

1.11. Потери и коэффициент полезного действия

При работе ЭМ часть потребляемой ею энергии теряется бесполезно и рассеивается в виде тепла. Мощность потерянной энергии называют *потерями мощности* или просто *потерями*.

Потери в ЭМ подразделяются на основные и добавочные. *Основные потери* возникают в результате происходящих в ЭМ основных электромагнитных и механических процессов, а *добавочные потери* обусловлены различными вторичными явлениями.

Во вращающихся ЭМ **основные**
потери подразделяются на:

1. механические потери
2. магнитные потери (потери в стали)
3. электрические потери.

К электрическим потерям относятся потери в обмотках, которые называются также потерями в меди, хотя обмотки и не всегда изготавливаются из меди; потери в регулировочных реостатах и потери в переходном сопротивлении щеточных контактов.

$$P_{\text{э}} = m \cdot I^2 \cdot r$$

Так же рассчитываются электрические потери и в МПТ, при этом $m=1$.

Электрические потери в скользящем контакте зависят от сорта щеток и состояния контактных поверхностей:

$$P_{\text{эл.щ.}} = m \cdot \Delta U_{\text{щ}} \cdot I$$

Механические потери состоят из:

- 1) потерь в подшипниках
- 2) потерь на трение щеток о коллектор или контактные кольца
- 3) вентиляционные потери.

Механические потери зависят от частоты вращения машины и не зависят от ее нагрузки.

При проектировании ЭМ каждая составляющая механических потерь рассчитывается отдельно. Приблизительно можно считать, что механические потери пропорциональны квадрату частоты вращения.

Так потери на трение зависят от плотности и вязкости среды, в которой вращается ротор ЭМ. При заполнении ЭМ водородом механические потери уменьшаются примерно в 10 раз по сравнению с потерями в воздухе.

Вентиляционные потери определяются мощностью, которая расходуется на циркуляцию теплоносителя в ЭМ. Она зависит от количества воздуха, водорода или жидкости, отводящих тепло из машины, и от КПД вентилятора или насоса.

Магнитные потери включают в себя потери на гистерезис и вихревые токи, вызванные перемагничиванием сердечников активной стали.

К магнитным потерям относят также такие добавочные потери, которые зависят от значения основного магнитного потока

и вызваны зубчатым строением сердечников. Эти потери иногда называют также добавочными потерями холостого хода, т.к. они существуют в возбужденной машине уже при х.х.

Магнитные потери зависят от марки стали, толщины листов магнитопровода, индукции и частоты перемагничивания. Значительное влияние на магнитные потери оказывают технологические факторы: штамповка листов, прессовка пакетов, механическая обработка магнитопровода.

При определении магнитных потерь пользуются приближенной формулой

$$P_m = k_{\text{обр}} \cdot \rho_{\text{уд}} \cdot (f/50)^{\beta} \cdot B_i^2 \cdot G_i$$

где $k_{\text{обр}}$ – коэффициент обработки, зависящий от обработки стали (для АД: 1,4-1,8);

$\rho_{\text{уд}}$ - удельные потери в стали при частоте перемагничивания 50 Гц и магнитной индукции 1 Тл, Вт/кг;

f - частота перемагничивания, Гц;

V_i - индукция в соответствующей части магнитопровода;

G_i - масса части магнитопровода, где индукция магнитного потока V_i , кг;

β - показатель степени, зависящий от марки стали.

К магнитным потерям в МПТ относятся и поверхностные потери в полюсных наконечниках, обусловленные зубчатостью якоря. Кроме того, к магнитным потерям относятся пульсационные потери в зубцах якоря. Таким образом общие магнитные потери состоят из:

- 1) потери на гистерезис
- 2) потери в стали
- 3) поверхностные потери
- 4) пульсационные потери

Добавочные потери. К этой группе потерь относят потери, вызванные различными вторичными явлениями при нагрузке машины. Поэтому указанные потери, зависящие от тока нагрузки, называют иногда добавочными потерями при нагрузке.

В МПТ одна часть рассматриваемых потерь возникает вследствие искажения кривой магнитного поля в воздушном зазоре при нагрузке под влиянием поперечной реакции якоря. В результате этого магнитный поток распределяется неравномерно.

Такое неравномерное распределение магнитного потока вызывает увеличение магнитных потерь. При наличии компенсационной обмотки рассмотренная часть добавочных потерь практически отсутствует.

Другая часть добавочных потерь в МПТ связана с коммутацией.

Расчет добавочных потерь производят для крупных ЭМ. Для ЭМ общепромышленной серии добавочные потери, согласно ГОСТ, принимаются равными **0,5 – 1 %** номинальной мощности.

Таким образом, суммарные или полные потери представляют собой сумму:

- 1) механических потерь
- 2) магнитных потерь
- 3) электрических потерь
- 4) добавочных потерь

Коэффициент полезного действия определяется как отношение полезной, или отдаваемой, мощности к потребляемой мощности

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

Кривая КПД ЭМ от отдаваемой мощности приведена на рис.1.24. Из графика очевидно, что кривая КПД сначала быстро растет с увеличением нагрузки, затем КПД достигает максимума (при нагрузке близкой к номинальной) и при больших нагрузках – уменьшается.

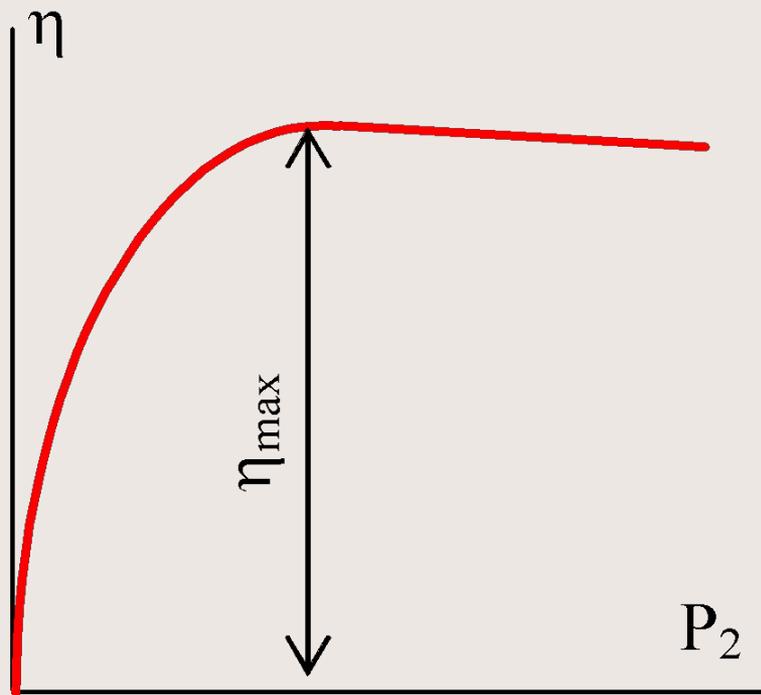


Рис. 1.24.

1.12. Нагрев и охлаждение ЭМ

1.12.1. Теплопередача в ЭМ

Потери энергии вызывают выделение тепла и нагревание частей ЭМ. Передача тепла от более нагретых частей ЭМ к менее нагретым и в окружающую среду происходит путем теплопроводности, лучеиспускания и конвекции.

Теплопередача путем теплопроводности в ЭМ происходит внутри твердых тел (медь, сталь, изоляция), в то время как в газах (воздух, водород) и в жидкостях (масло, вода) главное значение имеет передача тепла конвекцией. Для более интенсивного отвода тепла обычно применяют обдув внутренних, а иногда и внешних поверхностей ЭМ воздухом

1.12.2. Нагревание и охлаждение идеального однородного твердого тела

Уравнение нагревания. В основу анализа процесса нагревания ЭМ положена теория нагревания идеального однородного твердого тела, под которым понимается тело, обладающее рассеиванием тепла со всей поверхности и бесконечно большой теплопроводностью, вследствие чего все точки тела имеют одинаковую температуру.

Для составления дифференциального уравнения нагревания такого тела рассмотрим его тепловой баланс.

Пусть в единицу времени в теле выделяется количество теплоты Q . Тогда за бесконечно малый промежуток времени выделяемое количество теплоты будет равно Qdt . Эта теплота частично аккумулируется в теле при повышении температуры и частично отдается во внешнюю среду.

Если за время dt температура тела повысилась на $d\Theta$, то количество аккумулируемой за это время теплоты равно

$$G \cdot c \cdot d\Theta$$

где G – масса тела и c – его удельная теплоемкость.

Пусть в рассматриваемом бесконечно малом промежутке времени превышение температуры тела над температурой окружающей среды равно Θ . Тогда количество теплоты, отдаваемое в окружающую среду за время dt вследствие лучеиспускания, конвекции и теплопроводности, будет равно $S \cdot \lambda \cdot \Theta dt$, где S – площадь тела и λ - коэффициент теплоотдачи с поверхности.

На основе закона сохранения энергии

$$Qdt = G \cdot c d\Theta + S \cdot \lambda \cdot \Theta dt$$

Преобразуя полученное уравнение и введя понятие **постоянной времени нагревания T** (время, в течение которого температура тела достигла бы установившегося значения если отсутствовала передача тепла в окружающую среду и все выделяемое тепло накапливалось в теле) найдем решение в виде

$$\Theta = \Theta_{\text{уст}} (1 - e^{-t/T})$$

Кривые нагревания и охлаждения приведены на рис.1.25.

В действительности же ЭМ не представляет собой такого тела, т.к. состоит из различных частей, обладающих конечной теплопроводностью, причем теплопроводность электрической изоляции достаточно мала. Поэтому различные части ЭМ (обмотка, сердечники и др.) имеют различные температуры. Таким образом, кривые нагревания и охлаждения не являются экспоненциальными.

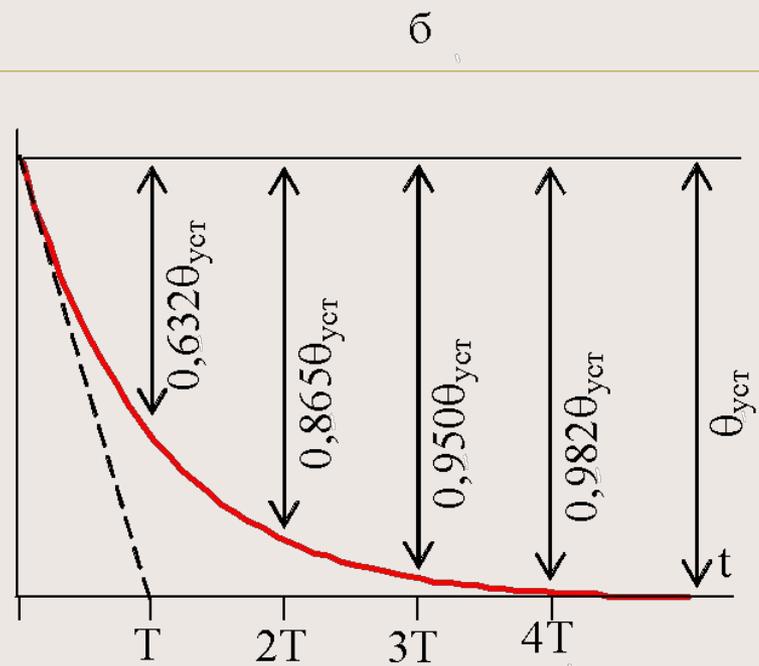
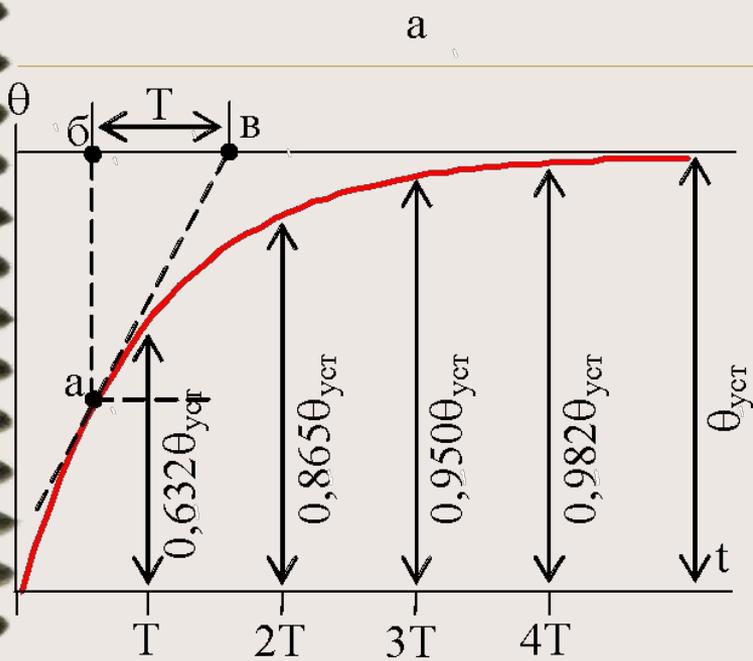


Рис. 1.25.

1.12.3. Основные номинальные режимы работы ЭМ

Согласно ГОСТ ЭМ изготавливаются для трех основных номинальных режимов работы.

Продолжительный номинальный режим работы (S1) ЭМ называется режим работы при неизменной номинальной нагрузке, продолжающейся столько времени, что превышения температуры всех частей ЭМ при неизменной температуре окружающей среды достигают практически установившихся значений.

Кратковременным номинальным режимом работы (S2) ЭМ называется режим работы, при котором периоды неизменной номинальной нагрузки при неизменной температуре окружающей среды чередуются с периодами отключения ЭМ: при этом периоды нагрузки не настолько длительны, чтобы превышения температуры всех частей ЭМ могли достигнуть установившихся значений, а периоды остановки ЭМ настолько длительны, что все части ее приходят в практически холодное состояние.

Повторно-кратковременным номинальным режимом работы (S3) ЭМ называется режим работы, при котором кратковременные периоды неизменной номинальной нагрузки при неизменной температуре окружающей среды чередуются с кратковременными периодами отключения ЭМ, причем как рабочие периоды, так и пауз не настолько длительны, чтобы превышения температуры отдельных частей ЭМ могли достигнуть установившихся значений.

ПКР характеризуется ПВ:

$$ПВ = t_{\text{раб}} / (t_{\text{раб}} + t_{\text{ост}})$$

Стандартные значения ПВ: 15%, 25%, 40%, 60%.

1.13. Материалы, применяемые в электромашиностроении

В ЭМ энергия магнитного поля сосредоточена в основном в воздушном зазоре. Чтобы сконцентрировать энергию в воздушном зазоре, необходимо иметь магнитопровод и обмотки, которые вместе с конструкционными материалами обеспечивают распределение электромагнитных, тепловых и механических полей в ЭМ.

Принято материалы, применяемые в ЭМ, делить на *активные* и *конструктивные*.

К **активным** относятся материалы обмоток и магнитопровода, а к **конструктивным** – изоляционные и материалы из которых выполняются станины, щиты, валы и другие части ЭМ.

Такое деление условно, т.к. во многих ЭМ совмещены активные и конструктивные функции отдельных частей ЭМ, например, в МПТ магнитный поток замыкается по станине.

Для изготовления магнитопровода ЭМ применяются листовая электротехническая сталь, стальное литье, чугун и магнитодиэлектрики.

(Самостоятельно)