

**ELEKTRONICZNA KSIĄŻKA
KUCHARSKA - V**

Tematyka tego odcinka będzie nieco inna, niż zwykle - omówimy tym razem metody domowej „produkcji” obwodów drukowanych. **ETAP I** - projektowanie topografii druku.

Jest to pierwszy, najważniejszy etap, od którego nierzadko zależy poprawne działanie całego układu, musimy zatem poznać kilka podstawowych reguł pomocnych w tym etapie:

1. Schemat ideowy, na podstawie którego będziemy projektować druk, musi być narysowany w sposób najprostszy i najbardziej czytelny. Oznacza to z jednej strony minimalną liczbę długich połączeń, krzyżujących się już na schemacie ideowym oraz niejako modułową budowę schematu.

2. Jeżeli układ składa się z kilku funkcjonalnie odrębnych bloków, to elementy tych bloków nie powinny się topograficznie zająć - czyli dla tych bloków wyodrębniamy na płycie odrębne pola o kształcie zbliżonym do prostokąta. Poza tym podukłady, przez które sygnał przechodzi szeregowo (kolejno), powinny być w miarę możliwości położone jeden za drugim - podobnie jak na prawidłowo narysowanym schemacie ideowym.

3. We wszystkich układach wzmacniających elementy wzmacniacza wstępnego (wejściowego) i stopnia końcowego powinny być na płycie maksymalnie od siebie oddalone. W ogóle należy przestrzegać zasady, że w pobliżu wzmacniaczy o dużej czułości nie wolno umieszczać układów, w których występują przebiegi napięcia zmiennego mogące wprowadzić niebezpieczne sprzężenia czy przydźwięki. W szczególności dotyczy to wzmacniaczy mikrofonowych i korekcyjnych (do adaptera magnetycznego) oraz wzmacniaczy w.cz. i p.cz. odbiorników radiowych.

4. Przy projektowaniu układów zawierających część analogową i cyfrową (układ TTL) należy części te w miarę możliwości jak najdalej od siebie odsunąć - po prostu

układy TTL są źródłem bardzo silnych zakłóceń impulsowych. Z tego też powodu należy unikać zasilania części cyfrowej i analogowej z tego samego źródła, również należy oddzielić od siebie masy: analogową i cyfrową (łączymy je ze sobą tylko w jednym punkcie, na ogół w zasilaczu). Ponadto czasami może się okazać konieczne ekranowanie niektórych układów (np. wzmaniających) w celu wyeliminowania zakłóceń (występuje podczas etapu uruchamiania) – należy zatem przewidzieć miejsce na zamontowanie tego ekranu.

Podobna sprawa przy innych układach impulsowych, czy to tranzystorowych czy (szczególnie) tyrystorowych – projektowanie odpowiedniej płytki jest dość trudne, lepiej niejednokrotnie zaprojektować kilka oddzielnych płytek mieszczących poszczególne rodzaje układów (osobno część analogowa, część impulsowa i zasilacz sieciowy).

5. Prowadzenie zasilania w prostych układach jest w zasadzie dowolne. W układach bardziej skomplikowanych (przede wszystkim we wszelkiego rodzaju wzmacniaczach) należy zwrócić uwagę na podłączenie masy, w szczególności należy oddzielić masę zasilania układów mocy od masy układów wstępnych (masa ta jest na ogół masą sygnałową). W niektórych sytuacjach wskazane jest stosowanie struktury łańcuchowej, głównie przy prowadzeniu zasilania (filtry RC tłumiące tętnienia). Problem ten najlepiej ilustruje rys. 1 (jest to przykład zasilania wzmacniacza akustycznego dużej mocy) – należy zwrócić uwagę na galwaniczne odizolowanie masy zasilacza mocy i zasilacza układów wstępnych – masy te są połączone we wspólnym punkcie na wejściu wzmacniacza końcowego.

6. Wskazane jest pozostawienie na płytce maksymalnej powierzchni masy – w praktyce po zaprojektowaniu druku puste fragmenty „wypełniamy” powierzchnią masy, prowadzimy ją także „naokoło” płytki – czyli na brzegach. Dzięki temu z jednej strony osiągamy korzystny na ogół efekt ekranowania (szczególnie we wzmacniaczach wstępnych), a z drugiej przy trawieniu zużywamy mniejsze ilości środka trawiącego (np. drogiego i trudno osiągalnego chlorku żelazowego). Ponadto

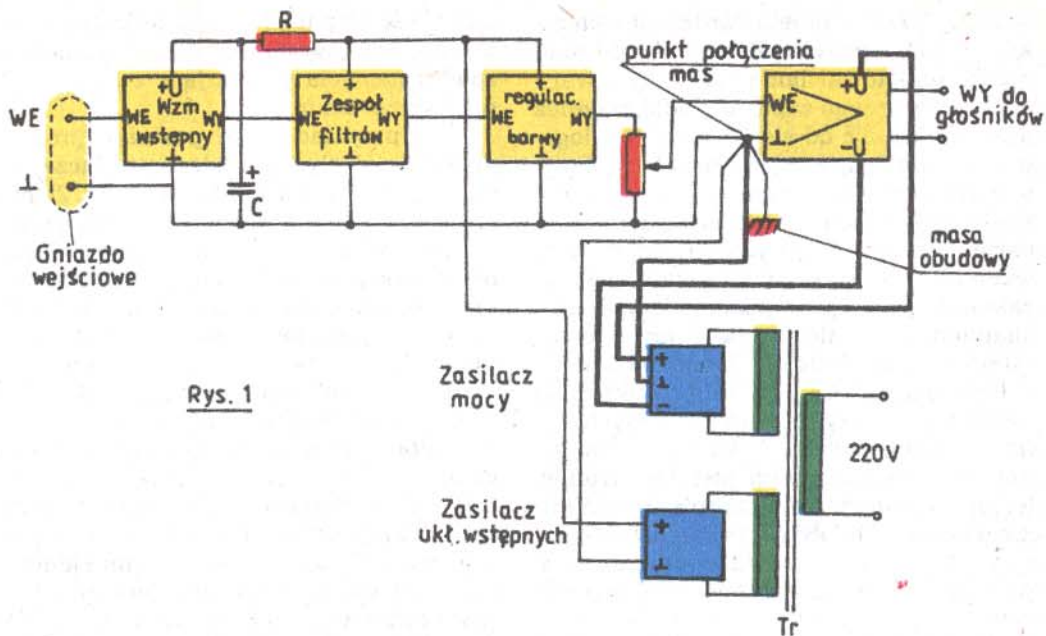
szersze ścieżki masy mają mniejszą rezystancję, czyli występują na nich mniejsze spadki napięcia wynikające z przepływu prądów zasilania.

Jako przykład może posłużyć projekt drukowanej płytki prostego zasilacza regulowanego (rys. 2 a). Płytką na rys. 2b ma ścieżki wykonane metodą łączenia punktów liniami, a na rys. 2c metodą wypełniania większych powierzchni. Widać znacznie większą powierzchnię masy, a także dużo mniejszą ilość miedzi do wytrawienia. Sytuacja taka występuje szczególnie często w układach zawierających duże wymiarowo elementy, np. poziome kondensatory i elektrolityczne, duże rezystory itp.

7. Punkt ten dotyczy ścieżek sygnałowych, czyli takich, którymi przekazywany jest sygnał pomiędzy poszczególnymi elementami układu. Ścieżki takie powinny być jak najkrótsze, szczególnie w układach w.c.z. i p.c.z. oraz nie mogą przebiegać w pobliżu (lub co gorsza równolegle) innych ścieżek sygnałowych, może z wyjątkiem bardzo krótkich odcinków długości 1 – 1,5 cm. Jeżeli zachodzi konieczność poprowadzenia takich ścieżek na większej długości, to należy zastosować oddzielające (ekranujące) ścieżki masy tak, aby zmniejszyć do minimum przydźwięki i przesłuchy.

8. Teraz uwaga czysto praktyczna: jeżeli jakieś połączenie na płytce „nie chce się zmieścić”, to lepiej zastosować krótki mostek z drutu lub nawet poprowadzić dłuższy, kilkucentymetrowy przewód. Rozwiązanie takie jest może trochę nieeleganckie, lecz pozwala zaoszczędzić wiele czasu przy projektowaniu płytki (czasem trzeba zaczynać od nowa). Nie należy oczywiście zwykłym przewodem przesyłać sygnału o małej amplitudzie (ze względu na przydźwięki i przesłuchy) – trzeba wtedy zastosować przewód ekranowany. Przewód w ekranie jest poza tym znacznie lepszy od kilku równoległych ścieżek (nawet z ekranowaniem ścieżkami masy) – jest to zresztą rozwiązanie dość często stosowane w fabrycznych urządzeniach elektroakustycznych.

Po zapoznaniu się z powyższymi zasadami możemy już zabrać się do projektowania płytki. Zaczynamy od wstępnego u-



Rys. 1

stalania wymiarów (gdy mamy konkretną obudowę) – nie należy przy tym zapomnieć o otworach służących do późniejszego zamocowania płytki w obudowie. Mając już wymiary, rysujemy kontur płytki na nieco większej kartce papieru, najlepiej takiego, który nie ulega przetarciu przy częstym gumowaniu. Dobra do tego celu jest kalka techniczna, szczególnie wtedy, gdy ma naniesioną podziałkę milimetrową. Przy braku kalki nadaje się oczywiście każdy papier nieco lepszego gatunku, niż zwykły zeszytowy.

Projekt zaczynamy od wstępnego ustalenia (w głowie) rozmieszczenia poszczególnych bloków funkcjonalnych na płytce – na ogół zgodne jest to z odpowiednio czytelnym schematem ideowym. Następnie za pomocą ołówka i kolorowych kredek wrysowujemy kontury elementów i ścieżek zaczynając oczywiście od brzegu płytki i najlepiej od układu wejściowego (o ile taki można wyróżnić). Staramy się przy tym znowu wzorować na schemacie ideowym – linie dodatniego zasilania prowadzimy zatem na ogół na górze, ujemnego na dole, a masę w środku, na dole i na brzegach. Początkowo przy wrysowywaniu konturów elementów trzeba będzie korzystać z podstawowego zestawu „wzorów” tak, aby wykonać później odpowiednio oddalone od siebie otworki. Po naby-

ciu pewnej wprawy robi się to już „na oko”.

Podstawową zasadą jest projektowanie płytki fragmentami odpowiadającymi odrębnym funkcjonalnie częściom schematu. Nie można jednak zapomnieć o połączeniach tych części – trzeba przewidzieć, jak z danego punktu poprowadzić dalej ścieżkę, podłączyć kondensator itp. Takie połączenia możemy zaplanować jeszcze przed wrysowaniem mozaiki druku następnego bloku funkcjonalnego lub też później – będzie to nieco łatwiejsze, lecz może się okazać konieczne poprowadzenie kilku mostków. Jeżeli jednak będziemy przestrzegać zasady prostego, „nie zawijanego” prowadzenia ścieżek masy i zasilania, to ewentualność taka przy średnio skomplikowanych płytkach nie zachodzi zbyt często (zależy to oczywiście od wprawy w projektowaniu, a na to trzeba trochę czasu i ... popełnionych błędów).

Kilka uwag dotyczących montażu elementów. Na ogół rezystory, kondensatory, diody itp. montujemy w położeniu poziomym – jest to sposób najwygodniejszy, lecz elementy zajmują dość dużą powierzchnię. Czasami korzystne jest (przy prostych układach, gdy nie ma dużej liczby krzyżujących się połączeń) montowanie niektórych elementów w pionie – w ten sposób wygospodarowana powierzchnia

na pewno się przyda w następnych etapach projektowania druku.

Kontury elementów i ścieżek rysujemy na kartce ołówkiem (lub kredką) – w ten sposób po dojściu do takiego momentu, że trudno nam wykonać jakieś połączenie lub elementy są rozmieszczone bardzo rzadko (ze względu na skomplikowane połączenia) można po prostu fragment rysunku wygumować i zaprojektować na nowo w inny, bardziej przemyślany sposób. Nie należy się zrażać, gdy (szczególnie na początku) będziemy tę operację przeprowadzać kilkakrotnie – jest to zupełnie normalne, początki są zawsze trudne. W najgorszym wypadku trzeba będzie wziąć nową kalkę i po chwili odpoczynku zacząć projektowanie od nowa.

Rysunek połączeń na płytce można wykonać w dwóch wersjach: w postaci widoku od strony elementów lub od strony druku. Widok od strony druku jest jednak chyba znacznie lepszy z tego względu, że po pierwsze łatwiej jest go przenieść na płytkę laminatu, a po drugie utrwalimy sobie wzrokowo rozmieszczenie elementów i ważniejszych połączeń – ważne przy uruchamianiu układu. Jedynie w przypadku dość skomplikowanych układów cyfrowych trochę łatwiej jest projektować druk od strony elementów, gdyż zdecydowana większość katalogów podaje topografię wprowadzeń od tej właśnie strony.

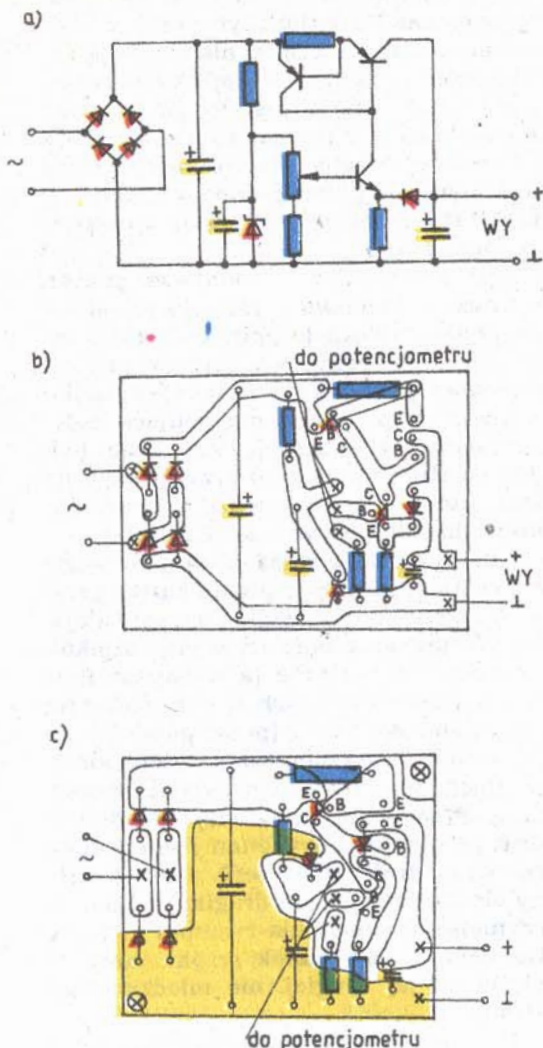
Jeszcze kilka słów o projektowaniu płytek dwustronnych. Najbardziej praktyczną chyba metodą jest nanoszenie rysunku obu stron druku na jedną kartkę papieru za pomocą dwóch kolorów. W taki sposób najłatwiej opanować topografię połączeń, widać dokładnie, jak poprowadzone są poszczególne ścieżki z przejściem na drugą stronę. W tym wypadku płytkę najlepiej projektować w widoku od strony bardziej skomplikowanych połączeń – czyli na ogół od strony druku (łatwiejszy montaż – lutowanie układów scalonych od góry jest dość trudne i łatwo o zwarcia). Zalecenie to wiąże się z tym, że przy rysowaniu ścieżek już na laminacie trzeba w przypadku drugiej strony posługiwać się lustrzanym odbiciem naszego projektu – łatwiej przecież oglądać w lusterku stronę mniej skomplikowaną. Zasilanie na płytkach dwustronnych prowadzi się na ogół szero-

kimi ścieżkami od strony elementów. Na razie jednak początkującym w tej dziedzinie nie polecamy zabierania się za płytki dwustronne (chyba, że kopiowanie gotowych projektów) – jest to już „wyższa szkoła jazdy”, wymagane jest naprawdę duże doświadczenie przy projektowaniu i wykonywaniu płytek jednostronnych.

ETAP II – przeniesienie rysunku na płytkę laminatu.

Jest to czynność stosunkowo prosta, przy czym właściwie wystarczy przenieść na płytkę tylko położenie wszystkich otworów – połączenia odtwarzamy podczas nanoszenia lakieru na podstawie rysunku z kartki. Proponujemy następującą metodę: naszą kartkę z projektem druku (widok od strony połączeń) przykładamy do laminatu (od strony miedzi) tak, aby doprowadzić do pokrycia się konturów płytki na rysunku z samą płytką. W takim położeniu najlepiej po prostu kartkę przykleić do płytki np. kawałkiem taśmy klejącej. Następnie za pomocą ostrego szpikulca nakłuwamy płytkę (a właściwie folię miedzianą) w miejscach, w których zaprojektowaliśmy otwory (przez papier) – na płytce pozostaną niewielkie wgłębienia umożliwiające łatwe wywiercenie otworów. Proces ten najłatwiej przeprowadzić, gdy rysunek wykonamy dla widoku od strony druku (połączeń), a nie od strony elementów. W tym drugim przypadku czynność przenoszenia rysunku wygląda tak samo, lecz rysunek przykładamy do płytki od jej drugiej, nie miedzianej strony.

Po tym etapie można zdecydować się na dwie możliwości: pierwsza – najpierw wiercimy otwory, a potem наносimy odpowiednią farbą rysunek ścieżek, względnie druga możliwość – najpierw malujemy ścieżki, potem wiercimy otwory. Wariant pierwszy jest jednak znacznie korzystniejszy (ponadto przy płytkach dwustronnych jest to jedyne rozsądne rozwiązanie), gdyż po pierwsze wykonane otwory umożliwiają znacznie lepszą „orientację” na płytce niż niewielkie przecież wgłębienia, po drugie można płytkę przeszlifować drobnym papierem ściernym i usunąć wszelkie zadziory powstałe po wierceniu, a po trzecie nie dojdzie do sytuacji, że wykonany później otwór „wychodzi” poza



Rys. 2

ścieżkę (ważne przy precyzyjnych połączeniach układów scalonych).

ETAP III - wiercenie otworów.

Wydawałoby się, że jest to bardzo prosta czynność - bierzemy wiertarkę i wiercimy. Pierwsze problemy pojawiają się jednak przy próbie znalezienia wiertarki odpowiedniej dla wiertel o średnicy 1 czy 0,8 mm - rzadko który uchwyt pozwala na zamocowanie tak cienkiego wiertła. Dość wygodne są małe wiertarki PIKO - ich wadą jest jednak bardzo głośna praca i niebytu duża precyzja łożyskowania wrze-

cioną. Można próbować wykonać miniaturową wiertarkę przy użyciu silnika prądu stałego - przy zastosowaniu 10-15-watowych silniczków o obrotach powyżej 2000 obr/min, warunki wiercenia są optymalne, a nasza wiertarka nie jest jeszcze zbyt ciężka. Niestety, zdobycie takiego silnika jest bardzo trudne (osiągalne w CSH miniaturowe silniczki modelarskie mają zbyt małą moc nawet po dwukrotnym przeciążeniu) - pozostają zatem silniki indukcyjne stosowane w gramofonach czy magnetofonach. Przy ich adaptacji do naszych potrzeb trzeba jednak zwrócić szczególną uwagę na odpowiednią izolację (zasilanie 220V) - najlepiej cały silnik owinąć taśmą izolacyjną względnie nawet bandażem elastycznym. Izolacja taka, co prawda uniemożliwia ciągłą pracę silnika (przegrzewanie się uzwojeń), lecz praktycznie nie ogranicza to wydajności wiercenia otworów w płytkach. Kilka lat doświadczeń w eksploatacji takiej wiertarki (początkowo wykonanej przy użyciu silnika ze starego gramofonu, potem znacznie mocniejszego z magnetofonu) pozwalają stwierdzić, że jest to naprawdę dobre narzędzie - przede wszystkim ciche i precyzyjne.

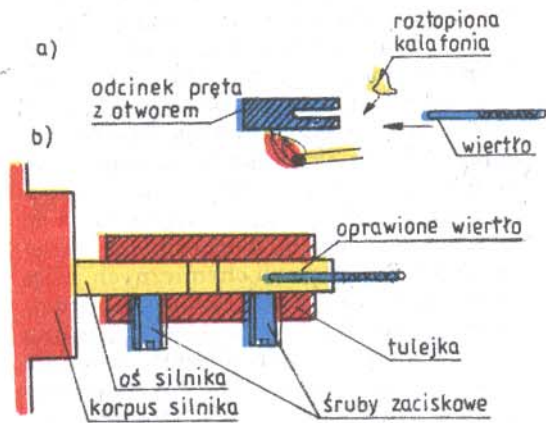
Problem silnika można rozwiązać stosunkowo łatwo, gorzej jest natomiast z zamocowaniem wiertła. W swoim czasie były osiągalne miniaturowe uchwyty (małe imaki do wiertel, dostępne kiedyś w sklepach z wyrobami precyzyjnymi) lecz obecnie jest to już chyba bardzo trudne. Pozostają zatem różne „domowe” sposoby, z których jednym z prostszych jest metoda mocowania wiertel o różnych średnicach w odcinku pręta o ustalonej średnicy (najlepiej 4 lub 6 mm). Mocowanie takie pozwala znacznie uprościć uchwyt wiertarki (tylko jedna średnica na tyle duża, że nie ma problemów z precyzją wykonania), a ponadto długość roboczej części wiertła może być dowolnie dobrana - przy skróceniu jej do 7-10 mm zmniejszymy znacznie ryzyko złamania cienkiego wiertła. Technika zamocowania wiertła w pręcie nie jest zbyt trudna - należy zacząć od wywiercenia w odcinku pręta (dokładnie w jego osi) otworka o średnicy wiertła. W tym celu pręt ten mocujemy w uchwycie większej, fabrycznej wiertarki (jeszcze le-

piej tokarki) i wiertłem tym dokładnie i centrycznie wiercimy otwór głębokości 10 mm (wiertło trzymamy za pomocą płaskoszczypów). Być może precyzyjne wykonanie otworu nie uda się za pierwszym razem – trzeba próbować i nabrać trochę wprawy.

Po wykonaniu otworu mocujemy w nim nasze wiertło używając w charakterze kleju... zwykłej kalafonii. Mocowanie to rozpoczynamy od rozgrzania pręta z wywierconym otworem do takiej temperatury, aby położona na nim grudka kalafonii uległa stopieniu. Następnie wiertło (przycięte na odpowiednią długość) zanurzamy w roztopionej lutownicy kalafonii i wkładamy do otworu (rys. 3a). Celem jest poruszenie wiertłem kilka razy i tam i z powrotem tak, aby z otworu wyszło powietrze. Teraz mając jeszcze miękką kalafonię wkładamy ciepły pręt z wiertłem do uchwytu mini-wiertarki i korzystając z plastyczności kalafonii ustalamy dokładnie centryczne położenie wiertła – jest to bardzo ważna czynność, od której zależy później precyzja wiercenia i łatwość trafienia wiertłem w niewielkie wgłębienie po nakłuciu szpikulcem. Być może, nie uda się to za pierwszym razem, lecz można przecież całość jeszcze raz podgrzać i wiertło ustawić, jak należy.

Kilka słów na temat uchwytu do wiertel (uproszczonego, na jedną średnicę). Najlepiej by było, gdyby część tę wytoczył nam tokarz tak, aby zachować odpowiednią precyzję i wygodę montażu. Można jednak zastosować odcinki grubościennej rurki o średnicy wewnętrznej np. 4 mm – rurka taka wchodzi na wałek silnika gramofonowego dość ciasno, a ostateczne mocowanie wykonujemy śrubką wkręconą w nagwintowany otwór (druga śrubka mocuje wiertło w odcinku pręta \varnothing 4 mm – rys. 3b). Lepszym rozwiązaniem jest wykorzystanie zacisków stosowanych np. w starych potencjometrach (rozcięta tulejka + nakrętka ze stożkowym gwintem) – wtedy jednak nie obejdziesz się bez pomocy tokarza. Możliwości innego rozwiązania problemu jest jednak wiele – po prostu trzeba wykazać trochę inwencji i twórczego myślenia, a na pewno coś da się wymyślić.

Mamy zatem już wiertarkę, teraz pora



Rys. 3

na wiercenie otworów. Nie jest to skomplikowane, lecz należy pamiętać o prostym prowadzeniu wiertła, no i odpowiednim docisku tak, aby wiertła nie złamać. Tu wystarczy „tylko” kilka godzin ćwiczeń (i kilka złamanych wiertel), aby dojść do odpowiedniej wprawy.

Po wykonaniu otworów nasza płytka jest trochę chropowata, powstały przecież zadziory po wierceniu (szczególnie tępym wiertłem). Należy je zatem ściąć ostrym nożem lub odpowiednim skrobakiem, a następnie powierzchnię miedzi przeszlirować drobnym papierem ściernym (najlepiej wodoodpornym nr 400 lub 500 na mokrą) – otrzymanie czystej, błyszczącej powierzchni jest warunkiem koniecznym dobrej przyczepności lakieru, czyli odpowiedniej jakości cienkich połączeń (a także później łatwości lutowania).

ETAP IV – nanoszenie rysunku ścieżek na powierzchnię miedzi.

Ten etap na ogół przysparza dość dużo trudności – w rzeczywistości nie wymaga on aż tak dużych umiejętności, trzeba tylko zdobyć odpowiednią farbę, grafion, no i trochę wprawy. Zaczniemy zatem od farby – zdecydowanie najlepsza jest emalia ftalowa karbomidowa (do malowania samochodów – autorenolak) odpowiednio rozcieńczona rozcieńczalnikiem do wyrobów ftalowych karbomidowych, najlepiej kontrastuje z kolorem wypolerowanej miedzi. Dlaczego inne rodzaje lakierów nie są tak wygodne w użyciu? Otóż emalia ftalowa

karbomidowa, po pierwsze nie schnie aż tak szybko, aby zaschnąć już na grafionie (jak np. lakier nitro), poza tym po kilkuminutowym suszeniu powłoka z niej daje się bardzo łatwo skrobać cienkim skrobakiem (lub nóżką od cyrkla – drobne poprawki rysunku ścieżek są konieczne prawie zawsze), a po kilku godzinach suszenia (lub krócej, za pomocą suszarki do włosów) jest względnie odporna na działanie żrących substancji chemicznych, m.in. rozcieńzonego kwasu azotowego. Dodatkową zaletą jest duża łatwość rysowania nawet bardzo cienkich ścieżek szerokości 0,6 – 1 mm, co wynika z właściwości fizykochemicznych tej emalii (zdolność do równomiernego pokrywania płaszczyzn). Skąd taką farbę zdobyć? Można oczywiście kupić (od czasu do czasu), lecz chyba lepiej zdobyć jej niewielką ilość (100 g farby wystarczy przeciętnemu radioamatorowi nawet na rok) w zakładzie lakierniczym – tam gdzie malowane są samochody.

Czym rysujemy? Najlepiej grafionem o dość smukłym kształcie (nie za szerokim). Grafionu nie należy moczyć w farbie (farba potem obsycha i grafion „zalewa”), cienkim patyczkiem nakładamy kilka kropeł farby do jego szczeliny. Jeszcze lepiej to robić przy użyciu strzykawki jednorazowej i dość grubej igły do zastrzyków – farba w strzykawce i w igle nie zaschnie, można też bez trudu zachować odpowiednią czystość grafionu.

Teraz jeszcze sprawa odpowiedniego rozcieńczenia farby: jest ono optymalne, gdy można bez trudu narysować linię szerokości około 0,8 mm i mniej – nie powinna ona być poprzerywana.

Teraz jak malować ścieżki: wygodnie jest zacząć od narysowania punktów lutowniczych – unikamy potem kłopotów związanych z łączeniem się ich z wykonanymi wcześniej ścieżkami. Następnie łączymy je ze sobą zgodnie z projektem płytki zaczynając od połączeń najkrótszych, stopniowo przechodząc do dłuższych. Na samym końcu wrysowujemy powierzchnię masy (maksymalnie dużą) i ewentualnie pogrubiamy pozostałe ścieżki tak, aby nie pozostawić zbyt dużo pustego miejsca (zgodnie z wcześniejszymi wskazówkami – po prostu szkoda chlorku). Ry-

sowanie ścieżek przy linijce na ogół nie jest konieczne, chyba, że komuś bardzo zależy na estetyce płytki.

Podczas rysowania ścieżek bardzo często zdarza się, że dwie linie albo punkty zleją się ze sobą – nie należy wtedy poprawiać tego (zmywać farby) na szybko, lepiej poczekać, aż farba trochę przeschnie i potem ostrym szpikulcem (czy nawet nóżką od cyrkla) metodą wydrapywania poprawić odpowiednio rysunek. W taki sposób można nawet na dużej powierzchni masy czy innych ścieżek wykonywać różne napisy, np. opis płytki, wejść i wyjść itd. – po wytrawieniu pozostaje cienka linia szerokości około 0,5 mm. Nawiasem mówiąc fakt ten można znakomicie wykorzystać przy wykonywaniu przejść między nóżkami układów scalonych – podczas malowania nie staramy się nawet o zachowanie odpowiedniej przerwy, wykonujemy ją później szpikulcem (po odpowiednim podsuszeniu farby). Zresztą najlepiej przekonać się o tym praktycznie podczas malowania skomplikowanych płytek – nabycie odpowiedniej wprawy jest i tu koniecznością.

ETAP V – trawienie.

Jest to chyba najmniej skomplikowana czynność – wystarczy mieć odpowiedni roztwór, włożyć płytkę i za jakiś czas wyjąć. Tak, ale skąd wziąć ten roztwór? Bezsprzecznie najlepszy jest chlorek żelazowy ($FeCl_3$), lecz jego zdobycie, pomijając już wysoką cenę, nie jest takie proste. Założmy jednak, że udało się nam go zdobyć – jeżeli będziemy przestrzegać kilku prostych reguł, to kilogramowy słoik chlorku wystarczy na rok albo i dłużej – nie jest zatem aż tak źle. Do reguł tych zaliczyć należy przede wszystkim zasadę niepozostawiania zbyt dużej ilości miedzi do trawienia (czyli wypełniania płytki ekranującą powierzchnią masy oraz pogrubiania ścieżek). Następne dotyczą trawienia: roztwór rozrabiamy w ten sposób, że najpierw sporządzamy roztwór nasycony (chlorek uwodniony – pomarańczowy – można bezpośrednio zalać wodą, ale bezwodny – ciemnobrazowy – można jedynie powoli wsypywać do wody ze względu na wydzielanie się dużych ilości ciepła), a następnie rozcieńczamy go około 2–3-krotnie. Chcąc wytrawić płytkę roztwór ten

nalewamy do możliwie płaskiego naczynia ze szkła, porcelany lub plastiku (może być zwykły płaski talerz lub mała kuweta fotograficzna), a następnie na powierzchnię roztworu kładziemy delikatnie płytkę miedzią do dołu (nie zanurzamy) – w ten sposób grubość warstwy roztworu będzie poniżej centymetra i nie trzeba go będzie rozrabiać zbyt dużo (na ogół wystarczy około 50 – 100 ml). Płytkę o powierzchni do około 1 dm² można położyć na powierzchni roztworu w zasadzie bez większych trudności, napięcie powierzchniowe jest zupełnie wystarczające do jej utrzymania. Zwracając stronę pokrytą miedzią w dół powodujemy, że nierozpuszczalne produkty trawienia opadają na dno i tym samym nie ograniczają jego szybkości – dla świeżego roztworu czas trawienia jest rzędu kilku-kilkunastu minut, dla starego do dwóch-trzech godzin. Roztwór chlorku z czasem zmienia zabarwienie na zielonkawe i dalej na ciemnobrązowe – jeżeli czas trawienia przekracza trzy godziny, to nie nadaje się on już do użytku. Zużyty roztwór można jednak zregenerować, dodając na każde 100 ml około 40 ml 30% H₂O₂ (czyli perhydrolu) i 20 ml 30% HCl (kwasu solnego stężonego, nawet technicznego). **Uwaga! Substancje te są bardzo żrące i szkodliwe dla zdrowia, ich roztworów należy używać na wolnym powietrzu i w rękawiczkach.** Po takiej regeneracji roztwór odzyskuje częściowo swoje zdolności trawiące. Oczywiście proces ten można przeprowadzać kilkakrotnie aż do chwili, gdy efekty regeneracji są już znikome (żywność roztworu można w ten sposób przedłużyć około trzykrotnie). Zamiast dość trudnego do zdobycia perhydrolu można zastosować zwykłą 10% wodę utlenioną, w ilości trzykrotnie większej – wtedy jednak nasz roztwór szybko ulegnie znacznemu rozcieńczeniu, co osłabia jego zdolności trawiące.

Chlorek żelazowy jest delikatnym, choć szybkim środkiem trawiącym (za to dość energicznym, jeśli chodzi o niszczenie garderoby – plamy po nim na ogół nie dają się usunąć) – nie niszczy on warstwy lakieru spirytusowego czy nitro, umożliwia wykonywanie bardzo wąskich ścieżek. Używając jednak emalii ftalowej karbomidowej można zaryzykować trawienie w

rozcieńczonym (5 – 10 %) kwasie azotowym, może nieco łatwiej dostępnym od chlorku. W sytuacji takiej trzeba jednak dość często kontrolować proces trawienia (przebiega on dość szybko), a ponadto lakier na płytce musi być bardzo dobrze wysuszony (najlepiej przez 12 godzin, w temperaturze pokojowej).

Chlorek żelazowy jest niewątpliwie najlepszym środkiem trawiącym, lecz niestety dość trudno osiągalnym. Można zastępować kwas azotowy, oczywiście przy zachowaniu odpowiedniej ostrożności. W literaturze spotyka się od czasu do czasu przepisy na inne roztwory trawiące (np. w RADIOELEKTRONIKU nr. 2 z roku 1981), lecz ich przydatność jest często problematyczna, choć niewątpliwie z braku innych środków może to być wyjście z sytuacji. Optymalnym wyjściem wydaje się jednak poświęcenie pewnej ilości czasu i pieniędzy na zakup kilograma chlorku żelazowego, a następnie jego oszczędne używanie przy jednoczesnej regeneracji roztworu.

ETAP VI – prace wykończeniowe.

Po zakończeniu procesu trawienia pozostały nam jeszcze trzy drobne czynności. Pierwsza, to zmycie farby z płytki, najlepiej za pomocą oryginalnego rozpuszczalnika, względnie NITRO lub acetonu. Druga czynność, to sprawdzenie, czy nie pozostały gdzieś drobne „mostki” z miedzi powodujące zwarcia między ścieżkami – robimy to patrząc na płytkę pod światło. Mostki takie występują od czasu do czasu w miejscach, gdzie dokonywano poprawek przez wydrapywanie miękkiego lakieru lub przy płytkach o nie najlepszej jakości powierzchni miedzi (lub jej złym oczyszczeniu). Przy wykryciu takiego mostka po prostu przecinamy go ostrym skrobakiem lub małym pilnikiem. Czynność trzecia, to pokrycie płytki cienką warstwą kalafonii rozpuszczonej w spirytusie lub (lepiej – szybciej schnie) rozpuszczalniku NITRO czy acetonie – powłoka ta znacznie ułatwia proces lutowania i zapobiega utlenianiu się powierzchni miedzi.

To już koniec naszego „cyklu produkcyjnego” – można podziwiać efekt naszej pracy i ... przystąpić do montażu, a potem uruchamiania naszego układu.

(g. z.)