

5.3. ТЕХНОЛОГИЯ ЗА ПРОИЗВОДСТВО НА ПЕЧАТНИ ПЛАТКИ

5.3.1. Общи сведения

Печатната платка представлява конструкция, която се състои от:

- 1) *изолационна основа*; 2) *метални слоеве с различна конфигурация*, изпълняващи функции на *печатни проводници*, свързващи отделните електронни елементи и възли; *контактни площадки*; *изводни контакти* за свързване към платката на подходящи съединители; *екрани*; *тол. изотвеждащи шини*; *печатни елементи* (бобини, кондензатори) и 3) *различни по форма и предназначение отвори*: *кръгли* – за механично крейпване на изводите на елементите към платката или за механично закрепване на последната към шаши (*монтажни отвори*), за свързване на различни слоеве на многослойни печатни платки (*проходни отвори*) и за технологични обработки (*технологични отвори*); *правоъгълни* – за монтаж на крепежни елементи; *елиптични* – за напаване към механични конструкции.

Изолационната основа на печатните платки се изготвя от материали, притежаващи малка диелектрична проникваемост и загуби, висока диелектрична якост, топлопроводимост, топлоустойчивост (до 270°C за 15 s), химическа устойчивост при въздействие на киселини, основи и различни органични разтворители. На тези многобройни изисквания отговарят слоевите диелектрици (гетинакс, стъклотекстолит), термостойките пластмаси (полиамиди, полиетилентерфталат, полиетилен и др.), керамиката, стъклото и др.

За получаване на *проводящата схема* на печатната платка най-широко разпространение имат два метода: *субтрактивен* (от латински *subtrahere* означава отнемам), при който се извършва избирателно отнемане на участъци от фолиото на предварително фолираната платка и *адитивен* (на латински *additio* означава прибавям), свеждащ се до избирателно метализиране на нефолирана подложка.

Независимо от метода за създаване на проводящата схема, нейното изображение (позитивно или негативно) върху повърхността на изолационната основа се получава чрез нанасяне на *защитни покрития* с по-мощта на фотопечат, ситопечат и офсетов печат, като за целта се използват подходящи фотошаблони. *Фотошаблонът* представлява умалено фотографско копие на графичния оригинал на топологията на печатната платка и се изготвя от фотографска плака, а при висока плътност на монтажа се препоръчва използването на фотоплаки от стъкло. Изключително важни са стабилизиращите размери. *Графичните оригинали*

служи като изходен документ за нанасяне на изображението на печатната схема върху изолационната основа и затова той трябва да бъде изработен с необходимата точност и прецизност. Ето защо по правилно графичният оригинал се изгълнява в увеличен мащаб (2:1 – за платки със средна плътност на монтажа; 4:1 и 5:1 – за платки с висока плътност на монтажа и 10:1 и 20:1 – за миниатурни и микроинатурни схеми) върху материали с достатъчно стабилни размери (кадастрон, паус, пластмасови фолия от поливинилхлорид, полиестер, стъклени и алуминиеви основи и др.). Изготвянето на графични оригинали изисква да се познават общите принципи на конструиране на печатни платки, които ще бъдат изложени по-долу.

Освен изготвяне на печатна платка, общият технологичен процес за производство на печатни платки включва и подготовка на елементите и възлите за монтаж, разполагане на градивните елементи в съответстващите им отвори в платката и запояване и накрая контрол на качеството на проведените монтажни работи.

Произведените печатни платки могат да се класифицират по няколко признака.

В зависимост от вида на диелектрика на изолационната основа те се делят на твърди и гъвкави. Твърдите печатни платки се реализират върху основи от слоеви диелектрици (стъклотекстолит и др.), които представляват отделни слоеве листов диелектричен материал, пропити със смола и запресовани при висока температура), керамика (обикновено се използват керамики на базата на алуминиев и берилиев оксид, но поради крехкостта на тези материали размерите на подложките не са по-големи от 80x80 mm) и метал (алуминий, стомана и др.). За основи на гъвкави печатни платки се използват едностранно или двустранно фолирано или нефолирано полиестерно, полиетилентерефталатно фолио и др.

Според броя на слоевете печатните платки се делят на едностранни (еднослойни), двустранни (двуслойни) и многослойни. При едностранните платки печатната схема е разположена изцяло върху едната страна на изолационната основа (страна спойки), докато при двустранните тя е разместена както от страна спойки, така и от страна елементи. Многослойните платки, осигуряващи най-висока плътност на монтажа, се състоят от няколко диелектрични слоя (от 3 до 20) с разположени върху тях елементи на печатната схема, връзките между които се осъществява най-често с метални отвори.

В зависимост от плътността на монтажа платките се класифицират в три класа: I клас включва платки с понижена плътност на монтажа, за които ширината на печатните проводници w и разстоянието между тях s е по-голямо от 0,5 mm; към II клас се отнасят платките с повишена плътност на монтажа с ширина на печатните проводници и разстояние между тях по-голямо от 0,25 mm; в III клас се обединяват платките с висока плътност на монтажа, за които $0,25 > w$ и $s \geq 0,15$ mm.

5.3.2. Основни принципи при конструиране на печатни платки

Процесът на проектиране на една печатна платка се свежда до: 1) определяне на основните конструктивно-технологични параметри на платката (тип и степен на сложност на платката, избор на метод за топологично проектиране, избор на метод за изготвяне на платката и за нейната защита от влиянието на различни дестабилиращи фактори, а така също на начин за монтаж на нейните градивни елементи и др.); 2) избор на подходящ материал за изолационна основа, определяне на размерите на платката и на дебелината на проводящия слой и на защитните покрития; 3) топологично проектиране (разполагане на градивните елементи, трасиране на печатните проводници и проверка на резултатите от проектирането); 4) изготвяне на комплекта конструктивно-технологична документация, който включва графични оригинали на проводящата схема, на маркировката и на защитните покрития, технологични чертежи и перфоленти за пробиване на отвори, инструкции за монтаж и контролни таблици или перфоленти за тестов контрол.

Размерите на печатните платки трябва да бъдат икономически целесообразни, а тяхната дебелина – технологична по отношение на пробиването и метализацията. Обикновено се използват платки с квадратна или правоъгълна форма, като се препоръчват следните съотношения между страните: 1:2; 1:3; 1:4; 2:3 и 2:5. Максималните размери на печатната платка зависят от предназначението на izdelieto, вида на диелектрика, сложността на платката и технологичната съоръженост. За твърдите печатни платки се препоръчва размерите да не превишават 500 x 500 mm, а за гъвкавите – ширината да е под 300 mm, като дължината е практически неограничена. Дебелината на изолационната основа трябва да бъде съобразена с геометричните размери на платката, размерите на отворите и метализацията им. При избор на дебелината на печатна платка с метални отвори трябва да се има предвид, че за да се постигне качествена метализация минималният диаметър на отворите трябва да е 1/3 от дебелината на платката, а максималният да е равен на дебелината ѝ. Номиналната дебелина на едно- и двустранни печатни платки е 1,5 mm, като се произвеждат платки със следните нормирани дебелини: 0,5; 0,8; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0 mm (за многослойни печатни платки се допуска дебелина 3,5 mm). Стандартизирането на размерите и дебелината на платките създава условия за икономия на материал и позволява да се опрости комплектоването на блокове.

При топологичното проектиране на печатни платки от съществено значение е начинът на разместване на техните градивни елементи, който трябва да бъде съобразен с изискванията за осигуряване на нормален температурен режим, намаляване на влиянието на неизбежно възникващите паразитни връзки, минимизиране на габаритите на работното устройство, ремонтпригодност, ергономичност, естетика.

Важна задача на топологичното проектиране е и трасирането на печатните проводници, като от нейното решение зависят както размерите, така и качеството и надеждността на апаратурата.

Размерите и очертанията на печатните проводници и елементи, контактни площадки, монтажните отвори и т.н. се нанасят при топологичното проектиране върху чертежите с помощта на *координатна мрежа (растер)*. Стъпката на координатната мрежа определя плътността на печатния монтаж, като обикновено се използва стъпка 1,25 (1,27) mm; 2,5 (2,54) mm и 5,0 (5,08) mm (в скоби е дадена стъпката в дюймовата система). При повърхностния монтаж и миниатюризираната апаратура се използва растер със стъпка 1,25 mm и 0,625 mm. Всички монтажни отвори за разполагане на градивни елементи се поместват във възлите на координатната мрежа, като при това минималното разстояние между два отвора трябва да е равно на диагонала между два съседни възела на растера.

Компоновката на елементите и трасирането на проводящите връзки между тях е целесъобразно да се извърши при спазване на следните препоръки: 1) елементите да се разполагат само от едната страна на платката, като за намаляване на общата дължина на проводниците, елементите с най-голям брой връзки помежду си да бъдат съседни; 2) ориентацията на интегралните схеми да е еднопосоочно и успоредно на линията на координатната мрежа (изключение се допуска когато броят на интегралните схеми е по-малък от този на останалите градивни елементи); 3) съобразно принципната електрическа схема и разположението на градивните елементи първоначално да се трасират съединителните проводници, а след това екраниращите; 4) за намаляване на паразитните връзки печатните проводници, свързващи елементи на схемата, трябва да имат минимална дължина, като не се допуска разполагането паралелно един до друг на проводници от входната и изходната верига на едно и също стъпало; 5) за намаляване на паразитните капацитети, които изкривяват формата на импулсите, проводниците на импулсни вериги трябва да имат минимална дължина и ширина; 6) пресичащите се проводници от двете страни на двустранни печатни платки трябва да са взаимно перпендикулярни, с което се намаляват значително нивата на индуктираните в тях взаимни смущения; 7) за намаляване на паразитните обратни връзки, породени от сумарния ток, протичащ през заземителните и екраниращите проводници, се препоръчва те да бъдат с максимална ширина, като в същото време за предотвратяване на отлепването на последните от основата при загряване (запояване на елементите) в тях могат да се направят подходящи прорези; 8) да се избягва разполагане в близост на проводници с голяма потенциална разлика (ориентирано може да се приеме 1 mm на 100 V); 9) при изготвяне на особено дълги проводници (по-дълги от 70 mm) е целесъобразно да се предвидят допълнителни метални отвори, способстващи за по-добро сцепление на печатните проводници с основата; 10) печатен проводник, преминаващ между две контактни площадки, трябва да бъде разположен така, че остта му да бъде перпендикулярна на линията,

свързваща центровете на отворите, като в по-тесните места се допуска подрязване на контактните площадки; 11) за заземяване на платката към корпуса на блока се предвижда обикваща ширина с достатъчна ширина; 12) при конструктивното проектиране на многослойни печатни платки е желателно всяка функционална верига да бъде разположена на отделен проводящ слой, като по този начин се формират сигнални (за разместване на сигналните вериги) и потенциални (за разместване на захранващите и заземяващите вериги) слоеве; 13) всеки потенциал на захранването при многослойните платки да се реализира на отделен слой, като потенциалните слоеве се изпълняват най-често във вид на мрежа от проводници; 14) два съседни сигнални слоя се екранират помежду си с потенциален слой, като при отсъствие на последния ниво на възникналите електромагнитни смущения може да се намали чрез ортогонално разполагане на проводниците на двата слоя; 15) от технологични съображения максималният брой на проходните отвори се ограничава на 5...8 на 1 cm², като за постигане на равномерна метализация на стените на тези отвори се препоръчва отношението на дебелината на платката към диаметъра на отвора да бъде равно на 3:1 (като изключение се допускат съотношения 4:1 и 5:1, но в такива случаи е трудно обезпечаването на необходимото качество и стойността на платката се повишава) и т.н.

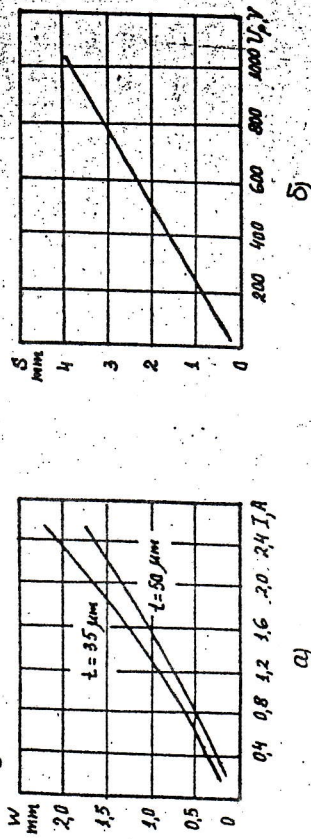
От съществено значение за качеството и надеждността на разработваното изделие е правилното измеряване на елементите на проводящата схема - печатни проводници, контактни площадки и т.н. Размерите на печатните проводници и разстоянието между тях се подбират в зависимост от предпазването и условията за експлоатация на изделието. За нисковолтови вериги геометрията на проводниците се определя в зависимост от пада на напрежението и допустимата плътност на тока, за високоволтови - от пробивното напрежение между два съседни проводника, а за високочестотни вериги определящи са вълновото съпротивление и допустимите стойности на паразитните параметри.

По-голямата повърхност и добрият топлинен контакт на печатния проводник с изолационната основа съдейства за интензивно разсейване на топлината в околното пространство, което позволява през печатните проводници да протичат по-големи токове отколкото през обемни със същото сечение. Обикновено се приема, че работната температура в електронните изделия се променя в границите от 20 до 80°C. При тези условия допустимата плътност на тока $J_{доп}$ за медни проводници, получени по субтрактивен метод (чрез разяждане на медното фолио), е от 30 до 60 A/mm², а за проводници, получени по адитивен метод (чрез електрохимическо отлагане на меден слой) - от 20 до 40 A/mm². За контролни изчисления на нагояването се приема в първия случай $J_{доп} = 30$ A/mm², а във втория - $J_{доп} = 20$ A/mm², което съответства на нагояване на проводника до температура, не превишаваща 25°C. Ако изделието работи при повишена околна температура и понижено налягане тези стойности трябва да се намалят. При известна допустима

плътност на тока в печатния проводник и зададена големината на протичащия през него работен ток I , ширината на проводника w може да се определи от условието:

$$w \geq I / J_{\text{доп}} t, \quad (5.27)$$

където t е дебелина на печатния проводник (нормираната дебелина на медното фолио е 35 и 50 μm). На фиг. 5.16а е дадена зависимост на ширината на печатни проводници, получени по субтрактивен метод, от тяхното натоварване по ток.



Фиг. 5.16

Като се има предвид, че допустимият пад на напрежението в проводника е 1...2%, за определяне на неговата ширина може да се използва и изразът:

$$w = \rho I / t \Delta U, \quad (5.28)$$

където l е дължина на проводника, а ρ – специфично съпротивление на слоя: за медно фолио $\rho = 1,75 \cdot 10^{-8} \Omega\text{m}$, а за мед, нанесена по електрохимически път, $\rho = (2,5 \dots 3) \cdot 10^{-8} \Omega\text{m}$.

За ориентировъчно определяне на допустимото разстояние s между два печатни проводника, в зависимост от потенциалната разлика между тях при нормални условия, може да се използва графичната зависимост на фиг. 5.16б.

Основните формули за измеряване на печатни проводници на високо честотни схеми с оглед обезпечаване на зададени стойности на тяхното външно съпротивление и паразитни собствени и взаимни параметри са дадени в четвърта глава.

Изследванията показват, че най-добри условия за запояване се създават когато диаметърът на неметализирания монтажен отвор d_0 се избере с 0,2...0,3 mm по-голям от диаметъра на изводите на градивните елементи, като по-малката стойност се отнася за диаметър на изводите до 0,8 mm, както и в случаите за повечето традиционни елементи: резистори, кондензатори, диоди, транзистори, интегрални схеми и др.

За улесняване на механичната обработка на платката се препоръчва всички монтажни отвори в нея да се изпълняват с един и същ диаметър, като най-често използвани стойности са 0,7; 0,8 и 0,9 mm. При определяне на диаметъра на метализирани отвори d_m трябва да се отчете дебелината на отложения върху стените им меден слой t_m (t_m е обикновено 50 μm), т.е. $d_m = d_0 + 2t_m$. За осигуряване на надеждна връзка между изводите на градивните елементи и печатните проводници около монтажните отвори се правят контактни площадки, като техният диаметър D се определя от съотношението:

$$D = d + 2b + v, \quad (5.29)$$

където d е диаметър на пробития в платката отвор; b – минимална радиална ширина на контактната площадка, която гарантира съхраняване на нейната цялост (за платки от клас I $b = 0,3 \text{ mm}$, а за клас II – $b = 0,15 \text{ mm}$); v – коефициент, който отчита неточността на прилагания метод (подецаване при субтрактивния метод или допълнително нарастване на слоя при адитивния), грешките при изработване на фотошаблон, при пробиване на отворите и др. Като се имат предвид получените на практика резултати, за най-неблагоприятни стойности на v могат да се приемат: $v = 0,6 \dots 0,7 \text{ mm}$ – за платки от I-ви клас на точност и $v = 0,4 \dots 0,5 \text{ mm}$ – за платки от клас II и III.

Изходният документ за конструиране на печатната платка е *монтажната (топологичната) схема* на разработваното изделие, като за една принципна електрическа схема могат да се построят много варианти на монтажна схема. Търсенето на оптимален вариант е свързано с анализ на всички възможни варианти, поради което понастоящем все по-голямо значение придобиват методите за проектиране, основани на специални алгоритми, обезпечаващи намаляване на обема на изчисленията. Основно изискване при задачата за проектиране на обикновена или многослойна печатна платка е осигуряването на минимална сумарна дължина на всички проводници. Изпълнението на това условие позволява да се скъси времето на закъснение на сигналите и да се намалят взаимните смущения между проводниците, да се увеличи икономичността на платките и да се намалат техните размери. Болшинството от методите за автоматично проектиране на печатни платки използват външния алгоритъм на Ли. Повече информация за автоматизацията на проектирането на печатни платки е представена във втора глава.

5.3.3. Механична обработка и предварителна подготовка на печатните платки

Механичната обработка включва нарязване на заготовки, шанцуване, пробиване на отвори, кантоване и др. При избора на методи и съоръжения за механична обработка на платки трябва да се отчита видът на диелектрика, изискванията към качеството на обработваната повърхност, серийността на производството и други икономически фактори.

Нарязването на лентовки от листови или рула слоеви диелектрици се извършва с ролкови ножици, гилотинни ножици, циркуляр и щанци с ръчно или автоматично подаване на материала. Размерът на заготовката се определя от габаритните очертания на използваните машини и от изискванията за най-икономично разкрояване на диелектричните материали. За осигуряване на високо качество е необходимо линията на среза да бъде избрана така, че да не се получи разслояване или други повреди на диелектрика.

Щанчуването е технологична операция, при която се формират външните контури на платката, като за целта се използват универсални (за еднослойни платки в серии до 5000) и скоростни ексцентрикови (за по-големи серии) преси, снабдени със специални режещи инструменти. Едновременно с щанчуването в платката се пробиват и технологичните отвори, които се използват за нейното фиксиране при следващите операции: нанасяне на защитна маска, пробиване на монтажни отвори и т.н. Към точността на разположение на технологичните отвори се предявяват особено високи изисквания, тъй като от тях зависи, точно-то съвпадение на останалите отвори и другите елементи на платката.

Основно изискване към пробиването на отвори в печатните платки е използването на високооборотни пробивни машини, които могат да имат един или няколко синхронно работещи шпиндела. Позиционирането им се осъществява чрез електронно управление (при програмируемите машини), чрез оптична система или шаблон. Обикновено платките се пробиват по няколко в пакет, като допустимата височина на пакета зависи от диаметъра на сверделото. За да се избегне образуването на чипълци, подготвеният пакет се разполага между две допълнителни подложки от гетинакс, стъклотекстолит или алуминий.

За окончателно оформяне на контурите на платката се използват технологичните операции кантоване, снемане на фаска и фрезование.

Предварителната подготовка на печатните платки включва механични, химични и комбинирани методи за почистване от замърсявания и изменение на състоянието на повърхността на заготовките. Замърсяванията, които най-често се наблюдават върху повърхността на платките, могат да бъдат физични (прах, влакна, стружки от основния материал и др.), химични (окиси, сулфиди, хромати и др.), органични (масла, восъци, смоли, лакове и др.) и газови (абсорбирани газове и др.).

При механичното почистване се постига отстраняване на окисни филми, нагари и др. корозионни продукти от повърхността на заготовката (фолиото), като за целта се използват природен или електрокорунд, хромов окис, пемза, кварц, шкурка и др. абразивни средства.

При химичното почистване необходимото състояние и чистота на повърхността се постига чрез обработка с киселини, основи, разтворители и други реактиви. Този метод включва следните процеси: обезмасляване, байцване, декапиране, неутрализация и промиване. Обезмасляването може да се извърши в алкални, кисели и органични разтворители. Байцването е процес, при който, обикновено с помощта на

сернокисели разтвори, се цели да се придаде микрогравированост на повърхността на платката и да се подобри нейното умокряне. По този начин се увеличава реакционната способност на диелектрика и здравината и сцепление на покритието към него. След байцване се извършва неутрализация и промиване на повърхността на платките. Чрез декарпиринг се отстраняват тънки филми от окиси, хидроокиси или сулфиди, които се образуват на повърхността почти на всички метали под въздействието на въздуха или водата. Процесът изисква използване на кисели разтвори, след което е наложителна промивка на платките с дестилирана или дейонизирана вода. Неутрализацията се провежда след всяка обработка в кисели или алкални разтвори, тъй като с промиването не винаги могат да се отстранят напълно всички остатъци от обработващата ра-