

ИЗМЕНЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ БЕСКОНТАКТНОГО ЭМУ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА ПРИ ВКЛЮЧЕНИИ ИНДУКТИВНОЙ НАГРУЗКИ

М. Л. КОСТЫРЕВ, А. И. СКОРОСПЕШКИН

(Рекомендована семинаром кафедр электрических машин
и общей электротехники)

Бесконтактный электромашинный усилитель (БЭМУ) переменного тока [1, 2] может работать в режиме усилителя-преобразователя в высокоскоростном электроприводе или в режиме автономного генератора. При пуске питаемого асинхронного двигателя напряжение БЭМУ, как и любого генератора переменного тока, может резко изменяться, что существенно влияет как на процесс пуска, так и на работу других потребителей, питающихся от БЭМУ.

Коэффициент мощности асинхронных двигателей при пуске незначителен ($\cos \varphi_K = 0,2-0,35$), поэтому их можно рассматривать во время пуска как чисто индуктивную нагрузку.

Напряжение на выходе БЭМУ восстанавливается с помощью быстродействующей схемы фазового компаундирования. Такая схема дает максимальный провал напряжения в первый момент пуска, когда обратная связь еще не успела сработать, после чего напряжение быстро восстанавливается до номинального (рис. 1).

В связи с этим максимальный провал напряжения на выходе БЭМУ при пуске питаемого асинхронного двигателя можно оценить,

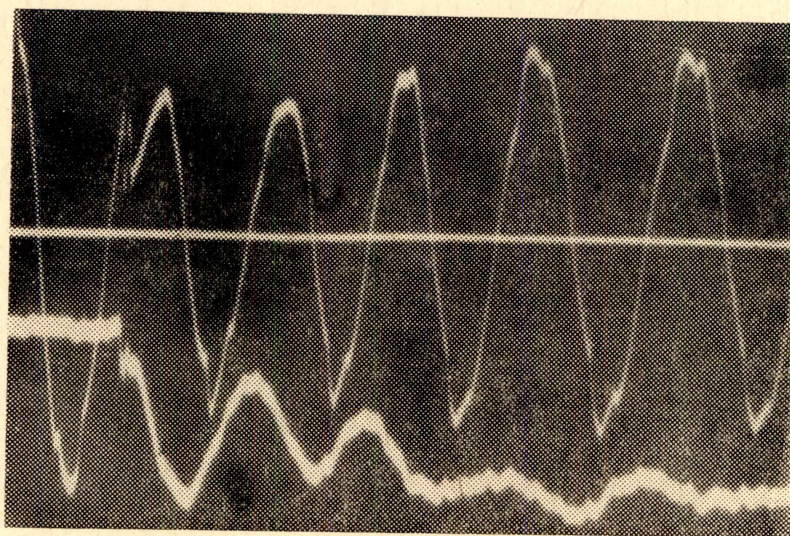


Рис. 1. Выходное напряжение и ток компенсационной обмотки БЭМУ при включении номинальной индуктивной нагрузки

рассмотрев переходный процесс включения индуктивной нагрузки усилителя без обратной связи и постоянном напряжении возбуждения. Дифференциальные уравнения БЭМУ с учетом начальных условий в операторной форме для комплексных относительных величин [2] запишем в следующем виде:

$$\frac{\begin{array}{c} \dot{U}_{f(p)} + p x_f X_{f0} + p x_{m1} \dot{I}_{R0} \\ p x_{m1} \dot{I}_{f0} + p I_r \dot{I}_{R0} \\ p x_{m2} \dot{I}_{R0} \end{array}}{\begin{array}{c} r_f + x_f(p + j) \\ p x_{m1} \\ 0 \end{array}} = \begin{array}{c} r_f + x_f(p + j) \\ p x_{m1} \\ 0 \end{array} \rightarrow$$

$$\rightarrow \begin{array}{c} x_{m1}(p + j) \\ r_f + p x_r \\ x_{m2}[p + j(1 - S)] \end{array} \begin{array}{c} 0 \\ p x_{m2} \\ r_s + x[p + j(1 - s)] \end{array} \cdot \begin{array}{c} \dot{I}_f^{(p)} \\ \dot{I}_{R(p)} \\ \dot{I}_{s(p)}^* \end{array}$$

Индуктивное сопротивление цепи статора

$$x = x_L + x_s,$$

где

x_L — сопротивление нагрузки,

I_{f0} и I_{R0} — значения токов возбуждения и ротора в момент включения.

Пренебрегая активным сопротивлением ротора, из режима холостого хода БЭМУ получим:

$$\dot{I}_{f0} = \frac{\dot{U}_f}{r_f}, \quad \dot{I}_{R0} = - \frac{\dot{U}_f}{r_f} \cdot \frac{x_{m1}}{x_r}.$$

Определив приближенное значение корней соответствующего характеристического уравнения, запишем определитель системы уравнений (1) в виде

$$\Delta = x_f x_r x T'_r \cdot T'_f \cdot a p (p + b + j) [p + j(1 - s)],$$

где

$$a = \frac{1}{T'_f \cdot T_r} + \frac{1}{T_f T'_r} - \frac{1}{T'_f T'_r}$$

$$b = \frac{1}{a} \left(\frac{1}{T'_f T_f T_r} + \frac{1}{T'_f T_r T'_r} + \frac{1}{T_f T'_r T_s} \right) = \frac{1}{T}.$$

$$T'_f = \left(x_f - \frac{x^2_{m1}}{x_r} \right) \frac{1}{r_f}, \quad T'_r = \left(x_r - \frac{x^2_{m2}}{x} \right) \frac{1}{r_r}, \quad T_s = \frac{x}{r_s}.$$

Изображение напряжения возбуждения по Карсону

$$U_f(t) = U_f \cdot e^{-j(t + \delta_1)} \div \dot{U}_f \frac{p}{p + j}.$$

Напряжение на выходе БЭМУ из уравнений (1)

$$\begin{aligned} \dot{U}_{(p)}^* &= -x_L [p + j(1 - s)] \dot{I}_{s(p)}^* = \\ &= \frac{\dot{U}_f \cdot x_{m1} x_{m2} x_L}{x_f x x_r T'_r T'_f a} \cdot [p + j(1 - s)] \left(\frac{p}{p + j} + p T'_f \right). \end{aligned} \quad (2)$$

Перейдя от изображения к оригиналу и пренебрегая величинами второго порядка малости, получим

$$\dot{U}(t) = s U_s \cdot A [\sin(t + \delta_1) + j \cos(t + \delta_1)],$$

где

$$U_s = \frac{U_f X_{m1} X_{m2} X_L \cdot T}{x_f \cdot x_{\sigma r} T'_r T'_f a},$$

$$A = \left[1 - \left(1 - \frac{T'_f}{T} \right) e^{-\frac{t}{T}} \right] - \frac{1}{sT} e^{-\frac{t}{T}}.$$

После обратных преобразований фазное напряжение действительной машины

$$U_a(t) = sU_s A \sin(st + \delta_1 + \delta_2). \quad (3)$$

Если пренебречь влиянием активных сопротивлений r_s и r_r на амплитуду напряжения, то

$$U_a(t) \approx sU_s \left[1 - \left(1 - \frac{T'_f}{T} \right) e^{-\frac{t}{T}} \right] \sin(st + \delta_1 + \delta_2).$$

Определим изменение огибающей напряжения на выходе БЭМУ в момент включения ненагруженного БЭМУ на индуктивную нагрузку. Из режима холостого хода [2]

$$U_0 = \frac{sU_f X_{m1} X_{m2}}{r_f \cdot X_r}.$$

При включении в момент $t=0$ огибающая напряжения

$$U_{(t=0)} = \frac{sU_f X_{m1} X_{m2} X_L}{x_f x_{\sigma r} T'_r \cdot a}.$$

Изменение огибающей напряжения

$$\begin{aligned} \Delta U_s &= \frac{U_0 - U_{(t=0)}}{U_0} = 1 - \frac{X_L X_f}{x_f X_r T'_r a} = \\ &= \frac{x \cdot X_r X_s - X_{m2}^2 X_f - X_{m1}^2 X_s}{x_f X_r (X_s + X_L) - X_{m2}^2 X_f - X_{m1}^2 (X_s + X_L)}. \end{aligned}$$

Полные сопротивления ротора и статора

$$\begin{aligned} X_r &= X_{m1} + X_{m2} + X_{\sigma r}, \\ X_{\sigma r} &= X_{\sigma r1} + X_{\sigma r2}, \\ X &= X_s + X_L = X_{m2} + X_{\sigma s} + X_L, \\ X_f &\approx X_{m1}. \end{aligned}$$

С учетом этих выражений получим

$$\Delta U_s \approx \frac{X_{\sigma s} + X_{\sigma r}}{X_{\sigma s} + X_{\sigma r} + X_L}. \quad (4)$$

Формула (4) для расчета начального провала напряжения была проверена на опыте. Для макета БЭМУ (300 ва, 200 гц)

$$x_{\sigma r} = 0,3 \text{ о. е.} \quad x_{\sigma s} = 0,14 \text{ о. е.}$$

$$\Delta U = \frac{0,3 + 0,14}{0,3 + 0,14 + 1} = 0,305.$$

Из осциллограммы рис. 1 $\Delta U \approx 0,4$. Известно, [3], что при включении номинальной индуктивной нагрузки автономного генератора допускается

$$\Delta U \leq 0,25.$$

Поэтому из условий динамической перегрузки допустимое значение сопротивлений рассеяния БЭМУ в относительных единицах

$$(x_{cs} + x_{cr}) \leq 0,3. \quad (5)$$

Выводы

1. Провал напряжения на выходе БЭМУ с фазовым компаундированием при включении индуктивной нагрузки определяется в основном индуктивным сопротивлением рассеяния обмоток ротора и выходной обмотки.

2. Получено условие динамической перегрузки БЭМУ (5), которое следует использовать при проектировании.

ЛИТЕРАТУРА

1. E. Mishkin. Poly-field Alternating-Current Induction Machines. Патент США, № 2966623, 27.12. 1960.
2. М. Л. Костырев, А. И. Скороспешкин. Вопросы теории бесконтактного ЭМУ переменного тока. В настоящем сборнике.
3. Г. А. Мелешкин. Судовые синхронные генераторы с автоматической регулировкой напряжения. Судпромгиз, 1962.