

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «Московский институт электронной техники».

Институт микроприборов и систем управления имени Л.Н. Преснухина

Методические указания к выполнению курсового проекта

«Исполнения в Altium Designer»

**По курсу
«Проектирование печатных плат»**

Москва, Зеленоград

2023

Оглавление

Оглавление	2
Общая информация	3
Описание проекта с исполнениями	6
Составление схемы	8
Контроль состава исполнений с применением ActiveBOM	17
Разводка топологии	18
Выпуск группового комплекта конструкторский документации	21
Спецификация на печатный узел	24
Ведомость покупных изделий	27
Перечень элементов	28
Схема электрическая принципиальная	29
Сборочный чертеж на печатный узел.	32
Литература	38

Общая информация

В данном указании описано как с помощью Altium Designer спроектировать печатный узел с использованием исполнений.

Исполнения – это метод проектирования схожих изделий, которые обладают в основном общими конструктивными признаками и при этом имеют относительно небольшое число различий [20]. Например, некоторыми размерами, вариантами установленной или используемой ЭКБ и пр. В этом случае удобно спроектировать эту группу изделий как единое изделие, имеющее несколько исполнений. Такой подход позволяет значительно сэкономить ресурсы и не разрабатывать каждое исполнение как отдельное изделие. Кроме того, ЕСКД позволяет выпускать групповые документы и не выпускать на каждое исполнение полный комплект конструкторских документов.

В понятиях Altium Designer исполнения называются Variants [9]. Автоматизировано они могут быть реализованы по следующим принципам:

- печатная плата для всех исполнений будет одинаковая, за исключением возможности нанесения отличающейся маркировки в шелкографии и слоя паяльной маски;
- поэтому исполнения фактически могут отличаться только устанавливаемой ЭКБ.

По виду исполнения для ЭКБ допустимы следующие режимы:

- Fitted – ЭКБ устанавливается в исполнениях. Данный режим включен для всех компонентов по умолчанию. Устанавливаемые по всем исполнениям компоненты попадают в список постоянных данных.
- Not Fitted - ЭКБ может быть не устанавливаемой в исполнениях.
- Fitted with Varied Parameter(s) - ЭКБ может иметь различные параметры в различных исполнениях при сохранении одинакового УГО и посадочного места.
- Alternate Part, Footprint is the Same - замена ЭКБ с сохранением посадочного места (определяется по имени посадочного места).
- Alternate Part, Footprint Changes - замена ЭКБ с изменением посадочного места.

С учетом того, что Altium Designer не умеет динамически перестраивать соединения в схеме при изменении формы или состава пинов в УГО, то на режимы с заменой ЭКБ (Alternate Part) налагаются дополнительные требования:

- Число пинов в УГО, их нумерация, положение на УГО, электрический тип и соединение в схеме не должны изменяться в различных исполнениях. При этом параметры компонента и вид УГО, не относящийся к пинам, менять можно.

- В схеме не может меняться позиционное обозначение замененной ЭКБ. Это может приводить к неоднозначностям при формировании конструкторской документации, если у ЭКБ меняется тип, например, резистор на конденсатор.

Если эти два требования не получается выполнить, то лучше построить исполнения на матрице устанавливаемых/ не устанавливаемых компонентов вместо замены ЭКБ через Alternate Part.

Т.к. печатная плата для всех исполнений будет одна, в нее переносятся посадочные места компонентов для всех исполнений. Для вариантов замен с изменением посадочного места, в топологию переносятся также еще все варианты посадочных мест. По умолчанию правила разрешают накладываться посадочным местам из разных исполнений одного компонента друг на друга.

Для возможности автоматизации создания комплекта конструкторской документации с помощью расширения GOST BOM нужно придерживаться некоторых дополнительных правил организации проекта.

Обозначение исполнений лучше давать в виде «-xx», аналогично суффиксу номера исполнений в обозначении конструкторского документа. С точки зрения расширения GOST BOM [13] исполнение «-00» совпадает с базовым. С точки зрения возможностей Altium Designer это не обязательно так. Поэтому исполнение «-00» должно быть полной копией исходного проекта. За исключением того, что можно отдельным компонентам ставить Not Fitted.

Описанные в методическом указании подходы по организации проектов с исполнениями поддерживаются встроенным инструментом Variants в Altium Designer. В случае, если разрабатывается проект с исполнениями в неподдерживаемых ситуациях, например, с изменением геометрии печатной платы или с изменением цепей в схеме, проекты исполнений придется делать

независимо. И групповой комплект конструкторской документации собирать вручную.

Перед началом проектирования проекта с исполнениями стоит заранее определиться, как будут организованы данные изменения. Исходя из этого можно продумать исполнения и от этого будут зависеть вид и состав конструкторских документов. Покажем на примере, как можно организовать проект.

В текущем методическом указании не указаны приемы составления схемы, разводки топологии и выпуска конструкторской документации на печатный узел, только приведены особенности построения проекта с исполнениями.

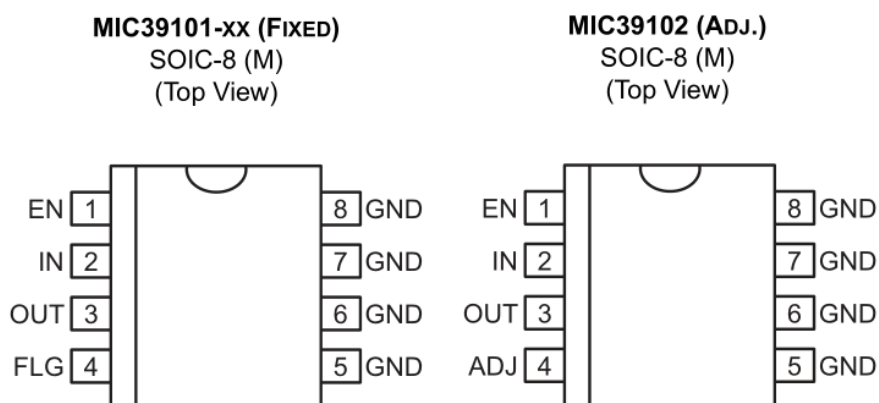
Последняя версия данного методического указания вместе с остальными по предмету «Проектирование печатных плат» находится на github в отдельном репозитории автора [6].

Описание проекта с исполнениями

Спроектируем универсальную печатную плату линейного стабилизатора напряжения на основе серии линейных стабилизаторов Microchip MIC3910x [31]. Проект построим так, чтобы показать возможные варианты реализации исполнений в Altium Designer. Данную ячейку можно обозначить как «МПСУ.469635.023».

Входной разъем будет неизменным Molex 76825-0002 [32]. Также неизменным будет входной фильтрующий конденсатор C1 на 10 мкФ Vishay 293D106X9016A2TE3 [33].

В серии MIC39101 доступно 4 версии с фиксированными выходными напряжениями (на +5 В, +3,3 В, +2,5 В и +1,8 В) и в MIC39102 доступна настройка выходного напряжения с помощью резистивного делителя. Сигнал EN позволяет включать или выключать линейный стабилизатор. Также в версиях MIC39101 есть выход FLG, позволяющий сигнализировать о ошибке падения выходного напряжения ниже заданного. Данные версии MIC39101 имеют одинаковое число и положение пинов на УГО., при изменении исполнений будет меняться имя пина 4. При этом у всех них одинаковое посадочное место, т.е. поддерживают режим замены Alternate Part, Same Footprint.



Выходной разъем в зависимости от исполнения будет или такой же как на входе Molex 76825-0002 [32], или колодка TE 1776244-2 [34], или боковой силовой разъем TE 282812-2 [35]. УГО у данных разъемов одинаковое, но посадочное место меняется. Для них будем использовать режим Alternate Part, Footprint Changes.

С помощью установки нулевых резисторов R1 и R3, а также R2 на 100 кОм коммутируются сигналы EN и FLG в зависимости от исполнений. Резистивный делитель R4/R5 будет установлен в версии на +3 В, т.к.

фиксированной версии MIC39101 на такое напряжение нет. Всех резисторы выберем из серии Yageo RC0402FR-07xxL [36]. Для них используем режимы Fitted/Not Fitted.

В зависимости от номинала выходного напряжения будем ставить выходной танталовый конденсатор C2 на различное напряжение, но с сохранением типоразмера 1206. Т.к. внешний вид УГО и посадочное место меняться не будет, то его исполнения можно реализовать как Fitted With Varied Parameters

В разных исполнениях на управление выведена различная комбинация сигналов EN и FLG, поэтому будем для них использовать трех (TE 87348-3 [37]) или двух-пиновую вилки (TE 87348-2 [38]). При этом, т.к. в разных исполнениях двух-пиновая вилка должна стоять по-разному, то проще выполнить данный участок как три отдельных компонента, по одному на каждое исполнение. И в печатной плате совместить их друг на друга, т.к. одновременно в исполнении может стоять только одна вилка. Для неиспользуемых в исполнении будем использовать режим Not Fitted.

В таблице ниже показаны отличия исполнений.

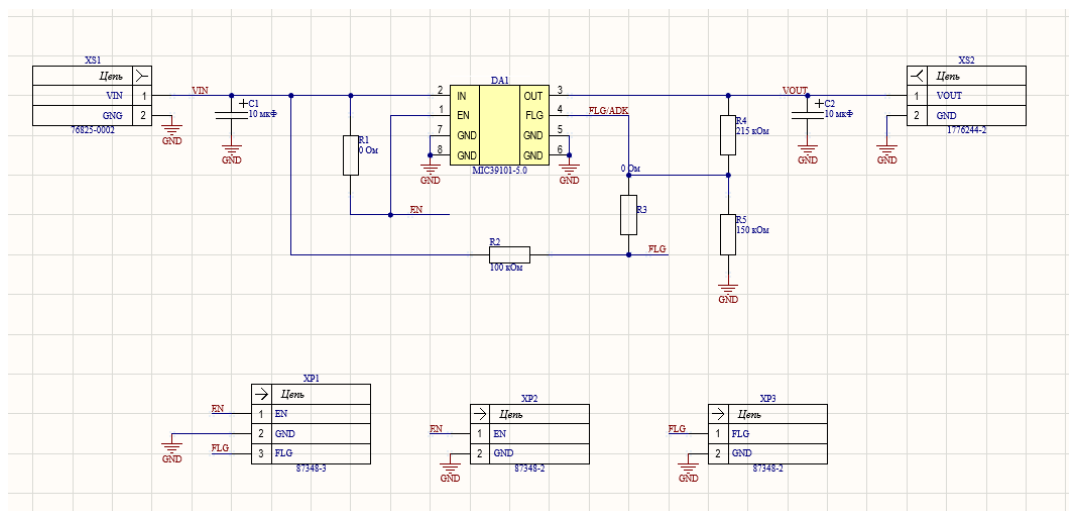
Исполнение	-00	-01	-02
Выходной номинал	+5 В	+3 В	+1,8 В
Версия MIC3910х	MIC39101-5.5	MIC39102	MIC39101-1.8
Сигнал EN	Выведен	Выведен	Не используется
Сигнал FLG	Выведен	Не доступен	Выведен
Резистор R1	Не уст	Не уст	0 Ом
Резистор R2	100 кОм	Не уст	100 кОм
Резистор R3	0 Ом	Не уст	0 Ом
Резистор R4	Не уст	215 кОм	Не уст
Резистор R5	Не уст	150 кОм	Не уст
Выходной разъем XS2	TE 1776244-2	Molex 76825-0002	TE 282812-3
Выходной конденсатор C2	10 мкФ, 10 В KYOCERA AVX TAJA106K010SNJ	10 мкФ, 6,3 В KYOCERA AVX TAJA106K006SNJ	10 мкФ, 4 В KEMET T491A106K004AT
Разъем управления	XP1 TE 87348-3 FLG, EN, GND	XP2 TE 87348-2 EN, GND	XP3 TE 87348-3 FLG, GND

Составление схемы

Создадим проект со схемой, пока без исполнений, со всеми установленными компонентами.

Как было сказано ранее, для возможности использования расширения GOST BOM исполнение «-00» должно совпадать с базовым, за исключением того, что допустимо только указать некоторым компонентам Not Fitted относительно полного проекта.

Поэтому, если какой-то компонент меняется в исполнениях, то установим ту версию, которая должна быть в исполнении «-00». Резисторам R4 и R5 зададим параметры из того исполнения, в котором они встретятся в первый раз «-01».



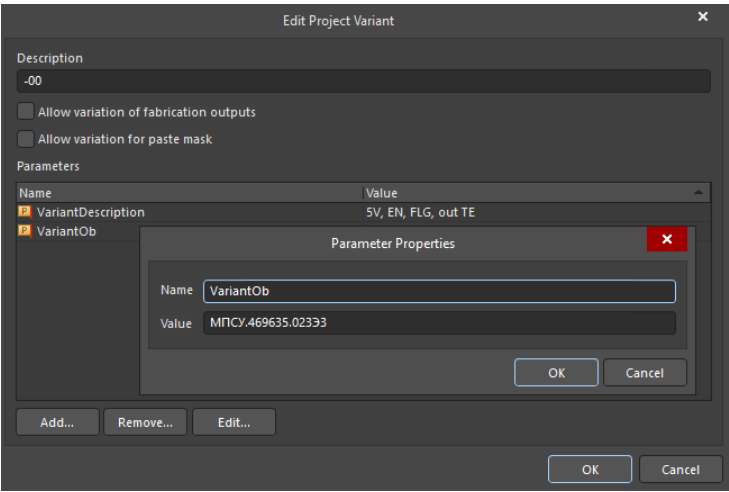
После состава исходной схемы можно переходить к исполнениям. Для создания исполнений используется инструмент Variants (менеджер исполнений). Запускается по меню Project – Variants (C, V) или в дереве проекта ПКМ - Variants.

Создание исполнений происходит по кнопке Add Variant. При создании нового исполнения ему нужно дать имя. Также можно дать разрешение исполнению на изменение данных печатной платы в паяльной маске и шелкографии, а также присвоить исполнению дополнительные параметры.

Для параметров существует иерархия применения. При совпадении имени параметра в исполнении с параметра проекта или схемы, используется значение в параметре исполнения.

Назовем созданное исполнение «-00», без разрешения изменения конструкции печатной платы. Это будет базовое исполнение. Также сразу

создадим два параметра исполнений: описание исполнения VariantDescription со значением «5V, EN, FLG, out TE» и с обозначением схемы VariantOb «МПСУ.469635.023Э3» (пригодится в дальнейшем в некоторых случаях генерации выходной конструкторской документации).



Создадим еще исполнения «-01» (параметры VariantDescription = «3V, EN, out Molex», VariantOb = «МПСУ.469635.023-01Э3») и «-02» (параметры VariantDescription = «1.8V, FLG, out TE», VariantOb = «МПСУ.469635.023-02Э3»). Чтобы при создании новых исполнений не полностью их настраивать, воспользуемся командой Clone Selected Variant при выбранном исполнении «-00».

Менеджер исполнений теперь будет выглядеть следующим образом. При выборе строки с компонентов в нижней части показывается особенности компонента в различных исполнениях. Сейчас все компоненты одинаковые во всех исполнениях и имеют статус Fitted (пусто в матрице исполнений).

Variant Management

Components for project MIC39100_universal.PjPcb

Project Components					-00	-01	-02	
Hierarchy Path	Logical	Name	Designator	Document	Original Library U...	Component Variation	Component Variation	Component Variation
MIC39100_ur C1		10 мкФ	C1	MIC39100_unive	StudentsLibrary.Intl			
MIC39100_ur C2		10 мкФ	C2	MIC39100_unive	StudentsLibrary.Intl			
MIC39100_ur DA1		MIC39101-5	DA1	MIC39100_unive	StudentsLibrary.Intl			
MIC39100_ur R1		0 Ом	R1	MIC39100_unive	StudentsLibrary.Intl			
MIC39100_ur R2		100 кОм	R2	MIC39100_unive	StudentsLibrary.Intl			
MIC39100_ur R3		0 Ом	R3	MIC39100_unive	StudentsLibrary.Intl			
MIC39100_ur R4		215 кОм	R4	MIC39100_unive	StudentsLibrary.Intl			
MIC39100_ur R5		150 кОм	R5	MIC39100_unive	StudentsLibrary.Intl			
MIC39100_ur XP1		87348-3	XP1	MIC39100_unive	StudentsLibrary.Intl			
MIC39100_ur XP2		87348-2	XP2	MIC39100_unive	StudentsLibrary.Intl			
MIC39100_ur XP3		87348-2	XP3	MIC39100_unive	StudentsLibrary.Intl			
MIC39100_ur XS1		76825-0002	XS1	MIC39100_unive	StudentsLibrary.Intl			
MIC39100_ur XS2		1776244-2	XS2	MIC39100_unive	StudentsLibrary.Intl			

Component Parameters

Parameter Name	Parameter Variations: C1		-00	-01	-02
	Original Value	=Value	New Value	=Value	New Value
Description	Capacitor, Pol, generic	Capacitor, Pol, generic	Capacitor, Pol, generic	Capacitor, Pol, generic	Capacitor, Pol, generic
ESR	3 Ом	3 Ом	3 Ом	3 Ом	3 Ом
Footprint	CAPPM320X160X180L80X120N	CAPPM320X160X180L80X120N	CAPPM320X160X180L80X120N	CAPPM320X160X180L80X120N	CAPPM320X160X180L80X120N
Manufacturer	Vishay	Vishay	Vishay	Vishay	Vishay
Package	1206	1206	1206	1206	1206
PartNumber	293D106X9016A2TE3	293D106X9016A2TE3	293D106X9016A2TE3	293D106X9016A2TE3	293D106X9016A2TE3
Tolerance	±10%	±10%	±10%	±10%	±10%
Value	10 мкФ	10 мкФ	10 мкФ	10 мкФ	10 мкФ
VDC	16 В	16 В	16 В	16 В	16 В

Add Variant...Delete Variant...Edit Variant...Detailed Report...Drawing Style...

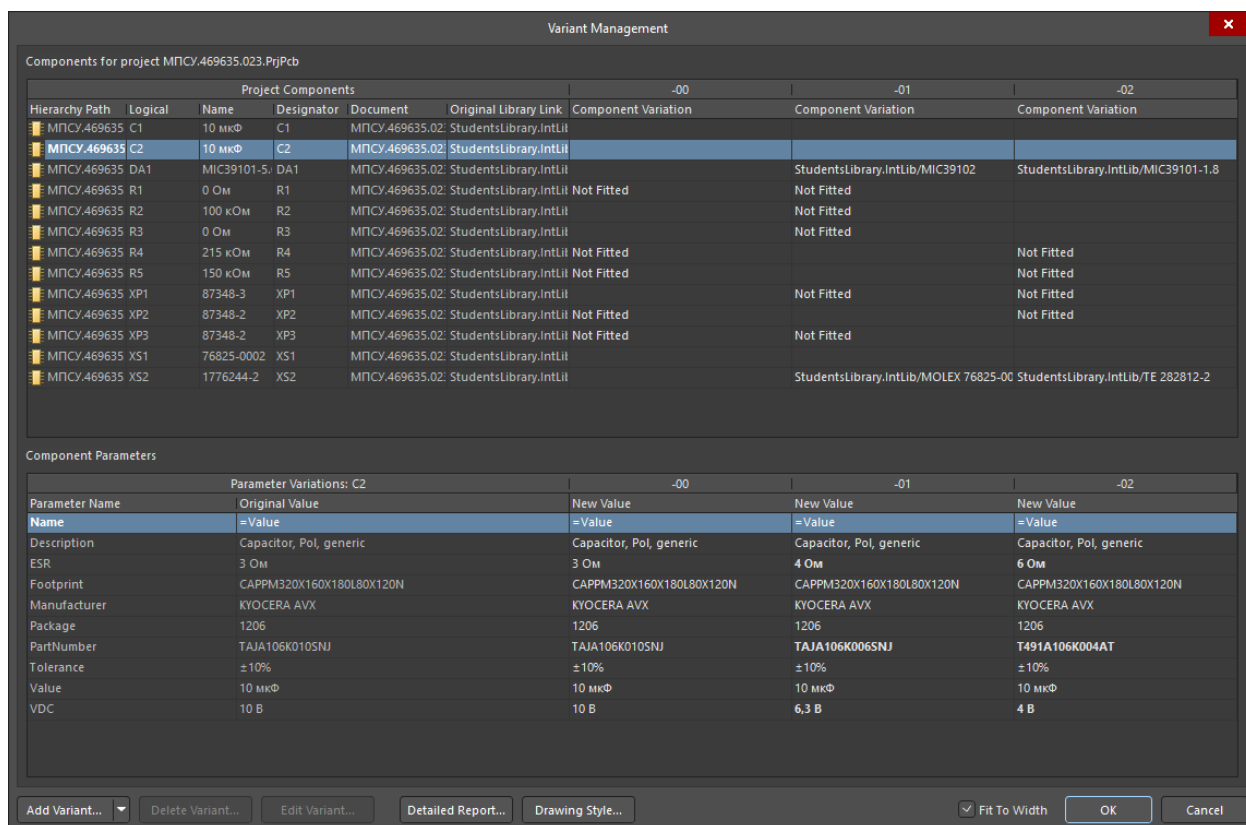
Fit To Width

OK

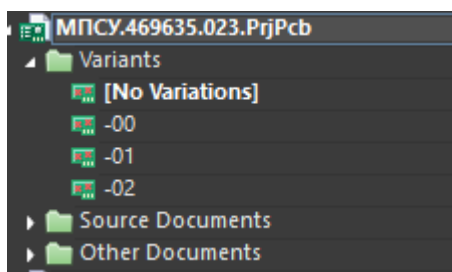
Cancel

Редактировать исполнения компонентов можно в окне менеджера исполнений при выбранном компоненте. В левой части всегда показываются параметры базового исполнения. Измененные параметры подсвечиваются жирным текстом.

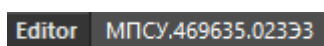
Заполним измененные параметры C2 в исполнениях.



Также можно изменять исполнения компонентов, находясь в схеме в режиме отображения исполнений. Созданные для проекта исполнения появляются в дереве проекта в группе Variants. Для переключения на нужное исполнение нужно ДЛКМ по нему или ПКМ – Set Current.




И затем в нижней части окна схемы перейти в режим физического отображения схемы (рядом с вкладкой Editor)

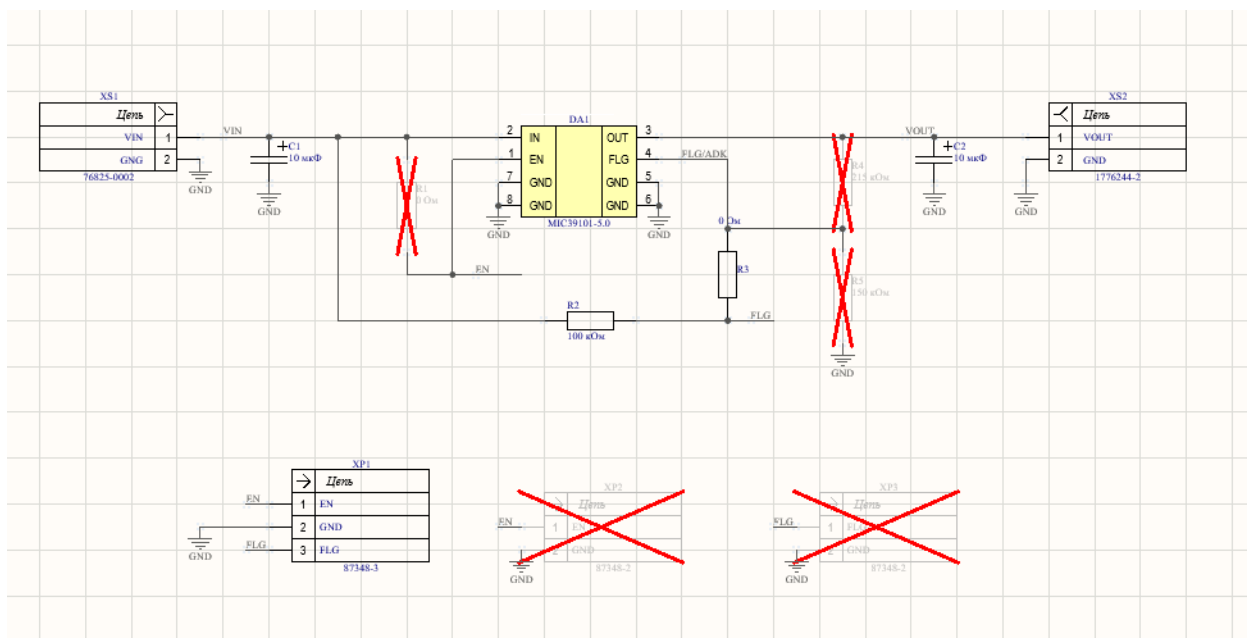


При включении отображении исполнения цепи будут затенены, ярко останутся отображаться только компоненты. Степень данного затенения определяется настройкой Tools - Preferences – System – Navigation ползунком Dimming.

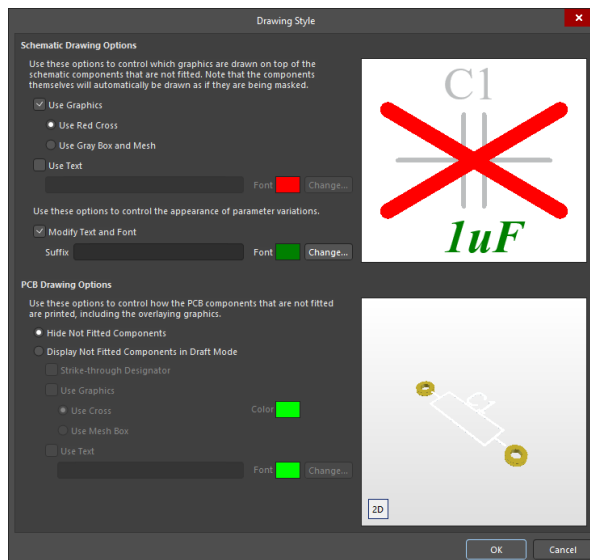
При переключении схемы на режимы исполнений в тулбаре ActiveBar появляются команды индивидуальной настройки компонентов в исполнениях.




По кнопке Toggle Part Fitted or Not Fitted  можно, находясь в исполнении, исключать компонент из текущего исполнения. Исключим из исполнения «-00» компоненты R1, R3, R4, XP2 и XP3.

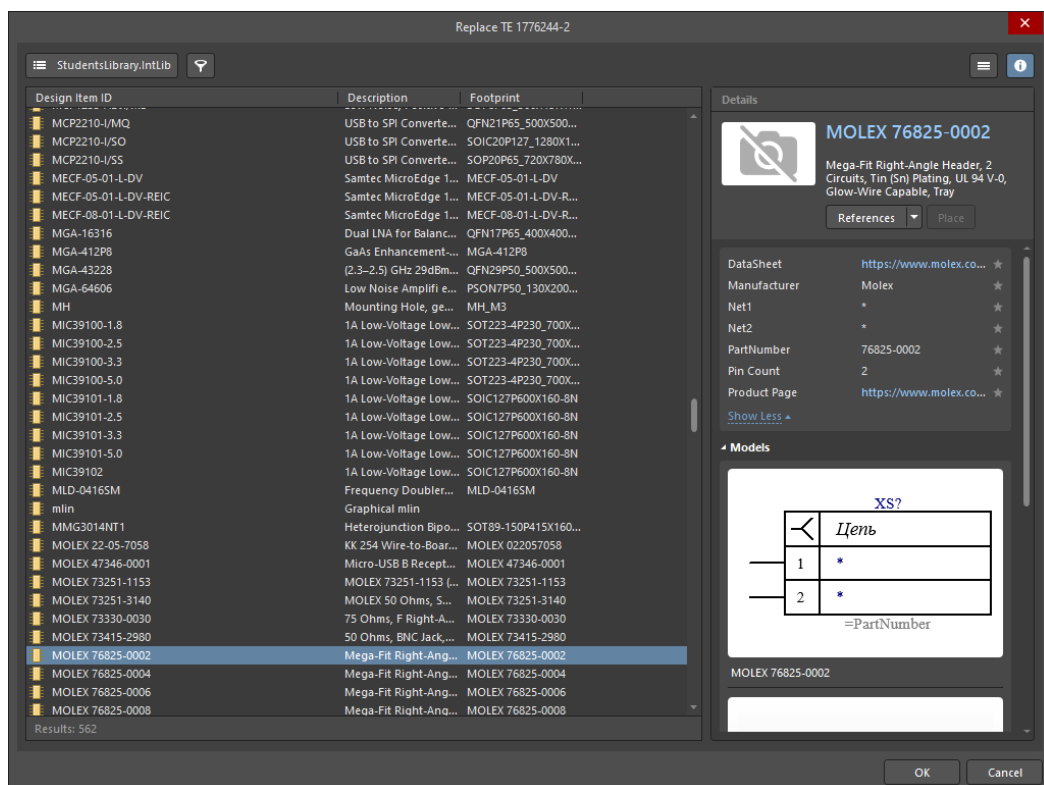
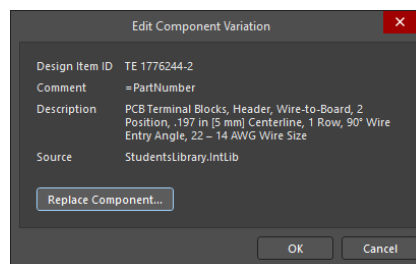


Стиль отображения измененных компонентов в исполнениях определяется для проекта по кнопке Drawing Style в окне менеджера исполнений. Пока идет работа со схемой и топологией, лучше выделять переменные данные как можно ярче. Но при переходе к формированию комплекта КД для получения чистых документов придется это выделение отключить.

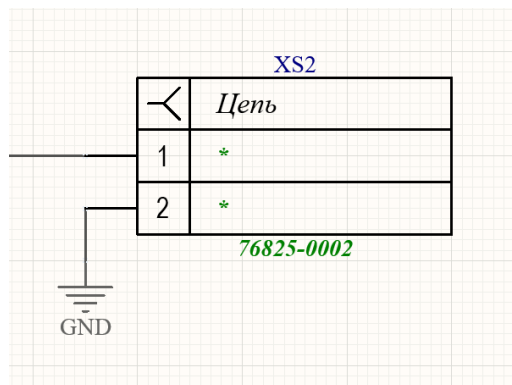


В исполнении «-01» нужно заменить микросхему DA1 и разъем XS2. В схеме это можно сделать по кнопке Choose Component for Alternate Part  находясь в нужном исполнении и режиме отображения исполнений.

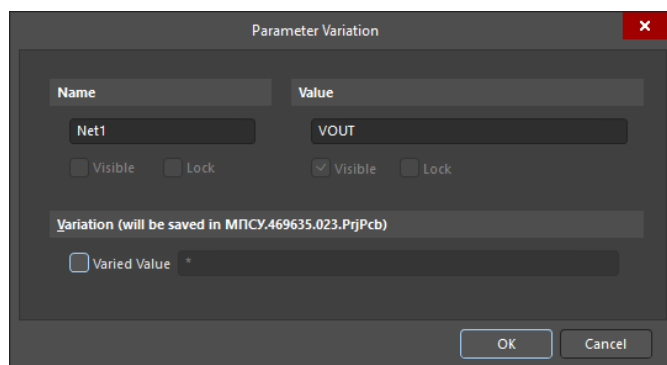
В открывшемся окне выбираем Replace Component и базе ищем замену.



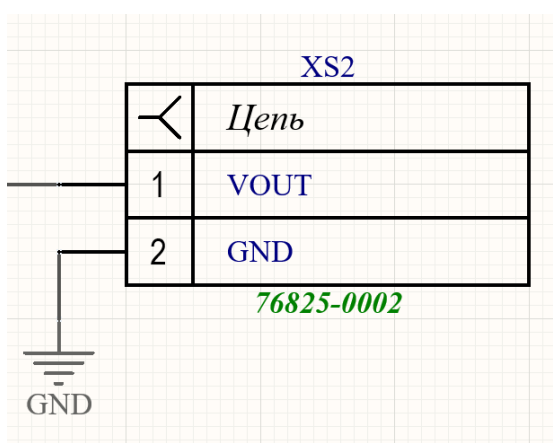
При замене сбрасываются заполненные параметры NetX. Т.к. они изменены относительно базового исполнения, то отмечаются выделенным цветом, как определено в настройках отображения переменных данных выше.



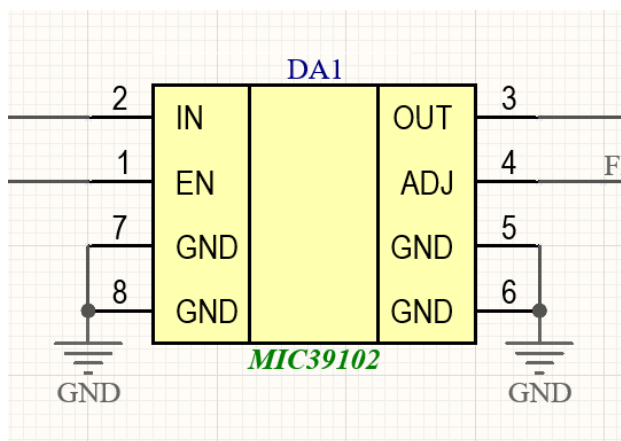
Щелкнув ДЛКМ по изменённому параметру можно снять вариацию относительно базового исполнения (галка Varied Value).



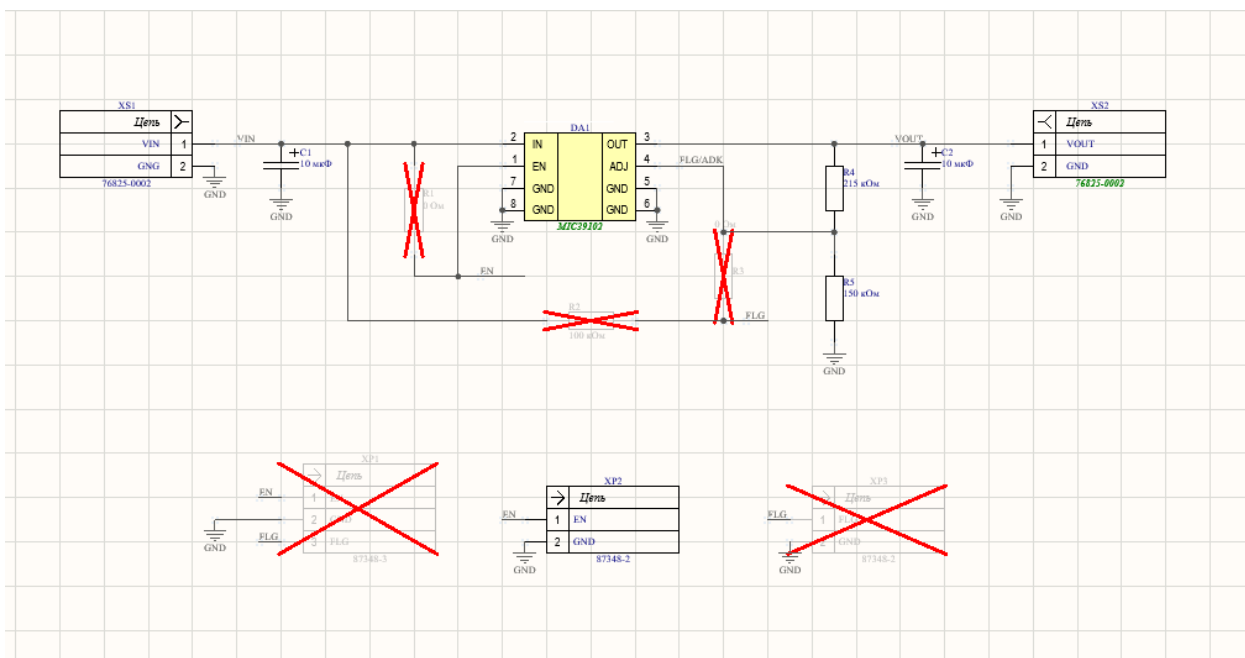
При этом параметр Comment, заполненный как = PartNumber, останется измененным.




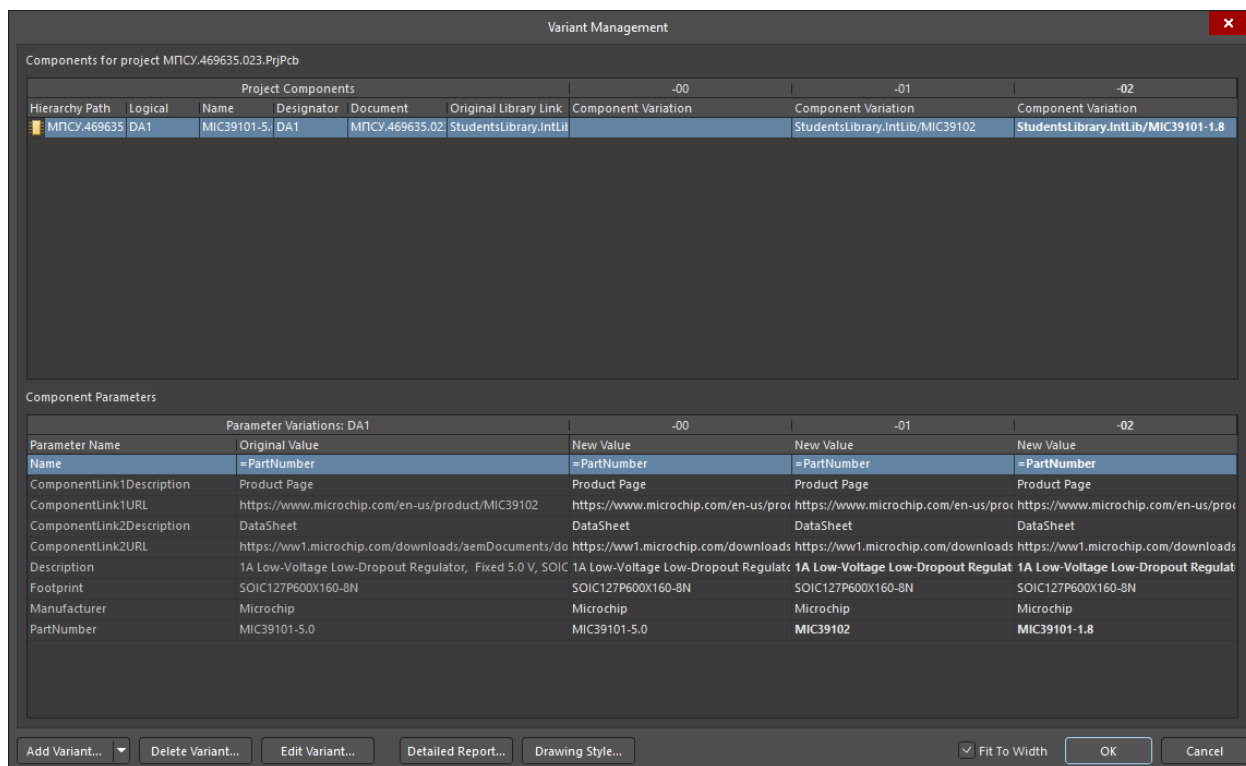
Также можно выполнить замену компонента по ПКМ – Part Actions – Choose Alternate Part.



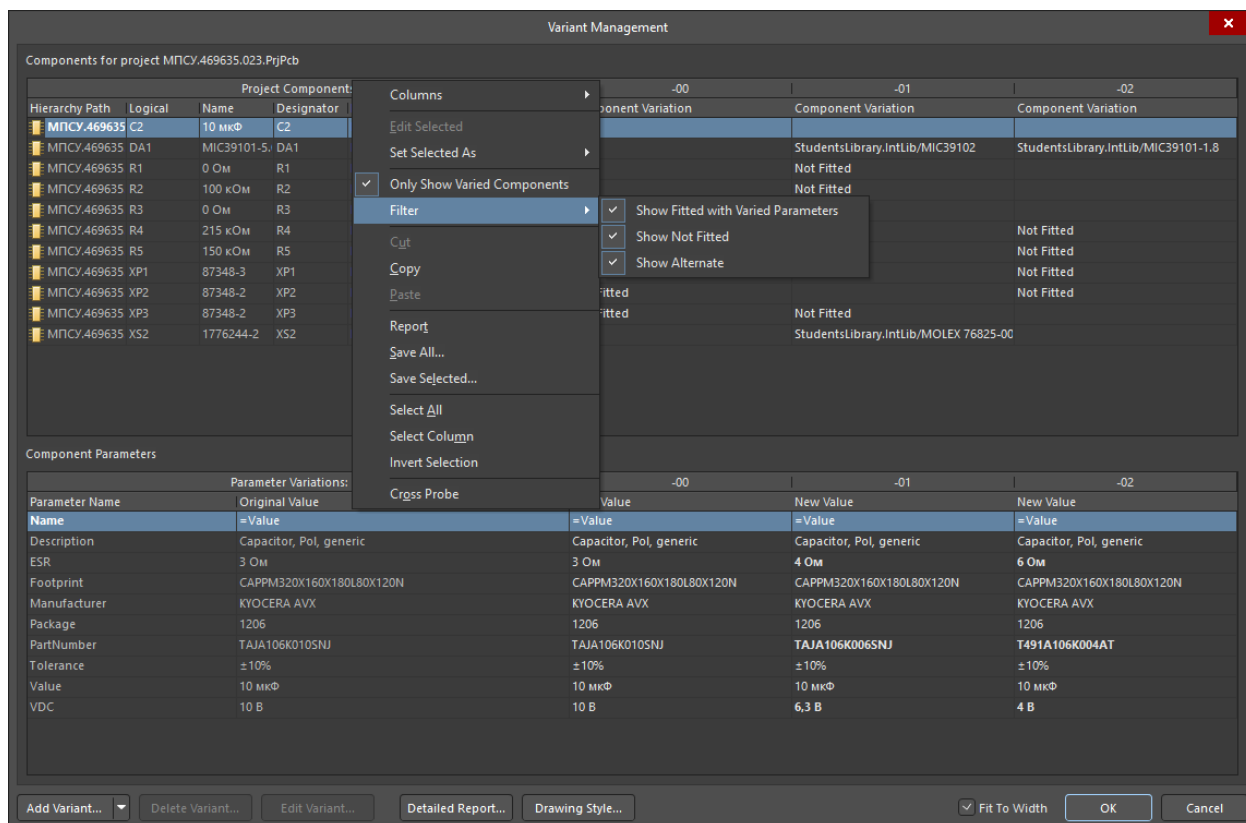
В исполнении «-01» также нужно отключить R1, R2, R3, XP1 и XP3. Параметры C2 в исполнении «-01» были настроены ранее через менеджер исполнений.



В режиме редактирования исполнений по кнопке Edit Component Variation  можно вызвать окно менеджера исполнений только для выбранного компонента. При этом, при нахождении в исполнении будет показан только выбранный компонент только в текущем исполнении. В режиме No variations будет показан выбранный компонент во всех исполнениях.



После работы в исполнении можно вывести окно менеджера исполнений, в котором будут показаны все изменения компонентов в исполнениях. По ПКМ доступны фильтры, позволяющие выделить компоненты, отличающиеся в исполнениях.



Также из окна менеджера исполнений доступна генерация html-отчета по исполнениям по кнопке Detailed Report.

Variant Report

Date: 08.12.2023
Time: 13:34:06
Elapsed 00:00:00
Time:

Variations

Physical	Document	Parameter Name	Original Value	-00	-01	-02
C1	МПСУ.469635.02393.SchDoc		Fitted	Fitted	Fitted	Fitted
		Comment	10 мкФ	10 мкФ	10 мкФ	10 мкФ
		Component Kind	Standard	Standard	Standard	Standard
		Description	Capacitor, Pol, generic	Capacitor, Pol, generic	Capacitor, Pol, generic	Capacitor, Pol, generic
		ESR	3 Ом	3 Ом	3 Ом	3 Ом
		Footprint	CAPPM320X160X180L80X120N	CAPPM320X160X180L80X120N	CAPPM320X160X180L80X120N	CAPPM320X160X180L80X120N
		Ibis Model				
		Library Name	StudentsLibrary.IntLib	StudentsLibrary.IntLib	StudentsLibrary.IntLib	StudentsLibrary.IntLib
		Library Reference	CapacitorPol	CapacitorPol	CapacitorPol	CapacitorPol
		Manufacturer	Vishay	Vishay	Vishay	Vishay
		Package	1206	1206	1206	1206
		PartNumber	293D106X9016A2TE3	293D106X9016A2TE3	293D106X9016A2TE3	293D106X9016A2TE3
		PCB3D				
		Pin Info				
		Signal Integrity				
		Simulation				
		Tolerance	±10%	±10%	±10%	±10%
		Value	10 мкФ	10 мкФ	10 мкФ	10 мкФ

Контроль состава исполнений с применением ActiveBOM

Документ ActiveBOM позволяет проконтролировать состав ЭКБ в исполнениях.

В режиме документа Base View при переключении между исполнениями показывается состав компонентов в текущем исполнении.

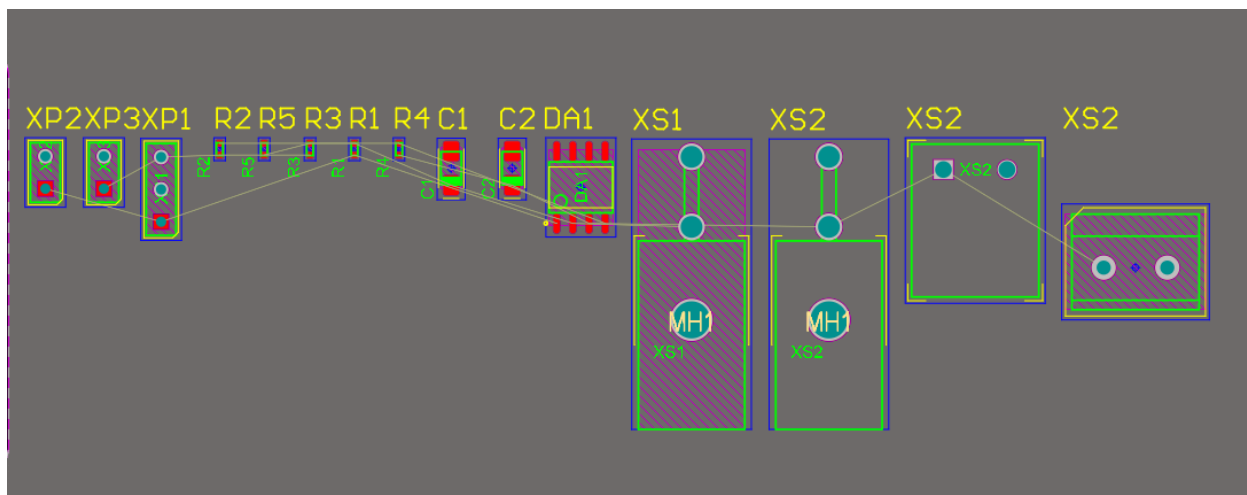
Item Details							
	Variant	Line #	Manufacturer	PartNumber	Name	Designator	Quantity
1	-00	2	Vishay	293D106X9016A2TE3	10 мкФ	C1	1
2	-00	5	KYOCERA AVX	TAJA106K010SNJ	10 мкФ	C2	1
3	-00	8	Microchip	MIC39101-5.0	MIC39101-5.0	DA1	1
4	-00	11	Yageo	RC0402FR-070RL	0 Ом	R1	0
5	-00	13	Yageo	RC0402JR-07100KL	100 кОм	R2	1
6	-00	11	Yageo	RC0402FR-070RL	0 Ом	R3	1
7	-00	20	Yageo	RC0402FR-07215KL	215 кОм	R4	0
8	-00	19	Yageo	RC0402FR-07150KL	150 кОм	R5	0
9	-00	26	TE Connectivity	87348-3	87348-3	XP1	1
10	-00	22	TE Connectivity	87348-2	87348-2	XP2, XP3	0
11	-00	3	Molex	76825-0002	76825-0002	XS1	1
12	-00	28	TE Connectivity	1776244-2	1776244-2	XS2	1

В режиме документа Consolidated View можно включить отображение столбцов вида «-VariantName -Qty», где будет показано разложение компонентов по исполнениям.

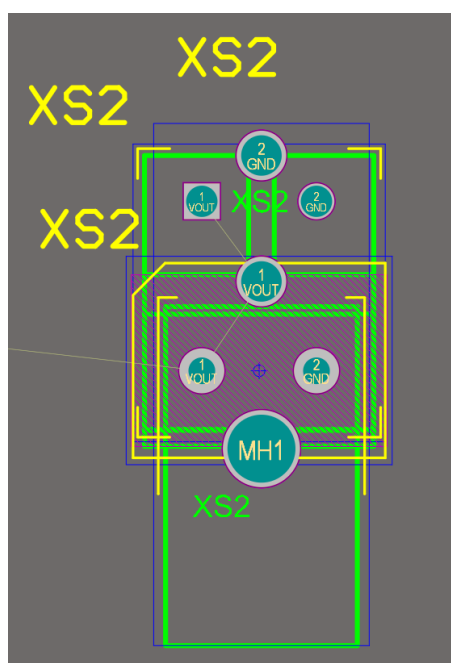
Item Details							
					Variants		
	Line #	Designator	PartNumber	Manufacturer	-00 - Qty	-01 - Qty	-02 - Qty
1	2	C1	293D106X9016A2TE3	Vishay	1	1	1
2		C2	T491A106K004AT	KYOCERA AVX	0	0	1
3		C2	TAJA106K006SNJ	KYOCERA AVX	0	1	0
4	5	C2	TAJA106K010SNJ	KYOCERA AVX	1	0	0
5		DA1	MIC39101-1.8	Microchip	0	0	1
6	8	DA1	MIC39101-5.0	Microchip	1	0	0
7		DA1	MIC39102	Microchip	0	1	0
8	11	R1	RC0402FR-070RL	Yageo	0	0	1
9	13	R2	RC0402JR-07100KL	Yageo	1	0	1
10	11	R3	RC0402FR-070RL	Yageo	1	0	1
11	20	R4	RC0402FR-07215KL	Yageo	0	1	0
12	19	R5	RC0402FR-07150KL	Yageo	0	1	0
13	26	XP1	87348-3	TE Connectivity	1	0	0
14	22	XP2	87348-2	TE Connectivity	0	1	0
15	22	XP3	87348-2	TE Connectivity	0	0	1
16	3	XS1	76825-0002	Molex	1	1	1
17	3	XS2	76825-0002	Molex	0	1	0
18		XS2	282812-3	TE Connectivity	0	0	1
19	28	XS2	1776244-2	TE Connectivity	1	0	0

Разводка топологии

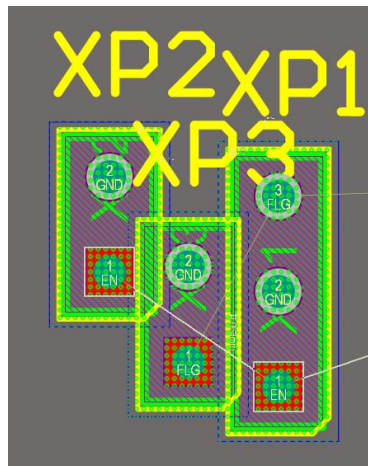
При формировании нетлиста в топологию будут перенесены все компоненты вне зависимости от наличия в исполнениях. Плюс для компонентов с режимом замен Alternate Part с заменой футпринта будут добавлены отличающиеся посадочные места для всех исполнений. В примере побудет добавлено все три посадочных места для XS2.



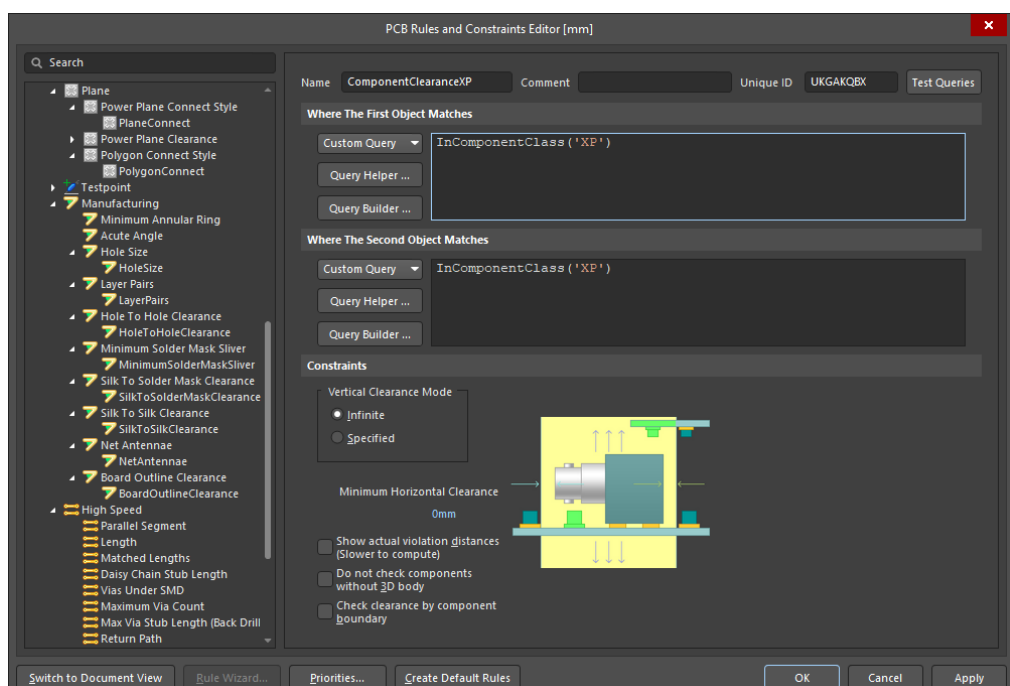
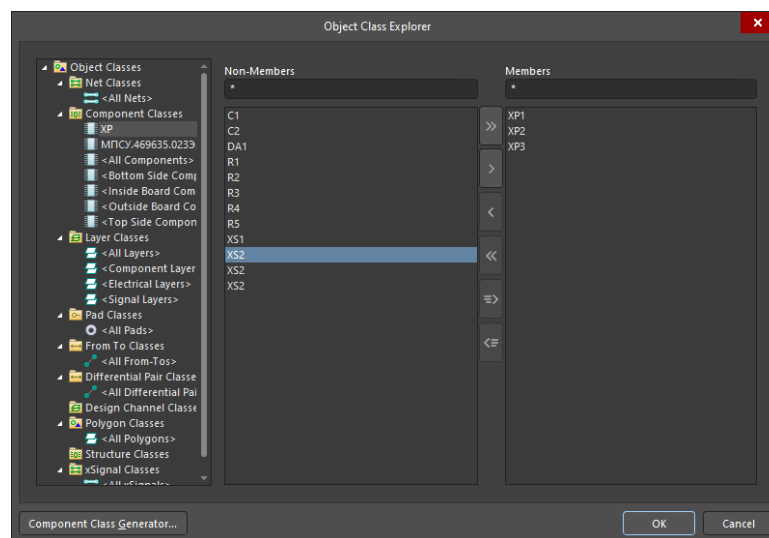
Для таких компонентов не будет генериться ошибка Component Clearance при их наложении друг на друга, т.к. они считаются одним компонентом.



А вот для группы штырьковых разъемов XP1, XP2 и XP3 ошибка генериться будет, хотя они и не встречаются одновременно в одном исполнении.

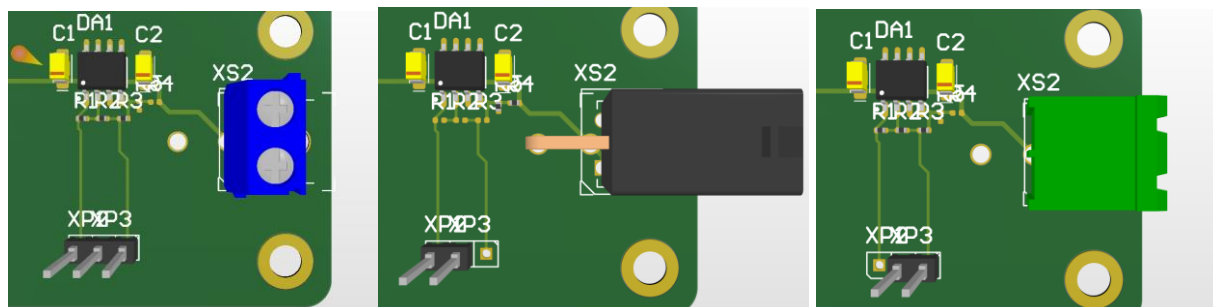


Чтобы эта ошибка не отвлекала, добавим все эти разъемы в один класс компонентов «XP» и разрешим компонентам в пределах этого класса накладываться друг на друга.

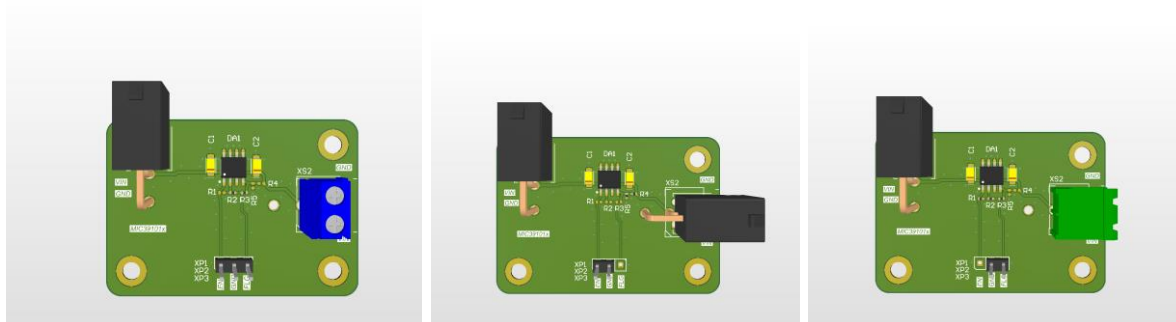


В целом разводка топологии идет по обычным правилам. При этом нужно помнить о планируемых составах печатного узла в исполнениях, чтобы разумно располагать компоненты и цепи в зависимости от исполнений.

При переключении исполнений 3D-тела отключённых или измененных компонентов будут спрятаны. При этом металлизация и остальная графика будет показываться всегда.



При подготовке шелкографии необходимо убедиться, что она является читаемой. У компонентов с заменой посадочного места при их наложении друг на друга нужно убедиться, что отображается позиционное обозначение только один раз и он не закрывается корпусами в различных исполнениях. В местах, где разные компоненты накладываются друг на друга в разных исполнениях, тоже нужно добиться понятности и читаемости. Лучше всего это видно в режиме 3D.



Выпуск группового комплекта конструкторский документации

Перед выпуском КД на печатный узел надо определиться, какие документы могут быть выполнены групповым способом, какие будут одинаковые для всех исполнений, а какие придется выполнять единичными для каждого исполнения. С учётом поддерживаемых режимов исполнений в Altium Designer получаются следующие возможные варианты:

1. Спецификация на печатный узел.

Выпускается один документ групповым способом. Обозначение одно на печатный узел (Например, МПСУ.467716.001). Может быть выполнена одним из четырех вариантов [20]. Расширение GOST BOM поддерживает генерацию групповых спецификации по варианту А, с выделением раздела с постоянными данными в начале спецификации и с переменными данными для каждого исполнения после.

2. Ведомость покупных изделий.

Как правило выпускается один документ. В основном случае, когда исполнения отличаются составом ЭКБ (стандартный режим исполнений в Altium Designer), то имеет форму групповой ведомости покупных [20]. В редком случае, когда исполнения не отличаются составом покупных изделий, а только шелкографией и паяльной маской, то вообще упрощается до основной формы. Обозначение одно на печатный узел (Например, МПСУ.467716.001ВП).

3. Схема электрическая принципиальная.

В случае, когда внешний вид схемы в исполнениях не меняется, то выпускается один документ с основным обозначением без упоминания исполнений. С учетом того, что на схемах не обязательно показывать все параметры компонентов (у нас как правило, это PartNumber и Value) и отображение этих параметров можно убрать, а также не устанавливаемые и так перечисляются в перечне элементов к схеме, то можно сделать так, что схема в исполнениях вообще не меняется. Тогда обозначение одно на печатный узел (Например, МПСУ.467716.001ЭЗ).

В случае, когда внешний вид схемы все-таки меняется в исполнениях из-за компонентов с режимом замен Alternate Part и изменяющимся видом УГО, то на каждое внешне отличающееся исполнение придется выпускать свой

единичный документ. В этом случае обозначения документов схемы у каждого исполнения свои (МПСУ.467716.001-ххЭЗ).

4. Перечень элементов.

Как правило выпускается один документ. В основном случае, когда исполнения отличаются составом ЭКБ (стандартный режим исполнений в Altium Designer), то имеет форму группового перечня элементов с разделением постоянных и переменных данных [20]. В редком случае, когда исполнения не отличаются составом покупных изделий, а только шелкографией и паяльной маской, то вообще упрощается до основной формы. Обозначение одно на печатный узел (Например, МПСУ.467716.001ПЭЗ).

5. Сборочный чертеж на печатный узел

Стараются выпускать единый документ. Отличия исполнений показывают рисунками с отдельными видами, таблицами исполнений и указаниями в ТТ в пределах сборочного чертежа [20]. Обозначение одно на печатный узел (Например, МПСУ.467716.001СБ).

В редких случаях выпускают единичные сборочные чертежи на печатные узлы для отдельных исполнений. Но в этом случае стоит рассмотреть вариант выделения такого исполнения в отдельное изделие, т.к. теряется смысл работы с исполнениями через формирование групповых документов и чертежей.

Документы на печатную плату.

С учетом поддерживаемых в Altium Designer режимов исполнений, то основной случай - это когда печатная плата одинаковая для всех исполнений. И тогда никаких исполнений на печатную плату нет, документы на нее выполняются обычным способом.

В случае, если реализована поддержка различий в шелкографии или в паяльной маске, то в исполнениях печатная плата может меняться. И тогда для многослойной печатной платы:

- Спецификация одна на печатную плату и выполнена групповым способом (например, МПСУ.687253.001).

- Т.к. в этом случае для исполнений неизбежно отличаются данные конструкции (гербер, МПСУ.687253.001-ххТ5М), то они генерируются отдельно

единичными документами для каждого исполнения. Их нет возможности сделать групповыми для исполнений.

- В данных проектирования нет смысла перечислять исполнения, т.к. назначение слоев в T5M не меняется и данные проектирования стоит выполнять обычным способом без упоминания исполнений (МПСУ.687253.001Д1).

- Сборочный чертеж на печатную плату нужно постараться сделать групповым. Т.к. отличаются исполнения только ссылкой на различные исполнения -ххТ5М, а также с учетом того, что можно не показывать послойное представление, то в чертеж достаточно вставить таблицу исполнений, в которой указать соответствие нужного исполнения и файла данных конструкции и дать в ТТ ссылку на эту таблицу. Документ при этом получается один (МПСУ.687253.001СБ).

Для одно- и двуслойной печатной платы все аналогично, кроме того, что вместо сборочного чертежа оформляется групповой чертеж детали аналогичного состава, а данные конструкции уходят вверх в переменные данные спецификации на печатный узел.

Кроме того, еще нужно не забыть разложить исполнения печатной платы по переменным данным спецификации на печатный узел.

Создадим комплект конструкторской документации на разработанный выше печатный узел с применением расширения GOST BOM [13] и редактора чертежей Draftsman.

Начинать лучше со спецификации. Но перед ее генерацией необходимо определиться с видом каждого конструкторского документа и разложением их по исполнениям:

1. Спецификация на печатный узел. Выполняется один документ групповым способом по варианту А. Обозначение МПСУ.469635.023.

2. Перечень элементов. Выполняется один документ групповым способом. Обозначение МПСУ.469635.023ПЭЗ.

3. Ведомость покупных. Выполняется один документ групповым способом. Обозначение МПСУ.469635.023ВП.

4. Схема электрическая принципиальная. Из-за изменения внешнего вида УГО DA1 не удастся сделать одинаковый документ на все исполнения,

как было бы идеально. Групповой документ, например, со вставкой в схему рисунков отличий в исполнениях, тоже не выйдет выполнить автоматизированным способом. Поэтому для каждого исполнения проще выпустить единый документ. Обозначения МПСУ.469635.023ЭЗ, МПСУ.469635.023-01ЭЗ и МПСУ.469635.023-02ЭЗ для каждого из исполнений.

5. Сборочный чертеж на печатный узел. Т.к. устанавливаемые компоненты разные в различных исполнениях, то одинаковый чертеж сделать не выйдет. Но при этом выпускать отдельные сборочные чертежи для каждого из исполнений тоже избыточно. Будет выполнен в групповом виде. Обозначение МПСУ.469635.023СБ.

Печатная плата одинаковая для всех исполнений, является двуслойной. Обозначение МПСУ.758473.023. Будем считать, что ее чертеж детали выполнен на формате А3. Она и ее документы (МПСУ.758473.023Т5М и МПСУ.758473.023Д1) попадут в постоянные данные спецификации МПСУ.469635.023.

Спецификация на печатный узел.

Имеет обозначение МПСУ.469635.023. Перед генерацией спецификации в меню Report – GOST BOM - Documentation при добавлении документов нужно указать, какие документы в какие исполнения входят. В соответствии со списком выше все документы, кроме схемы электрической принципиальной МПСУ.469635.023ЭЗ, входят во все исполнения. Исполнения схемы электрической принципиальной необходимо разложить по исполнениям.

ЭКБ при этом будет разобрана по исполнениям автоматически.

Документация							
Формат	Обозначение	Наименование	Код документа	Примечание	-00	-01	-02
A3	МПСУ.469635.023	Сборочный чертеж (СБ)	СБ		✓	✓	✓
A3	МПСУ.469635.023	Схема электрическая принципиальная (ЭЗ)	ЭЗ		✓	□	□
A3	МПСУ.469635.023-01	Схема электрическая принципиальная (ЭЗ)	ЭЗ		□	✓	□
A3	МПСУ.469635.023-02	Схема электрическая принципиальная (ЭЗ)	ЭЗ		□	□	✓
A4	МПСУ.469635.023	Перечень элементов (ПЭЗ)	ПЭЗ		✓	✓	✓
A3	МПСУ.469635.023	Ведомость покупных изделий (ВП)	ВП		✓	✓	✓
A4	МПСУ.758473.023	Плата печатная. Данные проектирования (Д1)	Д1		✓	✓	✓
	МПСУ.758473.023	Плата печатная. Данные конструкции (Т5М)	Т5М		✓	✓	✓

V

Сгенерированная спецификация будет иметь постоянные данные в начале. В них попадали все документы, кроме схемы электрической принципиальной, печатная плата, входной разъем XS1, конденсатор C1 и материал диэлектрика. После будут переменные данные для каждого из исполнений. Для не устанавливаемых компонентов их наименование будет заменено на «Не устанавливать» и не будет нумероваться позиция.

[illegible]

Ведомость покупных изделий

Имеет обозначение МПСУ.469635.023ВП. После генерации спецификации можно сгенерировать ведомость покупных. В столбцах «Кол на исполн.» указывается, в какое исполнение какой элемент входит.

Konstantin

Формат А 3

Лист: 3/3 МПС 469635 023	По именованию	Наименование	Кол	Примечание
		Конденсаторы		
	С1	10 мкФ±10% 16 В 1206 2930706х9016A2TE3 Vishay	1	
Сбор №		Резисторы		
	XS1	76825-0002 Motex	1	
Лист: 4/3				
Всего листов №				
Лист: 5/3				
Лист: 6/3				
Лист: 7/3				
Лист: 8/3				
Лист: 9/3				
Лист: 10/3				
Лист: 11/3				
Лист: 12/3				
Лист: 13/3				
Лист: 14/3				
Лист: 15/3				
Лист: 16/3				
Лист: 17/3				
Лист: 18/3				
Лист: 19/3				
Лист: 20/3				
Лист: 21/3				
Лист: 22/3				
Лист: 23/3				
Лист: 24/3				
Лист: 25/3				
Лист: 26/3				
Лист: 27/3				
Лист: 28/3				
Лист: 29/3				
Лист: 30/3				
Лист: 31/3				
Лист: 32/3				
Лист: 33/3				
Лист: 34/3				
Лист: 35/3				
Лист: 36/3				
Лист: 37/3				
Лист: 38/3				
Лист: 39/3				
Лист: 40/3				
Лист: 41/3				
Лист: 42/3				
Лист: 43/3				
Лист: 44/3				
Лист: 45/3				
Лист: 46/3				
Лист: 47/3				
Лист: 48/3				
Лист: 49/3				
Лист: 50/3				
Лист: 51/3				
Лист: 52/3				
Лист: 53/3				
Лист: 54/3				
Лист: 55/3				
Лист: 56/3				
Лист: 57/3				
Лист: 58/3				
Лист: 59/3				
Лист: 60/3				
Лист: 61/3				
Лист: 62/3				
Лист: 63/3				
Лист: 64/3				
Лист: 65/3				
Лист: 66/3				
Лист: 67/3				
Лист: 68/3				
Лист: 69/3				
Лист: 70/3				
Лист: 71/3				
Лист: 72/3				
Лист: 73/3				
Лист: 74/3				
Лист: 75/3				
Лист: 76/3				
Лист: 77/3				
Лист: 78/3				
Лист: 79/3				
Лист: 80/3				
Лист: 81/3				
Лист: 82/3				
Лист: 83/3				
Лист: 84/3				
Лист: 85/3				
Лист: 86/3				
Лист: 87/3				
Лист: 88/3				
Лист: 89/3				
Лист: 90/3				
Лист: 91/3				
Лист: 92/3				
Лист: 93/3				
Лист: 94/3				
Лист: 95/3				
Лист: 96/3				
Лист: 97/3				
Лист: 98/3				
Лист: 99/3				
Лист: 100/3				

МПС 469635 023 ПЗ3

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9111

ЛитЛистЛистов
9

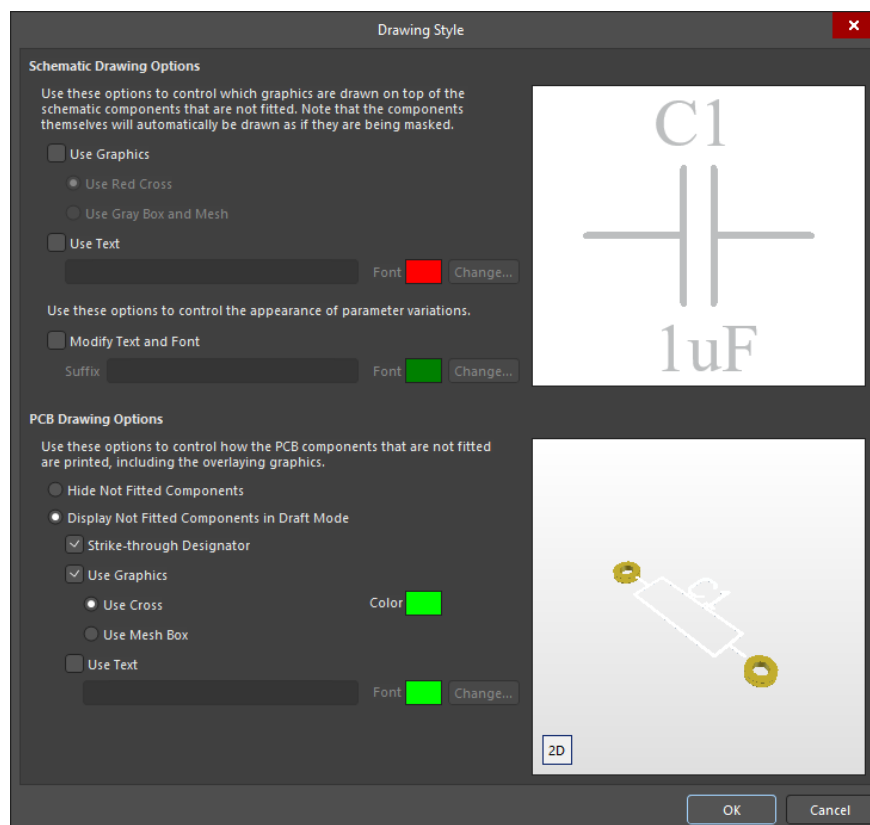
[illegible][illegible][illegible]

Схема электрическая принципиальная

Т.к. внешний вид схемы отличается для каждого из исполнений, то экспортируется тремя единичными документами МПСУ.469635.023ЭЗ,

МПСУ.469635.023-01ЭЗ и МПСУ.469635.023-02ЭЗ для каждого из исполнений.

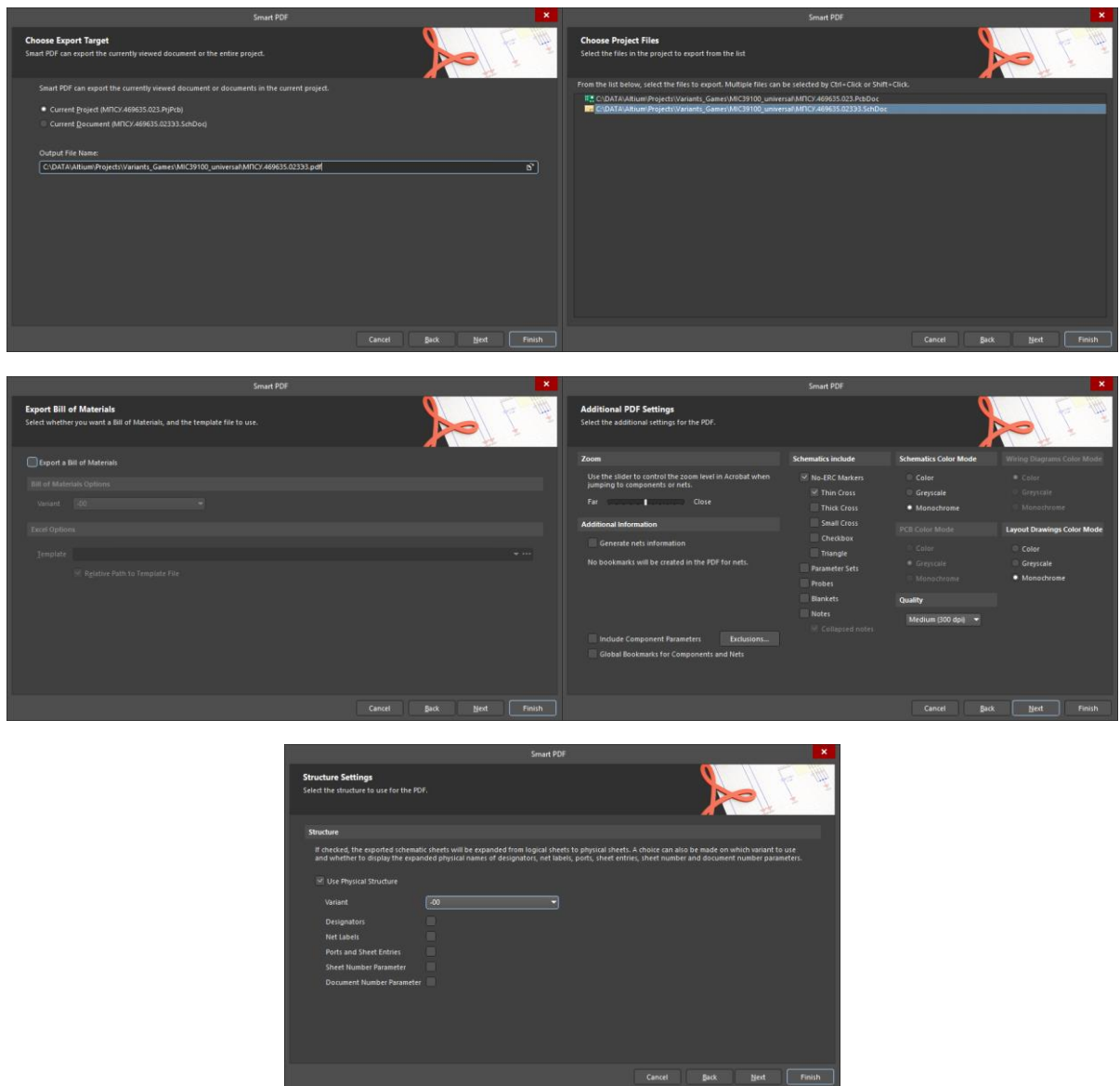
Сначала необходимо войти в менеджер исполнений и по кнопке Drawing Style отключить выделение в схеме измененных или не устанавливаемых компонентов.



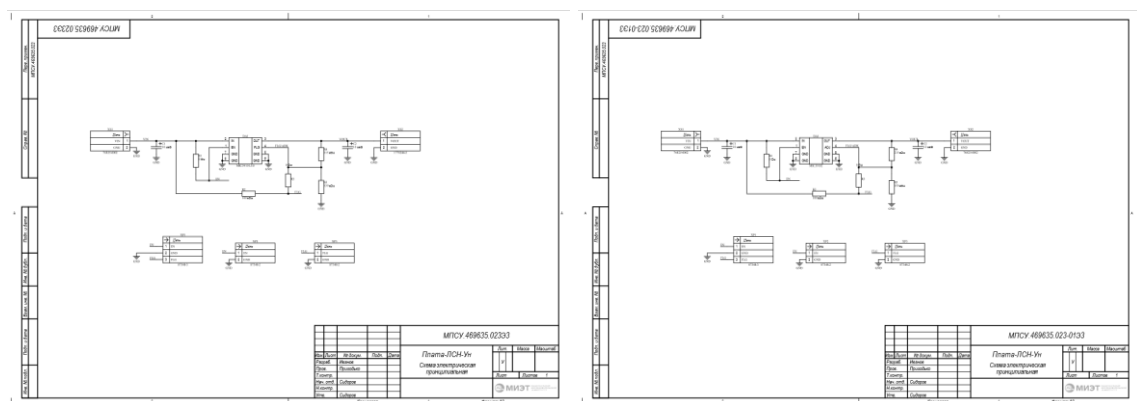
Переопределим в параметрах схемы обозначение документа на специально добавленный параметр VariantOb, чтобы при переключении исполнений, обозначение схемы корректно отображалось в соответствующей графе основной надписи.

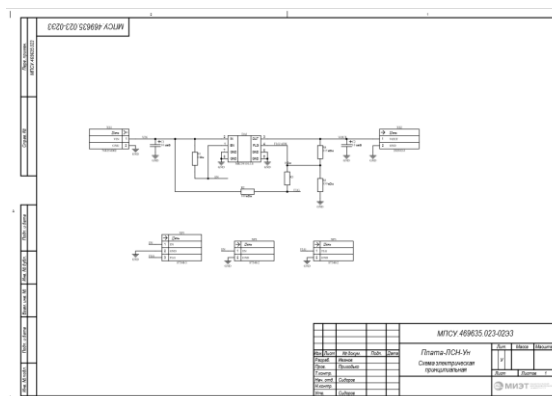
Обозначение документа	=VariantOb
-----------------------	------------

Запускаем SmartPDF (File – Smart PDF) и экспортируем в pdf схему три раза для каждого исполнения. Затенение не устанавливаемых компонентов отключать при печати нельзя, поэтому будем использовать режим печати Monochrome. Дойдя до вкладки Structure, выбирается исполнение, которое печатается.



Все три схемы экспортированы независимыми документами.





Сборочный чертеж на печатный узел.

Имеет обозначение МПСУ.469635.023СБ. Перед тем, как составлять групповой чертеж, необходимо определиться, какие элементы чертежа являются различными в исполнениях. В текущем проекте это:

- основные виды, т.к. в различных исполнениях устанавливается различный по составу и по габаритам набор ЭКБ;
- для каждого исполнения экспортирована своя схема и поэтому ссылки на электрическую схему тоже должны отличаться;
- и в различных исполнениях устанавливается различный по виду выходной разъем XS2, т.е. будет отличаться его установка;
- дополнительно, можно еще показать изометрические виды для исполнений.

Для указания различий в исполнениях в чертежах служит таблица исполнений. Форма у нее может быть довольно произвольной, главное – она должна давать полное, но при этом компактное понимание различий в исполнениях. Преимущественно она должна располагаться на первом листе. Если же на первый лист не помещается, то в ТТ добавляется указание листа, где находится таблица исполнений.

Исходя из различий в исполнениях основные виды, установку XS2 и изометрические виды необходимо разнести по рисункам. Соответственно, можно определить вид таблицы исполнений в следующем виде. Первый столбик «Обозначение» означает исполнение. Столбик «Рис.» показывает, на каком рисунке находится основная информация сборочного чертежа – это основной вид. Установка XS2 в базовом исполнении и «-02» похожи, поэтому их выведем на один рисунок 4. И еще три рисунка выделим для изометрических видов, которые различны в исполнениях.

Обозначение	Рис.	Схема электрическая принципиальная	Установка XS2 Рис.	Изометрический вид Рис.
МПСУ.469635.023	1	МПСУ.469635.023Э3	4	6
-01	2	МПСУ.469635.023-01Э3	5	7
-02	3	МПСУ.469635.023-02Э3	4	8

Также в отдельных пунктах ТТ нужно дать указание, что смотреть в таблице исполнений.

1 Размеры для справок

2 Электромонтаж вести в соответствии схемой электрической принципиальной по таблице исполнений

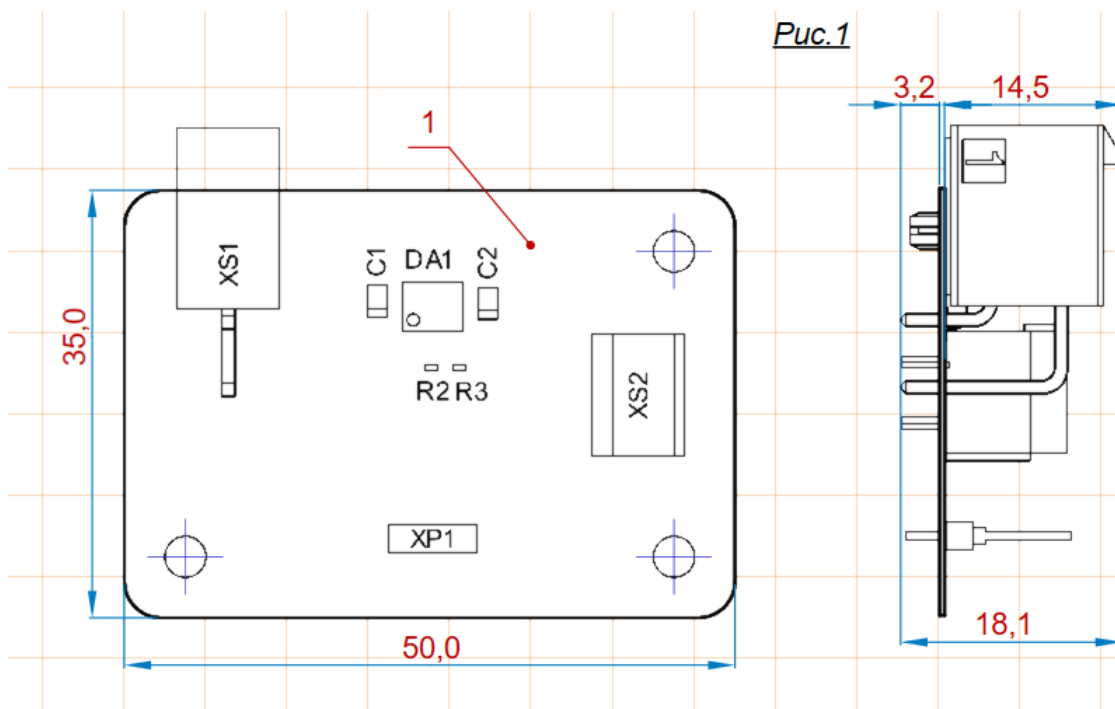
3 Припой ПОС-61 ГОСТ 21930-76. Не допускается попадание припоя на места, вскрытые от маски и контакты соединителей

4 Термоклей STARS-922

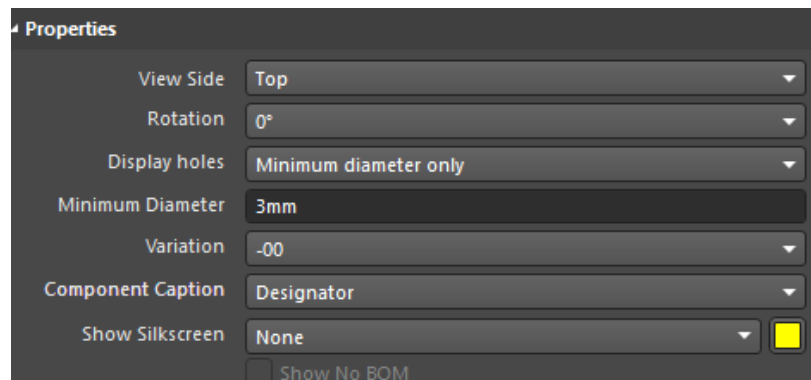
5 Установка XS2 по таблице исполнений

6 Остальные ТТ по ОСТ 4 ГО.070.015

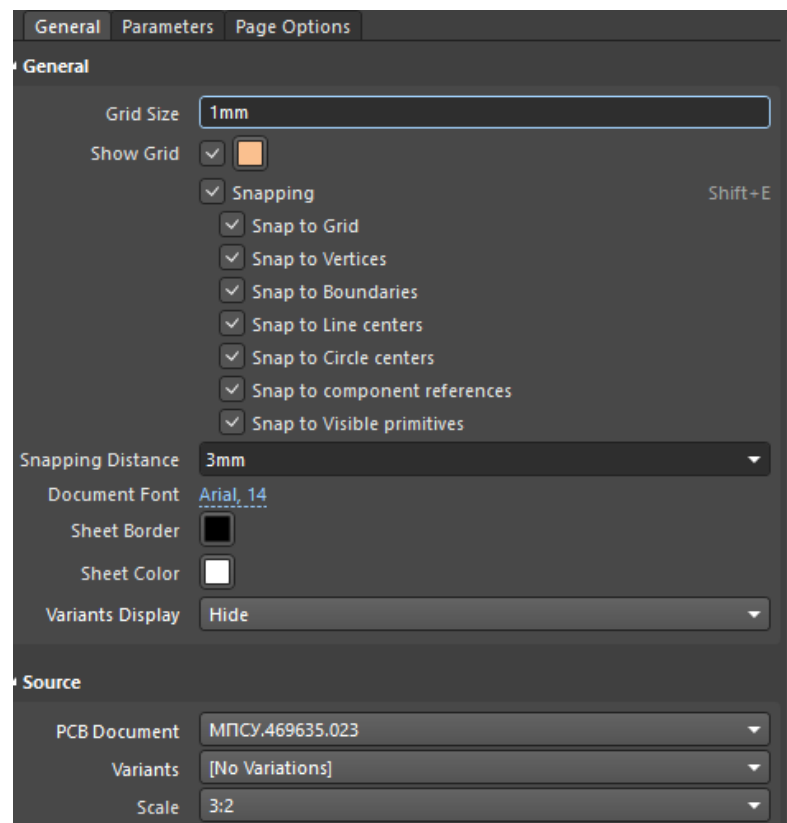
При размещении основных видов, их надо будет подписывать как Рис.1. Т.к. ставятся парные виды, то подпись будем менять на нужную у одного и прятать у второго.



При этом, чтобы отображались только устанавливаемые в этом исполнении компоненты, в параметрах вида нужно выбрать соответствующее исполнение (вкладка General, группа Properties, выпадающий список Variation).

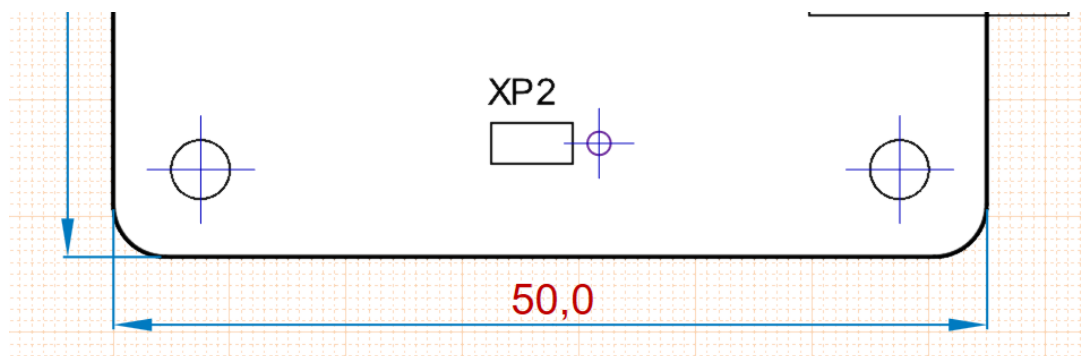


Чтобы не устанавливаемые компоненты скрывались, а не отображались заштрихованными, нужно в настройках документа Draftsman указать это. На вкладке General в группе General в выпадающем списке Variants Display = Hide. При этом, т.к. делается групповой сборочный чертеж для всех исполнений, как источник нужно указывать Variants = [No Variations].

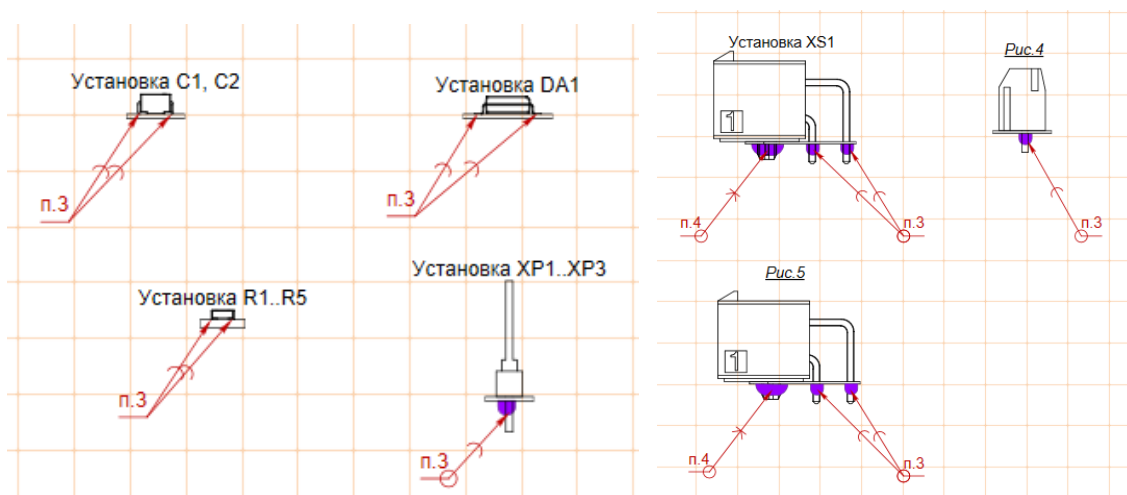


С основными видами на исполнения «-01» и «-02» в текущем проекте есть особенность. При проектировании печатаной платы мы совместили по отверстиям трехштырьковую вилку ХР1 и две двухштырьковые вилки ХР2 и ХР3. И без дополнительных указаний не очень понятно, в какие два из трех отверстий ставить двухштырьковые вилки ХР2 и ХР3 в своих исполнениях. Чтобы монтажник не ошибся, можно еще на основном виде показать соседнее неиспользуемое отверстие. Чтобы это можно было легко сделать, нужно сначала в настройках сборочных видов нужно включить указание всех

отверстий в сквозных падах (вкладка General, группа Properties, Display holes = Pads only), затем поверх этого отверстия дорисовать графику окружностью (Place - Circle) и метку центра (Place – Annotations – Center Mark), и затем вернуться к отображению только больших монтажных отверстий (вкладка General, группа Properties, Display holes = Minimum diameter only и подобрать значение Minimum Diameter).



При создании установок придется ввести два рисунка для XS2. При этом по состоянию на версию Altium Designer 23, установочные виды генерируется только для базового исполнения. Если в текущем проекте среди установок компонентов базового исполнения нет подходящей картинки, то для компонентов в режиме Alternate Part установку может не выйти создать штатными средствами Draftsman. Придется в стороннем САПР создавать эту установку и как графику импортировать ее в Draftsman. В проекте эту проблему удалось обойти тем, что установка XS2 в исполнении «-02» похожа на установку в исполнении «-00». А в исполнении «-01» установка XS2 такая же, как у XS1.



Также добавим изометрические виды для исполнений. В параметрах изометрических видов также есть настройка выбора исполнения в группе Properties выпадающий список Variation.

Лист 1

МПСУ.469635.023СБ

Рис. 1

Рис. 1

Рис. 2

Рис. 2

1 Размеры для справок

2 Электромонтаж вести в соответствии со схемой электрической принципиальной по таблице исполнений

3 Припой ПОС-61 ГОСТ 21930-76. Не допускается попадание припоя на места, закрытые от маски и контакты соединителей

4 Термоклеи STARS-922

5 Установка XS2 по таблице исполнений

6 Остальные ТТ по ОСТ 4 ГО.070.015

Обозначение	Рис.	Схема электрическая принципиальная	Установка XS2 Рис.	Изометрический вид Рис.
МПСУ.469635.023	1	МПСУ.469635.023СЗ	4	6
-01	2	МПСУ.469635.023-01СЗ	5	7
-02	3	МПСУ.469635.023-02СЗ	4	8

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разработ	Исполн			
Проверил	Эксперт			
Т. контр.				
Сам.Дир.	Работн			
Н. контр.				
Упр.				

МПСУ.469635.023СБ

Плата-ЛСН-Ун

Сборочный чертёж

Лит	Масса	Масштаб
у		3:2

Лист	1	Листов	2

Литература

1. Лопаткин, А. Проектирование печатных плат в Altium Designer. [Электронный ресурс] — Электрон. дан. — М. : ДМК Пресс, 2016. — 400 с. — Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/93565>
2. Суходольский В.Ю. Altium Designer: сквозное проектирование функциональных узлов РЭС на печатных платах: учеб. Пособие. - 2-е изд., перераб. и доп. – СПб.: БХВ-Петербург, 2014. – 560 с.
3. Желобаев А.Л. Методические указания к лабораторным работам по курсу «САПР Altium Designer»: М.:МИЭТ, 2019 – 104с.
4. Приходько Д.В., Айрапетян А.А. Учебно-методическое пособие по работе с библиотеками в Altium Designer: учеб. Пособие. М.: МИЭТ, 2022 – 180 с.

Перечень ресурсов сети «Интернет»

5. Репозиторий автора с учебной библиотекой
<https://github.com/dee3mon/StudentsLibraryGIT>
6. Репозиторий автора с учебными материалами по Altium Designer
<https://github.com/dee3mon/altium-methodic>
7. Репозиторий автора с шаблонами для Altium Designer
<https://github.com/dee3mon/altium-templates>
8. Онлайн-документация Altium Designer
<https://www.altium.com/documentation/altium-designer>
9. Онлайн-документация Altium Designer, раздел Supporting Design Variants in Altium Designer <https://www.altium.com/ru/documentation/altium-designer/design-variants>
10. Тематический форум electronix.ru, раздел «Разрабатываем ПП в САПР - PCB development», <https://electronix.ru/forum/index.php?showforum=17>, доступно после свободной регистрации
11. Сайт Eurointech, раздел «Учебные материалы»
<http://www.eurointech.ru/education/selftraining/>
12. Общероссийский классификатор изделий и конструкторских документов ОК 012-93 <http://classinform.ru/ok-eskd/kod>

13. Инструкция по работе с расширением GOST BOM
https://resources.altium.com/sites/default/files/2020-12/GOSTBOM_2_0_%D0%A0%D1%83%D0%BA%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B4%D1%81%D1%82%D0%B2%D0%BE_%D0%BF%D0%BE%D0%BB%D1%8C%D0%B7%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D1%82%D0%B5%D0%BB%D1%8F.pdf

14. ГОСТ 2.102-2013 ЕСКД. Виды и комплектность конструкторских документов <https://docs.cntd.ru/document/1200106862>

15. ГОСТ 2.106-2019 ЕСКД. Текстовые документы <https://docs.cntd.ru/document/1200164121>

16. ГОСТ 2.109-73 ЕСКД. Основные требования к чертежам <https://docs.cntd.ru/document/1200001992>

17. ГОСТ 2.104-2006 ЕСКД. Основные надписи <https://docs.cntd.ru/document/1200045443>

18. ГОСТ 2.301-68 ЕСКД. Форматы <https://docs.cntd.ru/document/1200006582>

19. ГОСТ 2.201-80 ЕСКД. Обозначение изделий и конструкторских документов <http://docs.cntd.ru/document/1200008241>

20. ГОСТ 2.113-75 ЕСКД. Групповые и базовые конструкторские документы <https://docs.cntd.ru/document/1200001994>

21. ГОСТ 2.004-88 ЕСКД. Общие требования к выполнению конструкторских и технологических документов на печатающих и графических устройствах вывода ЭВМ <https://docs.cntd.ru/document/1200001987>

22. ГОСТ 2.701-2008 ЕСКД. Схемы. Виды и типы. Общие требования к выполнению <http://docs.cntd.ru/document/1200069439>

23. ГОСТ 2.123-93 ЕСКД. Комплектность конструкторских документов на печатные платы при автоматизированном проектировании <http://docs.cntd.ru/document/1200001997>

24. ГОСТ Р 53386-2009 Платы печатные. Термины и определения <https://docs.cntd.ru/document/1200074481>

25. ГОСТ 2.417-91 ЕСКД. Платы печатные. Правила выполнения чертежей <https://docs.cntd.ru/document/1200006934>

26. ГОСТ 2.307-2011 ЕСКД. Нанесение размеров и предельных отклонений <https://docs.cntd.ru/document/1200086238>

27. ОСТ 4 ГО.070.015 Сборочные единицы радиоэлектронной аппаратуры. Общие технические требования <https://docplan.ru/Data2/1/4293752/4293752375.pdf>

28. ГОСТ 2.305-2008 ЕСКД. Изображения - виды, разрезы, сечения <https://docs.cntd.ru/document/1200069435>

29. ГОСТ 23752-79 Платы печатные. Общие технические условия <https://docs.cntd.ru/document/1200016377>

30. ГОСТ Р 53429-2009 Платы печатные. Основные параметры конструкции <https://docs.cntd.ru/document/1200075977>

31. Линейный стабилизатор Microchip MIC3910x <https://www.microchip.com/en-us/product/MIC39102>

32. Разъем Molex 76825-0002 https://www.molex.com/molex/products/part-detail/pcb_headers/0768250002

33. Танталовые конденсаторы Vishay серии 293D <https://www.vishay.com/en/product/40002/>

34. Разъем TE 1776244-2 <https://www.te.com/usa-en/product-1776244-2.html>

35. Разъем TE 282812-2 <https://www.te.com/usa-en/product-282812-2.html>

36. Чип-резисторы общего назначения типоразмера 0402 Yageo RC0403FR-07xxL https://www.yageo.com/en/Product/Index/rchip/thick_film_general_purpose

37. Штыревой разъем TE 87348-3 <https://www.te.com/usa-en/product-87348-3.html>

38. Штыревой разъем TE 87348-2 <https://www.te.com/usa-en/product-87348-2.html>

Каналы Youtube с видеоуроками по Altium Designer

39. Официальный канал Altium Designer
<https://www.youtube.com/channel/UCpCi8Hpe4nIg4qvy2vpCGNQ>
40. Канал Алексея Сабунина
<https://www.youtube.com/user/SabuninAlexey>
41. Плейлист «Altium Designer» на канале Сергея Булавинова
<https://www.youtube.com/playlist?list=PLgUwXvgNkHqJ3G5UoLGMfHJM2cm4Afdx>
42. Канал официального представительства Altium Russia
https://www.youtube.com/channel/UCvZ_kyV4ATrQfjmtVpuj0LQ
43. Плейлист «Altium Designer» на канале консультационного центра АМКАД <https://www.youtube.com/watch?v=PcStOG7sRqk&list=PLUk9KaCJSP-UAcH1uLu6mOQmDTmZGCND8>
44. Канал Robert Feranec - автора образовательного сообщества Fedevel Academy <https://www.youtube.com/user/matarofe/featured>

Разработчик:

Ст. преподаватель Института МПСУ

Приходько Д.В.