Урок №10 (11.02.2012)
Электродвигатель и электрогенератор. КПД электродвигателя.

1. *Генератор и электродвигатель.*

Простейшая модель электродвигателя – проводящая планка, скользящая по рельсам, в перпендикулярном магнитном поле. Если к рельсам приложить напряжение, то на планку начинает действовать сила Ампера и она начинает двигаться.

Однако, если планку двигать искусственно, с помощью внешней силы, то она, наоборот, начнёт «вырабатывать» напряжение.

Из этого примера видно, что электрогенератор и электродвигатель – в сущности одно и то же… Аналогично можно рассмотреть вращение рамки в магнитном поле: если по рамке пустить ток, то она вращается (электродвигатель), а если её вращать внешними силами, то на концах рамки возникает ЭДС.

Далее рассмотрим устройство генератора псевдо-постоянного тока с большим количеством обмоток…

Противо-ЭДС в электродвигателе.

Рассмотрим такую страшную **задачу**:

Сопротивление обмотки ротора двигателя постоянного тока равно $R = 5{,}0\ Ом$. Двигатель подключен к источнику с напряжением $U = 120\ B$, и, когда двигатель развивает полные обороты при нормальной нагрузке, противо-ЭДС равна $\varepsilon_{инд} = 108\ B$. Рассчитать силу тока в двигателе в момент пуска и силу тока при полных оборотах.

Решение. В момент пуска электродвигателя ротор практически неподвижен. Поэтому противо-ЭДС равна нулю, и, по закону Ома, $I_{старт} = U/R = 24\ A$. При нормальной нагрузке у нас, как сказано в задаче, возникает ЭДС самоиндукции $\varepsilon_{инд}$, направленная против внешнего напряжения. Поэтому рабочий ток: $I = \left(U - \varepsilon_{инд}\right)/R = 2{,}4\ A$.

Мощность и КПД электродвигателя.

Пусть сопротивление обмотки якоря равно R, напряжение в сети U, трение отсутствует. Пусть, при этом, «извне» к якорю приложен постоянный вращающий момент M (механическая нагрузка). Пусть, наконец, двигатель работает в стационарном режиме, т.е. якорь вращается с постоянной угловой скоростью ω, при этом через обмотку якоря идёт ток I.

В этом случае мы можем, воспользовавшись законом сохранения энергии, приравнять потребляемую из сети мощность $P = UI$ сумме механической мощности P_M и теплоте, выделяющейся за единицу времени I^2R:

$$UI = P_M + I^2R.$$

При этом ток в цепи можно записать, с учётом возникающей ЭДС самоиндукции:

$$I = \frac{U - \varepsilon}{R},$$

где ε – абсолютная величина ЭДС самоиндукции.

Из этих двух формул видно, что

$$P_M = I\varepsilon .$$

С другой стороны, т.к. скорость вращения якоря постоянна и геометрия обмоток не меняется, ЭДС самоиндукции прямо пропорциональна скорости вращения:

$$\varepsilon = \xi\omega ,$$

где ξ – коэффициент пропорциональности.

С другой стороны механическая мощность при равномерном движении равна

$$P_M = M\omega ,$$

следовательно

$$I = \frac{P_M}{\varepsilon} = \frac{M\omega}{\xi\omega} = M/\xi .$$

При неподвижном якоре ЭДС самоиндукции равна нулю и ток в цепи максимальный:

$$I_{\max} = U/R ,$$

в этот же момент (т.е. пока якорь неподвижен) двигатель развивает максимальный крутящий момент:

$$M_{\max} = \frac{U\xi}{R} .$$

Оценим, как себя ведёт механическая мощность, развиваемая электродвигателем.

$$P_M = IU - I^2R = \frac{U}{\xi}M - \frac{R}{\xi^2}M^2 .$$

Это уравнение симметричной параболы, с ветвями, направленными вниз. Очевидно, что механическая мощность равна нулю, при $M = 0$ и при $M = M_{\max}$ (холостой ход и остановка якоря). Максимальная мощность достигается посередине, при $M = M_{\max}/2$ и равна

$$P_{M\max} = \frac{1}{4}P_{\max} = \frac{1}{4}\frac{U^2}{R} ,$$

где $P_{\max} = I_{\max}U = \dfrac{U^2}{R}$.

КПД электродвигателя:

$$\eta = \frac{P_M}{P} = 1 - \frac{R}{\xi U}M .$$

Заметим, что КПД электродвигателя максимальна (и равна 100%) при $M = 0$, т.е. когда двигатель не работает… Это показывает, в очередной раз, что КПД – не единственная характеристика, которую надо максимизировать.

Индукционные токи и другие эффекты.

Несколько эффектов: вихревые токи (токи Фуко), магнитный демпфер, наборный сердечник.

2. Задачи

1. Частота ротора электродвигателя постоянного тока, включенного в цепь батареи с разностью потенциалов $U = 24\ B$, при полном сопротивлении цепи $R = 20\ Ом$ равна $\nu = 600\ мин^{-1}$ при токе в цепи $I = 0,2\ A$. Какую ЭДС разовьет тот же двигатель, работая в качестве динамо-машины с частотой $\nu_д = 1200\ мин^{-1}$?

2. Какую частоту разовьет электродвигатель постоянного тока с постоянным магнитом, включенный в цепь с ЭДС ε при полном сопротивлении цепи R, если, работая в качестве генератора, он развивает ЭДС ε_0 при частоте ν_0? Момент силы трения на оси двигателя равен M. $\left[\nu = \nu_0\left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_0} - \frac{2\pi MR\nu_0}{\varepsilon_0^2}\right)\right]$

3. Какую ЭДС развивает динамо-машина постоянного тока, если при сопротивлении цепи $R_1 = 300\ Ом$ на вращение ротора затрачивается мощность $P_1 = 50\ Вт$, а потери на трение составляют $\chi = 4\%$ по мощности? Какую мощность для поддержания той же частоты необходимо затрачивать при сопротивлении цепи $R_2 = 60\ Ом$?