

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ КВАЗИУСТАНОВИВШИЕСЯ РЕЖИМЫ В РЕВЕРСИВНЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДАХ С ДВИГАТЕЛЯМИ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ ПРИ ИМПУЛЬСНОМ РЕГУЛИРОВАНИИ

А. И. САПОЖНИКОВ, В. А. БЕЙНАРОВИЧ

(Представлена научно-техническим семинаром НИИ АЭМ)

В реверсивных электроприводах постоянного тока с двигателями последовательного возбуждения при импульсном регулировании скорости цепи обмоток возбуждения и якоря отдельно шунтируются диодами (рис. 1, а). При неодинаковых постоянных времени цепей якоря и возбуждения диаграммы токов якоря $i_{\text{я}}$ и возбуждения $i_{\text{в}}$ имеют различный характер (рис. 2), что ведет к неравенству средних значений этих токов и величин их пульсации.

Для возможности аналитического расчета электромагнитных процессов в квазиустановившихся режимах вводятся следующие допущения:

параметры двигателя характеризуются постоянными значениями сопротивлений и индуктивностей цепей якоря $r_{\text{я}}$, $L_{\text{я}}$ и возбуждения $r_{\text{в}}$, $L_{\text{в}}$;

эдс E в обмотке якоря не изменяется за время периода коммутации T вследствие постоянства скорости вращения и демпфирования пульсаций потока возбуждения действием вихревых токов;

клапаны обладают идеальными характеристиками (сопротивление изменяется скачком от нуля до бесконечности);

источник питания идеальный (внутреннее сопротивление и индуктивность равны нулю).

При указанных допущениях расчетная схема замещения при несимметричном импульсном управлении представляется рис. 1, б. Обозначим

$T_{\text{я}} = \frac{L_{\text{я}}}{r_{\text{я}}}$, $T_{\text{в}} = \frac{L_{\text{в}}}{r_{\text{в}}}$, $T_{\Sigma} = \frac{L_{\text{я}} + L_{\text{в}}}{r_{\text{я}} + r_{\text{в}}}$ — электромагнитные постоянные времени цепей якоря, возбуждения и двигателя;

$I_{\text{макс.}}$ — максимальное значение тока, одинаковое для цепей якоря и возбуждения (рис. 2);

$I_{\text{я. мин.}}$, $I_{\text{в. мин.}}$, $I_{\text{я. ср.}}$, $I_{\text{в. ср.}}$ — минимальные и средние значения тока якоря и возбуждения (рис. 2);

$\frac{T_{\text{я}}}{T} = \frac{1}{a}$, $\frac{T_{\text{в}}}{T} = \frac{1}{b}$, $\frac{T_{\Sigma}}{T} = \frac{1}{\varepsilon}$, $\frac{t}{T} = \tau$ — постоянные времени цепей и текущее время в относительных единицах.

При принятых допущениях и обозначениях решение дифференциальных уравнений электрического равновесия на отдельных интерва-

лах периода коммутации при постоянном коэффициенте заполнения импульсов γ дают выражения для мгновенных значений тока в квазиустановившемся режиме. Ток возбуждения при условии $T_B > T_A$ определяется (рис. 2) на интервале $0 \leq \tau \leq 1 - \gamma + \delta$

$$i_B = I_{\text{макс}} e^{-b\tau} \quad (1)$$

и на интервале $1 - \gamma + \delta \leq \tau \leq 1$

$$i_B = \frac{U - E}{r_A + r_B} - \left(\frac{U - E}{r_A + r_B} - I_{\text{в. мин.}} \right) e^{-(1 - \gamma + \delta)\varepsilon}, \quad (2)$$

$$\text{где } I_{\text{в. мин.}} = I_{\text{макс.}} e^{-(1 - \gamma + \delta)b} \quad (3)$$

Ток якоря при $T_B > T_A$ определяется (рис. 2) на интервале $0 \leq \tau \leq 1 - \gamma$.

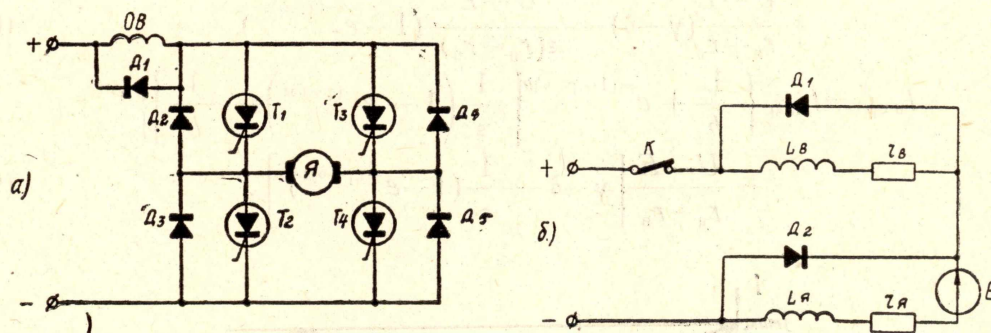


Рис. 1

$$i_A = \left(I_{\text{макс.}} + \frac{E}{r_A} \right) e^{-a\tau} - \frac{E}{r_A}, \quad (4)$$

на интервале $1 - \gamma \leq \tau \leq 1 - \gamma + \delta$

$$i_A = \frac{U - E}{r_A} - \frac{U}{r_A} e^{-(\tau - 1 + \gamma)a} + \left(I_{\text{макс.}} + \frac{E}{r_A} \right) e^{-a\tau}, \quad (5)$$

на интервале $1 - \gamma + \delta \leq \tau \leq 1$ ток якоря равен току возбуждения (рис. 2) и определяется уравнением (2).

Значения величин интервала δ и тока $I_{\text{макс.}}$ вычисляются графоаналитическим методом или на ЭВМ путем совместного решения двух уравнений, первое из которых получается приравниванием значений токов i_B по (1) и i_A по (5) при $\tau = 1 - \gamma + \delta$, а второе — из равенства токов i_B в начале периода коммутации из (1) при $\tau = 0$ и в конце — из (2) при $\tau = 1$. Для упрощения определения δ и $I_{\text{макс.}}$ при тех же условиях можно воспользоваться приближенными уравнениями, полученными из (1), (2), (5) разложением в степенной ряд с учетом только двух его первых членов. В этом случае получаем

$$\delta = \frac{A[b(1 - \gamma) + \varepsilon] + B\gamma}{ab - A(b - \varepsilon) + B}, \quad (6)$$

где

$$A = \frac{Ea}{U - E}(1 - \gamma); \quad B = \frac{r_A \varepsilon}{r_A + r_B}(1 - \gamma)(a - b);$$

$$I_{\text{макс.}} = \frac{U-E}{r_{\text{я}}} \frac{a\delta - A}{(1-\gamma+\delta)(a-b)}. \quad (7)$$

Определив δ и $I_{\text{макс.}}$ при заданных значениях γ , E , U и известных параметрах, можно найти минимальные значения тока возбуждения (3) и тока якоря из (4) при $\tau=1-\gamma$. Средние значения токов определяются интегрированием уравнений (1), (2), (4), (5):

$$I_{\text{я. ср}} = I_{\text{макс}} \left[\frac{1-e^{-(1-\gamma+\delta)a}}{a} + \frac{1-e^{-(\gamma-\delta)\varepsilon}}{\varepsilon} e^{-(1-\gamma+\delta)b} \right] -$$

$$- \frac{E}{r_{\text{я}}}(1-\gamma+\delta) + \frac{E}{ar_{\text{я}}}(1-e^{-(1-\gamma+\delta)a}) + \frac{U}{r_{\text{я}}}\delta - \frac{U}{ar_{\text{я}}}(1-e^{-a\delta}) +$$

$$+ \frac{U-E}{r_{\text{я}}+r_{\text{в}}}(\gamma-\delta) - \frac{U-E}{\varepsilon(r_{\text{я}}+r_{\text{в}})}(1-e^{-(\gamma-\delta)\varepsilon}), \quad (8)$$

$$I_{\text{в ср}} = I_{\text{макс}} \left\{ \frac{1}{b} + e^{-(1-\gamma+\delta)b} \left[\frac{1}{\varepsilon} (1-e^{-(\gamma-\delta)\varepsilon}) - \frac{1}{b} \right] \right\} +$$

$$+ \frac{U-E}{r_{\text{я}}+r_{\text{в}}} \left[\gamma-\delta - \frac{1}{\varepsilon} (1-e^{-(\gamma-\delta)\varepsilon}) \right]. \quad (9)$$

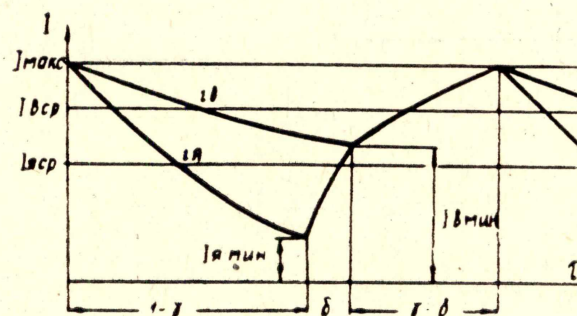


Рис. 2

Экспериментальные проверки показали, что приведенная методика расчета дает расхождение с экспериментом до 50% при использовании точного решения и до 20% — для приближенного.