

УДК 621.313.333

П. Д. Гаврилов, А. А. Неверов

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПЕРЕМЕННОГО ТОКА, РАБОТАЮЩЕГО С ПЕРЕМЕННОЙ НАГРУЗКОЙ И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬЮ

Как правило, при выборе мощности асинхронных двигателей (АД) для машин, работающих с переменной нагрузкой и производительностью (в том числе горных, подъемно-транспортных машин, насосов, вентиляторов и др.), их мощность завышается с учетом самых тяжелых пусков и максимально возможных нагрузок и производительности. При этом, вследствие изменения производительности по технологическим условиям АД загружены существенно ниже, и во избежание частых опрокидываний из-за случайного изменения сопротивляемости горных пород резанию и переменного характера сопротивления движению горных и транспортных машин машинисты сознательно нагружают электродвигатели на 60÷70% их номинальной тепловой мощности, т.е. снижают производительность машин [1].

Недогрузка АД влечет за собой снижение энергетического КПД АД ( $\eta_s = \eta_0 \cos \phi_0$ ) и, следовательно, интенсивный рост потерь электроэнергии ( $\Delta W$ ) в АД и в электросети *обратно пропорционально*  $\eta_s^2$ :

$$\Delta W = 3 \left( \frac{K_z P_n}{3U_\phi \eta_s} \right)^2 \cdot R_s T, \quad (1)$$

где  $P_n$ ,  $K_z$ ,  $U_\phi$ ,  $R_s$ ,  $T$  – соответственно номинальная мощность, коэффициент загрузки, фазное напряжение АД, эквивалентное электрическое сопротивление элементов линии, соединяющей АД и источник электрической энергии, время работы установки.

В таких режимах, например, при реальном  $K_z = 0,7$  будет  $\eta_s \leq 0,45 \dots 0,6$ .

Для повышения долговечности, энергетических показателей и производительности при заданных ограничениях габаритов АД и машины в этих случаях система управления электроприводом должна обеспечить его работу с минимальными удельными ресурсоемкостью и энергоемкостью посредством регулирования амплитуды напряжения на статоре АД в функции нагрузки установки, обеспечивая оптимальные режимы пуска и перегрузочную способность.

Нашей целью является выявление способов частотного управления АД, применение которых позволило

бы правильно выбирать АД и оптимизировать режимы его работы по критерию потерь в АД. Вопросы, посвященные минимизации потерь в АД, рассмотрены многими авторами. На основании исследований в [2,3] обоснованно сформулирован закон, обеспечивающий оптимизацию работы АД.

Записав суммарные электрические потери и потери в стали

$$P_{\text{эм}} = P_{\text{ст}} + P_{\text{эл1}} + P_{\text{эл2}} =$$

$$= \frac{U_{\text{ном}}^2 \gamma^2}{R_{\alpha\beta}^2} \left\{ \left[ m_1 r_1 (1 + \tau_2)^2 + \frac{K_{\text{ст}} \alpha x_2' \alpha}{C_1^2 f_{\text{ном}}} + m_1 r_2' \right] \frac{\beta}{r_2} + m_1 \left[ \frac{\eta_1}{x_0^2} + \frac{K_{\text{ст}} \alpha \alpha}{C_1^2 f_{\text{ном}}} \right] \frac{r_2'}{\beta} + m_1 \beta \right\} \quad (2)$$

и представив в более компактном и наглядном виде электромагнитные потери в *ненасыщенном* АД

$$P_{\text{эм}} = \omega_{1\text{н}} M (A\beta + B/\beta), \quad (3)$$

А. А. Булгаков показал, что  $P_{\text{эм}}$  растут пропорционально моменту и в зависимости от абсолютного скольжения ( $\beta$ ) имеют экстремум.

Здесь  $P_{\text{эл1}}$ ,  $P_{\text{эл2}}$  – электрические потери в обмотках статора и ротора;  $P_{\text{ст}}$  – потери в стали;  $\omega_{1\text{н}}$  – номинальная угловая скорость поля статора;  $M$  – электромагнитный момент двигателя;  $\beta$  – относительный параметр абсолютного скольжения;  $r_2'$  – активное сопротивление ротора;  $x_0$  – индуктивное

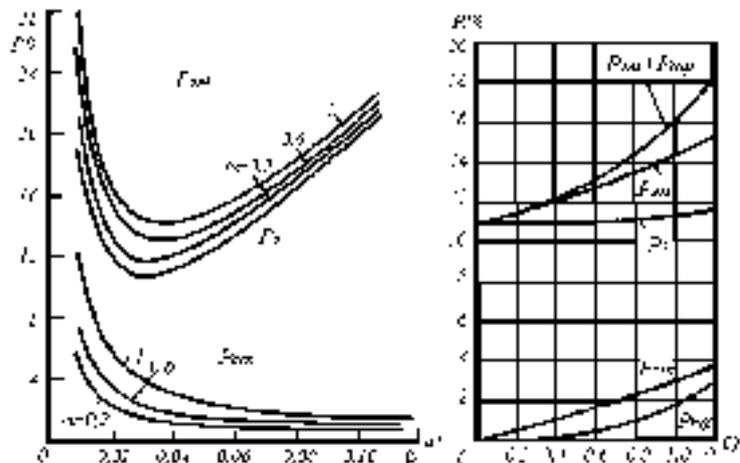


Рис. 1. Кривые потерь в зависимости от параметра абсолютного скольжения (а) и от частоты (б)

сопротивление контура намагничивания;  $r_1$  - активное сопротивление статора;  $x_2'$  - индуктивное сопротивление ротора;  $m_1$  - число фаз обмотки статора;  $\alpha$  - относительная частота статора;  $C_1$  - конструктивная постоянная статора;  $\tau_2$  - коэффициент рассеивания ротора;  $f_{1ном}$  - номинальная частота токов статора;  $K_{ст\alpha}$  - коэффициент потерь в стали зависящий от частоты;  $U_{ном}$  - номинальное напряжение статора;  $\gamma$  - относительное напряжение статора;  $R_{\alpha\beta} = \frac{m_1 U_{ном}^2 \gamma^2}{\omega_{1н} M}$ .

Исследование (3) на экстремум позволило определить, что  $P_{эм}$  имеют минимум при некотором критическом значении  $\beta$ :

$$\beta_{крp} = \sqrt{\frac{B}{A}}$$

$$= r_2' \sqrt{\frac{m_1 r_1 / x_0^2 + \frac{K_{ст\alpha}}{C_1^2 f_{1ном}} \alpha}{m_1 [r_1 (1 + \tau_2)^2 + r_2'] + \frac{K_{ст\alpha} x_2'}{C_1^2 f_{1ном}} \alpha}} \quad (4)$$

На рис. 1,а показаны в относительных единицах кривые потерь в зависимости от параметра абсолютного скольжения при трех значениях параметра частоты  $\alpha=1, 0,6$  и  $0,2$  (внизу построены кривые потерь в стали). На рис. 1, б показано влияние частоты на потери в режиме их минимума, т.е. при  $\beta_{крp}$ .

Следовательно, АД “будет работать с минимальными электромагнитными потерями при любом моменте и любой частоте статора  $\alpha$ , если менять напряжение  $\gamma$  так, чтобы абсолютное скольжение  $\beta$  имело критическое значение  $\beta_{крp}$ , зависящее от частоты” [3]. Это положение было подтверждено другими авторами и дополнено учетом насыщения, которое влияет на  $\beta_{крp}$  [5].

Известно, что с насыщением АД увеличиваются потери из-за увеличения потерь в стали в соответствии с зависимостью

$$P_{ст} = (K_2 + K_{вх} f_{1ном} \alpha) \Phi^2 f_{1ном} \alpha = K_{ст\alpha} \Phi^2 f_{1ном}, \quad (5)$$

где  $K_2$  - коэффициент потерь в стали, учитывающий влияние гистерезиса;  $K_{вх}$  - коэффициент потерь в стали, учитывающий влияние вихревых токов;  $\Phi$  - магнитный поток АД, и увеличения электрических потерь в обмотках статора из-за быстрого возрастания с повышением тока намагничивания (рис. 2).

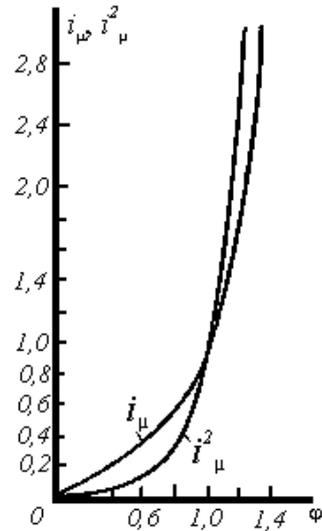


Рис. 2. Зависимость тока намагничивания и его квадрата от потока

При этом главную роль в увеличении потерь играет не поток, а ток намагничивания, рост которого ограничивает допустимое увеличение потока и, следовательно, потерь в стали [3]. Поэтому в соответствии с рекомендациями в [6] для выяснения влияния насыщения на потери в [3] первичный ток разделен на составляющую от нагрузки ( $I_2$ ) и составляющую намагничивания – ток возбуждения ( $I_0$ ):

$$I_1^2 \approx I_2^2 + I_0^2 \quad (6)$$

Для учета насыщения электрические потери возбуждения по рекомендации [5] объединяют с потерями в стали в общие потери возбуждения

$$P_в = (K_{эв} + K_{ст\alpha} \alpha) \Phi^2 = K_{в\alpha} \Phi^2, \quad (7)$$

где

$$K_{эв} = m_1 r_1 \left( \frac{C_1 f_{1ном}}{x_0} \right)^2.$$

С увеличением потока потери возбуждения быстро растут, это в [5] предложено учитывать эмпирическим переменным значением  $\chi \geq 2...5$  (при сильном насыщении  $\chi \geq 5$ ) (рис. 3).

Суммарные потери АД

$$P_{\Sigma} = K_n \frac{M^2}{\Phi^2} + K_{в\alpha} \Phi^\chi + K_{гар} \Phi^2 + P_{мех}, \quad (8)$$

монотонно возрастая с частотой, скрытой в коэффициентах, имеют минимум при некотором оптимальном (экстремальном, критическом) значении потока  $\Phi_k$  [2, 3]:

$$P_{\Sigma min} = K_n \frac{M^2}{\Phi_k^2} + K_{в\alpha} \Phi_k^\chi + K_{гар} \Phi_k^2 + P_{мех}, \quad (9)$$

здесь

$$K_H = P_{ном} \frac{\Phi_{ном}^2}{M_{ном}^2}, \quad K_v = \frac{P_{в.ном}}{\Phi_{ном}^\chi},$$

$$K_{гар.ном} = \frac{P_{гар.ном}}{\Phi_{ном}^2}$$

- коэффициенты потерь, соответственно. полных нагрузочных, возбуждения и “гармонических” (имеющих характер добавочных потерь из-за не-синусоидальности питающего напряжения).

На рис. 3  $P_{н.ном}$  и  $P_{в.ном}$  – потери нагрузочные и возбуждения при фиксированных (номинальных) значениях,  $\mu = \frac{M}{M_H}$ . Пунктиром показана средняя кривая, которая близка к кривой при  $\chi = 4$  и соответствует достаточно широкому диапазону изменения переменных.

Из графика на рис. 3 видно, что оптимальное по критерию минимума потерь значение потока быстро растет с увеличением  $\mu$  АД.

Исследование выражения для оптимального по критерию минимума потерь значения  $\beta_{опт}$  с учетом насыщения АД

$$\beta_{опт} = \frac{P_{2ном}}{\omega_{1ном} M_{ном}} \frac{\mu^2}{\varphi_K^2} = \frac{P_{2ном} \mu^2}{\varphi_K^2}, \quad (10)$$

показывает что при больших показателях  $\chi$  параметр  $\beta_{опт}$  несколько возрастает с увеличением  $\mu$ .

Расчеты потерь и их оптимального значения на ЭВМ по описанному методу оказались достаточно точными при  $\mu = 0,5...3$ .

На рис.4 приведены кривые потерь в зависимости от абсолютного скольжения, рассчитанные на ЭВМ по точной схеме замещения при постоянном вращающем моменте (сплошные линии) и при постоянном питающем напряжении (пунктир). Кружками показаны четыре точки, рассчитанные по изложенной выше методике.

Хотя из основного закона М. П. Костенко следует, что регулирование амплитуды напряжения с поддержанием  $\beta = const$  при всех частотах обеспечивает режим работы АД, близкий к режиму по основному закону М. П. Костенко, А. А. Булгаков [3] показал отличие такого управления от оптимального по критерию минимума потерь: при уменьшении потока с увеличением  $M$  и соответствующим уменьшением потерь в стали этот режим не может дать минимальных потерь, т.к. требует регулирования  $\beta$  по оптимальному закону.

Авторы статей [4, 7, 8, 9] предложили другие способы минимизации потерь в АД для заданного момента нагрузки.

Однако следует учитывать, что эти законы справедливы для установившихся режимов, а не при произвольных (в том числе случайных) изме-

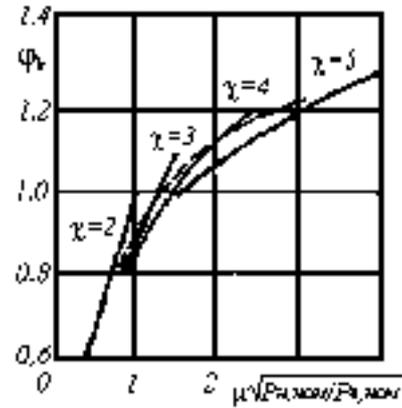


Рис. 3. Учет потерь возбуждения коэффициентом  $\chi$

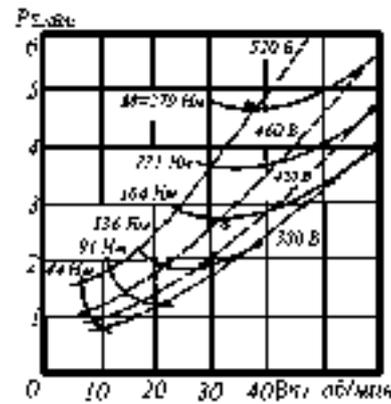


Рис. 4. Зависимость потерь от абсолютного скольжения

нениях  $M_C$  на валу АД (у машин, разрушающих горные породы, транспортных машин и других), создающих вынужденные и автоколебания, ускоряющие накопление усталостных повреждений во всей электромеханической системе (ЭМС), а также увеличивающие энергоёмкость процесса. Поэтому есть существенная необходимость формировать управление, минимизирующее изменение электромагнитного момента АД.

Пуск многих машин (с полной нагрузкой, с большими моментами инерции, частые при повторно-кратковременных режимах) необходимо в системе ПЧ-АД оптимизировать по критериям минимальных удельных ресурсоёмкости и (или) энергоёмкости. Поэтому для минимального времени разгона АД до заданной частоты вращения при  $I_1 = const$  надо по такому закону изменять напряжение с частотой  $U_1(f_1)$ , который обеспечивает максимум отношения вращающего момента к току  $I_1$  (или его квадрату) [10].

$$\frac{M}{I_1^2} = \frac{mr_2'}{\omega_{1н}\beta \left( z_0 + r_2' / \beta \right)^2 + (x_0 + x_2')^2}, \quad (11)$$

где  $z_0$  - полное сопротивление цепи намагничивания.

Этот максимум получается при вполне опре-

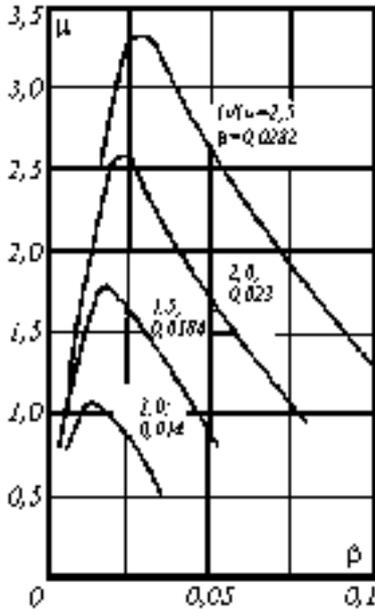


Рис. 5. Определение  $\beta_{opt}$  при частотном пуске АД

деленных значениях  $\beta$  и  $\Phi$ , которые зависят от заданного  $I_1$  и параметров АД.

Аппроксимировав нелинейную зависимость между магнитным потоком  $\Phi$  и сопротивлением намагничивающей цепи  $x_0$ , определяемую кривой намагничивания, аналогично с [4] выражением

$$x_0 = k_1 - k_2 \Phi^2, \quad (12)$$

получаем

$$I_1 = \frac{C_1 f_{1n} \sqrt{(k_1 - x_0) / k_2} (1 / x_0) \sqrt{(x_0 + x_2')^2 + r_2'^2 / \beta^2}}{\sqrt{x_2'^2 + r_2'^2 / \beta^2}}, \quad (13)$$

где

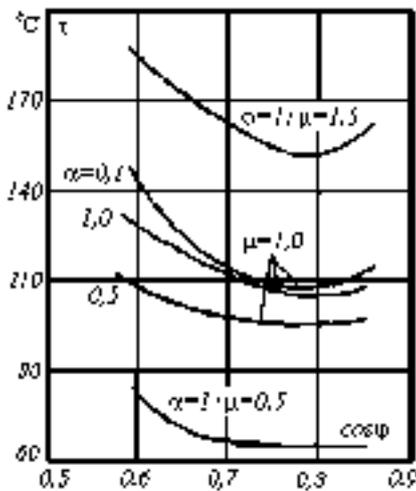


Рис. 7. Зависимость превышения температуры АД типа ЭДКО4-2 от  $\cos \varphi_1$

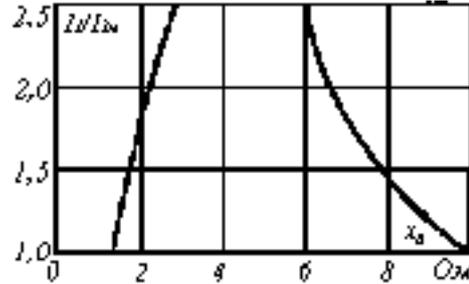


Рис. 6. Зависимость между пусковым током и сопротивлением намагничивающего контура при оптимальном пуске

$k_1 = AB \cdot x_{0n} = const$ ;  $k_2 = A/B \cdot x_{0n} = const$ ;  $A$  и  $B$  – постоянные коэффициенты;  $x_{0ном} = x_0$  при  $\Phi_{ном}$ .

Из (13) следует, что при  $I_1 = const$   $\beta = f(x_0)$ .

Определив из (13) значение  $\beta$  для заданного  $I_1$  и нескольких значений  $x_0$ , взятых по кривой намагничивания, из (11) находятся значения  $M$  ( $M_{max}$  соответствует  $\beta_{opt}$ ).

Из рис. 5 по зависимостям  $M = f(\beta)$ , построенным для АД типа ЭДКО4-2 при нескольких значениях  $I_1$ , видно, что большим значениям  $I_1$  соответствуют большие значения  $\beta_{opt}$ , обусловленные насыщением магнитной цепи АД. Представленная на рис. 6 зависимость показывает необходимость учета насыщения АД.

Из рис. 5 видно, что  $\beta_{opt}$  определяет также и пусковую частоту тока статора АД, которая увеличивается с  $f_{1n} = 0,7$  Гц (для  $I_{1n} = I_{1n}$ ) до  $f_{1n} = 1,4$  Гц (для  $I_{1n} = 2,5 I_{1n}$ ).

Для реализации оптимального частотного пуска необходимо в САУ в замкнутых контурах регулирование тока и абсолютного скольжения поддерживать  $I_{1зад} = const$  и  $\beta_{opt} = const$ .

Вследствие трудности измерения  $\beta$  или часто-

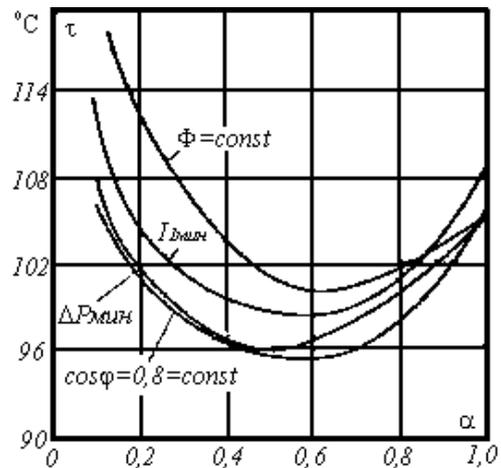


Рис. 8. Зависимость превышения температуры АД типа ЭДКО4-2 от частоты тока статора при номинальном моменте нагрузки и различных законах управления

ты тока ротора  $f_2$  в производственных условиях на основании наличия зависимости между  $\cos\varphi_1$  и  $\beta$  [3]

$$\cos\varphi_1 = \frac{b^2\beta/r_2' + d^2r_2'/\beta + r_1\alpha}{\sqrt{R^2(\alpha, \beta)(b^2\beta/r_2' + d^2r_2'/\beta)}} \quad (15)$$

возникла идея рассчитывать значения  $\cos\varphi_1$  оптимального пуска. Расчеты показали, что  $\cos\varphi_1$  АД типа ЭДКО4-2 при изменении от  $\alpha = \alpha_{\text{пуск}}$  до  $\alpha = 1$  равен  $0,785...0,735$  [10, 11]. Следовательно, *оптимальный пуск достаточно просто осуществить, поддерживая в САУ*

$$I_{\text{зад}} = \text{const} \text{ и } \cos\varphi_{\text{онм}} = \text{const} \quad (16)$$

Так как при изменении нагрузки изменяется  $\beta$  и, следовательно,  $\cos\varphi_1$ , то естественно возникла необходимость выяснить зависимость превышения температуры АД от  $\cos\varphi_1$  для различных значений  $\alpha$  и  $\mu = M/M_n$ . Они рассчитаны с использованием тепловых параметров, определенных экспериментальным путем.

Кривые на рис. 7 показали, что оптимальное по превышению температуры значение  $\cos\varphi_1$  в

В [1] был представлен закон, стабилизирующий электромагнитный момент АД, или, другими словами абсолютно мягкая механическая характеристика, которая позволяет демпфировать вынужденные автоколебания, возникающие вследствие случайного характера нагрузки:

$$\alpha = \alpha_p + \beta, \quad (17)$$

где  $\alpha$  - относительная частота напряжения на статоре АД;  $\alpha_p$  - относительная частота вращения вала АД;  $\beta$  - абсолютное скольжение АД.

Напряжение на статоре определяется условиями работы АД в смысле насыщения.

Вследствие применения данного закона электромагнитный момент остается неизменным и равным средней величине момента нагрузки, в результате чего частота вращения колеблется около заданного значения в пределах, определяемых величиной  $\beta$ . При моделировании работы АД с данным законом управления средняя величина переменного момента нагрузки была намеренно выбрана равной  $0,5M_{\text{ном}}$ , т.е. машина нагружена на половину своей мощности. При этом напряжение на статоре АД поддерживается согласно закону  $U/f = \text{const}$  (рис. 9, участок 1).

Как было сказано выше, для того, что бы ма-

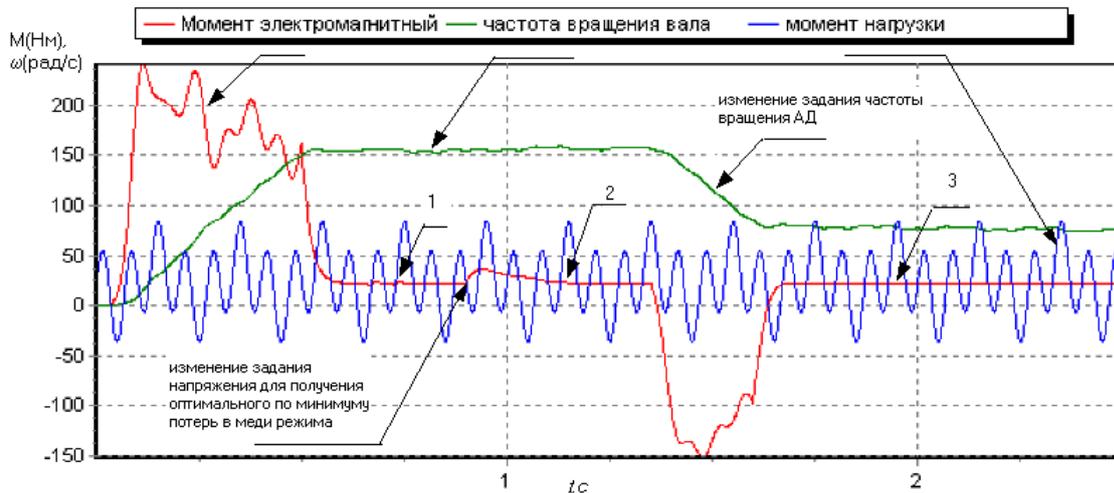


Рис. 9. Изменение электромагнитного момента АД и частоты вращения при переменном моменте нагрузки

диапазоне  $\alpha = 0,1...1,0$  незначительно зависит от  $\alpha$  и  $\mu$  и равен  $0,7...0,85$ . Сравнение способов управления, представленное на рис. 8 показывает, что наименьшие значения превышений температуры во всем диапазоне регулирования обеспечивает закон минимальных потерь и наиболее близко к этим значениям расположены значения при управлении с поддержанием  $\cos\varphi_{\text{онм}}=0,8$ .

Высокоэффективное управление АД с поддержанием  $\cos\varphi_{\text{онм}}$  при  $\mu = \text{var}$  можно осуществить регулированием  $\gamma$  при  $\alpha = \text{const}$  или регулированием  $\alpha$  при  $\gamma = \text{const}$ .

шина завышенной мощности работала с высокими энергетическими показателями необходимо регулировать напряжение на статоре АД в функции нагрузки (в качестве функции нагрузки принимается средняя величина момента нагрузки).

Судить о том, насколько нагружена машина, можно по двум параметрам, поддающимся прямому измерению: току статора ( $I_1$ ) и углу сдвига фаз ( $\varphi$ ) между током статора и напряжением, приложенным к статору. Чтобы точнее осуществлять регулирование напряжения, необходимо брать квадрат модуля тока статора ( $|I_1^2|$ ) [4], так как

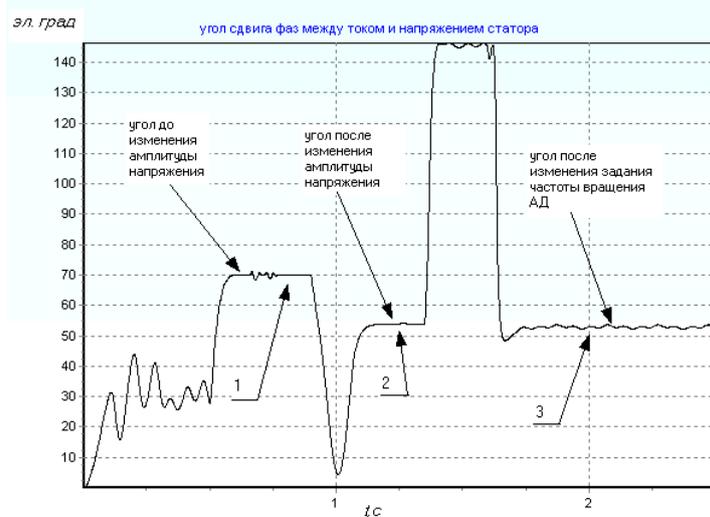


Рис. 10. Изменение угла сдвига фаз между током и напряжением

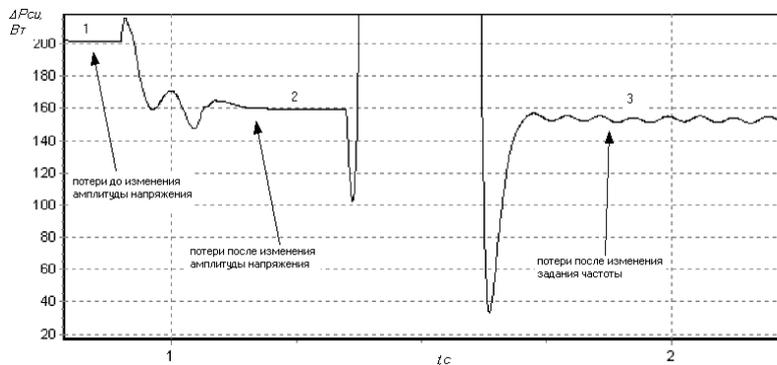


Рис. 11. Изменение суммарных потерь в меди АД

потери в меди пропорциональны квадрату тока, протекающего через обмотку. О том, что АД недоиспользуется по мощности, говорит завышенный угол  $\varphi$  (пониженный  $\cos\varphi$ ). Участок 1 на рис.10 демонстрирует этот режим работы АД. Так же на участке 1 (рис.11) можно видеть повышенную величину потерь в меди машины (повышенное значение модуля тока статора).

Процесс изменения амплитуды напряжения при фиксированной частоте осуществляется в функции минимума потерь в меди АД и, следовательно, минимума тока статора. При обнаружении минимума тока статора фиксируется угол  $\varphi$ . В дальнейшем, при работе АД на другой частоте, амплитуда напряжения изменяется до получения зафиксированного угла  $\varphi$ , что обеспечит ту же величину потерь. Для изменения амплитуды напряжения необходимо применить пошаговый алгоритм со сравнением

значения модуля тока статора на предыдущем шаге со значением на текущем шаге. Таким образом, мы находим оптимальный с точки зрения минимума потерь в меди АД угол  $\varphi$ , поддержанием которого обеспечиваем оптимальный режим работы для данного среднего значения момента нагрузки. Если же среднее значение момента нагрузки будет изменяться, следовательно, будет изменяться и потребляемая мощность, а значит, необходимо будет повторить процедуру поиска нового значения оптимального угла  $\varphi$ .

Достоинством данного метода является то, что при изменении задания на частоту вращения нет необходимости снова отыскивать минимум тока статора. Динамические механические характеристики АД (рис. 9, участок 2,3) при этом остаются без изменения (при условии неизменности среднего значения момента нагрузки).

На рис. 10, 11 (участки 2,3) показано изменение угла сдвига фаз между током и напряжением и потерь в меди в оптимальном режиме работы. Как видно из приведенных

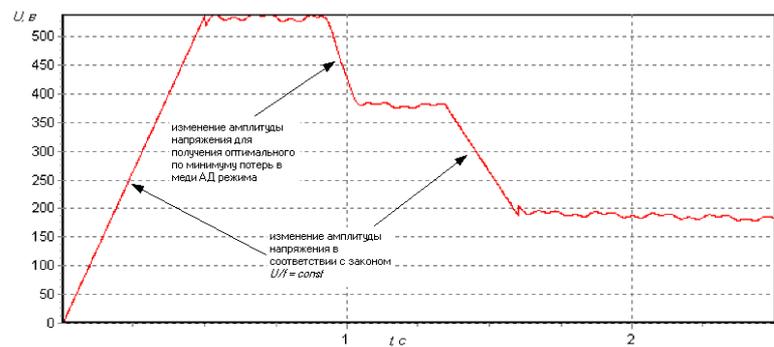


Рис. 12. Изменение амплитуды напряжения АД

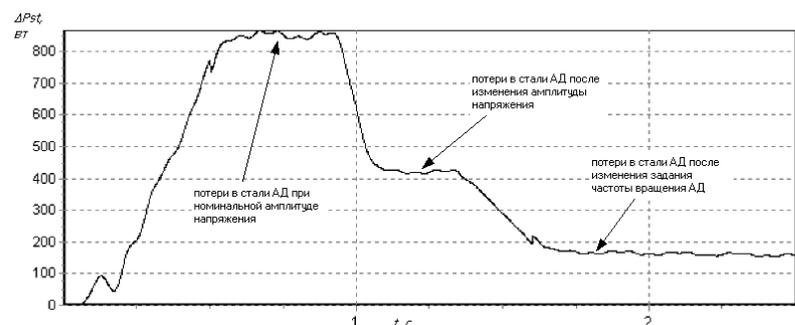


Рис. 13. Изменение потерь в стали машины

зависимостей значение угла и потерь снижаются при использовании данного метода.

На рис. 12, 13 представлены зависимости изменения амплитуды напряжения для получения оптимального режима и потерь в стали машины. Из представленных характеристик видно, что снижение амплитуды напряжения вызывает снижение магнитного потока машины и, следовательно, снижение потерь в стали машины, что также уменьшает общие потери в двигателе.

Отыскание вместо оптимального минимального значения угла  $\varphi$  приводит к тому, что двигатель

работает в зоне своего критического момента. Так как угол  $\varphi$  характеризует соотношение потребления активной и реактивной составляющих тока статора, то его минимум будет соответствовать режиму работы АД, когда магнитный поток машины будет минимально возможным, а для того, чтобы получить требуемое значение электромагнитного момента [2], ток статора начнет возрастать. Это приведет к росту потерь в меди, с одной стороны, и отсутствию запаса по перегрузочной способности АД, с другой. Поэтому необходимо контролировать значение тока статора.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гаврилов П. Д. Автоматизированный электропривод горных и транспортных машин Кемерово, КузПИ, 1976. – 62с., ил.
2. Булгаков А.А. Частотное управление асинхронными двигателями. -М.: Наука, 1955. – 212 с. 1966. – 297с.
3. Булгаков А.А. Частотное управление асинхронными двигателями. -3-е перераб. изд. -М.: Энергоиздат, 1982. -216 с. ил.
4. В. А. Шубенко. Оптимизация частотноуправляемого асинхронного электропривода по минимуму тока./ Шубенко В. А., Шрейнер Р. Т., Мищенко В. А.// Электричество. 1970. №9. с. 23-26.
5. Tsvitse P. J., Klingshizn E. A. Optimum voltage and frequency power supplies. – IEEE Trans. Ind. And Gen. Appl., 1971 vol. 7, p. 480 – 487.
6. Костенко М. П. Электрические машины. Спец. Часть. – М. – Л.: Госэнергоиздат, 1949. – 712с.
7. В. А. Шубенко. Оптимальное частотно-токовое управление асинхронным электроприводом. Шубенко В. А., Шрейнер Р. Т., Мищенко В. А.// Изв. вузов, Горный журнал. 1970. №1.
8. В. А. Шубенко. Частотно-управляемый асинхронный электропривод с оптимальным регулированием абсолютного скольжения. Шубенко В. А., Шрейнер Р. Т., Мищенко В. А.// Изв. вузов, Электромеханика. 1970. №6.
9. Мищенко В. А. Оптимальный по минимуму потерь закон частотного управления асинхронным двигателем. Мищенко В. А., Шрейнер Р. Т., Шубенко В. А.// Изв. вузов, Энергетика. 1969. №3.
10. Иванов В. Л. К частотному пуску электродвигателей забойных машин. Иванов В. Л., Тимофеева Л. И., Гаврилов П. Д.// Изв. вузов, Электромеханика. 1973. №2.
11. Иванов В. Л. Частотное управление асинхронным двигателем с поддержанием постоянного значения коэффициента мощности. Иванов В. Л., Тимофеева Л. И., Гаврилов П. Д., Ещин Е. К.// Взрывозащищенное и рудничное электрооборудование – Труды НИИ завода «Кузбассэлектромотор», Кемерово, вып. 6, 1973.

□ Авторы статьи:

Гаврилов  
Петр Данилович  
- канд. техн. наук, доц.  
каф.электропривода и автоматизации

Неверов  
Андрей Александрович  
- асс.каф. электропривода и  
автоматизации

УДК 621.313.333

П. Д. Гаврилов, А. А. Неверов

## УПРАВЛЕНИЕ АСИНХРОННЫМ ДВИГАТЕЛЕМ В СИСТЕМАХ С ОРИЕНТИРОВАНИЕМ УПРАВЛЯЮЩЕГО ВЕКТОРА ПО ПОЛЮ ДВИГАТЕЛЯ ПРИ ПРОИЗВОЛЬНОЙ НАГРУЗКЕ

Управление асинхронным двигателем (АД) в системах, ориентированных по полю машины, в большинстве случаев [1-3] осуществляется в системе координат, ориентированной по

вектору потокосцепления ротора. В пользу выбора именно этого вектора говорят следующие преимущества: функциональная схема такого электропривода имеет наименьшее чис-

ло перекрестных связей, а выражение момента АД и скорости сравнительно просты. При этом наиболее просто осуществляется регулирование скорости при стабилизации потокосцеп-