

# **КУРС ЛЕКЦИЙ**

по учебной дисциплине

## **«Переходные процессы в электроэнергетических системах»**

**Раздел 1 Основные сведения о переходных  
процессах в электроэнергетических системах**

**ЛЕКЦИЯ № 2 Общие сведения о коротких замыканиях в  
трехфазных цепях**

**Учебные вопросы лекции:**

- 1. Классификация коротких замыканий.**
- 2. Причины возникновения и последствия коротких замыканий.**
- 3. Расчетные условия коротких замыканий.**

**Из всего разнообразия электромагнитных переходных процессов в электрической системе наиболее распространенными являются:**

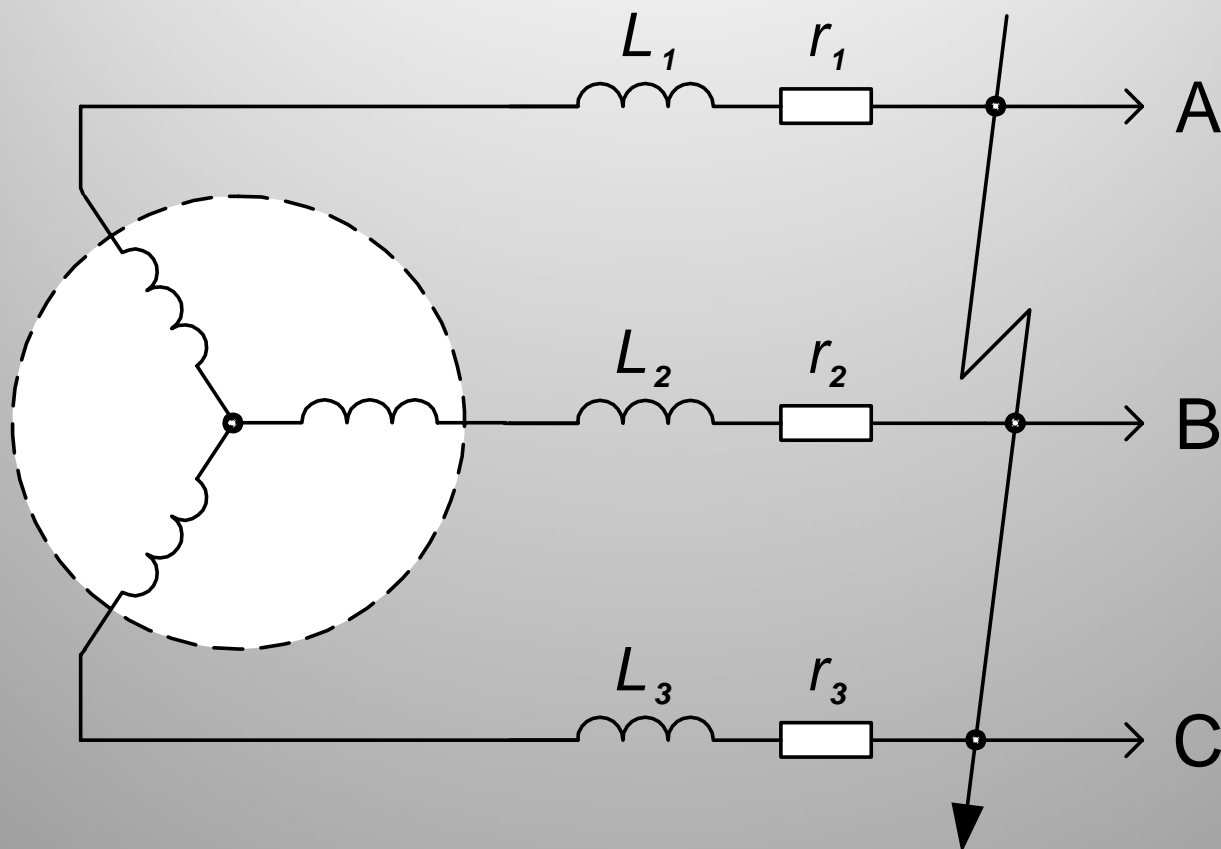
- включение и отключение приемников электрической энергии;**
- пуск электродвигателей;**
- короткие замыкания в элементах системы;**
- повторные включения и отключения короткозамкнутой цепи;**
- возникновение местной несимметрии;**
- несинхронное включение синхронных машин.**

***Однако нарушения нормальной работы электрических систем вызываются преимущественно короткими замыканиями.***

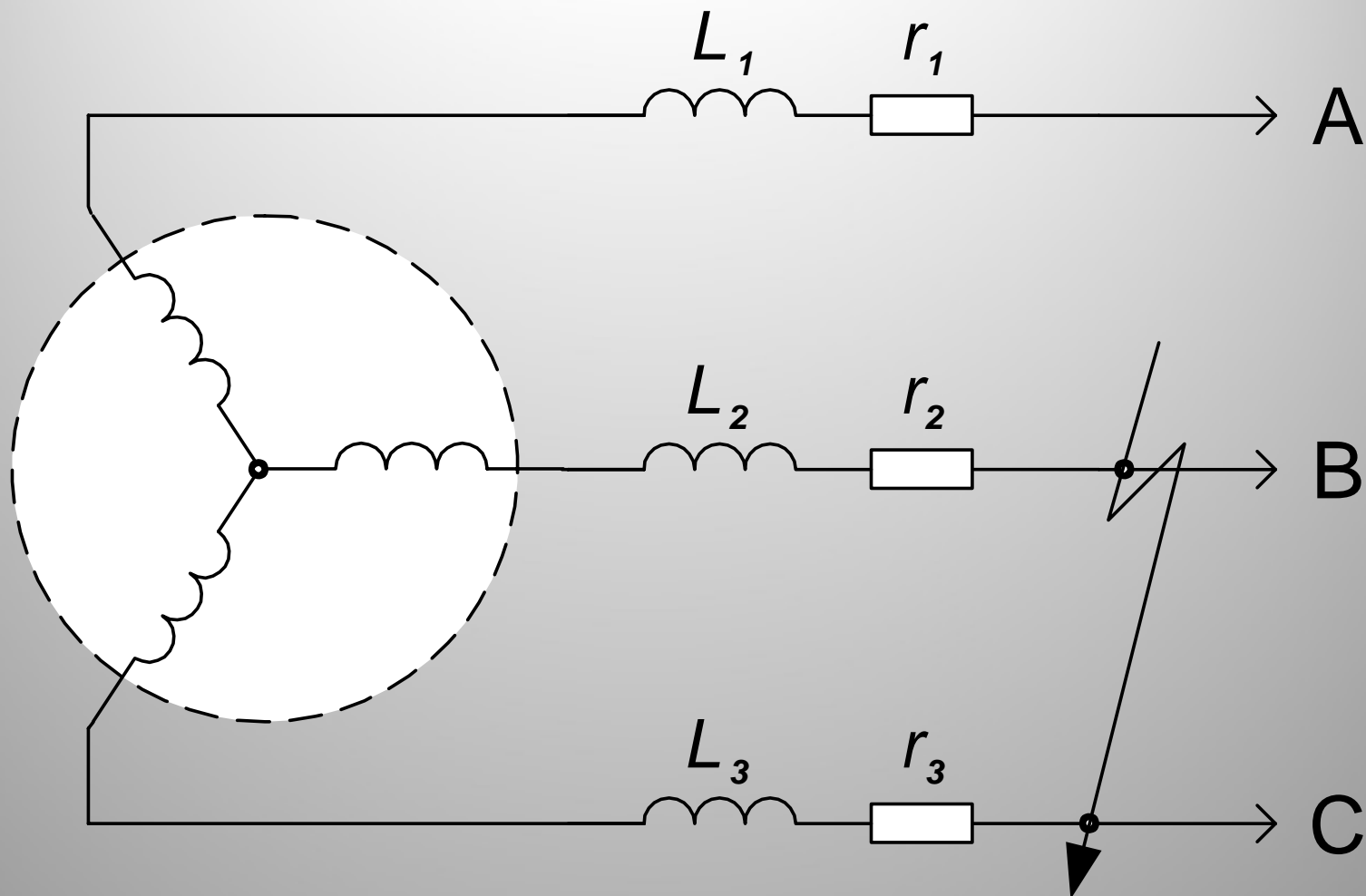
***Замыкание*** – всякое случайное или преднамеренное, не предусмотренное нормальным режимом работы электрическое соединение различных точек электроустановок между собой или с землей.

***Короткое замыкание*** – замыкание, при котором токи в ветвях электроустановки, примыкающих к месту его возникновения, резко возрастают, превышая наибольший допустимый ток продолжительного режима.

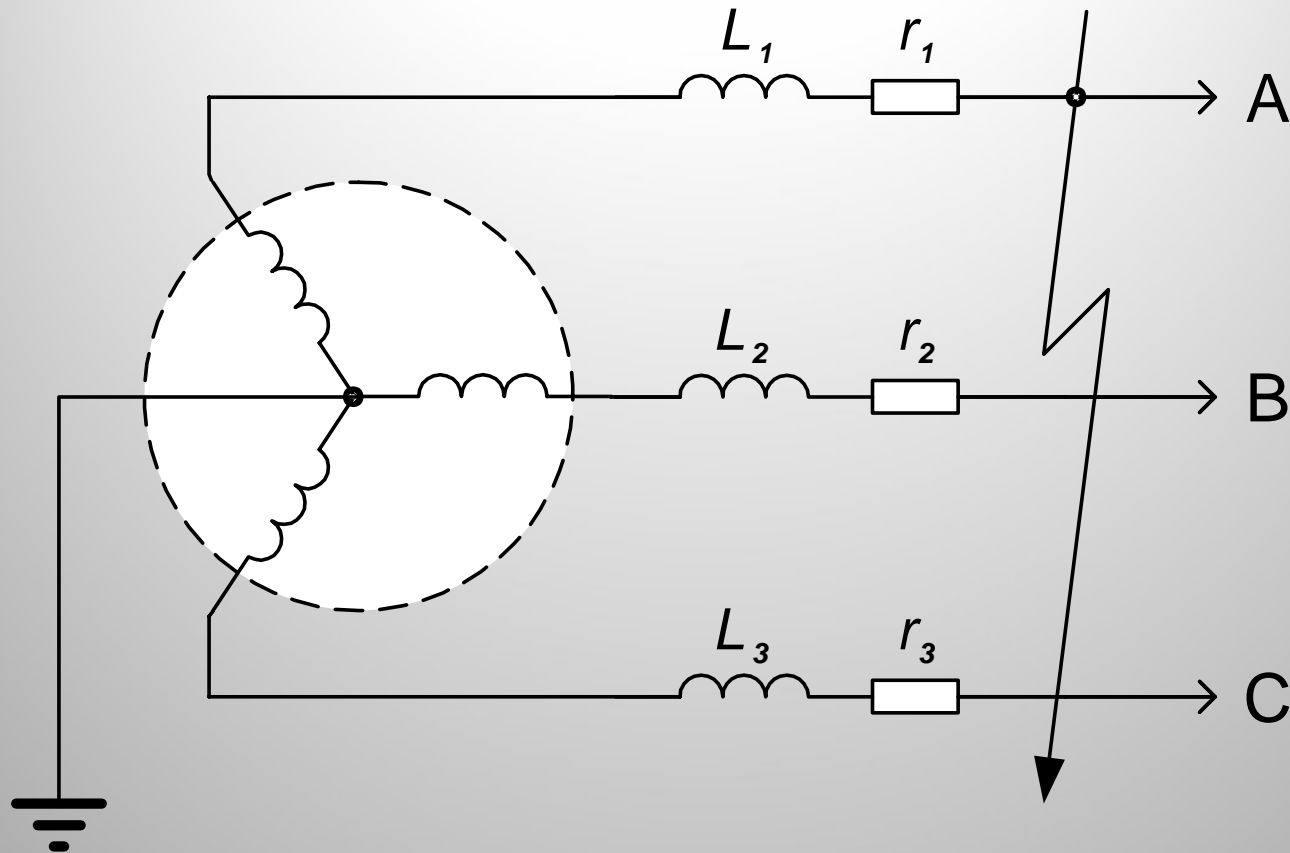
# Вопрос 1 Классификация коротких замыканий



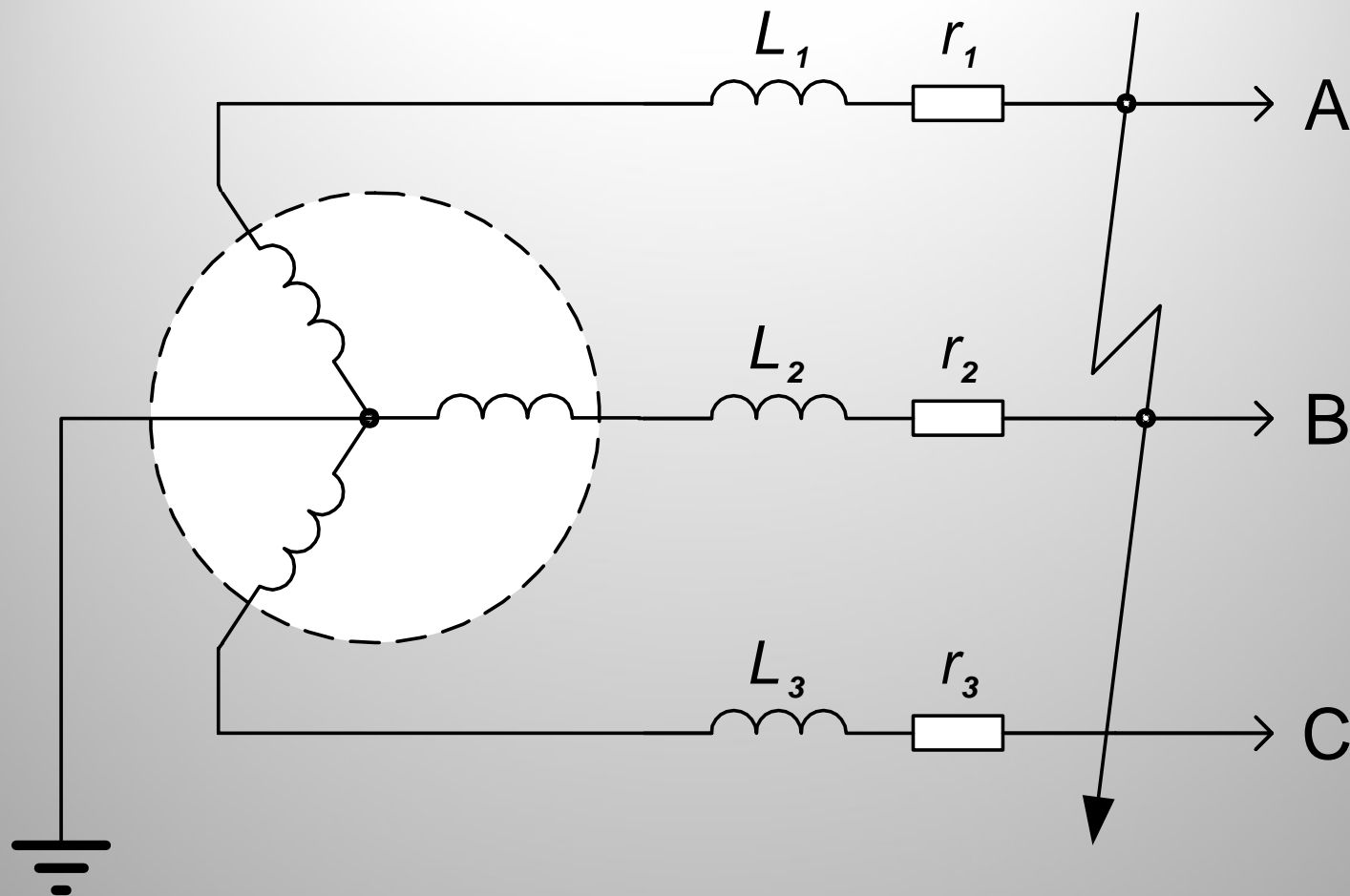
**Трехфазное короткое замыкание  $K^{(3)}$  – КЗ между тремя фазами в трехфазной ЭЭС**



**Двухфазное короткое замыкание  $K^{(2)}$  – КЗ**  
**между двумя фазами в трехфазной ЭЭС**



***Однофазное короткое замыкание  $K^{(1)}$  – КЗ на землю в трехфазной электроэнергетической системе с глухо- или эффективно заземленными нейтралями силовых элементов, при котором с землей соединяется только одна фаза***



**Двухфазное короткое замыкание на землю  $K^{(1,1)}$  – КЗ на землю в трехфазной ЭЭС с глухо- или эффективно заземленными нейтралями силовых элементов, при котором с землей соединяются две фазы**

**В системах с изолированной нейтралью замыкание одной фазы на землю не является КЗ и называется замыканием на землю  $Z^{(1)}$  или простым замыканием.**

**В местах КЗ часто образуется электрическая дуга и переходное сопротивление, вызываемое загрязнением, наличием остатков изоляции, гари и пр.**

**Сопротивление электрической дуги и переходное сопротивление имеют нелинейный характер. Учет их влияния на ток КЗ представляет собой сложную задачу.**



*В случае, когда переходное сопротивление и сопротивлении дуги малы, ими пренебрегают.*

*Такое замыкание называют **металлическим**.*

*Расчет максимально возможных токов проводят для металлического КЗ.*

*В трехфазных системах все КЗ обычно делят на **симметричные и несимметричные**. При симметричном КЗ все фазы электроустановки находятся в одинаковых условиях, а при несимметричном КЗ одна из фаз находится в условиях, отличных от условий для двух других фаз (такую фазу называют **особой**).*

КЗ могут быть и **видоизменяющимися**, т.е. переходящими из одного вида в другой, а также **устойчивыми и неустойчивыми**.

**Устойчивыми** называются КЗ, условия возникновения которых сохраняются во время бестоковой паузы коммутационного электрического аппарата (выключателя).

**Неустойчивыми** называются КЗ, условия возникновения которых самоликвидируются во время бестоковой паузы.

***В количественном отношении КЗ в сетях, по усредненным данным, распределяются по видам следующим образом:***

$$K^{(3)} = 5 \ %;$$

$$K^{(2)} = 10 \ %;$$

$$K^{(1)} = 65 \ %;$$

$$K^{(1,1)} \text{ и } K^{(1+1)} = 20 \ \% .$$

**Однако статистические исследования, проведенные в последние годы, показали, что относительная частота различных видов КЗ существенно зависит и от напряжения сети**


***Как следует из этих данных, преобладающее большинство коротких замыканий является однофазными.***


# Относительная частота возникновения различных видов КЗ

Вид и условное обозначение К <sup>(n)</sup> КЗ	Относительная частота коротких замыканий (%) в сетях напряжением, кВ							
	До1	6-20	35	110	220	330	500	750
Трехфазные - К <sup>(3)</sup>	29	9-11	8	4	2	1	1	1
Двухфазные –К <sup>(2)</sup>		17-19	18	5	3	4	2	1
Однофазные –К <sup>(1)</sup>	71	60-61	67	83	88	91	95-96	97
Двухфазные на землю – К <sup>(1,1)</sup>		11-12	7	8	7	4	1-2	1

## ***Назначение расчетов токов КЗ***

**требуется для правильного разрешения  
следующих практических задач:**



- 1) **выбор электрических аппаратов,  
проводников и проверка их по условиям  
работы при КЗ;**
  - 2) **выявление условий работы потребителей  
при аварийных режимах;**
  - 3) **проектирование и настройка устройств РЗА;**
  - 4) **проектирование заземляющих устройств:  
определение числа заземленных нейтралей  
трансформаторов;**
- 



- 5) выбор средств ограничения токов КЗ;
- 6) определение влияния ЛЭП на линии связи;
- 7) анализ аварий в электрических системах;
- 8) подготовка к проведению различных испытаний в ЭЭС и др

**Точное вычисление токов короткого замыкания представляет значительные трудности. Для упрощения расчетов применяют ряд допущений. При этом погрешность не должна превышать 5 – 10%. Наибольшие требования в отношении точности расчетов ставит релейная защита. В остальных случаях представляется возможным ограничиться приближенным способом вычислений.**

## **Вопрос 2** Причины возникновения и последствия коротких замыканий

**Причины возникновения аварийных переходных процессов весьма разнообразны, но в большинстве случаев они являются результатом своевременно необнаруженных и не устраненных дефектов электрооборудования, допущенных ошибок при проектировании, а также неудовлетворительного монтажа и (или) эксплуатации электроустановок.**

**КЗ являются результатом нарушения фазной или (и) линейной изоляции токоведущих частей ЭО, которое в основном вызывается:**

**Старением изоляционных материалов устройств, своевременно не выявленным путем профилактических испытаний изоляции ЭО повышенным напряжением;**

**Загрязнением поверхности изоляторов;**

**Недостаточно тщательным уходом за электрооборудованием;**



***Механическими повреждениями, имеющими место во время раскопок траншей, набросов посторонних предметов на токоведущие части, при падении опор ЛЭП;***

***Перенапряжениями в ЭУ (особенно в сетях с незаземленными или резонансно-заземленными нейтралями);***

***Прямыми ударами молнии.***

***Ошибочными действиями персонала.***

**Наиболее опасные последствия коротких замыканий** проявляются обычно в элементах системы вблизи шин станций (генераторов). В результате этого может возникнуть **системная авария**, приводящая к **нарушению устойчивости системы и значительному технико-экономическому ущербу**. Если КЗ появилось на **большой электрической удаленности от источника питания**, то увеличение тока воспринимается генераторами как некоторое **повышение нагрузки**, а **сильное снижение напряжения** происходит только вблизи места короткого замыкания.

## Последствиями КЗ являются:

1. Недопустимый нагрев токоведущих частей ЭО и его термическое повреждение из-за значительного увеличения токов (в 10 – 15 раз и более).

Под термическим действием тока КЗ понимается его тепловое действие, вызывающее изменение температуры элементов ЭУ. Характеристикой теплового действия тока КЗ на рассматриваемый элемент электроустановки является **интеграл**

**Джоуля** –

$$B_K = \int_0^{t_{\text{откл}}} i_k^2(t) dt$$

где  $i_K^2(t)$  – ток короткого замыкания;  
 $t_{\text{откл}}$  – момент отключения тока КЗ.

## **ВНИМАНИЕ !!!**

**Нарушение термической стойкости может привести к увеличению пожарной опасности и возгораниям в ЭУ**

**вследствие перегрева токоведущих частей,  
воспламенения горючих изоляционных материалов,  
самовоспламенения взрывоопасной среды.**

**В ЭУ, находящихся в условиях взрывоопасной внешней среды, резкое увеличение тока при коротких замыканиях может нарушить взрывонепроницаемость ЭО за счет коробления его оболочек.**

**Увеличение пожароопасности могут вызвать электрические искры и дуги, также обладающие воспламеняющей способностью.**

*Появление больших усилий между токоведущими частями в процессе КЗ, могут привести к их механическому повреждению и разрушению.*

В этом проявляется *электродинамическое действие тока КЗ* – механическое действие

электродинамических сил, обусловленных током короткого замыкания, на элементы электроустановки. *Ток электродинамической стойкости электрического аппарата при КЗ* – нормированный ток, электродинамическое действие которого электрический аппарат способен выдержать при коротком замыкании без повреждений, препятствующих его дальнейшей исправной работе.

***Снижение напряжения и искажение его симметрии, что отрицательно сказывается на работе потребителей***

Момент вращения АД -  $M_d \approx U^2$ . Поэтому даже при сравнительно небольшом снижении напряжения он может оказаться недостаточным для вращения механизма.

***При понижении напряжения на 30 – 40% в течение 1с и более останавливаются достаточно загруженные электродвигатели***, в результате чего нарушается технологический процесс промышленных предприятий и возникает экономический ущерб.

Оставаясь включенными в сеть, остановившиеся двигатели могут вызвать полное нарушение электроснабжения.

## **При замыканиях на землю возникают неуравновешенные системы токов**

Они способны создавать магнитные потоки, которые достаточны, чтобы в соседних линиях сигнализации и связи навести ЭДС, величины которых могут быть опасны для обслуживающего персонала и аппаратуры этих линий.

## **При задержке отключений КЗ**

При задержке отключений КЗ сверх допустимой продолжительности **может произойти нарушение устойчивости электрической системы, что является одним из наиболее опасных последствий КЗ**, так как оно отражается уже на работе всей системы.