

К РАСЧЕТУ ВИБРАЦИЙ СТАНИНЫ МАШИН ПОСТОЯННОГО ТОКА С ШИРОКИМ РЕГУЛИРОВАНИЕМ СКОРОСТИ

Е. Е. ДУТЛОВ, К. А. ХОРЬКОВ

(Представлена научным семинаром кафедр электрических машин
и аппаратов и общей электротехники)

Работа электрических машин неизбежно сопровождается возникновением вибраций. Вибрации возникают от переменных магнитных сил и от технологических дефектов в изготовлении машины (неточность установки шарикоподшипников, смещение и наклон оси вращения вала и т. д.).

В настоящее время виброакустические характеристики машины становятся одним из основных показателей качества и надежности электрических машин. Год от года неуклонно возрастают требования к уровням виброускорений.

Одной из задач работ по модернизации электрических машин с целью снижения уровней вибраций является установление резервов, имеющихся в конструкции существующих серий.

При этом вибрации магнитного происхождения представляют особый интерес, так как они, как правило, преобладают в спектре виброускорений и наиболее трудно поддаются уменьшению.

Настоящая работа посвящена исследованию вибраций станины двигателей постоянного тока серии «П» четвертого габарита с $2p=4$ и диапазоном регулирования скорости от 1500 до 4000 об/мин. В качестве приборов для измерения вибраций применялись: виброметр SM—2И с датчиком КД-13, анализатор частот «Marconi». Исследование вибраций станины проводилось на специальной модельной установке с креплением якоря в стояковых подшипниках. Станина машины установлена на амортизаторах. Упругое крепление станины не должно существенно искажать пространственной формы ее деформации. Двигатель испытывался в режиме холостого хода.

На рис. 1 представлены типичные виброграммы трех наиболее характерных участков станины, расположенных по оси главного полюса, по оси добавочного полюса и в середине участка между осями полюсов, при отсутствии подшипниковых щитов. На рис. 2 представлены виброграммы этих же точек при наличии подшипниковых щитов.

Из рис. 1 очевидно наличие нескольких резонансных скоростей для каждого участка станины. Для участка станины по оси главного полюса имеем резонансы на скоростях 1700, 2000, 2300, 2900 и 3750 об/мин, для участка станины по оси добавочного полюса имеем резонансы на скоростях — 1650, 2000, 2900 и 3850 об/мин и для участка между полюсами имеем резонансы при 1620, 2020, 2300, 2900 и 3850 об/мин.

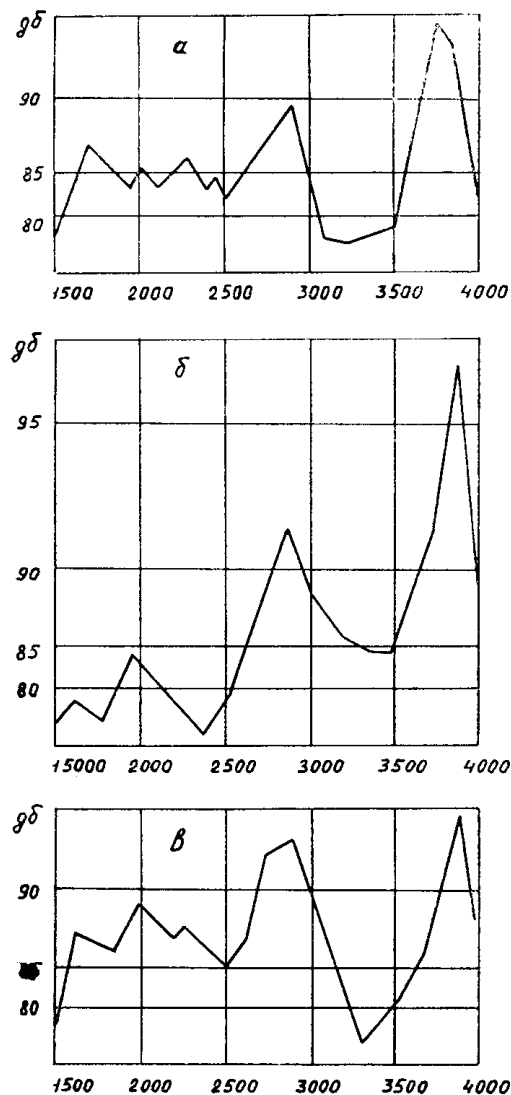


Рис. 1. Виброграмма станины без подшипниковых щитов: а) датчик установлен по оси главного полюса, б) датчик установлен по оси добавочного полюса, в) датчик установлен по центру межполюсного пространства

Этим скоростям соответствуют частоты виброускорения (замеренные анализатором спектра и совпадающие с первой зубцовой частотой поля в зазоре машины): 830, 850, 880, 1030, 1180, 1930, 1990 гц.

Представленная картина вибраций справедлива и для других совокупностей полюсов с некоторыми отклонениями по резонансной частоте и амплитуде виброускорения.

В целом для станины двигателя можно записать следующий ряд резонансных частот:

770, 775, 830, 850, 880, 980, 1000, 1030, 1180, 1420, 1450, 1500, 1520, 1550, 1800, 1830, 1880, 1930, 1990 и 2030 гц.

Таким образом, эксперименты показали, что на всем диапазоне регулирования скорости вращения двигателя имеются резонирующие участки станины.

Расчет частот собственных колебаний корпуса на радиальный изгиб с учетом масс главных и добавочных полюсов по методике [1] дает для исследуемой машины следующие результаты:

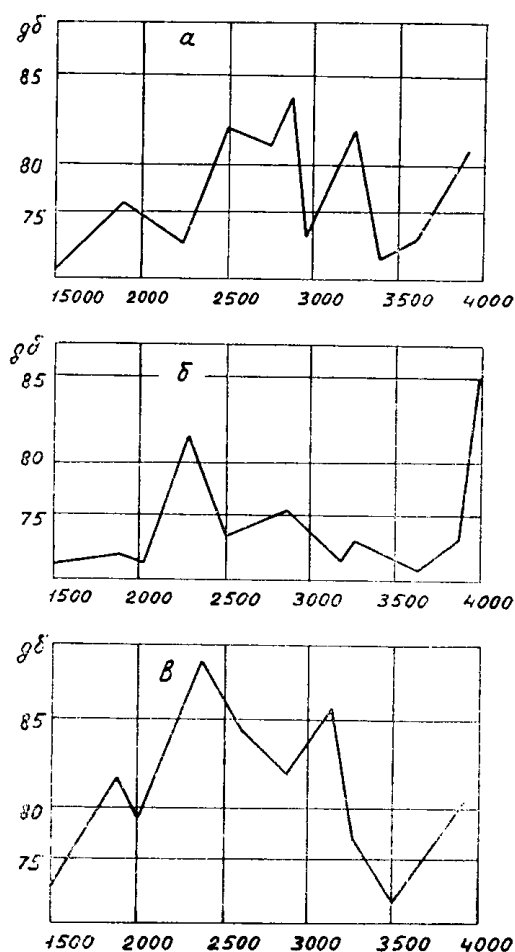


Рис. 2. Виброграмма станины с подшипниковыми щитами: а) датчик установлен по оси главного полюса, б) датчик установлен по оси добавочного полюса, в) датчик установлен по центру межполюсного пространства

- f_0 — частота чисто радиальных колебаний, $f_0 = 6050$ гц;
 f_1 — частота колебаний относительно точек опоры, считая их закрепленными шарнирно [2], $f_1 = 170$ гц;
 $f_{2, 3, 4, 5}$ — частоты колебаний плоского изгиба при расположении главных полюсов машины в пучностях или в узлах колебаний соответственно:

$$\begin{aligned} f_2 &= 316 \text{ или } 460 \text{ гц,} \\ f_4 &= 1620 \text{ или } 1570 \text{ гц,} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_3 &= 865 \text{ или } 1060 \text{ гц,} \\ f_5 &= 2600 \text{ или } 1950 \text{ гц.} \end{aligned}$$

С учетом шарнирного закрепления опор, согласно [2], для испытуемой машины имеем

$$\begin{aligned} f_2 &= 445 \text{ или } 646 \text{ гц,} \\ f_3 &= 1000 \text{ или } 1230 \text{ гц.} \end{aligned}$$

Диаграмма распределения виброускорений по окружности станины представлена на рис. 3. Точки 1, 5, 9, 13 соответствуют участкам станины по оси добавочных полюсов; точки 3, 7, 11, 15 соответствуют участкам по оси главных полюсов, причем по линии точек 7 и 11 крепятся лапы машины. Четные точки соответствуют межполюсным участкам. Диаграмма построена для наиболее ярко выраженных резонансных частот станины 980, 1500 и 1990 гц.

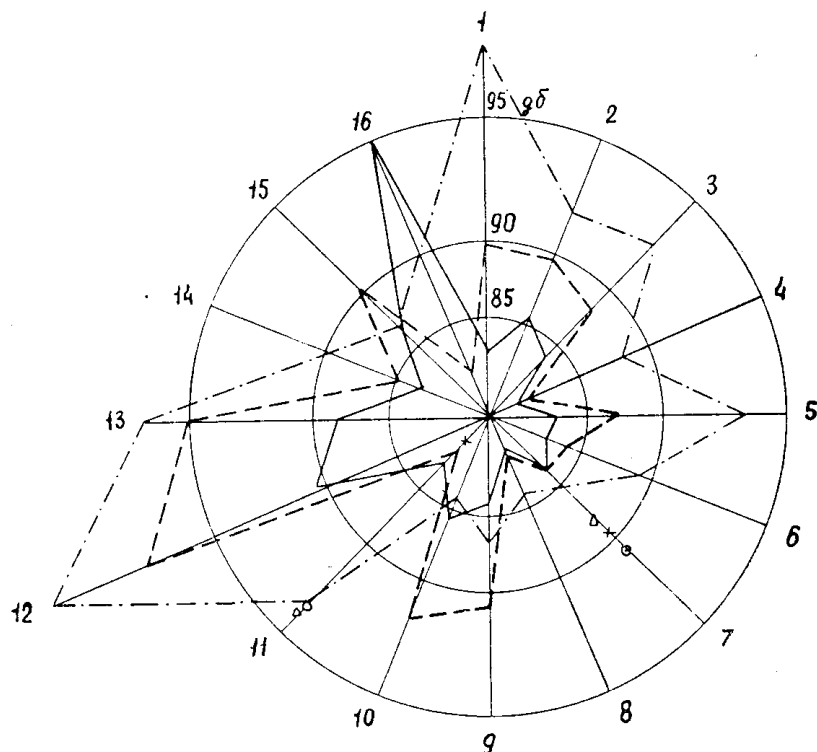


Рис. 3 Распределение виброускорений по окружности станины без подшипниковых щитов:

$\triangle$ — — — — —	$n=3850$ об/мин,	$f_z=1990$ гц,
$\odot$ — — — — —	$n=2900$ об/мин,	$f_z=1500$ гц,
$\times$ — — — — —	$n=1900$ об/мин,	$f_z=980$ гц

По теории этим частотам должны соответствовать колебания плоского изгиба станины третьего, четвертого и пятого порядка.

Кривая распределения виброускорений по окружности машины на частоте 980 гц соответствует колебаниям плоского изгиба третьего порядка с защемлением дуг станины в местах крепления лап. Почти аналогичную картину имеем на частоте 1500 гц и еще более неопределенную картину на частоте 1990 гц, по которой невозможно установить порядок колебаний станины с какой-либо достоверностью.

Интересно сравнить виброграммы станины без подшипниковых щитов и со щитами. При наличии подшипниковых щитов уровень вибраций снизился на 7-10 дб. Произошли заметные изменения в значениях резонансных скоростей. Наиболее ярко для рассматриваемых точек станины выражены резонансные частоты:

930, 970, 1180, 1230, 1290, 1500, 1620, 1700 и 2060 гц. Только две частоты 1180 и 1500 гц имеют место в обоих рядах частот.

В целом для станины машины получается следующий ряд резонансных частот: 930, 970, 1110, 1130, 1180, 1230, 1290, 1340, 1450, 1470; 1500, 1550, 1620, 1650, 1680, 1700, 1730, 1750, 2020, 2040, 2060 гц.

Таким образом, подшипниковые щиты машины приводят к снижению уровня вибраций станины и к смещению резонансных частот в сторону их увеличения.

На рис. 4 представлена диаграмма распределения виброускорений по окружности станины при наличии подшипниковых щитов для наиболее ярко выраженных резонансных частот 1180, 1680, 2040 гц

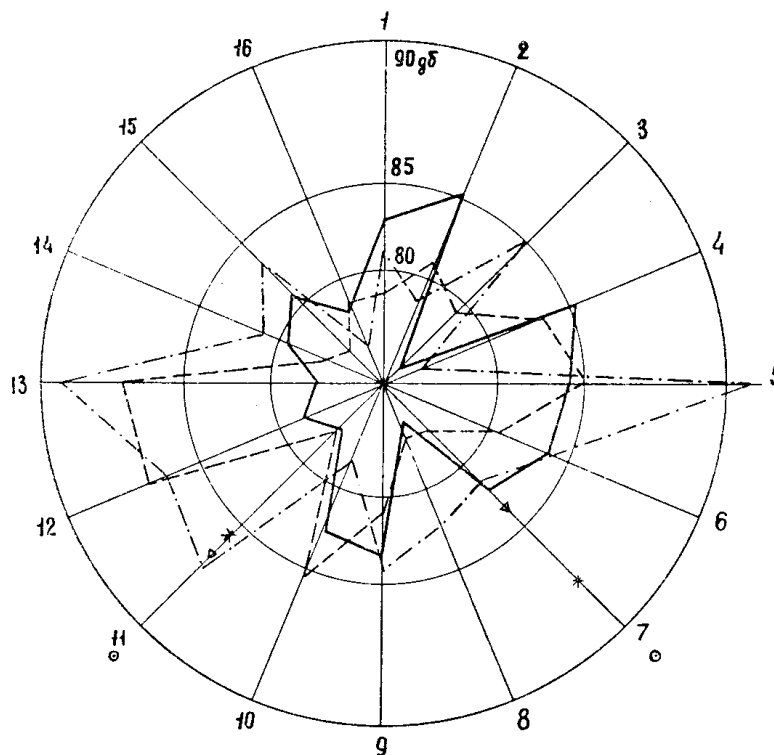


Рис. 4. Распределение виброускорений по окружности станины с подшипниковыми щитами:

Δ — — — —	$n=3950$ об/мин,	$f_z=2040$ гц,
$\odot$ — — — —	$n=3270$ об/мин,	$f_z=1680$ гц,
$\times$ — — — —	$n=2270$ об/мин,	$f_z=1180$ гц

Если сравнить полученную диаграмму с рис. 3, то очевидны значительные изменения в распределении виброускорений по окружности станины, происшедшие под влиянием подшипниковых щитов. На частоте 1180 гц (по сравнению с диаграммой на 980 гц без щитов) значительно уменьшились вибрации левой половины корпуса: точки 16, 13, 12, а также точка 3, что привело к совершенно другому виду диаграммы. Значительно изменились диаграммы на частоте 1680 гц (по сравнению с диаграммой на 1500 гц) и 2040 гц (по сравнению с диаграммой на 1990 гц).

Можно сказать, что пространственные формы деформации корпуса машины со щитами и без щитов не имеют между собой почти ничего общего.

Интересно отметить, что величина вибраций лап, замеренная на головках болтов, на большинстве частот значительно превосходит вибрации точек станины при наличии подшипниковых щитов и практически равна вибрациям лап при креплении якоря в стояковых подшипниках.

В результате проведенного анализа данных экспериментального исследования вибраций станины машины постоянного тока можно сделать следующие выводы:

1. Отдельные участки станины имеют свои собственные резонансные частоты, отличающиеся друг от друга, в результате чего практически при любой скорости вращения якоря имеются резонирующие элементы.

2. Пространственная форма деформации станины значительно отличается от общепринятых теоретических построений, соответствующих высшим ($i > 1$) порядкам колебаний.

3. Подшипниковые щиты вносят существенные изменения в картину распределения виброускорений по окружности станины и приводят к искажению формы пространственных деформаций станины.

4. При исследовании вибраций машин постоянного тока, а также при заводских испытаниях машин, когда необходимо выяснить наибольший уровень вибраций, нельзя ограничиваться измерениями вибраций на какой-либо одной скорости вращения якоря. Следует измерять вибрации на ряде резонансных скоростей, имеющих место в рабочем диапазоне изменения скорости вращения двигателя.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дж. П. Ден-Гартог. Механические колебания. ГИФМЛ, М., 1960.
2. Б. Б. Воронцовский. Расчет частот собственных колебаний якоря машин постоянного тока. — ВЭП, 1957, № 9.