

гармоническому составу кривой тока. - Изв. вузов СССР. Сер. "Энергетика", 1969, №11. 4. Бладыко В.М., Мехедко В.Ф., Сончик Л.И. Гармонический синтез кривой намагничивания. - Изв. вузов СССР. Сер. Энергетика, 1975, №10.

УДК 621.314.632

В.Г.Черномашенцев, В.А.Пацкевич

ОГРАНИЧЕНИЕ КОММУТАЦИОННЫХ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ В ТИРИСТОРНОМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕ

Надежная работа силовых полупроводниковых приборов в схемах автономных инверторов во многом зависит от эффективности демпфирующих цепей, ограничивающих коммутационные перенапряжения. Однако применение существующих устройств для демпфирования перенапряжений приводит к значительным потерям в них [1, 2].

В данной работе рассматривается новая схема демпфирующей цепи, позволяющая ограничивать коммутационные перенапряжения с рекуперацией энергии в питающую сеть. Принципиальная схема демпфирующей цепи применительно к автономному инвертору со стабилизацией токов и напряжений изображена на рис. 1. Работа данного инвертора описана в [3].

Основной причиной коммутационных перенапряжений в схеме инвертора является обрыв диодом V_1 с большой скоростью обратного тока в момент восстановления им запирающих свойств. При этом на коммутирующем дросселе L_4 возникают перенапряжения значительной величины, которые при отсутствии демпфирующей цепи (L_2, L_3, C_1, C_2, V_2) пробивают диод V_1 и тиристоры $V_3 - V_6$.

Включение последовательной цепи C_1, V_2, C_2 параллельно диоду V_1 создает путь для протекания тока в момент закрытия последнего и накопленная коммутирующим дросселем энергия от протекания обратного тока диода передается конденсаторам C_1 и C_2 . Разряд конденсаторов C_1 и C_2 осуществляется через дроссели L_2 и L_3 . В процессе работы инвертора на диоде V_1 возникает импульсное напряжение, которое прикладывается через диод V_2 к конденсаторам C_1 и C_2 .

При анализе электромагнитных процессов в демпфирующей цепи принимаем, что величина индуктивности дросселей L_2 и L_3 настолько велика, что можно пренебречь величиной

переменной составляющей тока, протекающего через них. Пренебрегаем и потерями в элементах демпфирующей цепи. Разработанная демпфирующая цепь состоит из двух одинаковых частей, каждая из которых содержит демпфирующий конденсатор и разрядный дроссель. Соединены обе части вспомогательным диодом V_2 . Для упрощения рассматриваются процессы только в одной половине, предполагая, что емкости конденсаторов C_1 и C_2 одинаковы и напряжение на диоде V_1 распределяется равномерно между C_1 и C_2 . Так как скорость изменения напряжения на коммутирующем дросселе после включения тиристоров значительно больше, чем скорость изменения напряжения на демпфирующем конденсаторе при разряде его постоянным током, то считаем, что этот конденсатор заряжается за бесконечно малый промежуток времени. С учетом приведенных выше допущений форму напряжения на демпфирующем конденсаторе можно представить в виде, изображенном на рис. 2. На этом рисунке в момент времени t_0 (момент включения диагонали тиристорного моста) на конденсаторе демпфирующей цепи происходит возрастание напряжения от начального V_0 до максимального, равного удвоенному напряжению источника питания. Для данного инвертора величина максимального напряжения V_{max} не зависит от его параметров и является величиной постоянной, равной $2 V_d$.

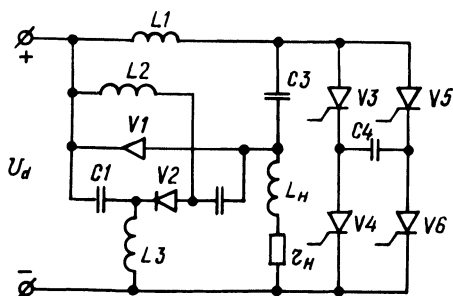


Рис. 1. Принципиальная схема инвертора с демпфирующей цепью.

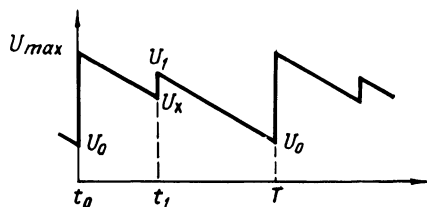


Рис. 2. График изменения напряжения на демпфирующем конденсаторе.

В промежутке от t_0 до t_1 (время проводимости тиристоров и диода V_1) напряжение на демпфирующем конденсаторе изменяется по линейному закону. В момент времени t_1 (момент выключения V_1) происходит подзаряд конденсатора демпфирующей цепи за счет энергии, накопленной дрос-

селем L_4 от протекания обратного тока. Далее осуществляется линейный разряд конденсатора до напряжения V_0 . С включением противофазной диагонали тиристорного моста снова напряжение на демпфирующем конденсаторе возрастает до $2V_d$ и в схеме протекают процессы, аналогичные уже описанным.

Так как за период работы схемы T демпфирующий конденсатор дважды получает энергию от инвертора, а отдает ее источнику питания в ходе непрерывного разряда через разрядный дроссель, то можно записать баланс энергии в виде

$$2V_d^2 C - \frac{V_0^2 C}{2} + \frac{W_L}{2} = V_d I_d T, \quad (1)$$

где V_d - напряжение источника питания; C - величина емкости демпфирующего конденсатора; W_L - величина энергии, запасаемой в коммутирующем дросселе от протекания обратного тока; I_d - ток разрядного дросселя; T - период частоты тока нагрузки.

Разряд демпфирующего конденсатора осуществляется постоянным током I_d через дроссель на источник питания. Это позволяет записать для напряжения u_c на конденсаторе

$$\frac{1}{T} \int u_c dt = V_d; \quad (2)$$

$$u_c(t_1) = 2V_d - I_d \frac{t_1}{C}. \quad (3)$$

Раскрывая выражение (2), получаем

$$V_0 \left(\frac{1-\delta}{2} \right) + V_x \frac{\delta}{2} + B = 0, \quad (4)$$

где V_0 - напряжение на демпфирующем конденсаторе перед включением тиристоров; V_x - напряжение на демпфирующем конденсаторе перед выключением диода;

$$B = V_d \delta + \frac{V_1}{2} (1-\delta) - V_d,$$

где V_1 - напряжение на демпфирующем конденсаторе непосредственно после выключения диода; $\delta = \frac{t_1}{T}$.

Так как перед выключением диода на демпфирующем конденсаторе существует напряжение V_x , а после выключения — напряжение V_1 и энергия W_L распределяется между двумя конденсаторами, то можно записать

$$W_L = CV_1^2 - CV_x^2. \quad (5)$$

Необходимо отметить, что напряжение V_x не может быть отрицательным из-за наличия диода V_1 , а величину напряжения V_1 нерационально допускать больше $2V_d$. Отсюда следует, что величина емкости демпфирующего конденсатора

должна быть больше C_{min} , где $C_{min} = \frac{W_L}{4V_d^2}$.

Величина энергии W_L , входящая в формулы (1) — (5), зависит от параметров диода, нагрузки инвертора и напряжения, прикладываемого к диоду в обратном направлении в момент выключения, и определяется по приближенной формуле [2]

$$W_L \approx \frac{V^2 t_b^2}{2L}, \quad (6)$$

где V — напряжение, прикладываемое к диоду в обратном направлении; t_b — время восстановления диодом запирающих свойств в обратном направлении; L — величина индуктивности коммутационного дросселя.

В реальных условиях не вся энергия, запасаемая в коммутационном дросселе, переходит в энергию электрического поля демпфирующих конденсаторов. Это объясняется тем, что на практике диод восстанавливает запирающие свойства не мгновенно, а за конечный промежуток времени. Отмеченное вызывает меньшую величину перенапряжений, чем в рассматриваемом идеализированном случае.

Приведенные аналитические зависимости позволяют выполнить расчет параметров демпфирующей цепи по известным исходным данным: V_d , V , t_b , L , T , которые определяются при

анализе электромагнитных процессов в инверторе. Время восстановления диодом запирающих свойств в обратном направлении берется из справочных данных на применяемый диод. Выполнив расчет параметров инвертора и построив для различных C , δ и T графики зависимостей тока I_d от величины энергии W_L , можно определить величины емкости демпфирующего конденсатора и тока I_d , что позволит выбрать тип диода $V2$ и разрядный дроссель.

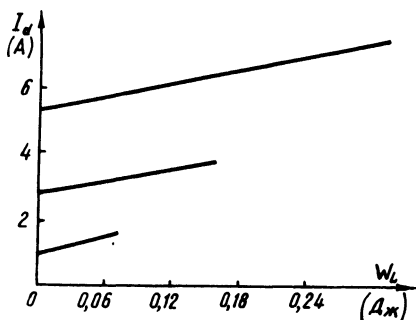


Рис. 3. Зависимость тока I_d от энергии W_L при различных величинах емкости демпфирующего конденсатора.

В качестве примера на рис. 3 изображена расчетная зависимость тока I_d от энергии W_L для величины емкости демпфирующего конденсатора: а - 0,5 мкФ; б - 0,25 мкФ; в - 0,1 мкФ. Данная зависимость построена при $V_d = 520 \text{ В}$, $\delta = 0,7$, $T = 100 \text{ мкс}$ и может быть использована при расчете инвертора частотой 10 кГц мощностью до 100 кВт.

Таким образом, в результате проведенного анализа получены основные соотношения, позволяющие выбрать параметры рассмотренной демпфирующей цепи.

Л и т е р а т у р а

1. Тиристорные преобразователи частоты для индукционного нагрева металлов. Труды УАИ, вып. XXII. - Уфа, 1971.
2. Магетто Г. Тиристор в электротехнике. Пер. с франц. М.: Энергия, 1977.
3. А.с. 547019 (СССР). Последовательный тиристорный инвертор/ С.М.Кацнельсон, Ю.М.Зинин, А.В. Иванов и др. - Опубл. в Б.И., 1977, №6.