

# Контроль сопротивления изоляции фаз и присоединений в сети переменного тока с изолированной нейтралью напряжением до 1000 В

**В статье рассматриваются требования, предъявляемые к устройствам контроля сопротивления изоляции присоединений и сети с изолированной нейтралью напряжением до 1000 В. Предложена автоматическая система непрерывного автоматического контроля сопротивления изоляции шин и отходящих присоединений (фидеров) как подключенных, так и отсоединенных от сети переменного тока.**

**Галкин И.А.**, руководитель направления систем контроля изоляции ООО НПП «ЭКРА»

**Лопатин А.А.**, директор Департамента НКУ и КРУ ООО НПП «ЭКРА»

**Быков В.К.**, заместитель директора Департамента НКУ и КРУ по НИОКР ООО НПП «ЭКРА»

Электрические сети наиболее ответственных объектов (судовые, шахтные, карьерные, опасных производств, АЭС, ТЭЦ и т.п.), как правило, выполняются изолированными от «земли». Этим обеспечивается повышение безаварийности электрических сетей, так как наиболее часто имеющее место однофазное замыкание на «землю» в таких сетях не является аварийным режимом. При этом, повышается электробезопасность эксплуатации сетей, так как прикосновение человека к одной фазе не создает пути для протекания через его тело электрического тока. Своевременно не зафиксированное и не устраненное повреждение изоляции в таких сетях создает предпосылки для перерастания повреждения в аварию, поэтому важно своевременно установить фидер (присоединение), содержащий поврежденный элемент и локализовать этот элемент. Эта задача может быть решена путем непрерывного автоматического контроля сопротивления изоляции шин и отходящих присоединений (фидеров) как подключенных, так и отсоединенных от сети переменного тока.

Несмотря на относительно большое число и многообразие способов контроля сопротивления изоляции в настоящее время во многих электрических сетях отсутствует автоматический контроль сопротивления изоляции шин и отходящих присоединений. При этом нет устройств, отвечающих всем требованиям, предъявляемым эксплуатирующим персоналом. Поэтому, задача разработки методов измерения и контроля сопротивления изоляции и устройств, их реализующих, является важной и актуальной.

Так, одним из требований, предъявляемым к устройствам контроля сопротивлений изоляции сетей и присоединений переменного тока с изолированной нейтралью, является быстрое действие, а именно контроль и локализация включенных и отключенных от секций присоединений должны производиться за время, при котором не возникнет аварийная ситуация, например, при одновременном повреждении изоляции на двух полюсах сети, обычно не более 30 с.

На электрических сетях с большим количеством отходящих присоединений обычно значение общего сопротивления изоляции сети не превышает нескольких десятков кОм. При этом требуется локализовать присоединения с сопротивлением изоляции, много большим сопротивления изоляции всей сети. Обычно локализация поврежденного присоединения должна производиться при сопротивлении изоляции 100 кОм и менее.

Большие емкости сети относительно «земли» также существенно затрудняют построение устройств контроля сопротивления изоляции. Емкость сети относительно «земли» включает емкость токопроводящих линий относительно «земли», а также емкость фильтров защиты радиоэлектронной аппаратуры от помех. Для трехфазных сетей емкости отдельных фаз сети могут быть не равны между собой, так как в трехфазной сети возможно неравномерное подключение однофазных приемников электроэнергии. Поэтому требованием к устройствам контроля изоляции является возможность работы с большой емкостью сети, а также с несимметрией емкостей фаз сети относительно «земли».

Другой важной характеристикой устройств контроля сопротивлений изоляции является возможность контроля сопротивления изоляции шин и присоединений при симметричном ухудшении сопротивления изоляции на двух или трех фазах сети одновременно.

В большинстве случаев в сетях с изолированной нейтралью при снижении сопротивления изоляции на какой-либо фазе, напряжение на других возрастает до величины в 1,7 раз больше номинального, что также негативно сказывается на безопасности обслуживающего персонала и снижении ресурса изоляции. Поэтому, к устройствам контроля изоляции предъявляется требование снижения перекоса напряжений между фазами сети и «землей» при работе устройства контроля изоляции или при снижении сопротивления изоляции на одной из фаз.

Важной характеристикой устройства контроля изоляции является наличие автоматического контроля

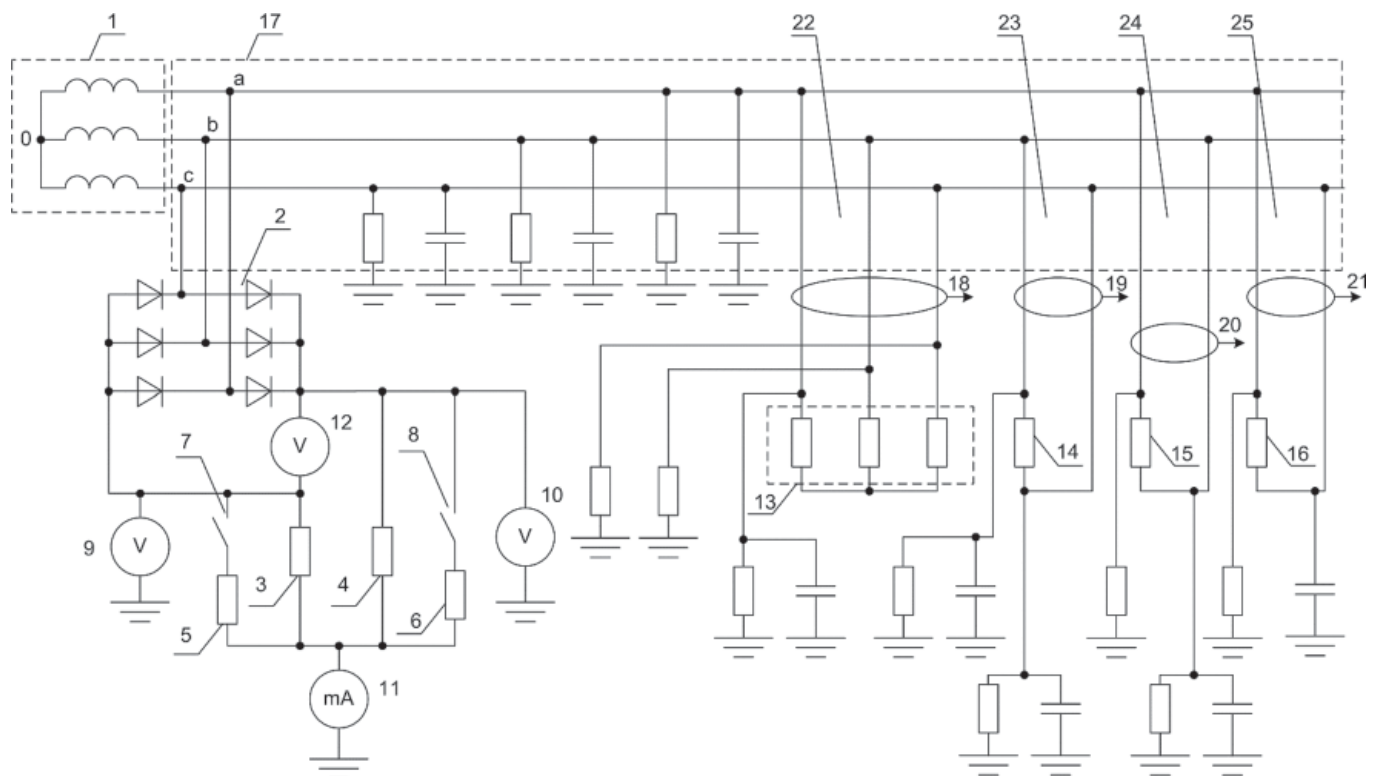


Рис. 1. Упрощенная схема сети переменного тока с изолированной нейтралью, где 1 — источник питания сети; 2 — выпрямитель по схеме Ларионова; 3–6 — резисторы; 7–8 — ключи; 9 — вольтметр для измерения напряжения отрицательного полюса относительно земли; 10 — вольтметр для измерения напряжения положительного полюса относительно земли; 11 — миллиамперметр; 12 — вольтметр для измерения напряжения на выходе выпрямителя; 13–16 — нагрузки; 17 — шины сети переменного тока с изолированной нейтралью; 18–21 — датчики для измерения дифференциальных токов; 22–25 — присоединения с емкостными и активными сопротивлениями их изоляций

сопротивления изоляции отключенных от сети присоединений. Это позволяет избежать аварийных ситуаций при автоматическом включении поврежденного присоединения.

Известны устройства автоматического контроля сопротивления изоляции, которые работают при наличии рабочего напряжения на контролируемой сети и предназначены для работы в составе электрических сетей, однако они не полностью удовлетворяют приведенным выше требованиям.

НПП «ЭКРА» получен патент на способ определения сопротивления изоляции сети и сопротивлений изоляции присоединений сети переменного тока с изолированной нейтралью.

На рисунке 1 изображена упрощенная схема сети переменного тока с изолированной нейтралью.

Результат применения изобретения достигается тем, что производится выравнивание напряжений на фазах сети путем включения параллельно полюсам трехфазного выпрямительного моста двух последовательно соединенных резисторов, общая точка которых соединена с «землей», одновременно измеряют среднее значение тока через провод, соединяющий общую точку резисторов с «землей», измеряют средние значения дифференциальных токов, протекающих по присоединениям сети с помощью

датчиков дифференциальных токов для измерений средних значений токов, после подключения сначала к одному из полюсов трехфазного выпрямительного моста дополнительного резистора, один из выводов которого подсоединен к общей точке, а потом к другому полюсу трехфазного выпрямительного моста дополнительного резистора, один из выводов которого подсоединен к общей точке.

Для измерения средних значений дифференциальных токов в присоединениях разработаны датчики ДДТ, функциональная схема которых приведена на рисунке 2.

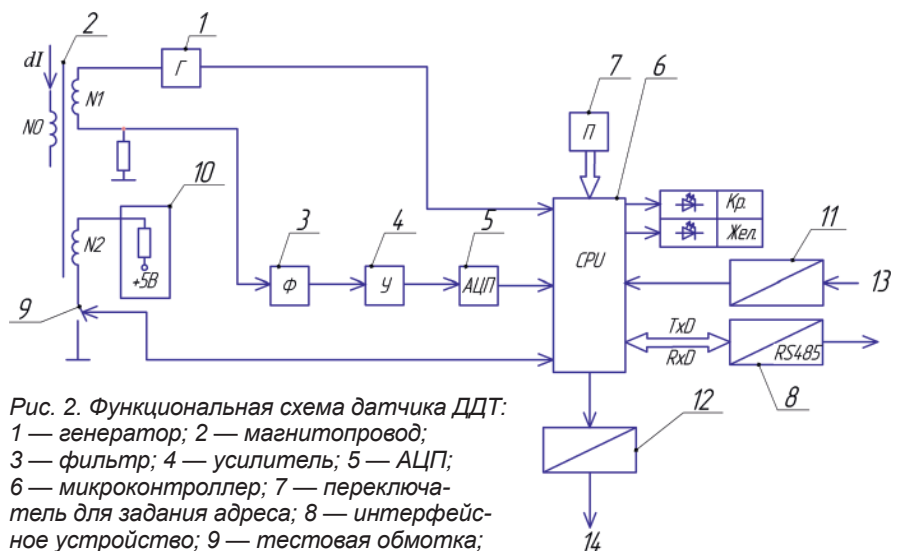


Рис. 2. Функциональная схема датчика ДДТ:

1 — генератор; 2 — магнитопровод; 3 — фильтр; 4 — усилитель; 5 — АЦП; 6 — микроконтроллер; 7 — переключатель для задания адреса; 8 — интерфейсное устройство; 9 — тестовая обмотка; 10 — источник калибровочного тока; 11 и 12 — устройства гальванической развязки; 13 — контакты для задания режима измерения тока; 14 — контакты для сигнализации снижения сопротивления изоляции присоединения ниже значения уставки

Датчик ДДТ содержит трансформатор, на котором имеется по одному витку «прямого» и «обратного» проводов присоединения, создающих дифференциальный ток. На магнитопроводе трансформатора имеются также измерительная обмотка, подключенная к выводу генератора прямоугольных импульсов. Через измерительную обмотку протекает намагничивающий ток положительной и отрицательной полярности. При появлении дифференциального тока увеличивается намагничивающий ток одной полярности и уменьшается намагничивающий ток другой полярности. Сигнал, пропорциональный току намагничивания, преобразуется в постоянное напряжение и поступает на вход аналого-цифрового преобразователя микроконтроллера датчика ДДТ. Трансформатор содержит также дополнительную тестовую обмотку, подключенную к источнику калибровочного тока. С помощью тестовой обмотки проверяется работоспособность датчика и определяется величина коэффициента преобразования датчика. С выхода микроконтроллера сигнал поступает на вход интерфейсного устройства 8 (RS485), с помощью которого датчики ДДТ обмениваются сообщениями с контроллером блока управления СКИ.

Для задания режима работы датчика на корпусе датчика имеется вход, гальванически отделенный от схемы. В случае, если вход разомкнут, то датчик работает в режиме контроля сопротивления изоляции подключенного к сети переменного тока присоединения. В случае, если вход замкнут, то датчик работает в режиме контроля сопротивления изоляции отключенного от сети переменного тока присоединения.

Для сигнализации снижения сопротивления изоляции ниже уставки «Снижение 2» на корпусе датчи-

ка имеется выход. На корпусе датчика ДДТ имеются разъемы для подключения источника питания 24 В и выхода интерфейса RS485. Каждый датчик ДДТ присоединений имеет свой адрес от 1 до 255, который задается с помощью переключателя, расположенного на лицевой панели датчика.

Упрощенная схема сети переменного тока с изолированной нейтралью с подключенной к ней системой контроля сопротивления изоляции, получившей название ЭКРА-СКИ-АС приведена на рисунке 3.

Для определения сопротивления изоляции отключенных от сети присоединений предложен способ, основанный на измерении тока утечки через изоляцию присоединения при наложении на один из выводов присоединения напряжения от контрольного источника постоянного тока.

Для этой цели на каждом отходящем присоединении установлено дополнительно устройство контроля сопротивления изоляции отключенного присоединения (УКОП) UV1. Один из выводов устройства УКОП подсоединен к «земле», а второй вывод через нормально замкнутые контакты вспомогательного реле KL и резистора R1 подсоединен к одному из выводов контролируемого присоединения. Реле KL выполняет функцию контроля состояния выключателя присоединения. В случае, когда блок отходящих присоединений отсоединен от контролируемого присоединения, реле KL обесточено.

Для управления работой ключей, создающих смещение нейтрали, измерения напряжений на выходе выпрямителя между собой и между полюсами и «землей», измерения дифференциальных токов, а также для выполнения расчетов сопротивлений изоляции

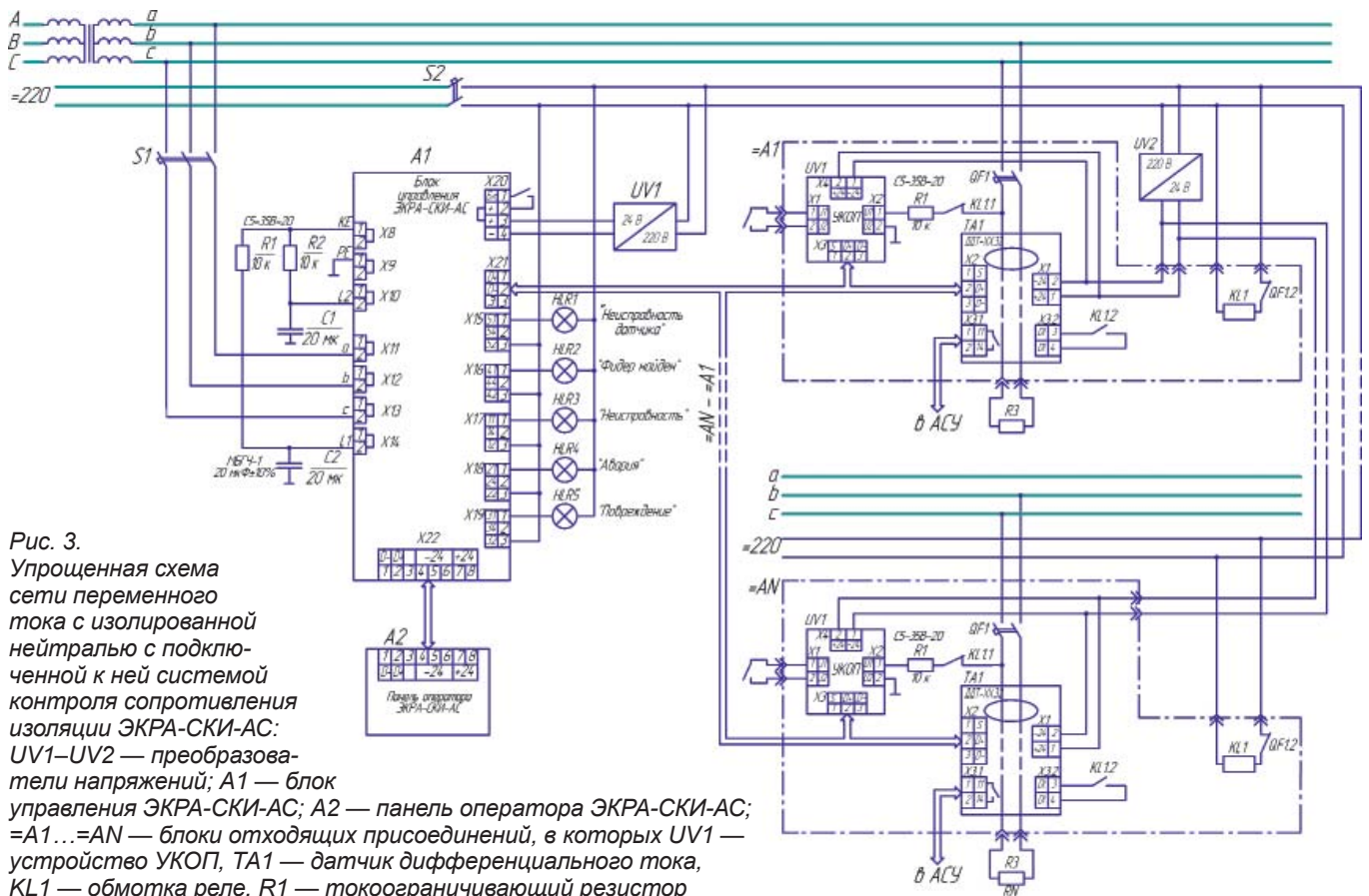


Рис. 3. Упрощенная схема сети переменного тока с изолированной нейтралью с подключенной к ней системой контроля сопротивления изоляции ЭКРА-СКИ-АС: UV1–UV2 — преобразователи напряжений; A1 — блок управления ЭКРА-СКИ-АС; A2 — панель оператора ЭКРА-СКИ-АС; =A1...=AN — блоки отходящих присоединений, в которых UV1 — устройство УКОП, TA1 — датчик дифференциального тока, KL1 — обмотка реле, R1 — токоограничивающий резистор



Табл. 1. Технические параметры системы контроля изоляции в сети переменного тока с изолированной нейтралью ЭКРА-СКИ-АС

Наименование параметра	Величина
Номинальное напряжение сети	220 В
Частота сети	50 Гц
Максимальная емкость контролируемой сети	не более 500 мкФ
Потребляемая мощность: – блока управления ЭКРА-СКИ-АС – панели оператора ЭКРА-СКИ-АС – датчика дифференциальных токов – устройства УКОП	20 Вт 6 Вт 1 Вт 6 Вт
Входное сопротивление полюса относительно земли, не более	100 кОм
Диапазон определяемого сопротивления изоляции полюсов сети	0–1000 кОм
Предельное селективно-определяемое снижение сопротивления изоляции присоединения	не более 100 кОм
Значение уставки срабатывания «Предупреждение»	100...1000 кОм
Значение уставки срабатывания «Авария»	1...100 кОм
Погрешность определения сопротивления изоляции полюсов сети	не более 10%
Время цикла измерения сопротивлений сети	не более 30 с
Степень защиты по корпусу	IP20
Диапазон рабочих температур	+1...+40°C
Габаритные размеры блока управления	360×185×165 мм
Масса	не более 6 кг
Индикатор	OLED, 4×20
Тип интерфейса	МЭК60870-5-104, Modbus TCP
Климатическое исполнение	УХЛ 4
Количество выходных реле	5
Режим работы	непрерывный

всей сети и каждого присоединения разработан блок управления ЭКРА-СКИ-АС.

Для отображения информации о состоянии изоляции всей сети переменного тока с изолированной нейтралью и отдельных присоединений, задания уставок СКИ, контроля состояния сопротивления изоляции сети и присоединений, контроля исправности датчиков ДДТ и устройств УКОП, а также контроля напряжения на фазах сети относительно «земли» и выходе выпрямителя служит панель оператора, связанная с блоком управления кабелем.

При контроле отсоединенных от сети присоединений для измерения тока утечки через присоединение используется тот же датчик дифференциального тока ДДТ. Для борьбы с дрейфом нуля дифференциального датчика ДДТ предложено производить измерение тока утечки при двух различных полярностях напряжений на выходе УКОП. В первом цикле измерения напряжение на выходе УКОП имеет одну полярность, а при втором цикле — обратную полярность. Управление УКОП производится по интерфейсу RS485 от блока управления СКИ.

Блок-схема устройство УКОП приведена на рисунке 4. Питание УКОП производится от источника с выходным напряжением 24 В. Управление УКОП производится по интерфейсу RS485 от блока управления ЭКРА-СКИ-АС.

Технические параметры системы контроля изоляции в сети переменного тока с изолированной нейтралью ЭКРА-СКИ-АС приведены в таблице 1.

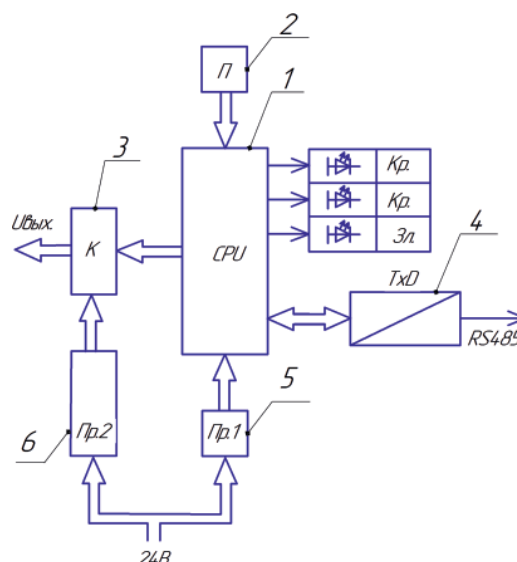


Рис. 4. Блок-схема УКОП: 1 — микроконтроллер; 2 — переключатель; 3 — реле; 4 — интерфейсное устройство; 5 — преобразователь 24/5 В; 6 — преобразователь 24/200 В

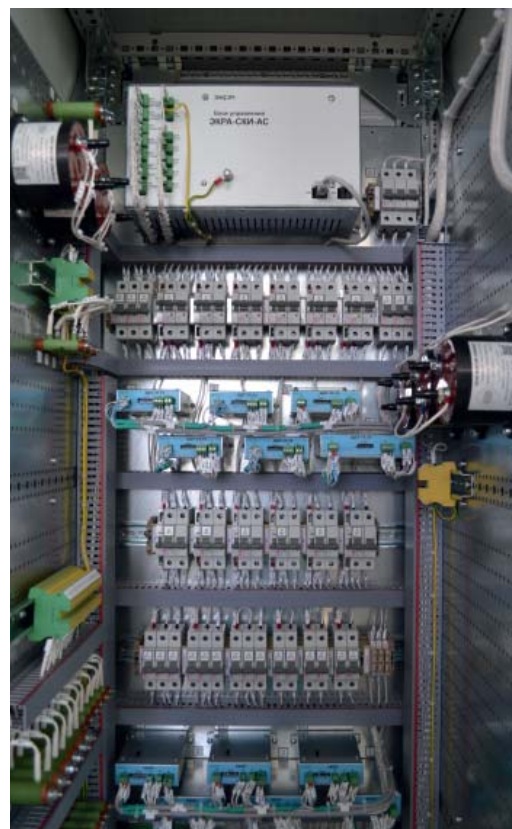


Рис. 5. Шкаф с системой контроля сопротивлений изоляции сети переменного тока с изолированной нейтралью ЭКРА-СКИ-АС

Для проверки работы и подтверждения технических характеристик был изготовлен опытный образец системы контроля сопротивления изоляции шин и отходящих присоединений ЭКРА-СКИ-АС. Проверка работоспособности ЭКРА-СКИ-АС производилась в щите электрообогрева энергоблока № 4 Белоярской АЭС. На основании проверки работоспособности принято решение о выпуске ЭКРА-СКИ-АС. **Р**