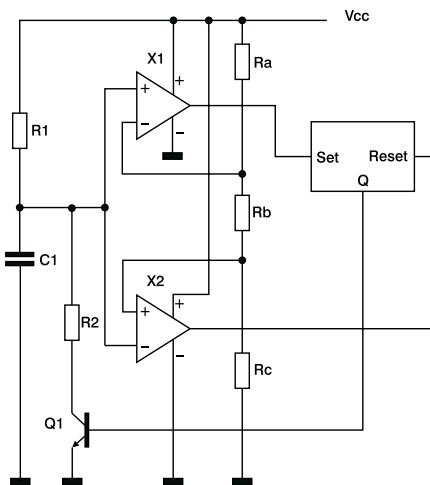


Figure 6. The 555 connected as an oscillator or pulse generator
Rys. 6. 555 pracujący jako oscylator lub generator impulsu

upewnić się, że niczego nie przeoczyłeś. W Signeticsie było również przyjęte, aby na przyszłość potrzeby wykonać drukowaną wersję prezentacji.

Prezentacja przeszła dobrze; nikt nie znalazł żadnego błędu. Tak więc rozpocząłem prace nad topologią.

Trzy dni później, gdy jechałem do domu z pracy, nagle dotarło do mnie, że układ może być poprawiony. Tym co martwiło mnie przez cały czas był fakt, że układ miał 9 wyprowadzeń. W tym czasie stosowano obudowy 8-, 14- i 16-wyprowadzeniowe, więc 9 było bardzo nieszczęśliwą liczbą; umieszczając układ w obudowie 14-wyprowadzeniowej, 5 z nich zostawiało się niepodłączone.

Moim punktem wyjścia był oscylator z pętlą synchronizacji fazowej, a on wymagał źródła prądowego. Czy byłoby możliwe wyeliminowanie źródła prądowego i zastosowanie w tym miejscu rezystora? To usunęłoby jedną nóżkę, ale nadal uniezależniałoby częstotliwość (lub czas) od napięcia zasilania, abstrahując od faktu, że kształt napięcia nie byłby liniowy.

Gwałtownie nacisnąłem pedał hamulca, zawróciłem i pojechałem z powrotem do laboratorium. Zadzwoiłem do żony i powiedziałem, że spóźnię się na kolację, a następnie wypróbowałem pomysł. Ku mojemu wielkiemu zdziwieniu jakość się nie zmieniła - nie potrzebowałem źródła prądowego. To uprościło obwód i mogłem włożyć timer w obudowę 8-nóżkową lub dwa w obudowę 14-nóżkową.

Nie chciałem marnować czasu przechodząc przez drugą prezentację projektu. Zamiast tego wytłumaczyłem zmianę szefowi marketingu, który był zachwycony, że może sprzedawać produkt w 8-nóżkowej obudowie i powiedział mi abym kontynuował pracę nad topologią.

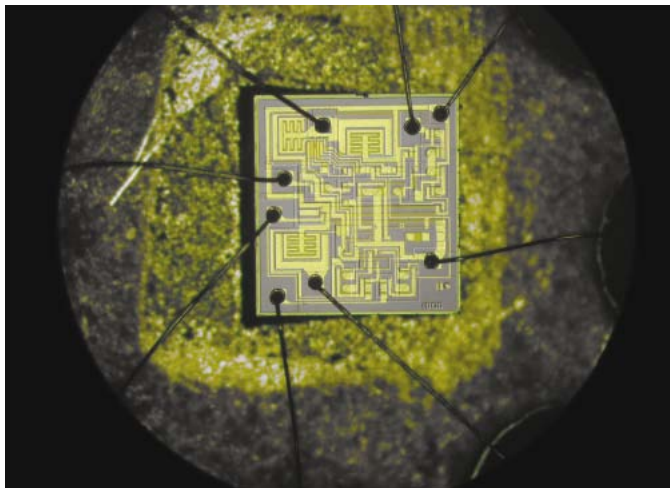


Figure 7. The first 555 chip (1971)
Rys. 7. Pierwsza struktura układu 555

Signetics was sold to Philips in 1972 and its plants were subsequently closed. 555 Timers are now primarily made in Korea and China.

* * * * *

As time went by, the designing of integrated circuit got a big boost from computers. Today it is no longer necessary to breadboard a circuit or produce a layout by bending over a light table. The circuit can be simulated on an ordinary PC and, if the device models are good, you can determine ahead of time if the design stands up under the variations encountered in production. The layout is done on a PC as well, sitting comfortably in a chair. Most importantly, the computer compares the schematic with the layout automatically and you can be 100% certain that the IC will work the first time.

The computer also shrinks time. The 555 took a little over 7 months from start to the point where the mask was made; today it would take about 3 weeks.

As for myself, I have kept on designing ICs. The 555 was my 9th design; presently I am working on number 151. Subtracting the time spent on writing some books, that works out to about 6 designs per year, many of which were far more complex than the 555. I figure that, because of the PC, I have speeded up my work by a factor of 5. And I no longer have to bend over light tables.

Prototyp ukazał się w grudniu 1971, dokładnie po upływie roku. Od pierwszego momentu pracował doskonale i 555 wszedł do produkcji.

Nie był to jednak pierwszy timer dostępny w handlu. Jeden z inżynierów biorących udział w prezentacji opuścił Signetics i skopiował moje opracowanie w swojej nowej firmie. Ale nie miał szczęścia: skopiował schemat z mojej prezentacji zawierający źródło prądowe i dziewiątą nóżkę. Nie trzeba mówić, że jego firma wycofała produkt, gdy prawdziwy 555 pojawił się na rynku.

W 1971 roku Signetics używał płytek krzemowych o średnicy 50 mm, a minimalny wymiar był równy 10 μm . Na płytce mieściło się 300 układów scalonych. Przez lata konstrukcja pozostała niezmienną, ale struktura układu wielokrotnie zmniejszała się, a wymiary płytki wzrosły. Współcześnie większość timerów 555 wytwarzanych jest na płytkach 200 mm, a każda z nich dostarcza około 30000 struktur.

W 1972 roku 555 został skopiowany przez 12 firm i stał się bestsellerem. Utrzymał się na tej pozycji każdego roku, aż do dnia dzisiejszego.

W 1972 roku Signetics został sprzedany Philipsowi, a jego zakłady później zamknięto. Współcześnie timery 555 są przede wszystkim produkowane w Korei i Chinach.

* * * * *

Z biegiem czasu konstrukcja układów scalonych została znacznie przyspieszona przez komputery. Współcześnie nie jest już potrzebne budowanie prototypu lub kliszy przez wycinanie na tablicy świetlnej. Układ może być symulowany na zwykłym PC i, jeśli modele urządzenia są dobre, można określić, czy opracowanie wykaże odporność na odchylenia i rozrzut parametrów produkcyjnych. Projekt struktury również wykonuje się na PC, siedząc komfortowo na krześle. Najważniejsze jest, że komputer automatycznie porównuje schemat z płytką i można być w 100% pewnym, że układ będzie pracował od pierwszego razu.

Zastosowanie komputera znacznie skróciło czas opracowania. Konstrukcja 555 zabrała nieco więcej niż 7 miesięcy od startu do punktu, w którym zrobiono maski; dziś zajęłoby to około 3 tygodni.

Ja pozostałem konstruktorem układów scalonych. 555 był moją dziewiątą konstrukcją, aktualnie pracuję nad 151. Odejmując czas spędzony nad pisanem kilku książek, daje to około sześciu konstrukcji rocznie, z których większość jest bardziej złożona niż 555. Mogę to zrobić, ponieważ dzięki komputerowi PC pięciokrotnie przyspieszyłem swoją pracę. I nie muszę już dłużej zginać się nad tablicą świetlną.

nowe

kontra

STARE

W EP 8/2009 (na CD i w rubryce Tips&Tricks) zamieściliśmy przeszło setkę schematów ciekawych układów z timerem 555. **Konstruktorzy mikroprocesorowcy, rzucamy Wam wyzwanie!** Pokażcie, że korzystając z nowoczesnych podzespołów można którykolwiek z tych układów zbudować lepiej! Autorom najciekawszych rozwiązań oferujemy publikację, honorarium i wartościowe nagrody rzeczowe. Na rozwiązania konkursowe czekamy do końca października 2009. Wystarczy przedstawić schemat, zasadę działania i wymienić zalety proponowanego rozwiązania w odniesieniu do funkcjonalności analogicznego układu na 555. Prace konkursowe można przysyłać pocztą (Redakcja Elektroniki Praktycznej, ul. Leszczynowa 11, 03-197 Warszawa) lub e-mailem (redakcja@ep.com.pl).

konkurs 555