

# Projektowanie płytek (3)

## Prowadzenie masy, zasilania, montaż obwodu w obudowie



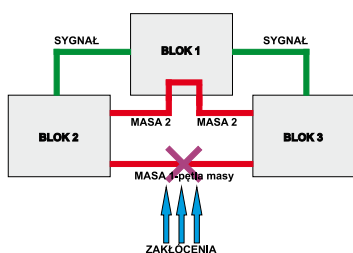
*Obserwowana tendencja do zwiększania szybkości działania układów cyfrowych i obniżania napięć progów przełączania, stawia przed projektantami obwodów drukowanych coraz to wyższe wymagania. Aby im sprostać jednocześnie zapewniając prawidłowe funkcjonowanie urządzenia, należy w procesie projektowym zwrócić szczególną uwagę na obwód masy, zasilania jak i odpowiednie połączenie (najczęściej) masy z obudową.*

### Podstawy

Dobrze zaprojektowany obwód masy stanowi podstawę działania nowoczesnych konstrukcji. Zapewnia on odpowiednie parametry impedancyjne, jak i możliwość pracy urządzenia z wysoką rozdzielczością, co ma decydujące znaczenie w przypadku stosowania przetworników analogowo-cyfrowych.

Pierwszą podstawową zasadą przy projektowaniu płytki jest uświadomienie sobie, iż każde połączenie elektryczne w obwodzie drukowanym nie jest idealnym zwarciem. W zależności od rozpatrywanego przypadku, nabiera znaczenia wiele z pozoru nieistotnych parametrów. Niektóre z nich są oczywiste, jak szerokość i grubość warstwy miedzi, niektóre pozornie mniej, jak długość, kształt, liczba przepustów (*przelotek*), warstwa na której dane połączenie jest poprowadzone. Świadomość tego faktu jest szczególnie istotna podczas prowadzenia obwodu masy.

Teoretycznie, zgodnie z prawami Kirchoffa, w każdym węźle obwodu suma algebraiczna prądów jest równa zero. Rozumowanie takie, choć słuszne, niesie za sobą istotne niebezpieczeństwo. Mianowicie można założyć, iż znamy drogę prądów powrotnych. Rzeczywistość okazuje się jednak nieco bardziej brutalna i należy dodatkowo uwzględnić, że podczas przepływu prądu w obwodzie masy nie wszystkie jej punkty mają taki sam potencjał.



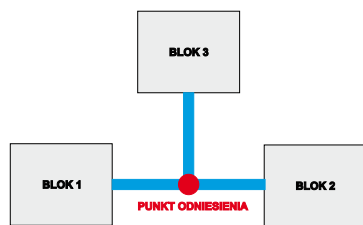
Rys. 1. Prąd masy płynący więcej niż jedną drogą powrotną

### Pętla masy, a topologia typu gwiazda

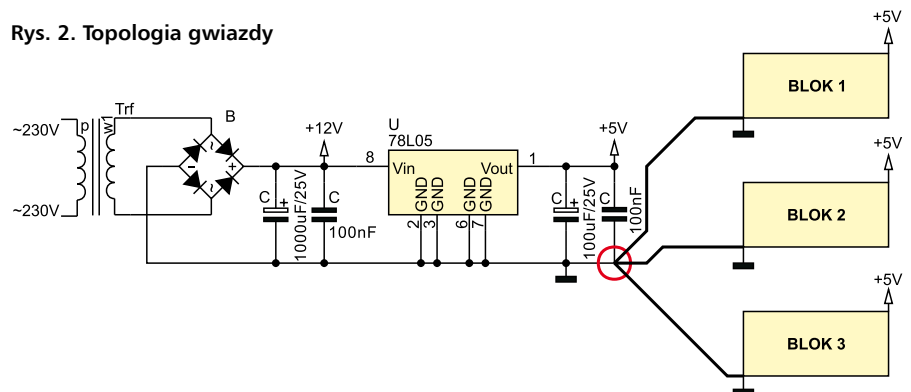
Opisane wyżej zagadnienie jest szczególnie odczuwalne w przypadku wytworzenia tak zwanych pętli masy. Czyli z praktycznego punktu widzenia – więcej niż jednej drogi dla prądu masy. Sytuację taką pokazano na rys. 1.

W tak wytworzonym połączeniu będą się indukować zakłócenia wnoszone przez zewnętrzne pola elektromagnetyczne. Będą one tym większe, im dłuższa pętla.

Jedyną skuteczną metodą unikania powyższego zjawiska i jednocześnie zalecaną techniką projektową, jest stosowanie topologii gwiazdy. Polega ona na ustaleniu jednego wspólnego punktu odniesienia, od którego prowadzone są wszystkie połączenia. Taki sposób prowadzenia ścieżek zapewni niską interakcję sygnałów, a co za tym idzie, pra-



Rys. 2. Topologia gwiazdy



Rys. 3. Prawidłowe umieszczenie punktu odniesienia

widlowe i niezakłócone działanie poszczególnych bloków funkcjonalnych urządzenia (rys. 2).

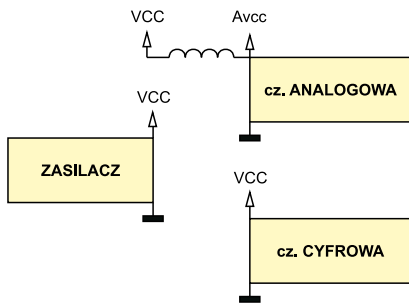
Należy dodatkowo wspomnieć o prawidłowym położeniu punktu odniesienia. Najczęściej powinien być to punkt lutowniczy stanowiący masę kondensatora elektrolitycznego w obwodzie zasilacza (rys. 3)

### Masa, zasilanie analogowe, cyfrowe

Często projektowane urządzenia nie mają jedynie charakteru analogowego, bądź cyfrowego. Dlatego też stosuje się odpowiednie techniki łączenia mas tzw. analogowych i cyfrowych w obwodzie. Jest to bardzo istotne, ponieważ niezachowanie pewnych wytycznych z pewnością spowoduje nieoprawną pracę urządzenia, szczególnie wrażliwej części analogowej, do której przedostaną się zakłócenia. Powodem jest różny charakter obu typów sygnałów.

Sygnały cyfrowe, mimo iż stosunkowo odporne na zakłócenia, w momencie przełączania generują szумы na liniach zasilających, które będą niekorzystnie oddziaływać na układy analogowe, z reguły wrażliwe na szумы pojawiające się w tych gałęziach. Aby zapobiegać takiej sytuacji należy: po pierwsze, stosować właściwe techniki blokowania linii zasilających, a po drugie, rozdzielić zasilanie jak i masę części cyfrowej od części analogowej.

Optymalnym dla obwodu zasilania byłoby stosowanie osobnych układów zasilaczy dla obu części układu. Niestety jest to rozwiązanie nieekonomiczne. Dlatego naj-

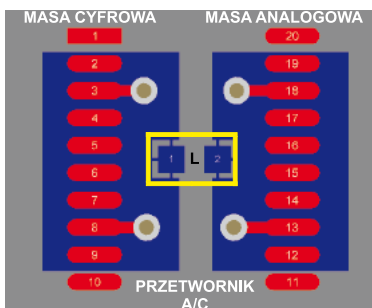


Rys. 4. Rozdzielenie obwodów zasilania

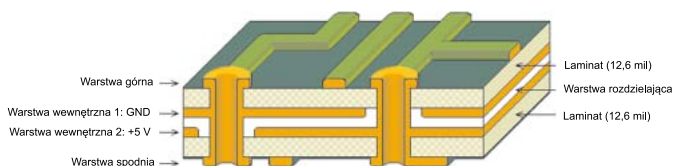
częściej stosuje się odpowiednio dobrany dławik dokonujący rozdzielania obwodów zasilania (rys. 4).

Prawidłowe łączenie mas jest nieco bardziej kłopotliwe, ponieważ bardzo często masa jest jednolitą płaszczyzną używaną jednocześnie do ekranowania obwodów. W takim przypadku należy zadbać o odpowiednie rozplanowanie rozmieszczenia poszczególnych komponentów i bloków urządzenia, aby struktury masy analogowej nie znajdowały się pod elementami części cyfrowej i odwrotnie. Dodatkowo należy zatroszczyć się o odpowiednie połączenie obu obwodów mas. Musi ono być wykonane w jednym, konkretnym punkcie dobranym tak, aby prądy powrotu sygnałów cyfrowych nie miały możliwości płynięcia przez masę analogową. Często wymóg ten spełnia punkt odniesienia topologii typu gwiazda.

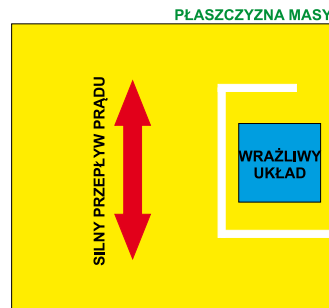
Inaczej sytuacja wygląda w momencie, gdy stosowane są przetworniki analogowo-cyfrowe. W takiej sytuacji, po pierwsze musimy zapewnić odpowiednio niską impedancję masy analogowej (na przykład dzięki zastosowaniu szerokiej płaszczyzny połączenia). W następnej kolejności, należy odpowiednio odsprzęgnąć kondensatorem zasilanie przetwornika i dopiero w ostatnim etapie, określić optymalny punkt łączenia mas. Punkt taki powinien często znajdować się pod danym przetwornikiem i stanowić odpowiednio dobre połączenie o stosun-



Rys. 5. Dławik w miejscu połączenia mas



Rys. 6. Wyodrębnienie płaszczyzny masy na płycie wielowarstwowej



Rys. 7. Przerwa na płaszczyźnie masy

kowo małej szerokości. W niektórych przypadkach, aby uniemożliwić przedostawanie się zakłóceń pochodzących z masy cyfrowej, stosuje się w miejscu połączenia dławik separujący (rys. 5).

### Płaszczyzna masy

Z wcześniejszych rozważań można wywnioskować, że optymalnym rozwiązaniem jest zastosowanie tak zwanej płaszczyzny masy, czyli odpowiednio zadeklarowanej warstwy umieszczonej obrębnie tak zwanego stosu warstw (rys. 6).

Faktycznie w większości przypadków takie rozumowanie jest prawidłowe. Zapewni ono odpowiednią niską impedancję masy, a co za tym idzie, wyrównanie jej potencjałów na całym obszarze. Niestety, istnieją przypadki, w których musimy rozpatrywać szczytkową impedancję tak uzyskanej powierzchni. Z tego typu sytuacją mamy np. do czynienia wówczas, gdy płytka przewodzi duże prądy wywołujące spadki napięć. Mogą one zakłócać poprawną pracę elementów wysokiej rozdzielczości np. przetworników analogowo-cyfrowych podłączonych do takiej płaszczyzny. Można jednak w stosunkowo prosty sposób zabezpieczyć się przed zjawiskami tego typu. Wystarczy za pomocą przerwy na płaszczyźnie mas odseparować od siebie obszary silnoprądowe od niskoprądowych. Odpowiednio ukształtowana przerwa umożliwi odseparowanie dużych prądów od miejsc gdzie ich przepływ jest niepożądany (rys. 7).

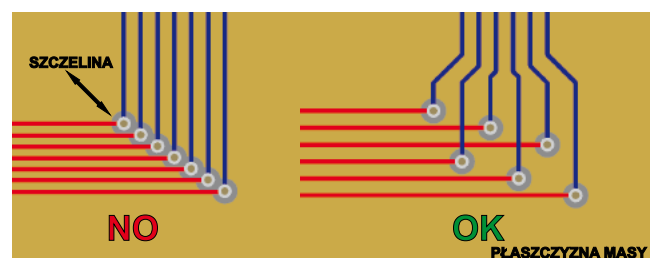
Bez względu na omawiane zagadnienia istnieją pewne wymagania, które musi spełnić odpowiednio zaprojektowana płaszczyzna masy, aby poprawić właściwości EMC urządzenia. Jednym z najważniejszych jest wykonanie jej w postaci jak najbardziej jednolitej (nie dotyczy sytuacji wyjątkowych opisanych powyżej), ponieważ wszyst-

kie niewypełnione przestrzenie powodują zwiększenie impedancji oraz zakłócają swobodny przepływ prądu powrotów dla sygnałów RF. Niestety, często liczba połączeń sygnałowych jest na tyle duża, iż zachodzi potrzeba stosowania odpowiednio dużej liczby przepustów (przelotek) sygnałowych będących perforacją płaszczyzny. Na szczęście są stosunkowo proste metody pozwalające zachować jej jednorodność. Do najprostszyc należy stosowanie możliwie najmniejszych gabarytowo przelotek (średnica otworu, średnica metalizacji). Rozwiązanie takie, choć skuteczne, to ma kilka istotnych wad. Nie wszyscy wytwórcy płytek są w stanie wyprodukować przemysłowe ilości takich przelotek, a jeżeli podejmują się takiego zadania, to cena jednostkowa produkcji takiego obwodu niestety wzrasta. Inną metodą wartą zaprezentowania, jest odpowiednia optymalizacja ustawienia przepustów, tak aby zachować wymagane wypełnienie struktury płaszczyzny masy. Na rys. 8 przedstawiono nieprawidłowe oraz prawidłowe rozplanowanie przelotek na magistrali.

### Nieco praktyki

W zastosowaniach praktycznych projektant coraz częściej musi skupić się na zapewnieniu właściwej ochrony przed szkodliwymi promieniowaniem elektromagnetycznym. Szerzej o tym zagadnieniu pisałem w poprzedniej części cyklu. Projektując obwód masy zazwyczaj poświęca się jedną warstwę, dystrybuując jej potencjał za pomocą przepustów do odpowiednich doprowadzeń elementów. W większości przypadków, szczególnie jeżeli urządzenie ma pracować w pobliżu anten radiowych pracujących z wysoką częstotliwością, wskazane jest uzupełnienie pozostałych warstw sygnałowych dodatkowymi płaszczyznami masy. Aby jednak taki zabieg przyniósł pozytywne rezultaty, należy zastosować odpowiednią technikę łączenia dodatkowych obszarów z główną płaszczyzną odniesienia. Polega ona na odpowiednio gęstym rozmieszczeniu przelotek, tak aby odległość pomiędzy kolejnymi przepustami (rys. 9) była nie mniejsza niż wynikająca z zależności:  $\Lambda/10$ , gdzie:  $\Lambda$  – długość fali o najwyższej, spodziewanej częstotliwości.

Należy jednak pamiętać o odpowiednim podłączeniu tak uzyskanych płaszczyzn do padów komponentów montowanych na płycie. Nieodpowiednia technika spowoduje



Rys. 8. Nieprawidłowe oraz prawidłowe rozplanowanie przelotek



Rys. 9. Przepusty na warstwie masy

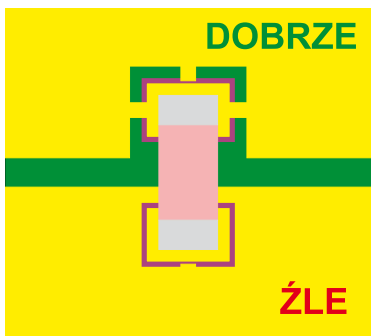
niemożliwość prawidłowego przylutowania. Dzieje się tak, ponieważ zbyt szeroka płaszczyna miedzi szybko odprowadzi ciepło przy dodatkowo i tak już zwiększonej pojemności cieplnej płytki. Sytuację prawidłowego łączenia przedstawiono na rys. 10.

Innym istotnym zagadnieniem jest prawidłowa dystrybucja masy już po uzyskaniu jej odpowiednio niskiej impedancji. Częstokroć jest ona zakłócana przez nieprawidłowe podłączenie padów poszczególnych elementów. Takie połączenie z płaszczyną odniesienia nie może być zbyt długie bądź połączone tylko za pomocą pojedynczej przelotki, ponieważ niepotrzebnie zwiększy to impedancję tak wytworzonej ścieżki.

Niezbędne parametry jakie należy uzyskać determinują następujące zależności:

- Wraz z wzrostem szerokości połączenia maleje jego indukcyjność na milimetr długości według zależności: pierwiastek kwadratowy ze wzrostu szerokości. Czyli aby zmniejszyć indukcyjność o połowę, należy czterokrotnie zwiększyć szerokość połączenia.
- Stosowanie otworów o stosunkowo dużej średnicy zmniejsza impedancję, którą dodatkowo należy obniżyć poprzez zastosowanie kilku przelotek. Poprawną i niepoprawną dystrybucję masy do padu komponentu przedstawiono na rys. 11.

Optymalne umiejscowienie przelotek stanowi struktura padu montażowego. Jeżeli jesteśmy pewni takiego rozwiązania, to należy je stosować. Trzeba jednak wtedy pamiętać o powstających zagrożeniach. Przy niedokładnie określonych parametrach produkcyjnych może dochodzić do niekorzystnych zjawisk, takich jak ubytek pasty lutowniczej



Rys. 10. Prawidłowe podłączenie komponentów do płaszczyny masy

z powierzchni padu poprzez otwór przelotki, wskutek czego połączenie lutownicze stanie się niepewne bądź wręcz niemożliwe. Innym niekorzystnym zjawiskiem jest możliwość powstania pod wpływem temperatury i różnic w rozszerzalności termicznej uszkodzenia struktury przelotki podczas lutowania w piecu.

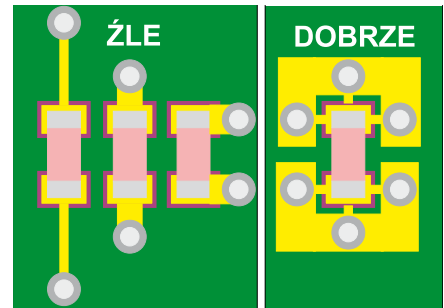
Rozmieszczając poszczególne komponenty na płycie drukowanej należy pamiętać, iż wokół każdego elementu pracującego z wysoką częstotliwością wytwarzane jest szkodliwe promieniowanie elektromagnetyczne. Dzięki odpowiedniemu zaprojektowaniu masy jest ono prawie natychmiast odbierane i zwracane w odpowiednie miejsca obwodu. Aby zachować tę prawidłowość należy przestrzegać kilku podstawowych reguł, zabraniających umieszczania komponentów pracujących z wysoką częstotliwością w pobliżu przerw, frezów czy też krawędzi obwodu. Dobrym zwyczajem jest wręcz dodanie dodatkowej objętości obwodu przy krawędziach wypełnionych masą. Dla częstotliwości 200 MHz jest to około 5 mm.

### Montaż płytki w obudowie

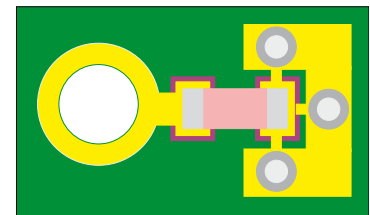
Projektując obwód drukowany, często dostosowujemy go do konkretnej, wcześniej zaprojektowanej obudowy. Uwzględniamy odpowiednie umiejscowienie, złącz, wyświetlaczy, gabaryty, otwory pod śruby montażowe itp. Zabiegi te, mimo iż niezmiernie ważne, często nie uwzględniają wymogów zachowania EMC. Szerzej o tym temacie pisałem w części poprzedniej cyklu, poświęconym ekranowaniu.

Aby zapewnić urządzeniu najlepsze warunki pracy (m.in. bardzo dobre ekranowanie), dobrze jest wyposażyć je w obudowę z metalu. Niestety, obudowy takie są stosunkowo kosztowne, a przewodząc prąd mogą być zagrożeniem dla życia w przypadku awarii lub niewłaściwego zaprojektowania urządzenia. Alternatywą jest zastosowanie obudowy z tworzywa sztucznego z napyłoną wewnątrz warstwą przewodzącą, stanowiącą tak zwane *chassis* dla urządzenia. Słowo to, aczkolwiek obcego pochodzenia, na dobre zadomowiło się w żargonie elektronicznym i raczej nie ma potrzeby jego tłumaczenia.

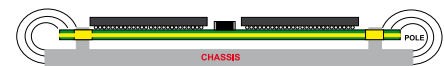
Czasami *chassis* może być radiator, bądź jak w obudowach typu ATX – metalowa powierzchnia boczna obudowy. Podczas projektowania urządzenia, aby poprawić kompatybilność elektromagnetyczną, należy podłączyć płaszczynę odniesienia masy do *chassis*. Połączenie takie musi zapewniać odpowiednio niską impedancję oraz być odporne na procesy ją zwiększające, takie jak



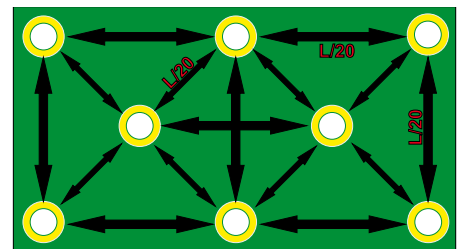
Rys. 11. Poprawne i niepoprawne podłączenie masy



Rys. 12. Sposób podłączenia kondensatora odsprężającego do masy



Rys. 13. Umieszczenie płytki w stosunku do *chassis*

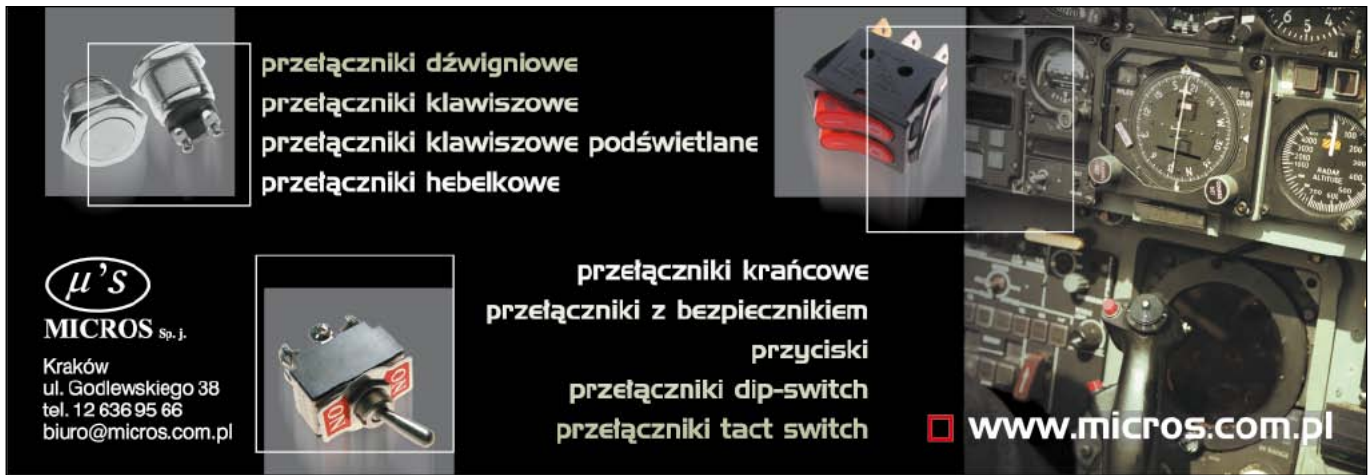


Rys. 14. Odległości pomiędzy otworami montażowymi

korozja i starzenie się materiału. Niska impedancja jest wymagana dla sygnałów wielkiej częstotliwości. Dla sygnałów stałych, jak i o niskiej częstotliwości wskazane jest, aby impedancja połączenia była wysoka. Parametry takie zapewni nam kondensator podłączony w sposób przedstawiony na rys. 12.

W celu uzyskania optymalnych rezultatów należy *chassis* umieścić w właściwej wyznaczonej odległości od płytki. Odległość ta powinna być mniejsza niż połowa długości fali sygnału, który może pojawić się w danej sytuacji. Takie umiejscowienie zapewni niższą impedancję pomiędzy płaszczynami masy obwodu a *chassis*. Pozwoli to na zdecydowanie szybszy powrót prądów RF do obwodu (rys. 13).

W niektórych przypadkach, gdy mamy do czynienia z wysokimi częstotliwościami, może dojść do sytuacji, w której fizyczne wymiary obwodu zbliżą się do długości fali



przełączniki dźwigniowe  
przełączniki klawiszowe  
przełączniki klawiszowe podświetlane  
przełączniki hebelkowe

przełączniki krańcowe  
przełączniki z bezpiecznikiem  
przyciski  
przełączniki dip-switch  
przełączniki tact switch

**MICROS** Sp. z o.o.  
Kraków  
ul. Godlewskiego 38  
tel. 12 636 95 66  
biuro@micros.com.pl

[www.micros.com.pl](http://www.micros.com.pl)

przez co obwód może wpaść w rezonans, stając się swego rodzaju anteną. Aby zminimalizować możliwość powstania takiego zjawiska, należy odpowiednio rozmieścić otwory montażowe łączące płytkę drukowaną z obudową. Odległości pomiędzy poszczególnymi łączeniami powinny wynosić – podobnie jak w przypadku łączenia płaszczyzn masy – przynajmniej:  $\lambda/10$ , a najlepiej  $\lambda/20$ , gdzie  $\lambda$  – długość fali (rys. 14)

Zapewne wielu Czytelników zauważyło pętle masy utworzone przez punkty jej łączenia z *chassis*. Otóż nowoczesne podejście do projektowania zaleca takie rozwiązanie.

Dlaczego? Przekonanie o szkodliwości pętli masy jest głównie istotne dla sygnałów niskiej częstotliwości. W takich układach faktycznie powodują one wiele szkodliwych zjawisk, znanych w szczególności miłośnikom sprzętu audio. Badania opisanych wyżej technik montażu potwierdzają, iż są one jak najbardziej skuteczne i zalecają ich stosowanie.

#### Podsumowanie

Opisane w artykule techniki pozwalają na uzyskanie bardzo wysokiego poziomu kompatybilności elektromagnetycznej płytki drukowanej. Nie są jednak recepturą na-

kazującą ich stosowanie w każdej sytuacji projektowej. Jak zawsze, w głównej mierze od projektanta zależy implementacja omówionych wcześniej metod, jak również ich prawidłowe zastosowanie.

Powoli zbliżamy się do końca cyklu. W następnym odcinku omówię zasady prawidłowego trasowania połączeń, a w ostatnim nieco odbiegającym od tematyki, podam ogólne zalecenia dla projektantów obwodów.

inż. Tomasz Świątek  
tomekfx@o2.pl

R E K L A M A



**Tektronix**  
Enabling Innovation

Nowe oscyloskopy serii **DPO3000**  
**/ MSO3000** - zobacz więcej...

PRZYRZĄDY POMIAROWE | POMIARY RF | POMIARY CZĘSTOTLIWOŚCI | POMIARY TV | TELEKOMUNIKACJA

- ▶ 9" wyświetlacz o rozdzielczości WVGA
- ▶ 16 kanałów cyfrowych (wersja MSO)
- ▶ Próbkowanie do 2,5 GS/s i pamięć 5Mpkt. Niezależnie we wszystkich kanałach
- ▶ Opcjonalna analiza i wyzwalanie I2C, SPI, CAN, LIN i RS232/422/485 i UART
- ▶ Modele 100, 300, 500MHz
- ▶ 2 lub 4 kanały analogowe
- ▶ Technologia MagniVu™
- ▶ Głębokość 137mm

**PROMOCJA!**

Oscyloskopy z serii **TDS1000/2000B**  
z **20% rabatem\***

\*promocja ważna od 1 sierpnia 2009r. do wyczerpania zapasów  
\*promocja nie łączy się z innymi rabatami i promocjami

**TESPOL**  
Sp. z o.o.

Siedziba Firmy: 54-413 Wrocław, ul. Klecińska 125, tel. 071 783 63 60, fax 071 783 63 61  
Biuro Handlowe: 03-301 Warszawa, ul. Jagiellońska 74, tel. 022 675 75 42, fax 022 675 54 47  
[tespol@tespol.com.pl](mailto:tespol@tespol.com.pl) | [www.tespol.com.pl](http://www.tespol.com.pl)

Dostępne również w sieci sprzedaży: Gdańsk - Biall, tel. 058 322 11 91, Poznań - Merazet, tel. 061 866 86 14, Warszawa - Merserwis, tel. 022 831 42 56