

## Информационно-телекоммуникационные технологии и электроника

**ОПТИМИЗАЦИЯ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ  
ЧАСТОТЫ ДЛЯ ПИТАНИЯ  
ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ И  
ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ УСТАНОВОК**

Магазинник Л.Т., Магазинник Л.М.

Ульяновский государственный  
технический университет,  
Ульяновск

Регулируемые преобразователи частоты, как непосредственные (НПЧ), так и со звеном постоянного тока и автономным инвертором напряжения (ПЧ с АИН) или тока (ПЧ с АИТ) получили широчайшее распространение в электроприводе и электротехнологии, поэтому их совершенствование, минимизация стоимости и повышение надежности имеют большое значение.

В [1-4] предложен ПЧ, силовая схема которого практически идентична трехфазной мостовой схеме ПЧ с АИТ, но как и в НПЧ, коммутация тиристорных инвертора сетевая (естественная) и есть двухсторонняя связь между нагрузкой и сетью, то есть возможен режим рекуперации энергии в сеть, а частотный диапазон примерно такой же, как и в «классическом» НПЧ.

Таким образом, очевидные преимущества предлагаемого ПЧ заключаются в простоте его силовой схемы: два тиристорных моста вместо шести в «классическом» НПЧ аналогичной пульсности.

Однако очевидны и недостатки: как у всех ПЧ со звеном постоянного тока имеет место двойное преобразование энергии (что, учитывая малые потери в тиристорах, не столь существенно), а главное, в цепь питания выпрямителя вводятся три однофазных насыщающихся трансформатора (рис.1).

Следовательно, решение вопроса о конкурентности ПЧ по сравнению с обычным НПЧ возможно лишь с учетом основных параметров упомянутых коммутирующих трансформаторов, рассчитанных для конкретных нагрузок.

В докладе изложена методика расчета основных параметров коммутирующих трансформаторов и определены эти параметры применительно к использованию в качестве нагрузки асинхронных короткозамкнутых двигателей серии «4А», 380 В.

Важнейший параметр коммутирующих трансформаторов - произведение сечения сердечника  $S$  на число витков первичной обмотки  $W_1$  - можно оценить по отношению интегралов:

$$(SW_1)^* \approx \frac{\int_0^{a+g} \sin wt \cdot dwt}{\int_0^p \sin wt \cdot dwt} = \frac{1}{2} \int_a^{a+g} \sin wt \cdot dwt \quad (1)$$

где  $(SW_1)^*$  - относительное значение вольтсекундного интеграла на коммутирующем трансформаторе по отношению к вольтсекундному интегралу сетевого напряжения за один полупериод,  $\alpha$  - угол запаздывания включения выпрямителя.

При заданном токе нагрузки приращение магнитного потока  $d\Phi$  за время коммутации постоянно и не зависит от  $\alpha$ , что позволяет определить  $(SW_1)^*$  для любого частного значения  $\alpha$ .

Действительно, при  $\alpha = 0$  выражение (1) дает:

$$(SW_1)^* = \frac{1}{2} \int_0^{\arccos(1-A)} \sin wt \cdot dwt = \frac{A}{2}, \quad (2)$$

а при  $\alpha = \pi/2$

$$(SW_1)^* = \frac{1}{2} \int_{p/2}^{\arccos \sqrt{1-A^2}} \sin wt \cdot dwt = \frac{A}{2}, \quad (3)$$

$$\text{где } A = (I_n \cdot K_T \cdot 2X_a \cdot K_{TP}) : U_{\text{лм}} \quad (4)$$

( $I_n$  - номинальный ток нагрузки;  $K_T$  - коэффициент перегрузки по току;  $X_a$  - суммарный реактанс одной фазы в контуре коммутации).

Реактансом рассеяния коммутирующего трансформатора можно пренебречь, так как он значительно меньше реактансов фаз двигателей (нагрузки).

В этом случае при известном реактансе нагрузки выражения (3) и (4) позволяют легко рассчитать вольтсекундный интеграл  $(SW_1)^*$ .

Например, для асинхронных короткозамкнутых двигателей серии «4А», 380 В во всем диапазоне мощностей до 315 кВт расчеты дают следующие результаты:

$$(2,3 \cdot K_T) \% \leq (SW_1)^* \leq (5 \cdot K_T) \% \quad (5)$$

- для двигателей с синхронными частотами вращения 3000, 1500 и 1000 об/мин и

$$(4,7 \cdot K_T) \% \leq (SW_1)^* \leq (6,3 \cdot K_T) \% \quad (6)$$

- для двигателей с  $n_0 = 750$  об/мин. (10) и (11) получены для  $K_{TP} = 1,2$ , то есть для  $i_m^* = 20\% I_{\text{ном}}$ .

В реальной ситуации  $i_m^* \ll 20\% I_{\text{ном}}$ , поэтому коэффициент трансформации может быть уменьшен, например, до  $K_{TP} = 1,1$  и, соответственно, уменьшится  $(SW_1)^*$  в (10) и (11).

Относительная (реактивная) мощность коммутирующих трансформаторов может быть определена как энергия коммутации в единицу времени, отнесенная к мощности установки. Учитывая, что при заданном токе нагрузки  $I$  энергия единичной коммутации равна  $LI^2/2$ , где  $L = X:w$  - индуктивность фазы в контуре коммутации,  $I \leq I_{\text{ном}}$  по условиям нагрева, число фаз равно трем, а при  $f_1 = f_2 = 50$  Гц за  $T = 0,01$  с в фазе совершается коммутация, реактивная мощность коммутирующих трансформаторов:

$$Q^* = \frac{3I_{\text{ном}}^2 \cdot X \cdot h}{T \cdot w \cdot P_{\text{ном}}} \quad (7)$$

где  $P_{\text{ном}}$  - номинальная мощность нагрузки (двигателя);  $\eta$  - КПД;  $w = 314$ ;  $X$  - фазный реактанс в контуре коммутации.

Расчеты по выражению (7) дают следующие результаты:

-  $2\% \leq Q^* \leq 2,65\%$  – в группе двигателей 3000, 1500 и 1000 об/мин,

-  $2,8\% \leq Q^* \leq 4,15\%$  – в группе 750 об/мин.

Сопоставление результатов расчета относительной мощности коммутирующих трансформаторов и вольтсекундного интеграла  $(SW_1)^*$  позволяют заключить, что последний является определяющим, то есть «установленная мощность» коммутирующих трансформаторов в рассмотренном случае не превышает 5 % мощности установки в целом – при номинальных нагрузках и 10 % - при возможных двукратных перегрузках.

В «классическом» безтрансформаторном НПЧ между сетью и преобразователем устанавливаются токоограничивающие реакторы (воздушные или с сердечником). В исследуемом ПЧ роль токоограничивающих реакторов могут выполнять коммутирующие трансформаторы, вполне соизмеримые с реакторами по массогабаритным показателям. В то же время, как упомянуто выше, число силовых тиристорov в описанном ПЧ втрое меньше. Следовательно, проще конструкция ПЧ и его система управления (меньше каналов управления). Установка в целом получается значительно компактнее, чем обычный НПЧ и ее применение для низковольтных асинхронных двигателей «4А» представляется оправданным, особенно для приводов, работающих в старт-стопном режиме, в режиме переменных частот вращения, сопровождающихся «подтормаживанием» при переходе на меньшую частоту вращения, то есть в тех случаях, когда режим рекуперативного торможения занимает существенную часть времени в рабочем цикле привода (трудности реализации режима рекуперации в ПЧ с автономными инверторами общеизвестны).

Заметим, что как и в известных НПЧ, на низких частотах может быть осуществлена модуляция угла запаздывания включения  $\alpha$  с целью получения квазисинусоидального тока в обмотках двигателя.

Применение ПЧ с описанным способом коммутации инвертора может оказаться весьма эффективным и, например, в надсинхронном вентильном каскаде, где коммутирующие трансформаторы используются лишь в окрестности перехода через синхронную частоту вращения двигателя [1], а также в синхронных частотно-регулируемых электроприводах (вентильных двигателях) – для разгона до частоты вращения  $n \approx (10-15)\% n_0$ , когда уже возможна коммутация за счет ЭДС самого двигателя, однако данная рекомендация требует как схемных проработок, так и дальнейшего количественного анализа, выходящих за рамки данного доклада.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Магазинник Л.Т., Магазинник Г.Г. Надсинхронный вентильный каскад. Патент России № 2073309. Оpubл. 10.02.97 г. в Б.И., № 4.

2. Магазинник Г.Г. Электропривод переменного тока. А.С. СССР № 1280688. Б.И. № 6 от 15.02.90.

3. Магазинник Л.Т., Магазинник Г.Г. Преобразователь частоты для тихоходных двигателей. Изв. вузов. «Электромеханика», № 1-2, 1996 г.

4. Магазинник Л.Т. Дискретно-регулируемый преобразователь частоты для электроприводов переменного тока. Изв. вузов «Проблемы энергетики», № 5-6, 2004, с.48...55.

#### СИНТЕЗ СТРУКТУРИРОВАННОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ЗАДАЧИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ МЕТОДА «ВЕРБА» НА ОСНОВЕ ПРИНЦИПА ПОЛЯРНОСТИ

Олейников Д.П., Бутенко Л.Н.  
Волгоградский государственный  
технический университет,  
Волгоград

Методы вербального анализа решений (ВАР) предназначены для принятия решений в слабоструктурированных и неструктурированных предметных областях и не преобразуют качественные суждения в количественные. Необходимым требованием, значительно ограничивающим применение методов ВАР, в частности, метода «Запрос», является требования независимости критериев по понижению качества, полной согласованности предпочтений эксперта. Следует заметить, что человек в процессе принятия решений значительно упрощает предметную область, что обусловлено особенностями его системы обработки информации. Методы ВАР учитывают этот факт, однако для их применения следует использовать упрощенное описание задачи принятия решений. Создание метода принятия решений, снимающего описанные ограничения, по нашему мнению, является актуальной задачей.

Нами были выдвинуты требования к новому методу принятия решений:

- 1) качественные суждения не преобразуются в количественные;
- 2) структурированное представление задачи принятия решения (ЗПР) позволяет учитывать зависимость критериев;
- 3) структурированное представление ЗПР позволяет учитывать сложность предметной области;
- 4) в предпочтениях эксперта допустима частичная рассогласованность

Основополагающую роль в процессе синтеза нового метода принятия решений играет подсистема структурированного представления задачи принятия решений (ЗПР). При создании данной подсистемы мы использовали подход, основанный на полярных шкалах и состоящий из следующих этапов:

- 1) выбор пары систем в качестве базы синтеза новой системы;
- 2) выделение критериев, полярные оценки которых соответствуют характеристикам сравниваемых систем (подсистем);
- 3) выбор базовой подсистемы, на основании которой синтезируется новая система;
- 4) формирование требований к создаваемой системе (подсистеме) с учетом выбранной стратегии (цели), а также с учетом ограничений, накладываемых ранее синтезированными системами (подсистемами);
- 5) выбор элементов базовых систем, реализующих выдвинутые требования;