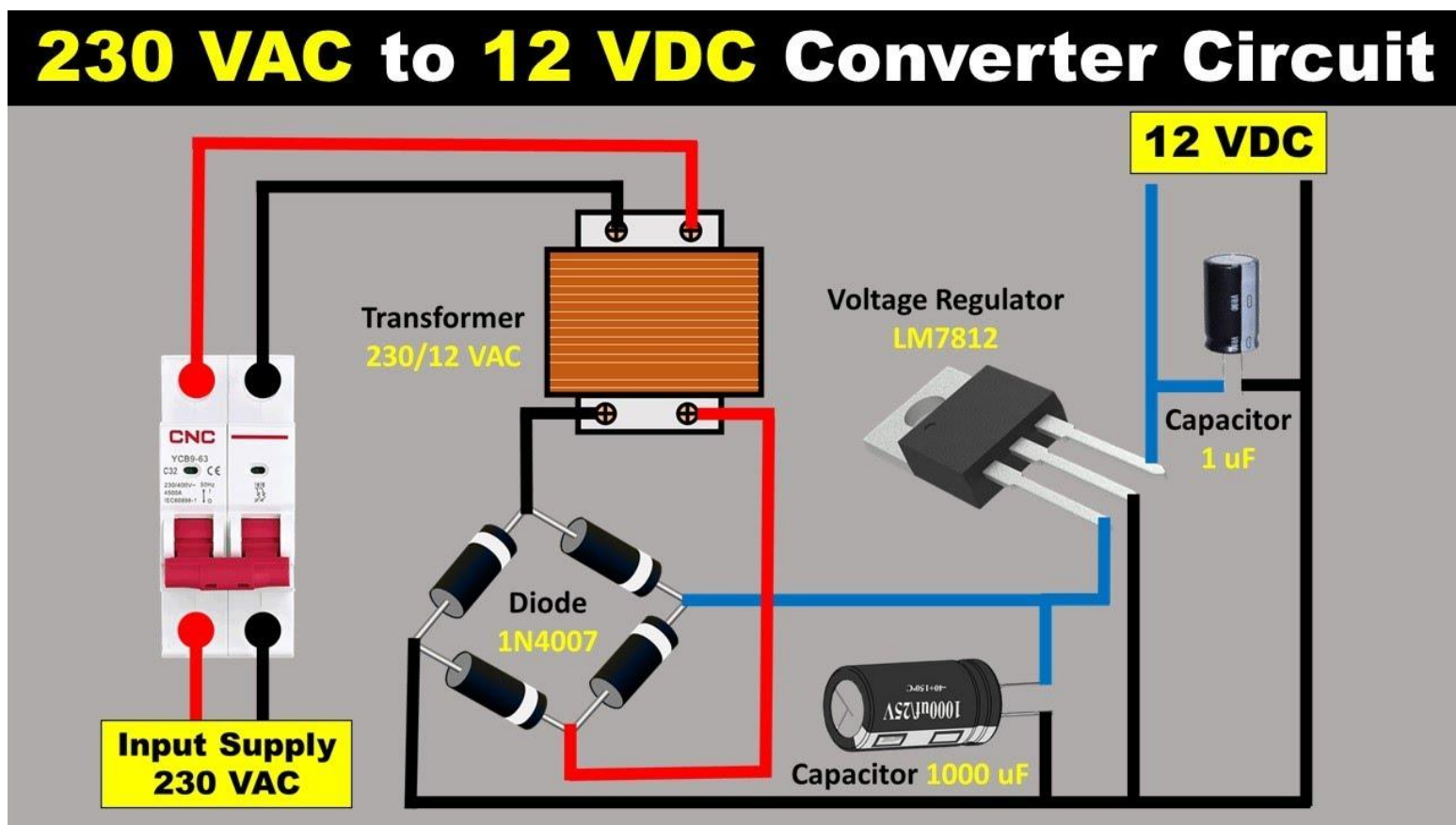


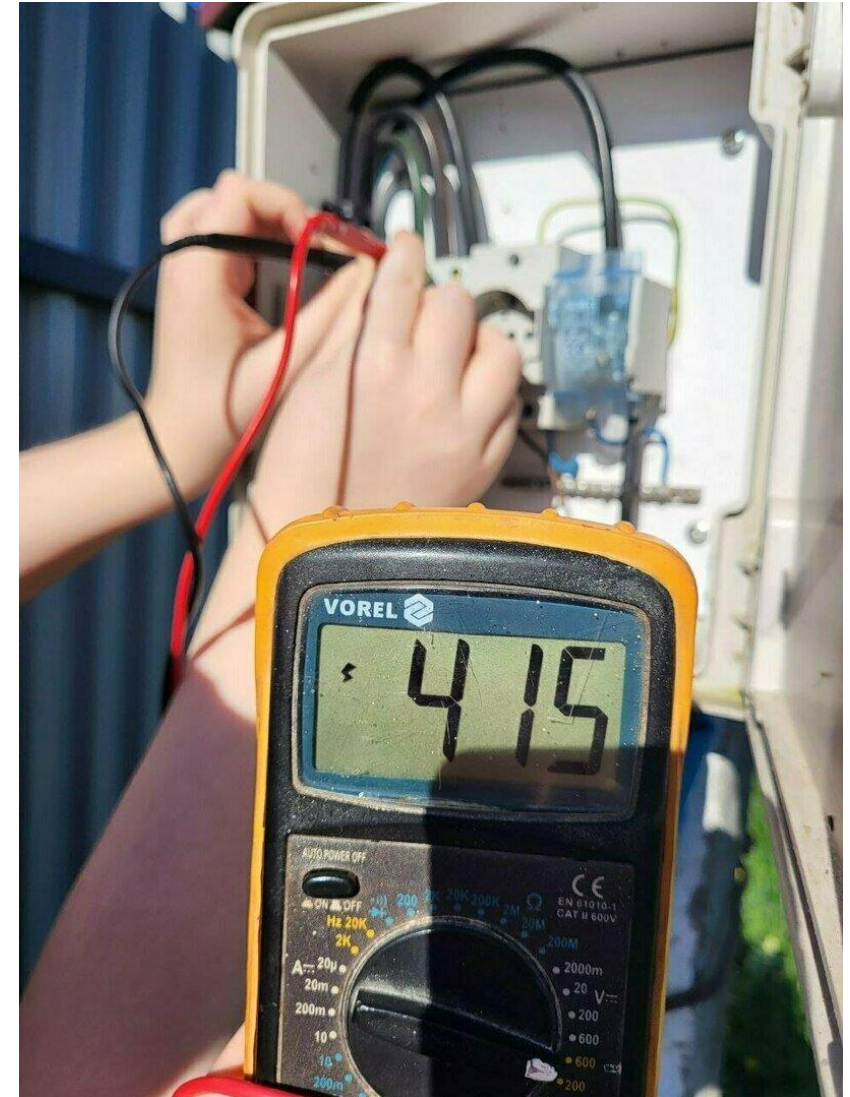
Түрлендіргіштерді қорғау әдістері.
Түрлендіргіштерді асқын кернеу, қысқа
тұйықталу, шамадан тыс жүктемеден
қорғау.

Преобразователи (например, инверторы, преобразователи частоты) являются важной частью различных электронных и электрических систем, таких как системы энергоснабжения, системы автоматизации и управления. Из-за их работы в условиях изменений напряжения, тока и частоты, они подвержены рискам повреждений, вызванным перенапряжением, коротким замыканием и перегрузкой. Эти риски могут привести к выходу из строя компонентов преобразователя или его цепей, а также существенно сократить срок службы устройства. Для защиты преобразователей от этих опасностей применяются различные методы защиты.



1. Защита от перенапряжения (Overvoltage Protection)

Перенапряжение — это резкое повышение напряжения в электрической цепи выше номинального значения, которое может быть вызвано различными причинами, такими как молнии, скачки напряжения в сети, внезапные изменения нагрузки или неисправности в других частях системы.

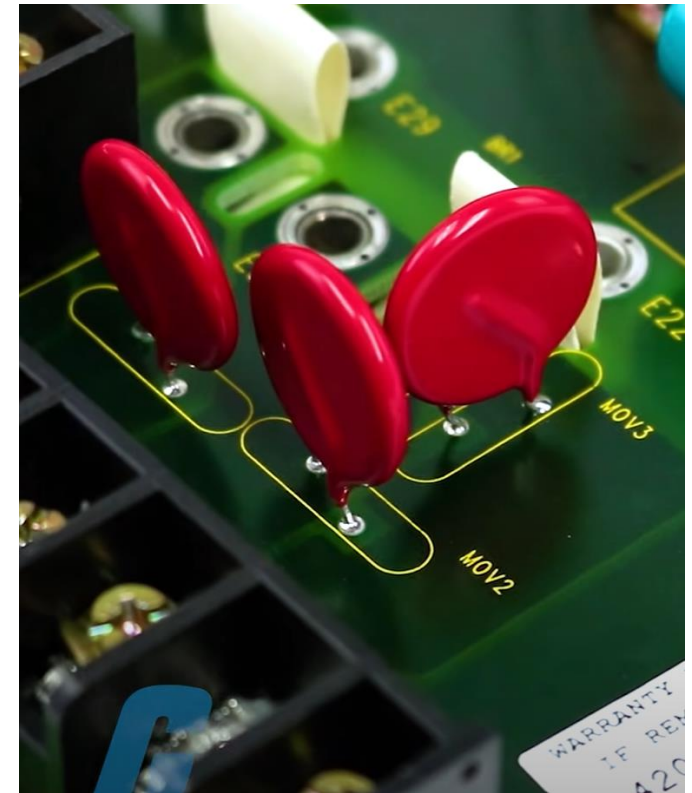


Методы защиты от перенапряжения:

•**Варисторы:** Варисторы — это компоненты, чья сопротивление зависит от приложенного напряжения. При нормальном напряжении варистор имеет высокое сопротивление, но при перенапряжении его сопротивление резко снижается, что позволяет ему поглотить избыточную энергию и предотвратить повреждения других компонентов. Варисторы широко используются в качестве защитных элементов для защиты от перенапряжений в преобразователях.

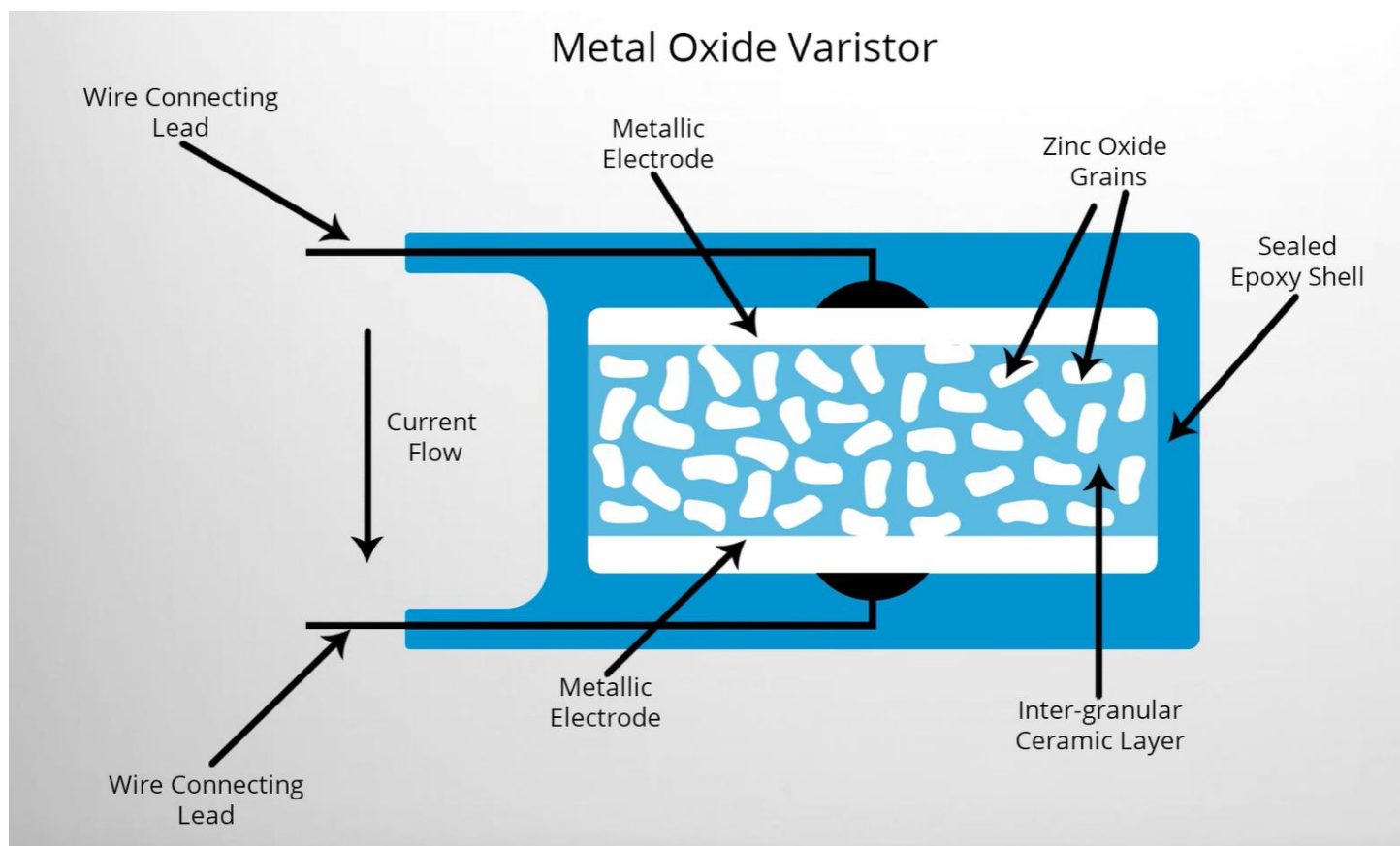
Что происходит, когда на привод подаётся напряжение выше номинального? Вы можете подумать, что привод сгорел, но не так быстро! Крошечный компонент под названием MOV мог спасти ситуацию.

MOV, или варистор на основе оксида металла, — это нелинейное устройство, зависимое от напряжения, которое обеспечивает отличное подавление переходных перенапряжений. Оно поглощает потенциально разрушительную энергию и рассеивает её в виде тепла, тем самым защищая уязвимые компоненты цепи и предотвращая повреждение системы.

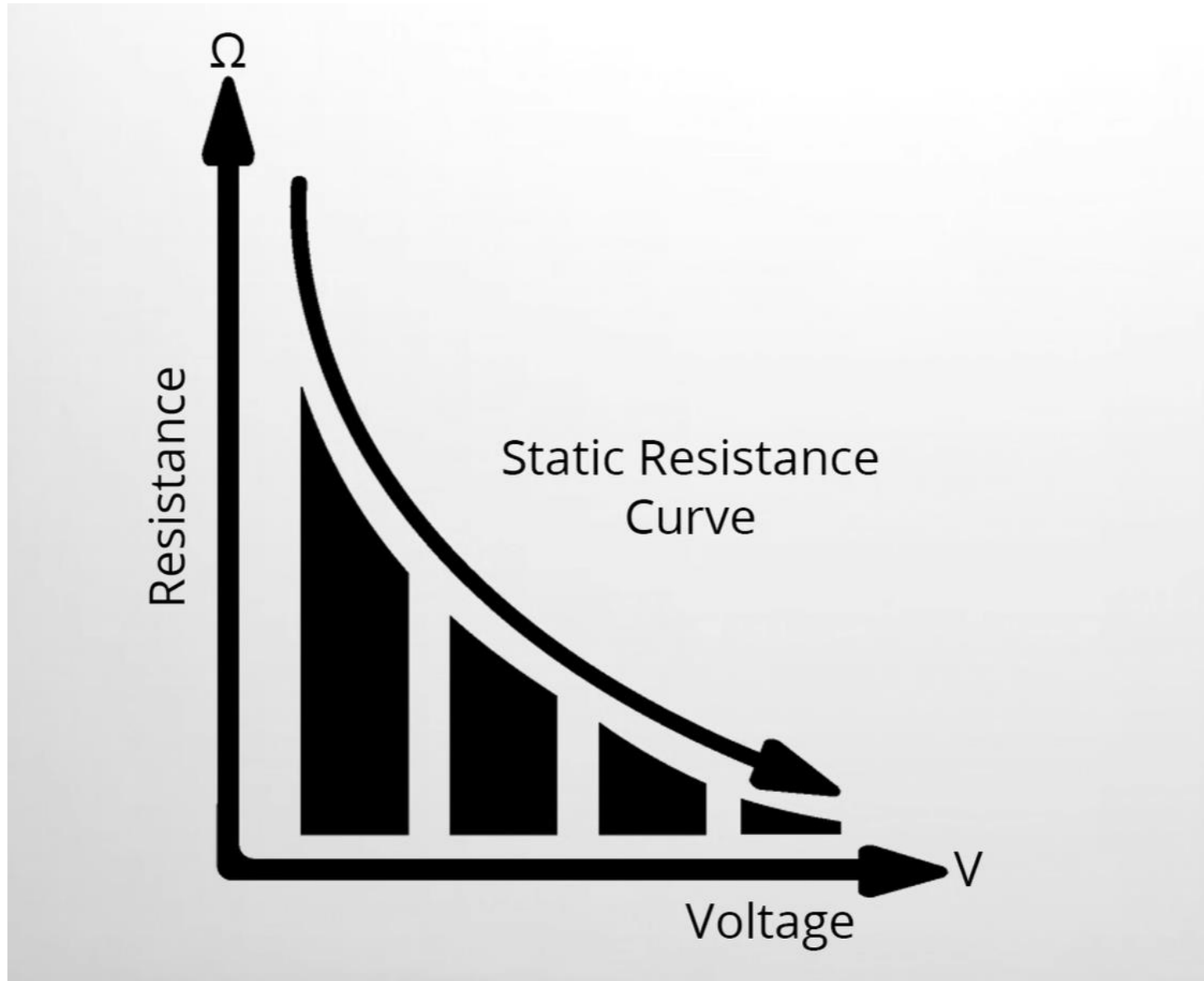


MOV состоит из керамической массы из зёрен оксида цинка с примесями других металлических оксидов, таких как висмут, кобальт и марганец. Эти элементы размещены между двумя металлическими пластинами — электродами. Граница между каждым зёрном и его соседями образует диодный переход, позволяя току проходить только в одном направлении. Масса случайно ориентированных зёрен электрически эквивалентна сети пар встречно включённых диодов, каждая из которых подключена параллельно множеству других пар.

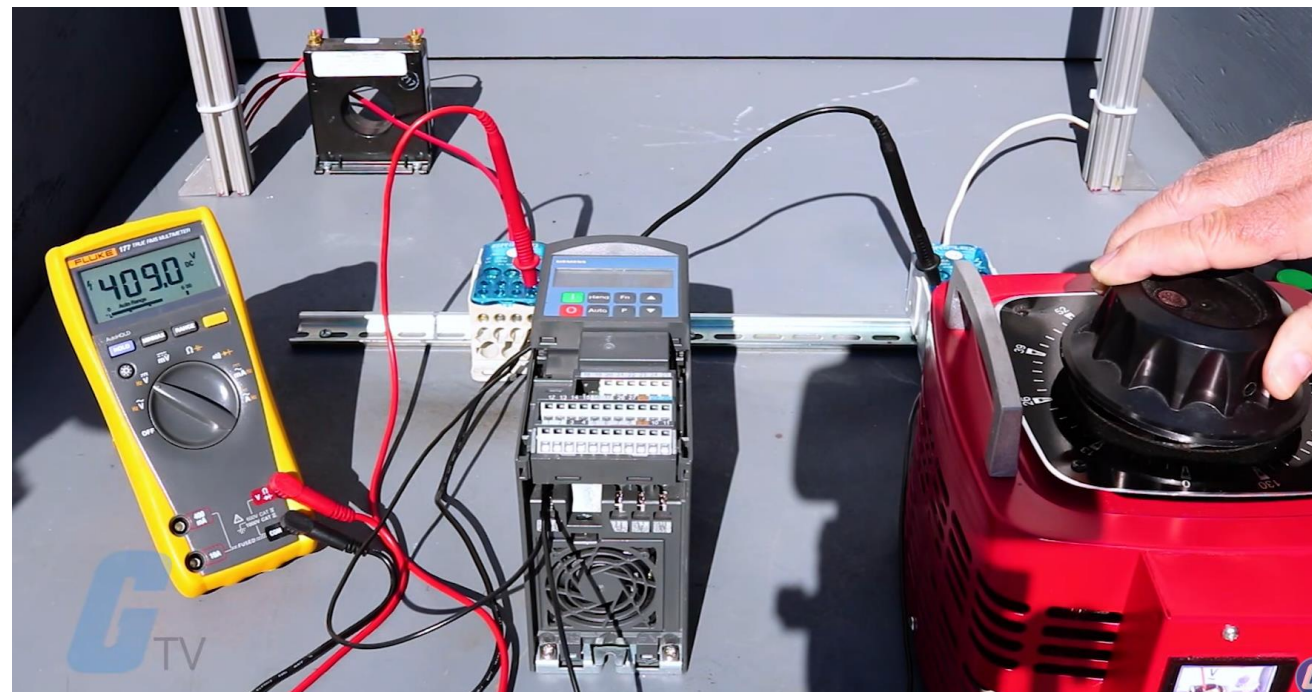
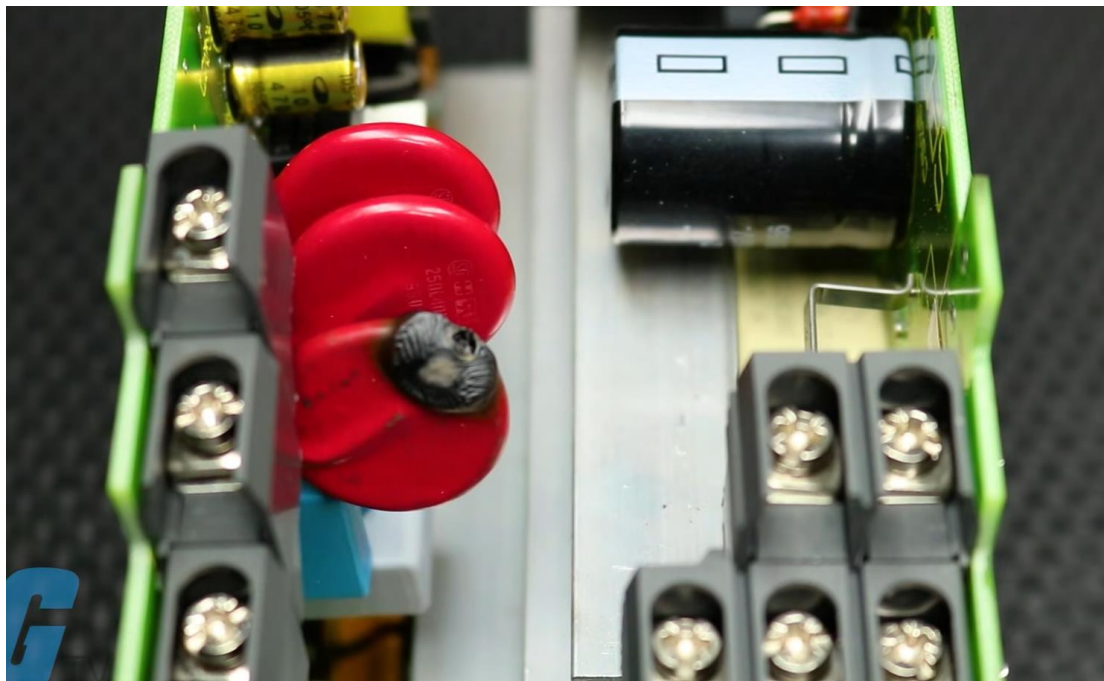
При подаче небольшого или умеренного напряжения через электроды протекает лишь незначительный ток, вызванный обратным током утечки через диодные переходы. Однако при подаче высокого напряжения происходит пробой диодного перехода из-за термоэлектронной эмиссии и туннельного эффекта, что приводит к резкому увеличению тока.



В результате этого поведения MOV обладает сильно нелинейной вольт-амперной характеристикой: при низком напряжении он имеет высокое сопротивление, а при высоком напряжении — низкое.



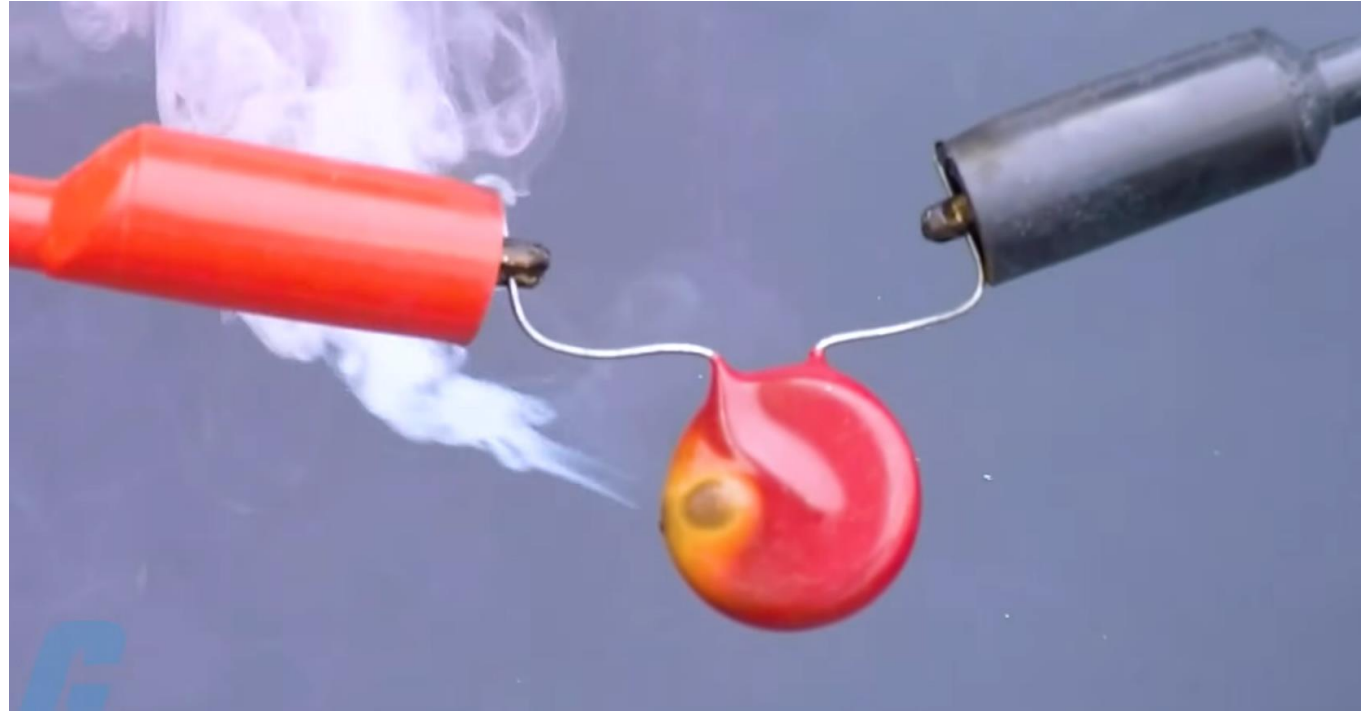
Чтобы продемонстрировать работу MOV, мы проведём эксперимент: создадим скачок напряжения, пропустив 400 В через привод, рассчитанный на 200 В, а затем вскроем его, чтобы посмотреть, что произошло.



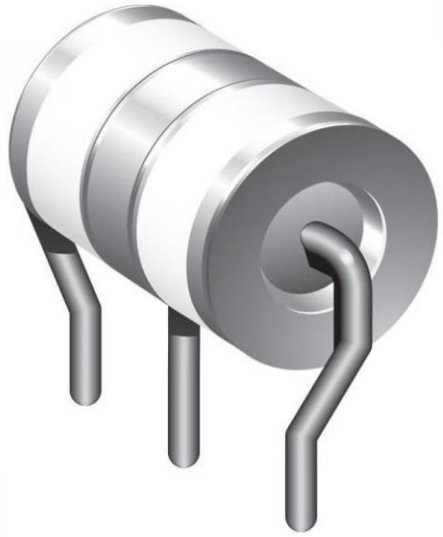
При осмотре привода можно заметить, что один из входных MOV сгорел, но остальная часть устройства не повреждена. Это значит, что MOV сработал как защита. Мы проверим работоспособность остальных компонентов и затем соберём привод обратно.

Хотя MOV способен проводить значительную мощность в течение короткого времени, он не рассчитан на длительное рассеивание энергии. Длительное превышение напряжения может привести к перегреву устройства и даже возгоранию.

Варисторы на основе оксида металла широко применяются в различных силовых электронных схемах переменного тока для защиты от переходных перенапряжений. Однако существуют и другие твердотельные устройства для ограничения напряжения, такие как диоды, стабилитроны и супрессоры, которые также могут использоваться для защиты как в цепях переменного, так и постоянного тока.



Газоразрядные трубки (GDT): Газоразрядные трубки — это устройства, которые защищают от перенапряжений, возникающих при молниевых разрядах или скачках напряжения. Они содержат газ, который проводит ток при приложении определённого напряжения, обеспечивая короткое замыкание и предотвращая повреждения цепей.

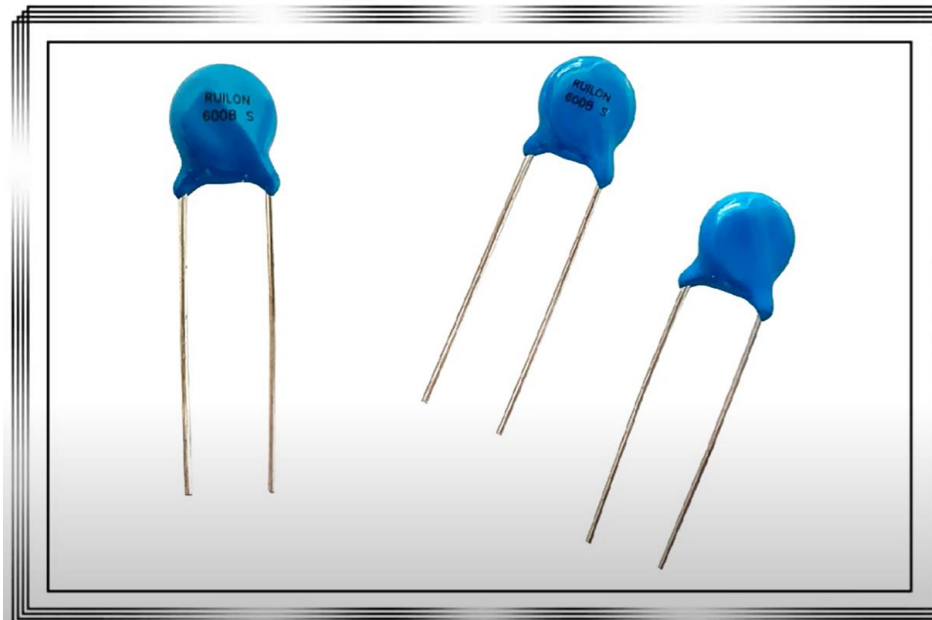
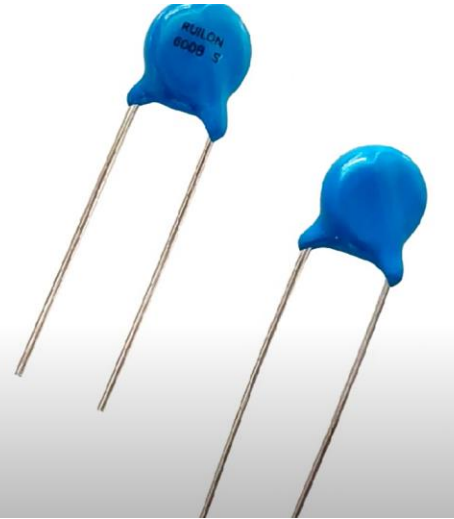


2R-8TH

New Type

Have R series

L series



Features:

Patented technology

Occupy smaller PCB area

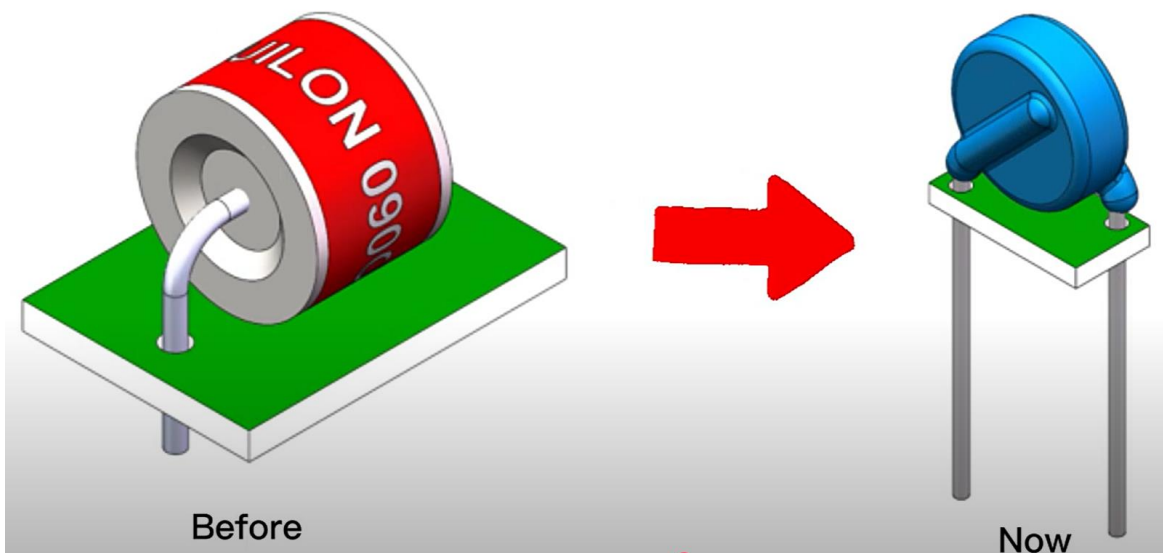
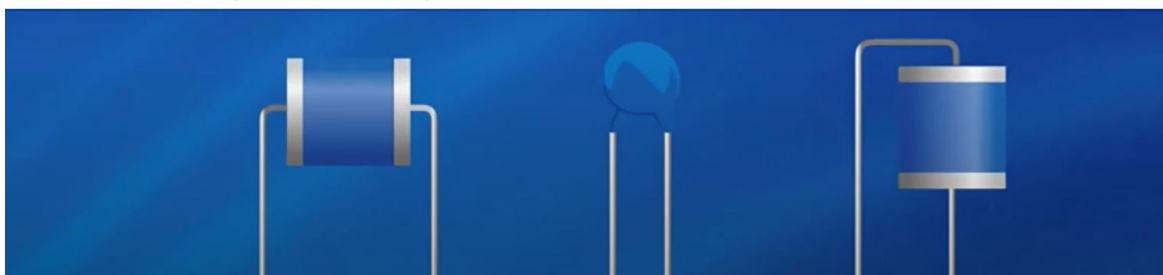
Ultra Low capacitance (<2.0pF)

Non-Radioactive

GDT diameter: $\varnothing 8\text{mm}$

Main Advantage: Space-saving on PCB

Save 70% of Space



Application

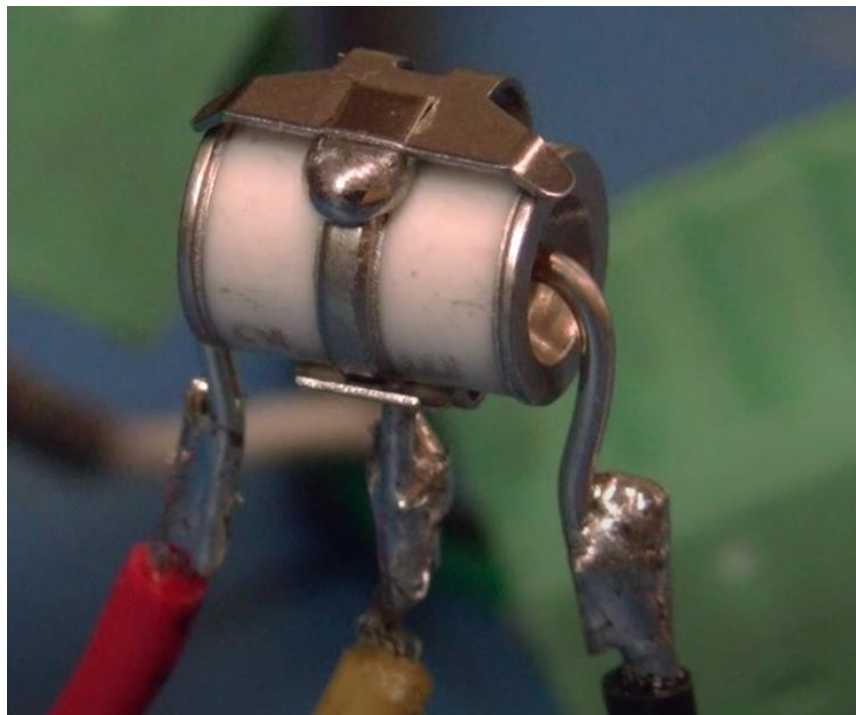
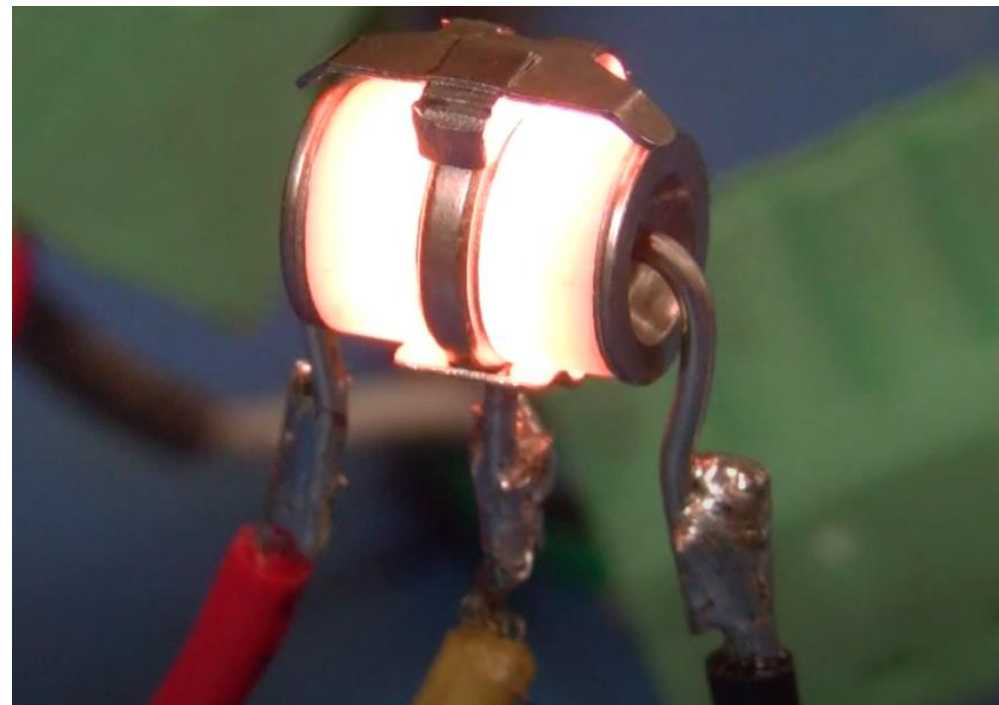


Communication power

Application



fast charger



Диоды с зенеровским эффектом (Зенеровские диоды): Зенеровские диоды используются для ограничения напряжения в электрической цепи. Когда напряжение на диоде достигает заранее установленного значения, диод начинает проводить ток в обратном направлении, тем самым защищая преобразователь от перенапряжения.

TVS-диод (Transient Voltage Suppression Diode) — это диод защиты от перенапряжений, предназначенный для подавления кратковременных импульсов высокого напряжения, таких как электростатические разряды (ESD), грозовые импульсы и другие переходные процессы.

ESD (Electrostatic Discharge) — это резкий выброс электричества при контакте двух заряженных объектов. Один из распространённых примеров — человек, идущий по ковру, заряжающийся статическим электричеством, а затем касающийся проводящего элемента, вызывая разряд.

Напряжение таких ESD-разрядов может достигать нескольких киловольт, что представляет опасность для электроники, особенно для интегральных схем (IC). Большинство IC чувствительны к электростатическому разряду, так как встроенная защита, если и присутствует, занимает много площади на кристалле и обычно реализуется в ограниченном виде.

Поэтому внешняя защита от ESD крайне важна, особенно для соединений с внешним миром — разъёмов, портов и интерфейсов.

ESD/SURGE PROTECTION BASICS

- ESD = Electrostatic Discharge, 'sudden release of electricity from one charge object to another, when objects come into contact'.
- ESD voltages can reach **several Kilovolts!**
- **ICs typically very sensitive to ESD** (protection takes up a lot of silicon), often interfaced to 'outside world' via **connectors**. → *Need to protect with ESD (TVS) diodes!*

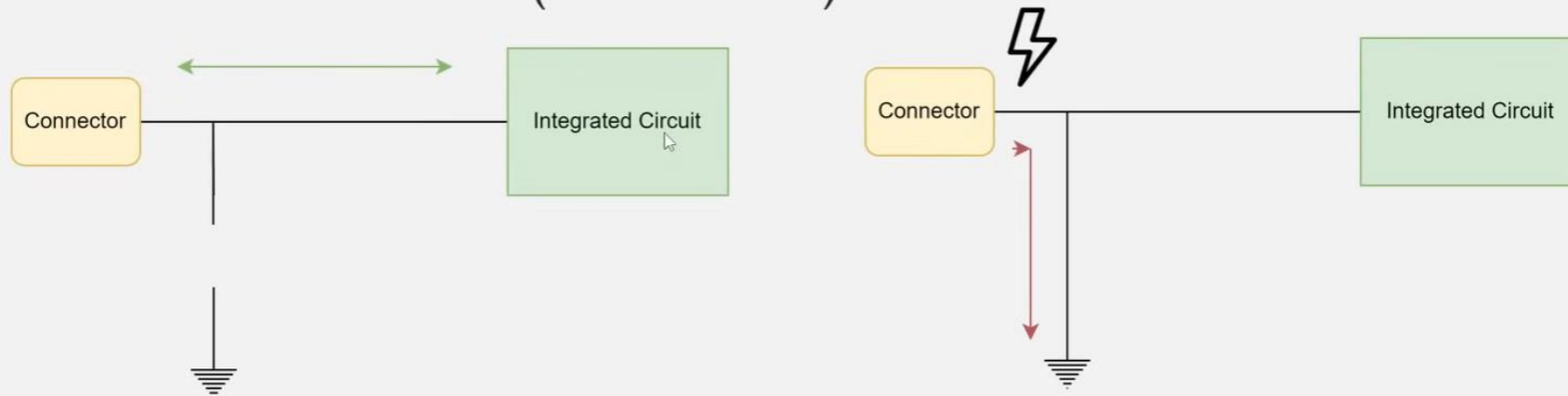


TVS-диоды и их принцип работы

Один из самых распространённых способов защиты от ESD — использование TVS-диодов (Transient Voltage Suppression). На схеме слева показан **неправильный** вариант: разъём соединён с IC напрямую, что небезопасно для промышленного или коммерческого применения. Вместо этого TVS-диод подключается **параллельно** разъёму и IC, как показано справа. При **нормальной работе** TVS-диод ведёт себя как **разомкнутая цепь**, не влияя на сигнал. Однако при **ESD-ударе** он становится **коротким замыканием**, мгновенно отводя опасную энергию на землю и защищая IC.

TVS DIODE OPERATION

- During normal operation, diode appears as open circuit. Signals pass from connector to IC (and vice versa).



- When an ESD strike occurs, diode appears as a short circuit. ESD energy is shunted to ground – not 'forwarded' to IC.

Как выбрать TVS-диод?

Выбор TVS-диода зависит от нескольких ключевых параметров:

1. Направленность (uni- или bi-directional)

1. **Однонаправленный (unidirectional)** — для сигналов, которые всегда остаются выше или ниже опорного потенциала.
2. **Двухнаправленный (bi-directional)** — для сигналов, которые могут менять полярность относительно земли.

DIRECTIONALITY

1. Unidirectional:

- Asymmetrical I-V curve.
- Best suited for protecting signal lines that are always above/below reference (e.g. GND).



2. Bidirectional:

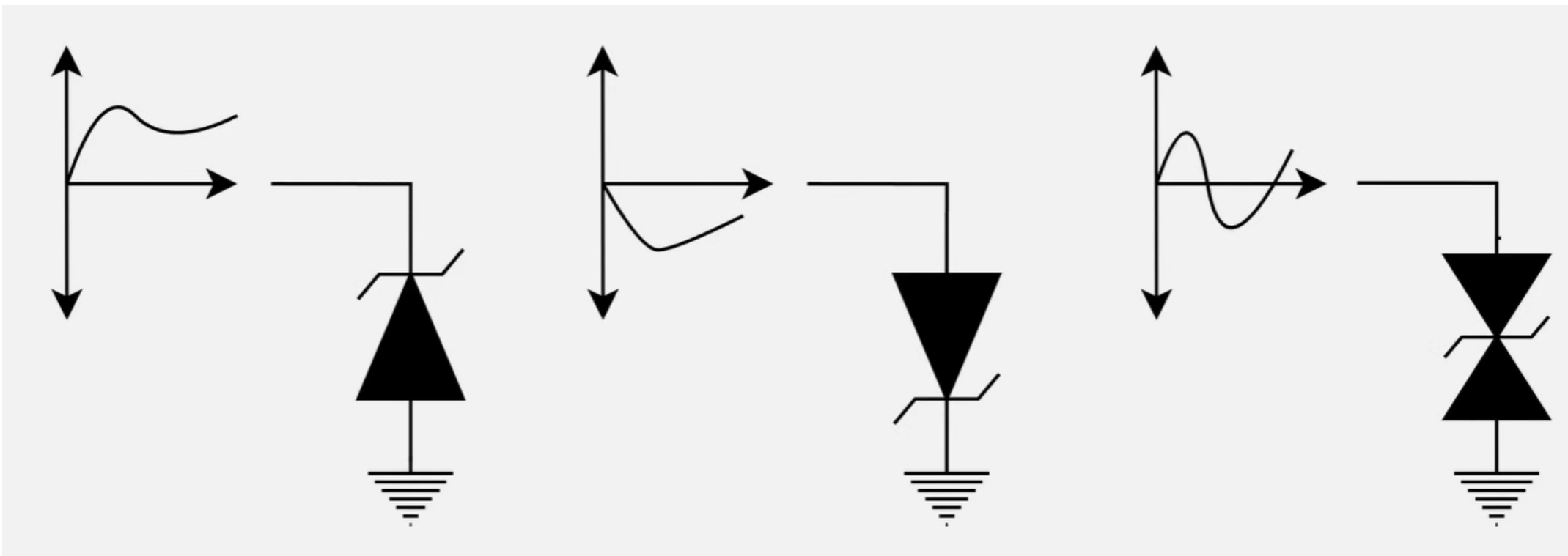
- Symmetrical I-V curve.
- Best suited for protecting signal lines that can swing above or below reference.



Графики работы однонаправленного и двунаправленного TVS-диода

На графике однонаправленного TVS-диода показано, что он работает аналогично стабилитрону: при превышении напряжения пробоя в положительном направлении он остаётся разомкнутым, а в обратном направлении ограничивает напряжение.

График двунаправленного TVS-диода демонстрирует симметричную вольт-амперную характеристику: он ограничивает выбросы напряжения в обе стороны, защищая схемы от положительных и отрицательных импульсов. Таким образом, выбор между одно- и двунаправленным TVS-диодом зависит от типа защищаемого сигнала.

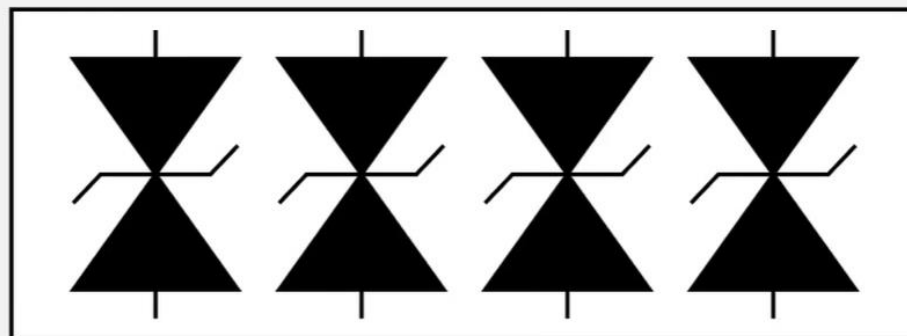


2. Количество каналов

1. Отражает число защищаемых линий в одном корпусе (например, 4 или 8 для HDMI, 2 для USB 2.0).

NUMBER OF CHANNELS

*Quite simply... **Number of TVS diodes contained in a single package.***



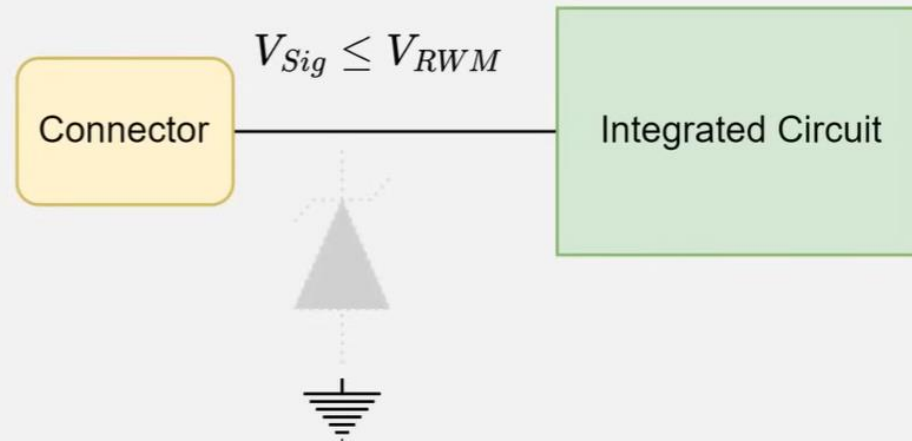
Typically packaged for various interfaces (e.g. HDMI, USB 2/3, ...).

3. Рабочее напряжение (Working voltage)

1. Должно быть **не ниже** напряжения сигнала. Например, для I²C на 3,3 В нужен TVS-диод с рабочим напряжением **не менее** 3,3 В

WORKING VOLTAGE

- Recommended operating voltage of TVS diode.
- Signal voltage should not exceed working voltage.
 - *For example, for a +3V3 MCU's I2C connections → choose a (minimum) 3V3 working voltage TVS diode.*

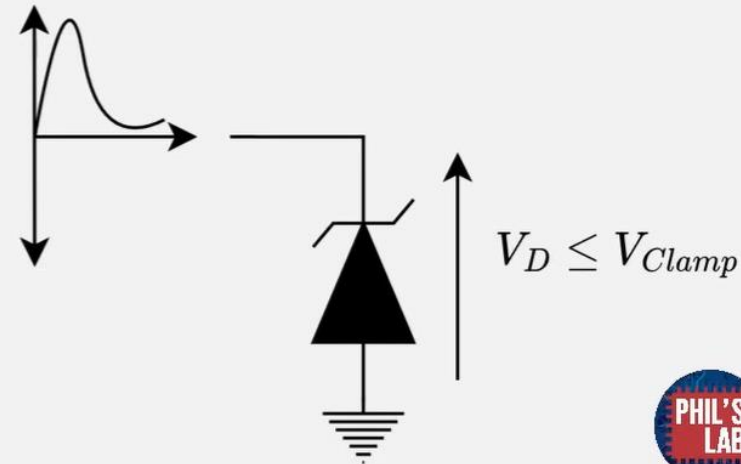


4. Напряжение ограничения (Clamping voltage)

1. Определяет, до какого значения диод ограничит выброс напряжения при ESD-ударе

CLAMPING VOLTAGE

- When ESD event occurs, diode will ensure 'downstream' connected devices only see the clamping voltage.
- Downstream device(s) need to be transmission-line-pulse (TLP) rated (*NOT absolute maximum rated!*) for clamping voltage.
 - *TLP rating of devices can be hard to find...*



5. Ёмкость (Capacitance)

1. Критически важно для высокоскоростных интерфейсов (USB 3.0, HDMI). Например, TVS-диоды с ёмкостью **<0,5 пФ** подходят для таких линий.

CAPACITANCE

- As it the case with any real diode, it will have some capacitance.
 - Ultra-low: $< 0.5\text{pF}$, low: 0.5pF to 1.5pF , 'general purpose': $> 1.5\text{pF}$
 - **Very important parameter for high-speed interfaces!**
 - Any capacitance on line loads drivers.
 - Decreases rise/fall times.
 - Degrading signal integrity (SI).
- Choose low-capacitance TVS diodes!

1. Драйвер и источник импеданса:

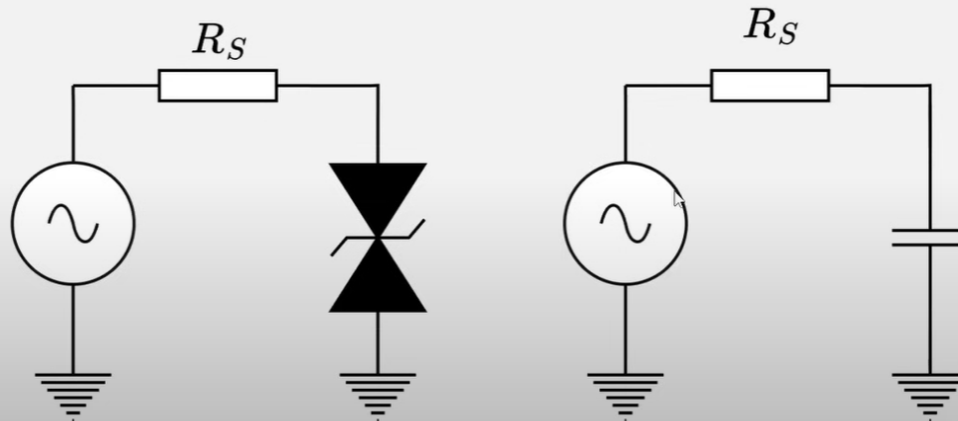
В контексте электрических цепей, "драйвер" — это устройство, которое генерирует сигнал для передачи через линию. "Источник импеданса" означает, что у драйвера есть определенное сопротивление (или импеданс), которое может влиять на передачу сигнала через линию. Импеданс — это свойство цепи, которое ограничивает поток электрического тока при приложении напряжения.

2. Линия передачи:

Линия передачи — это проводник или группа проводников, которые передают сигнал от одного устройства к другому. В случае высокоскоростных интерфейсов линия передачи должна быть специально спроектирована, чтобы минимизировать потери и помехи.

CAPACITANCE

- Source impedance + capacitance of TVS diode → **Low-pass filter** ☹️



3. TVS-диод и его ёмкость:

TVS-диод (диод для защиты от перенапряжений) используется для защиты от импульсных напряжений, таких как молнии или электростатические разряды. Этот диод имеет ёмкость (характеристику, которая определяет, насколько он может хранить электрический заряд). В некоторых случаях эта ёмкость может оказывать влияние на сигнал, особенно в высокоскоростных цепях.

4. Образование низкочастотного фильтра:

Когда источник импеданса (например, драйвер) соединяется с TVS-диодом, а диод имеет ёмкость, эта комбинация (импеданс + ёмкость) может действовать как **низкочастотный фильтр**. Это означает, что в цепи будет происходить ослабление высокочастотных сигналов. Такой фильтр, хоть и полезен для защиты от перенапряжений, может ухудшить качество передачи высокоскоростных сигналов, поскольку он снижает амплитуду высокочастотных компонент сигнала.

5. Проблемы для высокоскоростных приложений:

В высокоскоростных интерфейсах, таких как USB 3.0 или HDMI, важен каждый элемент сигнала, включая высокочастотные компоненты, потому что они используются для передачи больших объемов данных на очень высокой скорости. Когда в цепи появляется низкочастотный фильтр, это может привести к ухудшению качества сигнала и снижению производительности интерфейса.

В итоге, проблема заключается в том, что хоть TVS-диоды и защищают цепи, их ёмкость может создавать дополнительные проблемы в виде фильтрации высокочастотных сигналов, что ухудшает работу высокоскоростных интерфейсов.

6. Стандарт IEC 61000-4-2

1. Определяет устойчивость к ESD (например, контактный разряд 8 кВ, воздушный разряд 15 кВ).

IEC 61000-4-2 RATING

- ***‘Robustness rating’ of protection device.***
- ***Design-dependent!***

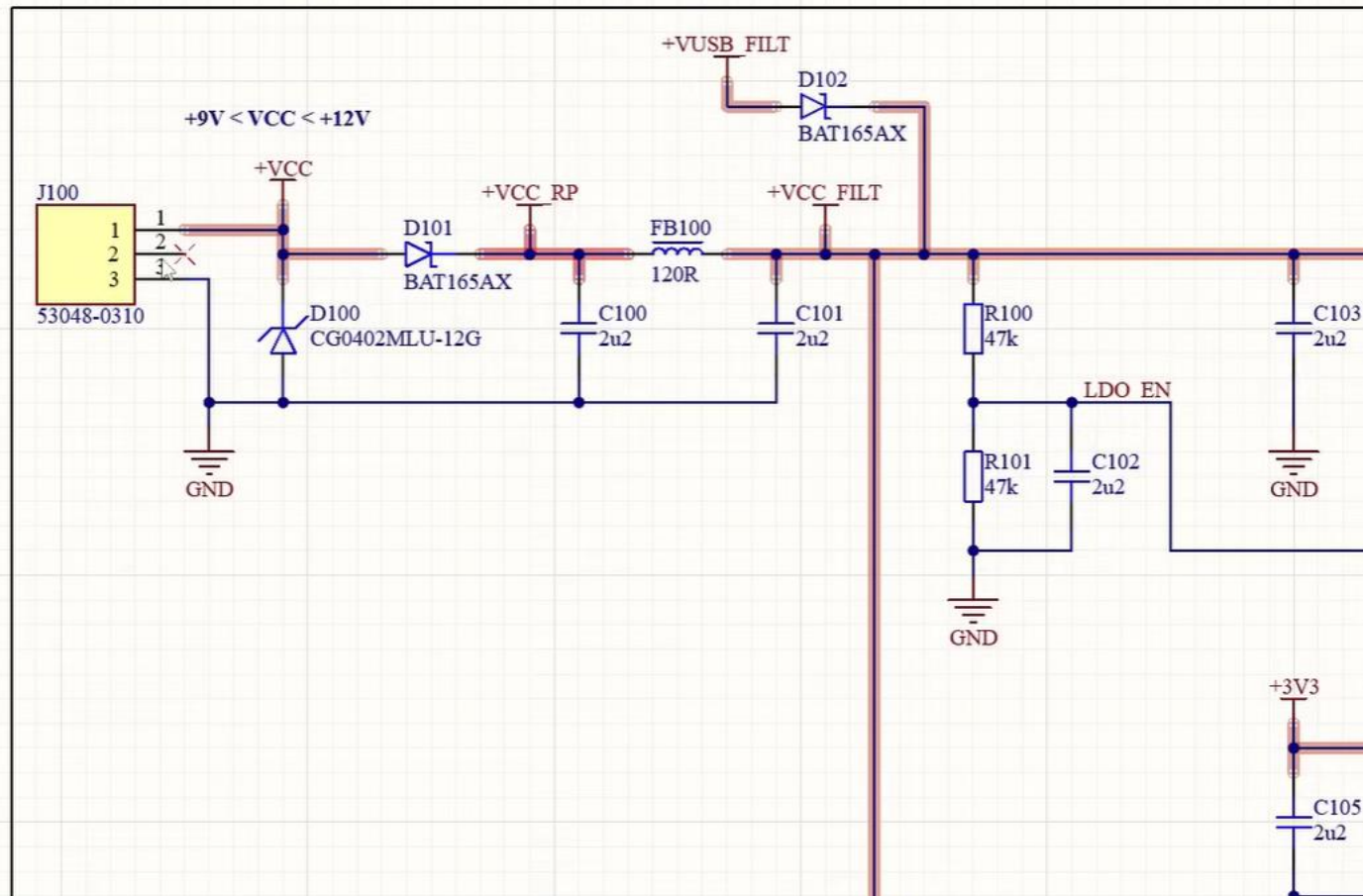
ESD Test Levels (IEC/EN 61000-4-2) ^[2]		
	Contact discharge	Air discharge
Level	Test voltage	Test voltage
1	±2 kV	±2 kV
2	±4 kV	±4 kV
3	±6 kV	±8 kV
4	±8 kV	±15 kV
X	Special	Special
<i>X can be any level specified in product specific standards. It can be above, below or between the others.</i>		

Размещение TVS-диодов на плате

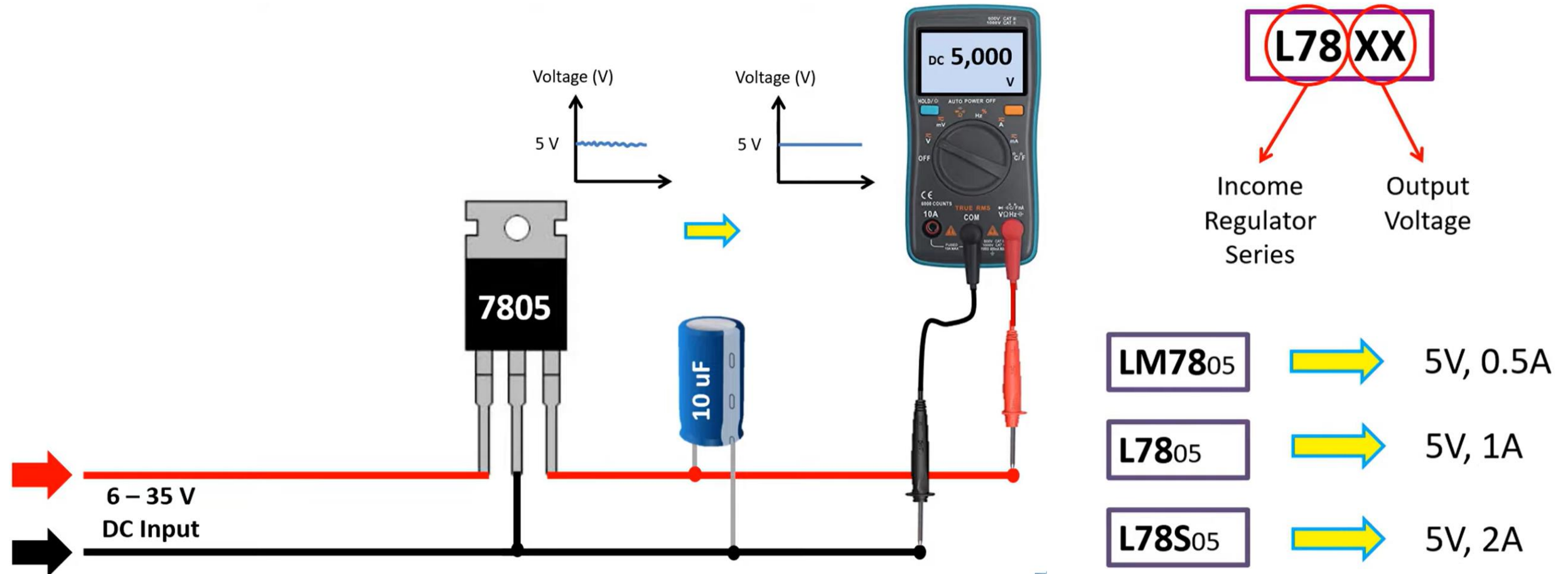
При компоновке печатной платы важно следовать следующим правилам:

- TVS-диод должен быть как можно ближе к разъёму.
- Короткие и широкие соединения к земле для снижения индуктивности.
- Сначала TVS-диод, затем фильтры и защита от обратной полярности.

Power Input & LDO Regulators



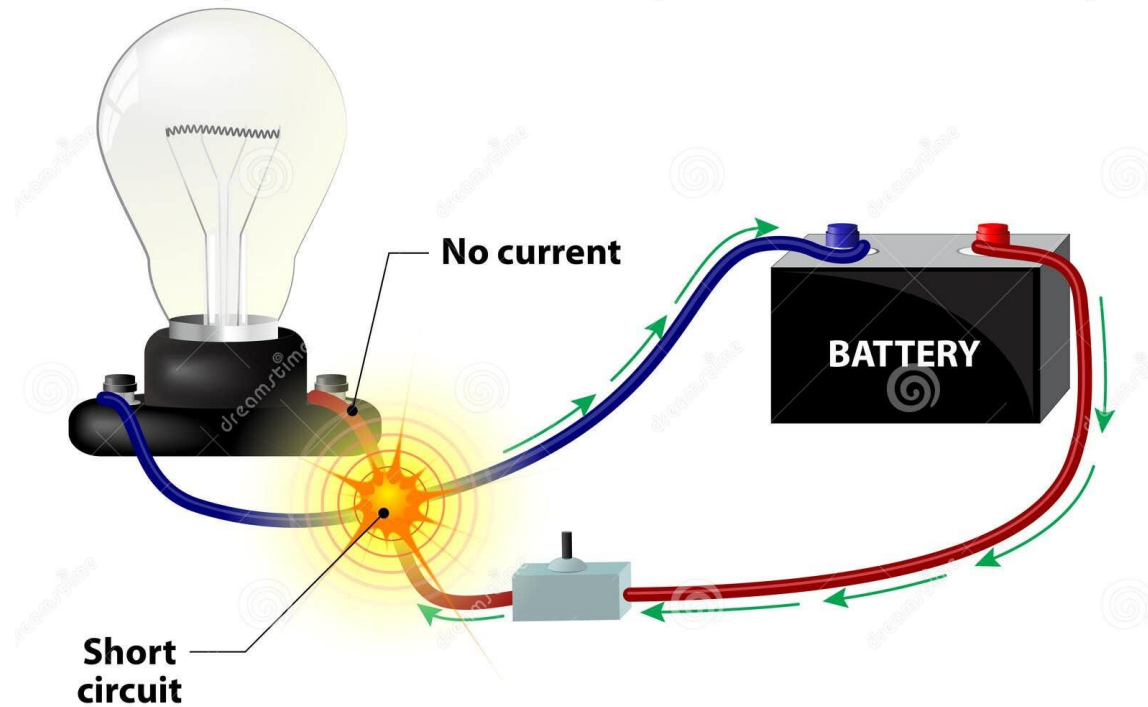
Стабилизаторы напряжения: Использование стабилизаторов напряжения для управления входным напряжением и его стабилизации в пределах допустимых значений. Это поможет защитить преобразователь от незначительных перепадов напряжения, обеспечив стабильную работу устройства.



2. Защита от короткого замыкания (Short Circuit Protection)

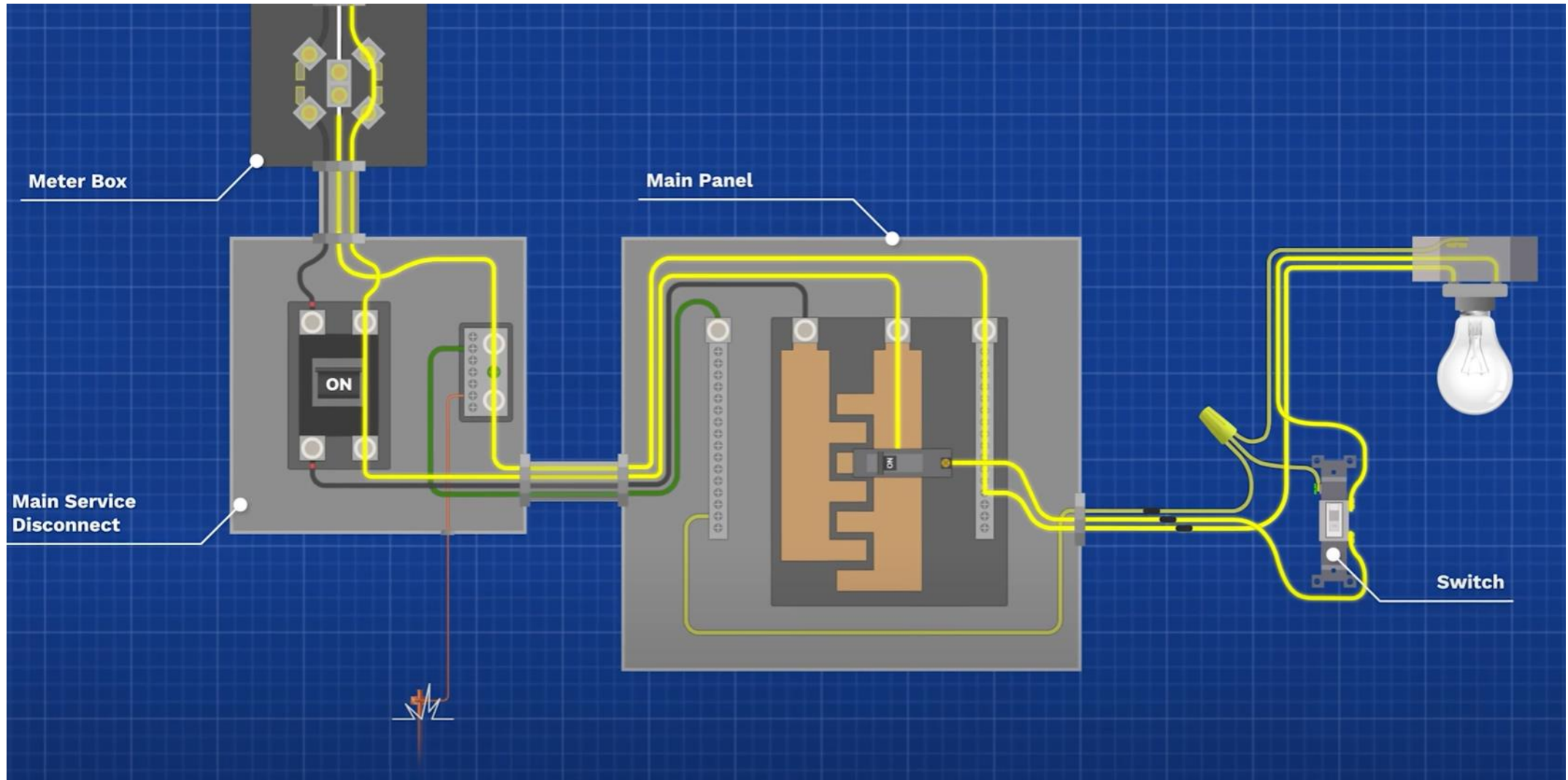
Короткое замыкание (КЗ) — это ситуация, при которой два проводника, обычно имеющие разный потенциал (положительный и отрицательный), случайно соединяются между собой, создавая замкнутую цепь с низким сопротивлением. Это может привести к сильному перегреву, повреждению компонентов и даже к пожару.

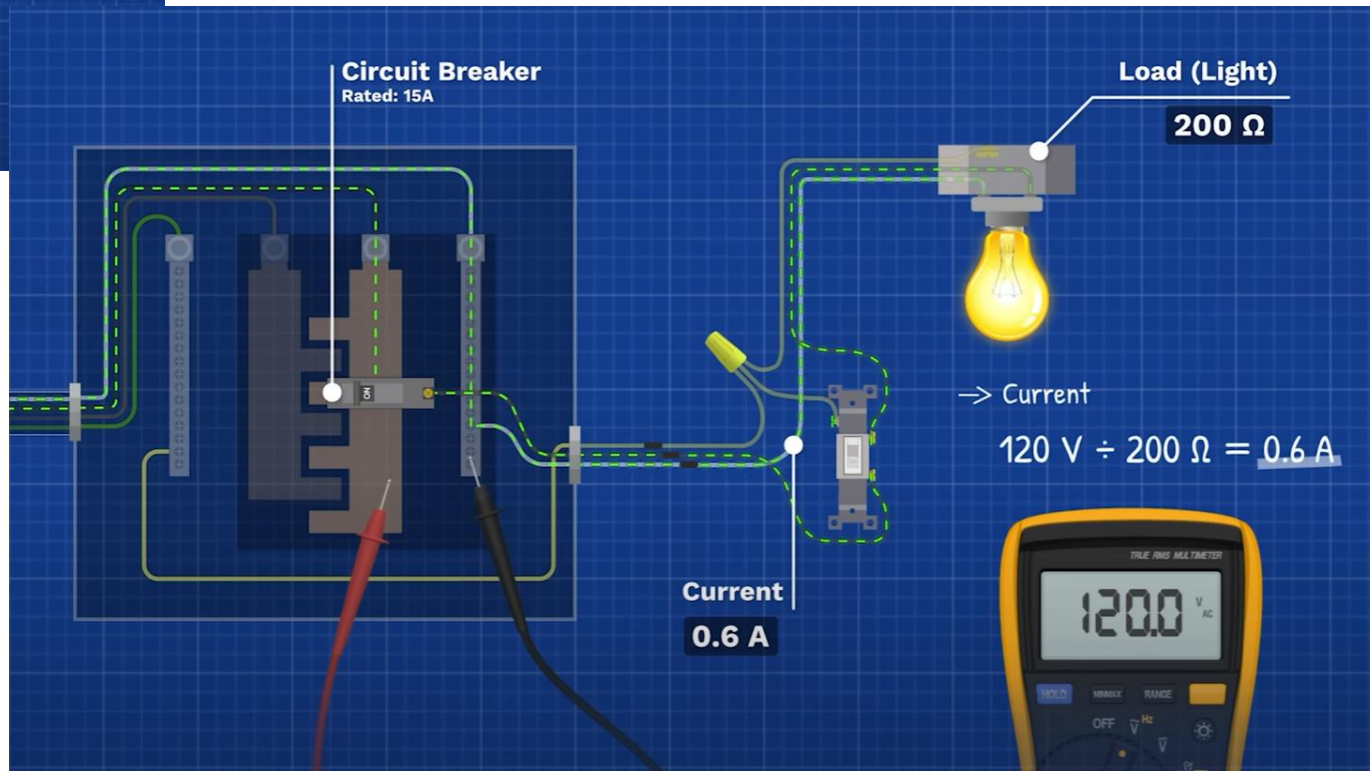
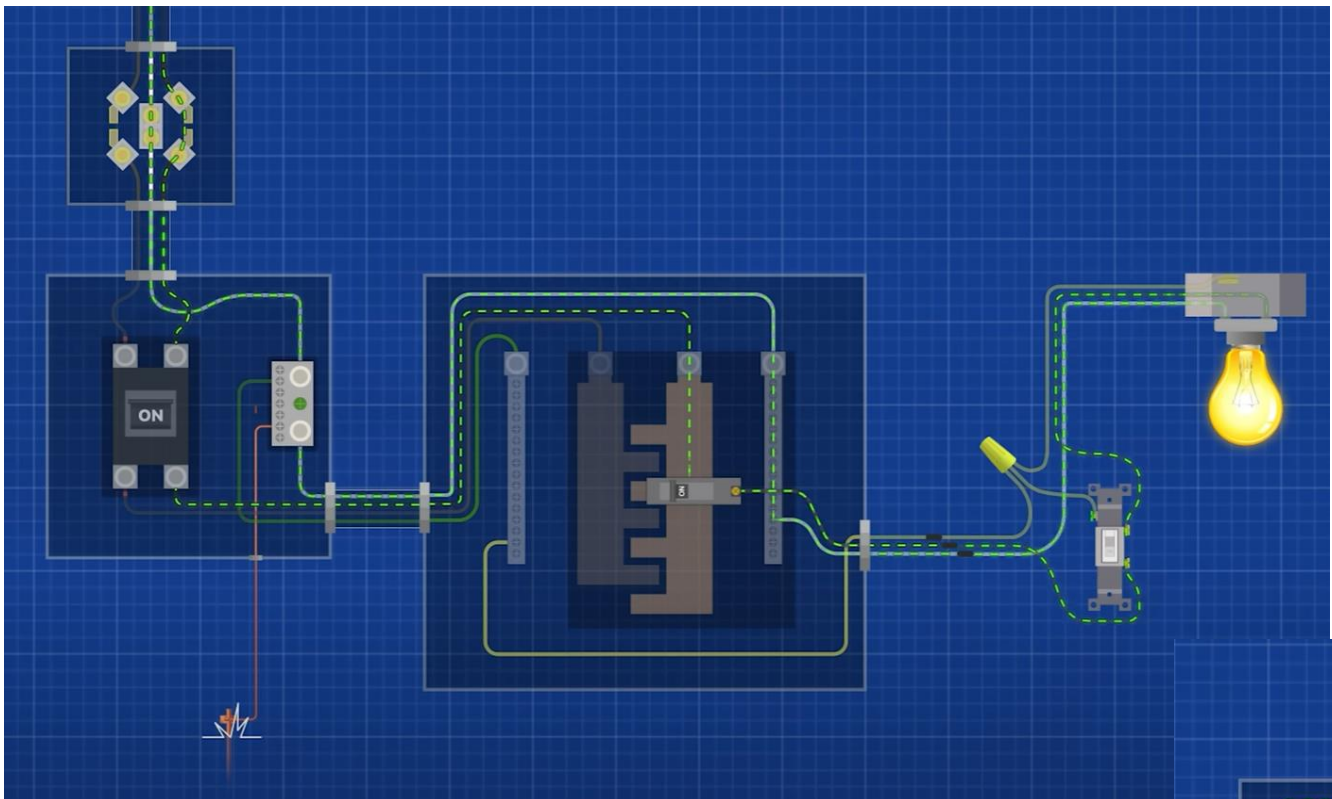
SHORT CIRCUIT



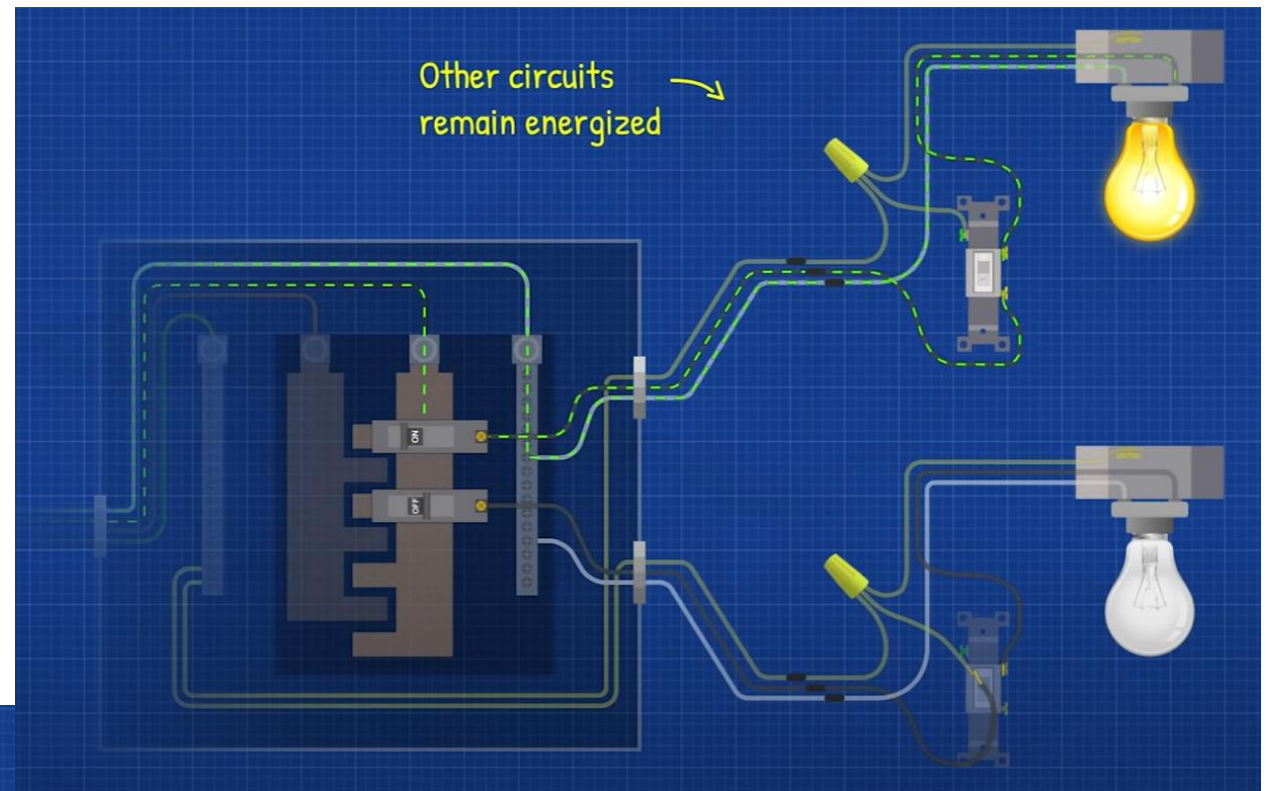
Методы защиты от короткого замыкания:

- **Автоматические выключатели (Circuit Breakers):** Автоматические выключатели — это устройства, которые автоматически разрывают цепь в случае короткого замыкания. Когда ток в цепи превышает установленный предел (который может быть выбран в зависимости от параметров системы), выключатель срабатывает и отключает цепь, предотвращая повреждение оборудования.





e.g.
This one is rated
for 20 amps



Circuit breaker (15A) will trip
as 600A current flows

→ Current
 $120 \text{ V} \div 0.2 \Omega = 600 \text{ A}$

Current
600.0 A

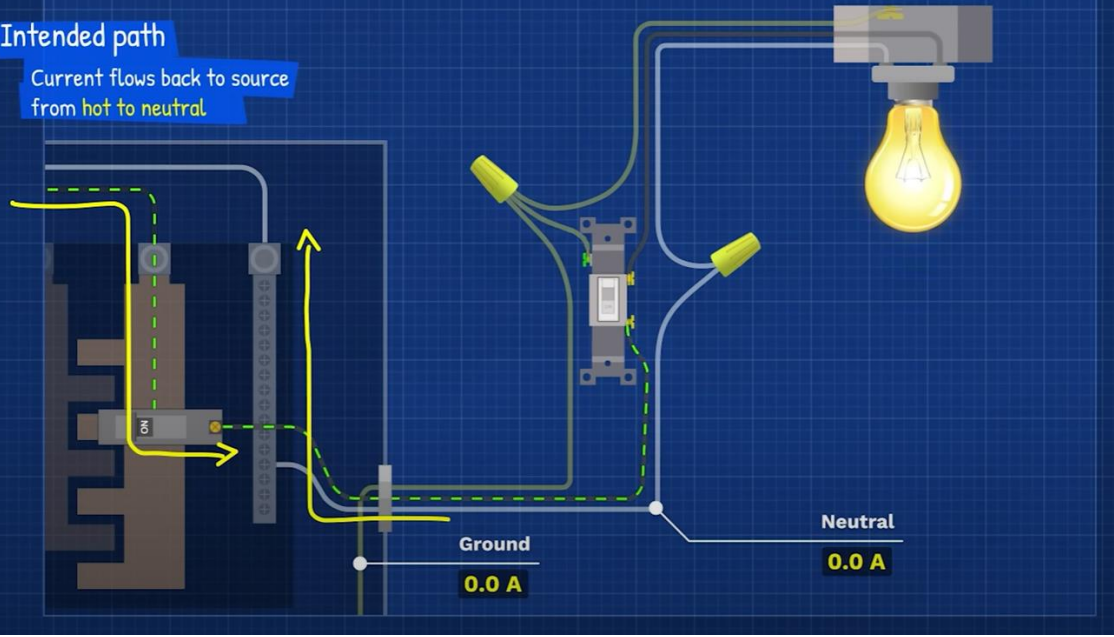
Ground fault

0.2 Ω



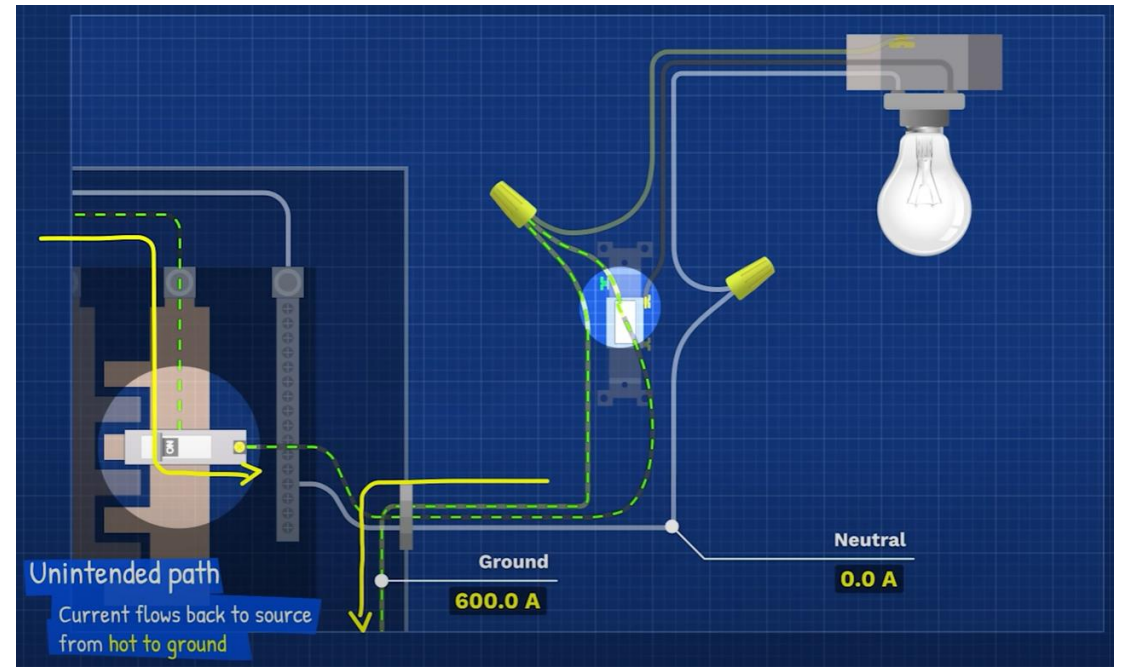
Intended path

Current flows back to source
from hot to neutral



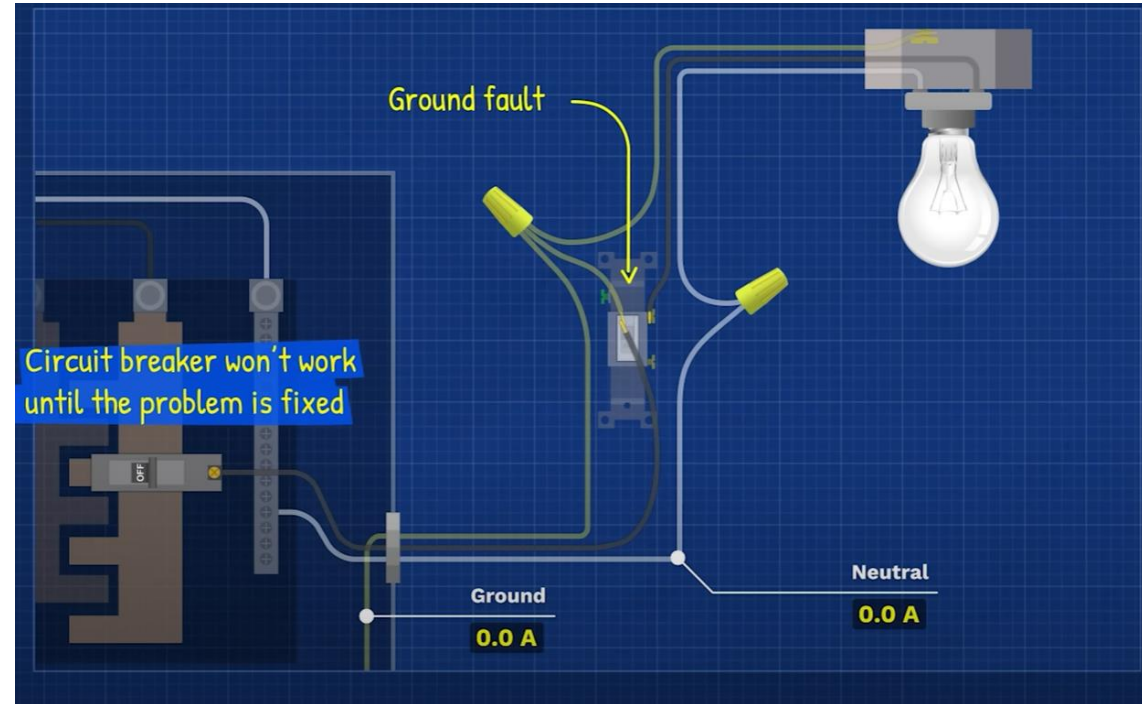
Unintended path

Current flows back to source
from hot to ground

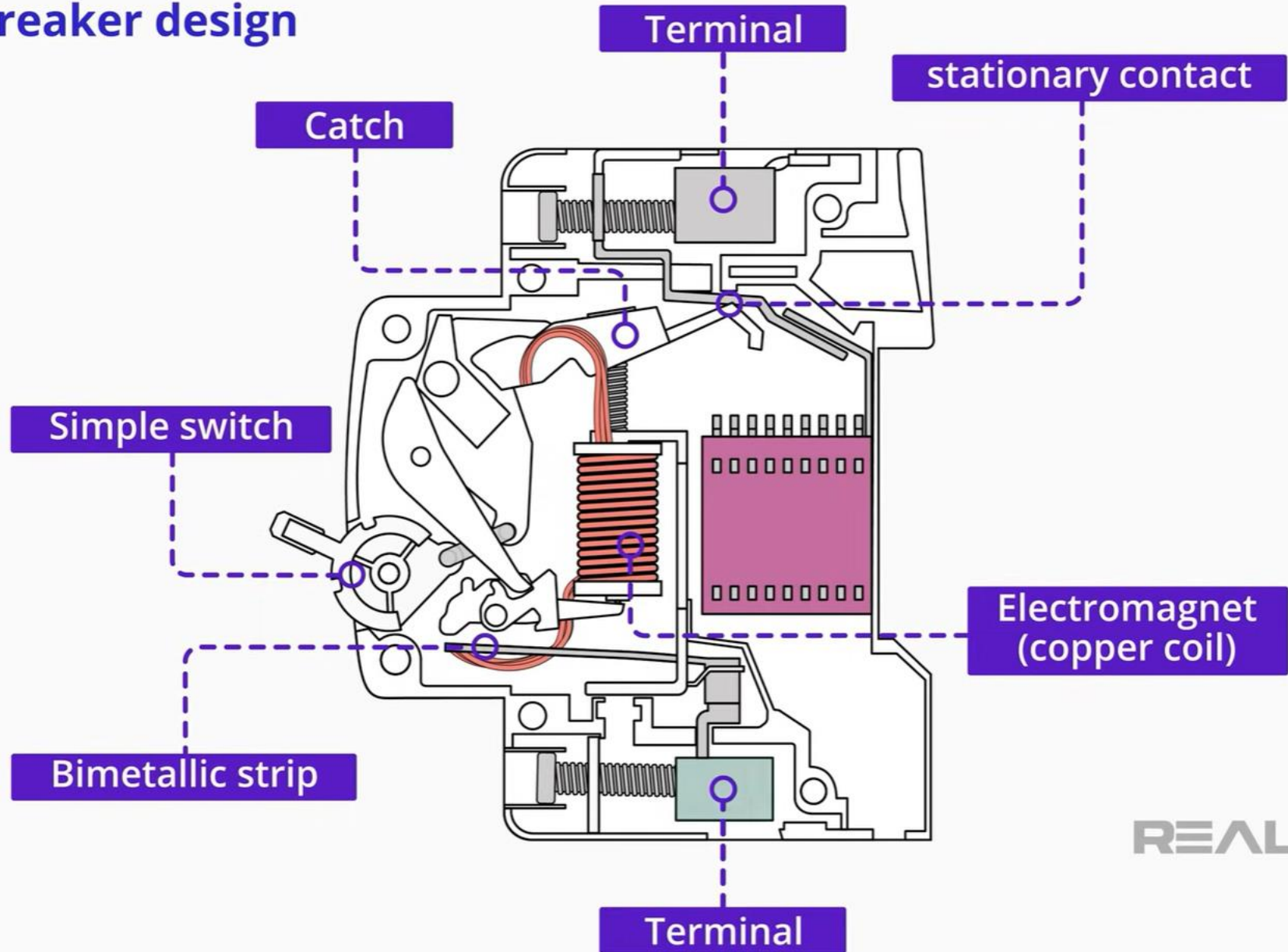


Ground fault

Circuit breaker won't work
until the problem is fixed



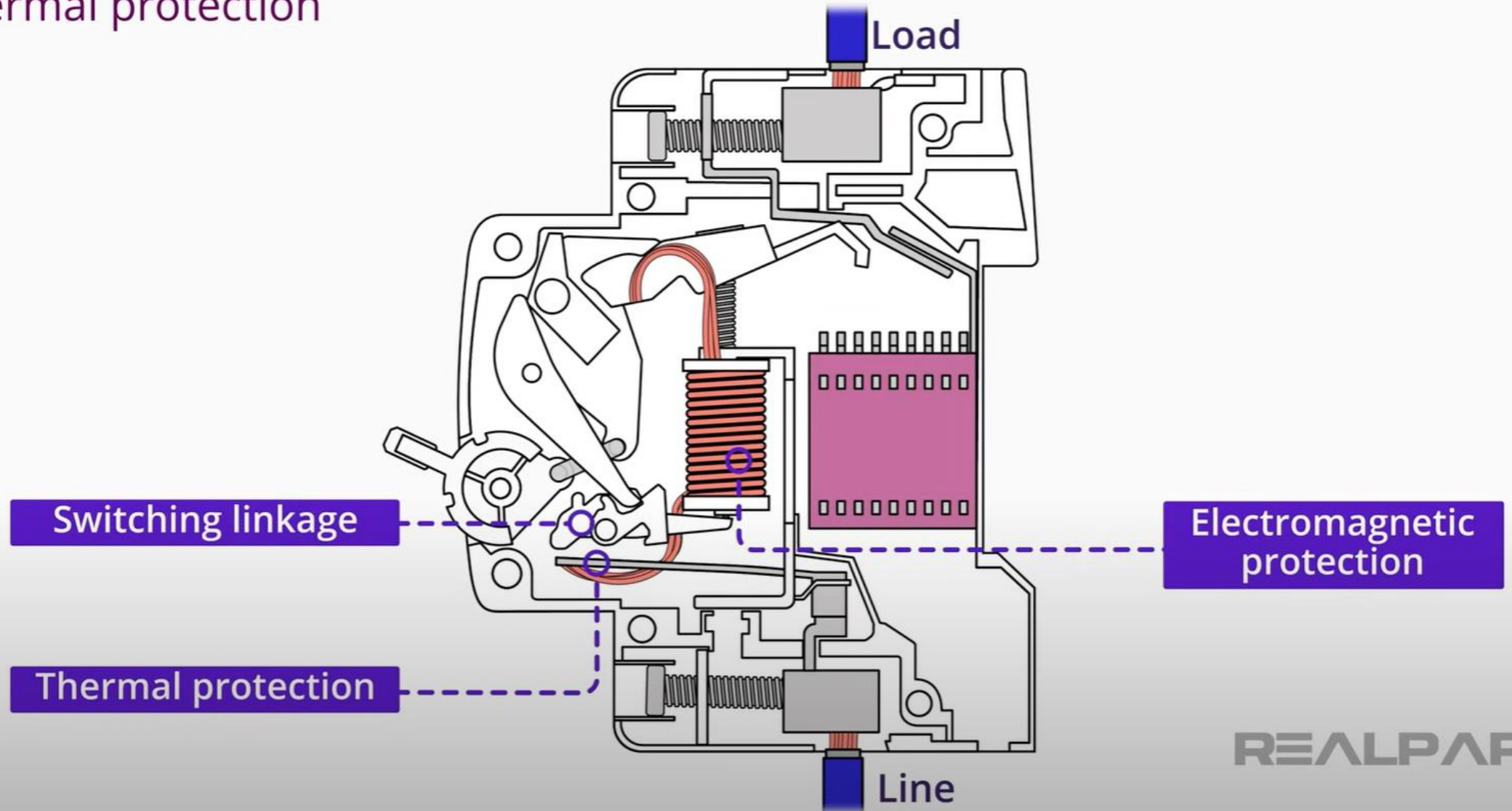
Circuit breaker design



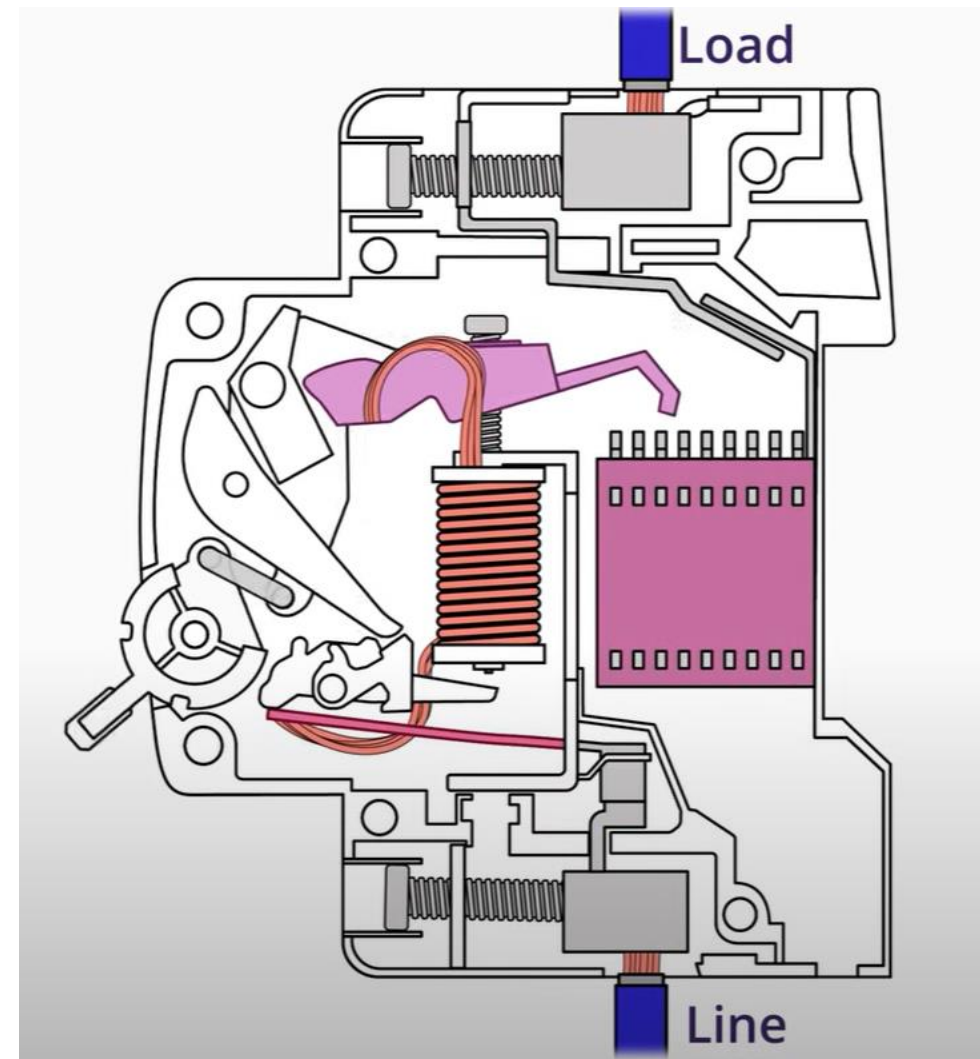
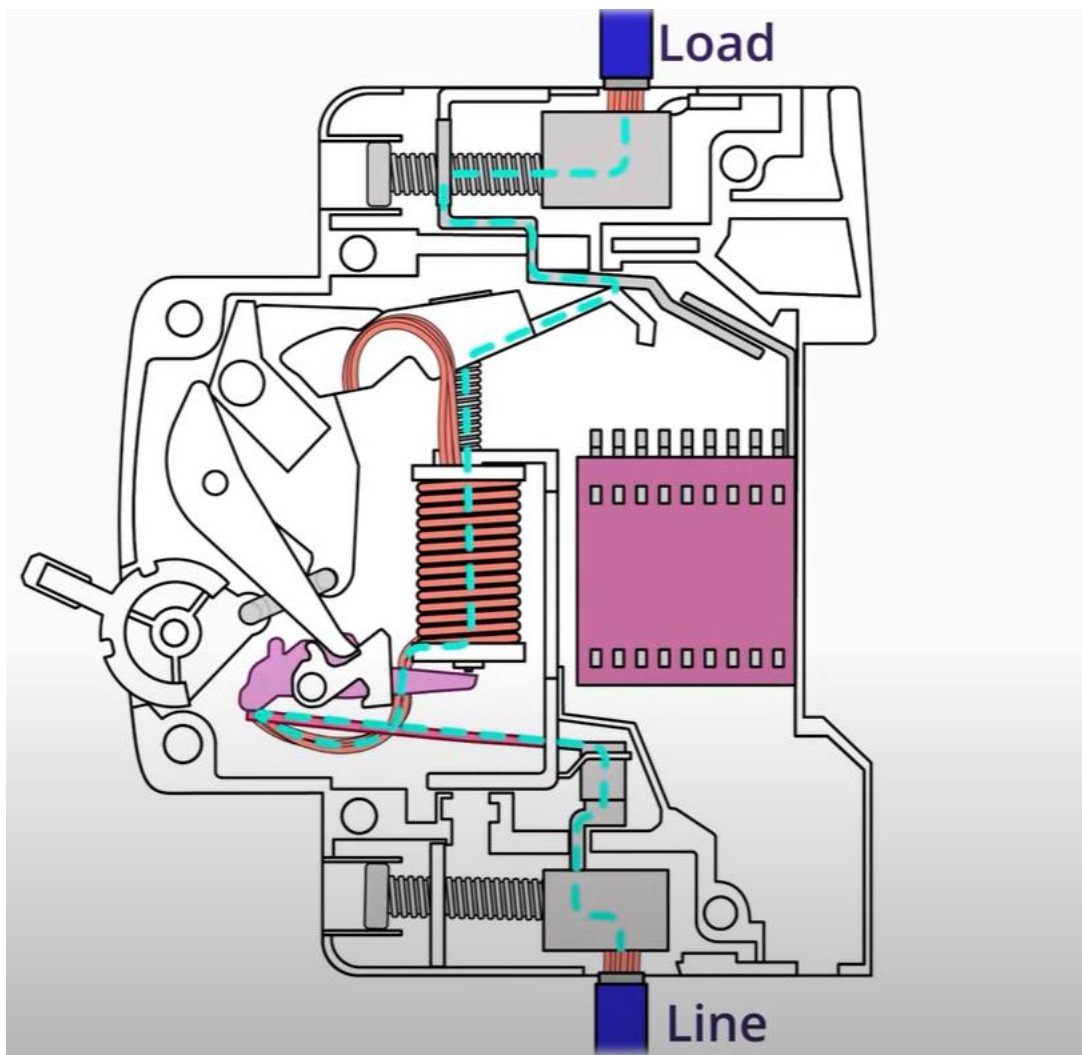
REALF

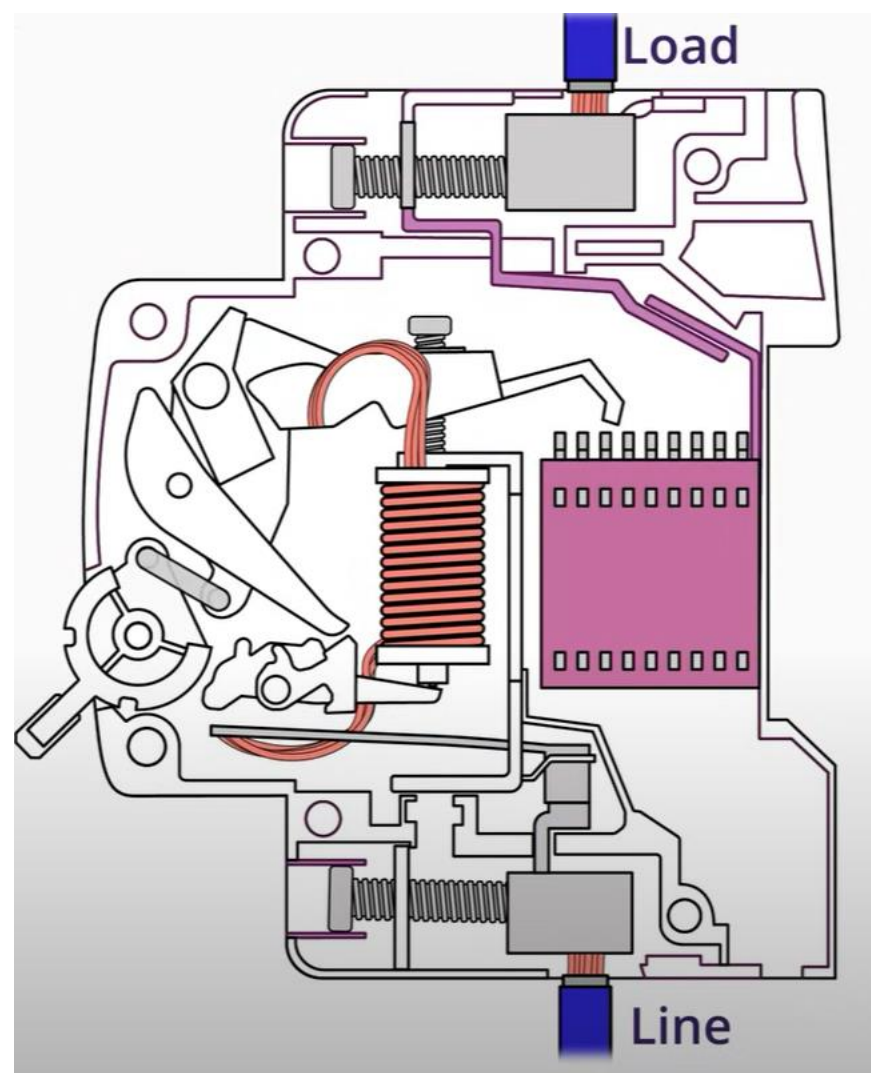
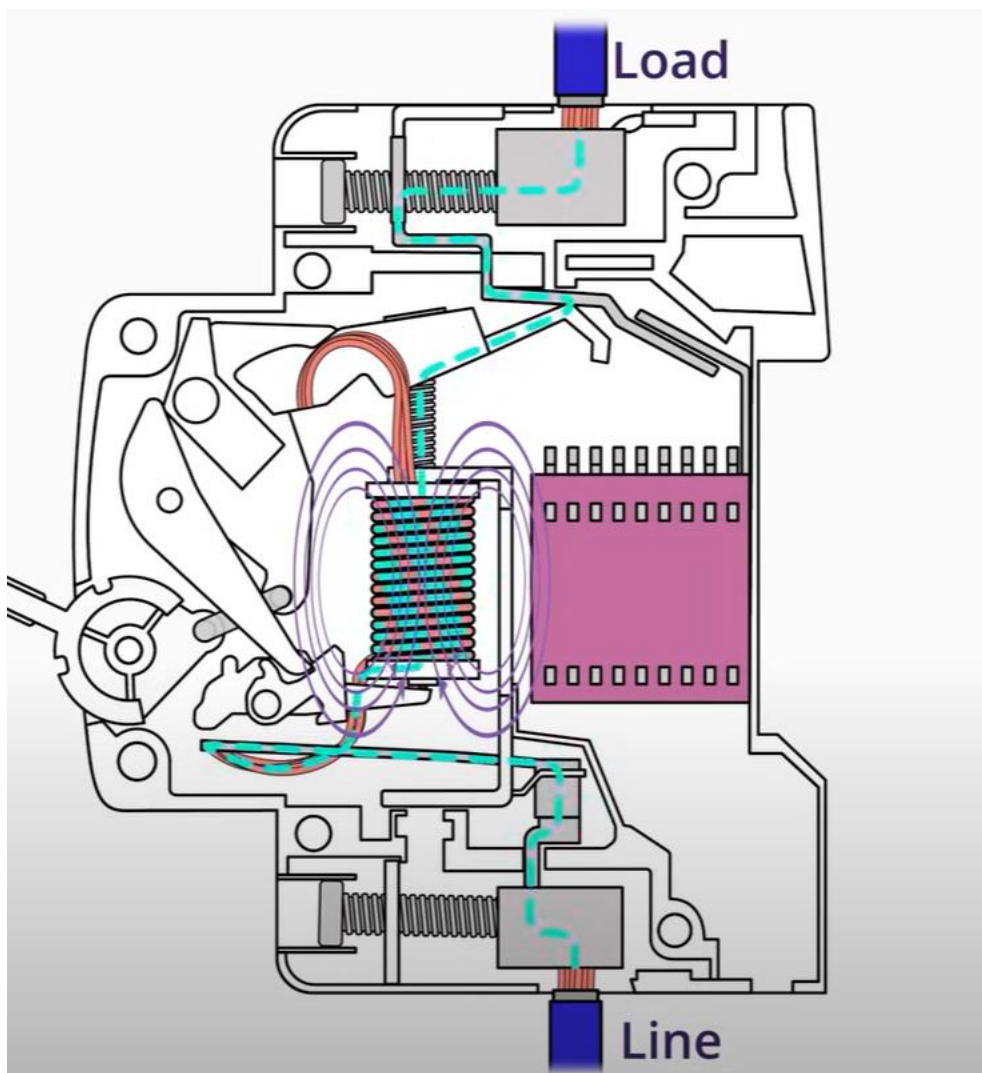
Circuit breaker tripping principles

Thermal protection

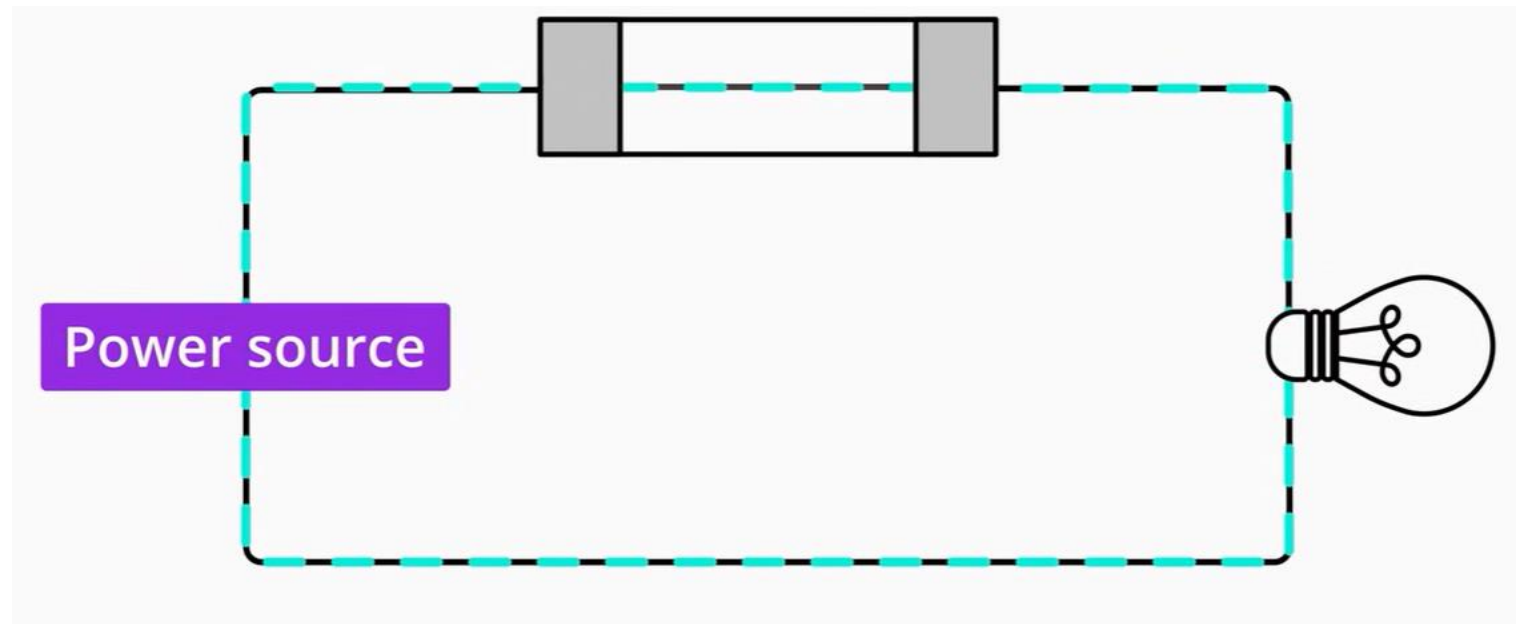
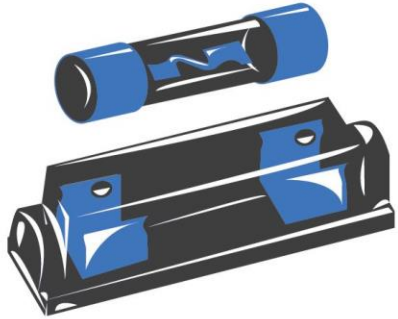


REALPAR





Плавкие предохранители: Плавкие предохранители представляют собой элементы, которые расплавляются при достижении определённой температуры, вызванной превышением тока. Когда ток короткого замыкания становится слишком высоким, предохранитель плавится, и цепь разрывается. Эти устройства обеспечивают защиту, но требуют замены после срабатывания.



Токовые реле: Эти устройства измеряют ток, проходящий через цепь, и, если ток превышает безопасный предел, реле разрывает соединение. Токовые реле часто используются в более сложных и чувствительных системах, где требуется точная настройка на порог срабатывания.



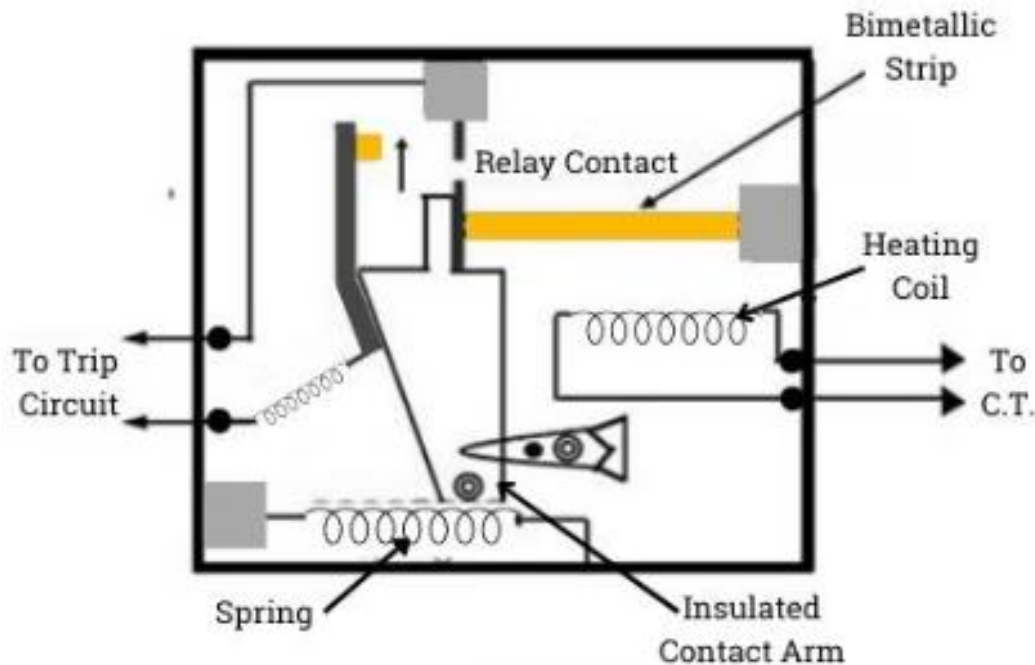
Защита с помощью детекторов короткого замыкания: Эти устройства быстро обнаруживают короткое замыкание и мгновенно отправляют сигнал на отключение цепи, часто до того, как ток короткого замыкания успеет повредить компоненты системы.

3. Защита от перегрузки (Overload Protection)

Перегрузка возникает, когда преобразователь или его компоненты работают на уровне, превышающем их номинальные характеристики. Это может привести к перегреву, разрушению изоляции, отказу элементов и уменьшению срока службы оборудования.

Методы защиты от перегрузки:

- **Термические реле (Thermal Relays):** Эти устройства защищают преобразователь от перегрузки, контролируя его температуру. Если температура преобразователя превышает допустимые пределы, термическое реле срабатывает и отключает цепь. Эти устройства часто используются для защиты двигателей и других энергетических преобразователей.



Автоматические выключатели с термическим элементом: Автоматические выключатели могут быть оснащены термическим элементом, который отслеживает перегрев в результате перегрузки. При достижении критической температуры автоматический выключатель разрывает цепь и останавливает работу преобразователя.

Реле перегрузки (Overload Relays): Реле перегрузки измеряют ток, проходящий через преобразователь, и срабатывают, когда ток превышает установленный порог. Эти реле могут быть настроены на защиту устройства от длительных перегрузок, когда преобразователь работает при высоких токах на протяжении длительного времени.

Электронная защита с использованием контроллеров: В современных преобразователях часто используются встроенные микроконтроллеры для мониторинга параметров работы устройства. Эти контроллеры могут отслеживать ток, напряжение, температуру и другие параметры, а при превышении предельных значений автоматически отключать преобразователь или активировать защитные механизмы.

Методы защиты преобразователей от перенапряжения, короткого замыкания и перегрузки играют ключевую роль в обеспечении надёжности и долговечности оборудования. Важно тщательно выбирать и комбинировать защитные элементы в зависимости от типа преобразователя, условий эксплуатации и уровня безопасности. Каждая из описанных защитных мер может эффективно снижать риски, обеспечивая бесперебойную работу системы и предотвращая дорогостоящие повреждения.