

УДК 621.316

А.А. Гилёв, канд. техн. наук,

В.С. Жмерёв, канд. техн. наук,

А.В. Котельников

Севастопольский национальный технический университет

Студгородок, г. Севастополь, Украина, 99053

E-mail: root@sevgtu.sevastopol.ua

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ЕМКОСТНОГО ПИТАТЕЛЯ ИНДУКЦИОННО - ДИНАМИЧЕСКИХ ПРИВОДОВ ЭЛЕКТРОАППАРАТОВ

Найдены оптимальные параметры емкостного питателя индукционно-динамических приводов с учётом механических характеристик электрических аппаратов на этапе его проектирования.

Одной из актуальных задач электроаппаратостроения является создание устройств коммутации силовых цепей. Основная проблема проектирования таких устройств заключается в обеспечении минимального времени размыкания цепи для уменьшения эрозии контактов, обусловленной действием дуги, возникающей между ними в момент коммутации. Успешное решение этой задачи ведёт к повышению надёжности и долговечности электрических аппаратов.

Основной путь достижения указанной цели лежит в разработке конструкции привода, обеспечивающего перемещение контактов и определение оптимальных параметров конструкции. Из всех известных приводов электрических аппаратов наибольшим быстродействием обладает индукционно-динамический привод (ИДП). В статье рассматривается задача предварительного выбора основных параметров привода с емкостным накопителем по заранее заданным механическим характеристикам подвижной части аппарата.

Упрощенная схема, иллюстрирующая принцип действия ИДП, представлена на рисунке 1 [1].

Как видно из схемы, действие привода основано на том, что необходимая для размыкания контактов механическая энергия образуется за счет преобразования в индуктивности L электрической энергии, накопленной предварительно в емкостном питателе, образованного источником постоянного

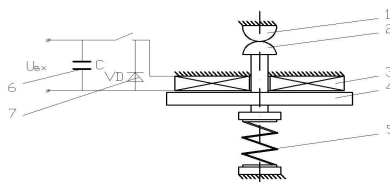


Рисунок 1 – Функциональная схема индукционно-динамического привода с емкостным накопителем:

1 – неподвижный контакт; 2 – подвижный контакт;
3 – катушка-индуктор; 4 – диск; 5 – возвратная пружина

напряжения U_0 и конденсатором C . Схема питателя включает в себя также диод VD, с помощью которого подавляется колебательный процесс в электрической цепи в момент срабатывания ИДП.

Проектирование рассматриваемого механизма представляет достаточно сложную задачу, так как требует совместного рассмотрения механических и электрических процессов, протекающих одновременно в момент срабатывания привода. С целью упрощения этой задачи на практике расчет механической части электроаппарата выполняется независимо от его питателя. В настоящее время электротехническая промышленность выпускает ряд стандартных конструкций аппаратов для коммутации силовых цепей с различными параметрами. При практическом применении этих конструкций необходимо подключение питателя, параметры которого должны обеспечивать полное использование возможностей применяемого ИДП.

Ниже предлагается методика определения параметров емкостного питателя привода, основанная на использовании упрощенной, но достаточно точной с точки зрения практики математической модели, ориентированной на использование компьютера.

В основу математической модели положены некоторые специфические свойства ИДП, выявленные в процессе экспериментального исследования. Эти свойства наиболее наглядно проявляются при совместном рассмотрении экспериментальных зависимостей $X(t)$ и $I(t)$, где $X(t)$ – величина перемещения подвижного контакта, а $I(t)$ – ток в индуктивности L . На рисунке 2 приведены типичные формы таких зависимостей.

Основной особенностью процесса размыкания контактов в ИДП, как это видно из рассматриваемых зависимостей, является то обстоятельство, что перемещение подвижного контакта во время действия положительной полуволны тока в индуктивности L мало по сравнению с величиной полного перемещения. С учетом указанного свойства при построении математической модели, описывающей процесс размыкания контактов, сделаны следующие допущения:

- 1) перемещение подвижного контакта во время действия положительной полуволны тока $i(t)$ равно нулю; с точки зрения физики процесса это допущение эквивалентно тому, что преобразование накопленной электрической энергии емкостного питателя в кинетическую энергию подвижного контакта полностью завершается к моменту начала его движения;

- 2) движение подвижного контакта начинается после завершения действия положительной полуволны тока через индуктивность L ; это допущение можно интерпретировать как замену начального участка кривой $X(t)$ отрезком прямой, как показано на рисунке 2 штриховой линией.

При сделанных допущениях процесс размыкания контактов может быть представлен в виде двух этапов: этапа задержки размыкания с длительностью $t_{\text{зад}}$, во время которого контакт неподвижен; этапа движения контакта до тех пор, пока величина его перемещения не достигнет требуемого значения; длительность этого этапа обозначим как $t_{\text{дв}}$. При таком представлении процесса время размыкания цепи равно

$$T_{\text{разм}} = t_{\text{зад}} + t_{\text{дв}}.$$

Длительность первого этапа определяется в этом случае только скоростью протекания электрических процессов в цепи емкостного питателя, а длительность второго этапа зависит лишь от скорости протекания механических процессов. Взаимосвязь этих двух этапов может быть установлена на основе энергетических соотношений, выражающих процесс преобразования электрической энергии питателя в кинетическую энергию подвижного контакта. В конечном виде эти соотношения сведены к уравнению

$$\frac{C \cdot U_0^2}{2} \cdot \eta = \frac{m \cdot V_0^2}{2},$$

где U_0 – напряжение источника питания; C – ёмкость конденсатора питателя привода; η – коэффициент полезного действия привода, учитывающий как механические потери, так и потери в электрических цепях привода; m – масса подвижного контакта; V_0 – на-

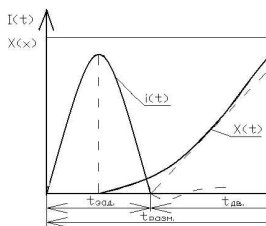


Рисунок 2 – Изменение тока и перемещения при срабатывании индукционно-динамического привода

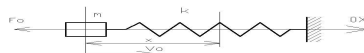


Рисунок 3 – Кинематическая схема подвижной части электрического аппарата: m – масса перемещаемого контакта, который в исходном положении прижат с усилием F_0 ; k – жёсткость пружины, обеспечивающей прижатие контакта; S – требуемая величина перемещения

чальная скорость подвижного контакта.

В соответствии с используемым представлением процесса размыкания в виде двух этапов для определения их длительностей могут быть использованы две различные модели.

Для расчета длительности первого этапа $t_{\text{зад}}$ моделью является колебательный LC-контур. С помощью этой модель описывается переход энергии, запасенной в конденсаторе, в энергию магнитного поля. Время такого перехода соответствует половине периода колебаний в LC-контуре. Поэто-

му $t_{зад} = \pi \cdot \sqrt{L \cdot C}$, где L – фиксированная индуктивность катушки привода, определяемая его конструкцией. Из этого соотношения следует, что минимизация длительности первого этапа достигается уменьшением величины емкости C питателя, значение которой может быть получено из рассмотрения процесса движения контакта.

Движение подвижного контакта можно описать, если представить второй этап процесса размыкания цепи кинематической схемой, показанной на рисунке 3.

В соответствии с предложенной кинематической схемой движение контакта описывается уравнением вида:

$$m \cdot \frac{d^2 x}{dt^2} = -F_0 - k \cdot x,$$

где F_0 – начальная сила притяжения контактов; k – жёсткость пружины (сильфона); x – перемещение контакта.

Определение длительности второго этапа $t_{дв}$ путём интегрирования дифференциального уравнения при начальных условиях $x(0)=0$, $\dot{x}(0)=V_0$, где V_0 – начальная скорость движения контакта, определяемого из соотношения (2):

$$V_0 = U_0 \cdot \sqrt{\frac{C}{m}} \cdot \eta.$$

Интегрирование ведётся до выполнения одного из двух условий:

- 1) $X=S$, где S – требуемая величина перемещения контакта;
- 2) $V \leq 0$.

Выполнение первого условия означает, что процесс размыкания завершен, а момент времени, когда выполняется указанное условие, определяет величину $t_{дв}$. Выполнение второго условия означает, что при выбранных параметрах питателя процесс размыкания цепи невозможен.

Определение величины $t_{дв}$ должно быть осуществлено с учетом конструктивных ограничений привода, которые в данном случае заключаются в том, что средняя скорость движения контакта ограничена предельным значением $U_{дон}$.

С учётом указанных ограничений функционирование привода в пространстве параметров питателя C , U возможно в замкнутой области, вид которой показан на рисунке 4.

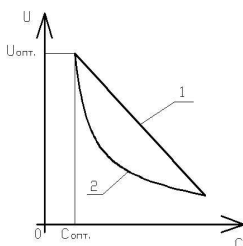


Рисунок 4 – Область функционирования привода в пространстве параметров питания

Левая граница указанной области определяется условием: требуемая величина перемещения контакта достигается при равенстве нулю мгновенной скорости контакта в конечной точке перемещения. Этой границе соответствуют минимальные значения емкости питания C и максимальная величина $t_{\text{дв}}$ для заданной величины питающего напряжения U .

Правая граница области соответствует условию, определяющим тем, что при заданном питающем напряжении размыкание происходит при максимальном значении величины емкости питания C за минимально возможное время $t_{\text{дв}}$.

Оптимальным значениям параметров питания, как следует из свойств границ области функционирования, будут величины C и U , соответствующие точке пересечения указанных границ при минимальном значении емкости. Эти параметры на рисунке 4 отмечены как $C_{\text{опт}}$ и $U_{\text{опт}}$. При выбранных таким образом параметрах достигают минимального значения как величина $t_{\text{дв}}$, так и $t_{\text{зад}}$, что обеспечивает минимальное значение общего времени процесса размыкания.

Построение области допустимых значений напряжения и емкости блока питания позволяют выбрать величины $C_{\text{опт}}$ и $U_{\text{опт}}$, обеспечивающие максимальное быстродействие электрического аппарата с индукционно-динамическим приводом.

Библиографический список

1. Гилёв А.А. Минимизация времени срабатывания индукционно-динамических приводов вакуумных выключателей с использованием полиномиальной модели / А.А. Гилёв // Вестн. СевНТУ, Сер. Оптимизация производственных процессов: Сб. науч. тр. — Севастополь, 1999. — № 2. — С.208 – 210.

Поступила в редакцию 21.11.2005 г.