

МЕТОДИКА ВЫЯВЛЕНИЯ ИНФОРМАТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ  
ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СТАТИЧЕСКИХ  
ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Д.С. Шимук\*

(представил д.т.н., проф. Б.Ф. Самойленко)

Теоретически исследовано влияние неисправностей вспомогательных элементов силовой части выпрямителя на показатели качества его выходного напряжения в режиме холостого хода. Установлена связь повышения постоянной составляющей и появления гармонической пульсации в выходном напряжении выпрямителя с техническим состоянием вспомогательных RC - цепей. Приведены результаты экспериментальных исследований.

Известно [1], что неисправности вспомогательных RC - цепей, обеспечивающих защиту вентилях от коммутационных перенапряжений [2], являются одной из причин выхода из строя силовых частей статических преобразователей. Для таких RC – цепей характерно то, что их техническое состояние не оказывает непосредственного влияния на показатели качества выходного напряжения преобразователя и в процессе работы не контролируется встроенной защитой [2]. Преобразователь с такими отказами некоторое время остается в работоспособном состоянии, но при этом режимы работы вентилях ухудшаются, что форсирует их отказ и служит причиной аварии. В процессе ремонта отказавший вентиль заменяется, но такая причина его отказа может остаться не выявленной, а значит, не устраненной.

В этой связи актуальным является решение научно - технической задачи контроля технического состояния указанных цепей. В данной работе предлагается методика выявления информативных параметров, отражающих техническое состояние вспомогательных RC - цепей.

Пусть трехфазный нулевой выпрямитель (рис. 1) работает на активную нагрузку. Параллельно вентилям выпрямителя установлены вспомогательные RC - цепи с одинаковыми параметрами. Ограничим множество возможных отказов RC-цепей обрывами резисторов либо конденсаторов. Отказы типа "короткое замыкание" рассматривать не будем, поскольку они равносильны пробоем вентилях. Вентили схемы считаем идеальными, т.е. имеющими нулевое сопротивление в открытом состоянии и нулевую проводимость в закрытом.

Импеданс RC - цепей на частоте питающей сети намного больше сопротивления штатных нагрузок таких схем. Поэтому для исключения влияния нагрузки проанализируем процессы в такой схеме в режиме холостого хода, как при отсутствии указанных неисправностей, так и при их наличии.

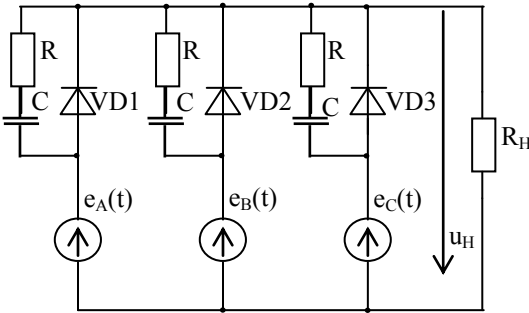


Рис. 1. Трехфазный нулевой выпрямитель с защитными RC - цепями

Если все RC - цепи исправны, а система питающих напряжений симметрична, то по окончании переходных процессов после подключения схемы к системе питающих источников на ее выходе по стороне постоянного тока будет практически постоянное напряжение  $u_{HH}(t)$ , численно равное амплитуде фазного напряжения питающего источника:  $u_{HH}(t) = E_m$ . Какая -

либо пульсация в выпрямленном напряжении будет отсутствовать из-за фильтрующего действия емкостей, у которых в этом режиме работы отсутствуют цепи разряда.

Допустим, что в одной из RC - цепей, например, при вентиле VD1, произошел обрыв. Тогда ветвь с данным вентиляем будет обладать односторонней проводимостью. В контуре, образованном источниками фаз В и С и вентилями с исправными RC - цепями, будет действовать линейная ЭДС  $e_{BC}(t)$ , равная разности фазных ЭДС  $e_B(t)$  и  $e_C(t)$ . При этом, в силу идентичности параметров оставшихся исправных RC - цепей, падения напряжений на них будут распределяться равномерно, т.е. к каждой из них будет прикладываться половина напряжения линейной ЭДС  $e_{BC}(t)$ . Такое же напряжение будет прикладываться и к вентилям VD2 и VD3 в силу их параллельного соединения с исправными RC - цепями. Поскольку половина линейного напряжения симметричного трехфазного источника всегда меньше целого фазного, то вентили VD2 и VD3 в установившемся режиме будут находиться в закрытом состоянии, что позволяет исключить их из схемы. Предположим также, что по окончании переходных процессов ток в ветви источника  $e_A(t)$  пренебрежимо мал. Тогда эквивалентная схема силовой части с неисправной RC-цепью при вентиле VD1 будет иметь вид, представленный на рис. 2. Анализ схемы на рис. 2 показывает, что в выходном напряжении выпрямителя следует ожидать появления пульсации из-за гармонических процессов в контуре, содержащем ЭДС фаз В и С.

Произведем расчет величины пульсации выходного напряжения для случая обрыва RC - цепи при вентиле в фазе А методом комплексных

амплитуд. Поскольку сопротивление  $R_H$  в режиме холостого хода стремится к бесконечности, а ветвь с ЭДС  $e_A(t)$  обладает односторонней проводимостью из-за последовательно включенного в нее вентиля VD1, то емкости  $C$  в ветвях с ЭДС  $e_B(t)$  и  $e_C(t)$  могут разряжаться только через свои источники ЭДС.

По той же причине величина выходного напряжения неисправного выпрямителя  $u_{HH}(t)$  не может быть меньше величины амплитуды  $E_m$  фазной ЭДС  $e_A(t)$ .

Примем начальную фазу  $\psi_A$  фазной ЭДС  $e_A(t)$  равной нулю. Тогда, при прямом порядке чередования фаз комплексы всех ЭДС можно определить как:

$$\dot{E}_A = Ee^{j0} = E; \quad \dot{E}_B = Ee^{-j\frac{2\pi}{3}}; \quad \dot{E}_C = Ee^{j\frac{2\pi}{3}}.$$

Комплекс напряжения пульсации  $\dot{U}_{HH}$  определяется из выражения

$$\dot{U}_{HH} = \dot{E}_C + \dot{I} \cdot Z, \tag{1}$$

где  $\dot{I}$  - комплекс контурного тока  $i$  (рис.2);  $Z = R - j|X_C|$  - комплекс сопротивления RC - цепи;  $|X_C|$  - модуль емкостного сопротивления конденсатора на частоте питающей сети.

Комплекс контурного тока получим из выражения

$$\dot{I} = \frac{\dot{E}_B - \dot{E}_C}{2Z}. \tag{2}$$

Поскольку  $|X_C| \gg R$ , то практически  $Z = |X_C|e^{-j\frac{\pi}{2}}$ . Тогда, подставив в (2) значения  $\dot{E}_B$  и  $\dot{E}_C$ , получим

$$\dot{I} = \frac{\dot{E}_B - \dot{E}_C}{-j2|X_C|} = \frac{E \left( e^{-j\frac{2\pi}{3}} - e^{j\frac{2\pi}{3}} \right)}{2|X_C|e^{-j\frac{\pi}{2}}} = \frac{\sqrt{3}Ee^{-j\frac{\pi}{2}}}{2|X_C|e^{-j\frac{\pi}{2}}} = \frac{\sqrt{3}E}{2|X_C|}. \tag{3}$$

Подставив ток из (3) в (1), получим

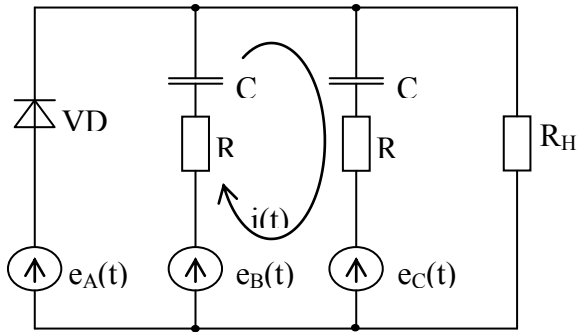


Рис. 2. Эквивалентная схема выпрямителя при обрыве RC-цепи в фазе А

$$\dot{U}_{\text{НИП}} = E e^{j\frac{2\pi}{3}} + \frac{\sqrt{3}E|X_C|e^{-j\frac{\pi}{2}}}{2|X_C|} = E \left( e^{j\frac{2\pi}{3}} + \frac{\sqrt{3}}{2} e^{-j\frac{\pi}{2}} \right) = -\frac{E}{2}. \quad (4)$$

Следовательно, пульсация  $u_{\text{НИП}}(t)$  выходного напряжения неисправной схемы  $u_{\text{НИП}}(t)$  описывается выражением

$$u_{\text{НИП}}(t) = \frac{\sqrt{2}E}{2} \sin(\omega t \pm \pi) = -\frac{e_A(t)}{2}. \quad (5)$$

Таким образом, пульсация выходного напряжения имеет амплитуду, равную половине амплитуды фазной ЭДС и начальную фазу, отличающуюся на угол  $\pi$  от начальной фазы ЭДС, в ветви которой имеется неисправность RC - цепочки. Теперь можно записать аналитическое выражение для выходного напряжения  $u_{\text{НИП}}(t)$  неисправной выпрямительной схемы:

$$u_{\text{НИП}}(t) = \frac{E_m}{2} [3 - \sin(\omega t + \psi_A)]. \quad (6)$$

Достоверность полученных результатов проверялась экспериментальными исследованиями. К схеме выпрямителя, собранной как показано на рис. 1, прикладывалось синусоидальное напряжение с действующим значением 9 В и частотой 50 Гц от симметричного трехфазного источника. Выходное напряжение измерялось осциллографом и вольтметром. Использовались резисторы с сопротивлением 330 Ом и конденсаторы с емкостью 0,15 мкФ. Для определения фазных соотношений осуществлялась синхронизация развертки осциллографа одним из фазных питающих напряжений.

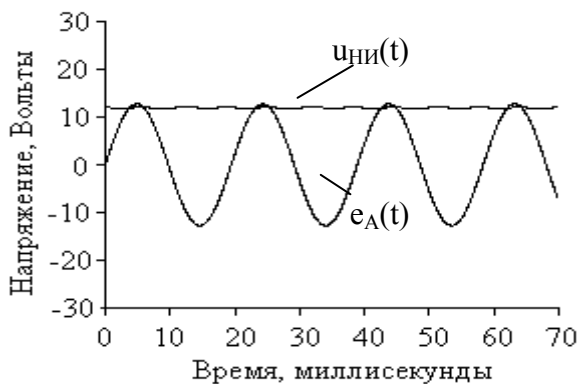


Рис. 3. Диаграммы ЭДС  $e_A(t)$  и выходного напряжения  $u_{\text{НИП}}(t)$  в исправной схеме

На рисунках 3, 4 представлены осциллограммы выходных напряжений рассматриваемой схемы выпрямления при отсутствии и при наличии отказов соответственно. Из рис. 3 видно, что выходное напряжение исправной схемы примерно равно амплитуде фазного напряжения источника и практически лишено пульсаций. В неисправ-

ной схеме (рис. 4) наблюдается повышение постоянной составляющей выходного напряжения примерно на 50 % и появляется гармоническая пульсация с амплитудой, примерно равной половине от амплитуды фазного напряжения источника питания. В этом случае также видно, что колебания выходного напряжения и напряжения источника фазы А находятся в противофазе.

Экспериментальные исследования практически подтверждают теоретические результаты.

Таким образом, информативными параметрами, отражающими техническое состояние вспомогательных РС-цепей в рассмотренной схеме выпрямления, являются:

- появление в кривой выпрямленного напряжения в режиме холостого хода гармонической пульсации с частотой, равной частоте питающей сети;
- увеличение постоянной составляющей в выпрямленном напряжении в режиме холостого хода.

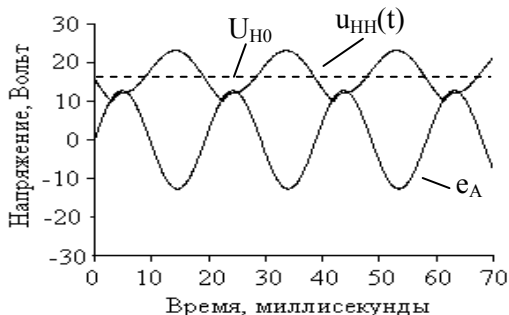


Рис. 4. Диаграммы ЭДС  $e_A(t)$  и выходного напряжения  $u_H$  в неисправной схеме

## ЛИТЕРАТУРА

1. Техническая диагностика вентиляльных преобразователей / В.В. Маркин, В.Н. Миронов, С.Г. Обухов. — М.: Энергоатомиздат, 1985. — 152 с.
2. Глух Е.М., Зеленев В.Е. Защита полупроводниковых преобразователей. — М.: Энергоиздат, 1982. — 152 с.