

# Projektowanie PCB

*dr inż. Grzegorz Góra*

*D1 - Lab 20*

*ggora@agh.edu.pl*

*<http://home.agh.edu.pl/~ggora/>*

**Katedra Robotyki i Mechatroniki**

**Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki**

**Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie**

## PLAN

1. Etapy projektowania
2. Projektowanie układu elektronicznego (schemat):
  - 2.1. Rezystory
  - 2.2. Kondensatory
  - 2.3. Kondensatory odsprężające
  - 2.4. Zabezpieczenie portów GPIO
  - 2.5. Zdefiniowanie stanu niepodłączonych wejść
  - 2.6. Koralki ferrytowe
  - 2.7. Punkty testowe
  - 2.8. Schemat projektu
3. Projektowanie PCB (layout):
  - 3.1. Jedno-, dwu-, wielowarstwowe PCB
  - 3.2. Rozmieszczenie elementów SMD
  - 3.3. Podział PCB na regiony
  - 3.4. Szerokość ścieżek
  - 3.5. Odległości między elementami przewodzącymi
  - 3.6. Przelotki
  - 3.7. Prowadzenie ścieżek
  - 3.8. Poligony
  - 3.9. PCB jako radiator
  - 3.10. Thermal relief
  - 3.11. GND
4. Produkcja PCB
  - 4.1. Warianty
  - 4.2. Dokumentacja produkcyjna – pliki Gerber i NC Drill
  - 4.3. Dokumentacja produkcyjna – plik BOM
  - 4.4. Dokumentacja produkcyjna – plik Pick&Place

## Etapy projektowania

Poniżej znajduje się standardowa ścieżka projektowania. Może ona nieco się różnić w zależności od założeń projektowych, technologii wykonania PCB oraz sposobu montażu elementów elektronicznych.

0 – Przygotowanie elementów bibliotecznych (symbol + footprint).

1 – Przygotowanie schematu:

- a) rysowanie schematu,
- b) sprawdzenie reguł projektowych ERC.

2 – Projektowanie PCB (Layout):

- a) przyjęcie założeń dotyczących ilości warstw, rozmieszczenia elementów SMD, kształtu płytki, rozmieszczenia otworów montażowych, rozmieszczenia złączy, itd.,
- b) pogrupowanie elementów w bloki funkcjonalne (np. układ zasilania, tor analogowy, stopień mocy),
- c) rozłożenie elementów w blokach funkcjonalnych,
- d) prowadzenie ścieżek,
- e) sprawdzenie reguł DRC,
- f) przygotowanie/poprawa warstwy opisowej,
- e) przygotowanie wariantu płytki (jeśli występują warianty).

3 – Przygotowanie dokumentacji produkcyjnej:

- a) dokumentacja wykonawcza PCB – pliki Gerber i NC Drill (wierceń),
- b) spis elementów montażowych – plik BOM,
- c) rozmieszczenie komponentów – plik Pick&Place,
- d) dokumentacja wizualna CAD (m.in. widok 2D i 3D płytki).

## Rezystory

- Wartość rezystancji dobiera się funkcjonalnie (np. aby ograniczyć prąd diody LED lub prąd bazy tranzystora), a następnie należy sprawdzić maksymalną moc, która może wydzielić się na rezystorze.
- Obliczanie mocy rezystora:  $P_R = U_R \cdot I_R$      $P_R = I_R^2 \cdot R$      $P_R = U_R^2 / R$
- Rozpraszana moc zależna jest od rodzaju (wielkości) obudowy, poniżej standardowe wartości:

**SMD 0402 → 0.0625 W lub 0.1 W;**

**SMD 0603 → 0.1 W;**

**SMD 0805 → 0.125 W;**

**SMD 1206/1210 → 0.25 W.**

- Obecnie standardowa tolerancja rezystorów to 1%, w przypadku projektowania toru pomiarowego warto wykorzystać rezystory o lepszej tolerancji np. 0.1%.
- Wartości rezystancji są znormalizowane w szeregach (wartości dla każdej dekady), poniżej przykłady szeregu E6, E12 i E24:

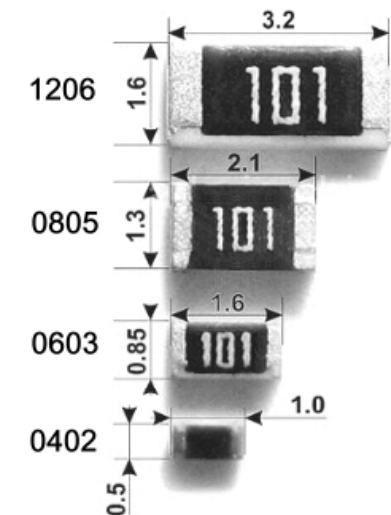
E6: 10, 15, 22, 33, 47, 68;

E12: 10, 12, 15, 18, 22, 27, 33, 39, 47, 56, 68, 82;

E24: 10, 11, 12, 13, 15, 16, 18, 20, 22, 24, 27, 30, 33, 36, 39, 43, 47, 51, 56, 62, 68, 75, 82 91.

- W projektach prototypowych warto korzystać z przyjętego szeregu (np. E12) oraz jednego (max dwóch) rodzaju obudowy (np. 0603), uzyskanie dokładnej (z poza szeregu) wartości oraz większej rozpraszanej mocy, można uzyskać poprzez szeregowe/równoległe połączenie kilku rezystorów.

Wymiary rezystorów w mm



## Kondensatory

Kondensator w obwodzie elektronicznym należy dobierać na podstawie:

- wymaganej pojemności,
- maksymalnego możliwego napięcia,
- możliwości zmiany znaku napięcia na kondensatorze (polaryzacji),
- innych parametrów (tolerancji, upływności, stałości temperaturowej).

Najczęściej w układach elektronicznych wykorzystuje się kondensatory:

- ceramiczne MLCC – tanie, małe gabarytowo, najczęściej niskonapięciowe, przyzwoita dokładność, brak polaryzacji, pojemności od pF do uF;
- elektrolityczne – tanie, duże pojemności od uF do mF, duże gabarytowo, występuje polaryzacja, kiepska tolerancja, spora upływność;
- tantalowe – tanie, duże pojemności w od kilku uF do setek uF, mniejsze gabarytowo od elektrolitycznych, występuje polaryzacja, kiepska tolerancja, spora upływność;
- foliowe (poliestrowe, polipropylenowe) – drogie, duże gabarytowo, wysokie napięcia, brak polaryzacji, pojemności występujące w szerokich granicach.

## Kondensatory

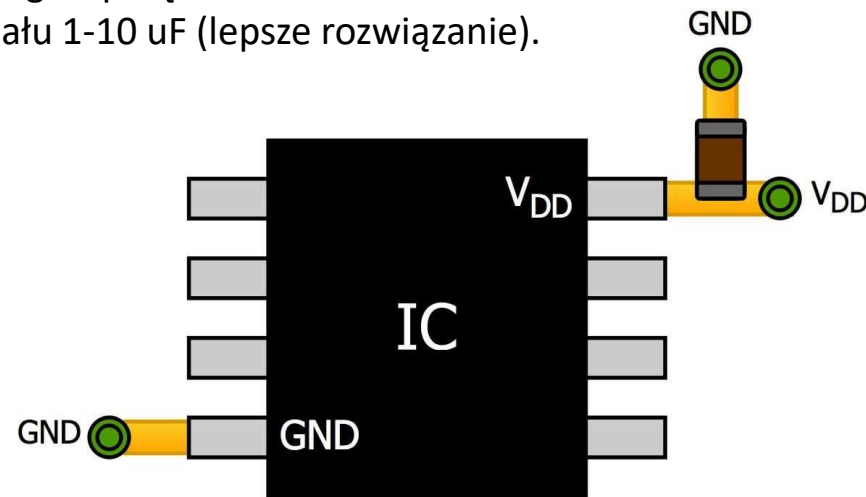
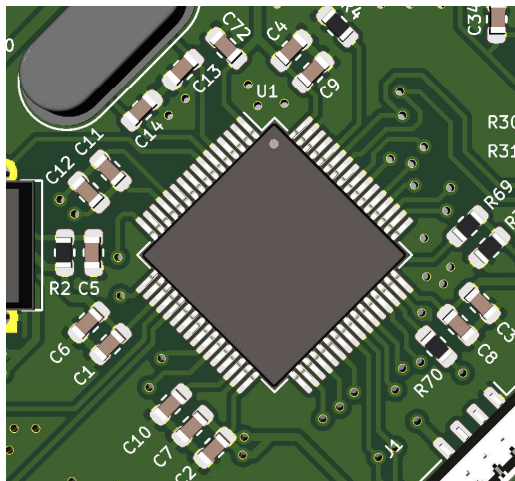
Typ kondensatora	Zakres pojemności	Napięcie maksymalne [V]	Dokładność	Stołość temperaturowa	Upływność	Uwagi
Mikowy	1 pF ÷ 0,01 μF	100 ÷ 600	dobra		mała	doskonały; dobry w zakresie częstotliwości radiowych
Ceramiczny rurkowy	0,5 pF ÷ 100 pF	100 ÷ 600		możliwość wyboru		możliwość wyboru współczynnika temperaturowego (łącznie z zerowym)
Ceramiczny	10 pF ÷ 1 μF	50 ÷ 30000	kiepska	kiepska	umiarkowana	mały, niedrogi, bardzo popularny
Poliestrowy	0,001 μF ÷ 50 μF	50 ÷ 600	dobra	kiepska	mała	tani, dobry, bardzo popularny
Polistyrenowy (styrofleksowy)	10 pF ÷ 2,7 μF	100 ÷ 600	znakomita	dobra	bardzo mała	wysokiej jakości, o dużych wymiarach, dobry do filtracji sygnałów
Poliwęglanowy	100 pF ÷ 30 μF	50 ÷ 800	znakomita	znakomita	mała	wysokiej jakości, o małych wymiarach
Polipropylenowy	100 pF ÷ 50 μF	100 ÷ 800	znakomita	dobra	bardzo mała	wysokiej jakości, mała absorpcja dielektryczna

## Kondensatory

Typ kondensatora	Zakres pojemności	Napięcie maksymalne [V]	Dokładność	Stołość temperaturowa	Uplywność	Uwagi
Teflonowy	1 nF ÷ 2 μF	50 ÷ 200	znakomita	najlepsza	najmniejsza	wysokiej jakości, najmniejsza absorpcja dielektryczna
Szklany	10 pF ÷ 1000 pF	100 ÷ 600	dobra		bardzo mała	duża stołość długoczasowa pojemności
Porcelanowy	100 pF ÷ 0,1 μF	50 ÷ 400	dobra	dobra	mała	dobry, duża stołość długoczasowa pojemności
Tantalowy	0,1 μF ÷ 500 μF	6 ÷ 100	kiepska	kiepska		duże pojemności, polaryzowany, małe wymiary; mała indukcyjność własna;
Elektrolityczny aluminiowy	0,1 μF ÷ 1,6 F	3 ÷ 600	potwornie zła	okropna	bardzo duża	filtry w zasilaczach; polaryzowany, krótki czas życia
Dwuwarstwowy	0,1 F ÷ 10 F	1,5 ÷ 6	kiepska	kiepska	mała	do podtrzymywania zawartości pamięci; duża rezystancja szeregową
Olejowy	0,1 μF ÷ 20 μF	200 ÷ 10 k			mała	filtry wysokonapięciowe; duże wymiary; długi czas życia
Próżniowy	1 pF ÷ 5 nF	2 k ÷ 36 k			bardzo mała	nadajniki

## Kondensatory odsprężające

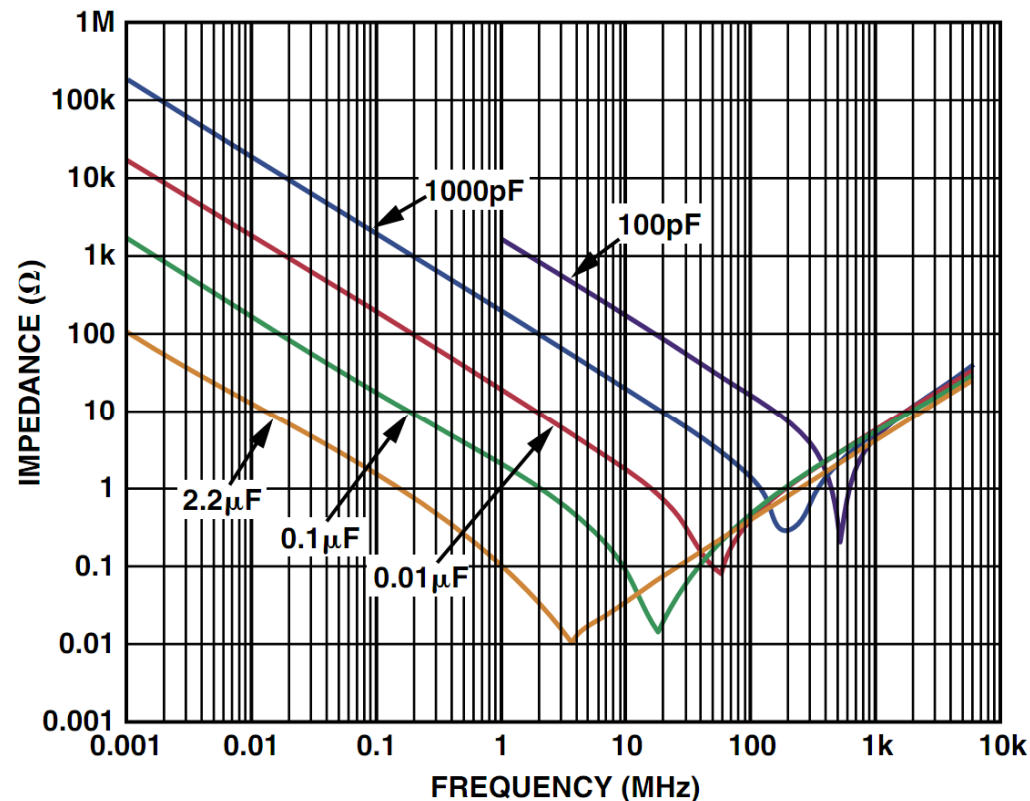
- Każdy układ scalony (cyfrowy i analogowy) powinien mieć w swoim pobliżu tzw. kondensator/kondensatory odsprężające (*ang. Decoupling capacitors*).
- Zadaniem kondensatorów odsprężających jest zapewnienie stabilnego napięcia zasilającego bez względu na występowanie chwilowych impulsów prądowych związanych z pracą układu scalonego. Pełnią funkcję bufora ładunku elektrycznego.
- Kondensatory odsprężające umieszcza jak najbliżej pinu zasilającego układ scalony.
- W pierwszej kolejności należy zapoznać się z dokumentacją producenta układu scalonego, tam może być podana wartość pojemności kondensatora/kondensatorów odsprężających.
- Jeśli producent układu scalonego nie podaje inaczej, należy zastosować kondensator ceramiczny o pojemności 100 nF (standard) lub równoległe połączenie kondensatora 100 nF i kondensatora ceramicznego o większej pojemności z przedziału 1-10 uF (lepsze rozwiązanie).





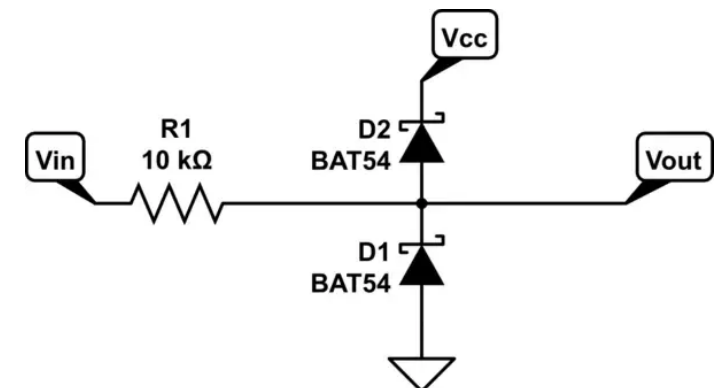
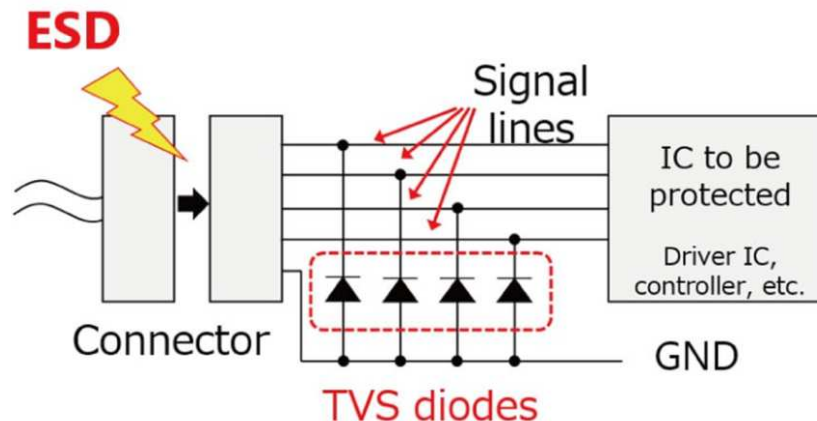
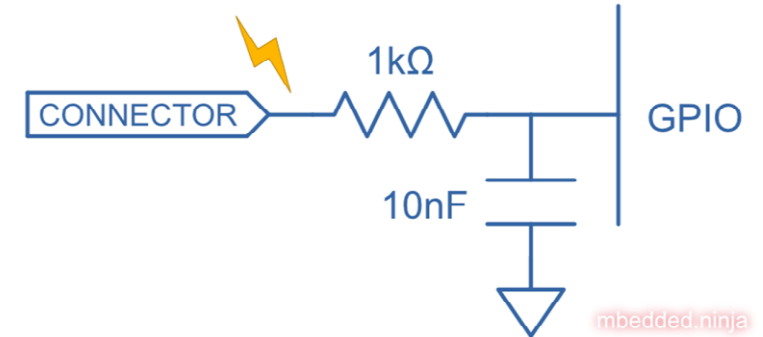
## Kondensatory odsprężające

- W przypadku projektowania elektroniki wysokich częstotliwości, pojemność kondensatorów odsprężających dobiera się na podstawie przewidywanych częstotliwości zakłóceń.
- Rzeczywisty kondensator dla pewnej częstotliwości rezonansowej traci swój pojemnościowy charakter i zaczyna przeważać charakter indukcyjny. Częstotliwość rezonansowa zależna jest od jego pojemności zgodnie z wykresem poniżej.



## Zabezpieczenie portów wejściowych MCU/FPGA

- Jeśli sygnał wejściowy podawany jest bezpośrednio na port układu cyfrowego (mikrokontrolera lub układu FPGA), bez udziału układu pośredniczącego (np. konwertera napięć, bufora) dobrą praktyką jest zabezpieczenie portu wejściowego przed zakłóceniami i przepięciami.
- Poniżej znajdują się przykłady zabezpieczenia portu wejściowego: szeregowym rezystorem, filtrem dolno-przepustowym, diodami Schottky'ego, diodami TVS.
- Zabezpieczenie musi być odpowiednio dobrane do rodzaju sygnału (m.in. standardu napięciowego, pasma).
- **Dobór wartości rezystora wpiętego w linię (szereg) zależy od pasma (częstotliwości) sygnału.**



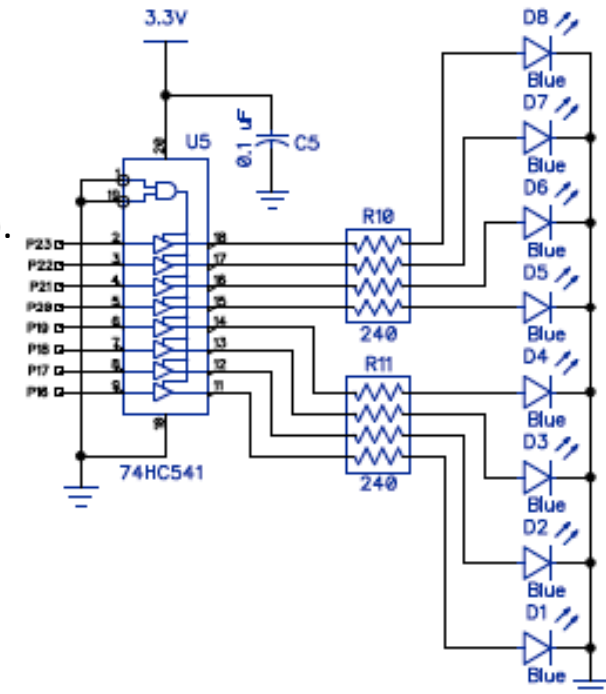
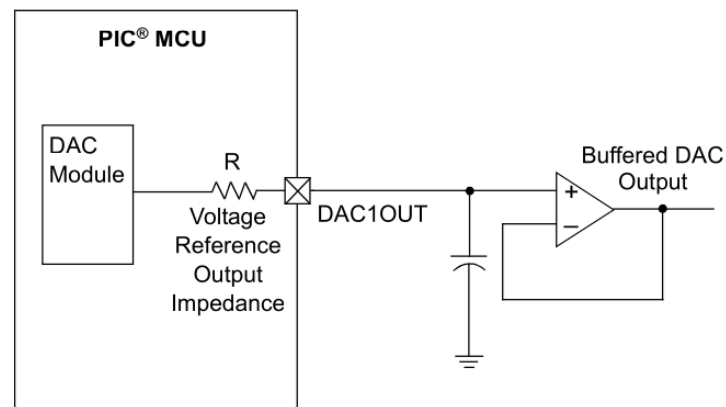
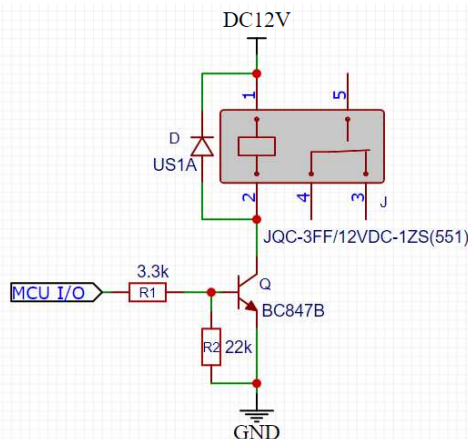
## Zabezpieczenie portów wyjściowych MCU/FPGA

Dobłą praktyką w projektowaniu jest wykorzystanie układu pośredniczącego pomiędzy wyjściem układu cyfrowego (mikrokontrolera lub układu FPGA) oraz układem wykonawczym. Pozwala to na:

- ograniczenie wydajności prądowej wyjścia układu cyfrowego;
- zmianę standardu napięciowego, jeśli jest to konieczne (np. z 3V3 na 5V);
- ograniczenie zakłóceń przenoszonych na mikrokontroler lub układ FPGA przez inne części systemu;
- zabezpieczenie portu przed uszkodzeniem.

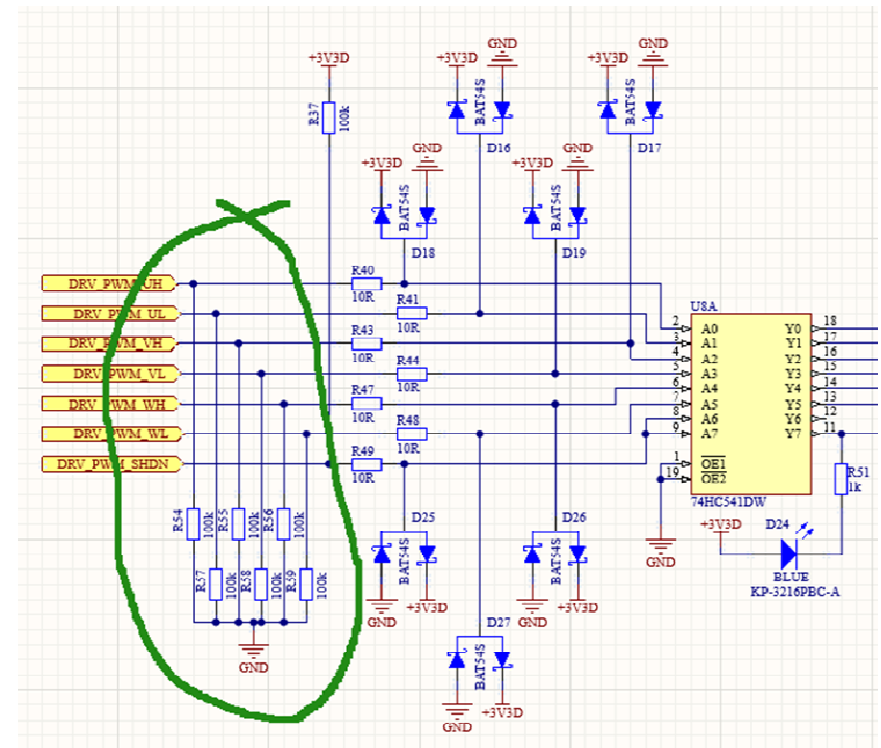
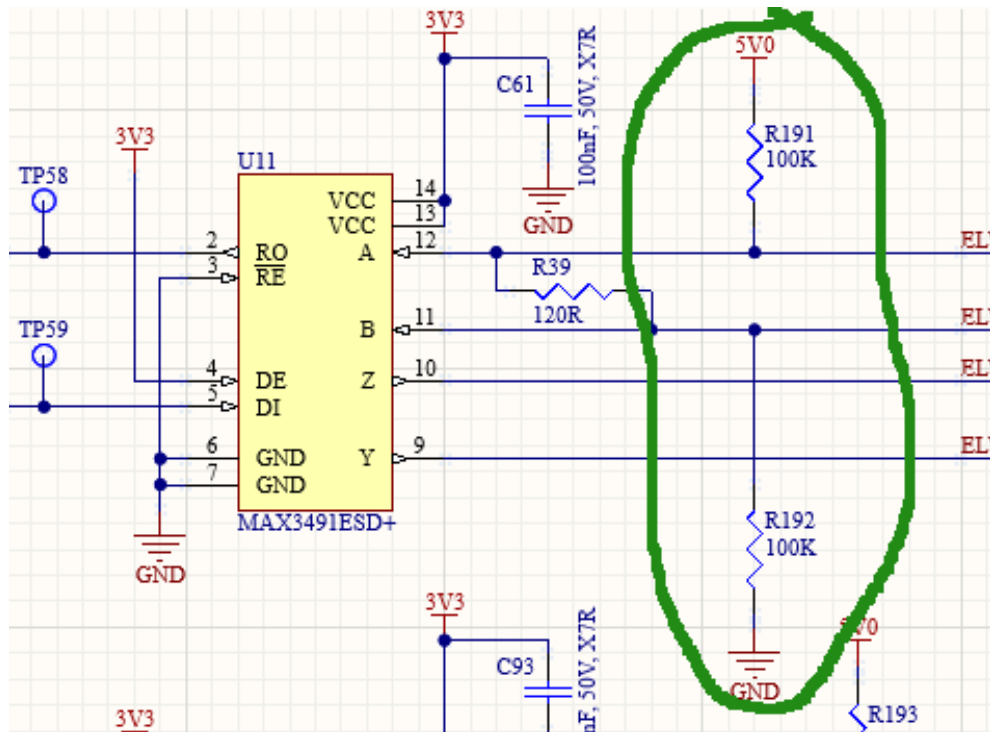
Przykłady:

- z wykorzystaniem tranzystora;
- z wykorzystaniem bufora (np. 74HC541);
- z wykorzystaniem wzmacniacza operacyjnego (wyjście analogowe DAC).



## Zdefiniowanie stanu niepodłączonych wejść

- Sygnały wejściowe PCB powinny mieć zdefiniowany stan poprzez rezystory typu pull-up/pull-down na wypadek niepodłączenia złącza do gniazda lub braku sygnału (np. w wyniku uszkodzenia kabla).
- W tym celu można wykorzystać rezystory ok. 100 k $\Omega$  (ang. weak pull-up/pull-down).
- „Pływający” (pod wpływem zakłóceń) sygnał, może powodować niestabilne działanie systemu (np. niekontrolowane włączanie/wyłączanie układów wykonawczych, niekontrolowane generowanie przerwań w mikrokontrolerze, błędy komunikacji w interfejsach szeregowych).



## Koraliki ferrytowe

- Koralik ferrytowy (*ang. Ferrite Bead*) jest elementem o charakterze indukcyjnym, przeznaczonym do tłumienia zakłóceń wysokoczęstotliwościowych i zakłóceń elektromagnetycznych (EMI).

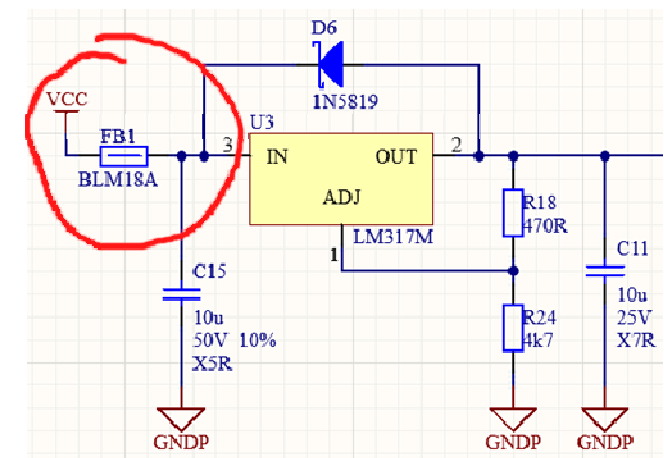


(Resistance element becomes dominant at high frequencies.)



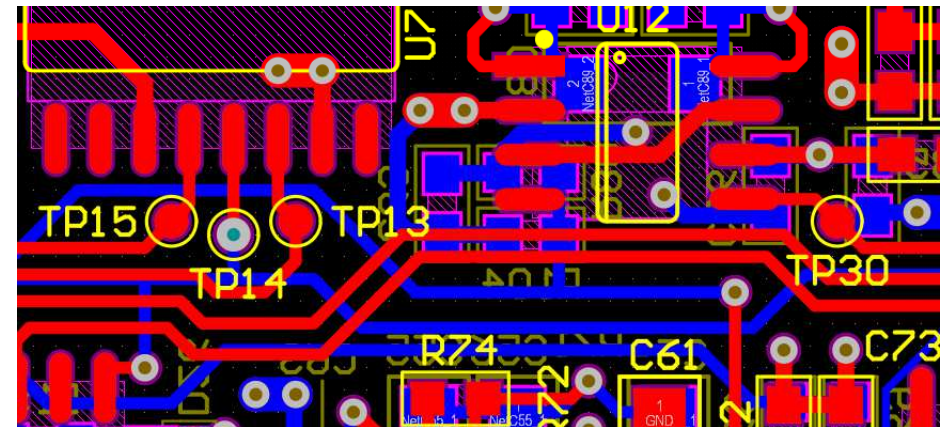
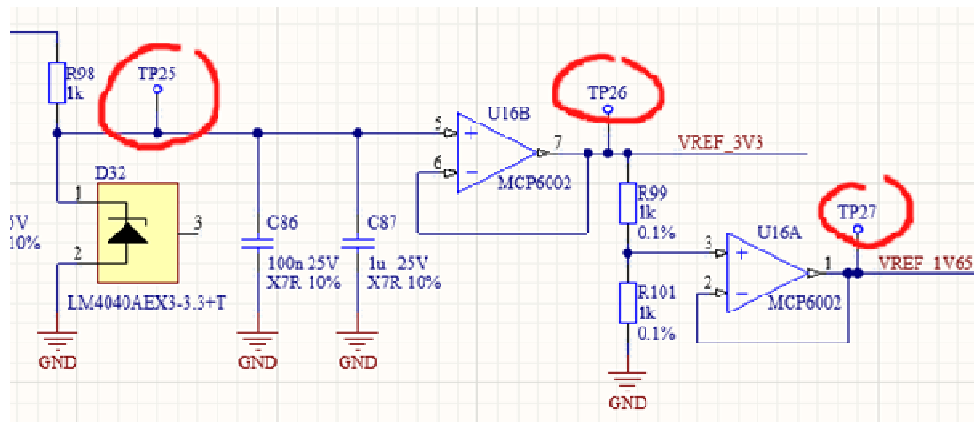
- Koralik ferrytowy wpina się szeregowo w szynę zasilającą powodując jej podział na sekcje zasilające.
- Podstawowymi parametrami koralików ferrytowych są: maksymalny prąd, opór (rezystancja) dla prądu stałego oraz impedancja dla wysokich częstotliwości (najczęściej podawana dla częstotliwości 100 MHz).
- Dodatkową zaletą korzystania z koralików ferrytowych jest możliwość podziału szyny zasilającej na sekcje, które w razie potrzeby mogą być niezależnie diagnozowane.

Part Number	Impedance (at 100MHz/20°C)	Impedance (at 1GHz/20°C)	Rated Current	DC Resistance(max.)
BLM18AG121SN1□	120ohm±25%	-	500mA	0.18ohm
BLM18AG151SN1□	150ohm±25%	-	500mA	0.25ohm
BLM18AG221SN1□	220ohm±25%	-	500mA	0.25ohm
BLM18AG331SN1□	330ohm±25%	-	500mA	0.30ohm
BLM18AG471SN1□	470ohm±25%	-	500mA	0.35ohm
BLM18AG601SN1□	600ohm±25%	-	500mA	0.38ohm
BLM18AG102SN1□	1000ohm±25%	-	400mA	0.50ohm



## Punkty testowe (TestPointy)

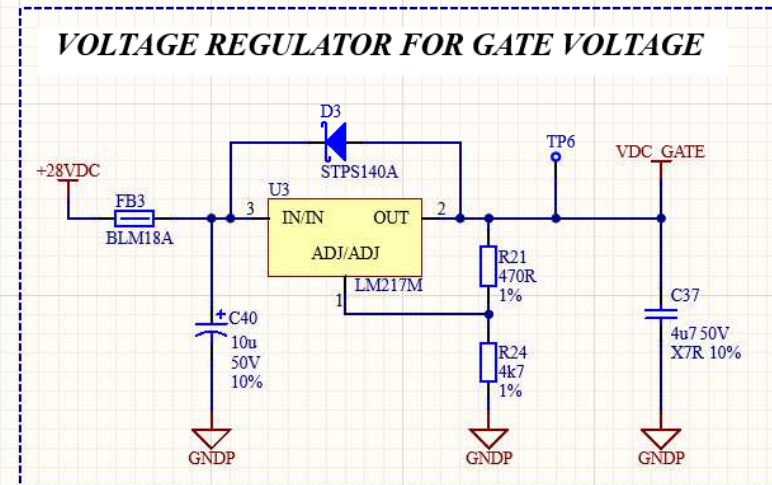
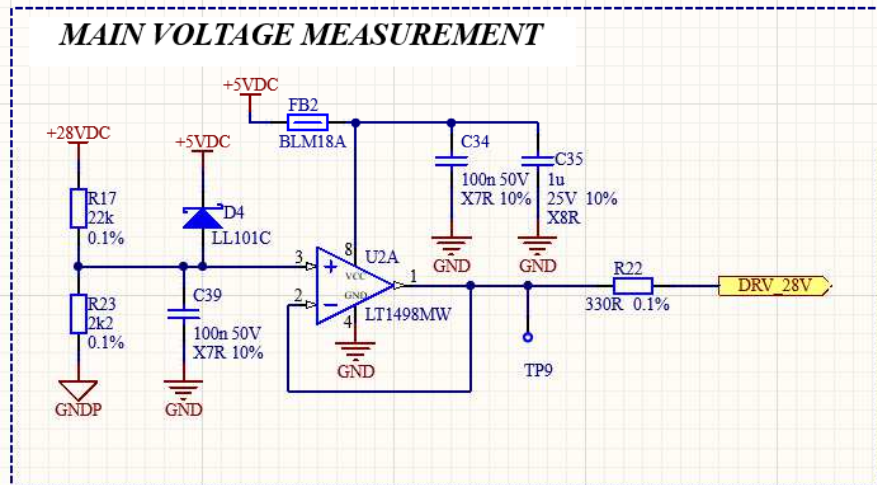
- Punkt testowy (*ang. Testpoint*) jest dodatkowym padem (SMD lub THT) na płytce PCB, który pozwala na pomiar napięcia miernikiem lub podgląd przebiegu przy użyciu oscyloskopu.
- Testpointy ułatwiają uruchomienie oraz diagnostykę i serwis układów elektronicznych.
- Najczęściej Testpointy stosuje się podglądu/diagnostyki:
  - głównych napięć (szyn) zasilających;
  - napięć referencyjnych;
  - magistral komunikacyjnych tj. UART, SPI, I2C;
  - torów pomiarowych;
  - sygnałów z czujników i przetworników;
  - sygnałów sterujących np. PWM.





## Schemat projektu

- Schemat powinien być przede wszystkim czytelny i łatwy w interpretacji. Wszystkie etykiety i opisy powinny być zorientowane w tym samym kierunku, aby ułatwić czytanie schematu. W miarę możliwości wejścia obwodu elektronicznego/elektrycznego powinny być po lewej stronie, wyjścia po prawej (jest to naturalny kierunek przepływu informacji w schematach blokowych). W miarę możliwości dodatnie napięcia zasilające powinny być umieszczone w górnej części schematu, masy i ujemne napięcia zasilające w dolnej części schematu.
- Jeśli schemat całego urządzenia nie mieści się na jednym arkuszu, należy go podzielić, zachowując podział funkcjonalny (np. Układ zasilania, Przetwornik ADC, Pomiar temperatury, Komunikacja UART, Mikrokontroler, Przyciski i Diody, itd.).
- W obrębie arkusza można wydzielić i opisać obwody odpowiedzialne za poszczególne zadania.

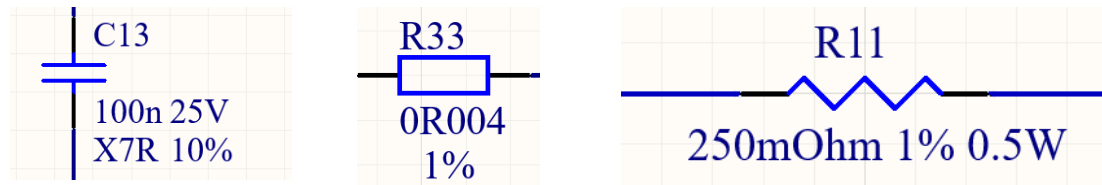


## Schemat projektu

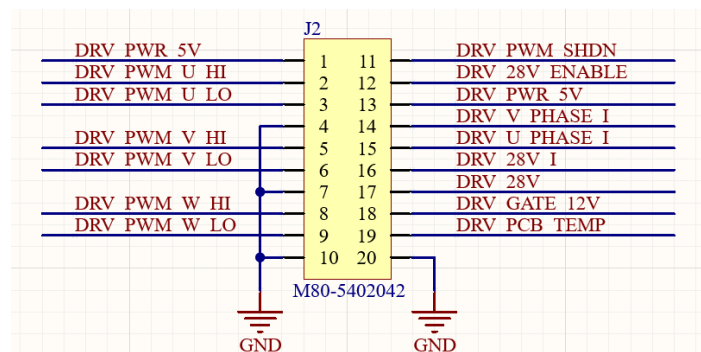
- Połączenie elektryczne z szynami zasilającymi powinno być oznaczone poprzez wykorzystanie dedykowanych symboli. Zmniejsza to liczbę połączeń oraz poprawia czytelność schematu.



- Kluczowe parametry elementów biernych powinny być zaznaczone na schemacie (np. napięcie kondensatora, prąd bezpiecznika, tolerancja/moc rezystora jeśli stanowi element pomiarowy, itd.).

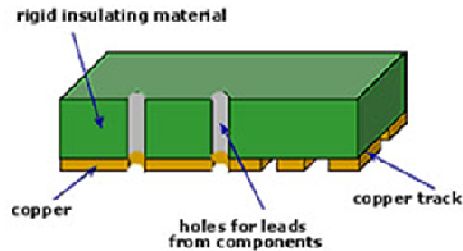


- W przypadku złączy o dużej liczbie połączeń najlepiej wykorzystać etykiety zamiast bezpośredniego łączenia ścieżką z innymi elementami obwodu (przykład poniżej). Dzięki temu patrząc na złącze od razu widać jakie poszczególne piny pełnią funkcje, bez śledzenia gdzie dany sygnał jest podpięty, zwiększa to też przejrzystość schematu.



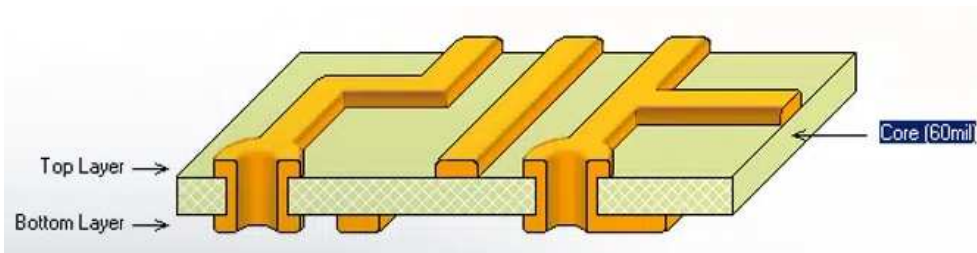


## Jedno-, dwu-, wielowarstwowe PCB



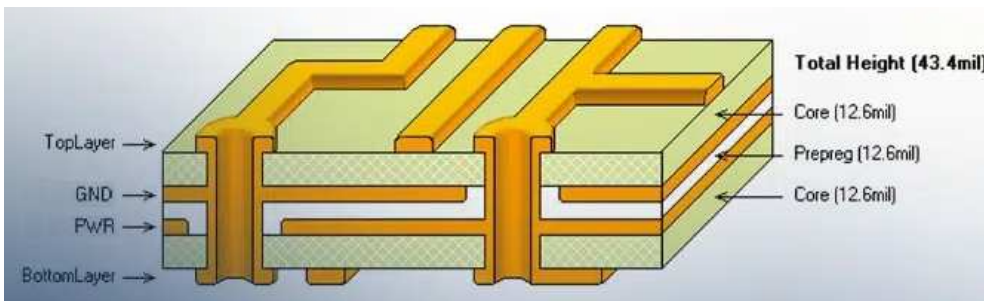
### Jednowarstwowa PCB

- GND, zasilanie oraz sygnały znajdują się na jednej warstwie.
- Obecnie stosowane tylko do prototypowania.



### Dwuwarstwowa PCB

- GND, zasilanie oraz sygnały znajdują się na obu warstwach zewnętrznych.
- Najczęściej wolne przestrzenie na obu warstwach wypełnia się poligonem podłączonym do GND.



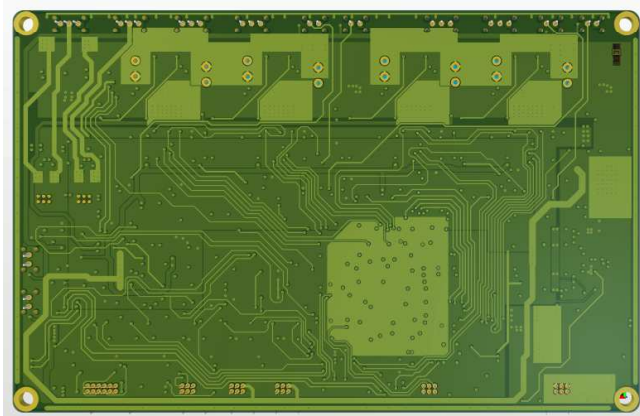
### Wielowarstwowa (np. 4 warstwowa) PCB

- Standardowo zewnętrzne warstwy służą do prowadzenia sygnałów.
- Standardowo wewnętrzne warstwy są płaszczyznami miedzi podłączonymi do GND oraz linii zasilających.
- W celu ograniczenia kosztów produkcji najczęściej wykorzystuje się tylko przelotki przechodzące przez wszystkie warstwy.

## Rozmieszczenie elementów SMD

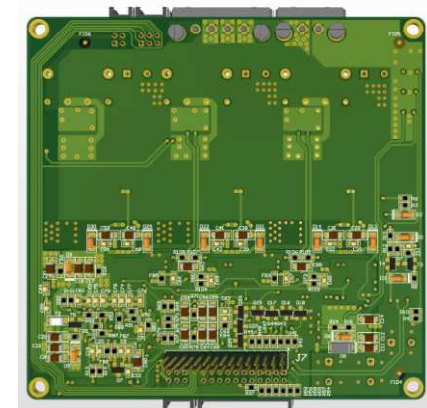
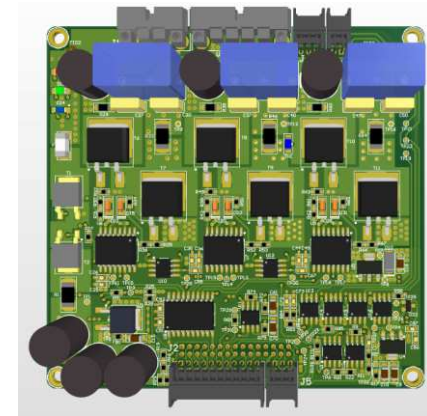
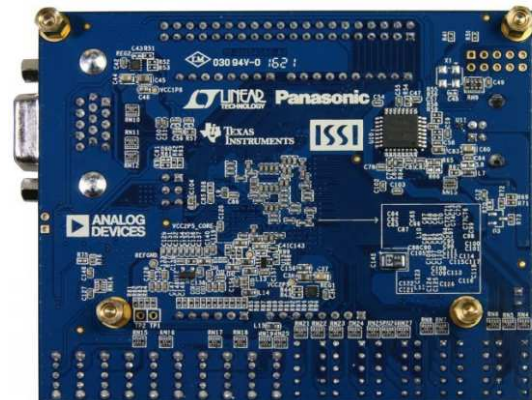
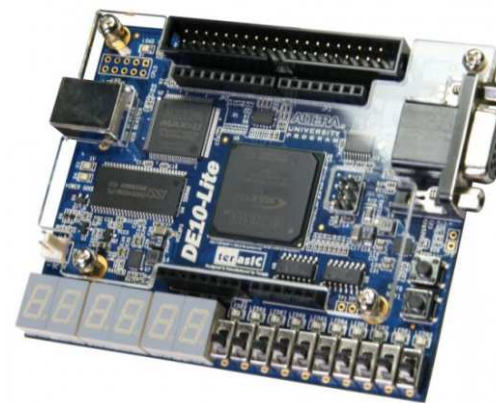
### Rozmieszczenie jednostronne

- Wszystkie elementy SMD znajdują się na jednej stronie PCB (niezależnie od liczby warstw płytki)
- Rozwiązanie tańsze i prostsze w montażu



### Rozmieszczenie dwustronne

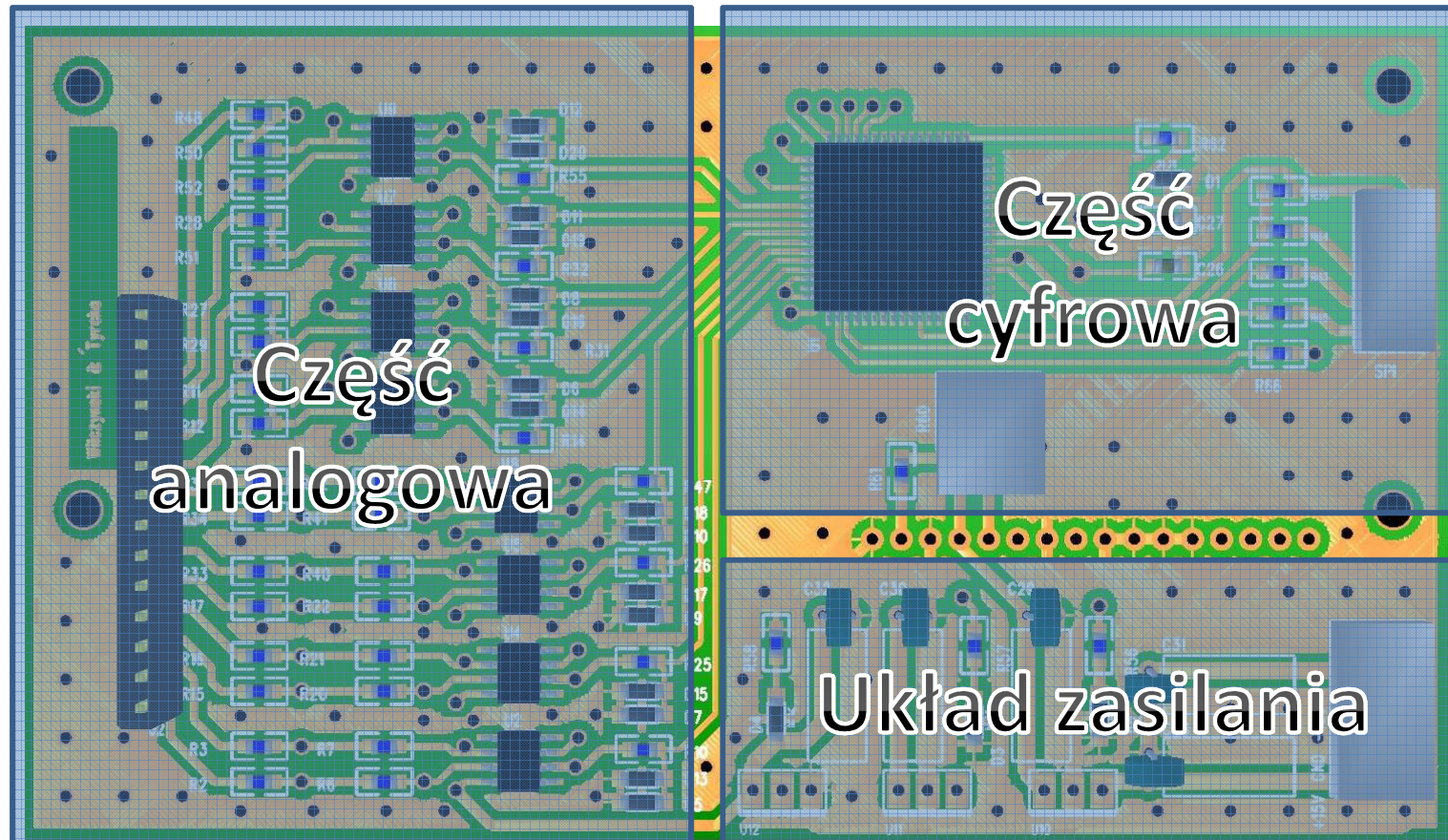
- Elementy SMD rozmieszczone są po obu stronach PCB
- Rozwiązanie droższe i bardziej wymagające technologicznie w montażu





## Podział PCB na regiony

Podział PCB na regiony (np. układ zasilania, część cyfrowa, część analogowa), czyli grupowanie elementów w bloki funkcjonalne pozwala uprościć proces projektowania (w pierwszym etapie projektowany jest obwód w obrębie danego bloku, a następnie bloki łączone są ze sobą) oraz zmniejsza wpływ zakłóceń poszczególnych bloków funkcjonalnych na siebie.



## Szerokość ścieżek

- Minimalna szerokość ścieżki ograniczona jest technologią wykonania PCB (zazwyczaj ok. 6-8 mils).
- Szerokość ścieżek sygnałowych zazwyczaj przyjmuje się w zakresie 6-15 mils.
- Szerokość ścieżek dystrybuujących prąd, zależna jest w głównej mierze od: maksymalnego prądu, grubości warstwy miedzi (1 oz = 35 um) oraz dopuszczalnego wzrostu temperatury ścieżki.

Track Width Reference Table (for 10deg C temp rise). Track Width is in Thous (mils)			
Current (Amps)	Width for 1oz	Width for 2 oz	milli Ohms/Inch
1	10	5	52
2	30	15	17.2
3	50	25	10.3
4	80	40	6.4
5	110	55	4.7
6	150	75	3.4
7	180	90	2.9
8	220	110	2.3
9	260	130	2.0
10	300	150	1.7

## Odległość między elementami przewodzącymi

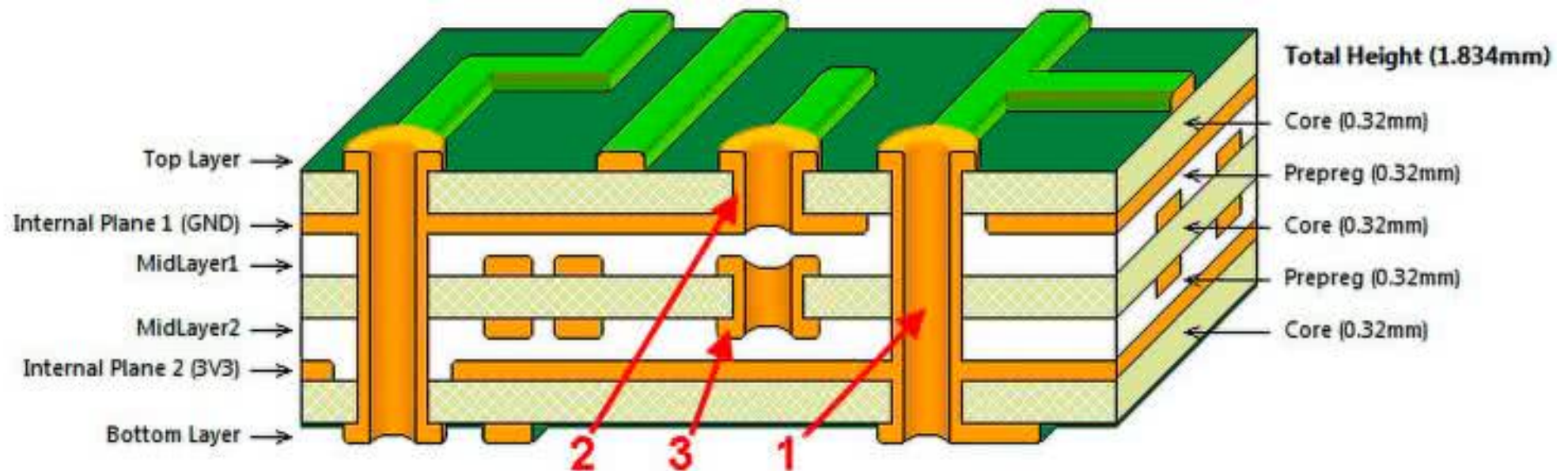
- Należy zapewnić odpowiednią odległość między wszystkimi elementami przewodzącymi, tj.: ścieżki, płaszczyzny masy, pady elementów SMD i THT, metalizowanymi otworami montażowymi, itd.
- Minimalna odległość między elementami przewodzącymi zależy od maksymalnego możliwego napięcia, które może między nimi wystąpić.
- Odległość ta jest różna dla warstw wewnętrznych i zewnętrznych PCB.

<b>Clearances for Electrical Conductors</b>			
<b>Voltage (DC or Peak AC)</b>	<b>Internal</b>	<b>External (&lt;3050m)</b>	<b>External (&gt;3050m)</b>
0-15V	0.05mm	0.1mm	0.1mm
16-30V	0.05mm	0.1mm	0.1mm
31-50V	0.1mm	0.6mm	0.6mm
51-100V	0.1mm	0.6mm	1.5mm
101-150V	0.2mm	0.6mm	3.2mm
151-170V	0.2mm	1.25mm	3.2mm
171-250V	0.2mm	1.25mm	6.4mm
251-300V	0.2mm	1.25mm	12.5mm
301-500V	0.25mm	2.5mm	12.5mm



## Przelotki

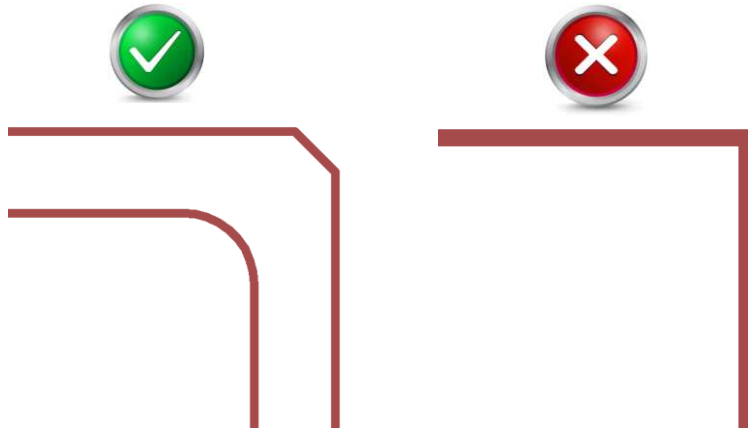
- W wielowarstwowych PCB mogą wystąpić trzy rodzaje przelotek: PTH, ślepa, zagrzebana.
- Ze względu na cenę, zaleca się stosować tylko przelotek PTH, nawet jeśli ich zadaniem jest zapewnienie połączenia pomiędzy warstwami wewnętrznymi.
- W przypadku konieczności przeniesienia dużych prądów między warstwami, zaleca się zastosowanie wielu przelotek (połączenie równoległe).



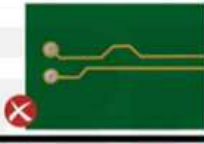
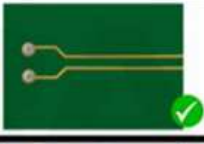
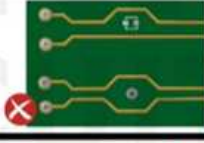
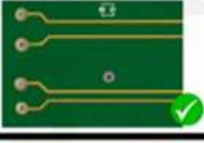
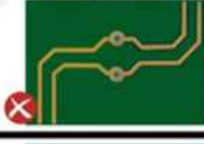
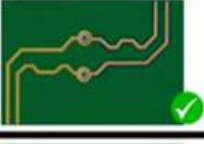

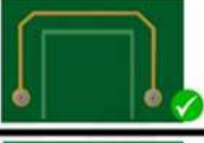




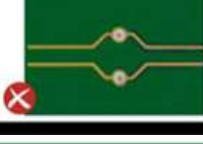
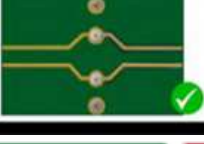
- 1 - Przelotka typu PTH (Plated Through Hole) – przechodząca przez cały stos PCB, najtańsza w wykonaniu.
- 2 - Przelotka ślepa – łącząca jedną warstwę zewnętrzną w jedną z warstw wewnętrznych, droga w wykonaniu.
- 3 - Przelotka zagrzebana – łącząca między sobą warstwy wewnętrzne, bardzo droga w wykonaniu.

## Prowadzenie ścieżek

- W przypadku układów elektronicznych niskich i średnich częstotliwości (poniżej 10 MHz) podstawową wytyczną w ręcznym prowadzeniu ścieżek jest unikanie prowadzenia ścieżek pod kątem prostym. Najlepiej prowadzić je pod kątem 45°.

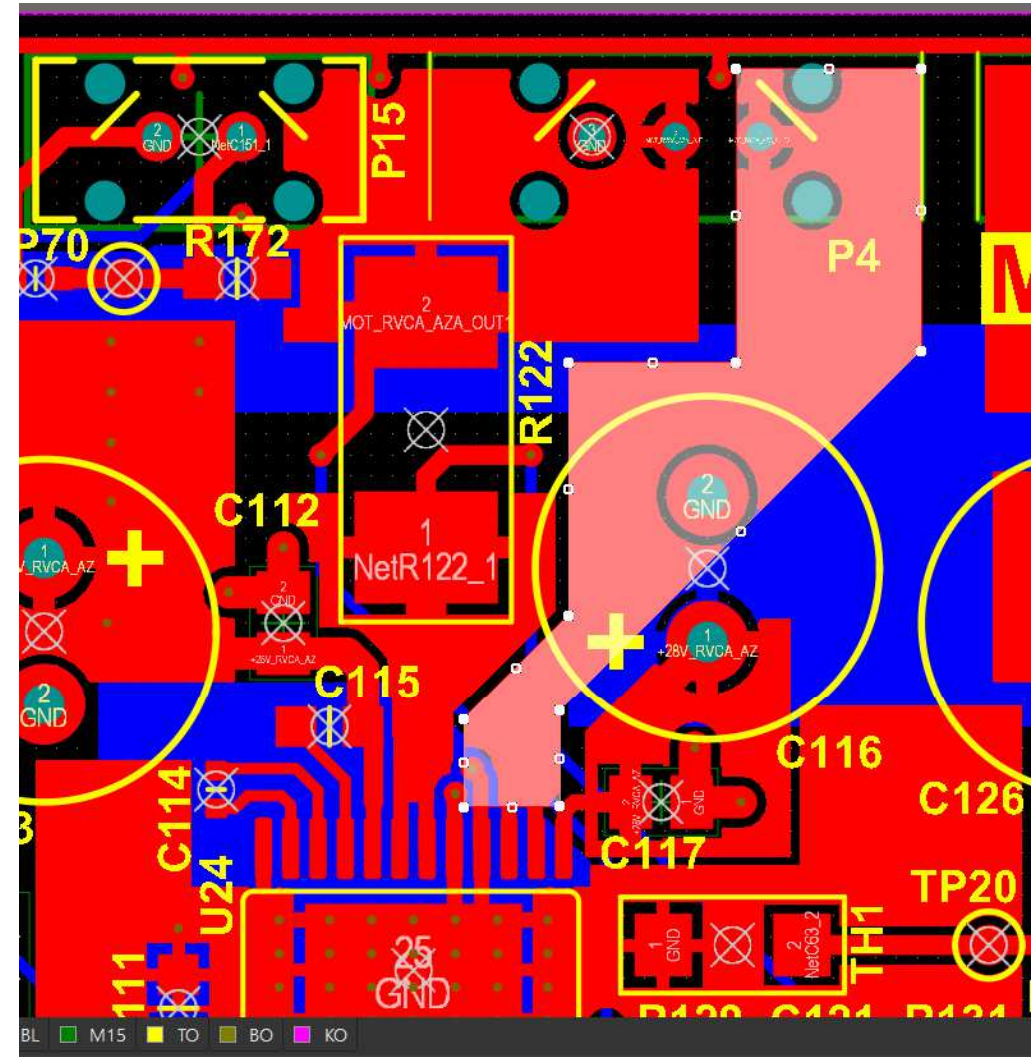
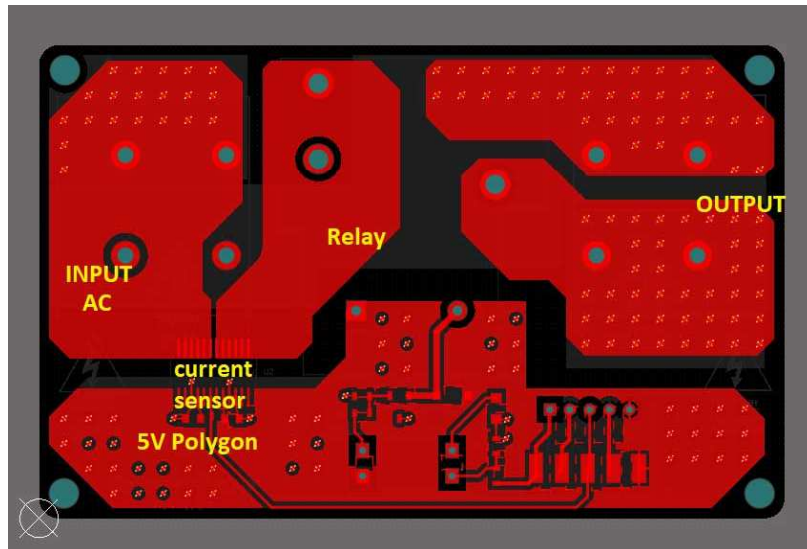


- W przypadku układów elektronicznych wysokich częstotliwości (tory analogowe wysokich częstotliwości, pamięci DDRx, itd.) należy prowadzić ścieżki z kontrolą impedancji.

SIERRA CIRCUITS		7 PCB Routing Tips to Achieve Controlled Impedance	
S.No	Tips	Layout Dos and Don'ts	
01.	» Route differential pairs symmetrically and keep the signals parallel		
02.	» Avoid placing components and vias between differential lines		
03.	» Add serpentine traces to ensure length matching		
04.	» Do not route high-speed signals over a split plane		
05.	» Incorporate 45° trace bends instead of right-angled bends		
06.	» Maintain symmetry while placing coupling capacitors		
07.	» Place transition vias close to the signal vias		

## Poligony

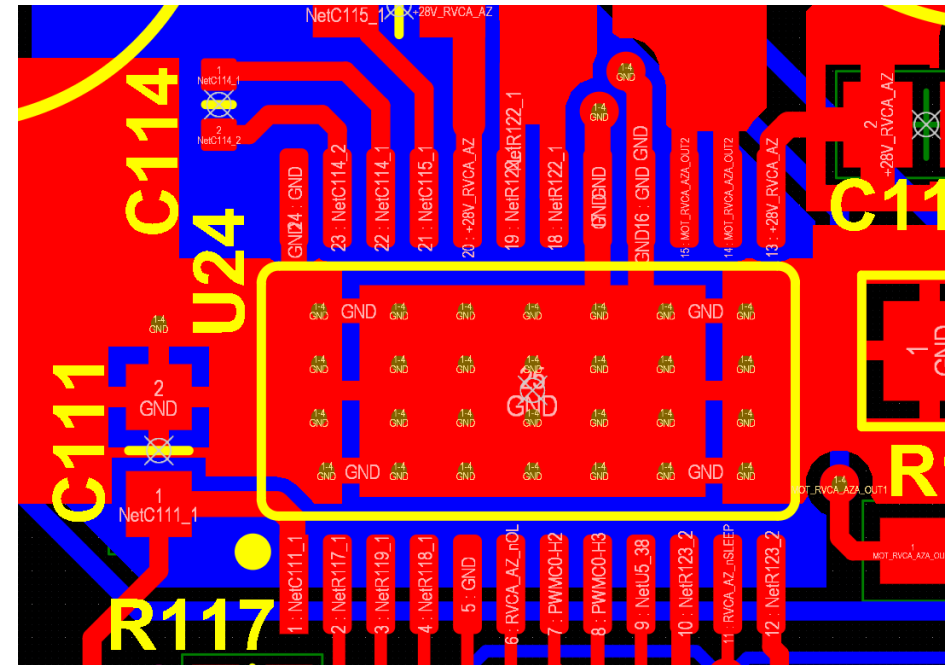
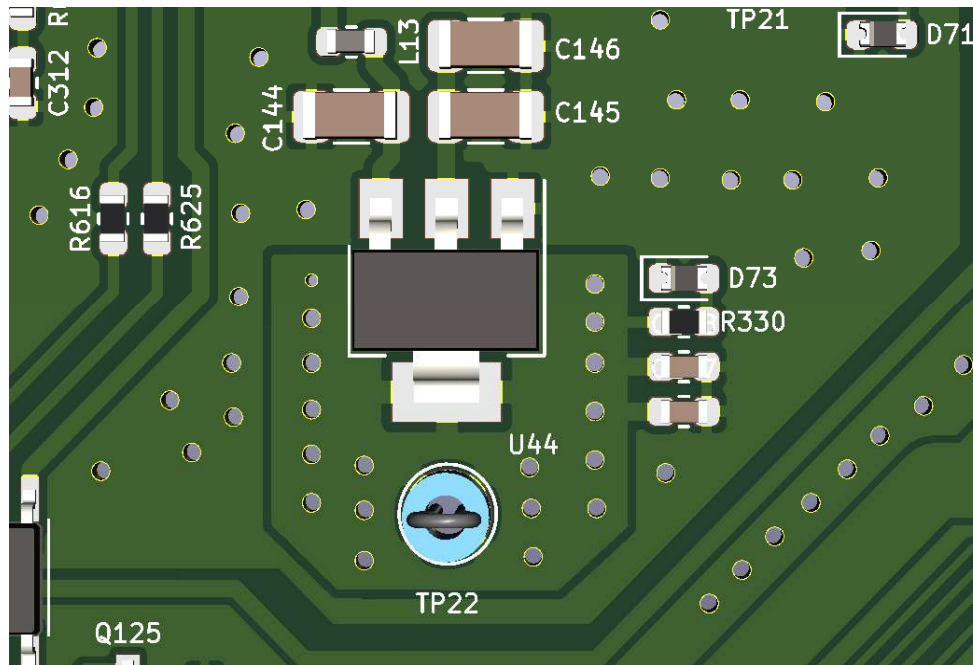
- Połączenia, których zadaniem jest przeniesienie dużych prądów (główne szyny zasilające, połączenie między stopniem mocy a złączem, itd.) można wykonać przy użyciu płaszczyny miedzi (poligonu) zamiast standardowej ścieżki.
- Wykorzystanie poligonu pozwala na zmniejszenie rezystancji połączenia, dzięki możliwości uzyskania nieregularnego kształtu połączenia (w przeciwieństwie do standardowej ścieżki).





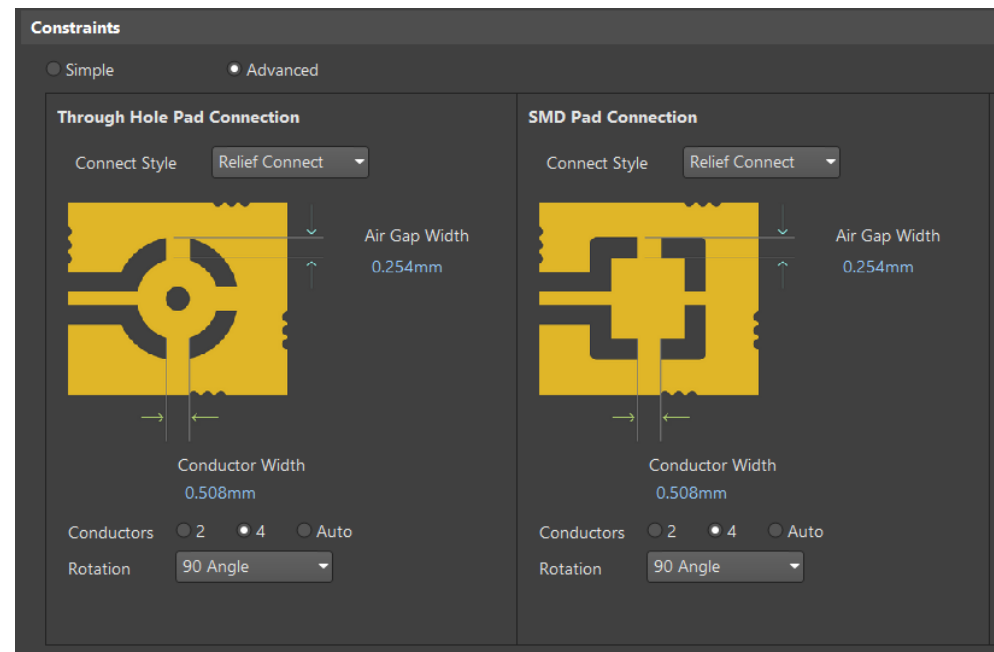
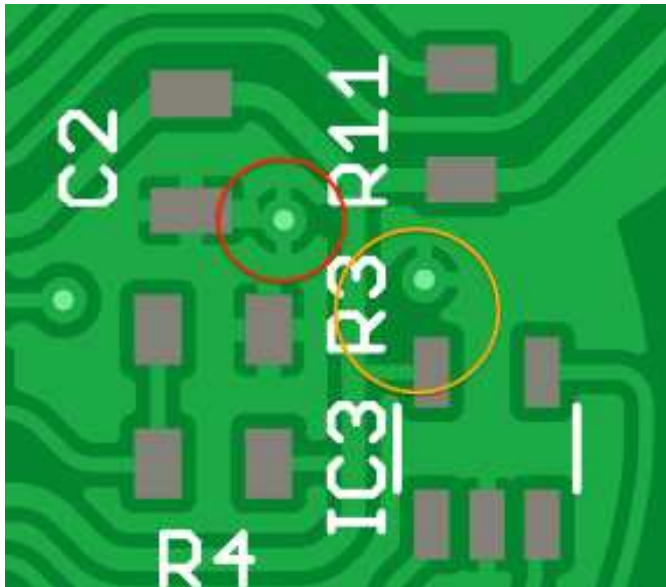
## PCB jako radiator

- Wszystkie elementy, które rozpraszają duże ilości energii w postaci ciepła (np. stabilizatory, przetwornice, tranzystory mocy, drivery silników, scalone stopnie mocy, itd.) powinny być podłączone z płaszczyzną miedzi, co pozwoli na dyssypację energii cieplnej.
- Część układów scalonych posiada specjalny pad (najczęściej na potencjale GND), który służy do dyssypacji ciepła z układu scalonego do PCB. Najlepiej podłączyć go do płaszczyzny miedzi po drugiej stronie PCB stosując kilka przelotek.



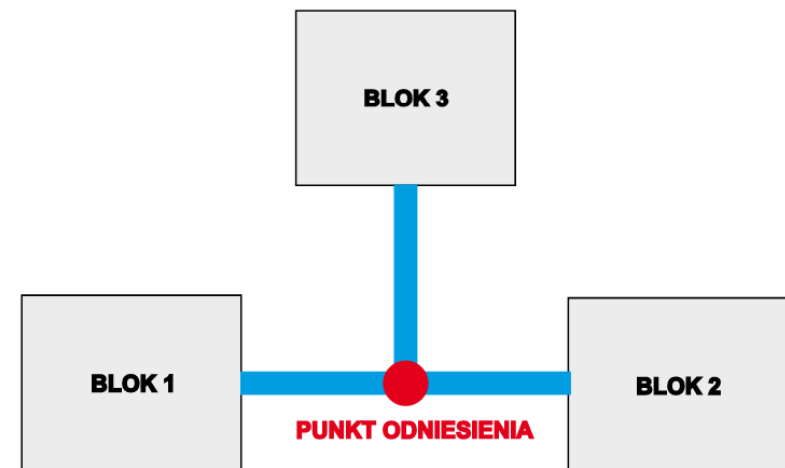
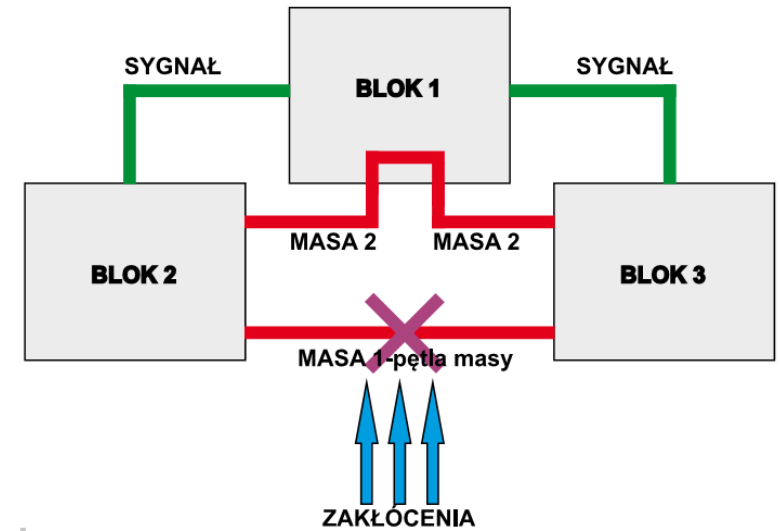
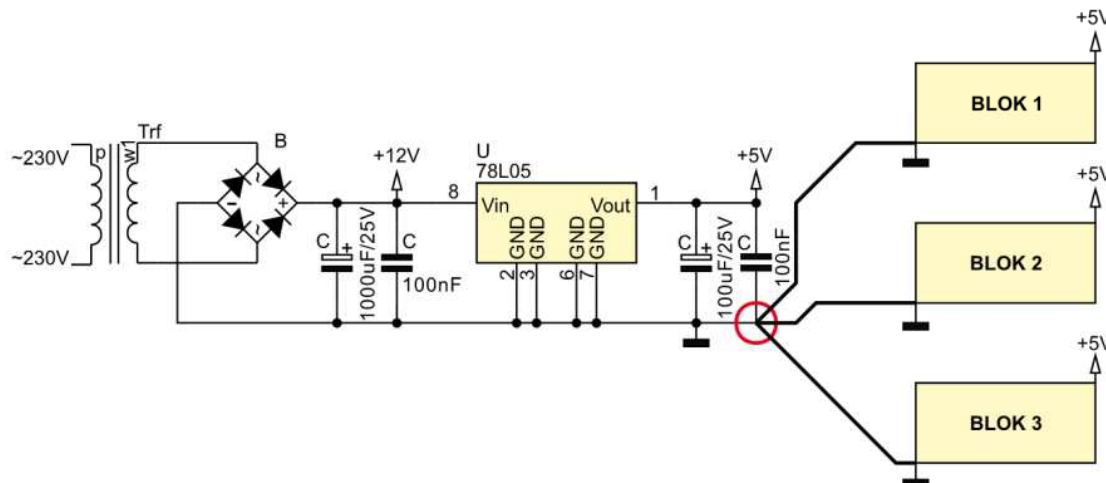
## Thermal relief

- Połączenie warstwy miedzi z padami elementów lutowanych powinno być wykonane przy użyciu odciążenia/odprężenia termicznego *ang. Thermal relief*.
- Thermal relief polega na połączeniu płaszczyzny miedzi z padem SMD lub THT poprzez krótki cienkie „ścieżki” tuż przy padzie komponentu
- Pad elementu bezpośrednio połączony z polem miedzi (bez Thermal relief) jest trudny do lutowania, ponieważ ciepło jest szybko „odbierane” i dysypowane poprzez płaszczyznę miedzi co utrudnia punktowe uzyskanie wysokiej temperatury w miejscu lutowania. Połączenie termiczne z wykorzystaniem Thermal relief ogranicza przepływ ciepła, co ułatwia lutowanie pola. Brak Thermal relief może powodować powstawanie tzw. „zimnych lutów”.



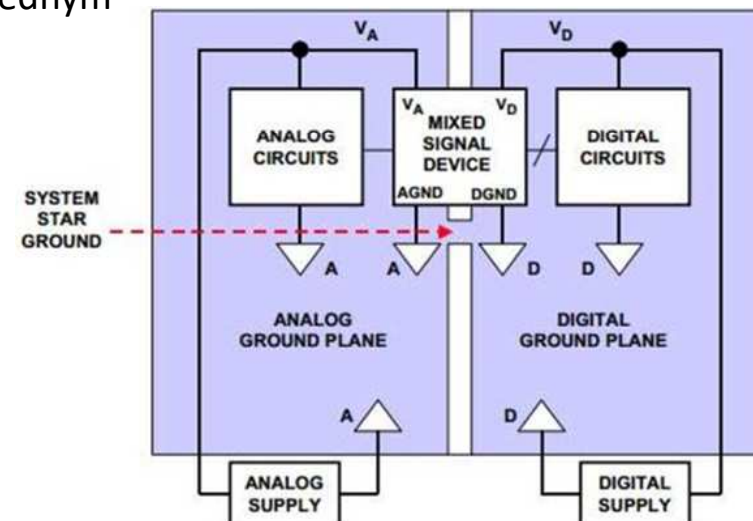
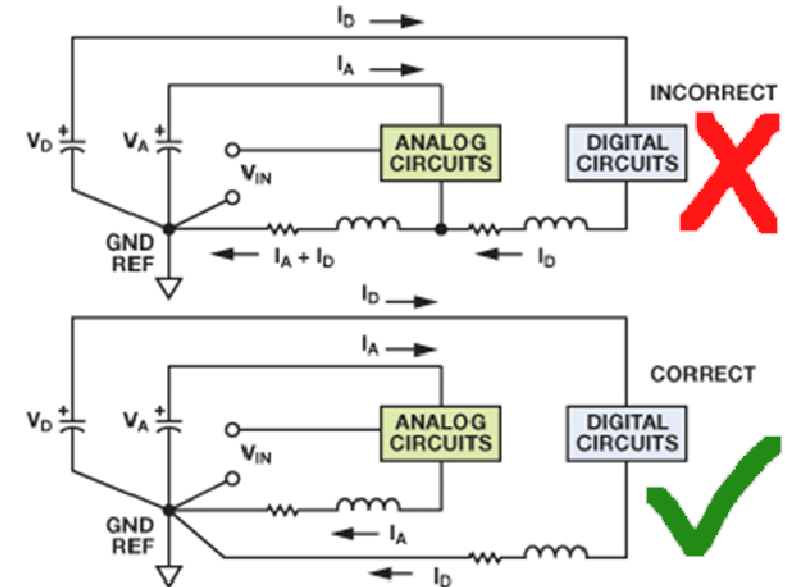
## GND

- Dystrybucja potencjału GND na płycie PCB powinna odbywać się tak, aby uniemożliwić powstawanie tzw. pętli masy.
- Aby uniknąć powstawania pętli masy należy stosować topologię gwiazdy przy prowadzeniu połączeń GND.
- Na problem ten należy zwrócić szczególną uwagę w przypadku projektowania płytek 2-warstwowych. W płytkach 4-warstwowych (lub płytkach o większej liczbie warstw) płaszczyzna masy (jako jedna z warstw wewnętrznych) stanowi naturalny punkt odniesienia.



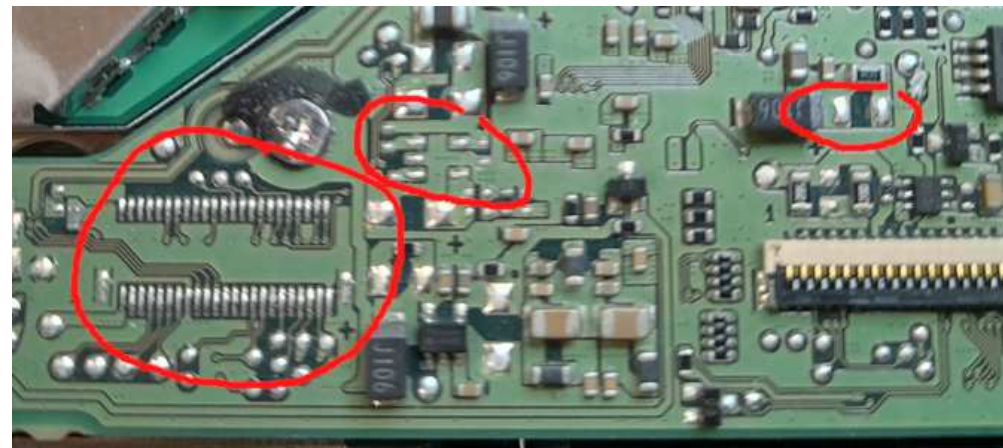
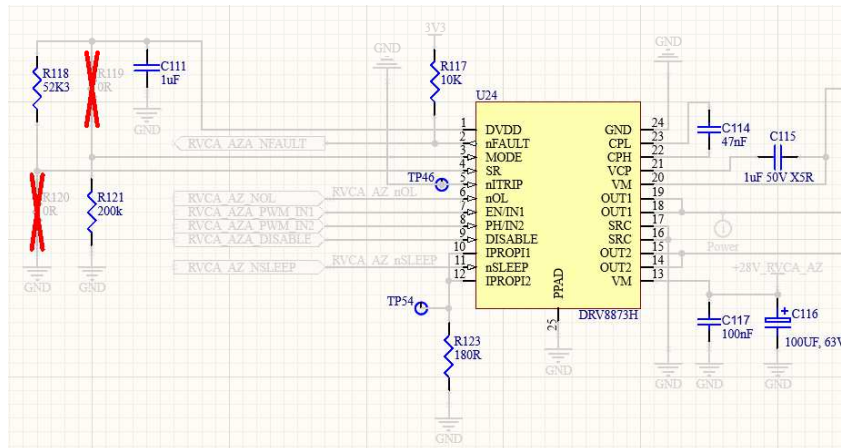
## GND

- W systemach mieszanych, gdzie mamy wyraźnie oddzieloną część analogową i cyfrową systemu, często stosuje się podział masy na masę analogową i masę cyfrową.
- Podział na dwa potencjały masowe stosuje się również w systemach tzw. Power electronics, aby oddzielić część niskonapięciową elektroniczną od stopnia mocy (część wysokonapięciowa lub/i wysokoprądowa).
- Podział potencjału odniesienia na dwie masy pozwala ograniczyć przenoszenie zakłóceń pomiędzy częściami obwodu o różnych funkcjach (np. elektronika sterująca i stopień mocy napędu).
- Najczęściej masy łączy się ze sobą poprzez zwarcie ich w jednym punkcie lub zastosowanie rezystora o małej wartości.



## Warianty

- Niektóre funkcjonalności obwodu elektronicznego można uzyskać poprzez selektywne lutowanie (lub nie lutowanie) pewnych elementów na zaprojektowanej płytce PCB.
- Utworzenie wariantu polega na wybraniu elementów, które nie będą lutowane w danej wersji PCB.
- Przykłady użycia wariantów:
  - możliwość wyboru standardu napięciowego interfejsu komunikacyjnego np. UART lub RS232/RS422 (po wlutowaniu odpowiedniego układu scalonego);
  - ustawienie adresu układu scalonego (np. czujnika, pamięci), z którym komunikacja odbywa się po mag. I2C;
  - wybór konfiguracji układu scalonego, poprzez zwarcie wejścia do odpowiedniego potencjału (GND lub VCC);
  - możliwość wyboru układu zasilania (stabilizator lub przetwornica) w zależności od napięcia wejściowego;
  - filtracja lub brak filtracji toru analogowego (w zależności od aplikacji).



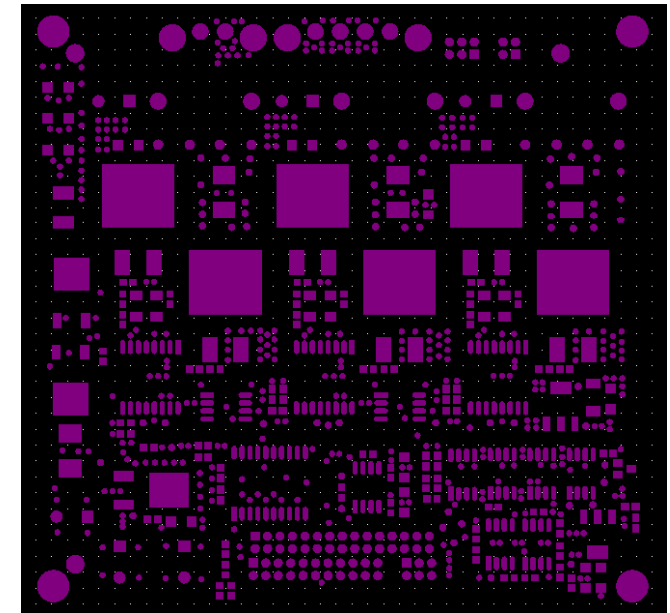
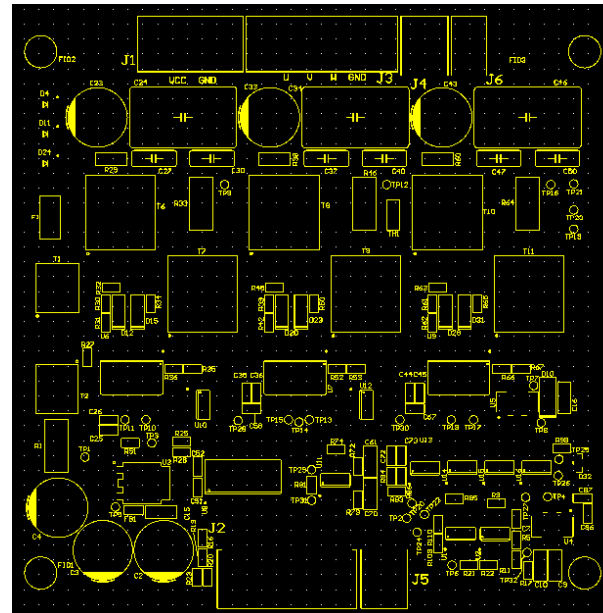
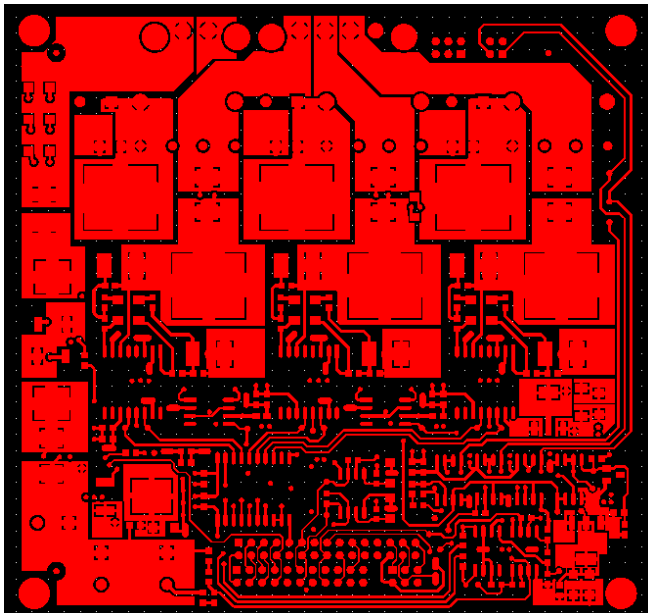


## Dokumentacja produkcyjna – pliki Gerber i NC Drill

- Z każdej z warstwy (Top, Bottom, Opisowa Top, Opisowa Bottom itd.) generowany jest osobny plik graficzny, wykorzystywany następnie w procesie produkcji.
- Osobno generowane są pliki wierceń (NC Drill), w których zdefiniowane są współrzędne, otworów (montażowe, pady THT, przelotki), ich kształt i średnica.

```

NCDrill File Report For: PCB.PcbDoc 27.09.2023 09:18:28
-----
Layer Pair : Top Layer to Bottom Layer
ASCII RoundHoles File : PCB.TXT
EIA File : PCB.DRL
-----
Tool      Hole Size      Hole Type      Hole Count      Plated      Tool Travel
-----
T1        0.4mm (16mil)   Round          25              PTH         178.10mm (7.01inch)
T2        0.406mm (16mil) Round          366            PTH         1377.61mm (54.24inch)
T3        0.61mm (24mil)  Round          33              PTH         177.89mm (7.00inch)
T4        0.8mm (31mil)   Round          30              PTH         58.00mm (2.28inch)
T5        0.813mm (32mil) Round          12              PTH         74.04mm (2.91inch)
T6        0.9mm (35mil)   Round          38              PTH         175.16mm (6.90inch)
T7        1.016mm (40mil) Round          12              PTH         173.27mm (6.82inch)
T8        1.219mm (48mil) Round           6              PTH         73.93mm (2.91inch)
T9        1.8mm (71mil)   Round           6              PTH         30.48mm (1.20inch)
T10       2.5mm (98mil)   Round           4              PTH         39.48mm (1.55inch)
T11       3.2mm (126mil)  Round           4              PTH         314.72mm (12.39inch)
-----
Totals                                536
  
```



## Dokumentacja produkcyjna – plik BOM

Plik BOM (*ang. Bill of Materials*) jest spisem elementów, używanym do produkcji PCB. Powinien zawierać wszystkie elementy występujące na PCB, także te nie montowane w danym wariancie. W pliku BOM znajdują się m.in. Informacje: nazwie komponentu, obudowie, montażu lub jego braku, oznaczeniu producenta, nazwie producenta, nazwie dystrybutora, oznaczeniu dystrybutora, itd.

1	Comment	Description	Footprint	LibRef	Fitted	Manufacturer	Manufacturer Part Number	Supplier 1	Supplier Part Number 1
2	100nF, 50V, X7R	0402 50 V 0.1 uF ±10% Tolerance X7R Mu	CAP_IPC1005B_EIA0402	GCM155R71H104KE02J	Fitted	Murata	GCM155R71H104KE02J	Mouser	81-GCM155R71H104KE2J
3	3.9pF 50V C0G	Cap Ceramic 3.9pF 50V C0G 0.25pF SMD	CAP_IPC1608B_EIA0603	C0603C399C5GAC	Fitted	KEMET	C0603C399C5GACTU	Mouser	80-C0603C399C5G
4	10nF 50V X7R	CAP CER 0603 10nF 50V X7R 10%	CAP_IPC1608B_EIA0603	CL10B103KB8NCNC	Fitted	Samsung Electr	CL10B103KB8NCNC	Digi-Key	1276-1921-1-ND
5	47UF 35V	CAP ALUM POLY HYB 47UF 35V SMD	SIZE D (6.3mm x 6.2mm)	EEH-ZA1V470P	Fitted	Panasonic Elec	EEH-ZA1V470P	Digi-Key	P15454CT-ND
6	47uF 16V X5R	Multilayer Ceramic Capacitor, 47 uF, 16 V,	CAP_IPC3225B_EIA1210	GRM32ER61C476KE15L	Fitted	Murata	GRM32ER61C476KE15L	Mouser	81-GRM32ER61C476KE5L
7	1uF 50V X5R	CAP CER 0603 1uF 50V X5R 10%	CAP_IPC1608B_EIA0603	CL10A105KB8NNNC	Fitted	Samsung Electr	CL10A105KB8NNNC	Digi-Key	1276-1860-1-ND
8	10uF 50V X5R	CAP CER 1206 10uF 50V X5R 10%	CAP_IPC3216B_EIA1206	CL31A106KBHNNNE	Fitted	Samsung Electr	CL31A106KBHNNNE	Digi-Key	1276-2876-6-ND
9	1uF 25V X5R	CAP CER 0603 1uF 25V X5R 10%	CAP_IPC1608B_EIA0603	CL10A105KA8NNNC	Fitted	Samsung Electr	CL10A105KA8NNNC	Digi-Key	1276-1102-1-ND
10	10uF, 16V, X5R	CAP CER 0805 10uF 16V X5R 10%	CAP_IPC2012B_EIA0805	CL21A106KOQNNNE	Fitted	Samsung Electr	CL21A106KOQNNNE	Digi-Key	1276-1096-1-ND
11	4.7uF 10V X5R	CAP CER 0603 4.7uF 10V X5R 10%	CAP_IPC1608B_EIA0603	CL10A475KP8NNNC	Fitted	Samsung Electr	CL10A475KP8NNNC	Digi-Key	1276-1044-1-ND
12	12PF 50V 5% NP0	CAP CER 12PF 50V 5% NP0 0402	CAP_IPC1005B_EIA0402	C0402C120J5GACTU	Fitted	Kemet	C0402C120J5GACTU	Digi-Key	399-1013-6-ND
13	18PF 50V 5% NP0	CAP CER 18PF 50V 5% NP0 0402	CAP_IPC1005B_EIA0402	C0402C180J5GAC7867	Fitted	Kemet	C0402C180J5GAC7867	Digi-Key	399-8952-2-ND
14	2.2NF, 50V, X7R	KEMET - C0402C222K5RACTU - CAPACI	CAP_IPC1005B_EIA0402	C0402C222K5RACTU	Fitted	Kemet	C0402C222K5RACTU	Digi-Key	399-3068-6-ND
15	16V X7R 10%	CAP CER 0603 1uF 16V X7R 10%	CAP_IPC1608B_EIA0603	CL10B105KO8NNNC	Fitted	Samsung Electr	CL10B105KO8NNNC	Digi-Key	
16	Capacitor 100 nF +/-10%	Chip Capacitor, 100 nF, +/- 10%, 50 V, 080	CAPC2013X95X50LL10T2	CMP-001-00018-6	Fitted	Kemet	C0805X104K5RAC	Mouser	80-C0805X104K5RAC
17	100UF, 63V	PANASONIC ELECTRONIC COMPONENT	EEUFR1J101L	EEUFR1J101L	Fitted	PANASONIC EI	EEUFR1J101L	Farnell	2079296
18	Capacitor 47nF +/-20%	Chip Capacitor, 47nF +/-20%, 50V, 0402, T	CAPC0402(1005)60_L	CMP-001-00071-4	Fitted	Murata	GRM155R71H473ME14D	Mouser	81-GRM155R71H473ME4D
19	100NF, 50V, X7R	CAP CER 0.1UF 16V X7R 0603	CAP_IPC1608B_EIA0603	C0603C104K4RACTU	Fitted	Kemet	C0603C104K4RACTU	Digi-Key	399-1096-6-ND
20	25V C0G 5%	CAP CER 0603 10nF 25V C0G 5%	CAP_IPC1608B_EIA0603	CL10C103JA8NNNC	Fitted	Samsung Electr	CL10C103JA8NNNC	Digi-Key	
21	3.9nF	CAP CER 3900PF 50V 5% NP0 0603	CAP_IPC1608B_EIA0603	C0603C392J5GACTU	Fitted	Kemet	C0603C392J5GACTU	Digi-Key	399-9076-6-ND
22	SMBJ30CA-13-F	ESD Suppressors / TVS Diodes 600W 30.	DO-214AA	SMBJ30CA-13-F	Fitted	Diodes	SMBJ30CA-13-F	Mouser	621-SMBJ30CA-13-F
23	Green, 3.2V, 140°	WL-SMCW Mono-color Chip LED Watercle	WL-SMCW_0603_150060	150060GS75000	Fitted	Würth Elektroni	150060GS75000		
24	Blue, 3.2V, 140°	WL-SMCW Mono-color Chip LED Watercle	WL-SMCW_0603_150060	150060BS75000	Fitted	Würth Elektroni	150060BS75000		
25	Red, 2V, 140°	WL-SMCW Mono-color Chip LED Watercle	WL-SMCW_0603_150060	150060RS75000	Fitted	Würth Elektroni	150060RS75000		
26	BAT54S	Schottky Diode 30V: 200mA; 230mV;	D_SMD_SOT23	D_BAT54S	Fitted	VISHAY	BAT54S-E3-08		
27	01550900DR	Fuse Block 10A 125V Surface Mount Solde	01550900DR	01550900DR	Fitted	Littelfuse	01550900DR	Mouser	576-01550900DR

## Dokumentacja produkcyjna – plik Pick&Place

Plik Pick&Place jest plikiem tekstowym przeznaczonym dla automatów układających elementy SMD na płycie PCB. W pliku znajdują się informacje m.in. o warstwie (Top/Bottom), obudowie, położeniu oraz orientacji poszczególnych komponentów. Jego wygenerowanie wymagane jest tylko w przypadku montażu automatycznego.

```

=====
File Design Information:

Date:      06.09.24
Time:      11:30
Revision:   Not in VersionControl
Variant:    PRODUCTION
Units used: mm

"Designator","Comment","Layer","Footprint","Center-X(mm)","Center-Y(mm)","Rotation","Description"
"R196","100k","TopLayer","RES_IPC1005B_EIA0402","102.9000","17.0000","270","RES SMD 100K OHM 1% 1/16W 0402"
"R195","100k","TopLayer","RES_IPC1005B_EIA0402","103.9000","17.0000","90","RES SMD 100K OHM 1% 1/16W 0402"
"R194","100k","TopLayer","RES_IPC1005B_EIA0402","112.9000","16.9000","270","RES SMD 100K OHM 1% 1/16W 0402"
"R193","100k","TopLayer","RES_IPC1005B_EIA0402","113.9000","16.9000","90","RES SMD 100K OHM 1% 1/16W 0402"
"R192","100k","TopLayer","RES_IPC1005B_EIA0402","93.4000","17.0000","270","RES SMD 100K OHM 1% 1/16W 0402"
"R191","100k","TopLayer","RES_IPC1005B_EIA0402","101.9000","17.9000","90","RES SMD 100K OHM 1% 1/16W 0402"
"R190","100k","TopLayer","RES_IPC1005B_EIA0402","91.4000","17.0000","270","RES SMD 100K OHM 1% 1/16W 0402"
"R189","100k","TopLayer","RES_IPC1005B_EIA0402","92.4000","17.0000","90","RES SMD 100K OHM 1% 1/16W 0402"
"R188","100k","TopLayer","RES_IPC1005B_EIA0402","81.4000","16.5000","270","RES SMD 100K OHM 1% 1/16W 0402"
"R187","100k","TopLayer","RES_IPC1005B_EIA0402","82.4000","16.5000","90","RES SMD 100K OHM 1% 1/16W 0402"
"T7","BC817-40","TopLayer","T_SMD_SOT23","121.3001","66.5000","270","Bipolar transistor NPN; 500mA; 45V; 250mW;"
"R186","10k","TopLayer","RES_IPC1608B_EIA0603","117.4000","67.4000","0","Thick Film Resistors - SMD 1/10watt 10Kohms 1%"
"R185","10k","TopLayer","RES_IPC1608B_EIA0603","121.8000","63.9000","180","Thick Film Resistors - SMD 1/10watt 10Kohms 1%"
"R184","11K8","TopLayer","RES_IPC1608B_EIA0603","124.5000","64.7000","270","RES SMD 11.8K OHM 1% 1/10W 0603"
"Q4","SI7461DP-T1-GE3","TopLayer","SUPER_S08","129.6450","65.8000","0","Trans MOSFET P-CH 60V 8.6A 8-Pin PowerPAK SO T/R"
"R183","1k","TopLayer","RES_IPC1608B_EIA0603","132.5000","71.5000","180","Thick Film Resistors - SMD 1/10watt 1.0Kohms 1%"
"R182","1k","TopLayer","RES_IPC1608B_EIA0603","122.5000","72.0000","180","Thick Film Resistors - SMD 1/10watt 1.0Kohms 1%"
"R181","1k","TopLayer","R_SMD_0603_H0.35","35.7000","1.2000","90","Resistor: 0603; 1k; 0.1%, 0.1W"
"U40","MCP6002-I/MS","TopLayer","MS8","121.6000","34.1000","270","MCP6002 Series 6 V 1 MHz SMT Low-Power Operational Amplifier - MSOP-8"
"U39","MCP6002-I/MS","TopLayer","MS8","121.6000","29.4000","270","MCP6002 Series 6 V 1 MHz SMT Low-Power Operational Amplifier - MSOP-8"
"U38","TMUX1247DCKR","TopLayer","U_SMD_SC70-6","123.3000","26.0000","90","Bidirectional current sense amplifier"

```



## LITERATURA

- [1] Winfield Hill, Paul Horowitz: *Sztuka elektroniki*
- [2] David L. Jones: *PCB Design Tutorial*
- [3] Elektronika Praktyczna: *Wielowarstwowe płytki drukowane, co każdy projektant wiedzieć powinien?*; 01 Listopad 2023; WWW: <https://ep.com.pl/rynek/elektronika-w-praktyce/15908-wielowarstwowe-plytki-drukowane-co-kazdy-projektant-wiedziec-powinien>
- [4] Damian Wilczyński: *Wykład KNE – Jak zaprojektować dobre PCB?* Kraków, 23.11.2011
- [5] Sierra Circuits: *11 Best High-Speed PCB Routing Practices*; WWW: <https://www.protoexpress.com/blog/best-high-speed-pcb-routing-practices/>
- [6] <https://www.analog.com/en/resources/analog-dialogue/articles/staying-well-grounded.html>
- [7] <https://blog.mbedded.ninja/electronics/circuit-design/esd-protection/protecting-io-lines-from-esd/>
- [8] [www.altium.com](http://www.altium.com)