

РАСЧЕТ ПОТЕРИ МОЩНОСТИ ДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА СО СМЕШАННЫМ ВОЗБУЖДЕНИЕМ

Пирматов Нурали Бердиёрович, д.т.н., профессор,

Ахмедов Абдурауф Абдугани угли, магистр

Ташкентский государственный технический университет имени Ислама Каримова

Аннотация

В статье анализируются виды потери мощности в двигателях постоянного тока со смешанным возбуждением и приводится расчет потери и КПД двигателя мощностью 2 кВт.

In article is analysed types of the loss to powers in engine of the direct current with mixed by excitement and happens to the calculation of the loss and KPD engine power 2 kW.

Двигатели постоянного тока находят широкое применение в промышленных, транспортных и др. установках, где необходимо глубокое и плавное регулирование скорости вращения (прокатные станы, мощные металлорежущие станки, электрическая тяга на транспорте и т.д.).

По способу возбуждения двигатели постоянного тока подразделяются на двигатели независимого, параллельного, последовательного и смешанного возбуждения. Все типы двигателей имеют разнообразные характеристики в соответствии с требованиями систем электроприводов.

Часть подведенной к электрической машине энергии не может быть полезно преобразована, а рассеивается в форме тепла в окружающее пространство. Эту часть энергии называют потерями. Потери, возникающие в машине, могут быть разделены на две группы: постоянные и переменные.

Постоянные потери:

Потери в стали P_c

$$P_c = P_{\Gamma} + P_{ВХ},$$

где P_{Γ} - потери на гистерезис в сердечнике якоря и зубцах; $P_{ВХ}$ - потери на вихревые токи в тех же частях.

Мощность этих потерь зависит от скорости вращения якоря и от величины магнитного потока (тока в обмотке возбуждения) и не зависит от величины нагрузки.

Механические потери:

$$P_{МХ} = P_{ПШ} + P_{Щ} + P_{ВН},$$

где $P_{ПШ}$ - потери в подшипниках; $P_{Щ}$ - потери на трение щеток о коллектор; $P_{ВН}$ - потери на трение вращающихся частей о воздух, включая сюда и вентиляционные потери.

Потери на возбуждение. К потерям на возбуждение относятся потери собственно в обмотке возбуждения и потери в регулировочных реостатах, если они необходимы при работе машины в номинальном режиме. Величина потерь в цепи возбуждения может быть определена по формуле

$$P_B = U_B i_{ВД},$$

где U_B - напряжение на зажимах цепи возбуждения; $i_{ВД}$ - ток в цепи возбуждения.

Переменные потери:

Потери в цепи якоря r_m . Потери в цепи якоря складываются из потерь обмотки якоря и обмоток, последовательно соединенных с обмоткой якоря (добавочных полюсов и компенсационной обмотки)

Величина потерь в цепи якоря может быть определена по формуле

$$P_m = I_a^2 \sum r_{a75^\circ C},$$

где $I_a = I_d - i_b$; i_b - ток возбуждения; I_d - ток, потребляемый двигателем; $R_{a75^\circ C}$ - суммарное сопротивление обмотки якоря и обмоток, последовательно соединенных с обмоткой якоря, приведенных к условной температуре $75^\circ C$.

Потери в щеточном контакте определяются по формуле

$$P_{щ} = \Delta U_{щ} I_a,$$

где $\Delta U_{щ}$ - падение напряжения на щеточном переходе; I_a - ток якоря двигателя.

Согласно ГОСТ при расчетах принимаются следующие значения $\Delta U_{щ}$: для угольных - 1 В; для металлоугольных и металлографитных - 0,3 В.

Добавочные потери P_d . К добавочным потерям относятся потери в стали и в меди, возникающие в машинах в результате происходящих в ней вторичных процессов электромагнитного характера.

К числу добавочных потерь относятся: потери на вихревые токи от полей рассеяния в обмотках и массивных металлических частях машин, поверхностные потери в стали и пульсационные потери в зубцах, а также потери в уравнивательных соединениях. Добавочные потери рассчитываются с большим приближением. Поэтому ГОСТ учитывает добавочные потери в машинах постоянного тока без компенсационной обмотки при номинальной нагрузке одним процентом (1%) номинальной мощности и для компенсированных машин постоянного тока - 0,5 %.

В виду того, что добавочные потери в машинах малой мощности незначительны, мы ими пренебрегаем.

Коэффициент полезного действия КПД. При изменении нагрузки считают, что суммарные потери могут быть определены для машины постоянного тока путем сложения перечисленных выше потерь

$$\Sigma P = P_c + P_{mx} + P_m + P_v + P_{щ} + P_d.$$

Если P_1 - мощность, подводимая к машине, и P_2 - мощность, полезно отдаваемая машиной, то

$$P_1 = P_2 + \Sigma P.$$

Коэффициент полезного действия КПД машины представляет собой отношение полезно отдаваемой ею мощности P_2 ко всей подводимой мощности P_1

$$\eta = \frac{P_2}{P_1}.$$

Определение КПД η непосредственно по приведенной формуле дает большую погрешность, так как величины P_1 и P_2 различаются незначительно. Поэтому величина КПД определяется через одну из мощностей и потери в машине.

Для двигателя полезная мощность

$$P_2 = P_1 - \Sigma P.$$

$$\eta_{\text{дв}} = \frac{P_1 - \sum P}{P_1} = 1 - \frac{\sum P}{P_1}.$$

Тогда

Для генератора подведенная мощность

$$P_1 = P_2 + \sum P.$$

Тогда

$$\eta_{\text{Г}} = \frac{P_2}{P_2 + \sum P} = 1 - \frac{\sum P}{P_2 + \sum P}.$$

Таким образом величина КПД зависит от нагрузки и при номинальном режиме работы составляет 75÷85% в машинах малой мощности и до 95% в машинах большой мощности.

Ниже приведен расчет потери мощности двигателя постоянного тока со смешанным возбуждением.

Электродвигатель постоянного тока со смешанным возбуждением рассчитан на:

$P_{2\text{ном}} = 2000$ Вт - номинальная мощность на валу двигателя;

$U_{\text{ном}} = 27$ В - номинальное напряжение, подведенное к двигателю;

$I_{\text{ном}} = 100$ А ток, потребляемый двигателем из сети;

$n_{\text{ном}} = 8000$ об/мин частота вращения якоря вала двигателя;

$\sum R = R_{\text{я}} + R_{\text{дп}} + R_{\text{с}} = 0,01443$ Ом – суммарное сопротивление,

где $R_{\text{я}}$ - сопротивление обмотки якоря;

$R_{\text{дп}}$ - сопротивление обмотки добавочных полюсов;

$R_{\text{с}}$ - сопротивление последовательной (сериесной) обмотки возбуждения;

$R_{\text{ш}} = 6,75$ Ом - сопротивление параллельной (шунтовой) обмотки возбуждения

ПР – пусковой реостат; РР – регулировочный реостат;

ОВШ- параллельная (шунтовая) обмотка возбуждения;

ОВС – последовательная (сериесная) обмотка возбуждения; ОДП – обмотка добавочных полюсов.

Определить:

P_1 - мощность, потребляемую двигателем из сети; $\eta_{\text{ном}}$ - номинальный коэффициент полезного действия;

M - вращающий (полезный) момент на валу двигателя;

$I_{\text{я}}$ - ток в обмотке якоря (он же протекает через обмотку добавочных полюсов и последовательную обмотку возбуждения);

E – противо-ЭДС в обмотке якоря; $\sum P$ - суммарные потери мощности в двигателе;

$P_{\text{я}} = R_{\text{я}} + R_{\text{дп}} + R_{\text{с}} + R_{\text{ш}} + R_{\text{ш}}$ - электрические потери мощности в обмотке якоря;

$R_{\text{дп}}$ - электрические потери мощности в обмотке дополнительных полюсов;

$R_{\text{с}}$ - электрические потери мощности в последовательной обмотке возбуждения;

$R_{\text{ш}}$ - электрические потери мощности в параллельной обмотке возбуждения;

$R_{\text{ш}}$ - электрические потери мощности в переходном контакте щеток коллектора, приняв $\Delta U = 2$ В

$R_{\text{доб}}$ - добавочные потери мощности;

$P_{\text{х}}$ - потери холостого хода, состоящие из потерь в стали и механических потерь.

Решение.

1. Мощность, потребляемая двигателем из сети $P_1 = U_{\text{ном}} \cdot I_{\text{ном}} = 27 \cdot 100 = 2700$ Вт

2. КПД двигателя равен $\eta_{\text{ном}} = P_2 / P_1 = 100\% \cdot (2000 / 2700) = 74\%$.

3. Полезный вращающий момент на валу двигателя

$$M=9,55 (2000 / 8000) = 2,38 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

$$4. \text{ Ток параллельной обмотки возбуждения } I_{\text{ш}} = U_{\text{ном}} / R_{\text{ш}} = 27 / 6,75 = 4 \text{ А}.$$

5. Ток, протекающий через обмотку якоря, обмотку добавочных полюсов, последовательную обмотку возбуждения (все эти обмотки соединены последовательно)

$$I_{\text{я}} = I_{\text{ном}} - I_{\text{ш}} = 100 - 4 = 96 \text{ А}.$$

$$6. \text{ Против-ЭДС в обмотке якоря } E = U_{\text{ном}} - I_{\text{я}}(R_{\text{я}} + R_{\text{дп}} + R_{\text{с}}) - \Delta U_{\text{щ}} = 27 - 96 \cdot 0,01443 - 2 = 23,61 \text{ В}.$$

Здесь $\Delta U_{\text{щ}}$ – потери напряжения в переходном контакте щеток на коллекторе.

$$7. \text{ Суммарные потери мощности в двигателе } \sum P = P_1 - P_{2\text{ном}} = 2700 - 2000 = 700 \text{ Вт}$$

8. Электрические потери мощности в двигателе $P_{\text{э}} = P_{\text{я}} + P_{\text{дп}} + P_{\text{с}} + P_{\text{щ}} + P_{\text{ш}}$, где $P_{\text{я}} = I_{\text{я}}^2 \cdot R_{\text{я}}$ – потери мощности в якоре:

$P_{\text{дп}} = I_{\text{я}}^2 \cdot R_{\text{дп}}$ – электрические потери мощности в обмотке дополнительных полюсов;

$P_{\text{с}} = I_{\text{я}}^2 \cdot R_{\text{с}}$ – электрические потери мощности в последовательной обмотке возбуждения;

$P_{\text{щ}} = \Delta U_{\text{щ}} \cdot I_{\text{я}}$ – электрические потери мощности в переходном контакте щеток коллектора.

$P_{\text{ш}} = U_{\text{ном}} \cdot I_{\text{ш}}$ или $P_{\text{ш}} = I_{\text{ш}}^2 \cdot R_{\text{ш}}$ или $P_{\text{ш}} = U_{\text{ном}}^2 / R_{\text{ш}}$ – электрические потери мощности в параллельной обмотке возбуждения;

$$\text{Тогда получаем: } P_{\text{э}} = I_{\text{я}}^2(R_{\text{я}} + R_{\text{дп}} + R_{\text{с}}) + \Delta U_{\text{щ}} \cdot I_{\text{я}} + U_{\text{ном}} \cdot I_{\text{ш}} = 96^2 \cdot 0,01443 + 2 \cdot 96 + 27 \cdot 4 = 433 \text{ Вт}.$$

9. Добавочные потери мощности, возникающие в обмотке якоря, вызванные искажением магнитного поля реакцией якоря и полями, возникающими вокруг секций, в которых происходит коммутация $P_{\text{доб}} = 0,01 \cdot P_{2\text{ном}} = 0,01 \cdot 2000 = 20 \text{ Вт}.$

10. Потери холостого хода, состоящие из потерь в стали и механических потерь

$$P_{\text{х}} = P_{\text{ст}} + P_{\text{мех}},$$

$$\text{т. к. } \sum P = P_{\text{э}} + P_{\text{х}} + P_{\text{доб}},$$

$$\text{то } P_{\text{х}} = \sum P - (P_{\text{э}} + P_{\text{доб}}) = 700 - (433 + 20) = 247 \text{ Вт}.$$

Надо знать два основных способа снижения потерь электроэнергии в двигателях постоянного тока в переходных процессах: 1) уменьшение момента инерции электропривода; 2) регулирование скорости идеального холостого хода двигателя.

Возникающие при пуске, реверсе, торможении, изменении скорости и изменении нагрузки токи, как правило, превышают номинальный уровень. По этой причине выделяющиеся в двигателе и других элементах ЭП потери могут быть весьма значительными и существенно влиять на энергетические показатели его работы.

Список литературы

1. Копылов И.П. Электрические машины.-М.: Высшая школа, Логос, 2000. -607 с.
2. Копылов И.П., Клоков Б.К., Морозкин В.П. Проектирование электрических машин. / Под ред. Копылова И.П. М: 2002. -757 с.
3. Бурковская Т.А. Проектирование электрических машин постоянного тока: Учеб. пособие. - Воронеж: Издательство "Научная книга", 2008.
4. Иванов - Смоленский А.В. Электрические машины. М: МЭИ, 2004. Ч 1. - 928 с.
5. Усольцев. Электрические машины. -Санкт-Петербург.: НИУ ИТМО, 21013. -416 с.
6. Salimov J.S., Pirmatov N.B. Elektr mashinalari. Darslik.-Т.: O'zbekiston faylasuflari milliy jamiyati nashriyoti, 2011. - 408 b.
7. Berdiev U.T., Pirmatov N.B. Elektromexanika. Texnika oliy oquv yurtlarining "Elektr texnikasi, elektr mexanikasi va elektr texnologiyalari" va "Elektr energetika" yo'nalishi talabalari uchun darslik.– Т.: Shams-Asa. 2014. -386 b.