

ИССЛЕДОВАНИЕ САМОРАСКАЧИВАНИЯ СИНХРОННОГО РЕАКТИВНОГО ДВИГАТЕЛЯ НА АНАЛОГОВОЙ МАШИНЕ

Е. В. КОНОНЕНКО, А. Ф. ФИНК

(Представлена научным семинаром кафедр электрических машин и общей электротехники)

При проектировании синхронного реактивного двигателя (СРД) особое внимание должно быть уделено исследованию устойчивости его работы. Из практики известно, что в некоторых случаях работы СРД возникают самовозбуждающие колебания ротора. Такое нарушение устойчивости известно в литературе под названием самораскачивание.

Возникновение самораскачивания возможно при относительно большом активном сопротивлении обмотки статора, так как в этом случае возникает отрицательное демпфирование. При самораскачивании амплитуда колебаний ротора резко возрастает, и при определенных условиях двигатель выпадает из синхронизма. Процесс самораскачивания рассматривался в литературе и ранее [1]. Однако авторы при этом ограничивались исследованием устойчивости в «малом», используя линейаризованную систему уравнений. При этом определялось влияние параметров лишь на границу устойчивой работы СРД, а как ведет себя двигатель в области больших колебаний, как изменяется частота и амплитуда колебаний, оставалось не ясным.

В настоящей работе, предполагая, что СРД работает при постоянном напряжении сети, рассматривается влияние активного сопротивления и инерционной постоянной на амплитуду и частоту колебаний при работе двигателя на холостом ходу, а также определяется граница устойчивой работы. Анализ самораскачивания проводился на основании уравнений Парка — Горева [2].

В основу исследований положена методика расчета переходных электромеханических процессов СРД на аналоговой вычислительной машине ЭМУ-10 [3]. Согласно этой методике работа двигателя считается устойчивой, если амплитуда колебаний угла Θ не превышает $0,05^\circ$. Исследование влияния параметров на самораскачивание проводилось в плоскости двух параметров. При этом остальные параметры принимались постоянными. На рис. 1 приведена осциллограмма, характеризующая процесс нарастания амплитуды колебаний при введении в цепь обмоток статора активного сопротивления. Решение представлено в фазовой системе координат $S=f(\Theta)$. Полученный предельный цикл колебаний определяется параметрами $S_{\max}=\pm 0,05$; $\Delta\Theta_{\max}=\pm 25^\circ$. Расчет выполнялся для СРД мощностью 4 кВт, $n=1500$ об/мин., имеющем следующие параметры:

$$x_d=2,33; \quad x_q=0,45; \quad x_{ad}=2,23; \quad x_{aq}=0,35; \quad x_{rd}=2,31; \quad x_{rq}=0,428; \\ r_{rd}=0,0557; \quad r_{rq}=0,0428; \quad T_j=0,5 \text{ сек.}; \quad r=0,3.$$

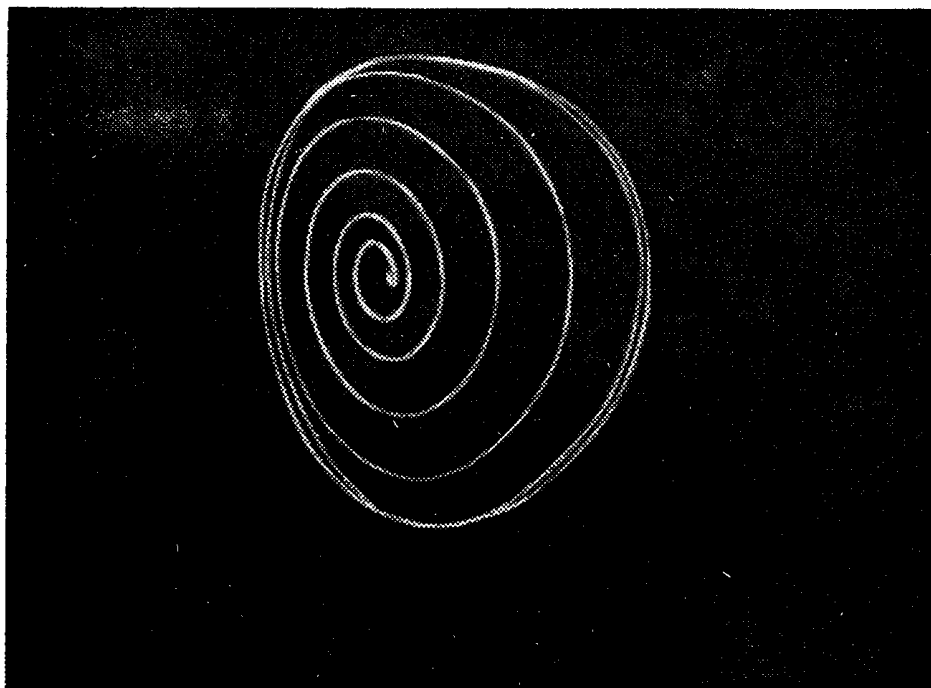


Рис. 1. Фазовая траектория при самораскачивании СРД.

Как показали расчеты, при работе двигателя на холостом ходу большое влияние на амплитуду и частоту колебаний оказывает величина активного сопротивления обмотки статора и инерционная постоянная.

Как следует из кривых (рис. 2), при увеличении активного сопротивления обмотки статора и уменьшении инерционной постоянной амплитуда колебаний ротора резко возрастает, и двигатель выпадает из синхронизма.

Частота колебаний ротора, как видно из рис. 3, при возникновении самораскачивания возрастает до максимальной величины, а затем по мере увеличения r уменьшается почти по линейному закону.

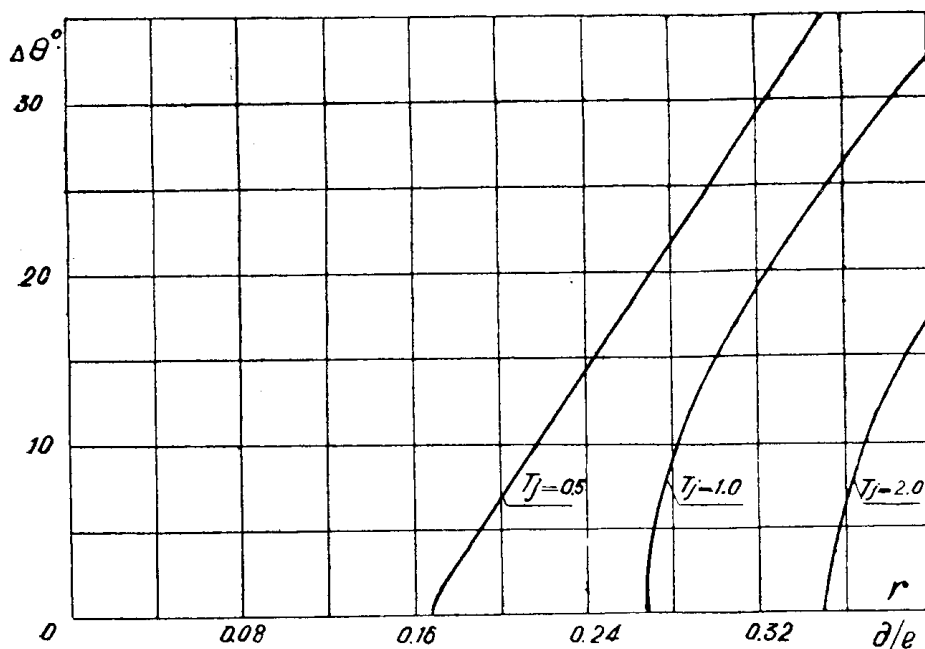


Рис. 2. Влияние активного сопротивления обмотки статора и инерционной постоянной на амплитуду колебаний.

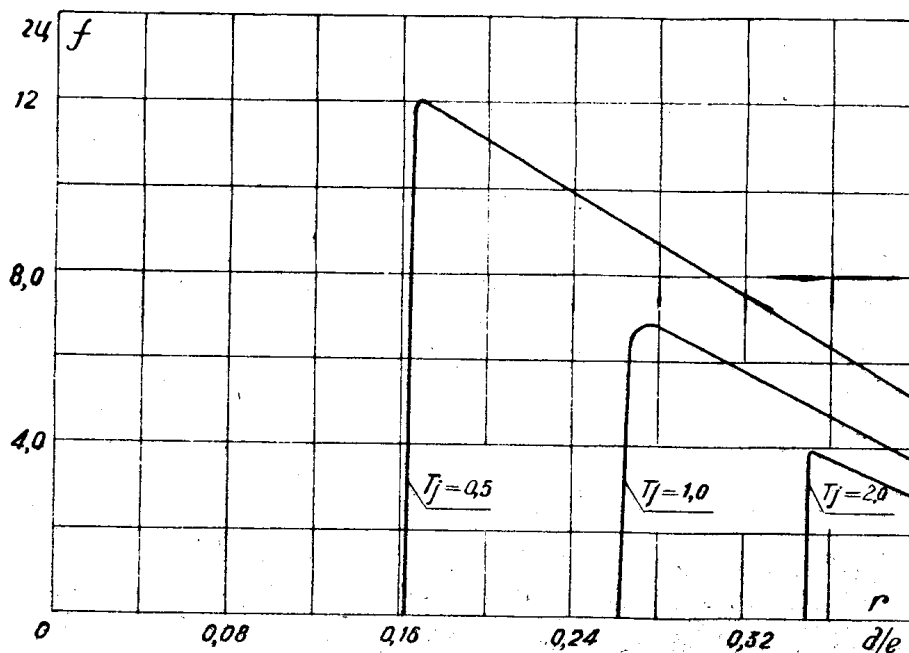


Рис. 3. Влияние активного сопротивления обмотки статора и инерционной постоянной на частоту колебаний.

Исследования позволили также установить, что более нагруженные двигатели менее склонны к самораскачиванию. На рис. 4 представлены границы устойчивой работы СРД, построенные в плоскости двух параметров $M=f(r)$ для различных инерционных постоянных. Анализ полученных результатов позволяет установить, что увеличение момента сопротивления на валу и инерционной постоянной расширяет область устойчивой работы.

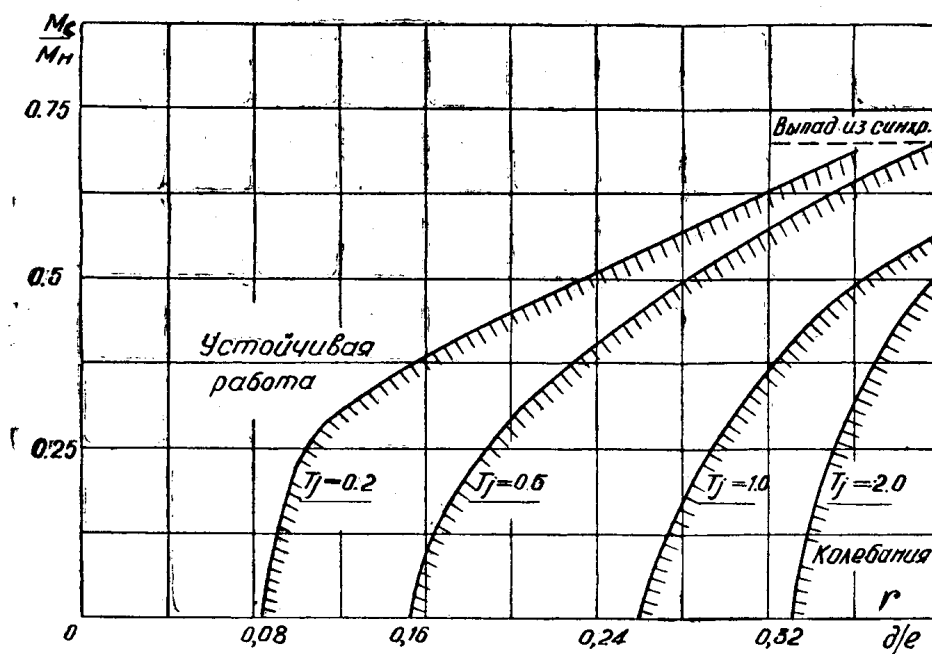


Рис. 4. Влияние нагрузки двигателя и инерционной постоянной на расположение границы области устойчивой работы.

Для проверки точности расчета влияния параметров на процесс самораскачивания были проведены экспериментальные исследования

для СРД мощностью 4 кВт и 1500 об/мин., работающего от сети с постоянным напряжением через последовательно включенные активные сопротивления. Двигатель имел следующие параметры:

$$x_d=2,06; \quad x_q=0,48; \quad x''_d=0,15; \quad x''_q=0,24; \quad T_d=54,2 \text{ эл. сек.}; \\ T_q=11,9 \text{ эл. сек.}; \quad T_j=0,62 \text{ сек.}$$

При этом определялась граница устойчивой работы двигателя как функция $M=f(\gamma)$. Методика определения этой зависимости следующая. В цепь обмотки статора СРД вводилось дополнительное активное сопротивление такой величины, чтобы возникали устойчивые незатухающие колебания. Плавным увеличением нагрузки на валу двигателя добивались исчезновения колебаний. Нагрузкой двигателя служил электромагнитный тормоз. Возникновение колебаний скорости вращения оценивалось визуально, стробоскопическим методом. Строботахометр типа СТ синхронизировался от сети через делитель частоты для того, чтобы не возникало двойного изображения. Этот метод дает возможность более точно, чем по изменению тока в цепи статора, фиксировать возникновения колебаний СРД и отмечать отклонения движения ротора от синхронной скорости менее чем на один градус.

Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы:

1. При работе СРД самораскачивание не допустимо, так как амплитуда колебаний ротора резко увеличивается, что может привести к выпадению из синхронизма.
2. Предлагаемая методика достаточно просто и точно позволяет выбрать параметры СРД, исключаящие самораскачивание.

ЛИТЕРАТУРА

1. Е. В. Кононенко, А. Л. Кислицын, А. Ф. Финк. Исследование автоколебаний синхронно-реактивного двигателя при работе от регуляторного генератора. Известия ТПИ, т. 132, 1964.
2. Е. В. Кононенко, А. Ф. Финк. Влияние параметров на процесс вхождения в синхронизм. Публикуется в данном сборнике.
3. Е. В. Кононенко, А. Ф. Финк. Применение вычислительной машины ЭМУ-10 для исследования переходных электромеханических процессов в синхронных реактивных двигателях. Известия ТПИ, т. 160, 1966.