



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL  
INSENERITEADUSKOND  
Virumaa kolledž

**SORTEERIMIS-, PAKENDAMIS- JA  
TRANSPORDIKONVEIERI OHUTUSSÜSTEEMI  
PROJEKTEERIMINE**

**Design of the safety system for the sorting, packaging and  
transportation conveyor**

TOOTMISE AUTOMATISEERIMINE ÕPPEKAVA LÕPUTÖÖ

Üliõpilane: Aleksei Jakovlev

Üliõpilaskood: 178663RDDR

Juhendaja: Sergei Pavlov, lektor

Kohtla-Järve, 2021

## AUTORIDEKLARATSIOON

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

Lõputöö alusel ei ole varem kutse- või teaduskraadi või inseneridiplomit taotletud. Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

"...." ..... 20.....

Autor: .....

/ allkiri /

Töö vastab rakenduskõrgharidusõppe lõputööle/magistritööle esitatud nõuetele

"...." ..... 20.....

Juhendaja: .....

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

"...." ..... 20.....

Kaitsmiskomisjoni esimees .....

/ nimi ja allkiri /



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL  
INSENERITEADUSKOND  
Virumaa kolledž

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ ДЛЯ  
СОРТИРОВОЧНО-УПАКОВОЧНО-ТРАНСПОРТНОГО  
КОНВЕЙЕРА**

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

Студент: Aleksei Jakovlev

Код студента: 178663RDDR

Руководитель: Sergei Pavlov, лектор

Kohtla-Järve, 2021

## **LIHTLITSENTS LÕPUTÖÖ ÜLDSUSELE KÄTTESAADAVAKS TEGEMISEKS JA REPRODUTSEERIMISEKS**

Mina Aleksei Jakovlev (sünnikuupäev:28.01.1991)

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose " Sorteerimis-, pakendamis- ja transpordikonveieri ohutussüsteemi projekteerimine";
  - 1.1. reprodutseerimiseks säilitamise ja elektroonilise avaldamise eesmärgil, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogusse lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;
  - 1.2. üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tallinna Tehnikaülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogu kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.
2. Olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.
3. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta kolmandate isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest ja teistest õigusaktidest tulenevaid õigusi.

# TalTech Inseneriteaduskond Virumaa kolledž

## LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

**Üliõpilane:** Aleksei Jakovlev, 178663RDDR

Õppekava, peeriala: RDDR08/17 Tootmise automatiseerimine

Juhendaja(d): Lektor, Sergei Pavlov, sergei.pavlov@taltech.ee

### Lõputöö teema:

(eesti keeles) Sorteerimis-, pakendamis- ja transpordikonveieri ohutussüsteemi projekteerimine.

(inglise keeles) Design of a safety system for a sorting, packaging and transportation conveyor.

(vene keeles) Проектирование системы безопасности для сортировочно-упаковочно-транспортного конвейера.

### Lõputöö põhieesmärgid:

Lõputöö eesmärk on projekteerimine turvasüsteemi, mis vähendab konveieril töötava personali vigastamise tõenäosust. Ülesanded: hinnata riske, valida seadmeid, koostada elektriskeeme, kirjeldada süsteemi tööpõhimõtet.

### Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Andmete otsimine ja kogumine	31.10.21
2.	Lõputöö kirjutamine	30.11.21
3.	Lõputöö korrigeerimine ja vormistamine	10.12.21
4.	Eelkaitsmine	14.12.21
5.	Lõputöö kaitsmine	

**Töö keel:** Vene

**Lõputöö esitamise tähtaeg:** "20" 12 2021a

**Üliõpilane:** Aleksei Jakovlev

"....."..... 20.....a

/allkiri/

**Juhendaja:** .....

"....."..... 20.....a

/allkiri/

**Konsultant:** .....

"....."..... 20.....a

/allkiri/

**Programmijuht:** .....

"....."..... 20.....a

/allkiri

# ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие.....	7
Введение.....	8
1. Описание автоматизированной системы.....	9
2. Определение требуемого уровня эффективности защиты.....	11
2.1 Определение требуемого уровня эффективности защиты зоны separator.....	12
2.2 Определение требуемого уровня эффективности защиты зоны No1 packaging machine.....	16
2.3 Определение требуемого уровня эффективности защиты зоны palletizer.....	18
2.4 Определение требуемого уровня эффективности защиты зоны buffer conveyor.....	20
2.5 Определение требуемого уровня эффективности защиты аварийного останова производственной линии.....	22
2.6 Определение требуемого уровня эффективности защиты сервисного режима производственной линии.....	23
3. Выбор технических средств для снижения остаточного риска до приемлемого уровня.....	24
4. Контроль компонентов для снижения остаточного риска до приемлемого уровня.....	46
Заключение.....	52
Резюме.....	53
Использованные источники.....	56
Приложение (электросхемы).....	58

## **ПРЕДИСЛОВИЕ**

Данная дипломная работа посвящена теме проектирования технических мер противоаварийной защиты для снижения рисков несчастных случаев для персонала, взаимодействующего с автоматизированной производственной линией.

Для создания электрической документации была использована среда разработки Autocad Electrical 2020. Необходимое оборудование было выбрано с помощью программы TIA Selection tool.

## **ВВЕДЕНИЕ**

Вопрос безопасности на производстве является одним из первоочередных для рассмотрения и решения. Во время проектирования автоматической или автоматизированной системы необходимо рассматривать задачи не только связанные с функционалом системы, но и безопасности, как для окружающей среды, так и для персонала, взаимодействующего с системой.

Целью данной работы является проектирование системы безопасности для автоматизированной системы – сортировочно-упаковочно-транспортного конвейера. Так как рассматриваемая в данной работе автоматизированная система не является угрозой для окружающей среды, то данная дипломная работа посвящена проектированию противоаварийной защиты, нацеленной только на снижение риска для взаимодействующего с системой персонала до приемлемого уровня. Для этого сперва будут определены потенциальные угрозы и степень их тяжести персоналу со стороны функциональных элементов автоматизированной системы, путем рассмотрения функционирования системы без защитных элементов. Далее будут разработаны соответствующие каждой потенциальной угрозе функции безопасности и определены требуемые уровни эффективности защиты для каждой из них. В последствии согласно требуемым уровням эффективности будет произведен выбор технических устройств и создана электрическая документация к проекту.

# 1. ОПИСАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ

Задачи системы - рассортировать, упаковать и транспортировать предварительно нарезанный на рулоны текстильный материал.

На рисунке 1.1 представлен вид сверху на сортировочно-упаковочно-транспортный конвейер. Нарезанные отрезки текстильного материала поступают в конвейер с вышестоящей машины (Upstream machine). Диаметр и ширина отрезков зависят от заказа. Диаметр возможен от 0,5 м до 1,5 м. Ширина от 10 см до 2,5 м. Общий вес поступающего материала может достигать 500 кг.

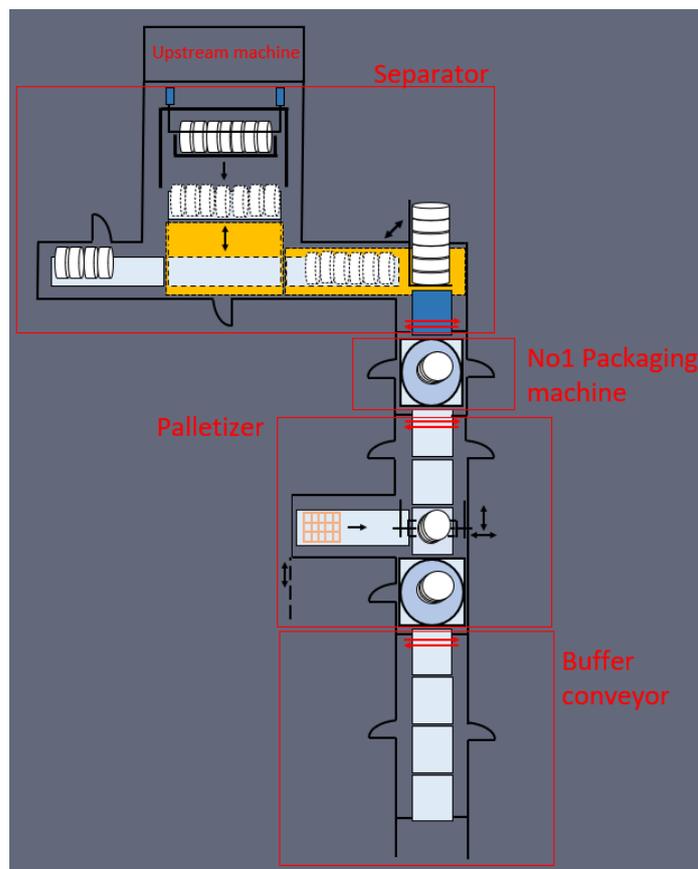


Рисунок 1.1. Упрощенное представление системы на панели оператора. Вид сверху.

Материал поступает в отдел линии под названием Separator. В этом участке нарезки сортируются согласно заказу клиента. Клиент может заказать пачки с различным количеством нарезанных рулонов, например от 1 до 25 штук в зависимости от ширины отрезка. Вес отдельной отсортированной пачки может достигать 500 кг.

Далее отсортированный материал переводится из горизонтального положения в вертикальное с помощью гидравлического цилиндра подъемного конвейера. После

чего поступает на весы (темно синий прямоугольник) где устанавливается вес продукции.

Информация, связанная с заказом - количество нарезок в пачке, диаметр, ширина поступает с предыдущей машины. Так же на предыдущую машину поступает информация о весе каждой сформированной пачки. Верхняя машина связана с базой данных.

После взвешивания продукция поступает в участок под названием No1 packaging machine (упаковочная машина). В этом участке продукция упаковывается тонким слоем стретч-пленки.

Далее упакованная продукция переходит в участок под названием Palletizer. В этом участке продукция устанавливается на поддон. Продукция приподнимается с помощью специально разработанных для подъема захватов. После чего на конвейер под продукцию заезжает поддон, выезжая из поддонного держателя, в котором хранятся предварительно загруженные поддоны.

Далее продукция на поддоне поступает во вторую упаковочную машину, где наматывается второй слой упаковочной стретч-пленки.

После, упакованная продукция, являясь готовым материалом к отправке на склад, поступает в часть конвейера под названием Buffer conveyor. От куда далее снимается погрузчиком и транспортируется на склад.

## 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТРЕБУЕМОГО УРОВНЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗАЩИТЫ

Взаимодействие человека с работающей линией, особенно нахождение человека внутри опасной зоны, может содержать угрозы как для здоровья, так и для жизни. Поэтому необходимо предпринять меры по определению угроз и снижению риска с помощью технических мер до приемлемого уровня.

В данной главе будет произведен анализ наиболее существенных угроз персоналу данной производственной линии. Оценка и последующие методы снижения уровня риска будут производиться на основе стандарта EN ISO 13849-1 – safety of machinery – safety related parts of control systems.

Производственная сортировочно-упаковочно-транспортная линия разделена на четыре зоны. Для каждого участка необходимо определить наиболее критические угрозы и по диаграмме риска (рис. 2.1) определить требуемые эффективности защиты (Performance level required) для каждой функции безопасности.

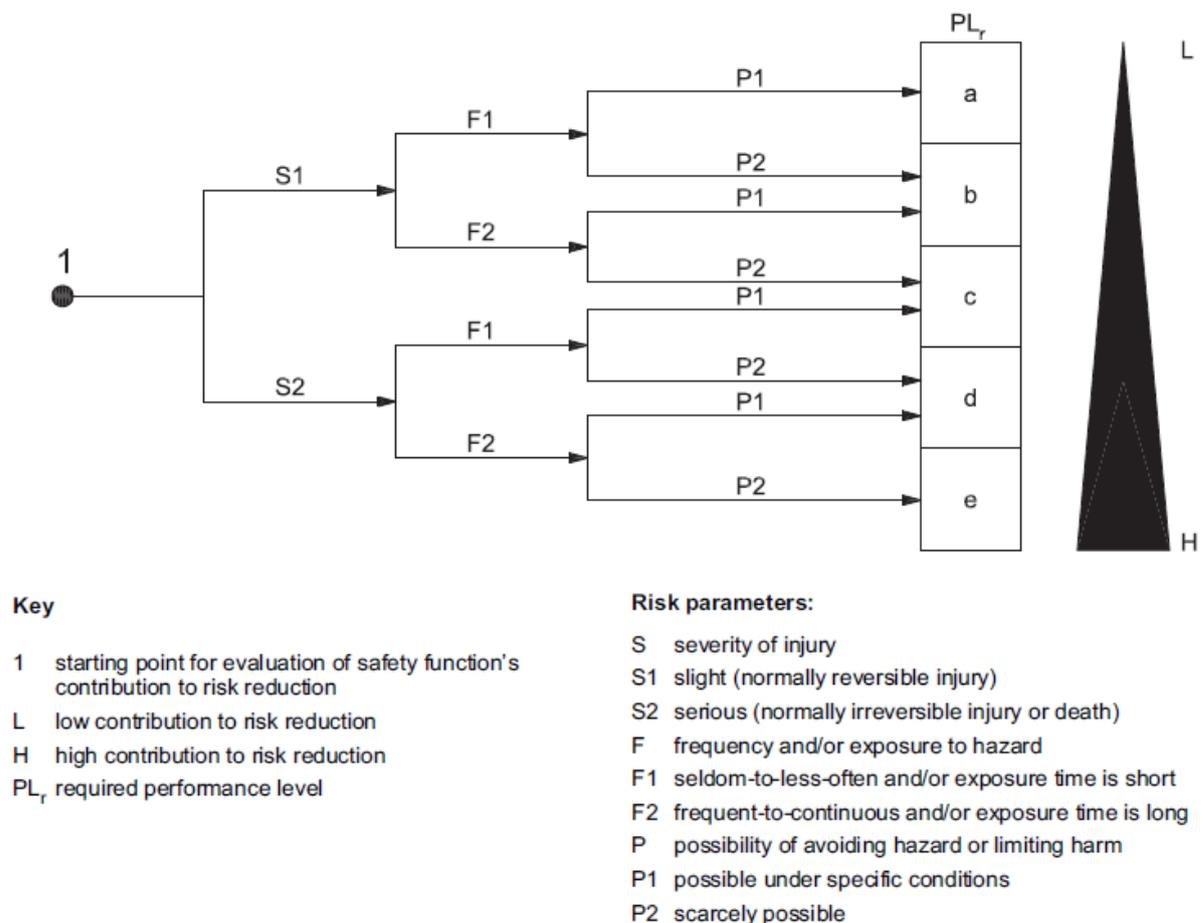


Рисунок 2.1. Диаграмма риска для определения требуемого уровня PL<sub>r</sub> [1].

Эффективность защиты (PL) (рис. 2.2) должна соответствовать тяжести и вероятности получения травмы при взаимодействии с машиной, начиная от уровня **a** – травма маловероятная и легкая, (например, порез кожи на пальце) и заканчивая уровнем **e** - вероятность получения тяжелой, безвозвратной травмы высока, возможна смерть человека (например, отрезание конечности человека пилой, падение тяжелого груза). Каждому уровню соответствуют свои границы average probability of dangerous failure per hour – средней вероятности возникновения опасной ситуации в час.

PL	Average probability of dangerous failure per hour 1/h
a	$\geq 10^{-5}$ to $< 10^{-4}$
b	$\geq 3 \times 10^{-6}$ to $< 10^{-5}$
c	$\geq 10^{-6}$ to $< 3 \times 10^{-6}$
d	$\geq 10^{-7}$ to $< 10^{-6}$
e	$\geq 10^{-8}$ to $< 10^{-7}$

Рисунок 2.2. Эффективность защиты [1].

С одной стороны PL – это значение, используемое для определения способности компонентов систем управлений, связанных с безопасностью, исполнить функцию безопасности с предсказуемыми последствиями. С другой стороны, требуемая эффективность защиты (PL<sub>r</sub>) применяется для достижения снижения риска до требуемого уровня для каждой функции безопасности. Следовательно эффективность защиты (PL) компонентов систем управлений, связанных с безопасностью, должна быть равна или выше, чем требуемая эффективность защиты (PL<sub>r</sub>). [2]

## 2.1 Определение требуемого уровня эффективности защиты зоны Separator

Участок separator (рис. 1.1) является наиболее динамичной зоной сортировочно-упаковочно-транспортного конвейера. В участок регулярно поступает новая партия нарезанного материала, которая удерживается на подвижном столе предыдущей машины с помощью держателя и выталкивается на выдвигной конвейер с помощью толкающего элемента и освобождения держателя. Новую партию регулярно забирает выдвигной конвейер, который перемещается между конвейером и подвижным столом предыдущей машины. Нарезанные рулоны регулярно перемещаются между буферным, выдвигным и подъемным конвейерами. Подъемный конвейер с помощью гидроцилиндра переводит

отсортированный материал из горизонтального положения в вертикальное. После чего материал перемещается на весы.

Наиболее травмоопасными элементами зоны separator являются:

- держатель продукции;
- выдвижной конвейер;
- подъемный конвейер;
- перемещающаяся продукция.

Не закрытие замка держателя продукции может привести к скатыванию поступившего материала на оператора, что может привести к серьезным травмам или смерти.

Столкновение перемещающегося выдвижного конвейера с человеком может привести к серьезным травмам – перелом ног, придавливание.

Попадание оператора под движущейся подъемный конвейер может привести к серьезным травмам или смерти.

Падение перемещающейся продукции на человека может привести к серьезным травмам или смерти.

Учитывая существующие угрозы, необходимо определить необходимые функции безопасности и подобрать для каждой из них SRP/CS (safety-related part of control system) – элемент системы управления, связанный с безопасностью (рис. 2.3). Для каждой функции необходимо определить  $PL_r$  по диаграмме риска (рис. 2.1) и определить соответствует ли текущая комбинация SRP/CS требуемому уровню.

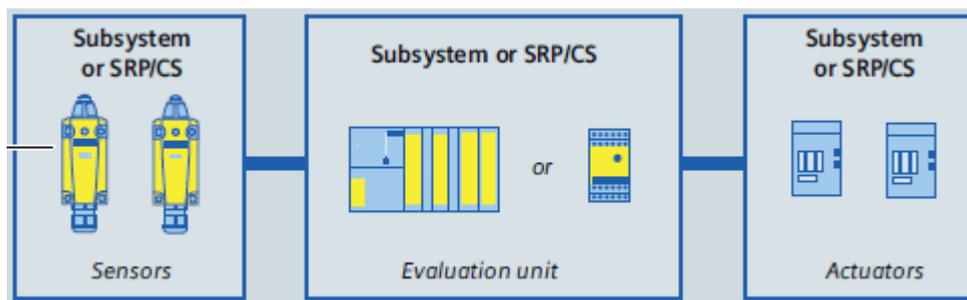


Рисунок 2.3 комбинация элементов системы управления, связанной с безопасностью [3].

Функции безопасности<sub>1;2</sub> – немедленный останов категории ноль в случае проникновения в зону машины, находящейся в работе. Доступ в зону должен быть закрыт с помощью ограждающего забора с дверьми оснащенными замками безопасности. Открытие замка безопасности должно приводить весь участок к останову категории ноль. Выбор останова основывается на том, что в данных зонах

отсутствуют инерционные подвижные элементы. Таким образом отключение питания от приводных элементов приведет к практически немедленному останову.

Функция безопасности<sub>3</sub> – немедленный останов категории ноль в случае проникновения в зону separator, находящуюся в работе. Между зонами separator и No1 packaging machine должен быть установлен световой барьер безопасности, который в случае прохождения человеком по конвейеру из соседней зоны приведет к останову участка separator. Выбор останова основывается на том, что в данных зонах отсутствуют инерционные подвижные элементы. Таким образом отключение питания от приводных элементов приведет к практически немедленному останову.

Функция безопасности<sub>4</sub> - останов категории ноль приводов гидравлической станции и выдвижного конвейера. В качестве дополнительной защиты вокруг подъемного и выдвижного конвейеров должен быть установлен сенсорный ковер безопасности, который в случае нахождения человека на ковре приведет к останову двигателей категории ноль.

Функция безопасности<sub>5</sub> – Блокировка и контроль доступа в зону. Если работа участка остановлена, допуск в зону должен быть гарантирован в случае достижения следующих условий:

- держатель продукции надежно зафиксирован замком (контроль с помощью магнитного датчика), элемент, приводящий к раскрытию замка держателя обесточен (пневматическое давление в зоне сброшено), выталкивающий продукцию элемент обесточен (пневматическое давление в зоне сброшено);
- электродвигатель выдвижного конвейера обесточен;
- электродвигатель гидравлической станции подъемного конвейера обесточен, подъемный конвейер находится в одном из конечных положений – в горизонтальном или вертикальном (контроль с помощью магнитных датчиков);
- перемещение продукции по конвейеру запрещено (электродвигатели обесточены, обратная связь с частотных преобразователей) или в случае режима обслуживания, доступно с минимально допустимой скоростью (скорость контролируется с помощью функции безопасного ограничения скорости частотными преобразователями).

Определение PL<sub>r</sub> для функций безопасности<sub>1;2</sub> по диаграмме риска (рис. 2.1):

- S=S2, так как в данной зоне существует вероятность получить серьезную травму;

- $F=F2$ , так как необходимость оператору заходить в данную зону, может возникать с вероятной частотой более одного раза в час;
- $P=P1$ , так как движения и положения опасных элементов заранее известно и видимо. Возможно распознать опасность заранее.

Таким образом требуемый суммарный уровень эффективности защиты SRP/CS функций<sub>1,2</sub> должен быть не менее уровня  $PL_d$ , следовательно -  $PL_r \geq PL_d$ .

Определение  $PL_r$  для функции безопасности<sub>3</sub> по диаграмме риска (рис. 2.1):

- $S=S2$ , так как в данной зоне существует вероятность получить серьезную травму;
- $F=F2$ , так как необходимость оператору заходить в соседнюю зону (соответственно проникновение из нее в зону separator), может возникать с вероятной частотой более одного раза в час;
- $P=P1$ , так как движения и положения опасных элементов заранее известно и видимо. Возможно распознать опасность заранее.

Таким образом требуемый суммарный уровень эффективности защиты SRP/CS функций<sub>3</sub> должен быть не менее уровня  $PL_d$ , следовательно -  $PL_r \geq PL_d$ .

Определение  $PL_r$  для функции безопасности<sub>4</sub> по диаграмме риска (рис. 2.1):

- $S=S2$ , так как подъемный и выдвижной конвейера способны нанести человеку серьезные травмы или смерть;
- $F=F2$ , так как необходимость оператору приближаться к подъемному и выдвижному конвейерам, может возникать с вероятной частотой более одного раза в час;
- $P=P1$ , так как положение и движение подъемного и выдвижного конвейеров известно заранее и видимо. Возможно распознать опасность заранее.

Таким образом требуемый суммарный уровень эффективности защиты SRP/CS функций<sub>4</sub> должен быть не менее уровня  $PL_d$ , следовательно -  $PL_r \geq PL_d$ .

Определение  $PL_r$  для функции безопасности<sub>5</sub> по диаграмме риска (рис. 2.1):

- $S=S2$ , так как элементы зоны способны нанести человеку серьезные травмы или смерть;
- $F=F2$ , так как необходимость оператору заходить в зону, может возникать с вероятной частотой более одного раза в час;
- $P=P1$ , так как положения и движения элементов зоны видно и известно заранее и видимо. Возможно распознать опасность заранее.

Таким образом требуемый суммарный уровень эффективности защиты SRP/CS функции<sub>5</sub> должен быть не менее уровня  $PL_d$ , следовательно -  $PL_r \geq PL_d$ .

## **2.2 Определение требуемого уровня эффективности защиты для зоны No1 packaging machine**

В зону No1 packaging machine поступает материал для упаковки из зоны Separator в вертикальном положении. Материал устанавливается по центру упаковочной машины, фиксируется и приподнимается с помощью выдвижной платформы. Далее поворотная рука, вращаясь по окружности наносит стретч-пленку на материал. По завершении упаковочного цикла, материал опускается на конвейер упаковочной машины и транспортируется в последующую зону.

Наиболее травмоопасными элементами зоны No1 packaging machine являются:

- выдвижная подъемная платформа продукции;
- поворотная рука упаковочной машины;
- приподнятая продукция;
- перемещающаяся продукция.

Попадание конечностей человека между выдвижной платформой продукции и конвейером машины, способно привести к серьезным травмам – разрыву связок и переломам.

Столкновение человека с поворотной рукой машины способно привести к серьезным травмам – переломам, травме головы.

Падение приподнятой продукции с выдвижной платформы, способно нанести человеку серьезные травмы или смерть.

Падение перемещающейся продукции на человека может привести к серьезным травмам или смерти.

Учитывая существующие угрозы, необходимо определить необходимые функции безопасности и подобрать для каждой из них SRP/CS. Для каждой функции необходимо определить  $PL_r$  по диаграмме риска (рис. 2.1) и определить соответствует ли текущая комбинация SRP/CS требуемому уровню.

Функции безопасности<sub>6,7</sub> - останов категории ноль в случае проникновения в зону машины, находящейся в работе. Доступ в зону должен быть закрыт с помощью ограждающего забора с дверьми оснащенными замками безопасности. Открытие замка безопасности должно приводить участок к останову категории ноль.

Функции безопасности<sub>8,9</sub> - останов категории ноль в случае проникновения в зону No1 packaging machine, находящуюся в работе. Между соседними зонами должны

быть установлены инфракрасные барьеры безопасности, которые в случае прохождения человеком по конвейеру из соседних зон приведут к останову участка No1 packaging machine.

Функция безопасности<sub>10</sub> - Блокировка и контроль доступа в зону. Если работа участка остановлена, допуск в зону должен быть гарантирован в случае достижения следующих условий:

- выдвижная подъемная платформа опущена (обратная связь с упаковочной машины);
- все динамические элементы зоны такие как поворотная рука обесточены (обратная связь с упаковочной машины);
- перемещение продукции по конвейеру запрещено или в случае режима обслуживания, доступно с минимально допустимой скоростью (обратная связь с упаковочной машины).

Определение  $PL_r$  для функций безопасности<sub>6,7</sub> по диаграмме риска (рис. 2.1):

- $S=S2$ , так как в данной зоне существует вероятность получить серьезную травму;
- $F=F2$ , так как необходимость оператору заходить в данную зону, может возникать с вероятной частотой более одного раза в час;
- $P=P1$ , так как движения и положения опасных элементов заранее известно и видимо. Возможно распознать опасность заранее.

Таким образом суммарный требуемый уровень эффективности защиты SRP/CS функций<sub>6,7</sub> должен быть не менее уровня  $PL_d$ , следовательно -  $PL_r \geq PL_d$ .

Определение  $PL_r$  для функций безопасности<sub>8,9</sub> по диаграмме риска (рис. 2.1):

- $S=S2$ , так как в данной зоне существует вероятность получить серьезную травму;
- $F=F2$ , так как необходимость оператору заходить в данную зону, может возникать с вероятной частотой более одного раза в час;
- $P=P1$ , так как движения и положения опасных элементов заранее известно и видимо. Возможно распознать опасность заранее.

Таким образом суммарный требуемый уровень эффективности защиты SRP/CS функций<sub>8,9</sub> должен быть не менее уровня  $PL_d$ , следовательно -  $PL_r \geq PL_d$ .

Определение  $PL_r$  для функции безопасности<sub>10</sub> по диаграмме риска (рис. 2.1):

- $S=S2$ , так как в данной зоне существует вероятность получить серьезную травму;

- $F=F2$ , так как необходимость оператору заходить в данную зону, может возникать с вероятной частотой более одного раза в час;
- $P=P1$ , так как движения и положения опасных элементов заранее известно и видимо. Возможно распознать опасность заранее.

Таким образом требуемый суммарный уровень эффективности защиты SRP/CS функции<sup>10</sup> должен быть не менее уровня  $PL_d$ , следовательно -  $PL_r \geq PL_d$ .

## **2.3 Определение требуемого уровня эффективности защиты для зоны Palletizer**

Предварительно упакованный первым слоем упаковочной пленки материал поступает из зоны No1 packaging machine в зону Palletizer. Где устанавливается по центру платформы приподнимающего конвейера. Далее материал прихватывается специальными захватами и приподнимается над платформой. Под приподнятый материал заезжает поддон из держателя поддонов. После чего материал устанавливается на поддон, захваты отпуская материал разъезжаются в стороны. Далее материал на поддоне транспортируется в No2 packaging machine, где устанавливается по центру вращающейся платформы. После чего на продукцию наносится второй слой пленки с помощью вертикально-подвижного блока с стретч-пленкой и вращающейся платформы. По окончании продукция транспортируется в последующую зону.

Наиболее травмоопасными элементами зоны Palletizer являются:

- подъемные захваты продукции;
- приподнятая продукция;
- поддонный держатель;
- вращающаяся платформа;
- перемещающаяся продукция.

Движение подъемных захватов продукции, способно нанести человеку серьезные травмы – перелом ног, разрыв связок.

Падение приподнятой продукции на человека, способно нанести человеку серьезные травмы или смерть.

Механизмы поддонного держателя способны привести к серьезным травмам – переломы, ампутация пальцев.

Вращающаяся платформа способна нанести человеку серьезные травмы – перелом ног, ампутация конечностей.

Падение перемещающейся продукции на человека может привести к серьезным травмам или смерти.

Учитывая существующие угрозы, необходимо определить необходимые функции безопасности и подобрать для каждой из них SRP/CS. Для каждой функции необходимо определить  $PL_r$  по диаграмме риска (рис. 2.1) и определить соответствует ли текущая комбинация SRP/CS требуемому уровню.

Функции безопасности<sub>11-14</sub> - Останов категории ноль в случае проникновения в зону машины, находящейся в работе. Доступ в зону должен быть закрыт с помощью ограждающего забора с дверьми оснащенными замками безопасности. Открытие замка безопасности должно приводить участок к останову категории ноль.

Функция безопасности<sub>15;16</sub> - Останов категории ноль в случае проникновения в зону palletizer, находящуюся в работе. Между соседними зонами должны быть установлены инфракрасные барьеры безопасности, которые в случае прохождения человеком по конвейеру из соседних зон приведут к останову участка palletizer.

Функция безопасности<sub>17</sub> - Блокировка и контроль доступа в зону. Если работа участка остановлена, допуск в зону должен быть гарантирован в случае достижения следующих условий:

- подъемные захваты опущены (контроль с помощью магнитного датчика);
- поддонный держатель опущен (контроль с помощью магнитного датчика);
- все электродвигатели динамических элементов зоны такие как подъемные захваты (обратная связь с силовых контакторов), поворотная платформа (обратная связь с упаковочной машины), поддонный держатель должны быть обесточены (обратная связь с силовых контакторов);
- перемещение продукции по конвейеру запрещено (электродвигатели обесточены, обратная связь с частотных преобразователей) или в случае режима обслуживания, доступно с минимально допустимой скоростью (скорость контролируется с помощью функции безопасного ограничения скорости частотными преобразователями).

Определение  $PL_r$  для функций безопасности<sub>11-14</sub> по диаграмме риска (рис. 2.1):

- $S=S2$ , так как в данной зоне существует вероятность получить серьезную травму;
- $F=F2$ , так как необходимость оператору заходить в данную зону, может возникать с вероятной частотой более одного раза в час;
- $P=P1$ , так как движения и положения опасных элементов заранее известно и видимо. Возможно распознать опасность заранее.

Таким образом требуемый суммарный уровень эффективности защиты SRP/CS функций<sup>11-14</sup> должен быть не менее уровня  $PL_d$ , следовательно -  $PL_r \geq PL_d$ .

Определение  $PL_r$  для функций безопасности<sup>15;16</sup> по диаграмме риска (рис. 2.1):

- $S=S2$ , так как в данной зоне существует вероятность получить серьезную травму;
- $F=F2$ , так как необходимость оператору заходить в соседние зоны, может возникать с вероятной частотой более одного раза в час;
- $P=P1$ , так как движения и положения опасных элементов заранее известно и видимо. Возможно распознать опасность заранее.

Таким образом требуемый суммарный уровень эффективности защиты SRP/CS функций<sup>15;16</sup> должен быть не менее уровня  $PL_d$ , следовательно -  $PL_r \geq PL_d$ .

Определение  $PL_r$  для функции безопасности<sup>17</sup> по диаграмме риска (рис. 2.1):

- $S=S2$ , так как в данной зоне существует вероятность получить серьезную травму;
- $F=F2$ , так как необходимость оператору заходить в данную зону, может возникать с вероятной частотой более одного раза в час;
- $P=P1$ , так как движения и положения опасных элементов заранее известно и видимо. Возможно распознать опасность заранее.

Таким образом требуемый суммарный уровень эффективности защиты SRP/CS функции<sup>17</sup> должен быть не менее уровня  $PL_d$ , следовательно -  $PL_r \geq PL_d$ .

## **2.4 Определение требуемого уровня эффективности защиты для зоны Buffer conveyor**

Размещенный на поддоне упакованный материал поступает в зону Buffer conveyor из зоны Palletizer. В данной зоне готовый материал выстраивается друг за другом, каждый на отдельной платформе. Откуда далее поочередно снимается погрузчиком для транспортировки на склад.

Наиболее травмоопасными элементами зоны Buffer conveyor являются:

- перемещающаяся продукция;
- работающий погрузчик на выходе.

Падение перемещающейся продукции на человека может привести к серьезным травмам или смерти.

Забирающий продукцию погрузчик может уронить материал на человека, что может привести к серьезным травмам или смерти. В данном случае необходимо

разработать технику безопасности, в которой запретить приближаться погрузчику к участку в случае присутствия человека внутри зоны. Водитель погрузчика должен самостоятельно оценивать ситуацию и обращать внимание на сигнализирующий сигнал, который информирует водителя о положении замков дверей зоны. Необходимо запретить присутствие человеку в зоне движения погрузчиков, зона движения должна быть ограждена.

Учитывая существующие угрозы, необходимо определить необходимые функции безопасности и подобрать для каждой из них SRP/CS. Для каждой функции необходимо определить  $PL_r$  по диаграмме риска (рис. 2.1) и определить соответствует ли текущая комбинация SRP/CS требуемому уровню.

Функция безопасности<sup>18;19</sup> - Останов категории ноль в случае проникновения в зону машины, находящейся в работе. Доступ в зону должен быть закрыт с помощью ограждающего забора с дверьми оснащенными замками безопасности. Открытие замка безопасности должно приводить участок к останову категории ноль.

Функция безопасности<sup>20</sup> - Останов категории ноль в случае проникновения в зону машины, находящейся в работе. Между соседними зонами должен быть установлен инфракрасный барьер безопасности, который в случае прохождения человеком по конвейеру между зонами приведет к останову категории ноль прилегающую зону.

Функция безопасности<sup>21</sup> - Блокировка и контроль доступа в зону. Если работа участка остановлена, допуск в зону должен быть гарантирован в случае достижения следующих условий:

- перемещение продукции по конвейеру запрещено (электродвигатели обесточены, обратная связь с частотных преобразователей) или в случае режима обслуживания, доступно с минимально допустимой скоростью (скорость контролируется с помощью функции безопасного ограничения скорости частотными преобразователями).

Определение  $PL_r$  для функции безопасности<sup>18;19</sup> по диаграмме риска (рис. 2.1):

- $S=S2$ , так как в данной зоне существует вероятность получить серьезную травму;
- $F=F2$ , так как необходимость оператору заходить в данную зону, может возникать с вероятной частотой более одного раза в час;
- $P=P1$ , так как движения и положения опасных элементов заранее известно и видимо. Возможно распознать опасность заранее.

Таким образом требуемый суммарный уровень эффективности защиты SRP/CS функций<sup>18;19</sup> должен быть не менее уровня  $PL_d$ , следовательно -  $PL_r \geq PL_d$ .

Определение  $PL_r$  для функции безопасности<sub>20</sub> по диаграмме риска (рис. 2.1):

- $S=S2$ , так как в данной зоне существует вероятность получить серьезную травму;
- $F=F2$ , так как необходимость оператору заходить в соседнюю зону, может возникать с вероятной частотой более одного раза в час;
- $P=P1$ , так как движения и положения опасных элементов заранее известно и видимо. Возможно распознать опасность заранее.

Таким образом требуемый суммарный уровень эффективности защиты SRP/CS функции<sub>20</sub> должен быть не менее уровня  $PL_d$ , следовательно -  $PL_r \geq PL_d$ .

Определение  $PL_r$  для функции безопасности<sub>21</sub> по диаграмме риска (рис. 2.1):

- $S=S2$ , так как в данной зоне существует вероятность получить серьезную травму;
- $F=F2$ , так как необходимость оператору заходить в данную зону, может возникать с вероятной частотой более одного раза в час;
- $P=P1$ , так как движения и положения опасных элементов заранее известно и видимо. Возможно распознать опасность заранее.

Таким образом требуемый суммарный уровень эффективности защиты SRP/CS функции<sub>21</sub> должен быть не менее уровня  $PL_d$ , следовательно -  $PL_r \geq PL_d$ .

## **2.5 Определение требуемого уровня эффективности защиты аварийного останова производственной линии**

Функции безопасности<sub>22-31</sub> - разделение системы аварийного останова на участки линии - для каждой зоны свои кнопки, могло бы в случае чрезвычайной ситуации, привести оператора в замешательство. Что приведет к увеличению времени реакции на опасное событие, что чревато неблагоприятными последствиями. Исключения подобного требует, введение общей системы аварийного останова для всей линии - нажатие любой кнопки аварийного останова, остановит всю линию целиком (останов категории ноль). Функции безопасности аварийного останова являются вспомогательными.

Определение  $PL_r$  для функций безопасности<sub>22-31</sub> по диаграмме риска (рис. 2.1):

- $S=S2$ , так как при взаимодействии с производственной линией существует вероятность получить серьезную травму;

- $F=F2$ , так как необходимость оператору взаимодействовать с различными зонами линии, может возникать с вероятной частотой более одного раза в час;
- $P=P1$ , так как движения и положения опасных элементов заранее известно и видимо. Возможно распознать опасность заранее.

Таким образом требуемый суммарный уровень эффективности защиты SRP/CS функций<sup>22-31</sup> должен быть не менее уровня  $PL_d$ , следовательно -  $PL_r \geq PL_d$ .

## **2.6 Определение требуемого уровня эффективности защиты сервисного режима производственной линии**

В течение эксплуатации производственной линии будет возникать необходимость обслуживания линии или исправления нештатных ситуаций, например падение продукции. Персонал, взаимодействующий с производственной линией в данном режиме, должен быть квалифицированным и взаимодействовать с оборудованием осознавая риски.

Сервисный режим возможно активировать остановив работу конвейера и переключив переключатель с ключом. Несмотря на открытые двери, в этом режиме возможно управлять элементами упаковочных машин и транспортировать продукцию по конвейеру в ручном режиме с ограниченной скоростью. Нажатие любой кнопки аварийного останова, переведет весь конвейер в режим останова категории ноль.

Функция безопасности<sup>32</sup> - в сервисном режиме необходимо ограничить скорость перемещения продукции по конвейеру и скорость вращения элементов упаковочных машин (скорость контролируется с помощью функции безопасного ограничения скорости частотными преобразователями).

Определение  $PL_r$  для функции безопасности<sup>32</sup> по диаграмме риска (рис. 2.1):

- $S=S2$ , так как при взаимодействии с производственной линией существует вероятность получить серьезную травму;
- $F=F2$ , так как необходимость техническому сотруднику взаимодействовать с различными зонами линии, может возникнуть в случае нештатной ситуации с вероятной частотой более одного раза в час;
- $P=P1$ , так как движения и положения опасных элементов заранее известно и видимо. Возможно распознать опасность заранее.

Таким образом требуемый уровень эффективности защиты для функции безопасности<sup>32</sup> должен быть не менее уровня  $PL_d$ , следовательно -  $PL_r \geq PL_d$ .

### 3.ВЫБОР ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ОСТАТОЧНОГО РИСКА ДО ПРИЕМЛЕМОГО УРОВНЯ

Выбор компонентов производится на основе PFH<sub>d</sub> (probability of dangerous failure per hour) – вероятность возникновения опасного отказа в час, сумма которых должна быть в границах необходимого PL (Performance level) – уровня эффективности защиты функции безопасности.

Требуемые параметры для определения PFH<sub>d</sub>:

- Категория системы;
- MTTF<sub>d</sub> (mean time to dangerous failure) – среднее время наработки на опасный отказ;
- DC<sub>avg</sub> (average diagnostic coverage) – средний диагностический охват;
- CCF (common cause failure) – отказ по общей причине.

На рисунке 3.1 представлена диаграмма представляющая взаимосвязь между эффективностью защиты PL, Категорией (Cat.), средней наработкой на опасный отказ MTTF<sub>d</sub> и средним диагностическим охватом DC.

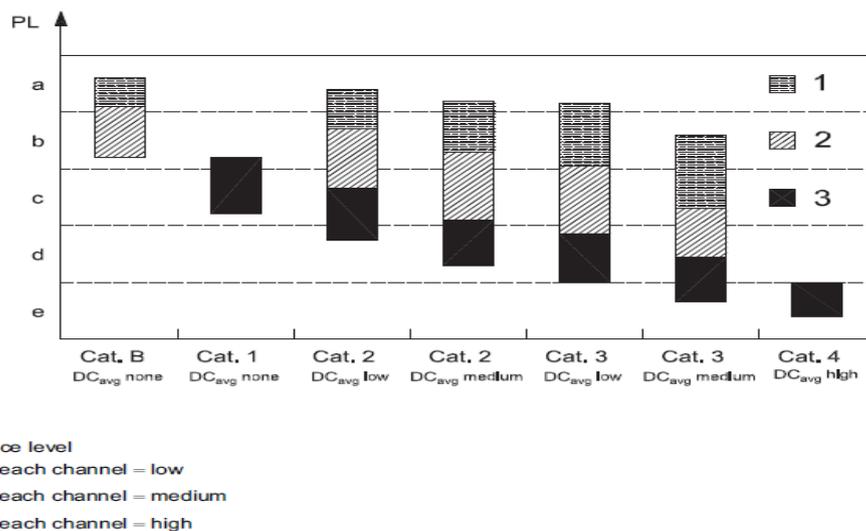


Рисунок 3.1 взаимосвязь между PL, категорией, DC<sub>avg</sub>, MTTF<sub>d</sub> [1].

Основываясь на диаграмме (рис 3.1) для достижения требуемого уровня PL<sub>d</sub>, существуют несколько вариантов:

- Выбираемые компоненты для SRP/CS должны поддерживать архитектуру подключения второй категории (рис. 3.4) при среднем уровне диагностического охвата DC<sub>avg</sub> = medium (рис. 3.2) и высоком уровне среднего времени наработки на опасный отказ MTTF<sub>d</sub> = high (рис. 3.3);

- Выбираемые компоненты для SRP/CS должны поддерживать архитектуру подключения третьей категории (рис. 3.5) при низком  $DC_{avg} = low$  и среднем или высоком уровне  $MTTF_d > medium$ ;
- Выбираемые компоненты для SRP/CS должны поддерживать архитектуру третьей категории (рис. 3.5) при среднем  $DC_{avg}$  и среднем  $MTTF_d = medium$  или высоком уровне  $MTTF_d = high$ .

DC	
Denotation	Range
None	$DC < 60 \%$
Low	$60 \% \leq DC < 90 \%$
Medium	$90 \% \leq DC < 99 \%$
High	$99 \% \leq DC$

Рисунок 3.2 Уровни диагностического охвата [1].

$MTTF_d$	
Denotation of each channel	Range of each channel
Low	$3 \text{ years} \leq MTTF_d < 10 \text{ years}$
Medium	$10 \text{ years} \leq MTTF_d < 30 \text{ years}$
High	$30 \text{ years} \leq MTTF_d \leq 100 \text{ years}$

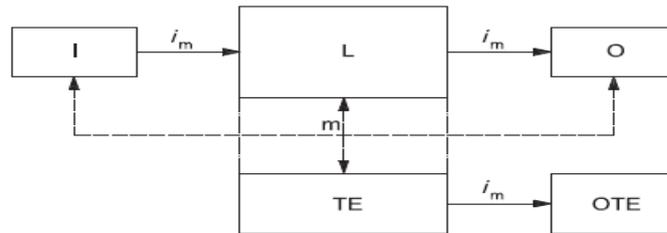
Рисунок 3.3 Уровни средней наработки на опасный отказ [1].

Чем ниже категория,  $MTTF_d$  и  $DC_{avg}$  используемых устройств SRP/CS тем выше значение  $PFH_d$ . Так как общий уровень PL функции безопасности складывается из суммы  $PFH_d$  компонентов SRP/CS, то при определенном количестве компонентов значение  $PFH_d$  может превысить границу требуемого  $PL_r$  (рис. 2.2). Например, если сложение  $PFH_d$  набора компонентов для функции безопасности превысило пороговое значение и теперь вместо уровня  $PL_d$  входит в рамки уровня  $PL_c$  (рис. 2.2). В таком случае необходимо рассмотреть варианты увеличения диагностики системы  $DC_{avg}$ , смены какого-нибудь или нескольких компонентов на аналоги с большим  $MTTF_d$ , увеличение категории.

Так как в некоторых функциях безопасности для данного конвейера количество необходимых компонентов SRP/CS достаточно большое, то:

- выбор компонентов второй категории с  $DC_{avg} = medium$  и  $MTTF_d = high$  не удовлетворит суммарному  $PL_r$  функции безопасности;
- выбор компонентов третьей категории с  $DC_{avg} = low$  и  $MTTF_d = medium$  не удовлетворит суммарному  $PL_r$  функции безопасности;

- выбор компонентов третьей категории с  $DC_{avg} = low$  и  $MTTF_d = high$  не удовлетворит суммарному  $PL_r$  функции безопасности;
- выбор компонентов третьей категории с  $DC_{avg} = medium$  и  $MTTF_d = medium$  не удовлетворит суммарному  $PL_r$  функции безопасности;
- выбор компонентов третьей категории с  $DC_{avg} = medium$  и  $MTTF_d = high$  **удовлетворит** суммарному  $PL_r$  функции безопасности.

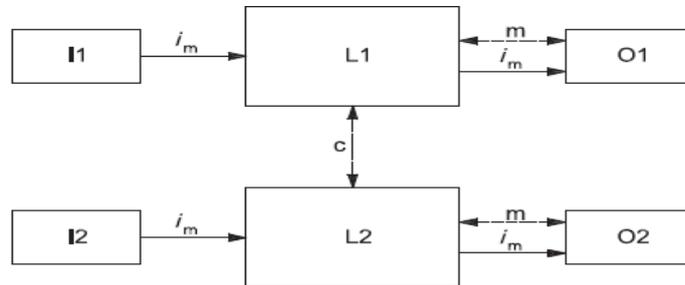


Dashed lines represent reasonably practicable fault detection.

**Key**

- $i_m$  interconnecting means
- I input device, e.g. sensor
- L logic
- m monitoring
- O output device, e.g. main contactor
- TE test equipment
- O TE output of TE

Рисунок 3.4 Архитектура второй категории [1].



Dashed lines represent reasonably practicable fault detection.

**Key**

- $i_m$  interconnecting means
- c cross monitoring
- I1, I2 input device, e.g. sensor
- L1, L2 logic
- m monitoring
- O1, O2 output device, e.g. main contactor

Рисунок 3.5 Архитектура третьей категории [1].

Выбранные условия для проектирования функций безопасности конвейера:

- архитектура третьей категории (рис. 3.5) – SRP/CS должны быть двухканальными (1oo2);
- $DC_{avg}$  – необходим контроль расхождения состояния сигналов между каналами, мониторинг короткого замыкания и обратная связь,

поступающая с контролируемых элементов, например контакторов или частотных преобразователей;

- МТТF<sub>d</sub> – необходимо выбирать сертифицированные компоненты с более высоким или соответствующим уровнем PL с подходящим значением PFH<sub>d</sub>;
- CCF – необходимо предпринять меры для уменьшения отказов по общим причинам для достижения очков CCF  $\geq 65$ .

### **Магнитный датчик безопасности Schmersal BNZ180-12-2187-2:**

Уровень эффективности защиты: необходимо определить. Категория: до четвертой. Количество – 6 штук.

Допуск человека в зону производственной линии должен быть возможен, только при условии безопасного положения предоставляющих опасность рабочих элементов, таких как: замок держателя продукции, подъемный конвейер, подъемные захваты продукции и поддонный держатель.

На рисунке 3.6 представлены контакты магнитного датчика. При нахождении магнитного актуатора в зоне действия датчика, сигнальный контакт 13–14 разомкнут, отказобезопасные контакты 21–22, 31–32 замкнуты. Расположив актуатор на предоставляющем опасность подвижном элементе, возможно контролировать позицию данного элемента перед входом в зону производственной линии.

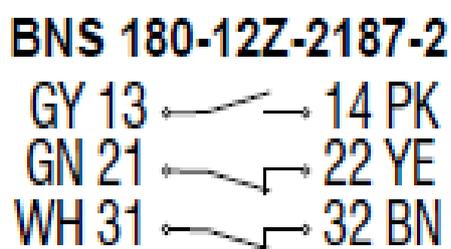


Рисунок 3.6 контакты магнитного датчика безопасности [4].

В главе приложение на электрических схемах с 46 по 47 страницу показано подключение магнитного датчика безопасности. Для каждого отдельного датчика выделены свои входы в отказобезопасных модулях, таким образом возможно проводить диагностику каждого канала в отдельности на короткое замыкание и расхождение сигналов.

На рисунке 3.7 представлена конфигурация одной пары каналов входного отказобезопасного модуля для магнитного датчика.

Подключение датчика сконфигурировано по системе 1oo2 с эквивалентным значением каждого канала – два равнозначных сигнала (как на channel 2, так и на channel 10 должны приходить два одинаковых состояния сигналов, например с двух

NC контактов). В случае расхождения сигналов в течение 500 мс произойдет пассивация каналов и в адрес области памяти входов ПЛК будет записано значение ноль. После устранения неисправности для восстановления нормальной работы пары входных каналов, необходимо провести тест, проверив распознавание низкого сигнала (подвести в зону срабатывания датчика и затем убрать в сторону магнитный актуатор) и затем в ручном режиме квитировать ошибку. Питание датчика сконфигурировано с модуля входов, что позволяет проводить проверку на короткое замыкание каналов с выбранным в данном случае интервалом для всего модуля 819.2 мс и длительностью 1.6 мс.

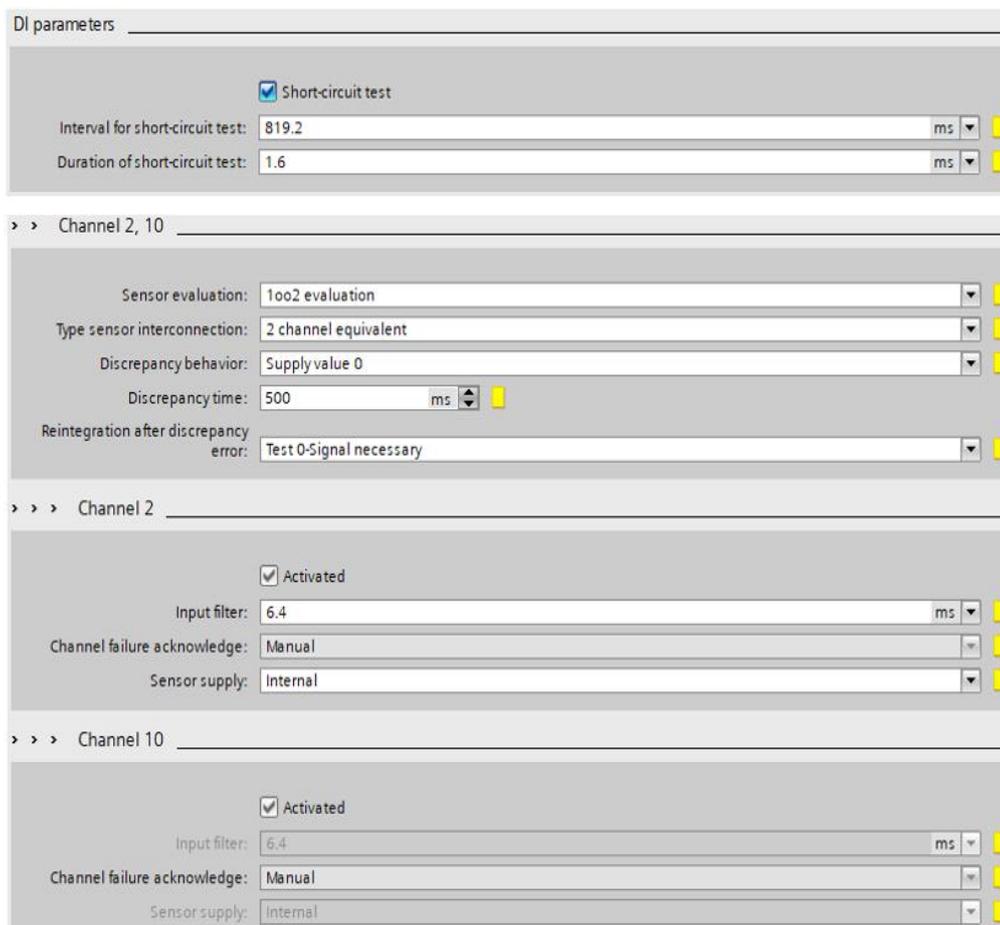


Рисунок 3.7 Конфигурация входов отказобезопасного модуля для магнитного датчика.

Обычно для компонентов подверженных сильному износу необходимо определить  $PFH_d$  самостоятельно. Сперва необходимо определить  $MTTF_d$  на основе предполагаемой средней частоты срабатывания датчика и показателя  $V_{10d}$  – определенное производителем среднее количество циклов срабатывания до наступления опасного отказа 10% компонентов. Далее определение  $PFH_d$  требует определения категории,  $DC_{avg}$  и дальнейшего сравнения данных по таблице (рис. 3.8). Также необходимо принять достаточные меры против отказов по общим причинам, достигнув значение очков  $CCF > 65$ .

Average probability of a dangerous failure per hour (1/h) and corresponding performance level (PL)														
MTTF <sub>d</sub> for each channel	Cat. B	PL	Cat. 1	PL	Cat. 2	PL	Cat. 2	PL	Cat. 3	PL	Cat. 3	PL	Cat. 4	PL
years	DC <sub>avg</sub> = none		DC <sub>avg</sub> = none		DC <sub>avg</sub> = low		DC <sub>avg</sub> = medium		DC <sub>avg</sub> = low		DC <sub>avg</sub> = medium		DC <sub>avg</sub> = high	
15	7,61 × 10 <sup>-6</sup>	b			4,53 × 10 <sup>-6</sup>	b	3,01 × 10 <sup>-6</sup>	b	1,82 × 10 <sup>-6</sup>	c	7,44 × 10 <sup>-7</sup>	d		
16	7,13 × 10 <sup>-6</sup>	b			4,21 × 10 <sup>-6</sup>	b	2,77 × 10 <sup>-6</sup>	c	1,67 × 10 <sup>-6</sup>	c	6,76 × 10 <sup>-7</sup>	d		
18	6,34 × 10 <sup>-6</sup>	b			3,68 × 10 <sup>-6</sup>	b	2,37 × 10 <sup>-6</sup>	c	1,41 × 10 <sup>-6</sup>	c	5,67 × 10 <sup>-7</sup>	d		
20	5,71 × 10 <sup>-6</sup>	b			3,26 × 10 <sup>-6</sup>	b	2,06 × 10 <sup>-6</sup>	c	1,22 × 10 <sup>-6</sup>	c	4,85 × 10 <sup>-7</sup>	d		
22	5,19 × 10 <sup>-6</sup>	b			2,93 × 10 <sup>-6</sup>	c	1,82 × 10 <sup>-6</sup>	c	1,07 × 10 <sup>-6</sup>	c	4,21 × 10 <sup>-7</sup>	d		
24	4,76 × 10 <sup>-6</sup>	b			2,65 × 10 <sup>-6</sup>	c	1,62 × 10 <sup>-6</sup>	c	9,47 × 10 <sup>-7</sup>	d	3,70 × 10 <sup>-7</sup>	d		
27	4,23 × 10 <sup>-6</sup>	b			2,32 × 10 <sup>-6</sup>	c	1,39 × 10 <sup>-6</sup>	c	8,04 × 10 <sup>-7</sup>	d	3,10 × 10 <sup>-7</sup>	d		
30			3,80 × 10 <sup>-6</sup>	b	2,06 × 10 <sup>-6</sup>	c	1,21 × 10 <sup>-6</sup>	c	6,94 × 10 <sup>-7</sup>	d	2,65 × 10 <sup>-7</sup>	d	9,54 × 10 <sup>-8</sup>	e
33			3,46 × 10 <sup>-6</sup>	b	1,85 × 10 <sup>-6</sup>	c	1,06 × 10 <sup>-6</sup>	c	5,94 × 10 <sup>-7</sup>	d	2,30 × 10 <sup>-7</sup>	d	8,57 × 10 <sup>-8</sup>	e
36			3,17 × 10 <sup>-6</sup>	b	1,67 × 10 <sup>-6</sup>	c	9,39 × 10 <sup>-7</sup>	d	5,16 × 10 <sup>-7</sup>	d	2,01 × 10 <sup>-7</sup>	d	7,77 × 10 <sup>-8</sup>	e
39			2,93 × 10 <sup>-6</sup>	c	1,53 × 10 <sup>-6</sup>	c	8,40 × 10 <sup>-7</sup>	d	4,53 × 10 <sup>-7</sup>	d	1,78 × 10 <sup>-7</sup>	d	7,11 × 10 <sup>-8</sup>	e
43			2,65 × 10 <sup>-6</sup>	c	1,37 × 10 <sup>-6</sup>	c	7,34 × 10 <sup>-7</sup>	d	3,87 × 10 <sup>-7</sup>	d	1,54 × 10 <sup>-7</sup>	d	6,37 × 10 <sup>-8</sup>	e
47			2,43 × 10 <sup>-6</sup>	c	1,24 × 10 <sup>-6</sup>	c	6,49 × 10 <sup>-7</sup>	d	3,35 × 10 <sup>-7</sup>	d	1,34 × 10 <sup>-7</sup>	d	5,76 × 10 <sup>-8</sup>	e
51			2,24 × 10 <sup>-6</sup>	c	1,13 × 10 <sup>-6</sup>	c	5,80 × 10 <sup>-7</sup>	d	2,93 × 10 <sup>-7</sup>	d	1,19 × 10 <sup>-7</sup>	d	5,26 × 10 <sup>-8</sup>	e
56			2,04 × 10 <sup>-6</sup>	c	1,02 × 10 <sup>-6</sup>	c	5,10 × 10 <sup>-7</sup>	d	2,52 × 10 <sup>-7</sup>	d	1,03 × 10 <sup>-7</sup>	d	4,73 × 10 <sup>-8</sup>	e
62			1,84 × 10 <sup>-6</sup>	c	9,06 × 10 <sup>-7</sup>	d	4,43 × 10 <sup>-7</sup>	d	2,13 × 10 <sup>-7</sup>	d	8,84 × 10 <sup>-8</sup>	e	4,22 × 10 <sup>-8</sup>	e
68			1,68 × 10 <sup>-6</sup>	c	8,17 × 10 <sup>-7</sup>	d	3,90 × 10 <sup>-7</sup>	d	1,84 × 10 <sup>-7</sup>	d	7,68 × 10 <sup>-8</sup>	e	3,80 × 10 <sup>-8</sup>	e
75			1,52 × 10 <sup>-6</sup>	c	7,31 × 10 <sup>-7</sup>	d	3,40 × 10 <sup>-7</sup>	d	1,57 × 10 <sup>-7</sup>	d	6,62 × 10 <sup>-8</sup>	e	3,41 × 10 <sup>-8</sup>	e
82			1,39 × 10 <sup>-6</sup>	c	6,61 × 10 <sup>-7</sup>	d	3,01 × 10 <sup>-7</sup>	d	1,35 × 10 <sup>-7</sup>	d	5,79 × 10 <sup>-8</sup>	e	3,08 × 10 <sup>-8</sup>	e
91			1,25 × 10 <sup>-6</sup>	c	5,88 × 10 <sup>-7</sup>	d	2,61 × 10 <sup>-7</sup>	d	1,14 × 10 <sup>-7</sup>	d	4,94 × 10 <sup>-8</sup>	e	2,74 × 10 <sup>-8</sup>	e
100			1,14 × 10 <sup>-6</sup>	c	5,28 × 10 <sup>-7</sup>	d	2,29 × 10 <sup>-7</sup>	d	1,01 × 10 <sup>-7</sup>	d	4,29 × 10 <sup>-8</sup>	e	2,47 × 10 <sup>-8</sup>	e

Рисунок 3.8 Таблица для определения PFH<sub>d</sub> относительно MTTF<sub>d</sub>, DC<sub>avg</sub>, категории [1].

Определить MTTF<sub>d</sub> можно по следующей формуле:

$$MTTF_d = \frac{b_{10d}}{0,1 \times n_{cp}} [1]$$

где в свою очередь n<sub>cp</sub>:

$$n_{cp} = \frac{d_{cp} \times h_{cp} \times 3600 \text{ s/h}}{t_{cycle}} \text{ количество циклов за год [1]}$$

d<sub>cp</sub> – средняя наработка за час/день;

h<sub>cp</sub> – средняя наработка за день/год;

t<sub>cycle</sub> – среднее время между началом последующих циклов компонента сек/цикл.

Далее показан пример расчета PFH<sub>d</sub> для магнитных датчиков, установленных на подъемный конвейер – место с самой высокой наработкой:

Завод работает 24 часа в сутки, 7 дней в неделю, 365 дней в году. Подъемный конвейер переводит продукцию из горизонтального положения в вертикальное со средней частотой 20 раз в час. Таким образом:

$$b_{10d} = 25 \times 10^6 \text{ - согласно данным производителя [4],}$$

$$d_{cp} = 365 \text{ дней в год,}$$

$$h_{cp} = 24 \text{ часа в день},$$

$$t_{cycle} = \frac{3600 \text{ сек}}{20} = 180 \text{ сек},$$

$$n_{cp} = \frac{365 \times 24 \times 3600 \text{ сек}}{180 \text{ сек}} = 175200,$$

$$MTTF_d = \frac{25 \times 10^6}{0,1 \times 175200} = 1427.$$

Хотя расчет значения средней наработки на опасный отказ показал  $MTTF_d = 1427$  лет, максимальное  $MTTF_d$  (для уровней эффективности защиты до  $PL_d$ ) не может превышать 100 лет. Таким образом  $MTTF_d = 100 \Rightarrow \text{high}$  (рис. 3.3).

Диагностический охват  $DC_{avg} = 99\%$ , так как в качестве диагностики со стороны ПЛК присутствует перекрестный контроль входных сигналов и контроль короткого замыкания (рис. 3.9). Что в свою очередь означает  $DC_{avg} \Rightarrow \text{high}$  (рис. 3.2).

Estimate DC
X

Measures

- Cyclic test stimulus by dynamic change of the input signals (90%)
- Plausibility check, e.g. use of normally open and normally closed mechanically linked contacts (99%)
- Cross monitoring of inputs without dynamic test (0 - 99%) ⓘ
- Cross monitoring of input signals with dynamic test if short circuits are not detectable (for multiple I/O) (90%)
- Cross monitoring of input signals and intermediate results within the logic (L), and temporal and logical software monitor of the program flow and detection of static faults and short circuits (for multiple I/O) (99%)
- Indirect monitoring (e.g. monitoring by pressure switch, electrical position monitoring of actuators) (90 - 99%) ⓘ
- Direct monitoring (e.g. electrical position monitoring of control valves, monitoring of electromechanical devices by mechanically linked contact elements) (99%)
- Fault detection by the process (0 - 99%) ⓘ
- Monitoring some characteristics of the sensor (response time, range of analogue signals, e.g. electrical resistance, capacitance) (60%)

---

For additional estimations for DC, see, e.g., IEC 61508-2:2000, Tables A.2 to A.15

If medium or high DC is claimed for the logic, at least one measure for variable memory, invariable memory and processing unit with each DC at least 60 % has to be applied. There may also be measures that used other than those listed in this table.

For measures where a DC range is given (e.g. fault detection by the process) the correct DC value can be determined by considering all dangerous failures and then deciding which of them are detected by the DC measure. In case of any doubt a FMEA should be the basis for the estimation of the DC.

DC [%]

99
+
-

Valid DC: 99% - 99%

Рисунок 3.9 определение  $DC_{avg}$  с помощью программы TIA Selection Tool для магнитного датчика безопасности Schmersal BNZ180-12-2187-2.

Очки SFC > 65, так как соблюдены необходимые меры для предотвращения отказов по общей причине (рис. 3.10).

## Measures

## 1. Separation/Segregation

 Physical separation between signal paths (15 points) ⓘ

## 2. Diversity

 Different technologies/design or physical principles are used (20 points) ⓘ

## 3. Design/Application/Experience

 Protection against over-voltage, over-pressure, over-current, over-temperature, etc. (15 points)

 Components used are well-tried (5 points)

## 4. Assessment/Analysis

 For each part of safety related parts of control system a failure mode and effect analysis has been carried out and its results taken into account to avoid common-cause-failures in the design (5 points)

## 5. Competence/Training

 Training of designers to understand the causes and consequences of common cause failures (5 points)

## 6. Environmental

 For electrical/electronic systems, prevention of contamination and electromagnetic disturbances (EMC) to protect against common cause failures in accordance with appropriate standards (e.g. IEC 61326-3-1) (25 points) ⓘ

 Consideration of the requirements for immunity to all relevant environmental influences such as, temperature, shock, vibration, humidity (e.g. as specified in relevant standards) (10 points)

Total points: (max. reachable 100)

65

Рисунок 3.10 определение CCF с помощью программы TIA Selection Tool для магнитного датчика безопасности Schmersal BNZ180-12-2187-2.

Таким образом согласно таблице (рис. 3.8) учитывая архитектуру третьей категории, высокое значение среднего диагностического охвата и среднее время наработки на опасный отказ компонента в вышеописанных условиях, приравненного к 100 лет, следует что  $PFH_d = 4,29 \times 10^{-8}$ .

На рисунке (рис. 3.11) продемонстрирован аналогичный расчет в программе TIA Selection Tool.

**Edit Safety Values**

Standard: ISO 13849-1

Subsystem: Detection

Component category: 3

Order Number: 0

B10d [operation cycles]: 25000000

Number of operations / test interval [switching cycles]: 20 per hour

Max. service life, T1 [years]: 20

DC [%]: 99

CCF [points]: ≥ 65

Wear-related service life, T10d (years) 142.69

B10d [operation cycles] 2.50E+07

MTTFd [years] 1426.94

PFHd 4.29E-08

Рисунок 3.11 Расчет  $PFH_d$  в программе TIA Selection Tool.

### Замок безопасности Schmersal AZM190-02/11RK T-MPV-24VDC:

Уровень эффективности защиты, определен с помощью TIA Selection Tools (рис. 3.12)  $PLd$ ,  $PFH_d=4,29 \times 10^{-8}$ . Категория: до третьей. Количество – 10 штук.

**Add Safety Values**

---

Standard  
ISO 13849-1

Subsystem  
Detection

Component category  
3

Order Number  
0

B10d [operation cycles]  
2000000

Number of operations / test intervall [switching cycles]  
5 per hour

Max. service life, T1 [years]  
20

DC [%]  
99 Estimate DC...

CCF [points]  
≥ 65 Estimate CCF...

---

Wear-related service life, T10d (years) 45.66

B10d [operation cycles] 2.00E+06

MTTFd [years] 456.62

PFHd 4.29E-08

Рисунок 3.12 Определение  $PFH_d$  замков безопасности Schmersal AZM190-02/11RK T-MPV-24VDC.

По периметру производственной линии установлен ограждающий забор с дверьми. Необходимо установить на каждую дверь по одному замку безопасности. Необходимое количество – 10 штук.

На рисунке 3.13 представлена упрощенная схема электромагнитного замка безопасности. Замок контролирует закрытие и наличие актуатора в пазе. Контакт 13–14 разомкнут, когда актуатор вставлен в паз замка, в противном случае контакт замкнут. Контакт 41–42 замкнут, когда актуатор вставлен в паз замка, в противном случае контакт разомкнут. Контакты 21–22, 31–32 замкнуты, когда актуатор вставлен в паз и замок закрыт, в противных случаях контакты разомкнуты. Для открытия замка необходимо подать напряжение 24VDC на контакты обмотки E1-E2.

## AZM190-02/11RK

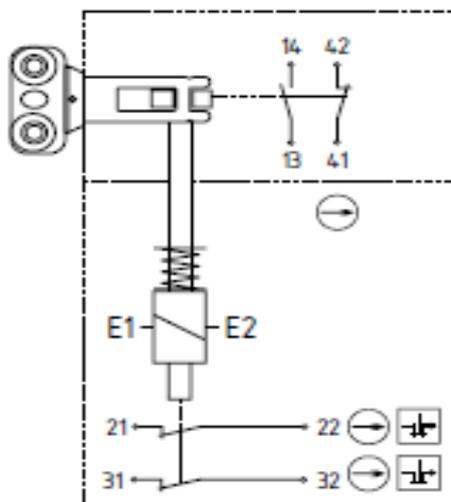


Рисунок 3.13 устройство замка безопасности Schmersal AZM190-02/11RK T-MPV-24VDC [5].

В главе приложение на электрических схемах с 36 по 40 страницу показано подключение замков безопасности. Контакты 21–22, 31–32 подключены к отказобезопасному модулю входов. В случае открытия или извлечения актуатора из паза замка, данные контакты разорвут сигнальную цепь, тогда ПЛК среагирует на данное событие приведя определенную зону к останову категории ноль. Контакт 41–42 подключен к обычному модулю входов и служит как обратная связь для контроля наличия актуатора в пазах замка. Открытие каждой отдельной зоны производится подачей 24VDC на обмотки замка E1-E2 с отказобезопасных модулей выходов.

Для каждого отдельного замка выделены свои входы на отказобезопасных модулях, таким образом возможно проводить диагностику каждого канала в отдельности на короткое замыкание и расхождение сигналов. Подключение замков сконфигурировано по системе 1oo2 с эквивалентным значением каждого канала. В случае расхождения сигналов в течение 500 мс произойдет пассивация каналов и в адрес области памяти входов ПЛК будет записано значение ноль. После устранения неисправности для восстановления нормальной работы входных каналов, необходимо провести тест, проверив распознавание низкого сигнала (открыть и закрыть дверь) и затем в ручном режиме квитировать ошибку. Питание контактов замков сконфигурировано с модуля входов, что позволяет проводить проверку на короткое замыкание каналов.

### Сенсорный ковер безопасности Schmersal SMS, реле безопасности Schmersal SRB301HC/R:

Уровень эффективности защиты при совместном использовании, предоставленный производителем:  $PL_d$ ,  $PFH_D=4,20 \times 10^{-8}$ . Категория: до третьей. Количество – 1 комплект.

Во избежание несчастного случая, связанного с выдвижным и подъемным конвейерами в качестве дополнительной защиты к ограждению и контролю допуска, было решено добавить сенсорный ковер безопасности (рис. 3.14).

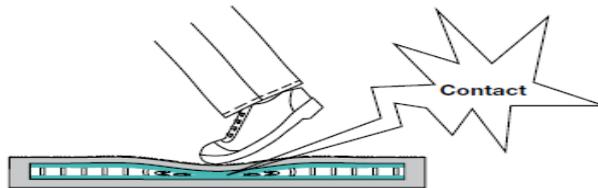


Рисунок 3.14 пример срабатывания сенсорного ковра безопасности [6].

На рисунке 3.15 показан пример подключения сенсорного ковра к реле безопасности. Под весом человека разделенные изоляционными планками токопроводящие металлические пластины сенсорного ковра SMS прикасаются друг к другу (рис. 3.14). Происходит замыкание между входными каналами реле безопасности SRB 301HC. Реле реагирует на данное событие разрывая цепь питания двигателя через подключенные обмотки контакторов к контактам реле 13–14.

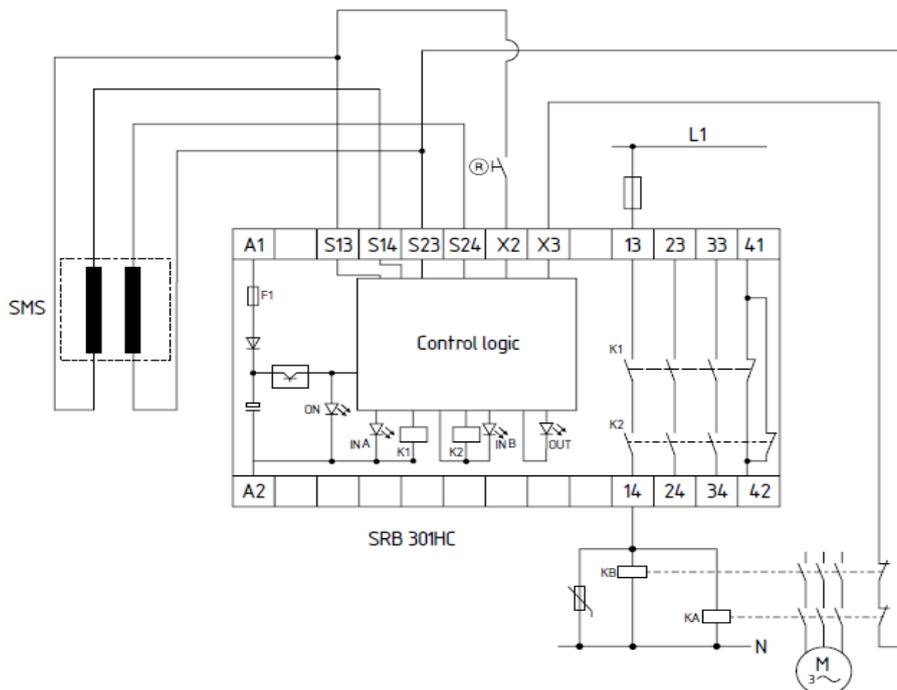


Рисунок 3.15 пример подключения системы сенсорного ковра безопасности. Отключенное состояние [6].

В главе приложение на электрической схеме на 40 странице показано подключение системы сенсорного ковра безопасности. В случае реакции реле KYC1 на срабатывание ковра безопасности YC1, контакты 13–14, 23–24 разрывают сигнальную цепь на входы отказобезопасного модуля F-DI24.7 и F-DI25.7. ПЛК реагируя на низкое состояние сигналов на данных входах, вводит частотные преобразователи выдвигного конвейера и гидравлической станции в состояние STO (safe torque off) – безопасное отключение момента, с помощью телеграммы Profisafe 30 по коммуникационному протоколу Profinet. Для восстановления работы системы необходимо квитировать состояние отключения реле безопасности нажав на 3S1 кнопку, замкнув цепь между контактами S13 и X2 реле KYC1. Квитирование возможно только после восстановления нормального состояния ковра безопасности (человек или какой-либо предмет на ковре отсутствует). Кнопка 3S1 установлена за ограждающим забором возле места расположения ковра безопасности (человеку, квитирующему ошибку, должна быть видна ситуация на месте). Так как обратная связь реализована посредством телеграммы Profisafe 30 между ПЛК и управляющими модулями частотных преобразователей, то между контактами реле KYC1 S23 и X3 установлена перемычка.

Подключение выходов реле YC1 к входам ПЛК сконфигурировано по системе 1oo2 с эквивалентным значением каждого канала. В случае расхождения сигналов в течение 500 мс произойдет пассивация каналов и в адрес области памяти входов ПЛК будет записано значение ноль. После устранения неисправности для восстановления нормальной работы пары входных каналов, необходимо провести тест, проверив распознавание низкого сигнала и затем в ручном режиме квитировать ошибку. Питание сконфигурировано с модуля входов, что позволяет проводить проверку на короткое замыкание каналов.

### **Световой барьер безопасности Leuze MLD535-R2:**

Уровень эффективности защиты, предоставленный производителем: PLe, PFH<sub>D</sub>=6,60×10<sup>-9</sup>. Категория: до четвертой. Количество – 3 штуки. Существует возможность перехода человеком между соседними зонами производственной линии по конвейеру. В таком случае необходимо установить световые барьеры безопасности между отдельными секторами.

Задача данного устройства обесточить переключающие выходы OSSD1 и OSSD2 (output signal switching device) в случае пересечения человеком светового излучения (рис. 3.16). Отключенное состояние переключающих выходов обесточит обмотки силовых контакторов, что в свою очередь обесточит элементы машины.

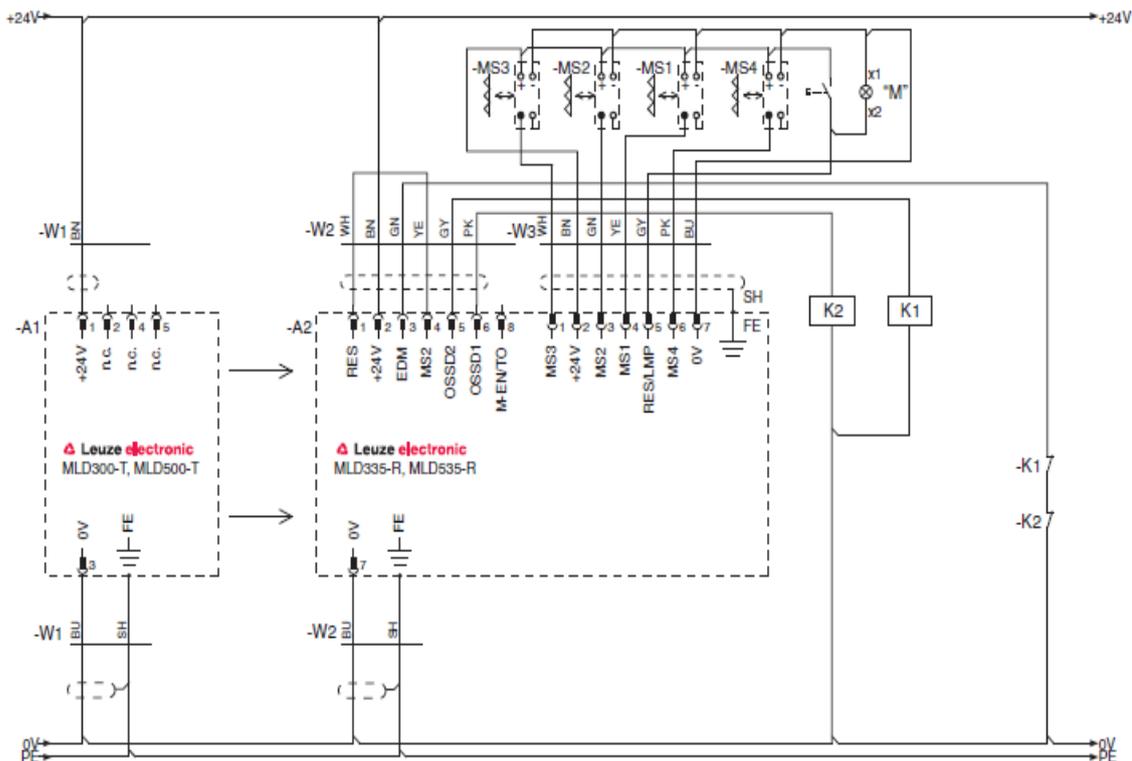


Рисунок 3.16 пример подключения светового барьера безопасности [8].

Для исключения срабатывания барьера каждый раз при пересечении продукцией зоны контроля устройства, существуют способы приостановки защитной функции. Во время действия приостановки выходы OSSD1 и OSSD2 сохраняют состояние включения.

На рисунке 3.17 показан пример приостановки защитной функции барьера с помощью четырех оптических датчиков по времени. В данном случае приостановка работает при прямом и реверсивном ходе перемещаемого предмета. После срабатывания первого датчика приостановки, следующий должен сработать в течение промежутка времени  $t$  равным четырем секундам. [8]

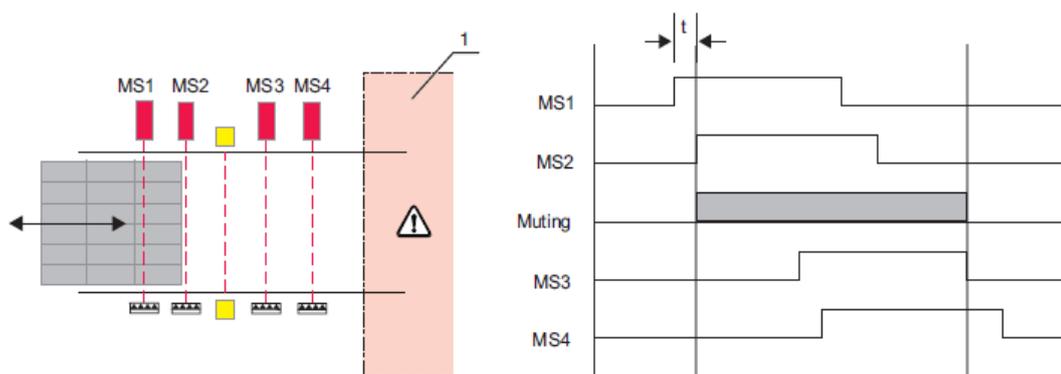


Рисунок 3.17 пример приостановки защитной функции инфракрасного барьера безопасности [8].

Функция приостановки прекратит действие в случаях:

- во время операции оптический датчик деактивируется с продолжительностью, превышающей время фильтрации 300 мс;
- MS2 активируется позже четырех секунд после MS1 (в обратном направлении MS3 после MS4);
- лимит времени приостановки превышен (с помощью подключения время было выбрано равным 10 минутам);
- отключение питания устройства. [8]

В главе приложение на электрических схемах с 42 по 44 страницу показаны подключения световых барьеров безопасности. В случае реакции светового барьера на прерывание светового луча, выходы OSSD1, OSSD2 разрывают сигнальную цепь на входы отказобезопасного модуля. ПЛК, реагируя на низкое состояние сигналов на данных входах, приводит определенные зоны к останову категории 0. Для восстановления работы системы необходимо квитировать состояние отключения барьера нажав на кнопку, подав 24V DC на вход RES/LMP. Квитирование возможно только после восстановления нормального состояния барьера безопасности. Кнопка квитирования установлена за ограждающим забором возле места расположения барьера (человеку, квитирующему ошибку, должна быть видна ситуация на месте). Так как обратная связь поступает на ПЛК то на вход обратной связи барьера EDM установлена передающая 24VDC перемычка.

Подключение выходов OSSD барьеров к входам ПЛК сконфигурировано по системе 1oo2 с эквивалентным значением каждого канала. В случае расхождения сигналов в течение 50 мс произойдет пассивация каналов и в адрес области памяти входов ПЛК будет записано значение ноль. После устранения неисправности для восстановления нормальной работы пары входных каналов, необходимо провести тест, проверив распознавание низкого сигнала и затем в ручном режиме квитировать ошибку. Питание сконфигурировано как внешние, что не позволяет проводить проверку на короткое замыкание каналов.

#### **Пневматический клапан быстрого сброса Festo MS6-SV-1/2-D-10V24-2M8:**

Уровень эффективности защиты, предоставленный производителем: PLe, PFH<sub>D</sub>=4,29x10<sup>-8</sup>. Категория: до третьей. Количество – 3 штуки.

Пневматическое давление в системе участка производственной линии должно быть сброшено в случаях аварийного останова и захода в рабочую зону оператором.

Пневматический клапан MS6-SV-D служит для следующих целей:

- отсоединение и подключение источника давления на вышестоящих уровнях согласно EN ISO 13849-1;
- плавное повышение давления в пневматических магистральных системах и конечных устройствах сферы промышленности. [9]

MS6-SV-D имеет две функции обеспечения безопасности:

- отсоединение источника давления;
- защита от непредусмотренного пуска (отсутствие включения). [9]

Клапан MS6-SV-D функционирует так что при одновременной подаче тока на обе катушки он переходит из исходного положения в положение переключения. Перейти в исходное положение можно путем отключения обеих катушек. [9]

В исходном положении (рис. 3.18), (полностью сброшен воздух из MS6-SV-D) клапаны пилотного управления V1 и V2 не активированы. Если активированы оба клапана пилотного управления, MS6-SV-D сначала переключается в положение переключения 1, а затем, при достижении давления переключения, автоматически в положение переключения 2. [9]

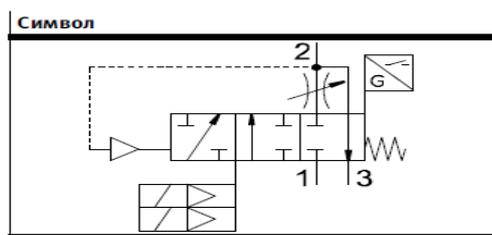


Рисунок 3.18 условное обозначение функции [9].

В главе приложение на электрических схемах на 50 и 51 страницах показано подключение пневматических клапанов быстрого сброса. Обесточивание клемм выходов отказобезопасных модулей как +, так и -, приводит к перекрытию подачи воздушного давления в рабочую зону. Обратная связь обеспечивается за счет бесконтактных магнитных датчиков положения S1 и S2, подключенных к обычным дигитальным входам (рис. 3.19).

V1	V2	S1	S2	S3	MS6-SV-D
Напряжение [В]		Положение переключения			Состояние
0	0	1	1	1	<b>Исходное положение</b> Канал 1 заперт, проход из канала 2 в 3 открыт
24	0	0	1	1	<b>Исходное (нормальное) положение, опциональное состояние тестирования (→ Tab. 6)</b> Канал 1 заперт, проход из канала 2 в 3 открыт
0	24	1	0	1	<b>Исходное (нормальное) положение, опциональное состояние тестирования (→ Tab. 6)</b> Уменьшенный расход через дроссель из канала 1 в 2, проход из канала 2 в 3 открыт
24	24	0	0	1	<b>Положение переключения 1</b> Уменьшенный расход (поток) через дроссель из канала 1 в 2, проход из канала 2 в 3 заперт
24	24	0	0	0	<b>Положение переключения 2</b> Полный расход (поток) из канала 1 в 2, проход из канала 2 в 3 заперт

Рисунок 3.19 логика переключения пневматического клапана [9].

Отказобезопасный модуль регулярно тестирует выходы, диагностируя неисправности как внутренних Р (+) и М (-) переключателей, так и нагрузки на клеммах модуля (рис. 3.20), что позволяет распознать короткие и перекрестные замыкания проводки на клеммах модуля. Обрыв линии не поддается диагностике. В случае установления неисправности неисправные каналы пассивируются - в область памяти выходов записывается логический ноль. Физические выходы деактивируются. Квитирование пассивации выходов происходит в ручном режиме.

The screenshot shows a software interface for configuring DQ parameters. At the top, there is a section for 'DQ parameters' with a 'Maximum test period' set to 1000 seconds. Below this, there are two channel configurations, 'Channel 0' and 'Channel 1'. Each channel has a checked 'Activated' box, a 'Channel failure acknowledge' dropdown set to 'Manual', a 'Max. readback time' of 2.0 ms, and a 'Max. readback time switch on test' of 1.0 ms.

Рисунок 3.20 Конфигурация выходов отказобезопасного модуля.

Тестирование выходов происходит с интервалом 1000 секунд. Во время теста внутренние переключатели модуля М и Р попеременно переключаются и считываются. Максимальное время включения импульса установлено 1 мс и максимальное время чтения 2 мс. Возможна активация контролируемого элемента во время теста в случае неисправности, например из-за замыкания одного из полюсов в кабеле. Необходимо устанавливать максимальное время включения импульсов как можно меньшим для исключения подобной возможности.

### **Двухканальная кнопка аварийного останова Schneider electric 2NC E-Stop button:**

Уровень эффективности защиты, предоставленный производителем: PLe,  $PFH_D=2,47 \times 10^{-8}$ . Категория: до третьей. Количество – 10 штук.

Грибовидная кнопка аварийного останова с двумя нормально замкнутыми контактами (рис. 3.20).



Рисунок 3.20 кнопка аварийного останова [10].

Нажатие кнопки разрывает оба контакта. Для восстановления замыкания обоих контактов необходимо повернуть по часовой стрелке и отжать кнопку.

В главе приложение на электрических схемах с 33 по 35 страницу показаны подключения кнопок аварийного останова. Для каждой отдельной кнопки выделены свои входы в отказобезопасных модулях, таким образом возможно проводить диагностику каждого канала в отдельности на короткое замыкание и расхождение сигналов. Подключение кнопок сконфигурировано по системе 1oo2 с эквивалентным значением каждого канала – два равнозначных сигнала. В случае расхождения сигналов в течение 500 мс произойдет пассивация каналов и в адрес области памяти входов ПЛК будет записано значение ноль. После устранения неисправности для восстановления нормальной работы пары входных каналов, необходимо провести тест, проверив распознавание низкого сигнала (нажав и отжав кнопку) и затем в ручном режиме квитировать ошибку. Питание кнопок сконфигурировано с модуля входов, что позволяет проводить проверку на короткое замыкание каналов с выбранным в данном случае интервалом для всего модуля 819.2 мс и длительностью 1.6 мс.

#### **ПЛК Siemens S7 F-CPU 6ES7214-1AF40-0XB0:**

Уровень эффективности защиты, предоставленный производителем: PLe,  $PFH_D=2,00 \times 10^{-9}$ . Категория: до четвертой. Количество – 1 штука.

Функция безопасности, состоит из элементов SRP/CS и охватывает цепочку – от сбора и оценки информации до исполнения предназначенного действия (рис. 3.21).

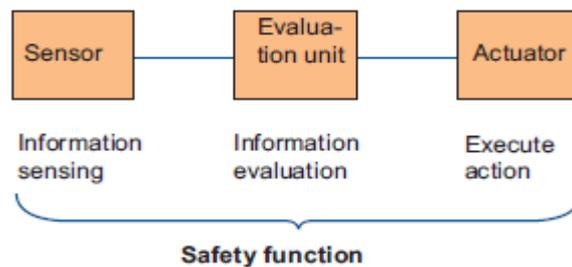


Рисунок 3.21 Функция безопасности [3].

В качестве оценивающего элемента функции безопасности могут выступать реле безопасности и отказобезопасные ПЛК (рис. 3.22). Реле безопасности целесообразно применять в случае несложных систем. Так как система безопасности данной производственной линии является достаточно сложной, разбитой на зоны системой с взаимосвязями между участками производственной линии, требующих диагностики. Было принято решение использовать отказобезопасный ПЛК для создания алгоритма функционирования системы

безопасности. Данный ПЛК способен обрабатывать как программу безопасности, так и стандартную программу, поддерживает коммуникационный протокол profinet с дополнительным профилем profisafe.



Рисунок 3.22 отказобезопасный ПЛК [11].

**Модуль дигитальных входов SM1226 F-DI16 6ES7226-6BA32-0XB0:**

Уровень эффективности защиты, предоставленный производителем: PLe, двухканальное подключение -  $PFH_D=1,00 \times 10^{-10}$ , одноканальное подключение -  $PFH_D=1,00 \times 10^{-8}$ . Категория: до четвертой. Количество – 5 штук.

В качестве элемента функции безопасности, собирающего информацию с полевых устройств, например таких как кнопки аварийного останова и замки безопасности, необходим отказоустойчивый модуль дигитальных входов (рис. 3.23). Данный модуль поддерживает функции внутренней диагностики, контроля короткого замыкания на входах, пассивацию каналов, подключение элементов ко входам по системе 1oo1 или 1oo2, контроль расхождения сигналов в случае системы 1oo2.



Рисунок 3.23 отказоустойчивый модуль дигитальных входов [12].

Пассивация канала – принудительная запись установленного значения (обычно нуля) в область памяти входов/выходов в случае установленной неисправности диагностикой системы.

**Модуль дигитальных выходов SM1226 F-DQ4 6ES7226-6DA32-0XB0:**

Уровень эффективности защиты, предоставленный производителем: PLe,  $PFH_D=4,00 \times 10^{-9}$ . Категория: до четвертой. Количество – 3 штуки.

В качестве элемента функции безопасности, выводящего реакцию на событие для полевых устройств таких как силовой контактор, частотный преобразователь (в

случае конфигурации через физические входы), пневматический клапан сброса давления, необходим модуль дигитальных выходов (рис. 3.24).



Рисунок 3.24 отказоустойчивый модуль дигитальных выходов [13].

Данный модуль содержит функции внутренней и внешней диагностики, пассивации каналов.

**Управляющий модуль частотного преобразователя Sinamics G120 CU240E-2PN-F 6SL3244-0BB13-1FA0:**

Уровень эффективности защиты: PLd, предоставленный производителем PFH<sub>D</sub>=1,50x10<sup>-8</sup>. Категория: до третьей. Количество – 13 штук.

Управляющий модуль (рис. 3.25) является частью системы частотного преобразователя.



Рисунок 3.25 управляющий модуль частотного преобразователя [14].

Данный модуль поддерживает расширенные функции безопасности. Для данной производственной линии помимо базовой STO функции необходима функция SLS (safe limited speed) для контроля скорости конвейера в сервисном режиме. Управление данными функциями для данной системы безопасности сконфигурировано посредством телеграмм Profisafe 30 (рис. 3.26).

▼ DriveSegment1_S_STW1_D1	*ProfSafe_S_STW1_UDT	%Q500.0	▼ DriveSegment1_Z_STW1_D1	*ProfSafe_S_ZSW1_UDT	%I500.0
▼ Deselect_STO	Bool	%Q500.0	▼ STO_Active	Bool	%I500.0
▼ Deselect_SS1	Bool	%Q500.1	▼ SS1_Active	Bool	%I500.1
▼ Reserved_1	Bool	%Q500.2	▼ Reserved_1	Bool	%I500.2
▼ Reserved_2	Bool	%Q500.3	▼ Reserved_2	Bool	%I500.3
▼ Deselect_SLS	Bool	%Q500.4	▼ SLS_Active	Bool	%I500.4
▼ Reserved_3	Bool	%Q500.5	▼ Reserved_3	Bool	%I500.5
▼ Reserved_4	Bool	%Q500.6	▼ Reserved_4	Bool	%I500.6
▼ Acknowledgment	Bool	%Q500.7	▼ Internal_Event	Bool	%I500.7
▼ Reserved_5	Bool	%Q501.0	▼ Reserved_5	Bool	%I501.0
▼ Select_SLS_Bit0	Bool	%Q501.1	▼ ActiveSLS_LevelBit0	Bool	%I501.1
▼ Select_SLS_Bit1	Bool	%Q501.2	▼ ActiveSLS_LevelBit1	Bool	%I501.2
▼ Reserved_6	Bool	%Q501.3	▼ Reserved_6	Bool	%I501.3
▼ Deselect_SDI_Positive	Bool	%Q501.4	▼ SDI_PositiveActive	Bool	%I501.4
▼ Deselect_SDI_Negative	Bool	%Q501.5	▼ SDI_negativeActive	Bool	%I501.5
▼ Reserved_7	Bool	%Q501.6	▼ Reserved_7	Bool	%I501.6
▼ Reserved_8	Bool	%Q501.7	▼ SSM(SpeedBelowLimitValue)	Bool	%I501.7

Рисунок 3.26 Пример телеграмм Profisafe 30.

В частотном преобразователе сконфигурированы две функции безопасности – STO и SLS. В качестве останова нулевой категории применена функция STO (safe torque off) - функция частотного преобразователя (рис. 3.27), которая в случае активации (например запись нуля в область памяти ПЛК Q500.0 (рис. 3.26)) отключает питание от электродвигателя и предотвращает новый запуск.

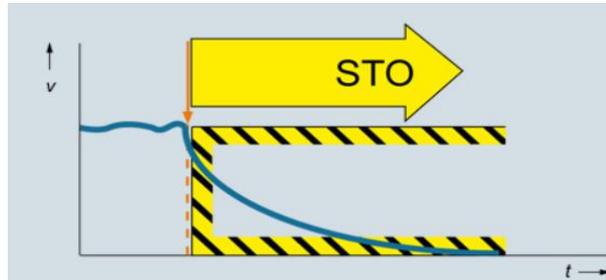


Рисунок 3.27 функция safe torque off [15].

Для контроля скорости в сервисном режиме применена функция частотного преобразователя SLS (safely limited speed) – функция частотного преобразователя (рис. 3.28), которая в случае активации (например запись нуля в область памяти ПЛК Q500.4 (рис. 3.26)) следит за скоростью вращения двигателя, и в случае превышения указанного порога, происходит заранее выбранная реакция частотного преобразователя – например, останов категории 0.

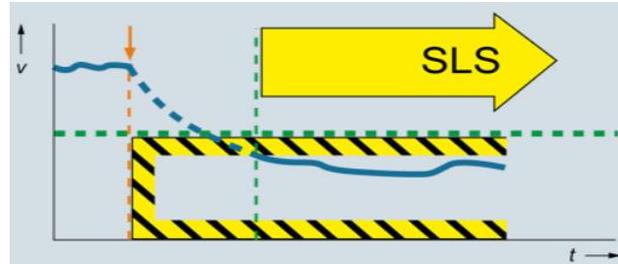


Рисунок 3.28 функция safely limited speed [15].

### **Управляющий модуль частотного преобразователя Sinamics G120 CU240E-2PN 6SL3244-0BB12-1FA0:**

Уровень эффективности защиты, предоставленный производителем: PLd,  $PFH_D=1,50 \times 10^{-8}$ . Категория: до третьей. Количество – 1 штука.

Для организации плавной работы подъемного конвейера было решено использовать частотный преобразователь.

Управляющий модуль является частью системы частотного преобразователя. Данный модуль поддерживает базовую функцию безопасности STO (safe torque off) – функция безопасности отключения момента от двигателя и защиты от непреднамеренного запуска. Действие данной функции возможно сконфигурировать посредством отказоустойчивых дигитальных входов

управляющего модуля или протокола Profinet с дополнительным профилем Profisafe. Управление данной функцией для данной системы безопасности сконфигурировано посредством телеграмм Profisafe 30.

### **Контактор Schneider electric Tesys D 3P, 400V, 7,5 кВт, AC-3, 24VDC:**

Уровень эффективности защиты, определен с помощью TIA Selection Tools (рис. 3.29)  $PL_c$ ,  $PFH_d=1,14 \times 10^{-6}$ . Категория: первая. Количество – 2 штуки.

**Edit Safety Values** [X]

Standard: ISO 13849-1

Subsystem: Reaction

Component category: 1

Order Number: Contactors TESYS

B10d [operation cycles]: 20000000

Number of operations / test interval [switching cycles]: 5 per hour

Max. service life, T1 [years]: 20

---

Wear-related service life, T10d (years) 456.62

B10d [operation cycles] 2.00E-07

MTTFd [years] 4566.21

PFHd 1.14E-06

Рисунок 3.29 расчет  $PFH_d$  в программе TIA Selection Tool для контактора Schneider electric Tesys D.

Архитектура третьей категории должна быть выполнена двухканальным образом. Так как выходы отказобезопасного модуля удовлетворяют данному требованию, остается лишь подобрать резервируемые контакторы. Установка лишь одного контактора может удовлетворить требуемому уровню  $PL_d$  при условии, что  $DC_{avg} = high$  и  $CCF > 65$ , однако все-таки было решено установить два контактора, силовые клеммы которых должны быть подключены последовательно. В таком случае подключения, согласно расчету в программе TIA Selection Tool (рис. 3.30)  $PFH_d = 4,29 \times 10^{-8}$ , что соответствует требуемому уровню  $PL_d$ , так как:

- $DC_{avg} = 99\%$  так как присутствует обратная связь с NC контактов контакторов и контроль на короткое замыкание дигитальных входов;
- $CCF > 65$  так как соблюдены необходимые требования.

Add Safety Values
✕

---

Description

Circuit category

DC Module 1 (%)

DC Module 2 (%)

CCF [points]

MTTFd1 (years)

MTTFd2 (years)

---

DC [%] 99

MTTFd [years] 100

PFHd 4.29E-08

Рисунок 3.30 расчет PFH<sub>d</sub> в программе TIA Selection Tool для резервируемых контакторов Schneider electric Tesys D.

В главе приложение на электрической схеме на второй странице показано подключение силовых клемм контакторов. В случае данного последовательного подключения спаивание контактов одного из контакторов не приведет к выходу из строя функции безопасности, так как второй контактор разорвет цепь питания двигателей зоны palletizer. Одновременное спаивание контактов обоих контакторов маловероятно (также оба контактора имеют запас по мощности). И благодаря наличию обратной связи (глава приложение, страница 49) возможно обнаружить неисправность перед последующим запуском.

Схема подключения обмоток контакторов к отказобезопасному модулю выходов показана в главе приложение на странице 51. Отказобезопасный модуль регулярно тестирует выходы, диагностируя неисправности как внутренних Р (+) и М (-) переключателей, так и нагрузки на клеммах модуля, что позволяет распознать короткие и перекрестные замыкания проводки на клеммах модуля. Обрыв линии не поддается диагностике. В случае установления неисправности неисправные каналы пассивируются - в область памяти выходов записывается логический ноль. Физические выходы деактивируются. Квтирование пассивации выходов происходит в ручном режиме.

## 4. КОНТРОЛЬ КОМПОНЕНТОВ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ОСТАТОЧНОГО РИСКА ДО ПРИЕМЛЕМОГО УРОВНЯ

Выбор необходимого оборудования для данного проекта производится с помощью программы TIA Selection Tool. В эту программу были установлены библиотеки устройств, загруженные с сайтов производителей оборудования.

Если для функции безопасности был определен необходимый  $PL_r$ , тогда общая сумма  $PFH_d$  компонентов должна быть больше или равна требуемому уровню эффективности защиты по формуле [3]:

$$\sum_{i=m}^n PFH_D \geq PL_r$$

Однако если уровень эффективности защиты одного SRP/CS меньше общего достигнутого уровня эффективности, тогда необходимо принять общий уровень равным самому меньшему из используемых SRP/CS. Например – если общий  $PL = PL_e$ , однако у одного SRP/CS  $PL=PL_d$ , тогда общий  $PL=PL_d$ .

Для каждой отдельной функции необходимо использовать в расчете каждое используемое техническое средство, несмотря на то что оно уже было возможно использовано в расчете другой функции.

Расчет будет показан на примере функций безопасности зоны separator.

### Контроль оборудования для функций безопасности<sub>1;2</sub>:

Детекция:

- замок безопасности schmersal AZM190-02/11RK,  $PL_e$ ,  $PFH_D=4,29 \times 10^{-8}$  – 1 шт;

Оценка:

- ПЛК siemens S7 F-CPU 6ES7214-1AF40-0XB0,  $PL_e$ ,  $PFH_D=2,00 \times 10^{-9}$  – 1 шт;
- модуль дигитальных входов (двухканальное подключение) siemens SM1226 F-DI16 6ES7226-6BA32-0XB0,  $PL_e$ ,  $PFH_D=1,00 \times 10^{-10}$  – 1 шт;
- модуль дигитальных выходов siemens SM1226 F-DQ4 6ES7226-6DA32-0XB0,  $PL_e$ ,  $PFH_D=4,00 \times 10^{-9}$  – 1 шт;

Реакция:

- пневматический клапан быстрого сброса festo MS6-SV-1/2-D-10V24-2M8,  $PL_e$ ,  $PFH_D=4,29 \times 10^{-8}$  – 1 шт;
- управляющий модуль частотного преобразователя sinamics G120 CU240E-2PN-F 6SL3244-0BB13-1FA0,  $PL_d$ ,  $PFH_D=1,50 \times 10^{-8}$  – 6 шт;

- управляющий модуль частотного преобразователя sinamics G120 CU240E-2PN 6SL3244-0BB12-1FA0, PL<sub>d</sub>, PFH<sub>D</sub>=1,00×10<sup>-8</sup> – 1 шт.

Из рисунка 4.1 следует что выбор компонентов для функций безопасности<sub>1,2</sub> удовлетворяет требованию PL<sub>d</sub>, так как общее PFH<sub>D</sub> = 1,91×10<sup>-7</sup> и наименьший уровень эффективности защиты компонента равен PL<sub>d</sub>.

Safety function1;2

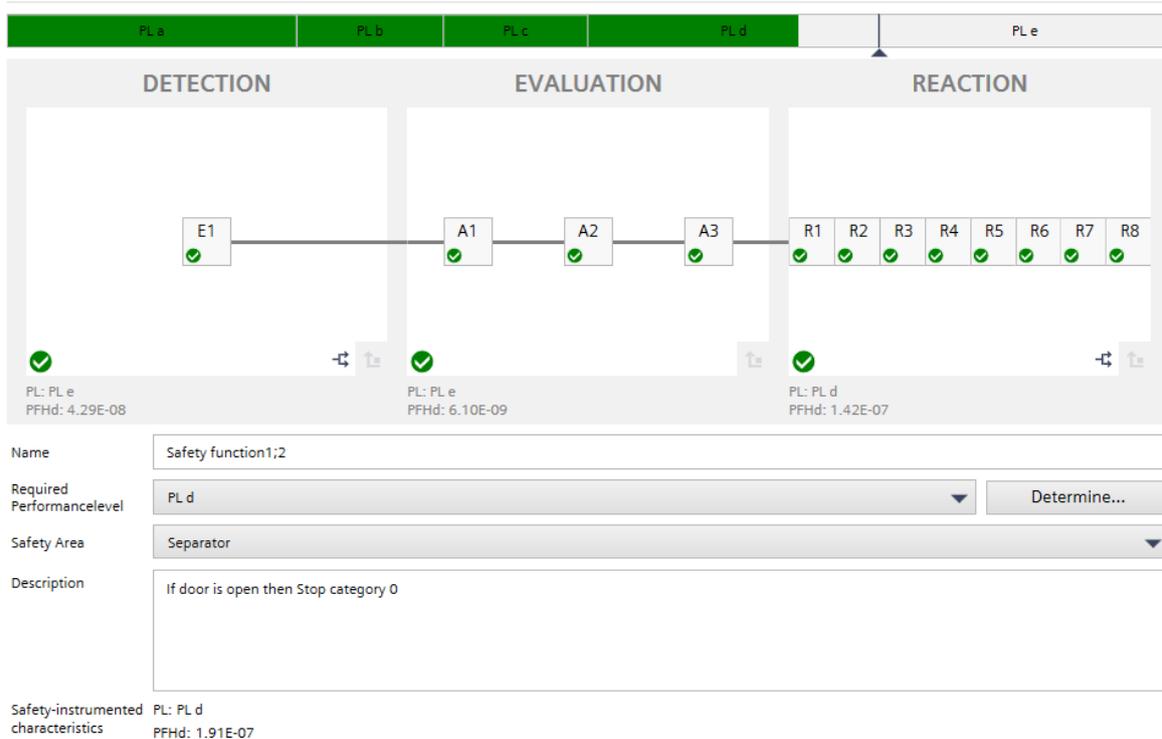


Рисунок 4.1 Пример расчета в программе TIA Selection Tool PFH<sub>d</sub> для функции безопасности<sub>1,2</sub>.

### Контроль оборудования для функции безопасности<sub>3</sub>:

Детекция:

- барьер безопасности leuze MLD535-R2, PL<sub>e</sub>, PFH<sub>D</sub>=6,60×10<sup>-9</sup> – 1 шт;

Оценка:

- ПЛК siemens S7 F-CPU 6ES7214-1AF40-0XB0, PL<sub>e</sub>, PFH<sub>D</sub>=2,00×10<sup>-9</sup> – 1 шт;
- модуль дигитальных входов (двухканальное подключение) siemens SM1226 F-DI16 6ES7226-6BA32-0XB0, PL<sub>e</sub>, PFH<sub>D</sub> = 1,00×10<sup>-10</sup> – 1 шт;
- модуль дигитальных выходов siemens SM1226 F-DQ4 6ES7226-6DA32-0XB0, PL<sub>e</sub>, PFH<sub>D</sub>=4,00×10<sup>-9</sup> – 1 шт;

Реакция:

- пневматический клапан быстрого сброса festo MS6-SV-1/2-D-10V24-2M8,  $PL_e$ ,  $PFH_D=4,29 \times 10^{-8}$  – 1 шт;
- управляющий модуль частотного преобразователя sinamics G120 CU240E-2PN-F 6SL3244-0BB13-1FA0,  $PL_d$ ,  $PFH_D=1,50 \times 10^{-8}$  – 6 шт;
- управляющий модуль частотного преобразователя sinamics G120 CU240E-2PN 6SL3244-0BB12-1FA0,  $PL_d$ ,  $PFH_D=1,00 \times 10^{-8}$  – 1 шт.

Из рисунка 4.2 следует что выбор компонентов для функции безопасности<sup>3</sup> удовлетворяет требованию  $PL_d$ , так как общее  $PFH_D = 1,55 \times 10^{-7}$  и наименьший уровень эффективности защиты компонента равен  $PL_d$ .

Safety function<sup>3</sup>

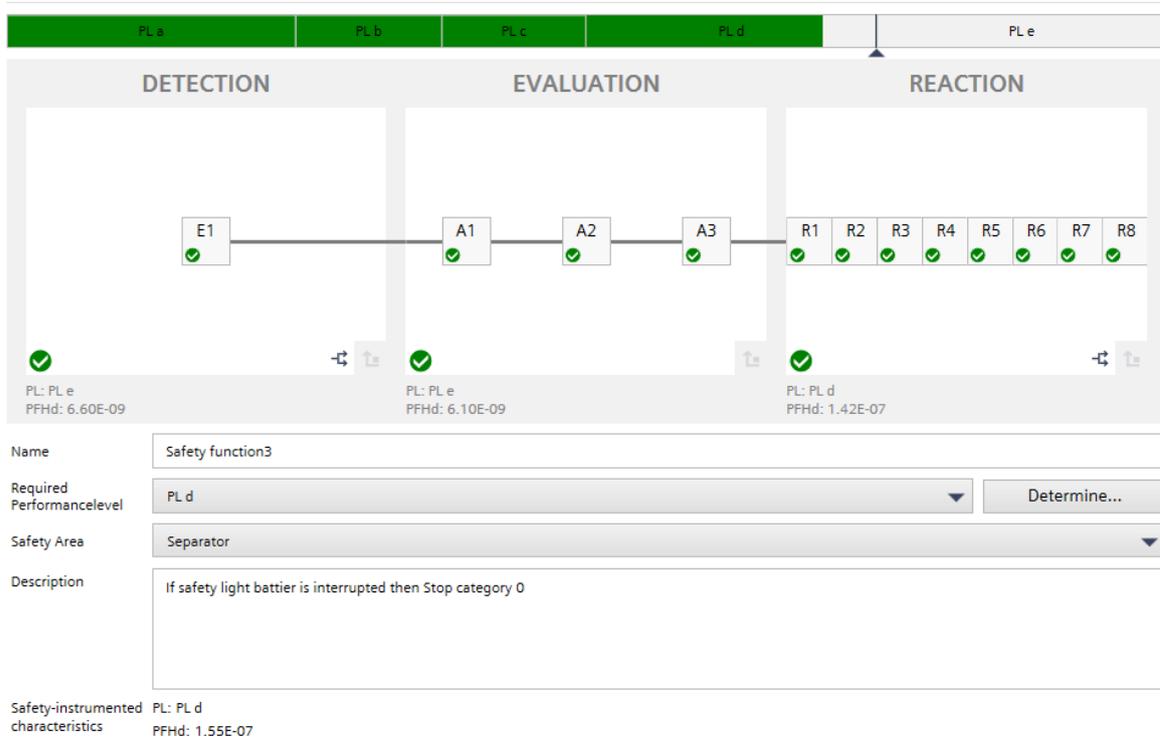


Рисунок 4.2 Пример расчета в программе TIA Selection Tool  $PFH_d$  для функции безопасности<sup>3</sup>.

#### Контроль оборудования для функции безопасности<sup>4</sup>:

Детекция:

- сенсорный ковер безопасности schmersal SMS5 вместе с следящим реле ковra безопасности schmersal SRB301HC/R,  $PL_d$ ,  $PFH_D=4,20 \times 10^{-8}$  – 1 комплект;

Оценка:

- ПЛК siemens S7 F-CPU 6ES7214-1AF40-0XB0,  $PL_e$ ,  $PFH_D=2,00 \times 10^{-9}$  – 1 шт;

- модуль дигитальных входов (двухканальное подключение) siemens SM1226 F-DI16 6ES7226-6BA32-0XB0,  $PL_e$ ,  $PFH_D=1,00 \times 10^{-10}$  – 2 шт;

Реакция:

- управляющий модуль частотного преобразователя sinamics G120 CU240E-2PN-F 6SL3244-0BB13-1FA0,  $PL_d$ ,  $PFH_D=1,50 \times 10^{-8}$  – 1 шт;
- управляющий модуль частотного преобразователя sinamics G120 CU240E-2PN 6SL3244-0BB12-1FA0,  $PL_d$ ,  $PFH_D=1,00 \times 10^{-8}$  – 1 шт.

Из рисунка 4.3 следует что выбор компонентов для функции безопасности<sub>4</sub> удовлетворяет требованию  $PL_d$ , так как общее  $PFH_D = 6,92 \times 10^{-8}$  и наименьший уровень эффективности защиты компонента равен  $PL_d$ .

Safety function4

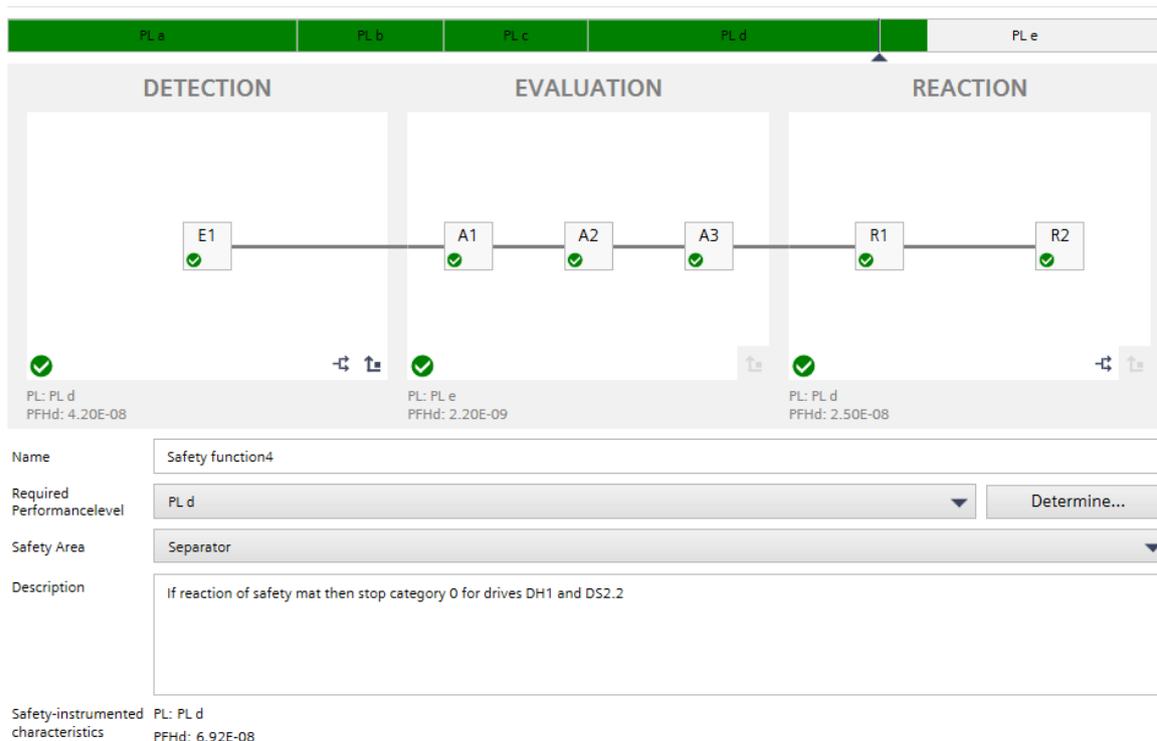


Рисунок 4.3 Пример расчета в программе TIA Selection Tool  $PFH_D$  для функции безопасности<sub>4</sub>.

### Контроль оборудования для функции безопасности<sub>5</sub>:

Детекция:

- магнитный датчик безопасности schmersal BNZ180-12-2187-2,  $PL_e$ ,  $PFH_D=4,29 \times 10^{-8}$  – 3 шт;

Оценка:

- ПЛК siemens S7 F-CPU 6ES7214-1AF40-0XB0,  $PFH_D=2,00 \times 10^{-9}$  – 1 шт;

- модуль цифровых входов (двухканальное подключение) siemens SM1226 F-DI16 6ES7226-6BA32-0XB0,  $PL_e$ ,  $PFH_D=1,00 \times 10^{-10}$  – 1 шт;
- модуль цифровых входов (одноканальное подключение) siemens SM1226 F-DI16 6ES7226-6BA32-0XB0,  $PL_e$ ,  $PFH_D=1,00 \times 10^{-8}$  – 1 шт;
- модуль цифровых выходов SM1226 F-DQ4 6ES7226-6DA32-0XB0,  $PL_e$ ,  $PFH_D=4,00 \times 10^{-9}$  – 2 шт;

Реакция:

- управляющий модуль частотного преобразователя sinamics G120 CU240E-2PN 6SL3244-0BB12-1FA0,  $PL_d$ ,  $PFH_D=1,00 \times 10^{-8}$  – 1 шт;
- управляющий модуль частотного преобразователя sinamics G120 CU240E-2PN-F 6SL3244-0BB13-1FA0,  $PL_d$ ,  $PFH_D=1,50 \times 10^{-8}$  – 6 шт;
- пневматический клапан быстрого сброса festo MS6-SV-1/2-D-10V24-2M8,  $PL_e$ ,  $PFH_D=4,29 \times 10^{-8}$  – 1 шт.

Из рисунка 4.4 следует что выбор компонентов для функции безопасности<sub>5</sub> удовлетворяет требованию  $PL_d$ , так как общее  $PFH_d = 2,19 \times 10^{-7}$  и наименьший уровень эффективности защиты компонента равен  $PL_d$ .

Safety function<sub>5</sub>

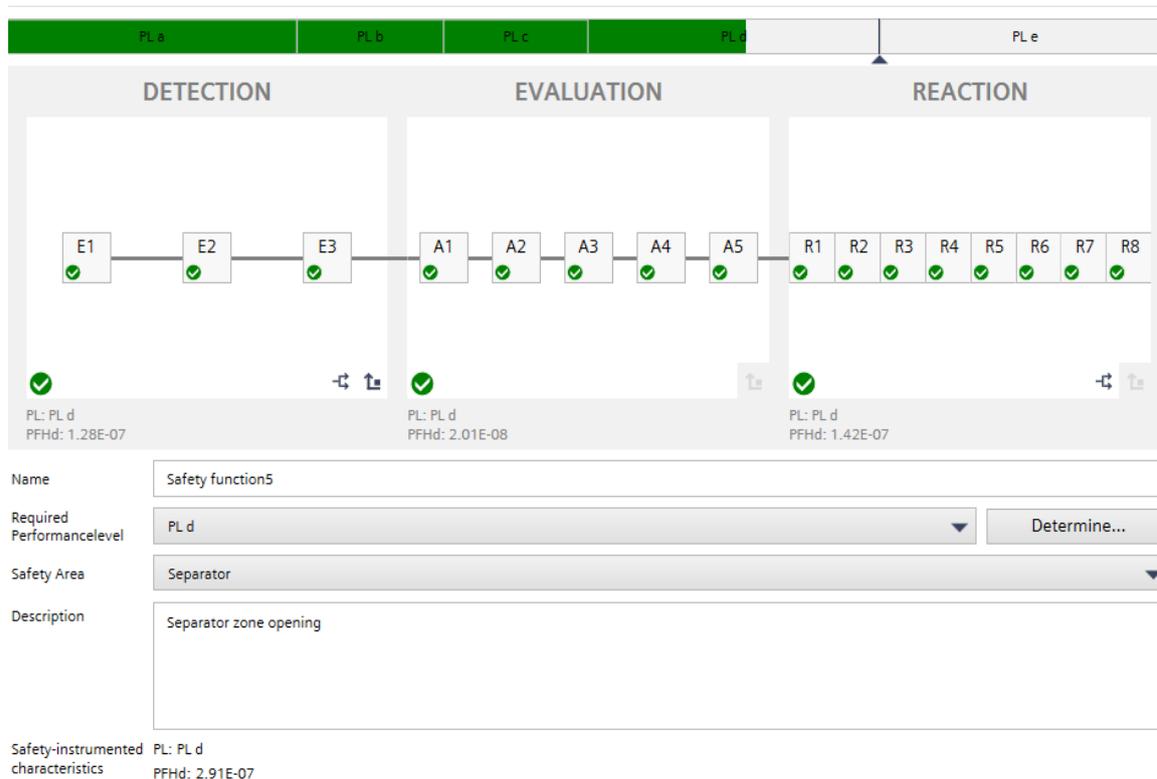


Рисунок 4.4 Пример расчета в программе TIA Selection Tool  $PFH_D$  для функции безопасности<sub>5</sub>.

Таким же образом были рассчитаны значения  $PFH_d$  для остальных функций:

- Функции безопасности<sub>6;7</sub> –  $PFH_d = 1,85 \times 10^{-7}$  ,  $PL_d$ ;
- Функции безопасности<sub>8;9</sub> –  $PFH_d = 1,49 \times 10^{-7}$  ,  $PL_d$ ;
- Функция безопасности<sub>10</sub> –  $PFH_d = 1,99 \times 10^{-7}$  ,  $PL_d$ ;
- Функция безопасности<sub>11-14</sub> –  $PFH_d = 2,38 \times 10^{-7}$  ,  $PL_d$ ;
- Функция безопасности<sub>15;16</sub> –  $PFH_d = 2,02 \times 10^{-7}$  ,  $PL_d$ ;
- Функция безопасности<sub>17</sub> –  $PFH_d = 3,38 \times 10^{-7}$  ,  $PL_d$ ;
- Функция безопасности<sub>18;19</sub> –  $PFH_d = 1,40 \times 10^{-7}$  ,  $PL_d$ ;
- Функция безопасности<sub>20</sub> –  $PFH_d = 1,04 \times 10^{-7}$  ,  $PL_d$ ;
- Функция безопасности<sub>21</sub> –  $PFH_d = 9,74 \times 10^{-8}$  ,  $PL_d$ ;
- Функция безопасности<sub>22-31</sub> –  $PFH_d = 5,15 \times 10^{-7}$  ,  $PL_d$ ;
- Функция безопасности<sub>32</sub> –  $PFH_d = 2,64 \times 10^{-7}$  ,  $PL_d$ .

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В ходе данной работы были спроектированы функции безопасности для сортировочно-упаковочно-транспортного конвейера. Для этого в данной работе произведен анализ угроз персоналу со стороны элементов автоматизированной системы и определены необходимые уровни снижения риска, на основании которых были разработаны функции безопасности, для которых было выбрано оборудование с подходящими значениями вероятности опасного отказа в час, наработки на опасный отказ, определены необходимый диагностический охват, архитектура системы. На основании вышеперечисленных факторов была создана электрическая документация проекта, элементы которой продемонстрированы в главе приложение.

В дальнейшем необходимо создать программу для отказобезопасной части ПЛК и визуализацию для панели оператора. Визуализация должна отображать состояния элементов безопасности конвейера, содержать предупреждения и информировать об ошибках.

## **РЕЗЮМЕ**

Взаимодействие персонала с автоматической или автоматизированной системой несет в себе риски, связанные с вероятностью нанесения травм разной степени тяжести человеку со стороны функциональных элементов.

Целью данной работы является проектирование системы безопасности для автоматизированной системы – сортировочно-упаковочно-транспортного конвейера. Задача данной системы безопасности - свести риски травмирования персонала при взаимодействии с производственной линией до приемлемых уровней.

Для этого на основе анализа функционирования автоматизированной системы без системы безопасности и защиты от несчастных случаев были определены наиболее существенные угрозы, далее для которых были разработаны функции безопасности. В свою очередь на основе оценки риска были определены требуемые уровни производительности защитных функций.

Для достижения требуемых уровней производительности функций безопасности, были определены требуемые характеристики для проектирования - значение наработки на опасный отказ необходимых элементов, архитектура и уровень диагностического охвата системы. Основываясь на данных характеристиках, было выбрано необходимое оборудование для защитных функций и создана электрическая документация к проекту.

## KOKKUVÕTTE

Töötajate kokkupuutumine automaatse või automatiseeritud süsteemiga toob funktsionaalsete elementide tõttu kaasa riske, mis on seotud inimeste erineva raskusastmega vigastuste saamise tõenäosusega.

Käesoleva töö eesmärgiks on projekteerida automatiseeritud süsteemile- sorteerimis-, pakkimis- ja transpordikonveierile, ohutussüsteem. Selle ohutussüsteemi ülesanne on vähendada töötajate vigastuste oht minimaalse vastuvõetava võimaliku tasemeni töötamisel tootmisliiniga.

Selleks on selgitatud esmalt välja ilma ohutussüsteemita ja avariikaitseta automatiseeritud süsteemi toimimise analüüsi põhjal olulisemad ohud, nende jaoks on töötatud välja ohutusfunktsioonid. Riskianalüüsi alusel on määratud ohutusfunktsioonide efektiivsuse nõutavad tasemed.

Ohutusfunktsioonide nõutavate efektiivsustasemetega saavutamiseks on määratud kindlaks nõutavad projekteerimistingimused – komponentide ohtliku rikke keskmine aeg, arhitektuur ja süsteemi diagnostilise katvuse tase.

Nende parameetrite põhjal on valitud vajalikud seadmed ja koostatud projekti elektridokumentatsioon ohutusfunktsioonide jaoks.

## **SUMMARY**

The interaction of personnel with an automatic or automated system carries risks associated with the probability of injury of varying severity to a person from functional elements.

The purpose of this work is to design a safety system for an automated system - sorting, packaging, and transport conveyor. The task of this safety system is to reduce the risks of injury to personnel when interacting with the production line to acceptable levels. For this, on the basis of an analysis of the functioning of an automated system without a safety system and protection against accidents, the most significant threats were identified, then for which safety functions were developed. In turn, on the basis of the risk assessment, the required levels of performance of protective functions were determined.

To achieve the required performance levels of safety functions, the required design characteristics were determined - the mean time to dangerous failure of the required elements, the architecture and the level of diagnostic coverage of the system. Based on these characteristics, the necessary equipment for the protective functions was selected and the electrical documentation for the project was created.

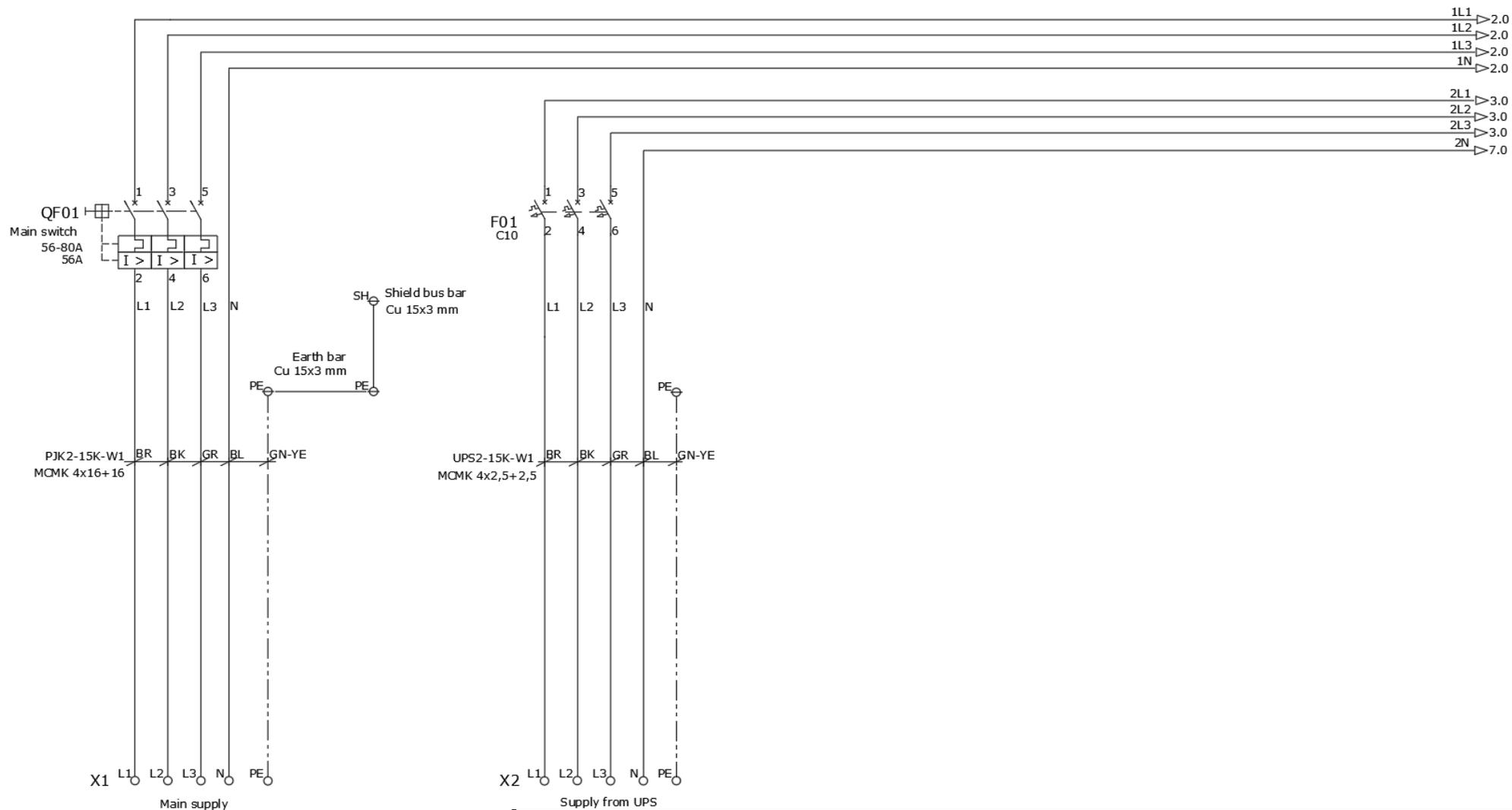
## ИПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Safety of machinery — Safety-related parts of control systems — Part 1: General principles for design, ISO 13849-1:2015, [Online] <https://www.iso.org/standard/69883.html> (12.12.2021).
2. Keyence. Safety support guide book, [Online] [https://www.keyence.com/download/download/confirmation/?dlAssetId=AS\\_71018](https://www.keyence.com/download/download/confirmation/?dlAssetId=AS_71018) (12.12.2021).
3. Siemens. Safety Integrated Introduction and Terminology for Functional Safety of Machines and Systems Reference Manual, [Online] <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:538c0aa8773783ef69be1d3077072688a1f1520f/introduction-terminology-for-functional-safety-of-machines-syste.pdf> (12.12.2021).
4. Schmersal. Operating instructions safety sensor BNS180, [Online] [https://products.schmersal.com/upload/orig/10/00/20/09/DOC\\_MAN\\_MEC\\_mrl-bns180\\_SEN\\_AIN\\_V2.pdf](https://products.schmersal.com/upload/orig/10/00/20/09/DOC_MAN_MEC_mrl-bns180_SEN_AIN_V2.pdf) (12.12.2021).
5. Schmersal. Operating instructions solenoid interlocks AZM190, [Online] [https://products.schmersal.com/upload/orig/10/00/36/19/DOC\\_MAN\\_MEC\\_sipl-mrl-azm190\\_SEN\\_AIN\\_V1.pdf](https://products.schmersal.com/upload/orig/10/00/36/19/DOC_MAN_MEC_sipl-mrl-azm190_SEN_AIN_V1.pdf) (12.12.2021).
6. Schmersal. SMS 4 / SMS 5 safety mat Product information, [Online] [https://products.schmersal.com/upload/orig/10/00/20/10/DOC\\_MAN\\_MEC\\_mrl-sms4-5\\_SEN\\_AIN\\_V3.pdf](https://products.schmersal.com/upload/orig/10/00/20/10/DOC_MAN_MEC_mrl-sms4-5_SEN_AIN_V3.pdf) (12.12.2021).
7. Pilz. the safety compendium, [Online] [http://brochures.pilz.nl/bro\\_pdf/safety\\_compendium\\_en\\_2017\\_12\\_low.pdf](http://brochures.pilz.nl/bro_pdf/safety_compendium_en_2017_12_low.pdf) (12.12.2021).
8. Leuze. Original operating instructions MLD 300, MLD 500 Multiple light beam safety devices, safe implementation and operation, [Online] [https://www.leuze.com/selector/ci\\_pages/downloads.php?supplier\\_aid=66577100&key=894db291c47420cb414b72d1c585b3d671fb3222b8189b4f20e69f5deb460ec0](https://www.leuze.com/selector/ci_pages/downloads.php?supplier_aid=66577100&key=894db291c47420cb414b72d1c585b3d671fb3222b8189b4f20e69f5deb460ec0) (12.12.2021).
9. Festo. Клапан плавного пуска и быстрого сброса MS6-SV-...-D-10V24 Руководство по эксплуатации, [Online] [https://www.festo.com/net/SupportPortal/Files/462782/MS6-SV-D\\_2017-02a\\_8068988r1.pdf](https://www.festo.com/net/SupportPortal/Files/462782/MS6-SV-D_2017-02a_8068988r1.pdf) (12.12.2021).
10. Schneider Electric. Product datasheet Characteristics XALK178F yellow station - 1 red mushroom head pushbutton Ø40 turn to release 2NC, [Online] <https://www.se.com/my/en/product/XALK178F/yellow-station---1-red-mushroom-head-pushbutton-%C3%B840-turn-to-release-2nc/> (12.12.2021).

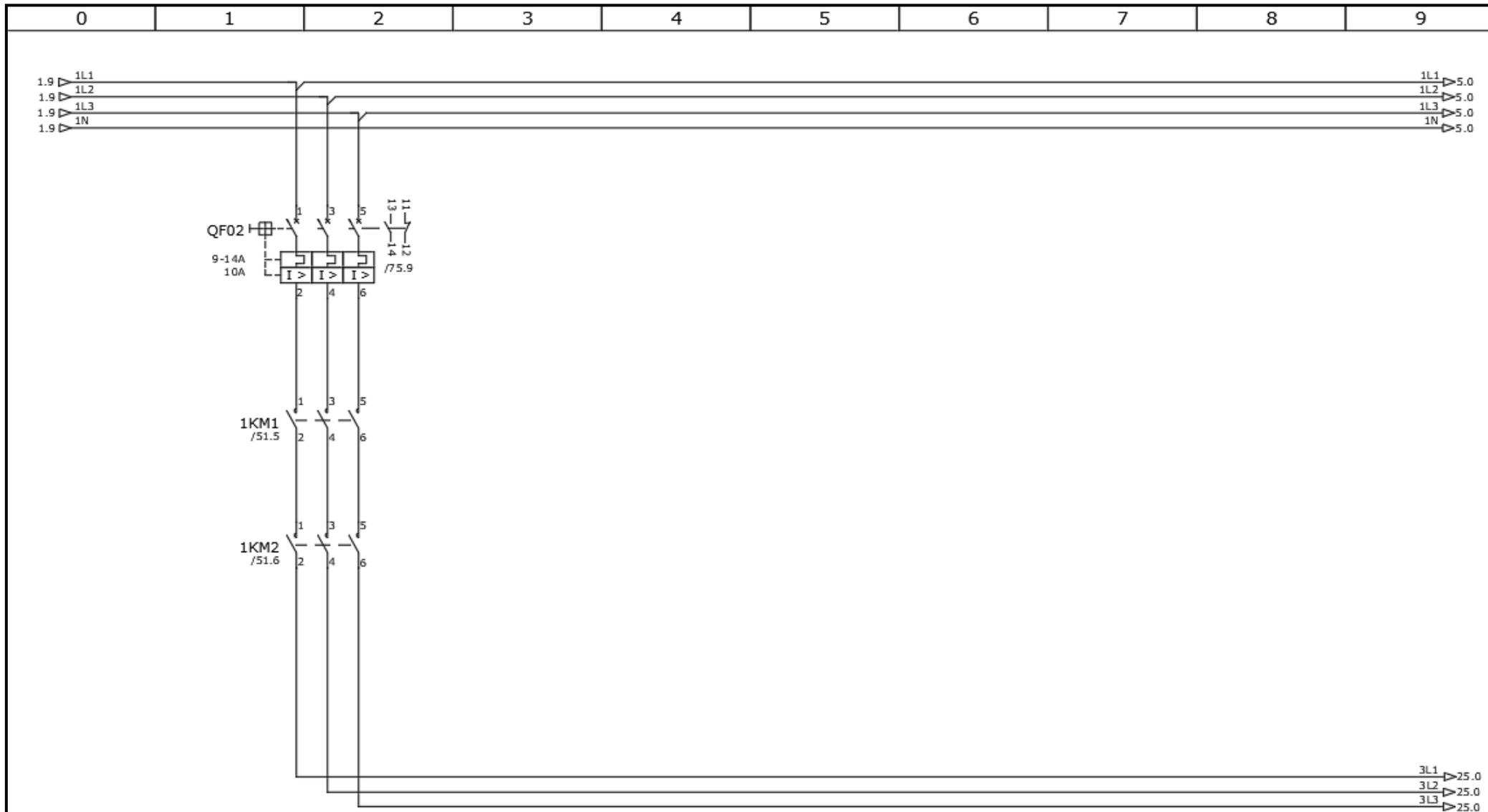
11. Siemens, SIMATIC S7-1200F, CPU 1214 FC, compact CPU, DC/DC/DC, [Online]  
<https://mall.industry.siemens.com/mall/en/ww/Catalog/Product/?mlfb=6ES7214-1AF40-0XB0> (12.12.2021).
12. Siemens, SIMATIC S7-1200, Digital input SM 1226, [Online]  
<https://mall.industry.siemens.com/mall/en/WW/Catalog/Product/6ES7226-6BA32-0XB0> (12.12.2021).
13. Siemens, SIMATIC S7-1200, Digital output SM 1226, [Online]  
<https://mall.industry.siemens.com/mall/en/de/Catalog/Product/6ES7226-6DA32-0XB0> (12.12.2021).
14. Siemens, SINAMICS G120 CU240E-2 PN-F Control Unit, [Online]  
<https://mall.industry.siemens.com/mall/en/ww/Catalog/Product/6SL3244-0BB13-1FA0> (12.12.2021).
15. Siemens, Safety integrated, [Online]  
<https://mall.industry.siemens.com/mall/en/WW/Catalog/Products/10354472>  
(12.12.2021).

## **ПРИЛОЖЕНИЕ**

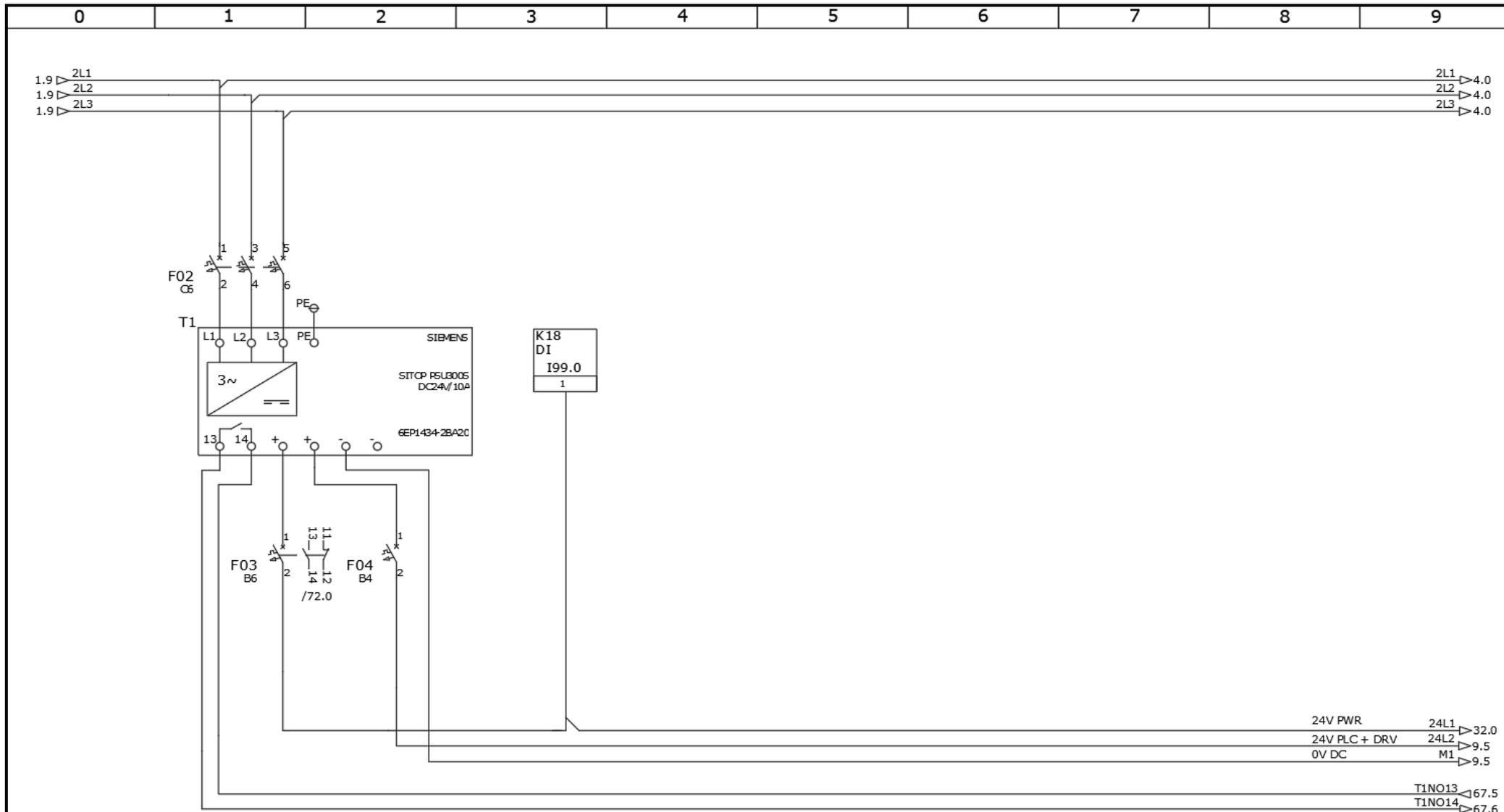
В данной главе представлены фрагменты электрической документации проекта относящиеся к функциям безопасности.



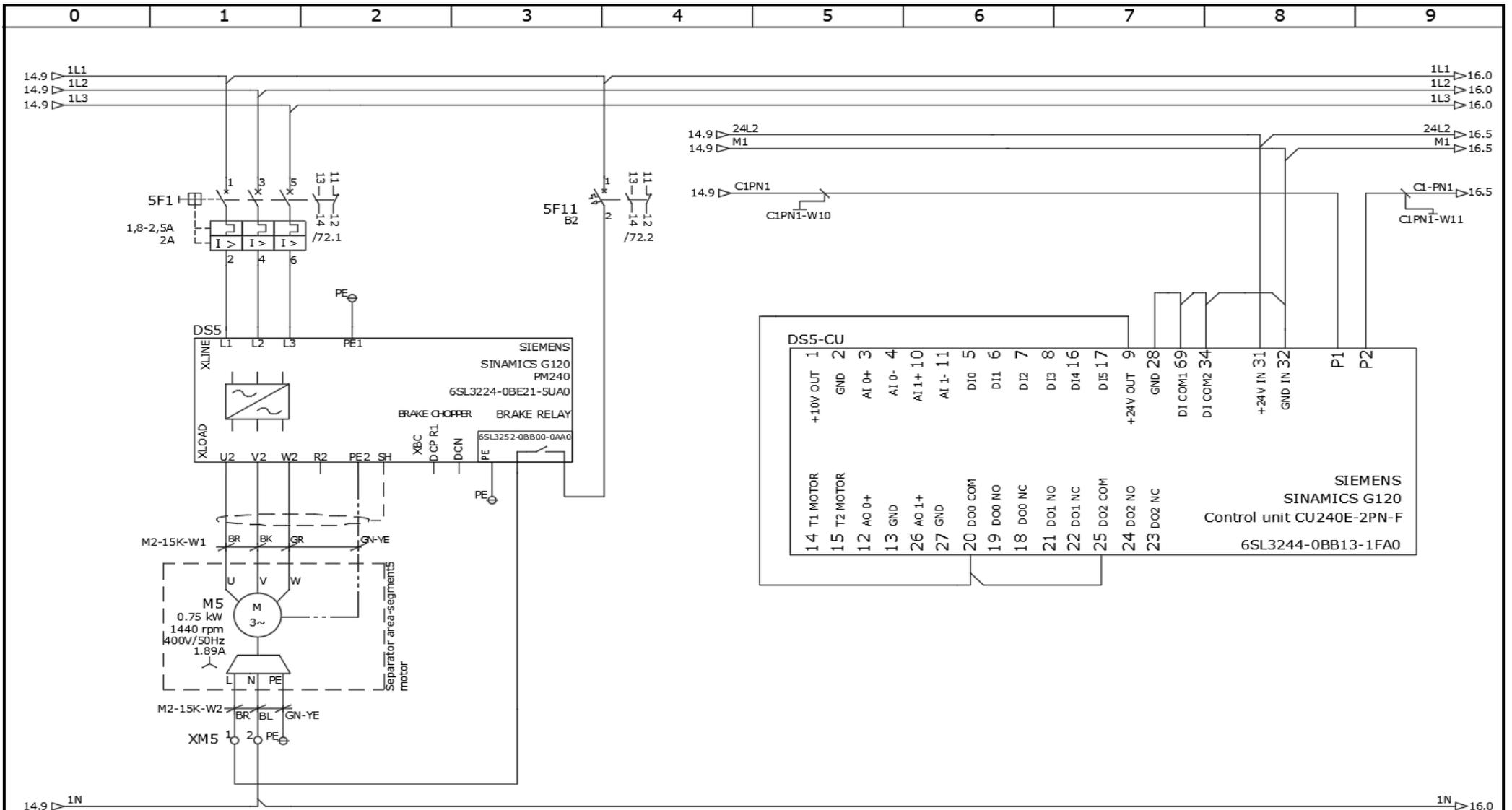
Designer	A.Jakovlev 02.10.2021		Power supply main control cabinet 15K	
Supervisor				
Taltech Virumaa kolledž			Page 1/80	Electrical cabinet 15K



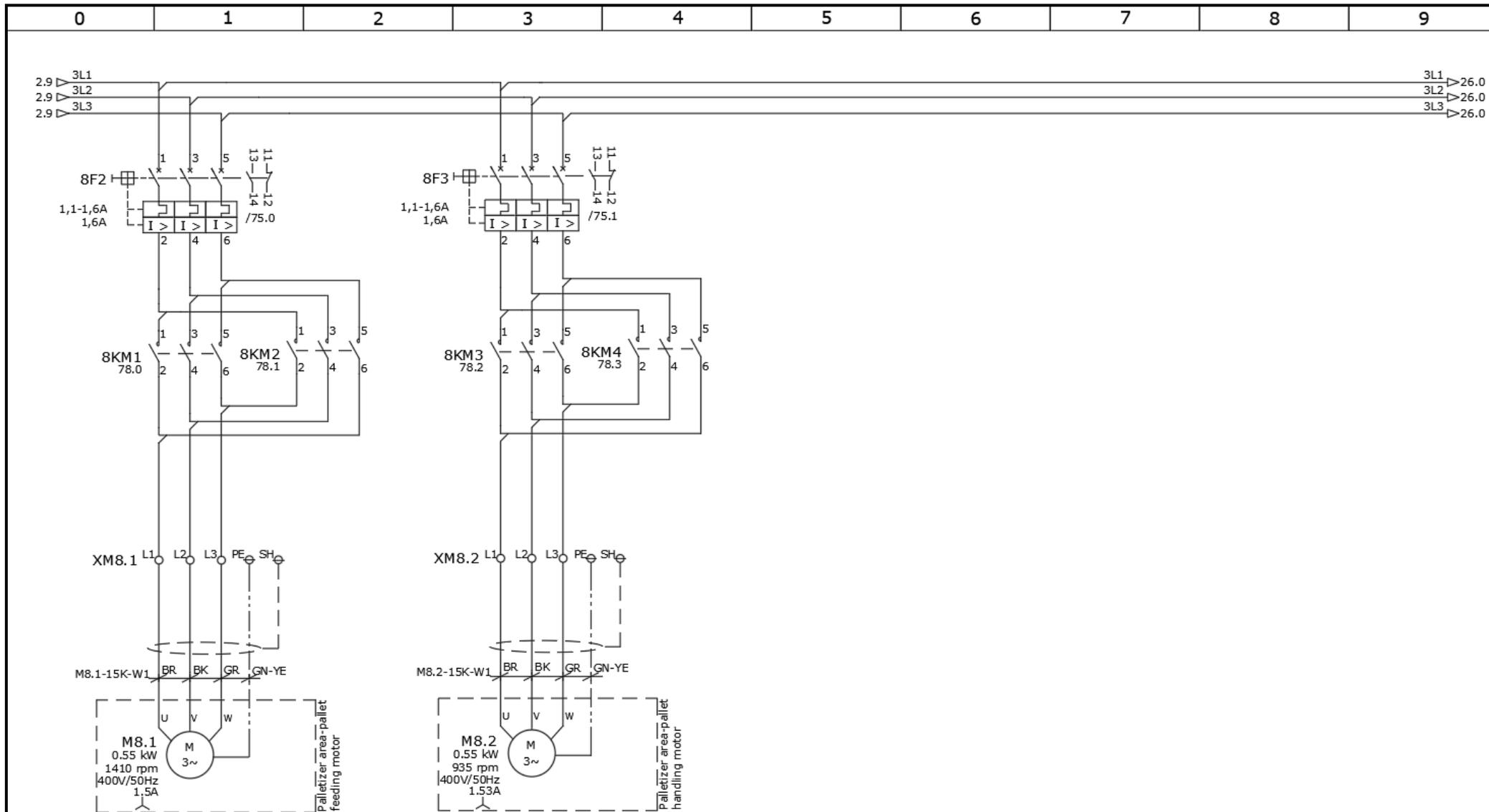
Designer	A.Jakovlev 02.10.2021	Electric supply cut off from palletizer	
Supervisor			
Taltech Virumaa kolledž		Page 2/80	Electrical cabinet 15K



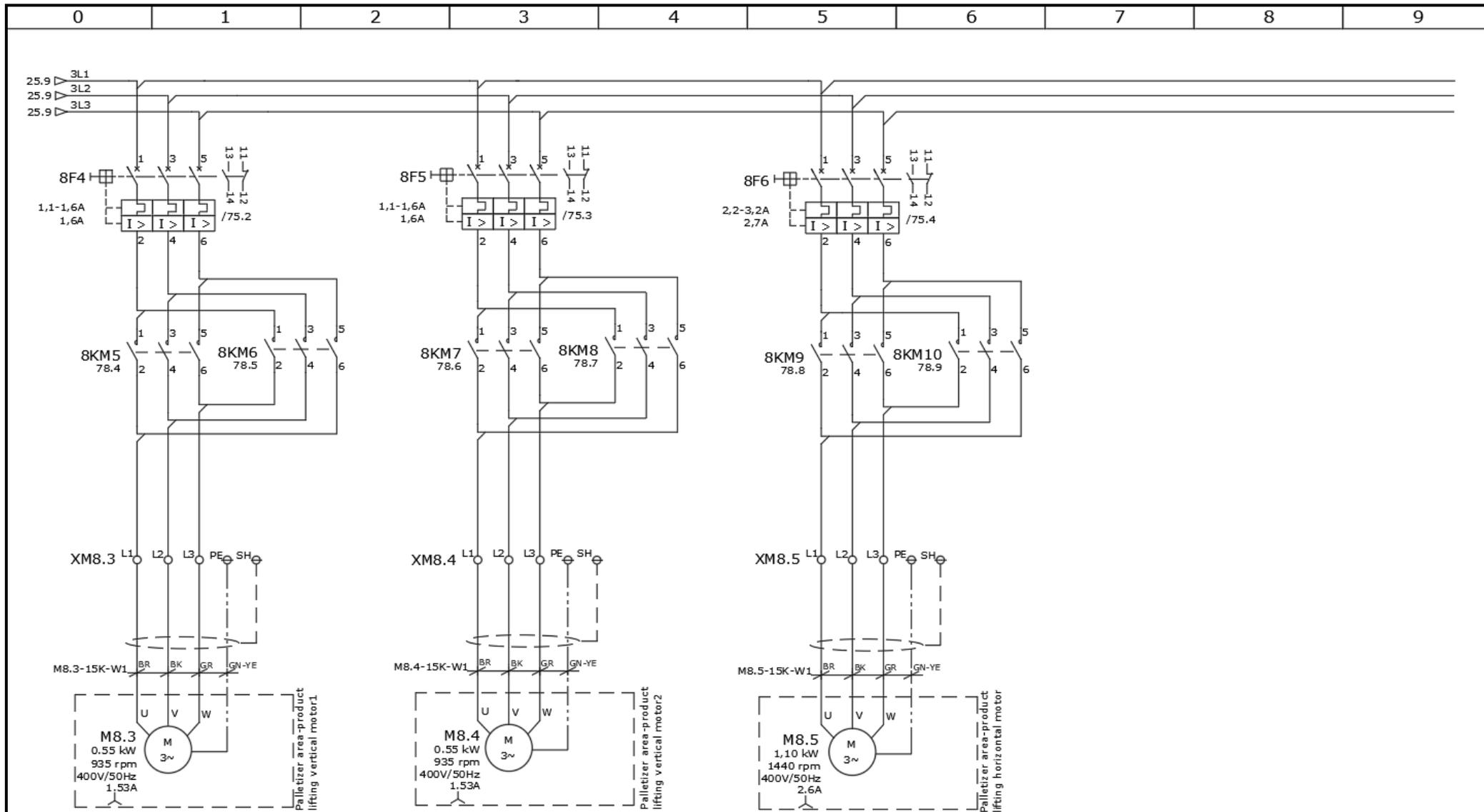
Designer	A.Jakovlev 02.10.2021	24V distribution	
Supervisor			
Taltech Virumaa kolledž		Page 3/80	Electrical cabinet 15K



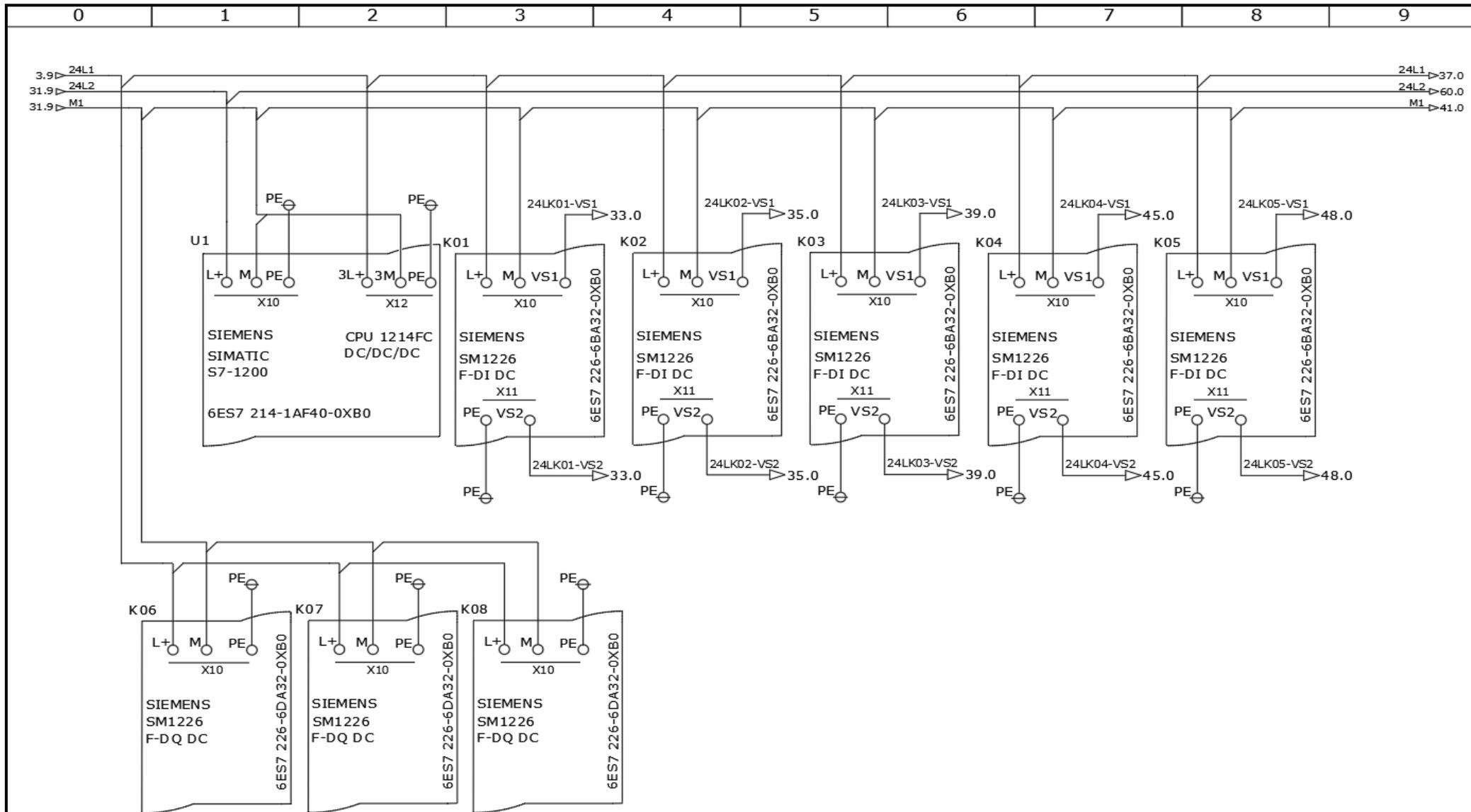
Designer	A.Jakovlev 02.10.2021	Drive segment 5	
Supervisor			
Taltech Virumaa kolledž		Page 15/80	Electrical cabinet 15K



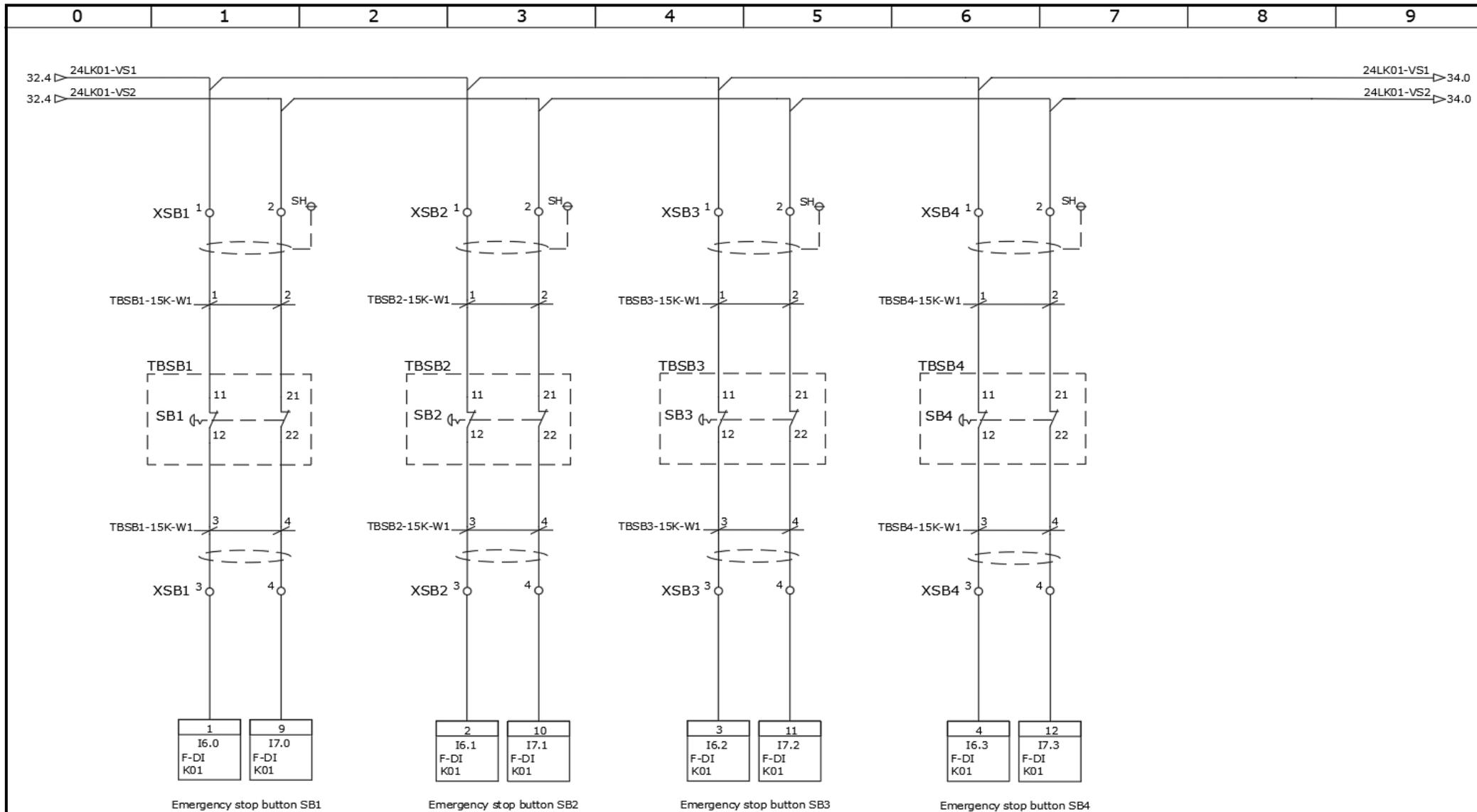
Designer	A.Jakovlev 02.10.2021		Palletizer area motors	
Supervisor				
Taltech Virumaa kolledž			Page 25/80	Electrical cabinet 15K



Designer	A.Jakovlev 02.10.2021	
Supervisor		
<b>Taltech</b> <b>Virumaa kolledž</b>		
Page 26/80		<b>Palletizer area motors</b>  Electrical cabinet 15K



Designer	A.Jakovlev 02.10.2021	
Supervisor		
<b>CPU, DI, DO supply</b>		
Taltech Virumaa kolledž		Page 32/80
		Electrical cabinet 15K



Designer A.Jakovlev 02.10.2021

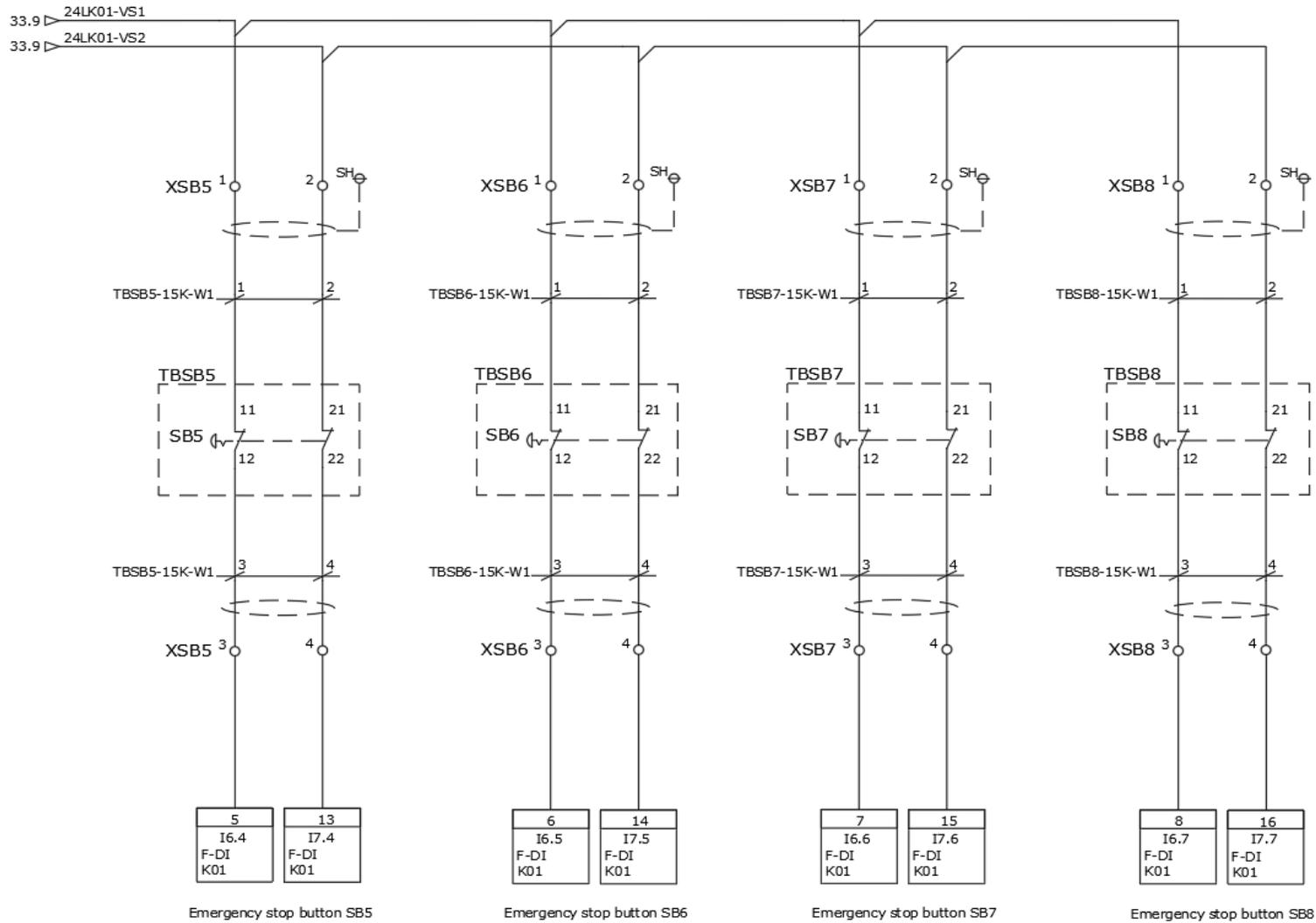
Supervisor

Taltech  
Virumaa kolledž

Emergency stop buttons

Page 33/80

Electrical cabinet 15K

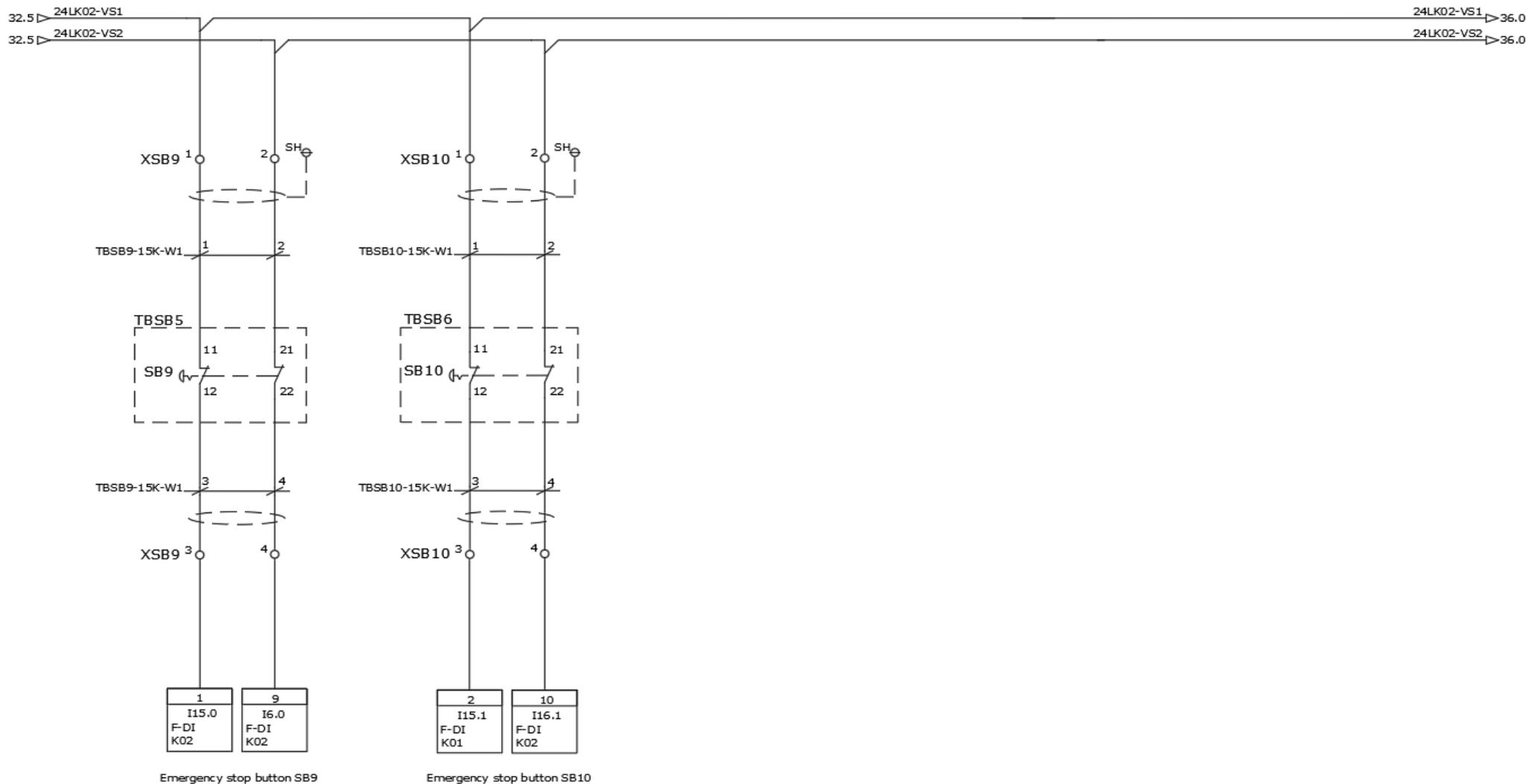


Designer A.Jakovlev 02.10.2021

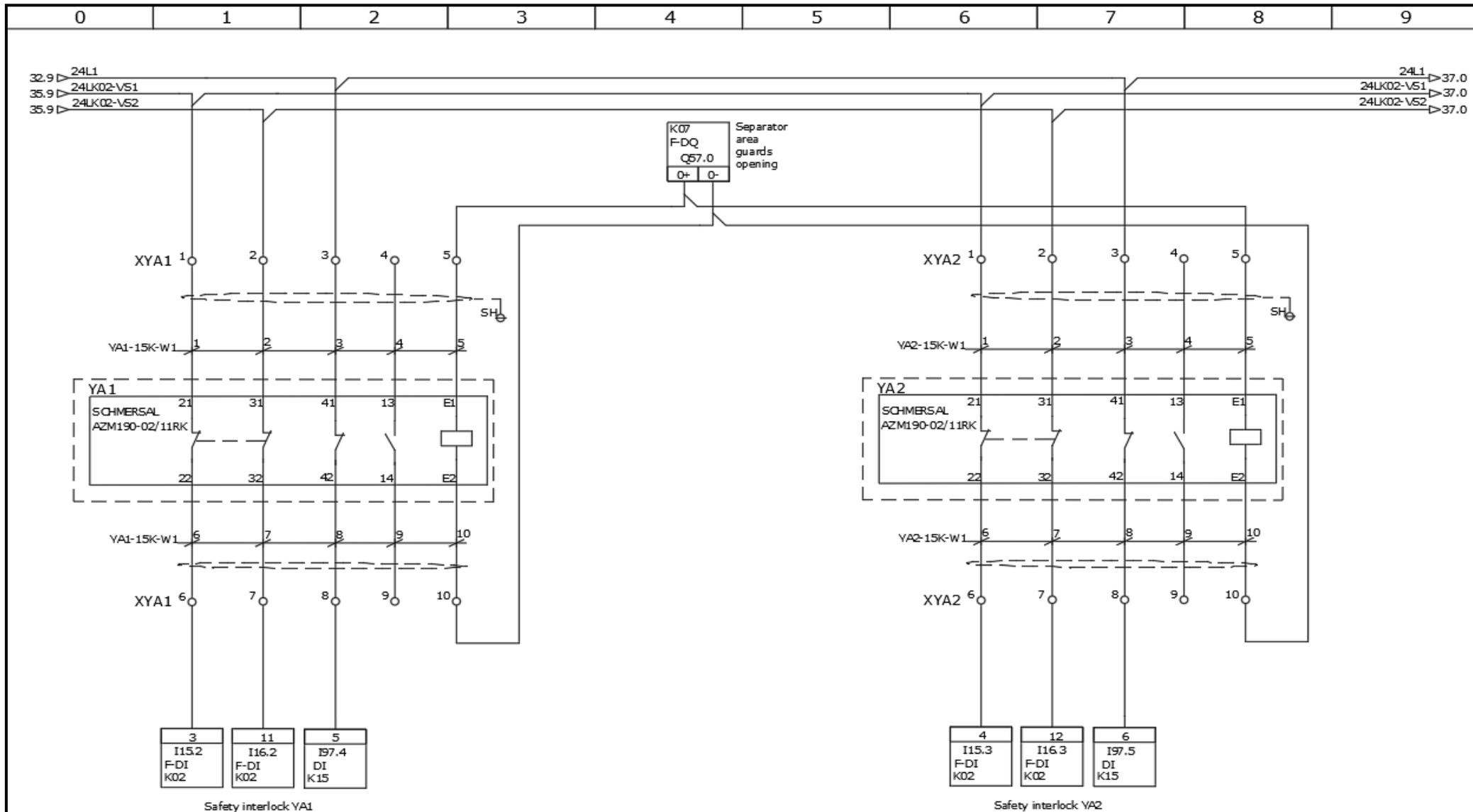
Supervisor

### Emergency stop buttons

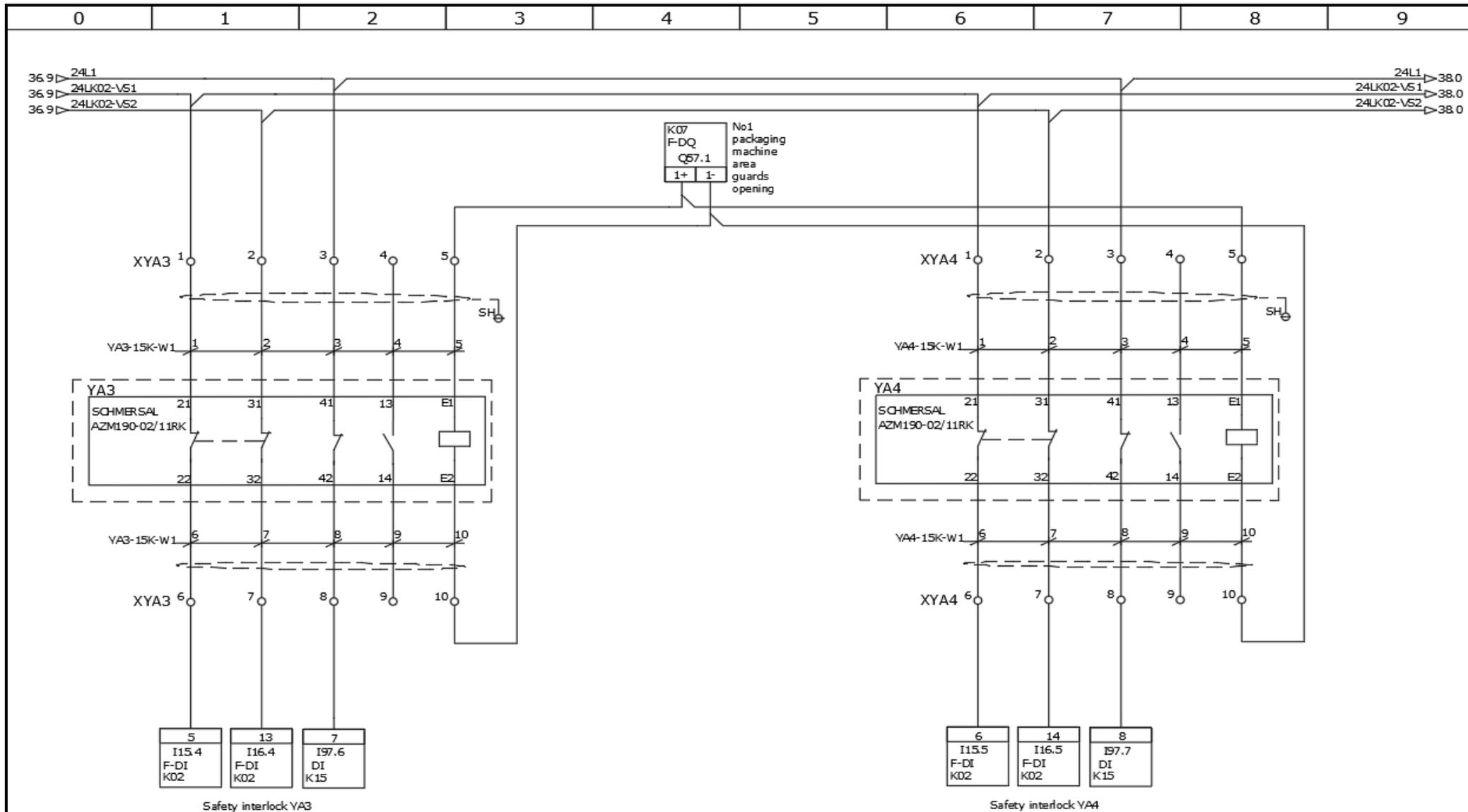
Taltech  
Virumaa kolledž



Designer	A.Jakovlev 02.10.2021	Emergency stop buttons	
Supervisor			
Taltech Virumaa kolledž		Page 35/80	Electrical cabinet 15K



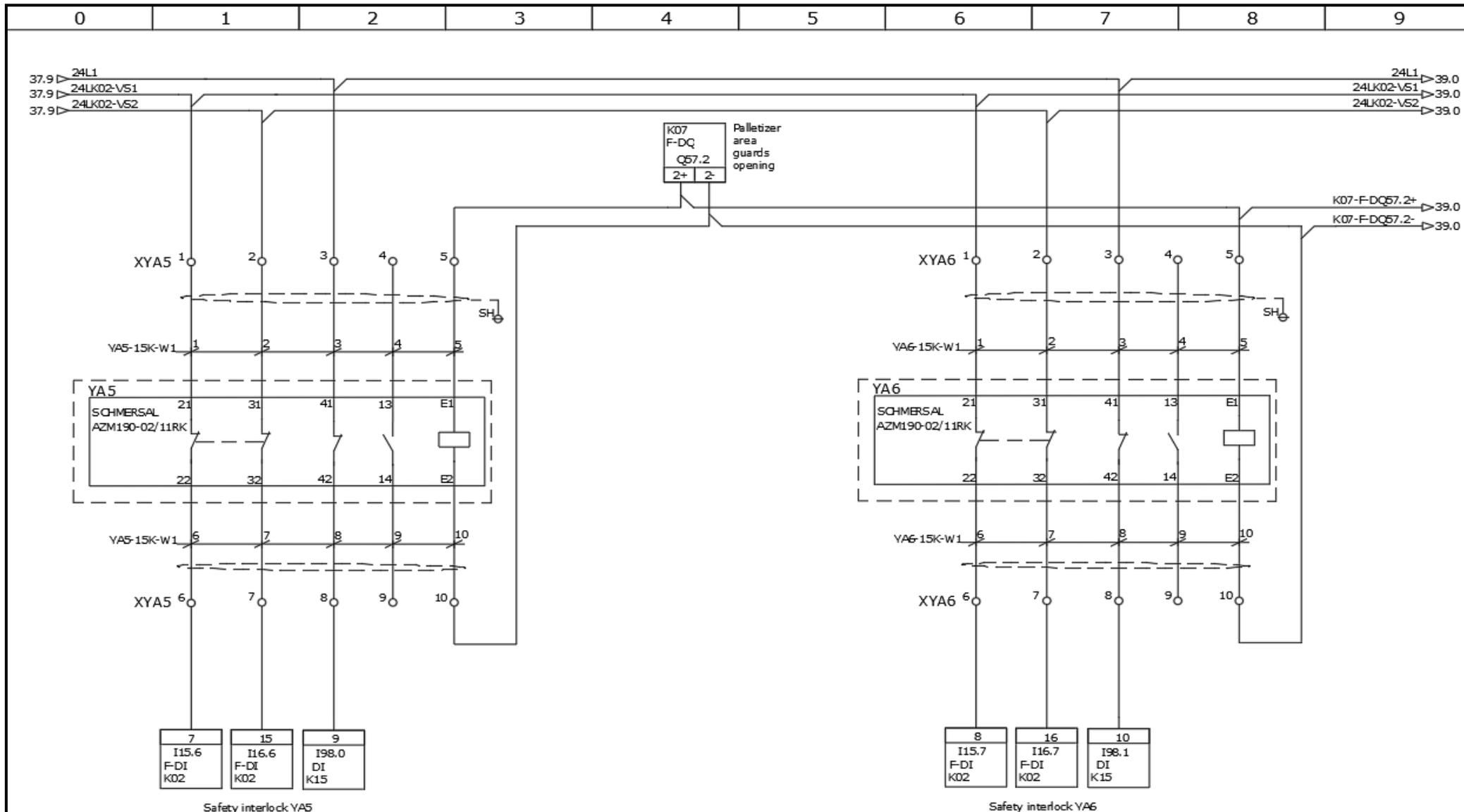
Designer	A.Jakovlev 02.10.2021	Separator safety interlocks	
Supervisor			
Taltech Virumaa kolledž		Page 36/80	Electrical cabinet 15K



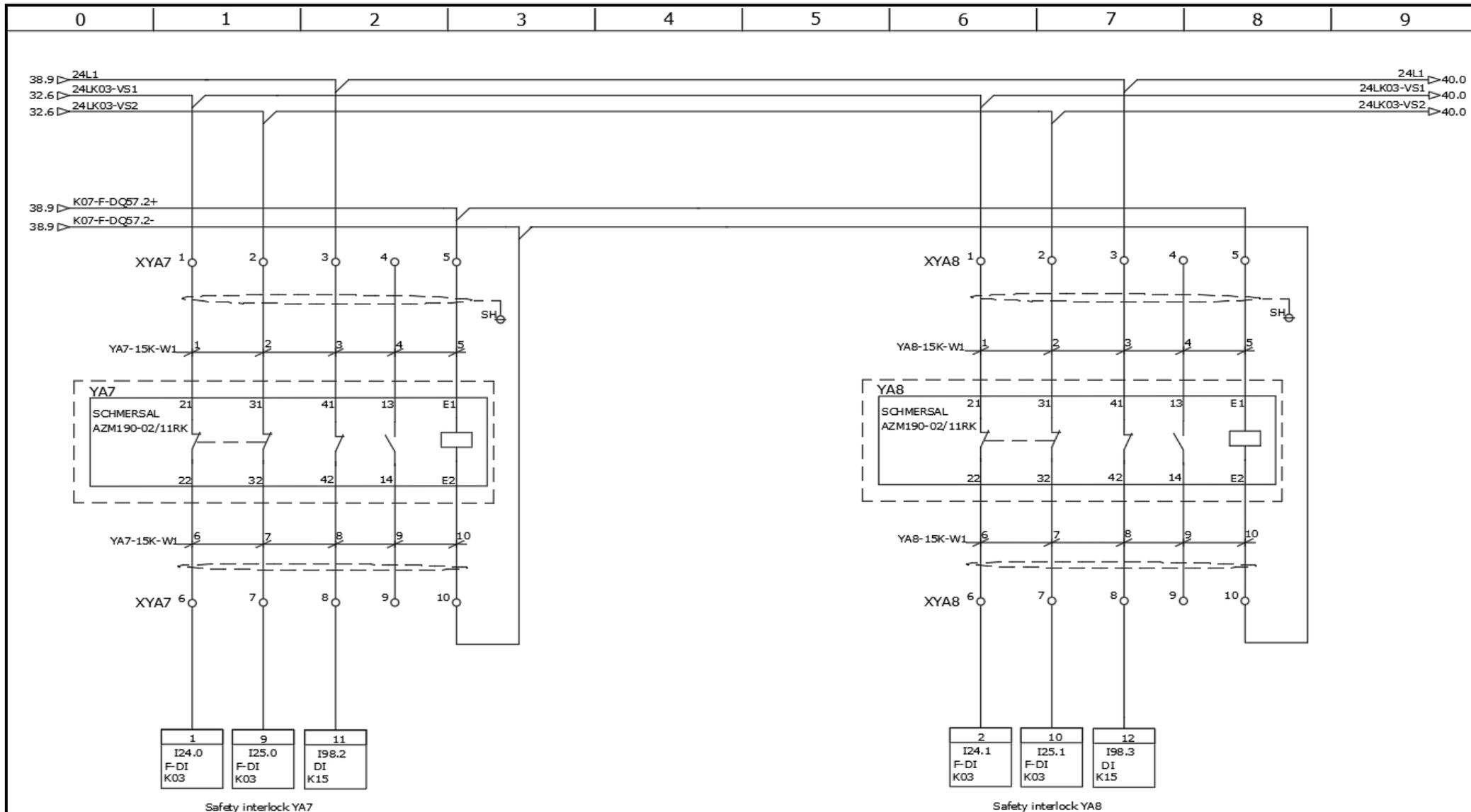
Safety interlock YA3

Safety interlock YA4

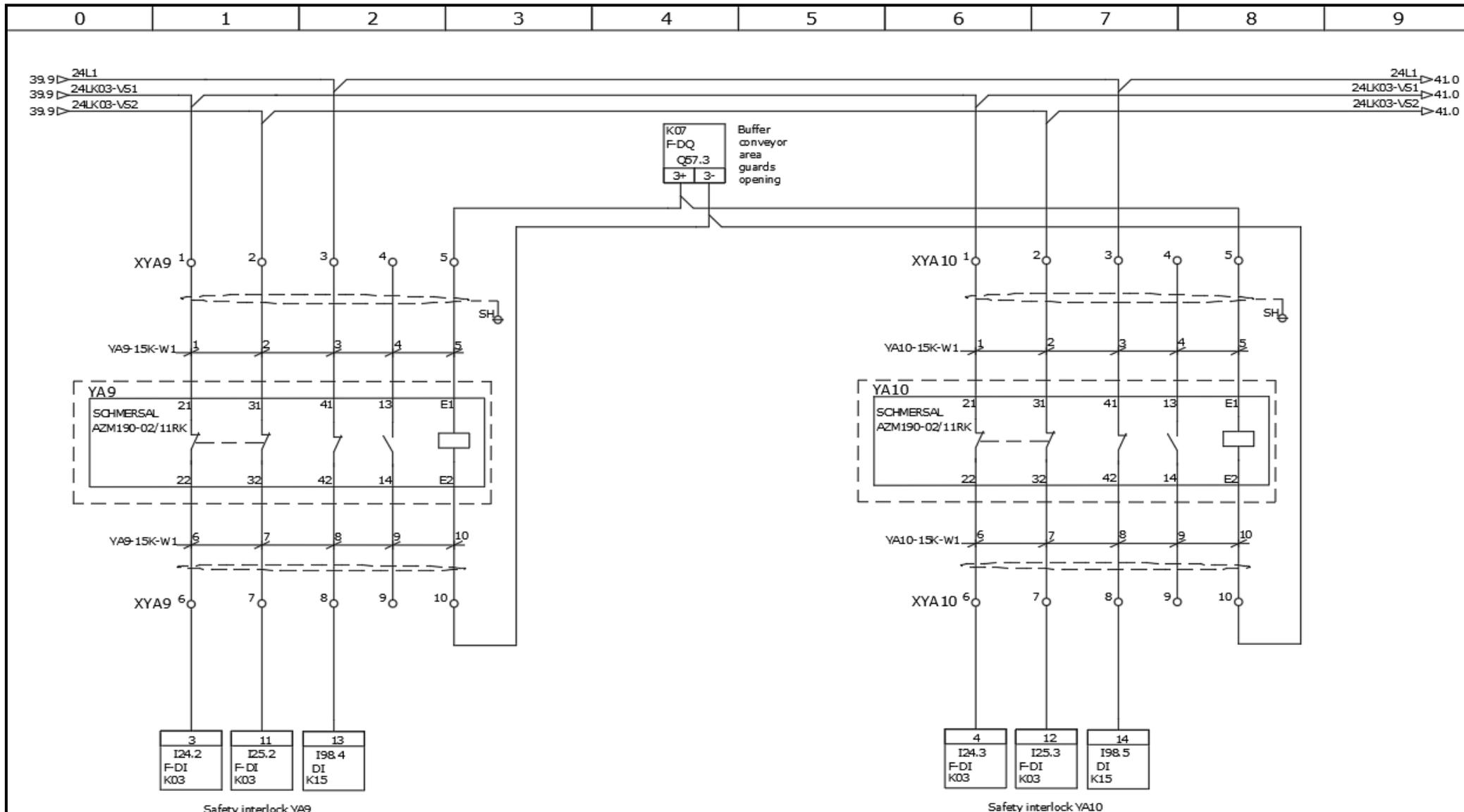
Designer	A.Jakovlev 02.10.2021	
Supervisor		
Taltech Virumaa kolledž		No1 packaging machine safety interlocks
		Page 37/80      Electrical cabinet 15K



Designer	A.Jakovlev 02.10.2021	Palletizer safety interlocks	
Supervisor			
Taltech Virumaa kolledž		Page 38/80	Electrical cabinet 15K



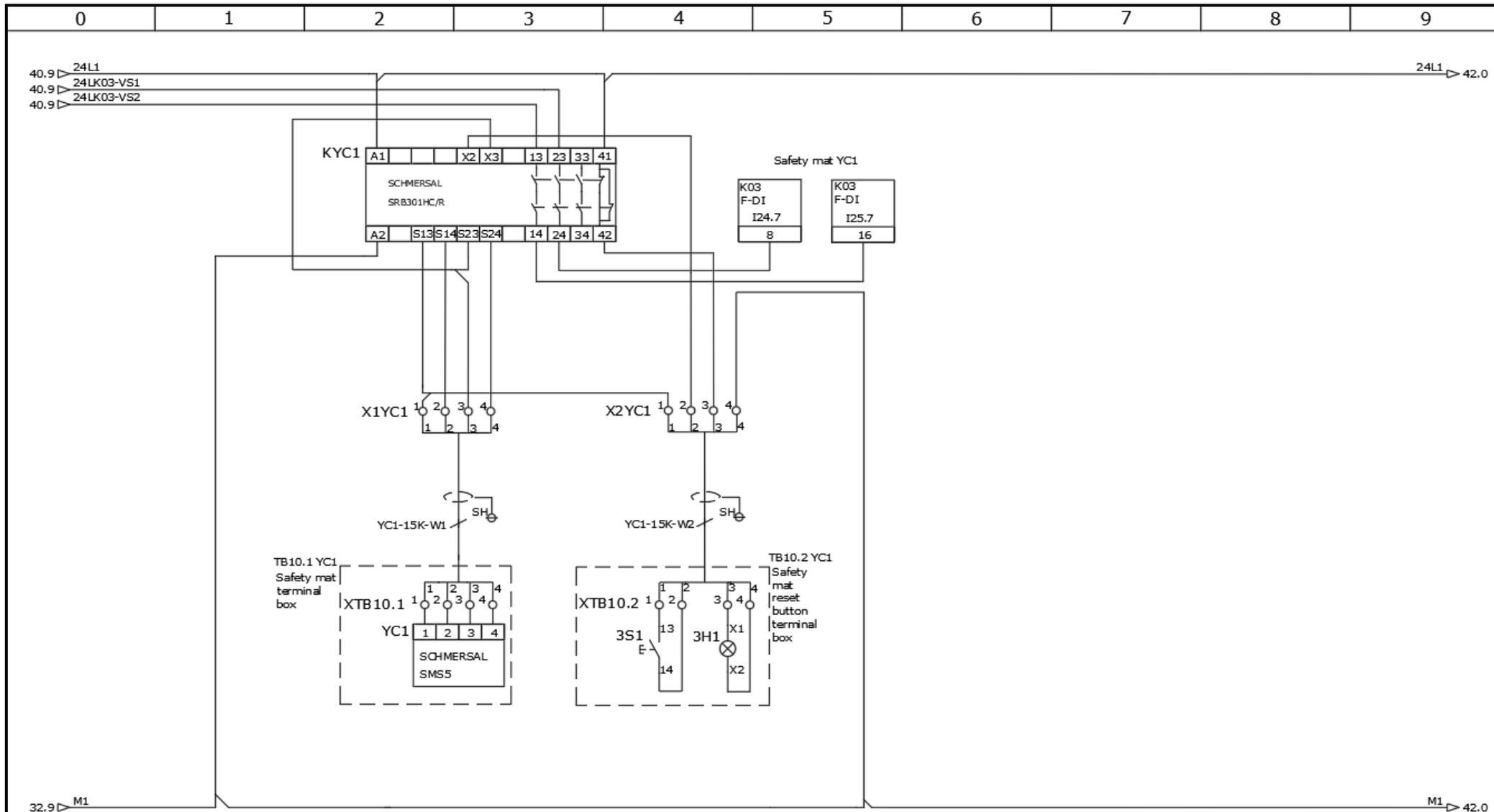
Designer	A.Jakovlev 02.10.2021	Palletizer safety interlocks	
Supervisor			
Taltech Virumaa kolledž		Page 39/80	Electrical cabinet 15K



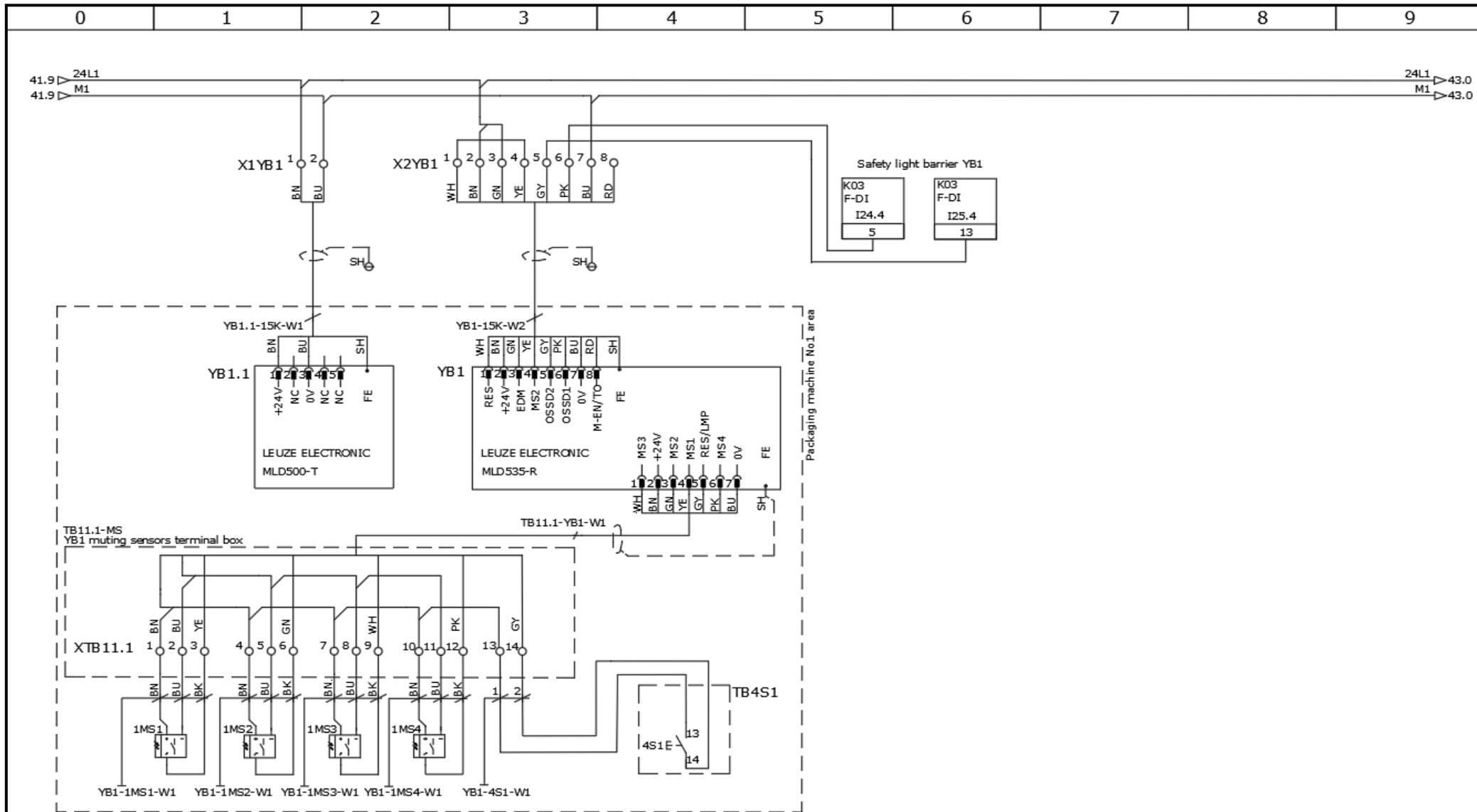
Safety interlock YA9

Safety interlock YA10

Designer	A.Jakovlev 02.10.2021	Buffer conveyor safety interlocks	
Supervisor			
Taltech Virumaa kolledž		Page 40/80	Electrical cabinet 15K



Designer	A.Jakovlev 02.10.2021		Safety mat YC1	
Supervisor				
Taltech Virumaa kolledž			Page 41/80	Electrical cabinet 15K



Designer A.Jakovlev 02.10.2021

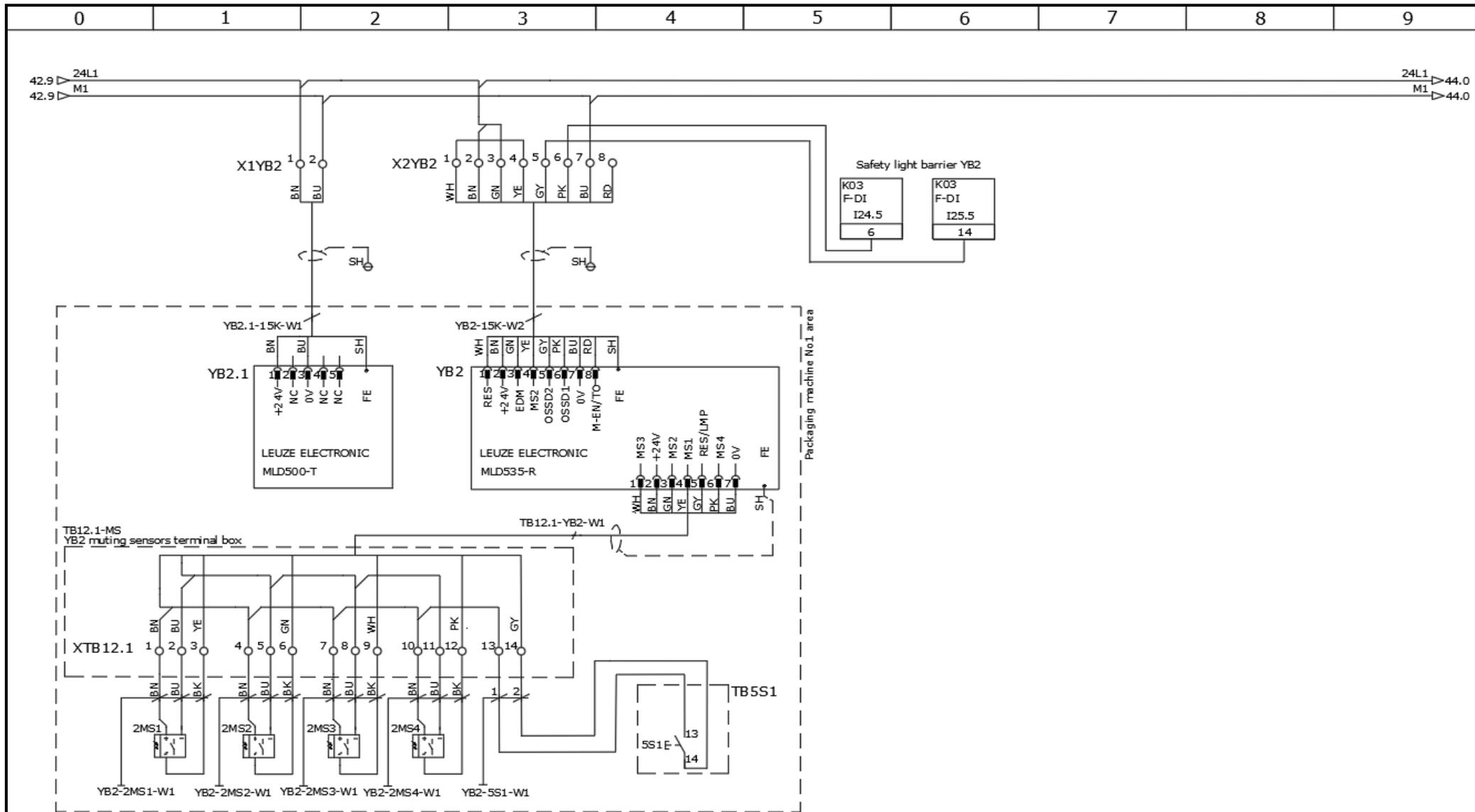
Supervisor

Safety light barrier YB1

Taltech  
Virumaa kolledž

Page 42/80

Electrical cabinet 15K



Designer A.Jakovlev 02.10.2021

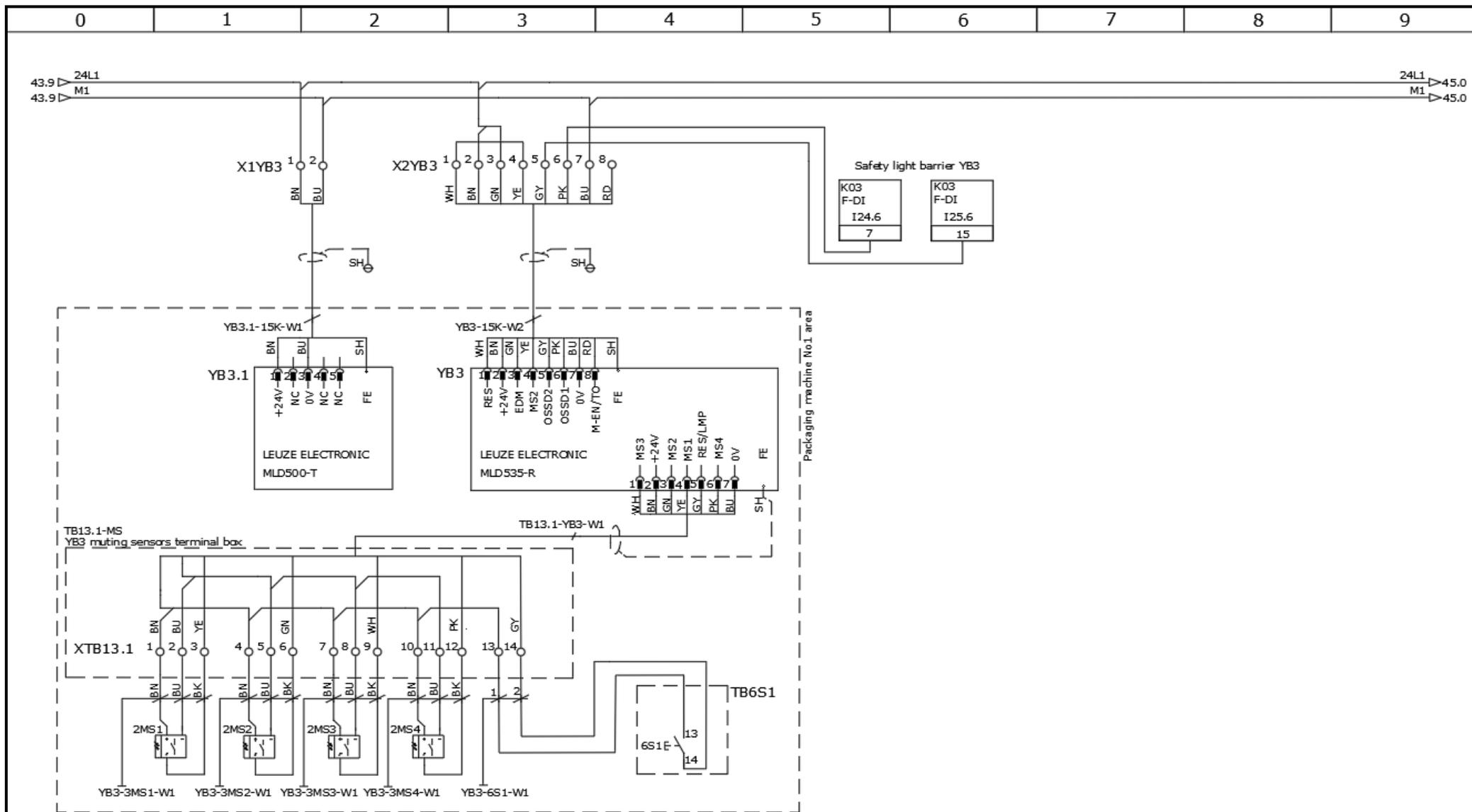
Supervisor

Safety light barrier YB2

Taltech  
Virumaa kolledž

Page 43/80

Electrical cabinet 15K



Designer A.Jakovlev 02.10.2021

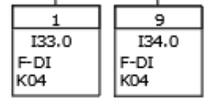
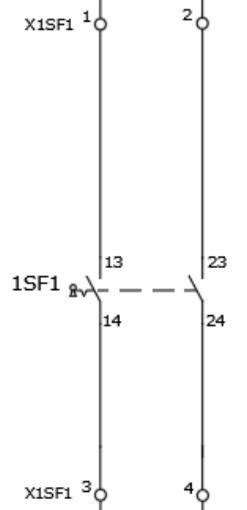
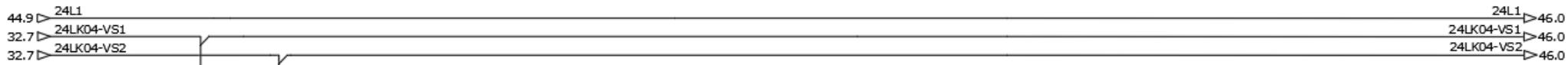
Supervisor

Safety light barrier YB3

Taltech  
Virumaa kolledž

Page 44/80

Electrical cabinet 15K

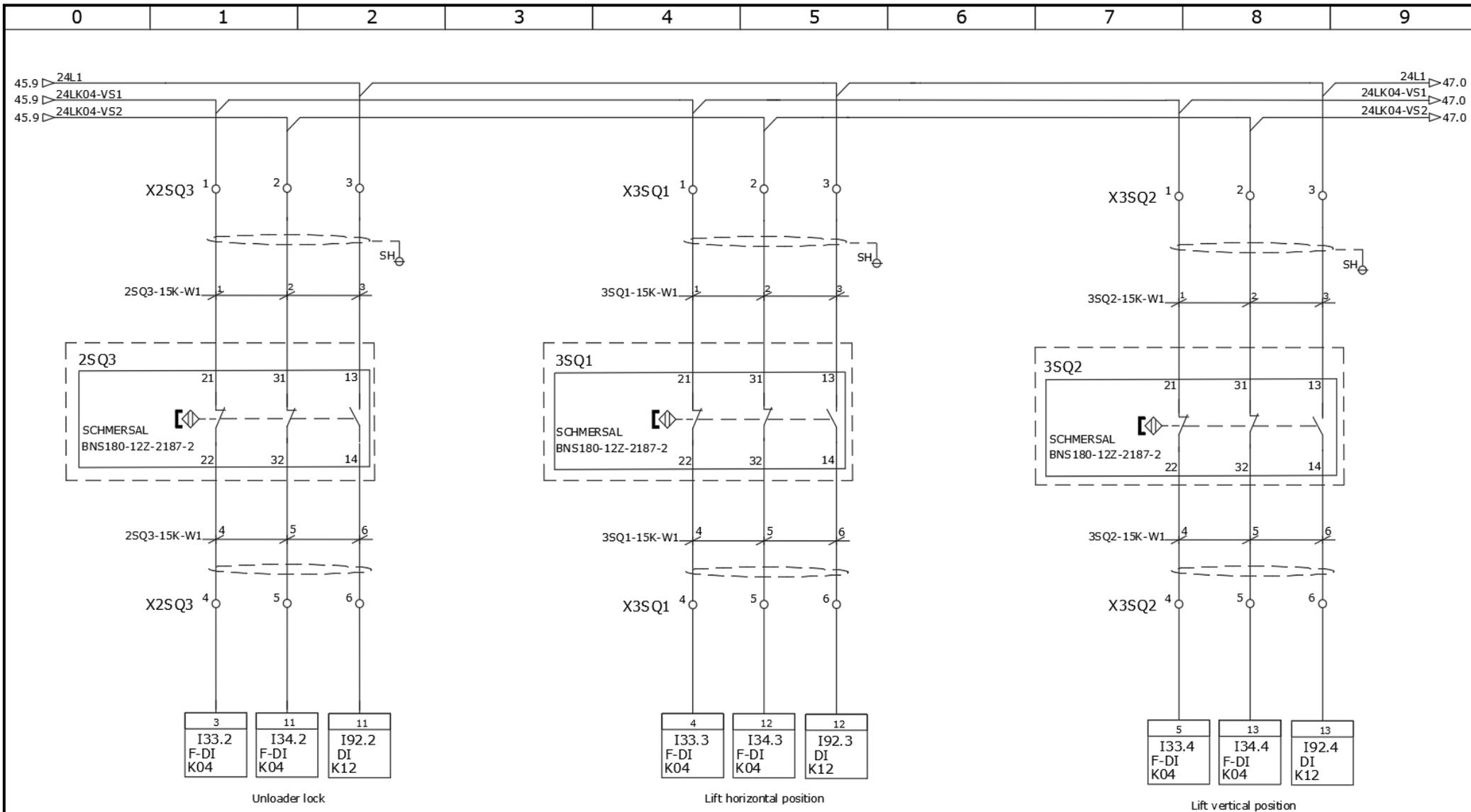


Service mode switch

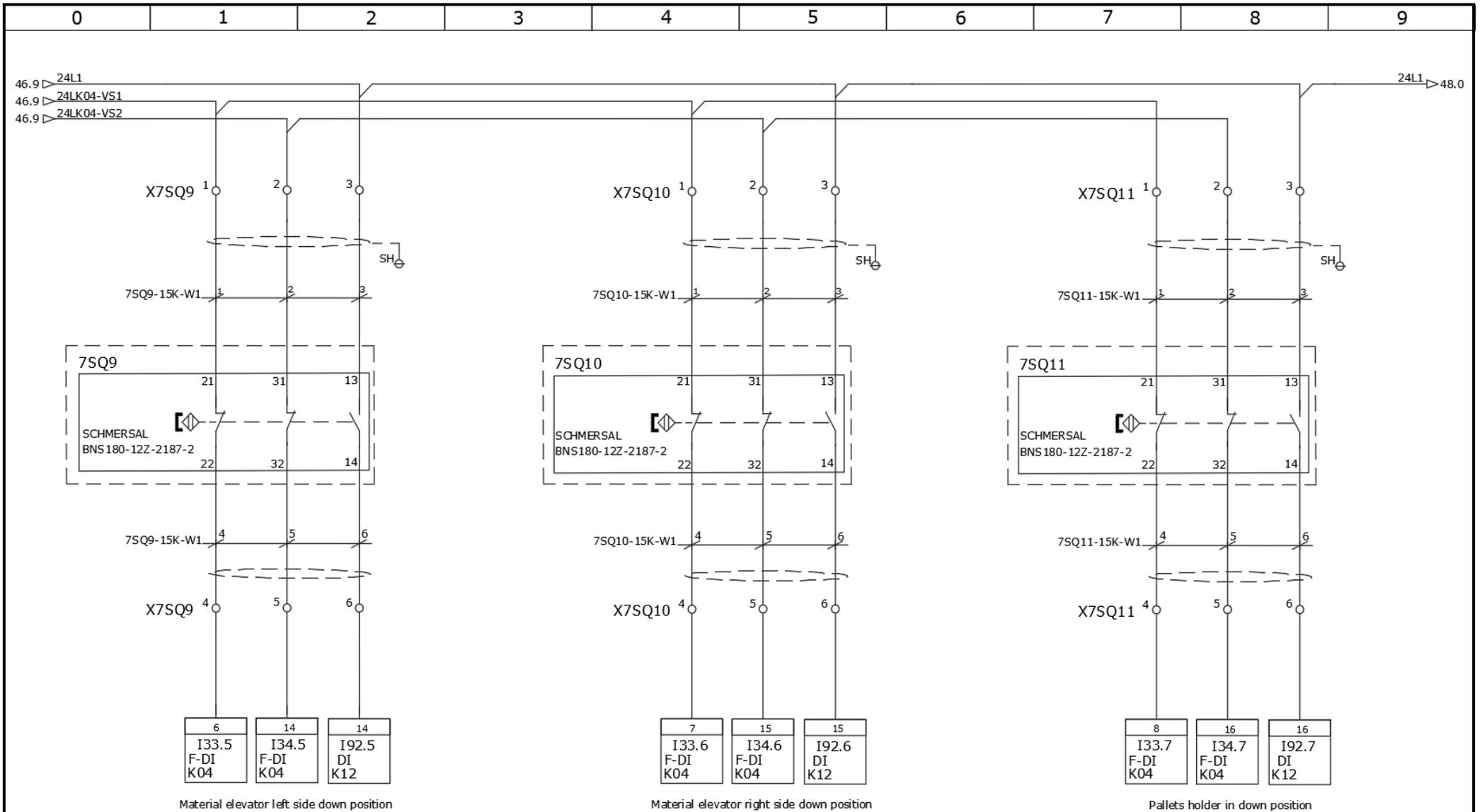


Spare Spare

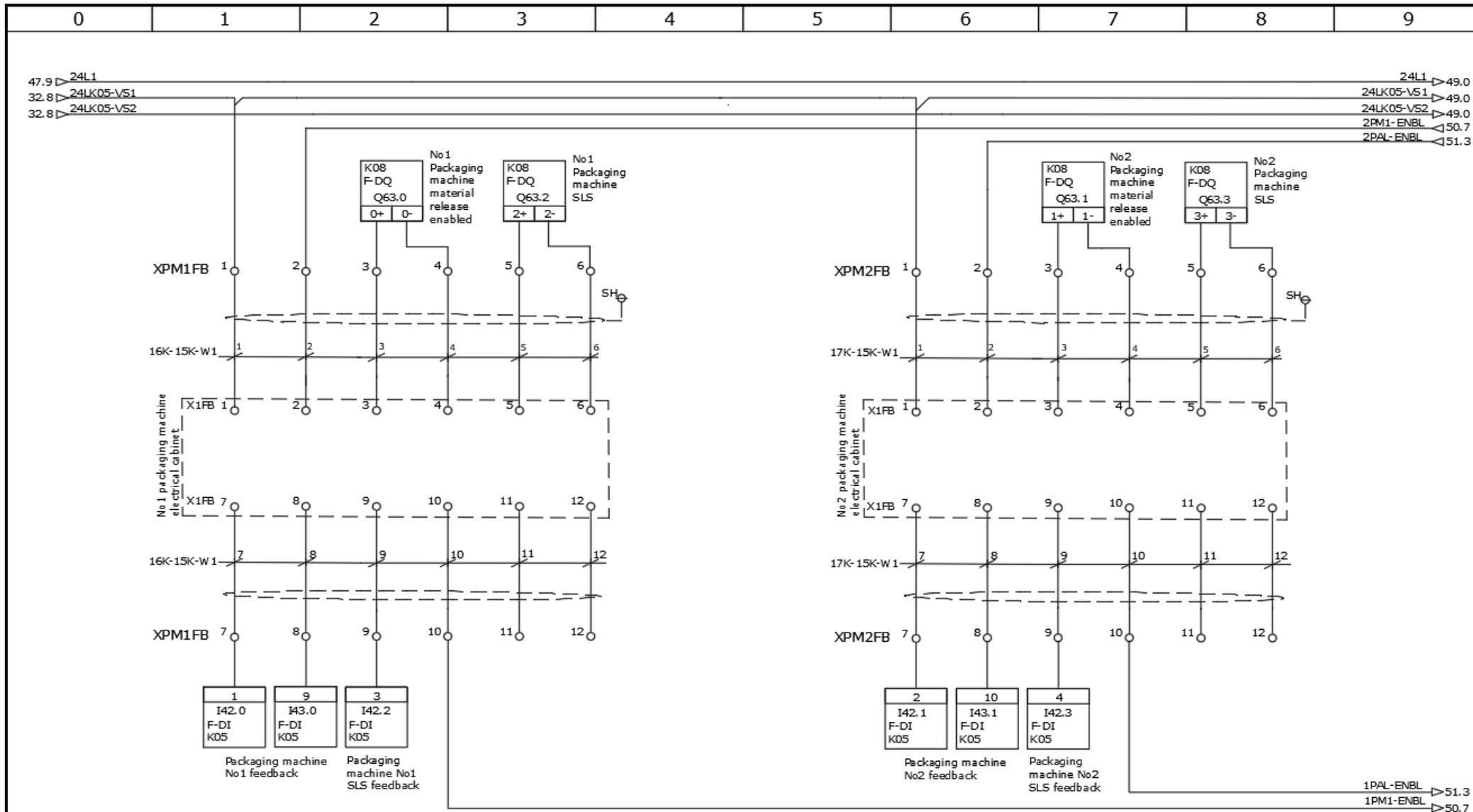
Designer	A.Jakovlev 02.10.2021	Service mode switch	
Supervisor			
Taltech Virumaa kolledž		Page 45/80	Electrical cabinet 15K



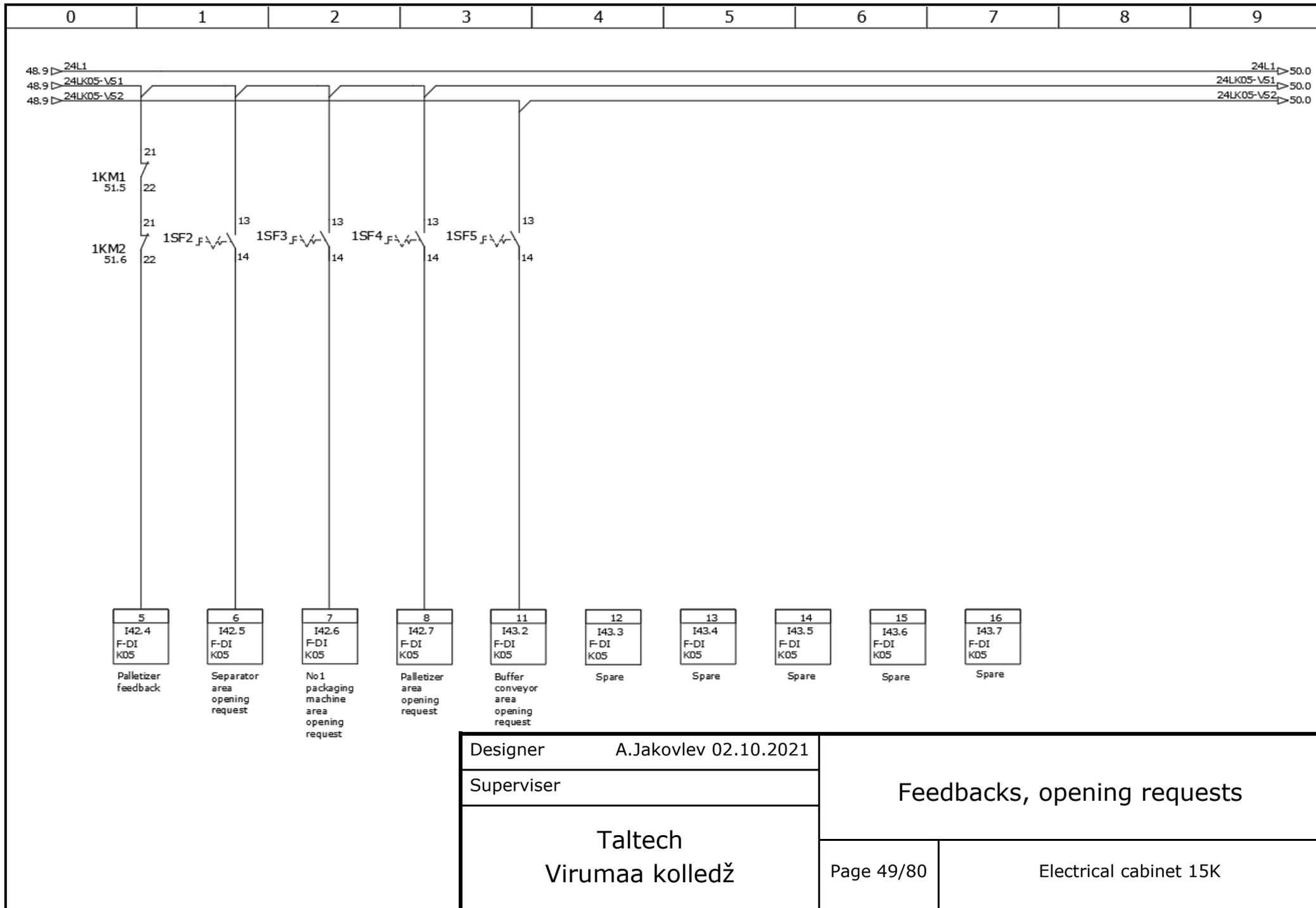
Designer	A.Jakovlev 02.10.2021	Separator area opening conditions checking sensors	
Supervisor			
Taltech Virumaa kolledž		Page 46/80	Electrical cabinet 15K

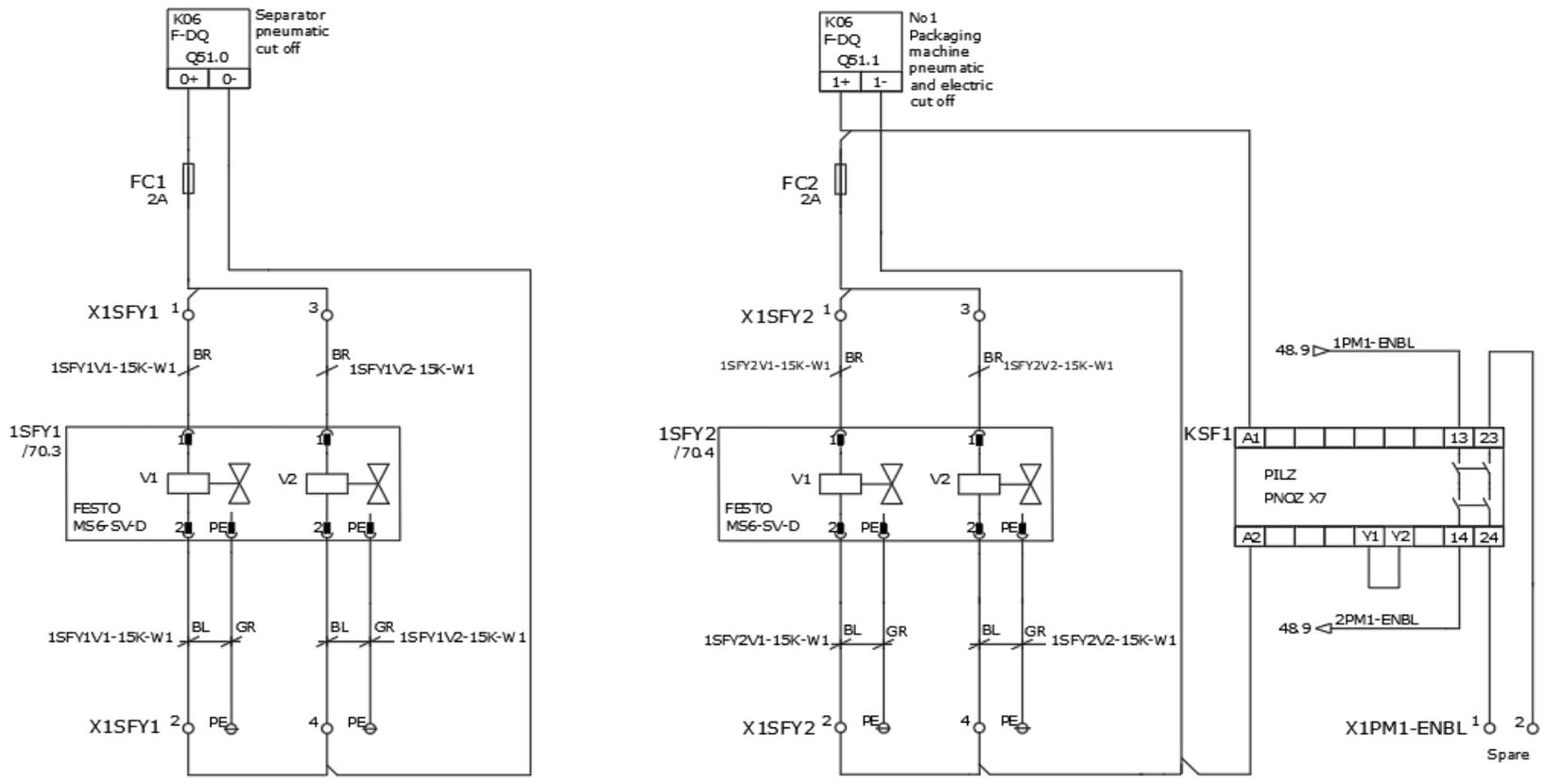


Designer	A.Jakovlev 02.10.2021	Palletizer area opening conditions checking sensors	
Supervisor			
Taltech Virumaa kolledž		Page 47/80	Electrical cabinet 15K

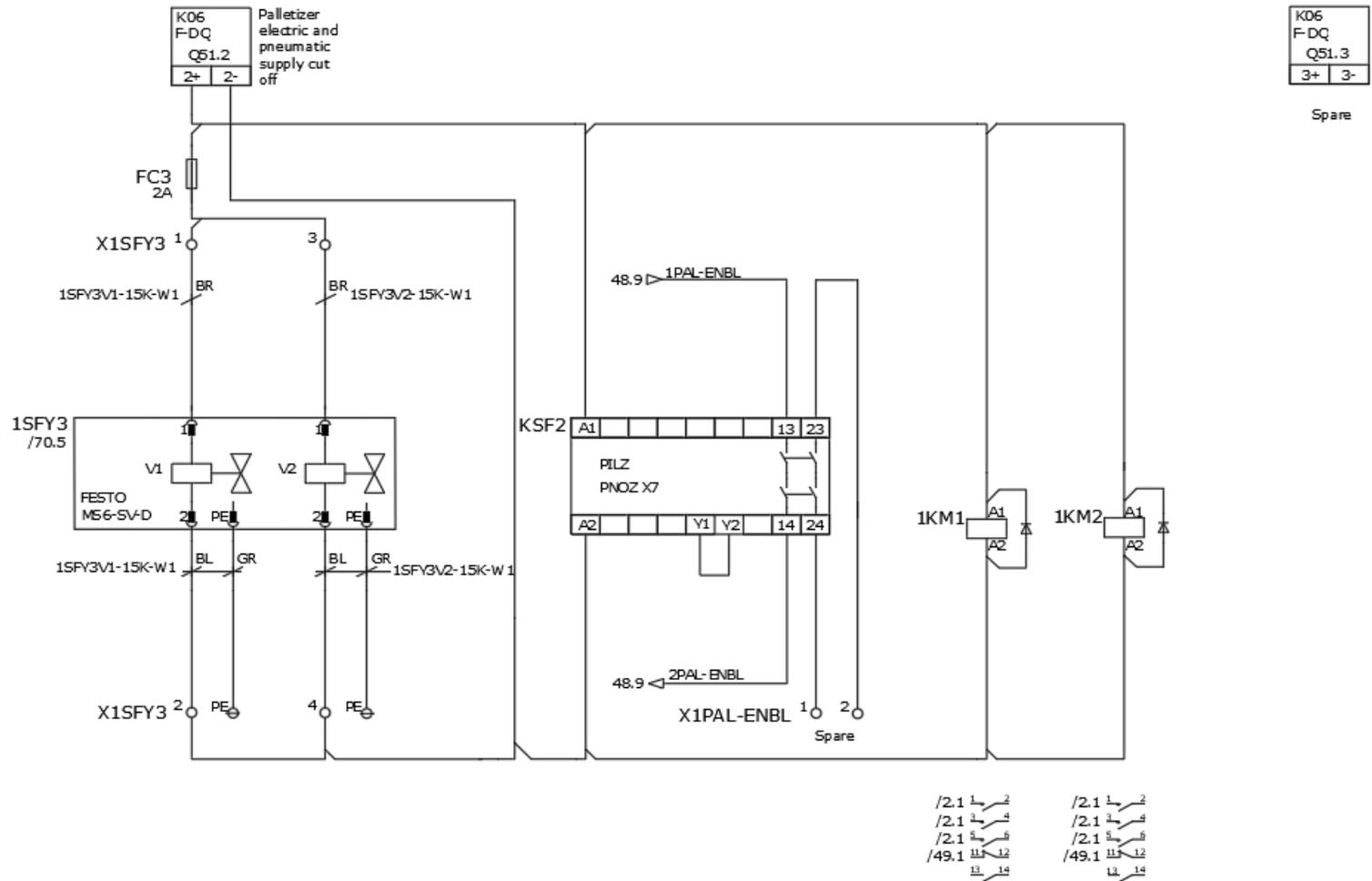


Designer	A.Jakovlev 02.10.2021		<h2>Conveyor - packaging machines interfaces</h2>
Supervisor			
<h3>Taltech</h3> <h3>Virumaa kolledž</h3>			Page 48/80      Electrical cabinet 15K





Designer	A.Jakovlev 02.10.2021	<b>Separator and No 1 packaging machine electric and pneumatic supply cut off</b>	
Supervisor			
<b>Taltech Virumaa kolledž</b>		Page 50/80	Electrical cabinet 15K



K06  
F-DQ  
Q51.3  
3+ 3-  
Spare

Designer	A.Jakovlev 02.10.2021		Palletizer electric and pneumatic supply cut off	
Supervisor				
Taltech Virumaa kolledž			Page 51/80	Electrical cabinet 15K