

Zespół Szkół Technicznych im. J. i J. Śniadeckich w Grudziądzu



Laboratorium Elektryczne – Pracownia Automatyki
i Robotyki (s.48)

Instrukcja Laboratoryjna: Przygotowanie płytki drukowanej (PCB)

Zebrał i opracował: mgr inż. Marcin Jabłoński

W tym artykule znajdziesz instrukcje, jak zrobić własną płytkę drukowaną (PCB) metodą termotransferu, znaną również jako metoda żelazkowa. Płytkę można zrobić też innymi sposobami - np. wykorzystać płytkę uniwersalną, ale do większych układów jest niewygodna. Można też płytkę narysować pisakiem odpornym na trawienie. Ta metodą nadaje się do projektów najprostszych, nie zawierających więcej niż dziesięć elementów. Ostatnia metoda, możliwa do realizacji w domowym zaciszu, to naświetlanie. Nigdy nie stosowałem, ponieważ jest dosyć droga.

Metoda termotransferowa w skrócie wygląda tak - drukujemy mozaikę ścieżek na papierze kredowym, przepasowujemy żelazkiem na warstwę miedzi, trawimy, zmywamy toner rozpuszczalnikiem, malujemy nitrokalafonią, wiercimy, lutujemy i gotowe.

Spis treści:

[Potrzebne rzeczy](#)

[Drukowanie](#)

[Tniemy laminat](#)

[Prasowanie](#)

[Zdejmowanie papieru](#)

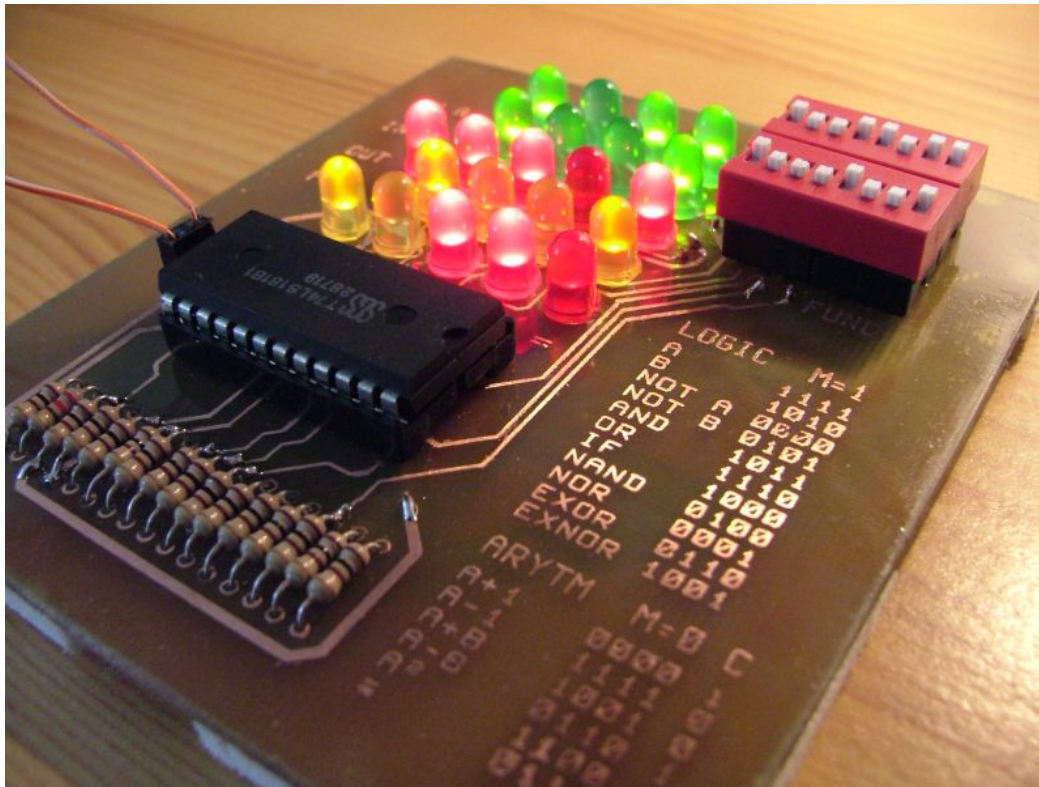
[Trawienie](#)

[Malowanie kalafonią](#)

[Płytki dwustronne](#)

[Wiercenie](#)

[Dobre pomysły](#)

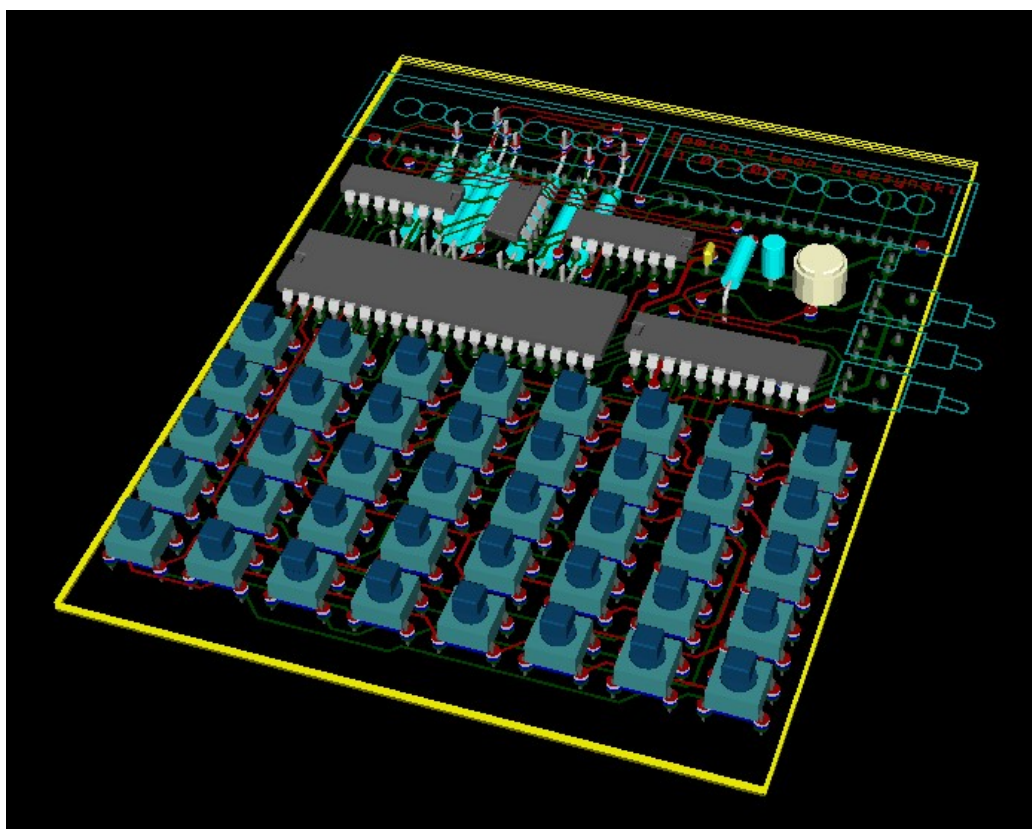
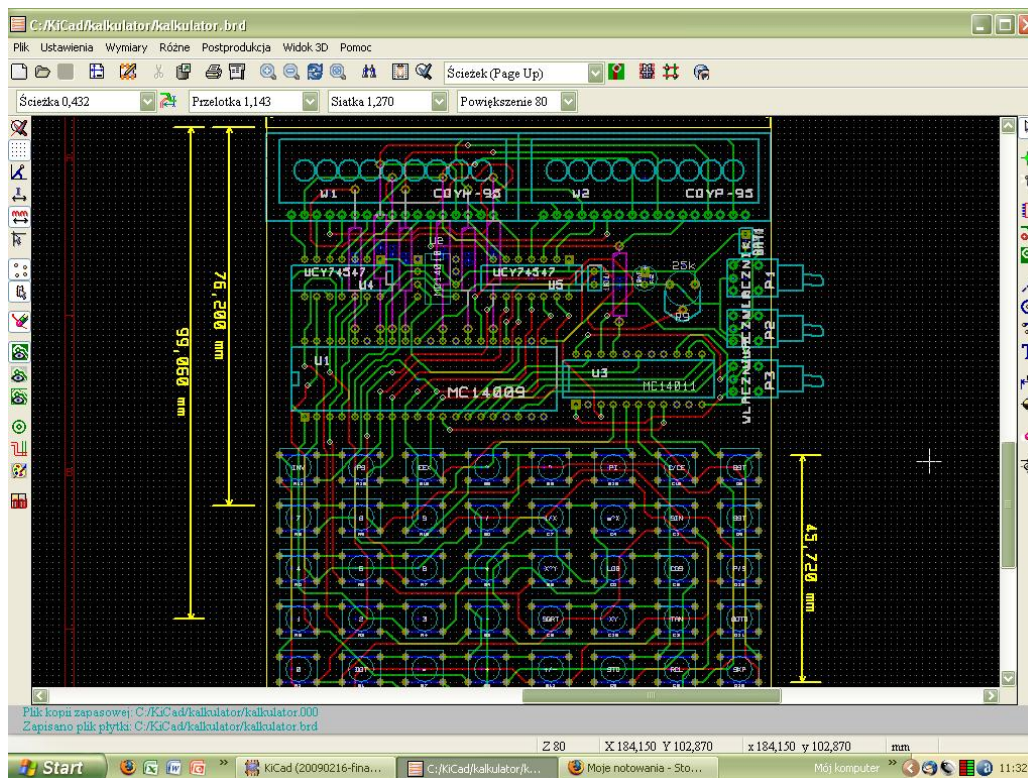


Potrzebne rzeczy

Większość z nich masz u siebie w domu. Przede wszystkim potrzebne będzie żelazko, a jeżeli masz płytę grzejącą, to luksus. Najlepiej, żeby żelazko było stare i niepotrzebne, bo nasze panie bardzo boją się, że zepsujemy ich ukochany sprzęt :) Poza tym, stare żelazko ma płaską powierzchnię bez dziurek. Jest to bardzo ważne, by powierzchnia była płaska, bo płytka może się powyginać.

Potrzebujemy jakiś dociskacz, którym będziemy papier dociskać do rozgrzanej płytki. Wykombinowałem coś takiego ze starej szklanej solniczki. Dolną powierzchnię okleiłem jakąś szmatą, żeby nacisk rozkładał się równomiernie na powierzchni koła o średnicy ok 3cm - może być więcej, ale będziemy musieli silniej naciskać, by otrzymać ten sam efekt. Można też wykorzystać korek.

Najważniejszą rzeczą w tym wszystkim jest drukarka laserowa. Jeżeli nie masz, to masz problem. Niestety muszę chodzić do znajomych i drukować u nich. Zdecydowanie odradzam drukowanie w punktach ksero. Tam zawsze oszczędzają toner i potrafią naliczyć dodatkowe opłaty za nietypowy papier. Kiedyś trójka moich znajomych przyszła do mnie z wydrukami z ksera i wszystkie trzy nie wyszły. Poszukaj u kolegów - na pewno któryś z nich ma laserówkę. Jeżeli wybieramy się do znajomego, możemy drukować z pliku PDF, ale lepiej drukować prosto z programu do projektowania. Program KiCad można nagrać na pendrive i działa bez instalacji (nawet bez kopiowania na dysk!).

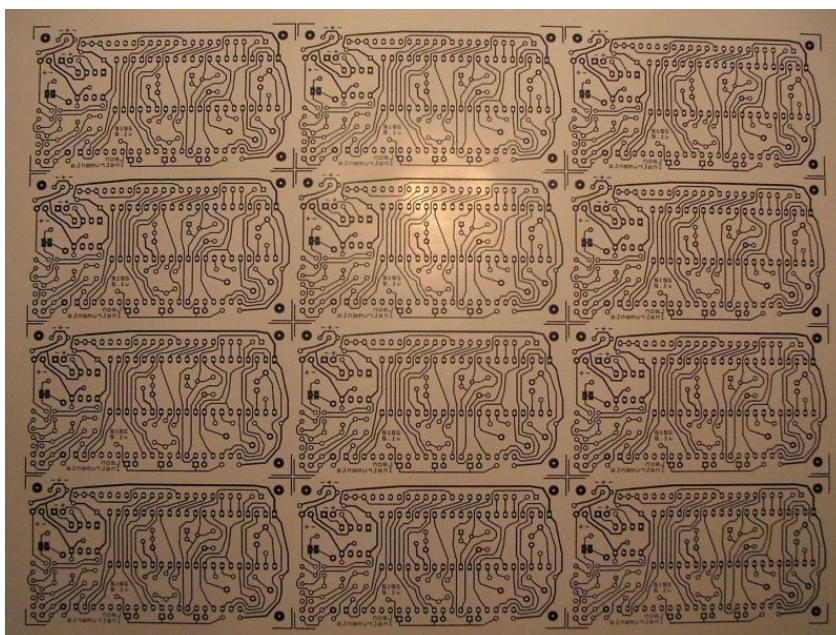
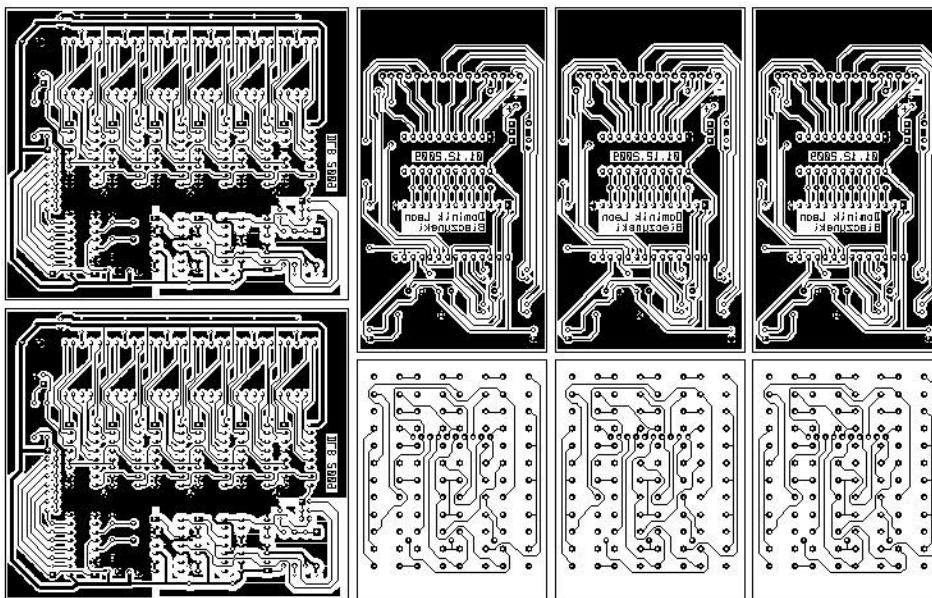


Nie drukujemy na byle czym. Koniecznie musi to być cienki papier kredowy. Można kupić w sklepie papierniczym. Na allegro są specjaliści, którzy taki papier sprzedają. Polecam kupić od razu 100 kartek albo i więcej. Nie zepsują się, a zawsze będą dostępne pod ręką.

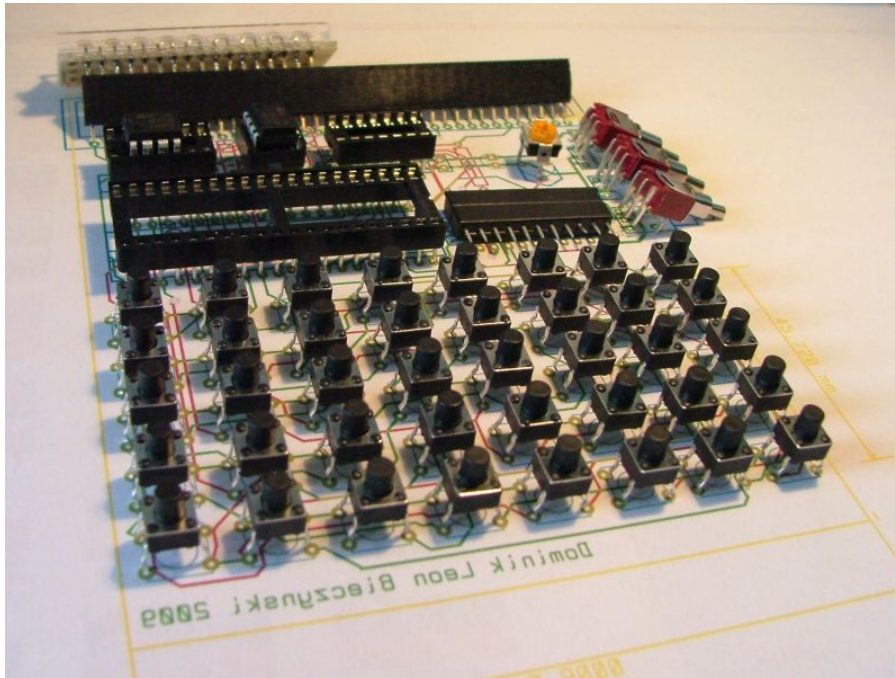
Potrzebujemy również papier ścierny o numerze większym niż 600 (ja stosuję 1000), wiertelka najlepiej tytanowe (o wiertłach piszę niżej), rozpuszczalnik nitro i kalafonię.

Drukowanie

Jak drukować, to ekonomicznie! Chodzi mi o maksymalne wykorzystanie miejsca na papierze. Kopiujemy płytkę kilka razy (w KiCadzie robi się to obrysowując płytkę przyciskając jednocześnie klawisz shift), ponieważ PCB może nie wyjść i trzeba będzie robić wszystko od początku. Pierwsze płytki zwykle wychodzą kiepsko i trzeba poprawiać, ale po paru próbach dojdiesz do wprawy. Rysunek poniżej przedstawia maksymalne wykorzystanie powierzchni płytki - dzięki temu za jednym zamachem wydrukowałem parę kopii jednego projektu.



Ważne - warstwę ścieżek (bottom) drukujemy w stanie jak jest, ale warstwę elementów (top) drukujemy koniecznie w lustrzanym odbiciu! Po wydrukowaniu koniecznie upewniamy się, że płytką wydrukowała się odpowiednią stroną, a także, że skala wydruku jest zachowana. Przy drukowaniu z PDF-ów skala może się zmniejszyć. Zmiana skali nawet o 1% sprawi, że duże scalaki nie wejdą w dziurki i trzeba będzie im wyginać nóżki.



W ustawieniach drukarki wyłączamy wszelkie tryby ekonomiczne i wybieramy maksymalną rozdzielczość (np 1200dpi).

Tniemy laminat

Wydawało mi się, że laminat jest miękki, dopóki sam nie próbowałem go przeciąć piłą do drewna. Porażka :) Zmordowałem się niesamowicie, a i tak wyszło krzywo. Wobec tego proponuję trochę sprytniejszą metodę.

Na warstwę miedzi kładziemy ekierkę i mocno ją przyciskając, nożem wydrapujemy rysę. Może to być gwóźdź czy jakiś inny szpikulec, byle wydrapał całą miedź. Jeżeli mamy grubszą płytkę, to wydrapujemy też rysę z drugiej strony. Następnie płytkę łamiemy o kant stołu. Krawędź pęknięcia można wyrównać pilnikiem. Najlepiej żeby wymiary płytki były dokładnie takie same jak wymiary wydruku.



Polecam płytki o grubości 0,8mm - są łatwe do cięcia, a sklejając dwie takie płytki zrobimy jedną dwustronną. Stosowanie płytek 1,5mm nie jest konieczne. Moim zdaniem 0,8 są o niebo lepsze. Więcej o zaletach płytek 0,8 w dziale o wierceniu otworów.

Zanim przejdziemy do kolejnego etapu, musimy usunąć warstwę brudu i tlenków z powierzchni miedzi. Lekko nawilżając papier ścierny (numer powyżej 600) delikatnie szlifujemy laminat. Miedź powinna nabrać świeżego blasku :) Po szlifowaniu przemywamy wszystko rozpuszczalnikiem nitro, a następnie wycieramy do sucha papierem toaletowym. Ważne - od teraz nie dotykaj miedzi palcami! Nie polewaj wodą!

Prasowanie

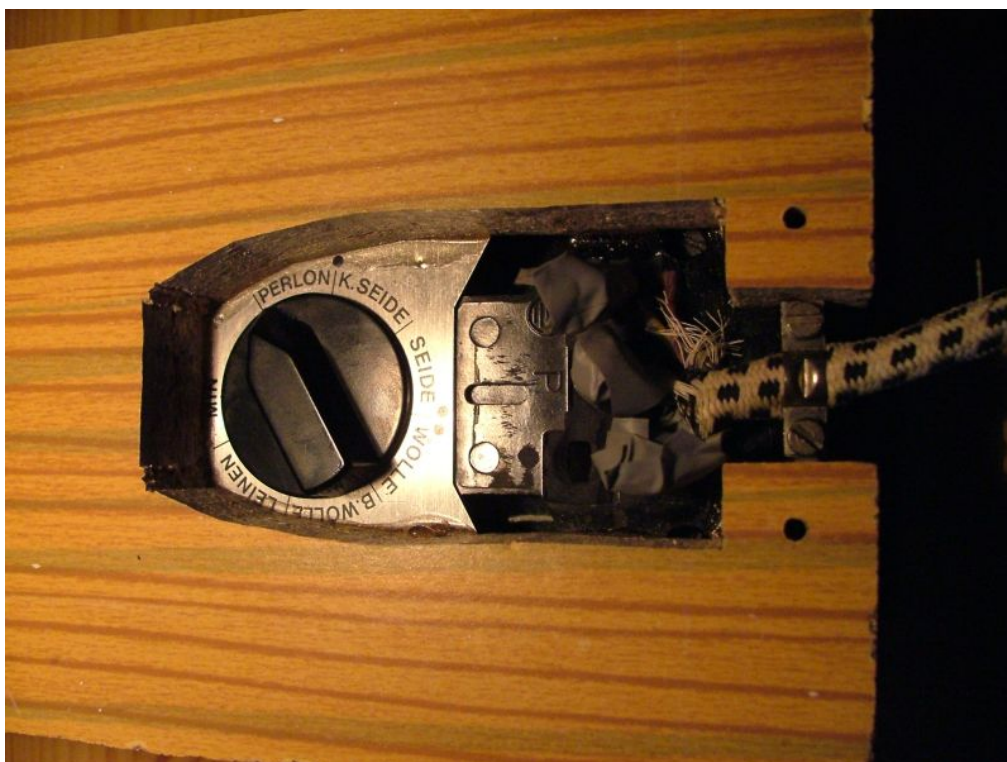
Panowie, żelazka w dłoń! Są dwie metody. Pierwsza przypomina prasowanie ubrań - płytka leży miedzią do góry, na nią kładziemy wydruk tonerem w dół i prasujemy jak koszulę. Trzeba dość mocno dociskać, a szczególnie mocno dociskać krawędzie i narożniki, bo to są miejsca najbardziej podatne na wychłodzenie, co sprawia, że toner później odpadnie. Całym ciałem trzeba się oprzeć na żelazku i ciskać ile się da.

Druga metoda jest bardziej wyrafinowana. Ustawiamy z książek dwie blokady po obu stronach żelazka, tak żeby się nie wywróciło, a żelazko instalujemy pomiędzy nimi do góry nogami. Dobrze jest sobie wykonać jakiś stelaż, by konstrukcja się nie rylała, ale kilka masywniejszych książek powinno wystarczyć. Rozgrzewamy żelazko i trzymając laminat miedzią w górę i papier tonerem w dół, kładziemy jeden jego narożnik na żelazku i przyciskamy. Papier powinien się natychmiast przykleić. Wsuwamy całą płytkę na żelazku i prasujemy całość.

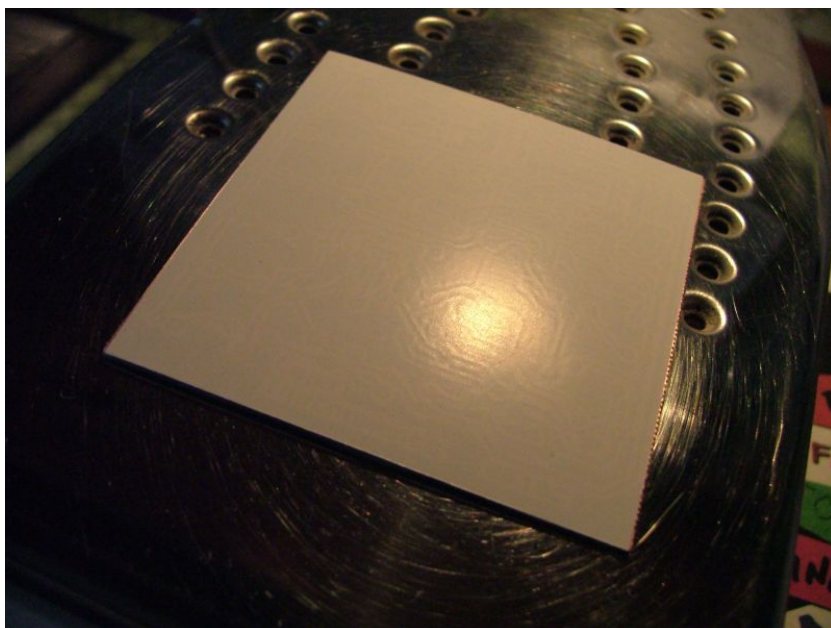


Jeszcze lepszym sposobem jest płyta grzejna. Tanim sposobem na uzyskanie wygodnej płyty grzejnej jest wykorzystanie starego żelazka. W tym celu udałem się na giełdę staroci i za 10zł kupiłem żelazko Rowenta LA-01. Jest ono dobre szczególnie dlatego, że po odkręceniu rączki zostaje plastikowy element równoległy do powierzchni płyty, dlatego wystarczy podkleić deskę z otworem na termostat i przewody. Wycięcie otworu w desce to jedyny problem przy robieniu własnej płyty grzejnej, ale jeżeli ma się wyrzynarkę, to problemu nie ma.





Temperaturę dobieramy na dwie kropki. Do zbyt słabo nagrzanej płytki toner się nie przyklei, natomiast w przypadku przegrzania - zacznie się rozpływać, a ścieżki położone blisko siebie zaczną się sklejać. Drugim ważnym parametrem jest siła docisku. Tu każdy sam musi znaleźć złoty środek. Przez cienki papier widać, co dzieje się na powierzchni miedzi. Obserwuj to. Jeżeli widać drobne wypukłości na papierze w miejscach, których powinny być ścieżki, to dobrze. Cały proces prasowania powinien trwać ok 5 minut. Przy grubszym papierze można dłużej.



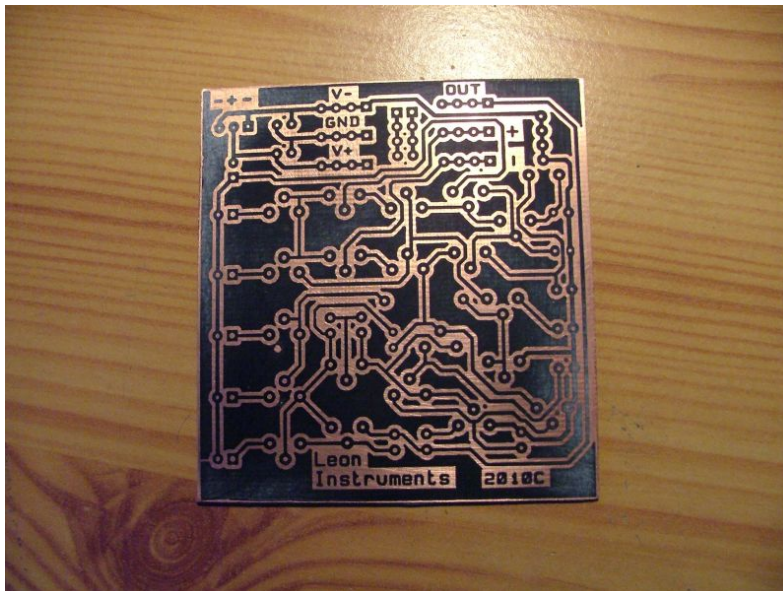
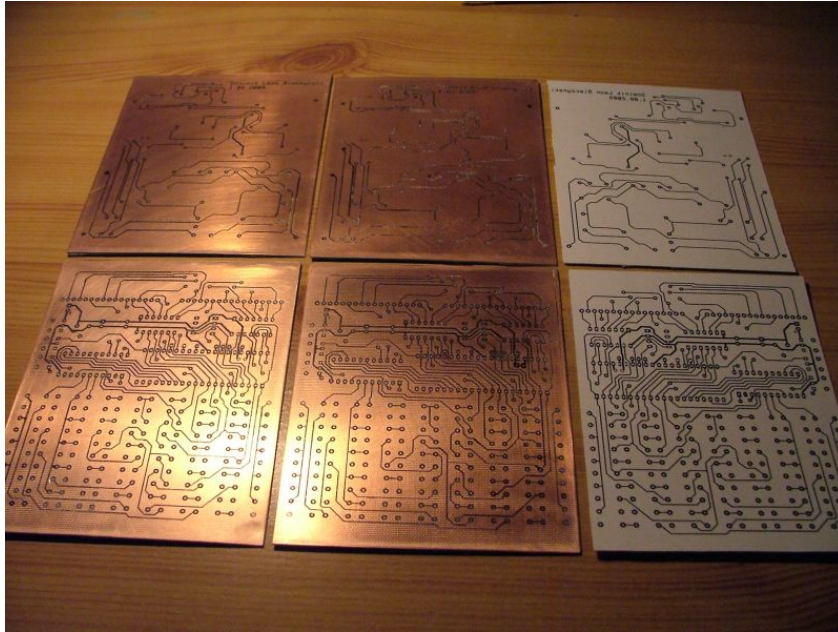
Do przyciskania można użyć szmatki, byle nie z tworzywa sztucznego. Może być papier toaletowy albo korek od wina. Ja okleiłem starą solniczkę najpierw papierem toaletowym, a potem starą skarpetą. Efekty są doskonałe :)

Zdejmowanie papieru

Chwytny płytkę PCB jakimiś szczypcami i wrzucamy do ciepłej wody z odrobiną płynu do mycia naczyń, żeby odmakanie papieru zachodziło szybciej. Zaraz po wodowaniu papier powinien zacząć się nasączać, a po chwili ścieżki powinny być widoczne. Zostawiamy to na jakieś 15 minut, a jeżeli się nie śpieszymy to na dłużej. Bardziej namoczony papier łatwiej schodzi. Niektórzy polecają PCB moczyć w occie. Nie próbowałem.

Papier zaczynamy odrywać od narożników. W przypadku wielu papierów, najpierw schodzi warstwa kredy z wierzchu, ze środkową warstwą papieru, a kreda od strony płytki zostaje. Polecam zmyć ją gąbką do mycia naczyń. Najpierw zmywamy miękką stroną, a potem szorstką. Pomaga na zmianę płytkę PCB wycierać ręcznikiem do sucha, a potem znowy zmywać.

Szczególną uwagę trzeba zwrócić na kłaczki papieru pomiędzy ścieżkami. Oglądaj całą płytkę pod lupą i nie dopuść do tego, by jakieś kłaczki zostały. Po wytrawieniu zrobią one zwarcie między ścieżkami. Polecam cienki papier - taki nie zostawia kłaczków, w przeciwieństwie do grubego.



Jeżeli ścieżki odrywają się to zły znak - prasując przyciskaliśmy za słabo lub temperatura była za niska. Mimo to, lepiej żeby ścieżki oderwały się przy zmywaniu niż przy wytrawianiu. Prawidłowo przyklejony toner powinien trzymać się miedzi nawet przy szorowaniu (w granicach rozsądku).

Znowu bierzemy lupę i oglądamy PCB, porównując z wydrukiem. Niewielkie ubytki uzupełnić trzeba pisakiem olejowym, np Edding 141F. Pisak alkoholowy może nie powstrzymać wytrawiacza i mimo to miedź pod nim się wytrawi. Pracę ułatwia lampa ustawiona pod kątem do płytki tak, żeby odbijało się światło. Jeżeli ubytki są duże - nic straconego! Rozpuszczalnik, papier ścierny i od nowa. Wszystkie czynności wykonane przed wytrawieniem są odwracalne. Nie spodziewaj się, że za pierwszym razem wszystko wyjdzie Ci perfekcyjnie.

Trawienie

Mając absolutną pewność, że poprzedni proces przebiegł prawidłowo, można przystąpić do trawienia. Dostępne są dwa wytrawiacze - B327 oraz chlorek żelaza. Zdecydowanie polecam ten pierwszy. Potrzebne będzie jakieś korytko plastikowe i plastikowe mieszadło. Z oczywistych powodów metalowych narzędzi nie należy stosować.

W instrukcji wytrawiacza piszą, by rozpuścić go w wodzie o temperaturze 50°C. Nic się nie stanie, jeżeli zalejemy go wrzątkiem prosto z czajnika. Na ogół tak robię. Na 100 gramów wytrawiacza B327 lejemy pół litra wody. Mieszamy wszystko aż kryształki się rozpuszczą.

Ważne - wytrawiacz nie powoduje oparzeń, jeżeli na chwilę włożysz rękę do roztworu. Co nie znaczy, że jest nieszkodliwy. Zalecam środki ochronne, takie jak gumowe rękawiczki. Nie wdychaj oparów. Zalecam wytrawiać płytki w dobrze wentylowanym pomieszczeniu.



Czas na płytkę. Od strony gdzie nie ma miedzi, przyklejamy taśmę klejącą, żeby było za co wyciągać płytkę z roztworu. Jak tą płytkę w roztworze umieścić, są różne szkoły:

miedzią do góry - optymalne wytrawianie, należy mieszać miksturę

miedzią na dół - wytrawianie bardzo szybkie, trzeba uważać by nie podtrawiło ścieżek

ponowo (taśma klejąca jest przyklejona np do długopisu leżącego na ściankach zbiornika - szybkie, nie trzeba mieszać, chociaż na górze może wytrawić się mocniej, a na dole słabiej

Ciepło jest konieczne do trawienia. Jeżeli mamy stary wytrawiacz to trzeba go rozgrzać, umieszczając pojemnik z miksturą w pojemniku z wrzącą wodą. Do tej wody można włożyć dodatkowo grzałkę. Grzałki do wytrawiacza nie wkładamy :)

Wytrawianie trwa 5-10 minut jeżeli B327 jest nowy i gorący. Później proces rozciąga się nawet ponad godzinę. Po skończonym trawieniu, płyn wlewamy do plastikowej butelki i (WAŻNE!!!) nie zakręcamy jej szczelnie!!!

Toner zmywamy rozpuszczalnikiem. Płytkę PCB jest dopiero w połowie gotowa ;)



Bierzemy lupę i pod światło sprawdzamy, czy nie ma pękniętych ścieżek albo czy któreś ścieżki się nie zwały. Często stosuję sondę przewodnictwa z brzęczykiem - dotykam sondą dwóch końców ścieżek i sprawdzam czy zabrzączy. W ten sam sposób sprawdzam sąsiednie ścieżki w poszukiwaniu zwarc. Trzeba starannie sprawdzić poprawność trawienia, bo może się zdarzyć, że zwarcie będzie przykryte jakimś dużym elementem, który trudno będzie potem odlutować, nie mówiąc już o znalezieniu tego zwarcia.

Malowanie kalafonią

Miedź jest pierwiastkiem bardzo silnie reagującym z tlenem i wodorem znajdującym się w powietrzu. Obecnie miedź na płytce PCB jest pomarańczowa i pięknie błyszcząca, jednak pozostawiona bez ochrony stanie się ciemna, a co gorsze - jej rezystancja wzrośnie. Trzeba koniecznie zabezpieczyć miedź przed dostępem tlenu.

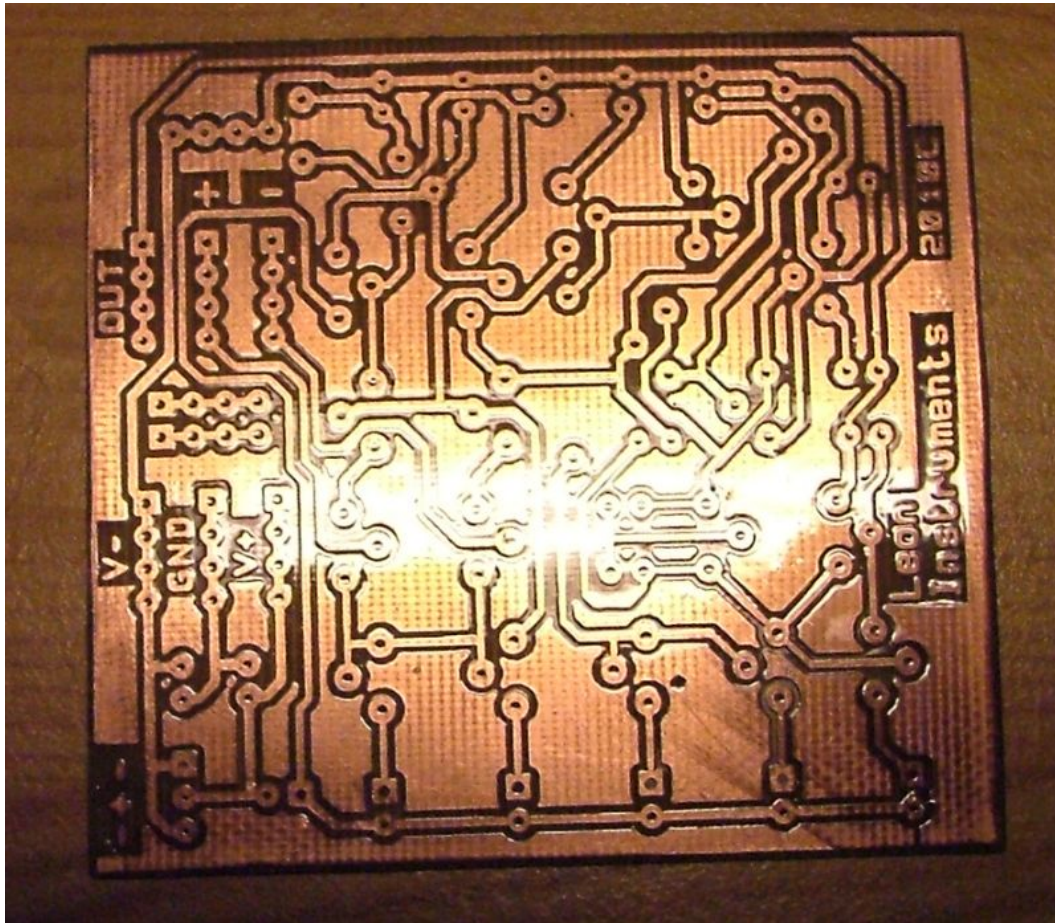
Jednym ze sposobów, skutecznym i prostym, jest malowanie kalafonią rozpuszczoną w rozpuszczalniku nitro. Kalafonia jest substancją organiczną o pomarańczowym kolorze i przyjemnym zapachu. Sprzedawana jest w postaci stałej, w okrągłych pojemniczkach jak pasta do butów.

Do przyrządzenia nitrokalafonii potrzebujemy słoiczek. Do 3/4 objętości lejemy rozpuszczalnik nitro. Kalafonię rozkruszamy na drobne kawałeczki. Im drobniejsze tym szybciej się rozpuszczą. Wsypujemy ich tyle, by roztwór nabrał koloru złotego. Nitrokalafonię nakładamy na PCB pędzelkiem.



Wysychanie trwa nawet 24 godziny, gdy roztwór jest gęsty. Aby przyspieszyć proces, bierzemy żelazko, ustawiamy temperaturę na jedną kropkę, kładziemy płytkę i smażyemy ją w ten sposób 15-45 minut. Po odparowaniu rozpuszczalnika, kalafonia

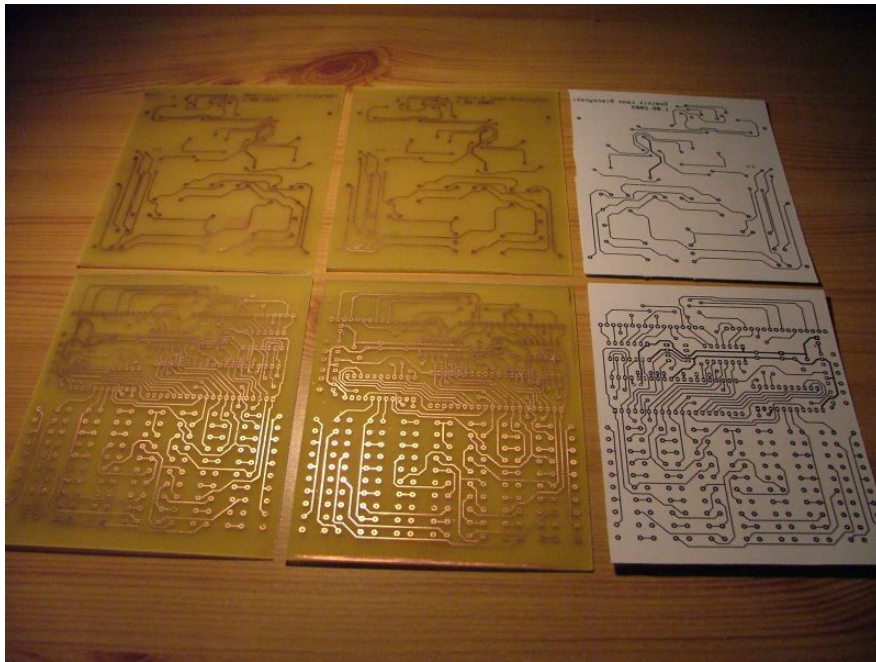
powinna wyglądać jak lakier. Płytki staje się wtedy bardzo ładna - pięknie odbija światło, wyraźnie widać wypukłości ścieżek i pól lutowniczych.

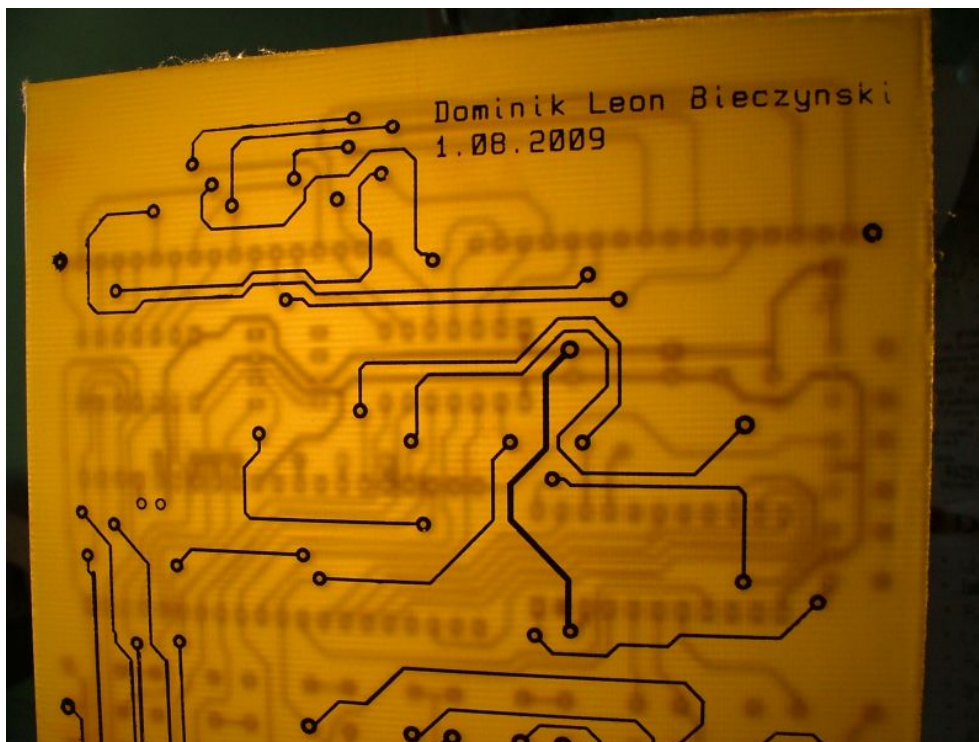


Dodatkową zaletą malowania kalafonią jest to, że znacząco ułatwia lutowanie. Czasami zdarza się, że cyna nie chce się przykleić do lutowanego elementu. Rozwiązaniem jest pomalowanie go kalafonią - jeszcze zanim wyschnie już można lutować i od razu będzie dobrze. Jeżeli na płytce mają być elementy SMD, bez kalafonii ich przylutowanie będzie bardzo trudne.

Płytki dwustronne

Wszystko powyższe dotyczy płytek jednostronnych. Aby zrobić płytki PCB dwustronne zdecydowanie polecam kupić dwa cienkie laminaty o grubości 0,8mm. Robimy wszystko jak wyżej (z wyjątkiem malowania) i po prostu te laminaty skleamy. Zdecydowanie polecam klej epoksydowy uniwersalny dwuskładnikowy - jest to najlepsza substancja do klejenia laminatów epoksydowych.





W pierwszej fazie klejenia (2h) przydadzą się ściskacze, alby wycisnąć wszystkie bąbelki powietrza. Dalej zdejmujemy ściskacze, ponieważ przesuwają one płytki między sobą. Centrujemy je, zanim klej zwiąże się do końca i pozostawiamy w pozycji poziomej na 24h. Raz po raz trzeba sprawdzić, czy laminaty się nie rozjechały

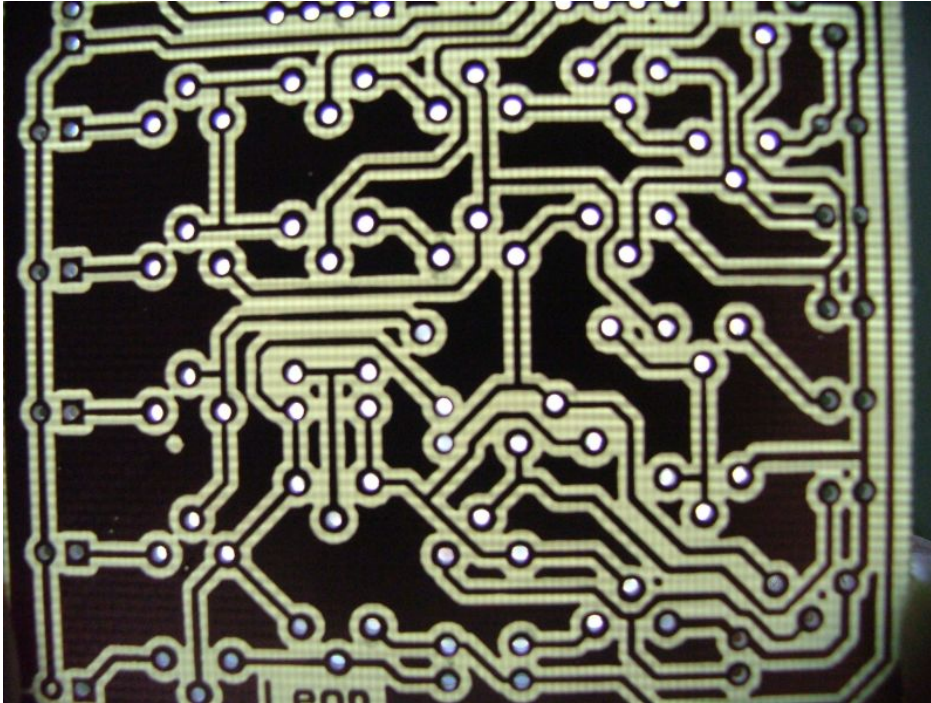
W ten sposób z dwóch płytek jednostronnych robimy jedną płytkę dwustronną. Malowanie kalafonią robimy po klejeniu, oczywiście najpierw jedną stronę, potem drugą jak pierwsza całkowicie wyschnie.

Wiercenie

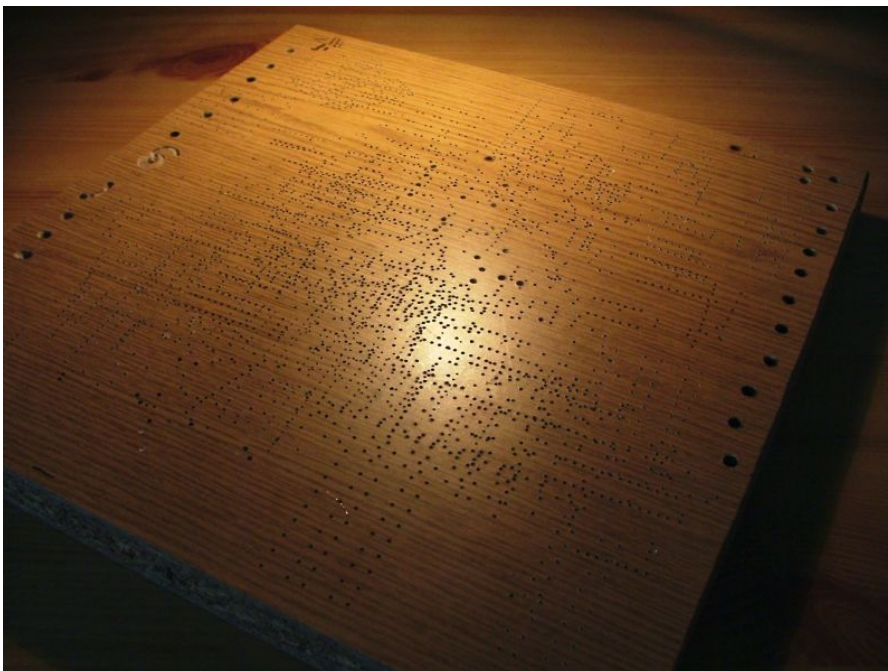
W sklepach elektronicznych można kupić małą wiertareczkę modelarską w cenie 20-30zł. Polecam ten wynalazek. Wiercenie laminatów wiertarką do betonu jest jak strzelanie z armaty do komara.

Odnosnie wiertła - zdecydowanie polecam wiertła tytanowe ponieważ jest ono wielokrotnie bardziej trwałe niż zwykłe wiertło HSS (ze stali szybko tnącej). Kiedyś miałem okazję przeprowadzić porównanie i okazuje się, że wiertłem tytanowym można wywiercić nawet 10 razy więcej dziurek. Konkretniej, wiertło HSS w laminacie o grubości 0,8mm może zrobić ok 50-100 dziurek, a tytanówka nawet 800. Wiertło tytanowe ma rdzeń ze stali HSS, który jest pokryty powłoką z węglika tytanu - kiedy ta powłoka nam się zetrze, można takie wiertło naostrzyć i staje się ono wtedy zwykłym wiertłem HSS. Cenowo nie ma wielkiej różnicy. HSS kupuję za 1zł, a tytanowe za 2zł.

Niezmiernie ważnym czynnikiem wpływającym na żywotność wiertła jest grubość laminatu. Oczywiście jest, że wierząc w laminacie 0,8 zrobimy prawie dwa razy więcej dziurek niż w laminacie o grubości 1,5mm. Do tego, wywiercimy jest dwa razy szybciej. Same zalety!



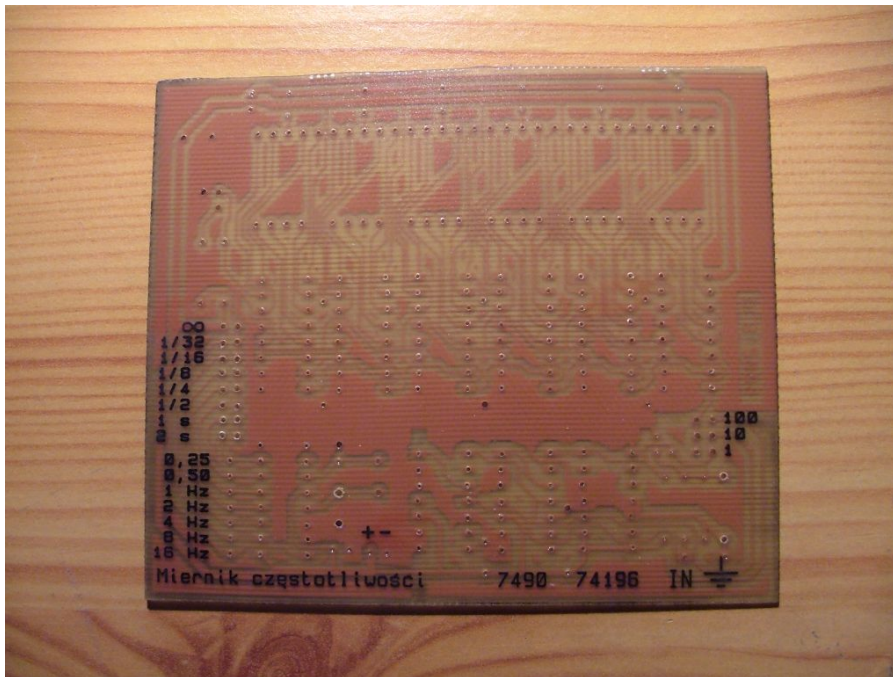
Potrzebna będzie twarda deska w roli podkładki. Po jakimś czasie podkładka wygląda jak wyżej :) Wiercenie samo w sobie jest trywialne i chyba nie wymaga instrukcji :) Raz po raz oglądaj pola lutownicze. Jeżeli robią się na nich zadziory to znaczy, że wiertło jest już tępe. Zadziory można zeszlifować papierem ściernym, chyba że wcześniej pomalowałeś płytkę kalafonią.



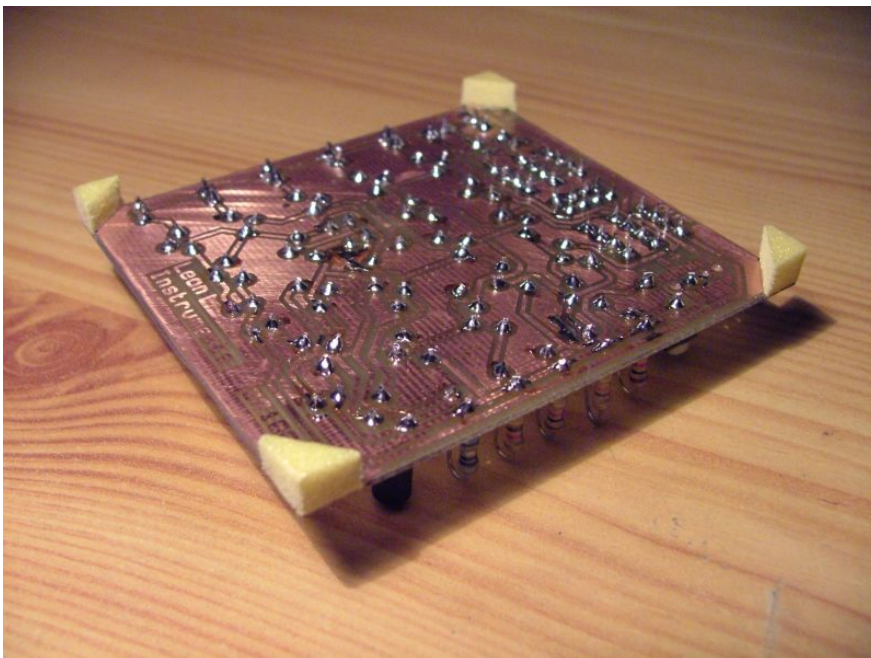
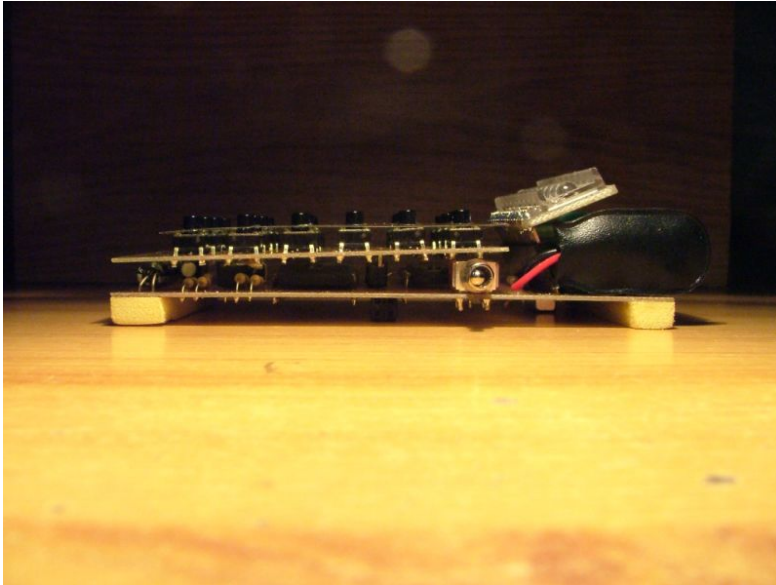
Ostrzenie wiertła wygląda tak - włączamy obroty wstecz i szlifujemy czubek wiertła drobnym kamieniem szlifierskim. Jest to metoda prymitywna i nigdy nie naostrzy wiertła do stanu fabrycznego, ale przedłuży trochę jego żywotność.

Dobre pomysły

Można bardzo łatwo zrobić napisy o stronie elementów płytki drukowanej. Po skończonym trawieniu i myciu tonera, powtarzamy proces termotransferu. Uwaga, by wydrukować je w lustrzanym odbiciu! Dobrze przyklejony toner jest odporny na ścieranie, oczywiście w rozsądnych granicach, a takie napisy powinny być widoczne długo.



Często kończymy projekt na zlutowaniu układu i nie mamy dla niego żadnej obudowy. Aby luty nie drapały stołu, przyklejam do płytki kawałki tacek styropianowych. Przyklejam trochę większe fragmenty, by wystawały poza krawędzie, a nadmiar zeszlifowuję gąbką ścierną.



Aby oszczędzać wytrawiacz warto puste fragmenty PCB pokryć tzw. strefami. Są to pola miedzi najczęściej połączone z masą lub niepołączone z niczym. Nie służą do niczego, a jedynie oszczędzają wytrawiacz. Jest tu jednak jedna pułapka. W układach wielkich częstotliwości takie duże pola miedzi mogą stanowić kondensatory o istotnej pojemności, która zakłóci działanie układu! W ważnych projektach, dużych częstotliwości, precyzyjnych, nie stosuj stref!



Podsumowanie

Metoda żelazkowa okazuje się prosta i przy odrobinie wprawy daje wyśmienite płytki drukowane PCB. Przepuszczenie jednej ścieżki między nóżkami układu scalonego nie jest żadnym problemem. Dwie ścieżki również da się zrobić. Niektórym udaje się nawet uzyskać ścieżki o grubości 6mils czyli 0,15mm! Osobiście zalecam nie robić ścieżek cieńszych niż 12mils (0,3mm) jeżeli nie ma uzasadnionej przyczyny.

Wykonałem tym sposobem niejedną płytkę i jestem bardzo zadowolony z jej efektów, choć pierwsze płytki PCB bywały mizerne.

Na podstawie:

<https://extronic.pl/content/25-plytki-drukowane-pcb-w-domu>