

AN307 – Применение симисторов на индуктивных нагрузках

Введение	1
Явления, возникающие при замыкании цепи	1
Запуск.....	1
Управляющий сигнал	1
Управление током затвора с помощью одиночного импульса	2
Управление затвором с помощью последовательности импульсов	3
Управление затвором с помощью постоянного тока	4
Переходные явления во время переключения	4
<i>Основные принципы</i>	4
Запуск при нулевом напряжении сети	4
Запуск при максимальном напряжении сети	5
Запуск при индуктивном сдвиге фазы с проводимостью полными периодами	5
Запуск фазовой разверткой	6
Неправильный запуск	6
Заключение	6

Введение

Несмотря на то, что в настоящее время схемы с симисторами хорошо известны разработчикам, применение этих компонентов на индуктивных нагрузках требует некоторых мер предосторожности для создания им наиболее благоприятных условий. В этом и состоит цель данной статьи, в которой рассматриваются различные режимы управления симисторами и приводятся принципы, гарантирующие их корректную работу.

Явления, возникающие при замыкании цепи

Симистор известен как компонент, важный в управлении питанием от источника переменного тока (питающей сети). В большинстве случаев в схеме имеются индуктивные компоненты, обусловленные либо природой самой нагрузки (моторы, трансформаторы, балластная индуктивность), либо источником полного сопротивления (использование вторичной обмотки трансформатора, длинная линия питания и т.д.). На индуктивных нагрузках, при включении нагрузки условия работы существенно меняются, находясь в зависимости от режима управления (ток затвора, его полярность и длительность) и момента запуска. Для того чтобы собрать оптимальную схему управления, важно проанализировать различные особенности.

Запуск

Управляющий сигнал

Симистор запускается током затвора $I_g > I_{gt}$, длительность которого должна быть достаточной, чтобы ток через симистор достиг значения тока удержания (I_L). Длительность управляющего сигнала определяется скоростью нарастания тока сети (di/dt), ограниченной индуктивностью нагрузки, и выбором квадранта запуска. Нагрузочный ток, I_L , наиболее высок во втором квадранте (A_2 положителен по отношению к A_1 , I_g отрицательный) (см. **Рис. 1-а**).

Скорость нарастания тока сети (di/dt) пропорциональна амплитуде питающего напряжения в момент запуска ($di/dt = V/L$). Если запуск возникает вблизи максимума напряжения сети или его нуля, необходимая длительность сигнала запуска уменьшается (см. **Рис 1-б**).

Чтобы запустить симистор и обеспечить его проводимость в непрерывном режиме, мы должны сравнить различные типы управляющих схем.

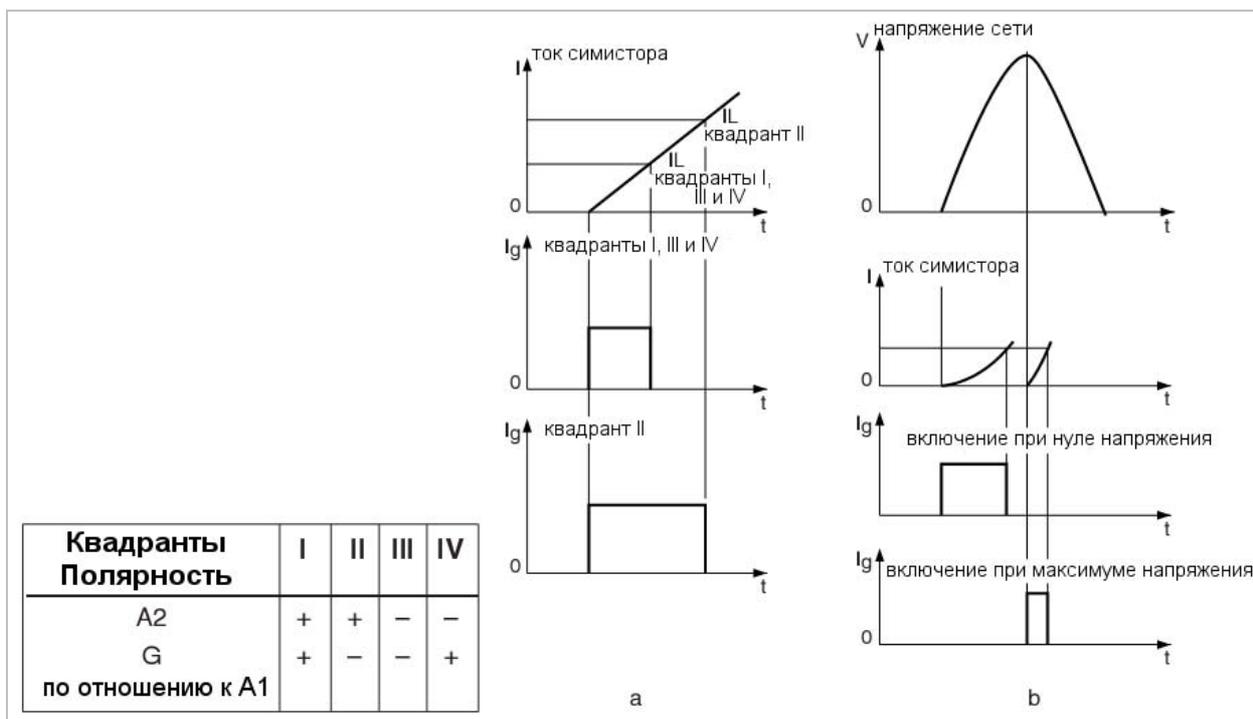


Рис. 1. Необходимая длительность управляющего сигнала: как функция квадранта запуска (а), как функция момента запуска (б)

Управление током затвора с помощью одинарного импульса

Чтобы обеспечить корректную работу, импульс затвора необходимо синхронизировать с нулевой точкой тока симистора, а его длительность должна быть достаточной, чтобы позволить току через симистор достигнуть уровня тока удержания I_L (см. **Рис. 2-а**).

В случае если импульс возникает до того, как ток симистора достигнет нулевой точки (некорректная синхронизация), либо если его длительность окажется слишком короткой, чтобы ток через симистор превысил ток срабатывания I_L , симистор будет проводить только во время чередующихся полупериодов. Высокая составляющая постоянного тока (DC), подаваемая на нагрузку, может привести к существенным перегрузкам из-за насыщения магнитных материалов.

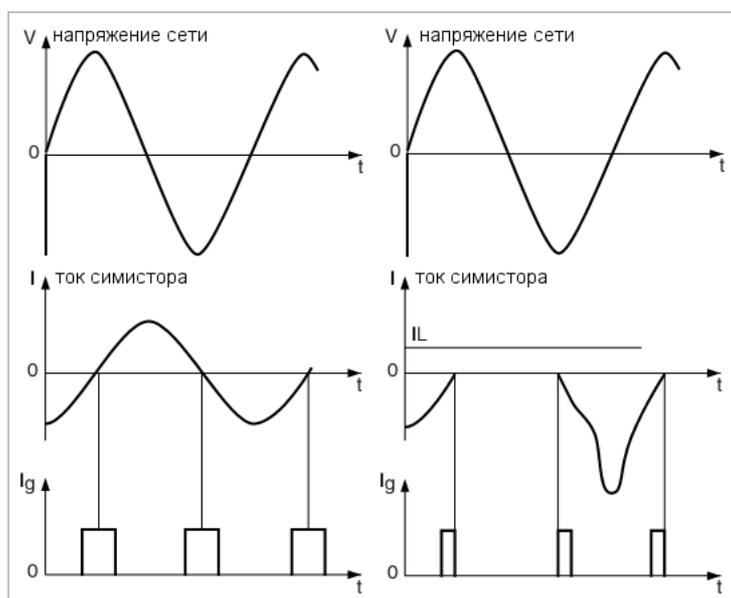


Рис. 2. Управление затвором с помощью синхронизированного одинарного импульса с нулевым током (а), а также случай одинарного импульса, длительность которого слишком коротка, что приводит к проводимости симистора только в течение чередующихся полупериодов (b).

Управление затвором с помощью последовательности импульсов

Управление затвором с помощью последовательности отпирающих импульсов устраняет проблему синхронизации моментов открытия. Частота повторения в несколько кГц гарантирует корректную работу для данного типа управления (см. **Рис. 3**). Эта процедура, дающая удовлетворительные результаты, часто используется для управления симисторами в индуктивных схемах.

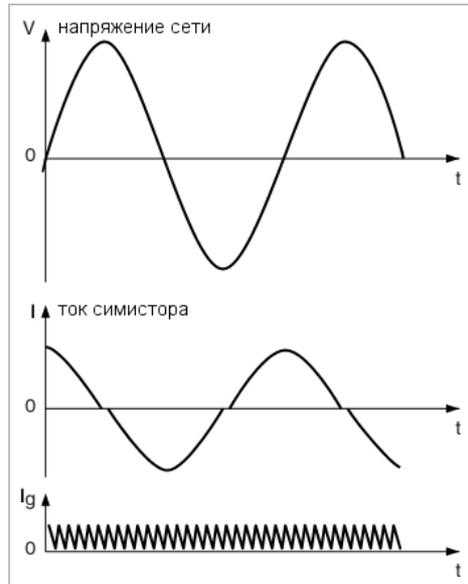


Рис. 3. Управление затвором с помощью последовательности импульсов

Другой вариант управления заключается в применении схемы, которая наблюдает за запуском и подает импульсы на затвор до тех пор, пока напряжение на выходе симистора не достигнет определенного порога (обычно принимают 10 В) (см. **Рис. 4**). Этот тип схемы позволяет подавать на затвор такое количество тока, которое необходимо для открытия симистора.

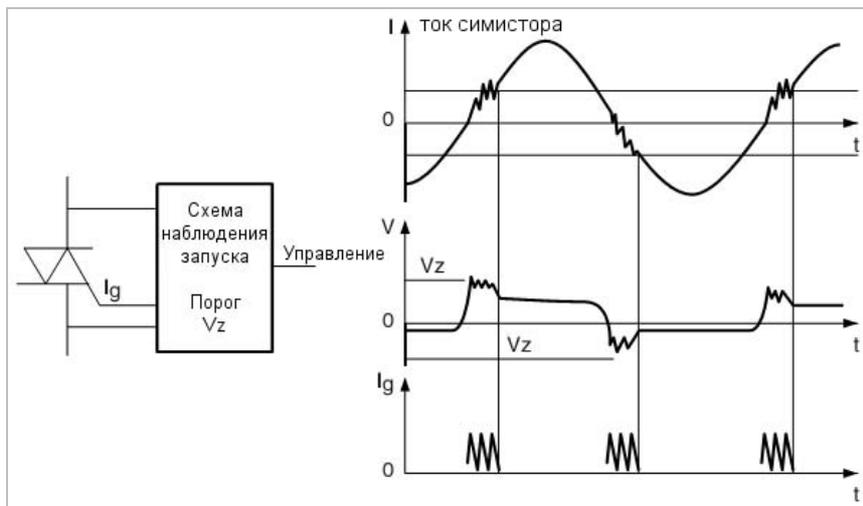


Рис. 4. Управляющий сигнал повторяется до тех пор, пока не произойдет открытие

Управление затвором с помощью постоянного тока

Управление затвором с помощью постоянного тока гарантирует идеальный запуск, но имеет недостаток в виде высокого потребления. В этом случае для управления затвором предпочтительнее использовать отрицательный ток (квадранты II и III).

Переходные явления во время переключения

Основные принципы

Во время непрерывной работы магнитное поле H , пропорциональное току катушки, меняется относительно индукции B с задержкой, показанной гистерезисным циклом на **Рис. 5**. При работе в условиях переходных процессов индукция может повести себя различным образом и достигнуть значения насыщения B_S , для которого магнитное поле H увеличивается очень быстро (согласно току катушки) (см. **Рис. 6**).

В схеме, управляемой симистором, открытие происходит, когда ток находится в нуле. Индукция, таким образом, имеет остаточное значение B_r , соответствующее $H = 0$ (см. **Рис. 5**). Когда симистор начинает проводить ток, переходные процессы зависят от момента синхронизации управляющего сигнала по отношению к напряжению сети.

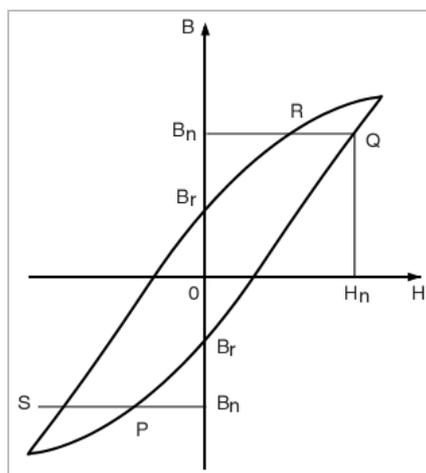


Рис. 5. Магнитное поле H по отношению к индукции B

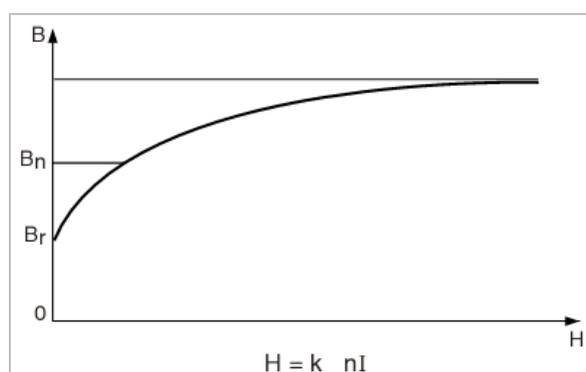


Рис. 6. Изменение индукции B_S по отношению к полю H

Запуск при нулевом напряжении сети

Максимальная индукция стремится к значению $V_{\max} = 2B_n + B_r$, таким образом, в большинстве случаев достигая насыщенной индукции B_s .

Амплитуда тока, пропорционально магнитному полю H , становится очень высокой - этот тип управления создаёт наивысшие переходные перегрузки (см. **Рис. 7-а**).

Чтобы ограничить избыточный ток в момент запуска при нулевом напряжении, управление необходимо осуществлять полными периодами. Поскольку симистор позволяет пропускать целое число полупериодов, полярность напряжения сети в момент запуска представляет собой инверсию полярности в момент замыкания цепи.

Максимальная индуктивность, таким образом, достигает значения $V_{\max} = 2B_n - B_r$, так как B между точками P и Q на гистерезисном цикле возрастает. В этом случае перегрузки меньше, чем в предыдущем, но ещё по-прежнему высоки (см. **Рис. 7-б**).

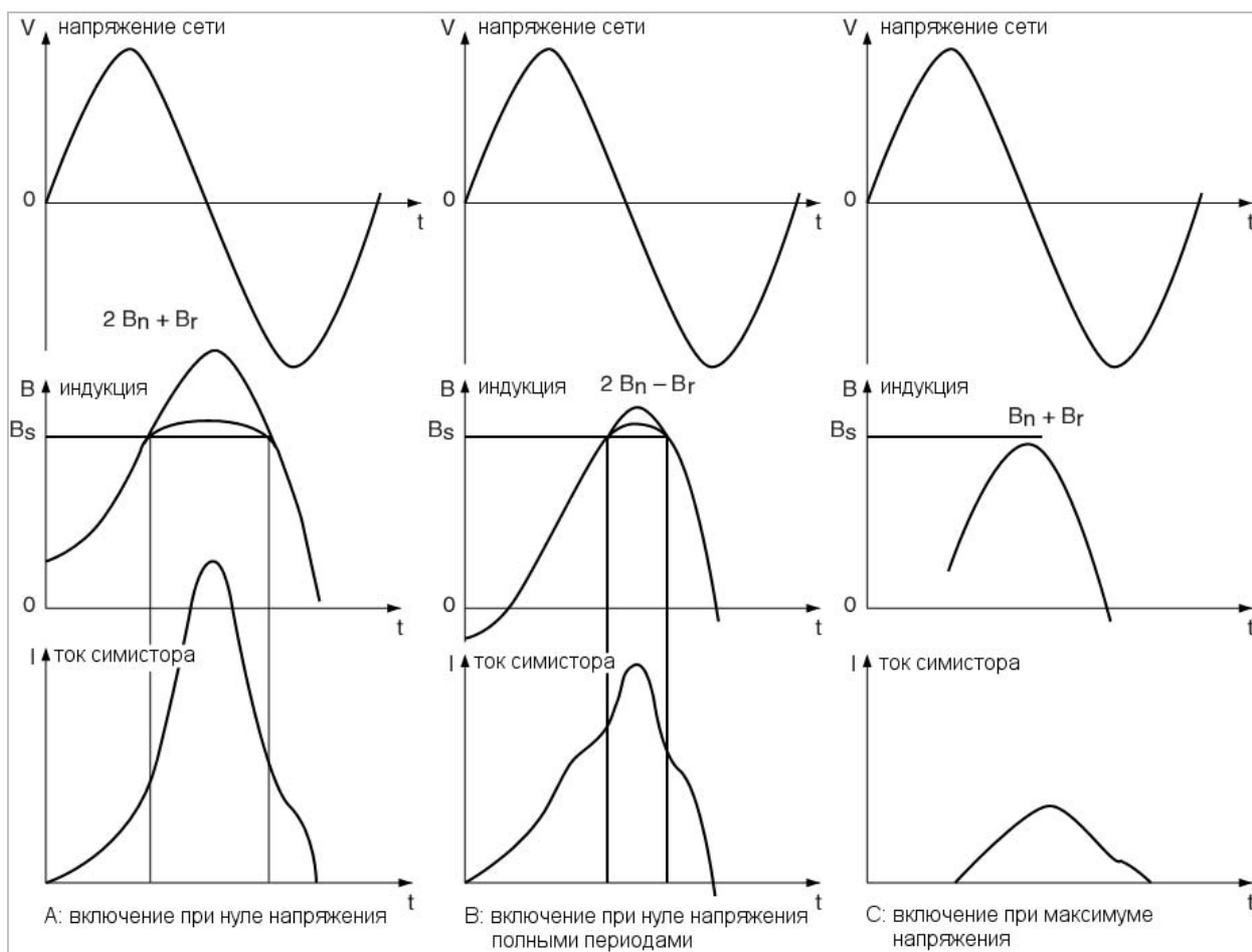


Рис. 7. Переходная индукция и ток в начале проводимости

Запуск при максимальном напряжении сети

Максимальная индукция принимает значение $V_{\max} = B_n + B_r$.

В большинстве случаев порог насыщения B_s не достигается, и амплитуда тока остаётся внутри приемлемых границ.

Этот тип синхронизации прост и эффективен и должен применяться при любой возможности на нагрузках, состоящих из материалов, которые могут насыщаться (намагничиваться).

Запуск при индуктивном сдвиге фазы с проводимостью полными периодами

Такой тип запуска помещает магнитное поле и индукцию на гистерезисный цикл непрерывной работы: следовательно, переходные процессы исключаются. Однако, разработка схемы управления для этого режима запуска сложна и, следовательно, она предназначена для специальных применений.

Запуск фазовой разверткой

В первый раз симистор запускается в конце полупериода. Затем постепенно разница фазы между нулём напряжения и моментом запуска уменьшается, пока не будет достигнута полная проводимость. При достаточно медленной скорости развёртки любые переходные перегрузки, таким образом, исключаются (см. **Рис. 8**). Эта процедура широко используется и даёт очень хорошие результаты.

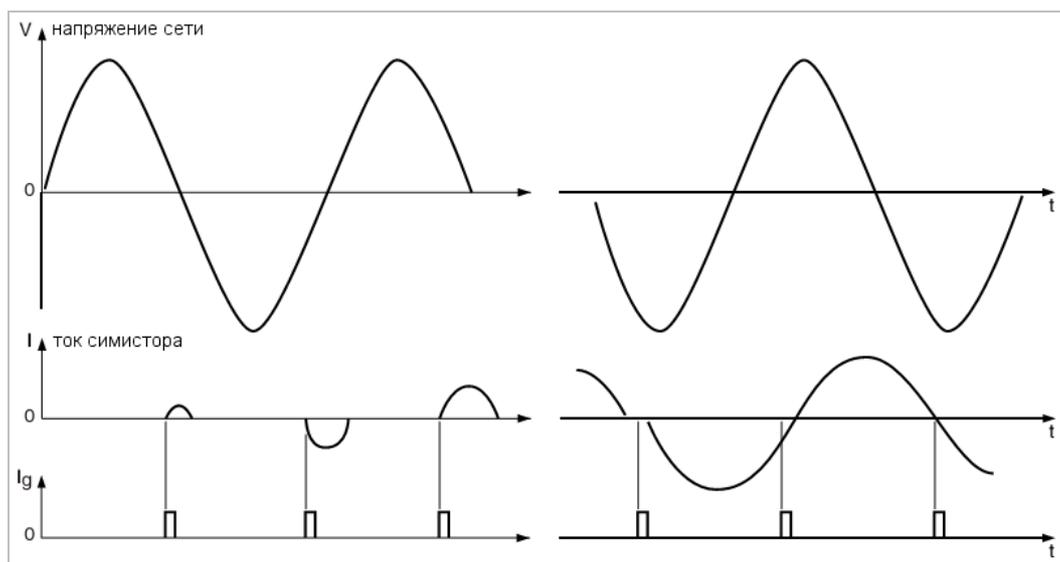


Рис. 8. Запуск фазовой развёрткой

Неправильный запуск

Управляющая схема играет немаловажную роль в нормальной работе симистора. Однако в случае неправильного запуска, симистор может столкнуться с дополнительной перегрузкой. Чтобы правильно выбрать тип симистора, нужно знать максимальную амплитуду тока, который может потечь через него при неправильном запуске.

Максимальный ток, который может протекать через нагрузку, не должен превышать максимально допустимый ток перегрузки симистора (ITSM).

Исходя из этой предосторожности, номинал симистора следует выбирать с завышенными параметрами.

Заключение

Мы рассмотрели важные моменты, гарантирующие корректную работу симистора.

Если симистор управляет индуктивной нагрузкой, вам необходимо:

1) **Открыть симистор** – с помощью сигнала управления затвором достаточной длительности, в выбранном квадранте (в зависимости от того, что требуется - более высокая чувствительность или небольшой ток срабатывания).

2) **Избегать переходных перегрузок** – с помощью синхронизации управляющего сигнала по напряжению в сети в момент запуска (причём запуск симистора при нуле напряжения нежелателен).

3) **Поддерживать симистор в состоянии проводимости** – выбором типа управления (избегайте управления затвором при помощи короткого одинарного импульса).