Записки Ленинградского ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции
и ордена Трудового Красного Знамени горного института им. Г.В.Плеханова.
т. XX, вып. 1, 1976 г.

ИССЛЕДОВАНИЕ КОНДЕНСАТОРНОГО ТОРМОЖЕНИЯ АСИНХРОННЫХ КОРОТКОЗАМКНУТЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ НА АНАЛОГОВОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ МАШИНЕ

О.В.ИВАНОВ, Б.И.КОМАРОВ

В установках электропривода автономно или в сочетании с другими режимами[x] используется конденсаторное торможение асинхронных короткозамкнутых двигателей. Тормозной момент на валу двигателя при этом в зависимости от схемы и начальных условий является результатом или самовозбуждения машины, или разряда конденсаторов, или следствием того и другого одновременно.

Конденсаторное торможение обычно рассчитывают графоаналитическими методами на основе анализа схемы замещения асинхронной машины с конденсаторами. Необходимость учитывать насыщение магнитной цепи машины значительно усложняет расчет, заставляет для его облегчения использовать упрощенные схемы замещения и принимать многие допущения. Результаты расчета при этом, как правило, значительно отличаются от экспериментальных данных.

Динамические характеристики и переходные режимы рассчитать в этом случае с достаточной точностью практически оказывается невозможным.

Расчет торможения только по статическим характеристикам не позволяет учесть переходные моменты, а поэтому приводит к значительным ошибкам при определении действующих тормозных моментов и времени торможения.

Наиболее полное исследование конденсаторного торможения может быть выполнено при использовании аналоговых вычислительных машин, позволяющих без существенных упрощений решать систему нелинейных дифференциальных уравнений асинхронной машины.

С помощью аналоговой вычислительной машины могут быть рассчитаны статические и динамические характеристики, скоростные границы и время торможения, выявлено влияние отдельных параметров системы на характеристики конденсаторного торможения, а также проведено исследование электромехани-

[x] М.М.Соколов, Л.П.Петров, Л.Б.Масандилов, В.А.Ладензон. Электромагнитные переходные процессы в асинхронном электроприводе. М., „Энергия", 1967.

ческих переходных процессов, искажающих статические характеристики и оказывающих значительное влияние на тормозной эффект.

При исследовании конденсаторного торможения обязательным является учет насыщения магнитной цепи по отношению к главному потоку машины. Насыщение относительно потоков рассеяния, наиболее заметное у машин с закрытыми и полузакрытыми пазами, может для упрощения задачи учитываться соответствующим выбором сопротивлений рассеяния.

Для моделирования на аналоговой вычислительной машине рационально использовать систему дифференциальных уравнений асинхронных машин, записанную в неподвижных координатных осях α и β. Эта система для асинхронного двигателя с симметричной батареей конденсаторов и шунтирующими активными сопротивлениями в относительных единицах имеет вид

$$R_1 i_{1\alpha(\beta)} + u_{c\alpha(\beta)} + \frac{d\Psi_{\alpha(\beta)}}{d\tau} = 0;$$

$$\Psi_{\alpha(\beta)} = \Psi_{0\alpha(\beta)} + X_1 i_{1\alpha(\beta)};$$

$$i_{1\alpha(\beta)} = \frac{d u_{c\alpha(\beta)}}{X_c d\tau} + \frac{u_{c\alpha(\beta)}}{R_ш};$$

$$R_2 i_{2\alpha(\beta)} \pm \omega_p \Psi_{2\beta(\alpha)} + \frac{d\Psi_{2\alpha(\beta)}}{d\tau} = 0;$$

$$\Psi_{2\alpha(\beta)} = \Psi_{0\alpha(\beta)} + X_2 i_{2\alpha(\beta)};$$

$$\Psi_{0\alpha(\beta)} = f\left[i_{0\alpha(\beta)}\right]; \; i_{0\alpha(\beta)} = i_{1\alpha(\beta)} + i_{2\alpha(\beta)};$$

$$M_{эм} = \Psi_{2\beta} i_{2\alpha} - \Psi_{2\alpha} i_{2\beta};$$

$$M_{вр} = M_{эм} + T_м \frac{d\omega_p}{d\tau},$$

где R_1, R_2, X_1, X_2 – активные и индуктивные сопротивления рассеяния цепи статора и ротора; $X_c, R_ш$ – емкостное сопротивление конденсаторов и активное сопротивление, шунтирующее конденсаторы; $T_м$ – механическая постоянная двигателя.

Модель (рис.I) позволяет задавать начальные значения магнитных потоков статора и ротора, заряд конденсаторов, скорости вращения ротора, а также постоянные значения скорости и момента на валу. В качестве исходных данных приняты параметры асинхронного двигателя АОЛ-3I-4: $R_1 = R_2 = 0{,}088$; $X_1 = X_2 = 0{,}077$; $T_м = 28$. Зависимость $\Psi_0 = f(i_0)$ определена по экспериментальной кривой намагничивания машины.

Для определения времени развития тормозного момента на аналоговой вычислительной машине воспроизводилось замыкание статора на цепь, содержащую емкость, при заданной постоянной скорости вращения ротора.

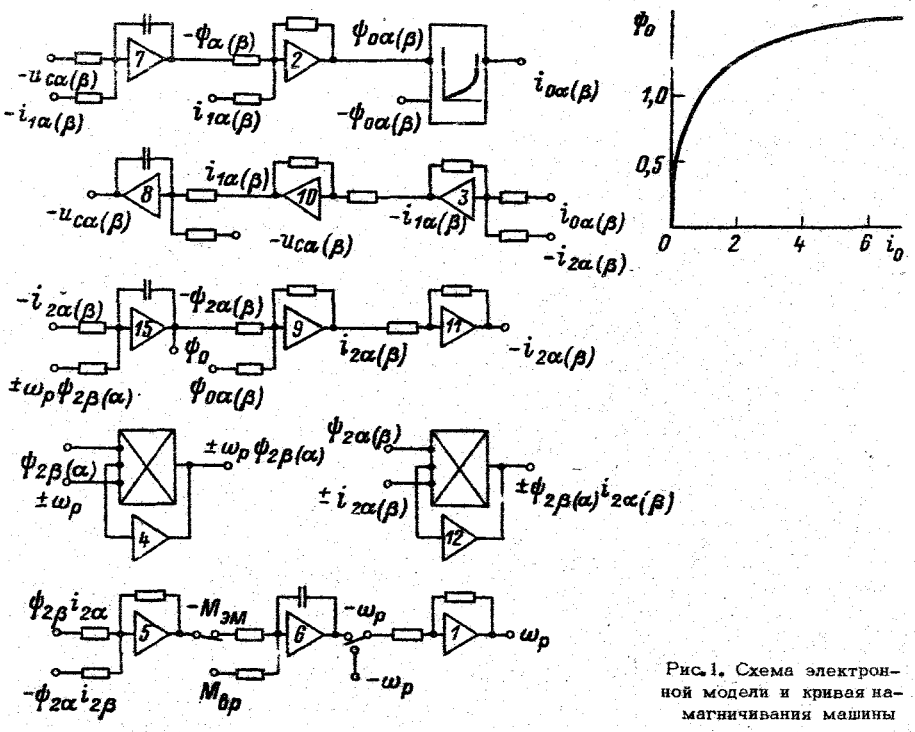


Рис. 1. Схема электронной модели и кривая намагничивания машины

В случае выполнения условий самовозбуждения в образовавшейся колебательной системе за счет остаточного намагничивания $\psi_{20} = 0{,}05$ постепенно развиваются свободные колебания. Через некоторое время, вследствие влияния насыщения стали, режим становится установившимся. При этом в системе поддерживаются незатухающие колебания определенной амплитуды и частоты. Время, протекающее от момента подключения цепи до момента установления незатухающих колебаний, является полным временем развития самовозбуждения или временем развития тормозного момента.

При невыполнении условий самовозбуждения свободные колебания в системе не развиваются, тормозной эффект отсутствует. Минимальное и максимальное значения скорости, соответствующие срыву самовозбуждения, определяют скоростные границы области конденсаторного торможения при данных параметрах системы. При исследовании вначале определялись скоростные границы. Затем в пределах области торможения задавался ряд значений скорости, для которых и определялось время развития тормозного момента.

Результаты исследования после обработки с учетом принятого при моделировании масштаба времени для двух значений параметров R_1 и X_r оформлены в виде графика (рис.2, а), из которого видно: при скоростях вращения, близких к нижней и верхней критической, время развития тормозного момента возрастает в пределе до бесконечности. Минимального значения оно достигает примерно около середины области. При увеличении актив-

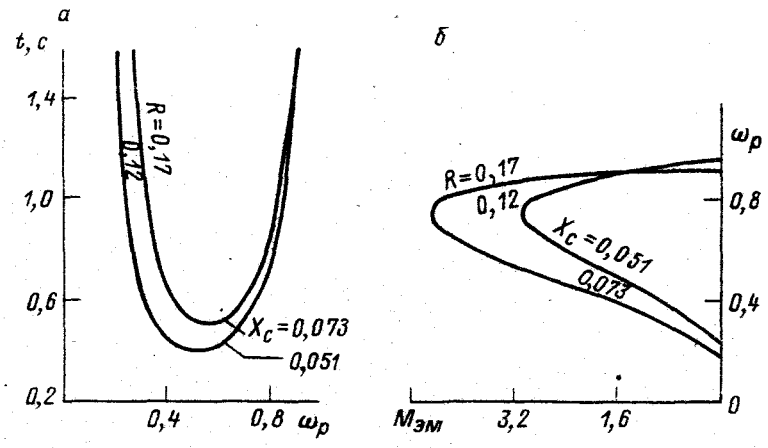


Рис.2. Характеристики процесса торможения: а - времени развития; б - механическая

ного сопротивления цепи статора минимальное значение времени развития тормозного момента возрастает.

После завершения процесса самовозбуждения при каждом из заданных значений скорости в установившемся режиме работы на модели измерялось значение электромагнитного тормозного момента (рис.2, б). Предлагаемый метод позволяет рассчитать как устойчивую, так и неустойчивую ветви механической характеристики при любых значениях параметров системы. Как видно из рис.2, б, асинхронный двигатель в режиме конденсаторного торможения даже с дополнительным активным сопротивлением в цепи статора развивает тормозной момент, существенно превышающий максимальный момент двигательного режима.

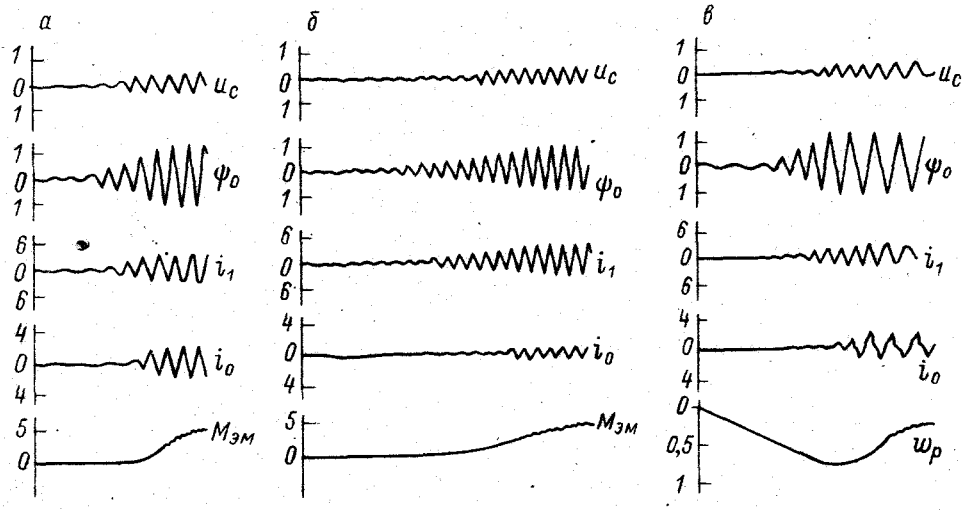


Рис.3. Осциллограммы переходных процессов

Характер переходных процессов при конденсаторном торможении иллюстрируется рис.3 ($R_1 = 0,12$; $X_C = 0,051$). Осциллограмма на рис.3, а соответствует $\omega_p = 0,625$ и минимальному времени развития тормозного момента. Осциллограмма на рис.3, б, снятая при $\omega_p = 0,85$, близкой к верхней критической скорости, характеризуется меньшими амплитудами напряжений, потокосцеплений и токов и значительно большим временем развития тормозного момента. Как видно из рисунка, напряжение на емкости и потокосцепление в установившемся режиме практически синусоидальны. Форма кривой намагничивающего тока резко несинусоидальна, магнитная цепь машины сильно насыщена. Частота токов статора при самовозбуждении в первом случае $\omega_{01} = 0,393$, во втором $\omega_{02} = 0,506$, скольжение соответственно $S_1 = 0,59$ и $S_2 = 0,68$.

На рис.3,в представлен процесс развития торможения асинхронного двигателя с наглухо подключенной емкостью при возрастании скорости ротора от нуля и постоянном вращающем моменте на валу $M_{бр} = 1$. Как видно из осциллограммы, при запуске с постоянным моментом скорость вращения ротора достигает $\omega_p = 0,82$, а затем развившиеся свободные колебания затормаживают ротор и скорость снижается до $\omega_p = 0,34$ в установившемся режиме. Максимальное значение электромагнитного момента при переходном процессе достигает $M_{эм} = 3$. Частота свободных колебаний в установившемся режиме $\omega_0 = 0,266$, скольжение $S = 0,28$. Токи статора и ротора заметно несинусоидальные.