**Краткий анализ переходных процессов при включении тиристора.**

Для исследования и анализа переходных процессов использовался симулятор LTspice.

На рис. 1 с левой стороны представлена модель, а с правой осциллограммы результата моделирования.

Пояснения по модели.

V1 – генератор коротких импульсов (100мкс, 5В);

V2 – питающая сеть 220В, 50Гц с внутренним сопротивлением 1микроом (практически идеальная).

В городах сопротивление может составлять 0,5…1 Ом, что является хорошим параметром и недостижимым (не всегда) в сельской местности, гаражных и дачных кооперативах;

D1 – защитный стабилитрон;

U1 – исследуемый тиристор;

R3 – ТЭН с сопротивлением 10 Ом (около 5кВт, 220В).

По остальным элементам вроде всё понятно.

Пояснения по осциллограммам сверху вниз:

- напряжение на управляющем электроде тиристора (коричневый);

- напряжение на тиристоре (красный);

- ток, протекающий тиристор (синий);

- мощность, выделяющаяся на тиристоре (зелёный).

В окнах тока, напряжения и мощности с левой и правой сторон указаны их величины, а внизу время процесса.

На осциллограмме мощности видны т.н. «иголки». Поскольку тиристор не является идеальным ключом, т.е. он не может включиться мгновенно из состояния «выключен» в состояние «включен», то имеется какое-то время, которое называется – время включения. При переходе тиристора из состояния «выключен» в состояние «включен» через тиристор начинает протекать нарастающий ток от нуля до максимального значения. На этом участке тиристор находится в активном режиме и на нём выделяется какая-то мощность, которая называется – динамической (потери при переключении). Поскольку на траектории включения тиристора изменяются протекающий ток и приложенное напряжение, то динамическая мощность может составлять единицы и даже десятки киловатт. Вот как раз здесь и важен показатель di/dt.

Наличие большой динамической мощности ведёт к деградации кристалла полупроводника и преждевременной кончине тиристора, а может и сразу помереть, если не соблюсти di/dt.

Для того, чтобы снизить динамическую мощность принимаются разные меры, но, поскольку на форуме дискуссия шла по использованию токоограничивающего дросселя, то я и буду вставлять его в модель далее.

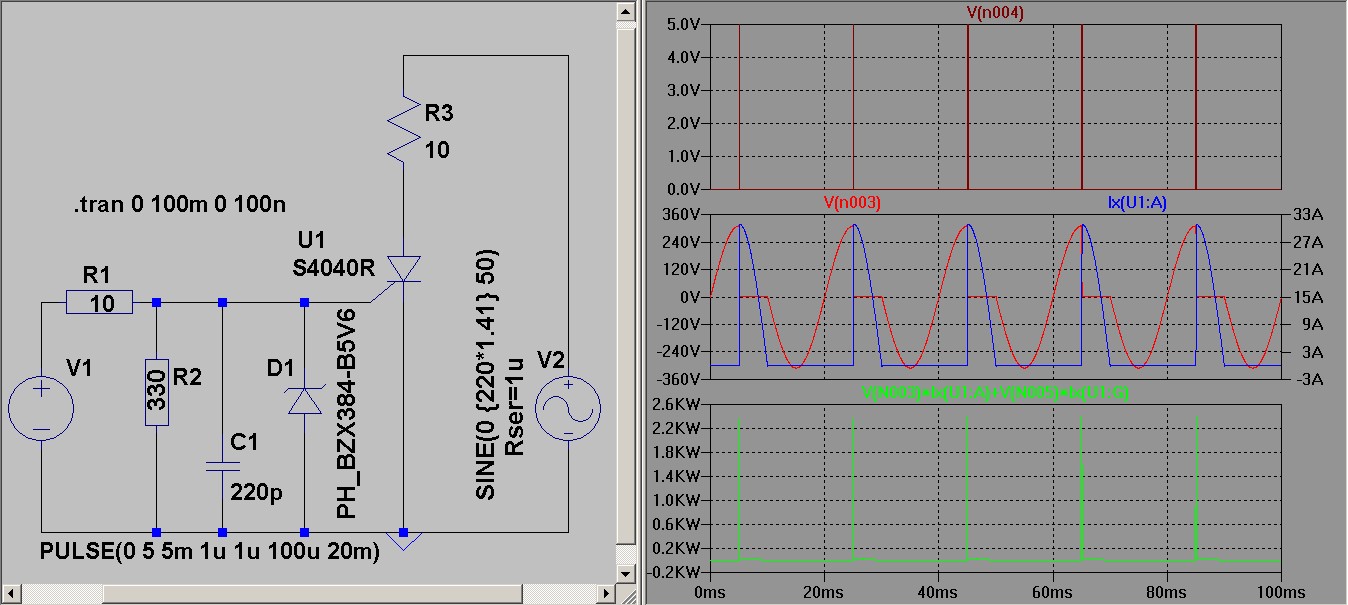


Рис.1

Модель и результат моделирования.

Для более тщательного изучения «растянем» осциллограммы тока, напряжения и мощности объединив оные в одном окне.

Наименование и цвет осциллограмм сохранён.

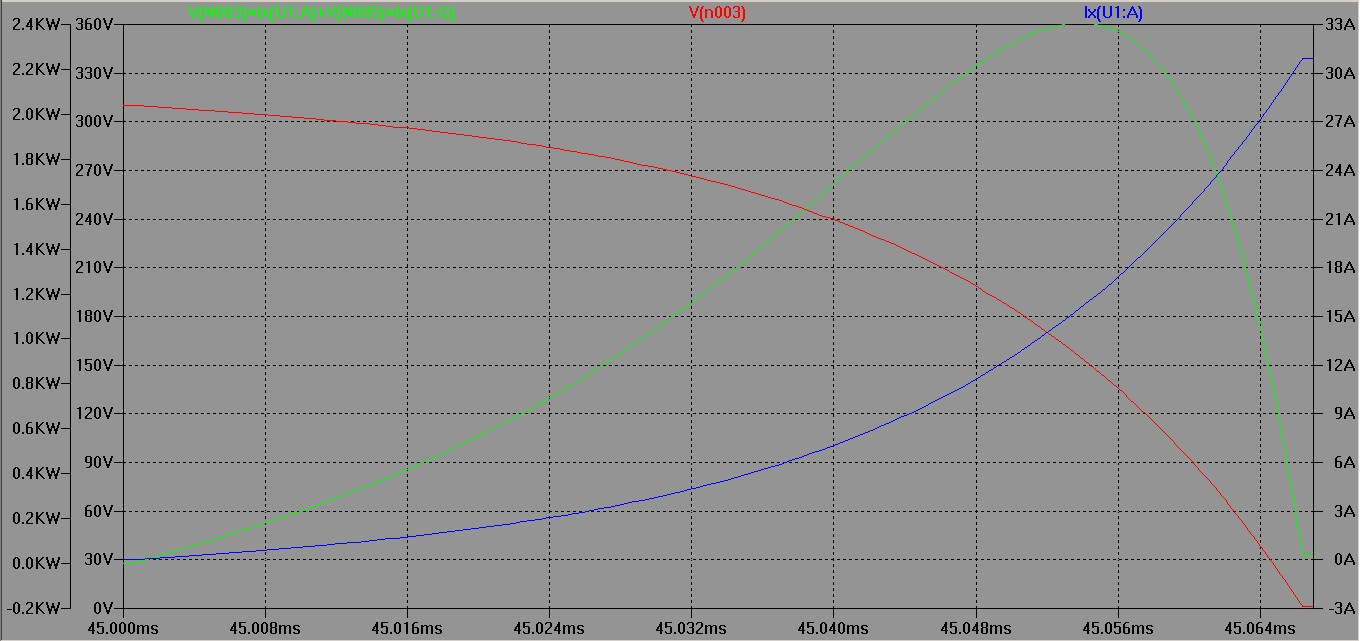


Рис.2.

Осциллограммы тока, напряжения и мощности.

Поскольку на форуме шла дискуссия по di/dt, то выделим участок (dt) с максимальной крутизной тока и оценим di/dt.

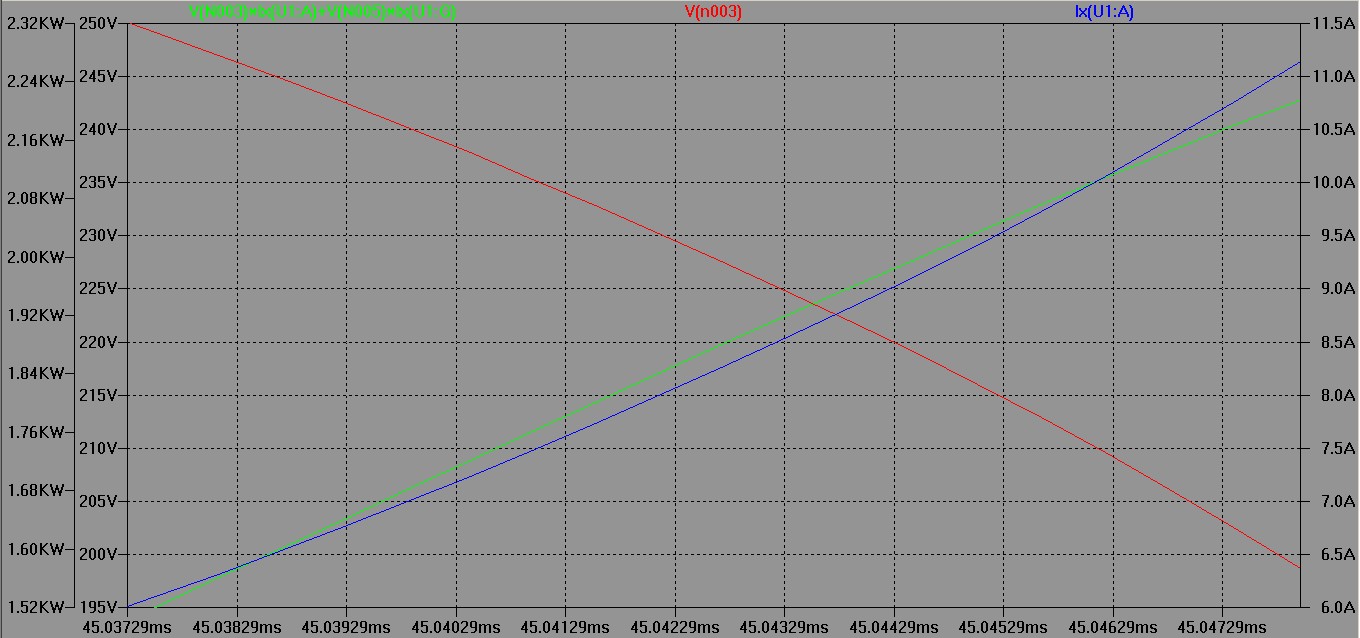


Рис.3.

Осциллограммы тока, напряжения и мощности.

Например, dt=45,04529 - 45,04329 = 2мкс

За это время ток меняет значение с 8,5А до 9,5А, т.е. di/dt = 9,5 – 8,5 = 1A, а за 1мкс всего лишь 0,5А.

Таким образом, до показателя di/dt составляющим десятки и сотни ампер для разных экземпляров тиристоров далече, аки до Китая раком.

Однако, не всё так радужно и красиво.

Мой визави на форуме, размахивая di/dt как красным знаменем, ни разу не упомянул про динамическую мощность, т.е. dw/dt. Любознательные форумчане могут оценить оную по приведённым осциллограммам на рис.2 и 3. Не упомянул визави и про приложенное к тиристору напряжение, ибо оно дюже меняет di/dt в меньшую сторону при увеличении оного.

Поскольку проводимость зоны кристалла полупроводника тиристора начинается от управляющего электрода (УЭ) расширяясь на весь кристалл, то прожог кристалла из-за большой плотности мощности как раз и происходит рядом с УЭ. Конечно, разработчиками ведётся работа по улучшению топологии и конструкции тиристоров и это видно по большой номенклатуре представленной потребителю.

Ну да ладно, продолжим и рассмотрим процессы при наличии дросселя 20мкГ в последовательной цепи:

сеть – дроссель – нагрузка (ТЭН) – тиристор – сеть.

Порядок следования и цвет осциллограмм сохранён.

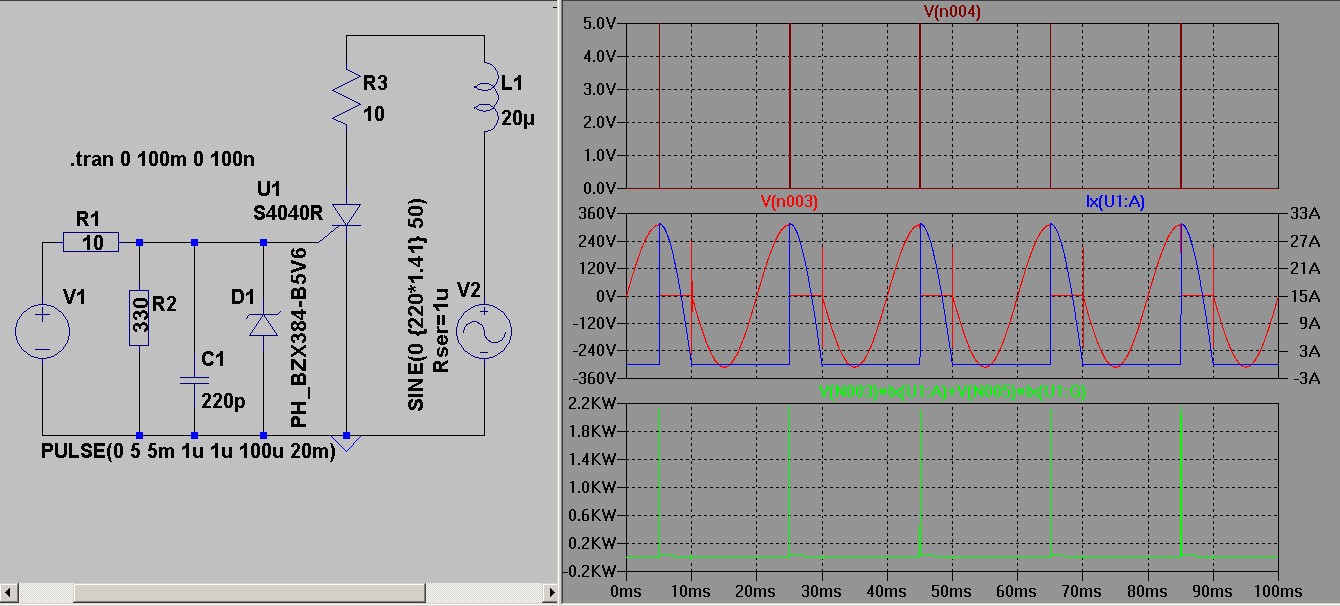


Рис.4

Модель и результат моделирования.

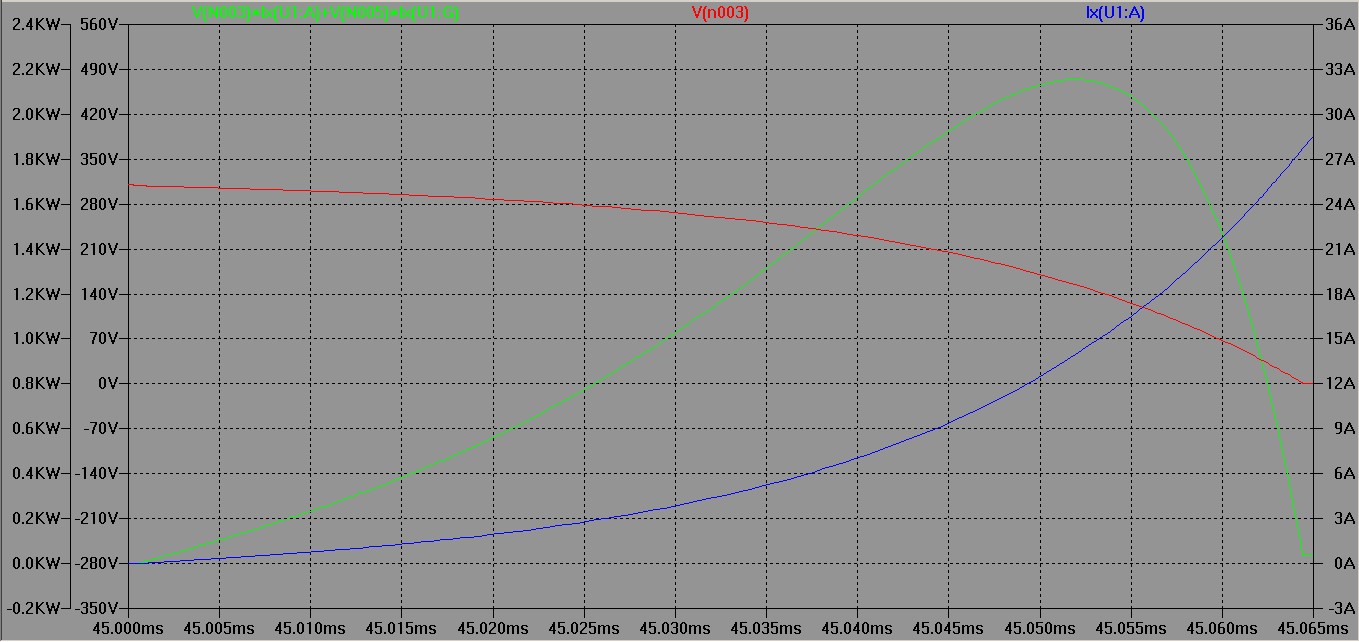


Рис.5

Осциллограммы тока, напряжения и мощности.

Как грится – суслика видите (?), а он есть!

И, в конце-концов, ТЭН не конденсатор, который периодически заряжается/разряжается через тиристор.

Да, чуть не забыл. Дело в том, что при моделировании был выявлен сквозной ток через тиристор при начале следующего полупериода синусоиды. Связано это с тем, что при чрезмерном увеличении индуктивности дросселя к концу полупериода ток через оный не спадает до нуля и через тиристор течёт ток. Надеюсь, что физика процесса понятна и к чему это может привести так же.

Я не знаю, по какой схеме силовой части форумчане ваяют регуляторы, поэтому что-либо предложить не могу, дабы избежать сей напасти.

Что касается симистора, то я бы не советовал использовать оный в регуляторах с фазным управлением, ибо у него параметры скромней, нежели у тиристора. Лучше схема с 2-мя тиристорами, включенными встречно-параллельно.