

Elektronika

Prototypowanie układów elektronicznych

Budowa, testy i optymalizacja prototypu to trzy podetapy procesu tworzenia każdego nowego urządzenia elektronicznego, których znaczenia nie sposób przecenić.

Właśnie dzięki prototypom możliwe jest iteracyjne wprowadzanie niezbędnych poprawek, poszukiwanie oszczędności w kosztach przyszłej produkcji czy też znajdowanie i usuwanie różnych błędów, często niewynikających nawet z winy samego projektanta.

Po co prototyp?

- sprawdzić, czy koncepcja działa,
- znaleźć błędy wcześnie,
- zmierzyć realne parametry,
- zebrać feedback,
- ograniczyć ryzyko i koszty.

Znaczenie prototypów w cyklu rozwojowym urządzeń

- Testowanie i walidacja koncepcji – prototyp pozwala sprawdzić, czy przyjęta koncepcja konstrukcji bądź metody działa w praktyce – tak w warunkach laboratoryjnych, jak i rzeczywistych (lub bardzo do nich zbliżonych).

W przypadku projektów hi-tech wczesne prototypy najczęściej znacznie odbiegają (formą czy rozmiarami) od docelowego rozwiązania, gdyż ich celem jest weryfikacja samej technologii u podstaw, a nie szybkie przygotowanie do produkcji seryjnej.

- Identyfikacja błędów i problemów – bodaj najważniejszym zadaniem prototypu jest wskazanie błędnych założeń, niedociągnięć w projekcie czy też niewłaściwego zachowania w określonych, często dość specyficznych warunkach pracy.

Wykryte problemy mogą dotyczyć zarówno niezgodnych (z założeniami lub wymaganiami klienta) parametrów technicznych, funkcjonalności, użyteczności, trwałości (odporności na warunki środowiska lub niewłaściwe użytkowanie), jak i bezpieczeństwa.

- Weryfikacja specyfikacji technicznych – prototypowanie pozwala na sprawdzenie, czy urządzenie spełnia założoną specyfikację techniczną – zużycie energii, kompatybilność, stabilność termiczną i długoczasową, wynikowy poziom szumów itp.

- Testowanie interfejsu użytkownika – wytworzenie prototypu zbliżonego do wersji końcowej (produkcyjnej) pozwala na ocenę, na ile intuicyjny i łatwy w obsłudze jest HMI oraz umożliwia zidentyfikowanie obszarów, które mogą wymagać poprawy, np. w zakresie interfejsu graficznego (GUI), responsywności, ale też rozmieszczenia złączy oraz pozostałych elementów obsługowych. To właśnie dzięki fizycznym prototypom można nierzadko wykryć błędy projektowe, na które trudno byłoby wpaść analizując jedynie trójwymiarowe symulacje produktu – jednym z tego typu problemów może być np. niewłaściwe umiejscowienie gniazda zasilania, utrudniające użytkowanie urządzenia w typowej pozycji.

- Zbieranie informacji zwrotnej od użytkowników – dopracowane prototypy o postaci i funkcjonalności odpowiadającej w całości (lub przynajmniej w znacznej większości aspektów) wersji docelowej mogą być używane do zbierania informacji zwrotnej od potencjalnych użytkowników, odgrywających rolę pierwszych testerów.

Takie dane są niezwykle cenną wskazówką dla projektantów, umożliwiającą ulepszenie i doskonalenie produktu przed jego wprowadzeniem na rynek – często zdarza się, że założenia projektantów ulegają zmianie w konfrontacji z rzeczywistymi potrzebami i reakcjami odbiorców.

- Zredukowanie ryzyka i kosztów – odpowiednio zaplanowany proces prototypowania pozwala na identyfikację i rozwiązanie problemów na wczesnym etapie rozwoju produktu, jest zawsze mniej kosztowne i czasochłonne niż próba rozwiązania tych problemów już po wprowadzeniu produktu na rynek lub np. w trakcie badań realizowanych na potrzeby certyfikacji wyrobu.
- Prezentacja produktu inwestorom lub klientom – w niektórych przypadkach prototyp może służyć jako demonstracja produktu dla potencjalnych inwestorów lub pierwszych odbiorców.

Na tym etapie warto poświęcić więcej uwagi wykonaniu estetycznej obudowy urządzenia oraz dopracowaniu interfejsu graficznego i identyfikacji wizualnej, choć od strony funkcjonalnej produkt często występuje w okrojonej wersji.

Najgorszy sposób projektowania to od razu rysować schemat bez zrozumienia wymagań.

Najpierw trzeba określić:

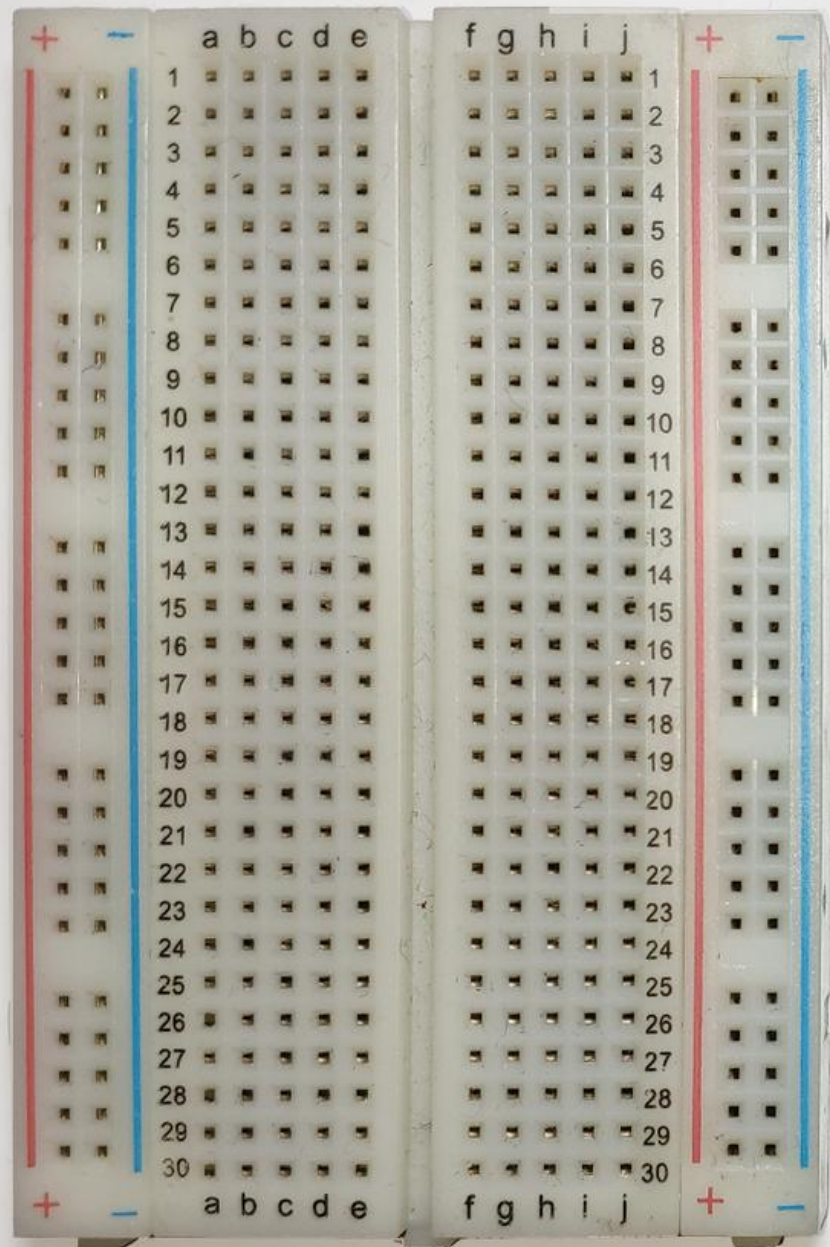
- co układ ma mierzyć lub sterować,
- jakie są zakresy napięć/prądów,
- jakie są warunki środowiskowe,
- z czego będzie zasilany,
- jakie są ograniczenia kosztu, miejsca i bezpieczeństwa,
- jak będzie testowany.

Proces projektowy w praktyce

- wymagania i założenia
- schemat blokowy
- schemat elektryczny
- symulacja
- prototyp na stykówce
- pomiary i poprawki
- płytki prototypowa / PCB
- uruchamianie
- dokumentacja

Płytki stykowa

- Płytki stykowe od lat są podstawowym narzędziem do szybkiego prototypowania układów elektronicznych.
- Ich główną zaletą jest szybki montaż. Komponenty i przewody połączeniowe wystarczy wcisnąć w odpowiednie otwory, co czyni tę metodę bardzo prostą i dostępną nawet dla początkujących.
- Można w ten sposób w parę minut złożyć prosty układ, przetestować go, a następnie bez trudu zmodyfikować lub rozebrać na części, nie tracąc przy tym użytych elementów.
- Płytki stykowe są więc ekonomiczne i wygodne.

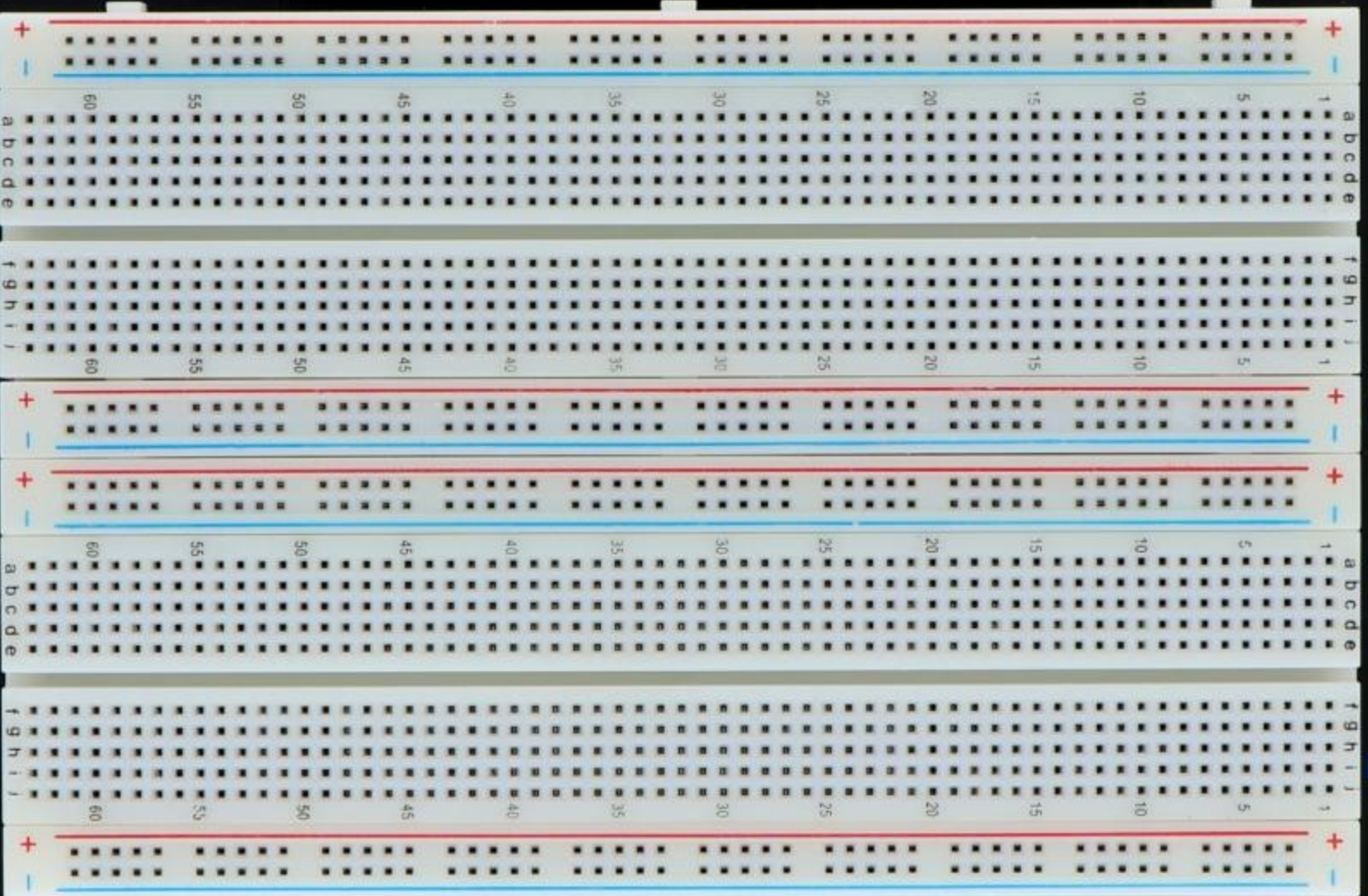


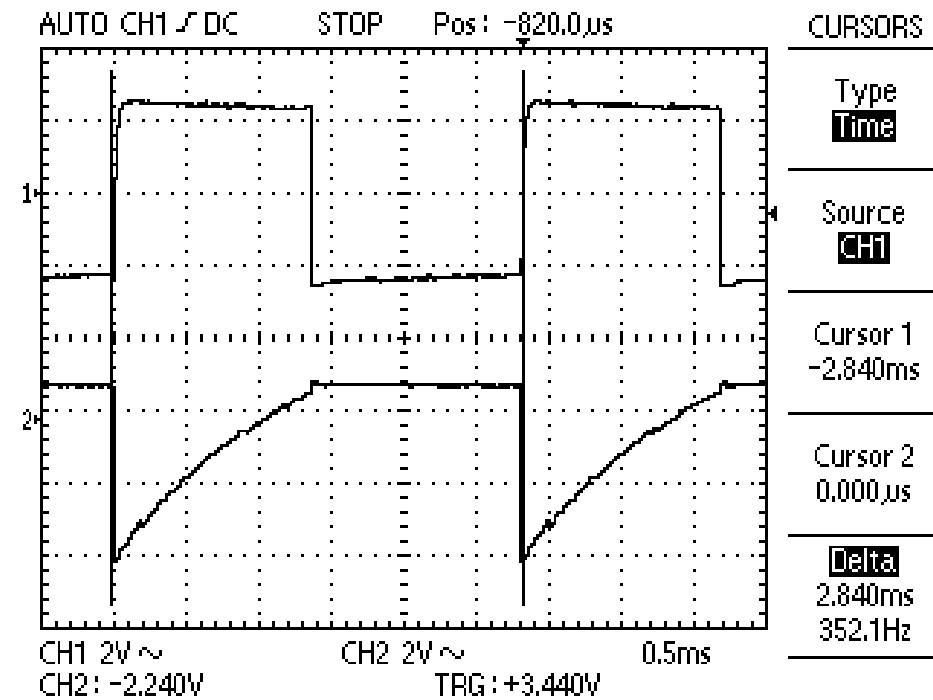
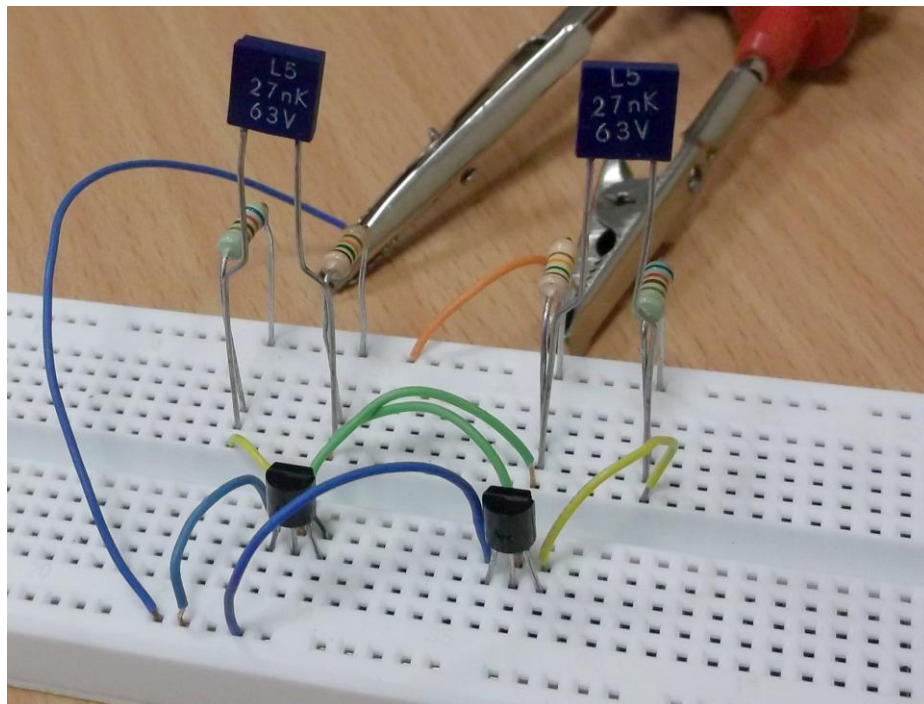
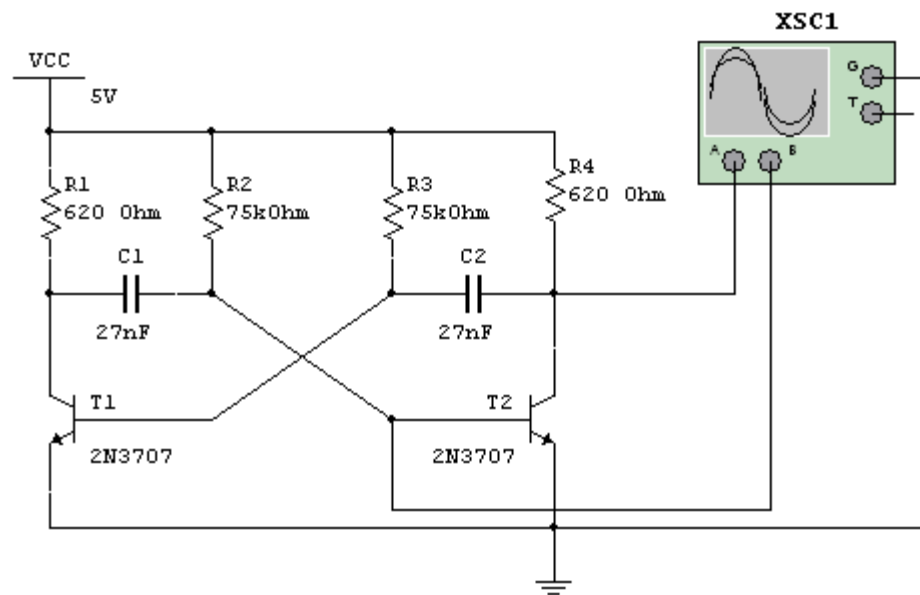
Bread Board

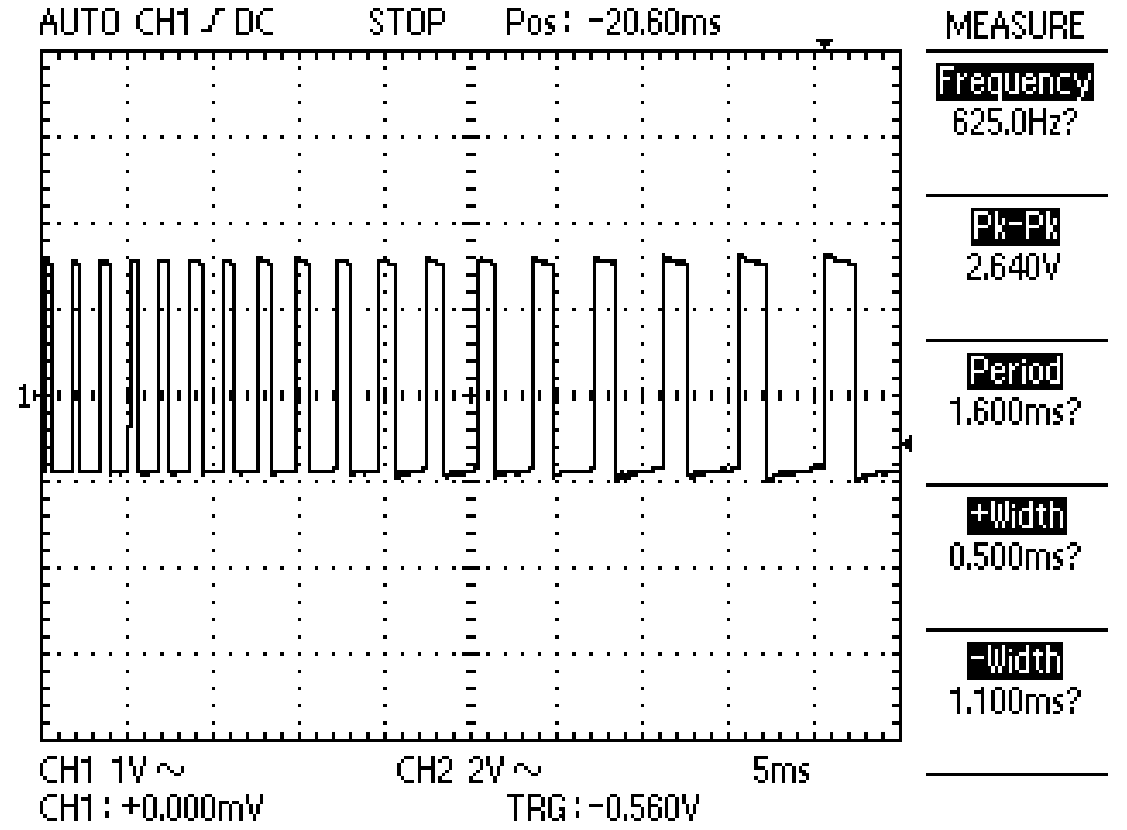
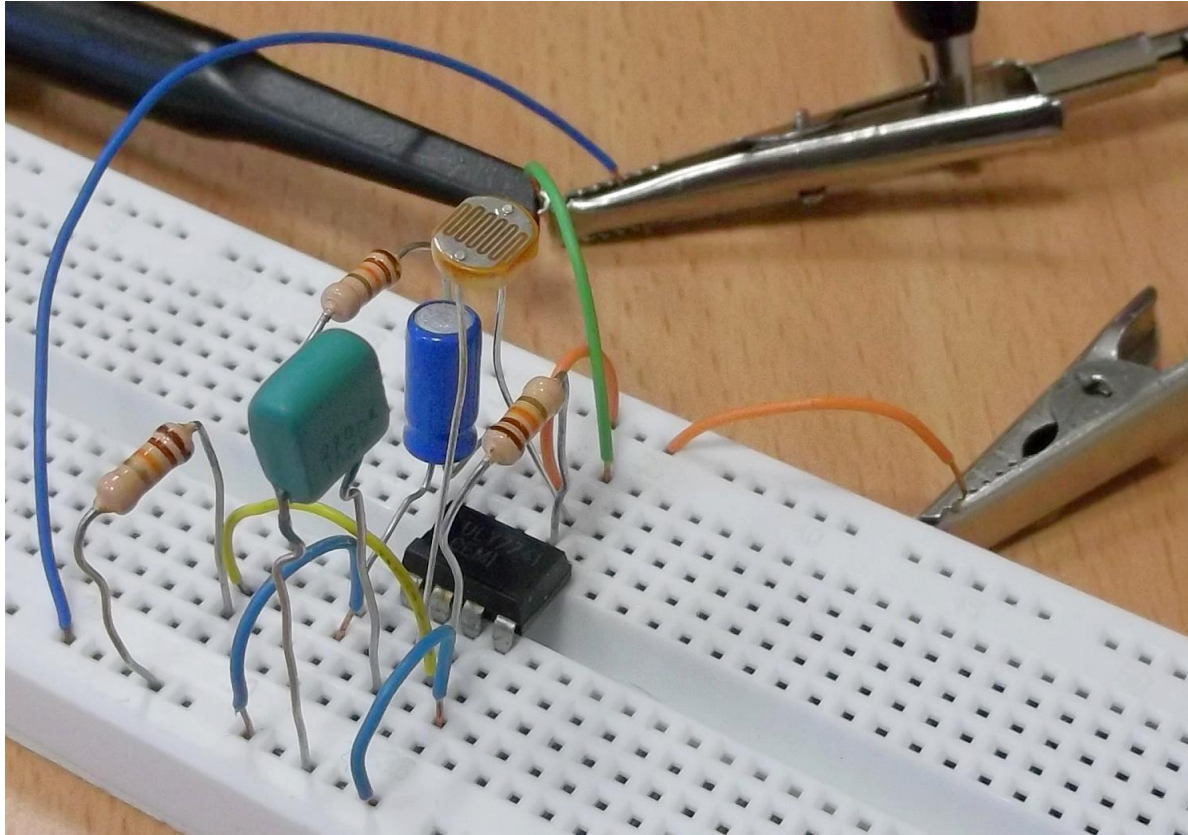
MODEL:ZY-204

V_a

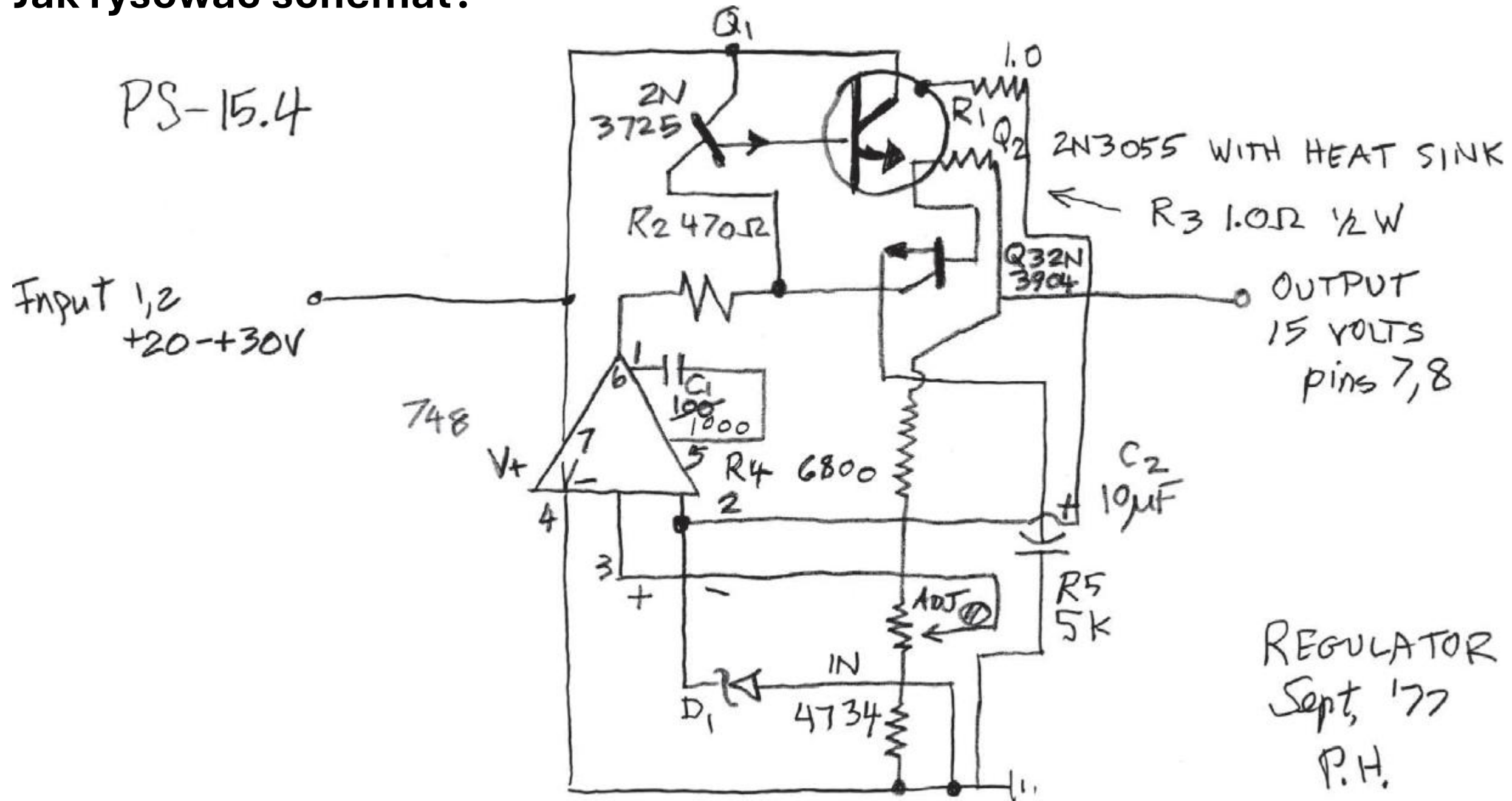
V_b

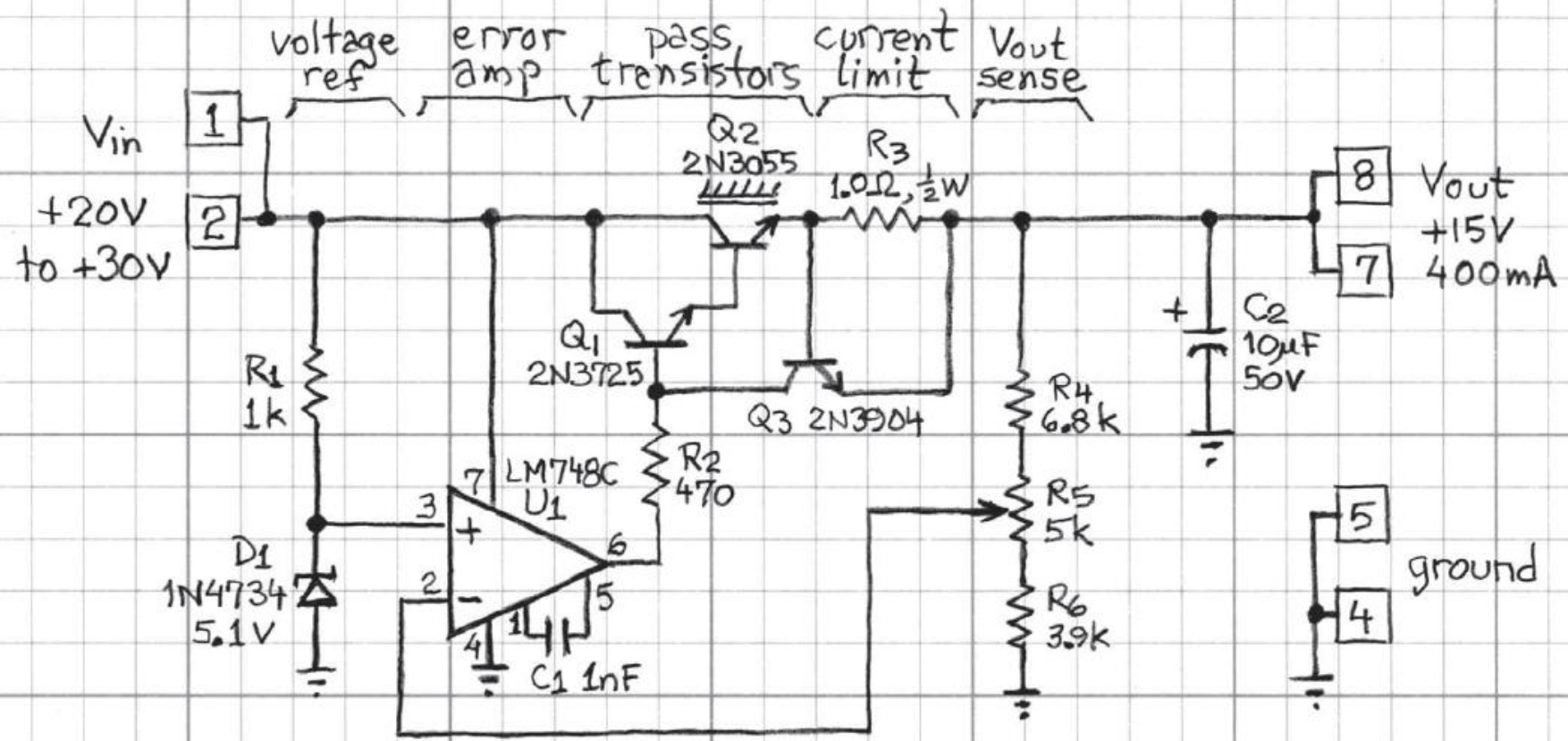






Jak rysować schemat?



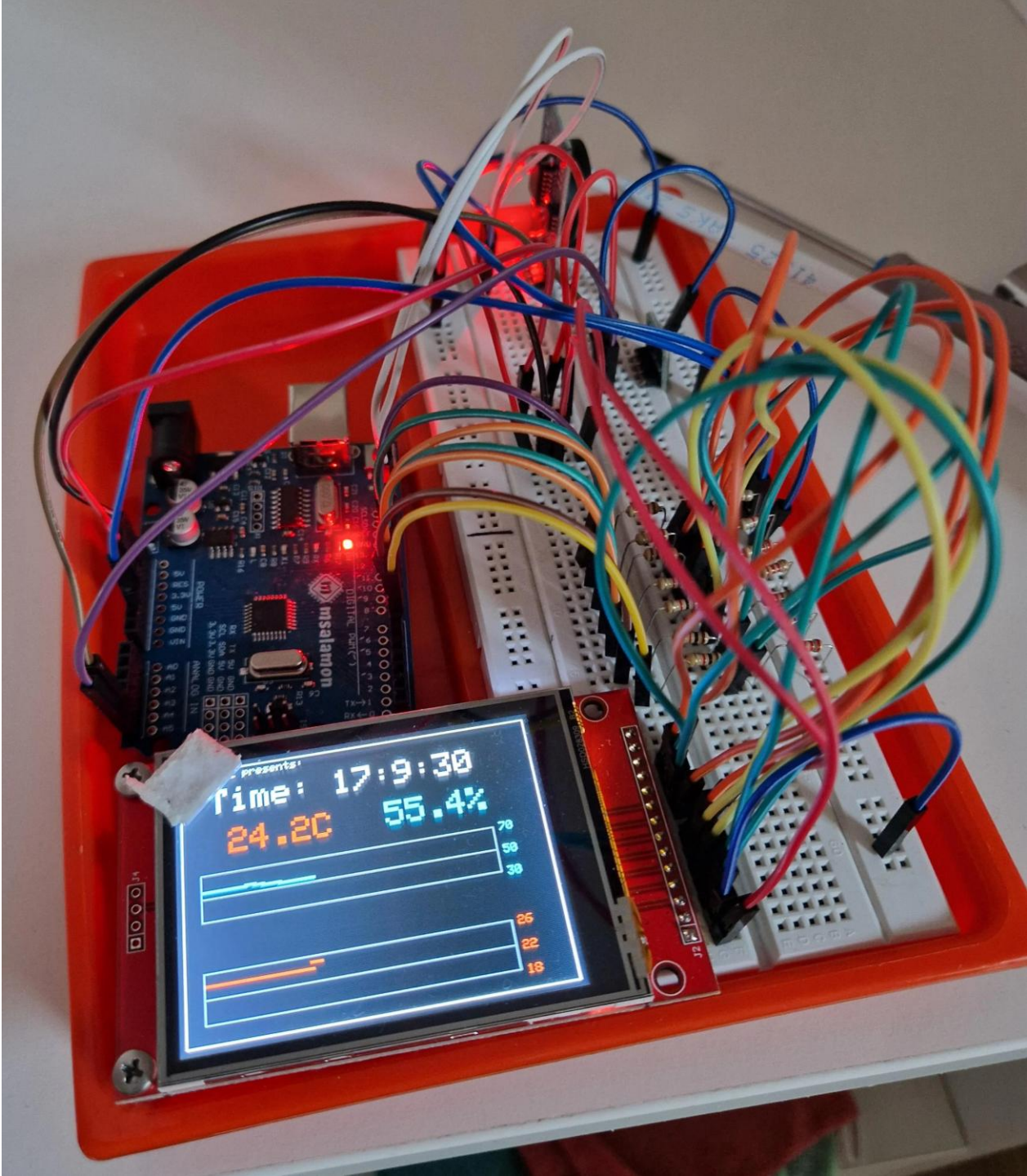


Notes:

1. Q2 on Wakefield 421AX heatsink (18W at 600mA short circuit)
2. adjust R5 for $V_{out} = +15V \pm 0.1V$
3. edge conn. mates with Cinch 50-10A-20

revisions		
1	10-3-78	C1 was 100pF
2		
3		

+15 volt regulator		
drawn by	PH 9-16-78	ASSY#
checked by	WH 9-23-78	PS-15.4



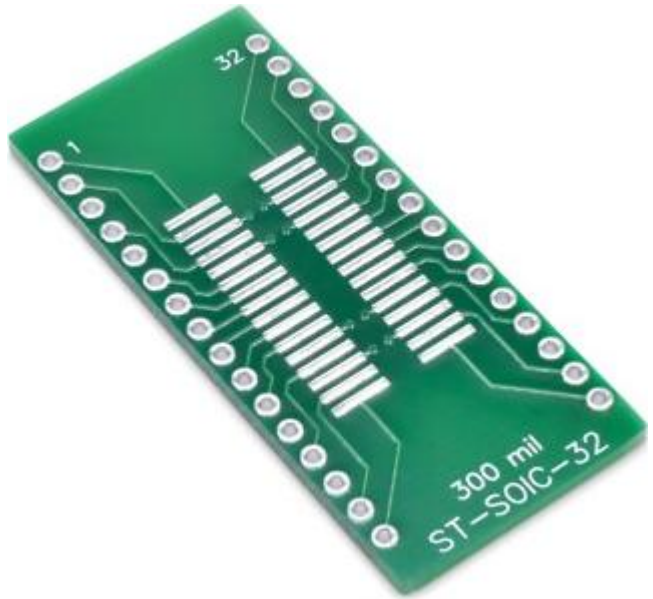
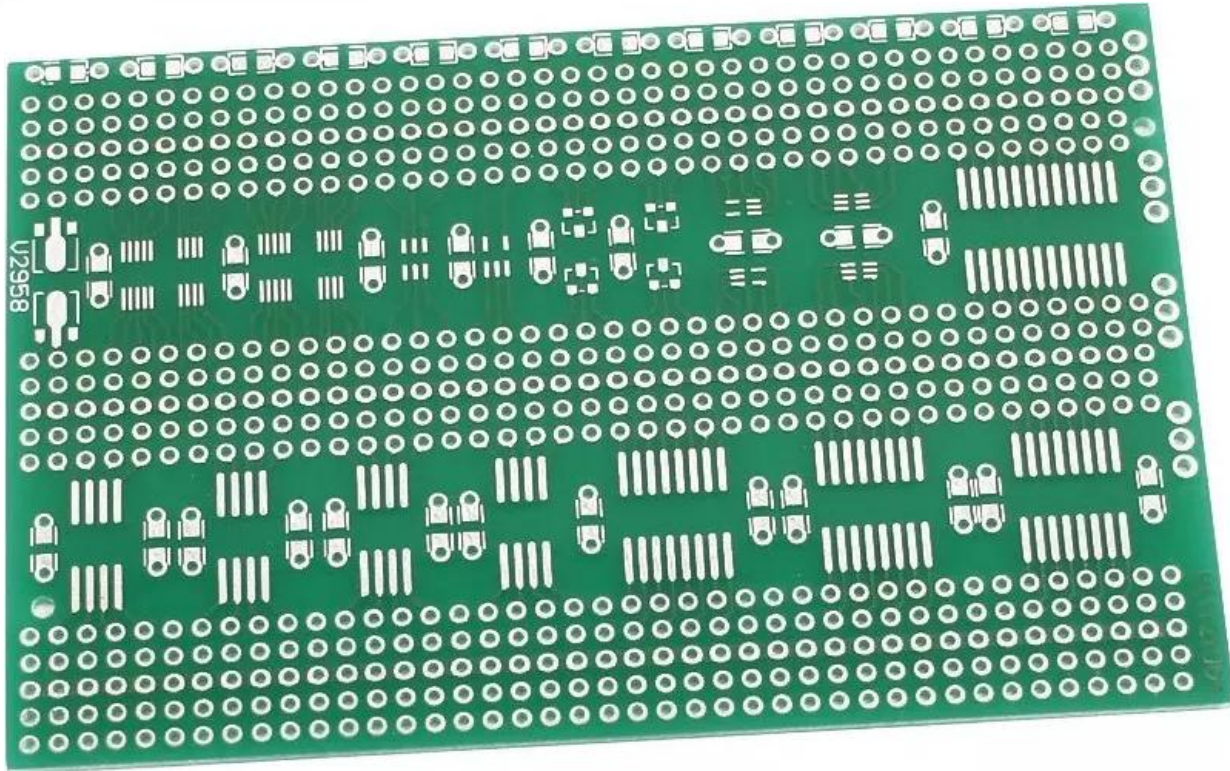
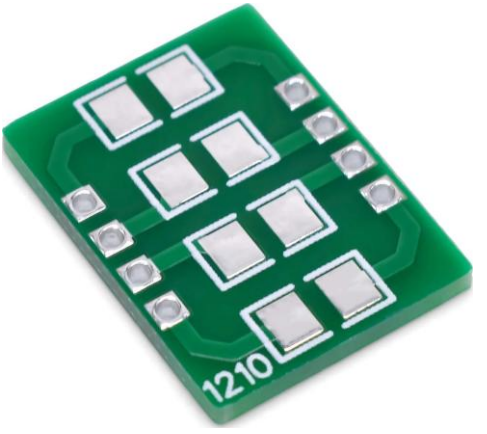
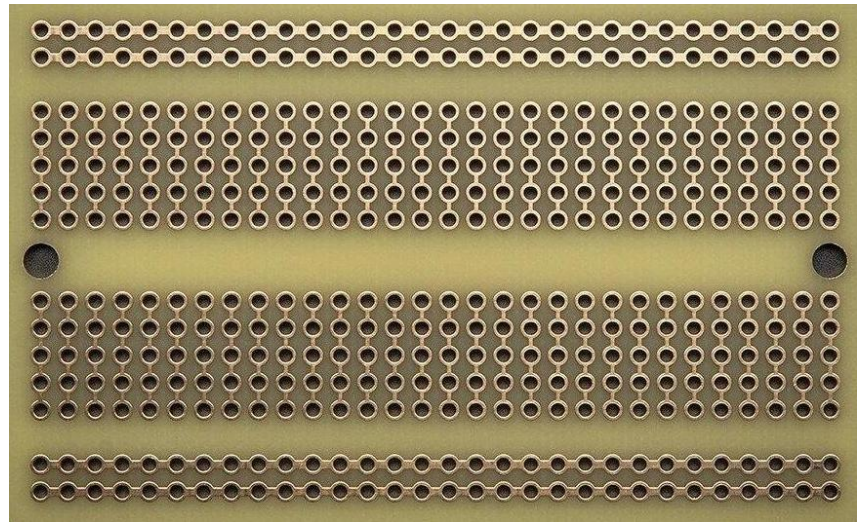
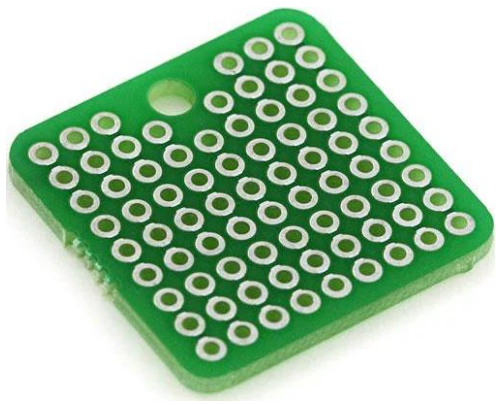
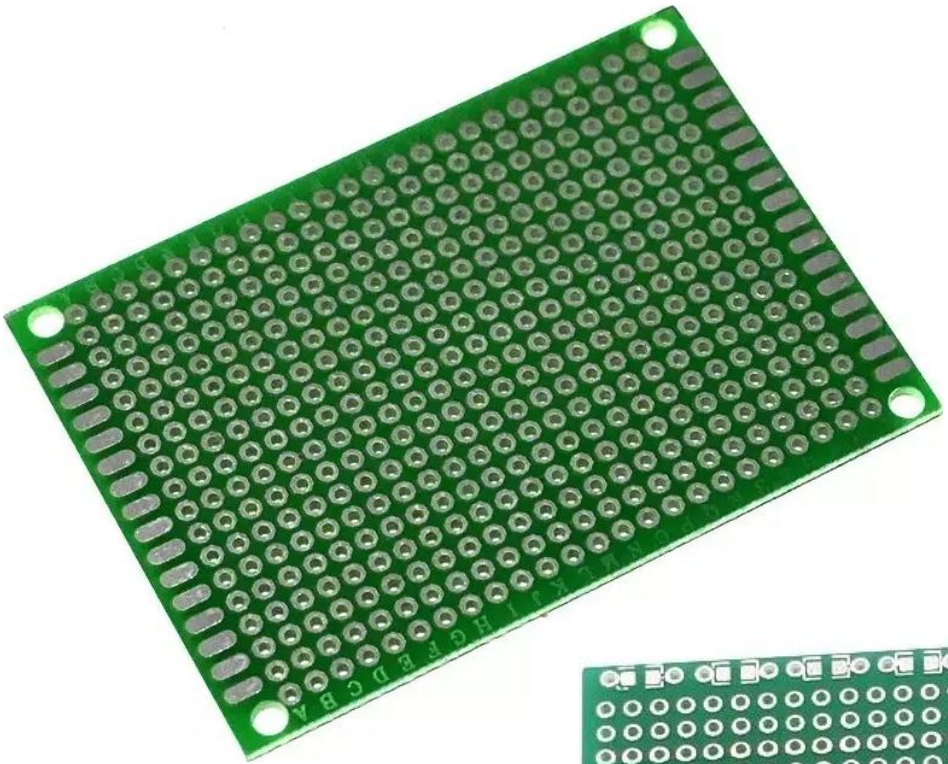
Oczywiście, ta wygoda ma swoją cenę...

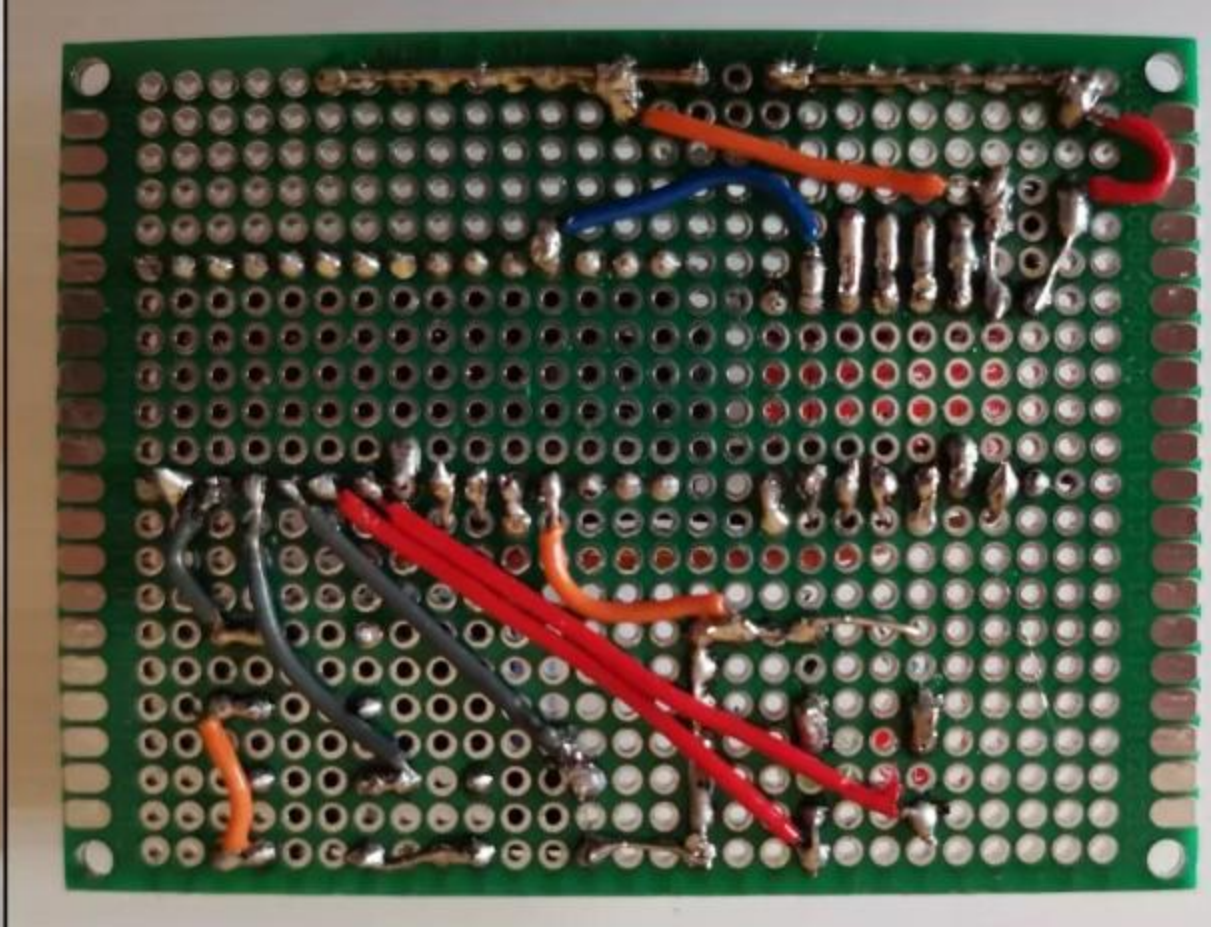
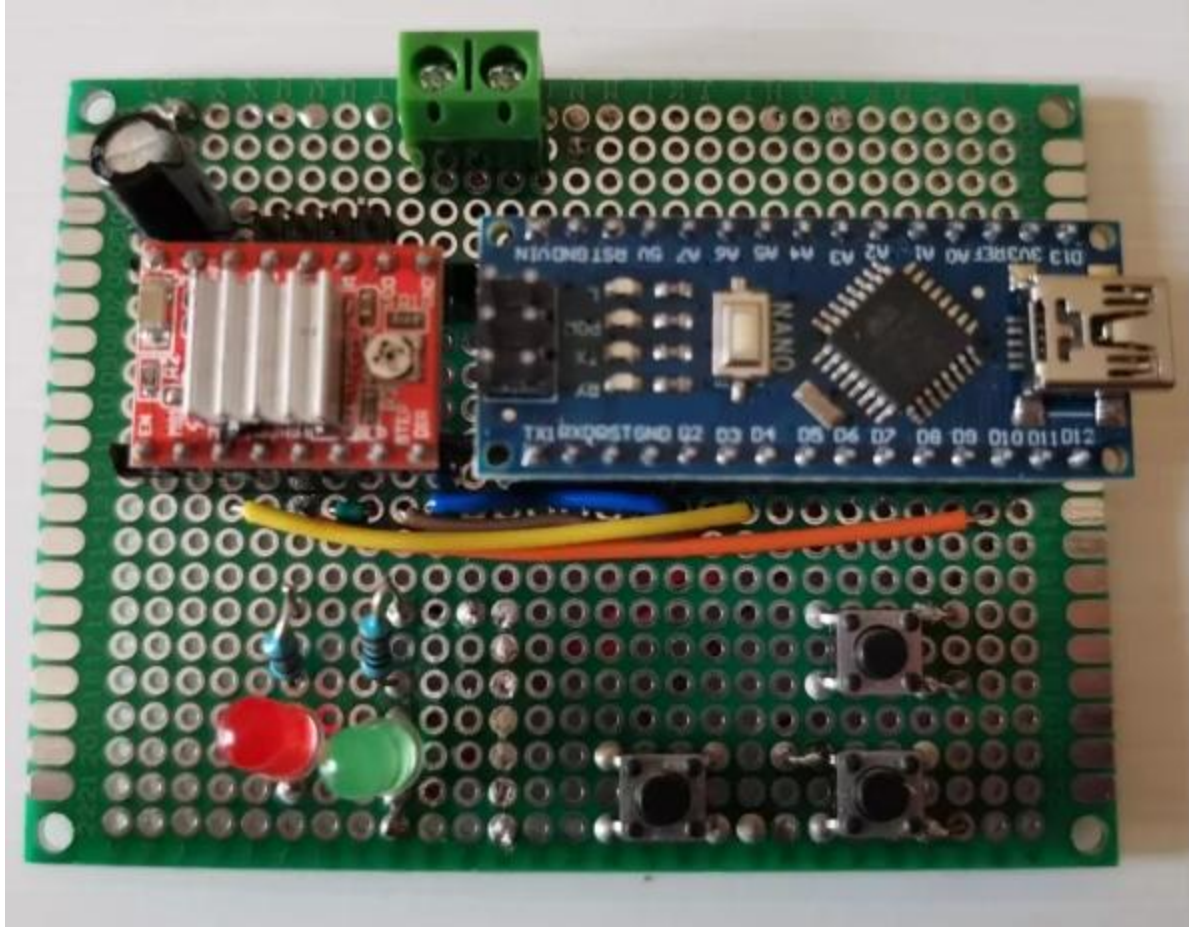
- Połączenia realizowane są poprzez docisk metalowych blaszek, więc z czasem lub przy poruszaniu układem mogą się one poluzować.
- Ponadto taka forma montażu generuje plątaninę przewodów i długie ścieżki połączeniowe o sporej pojemności i indukcyjności pasożytniczej, co ogranicza poprawne działanie układu do raczej niższych częstotliwości sygnałów (zwykle $< \sim 10$ MHz).
- Bardzo szybkie układy cyfrowe czy analogowe wzmacniacze o dużym wzmacnieniu mogą na płycie stykowej zachowywać się niestabilnie, generować zakłócenia lub po prostu nie działać poprawnie.

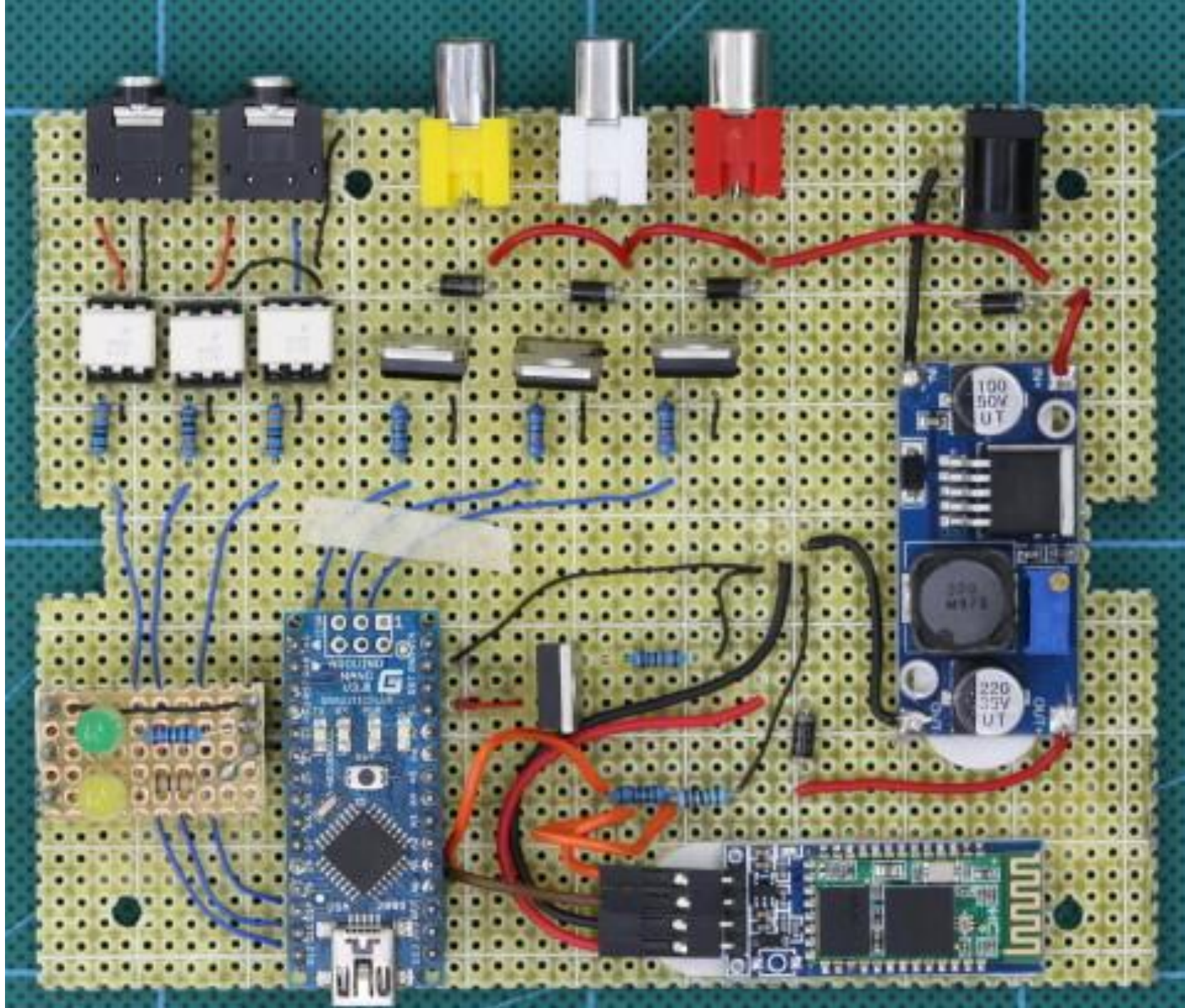
- Kolejnym ograniczeniem jest kompatybilność elementów – płytka stykowa akceptuje niemal wyłącznie elementy przewlekane o standardowym rastrze wyprowadzeń. Współczesne miniaturowe układy scalone nie pasują do płytki stykowej konieczne są specjalne adaptory.
- Większe moduły i płytki również trudno wpiąć bezpośrednio ze względu na rozmiar.
- Dlatego do bardziej złożonych projektów i nowszych komponentów płytka stykowa ma ograniczone zastosowanie.

Płytki prototypowa PCB

- Płytki prototypowa PCB to rodzaj płytki drukowanej z gęstą siatką otworów, które są otoczone metalizowanymi padami do lutowania elementów elektronicznych.
- Standardowy raster otworów to 2,54 mm, dzięki czemu pasują one do typowych elementów przewlekanych oraz układów w obudowach DIP.
- W odróżnieniu od płytki stykowej, tutaj połączenia elektryczne wykonujemy samodzielnie poprzez lutowanie komponentów i przewodów. Otwory na płytce prototypowej nie są ze sobą fabrycznie połączone. Projektant decyduje, które punkty zlutować lub zewrzeć cyną, tworząc w ten sposób własny układ ścieżek.



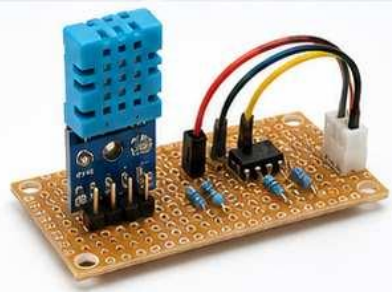




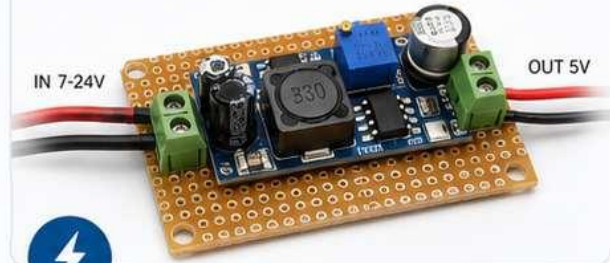
A zatem takie płytki służą do trwałego montażu prototypu układu elektronicznego...

- Więc np. po wstępnym przetestowaniu koncepcji na płytce stykowej możemy przenieść obwód na płytkę prototypową, aby uzyskać bardziej solidny i odporny na uszkodzenia montaż.
- Lutowanie elementów bezpośrednio na płycie zapewnia stabilne i trwałe połączenie, dużo odporniejsze na wibracje czy przypadkowe rozłączenie niż połączenia na płytce stykowej.
- Płytki prototypowe bywa więc pomostem między etapem prototypowania a gotowym urządzeniem.

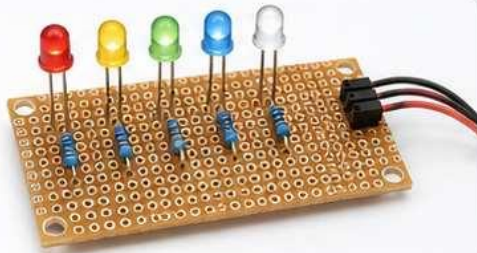
- Płytki takie pozwalają stworzyć w pełni działający układ, który można już bez obaw użytkować w dłuższym czasie lub w bardziej wymagających warunkach.
- Jeżeli projekt jest dopracowany i potrzebna jest wersja do długotrwałego użytku albo np. testy urządzenia w terenie, przeniesienie go z płytki stykowej na lutowaną płytkę PCB będzie dobrym pomysłem.
- Płytki uniwersalne są dostępne w wielu rozmiarach, liczbach otworów oraz w różnych kształtach. Łatwo dobrać odpowiednią do skali projektu.
- Nic nie stoi też na przeszkodzie, by płytka prototypowa posłużyła nawet w finalnej konstrukcji jednoegzemplarzowego urządzenia, gdy wykonanie profesjonalnego obwodu drukowanego PCB nie jest opłacalne lub konieczne.



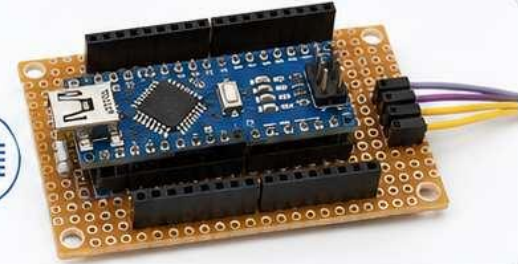
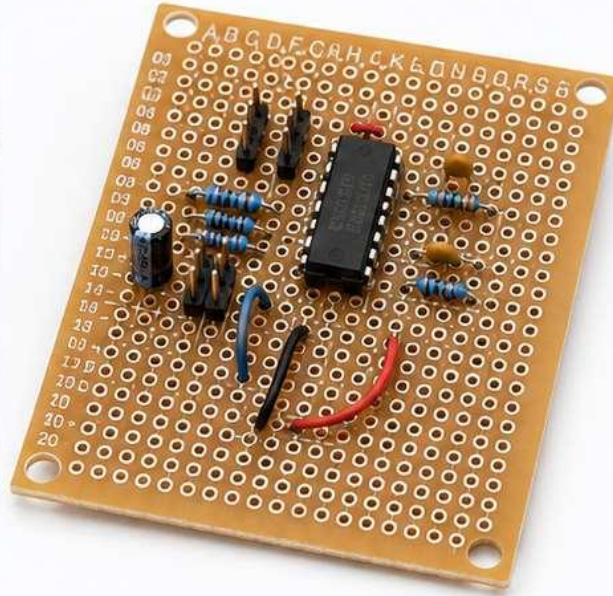
Sensor Interface Circuits



Small Power Modules



LED Control Circuits



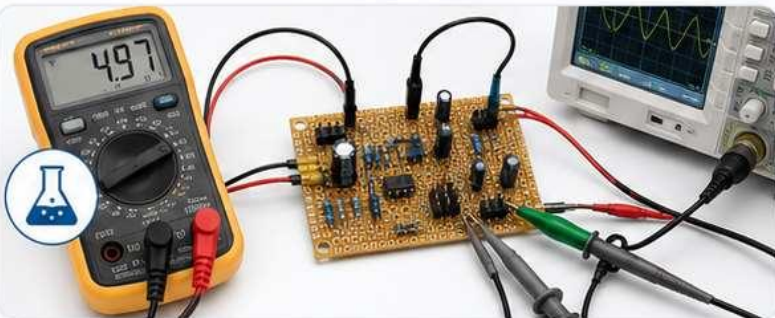
Microcontroller Expansion Boards



Audio Circuits



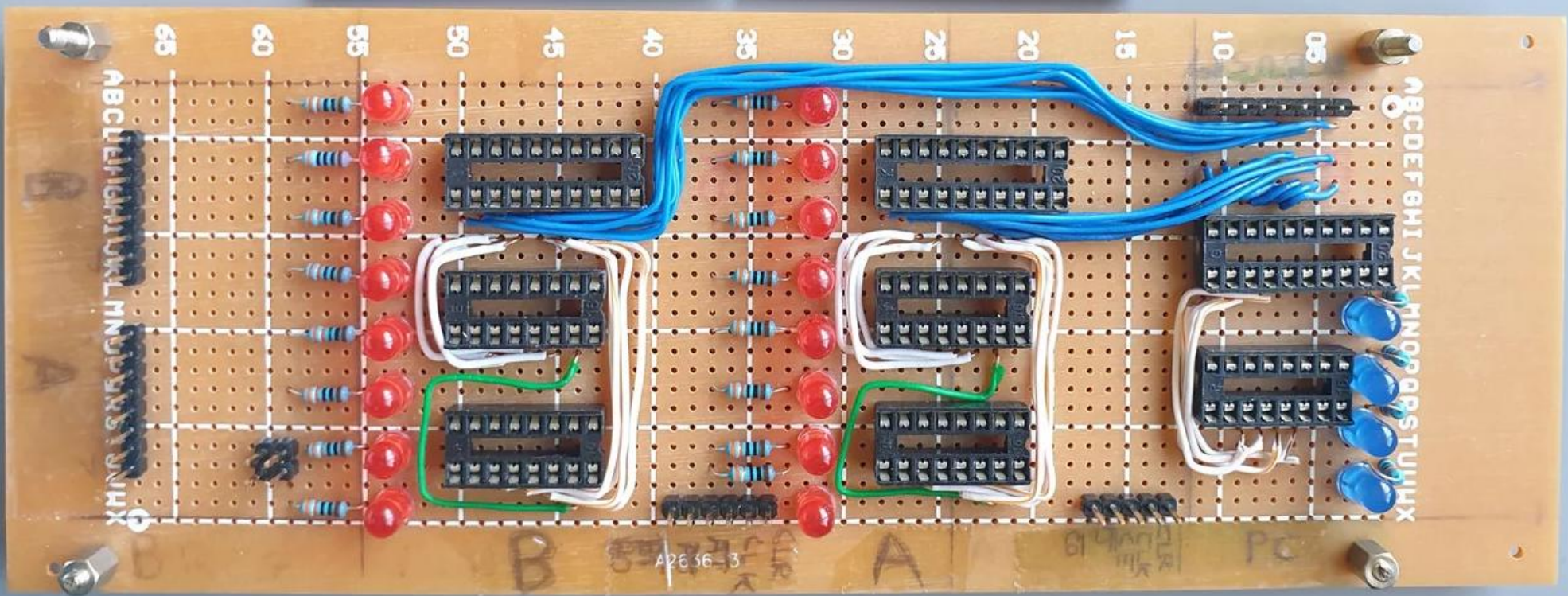
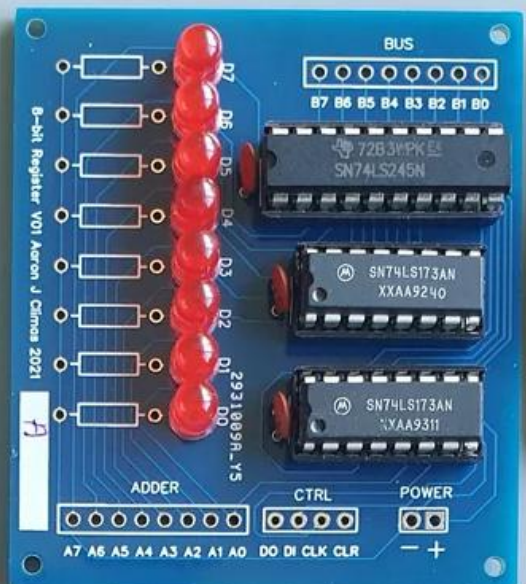
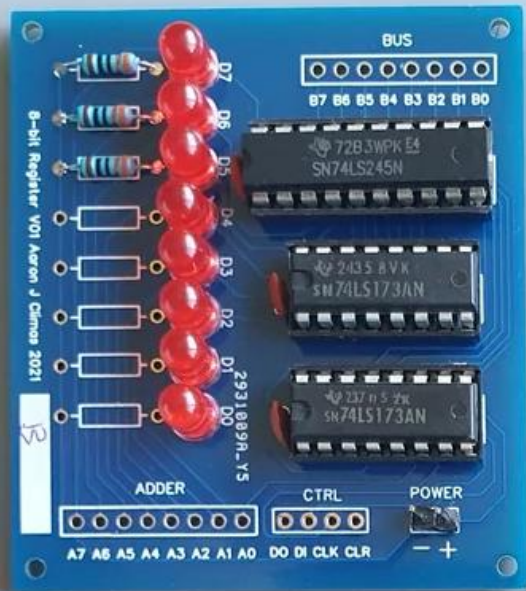
Relay and Switching Circuits

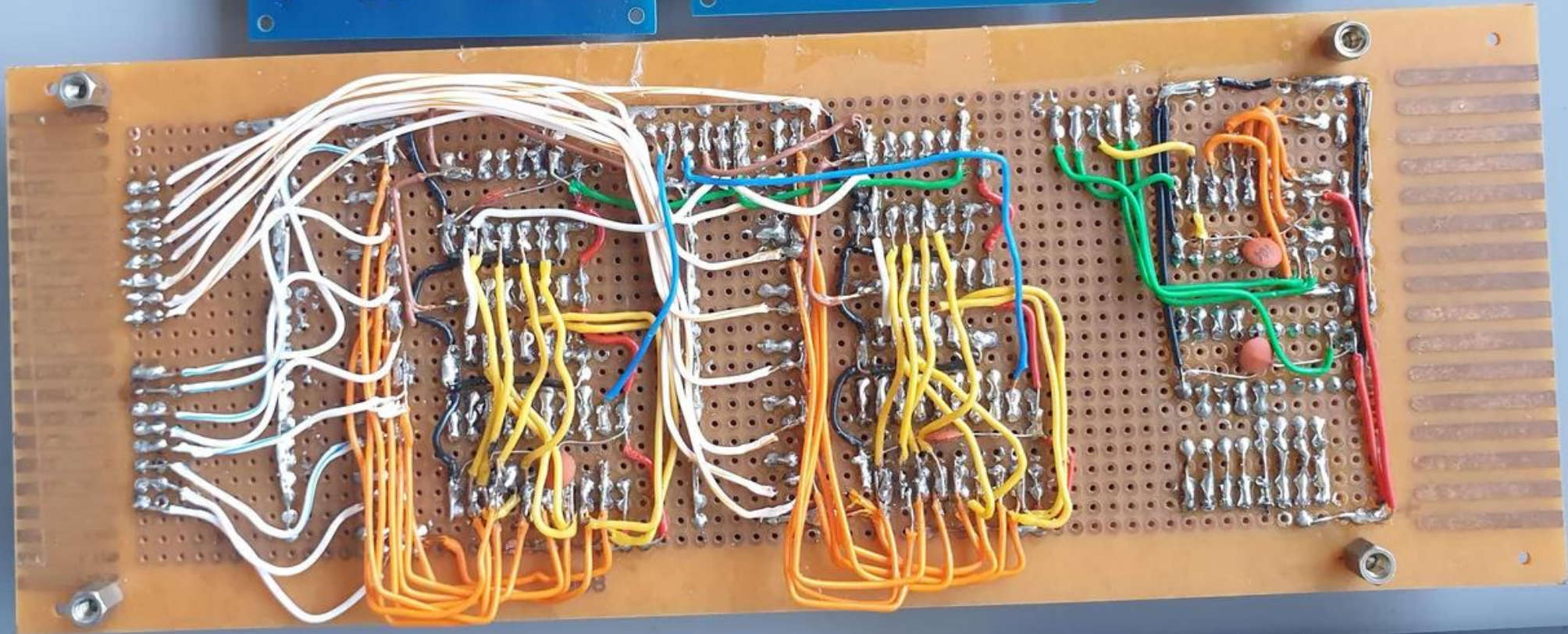
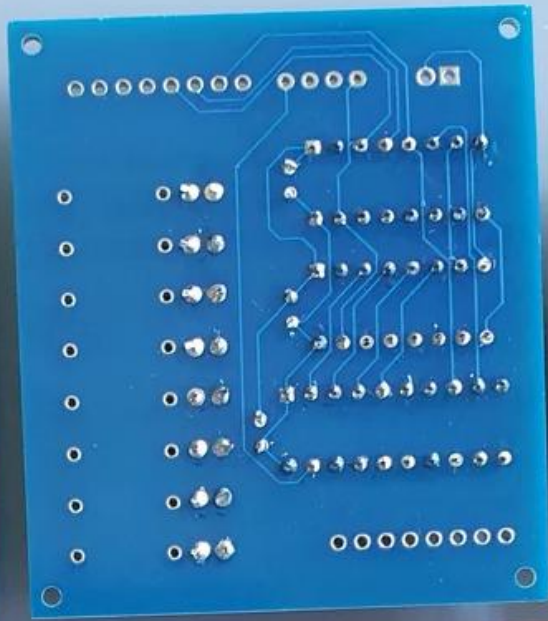
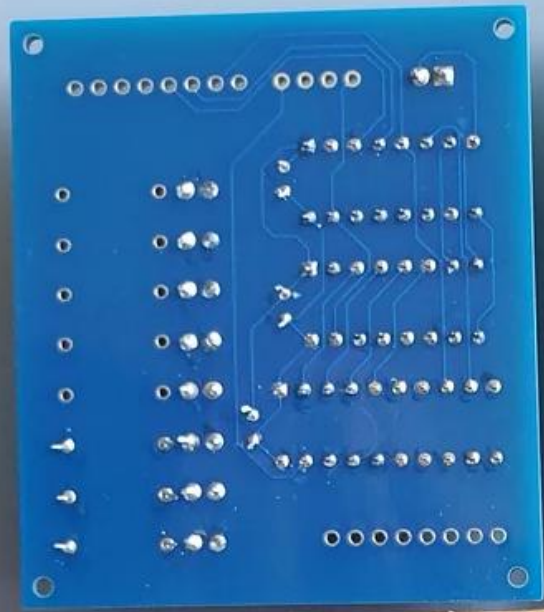


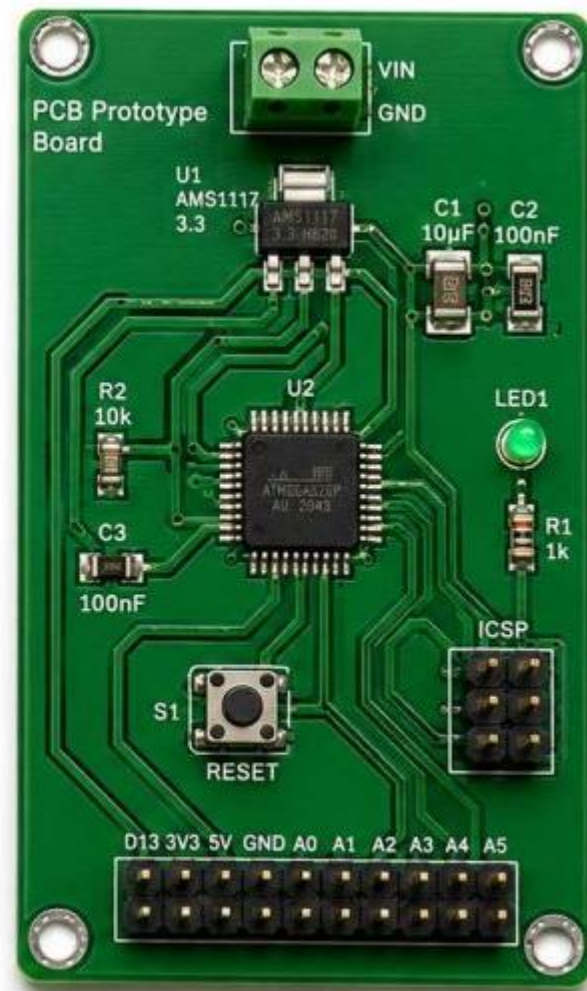
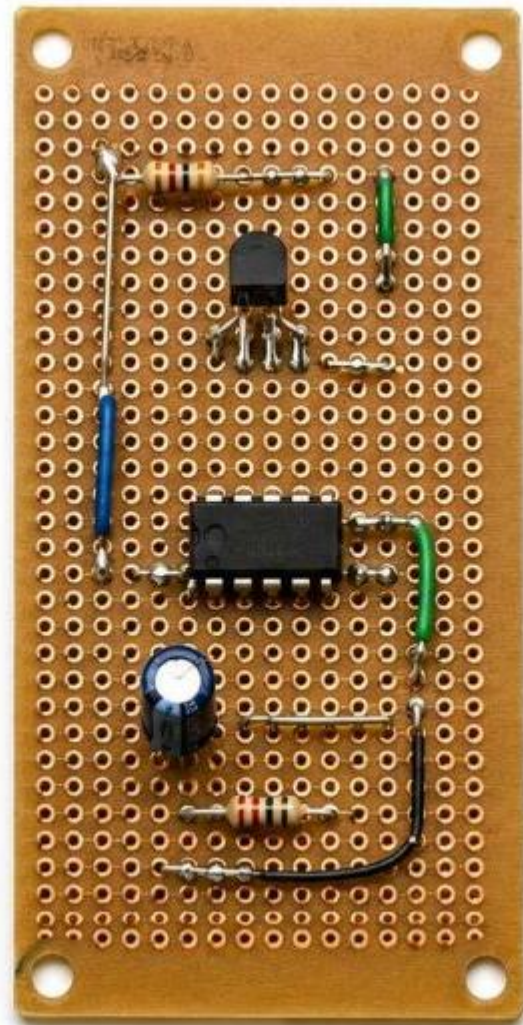
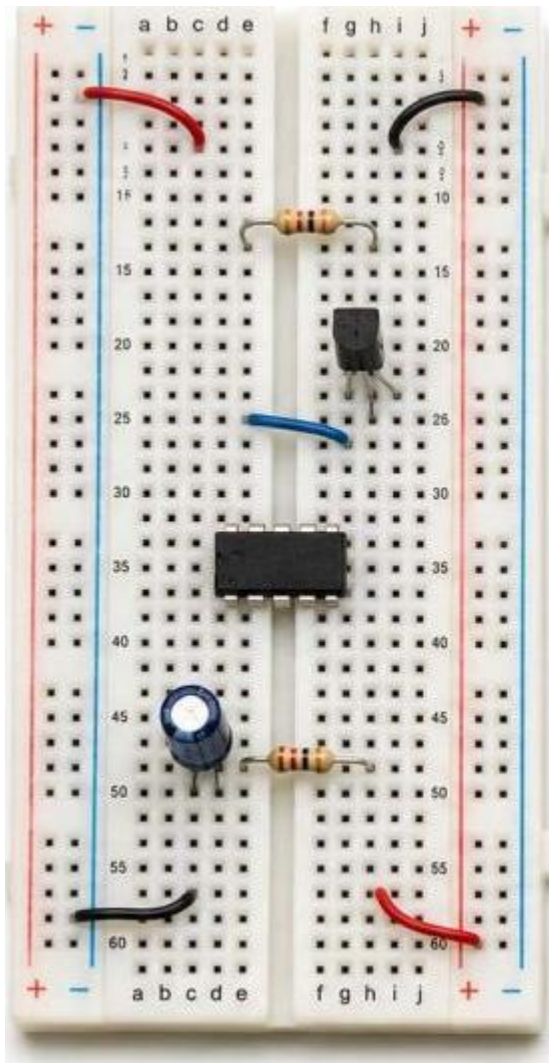
Lab Testing Fixtures



Early Product Prototypes







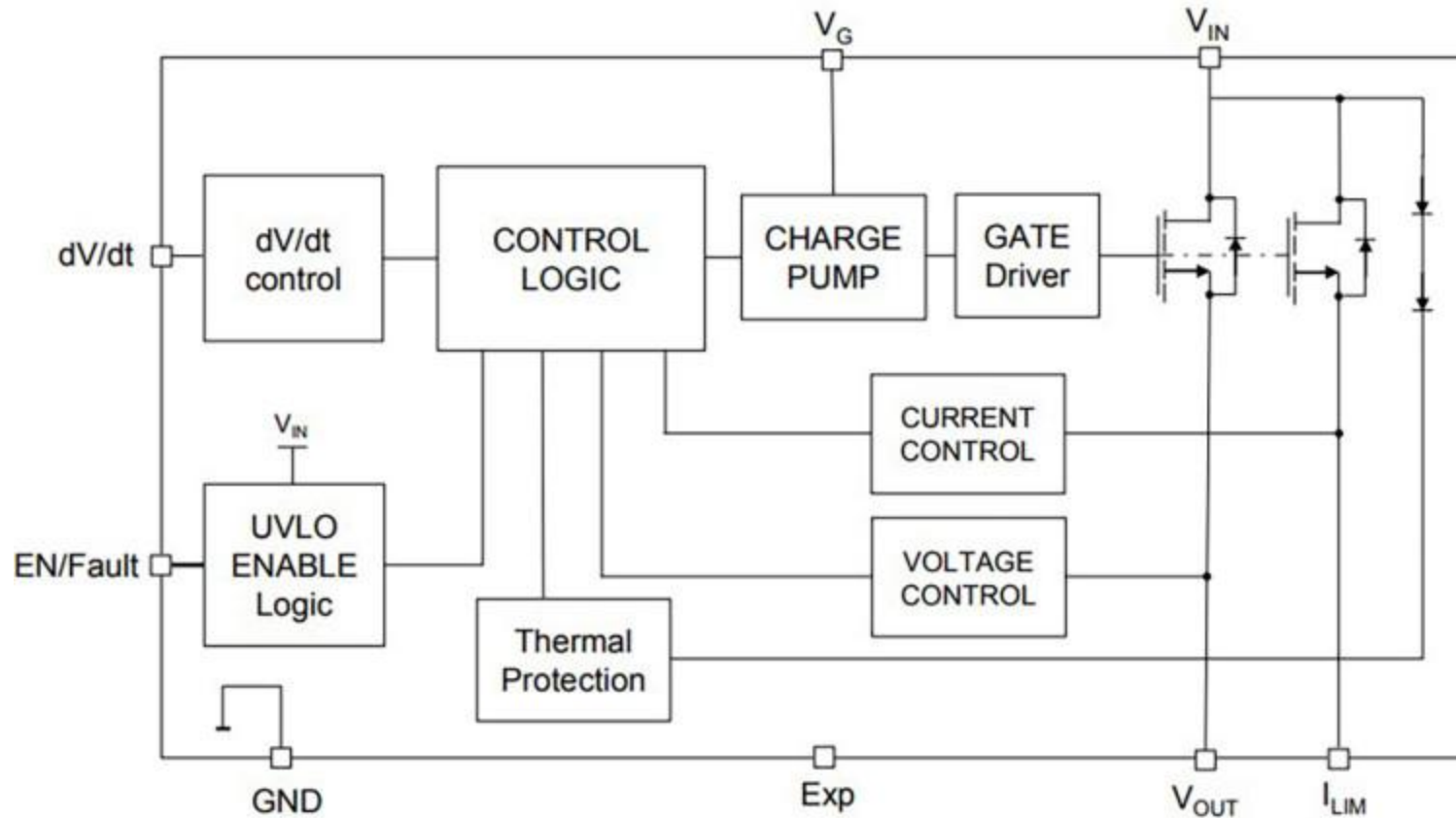
Jak uruchamiać układ?

- Najpierw sprawdź zasilanie.
- Sprawdź polaryzację kondensatorów, diod, układów scalonych.
- Zmierz zwarcie między zasilaniem a masą.
- Włącz przez ograniczenie prądowe.
- Najpierw testuj bloki, nie cały układ naraz.
- Nie zakładaj, że „program nie działa” — najpierw sprawdź zasilanie i sygnały.

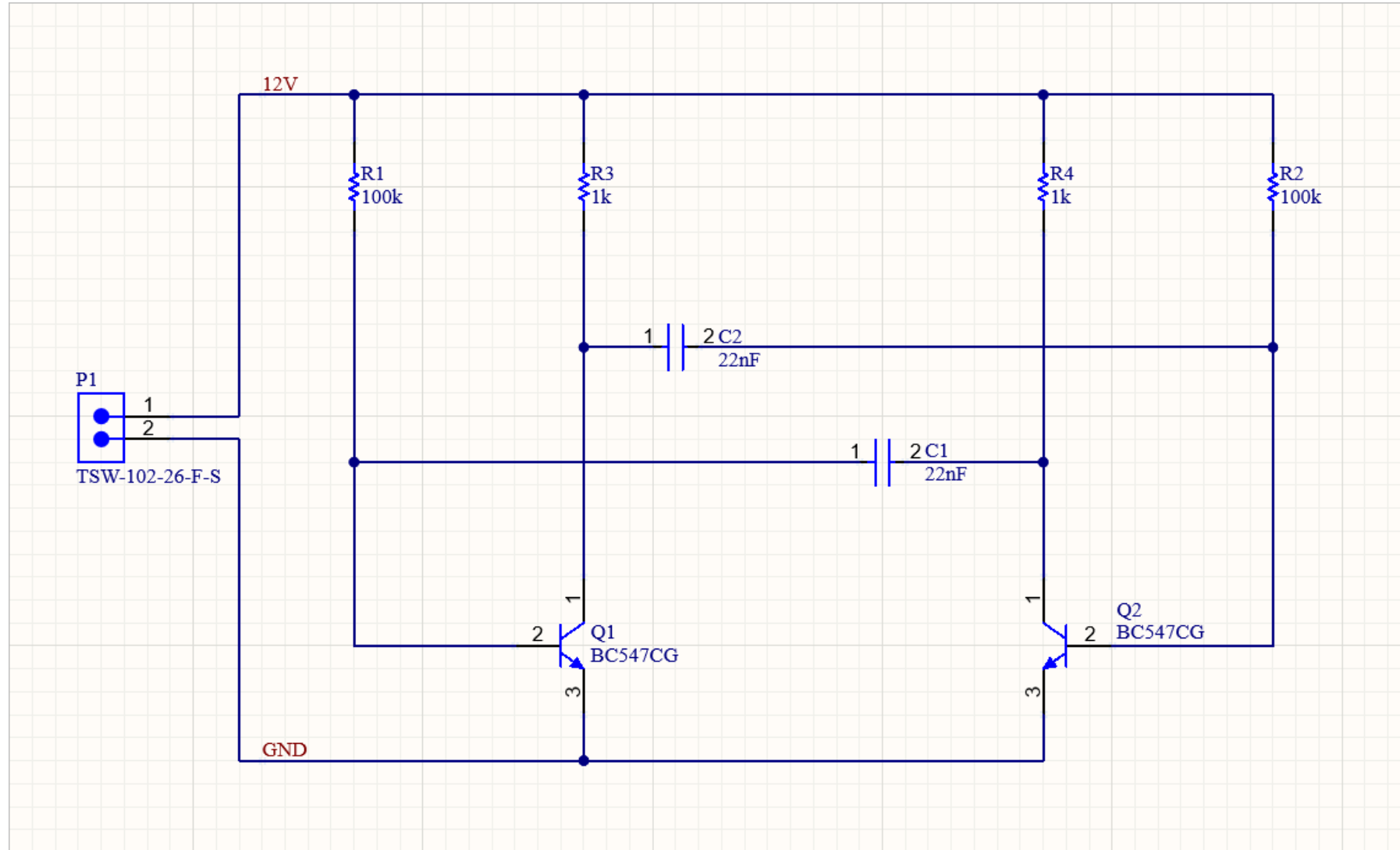
Jeżeli układ nie działa, najpierw mierzymy, potem zgadujemy.

PROJEKTOWANIE PCB

Schemat blokowy pozwala najpierw zrozumieć funkcję układu, zanim zaczniemy myśleć o konkretach.



Altium Designer



Dobór elementów

Dobierając element, nie patrzymy tylko na „czy działa”, ale też na:

- napięcie maksymalne,
- prąd maksymalny,
- moc strat,
- tolerancję,
- temperaturę pracy,
- obudowę,
- dostępność i cenę,
- możliwość lutowania,
- dokumentację.

Element elektroniczny nie jest tylko symbolem na schemacie – to rzeczywisty podzespół z ograniczeniami/cechami.



All

BC547C



BC547C X

	Manufacturer Part	Description	Category
	BC547C ON Semiconducto... 1 SPNs	Small Signal Bipolar Transistor, 0.1A I (C), 45V V(BR)CEO, 1-Element, NPN, Silicon, TO-92	BJTs
	BC547CG ON Semiconductor	Small Signal Bipolar Transistor, 0.1A I (C), 45V V(BR)CEO, 1-Element, NPN, Silicon, TO-92	LDO
	BC547CZL1G ON Semiconductor	Small Signal Bipolar Transistor, 0.1A I (C), 45V V(BR)CEO, 1-Element, NPN, Silicon, TO-92	BJTs
	BC858CLT3G ON Semiconductor	Small Signal Bipolar Transistor, 0.1A I (C), 30V V(BR)CEO, 1-Element, PNP, Silicon, TO-236AB	BJTs
	BC547C Diotec	Small Signal Bipolar Transistor, 0.1A I (C), 45V V(BR)CEO, 1-Element, NPN, Silicon, TO-92	BJTs
	BC547-C NXP Semiconductors	Small Signal Bipolar Transistor, 0.1A I (C), 45V V(BR)CEO, 1-Element, NPN, Silicon, TO-92	Transistors
	BC547CBU ON Semiconducto...	Small Signal Bipolar Transistor, 0.1A I (C), 45V V(BR)CEO, 1-Element, NPN, Silicon, TO-92	BJTs
	BC547CTA ON Semiconducto...	Small Signal Bipolar Transistor, 0.1A I (C), 45V V(BR)CEO, 1-Element, NPN, Silicon, TO-92	BJTs
	BC547CTFR ON Semiconducto...	Small Signal Bipolar Transistor, 0.1A I (C), 45V V(BR)CEO, 1-Element, NPN, Silicon, TO-92	BJTs

Results: 42

Details

£0.087

BC547C

ON Semiconductor / Fairchild
Small Signal Bipolar Transistor, 0.1A I(C), 45V V(BR)CEO, 1-Element, NPN, Silicon, TO-92

Datasheet



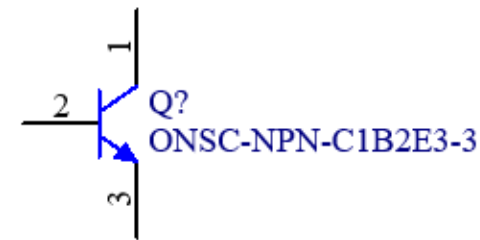
Parameters

Model Info

Manufacturer Part Nu...	BC547C
RoHS Compliant	Yes
Reach SVHC Compliant	No
Manufacturer	ON Semiconductor / Fa...
Category	BJTs

[Show More](#)

Models



SYM-0050-00113-1

Rev.1

OK

Cancel

Types of Packages

Insertion Mounting

Surface Mounting

1 side

2 side

Grid

2 side

4 side

Grid

SIP

ZIP

DIP

PGA

SOP

SOJ

SON

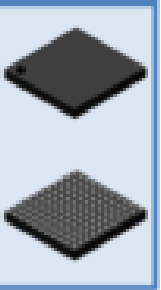
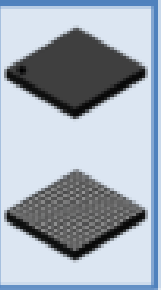
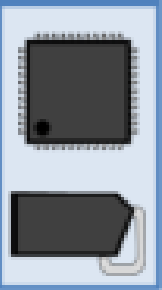
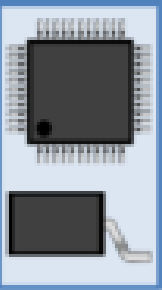
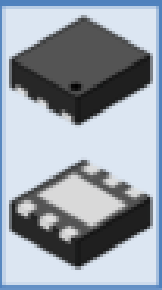
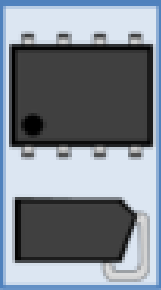
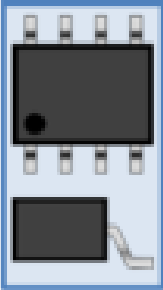
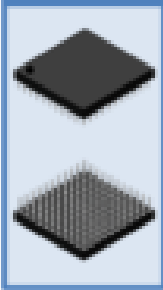
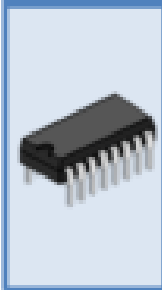
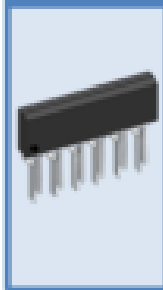
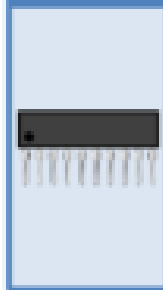
QFP

QFJ

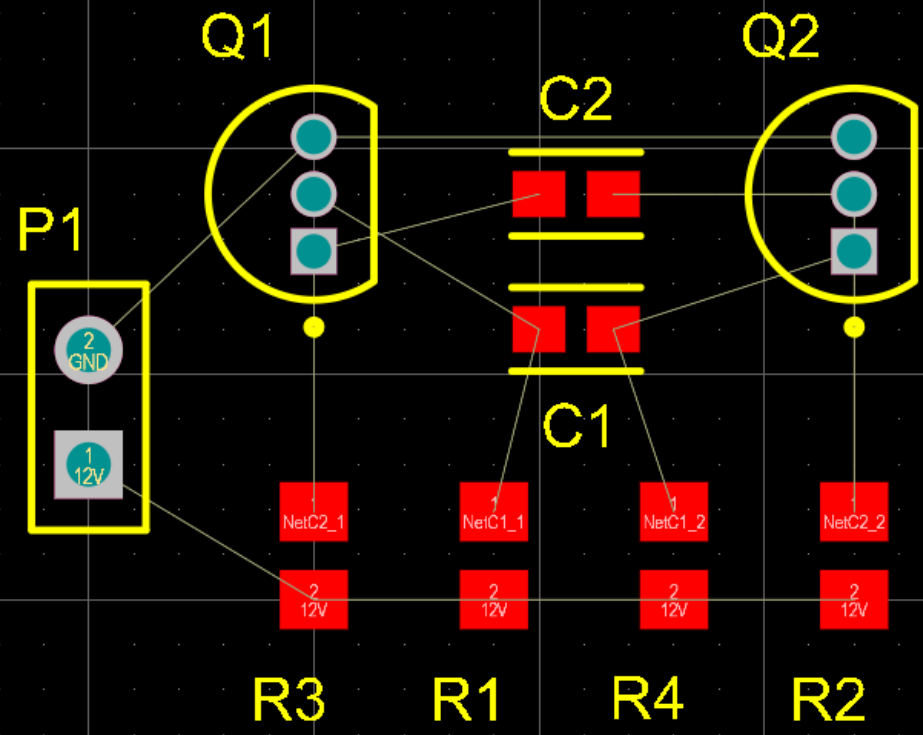
QFN

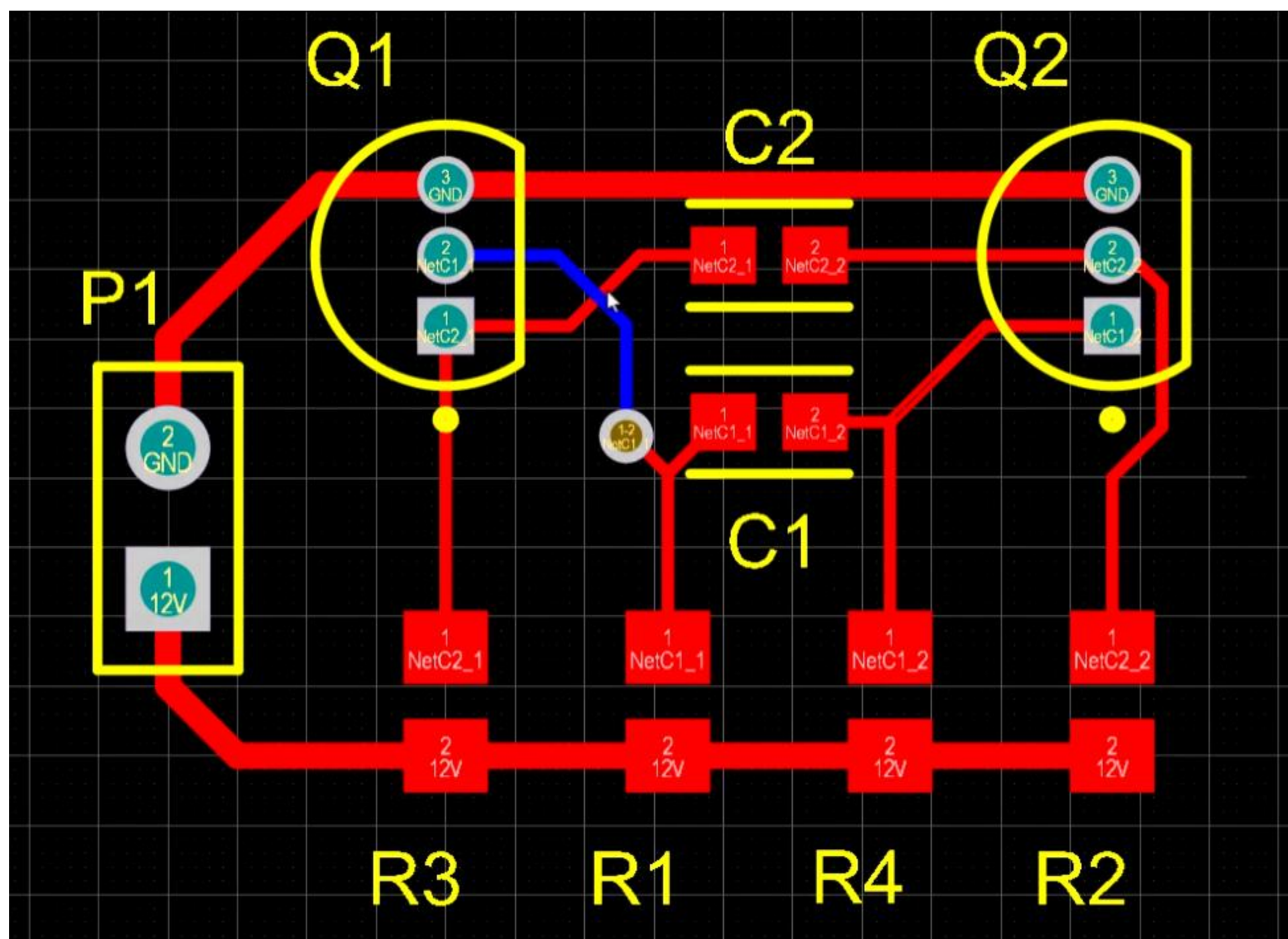
LGA

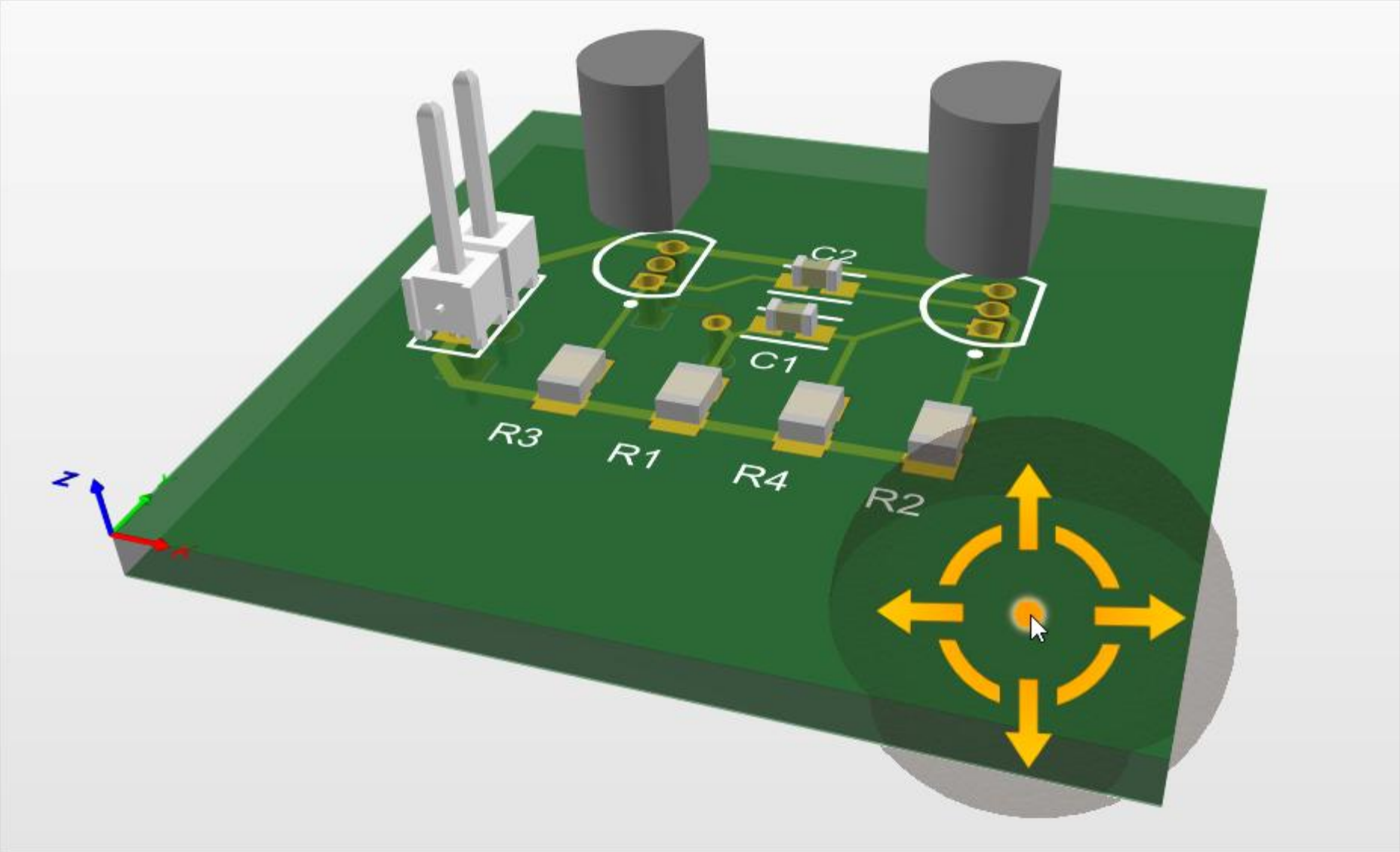
BGA



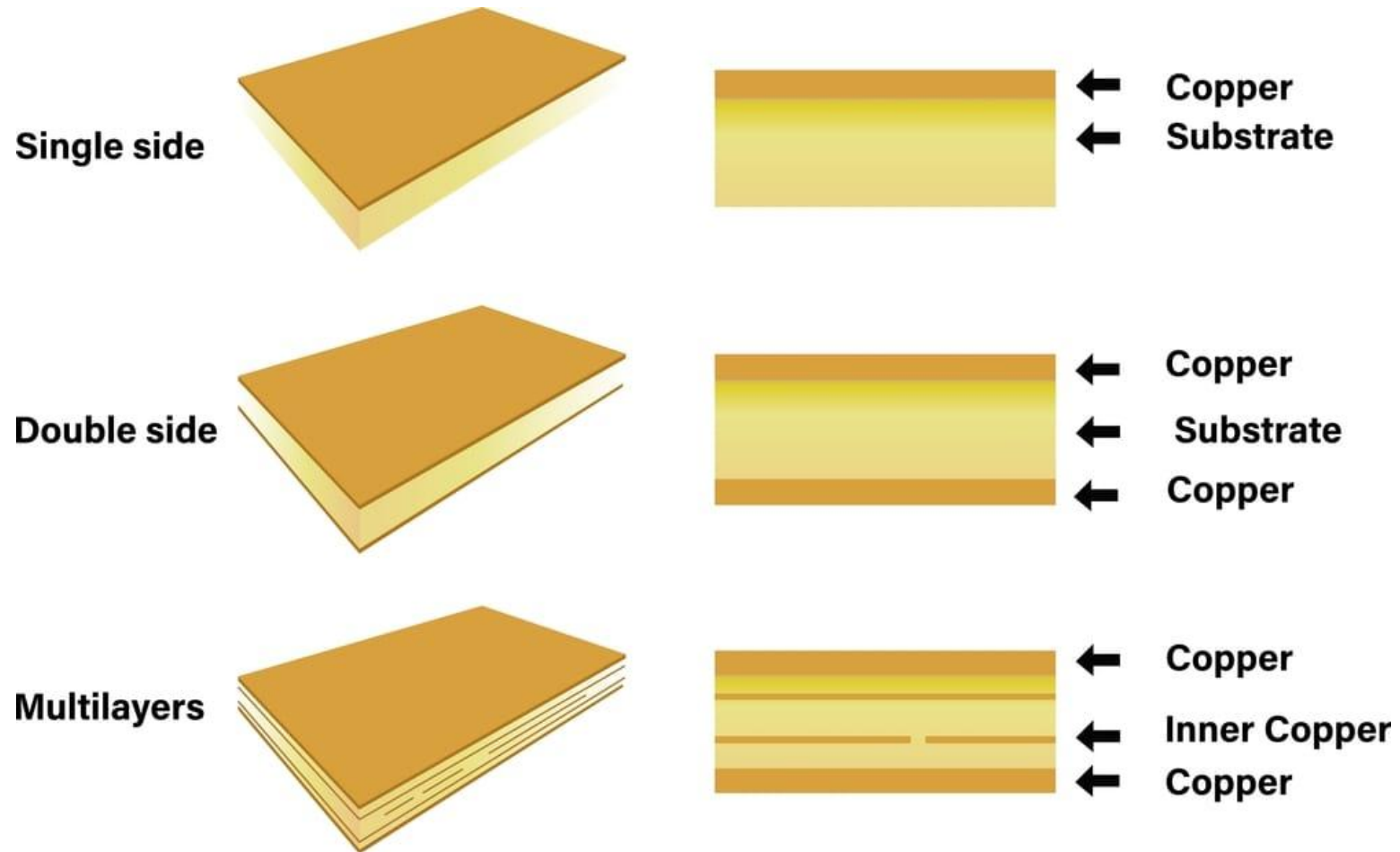
 QFN 16, 18, 20, 24, 28, 32, 38, 44, 48, 56, 64	 BGA 4, 5, 20, 46, 63, 64, 144, 256, 288	 BUMP 4, 5, 8, 9, 10, 12, 18, 20, 25, 30	 CARD 7	 CL 68, 84	 MiniSOIC 8	 MLP 6, 10, 11, 16, 28	 MPF 9
 CSP 20, 32	 D2-PAK (TO-263) 3	 D2-PAK (TO-263) 5, 7	 DBS 17	 DFN 6, 8, 10, 26	 Multiwatt (TO-220) 11, 15	 NSOIC 8, 14, 16	 PentawattHV 5
 (Module - DIL) 28, 32, 36	 (Socket - DIL) 28	 DIP (DIL or PDIP) 4, 6, 7, 8, 10, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 28, 32, 36, 40, 42, 44, 48, 56, 64	 DPAK (TO-252) 2, 3	 EDIL 32	 PLCC 20, 28, 32, 36, 40, 44, 52, 68, 84	 PQFP 16, 44, 48, 64, 80, 100, 128, 132, 160, 208, 240	 PSOP 8
 FPK 2	 FOFP 64, 208	 GBP 4	 HLOFP 32	 HSOP 8, 20	 QSOP 16, 20, 24, 28	 SC70 3	 SC70 5, 6
 HTQFP 48, 64, 80, 100	 HTSSOP 8, 10, 14, 16, 20, 24, 32, 48, 56	 HVQFP 64	 JW 18, 20, 28, 40, 80	 LD 14	 SIL 7	 SIL 9	 SIL 11
 LFCSP 8, 16, 20, 32, 40, 48, 64	 LLP 6, 8, 10, 14, 16, 20, 24, 28, 32, 48, 56	 LP 3	 LQFP 32, 44, 48, 52, 64, 80, 100, 112, 128, 144, 176, 208	 MFL 8, 16, 28	 SOIC 4, 8, 10, 14, 16, 18, 20, 24, 28, 32, 44	 μSOIC 8	 SOJ 24, 28, 32, 36, 44
 MiniSOIC 8	 MLP 6, 10, 11, 16, 28	 MPF 9	 MQFP 44, 52, 80, 100, 144, 208	 MSOP 8, 10	 SIL 11	 SIP 3, 4, 5, 7, 8, 9, 11, 12, 38	 SO 8, 10, 16, 24, 28, 32, 36







Rodzaje płytek drukowanych

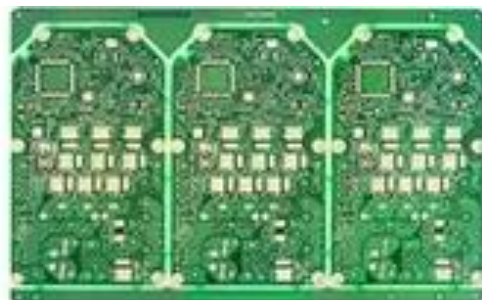




Single-Sided PCBs



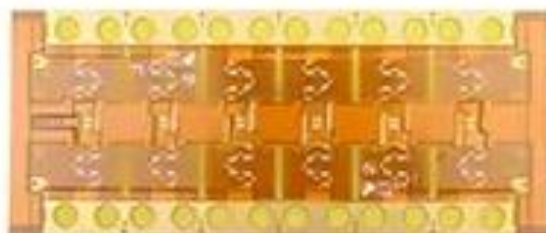
Double-Sided PCBs



Multilayer PCBs



Rigid PCBs



Flexible PCBs



Rigid-Flex PCBs

ZŁOTE ZASADY PROJEKTOWANIA PŁYTEK DRUKOWANYCH

1. Wybór właściwego gridu.
2. Każda ścieżka powinna być tak krótka i prosta, jak to możliwe.
3. Jeśli to możliwe, należy poszerzać ścieżki dystrybucji zasilania i masy.
4. Grupowanie współpracujących komponentów i powiązanych punktów testowych.
5. Rozmieszczanie płytek na formatkach produkcyjnych.
6. Stosowanie jak największej liczby jednakowych komponentów.
7. Częste uruchamianie funkcji kontroli projektu zgodnie z regułami.
8. Właściwe używanie nadruków informacyjnych.
9. Stosowanie kondensatorów filtrujących.

Wybór właściwego gridu (siatki)

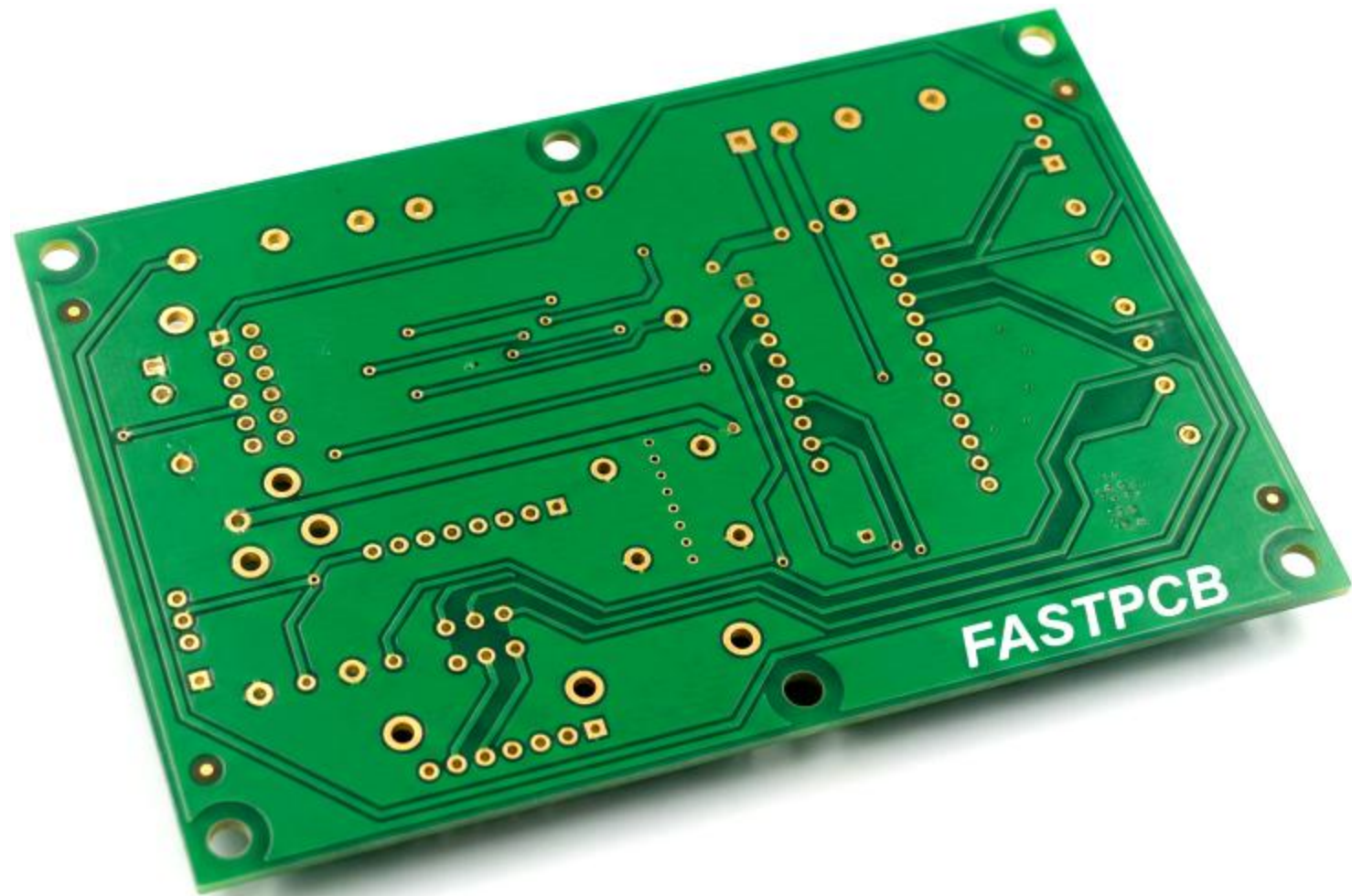
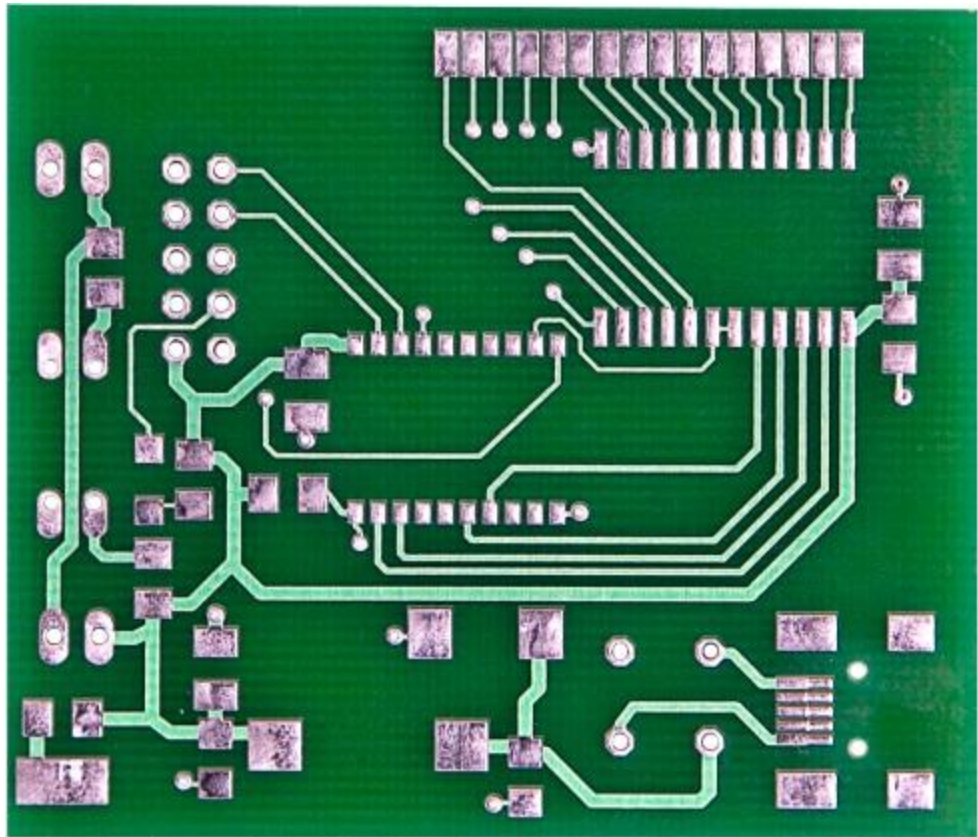
- Projektant płytki drukowanej powinien wybierać system, który najlepiej pasuje do jak największej liczby używanych komponentów.
- Dzięki możliwościom współczesnych programów używanie różnych gridów może wydawać się nieskomplikowane, jednak długofalowe myślenie o projekcie może ustrzec przed problemami z ułożeniem komponentów, zachowaniem odstępów pomiędzy nimi i umożliwić optymalne wykorzystanie przestrzeni na płycie. Wiele podzespołów jest oferowanych w obudowach o różnej wielkości, więc konstruktor może wybrać je zgodnie z preferencjami.
- Ważnym kształtem podczas wypełniania obszarów miedzią na płycie drukowanej jest wielokąt. Płytką, na której jest używane wiele gridów, może powodować deformacje kształtów wielokątów, co powoduje nierównomierne wypełnienie obszarów.

Każda ścieżka powinna być tak krótka i prosta, jak to możliwe

- Niby jest to oczywiste, ale o tej zasadzie należy pamiętać na każdym etapie projektowania płytki nawet, jeśli oznacza to prowadzenie ścieżek pod elementami w celu optymalizowania ich długości.
- Tej zasady należy przestrzegać przede wszystkim w obwodach analogowych i szybkich cyfrowych, bo w nich impedancja i efekt pasożytniczy połączeń mają szczególny wpływ na ograniczenie niezawodności systemu.

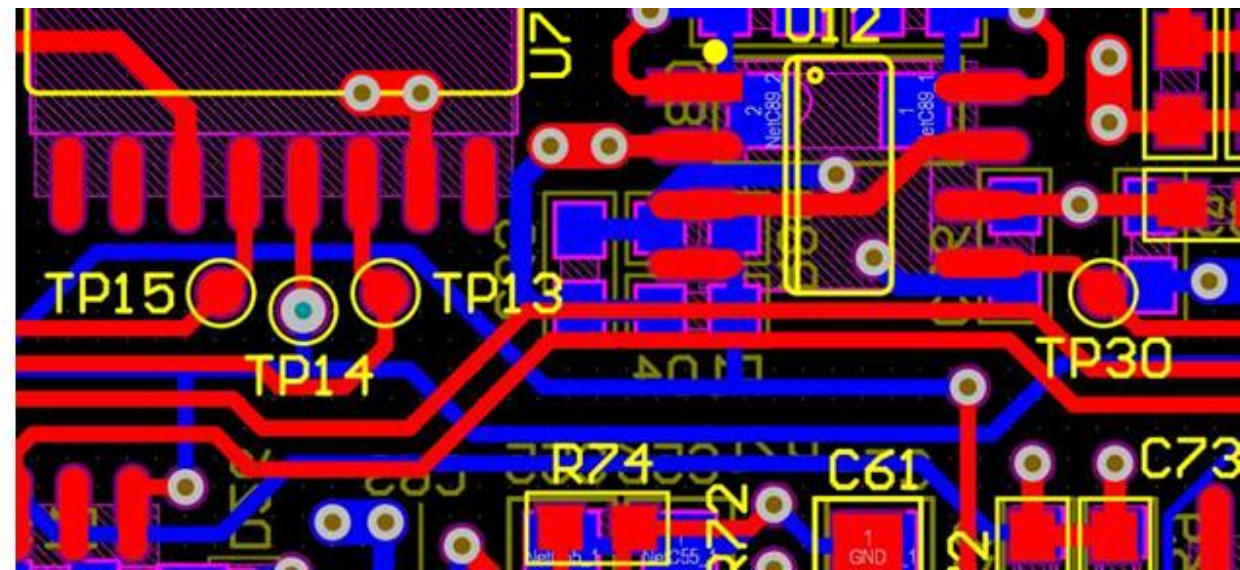
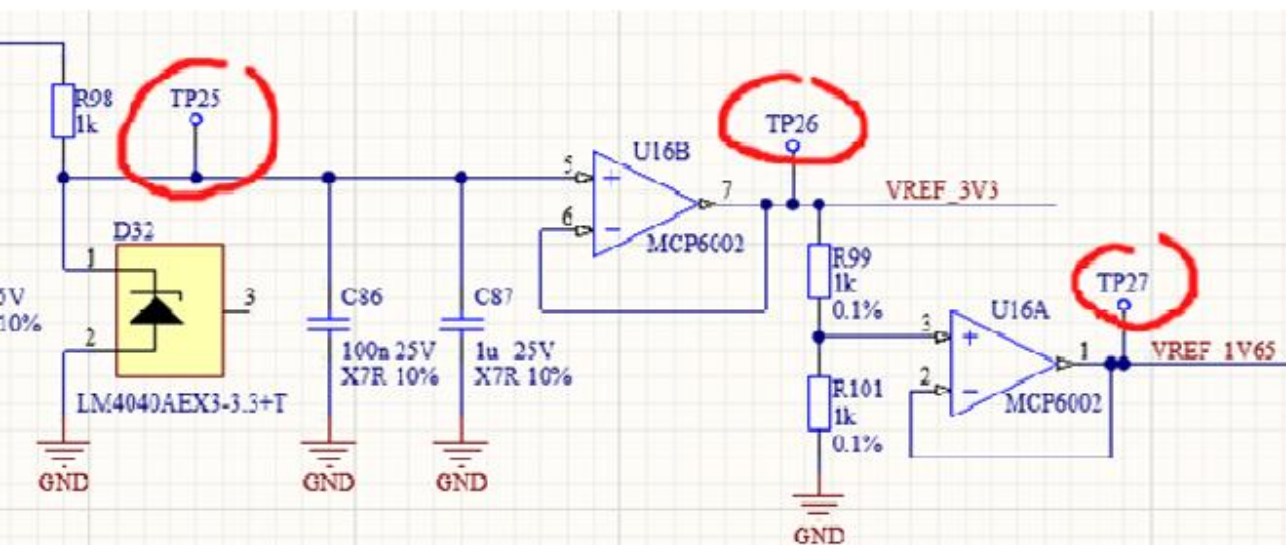
Jeśli to możliwe, należy poszerzać ścieżki dystrybucji zasilania i masy

- Używanie funkcji pokrywania miedzią połączeń zasilania jest dostępne i łatwe w większości programów do projektowania płytek drukowanych. Jej użycie powoduje zwiększenie przekroju połączeń zasilających i rzeczywiście pomaga upewnić się, że zasilanie jest dostarczane sprawnie, przy zachowaniu minimalnej impedancji i niewielkiego spadku napięcia oraz że ścieżka powrotu jest poprawna.
- Jeśli to możliwe, należy prowadzić wiele linii zasilających na tym samym obszarze płytki. Warto pamiętać, że jeśli powierzchnia masy zajmuje duży obszar na pojedynczej warstwie, to może ona mieć pozytywny wpływ na pracę obwodu poprzez zmniejszenie przestęchów pomiędzy ścieżkami biegnącymi na warstwach przyległych poniżej i powyżej.



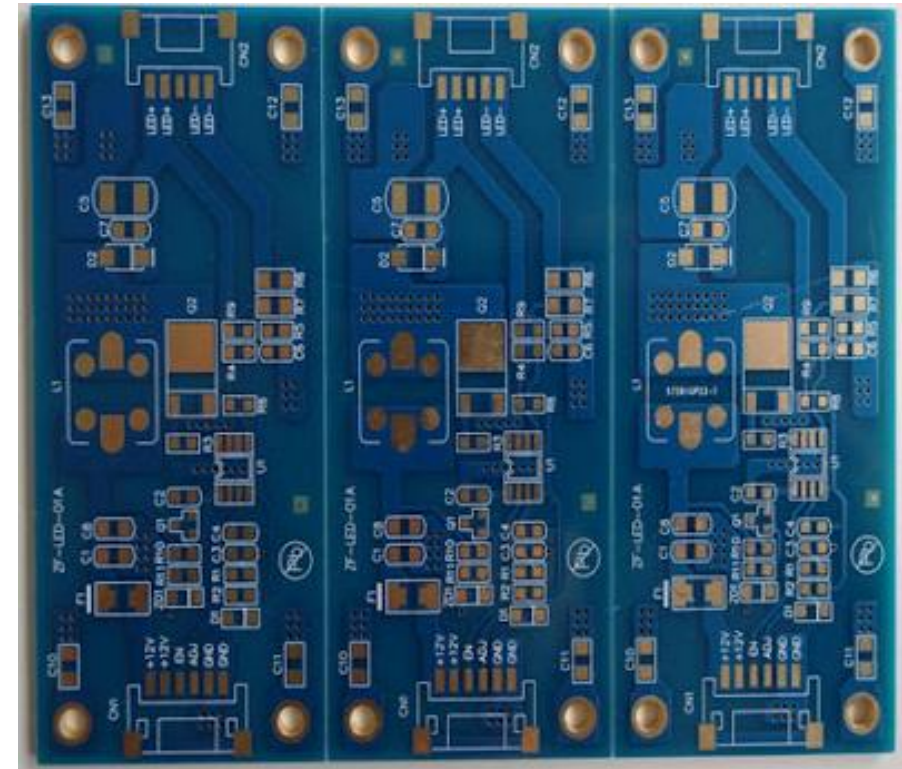
Grupowanie współpracujących komponentów i powiązanych punktów testowych (jeśli są potrzebne)

- Np. należy umieszczać komponenty dyskretne współpracujące ze wzmacniaczem operacyjnym tak blisko niego, aby kondensatory bocznikujące i rezystory dostawnie przylegały do obudowy WO.
- Pomaga to w zachowaniu zasady 2 oraz umożliwia łatwe testowanie obwodu i lokalizowanie usterek.



Rozmieszczanie płytek na formatkach produkcyjnych

- Producenci płytek używają pewnej standardowej wielkości laminatu potocznie nazywanej formatką i dlatego przy produkcji pojedynczej płytki nierzadko umieszcza się ją na kilkakrotnie większej powierzchni, która jest marnowana.
- Projektant powinien dostosować wielkość płytki do wielkości formatki pasującej do wyposażenia używanego przez producenta lub powielić ją tyle razy na pojedynczej formatce, aby jak najlepiej wykorzystać dostępną powierzchnię.
- Obniży to koszt prototypu i produkcji.



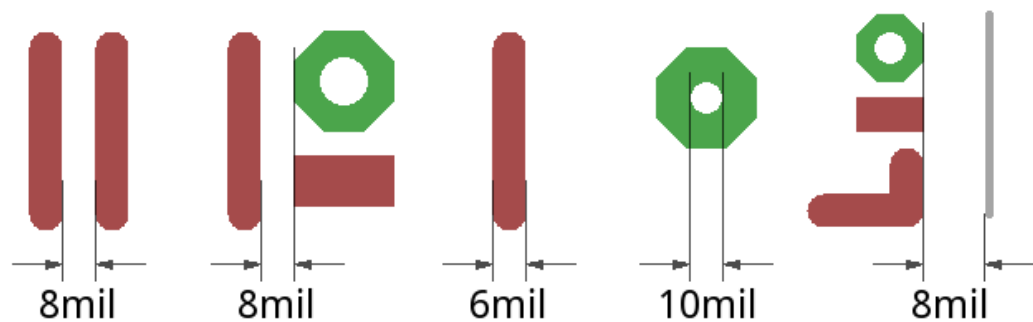
Stosowanie jak największej liczby jednakowych komponentów

- Konstruktor urządzenia może zastosować komponenty dyskretne, które w pewnym zakresie wartości pracują tak samo i nie wpływają na funkcjonowanie obwodu, dotyczy to zwłaszcza niektórych zastosowań elementów biernych.
- Używanie komponentów o wartościach z typoszeregu, jednakowych w obrębie płytki, upraszcza wykaz elementów i powoduje, że zmontowana płytka prawdopodobnie będzie tańsza, a lista części zamiennych krótsza.
- A zatem dzięki temu mamy łatwiejsze zakupy – mniej typów w BOM (Bill of Materials), prostszy montaż – mniejsze ryzyko pomyłek i niższe koszty – hurtowe zamówienia jednego typu.

Częste uruchamianie funkcji kontroli projektu zgodnie z regułami (tzw. DRC - Design Rule Check)

- Wykonanie przez program funkcji DRC nie zajmuje dużo czasu, a jej częste uruchamianie może zaoszczędzić wiele godzin pracy nad bardziej złożonymi projektami i jest bardzo dobrym nawykiem.
- Każda decyzja podejmowana odnośnie projektu płytki jest istotna, a funkcja DRC upewnia projektanta, że zmiany zostały wykonane zgodnie z regułami obowiązującymi dla danego projektu.

Minimum Design Specs



Możliwości technologiczne dla obwodów jedno- i dwustronnych

Parametr	Wartość typowa	Wartość graniczna
Minimalna szerokość przewodnika ¹ , mm	0,15	0,1
Minimalny odstęp izolacyjny między przewodnikami ¹ , mm	0,15	0,1
Minimalny odstęp między obwodem płytki i przewodnikami, mm	0,5 (cięcie V-cut)	0,25 (frezowanie)
Minimalna średnica otworu, mm	0,3	0,2
Minimalna szerokość pierścienia miedzi wokół otworu, mm	0,2	0,15
Graniczny stosunek średnicy otworu do grubości płytki	1:6	1:12
Minimalny odstęp między punktem lutowniczym a maską lutowniczą, mm	0,1	0,05
Minimalna szerokość odcinka maski między punktami lutowniczymi, mm	0,2	0,1
Minimalna szerokość linii opisu (sitodruk), mm	0,15	0,15
Minimalna wysokość czcionki opisu, mm	1	0,8

Właściwe używanie nadruków informacyjnych

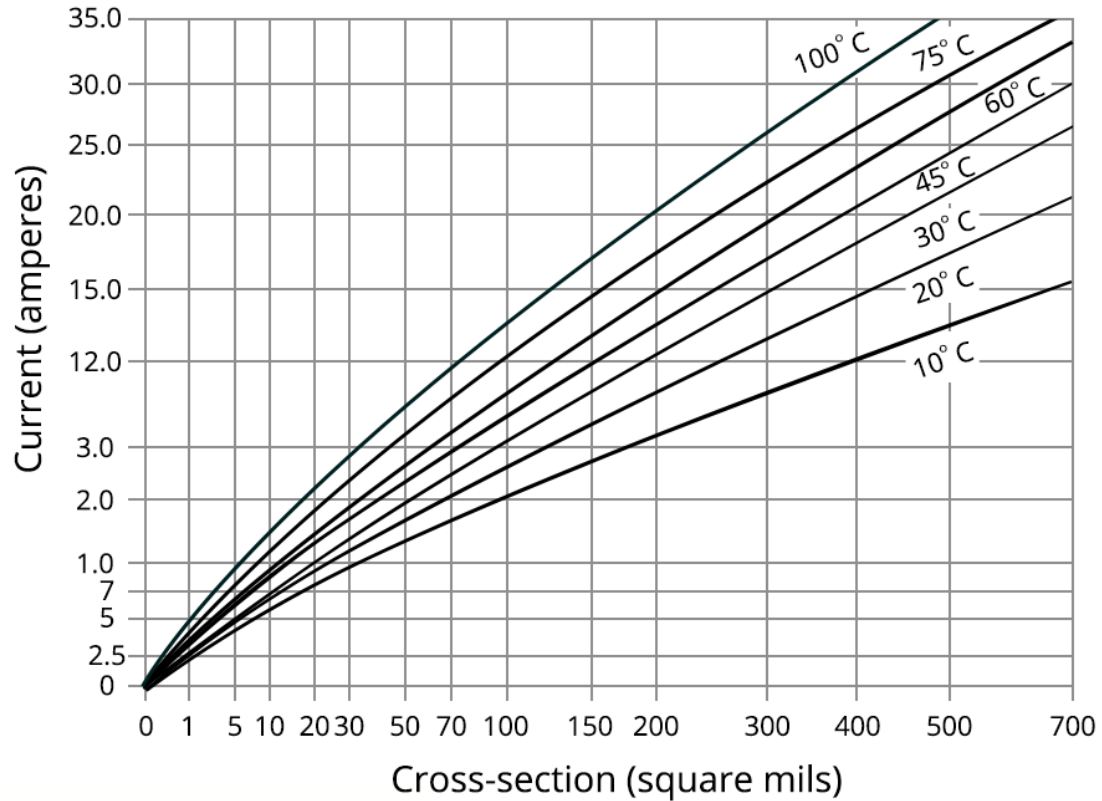
- Nadruk informacyjny może być używany do prezentowania użytecznych informacji dla montażysty, serwisanta, inżyniera testującego lub nawet instalatora czy operatora urządzenia.
- Oczywiście wydaje się umieszczanie na warstwie nadruku komunikatów lub opisu funkcji czy punktów testowych, jednak równie ważne jest odpowiednie oznaczenie wszędzie tam, gdzie to możliwe poprawnej orientacji komponentów i złącz.
- Nawet jeśli numer komponentu zaczyna się lub kończy pod jego obudową, to jest użyteczny.
- Używanie pełnych opisów na obu widocznych warstwach płytki może zmniejszyć nakład pracy i usprawnić produkcję.

Stosowanie kondensatorów filtrujących

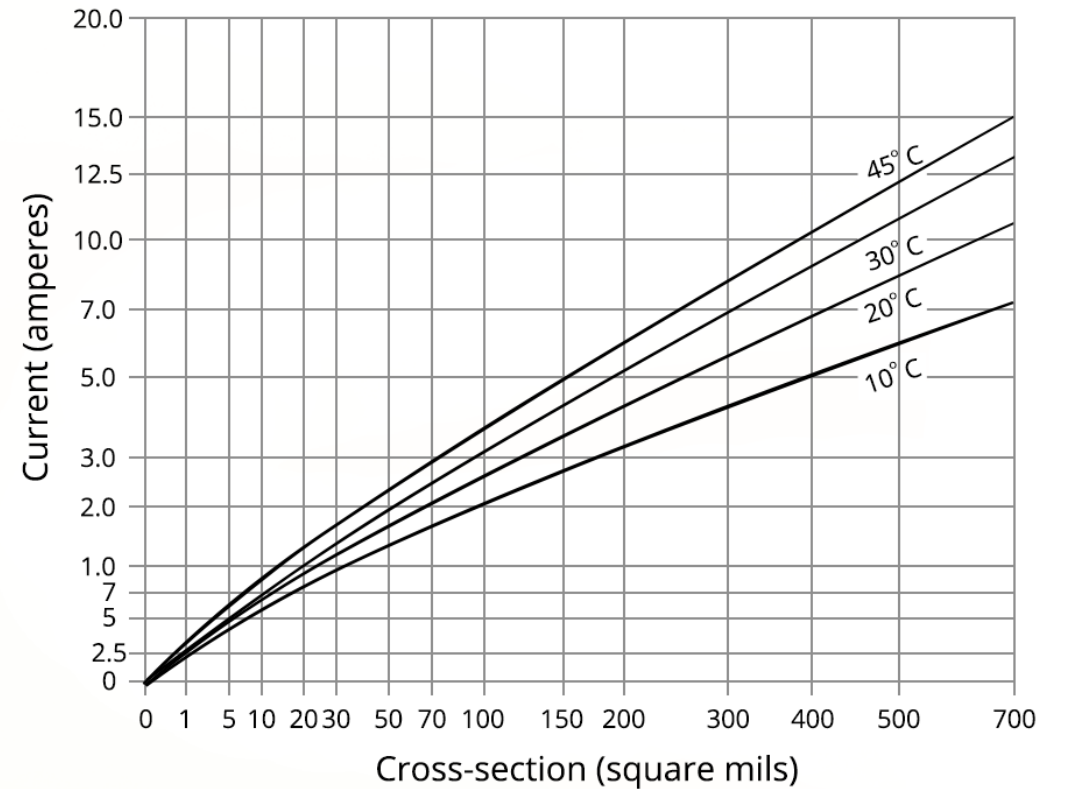
- Kondensatory filtrujące zasilanie nie są rozwiązaniem opcjonalnym.
- Nie wolno podejmować prób „optymalizowania” projektu przez unikanie stosowania kondensatorów filtrujących, odprzegajających linie zasilające, ufając granicznym parametrom komponentów podanym w kartach katalogowych.
- Kondensatory są niedrogie, wytrzymałe i łatwe w użyciu, więc warto poświęcić nieco czasu włączając je we wszystkich możliwych miejscach z jednoczesnym zachowaniem zasady 6, która mówi o używaniu zakresu wartości standardowych.

Obciążalność prądowa ścieżek

External Conductor



Internal Conductor



Odległości między ścieżkami w zależności od napięcia między nimi

Table 6-1 Electrical Conductor Spacing

Voltage Between Conductors (DC or AC Peaks)	Minimum Spacing						
	Bare Board				Assembly		
	B1	B2	B3	B4	A5	A6	A7
0-15	0.05 mm [0.00197 in]	0.1 mm [0.0039 in]	0.1 mm [0.0039 in]	0.05 mm [0.00197 in]	0.13 mm [0.00512 in]	0.13 mm [0.00512 in]	0.13 mm [0.00512 in]
16-30	0.05 mm [0.00197 in]	0.1 mm [0.0039 in]	0.1 mm [0.0039 in]	0.05 mm [0.00197 in]	0.13 mm [0.00512 in]	0.25 mm [0.00984 in]	0.13 mm [0.00512 in]
31-50	0.1 mm [0.0039 in]	0.6 mm [0.024 in]	0.6 mm [0.024 in]	0.13 mm [0.00512 in]	0.13 mm [0.00512 in]	0.4 mm [0.016 in]	0.13 mm [0.00512 in]
51-100	0.1 mm [0.0039 in]	0.6 mm [0.024 in]	1.5 mm [0.0591 in]	0.13 mm [0.00512 in]	0.13 mm [0.00512 in]	0.5 mm [0.020 in]	0.13 mm [0.00512 in]
101-150	0.2 mm [0.0079 in]	0.6 mm [0.024 in]	3.2 mm [0.126 in]	0.4 mm [0.016 in]	0.4 mm [0.016 in]	0.8 mm [0.031 in]	0.4 mm [0.016 in]
151-170	0.2 mm [0.0079 in]	1.25 mm [0.0492 in]	3.2 mm [0.126 in]	0.4 mm [0.016 in]	0.4 mm [0.016 in]	0.8 mm [0.031 in]	0.4 mm [0.016 in]
171-250	0.2 mm [0.0079 in]	1.25 mm [0.0492 in]	6.4 mm [0.252 in]	0.4 mm [0.016 in]	0.4 mm [0.016 in]	0.8 mm [0.031 in]	0.4 mm [0.016 in]
251-300	0.2 mm [0.0079 in]	1.25 mm [0.0492 in]	12.5 mm [0.4921 in]	0.4 mm [0.016 in]	0.4 mm [0.016 in]	0.8 mm [0.031 in]	0.8 mm [0.031 in]
301-500	0.25 mm [0.00984 in]	2.5 mm [0.0984 in]	12.5 mm [0.4921 in]	0.8 mm [0.031 in]	0.8 mm [0.031 in]	1.5 mm [0.0591 in]	0.8 mm [0.031 in]
> 500 See para. 6.3 for calc.	0.0025 mm /volt	0.005 mm /volt	0.025 mm /volt	0.00305 mm /volt	0.00305 mm /volt	0.00305 mm /volt	0.00305 mm /volt

B1 - Internal Conductors

B2 - External Conductors, uncoated, sea level to 3050 m [10,007 feet]

B3 - External Conductors, uncoated, over 3050 m [10,007 feet]

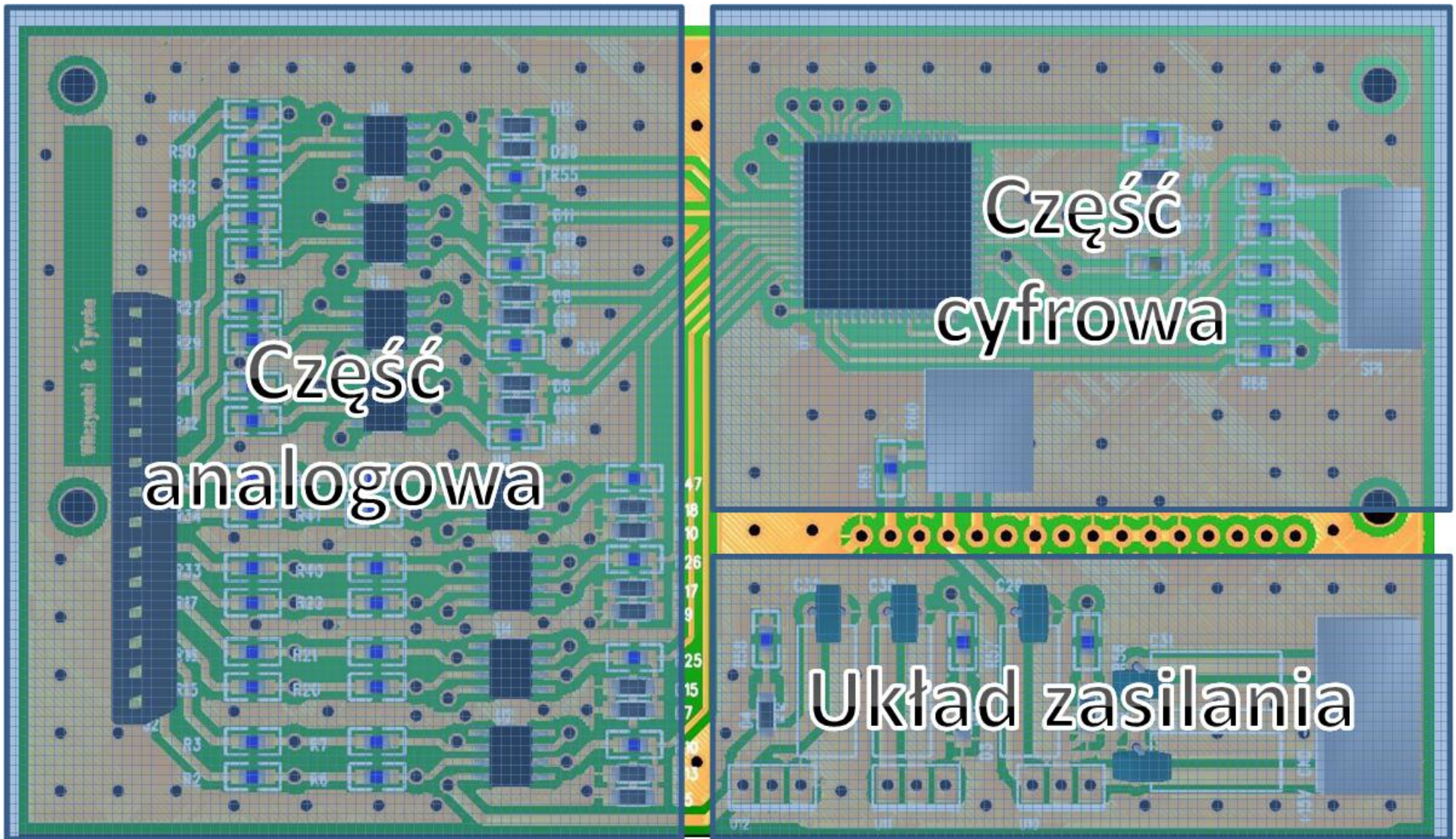
B4 - External Conductors, with permanent polymer coating (any elevation)

A5 - External Conductors, with conformal coating over assembly (any elevation)

A6 - External Component lead/termination, uncoated, sea level to 3050 m [10,007 feet]

A7 - External Component lead termination, with conformal coating (any elevation)

Podział PCB na regiony



Dlaczego prototyp nie działa?

- brak wspólnej masy,
- odwrotna polaryzacja zasilania,
- brak kondensatorów 100 nF przy układach scalonych,
- pomyłony pinout tranzystora/stabilizatora/układu scalonego,
- wejścia cyfrowe pozostawione „w powietrzu”,
- brak rezystora do LED,
- brak diody przy przekaźniku/silniku,
- zbyt cienkie ścieżki dla dużego prądu,
- zasilacz bez ograniczenia prądowego,
- założenie, że „to na pewno błąd programu”.

Dokumentacja projektu

Minimalnie:

- schemat (blokowy i dokładny, ten drugi może być podzielony),
- lista elementów,
- opis działania,
- założenia projektowe,
- obliczenia kluczowych wartości,
- wyniki pomiarów,
- zdjęcie/zdjęcia prototypu,
- opis problemów i poprawek,
- wersja programu, jeśli jest mikrokontroler.

Układ, którego nie da się odtworzyć z dokumentacji, nie jest dobrze zakończonym projektem.

SYMULACJA

Symulacja komputerowa stanowi niezwykle cenne narzędzie zarówno w rękach projektantów elektroniki, jak i inżynierów mechaników.

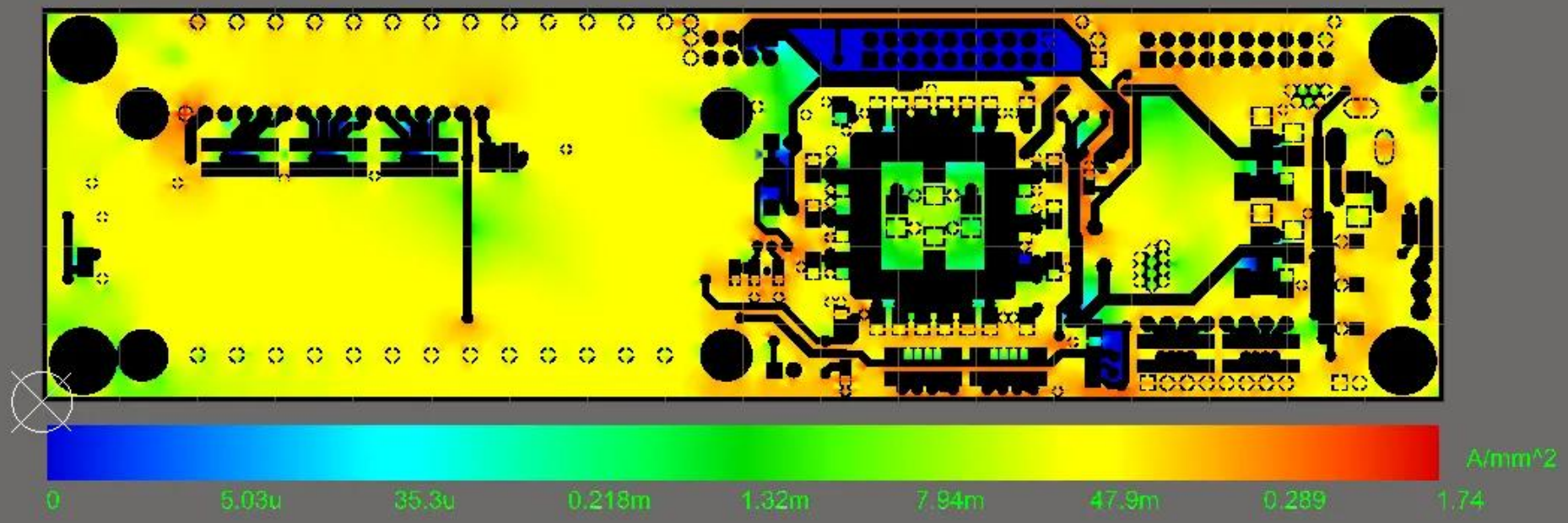
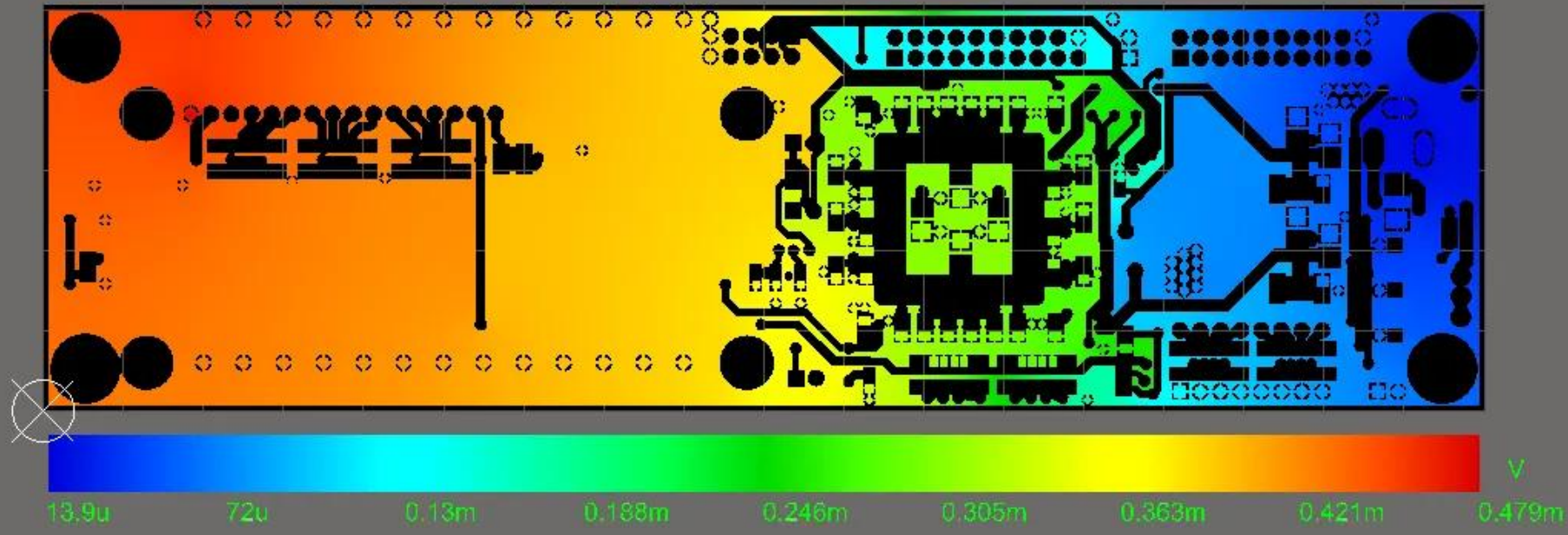
Techniki symulacyjne nie mieszczą się w klasycznym pojęciu prototypu jako takiego.

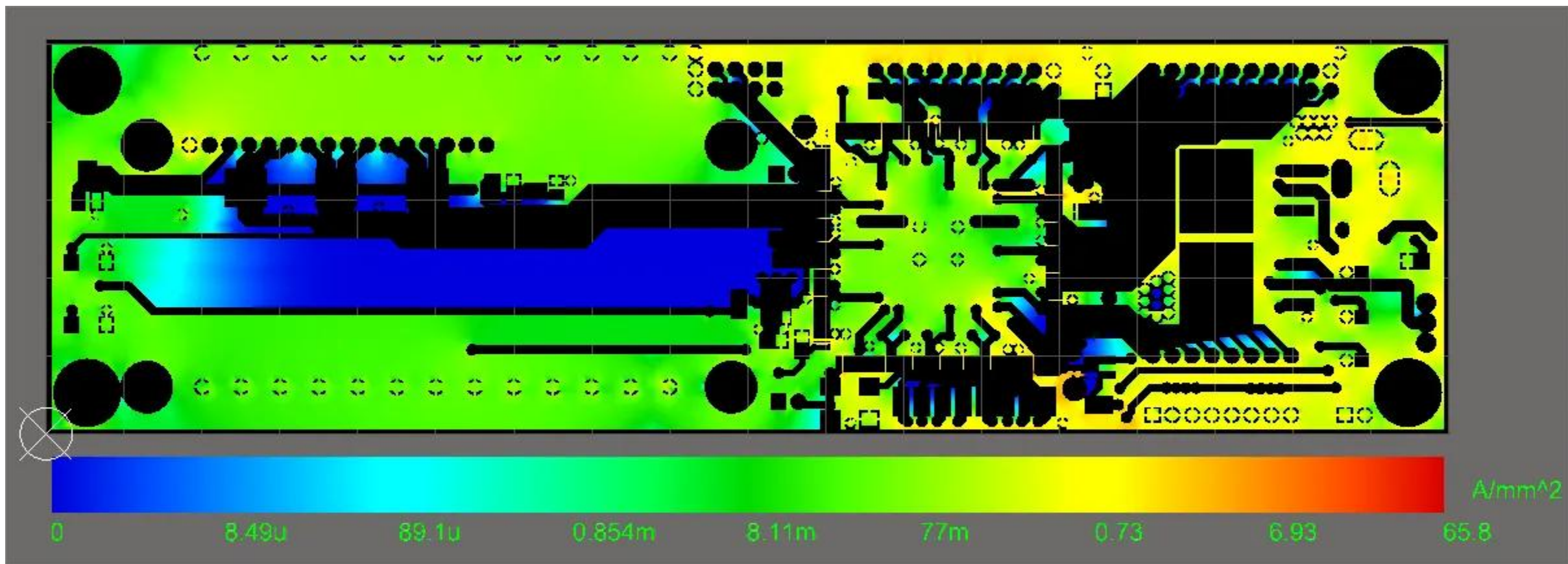
Niemniej, w wielu przypadkach mogą one ułatwić część prac nad uruchamianiem i pomiarami fizycznego prototypu, co ma niebagatelne znaczenie dla redukcji kosztów oraz czasu wdrożenia produktu (*time-to-market*).

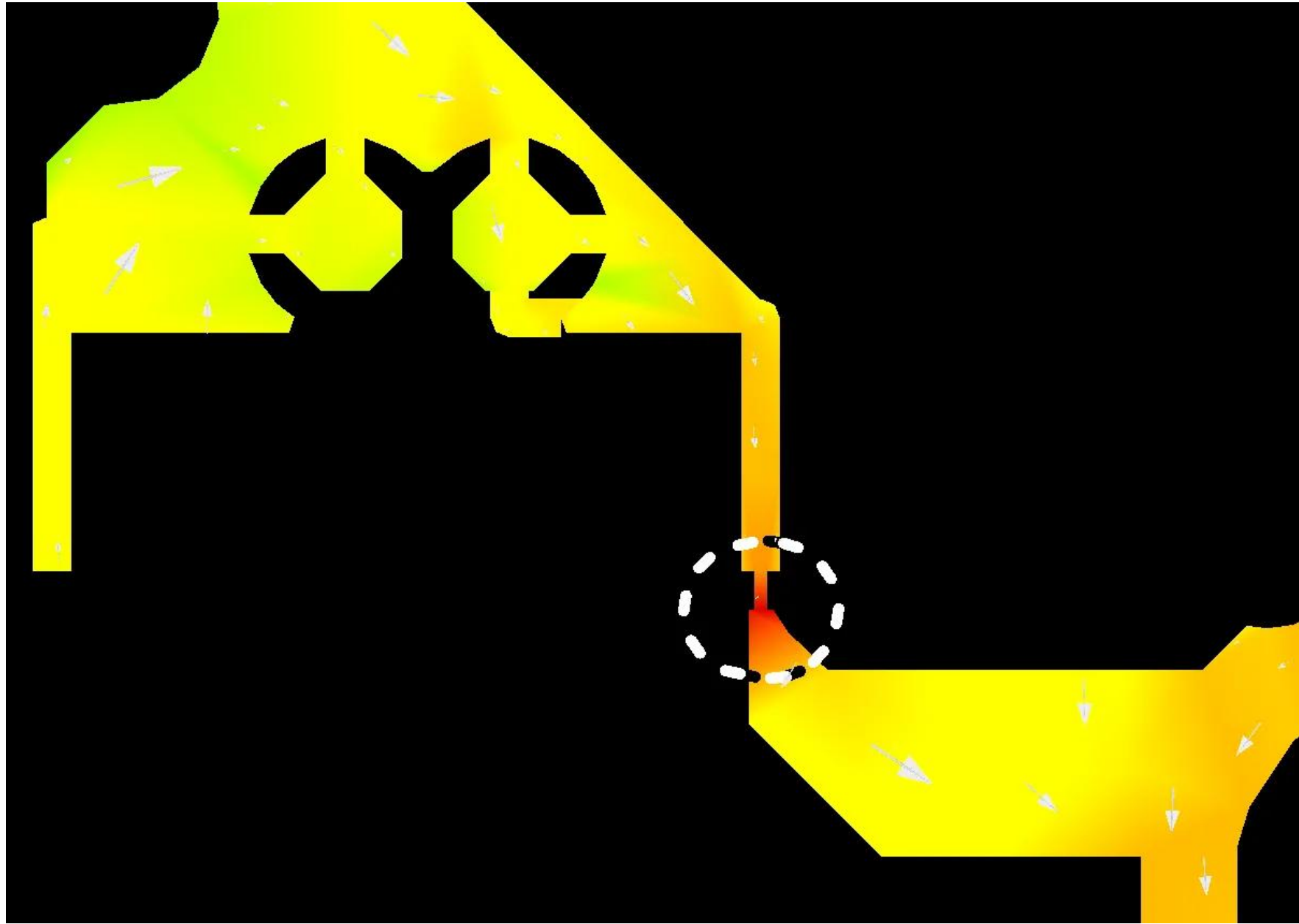
Popularność symulacji jako narzędzia do wstępnej walidacji założeń projektowych jeszcze przed wlutowaniem pierwszego elementu bądź wykonaniem pierwszego otworu w obudowie sprawiła, że największe pakiety CAD i EDA (*Electronic Design Automation*) są standardowo (bądź za pośrednictwem opcjonalnych wtyczek) wyposażane w zaawansowane silniki obliczeniowe, pozwalające na prowadzenie rozmaitych testów cyfrowych na bazie natywnych plików projektu.

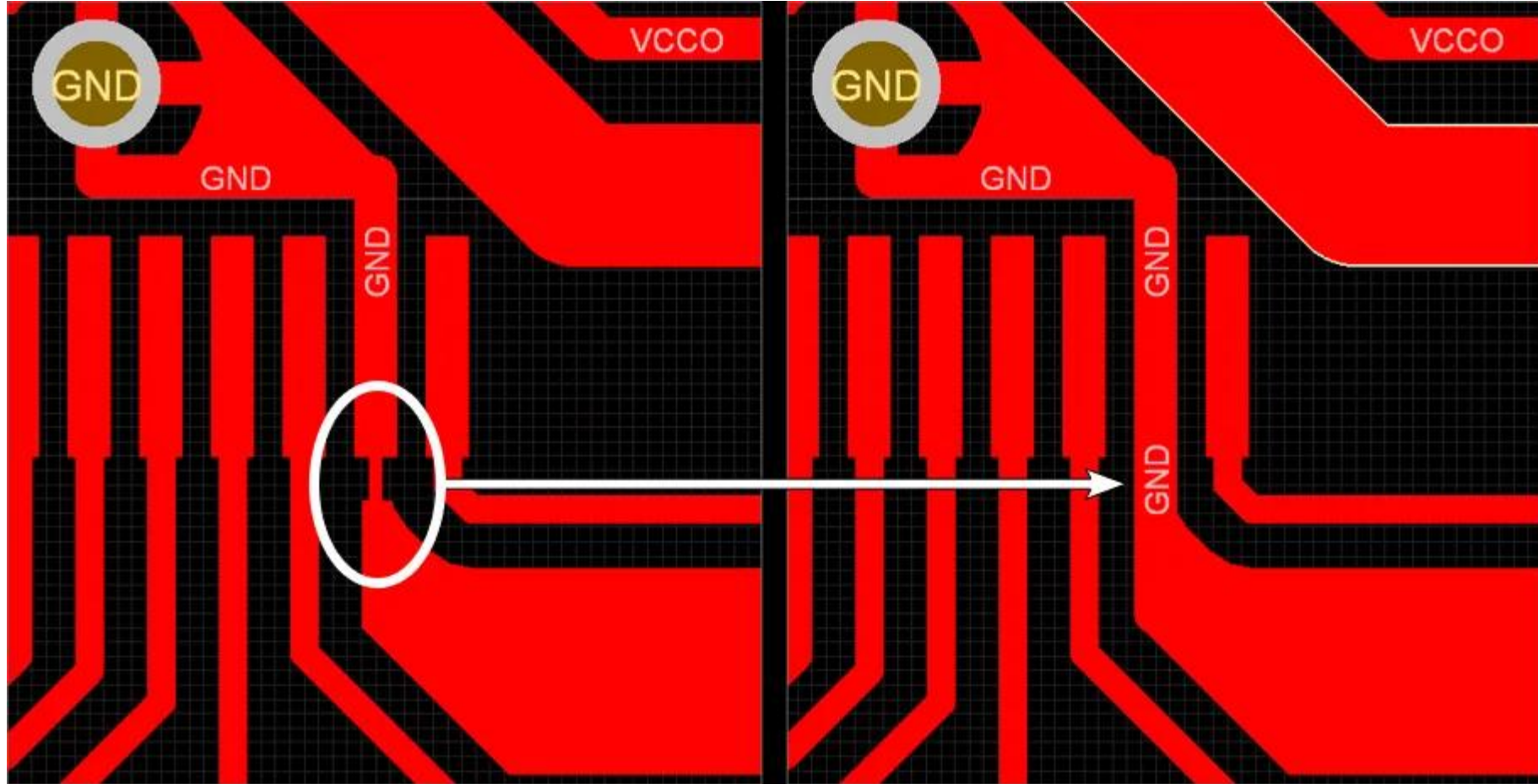
To ważne zwłaszcza z punktu widzenia wygody i szybkości pracy.

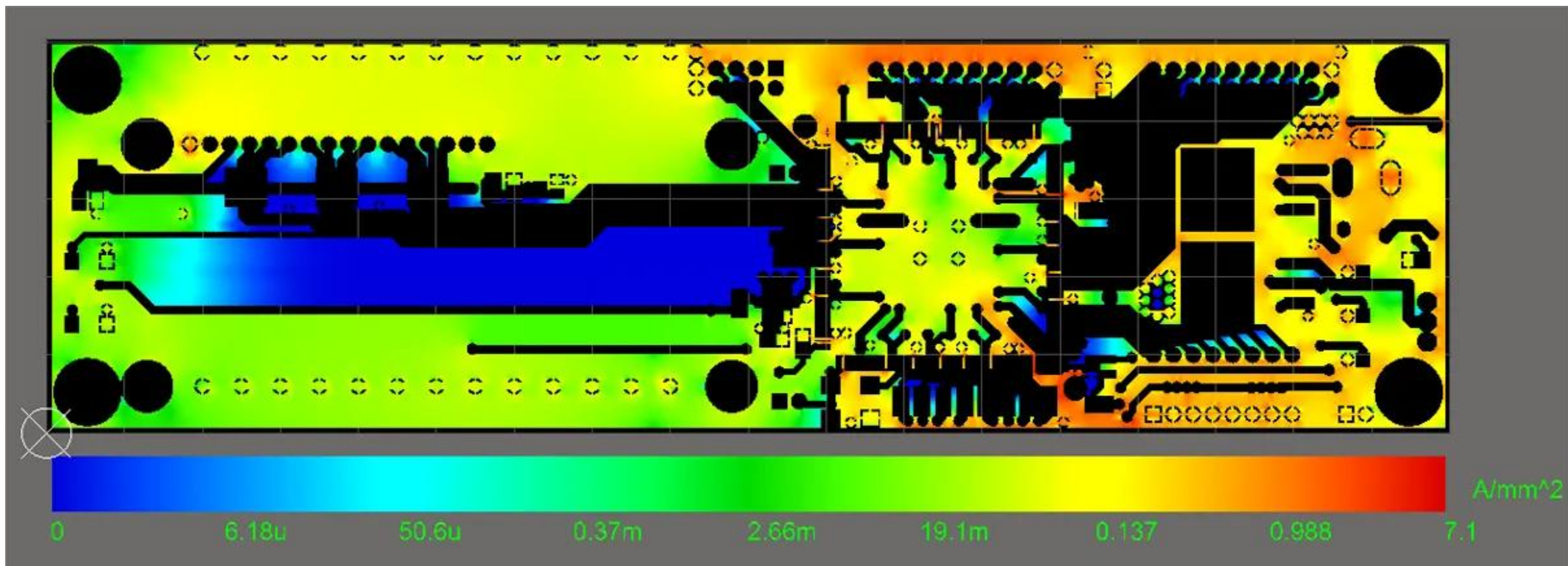
W nowoczesnych pakietach, wspierających projektowanie elektroniki, ten sam schemat może posłużyć zarówno jako dokumentacja dla projektu PCB, jak i baza do wykonania symulacji.

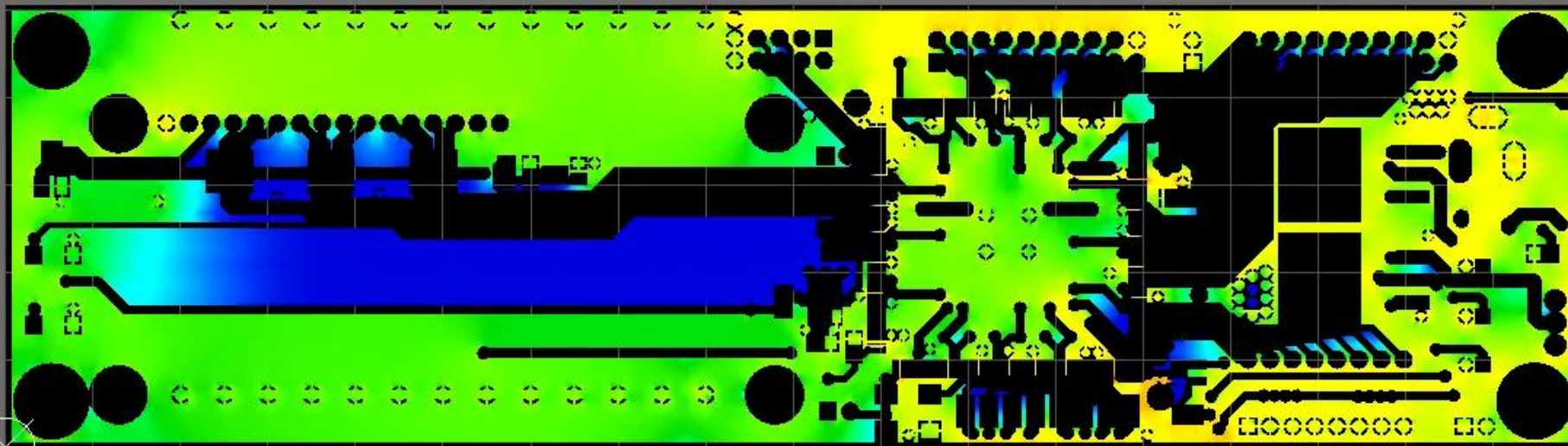






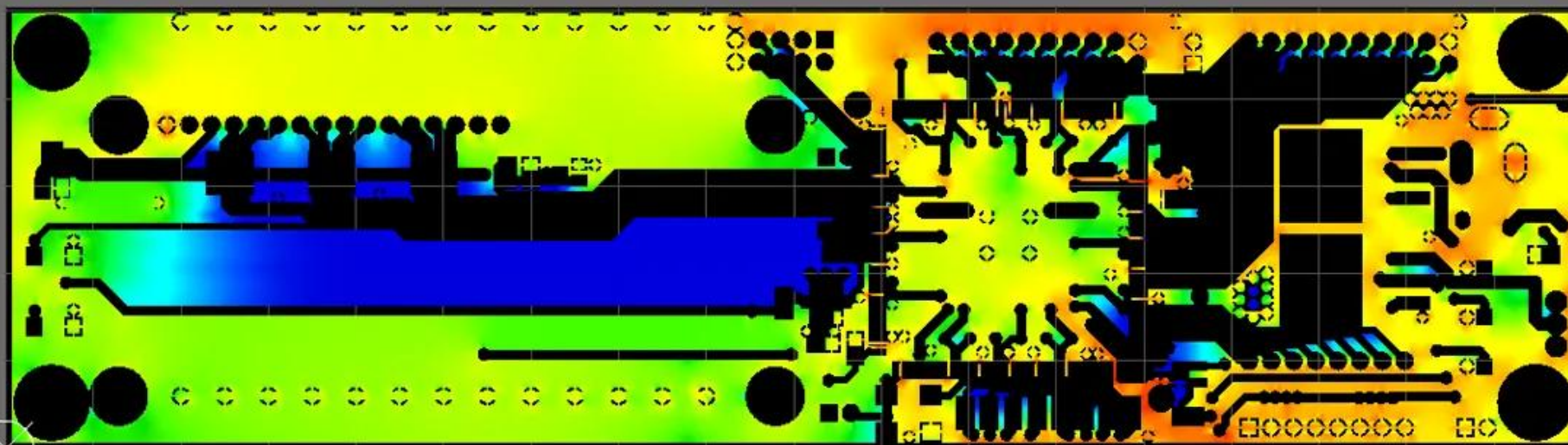






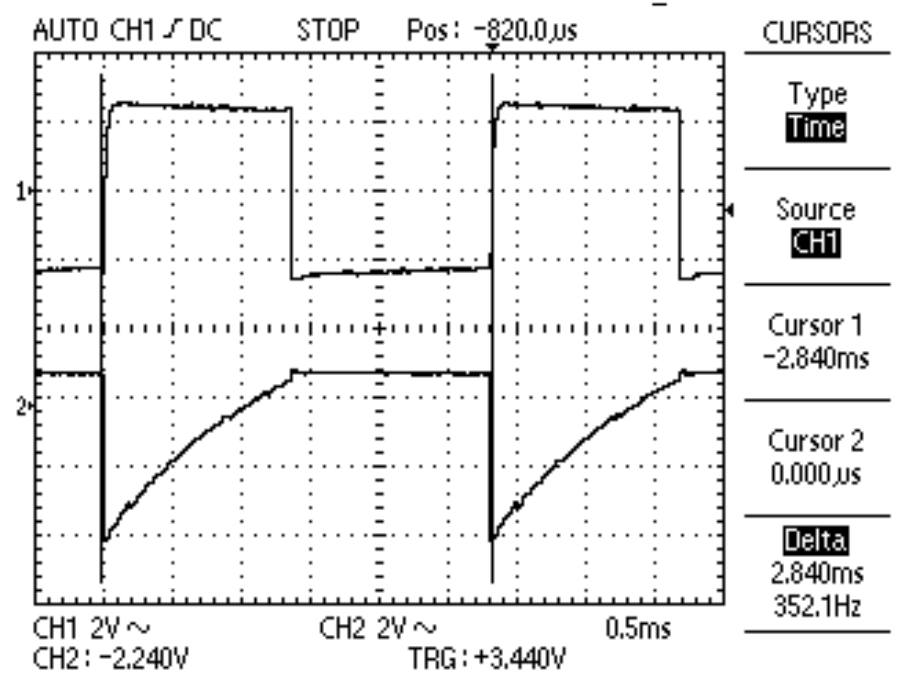
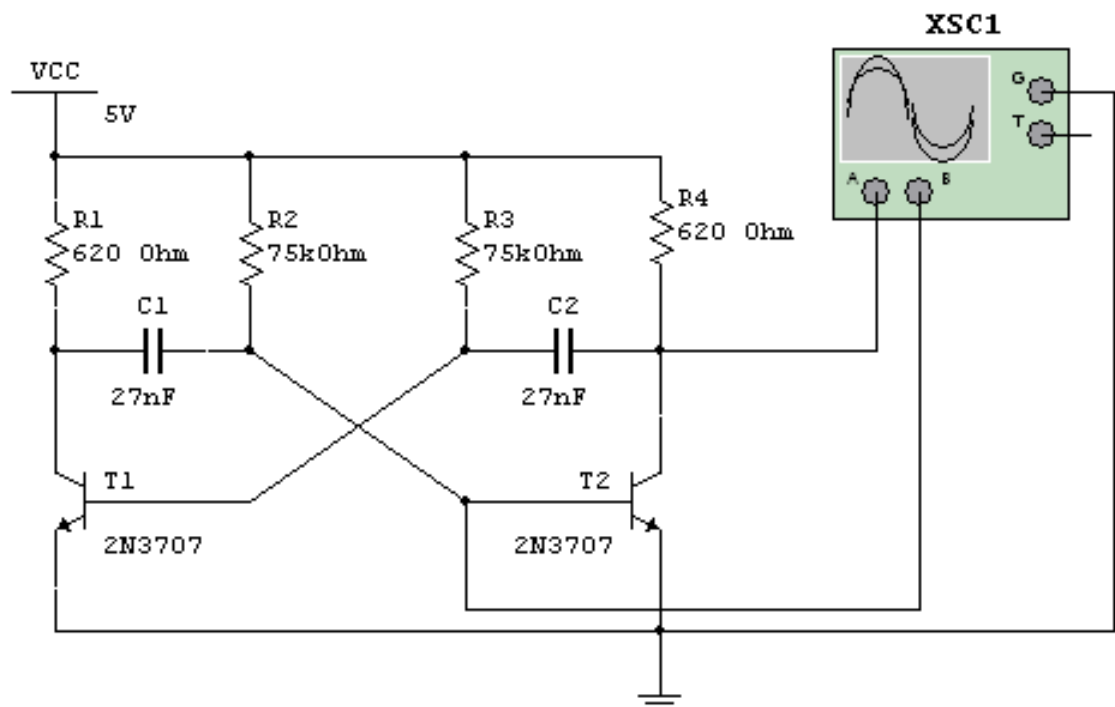
0 8.49u 89.1u 0.854m 8.11m 77m 0.73 6.93 65.8

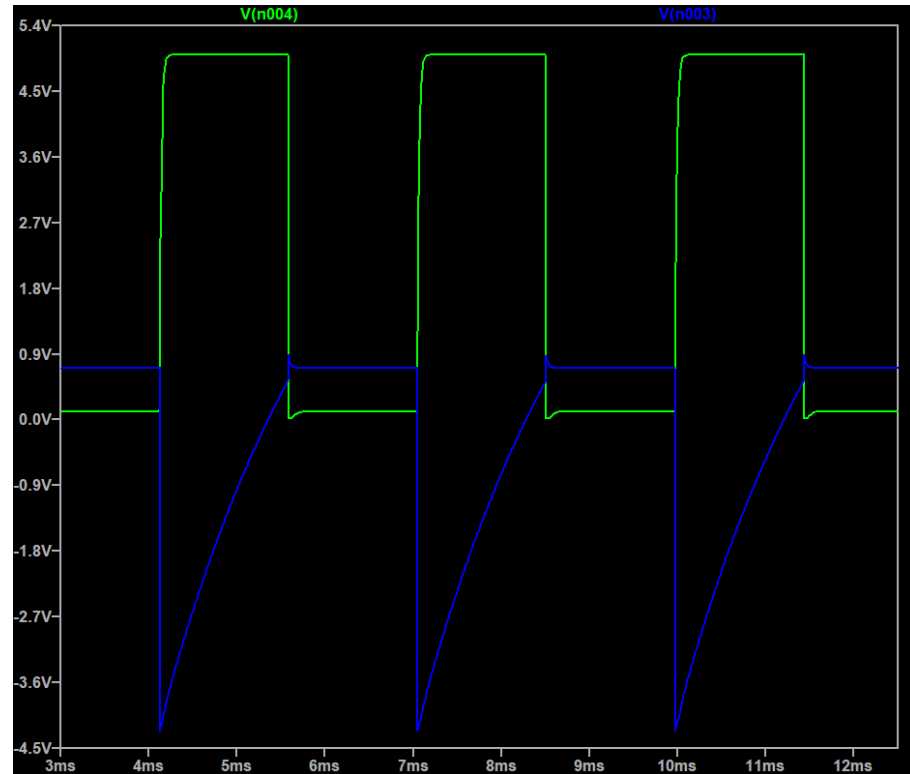
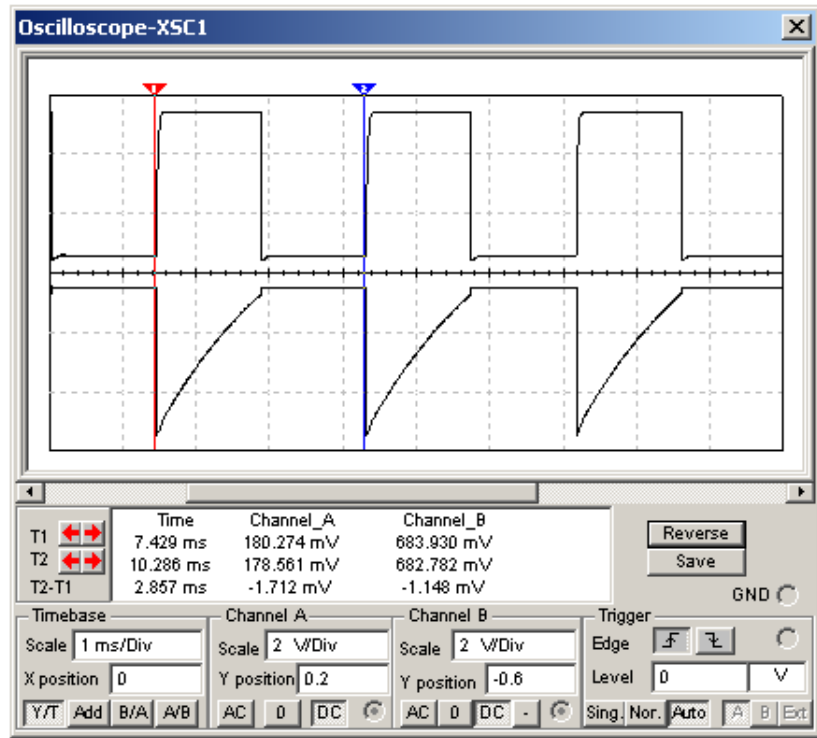
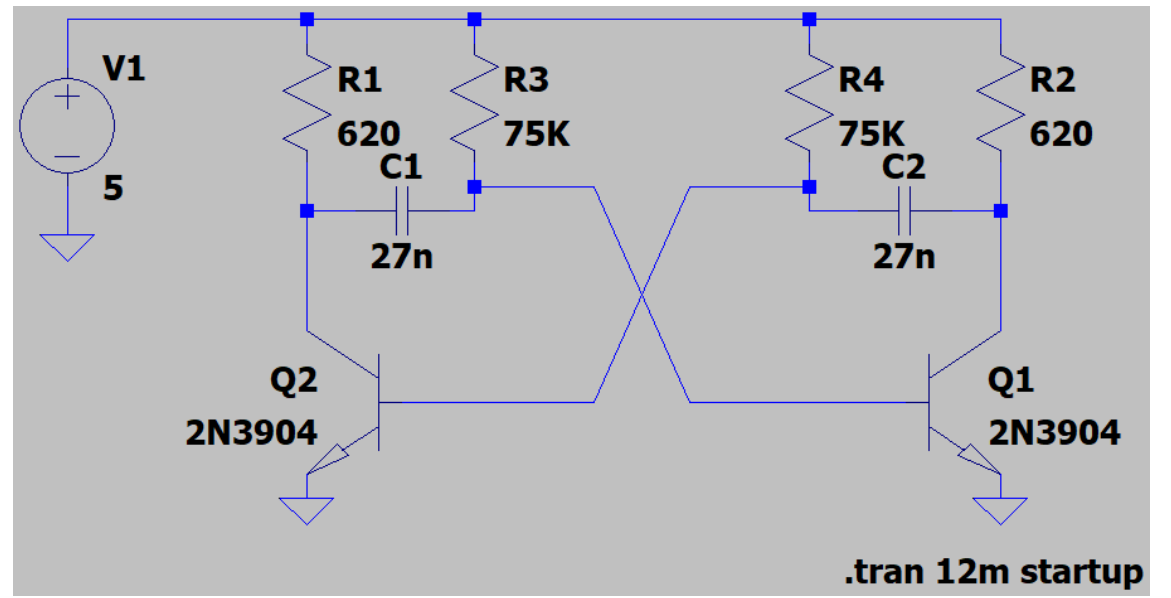
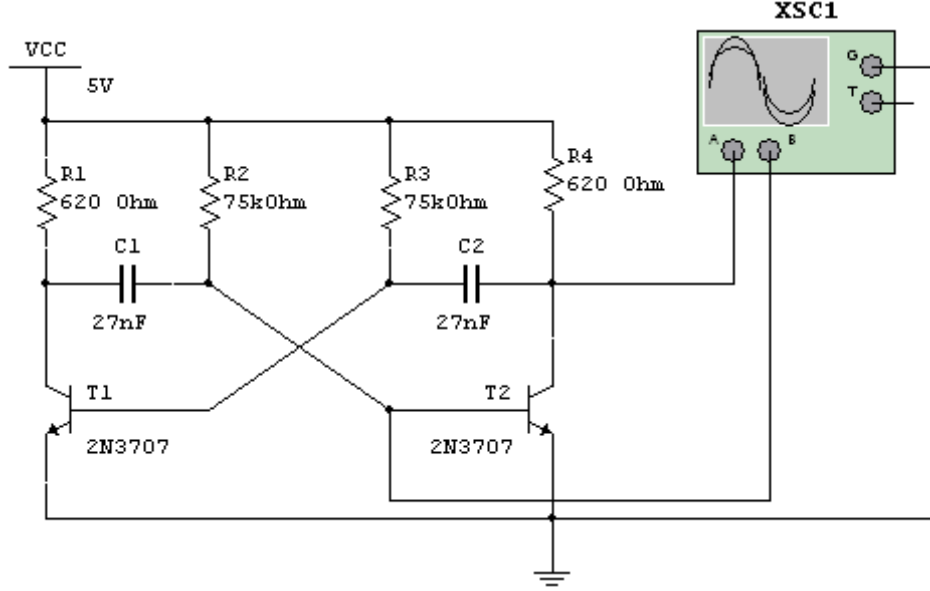
A/mm²



0 6.18u 50.6u 0.37m 2.66m 19.1m 0.137 0.988 7.1

A/mm²





Po co symulować?

- czy układ ma szansę działać?
- czy dobrane wartości elementów są sensowne?
- jaki będzie przebieg napięcia/prądu w czasie?
- co się stanie po zmianie rezystora/kondensatora?
- czy tranzystor się nie przeciąży?
- czy filtr ma właściwą częstotliwość odcięcia?
- czy wzmacniacz się nie nasyci?
- czy generator wystartuje?

Symulacja jest tanim miejscem na popełnianie błędów...

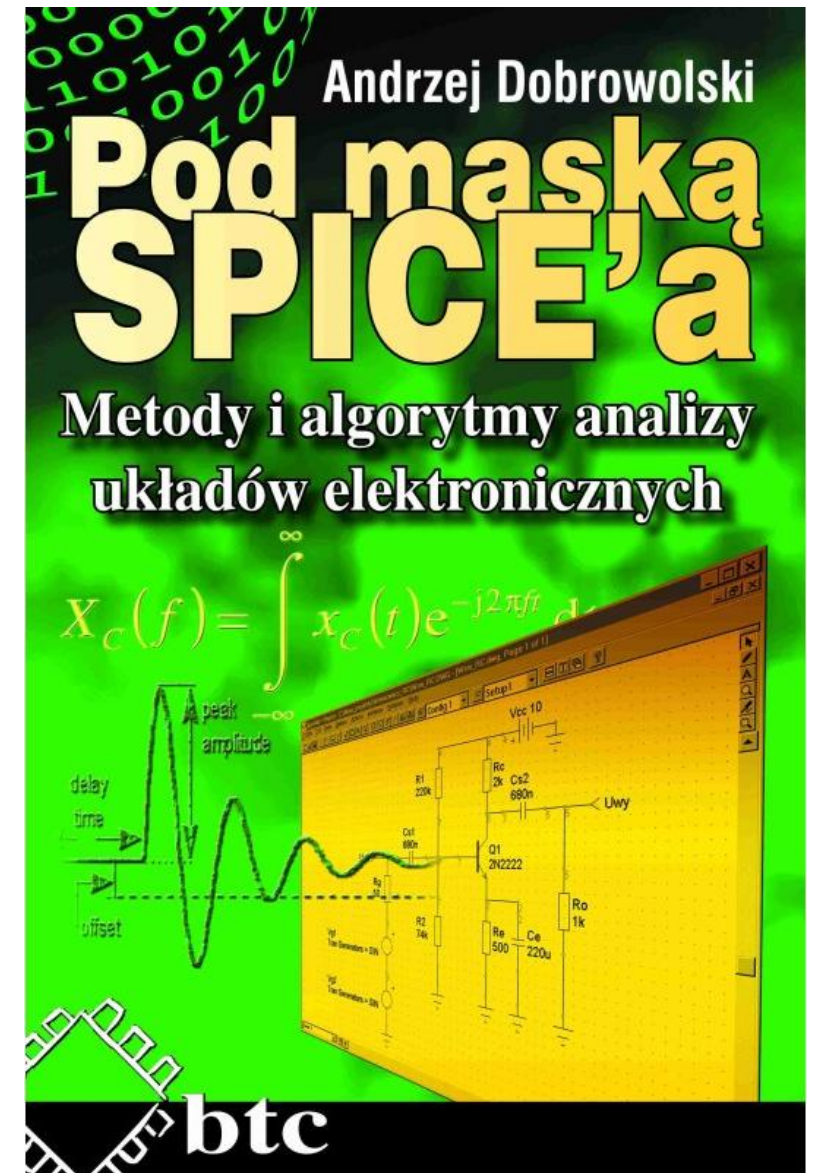
Lepiej spalić tranzystor w symulatorze niż w rzeczywistości.

Simulation Program with Integrated Circuits Emphasis

Elementy w symulatorze to modele, np. :

- rezystor - $U = IR$,
- kondensator - prąd zależny od szybkości zmian napięcia,
- dioda – znana nam nieliniowa charakterystyka,
- wzmacniacz operacyjny - model uproszczony lub bardziej złożony.

Symulator nie symuluje rzeczywistości, ale model rzeczywistości.



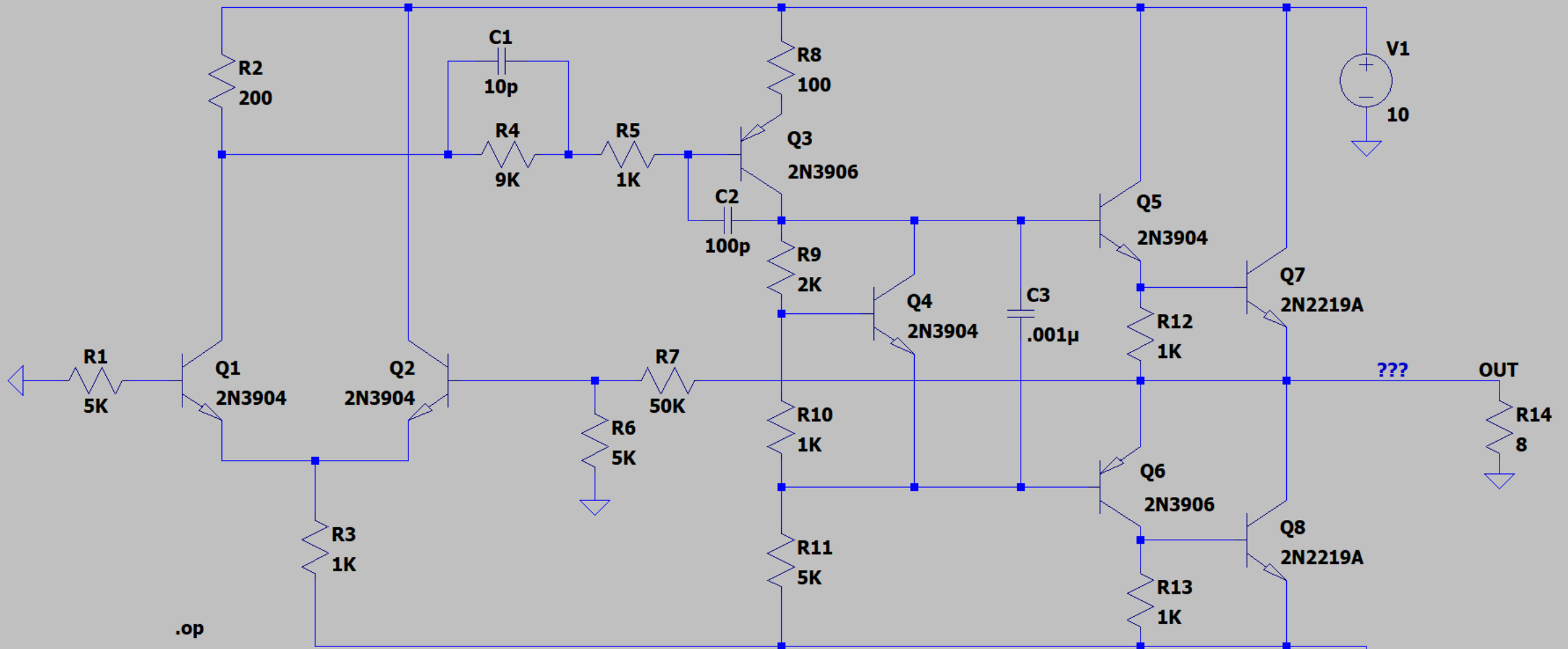
Rodzaje analiz:

Analiza DC - punkt pracy

Jakie napięcia i prądy ustalą się w układzie dla stanu stałego?

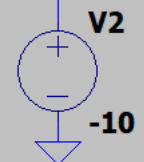
Zastosowania:

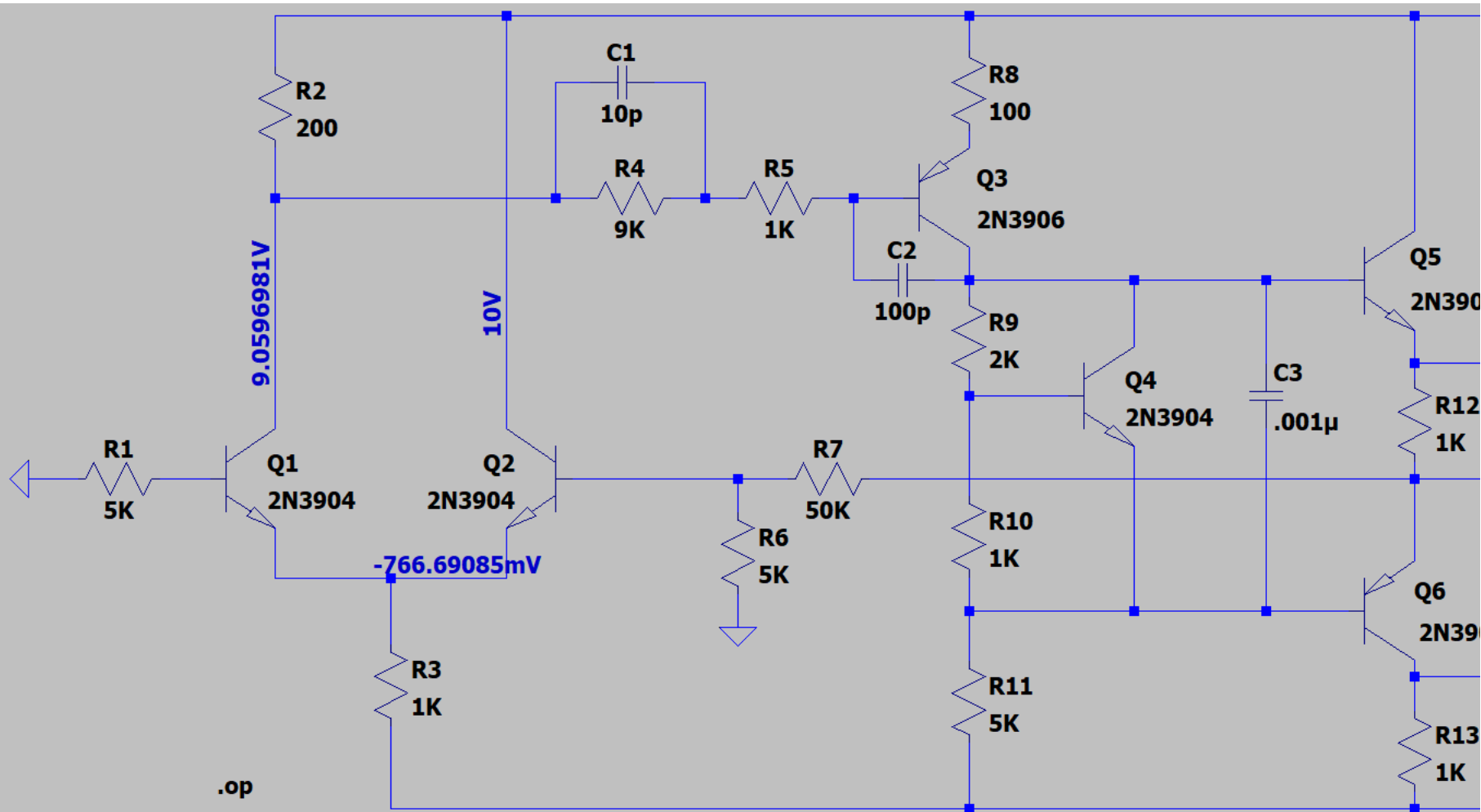
- polaryzacja tranzystora,
- napięcia na dzielnikach,
- prądy diod LED, itp.



After the solution is found and displayed in a dialog, you can read node voltages and device currents from the status bar by moving the mouse near the wire or part

This example schematic is supplied for informational/educational purposes only.





After the solution is found and displayed in a dialog, you can read node voltages and device currents from the status bar by moving the mouse near the wire or part

This example schematic is supplied for informational/educational purposes only.

--- Operating Point ---

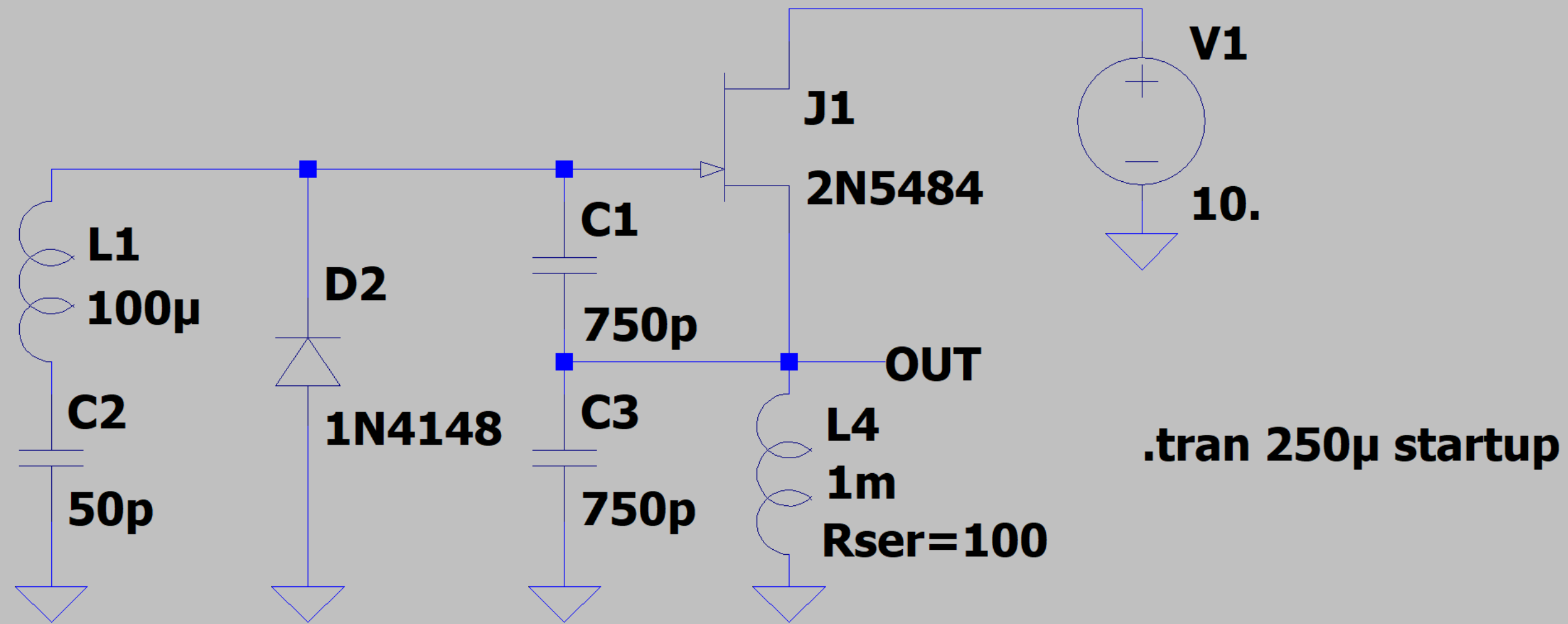
V(n001):	10	voltage
V(n002):	9.0597	voltage
V(n003):	9.13686	voltage
V(n004):	9.81485	voltage
V(n005):	9.14543	voltage
V(n006):	1.20832	voltage
V(n007):	0.56357	voltage
V(n008):	-0.117999	voltage
V(n009):	-0.0727084	voltage
V(n010):	-0.0741923	voltage
V(n011):	-0.766691	voltage
V(n012):	-0.777274	voltage
V(n013):	-9.27379	voltage
V(n014):	-10	voltage
V(out):	-0.128574	voltage
I(C1):	7.71598e-25	device_current
I(C2):	-7.93711e-22	device_current
I(C3):	1.9856e-21	device_current
I(R1):	-1.45417e-05	device_current
I(R10):	0.000659275	device_current
I(R11):	0.00184455	device_current
I(R12):	0.000692145	device_current
I(R13):	0.000726212	device_current
I(R14):	-0.0160718	device_current
I(R2):	0.00470151	device_current
I(R3):	0.00923331	device_current
I(R4):	8.57331e-06	device_current
I(R5):	8.57331e-06	device_current
I(R6):	-1.48385e-05	device_current
I(R7):	-1.08764e-06	device_current
I(R8):	0.00185146	device_current
I(R9):	0.00066316	device_current
I(V1):	-0.0183156	device_current
I(V2):	0.0344168	device_current
Ib(Q1):	1.45417e-05	device_current
Ib(Q2):	1.37508e-05	device_current
Ib(Q3):	-8.57331e-06	device_current
Ib(Q4):	3.88491e-06	device_current
Ib(Q5):	2.2224e-06	device_current
Ib(Q6):	-3.87677e-06	device_current
Ib(Q7):	3.42112e-05	device_current
Ib(Q8):	0.000113398	device_current
Ic(Q1):	0.00471008	device_current
Ic(Q2):	0.00449493	device_current
Ic(Q3):	-0.00184289	device_current
Ic(Q4):	0.00117751	device_current
Ic(Q5):	0.000724134	device_current
Ic(Q6):	-0.00083961	device_current
Ic(Q7):	0.00654354	device_current
Ic(Q8):	0.0224993	device_current
Ie(Q1):	-0.00472462	device_current
Ie(Q2):	-0.00450869	device_current
Ie(Q3):	0.00185146	device_current

Analiza transient - czasowa

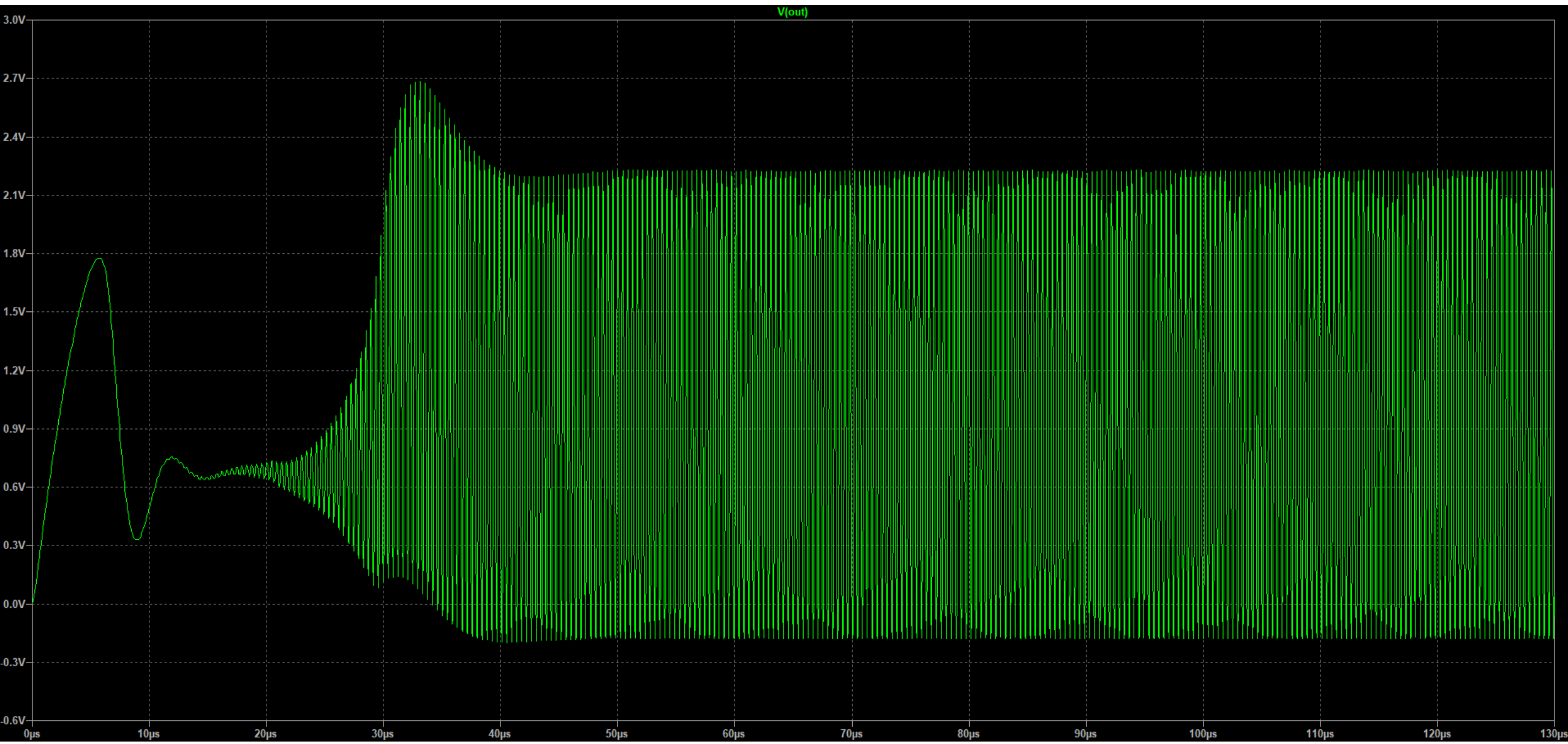
Jak układ zachowuje się w czasie?

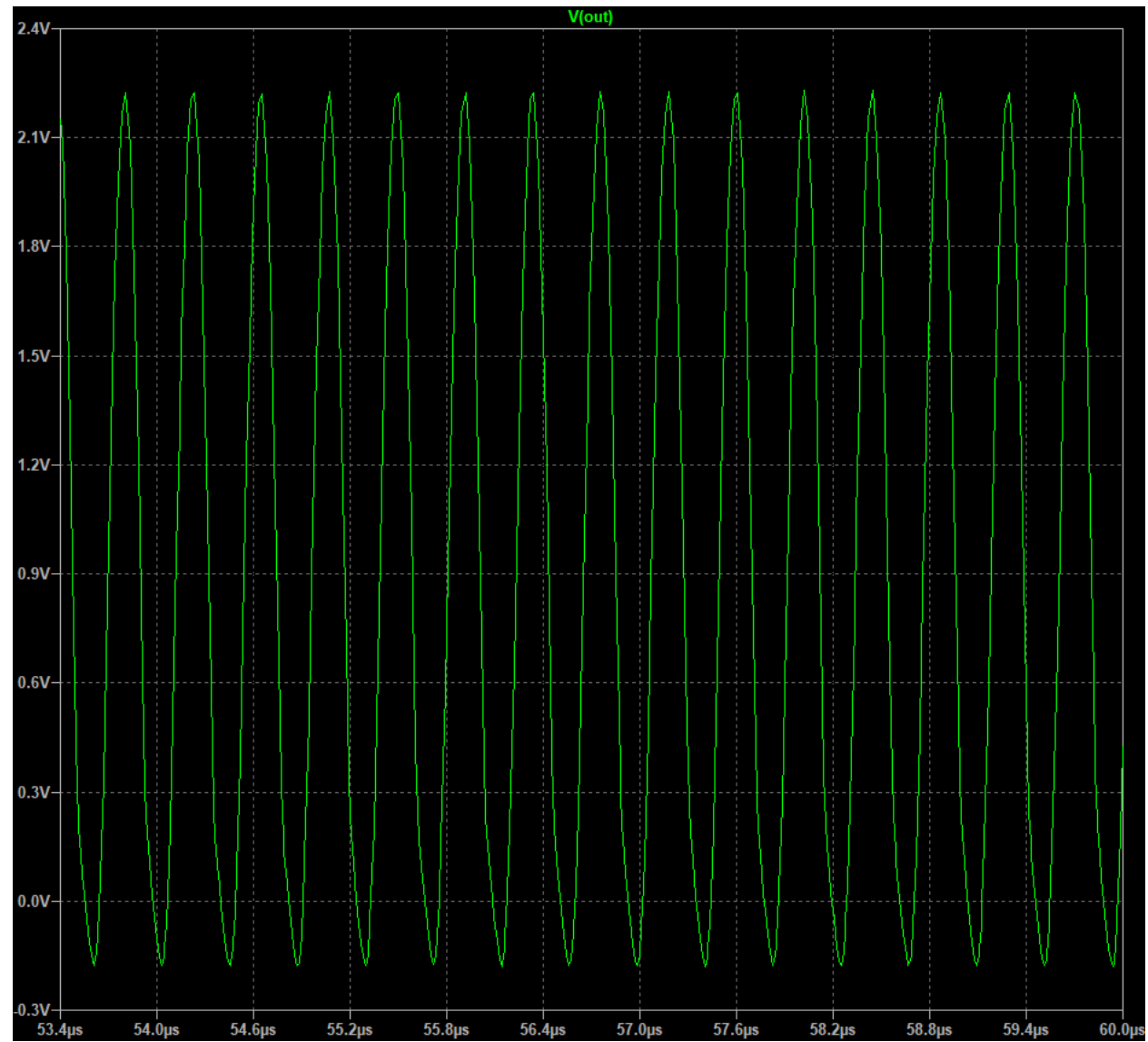
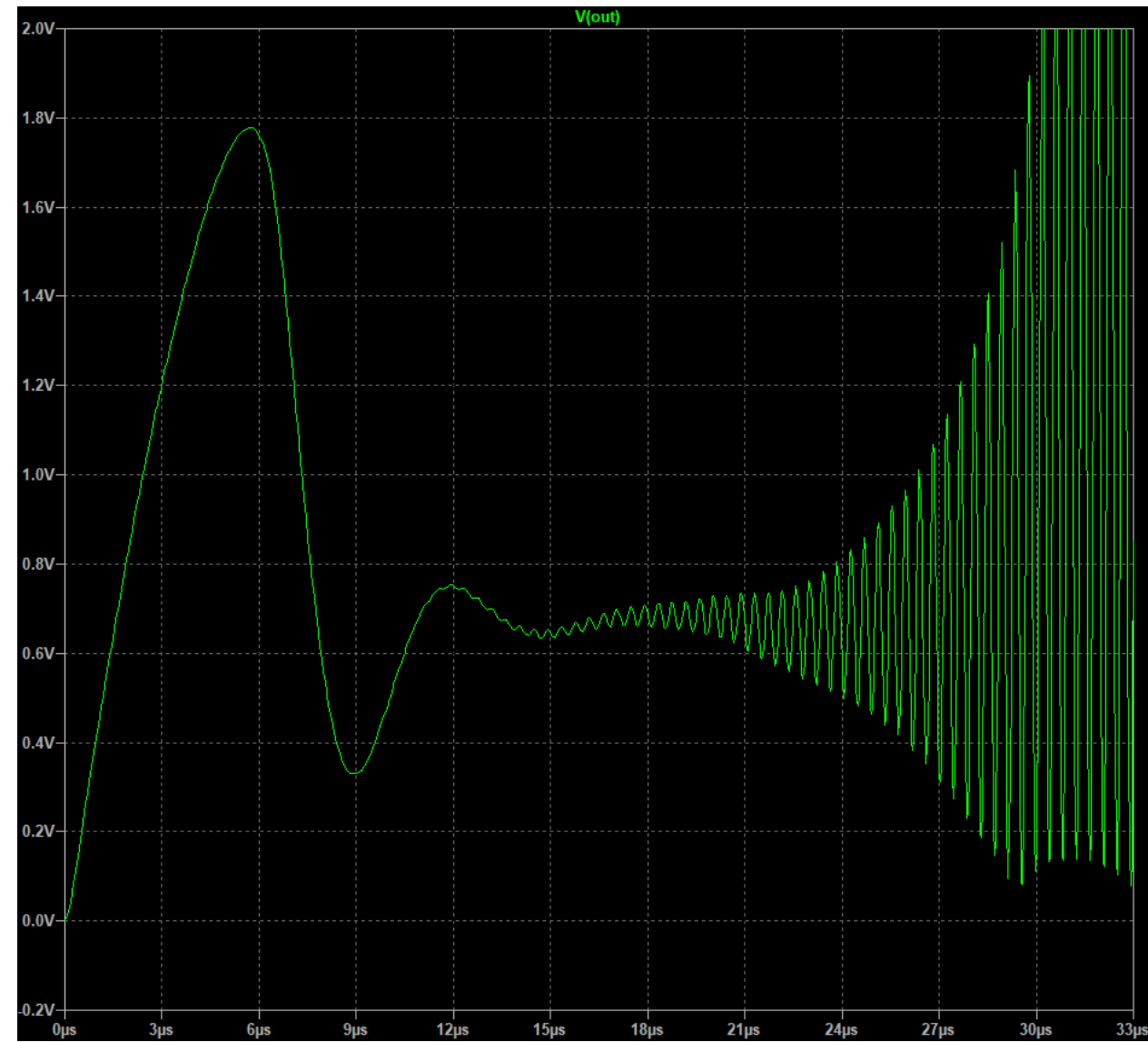
Zastosowania:

- ładowanie kondensatora,
- przebieg na wyjściu generatora,
- odpowiedź układu czasowego,
- opóźnienie sygnału,
- przełączanie tranzystora,
- PWM,
- narastanie i zanikanie sygnału, itp.



This example schematic is supplied for informational/educational purposes only.





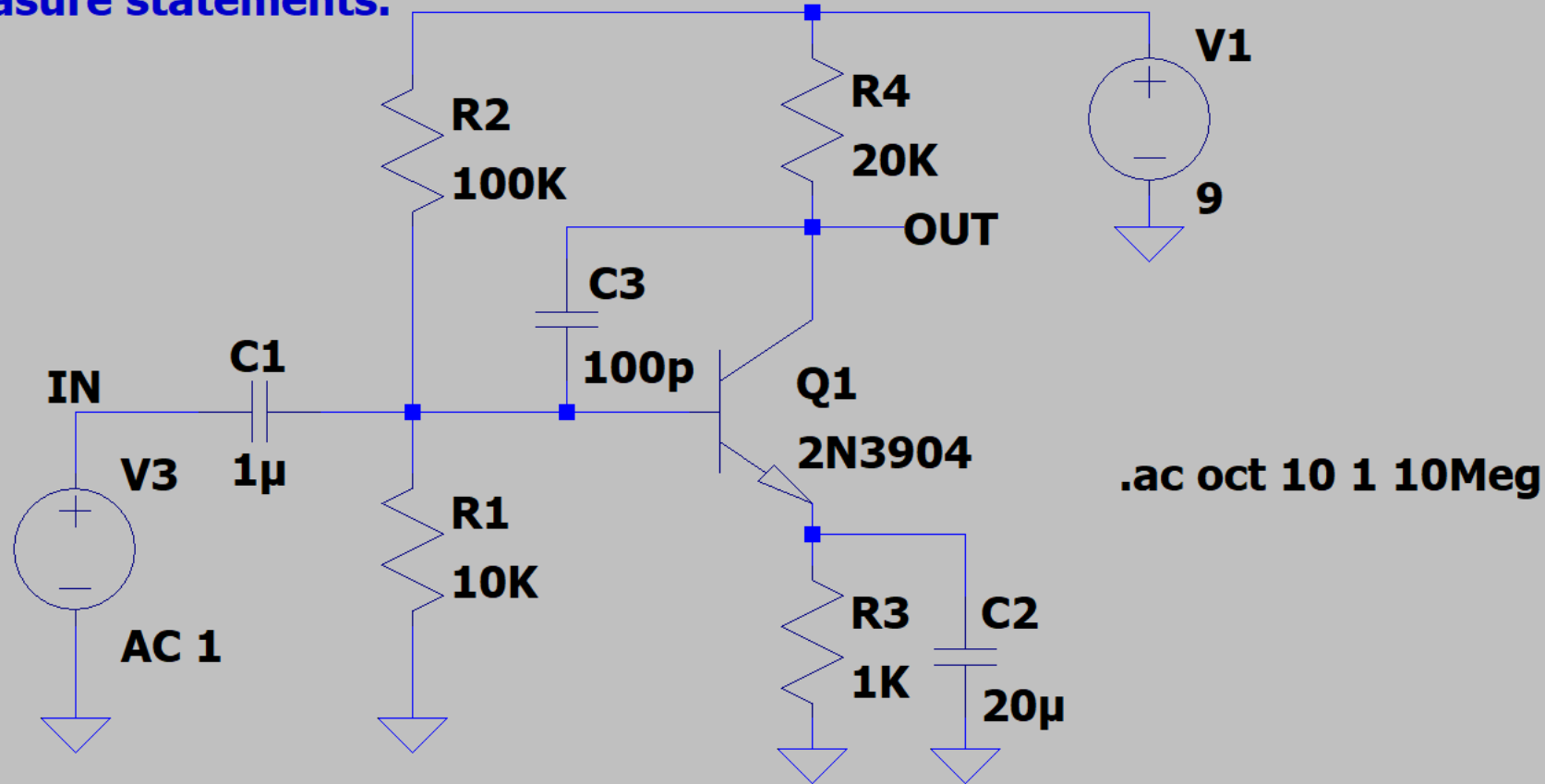
Analiza AC — częstotliwościowa

Jak układ reaguje na różne częstotliwości?

Zastosowania:

- charakterystyki Bodego,
- pasmo wzmacniacza,
- pasmo filtra,
- stabilność, itp.

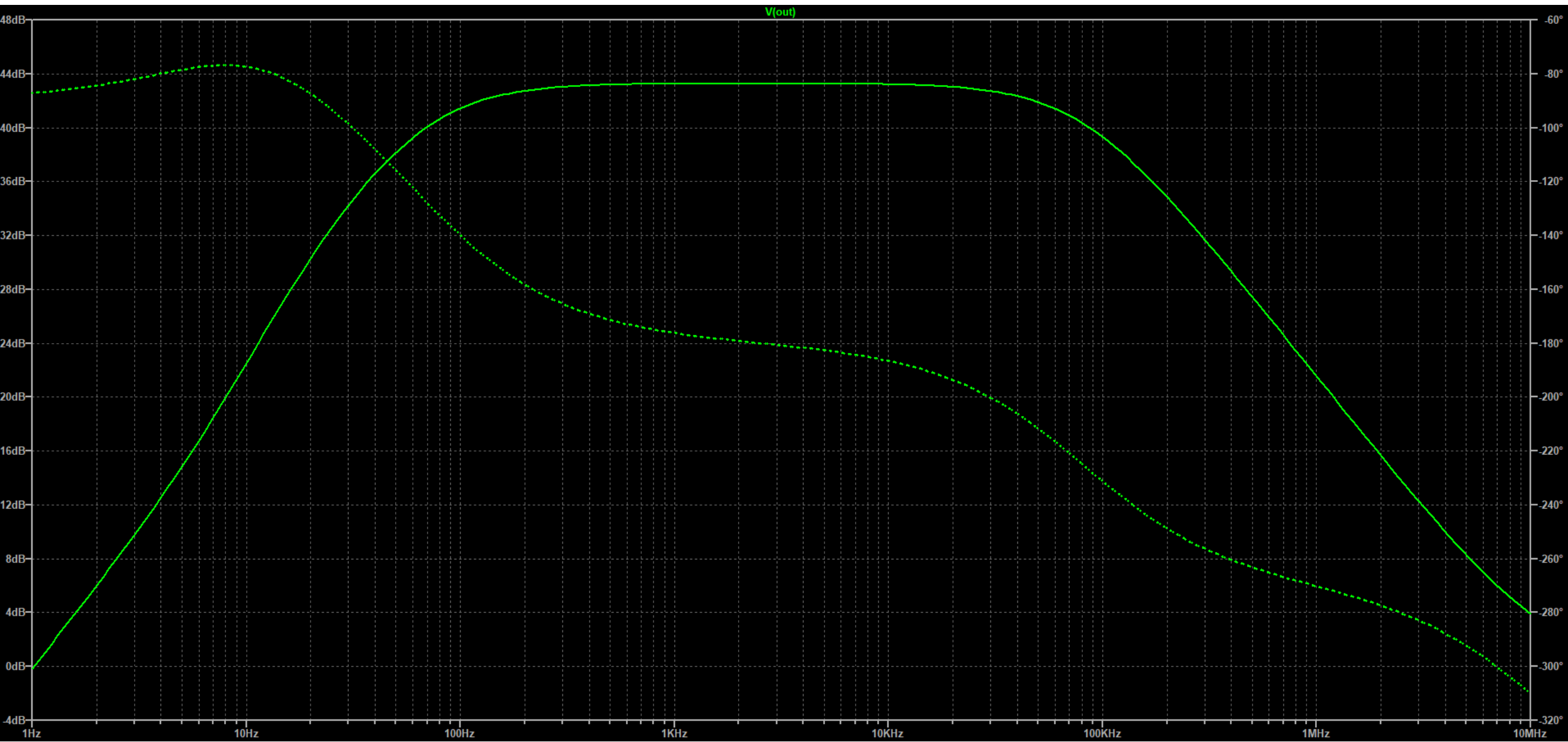
Example of using a .measure script to measure the 3dB bandwidth of a response.
Execute View=>SPICE Error Log after running the simulation to see the output of the .measure statements.



```
.measure tmp max mag(V(out))
```

```
.measure BW trig mag(V(out))=tmp/sqrt(2) rise=1 targ mag(V(out))=tmp/sqrt(2) fall=last
```

This example schematic is supplied for informational/educational purposes only.

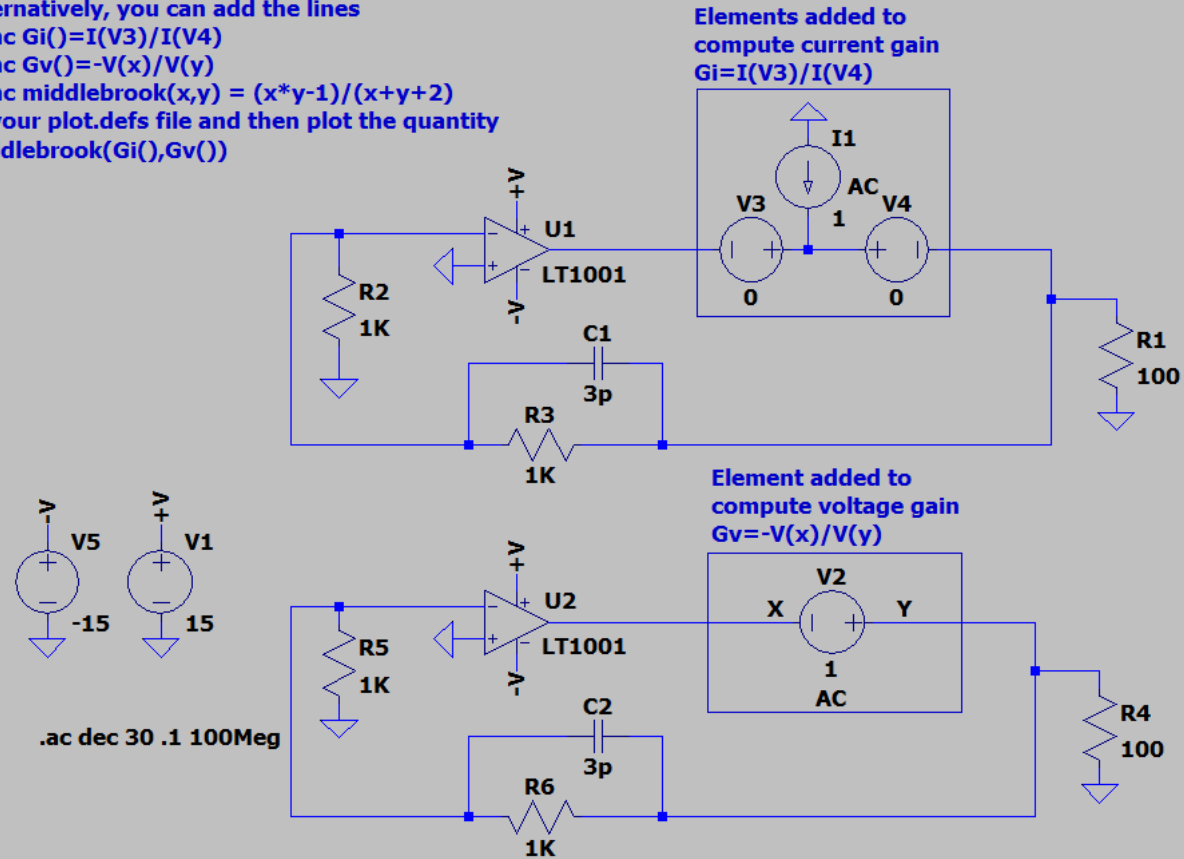


V(out)

Here the open loop gain is determined from the closed loop system[1].
 The voltage gain and current gain are independently measured in
 two circuits identical except for the elements inserted into
 the loop to make the measurements. Then the open loop gain
 can be plotted by plotting the quantity:

$$\frac{((I(V3)/I(V4))*(-V(x)/V(y))-1)/((I(V3)/I(V4))+(-V(x)/V(y))+2)}$$

Alternatively, you can add the lines
`.func Gi()=I(V3)/I(V4)`
`.func Gv()=-V(x)/V(y)`
`.func middlebrook(x,y) = (x*y-1)/(x+y+2)`
 to your plot.defs file and then plot the quantity
`middlebrook(Gi(),Gv())`



1] Middlebrook, R.D., "Measurement of Loop Gain in Feedback Systems", Int. J. Electronics, vol 38, No. 4, pp. 485-512, 1975

See the example file LoopGain2.asc for an improved technique.

This example schematic is supplied for informational/educational purposes only.

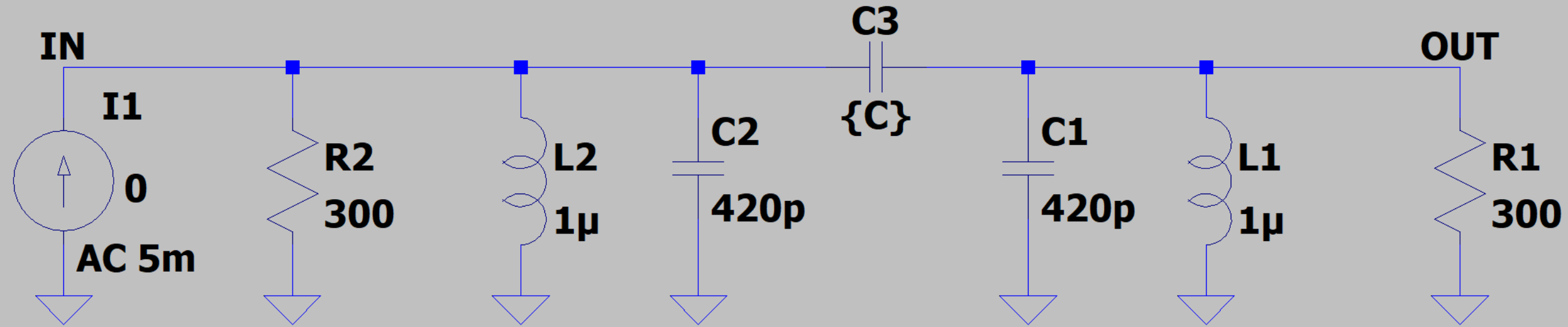


Sweep parametrów

Co się stanie, jeśli zmienię wartość elementu?

Zastosowania:

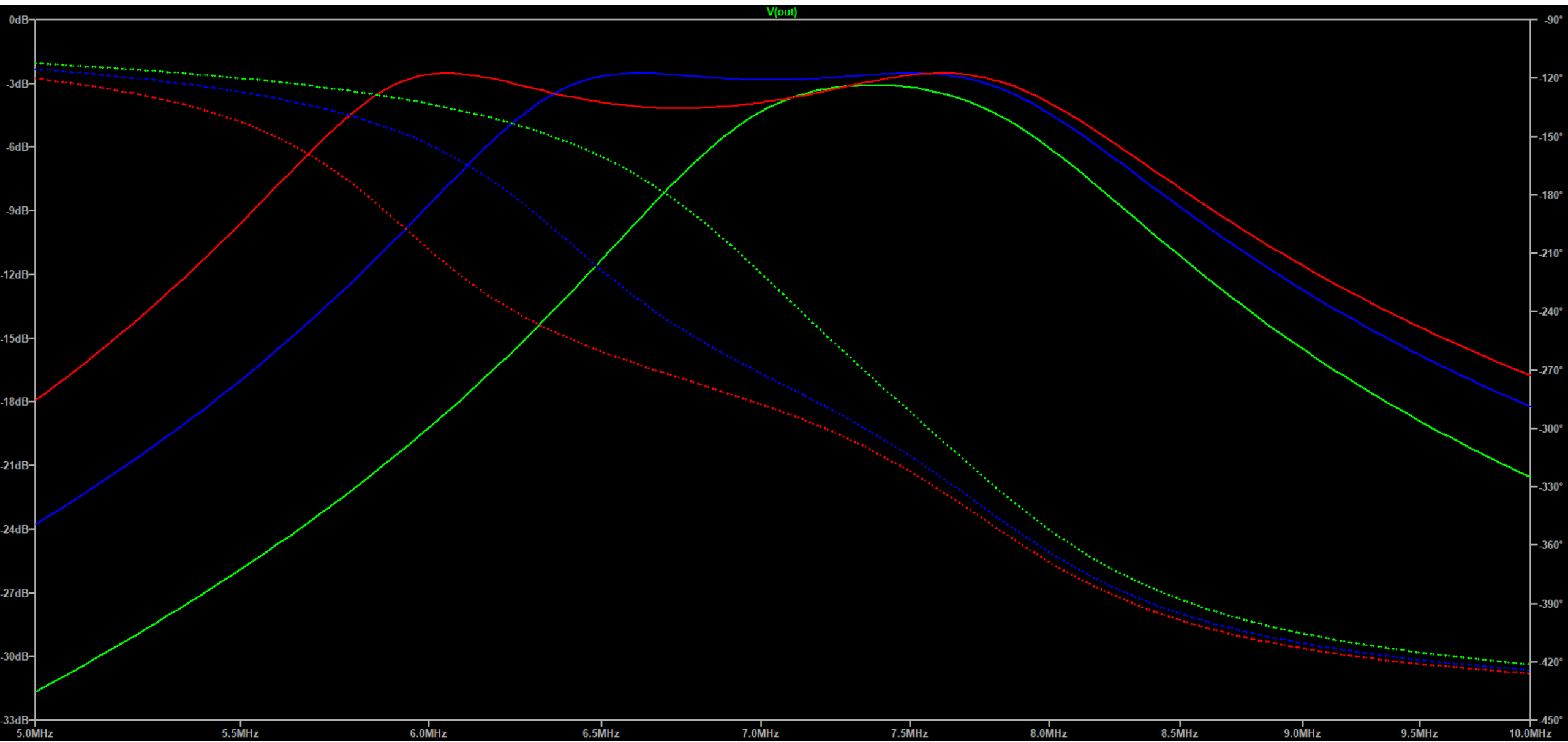
- jak zmiana R/C przesuną częstotliwość filtru,
- jak tolerancja rezystora wpływa na napięcie,
- jak dobór kondensatora wpływa na czas,
- jak punkt pracy zależy od temperatury.



```
.ac oct 200 5Meg 10Meg  
.step param C 50p 150p 50p
```

This example demonstrates .stepping a global parameter, C, while computing the transfer function of the filter.

This example schematic is supplied for informational/educational purposes only.



Analizy wrażliwości:

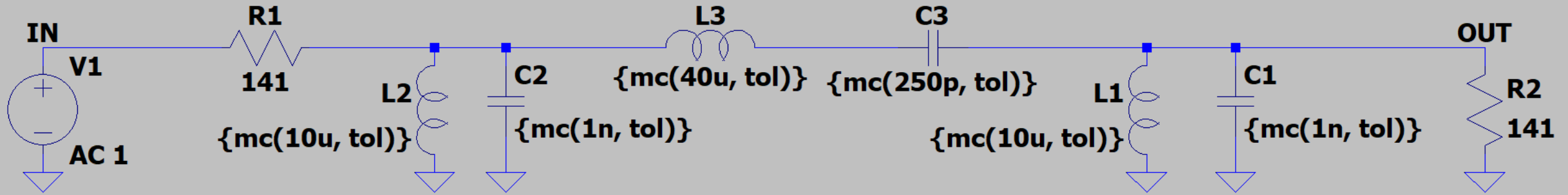
analiza Monte Carlo / worst case

Jak i czy układ będzie działał, jeśli weźmiemy pod uwagę nieidealność elementów?

Rezystor 10 k Ω może mieć 9,9 k Ω albo 10,1 k Ω , a kondensator 100 nF może realnie mieć znacznie większy rozrzut.

Symulacja Monte Carlo pokazuje, jak wpływa to na zachowanie układu...

Monte Carlo Simulation in LTspice



`.param tol=.05 ; +/- 5% component tolerance`

`.step param X 0 20 1 ; a dummy paramter to cycle Monte Carlo runs`

`.ac oct 100 300K 10Meg`

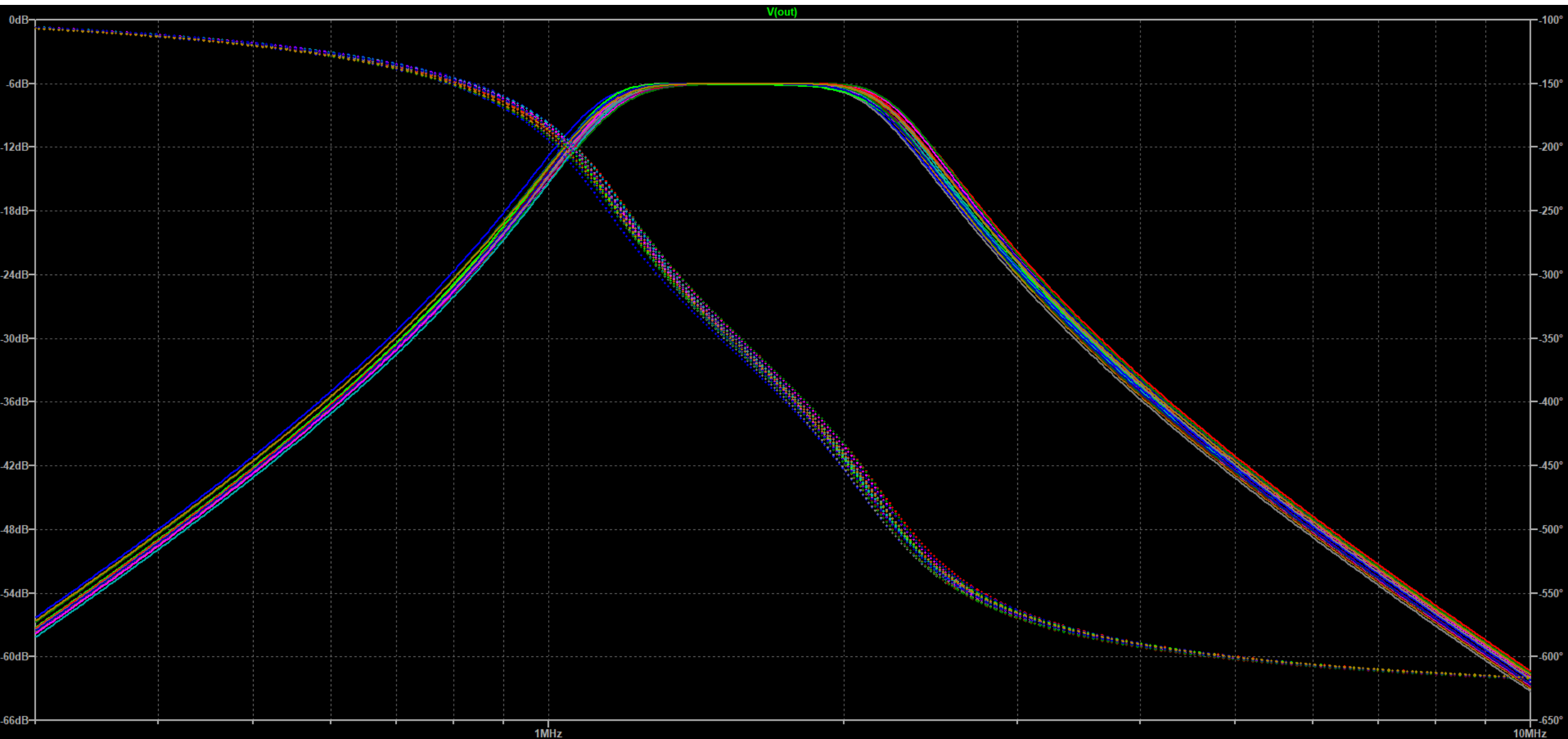
`mc(val, tol)` is a function that uses a random number generator to return a value between $val - tol * val$ and $val + tol * val$

Other functions of interest:

`flat(x)`: a function that uses a random number generator to return a value between $-x$ and x ;

`gauss(x)`: a function that uses a random number generator to return a value with a Gaussian distribution and sigma x .

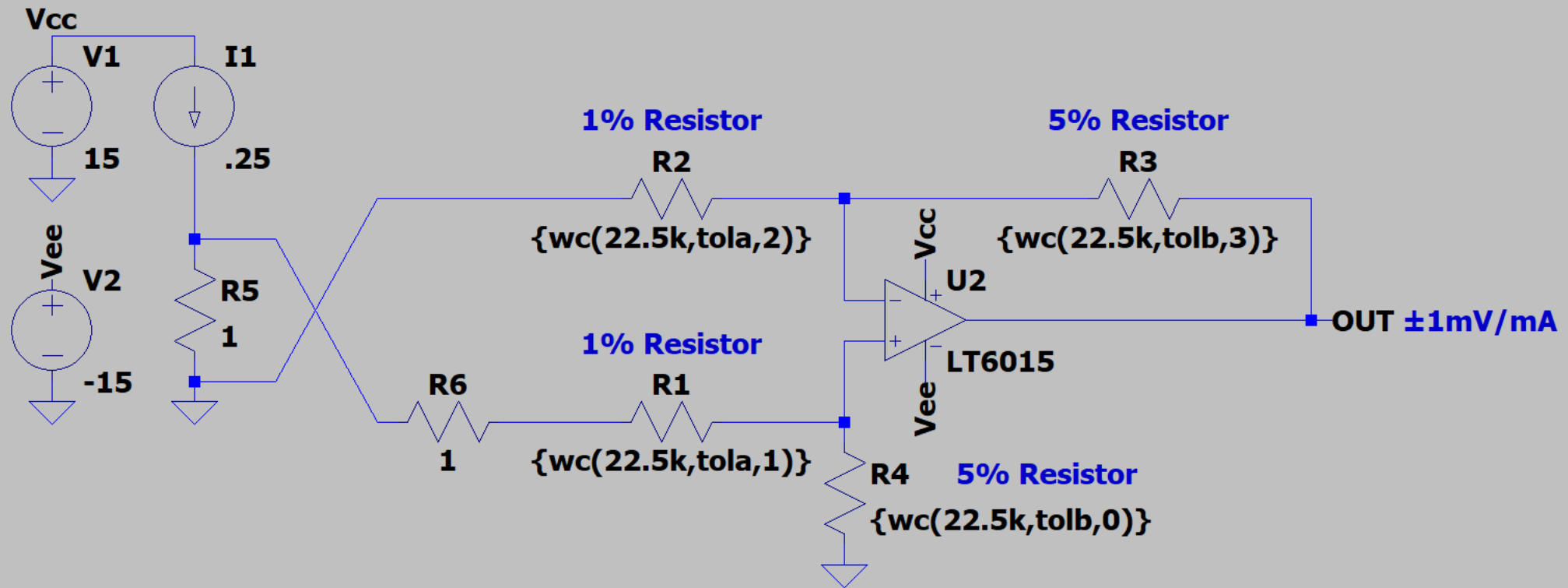
This example schematic is supplied for informational/educational purposes only.



Z kolei symulacja worst case pokazuje najgorsze możliwe sytuacje...

Zastosowania - branże:

- medycyna
- lotnictwo,
- loty kosmiczne,
- przemysł nuklearny, itp.



```
.func binary(run,index) floor(run/(2**index))-2*floor(run/(2**(index+1)))
```

```
.func wc(nom,tol,index) if(run==numruns,nom,if(binary(run,index),nom*(1+tol),nom*(1-tol)))
```

```
.param tola=.01
```

```
.param tolb=.05
```

```
.param numruns=16
```

```
.step param run 0 16 1
```

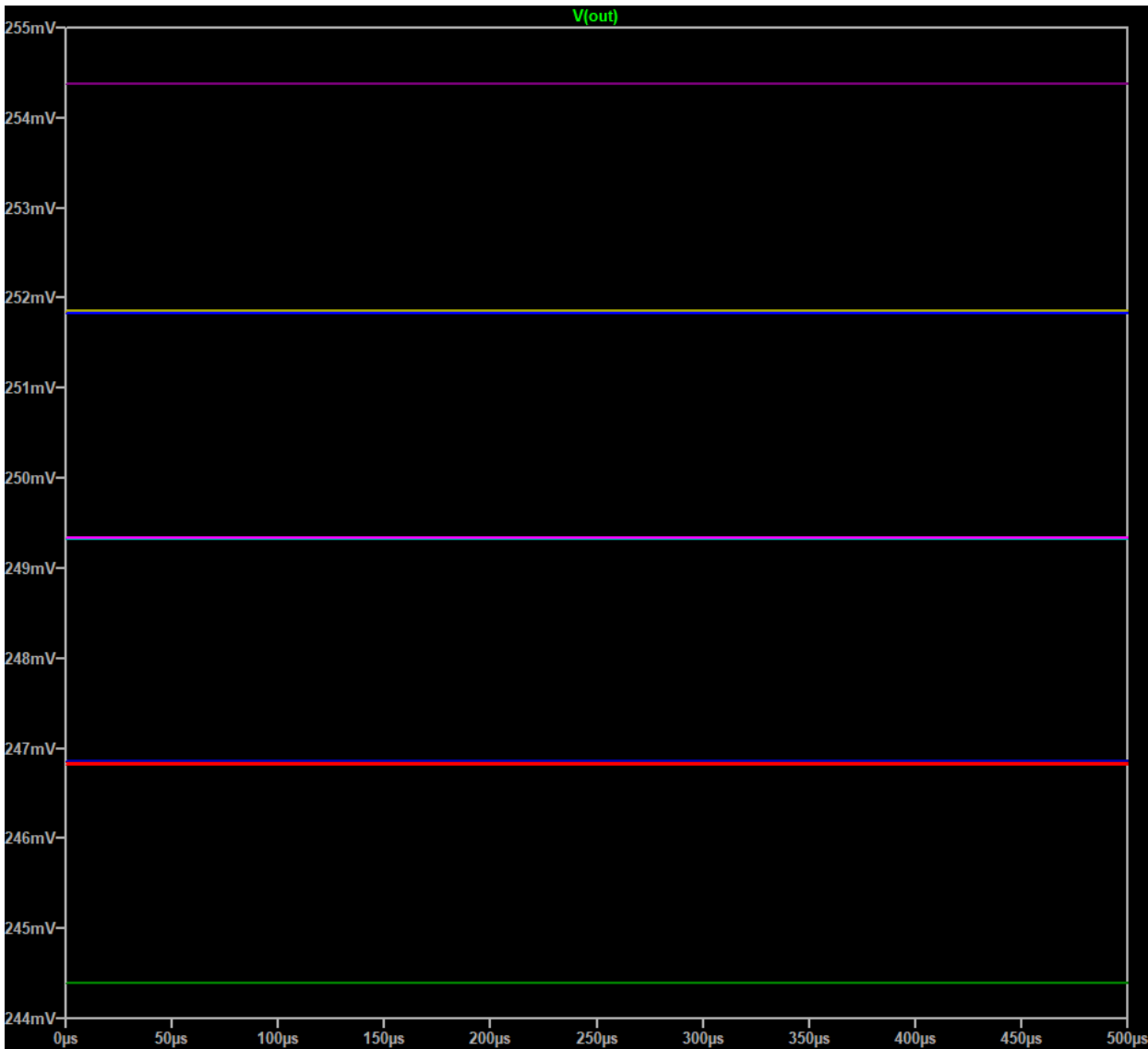
```
.tran .5m
```

```
.save V(out)
```

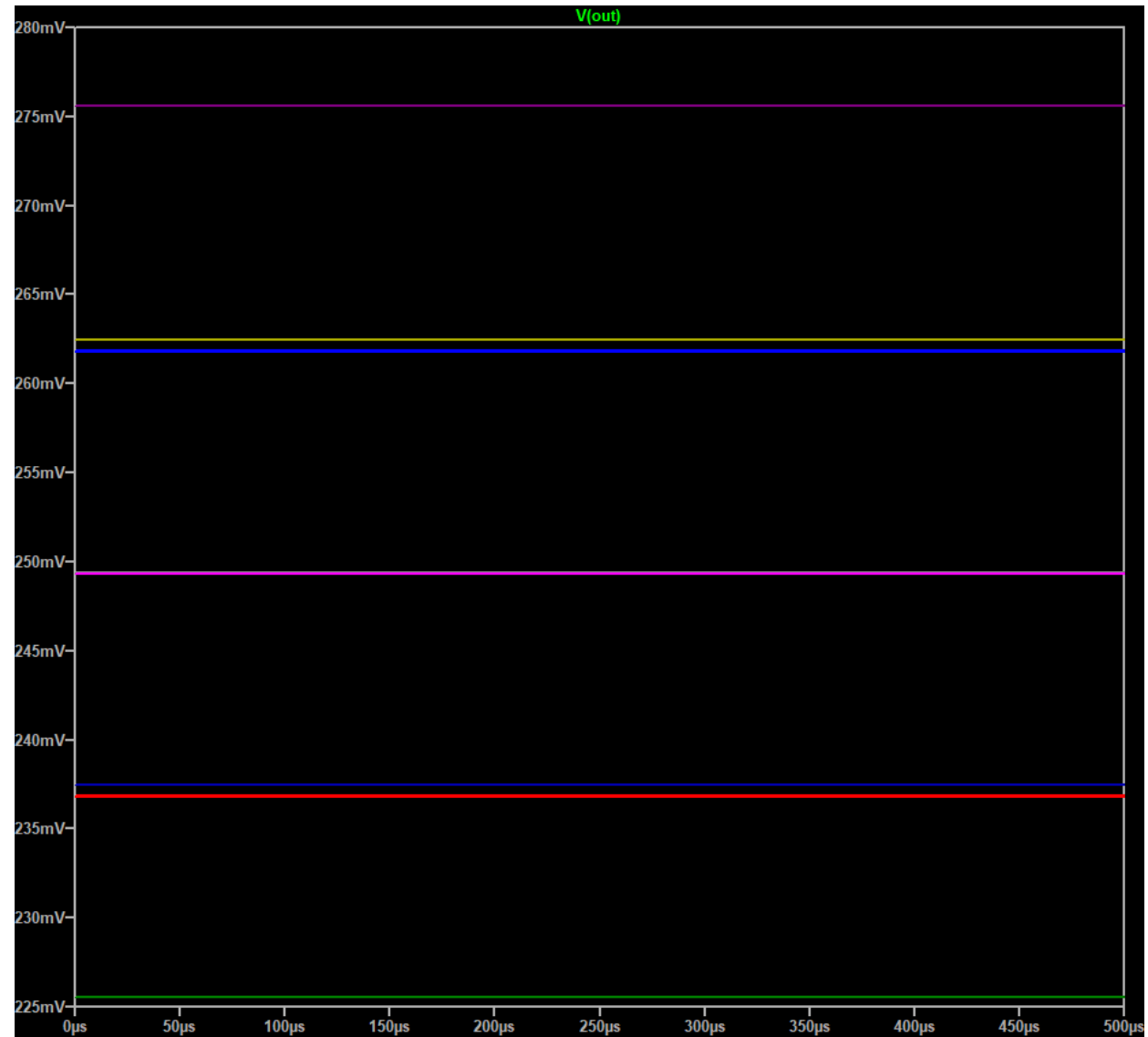
```
.meas VoutAvg avg V(out)
```

```
.option plotwinsize=0 numdgt=15
```

Tolerancja rezystorów 1%

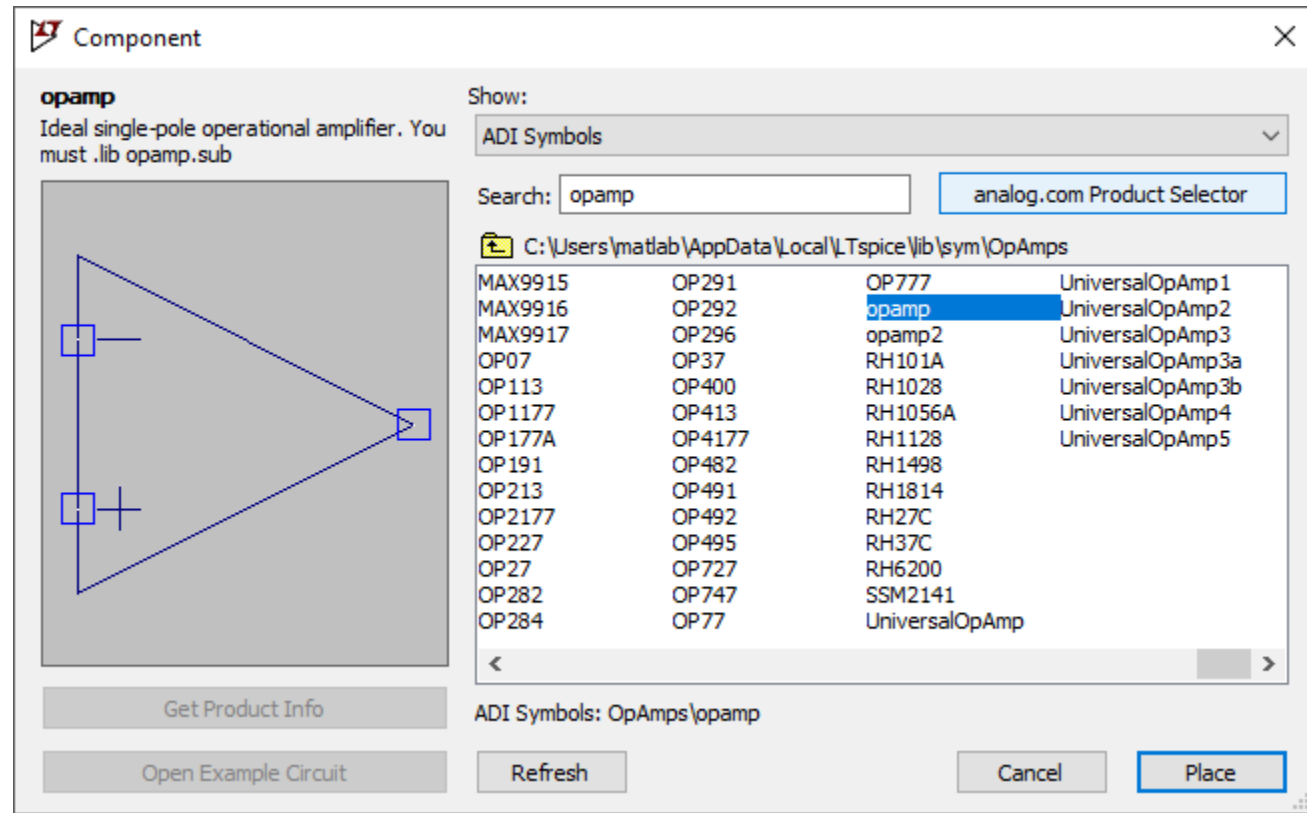


Tolerancja rezystorów 5%



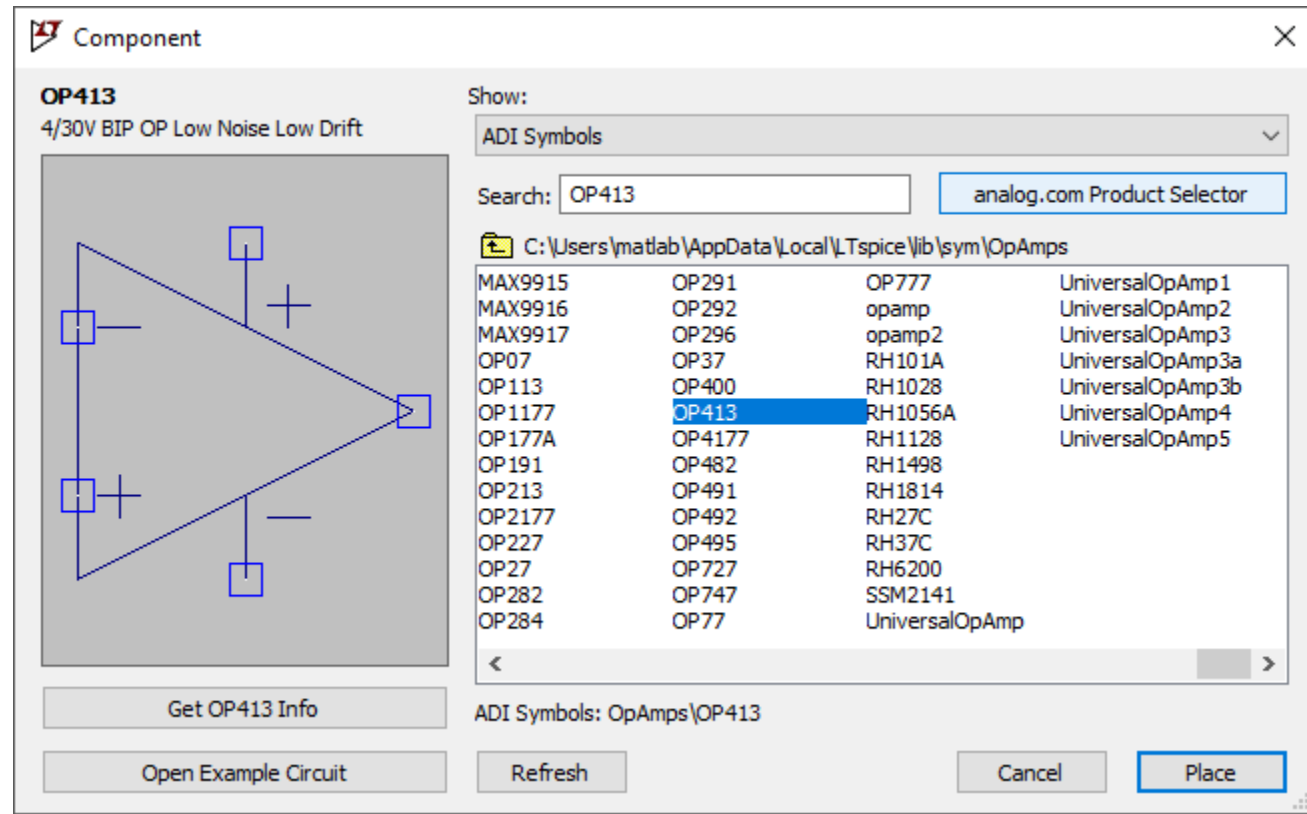
Modele elementów:

- model idealny



Modele elementów:

- model producenta



FEATURES

Single- or dual-supply operation

Low noise: 4.7 nV/√Hz @ 1 kHz

Wide bandwidth: 3.4 MHz

Low offset voltage: 100 μV

Very low drift: 0.2 μV/°C

Unity gain stable

No phase reversal

APPLICATIONS

Digital scales

Multimedia

Strain gages

Battery-powered instrumentation

Temperature transducer amplifier

GENERAL DESCRIPTION

The OPx13 family of single-supply operational amplifiers features both low noise and drift. It has been designed for systems with internal calibration. Often these processor-based systems are capable of calibrating corrections for offset and gain, but they cannot correct for temperature drifts and noise. Optimized for these parameters, the OPx13 family can be used to take advantage of superior analog performance combined with digital correction. Many systems using internal calibration operate from unipolar supplies, usually either 5 V or 12 V. The OPx13 family is designed to operate from single supplies from 4 V to 36 V and to maintain its low noise and precision performance.

The OPx13 family is unity gain stable and has a typical gain bandwidth product of 3.4 MHz. Slew rate is in excess of 1 V/μs. Noise density is a very low 4.7 nV/√Hz, and noise in the 0.1 Hz to 10 Hz band is 120 nV p-p. Input offset voltage is guaranteed and offset drift is guaranteed to be less than 0.8 μV/°C. Input common-mode range includes the negative supply and to within 1 V of the positive supply over the full supply range. Phase reversal protection is designed into the OPx13 family for cases where input voltage range is exceeded. Output voltage swings also include the negative supply and go to within 1 V of the positive rail. The output is capable of sinking and sourcing current throughout its range and is specified with 600 Ω loads.

PIN CONFIGURATIONS

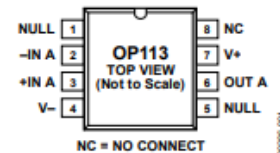


Figure 1. 8-Lead Narrow-Body SOIC_N

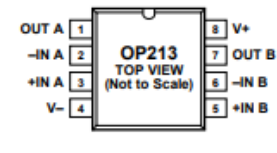


Figure 2. 8-Lead Narrow-Body SOIC_N

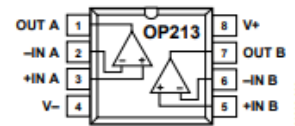


Figure 3. 8-Lead PDIP

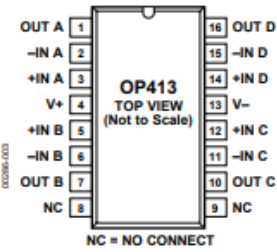


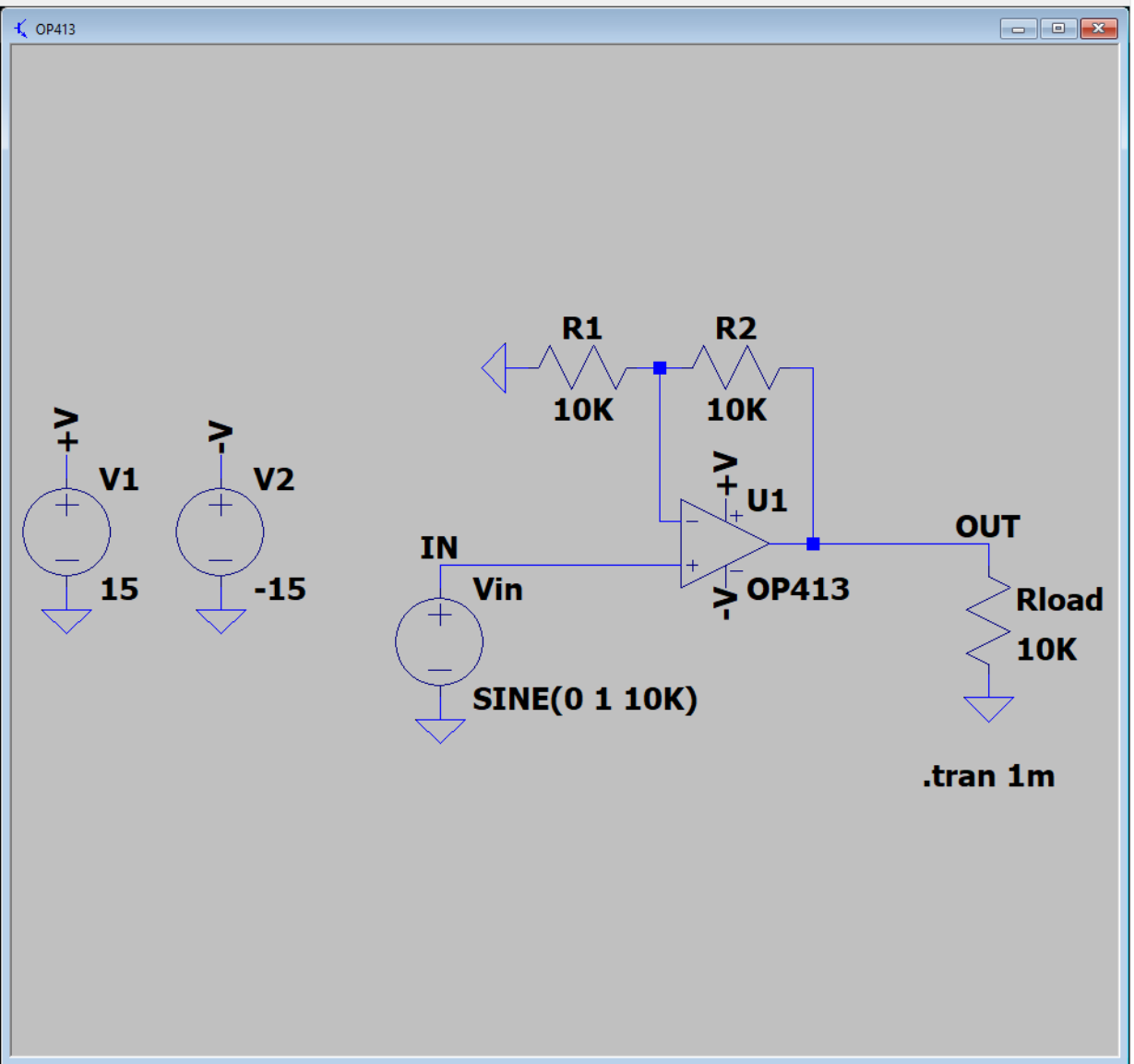
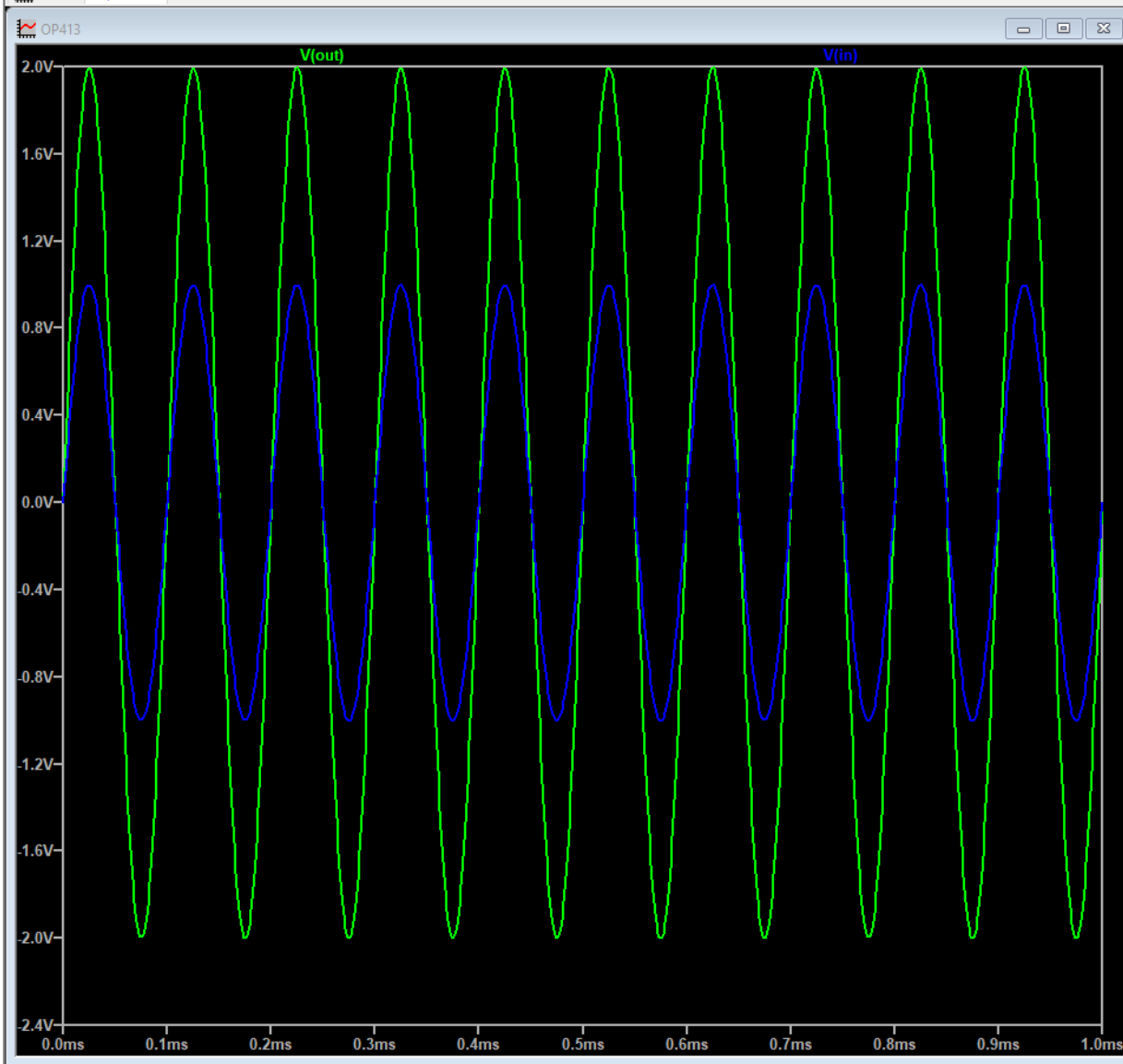
Figure 4. 16-Lead Wide-Body SOIC_W

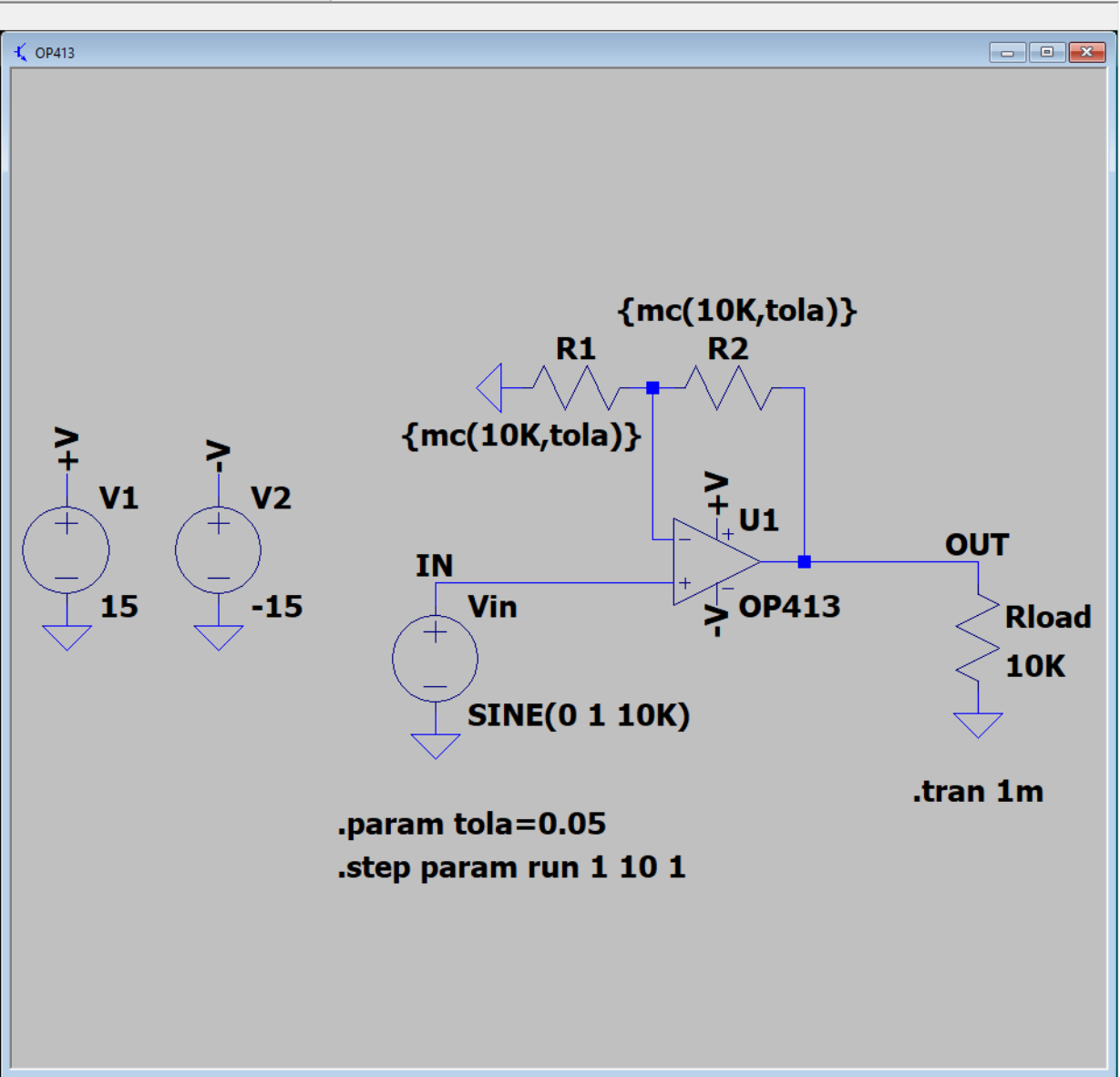
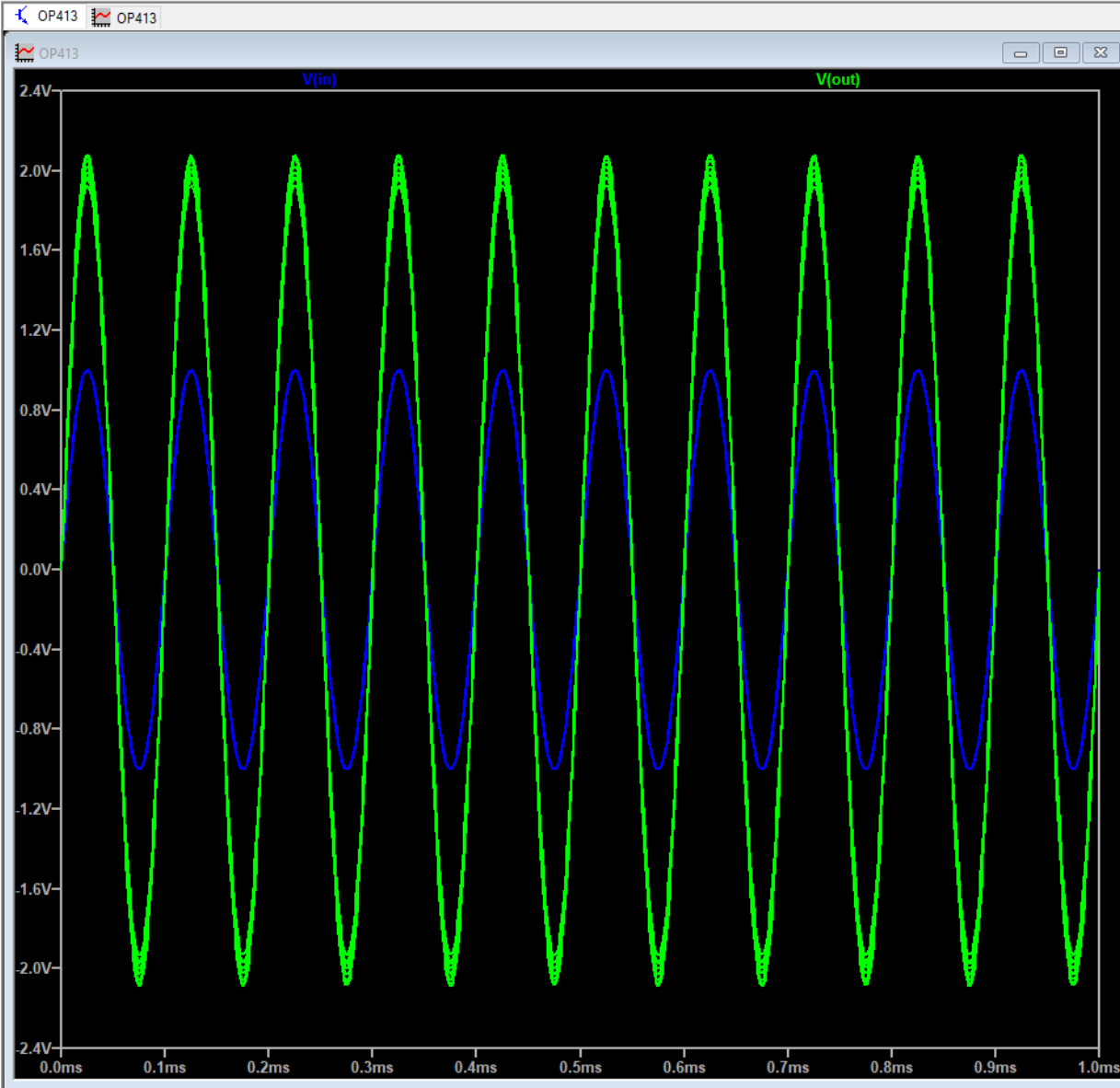
Digital scales and other strain gage applications benefit from the very low noise and low drift of the OPx13 family. Other applications include use as a buffer or amplifier for both analog-to-digital (ADC) and digital-to-analog (DAC) sigma-delta converters. Often these converters have high resolutions requiring the lowest noise amplifier to utilize their full potential. Many of these converters operate in either single-supply or low-supply voltage systems, and attaining the greater signal swing possible increases system performance.

The OPx13 family is specified for single 5 V and dual ±15 V operation over the XIND—extended industrial temperature range (−40°C to +85°C). They are available in PDIP and SOIC surface-mount packages.



OP413 OP413





Symulacja nie zastępuje całkowicie prototypu, ale pozwala wcześniej wykryć błędy założeń.

Symulacja jest tak dobra, jak dobry jest model elementów i założenia użytkownika.

Układ w symulatorze może działać, a na stole już nie - przez zasilanie, masę, pojemności i indukcyjności pasożytnicze, tolerancje i błędy montażowe.

Dziękuję za uwagę