

## АНАЛИЗ НА ТЕХНОЛОГИЧНИТЕ ОСОБЕНОСТИ ПРИ АСЕМБЛИРАНЕ И ЗАПОЯВАНЕ НА ПЕЧАТНАТА ПЛАТКА

Пламен Ангелов

Бургаски свободен университет

## ANALYSIS OF THE TECHNOLOGICAL FEATURES IN THE ASSEMBLY AND SOLDERING OF THE PRINTED CIRCUIT BOARD

Plamen Angelov Angelov

Burgas Free University

**Abstract:** *In the production of a printed circuit board (PCB) there are basic standardized norms that must be observed, especially in cases where this board will be prototyped. The different ways of assembling the components and the way of wiring have a significant impact on the production technology. After completion of the design, the assembly and soldering processes of the printing module must be observed. As it turns out, not everything ends with the production of the printed circuit board. Prototyping is followed by assembly and soldering of electronic components. This is a process of carefully arranging, attaching, and soldering the intended components.*

**Key words:** *printed circuit board, assembly, soldering of electronic components.*

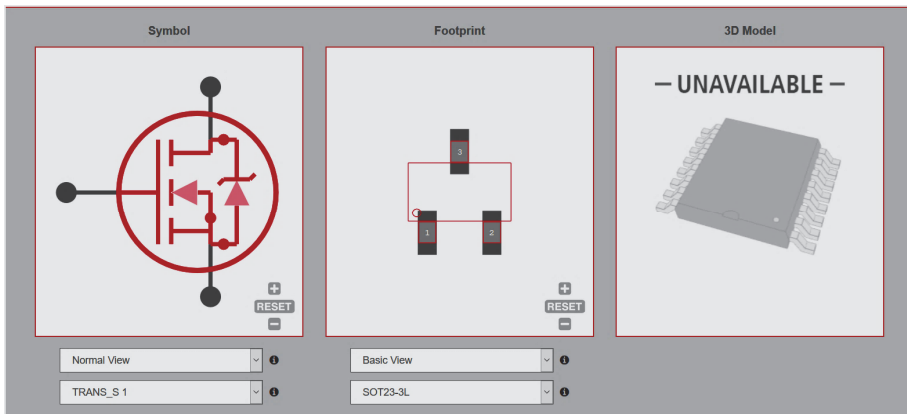
### Въведение

При производството на печатна платка съществуват основни стандартизирани норми който трябва да бъдат съблюдавани, особено в случаите когато тази платка ще бъде прототипирана. Различните начини на монтаж на компонентите и начина на опроводяване оказват съществено влияние върху технологията на производство. След завършване на проектирането, трябва да се съблюдават процесите на асемблиране и запояване на печатния модул. Както става ясно не всичко приключва с производството на печатната платка. След прототипиране следва асемблиране и запояване на електронните компоненти. Това е процес на внимателно подреждане, прикрепяне и запояване на предвидените компоненти. За прецизирането на технологичните процеси е необходимо да бъдат спазени следните препоръки:

### 1. Създаване на графичен отпечатък на електронен елемент

Веднъж след като проектантът е създал точните спецификации на печатната площадка следва да се проектира цялостния графичен отпечатък на компонента. Това включва растера между изводите на компонента и оразмеряване на физичните размери според препоръката на производителя, когато подобни препоръки не са открити проектантът може да използва софтуерна база от данни Ultra Libralian [1]

Пример показващ необходимост от създаване на графичен отпечатък на MOSFET транзистор е показан на фигура.1.



Фигура. 1. MOSFET транзистор 2N7002 с графично означение и избран корпус на компонента препоръчан от Ultra Librarian [1]

В софтуерните библиотеки на програмата за проектиране много от стандартни компоненти са налични и могат да бъдат използвани. В определен момент на проектирането се налага използването на специфични електронни компоненти, които не се срещат в стандартните библиотеки. В този случай проектантът сам създава графичния отпечатък на новия компонент.

Дизайна на всеки графичен отпечатък следва определени стандарти, като за всеки нов елемент трябва да бъде съобразен начина на неговото разположение и електрическо свързване. Проектирането е строго специфично, но в най-общия случай включват стъпките:

- Оразмеряване на новия отпечатък – при проектиране този графичен отпечатък се определя разположението на новият компонент и разстоянието между съседните елементи. Проектирането на специфични компоненти следва внимателно да съобрази тези размери.;
- Определяне на разположението и броя на изводите на желания компонент – един от най-важните параметри са броя на изводите и тяхната функционалност;
- Определяне на растера между изводите на компонента – параметъра определя междуцентровото разстояние на изводите съобразено с толеранса препоръчан от производителя;
- Определяне на големината на печатната площадка или отворите за всеки от изводите – големината на площадката зависи от типа на използвания компонент:
  - Микроелементи за повърхностен монтаж (Surface-Mounted Devices SMD);
  - Елементи с проходни отводи (Trough-hole devices);
  - според типа на използвания компонент съществуват различни стандарти при проектиране на графичния отпечатък на компонента.

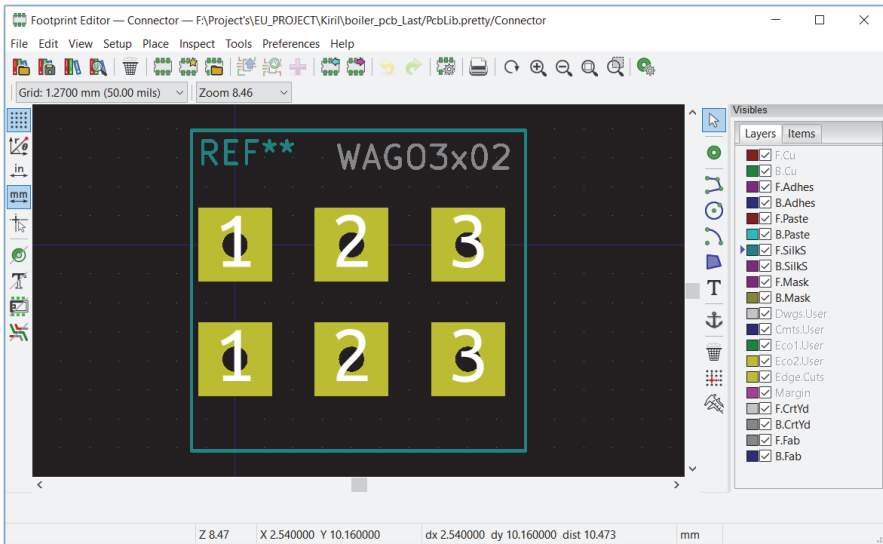
#### а) Създаване на графичен отпечатък на електронни елементи с проходен отвор

Проектирането на графичен отпечатък на този тип компоненти не винаги може да се открие в широко разпространените библиотеки. Вероятната причина за това е спецификата на този тип елементи и тяхното по-малко използване в миниатюризираните устройства. Обикновено този тип компоненти са значително по-големи от SMD елементите и често се свързват с работа при по-висока мощност. Това поставя специ-

фични изисквания към проектирането на графичен отпечатък на тези компоненти. При проектирането на този тип елементи трябва да се съобразяват редица допълнителни изисквания, като:

- Според начина на извеждане на извода от компонента – радиално или аксиално;
- Означение на определен извод на компоненти – при интегрални схеми се отбелязва първи извод.

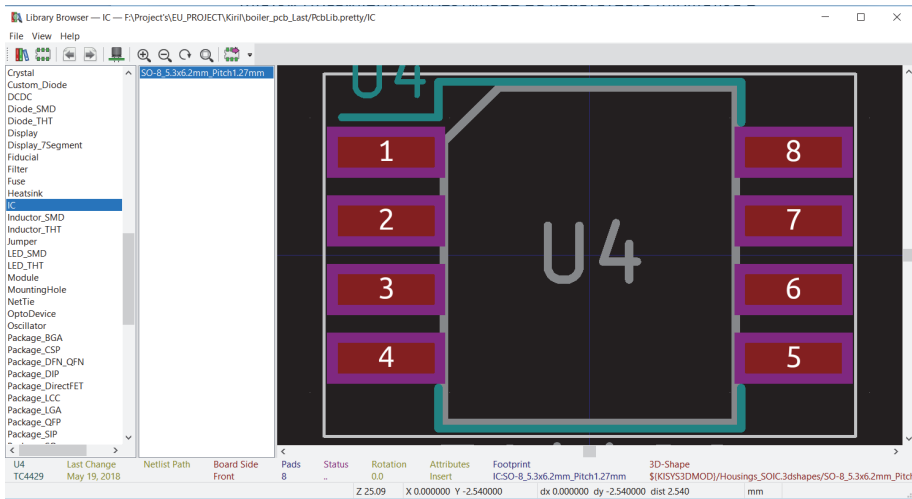
Дизайна на елемента с проходен отвор показва графичен отпечатък на специализиран WAGO конектор е показан на фигура. 2.



Фигура. 2. Специализиран триизводен WAGO захранващ конектор

### б) Графичен отпечатък на SMD електронни елементи:

В някои случаи е необходимо допълнително създаване на графичен отпечатък на електронен SMD елемент. Най-удобния начин за създаване на подобен отпечатък е използването на съществуващ компонент от библиотечния файл. Избира се най-близкият електронен компонент който се съхранява под различно име, така полученият нов компонент се редактира според новите изисквания. В чести случаи се наблюдава разлика в означението на компонента или неговият графичен отпечатък, което е свързано с малка редакция на елемента. При подобна редакция параметрите на всеки нов елемент следва да бъдат сравнени с препоръчителната документация на производителя. Все повече производители предлагат препоръчителни размери на графичния отпечатък, което често се използва като отправна точка при проектирането. В случаите когато подобни параметри не са посочени, същите могат да бъдат открити в софтуерна база от данни Ultra Librarian безплатно приложение създадено в помощ на проектантите на печатни платки. Правилното проектиране на печатната площадка е определящо за минималното контактно съпротивление в мястото на свързване между елемента и печатната площадка. Размера на печатната площадка е необходимо да предвиди допуските в размерите на извода, особено в случаите на проектиране на SMD компоненти. Съществува стандарт IPC-SM-780 който дефинира специфичните корпуси на SMD елементите. Пример за нов графичен отпечатък на SMD компонент е показан на фигура 3.



Фигура. 3. Нов графичен отпечатък на SMD елемент

## 2. Монтиране на елементите и начин на ориентация

Изработването на печатната платка често се съобразява с геометричните ограничения в мястото на монтажа. Монтиране на всички компоненти на този слой се ограничава от външни конектори и изводи на печатната платка. След съобразяване на тези ограничителни условия следва подредба на елементите върху печатния модул. Топологията на подреждане на компонентите може да определи точния подход за тяхното запояване. Поставянето и ориентацията на компонентите може да бъде автоматизирано или ръчно и се ограничава от начина на проектиране на печатния възел. Разположението на компонентите няма да промени чувствително функционалността на печатната платка, но може да направи процеса на насищане по-достъпен. Някои основни насоки при поставяне на компонентите могат да бъдат:

- В процеса на цялостното проектиране на печатния възел разположението на печатните площадки винаги са с приоритет спрямо механичното разположение. Въпреки този факт поставянето на компонентите трябва да бъде подравнено, в случаите когато се използва автоматизиран монтаж на печатната платка се препоръчва конекторите да бъдат разположени едностранно. Това се налага поради технологични ограничения на процеса на автоматизирано запояване;

- При разработването на печатни платки използващи аналогова и цифрова част трябва да се вземе в предвид високата чувствителност на аналоговото измерване. С цел по-висока шумозащитеност това предизвиква изолиране на аналоговата група;

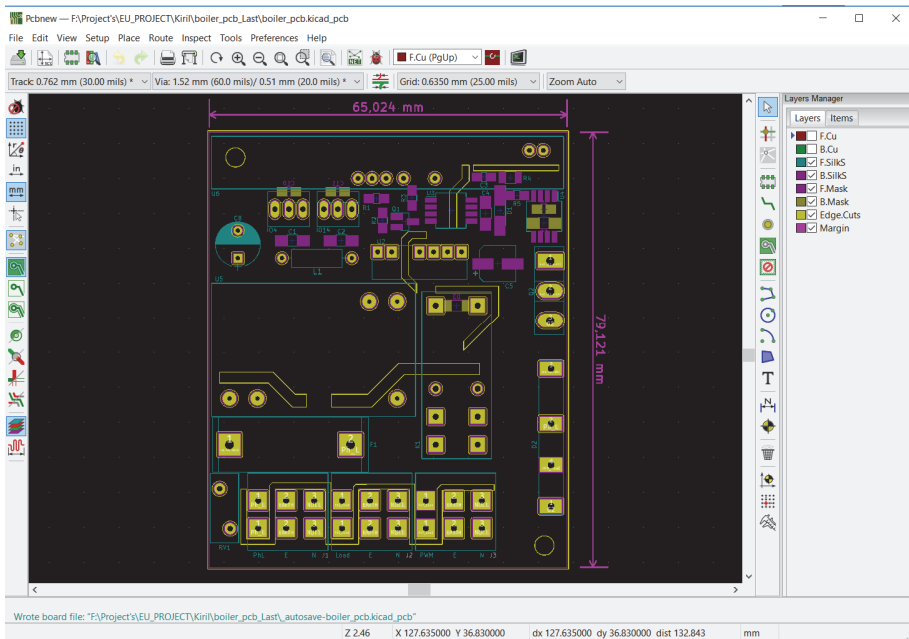
- Поставянето на ръбовете на компонентите трябва да бъде паралелно на страните на печатната платка. В случаите когато печатната платка използва компоненти с проходни отвори те трябва да бъдат разположени едностранно на печатния възел. На противоположната страна се монтират без-изводните микрокомпоненти. При прототипни серии двата типа разположения могат да бъдат комбинирани, но при този хибриден начин компонентите се насищат от оператор;

- При проектиране трябва да се съобразява, че компоненти с повече изводи (PLCC, BGA), мощни резистори, високоволтови електролитни кондензатори не бива да бъдат монтирани от долна страна на печатния модул. В практическия случай тази страна съпада със страната на спояване на елементите (с проходни отвори) и не

предвижда достатъчно място за охлаждане. Електролитните кондензатори, диоди и интегрални схеми следва да бъдат ориентирани така, че да бъдат удобни за тестване. В случай на принудително охлаждане мощните компоненти следва да бъдат разположени така, че да контактуват с външен радиатор. Това важи и за мощни резистори и компоненти изискващи допълнително охлаждане.;

- При проектиране на печатния модул е добре стъпката на разположение на компонентите да бъде оптимизирана в границите от 20mils (0.5mm) до 100mils (2.54mm), което удовлетворява световният стандарт IPC2221A. Избор на по-голяма стъпка ще направи твърде грубо разположението на отделните компоненти, докато по-малките размери биха затруднили подравняването. По-прецизен растер от 5mils до 20mils често се използва за опроводяване на печатния модул или пренареждане на имената на компонентите (в случаите когато тези имена участват). Масивните компоненти следва да бъдат допълнително стабилизиращи към печатния модул с механично укрепване.

Примерна печатна платка която удовлетворява посочените изисквания е показана на следващата фигура:



Фигура. 4. Примерна печатна платка удовлетворяваща посочените изисквания

### 3. Процес на насищане на електронния модул

Съществуват два подхода за насищане на печатната платка – първият е ръчно насищане на модула, докато вторият се свързва с автоматичен процес на подреждане на компонентите. Процеса на насищане зависи от типа на използваните електронни компоненти и тяхното разположение. Често при някои производства се предпочитат и двата подхода (ръчен и автоматизиран процес). Метода на насищане е от особено значение за надеждността на печатната платка. Използват се механични позиционирания на компонентите както и химични процеси на запояване, които могат да бъдат решаващи при продължително натоварване на прототипа.

**а) Процес на ръчно насищане на компонентите**

Често този процес се предпочита при производство на малки серии електронни устройства или при тестване на прототипи. Когато се насищат разнотипни блокове от един модул се използва подхода за разделяне на модула на няколко групи елементи. При всеки от тях има различна група специалисти отговорни за насищането на електронните компоненти към печатния модул. Този процес на монтиране на електронните компоненти се свързва с диференцирано тестване на печатните възли с цел функционалност и работоспособност на модула. Този подход на насищане може да бъде трудна задача, някои компоненти използват проходен отвор с който се прикрепят към печатната платка, но тези компоненти изискват специфичен начин за запояване. В случаите когато се работи с микрокомпоненти (SMD components) затруднението идва от твърде малкия размер на компонентите, което поставя определени изисквания към технологичния процес на прикрепяне преди запояване. Друга особеност е поляритета на компонентите, този поляритет определя посоката на монтиране на компонента, позицията на първо краче при интегралните схеми което създава предпоставки за повишено внимание при монтаж.

**б) процес на автоматично асемблиране на печатния възел**

Този подход може да бъде използван и при двата типа електронни компоненти – с проходен отвор (TH) или микроелементи (Surface-mounted devices SMD). Независимо от компонентите при автоматизирания процес на монтаж се програмира специфичния монтаж на компонентите (посока на монтиране и поляризация на компонента). Предимство на подобни технологии е високата скорост на монтиране, която може да достигне до 100 000 електронни елемента за един час. Информацията за този процес се съдържа в изходните генерирани файлове от CAD програмата.

**в) Процес на автоматично асемблиране на компоненти с проходни отвори**

Електронните елементи с проходни отвори се опаковат на ленти което позволява автоматизирания монтаж, тези компоненти най-често се монтират от едната страна (component syte) на печатната платка и се запояват от втората страна (solder syde). Стъпките на автоматизация за монтаж на проходни отвори са: монтиране на компонентите на печатната платка и запояване на компонентите.

**д) Процес на автоматично асемблиране на микроелементи**

Микро електронни компоненти (Surface-mounted devices SMD) най-често са опаковани в ленти и могат да бъдат монтирани от двете страни на печатната платка. Когато компонентите се монтират само от едната страна се изработва единичен стенсил с който се нанася паста за запояване. При двустранно разполагане на SMD компоненти се използват два стенсила за всяка от страните. Стенсилите се изработват от тънко метално фолио което е изрязано в местата на запояване на компонентите. Тези стенсили се генерират от CAD програмата за проектиране на печатния възел и служат за нанасяне на паста върху подложките за запояване. След нанасяне на спояваща паста се прикрепят компонентите върху модула. В редица случаи за прикрепяне на микрокомпонентите от двете страни на печатната платка се използват лепилни площадки с което SMD елементите могат да се прикрепят на платката.

**4. Процес на запояване**

Процеса на запояване на компонентите върху печатната платка осигурява механична връзка и добра електрическа проводимост между печатния модул и изходите на електронните компоненти. Крайният резултат на процеса осигурява междинен оптируем слой от тинол който създава електрическата връзка към платката. В някои случаи за предпазване на контактните зони от окисление се използва допълнително

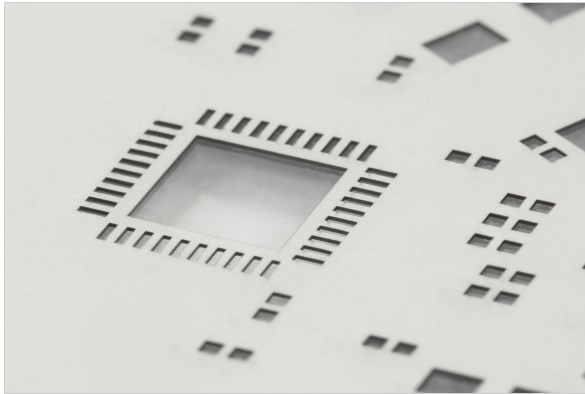
покритие от химично злато. Така нанесения метален филм предпазва медната площадка от окисляване. Съществуват два основни подхода за запояване на компонентите: едновременно запояване на всички компоненти със проходен отвор, което използва спойка вълна. Запояване чрез загряване на платката в специализирана пещ. Преформатиране с газова фаза и повторен тест на проводимост (горещ газ, лазер). Друг вариант е ръчното запояване при което всички компоненти се запояват с вниманието на оператора.

#### **а) Процес на ръчно запояване**

Този процес намира масово приложение и голямо разнообразие от приложения, както за цялостно сглобяване на електронните модули, така и при насищане специфични електронни компоненти. Съществуват няколко основни вида ръчни инструменти за запояване – поялници (индукционни и нагревателни), спояващи станции с горещ въздух и спояващи станции с инфрачервено запояване. Понякога съществува известен риск за прецизните електронни компоненти при който превишаване на входното напрежение може да предизвика повреда в компонента. Това напрежение най-често се получава от електростатичен заряд на оператора. По тази причина операторите който насищат електронни компоненти използват специални гривни за отвеждане на електростатичния заряд към точка с нулев потенциал (маса). Друга особеност при този подход е възможност за човешка грешка при насищане, по тази причина електронните модули и прототипи насищани с ръчно запояване се подлагат на междинни тестове който да докажат работоспособност на електронния модул.

#### **б) Запояване на компоненти в специализирана спояваща пещ**

Съществуват няколко различни техники за спояване на компонента, но коментара тук се ограничава до загряване на платката в специализирана спояваща пещ. Метода най-често се използва при микрокомпоненти (SMD), но това не изключва компонентите с метални изводи могат също да бъдат запоени по този начин (наречено „pin-in-paste“ или „intrusive reflow soldering“). При този начин на запояване се следва определен технологичен процес на производство който включва изработване на стенсила – стенсила представлява шаблон от тънко фолио на което са нанесени отпечатъците на площадките за запояване. За изработването на този шаблон се използват контролни точки, което го прави различен за всяка печатна платка. Готовият шаблон служи за нанасяне на спояваща паста върху предварително подготвената печатна площадка. Следва премахване на шаблона и подреждане на електронните компоненти, като съответните изводи на компонентите контактуват точно с местата на пастата. Често този монтаж се извършва от роботизирана линия, но за целите на прототипиране е възможно елементите да бъдат поставени от оператор. Така подготвената печатна платка с нанесени електронни компоненти се поставя в специализирана електронна пещ за запояване. В тази среда температурата и скоростта на загряване са точно определени и зависят от химичните свойства на използваната спояваща паста. В процеса на загряване се образува повърхностно напрежение между извода на елемента и разпоената паста. Това напрежение спомага за центриране на изводите на компонентите спрямо спояващите площадки. В практическите случаи е възможно неправилен монтаж (обикновено при ръчно подреждане) при което се получава спояване само на един или няколко извода на електронния елемент. От друга страна съществуват електронни компоненти който имат необходимост от допълнително охлаждане, в тези случаи на платката е предвидена охлаждаща площадка. Спояването на компонентите към подобна площадка може да предизвика допълнителен механичен градиент. След приключване на процеса на спояване платката се охлажда.



Фигура. 5. Снимка на примерен стенсил [2]

### с) Запояване със спойка тип вълна

При този начин на спояване на компонентите печатната платка с монтираните на нея електронни компоненти се поставя в предварително загрята вана с тинол. Следва автоматизиран процес на преместване на платката през разтопения тинол, като контактната връзка между платката и тинола наподобява вълна от където произлиза и името на процеса „спойка вълна”. През време на движение платката. Този процес може да бъде приложен и при двата типа електронни елементи с метални изводи или микрокомпоненти. Компонентите с метални изводи са така поставени, че върха на „вълната” покрива металния извод от страна спойки. При микрокомпонентите съществува опасност от разлепяне на част от елементите при този начин на спояване, друга особеност съществува при по-големите SMD компоненти – те изискват по-голямо загряване на елемента което може да прегрее самия компоненти да предизвика напукване. По тази причина когато се използва тази технология проектант следва да уточни точния начин за разполагане на печатната платка през време на спояване. Разположението на компонентите на печатната платка трябва да бъде така ориентирано, че големите компоненти да не образуват „сянка” на малките. Това може да попречи при спояването на микроелементите.

**Заклучение:** При създаване на печатен прототип технологичните особености включват два етапа на изпълнение. Първият от тях предвижда проектиране на графичните символи на елементите в процес на проектиране на печатния модул и изисква:

- Създаване на графичен отпечатък на избрания компонент;
  - Дизайн на печатна площадка на компонента.
- Вторият етап е свързан с физическото насищане на печатния модул:
- Монтиране на елементите съблюдавайки тяхната ориентация;
  - Процес на запояване.

Разбира се проектантските изисквания и технологичната последователност са препоръчителни.

### Използвана литература:

[1] STMicroelectronics - 2N7002

[2] Ultra Librarian <https://app.ultralibrarian.com/ECAD/search?queryText=2N7002>

[3] All about circuit <https://www.allaboutcircuits.com/news/osh-stencils-stainless-steel-solder-paste-stencils/>