

УДК 314.06.02

**ПЛАВНОЕ ИМПУЛЬСНОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ ВОЗБУЖДЕНИЯ
ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА**

Ю. М. Иньков, В. П. Феоктистов, Я. А. Бредихина

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный университет путей сообщений»
ул. Образцова, 9, стр. 9, г. Москва, 127994, Россия. E-mail: inkov05@mail.ru

Рассмотрен электропривод с мощным электродвигателем постоянного тока последовательного возбуждения, плавное регулирование которого в зоне регулирования возбуждения реализовано при помощи широтно-импульсного преобразователя, подключенного параллельно обмотке возбуждения. При этом обоснован универсальный метод расчета регулировочных и пульсационных характеристик электропривода в зоне ослабления возбуждения. Эти характеристики в качестве примера приведены для тягового электродвигателя мощностью 250 кВт.

Ключевые слова: электродвигатель, регулирование возбуждения, импульсное регулирование.

**ПЛАВНЕ ІМПУЛЬСНЕ РЕГУЛЮВАННЯ ЗБУДЖЕННЯ
ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ**

Ю. М. Іньков, В. П. Феоктістов, Я. А. Бредіхіна

Федеральна державна бюджетна освітня установа вищої професійної освіти «Московський державний університет шляхів сполучення»

вул. Образцова, 9, буд. 9, м. Москва, 127994, Росія. E-mail: inkov05@mail.ru

Розглянуто електропривод з потужним електродвигуном постійного струму послідовного збудження, плавне регулювання якого в зоні регулювання збудження реалізовано за допомогою широтно-імпульсного перетворювача, підключеного паралельно обмотці збудження. Обґрунтовано універсальний метод розрахунку регульованих і пульсаційних характеристик електроприводу в зоні послаблення збудження. Як приклад приведено характеристики для тягового електродвигуна потужністю 250 кВт.

Ключові слова: електродвигун, регулювання збудження, імпульсне регулювання.

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ. Электродвигатели постоянного тока последовательного возбуждения широко используют в качестве тяговых на электрическом транспорте, а также в некоторых общепромышленных электроприводах, в которых возможны перегрузки по возвращающему моменту. Для таких двигателей после выхода на естественную характеристику полного поля характерно максимально возможное использование зоны регулирования возбуждения, когда отношение токов обмоток возбуждения I_v и якорной I_{ya} (коэффициент регулирования возбуждения)

$$\beta = \frac{I_v}{I_{ya}} \quad (1)$$

У современных электродвигателей, например, у тяговых двигателей типа 1ДТ003 электропоездов пригородного сообщения, используют $\beta_{min} = 0,19$. У электродвигателей других видов электроподвижного состава имеем $\beta_{min} = 0,3 \div 0,5$. Недостаток применяемых систем регулирования возбуждения состоит в том, что обычно используют ступенчатое изменение β , подключая параллельно обмотке возбуждения резисторы и индуктивный шунт [1]. С точки зрения автоматизации электроприводов, желательно плавное регулирование β .

МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ.

Известно несколько таких систем с импульсными преобразователями (ИП); на рис. 1,а,б показана одна из них соответственно для двигательного ре-

жима и для режима реостатного торможения (вагоны метро, электровозы типов ЧС2Т, ЧС7).

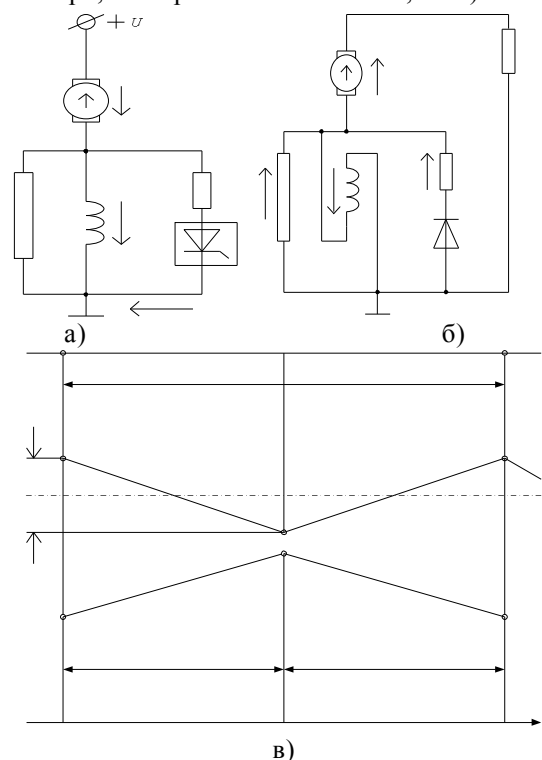


Рисунок 1 – Схема регулирования возбуждения с импульсным преобразователем а) и для режима реостатного торможения б); в) – упрощенная диаграмма, характеризующая электромагнитные процессы импульсного регулирования

На рис. 1, в приведена упрощенная диаграмма, характеризующая электромагнитные процессы импульсного регулирования в таких системах при следующих допущениях:

– ток I_{ya} якорной обмотки постоянен и не пульсирует, поскольку пульсации тока I_v не должны превышать 5–7 %, а магнитный поток двигателя дополнительно сглажен вихревыми токами в остоле двигателя;

– изменения тока в обмотке возбуждения, а также в шунтирующих её цепях r_{sh} и R-ИП считаем линейными в функции времени t для каждого из характерных интервалов периода T импульсного цикла ИП (ИП включен и ИП выключен).

Обычно принимают $r_{sh} = (8 \div 10)r_v$, а сопротивление r_v в принципе может быть равно нулю, но, с точки зрения смягчения аварийных процессов, а также для улучшения регулировочных и пульсационных характеристик желательно иметь $R = \beta_{min} r_v$. При расчете квазистационарного электромагнитного процесса исходными являются дифференциальные уравнения, соответственно, для интервалов “ИП выключен” и “ИП включен”:

$$L \frac{di_v}{dt} + r_{iv} = (I_{ya} - i_v) r_{sh}; \quad (2,а)$$

$$L \frac{di_v}{dt} + r_{iv} = \frac{(I_{ya} - i_v)(r_{sh}R)}{r_{sh} + R}, \quad (2,б)$$

где дробь в правой части второго уравнения – это подключенное параллельно обмотке возбуждения эквивалентное активное сопротивление, соответствующее параллельному соединению r_{sh} и R (при включенном ИП).

Используя ранее сформулированное допущение о линейности изменения i_v в каждом характерном интервале импульсного цикла ИП, можно заменить входящие в соотношение (2) производные от тока возбуждения их линейными конечными приращениями

$$\frac{di_v}{dt} = \frac{\Delta I_v}{(1-\gamma)T} \quad (\text{ИП выключен}); \quad (3,а)$$

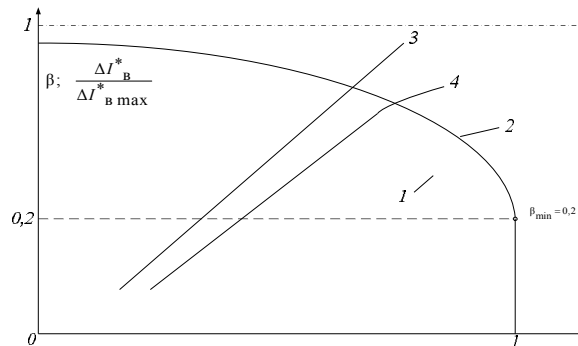


Рисунок 2 – Регулировочные характеристики $\beta(\gamma)$

$$\frac{di_v}{dt} = -\frac{\Delta I_v}{\gamma T} \quad (\text{ИП включен}), \quad (3,б)$$

где γ – коэффициент заполнения импульсного цикла.

Подставив (3,а) в (2,а), а (3,б) в (2,б) и заменив мгновенное значение тока i_v его средним за период T значением I_v , получим систему линейных алгебраических уравнений с двумя неизвестными (ΔI_v и I_v):

$$\begin{cases} \frac{L\Delta I_v}{(1-\gamma)T} + r_v I_v = (I_{ya} - i_v) r_{sh}; \\ \frac{L\Delta I_v}{\gamma T} + r_v I_v = (I_{ya} - i_v) \frac{r_{sh}R}{r_{sh} + R}. \end{cases} \quad (4)$$

При решении уравнений (3) целесообразно перейти к неизвестной $\beta = \frac{I_v}{I_{ya}}$, т.е. к коэффициенту

регулирования возбуждения, что окончательно дает

$$\beta = \frac{r_{sh}(1-\gamma) + R}{r_{sh}(1-\gamma) + R + r_v + \frac{Rr_v}{r_{sh}}}; \quad (5)$$

$$\Delta I_v = \frac{\Delta I_v}{I_v} = \frac{T}{L} \frac{T(1-\gamma)r_v\gamma}{T(1-\gamma) + \frac{R}{r_{sh}}}. \quad (6)$$

Выражение (5) является регулировочной характеристикой $\beta(\gamma)$, а выражение (6) – безразмерной пульсационной характеристикой $\Delta I_v(\gamma)$. Если в схеме (рис. 1,а) положить $R=0$, то получим аналогичные выражения:

$$\beta = \frac{r_{sh}(1-\gamma)}{r_{sh}(1-\gamma) + r_v}; \quad (7)$$

$$\Delta I_v = \frac{T\gamma r_v}{L}. \quad (8)$$

Характеристики в форме аналитических выражений (5–8) представлены на рис. 2 для $r_{sh} = 8r_v$ и для $R=0, R=0,2r_v$.

Видно, что с введением R регулировочная характеристика сглаживается, а пульсации снижаются. Кроме того, в режиме работы электропривода с β_{min} можно полностью выключить ИП, т.е. перейти в беспульсационный режим регулирования возбуждения. Восстановить импульсное регулирование следует при увеличении β или при резком повышении питающего напряжения.

ВЫВОДЫ. Сопоставление с результатами испытаний показывает, что для тяговых электродвигателей мощностью 100–250 кВт при $\beta_{min} = 0,2$ и для тяговых электродвигателей мощностью 600–850 кВт при $\beta_{min} = 0,46$ расхождение расчетных и опытных данных по регулировочным и пульсаци-

онным характеристикам не превышает 8 % от номинального значения тока якорной обмотки $I_{я}$. Это свидетельствует о приемлемости предложенного расчетного метода.

ЛИТЕРАТУРА

1. Жуликов В.Н., Иньков Ю.М., Козлов Л.Г. и др.; под ред. Ю.М. Инькова и Ю.И. Фельдмана. Электродвижной состав с электрическим торможением. – М.: ГОУ “Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте”, 2008. – 412 с.

IMPULSE EXCITATION REGULATION OF SMOOTH DC MOTOR

Yu. Inkov, V. Feoktistov, Ya. Bredikhina

Federal State Budget Institution of Higher Education "Moscow State University of Railway Engineering" ul. Obratsova, 9, str. 9, Moscow, 127994, Russia. E-mail: inkov05@mail.ru

It was consider a powerful electric motor DC series excitation, which in smooth control of the zone of excitation control is implemented using PWM converter is connected parallel to the field winding. In this case justified a universal method for calculating the adjustment, and pulsation characteristics of the actuator in the area of reducing arousal. As an example of these characteristics for the drive motor power of 250 kW.

Key words: motor, control arousal, impulse control.

REFERENCES

1. Zhulikov V.N., In'kov Yu.M., Kozlov L.G. and oth.; ed. by Yu.M. Inkov and Yu.I. Feldman. *Electromobile composition with the electric braking*. – М.: GOU “Training Centre for Education on a railway transport”, 2008. – 412 p. [in Russian]

Стаття надійшла 20.07.2012.

Рекомендовано до друку
д.т.н., проф. Родькіним Д.Й.