

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ТИХОХОДНЫХ СИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

А. А. БУИМОВ, Е. В. КОНОНЕНКО, А. Ф. ФИНК

(Представлена научным семинаром кафедр электрических машин  
и общей электротехники)

Рассматривая физическую модель работы синхронных двигателей с электромагнитной редукцией скорости, можно видеть аналогию их с синхронными явнополюсными двигателями. Это позволяет записать уравнения равновесия напряжений редукторных двигателей по продольной и поперечной осям ротора и применить методы исследования, хорошо разработанные для обычных синхронных машин [1, 2]. Основное отличие в данном случае заключается в том, что продольная и поперечная оси редукторного двигателя связаны с ротором не жестко, а вращаются синхронно с первой гармонической составляющей проводимости воздушного зазора. Волна проводимости воздушного зазора, образуемая относительным положением зубцов статора и ротора, в синхронном режиме работы перемещается со скоростью магнитного поля статора. Угол  $\alpha$ , характеризующий взаимное расположение осей поля и проводимости, может в процессе работы оставаться постоянным или изменяться в зависимости от характера нагрузки и соотношения параметров двигателя. Изменение угла  $\alpha$  является причиной неравномерности вращения ротора, так как проводимость зависит от положения зубцов статора и ротора. Исследование уравнения движения ротора, в которое входят параметры двигателя и характер нагрузки, позволяет определить условия возникновения колебаний скорости, их частоту и амплитуду, а также границу устойчивой работы. При этих исследованиях весьма важно измерять и регистрировать колебания скорости вращения ротора реальной машины или выделять и регистрировать характер изменения угла  $\alpha$ .

Однако приборы для измерения этого угла серийно промышленностью не выпускаются, хотя разработано несколько методов, которые могут быть использованы для этих целей. К числу их относятся частотно-оптический [3], инерционный [3], методы, основанные на магнитной записи и с применением фотоэлектрических датчиков [4]. Обладая целым рядом положительных качеств, эти устройства не лишены недостатков. Например, к недостаткам частотно-оптического метода можно отнести сложность изготовления установки и трудность обработки полученных осциллограмм. На точность измерения инерционного метода влияют трение в подшипниках, на которых установлен маховик, а также сложность питания фотодиода и ламп накаливания, установленных на вращающемся диске. При измерениях равномерности вращения с помощью магнитной записи на точность измерения оказывают большое влияние внешние магнитные поля машины. Поэтому авторами для из-

мерения колебаний скорости вращения ротора синхронных редукторных двигателей был применен метод, основанный на использовании стробоскопического эффекта и состоящий из легкого диска с зубцами по окружности и регулируемого источника импульсов света. Диск устанавливается на валу испытываемого двигателя и освещается импульсами света с частотой, равной частоте следования зубцов. При постоянной скорости вращения диск для наблюдателя кажется неподвижным. В случае колебаний скорости вращения зубцы в импульсном свете будут перемещаться. Так можно визуально наблюдать процесс колебаний скорости вращения ротора.

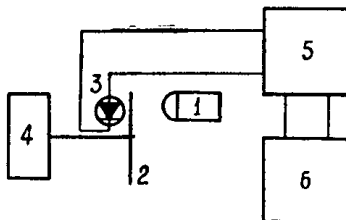


Рис. 1. Блок-схема установки для измерения угла  $\alpha$

Для количественной оценки колебаний скорости необходимо записывать величину перемещения зубцов, что осуществлялось с помощью установки, приведенной на рис. 1. Источник света 1 освещает импульсами света фотодиод 3. Между ними находится диск с зубцами 2, установленный на вращающемся валу испытываемого двигателя 4. Электрические сигналы фотодиода усиливаются усилителем 5 и записываются на фотопленку шлейфовым осциллографом 6. Достоинство этого метода заключается в том, что при любой постоянной скорости на пленке записываются сигналы, одинаковые по амплитуде, так как импульс света каждый раз засвечивает фотодиод при каком-то одном положении зубца относительно фотодиода. При переменной скорости вращения фотодиод засвечивается при различных положениях зубца, поэтому на фотопленке записывается ряд сигналов, различных по амплитуде, и огибающая их отражает характер изменения скорости вращения. По величине этих сигналов определяется амплитуда колебаний угла  $\alpha$  и его частота.

Для определения амплитуды угла  $\alpha$  в геометрических градусах необходимо знать величину сигналов при различных положениях зубца относительно фотодиода. С этой целью при равномерном перемещении зубцов диска снимается эталонная диаграмма, представленная на рис. 2, а. На пленке в этом случае запишется ряд возрастающих сигналов,

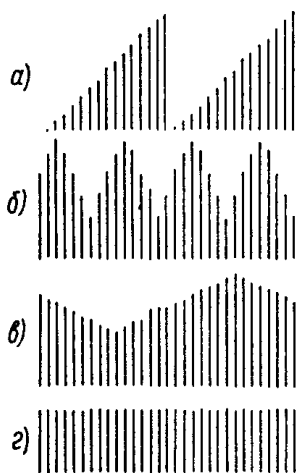


Рис. 2. Осциллограммы скорости вращения ротора синхронного редукторного двигателя

минимальный из которых соответствует закрытому зубцом фотодиоду, максимальный — открытому, а остальные — промежуточным положениям. Сравнение осциллограмм (рис. 2, б, в) с эталонной (рис. 2, а) позволяет определить частоту и амплитуду изменения угла на каждом отрезке времени.

Экспериментальные исследования, проведенные с помощью этого устройства, подтверждают теоретические выводы о том, что на частоту и амплитуду колебаний оказывает влияние величина активного сопротивления, вводимого в цепь статора. На рис. 3 представлены расчетные и экспериментальные границы устойчивой работы в зависимости от различной величины активного сопротивления. Испытываемый двигатель имеет следующие параметры:  $x_d=816 \text{ ом}$ ;  $x_q=593 \text{ ом}$ ;  $R=53 \text{ ом}$ . Напряжение питания 120 в при частоте  $f=50 \text{ гц}$ . Данные осциллограммы (рис. 2, б, в, г) наглядно показывают влияние сопротивления на характер колебаний. Осциллограмма рис. 2, б снята без введения дополнительного активного сопротивления в цепь обмотки статора. При этом

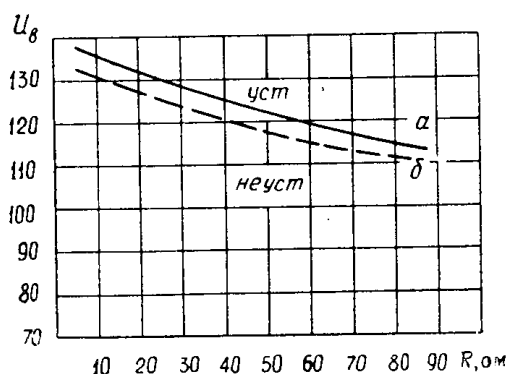


Рис. 3. Граница устойчивой работы синхронного редукторного двигателя; а) расчет; б) эксперимент

амплитуда колебаний составляет  $\Delta\alpha=5,4^\circ$  и частота  $f_1=12,5 \text{ гц}$ . При том же напряжении, но с введением сопротивления в цепь обмотки статора 20 ом колебания уменьшились до  $\Delta\alpha=2,1^\circ$  и  $f_1=3,6 \text{ гц}$  (рис. 2, в). Дополнительное сопротивление в 40 ом полностью сглаживает колебания (рис. 2, г).

Таким образом, рассмотренный метод может быть использован для измерений амплитуды и частоты колебаний рабочего угла  $\alpha$ .

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Е. В. Кононенко, Р. П. Лаас, А. Ф. Финк. Основные уравнения синхронных редукторных двигателей реактивного типа (СРД-Р). «Изв. ТПИ», т. 212, 1971.
2. В. В. Жуловян. Вопросы теории редукторных синхронных машин. — В сб.: «Вопросы теории и расчета электрических машин». Новосибирск, 1970.
3. Под редакцией Э. Л. Лодочникова и Ф. М. Юферова. Микроэлектродвигатели для систем автоматики. «Энергия», 1969.
4. Г. М. Торбенков, В. П. Скуридин, А. А. Янко-Триницкий. Прибор для осциллографирования рабочего угла тихоходного синхронного двигателя во время переходных процессов. — «Электромеханика», 1969, № 1.