

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ МЕЖДУ ВЕЛИЧИНОЙ ДОПУСКА ВХОДНЫХ ПАРАМЕТРОВ ДЛЯ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ЕДИНОЙ СЕРИИ И СЕБЕСТОИМОСТЬЮ ИХ ОБЕСПЕЧЕНИЯ

В. И. АРЗАМАСКИН, О. П. МУРАВЛЕВ, Э. К. СТРЕЛЬБИЦКИЙ

(Рекомендовано научным семинаром кафедр электрических машин
и общей электротехники.)

Точность изготовления является решающим фактором повышения качества машин и приборов [1]. Обеспечение точности является комплексной проблемой, которую необходимо разрешать при выполнении расчетно-конструкторских работ, при проектировании технологии и на всех стадиях производства.

Назначение допусков на отдельные параметры представляет весьма сложную задачу: необходимо, с одной стороны, обеспечить заданную точность, а с другой — минимальную себестоимость изготовления машины.

Правильное назначение допусков связано с учетом огромного числа самых разнообразных факторов и поэтому не может быть выполнено с помощью простых формул. При выборе допусков необходимо учитывать характер и состояние оборудования, вид технологического процесса, квалификацию рабочих, применяемые материалы и т. п.

Допуски на выходные параметры асинхронных электродвигателей (к. п. д., $\cos \varphi$, пусковой и максимальный момент и т. п.) установлены ГОСТом 183-55. При проектировании двигателей возникает задача выбора допусков на входные параметры (воздушный зазор, длина сердечника статора, ротора и т. п.), т. е. обратная задача теории точности.

В машиностроении и приборостроении, где теория точности наиболее широко применяется, разработаны три варианта решения обратной задачи [2]:

- 1) все допуски на входные параметры назначаются одинаковыми,
- 2) выбирается один класс точности изготовления всех элементов,
- 3) для всех элементов, кроме одного, можно выбрать допуски с учетом экономических требований, а для последнего — рассчитать.

В электромашиностроении, где требуется назначать допуски не только на геометрические размеры, но и на физические и механические параметры, эти способы мало применимы. Оптимальное решение задачи может быть достигнуто с помощью методов математического программирования.

Задачу математического программирования можно сформулировать следующим образом: имеется некоторая величина (например, себестоимость изготовления машины), которая является функцией ряда переменных. Эти переменные в свою очередь подчиняются ограничениям, выраженным в виде системы линейных неравенств или равенств.

Требуется отыскать такие неотрицательные значения переменных, удовлетворяющих соответствующим ограничениям, при которых величина, являющаяся их функцией, принимает наименьшее (наибольшее) значение.

Совокупность неотрицательных значений переменных, удовлетворяющих этим условиям, составляет оптимальное решение задачи [3].

В зависимости от того, как заданы ограничения и минимизирующая функция — линейные или нелинейные, применяются методы линейного или выпуклого программирования [4]. Для решения задач используются электронные вычислительные машины.

Таким образом, для определения оптимальных допусков на входные параметры асинхронных электродвигателей при заданных допусках на выходные, необходимо составить ограничения и минимизирующую функцию.

Систему ограничений, которые являются линейными для нашей задачи, можно составить используя коэффициенты влияния дисперсии входных параметров на дисперсии выходных. При наличии несложных зависимостей между входными и выходными параметрами коэффициент влияния дисперсии j -го входного параметра на дисперсию i -го выходного параметра α_{ij} может быть определен аналитически

$$\alpha_{ij} = \left[\frac{\partial f_i(x_1, \dots, x_j, \dots)}{\partial x_j} \cdot \frac{x_j}{f_i(x_1, \dots, x_j, \dots)} \right]^2, \quad (1)$$

где $y_i = f_i(x_1, \dots, x_j, \dots)$ — зависимость между выходным и входными параметрами.

Применение методов математического программирования при решении поставленной задачи затрудняется тем, что зависимости между точностью входных параметров и себестоимостью ее обеспечения в настоящее время не установлены.

Цель настоящей работы состоит в установлении таких зависимостей для асинхронных электродвигателей единой серии.

В качестве входных параметров рассмотрим следующие величины: величину воздушного зазора, длины сердечников статора и ротора, длину витка обмотки, число витков обмотки статора, диаметр провода, удельное сопротивление алюминия ротора и число целых стержней ротора.

Распределения всех входных величин считаем нормальным с параметрами (m_j, σ_j) , где m_j — номинальное значение, σ_j — стандартное отклонение

$$\sigma_j = \frac{2\delta_j}{6}, \quad (2)$$

где $2\delta_j$ — поле допуска.

Допуск на диаметр провода обмотки статора определяется согласно ГОСТу 2112-62 для медной проволоки и ГОСТу 6132-52 — для алюминиевой. Обеспечивается допуск на заводах, выпускающих обмоточный провод, и можно считать, что при изготовлении электрических машин, учитывая небольшое натяжение провода при намотке на шаблон, его величина не изменяется.

Отклонение числа витков обмотки статора от номинального значения при автоматической остановке намоточного станка маловероятно, и количество брака по этому параметру для асинхронных электродвигателей небольшой мощности очень незначительно (по данным ОТК завода «Сибэлектромотор»). Поэтому число витков обмотки статора можно считать величиной постоянной, т. е. $\sigma_w = 0$.

Длина сердечника ротора или статора зависит от точности взвешивания пакета и от усилия прессовки. Взвешивание производится

с точностью до одного листа, так что определяющим в формировании допусков является давление. Себестоимость обеспечения допуска для машин серии АЗ габарита приближенно можно подсчитать по формуле (3) для $2\delta_e = 0,25...1,0$ мм:

$$C = 0,324 - 0,23 \delta_e \text{ руб.} \quad (3)$$

Зависимость себестоимости от величины допуска, как и последующие, была подсчитана на основании заводских данных по укрупненным показателям:

$$C = Z_n + Ц_p + O_p + B_n \text{ руб.}, \quad (4)$$

где C — себестоимость обеспечения допуска;

Z_n — основная заработная плата;

$Ц_p$ — цеховые расходы;

O_p — общезаводские расходы;

B_n — внепроизводственные расходы.

Средняя длина витка l_m , зависит от величины и стабильности натяжения обмоточного провода. Себестоимость в зависимости от допуска в пределах $2\delta = 0,8...4,0\%$ для двигателя типа АО 32-4 можно в первом приближении подсчитать по формуле

$$C = 0,243 - 0,075 \delta_{l_m} \text{ руб.} \quad (5)$$

Величина воздушного зазора асинхронного электродвигателя определяется диаметром ротора и диаметром расточки статора. Диаметр расточки статора считаем величиной постоянной. Таким образом, разброс величины воздушного зазора полностью определяется допуском на диаметр ротора.

Зависимость себестоимости обработки от допуска для цилиндрических поверхностей достаточно полно исследовано [5]. Поскольку эта зависимость является нелинейной, аппроксимируем ее ломаной линией.

Себестоимость обеспечения допусков для роторов АО32-4 подсчитывается по следующим формулам:

$$\delta = 0,005...0,02 \text{ мм } C = 2,2 - 83,5 \delta \text{ руб.} \quad (6)$$

$$\delta = 0,02 - 0,10 \text{ мм } C = 0,62 - 4,8 \delta \text{ руб.} \quad (7)$$

Удельное сопротивление ρ_{Al} алюминия, применяемого для заливки роторов короткозамкнутых асинхронных двигателей, существенно влияет на коэффициент полезного действия и пусковые характеристики машины. Величина удельного сопротивления определяется примесями, присутствием газов и неметаллических включений [6, 7], которые значительно повышают ρ_{Al} . Рафинирование алюминия в значительной степени позволяет уничтожить влияние газонасыщения и неметаллических включений, однако полностью исключить его не удастся и повышение сопротивления сохраняется на уровне 1—3%.

Существующая нормаль на сплавы предусматривает контроль удельного сопротивления алюминия по химическому составу. В чистом алюминии, применяемом для заливки роторов двигателей нормального исполнения, допускается содержание кремния до 0,3%, содержание железа до 0,7% при общем содержании железа и кремния до 0,9%. Такой состав гарантирует удельное сопротивление в залитом роторе

$$\rho_{Al} = 0,0312 \pm 0,0025 \text{ ом мм}^2/\text{м}, \text{ т. е. } \pm 8\%.$$

Анализ результатов измерения химического состава алюминия, применяемого для заливки роторов на заводе «Сибэлектромотор», показывает, что содержание примесей железа и кремния находится в ус-

тановленных пределах. Поэтому при решении нашей задачи будем считать, что отклонение удельного сопротивления алюминия от номинального значения находится в пределах $\pm 8\%$.

Количество брака из-за плохой заливки роторов незначительно. Разрыв стержней ротора встречается редко, и такие машины бракуются на испытательной станции. Поэтому можно считать, что выпускаемые заводом двигатели имеют все целые стержни ротора, т. е. $\sigma_z = 0$.

Выводы

1. Обеспечение заданной точности выходных параметров электрических машин при минимальных производственных затратах является первостепенной задачей современного электромашиностроения.

2. Для выбора оптимальной системы допусков необходимо применять методы математического программирования.

3. Найденные зависимости себестоимости обеспечения допусков от величины допуска позволяют составить минимизирующую функцию, что необходимо для оптимального назначения допусков.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. Н. Гаврилов. Проблема точности производства в машиностроении и приборостроении. ЦИНТИМаш., 1960.
2. И. Г. Фридлиндер. Вопросы точности производства машин. Издательство ХГУ, Харьков, 1959.
3. А. С. Барсов. Линейное программирование в технико-экономических задачах, Наука, М., 1964.
4. С. И. Зуховицкий, Л. И. Авдеев. Линейное и выпуклое программирование. Наука, М., 1964.
5. А. А. Маталин, В. С. Рысцова. Точность, производительность и экономичность механической обработки. Машгиз, 1963.
6. Г. Г. Пуцькин, П. И. Федотов, Е. А. Гончарова. Алюминиевые сплавы для заливки роторов. Труды ВНИИЭМ, Том, 6, 1960.
7. Г. Г. Пуцькин, Е. А. Гончарова. Влияние газонасыщения и неметаллических включений на электросопротивление алюминия и его сплавов. Труды НИИ Электропром, том 2, 1959.