

Потери и КПД асинхронного двигателя

Векторная диаграмма. Потери и КПД асинхронного двигателя.

Потери и КПД асинхронного двигателя.

Преобразование электрической энергии в механическую в асинхронном двигателе, как и в других электрических машинах, связано с потерями энергии, поэтому полезная мощность на выходе двигателя P_2 всегда меньше мощности на входе (потребляемой мощности) P_1 на величину потерь $\sum P$:

$$P_2 = P_1 - \sum P$$

Потери $\sum P$ преобразуются в теплоту, что в конечном итоге ведет к нагреву машины. Потери в электрических машинах разделяются на основные и добавочные. Основные потери включают в себя магнитные, электрические и механические.

Магнитные потери P_m в асинхронном двигателе вызваны потерями на гистерезис и потерями на вихревые токи, происходящими в сердечнике при его перемагничивании. Величина магнитных потерь пропорциональна частоте перемагничивания $P_m = f^\beta$,

где $\beta = 1,3 \div 1,5$. Частота перемагничивания сердечника статора равна частоте тока в сети ($f = f_1$), а частота перемагничивания сердечника ротора $f = f_2 = f_{1s}$.

При частоте тока в сети $f_1 = 50$ Гц при номинальном скольжении $s_{ном} = 1 \div 8$ % частота перемагничивания ротора $f = f_2 = 2 \div 4$ Гц, поэтому магнитные потери в сердечнике ротора настолько малы, что их в практических расчетах не учитывают. Электрические потери в асинхронном двигателе вызваны нагревом обмоток статора и ротора проходящими по ним токами. Величина этих потерь пропорциональна квадрату тока в обмотке (Вт):

электрические потери в обмотке статора

$$P_{\Sigma 1} = m_1 I_1^2 r_1$$

электрические потери в обмотке ротора

$$P_{\Sigma 2} = m_2 I_2^2 r_2 = m_1 I_1'^2 r_1' s$$

Здесь r_1 и r_2 — активные сопротивления обмоток фаз статора и ротора пересчитанные на рабочую температуру $\Theta_{раб}$:

$$r_1 = r_{1.20} [1 + \alpha (\Theta_{раб} - 20)]; \quad r_2 = r_{2.20} [1 + \alpha (\Theta_{раб} - 20)]$$

где $r_{1.20}$ и $r_{2.20}$ — активные сопротивления обмоток при температуре $\Theta_1 = 20$ °С; α — температурный коэффициент,

для меди и алюминия $\alpha = 0,004$.

Электрические потери в роторе прямо пропорциональны скольжению

$$P_{\Sigma 2} = s P_{эм}$$

где Рэм — электромагнитная мощность асинхронного двигателя, Вт:

$$P_{эм} = P_1 = (P_m + P_{э1})$$

Из этого следует, что работа асинхронного двигателя экономичнее при малых скольжениях, так как с ростом скольжения растут электрические потери в роторе.

В асинхронных двигателях с фазным ротором помимо перечисленных электрических потерь имеют место еще и электрические потери в щеточном контакте $P_{э,щ} = 3 I_2 \Delta U_{щ}/2$, где $U_{щ}=2,2В$ - переходное падение напряжения на пару щеток.

Механические потери $P_{мех}$ — это потери на трение в подшипниках и на вентиляцию. Величина этих потерь пропорциональна квадрату частоты вращения ротора ($P_{мех} = n^2_2$). В асинхронных двигателях с фазным ротором механические потери происходят еще и за счет трения между щетками и контактными кольцами ротора.

Добавочные потери включают в себя все виды трудноучитываемых потерь, вызванных действием высших гармоник МДС, пульсацией магнитной индукции в зубцах и другими причинами. Добавочные потери асинхронных двигателей принимают равными 0,5% от подводимой к двигателю мощности P_1 :

$$P_{доб} = 0,005 P_1$$

При расчете добавочных потерь для ненормального режима следует пользоваться выражением

$$P'_{доб} = P_{доб} \beta^2$$

где $\beta = I_1 / I_{1ном}$ — коэффициент нагрузки.

Сумма всех потерь асинхронного двигателя (Вт)

$$\sum P = P_{эм} + P_{э1} + P_{э2} + P_{мех} + P_{доб}$$

часть подводимой к двигателю мощности $P_1 = m_1 U_1 I_1 \cos \varphi_1$ затрачивается в статоре на магнитные P_m и электрические $P_{э1}$ потери. Оставшаяся после этого электромагнитная мощность $P_{эм}$ передается на ротор, где частично расходуется на электрические потери $P_{э2}$ и преобразуется в полную механическую мощность P'_2 . Часть мощности идет на покрытие механических $P_{мех}$ и добавочных потерь $P_{доб}$, а оставшаяся часть этой мощности P_2 составляет полезную мощность двигателя.

У асинхронного двигателя КПД

$$\eta = P_2 / P_1 = 1 - \sum P$$

Электрические потери в обмотках $P_{э1}$ и $P_{э2}$ являются переменными потерями, так как их величина зависит от нагрузки двигателя, т. е. от значений токов в обмотках статора и ротора. Переменными являются также и добавочные потери. Что же касается магнитных P_m и механических $P_{мех}$, то они практически не зависят от нагрузки (исключение составляют двигатели, у которых с изменением нагрузки в широком диапазоне меняется частота вращения).

Коэффициент полезного действия асинхронного двигателя с изменениями нагрузки также меняет свою величину: в режиме холостого хода КПД равен нулю, а затем с ростом нагрузки он увеличивается, достигая максимума при нагрузке $(0,7 \div 0,8)P_{\text{ном}}$. При дальнейшем увеличении нагрузки КПД незначительно снижается, а при перегрузке ($P_2 > P_{\text{ном}}$) он резко убывает, что объясняется интенсивным ростом переменных потерь ($P_{\text{э1}} + P_{\text{э2}} + P_{\text{доб}}$), величина которых пропорциональна квадрату тока статора, и уменьшением коэффициента мощности. КПД трехфазных асинхронных двигателей общего назначения при номинальной нагрузке составляет: **для двигателей мощностью от 1 до 10 кВт $\eta_{\text{ном}} = 75 \div 88\%$, для двигателей мощностью более 10 кВт $\eta_{\text{ном}} = 90 \div 94\%$.**

Пример

Трехфазный асинхронный двигатель работает от сети напряжением 660 В при соединении обмоток статора звездой. При номинальной нагрузке он потребляет из сети мощность $P_1 = 16,7$ кВт при коэффициенте мощности $\cos \varphi_1 = 0,87$. Частота n вращения $n_{\text{ном}} = 1470$ об/мин. Требуется определить КПД двигателя $\eta_{\text{ном}}$, если магнитные потери $P_{\text{м}} = 265$ Вт, а механические потери $P_{\text{мех}} = 123$ Вт. Активное сопротивление фазы обмотки статора $r_{1,20} = 0,8$ Ом, и класс нагревостойкости изоляции двигателя F (рабочая температура $\Theta_{\text{раб}} = 115$ °С).

Решение

Ток в фазе обмотки статора

$$I_{1\text{ном}} = \frac{P_1 10^3}{m U_1 \cos \varphi_1} = 16,8 \text{ А}$$

где $U_1 = 660/\sqrt{3} = 380$ В.

Сопротивление фазы обмотки статора, пересчитанное на рабочую температуру

$$\Theta_{\text{раб}} = 115 \text{ °С,}$$

$$r_1 = r_{1,20} [1 + \alpha (\Theta_{\text{раб}} - 20)] = 0,8 [1 + 0,004(115 - 20)] = 1,1 \text{ Ом.}$$

Электрические потери в обмотке статора

$$P_{\text{э1}} = m_1 I_{1\text{ном}}^2 r_1 = 3 \cdot 16,8^2 \cdot 1,1 = 93 \text{ Вт.}$$

Электромагнитная мощность двигателя

$$P_{\text{эм}} = P_1 - (P_{\text{м}} + P_{\text{э1}}) = 16,7 \cdot 10^3 - (265 + 93) = 15504 \text{ Вт.}$$

Номинальное скольжение $s_{\text{ном}} = (n_1 - n_{\text{ном}})/n_1 = (1500 - 1470)/1500 = 0,020$. Электрические потери в обмотке ротора

$$P_{\text{э2}} = s_{\text{ном}} P_{\text{эм}} = 0,020 \cdot 15504 = 310 \text{ Вт}$$

Добавочные потери

$$P_{\text{доб}} = 0,005 P_1 = 0,005 \cdot 16,7 \cdot 10^3 = 83 \text{ Вт}$$

Суммарные потери

$$\Sigma P = P_m + P_{\varepsilon 1} + P_{\varepsilon 2} + P_{\text{мех}} + P_{\text{мех}} = 265 + 931 + 310 + 123 + 83 = 1712 \text{ Вт}$$

КПД двигателя в номинальном режиме

$$\eta_{\text{ном}} = 1 - P / P_1 = 1 - 1712 / (16,7 \cdot 10^3) = 0,898, \text{ или } 89,8\%.$$

Коэффициент полезного действия является одним из основных параметров асинхронного двигателя, определяющим его энергетические свойства — экономичность в процессе эксплуатации. Кроме того, КПД двигателя, а точнее величина потерь в нем, регламентирует температуру нагрева его основных частей и в первую очередь его обмотки статора. По этой причине двигатели с низким КПД (при одинаковых условиях охлаждения) работают при более высокой температуре нагрева обмотки статора, что ведет к снижению их надежности и долговечности