

Предохранительно-исполнительный модуль для реле защиты трансформатора от ГИТ ЭМИ ЯВ

Владимир Гуревич (vladimir.gurevich@gmail.com)

В статье приведено описание дополнительных модулей, предназначенных для совместного применения с разработанным ранее электронным реле защиты силового трансформатора от геомагнитно-индуцированных токов (ГИТ), вызванных электромагнитным импульсом высотного ядерного взрыва (ЭМИ ЯВ).

Предлагаемый в статье предохранительно-исполнительный модуль (ПИМ) позволяет предотвратить отключение трансформатора вследствие кратковременных воздействий ГИТ или ложных срабатываний электронного реле, вызванных любыми причинами. Рассматривается элементная база ПИМ, обеспечивающая его максимальную надёжность.

Задача силовых трансформаторов в электрических сетях от повреждений, вызванных геомагнитно-индуцированными токами (ГИТ), протекающими в заземлённых нейтралях силовых трансформаторов под действием компонента Е3 электромагнитного импульса высотного ядерного взрыва (ЭМИ ЯВ), является важной и актуальной проблемой [1].

В статье [2] приведено подробное описание электронного реле защиты трансформаторов от ГИТ, разработанного автором, и портативного тестера для периодических проверок исправности этого реле. Разработанное электронное реле предназначено для автоматического кратковременного отключения силового трансформатора при возникновении постоянного тока в его нейтрали и имеет повышенную надёжность и помехоустойчивость. В принципе, этот ком-

плект позволяет полностью решить техническую проблему защиты силовых трансформаторов в электроэнергетике. Однако остаётся проблема, не связанная с техникой, существенно затрудняющая широкое применение этого реле в электрических сетях. Это психологическая проблема персонала электростанций и подстанций, обусловленная опасениями ложного срабатывания реле от каких-либо помех и отключения силового трансформатора, к которому подключены несколько высоковольтных линий электропередач. Отключение мощного трансформатора с заземлённой нейтралью на подстанции, а тем более блочного трансформатора (нейтрали которых обычно всегда заземлены) на электростанции – это чрезвычайное происшествие, требующее расследования и составления соответствующих актов. Такие опасе-

ния персонала не беспочвенны. Предлагаемое реле должно воздействовать напрямую на высоковольтный выключатель трансформатора, при этом оно является нестандартным оборудованием, расположенным на открытом воздухе, вне закрытого помещения подстанции, и соединено напрямую с оборудованием подстанции посредством длинного контрольного кабеля, проходящего по территории подстанции (станции). На самом деле, разработанное реле [2] хорошо защищено от ложных срабатываний как от внешних электромагнитных полей, так и от импульсных помех, поступающих по контрольным кабелям, однако всегда есть место для сомнений, тем более когда речь идёт о нестандартном реле защиты.

В связи с обозначенной проблемой рекомендуется: во-первых, поэтапное введение предлагаемого реле в эксплуатацию, во-вторых, применение специального предохранительно-исполнительного модуля (ПИМ), предназначенного для исключения вероятности ложного срабатывания электронного реле защиты, расположенного в условиях воздействия факторов внешней среды и мощных электромагнитных помех.

На первом этапе (длительностью до одного года) предлагается включение выходных контактов реле лишь в цепь сигнализации, а не отключение трансформатора. Для этого рекомендуется использовать простейший дополнительный модуль (см. рис. 1), расположенный в шкафу или на панели на подстанции (или на станции). Целью этого этапа является подтверждение высокой помехоустойчивости (отсутствие ложных срабатываний в течение всего испытательного срока) и надёжности (срабатывание при периодической симуляции аварийного режима с помощью тестера-симулятора) электронного реле.

После успешного завершения первого этапа тестирования возможен переход ко второму этапу длительностью в несколько месяцев: введение в эксплуатацию дополнительного предохранительно-исполнительного модуля (ПИМ)

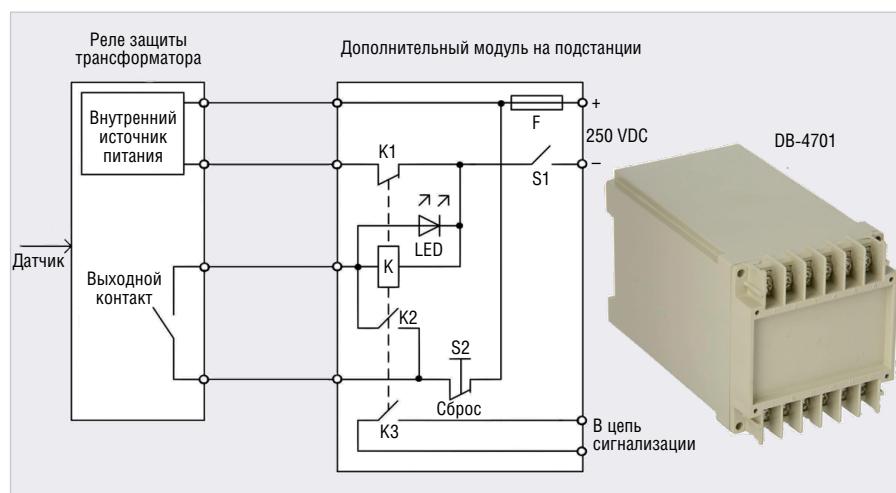


Рис. 1. Простейший дополнительный модуль, предназначенный для включения электронного реле защиты трансформатора на первом этапе ввода в эксплуатацию

на подстанции (станции) и проверка его надёжности. Этот модуль, разработанный автором, обеспечивает: автоматическую блокировку первого срабатывания реле защиты, выдержку времени в несколько секунд, перезагрузку реле защиты и ожидание второго срабатывания реле защиты в том случае, если сигнал с датчика, вызвавший его первое срабатывание, не исчез после выдержки времени и перезагрузки. Лишь после прохождения всех этих этапов ПИМ выдаст команду на отключение трансформатора.

Совершенно очевидно, когда речь идёт об очень мощной электромагнитной помехе (ЭМИ ЯВ), проникающей в аппаратуру и в виде всплеска электромагнитного поля, и в виде импульса высокого напряжения, поступающего на входы и выходы аппаратуры по проводам, ПИМ должен быть выполнен на электромеханических компонентах (см. рис. 2), а не на электронных микросхемах, как большинство современных контроллеров.

Разработанный автором ПИМ работает следующим образом. В ждущем режиме, когда отсутствует сигнал с датчика и выходной контакт реле защиты разомкнут, таймеры T1 и T2, а также реле K обесточены. Контакт T2.1 на отключение выключателя и контакт K3 на сигнализацию разомкнуты.

При срабатывании реле защиты по какой угодно причине и замыкании его выходного контакта подаётся питание из сети 250 В постоянного тока на таймер T1. Таймер начинает отсчёт времени. Через 4–5 с его контакт T1.1 размыкается, а T1.2 замыкается. Реле K включается и становится на автономное питание через свой контакт K2, а также подаёт питание на таймер T2 через контакт K1. Таймер T2 запускается, но сразу же прекращает отсчёт времени, поскольку после разрыва цепи питания реле защиты контактом T1.1 его выходной контакт размыкается. Схема возвращается в исходное состояние, кроме реле K, которое остаётся включённым, и его контактов K1, K2, K3, которые остаются замкнутыми. Поступает сигнал в цепь сигнализации.

Если после кратковременного разрыва и восстановления питания реле защиты его выходной контакт остаётся разомкнутым, то и ПИМ остаётся в неизменном состоянии. Отключить сигнализацию и вернуть всё устройство

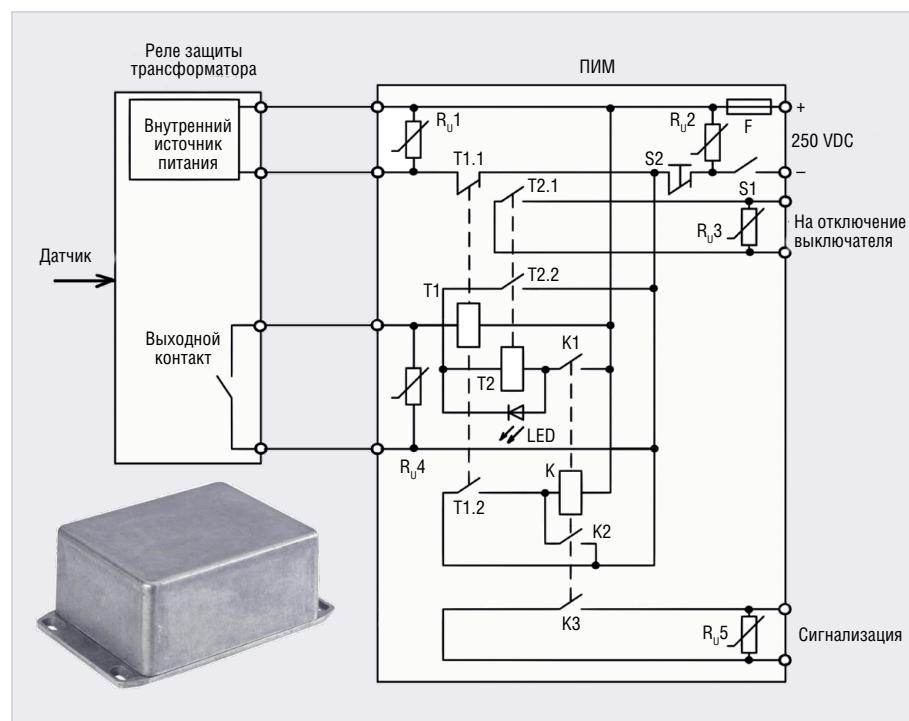


Рис. 2. Электрическая схема ПИМ на электромеханических компонентах (T1 и T2 – таймеры с выдержкой времени на включение)

в исходное состояние можно с помощью кнопки S2 («Сброс»).

Если же срабатывание реле защиты было правильным, в соответствии с сигналом, поступающим с датчика, то сразу после восстановления цепи питания реле через контакт T1.1 последует повторное срабатывание реле и повторное замыкание его выходного контакта. Таймер T1 опять начнёт отсчёт времени, однако теперь одновременно с ним включается и таймер T2 через оставшийся замкнутым контакт K1. Выдержка времени таймера T2 в несколько раз меньше выдержки времени таймера T1, поэтому он срабатывает первым, выдавая команду на отключение выключателя силового трансформатора и становясь на автономное питание. Через 4–5 с повторно срабатывает таймер T1 и разрывает цепь питания реле защиты контактом T1.1. К этому времени трансформатор уже будет отключён, и сигнал с датчика исчезнет. Вернуть ПИМ в исходное состояние можно с помощью кнопки S2 («Сброс»).

Схема ПИМ защищена от проникновения на его входы и выходы импульсов высокого напряжения с помощью варисторов R₁ – R₅, а от электромагнитного поля – клеткой Фарадея, то есть алюминиевым корпусом.

Остался открытым вопрос выбора таймеров для ПИМ. Как оказалось, это

непростая задача, поскольку обычные электронные таймеры на микросхемах изначально были признаны неприемлемыми для использования в ПИМ. Пришлось провести довольно глубокий анализ по таймерам неэлектронного типа, результаты которого представлены далее.

Простейшим и наиболее надёжным типом неэлектронных таймеров являются **таймеры электромагнитного типа**, у которых задержка на срабатывание осуществляется с помощью толстостенного медного цилиндра (короткозамкнутого витка), одетого на сердечник электромеханического реле (см. рис. 3). К сожалению, таймеры, работающие по такому принципу, обеспечивают задержку на срабатывание всего около 0,1 с, при этом они слишком громоздкие и тяжёлые.

Ещё одним типом неэлектронных таймеров являются **таймеры электропневматические**, в которых задержка на срабатывание (или отпускание) осуществляется за счёт соленоида и сильфона (обычно – резинового) или поршня и ниппеля с отверстием, через которое выделяется или засасывается воздух в камеру (см. рис. 4). Таймеры такого типа имеют вполне подходящую выдержку времени, но их габариты и вес не удовлетворяют требованиям проекта.

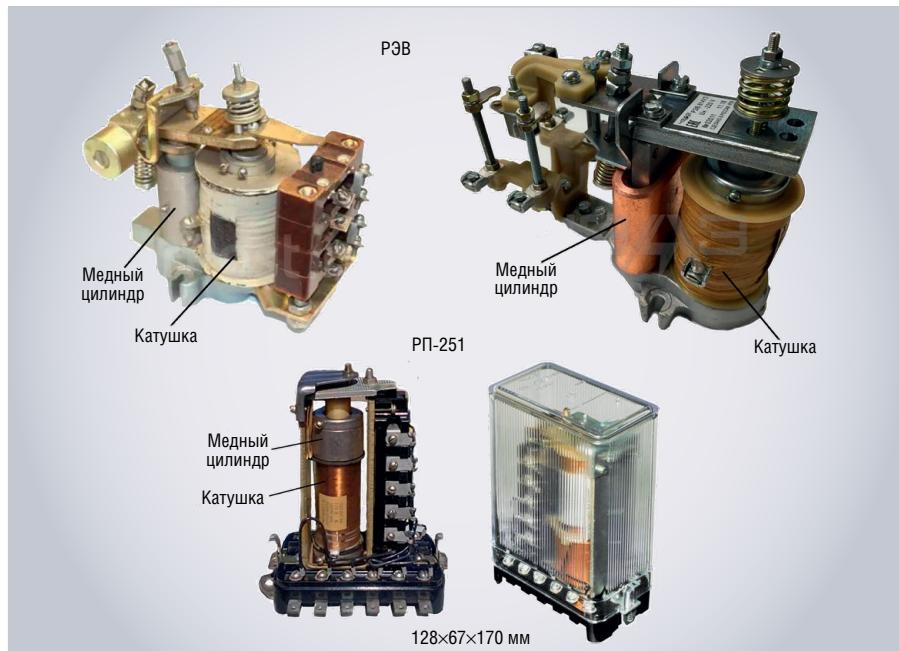


Рис. 3. Таймеры электромагнитного типа



Рис. 4. Электропневматические таймеры

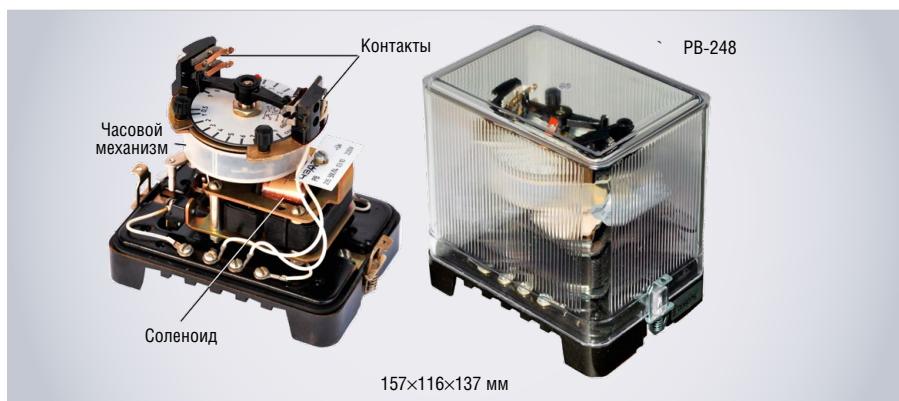


Рис. 5. Таймеры с часовым механизмом

Следующим исследованным типом неэлектронных таймеров стали **таймеры с часовым механизмом** и пружиной (см. рис. 5). При подаче питания на соленоид он преодолевает усилие возвратной пружины и разблокирует часовой механизм. В процессе отработки заданного интервала времени выходной вал часовом механизма поворачивается, при достижении заданной уставки замыкает выходные контакты и останавливается. Такие таймеры имеют достаточно высокую надёжность и точность, а также обеспечивают требуемые для ПИМ выдержки времени. Единственный недостаток таких реле – их большие габариты.

Следующим исследованным типом неэлектронных таймеров стали **таймеры на основе миниатюрных синхронных моторов** (см. рис. 6). В этих таймерах небольшой синхронный двигатель вращает вал шестеренча-

того редуктора со строго заданной скоростью, определяемой частотой питающего напряжения, и обеспечивает требуемую выдержку времени после отработки определённого количества оборотов вала. Таймеры такого типа достаточно компактны, надёжны и обеспечивают требуемые для ПИМ интервалы времени. Недостатком таймеров этого типа является необходимость питания только переменным током частотой 50 или 60 Гц, что делает невозможным их применение в ПИМ.

На рынке имеется очень ограниченное количество типов таймеров с моторным приводом, которые можно запитать от источника постоянного тока, например M6446 (см. рис. 7). В таймерах этого типа используют синхронные моторы с постоянными магнитами, а требуемую частоту питания такого двигателя обеспечивает встроенный преобразователь частоты.

Назвать такой таймер неэлектронным нельзя, к тому же такие таймеры выпускаются лишь на низкие напряжения питания (до 28 В).

На основе проведённого выше анализа можно сделать вывод о том, что ни один из известных неэлектронных таймеров по разным причинам не подходит для применения в ПИМ. В связи с этим автором был разработан таймер, специально предназначенный для использования в ПИМ (см. рис. 8).

Разработанный таймер не является неэлектронным на все 100%, однако он содержит всего лишь один активный электронный компонент – тиристор на рабочее напряжение 600 В, защищённый от перенапряжений мощным TVS-диодом типа 30KPA300A с остаточным напряжением (clamping voltage) не более 484 В. Отличные характеристики этого таймера (простота, надёжность, помехозащищённость,



Рис. 6. Таймеры на основе синхронных моторов

стабильность параметров, небольшие габариты) и интервал выдержек времени от долей секунды до 10 с обеспечиваются совокупным выбором элементов с особыми характеристиками. Например, тиристор VS выбранного типа C106M сочетает в себе достаточную мощность, высокое максимальное рабочее напряжение и очень малый ток отпирания (доли миллиампера). Благодаря такому малому току удалось применить времязадающий резистор R1 сопротивлением в сотни тысяч Ом и резистор R2 сопротивлением в единицы килоом с падением напряжения на нём менее 1 В при напряжении питания 240 В. А это, в свою очередь, позволило использовать в таймере особо стабильный герметичный танталовый конденсатор типа T140D108K006A ёмкостью всего лишь 1000 мкФ (конденсаторов этого типа большей ёмкости не существует!) с рабочим напряжением 6,3 В. Российский аналог – конденсатор типа К53-66. Конденсаторы такого типа имеют срок сохраняемости не менее 25 лет. Это очень важно для таймеров ПИМ, поскольку эти таймеры могут находиться в обесточенном состоянии долгие годы и после такого долгого периода ожидания должны обеспечить его нормальную работоспособность. Ещё один особый элемент этой схемы – электромагнитное реле К типа РТ370220 (Schrack) с сопротивлением обмотки 65 кОм. Это уникальное значение сопротивления обмотки для миниатюрного реле. Такое высокое сопротивление обуславливает очень маленький рабочий ток реле –



Рис. 7. Таймер с моторным приводом постоянного тока на рабочее напряжение 26 В

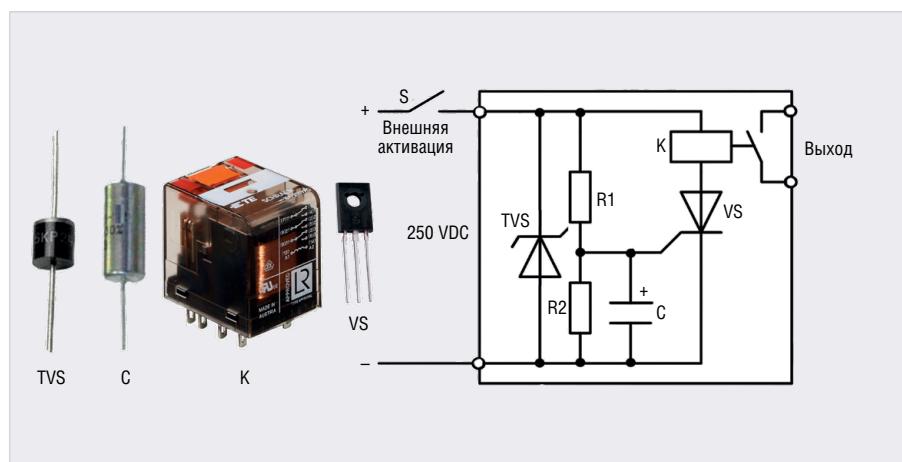


Рис. 8. Таймер, специально разработанный для ПИМ

3,4 мА, благодаря чему даже такой небольшой тиристор, как C106M, работает в схеме с очень большим запасом по рассеиваемой мощности и не требует использования дополнительного радиатора даже при длительном включении. Схема защищена от импульсных помех благодаря мощному TVS-диоду на входе схемы и конденсатору большой ёмкости в цепи управляющего электрода тиристора, не позволяющему тиристору отпереться при воздействии импульсной помехи. Следует иметь ввиду, что при таком принципе построения таймера и схеме включения его в ПИМ он находится в полностью обесточенном состоянии в течение всего времени ожидания, поэтому не может сам по себе привести к ложному срабатыванию ПИМ.

Описанный в статье ПИМ позволяет предотвратить отключение силовых трансформаторов при кратковременном воздействии ГИТ, не представляя

ющих опасности для трансформатора, или при ложных срабатываниях электронного реле защиты, вызванных любыми причинами.

Разработанный автором комплект устройств (электронное реле с датчиком ГИТ, тестер-симулятор, дополнительный модуль на подстанции и предохранительно-исполнительный модуль) позволяет полностью решить проблему защиты силовых трансформаторов в электрических сетях от воздействия ЭМИ ЯВ.

Литература

- Гуревич В. И. Электромагнитный импульс высокого ядерного взрыва и защита электрооборудования от него. М.: Инфра-Инженерия. 2019.
- Гуревич В. И. Электронное реле для защиты силового электрооборудования от воздействия геомагнитно-индукционных токов ЭМИ ЯВ. Современная электроника. 2020. № 2.