

## РАСЧЕТ УГЛА УПРАВЛЕНИЯ В СИСТЕМАХ НЕПРЕРЫВНО-ИМПУЛЬСНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

Ю. М. АЧКАСОВ, А. И. ЗАЙЦЕВ

(Представлено научным семинаром электромеханического факультета)

При непрерывно-импульсном регулировании скорости вращения электродвигателя постоянного тока в системе УРВ-Д в зависимости от глубины регулирования меняется угол зажигания ионного преобразователя, причем характер выпрямленного напряжения остается импульсным [1, 2]. Угол зажигания в данном случае равен углу управления и должен быть задан заранее для интересующего нас режима нагрузки.

Определим закон изменения угла зажигания  $\vartheta_z$  при непрерывно-импульсном регулировании в зависимости от диапазона регулирования и нагрузки на валу электродвигателя, то есть зависимость  $\vartheta_z = f(\varepsilon, t_{cp})$ , где  $\varepsilon$  — относительное значение напряжения, определяющее скорость двигателя;  $t_{cp}$  — относительное значение среднего тока якоря электродвигателя.

Для обеспечения режима непрерывно-импульсного регулирования угол зажигания при скорости  $n_1 < n_1$  должен отличаться от угла зажигания в случае непрерывного регулирования при той же скорости  $n_1$ . (Имеется в виду, что нагрузка на валу двигателя в том и другом случае неизменная по величине). Это ясно из того, что в режиме непрерывно-импульсного регулирования выпрямитель работает с пропусками зажигания, а в режиме непрерывного регулирования без пропусков; поэтому для обеспечения той же самой нагрузки ( $t_{cp}$ ) импульсы тока через каждый анод в первом режиме должны быть больше по площади, чем во втором режиме. Следовательно, угол зажигания для первого (непрерывно-импульсного) режима должен быть меньше угла зажигания второго (непрерывного) режима.

Для определения зависимости  $\vartheta_z = f(\varepsilon, t_{cp})$  поставим условие: система регулирования в непрерывно-импульсном режиме должна обеспечивать стабилизацию скорости при изменении нагрузки в пределах:

$$0 < t_{cp} < \lambda t_n, \quad (1)$$

где  $\lambda$  — коэффициент допустимой нагрузки двигателя по току ( $\lambda = 1 \div 2,5$ );

$t_n$  — относительное значение номинального тока якоря двигателя.

В практике стабилизация скорости обычно необходима при перегрузках, не превышающих  $1,5 t_n$ .

Таким образом, при нагрузке на валу двигателя, равной  $\lambda_{н}$  система переходит в режим непрерывного регулирования, обеспечивая тем самым работу двигателя на мягкой части механических характеристик (рис. 1).

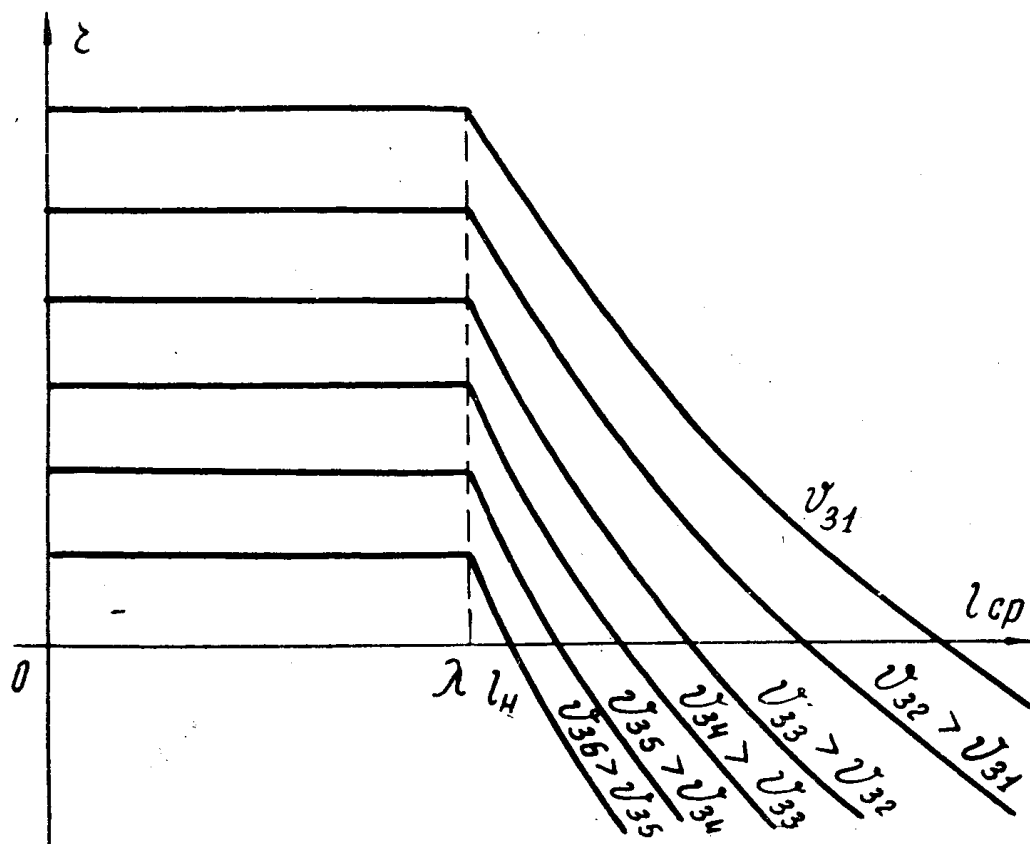


Рис. 1.

При нагрузке, равной  $\lambda_{н}$ , через якорь двигателя протекает ток  $I_{ср m}$ , определяемый выражением

$$I_{ср m} = \frac{mS_1}{2\pi}, \quad (2)$$

где  $m$  — число анодов выпрямителя;

$S_1$  — площадь импульса тока, проходящего через один вентиль [1].

$$S_1 = \left[ \cos \vartheta_3 - \cos \left( \vartheta_3 + \frac{2\pi}{m} \right) - \varepsilon \frac{2\pi}{m} \right]. \quad (3)$$

На основании выражений (1) и (2) можем записать

$$I_{ср m} = \frac{mS_1}{2\pi} = \lambda_{н}. \quad (4)$$

Подставив значение  $S_1$ , из выражения (3) получим:

$$I_{ср m} = \lambda_{н} = \frac{m}{2\pi} \left[ \cos \vartheta_3 - \cos \left( \vartheta_3 + \frac{2\pi}{m} \right) - \varepsilon \frac{2\pi}{m} \right], \quad (5)$$

откуда

$$\cos \vartheta_3 - \cos \left( \vartheta_3 + \frac{2\pi}{m} \right) = \frac{2\pi}{m} (\varepsilon + \lambda_{н}). \quad (6)$$

Преобразуем левую часть выражения (6) по формуле разности двух косинусов:

$$-2 \sin \frac{\vartheta_3 + \vartheta_3 + \frac{2\pi}{m}}{2} \sin \frac{\vartheta_3 - \vartheta_3 - \frac{2\pi}{m}}{2} = \frac{2\pi}{m} (\varepsilon + \lambda_{II}), \quad (7)$$

или

$$\sin \left( \vartheta_3 + \frac{\pi}{m} \right) = \frac{\pi(\varepsilon + \lambda_{II})}{m \sin \frac{\pi}{m}}. \quad (8)$$

Данное тригонометрическое уравнение имеет бесконечное множество корней, заключающихся в двух решениях:

$$1) \vartheta_3 = (2k + 1) \pi - \frac{\pi}{m} - \arcsin \left[ \frac{\pi(\varepsilon + \lambda_{II})}{m \sin \frac{\pi}{m}} \right]; \quad (9)$$

$$2) \vartheta_3 = 2k\pi - \frac{\pi}{m} + \arcsin \left[ \frac{\pi(\varepsilon + \lambda_{II})}{m \sin \frac{\pi}{m}} \right], \quad (10)$$

где  $k$  — любое целое число.

Очевидно, что в режиме выпрямления действительным будет первое решение, а так как угол зажигания отсчитывается от начала синусоиды переменного напряжения, выражение (9) можно записать в следующем виде:

$$\vartheta_3 = \pi - \frac{\pi}{m} - \arcsin \left[ \frac{\pi(\varepsilon + \lambda_{II})}{m \sin \frac{\pi}{m}} \right]. \quad (11)$$

Таким образом, для предварительно выбранного двигателя мы можем определить закон регулирования угла зажигания  $\vartheta_3$ , при соблюдении которого площади импульсов тока во всех режимах регулирования будут равны между собой. Это приближает режим непрерывно-импульсного регулирования к режиму оптимального управления по отношению к току якоря двигателя.

При соблюдении закона регулирования, определяемого выражением (11), существенно упрощаются расчеты по определению нагрева электродвигателя в режиме непрерывно-импульсного регулирования. При работе выпрямителя в области непрерывного тока продолжительность импульсов тока через каждый анод остается постоянной, следовательно, квадратичные площади импульсов тока будут также равны между собой.

Для проверки выбранного электродвигателя по нагреву следует определить число импульсов тока, приходящихся на один период переменного напряжения и квадратичную площадь одного импульса тока, проходящего через один вентиль [1].

Наиболее трудоемким в данном расчете является определение квадратичной площади импульса тока, но учитывая, что ее необходимо определить всего лишь один раз, данную методику проверки выбранного двигателя на нагрев можно считать вполне пригодной для инженерных расчетов.

В нижеприведенном примере рассчитан закон регулирования угла зажигания  $\vartheta_3 = f(\varepsilon)$  для системы непрерывно-импульсного регулирования скорости двигателя типа ПН-100:  $U_n = 220$  в,  $I_n = 58,7$  а,  $n_n = 1470$  об/мин,  $T_{я} = 0,0272$  сек,  $U_m = 311$  в.

Система должна обеспечивать стабилизацию скорости в диапазоне нагрузок  $0 < I < 1,5 I_n$ .

В таблице 1 приведены значения угла зажигания, рассчитанного по выражению (11), для  $\lambda = 1,5$ ;  $m = 3$  и различных значений  $\varepsilon$ . Площадь импульса тока через один клапан определялась по выражению (3).

Таблица 1

$\varepsilon$	0,71	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0
$\vartheta_3^\circ$	30	38	60	72	81	90	97,5	105	112
$S_1$	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24

Как видно из таблицы, площадь импульса тока при всех значениях скорости остается постоянной, следовательно, квадратичная площадь импульса тока тоже будет постоянна.

На рис. 2 представлена графическая зависимость  $\vartheta_3 = f(\varepsilon)$ , построенная по таблице 1. С достаточной точностью эта кривая может быть смоделирована двумя прямыми линиями, что существенно упрощает практическую реализацию данного закона регулирования угла зажигания [2].

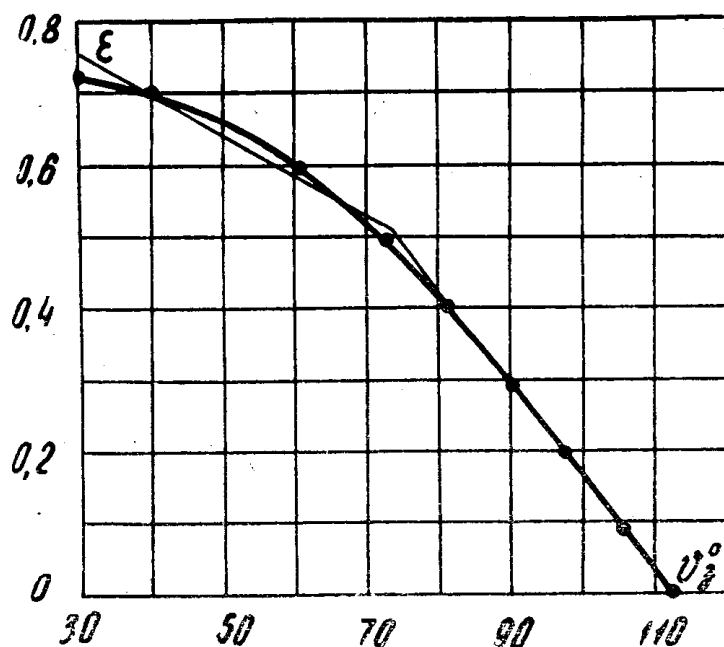


Рис. 2.

### Выводы

1. Непрерывно-импульсное регулирование скорости вращения электродвигателя позволяет во всем диапазоне регулирования обеспечить равные по площади импульсы тока, проходящие через один клапан.

2. Эти импульсы не изменяются по величине при изменении нагрузки в допустимых пределах.

3. Выведенные расчетные формулы позволяют определить закон регулирования угла зажигания ионного преобразователя, обеспечивающий равные по площади импульсы тока во всем диапазоне регулирования.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ю. М. Ачкасов, В. А. Бейнарович, А. И. Зайцев. Проверка двигателя по нагреву в ионном приводе средней мощности с импульсным регулированием скорости вращения. Известия ТПИ, т. 117, 1963.
2. Ю. М. Ачкасов, В. Н. Мишин, А. А. Кувшинов. Тиратронный преобразователь с непрерывно-импульсным регулированием выпрямленного напряжения для электроприводов малой и средней мощности. Сборник ПНТПО № 28-64-1266/53. Изд. ГОСИНТИ, 1964.