

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

Р. Г. ДЖЕНТЕРЕДЖЯН, О. П. МИХАЙЛОВ

ВАРИАЦИЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ ЯКОРЯ И НЕРАВНОМЕРНОСТЬ
 ВРАЩЕНИЯ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ СТАНОЧНЫХ
 ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ

В современных станочных электроприводах полаг диапазон регулирования скорости достигает 10 000 и выше с одновременным обеспечением равномерности вращения не более 30% в области низких скоростей [1]. Неравномерность вращения электроприводов вызывается, в основном, внутренними возмущениями в электродвигателе, среди которых одним из наиболее существенных является неустойчивость сопротивления щеточного контакта. Для обеспечения высокой равномерности вращения появляется необходимость исследования изменения сопротивления щеточного контакта и увеличения его стабильности. Эксперименты показали, что мгновенное значение сопротивления цепи якоря $R(t)$, значительная часть которого приходится на сопротивление щеточного контакта, изменяется в широких пределах. Колебания величины $R(t)$ могут составить 50% и более. Естественно, что подобные отклонения изменяют статические и динамические характеристики двигателя и на низких скоростях неравномерность вращения привода может превышать (35—40)%.

Воспользуемся передаточной функцией двигателя постоянного тока в виде:

$$\Omega = \frac{c}{c^2 + lp(R + Lp)} U - \frac{R + Lp}{c^2 + lp(R + Lp)} M_c \quad (1)$$

где c — конструктивная постоянная машины; l , L — момент инерции и индуктивность якоря.

Дифференцируя (1) по сопротивлению цепи якоря, вводя электромагнитную $T_u = \frac{L}{R_u}$ и электромеханическую $T_m = \frac{1R}{c^2}$ постоянные времени и учитывая, что $U = c\Omega_0$, где Ω_0 — скорость идеального холостого хода, напишем выражение для относительного изменения скорости

$$\dot{\tau}_\omega = - \left\{ \frac{1}{[1 + T_u p (1 + T_m p)]^2} \left(T_m p + \frac{R}{c^2 \Omega_0} M_c \right) \right\} \dot{\tau}_R \quad (2)$$

где $\tau_v = \frac{\Delta\Omega}{\Omega_0}$, $\tau_R = \frac{\Delta R}{R}$ — соответственно относительное изменение скорости и сопротивления цепи якоря.

В общем случае изменение скорости, согласно (2) зависит от величины и спектрального состава вариации сопротивления $\Delta R(t)$.

Экспериментальное исследование процесса изменения сопротивления щеточного контакта проводилось на электродвигателях постоянного тока типов ПБСТ22 и ПБВ100М при различных значениях плотностей тока под щеткой и скорости вращения коллектора. Изменение сопротивления щеточного контакта определялось методом регистрации переходного падения напряжения на щеточном контакте $U_m(t)$. Подобный метод широко применяется при экспериментальном определении вольт-амперной характеристики электрических щеток [2].

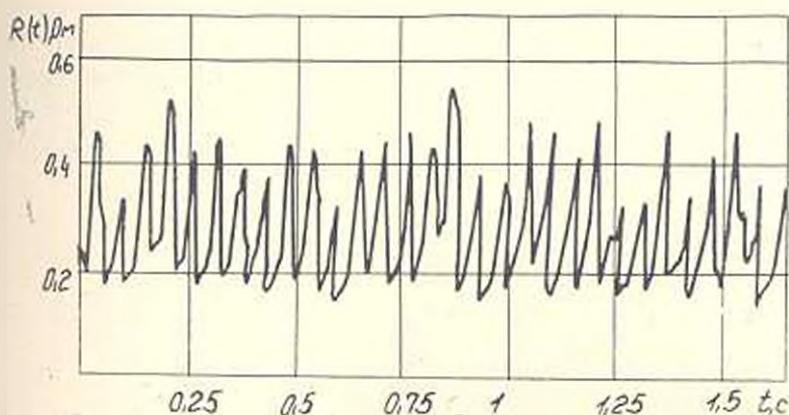


Рис. 1.

На рис. 1 приведен фрагмент кривой изменения сопротивления щеточного контакта во времени для электродвигателя ПБСТ22 при скорости вращения $\omega = 1 \text{ рад/с}$ и плотности тока под щеткой $j = 1 \text{ А/см}^2$.

Многочисленные наблюдения отдельных реализаций процесса изменения сопротивления щеточного контакта показали, что в каждой фиксированной точке измерений величина мгновенного значения сопротивления при неизменных режимах испытаний с течением времени изменяются в пределах до 10%. Значения математического ожидания и дисперсии практически не меняются, следовательно, это позволяет считать характер изменения сопротивления цепи якоря стационарным случайным процессом. На основании этих реализаций определялись корреляционная функция и спектральная плотность изменения сопротивления щеточного контакта. Вычисления проводились на ЭВМ ЕС1022.

Нормированная корреляционная функция случайного процесса изменения сопротивления щеточного контакта аппроксимируется следующей зависимостью:

$$r^b(\tau) = a_1 e^{-\tau} + a_2 \cos K \Omega_0 \tau + \sum_{i=1}^n a_i \cos \Pi_i \Omega_0 \tau, \quad (3)$$

где K — количество коллекторных пластин; a_1, \dots, a_n — коэффициенты, определяемые экспериментально по конкретной реализации графика $\Delta R(t)$.

Целесообразно при исследовании применять спектральную плотность случайной функции, которая связана с корреляционной функцией преобразованием Фурье

$$S_R(\omega) = (\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} r(\tau) e^{-j\omega\tau} d\tau. \quad (4)$$

Типичный характер спектральной плотности сопротивления щеточного контакта приведен на рис. 2. Здесь отчетливо проявляется спектральная составляющая на частоте $K\Omega_0$, связанная с переходом щеток от одной коллекторной пластины к другой. Плотный состав близко расположенных (боковых) частот возникает, в основном, из-за случайного характера изменения сопротивления при движении щеток по пластинам. Низкочастотные составляющие в спектре порождаются вследствие резкого изменения сопротивления в отдельные моменты времени на некоторых участках коллектора.

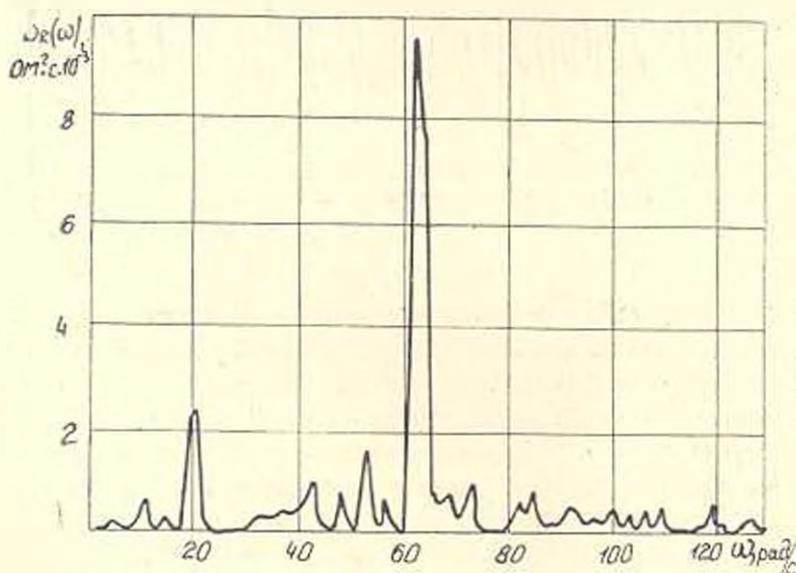


Рис. 2.

Характер графика $S_R(\omega)$ показывает, что на отдельных участках спектральную плотность можно представить узкополосным спектром. Для наиболее ярко выраженной гармоник можно записать:

$$S(\omega) = \sigma^2 \left| \frac{1}{\sigma^2 + (K\Omega_0 - \omega)^2} + \frac{1}{\sigma^2 + (K\Omega_0 + \omega)^2} \right|. \quad (5)$$

где σ^2 — дисперсия вариации сопротивления цепи якоря с частотным диапазоном, соответствующим данному узкополосному спектру.

Используя (5) и (2), можно найти спектральную плотность колебания скорости двигателя, вызванную вариацией сопротивления цепи якоря

$$S_{\dot{\Omega}}(\omega) = \left| \frac{T_u(j\omega) + \frac{RM_c}{c^2 \Omega_0}}{|T_u T_a(j\omega)^2 + T_u(j\omega) + 1|} \right|^2 S_{\dot{R}}(\omega) \quad (6)$$

и дисперсию скорости вращения

$$\sigma^2 \Delta \Omega / \Omega_0 = \frac{1}{c^2 \Omega_0^2} \int_0^{\infty} S_{\dot{\Omega}}(\omega) d\omega. \quad (7)$$

Спектральная плотность, определяемая выражением (6), может быть представлена дробно-рациональной функцией частоты, после чего интеграл (7) получает аналитическое решение. Однако, практическая ценность подобного сложного выражения невелика. Возможно также графоаналитическое решение, при котором строится квадрат функции чувствительности, значения которого затем графически умножаются на спектральную плотность сопротивления. Расчеты по формуле (7) показали, что дисперсия скорости вращения носит выраженный гиперболический характер, существенно повышаясь в области низких скоростей (рис. 3).

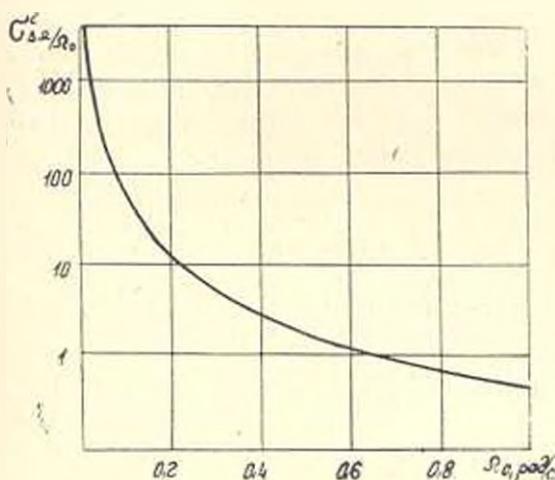


Рис. 3.

Синтез замкнутых систем подчиненного регулирования с применением быстродействующих преобразователей не в состоянии полностью компенсировать неравномерность вращения двигателя, т. к. с изменением сопротивления якорной цепи изменяются постоянные времени T_a и T_u , происходит расстройка контуров тока и скорости, вследствие чего резко ухудшаются динамические характеристики привода. Как показали эксперименты, удвоение числа щеток приводит к снижению дисперсии сопротивления в 8—10 раз и более.

С целью увеличения равномерности вращения станочных электроприводов необходимо проектировать электродвигатели с низкими значениями дисперсии сопротивления щеточного контакта:

— применять мягкие электрографитные и меднографитные щетки со сравнительно низким контактным сопротивлением в паре с медными коллекторами общепромышленного назначения;

— увеличить число щеток в каждом щеточном узле и установить их с некоторым смещением друг относительно друга.

При эксплуатации политура на поверхности коллектора не должна быть нарушена.

ИПО «Армстанок»

17. I. 1985

Ի. Շ. ՆՆՏՐԻՆՅԱՆ, Ս. Պ. ԽԵՆԱՅԵՐ

ԽԱՐԻՑԻ ԳԻՄԱԴՐՈՒԹՅԱՆ ԻՌՈՒՆՈՒՄԸ ԵՎ ՀԱՍՏՈՑՆԵՐԻ
ԷԼԵՏՐՈՐՈՒՆԵՑՄԱՆ ՇԱՐՔԻՉՆԵՐԻ ՊՏՈՒՅՏԻ ԱՆՀԱՎԱՍՏՐԱԶՈՒԹՅՈՒՆԸ

Ա մ փ ո փ ո ռ ռ

Հետազոտված է հաստոցների բանեցման հաստատուն հոսանքի շարժիչների խողանակաչին կոնտակտի դիմադրության ակնթարթային մեծության կախվածությունը մամանակից: Իրականացված է խողանակաչին կոնտակտի դիմադրության փոփոխության պատահական սրոցերի սպեկտրալ վերլուծություն: Պրոդերի սպեկտրային խտության և շարժիչ արագության ըստ դիմադրության փոխանցման ֆունկցիայի միջոցով որոշվել է արագության ցրման մեծությունը ցածր պոտենցիալների դեպքում:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Эффективность применения высокомоментных двигателей в станкостроении [Э. Г. Корзев, И. А. Волкомирский, А. М. Лебедев и др.— М.: Машиностроение, 1981.— 144 с.
2. Ашшц П. С. Щетки для электрических машин.— М.: Госэнергоиздат, 1961.— 215 с.