

Сергей Никифоров, д. т. н. | sgnikiforov@arhilight.ru |  
Александр Архипов | aarkhipov@arhilight.ru

# Регулятор фазы переходного процесса в цепях переменного напряжения

## для измерения пусковых и стартовых токов электротехнических устройств

➔ Лаборатория «Архилайт» сообщает о введении в эксплуатацию измерительного комплекса, включенного в ее состав, а также о начале коммерческого освоения для предложения на рынке измерительного оборудования принципиально нового устройства для регулировки фазы переходного процесса в цепях переменного напряжения с целью определения параметров измерения пусковых и стартовых токов электротехнических устройств. Изобретение указанного устройства относится к области метрологии электрических характеристик устройств электротехники при их включении/выключении в цепях переменного тока. Наиболее актуально использование прибора при необходимости измерения параметров пусковых и стартовых токов, а также иных параметров переходных процессов, возникающих в цепях при коммутации электрической нагрузки любого характера с учетом фазы напряжения переменного тока в момент включения/выключения. С целью защиты авторских прав разработчиков на изобретение в ФИПС зарегистрирована заявка на патент № 2020134565 с приоритетом от 21.10.2020.

### Введение

Любой электроприбор, приводимый в рабочее состояние подключением к источнику электроэнергии, неизбежно вызывает появление переходных процессов в момент коммутации в цепи, которую он сформировал своим подключением. Это связано и с реакцией источника электроэнергии на такое подключение (он всегда содержит комплексные составляющие своей внутренней цепи), и с переходными процессами в элементах схемы электроприбора. Природа указанных процессов лежит в области резонансных явлений в таких цепях при появлении переднего (или заднего — при выключении) фронта импульса поданного напряжения питания, временные параметры которого (форма, крутизна, длительность) существенно отличаются от длительной непрерывной последовательности периодов синусоидального напряжения стационарного режима питания с частотой 1–400 Гц и амплитудой 12–600 В. Одним из самых значительных проявлений резонансных переходных процессов в цепях нелинейных устройств, которыми являются, в частности, светильники на основе светодиодов или газоразрядных ламп, становится значительное увеличение потребляемого тока в течение первых периодов синусоиды питающего напряжения. Однако цепи питания устройств электротехники, особенно если они собраны в группы, как правило, имеют достаточно ограниченный выделенный диапазон потребляемой мощности, обеспечиваемой данной сетью. Таким образом, в моменты коммутации эти сети испытывают значительные перегрузки по току, но благодаря малому времени действия данной перегрузки необратимых последствий в корректно рассчитанных сетях не происходит. Последнее обстоятельство также обязано рациональному применению устройств защитной автоматики, имеющих свои характеристики срабатывания и реакции на перегрузки, от которых и призваны защищать цепи. Знание реальных параметров переходных процессов (так называемых пусковых, или стартовых, токов) потребителей крайне важно для необходимой корректности проектирования сети питания, в которую в том числе входят и подводящие кабели, и устройства коммутации, и защитная автоматика. Именно этому и посвящен второй этап Постановления Правительства РФ от 10 ноября 2017 года № 1356

«Об утверждении требований к осветительным устройствам и электрическим лампам, используемым в цепях переменного тока в целях освещения» и изменения к нему от 3 ноября 2018 года по Постановлению Правительства РФ № 1312 «О внесении изменений в требования к осветительным устройствам и электрическим лампам, используемым в цепях переменного тока в целях освещения», которые вступили в силу с 1 января 2020 года. Одним из требований, вступивших в силу на втором этапе, является пункт 27, который гласит: «Пусковой ток светильников на этапе 2 не должен быть более пятикратного рабочего тока источника питания» (пункт введен Постановлением Правительства РФ № 1312 от 3 ноября 2018 года). Следует отметить, что до появления приведенных выше документов ни в каких нормативно-правовых актах по отношению к светотехнической продукции данные параметры не нормировались. Как не существует и утвержденных или общепринятых методик измерений их характеристик.

### Причины появления разработки и их следствия

Сложность достоверной оценки параметров переходных процессов (пусковых и стартовых токов) на разных этапах времени коммутации состоит в точности установки фазы первого периода синусоиды питающего напряжения в момент включения нагрузки. Чрезвычайно важной особенностью такой методики измерений является возможность измерения коммутационных токов при различном положении фронта синусоиды питающего напряжения относительно момента включения потребителя. Это позволяет не только наиболее точно измерять мак-

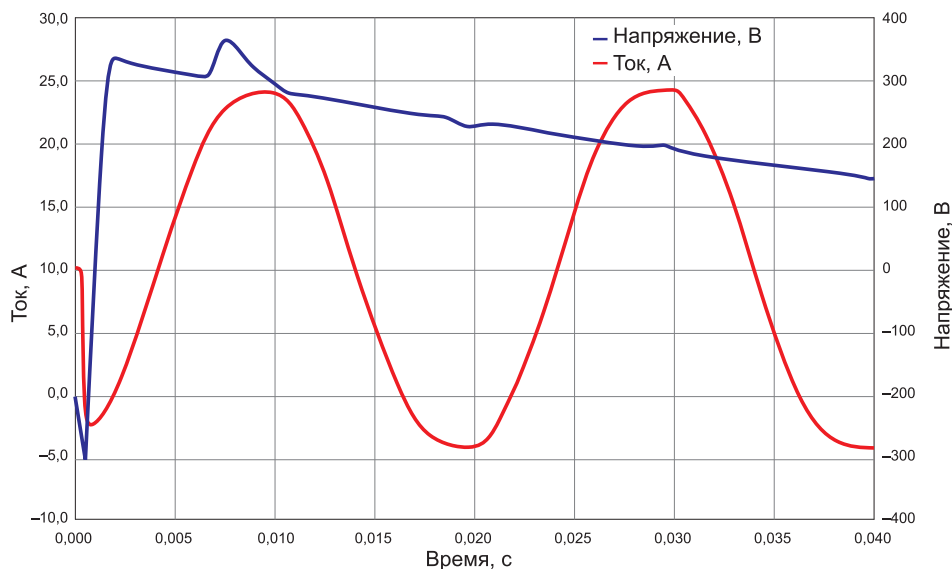


Рис. 1. Сформированное разработанным устройством регулировки фазы положение момента включения нагрузки в пике первого периода синусоиды и соответствующий график пускового тока

симальное значение тока и определять его форму относительно напряжения, но и рассчитывать его усредненное значение за любое количество периодов синусоиды (рис. 1). Отмеченная особенность измерений позволяет использовать полученные результаты для любых систем автоматики, поскольку они оказываются максимально приближенными к реальным условиям при коммутации потребителей.

Работа регулятора фазы основана на формировании фронта импульса включения исполнительного устройства коммутации нагрузки посредством установки пользователем его положения относительно соответствующих участков синусоиды напряжения сети (рис. 1–3). В подавляющем большинстве случаев коммутации максимальный пусковой, или стартовый, ток образуется при попадании

пика синусоиды питающего напряжения в момент включения нагрузки, однако это не является однозначным утверждением для всех 100% циклов коммутации. Так или иначе, важна высокая повторяемость реализации одной и той же точки участка синусоиды во всех случаях включения нагрузки, если ее положение не изменялось пользователем. Именно это обстоятельство становится ключевым в решении задачи всей методики «включение испытуемого образца — измерение пускового (стартового) тока» предлагаемым устройством регулировки фазы переходного процесса. Указанное решение весьма важно еще и потому, что все исследуемые переходные процессы имеют свое наиболее явное проявление только при большом времени между попытками измерения (20–40 мин), и, если момент включения

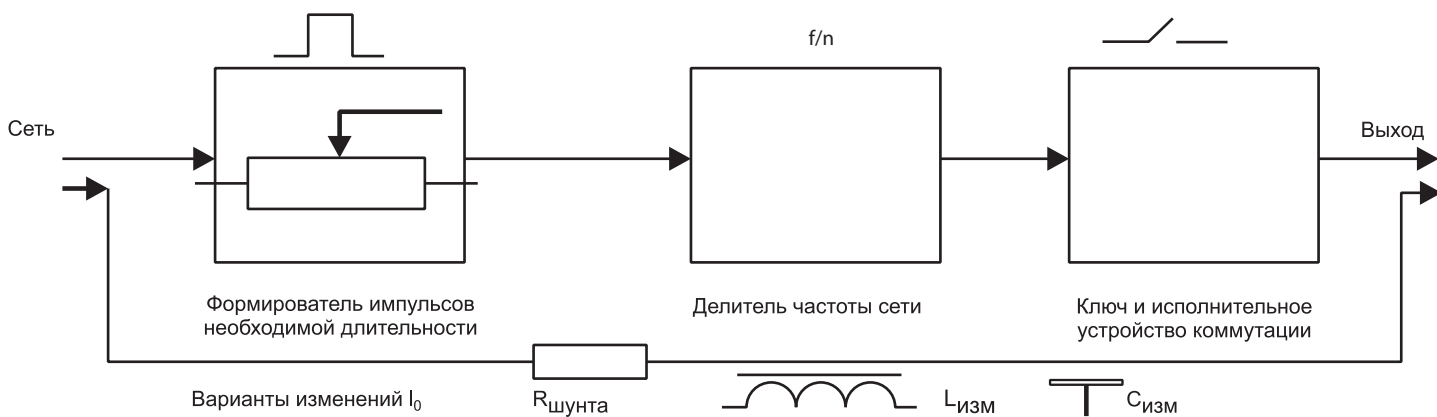


Рис. 2. Блок-схема регулятора фазы переходного процесса

нагрузки по отношению к участкам синусоиды напряжения питания не будет предсказуемым, такие измерения крайне затруднительно провести в принципе. Данное утверждение в полной мере касается и измерений параметров переходных процессов при выключении нелинейных нагрузок, поскольку в этом случае также присутствует явно выраженный переходный процесс. Блок-схема регулятора приведена на рис. 2. Делитель частоты сетевого напряжения формирует задержку включения внешней нагрузки приблизительно на 2–4 с для завершения всех переходных процессов, возникших при включении самого устройства, способных влиять на установки положения фронта импульса коммутации. Схемотехника и примененные элементы формирователя фронта импульса составлены таким образом, что регулятор фазы может работать в цепях с частотой синусоидального напряжения питания вплоть до 1 МГц. Измерение пусковых, или стартовых, токов нагрузки  $I_0$  выполняется либо осциллографическим методом с применением низкоомного шунта с исключительно активным сопротивлением, либо специальными приборами для измерения указанных параметров любым методом (емкостным, индуктивным, с применением шунта и др.) (рис. 2).

**Основные идеи и возможности, реализованные в разработанном устройстве**

Регулятор фазы переходного процесса содержит формирователь импульсов пере-

менной длительности из синусоидального (или любой другой формы с плавным фронтом) напряжения питающей сети посредством компаратора напряжения на основе любых элементов (операционного усилителя, транзисторного каскада и пр.) с изменяемым уровнем опорного сигнала (напряжения). Таким образом, импульсная последовательность сформированных компаратором импульсов и их фронтов жестко привязана к фазе и точке фронта исходного (рис. 3).

Делитель частоты сформированной импульсной последовательности осуществляет задержку включения нагрузки на любое время (в зависимости от коэффициента деления). Это применяется для более точной установки длительности и фронта импульса относительно фронта синусоиды. Передний фронт задержанного на время  $t = n/f$  (где  $f$  — частота питающей сети,  $n$  — коэффициент деления) импульса открывает транзисторный ключ и посредством включения коммутирующего электромеханического реле, обмотка которого составляет цепь нагрузки ключа, подсоединяет испытываемую нагрузку к сети.

В качестве коммутирующего нагрузку элемента может выступать полупроводниковый элемент или система элементов (тиристорная схема, полупроводниковое твердотельное реле и т. п.). Такое подключение будет всегда осуществлено в заданной оператором точке фронта синусоиды питающего напряжения с учетом постоянного времени включения контактов реле или времени включения полупровод-

никового ключа (значение которого известно и неизменно). При необходимости в регуляторе фазы переходного процесса может отсутствовать задержка включения нагрузки. Также, в другом возможном варианте устройства, формирование импульсной последовательности для привязки фронтов сформированных импульсов к точке фронта синусоиды (любой формы сигнала) исходного напряжения может происходить от различных источников — например, от вспомогательного генератора или другой фазы питающего напряжения. Последнее может быть дополнено возможностью регулировки фазы в пределах более чем один период синусоиды (последовательности с любой формой) питающего напряжения.

**Послесловие**

За время проведения разработки и формирования патентных материалов произошли существенные изменения в действующем законодательстве, регламентирующем требования к пусковым, или стартовым, токам. В частности, пересмотру подверглось упомянутое в статье Постановление Правительства РФ от 10 ноября 2017 года № 1356 «Об утверждении требований к осветительным устройствам и электрическим лампам, используемым в цепях переменного тока в целях освещения», которое, вследствие воздействия «регуляторной гильотины», на данный момент не имеет утвержденного содержания в отношении состава указанных требований. Однако это обстоятельство не может повлиять на действие физических законов и отметить или пересмотреть процесс их протекания в электрических цепях. Поэтому коллектив авторов — разработчиков описанного устройства уверен, что независимо от факта наличия или отсутствия требований к электротехническим устройствам в отношении их пусковых, или стартовых, токов и параметров переходных процессов при включении/выключении, оно будет востребовано потребителями при исследовании обозначенных процессов, а также измерениях их параметров, требования к которым всегда имелись и имеются в отраслевых нормативных документах или конкурсной документации при закупках светотехнической продукции такими компаниями, как Росавтодор, РЖД, Горсвет (Моссвет), и многими другими. ●

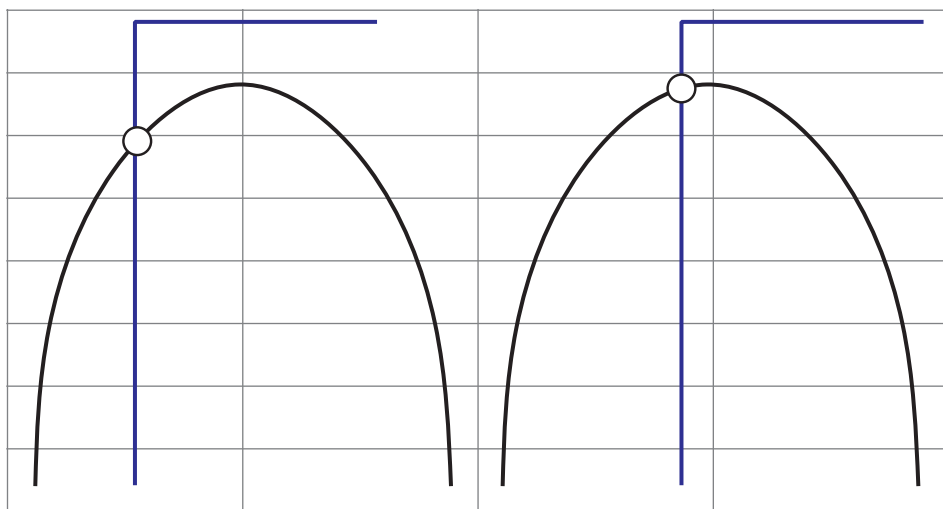


Рис. 3. Схема формирования заданного оператором положения привязки фронтов сформированных импульсов к точке синусоиды исходного напряжения, которое определяет момент включения нагрузки