Записки Ленинградского ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции
и ордена Трудового Красного Знамени горного института им. Г.В.Плеханова,
т. XCIV, 1982 г.

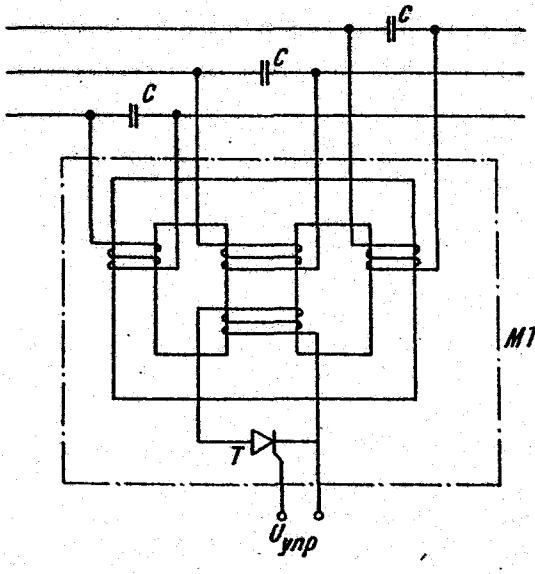
УДК 621.3.078

МЕТОДИКА РАСЧЕТОВ ПРОЦЕССОВ В СИСТЕМЕ АСИНХРОННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ – УПРАВЛЯЕМАЯ ЕМКОСТЬ

И.И.СТОЛЯРОВ

Повышение эффективности установок продольно-емкостной компенсации (УПК) в рудничных распределительных сетях, а также предотвращение возникновения аномальных режимов[*] в работе электроприводов с асинхронным двигателем (АД) возможно за счет регулирования емкостного сопротивления УПК. В связи с этим представляет определенный интерес изучение режимов работы АД последовательно с регулируемой емкостью.

Обычно для регулирования емкости используют трехфазную группу тиристоров, шунтирующих трехфазную емкость. Такая схема ухудшает гармонический состав тока и напряжения нагрузки. Поэтому для регулирования емкости была предложена схема магнитно-тиристорного регулятора (см. рисунок).



Регулируемая емкость с магнитно-тиристорным регулятором

Данная схема позволяет, в отличие от известных:
1) уменьшить полную мощность используемого тиристора и исключить его из силовой цепи;
2) управлять одним тиристором трехфазной емкостью, т.е. упростить систему управления.

Управление емкостью осуществляется регулируемой трехфазной индуктивностью (ТИ), которая включена параллельно конденсаторам, а во вторичной

[*] О.В.Иванов, В.М.Квитковский, В.И.Комаров. Исследование самораскачивания асинхронного двигателя в цепях с последовательными конденсаторами. – Электричество, 1969, № 3.

цепи ТИ включен тиристор. Трехфазная индуктивность регулируется изменением продолжительности включения тиристора. Закрытый тиристор обеспечивает максимальное значение трехфазной индуктивности, открытый - минимальное. Меняя продолжительность включения, можно изменять эквивалентную индуктивность, тем самым изменяя величину эквивалентной емкости.

Принимая систему симметричной, можно оценить эквивалентные параметры управляемой емкости следующим образом:

$$Z_э = \frac{r\frac{L}{C} - \frac{r}{\omega C}\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right) - j\left(\frac{r^2}{\omega C} + \frac{L}{C}\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)\right)}{r^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}, \qquad (1)$$

где C - установленная емкость одной фазы; r - активное сопротивление индуктивности; L - индуктивность.

Введем обозначения:

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}; \quad \tau = rC; \quad \frac{\omega}{\omega_0} = \xi; \quad \rho^2 = \frac{L}{C} = \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2 \frac{1}{\omega C} = \xi^2 x_C^2.$$

Для реактивной составляющей $x_э$ запишем

$$x_э = x_C \frac{r^2 + (\omega C)^2\left(\frac{L}{C}\right)^2 - \rho^2}{r^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}, \qquad (2)$$

где $\rho^2 = \xi^2 x_C^2$.

Так как

$$r^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2 = r^2 + x_C^2(\xi^2 - 1)^2,$$

можно записать

$$x_э = x_C \frac{r^2 + \xi^2 x_C^2(\xi^2 - 1)}{r^2 + x_C^2(\xi^2 - 1)^2}.$$

Если принять $r = 0$, то

$$x_э = x_C\left(1 + \frac{1}{\xi^2 - 1}\right)$$

или

$$x_э = x_C \frac{\xi^2}{\xi^2 - 1}. \qquad (3)$$

Отсюда можно определить диапазон изменения ω_0 и L в зависимости от заданного закона изменения эквивалентной емкости. Для изучения законов изменения емкости при последовательной работе с АД необходимо исследование системы дифференциальных уравнений, описывающих процессы в системе АД - емкость.

При работе АД магнитное состояние по осям изменяется не одинаково. Так как магнитное состояние машины определяет коэффициенты уравнений,

можно предложить следующую форму записи. Введем обозначение RJ для операции

$$Re(\dot{A})Re(\dot{B})+jJm(\dot{A})Jm(B) \overset{def}{=\!=} RJ(\dot{A},\dot{B}).$$

Тогда систему дифференциальных уравнений, описывающую процессы в системе АД - емкость в координатах α, β, можно записать в следующей форме:

$$\begin{aligned}
\frac{d\dot{\Psi}_s}{dt} &= -RJ(\dot{A}_s,\dot{\Psi}_s)+RJ(\dot{A}_{sk},\dot{\Psi}_r)+\dot{U}-\dot{U}_C;\\
\frac{d\dot{\Psi}_r}{dt} &= RJ(\dot{A}_{Rk},\dot{\Psi}_s)-RJ(\dot{A}_R,\dot{\Psi}_r)+j\omega\dot{\Psi}_r;\\
J\frac{d\omega}{dt} &= Jm(\overset{*}{\Psi}_r\dot{\Psi}_s)-M_C;\\
\frac{d\dot{U}_C}{dt} &= \frac{1}{C}\dot{I}_s,
\end{aligned} \qquad (4)$$

где

$$\dot{A}_s = R_s\left(\frac{1}{L'_{s_\alpha}}+j\frac{1}{L'_{s_\beta}}\right);$$

$$\dot{A}_{sk} = R_s\left(\frac{K_{r_\alpha}}{L'_{s_\alpha}}+j\frac{K_{r_\beta}}{L'_{s_\beta}}\right) = R_s RJ(\dot{A}_s,\dot{K}_r);$$

$$\dot{A}_R = R_r\left(\frac{1}{L'_{r_\alpha}}+j\frac{1}{L'_{r_\beta}}\right);$$

$$\dot{A}_{Rk} = R_r\left(\frac{K_{s_\alpha}}{L'_{r_\alpha}}+j\frac{K_{s_\beta}}{L'_{r_\beta}}\right) = R_r RJ(\dot{A}_R,\dot{K}_s);$$

L'_{s_α}, L'_{s_β}, L'_{r_α}, L'_{r_β}, K_{r_α}, K_{r_β}, K_{s_α}, K_{s_β}, J - параметры АД; $\dot{\Psi}_s$, $\dot{\Psi}_r$ - потокосцепления статора и ротора соответственно; $\dot{U}_C$ - напряжение на емкости; M_C - момент сопротивления на валу АД.

Система уравнений (4) является нелинейной. Численные решения и исследование их на ЦВМ являются одним из возможных путей решения задачи. Решение системы (4) численными методами также позволяет оценить погрешность в решениях линеаризованной системы, когда скорость ротора принимается постоянной, и тем самым определить ее степень точности.

Для решения системы (4) была разработана и отлажена программа на ЦВМ ЕС-1022. Предлагаемая программа состоит из основной программы, содержащей обращение к библиотеке программ и обращение к подпрограмме *FULL*. При обращении к библиотеке программ используется подпрограмма *ASPR*. Основная программа содержит процедуру, задающую точность решения системы, расчеты мгновенных значений тока статора, потокосцеплений ротора и статора и значения электромагнитного момента в требуемые моменты времени. Подпрограмма *ASPR* содержит систему дифференциальных уравнений (4), а также процедуру управления параметрами машины в зависимости от ее магнитного состояния. В *ASPR* содержится также математическое описание фильтра, позволяющего выявить наличие субгармонических составляющих тока при разгоне и аномаль-

ных режимах АД. Подпрограмма содержит как нелинейную систему (4), так и линеаризованную систему. В зависимости от поставленной задачи может решаться как нелинейная, так и линейная система дифференциальных уравнений. Возможно и смешанное решение, т.е. на определенном интервале решается нелинейная, а на следующем - линейная система дифференциальных уравнений.

Подпрограмма *FULL* реализует процедуру, необходимую для учета изменения взаимоиндуктивности во время работы АД, зависящей от насыщения. Для учета влияния насыщения была предложена следующая методика. Кривая намагничивания вводится в виде таблицы. Количество точек определяет степень точности аппроксимации кривой. Для каждой точки находится тангенс угла наклона кривой, т.е.

$$k_i = \frac{y_{i+1} - y_i}{x_{i+1} - x_i}.$$

Далее находится коэффициент kk_i, показывающий степень разницы между двумя рядом расположенными тангенсами:

$$kk_i = \frac{k_{i+1}}{k_i}.$$

Для более точных расчетов необходимо в системе (4) постоянно определять коэффициент взаимоиндуктивности по каждой оси. Для этого в программе предлагается следующая процедура. При решении системы (4) на каждом шаге интегрирования происходит следующее.

1. Сравнивается значение потока на данном шаге по каждой оси самостоятельно с предыдущим значением.

2. Если предыдущее значение потока не равно настоящему, то целой переменной M присваивается значение, определяемое по выражению

$$M = \frac{\Psi}{\Psi_{ц}},$$

где Ψ - текущее значение потока; $\Psi_{ц}$ - цена деления.

Так как в программе при объявлении имен переменных не было упоминания о том, что M является *REAL*, то, по умолчанию, M является целой переменной и ей будет присвоена только целая часть.

3. Сравнивается текущее значение M с предыдущим; если они равны, то L_m не изменяется; если они не равны, то из массива kk_i выбирается элемент kk_M.

4. Если настоящее значение потока больше предыдущего, то $L_m = L_m kk_M$; если меньше, то $L_m = L_m / kk_M$.

Данная процедура выполняется по каждой оси самостоятельно. Таким образом, на каждом шаге интегрирования системы (4) происходит коррекция L_m по каждой оси. Такая процедура позволяет исключить поиск функции, аппроксимирующей кривую намагничивания, и исключить погрешность, обусловленную аппроксимацией. Одновременно сокращается машинное время, что позволяет использовать программу в микропроцессорном устройстве для управления системой.

Предлагаемая трехфазная управляемая емкость поможет создать простую и надежную систему продольной компенсации, которая обладает достаточно высокой гибкостью, т.е. позволит управлять электромагнитным моментом двигателя, минимизировать потери напряжения в сети и одновременно предотвратить возникновение аномальных режимов.

Разработанная программа позволяет выполнить расчеты различных режимов работы с учетом всех нелинейностей системы.