

Г.Г. ШЕКЯН, Э.П. ХАЛАТЯН, Р.П. ХАЛАТЯН, А.П. ХАЛАТЯН

ПОТЕРЯ УСТОЙЧИВОСТИ ГИБКОГО ВРАЩАЮЩЕГОСЯ РОТОРА В МАГНИТНОМ ПОЛЕ

Рассматривается задача устойчивости вращающегося ротора электрической машины в магнитном поле, когда силы магнитного притяжения изменяются пропорционально перемещениям. Из равновесия силы магнитного притяжения и сил упругой реакции ротора получено условие устойчивости возмущенного ротора и определено значение коэффициента жесткости, при котором происходит потеря устойчивости.

Ключевые слова: устойчивость, магнитное поле, гибкий ротор, силы магнитного притяжения, коэффициент жесткости.

Для того чтобы понять специфику рассматриваемой задачи, нужно сразу отказаться от некоторых представлений, связанных с обычной постановкой задачи теории упругости. В большинстве последних работ внешняя нагрузка тем или иным образом задана в статических задачах как функция координат точек нагруженного тела, а в динамических задачах, кроме того, и как функция времени. При этом считается, что все упругие эффекты (перемещения, деформации, напряжения) зависят от нагрузки, но сами на нагрузку не влияют [1].

В рассматриваемой задаче не только перемещения зависят от нагрузок, но и сами нагрузки меняются в зависимости от перемещения. Подобные нагрузки развиваются, например, при смещениях упругих систем, находящихся в магнитном поле. Такие системы называются магнитоупругими. В данном случае нагрузки как будто не остаются безучастными к изменениям формы или положения системы и как бы «следят» за этими изменениями. Убедимся, что потери устойчивости в смысле Эйлера вовсе не обязательно связаны с традиционным представлением о продольном изгибе сжатой стойки.

Пусть гибкий ротор на двух опорах вращается в магнитном поле, создаваемом статором электрической машины (рис.). Между статором и ротором установлен определенный зазор, который теоретически должен быть равномерным и по окружности, и по всей длине ротора. Если вертикальный ротор вращается в статоре с равномерным зазором по периметру, то магнитные силы в радиальных направлениях уравновешены и не могут влиять на процесс колебания. Однако практически даже если это так, то все равно малейшее отклонение ротора от положения равновесия в радиальном направлении может привести к появлению неустойчивости системы [2].

Силы магнитного притяжения при отклонении ротора от положения равновесия меняют свою величину в зависимости от расстояния между ротором (якорем) и статором. Поэтому если ротор гибкий или установлен на упругих

опорах, то эти силы представляют собой нагрузку, «следящую» за упругими перемещениями [3].

Рассмотрим вращение гибкого ротора в стационарном магнитном поле, симметричного относительно среднего положения. Такое поле создает статор асинхронной электрической машины во взаимодействии с полем ротора [4].

Статическую характеристику гибкого ротора будем считать линейной, а коэффициент жесткости равным C , поскольку при отклонении ротора Y от положения равновесия возникает упругая восстанавливающая сила, равная CY , направленная в сторону, противоположную отклонению.

Силы притяжения магнитного поля со стороны статора уравновешены только тогда, когда ротор находится в своем среднем положении ($Y = 0$). При смещении ротора от положения равновесия силы притяжения статора изменяются, но в разной мере в неравномерном зазоре. При малых смещениях можно принять, что величина силы притяжения в диаметрально-противоположных направлениях зависит от смещения Y следующим образом [5]:

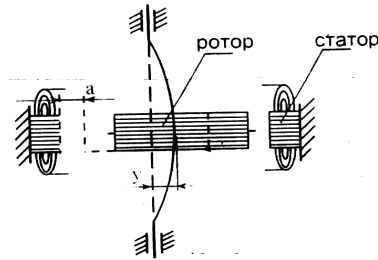


Рис. Вращающийся гибкий ротор в магнитном поле

$$P_1 = \frac{K}{(a + Y)^2}, \quad P = \frac{K}{(a - Y)^2},$$

где a и K - постоянные, a - начальный равномерный зазор между статором и ротором, K - магнитная постоянная, зависящая от магнитной индукции в зазоре.

Равнодействующая этих сил равна

$$R = \frac{K}{(a - Y)^2} - \frac{K}{(a + Y)^2} = \frac{4aK \cdot Y}{(a^2 - Y^2)^2}$$

и направлена в сторону смещения. При весьма малых отклонениях $Y \ll a$ можно приближенно принять

$$R = 4KY/a^3. \quad (1)$$

Согласно (1), равнодействующая сил магнитного притяжения пропорциональна смещению Y .

Теперь вообразим, что вследствие какой-либо случайной причины ротор выведен из среднего положения равновесия. Соответственно эйлеровой концепции, нужно выяснить, является ли отклоненное состояние устойчивым или нет.

Условие равновесия ротора в отклоненном состоянии

$$CY + 4KY/a^3 = 0$$

позволяет заключить, что при коэффициенте жесткости C , равном

$$C = 4K/a^3, \quad (2)$$

происходит потеря устойчивости. Это значение коэффициента жесткости является критическим. При таком значении C восстанавливающая сила гибкого ротора Y составляет CY и в точности уравнивает силу $R=4KY/a^3$. При $C>4K/a^3$ исходное состояние равновесия ротора устойчиво, а при $C=4K/a^3$ неустойчиво. При любом малом отклонении равнодействующая сил притяжения статора оказывается большей, чем восстанавливающая сила упругости ротора, и после начального возмущения ротор будет все дальше уходить от исходного положения, вплоть до полного «прилипания» к статору.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Амбарцумян С.А.** Некоторые особенности колебания пластинок в магнитном поле // Механика твердого тела. – М.: Изд. АН СССР, 1983. – N4. – С.197-200.
2. **Пановко Я.Г., Губанов И.П.** Устойчивость и колебания упругих систем. – М.: Наука. 1987. – 352с.
3. **Шекян Г.Г.** Исследование динамического качества электрических машин // Материалы Всесоюзной конференции по вибротехнике. –Телави, 1984.- С.30-31.
4. **Шекян Г.Г.** Вибродиагностика механического состояния двигателей малой мощности // Материалы VI Всесоюзной конференции по производству перспективных асинхронных двигателей. –Владимир, 1985. – С.56-58.
5. **Шекян Г.Г.** Колебания жесткого ротора на упругих опорах в магнитном поле // Труды ВНИИКЭ. – Ереван, 1977.- Т.4. – С.143-162.

ГИУА. Материал поступил в редакцию 05.10.2005.

Հ.Գ. ՇԵԿՅԱՆ, Է.Պ. ԽԱԼԱԹՅԱՆ, Ռ.Պ. ԽԱԼԱԹՅԱՆ, Հ.Պ. ԽԱԼԱԹՅԱՆ ՊՏՏՎՈՂ ԶԿՈՒՆ ՌՈՏՈՐԻ ԿԱՅՈՒՆՈՒԹՅԱՆ ԿՈՐՈՒՍՏԸ ՄԱԳՆԻՏԱԿԱՆ ԴԱՇՏՈՒՄ

Դիտարկված է մագնիսական դաշտում պտտվող էլեկտրական մեքենայի առաձգական ռոտորի կայունության խնդիրը, երբ մագնիսական ձգողության ուժը փոխվում է ռոտորի տեղափոխությանը համեմատական: Ռոտորի առաձգականության և մագնիսական ձգողության ուժերի հավասարակշռության պայմանից ստացված են «գրգռված» ռոտորի կայունության պայմանը և ռոտորի կոշտության այն արժեքը, որի դեպքում տեղի կունենա կայունության կորուստ:

Առանցքային բառեր. կայունություն, մագնիսական դաշտ, ձկուն ռոտոր, մագնիսական դաշտի ձգողական ուժ, կոշտության գործակից:

G.G. SHEKYAN, E.P.KHALATYAN, R.P. KHALATYAN, A.P. KHALATYAN STABILITY LOSS OF FLEXIBLE ROTOR IN MAGNETIC FIELD

The problem of stability loss of the revolving rotor in the magnetic attraction varies with movements. The condition of distributed rotor stability, the value of gravity coefficient, due to which the stability loss occurs, is obtained from the equilibrium of magnetic attraction force and forces of elastic rotor reaction.

Keywords: stability, magnetic force, elastic rotor, forces of magnetic attraction, gravity coefficient.