

ИНФОРМАЦИОННО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА МИНИМИЗАЦИИ РАСХОДА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА СОБСТВЕННЫЕ НУЖДЫ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Сивокобыленко В. Ф., Павлюков В. А., Талал Ал Ас
 Донецкий государственный технический университет
 svf@elf.dgtu.donetsk.ua

Is worked up an information-calculable system for determination of optimum effort in system of own needs from losses minimum condition. For asynchronous motors take into account the current forcing out phenomena in rotor and saturation of magnetic chains of main stream and dispersion streams. By computations results is shown effectiveness of offered approach for abbreviation of losses in systems of electric provision with motors load.

На тепловых и атомных электрических станциях порядка 10 % от вырабатываемой электрической энергии потребляется на собственные нужды (с.н.). При этом основными потребителями этой электроэнергии являются короткозамкнутые асинхронные двигатели (АД), используемые для привода различного рода механизмов (насосов, вентиляторов). Если учесть, что коэффициент полезного действия АД равен 0,89 – 0,95, то потери в системах с.н. составляют около 1 % от выработанной электрической энергии.

Как известно [1], потери в АД зависят от уровня напряжения и частоты в системе с.н. С учетом этого в работах [1,2 и др.] предпринимались попытки выяснить влияние напряжения на экономичность работы электродвигателей с.н. электростанций и было экспериментально установлено, что при определенных условиях может быть получено существенное снижение этих потерь за счет выбора оптимального уровня напряжения. Однако, расчетных методов нахождения оптимальных условий, особенно в режиме on-line, пока не предложено.

В данной статье приведены пути решения проблемы минимизации потерь для системы с.н. 6 кВ для электростанций с блочными агрегатами большой единичной мощности. На таких блоках нагрузка с.н. питается от отдельных трансформаторов (рабочих или резервных) единичной мощностью 32 – 63 МВА, к обмоткам низшего напряжения которых подключают секции с.н., от которых питаются 10 – 15 двигателей единичной мощностью 200 – 8000 кВт и 5 – 8 трансформаторов 6/0,4 кВ единичной мощностью 1000 кВА.

Согласно Правилам технической эксплуатации уровень напряжения на шинах с.н. может находиться в пределах 0,95–1,1 номинального напряжения и может изменяться с помощью установленного на трансформаторах устройства РПН (регулятора переключения под нагрузкой).

Один из возможных путей определения оптимального к.п.д. всей системы с.н. заключается в использовании математических моделей основных звеньев системы (трансформаторов, АД, кабельных линий связи и др.). Эти модели должны позволять достаточно точно определять основные виды потерь, имеющих место в указанных элементах: потери в меди обмоток статора и ротора, потери в стали на намагничивание с учетом режимных параметров: коэффициента загрузки механизма (K_3), уровня (U) и частоты (f) питающего напряжения.

В [3] разработаны такие модели для всех указанных элементов системы электроснабжения. В частности для синтеза моделей АД в качестве исходных данных были приняты за основу каталожные данные или полученные экспериментально: номинальные значения активной мощности ($P_{ном}$), частоты вращения ($\omega_{ном}$), коэффициенты мощности ($\cos \varphi_{ном}$) и полезного действия ($\eta_{ном}$), кратности (по отношению к номинальным) пускового тока статора (K_i) и вращающих моментов максимального (M_m) и пускового ($M_{п}$).

Определение параметров эквивалентных Т-образных схем замещения АД с двумя контурами на роторе, ветвью намагничивания и цепью статора осуществляется методом прямого синтеза из решения системы нелинейных алгебраических уравнений, обеспечивающего полное совпадение исходных и расчетных данных [3]. Так как механические и добавочные потери в данной эквивалентной схеме замещения не учитываются, они отнесены к нагрузочным потерям с вентиляторным или постоянным характером момента сопротивления на валу, а к.п.д. двигателя соответственно увеличен.

Ветвь намагничивания представлена последовательно включенными активным и индуктивным сопротивлениями, нелинейно зависящими соответственно от частоты и тока намагничивания. Для определения характера указанных нелинейностей используется характеристика холостого хода АД. Такого рода модель АД позволяет в зависимости от входных параметров (K_3 , U , f) определить суммарные потери в двигателе

$$\Delta P_{AD}(U, f, K_3) = \Delta P_{Cu} + \Delta P_{Fe} + \Delta P_{мех}. \quad (1)$$

Для определения отдельных составляющих в (1), пользуясь схемой замещения, находим сначала токи статора, ротора, ветви намагничивания и скольжение. С этой целью для каждого двигателя задаем начальное приближение скольжения, равное произведению номинального скольжения на коэффициент загрузки, определяем входные сопротивления двигателя, суммарное сопротивление всех присоединений секции, которое

складываем с сопротивлением питающего трансформатора. После этого определяем напряжение на секции с.н., а также токи и вращающие моменты двигателей по соотношениям:

$$I_s = U \left[Z_s(I_s) + \left[\left(R_m v^{-1,5} + j v X_m(I_m) \right)^{-1} + Z_r^{-1} \right]^1 \right]^{-1}; M = \left[\frac{U - I_s Z_s(I_s)}{Z_r} \right]^2 \frac{\text{Re}(Z_r)}{\text{Cos } \varphi_{\text{ном}} \eta_{\text{ном}}},$$

где $Z_r = \left[\left(\frac{R_{r1}}{s} + j v X_{r1} \right)^{-1} + \left(\frac{R_{r2}}{s} + j v X_{r2} \right)^{-1} \right]^{-1}$ - суммарное сопротивление двух контуров ротора;

v - относительная частота питающего напряжения.

Теперь представляется возможным из уравнения движения уточнить скольжение двигателей и повторить весь расчет итерационным путем до сходимости.

После этого находим искомые потери.

$$\Delta P_{Cu} = R_s I_s^2 + \frac{R_{r1}}{s} I_{r1}^2 + \frac{R_{r2}}{s} I_{r2}^2; \Delta P_{Fe} = R_m v^{-1,5} I_m^2.$$

Аналогичная модель создана для трансформаторов. Сопротивления питающих АД кабелей отнесены к обмоткам статоров АД. На начальном этапе были проведены исследования зависимостей потерь основных АД системы с.н. наиболее широко применяемых на электрических станциях Украины блочных агрегатов 200 и 300 МВт. С использованием изложенного принципа создана база данных параметров схем замещения по всем основным АД и трансформаторам систем с.н. блочных электростанций.

Так как потери в меди обмоток статора и ротора пропорциональны квадратам соответствующих токов, а

потери в стали - квадрату напряжений, то в зависимости от K_3 имеет место оптимальное напряжение, при котором суммарные потери в АД минимальны. При этом для различного типа двигателей оптимальные значения напряжений не совпадают. Таким образом, задача сводится к определению оптимального значения напряжения, при заданной его частоте, для всей системы с.н. блока в целом для заданного режима его работы. Реализация этой задачи может быть осуществлена с помощью информационно-вычислительной системы.

В зависимости от наличия средств регулирования напряжения все системы электроснабжения могут быть разделены на активные и пассивные. К первым из них относятся те системы, в которых имеются указанные средства регулирования: регуляторы трансформаторов РПН, синхронные компенсаторы, статические конденсаторы и др. Для этих систем разработана информационно-вычислительная система (ИВС) минимизации потерь в системе с.н. Она состоит из ПЭВМ и датчиков потребляемой мощности, напряжения и частоты по каждому АД и трансформатору, имеющихся в существующей системе АСУ ТП электростанции. Алгоритм функционирования ИВС приведен на рисунке 1. В соответствии с этим алгоритмом по координатам текущего режима для каждого из двигателей и трансформаторов рассчитываются потери и суммируются для всей системы в целом. После этого программно рассчитываются суммарные потери для значений напряжения из допустимого диапазона. По полученной зависимости $\Delta P_{\Sigma}(U)$ определяется минимум этой функции и соответствующее ему значение напряжения. Затем определяется величина отклонения текущего напряжения в системе с.н. от оптимального. Так как регулятор РПН имеет дискретные значения регулируемого напряжения, то команда на переключение поступает только тогда, если при переходе на следующую отпайку имеет выигрыш, превышающий заданное значение.

Приведены некоторые расчетные данные,

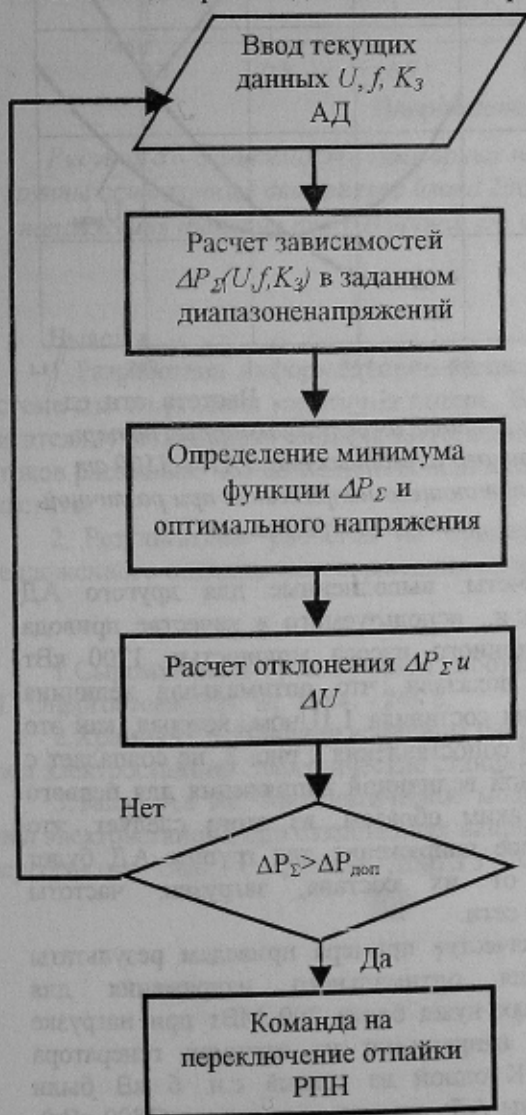


Рисунок 1 - Структурная схема информационно-вычислительной системы

позволяющие оценить эффективность предлагаемой ИВС для системы с.н. блока 200 МВт, собственные нужды которого питаются от трансформатора мощностью 32 МВА. Для одного из наиболее мощных двигателей с.н., служащего приводом питательного насоса блока, и имеющего следующие исходные данные $R_{ном}=3800$ кВт; $I_{ном}=450$ А; $\eta_{ном}=0,96$; $\cos \varphi_{ном}=0,85$; $\omega_{ном}=2985$ об/мин; $K_i=7$; $M_m=2,5$; $M_p=1,4$ параметры схемы замещения в относительных номинальных единицах составили: $R_s=0,013$; $X_{\sigma s}=0,067$; $X_{\mu}=2,649$; $R_{\mu}=0,062$; $R_{21}=0,076$; $X_{\sigma 21}=0,137$; $R_{22}=0,0058$; $X_{\sigma 22}=0,185$. Эти параметры для номинального режима работы полностью отрабатывают приведенные выше каталожные данные.

В качестве примера приведем результаты расчета, полученные с помощью ИВС, для указанного выше двигателя. Характер зависимостей ΔP_{Σ} в функции напряжения для частот 50 и 47,5 Гц представлен на рисунке 2. Как видно из рисунка при частоте 50 Гц минимум потерь имеет место при напряжении, равном 0,98 номинального, а при 47,5 Гц – при 0,94 номинального. Аналогичные зависимости ΔP_{Σ} в функции частоты для напряжений $U_{ном}$ и $0,9U_{ном}$ приведены на рисунке 3. ИВС позволяет также выполнить расчет ΔP_{Σ} для заданных значений напряжения и частоты.

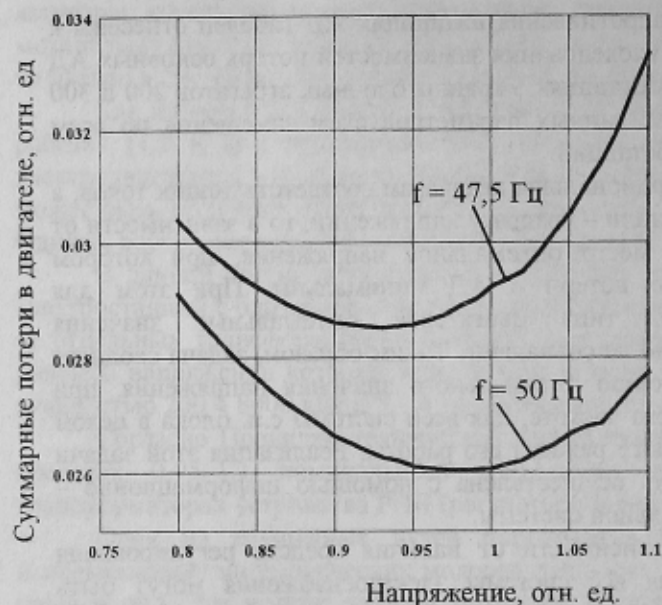


Рисунок 2 – Зависимость суммарных потерь асинхронного двигателя типа АТМ-3500 от напряжения питания при различной его частоте

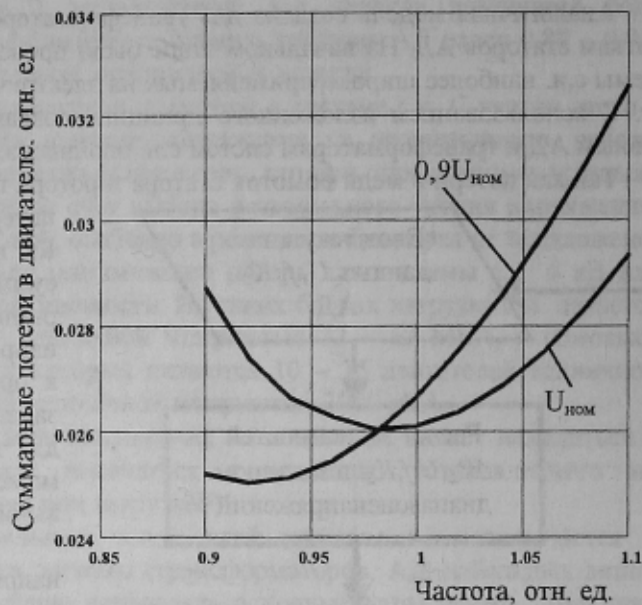


Рисунок 3 – Зависимость суммарных потерь асинхронного двигателя типа АТМ-3500 от частоты питающего напряжения при различной величине напряжения

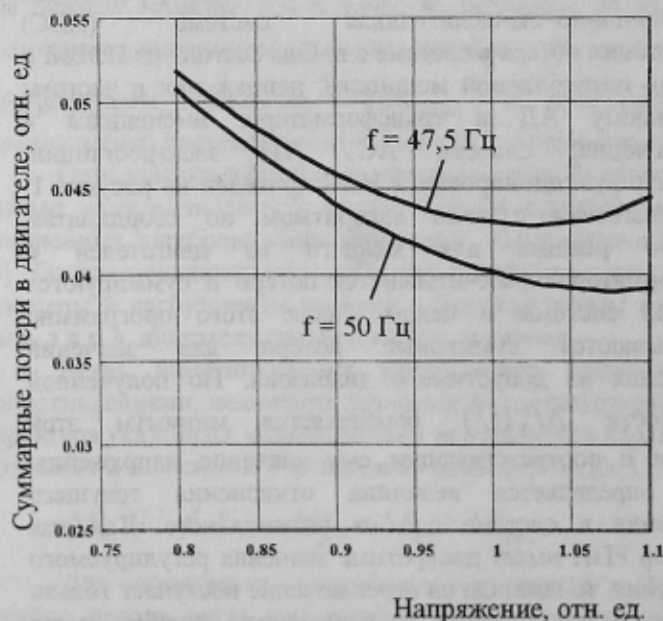


Рисунок 4 – Зависимость суммарных потерь асинхронного двигателя типа ВДД 213/54-16 от напряжения питания при различной его частоте

Расчеты, выполненные для другого АД системы с.н, используемого в качестве привода циркуляционного насоса мощностью 1700 кВт (рис. 4), показали, что оптимальная величина напряжения составила $1,1U_{ном}$, которая, как это следует из сопоставления с рис. 2, не совпадает с оптимальной величиной напряжения для первого из АД. Таким образом, из этого следует, что оптимальное напряжение для группы АД будет зависеть от их состава, загрузки, частоты питающей сети.

В качестве примера приведем результаты определения оптимального напряжения для собственных нужд блока 200 МВт при нагрузке $0,9P_{ном}$ и напряжении на зажимах генератора $1,03U_{ном}$. К одной из секций с.н. 6 кВ были подключены АД: питательного насоса (3800 кВт), циркуляционного насоса (1700 кВт), дымососа (1500 кВт), резервного возбудителя (1100 кВт) и мельничного вентилятора (800 кВт). Зависимости ΔP_{Σ} двигателей секции от напряжения для частот

50 и 47,5 Гц представлены на рисунке 5, а от частоты для напряжений $U_{ном}$ и $0,9U_{ном}$ приведены на рисунке 6. Как следует из рисунков 5,6, можно добиться снижения потерь в системе с.н. блока 200 МВт, состоящей из двух секций, за счет выбора оптимального напряжения на величину 150 – 200 кВт. При этом оптимальное напряжение при частоте 50 Гц составляет $0,98 U_{ном}$, что довольно значительно отличается от напряжения $1,05 U_{ном}$, которое обычно поддерживается на электростанциях.

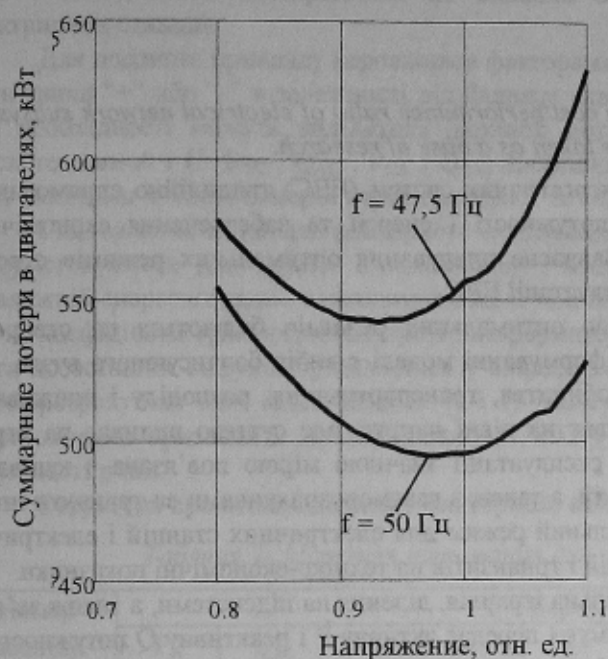


Рисунок 5 – Зависимость суммарных потерь группы асинхронных двигателей блока 200 МВт от напряжения питания при различной его частоте

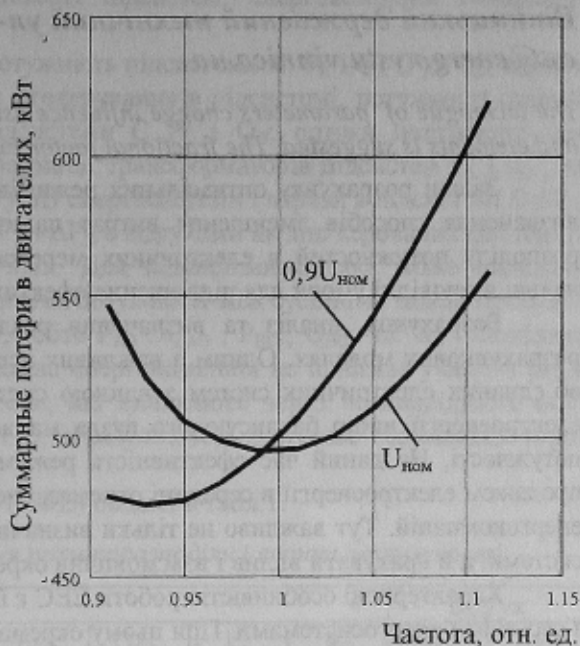


Рисунок 6 – Зависимость суммарных потерь группы асинхронных двигателей блока 200 МВт от частоты напряжения при различной величине напряжения

Выводы.

1 Разработана информационно-вычислительная система для определения оптимального напряжения в системе с.н. из условия минимума потерь. В основу системы положена математическая модель асинхронного двигателя, учитывающая явления вытеснения тока в роторе и насыщения магнитных цепей главного потока и потоков рассеяния, что позволило использовать ее для анализа режимов с различными значениями напряжения и частоты.

2 Результатами расчетов на примере с.н. современных мощных блоков показана эффективность предложенного подхода для сокращения потерь в системах электроснабжения с двигательной нагрузкой.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сыромятников И.А. Режимы работы асинхронных и синхронных двигателей. / Под ред. Мамиконянца Л.Г. Энергоатомиздат, М. 1984. - 240 с.
2. Храмов Н.Я. Влияние величины напряжения на экономичность работы электродвигателей собственных нужд электростанций Электрические станции. 1981, №7 С. 39 - 41.
3. Талал Ал. Ас. Математическое моделирование процессов в системе электроснабжения собственных нужд электростанций при отклонениях напряжения и частоты / Сб. науч. тр. ДонГТУ. Серия «Электротехника и энергетика». – Вып.17. – Донецк, ДонГТУ, 2000. – С. 184 – 189.