

## ВЫБОР ПОСТОЯННОЙ ВРЕМЕНИ ФИЛЬТРА НА ВХОДЕ ТИРИСТОРНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ В ЭЛЕКТРОПРИВОДЕ С РЕЛЕЙНОЙ СИСТЕМОЙ УПРАВЛЕНИЯ

Зеленов А.Б., Андреева Н.И.

Донбасский горно-металлургический институт

info@dgmi.al.lg.ua

*The substantiation of a choice constant time of the filter on an input of system impuls-phase management in the electrodrive with relay regulators, working in sliding mode.*

В последние годы получил дальнейшее развитие разработанный в ДГМИ вентильный электропривод постоянного тока с системой оптимального релейного управления, в которой релейные регуляторы работают в скользящем режиме. Если в качестве вентильного преобразователя используется ШИП, то он сам может работать в скользящем режиме с частотой 1÷2 кГц (если применить высокочастотные тиристоры серии ТЧ и релейные регуляторы на интегральных схемах). Тиристорный электропривод (ЭП) с ШИП можно рекомендовать лишь для малых мощностей (до 7÷10 кВт), так как при больших мощностях коммутационные потери в ШИП значительно снижают КПД такого ЭП [1].

Реверсивные тиристорные преобразователи (ТП) с фазовым управлением не могут работать с большой частотой переключений скользящего режима, при которой существенно скажется преимущество релейного управления с точки зрения получения низкой чувствительности к изменениям параметров объекта. Большая частота переключений силовых цепей электромеханического объекта с вентильным преобразователем нежелательно и с точки зрения коммутации электрических машин.

Реализация скользящих режимов работы в ЭП с фазовым управлением ТП возможна, если релейный регулятор воздействует на систему импульсно-фазового управления (СИФУ) тиристорами, реагирующую на среднее значение управляющего сигнала. Согласование СИФУ с системой релейного управления осуществляется через фильтр с постоянной времени  $T_\phi$ .

В статье рассматривается вопрос о выборе этой постоянной времени и связи ее с частотой скользящего режима  $f_c$  для обеспечения допустимой асимметрии  $\Delta\alpha$  управляющих импульсов в ТП.

СИФУ ТП как преобразователь непрерывного изменяющегося сигнала напряжения фильтра  $U_\phi$  в дискретный промежуточный сигнал  $\alpha$  приводит к тому, что вентили силовой части работают асимметрично по отношению к сетевому напряжению. Величина асимметрии определяется размахом изменений  $U_\phi$  (см. рис. 1). Как видно из рис. 1, изменение управляющего напряжения ТП на десятки процентов вызывает асимметрию фазы  $\Delta\alpha$  управляющих импульсов  $U_u$  на десятки градусов и, как результат, пофазную неравномерность загрузки вентиля и согласующего трансформатора.

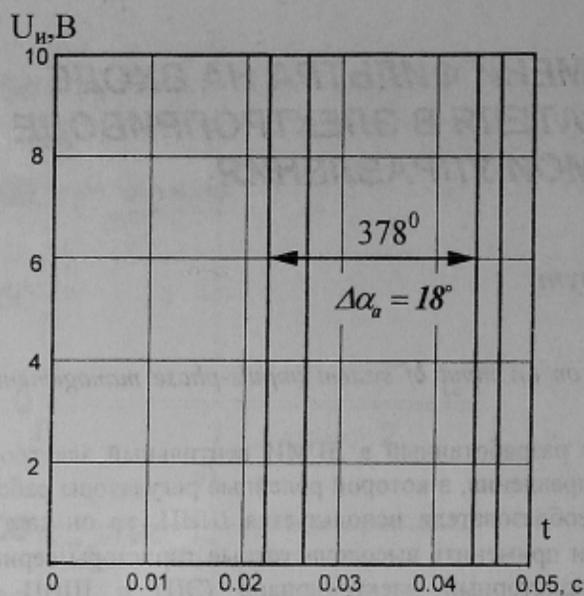
Релейный сигнал  $U_y$ , сформированный системой оптимального управления ЭП, представляет собой меандр с переменной скважностью, и для непосредственного управления ТП, как правило, непригоден. Если после релейного регулятора тока ставить фильтр в виде аperiодического звена первого порядка с постоянной времени  $T_\phi$ , то в квазиустановившемся режиме работы регулятора со скважностью  $\gamma = 0,5$ , выходной сигнал фильтра носит разнополярный экспоненциальный характер с максимальным размахом  $\Delta U_{\phi m}$ . Его величина будет определяться частотой  $f_c$  скользящего режима системы и постоянной времени фильтра  $T_\phi$ .

$$\frac{\Delta U_{\phi m}}{U_{ym}} = \Delta \dot{U}_{\phi m} = 2 \cdot \frac{1 - e^{-\frac{1}{2f_c T_\phi}}}{1 + e^{-\frac{1}{2f_c T_\phi}}} = 2 \left( 1 - \exp\left(-\frac{1}{2f_c T_\phi}\right) \right) \left( 1 + \exp\left(-\frac{1}{2f_c T_\phi}\right) \right)^{-1}, \quad (1)$$

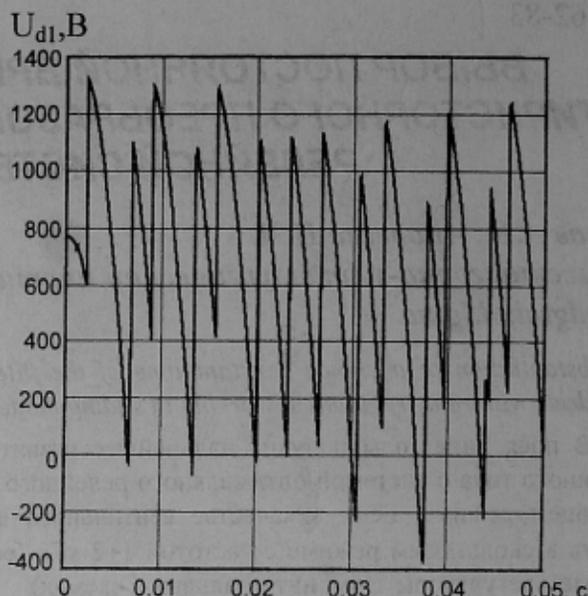
где  $U_{ym}$  - максимальный уровень выходного напряжения регулятора.

При любых других значениях  $\gamma$  размах пульсаций  $\Delta U_\phi$  будет всегда меньше  $\Delta U_{\phi m}$ , поэтому в качестве расчетного примем последний.

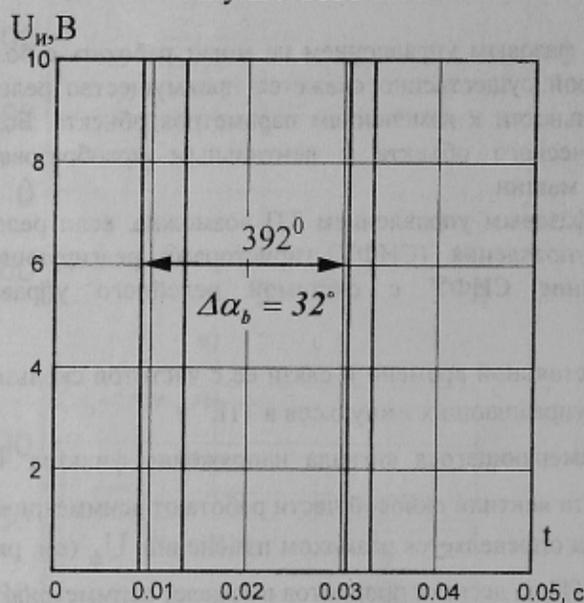
Величина асимметрии  $\Delta\alpha$  для ТП является регламентируемым параметром, поскольку вызывает неравномерность загрузки вентиля, пульсации потока в стержнях силовых трансформаторов и другие нежелательные явления.



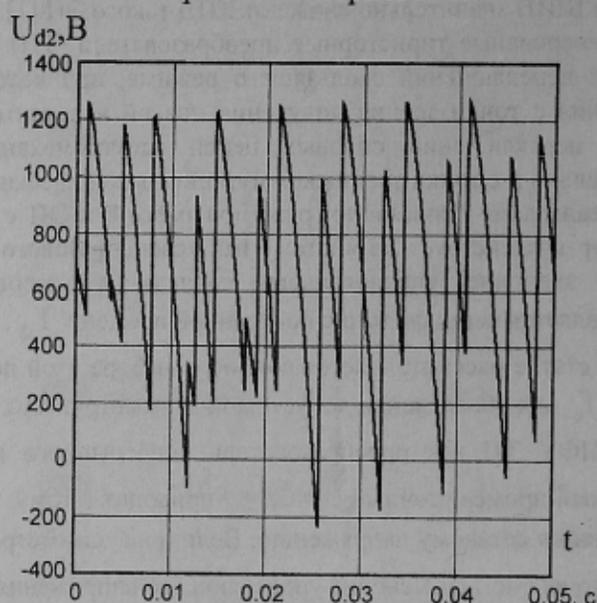
импульс СИФУ-А



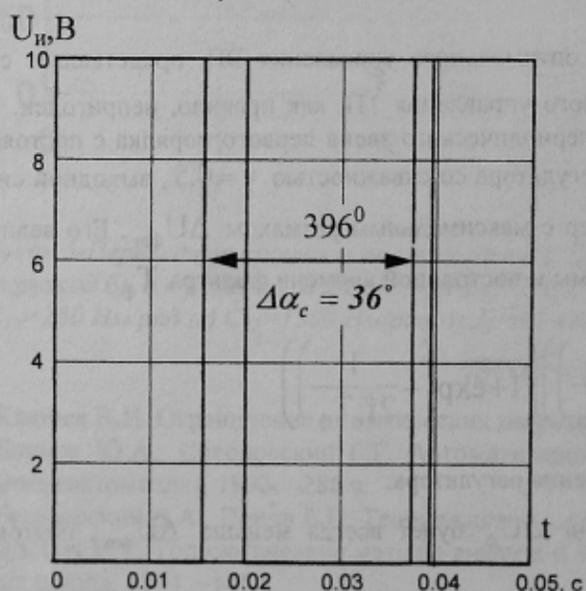
напряжение первого ТП



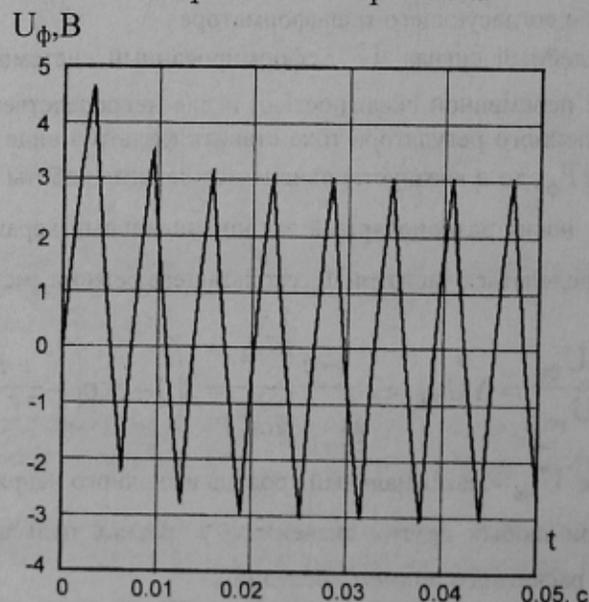
импульс СИФУ-В



напряжение второго ТП



импульс СИФУ-С



Напряжение фильтра

Рисунок 1 - Осциллограммы управляющих импульсов и выходных напряжений отдельных мостов в 12-пульсном ТП при пульсирующем управляющем сигнале

Её уровень определяется размахом пульсаций  $\Delta \dot{U}_\phi$  и видом развертки, применяемой в СИФУ. Наиболее часто употребляемая форма развертывающего напряжения - линейная (пилообразная) и синусоидальная.

При линейной регулировочной характеристике СИФУ (пилообразная развертка) связь между  $\Delta\alpha$  и  $\Delta \dot{U}_\phi$  следующая :

$$\Delta\alpha = \frac{\pi}{2} \cdot \Delta \dot{U}_\phi = \pi \cdot \frac{1 - e^{-\frac{1}{2f_c T_\phi}}}{1 + e^{-\frac{1}{2f_c T_\phi}}} = \pi \left( 1 - \exp\left(-\frac{1}{2f_c T_\phi}\right) \right) \left( 1 + \exp\left(-\frac{1}{2f_c T_\phi}\right) \right)^{-1} \quad (2)$$

При арккосинусной характеристике (синусоидальная развертка) величина асимметрии зависит от выбранной рабочей точки ("0")

$$\Delta\alpha = \arccos\left(\dot{U}_{\phi_0} + \Delta \dot{U}_\phi\right) - \arccos \dot{U}_{\phi_0}, \quad (3)$$

где  $\dot{U}_{\phi_0} = \frac{U_{\phi_0}}{U_{\text{ум}}}$  - относительное значение управляющего напряжения в выбранной точке регулировочной характеристики СИФУ.

И хотя при одинаковом размахе пульсаций  $\Delta U_\phi$  величина асимметрии на концах диапазона регулирования  $\alpha$  наибольшая, её эффект имеет ослабленный характер из-за косинусной характеристики силовой части ТП. Наиболее сильное влияние  $\Delta\alpha$  обнаруживается в ней при  $\dot{U}_{\phi_0} = 0$ , причем оно меньше в  $\frac{\pi}{2}$  раз, чем в случае линейной развертки. Поэтому для оценки асимметрии выбираем выражение (2). На рис. 3.3 представлена зависимость уровня асимметрии фазы импульсов управления ( $\Delta\alpha_m$ ) от параметра  $f_c T_\phi$ .

Задаваясь желаемым уровнем асимметрии  $\Delta\alpha_m$  (стандарт на СИФУ требует не более 3 эл.град., в реальных ТП он может достигать и 5 эл.град.), определяют величину  $f_c T_\phi$ , при которой достигается этот результат. Как показали многочисленные исследования оптимальных систем релейного управления, при использовании массовых аналоговых микросхем можно достигнуть частоты скользящих режимов в 2-3 кГц. В этом случае для обеспечения  $\Delta\alpha_m = 3$  эл.град. необходим фильтр, удовлетворяющий соотношению  $f_c T_\phi \geq 15$ , то есть при частотах скользящего режима  $f_c = 2 \div 3$  кГц, постоянная времени  $T_\phi$  должна быть равна 5÷6 мс.

Дальнейшее повышение частоты  $f_c$  может быть достигнуто микросхемами со значительно меньшими зонами нечувствительности и более узкими петлями гистерезиса. Таким образом, постоянная времени фильтра  $T_\phi = 3 \div 5$  мс является вполне приемлемой для обеспечения максимальной асимметрии в 3 эл.град.

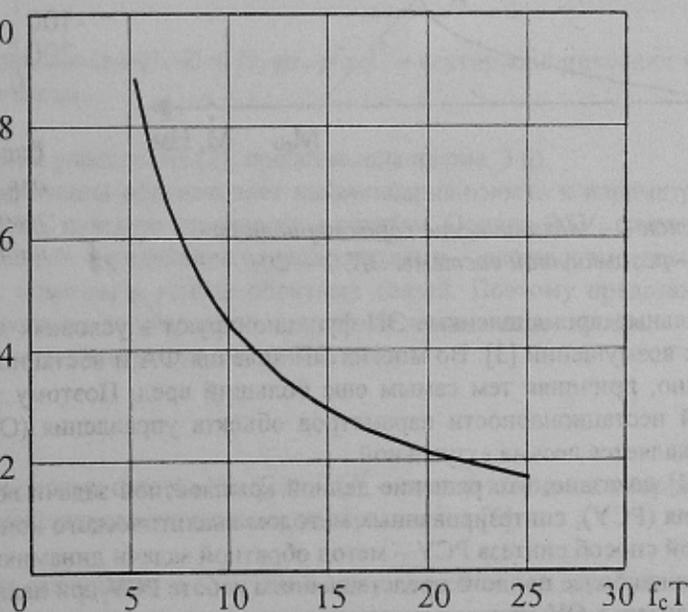


Рисунок 2 - Зависимость уровня асимметрии открывающих импульсов от параметра  $f_c T_\phi$

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Зеленов А.Б. и др. Тиристорный электропривод с оптимальным управлением //Электромашиностроение и электрооборудование. Респ. межвед. научно-техн. сб., - К.: Техника, 1975, вып.21, с.3-8.