

УДК 621.313

М. А. Ваганов, И. А. Бабская

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)

Закон оптимального регулирования при частотном управлении асинхронными двигателями

Основным достоинством частотного регулирования скорости вращения асинхронных двигателей является возможность обеспечения плавного регулирования скорости вращения этих двигателей в достаточно широком диапазоне, например 1:10, при сохранении перегрузочной способности двигателя как одного из важнейших показателей его работы. При частотном регулировании скорости вращения асинхронного двигателя необходимо менять одновременно действующее значение фазного напряжения и его частоту, но во вполне определенном соотношении в зависимости от вида механической характеристики привода. К сожалению, в настоящее время на практике используется приближенное выражение для оптимального закона регулирования, не учитывающее активное сопротивление обмотки статора, которым можно руководствоваться лишь применительно к узкому диапазону регулирования скорости вращения – не более, чем 1:1.2. В более широком диапазоне регулирования не выполняется условие сохранения перегрузочной способности двигателя. В данной статье предлагается выражение для оптимального закона регулирования, учитывающего все параметры асинхронного двигателя и обеспечивающего постоянство его перегрузочной способности для трех режимов работы привода применительно к любому диапазону регулирования скорости вращения.

Асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором, частотное управление, режимы работы, активное сопротивление обмотки статора, перегрузочная способность, поправочный коэффициент, алгоритм определения частоты, максимальный электромагнитный момент

Регулировать скорость вращения двигателя – это значит принудительно изменять его скорость вращения какими-либо техническими средствами при заданной механической характеристике привода.

Способы регулирования скорости вращения двигателя оцениваются рядом технических показателей:

1) диапазон регулирования $D = \frac{n_{2\max}}{n_{2\min}}$ (т. е.

отношение наибольшей и наименьшей скоростей вращения, которые могут быть реализованы при данном способе регулирования);

2) направление регулирования (вниз или вверх от номинальной);

3) экономичность регулирования (обеспечение высоких значений коэффициента мощности и КПД);

4) плавность регулирования;

5) сохранение жесткости механической характеристики (сохранение наклона механической характеристики);

6) перегрузочная способность двигателя в диапазоне регулирования и др.

На основании второго закона Кирхгофа фазное напряжение на обмотке статора $\dot{U}_c = -\dot{E}_1 + \dot{I}_1 z_1$. Падение напряжения $\dot{I}_1 z_1$ на сопротивлении обмотки статора при номинальной нагрузке, как правило, не превосходит $0.1U_{1н}$. В первом приближении можно принять, что $U_c = E_1 = \pi\sqrt{2} \cdot f_1 W_1 k_{об1} \Phi_m$, где E_1 представляет собой ЭДС самоиндукции обмотки статора. Тогда амплитуда вращающегося магнитного потока взаимной индукции обмоток статора и ротора

$$\Phi_m = U_c / (\pi\sqrt{2} f_1 W_1 k_{об1}),$$

где W_1 – число последовательно соединенных витков на фазу; $k_{об1}$ – обмоточный коэффициент статорной обмотки.

Отсюда видно, что изменение частоты f_1 будет сопровождаться изменением амплитуды Φ_m магнитного потока. В частности, при фиксированном значении U_c с уменьшением f_1 амплитуда Φ_m будет возрастать, обуславливая насыщение магнитной системы двигателя и, как следствие этого, снижение коэффициента мощности $\cos \varphi_1$ и КПД двигателя. Повышение же частоты f_1 вызовет, наоборот, снижение Φ_m , что, в свою очередь, приведет к уменьшению максимального электромагнитного момента $M_{эм \max}$, а значит, к снижению перегрузочной способности двигателя. Из этого однозначно следует, что изменение частоты f_1 питающего напряжения U_c должно сопровождаться соответствующим изменением действующего значения этого напряжения.

Для обеспечения высоких технических показателей двигателя при регулировании скорости его вращения изменением частоты f_1 был разработан закон частотного регулирования, учитывающий вид механической характеристики привода.

При частотном управлении скоростью вращения асинхронного двигателя (АД), равно как и при других способах изменения этой скорости, в большинстве случаев для обеспечения нужного качества выпускаемой продукции ставится задача сохранения перегрузочной способности двигателя во всем диапазоне регулирования скорости вращения привода. Формально это значит, что изменение частоты питающего напряжения должно сопровождаться соответствующим изменением действующего значения фазного напряжения на зажимах обмотки статора двигателя. Можно предположить, что должен существовать некоторый закон, связывающий действующие значения фазного напряжения U_1 на зажимах обмотки статора двигателя с частотой f_1 этого напряжения, при выполнении которого перегрузочная способность или кратность максимального момента k_m АД сохраняется во всем диапазоне регулирования скорости вращения данного АД при любой механической характеристике привода.

Введя в рассмотрение максимальный электромагнитный момент $M_{эм \max}$ АД и момент нагрузки на валу АД или момент сопротивления M_c , создаваемый механизмом или устройством, можно написать условие $M_{эм \max} / M_c = k_m = \text{const}$.

Выражение для $M_{эм \max}$ АД имеет вид

$$M_{эм \max} = \frac{m_1 U_1^2}{2c_1 \omega_1} \frac{1}{r_1 + \sqrt{r_1^2 + (x_1 + x_2')^2}}, \quad (1)$$

где m_1 – число фаз обмотки статора; $c_1 = 1.03 \dots 1.10$ – коэффициент, учитывающий падение напряжения на активном r_1 и индуктивном x_1 сопротивлениях обмотки статора, Ом; x_2' – приведенное индуктивное сопротивление обмотки ротора, Ом; ω_1 – синхронная угловая скорость вращения АД, с^{-1} .

В дальнейшем при работе с (1) пренебрегаем в нем сопротивлением r_1 по сравнению с суммой $x_1 + c_1 x_2'$, и тогда (1) примет более простой вид:

$$M_{эм \max} = m_1 U_1^2 / [2c_1 \omega_1 (x_1 + c_1 x_2')]. \quad (2)$$

Имея в виду, что синхронная скорость вращения $\omega_1 = 2\pi f_1 / p$, где p – число пар полюсов АД, и индуктивное сопротивление $x_1 + c_1 x_2' = 2\pi f_1 L$, где L – суммарная индуктивность фаз обмоток статора и ротора, преобразуем (2):

$$M_{эм \max} = k \left(\frac{U_1}{f_1} \right)^2, \quad (3)$$

где $k = m_1 p / (8c_1 \pi^3 L)$.

Так как $M_{эм \max} = k_m M_c$, то при учете (3) получим

$$k \left(\frac{U_1}{f_1} \right)^2 = k_m M_c. \quad (4)$$

Запишем (4) при других значениях напряжения U_1' , частоты f_1' и момента сопротивления M_c' :

$$k \left(\frac{U_1'}{f_1'} \right)^2 = k_m M_c'. \quad (5)$$

Если предположить, что при изменении частоты f_1 сохраняется кратность пускового момента $k_m = \text{const}$, то после деления (5) на (4) получим

$$\frac{U_1'}{U_1} = \frac{f_1'}{f_1} \sqrt{\frac{M_c'}{M_c}}. \quad (6)$$

Это и есть общее выражение для оптимального закона регулирования частоты f_1 и напряжения U_1 .

Но данный закон получен при пренебрежении активным сопротивлением r_1 обмотки статора, что будет справедливо, если $r_1 \ll x_1 + c_1 x_2'$. При значительном снижении частоты f_1 данное условие перестает выполняться, а значит, будет нарушаться и закон, определяемый выражением (6).

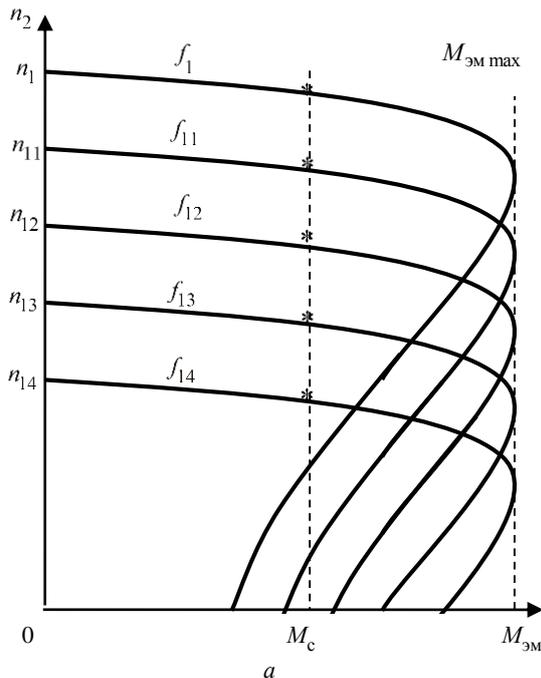
На рис. 1 представлен случай, когда во всем диапазоне регулирования скорости вращения АД работает с постоянной нагрузкой на валу $M_c = \text{const}$. Кривые 1–5 соответствуют пяти возрастающим значениям частоты f_1 питающего напряжения U_1 . При данном условии на основании (6) частота $f_1' = f_1 (U_1'/U_1)$ должна изменяться точно пропорционально действующему значению фазного напряжения U_1' . При этом механические характеристики двигателя $M_{эм} = f(n_2)$ строились также без учета активного сопротивления r_1 обмотки статора, т. е. по выражению

$$M_{эм} = \frac{m_1 U_1'^2}{\omega_1} \frac{r_2' s}{(c_1 r_2')^2 + s^2 (x_1 + c_1 x_2')^2},$$

которое получено из

$$M_{эм} = \frac{m_1 U_1'^2}{\omega_1} \frac{r_2' s}{(\eta_1 s + c_1 r_2')^2 + s^2 (x_1 + c_1 x_2')^2} \quad (7)$$

при условии $r_1 = 0$. Скольжение $s = (n_1 - n_2)/n_1$, где $n_1 = 60 f_1 / p$ – синхронная скорость, об/мин; n_2 – скорость вращения ротора, об/мин, АД;



p – число пар полюсов. Синхронная угловая скорость вращения магнитного поля обмотки статора АД $\omega_1 = 2\pi f_1 / p$.

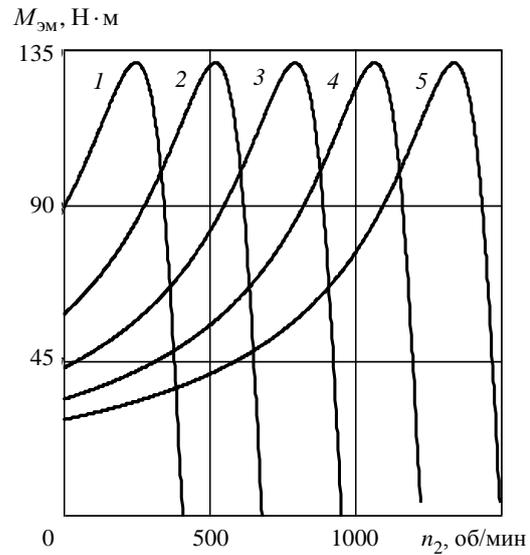


Рис. 1

Применительно к условию $r_1 \ll x_1 + c_1 x_2'$, но при учете r_1 в (7) механические характеристики АД будут иметь вид, представленный на рис. 2. В частности, на рис. 2, а имеем механические характеристики АД при сохранении условия $r_1 \ll x_1 + c_1 x_2'$ во всем диапазоне изменения частоты от f_1 до f_{14} ($f_1 > f_{14}$). Если же указанное условие нарушается уже в самом начале диапазона регулирования скорости вращения, то получим механические характеристики, изображенные на

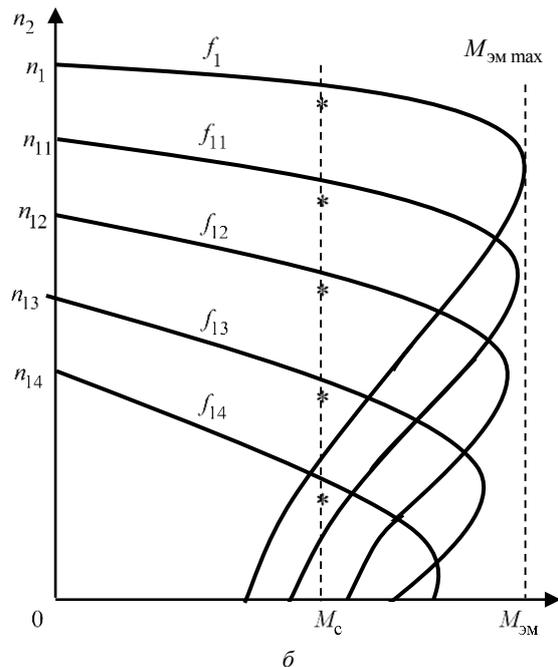


Рис. 2

рис. 2, б. Видно, что во втором случае снижение частоты сопровождается уменьшением максимального электромагнитного момента $M_{эм \max}$ двигателя, а значит, и его перегрузочной способности k_m .

Из (6) получим новое значение частоты $f_1' = f_1 \frac{U_1'}{U_1} \sqrt{\frac{M_c}{M_c'}}$, которое пропорционально новому значению напряжения U_1' , а также зависит от режима работы привода, т. е. от вида его механической характеристики $M_c = f(n_2)$. Однако следует иметь в виду, что выражение, определяющее частоту f_1' , справедливо только при условии $r_1 \ll x_1 + c_1 x_2'$.

В литературе отсутствует выражение для оптимального закона регулирования напряжение–частота, учитывающее активное сопротивление обмотки статора, что создает определенные неудобства при практической реализации данного закона применительно к какому-либо приводу с асинхронным двигателем, требующем сохранения его перегрузочной способности.

В современной технической литературе, равно как и в предыдущие периоды времени [1]–[6], предпринимались неоднократные попытки учесть активное сопротивление обмотки r_1 статора АД, но только применительно к каким-либо конкретным приводам с асинхронными двигателями.

Для получения точного или строгого выражения для закона оптимального регулирования, справедливого при любом значении активного сопротивления r_1 следует вернуться к исходному выражению для максимального электромагнитного момента $M_{эм \max}$ по выражению (1), которое преобразуем, вынеся из под знака радикала слагаемое $(x_1 + c_1 x_2')^2$, и тогда (1) примет следующий вид:

$$M_{эм \max} = \frac{m_1 U_1'^2}{2c_1 \omega_1} \frac{1}{r_1 + (x_1 + c_1 x_2') \sqrt{1 + [r_1 / (x_1 + c_1 x_2')]^2}}.$$

В знаменатель полученного выражения вынесем множитель $(x_1 + c_1 x_2')$, после чего получим

$$M_{эм \max} = m_1 U_1'^2 / \{ [2c_1 \omega_1 (x_1 + c_1 x_2')] k_r \}, \tag{8}$$

$$k_r = r_1 / (x_1 + c_1 x_2') + \sqrt{1 + [r_1 / (x_1 + c_1 x_2')]^2},$$

где k_r представляет собой поправочный коэффициент, учитывающий активное сопротивление r_1 обмотки статора АД.

Введем вспомогательное обозначение $r_1 / (x_1 + c_1 x_2') = r_{1*}$, и тогда выражение для k_r примет более простой вид

$$k_r = r_{1*} + \sqrt{1 + r_{1*}^2}. \tag{9}$$

Из (9) с учетом вспомогательного обозначения r_{1*} следует, что числовое значение поправочного коэффициента k_r для данного АД существенно зависит от частоты f_1 питающего напряжения, которая входит в состав $x_1 + c_1 x_2'$.

Сопоставляя выражения (2) и (8), видим, что (8) сформировано на базе (2), но с поправочным коэффициентом k_r в знаменателе. При этом условии выражение (5) примет вид

$$k \left(\frac{U_1'}{f_1'} \right)^2 \frac{1}{k_r} = k_m' M_c'. \tag{10}$$

Тогда после деления (10) на (4), получим

$$\frac{U_1'}{U_1} = \frac{f_1'}{f_1} \sqrt{k_r \frac{M_c'}{M_c}}, \tag{11}$$

и новое значение частоты f_1' будет определяться выражением

$$f_1' = f_1 \frac{U_1'}{U_1} \sqrt{\frac{M_c}{k_r M_c'}}, \tag{12}$$

где поправочный коэффициент k_r , в свою очередь, зависит в соответствии с (9) от определяемой частоты f_1' , т. е. $k_r = F(f_1')$.

При учете данного обстоятельства расчет частоты f_1' по выражению (12) происходит в следующей последовательности. В качестве значения напряжения U_1 принимаем, например, его номинальное значение $U_{1н}$. Тогда расчет и построение механических характеристик АД будем проводить с шагом ΔU вниз относительно $U_{1н}$, т. е. принимаем $U_1' = U_{1н} - \Delta U$. Это должно сопровождаться снижением частоты, т. е. $f_1' < f_1$. Рассчитываем по (11) частоту \tilde{f}_1 , предварительно приняв в (12) $k_r = 1$. Для полученного значения частоты \tilde{f}_1 уточняем по выражению (9) значение коэффициента \tilde{k}_r и заново вычисляем \tilde{f}_{11} , кото-

рое должно быть меньше, чем \tilde{f}_1 , т. е. $\tilde{\Delta}f = \tilde{f}_1 - \tilde{f}'_1 > 0$ (первое приближение). Затем цикл повторяется. В ходе каждого цикла уточняется значение коэффициента \tilde{k}_r . Вычислительный процесс достаточно быстро сходится. Как правило, это – две-три итерации. При условии $\tilde{\Delta}f < 0.1$ Гц вычислительный процесс прекращается. На рис. 3 представлена схема вычислительного алгоритма.

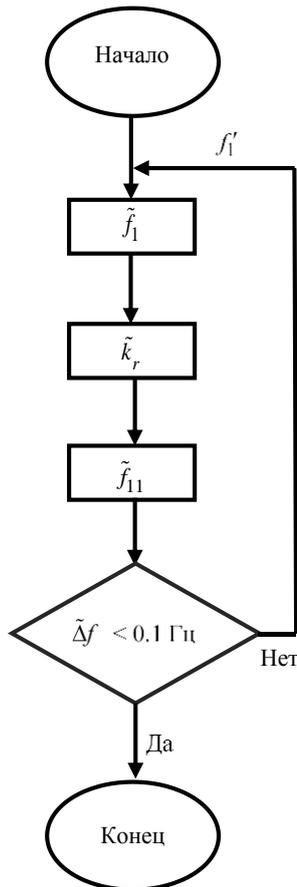


Рис. 3

Анализ механических характеристик электроприводов разных типов позволяет выделить три типовых режима работы этих электроприводов:

1) механизмы, работающие с постоянным моментом на валу $M_c = \text{const}$ (транспорт и подъемно-транспортные установки и им подобные устройства);

2) механизмы, работающие с постоянной полезной мощностью на валу $P_2 = \text{const}$ (металло-режущее и деревообрабатывающее оборудование);

3) механизмы, имеющие вентиляторную характеристику (вентиляторы, насосы, компрессоры, гребные установки на судах и кораблях речного и морского флота).

Применительно к этим трем типовым режимам работы электроприводов и разработан оптимальный закон регулирования.

Для удобства и большей наглядности расчет и построение механических характеристик АД и привода в целом было выполнено для конкретного АД со следующими данными: полезная механическая мощность на валу $P_2 = 7.5$ кВт; фазное напряжение $U_1 = 220$ В; номинальная частота $f_1 = 50$ Гц; синхронная скорость вращения $n_1 = 1500$ об/мин; число полюсов $2p = 4$ [7].

1. Частотное регулирование скорости вращения асинхронных двигателей при постоянном моменте на валу. При условии $M_c = \text{const}$ выражение (11) примет вид

$$\frac{U'_c}{U_c} = \frac{f'_c}{f_c} \sqrt{k_r}. \quad (13)$$

Отсюда следует, что новое значение частоты

$$f'_c = \frac{U'_c}{U_c} \frac{f_c}{\sqrt{k_r}}.$$

Если пренебречь падением напряжения $I_1 z_1$, то при изменении частоты фазного напряжения АД пропорционально изменению его действующего значения амплитуда вращающегося магнитного потока Φ_m будет оставаться постоянной, обеспечивая постоянство значения $M_{эм \max}$ и, как следствие этого, сохранение перегрузочной способности двигателя. Соответствующие механические характеристики АД представлены на рис. 1.

В действительности, в асинхронных двигателях регулирование напряжения и частоты по пропорциональному закону сопровождается изменением амплитуды магнитного потока Φ_m вследствие изменения падения напряжения на активном и индуктивном сопротивлениях обмотки статора, причем на низких частотах наибольшее влияние оказывает сопротивление r_1 . Снижение потока Φ_m будет иметь своим следствием уменьшение перегрузочной способности двигателя. Это значит, что реальные механические характеристики АД будут отличаться от желаемых, как это видно из рис. 4, а.

Для нейтрализации негативного влияния активного сопротивления r_1 обмотки статора при расчете механических характеристик АД следует воспользоваться выражением (13), содержащим поправочный коэффициент k_r , и тогда реальные

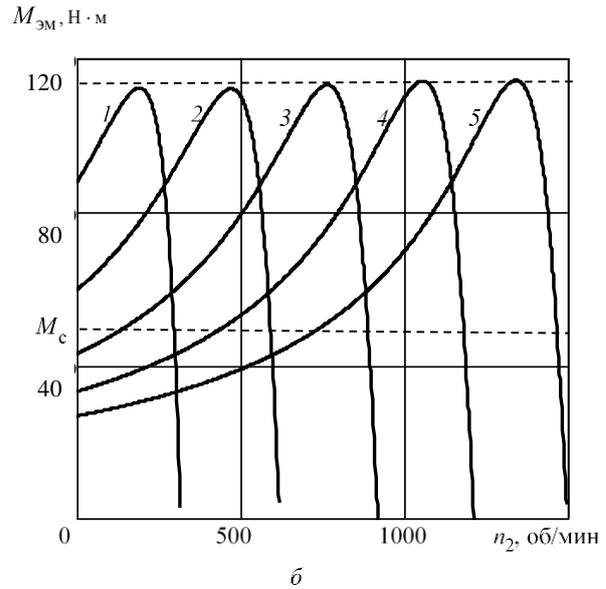
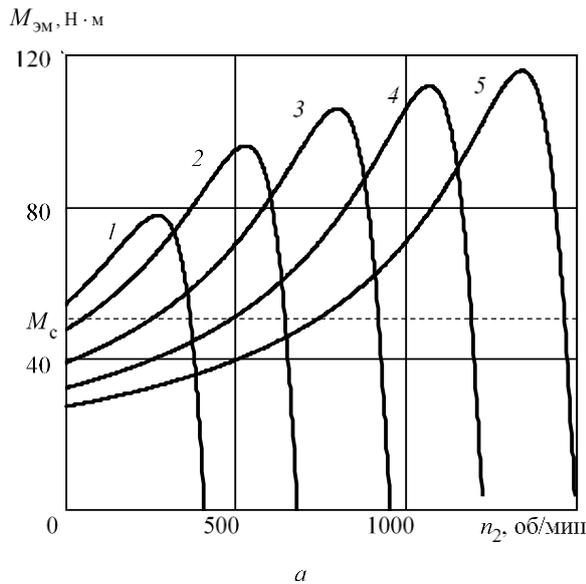


Рис. 4

механические характеристики АД будут иметь вид, представленный на рис. 4, б. При этом кривые 5, с которых начинается расчет и построение, на обеих частях рис. 4 совпадают.

На рис. 4 кривые 1–5 построены для пяти значений фазного напряжения АД, а именно 60, 100, 140, 180 и 220 В соответственно.

Графики построены на основании выражения для электромагнитного момента АД

$$M_{эм} = \frac{m_1 U_c^2}{\omega_1} \frac{r_2' s}{(\eta s + c_1 r_2')^2 + s^2 (x_1 + c_1 x_2')^2}$$

и с учетом оптимального закона управления (13), справедливого при условии $M_c = \text{const}$.

2. Частотное регулирование скорости вращения асинхронных двигателей при постоянной мощности на валу. Обозначив через M_2 полезный механический момент, развиваемый АД на валу и равный моменту сопротивления M_c при угловой скорости вращения ω_2 , получим следующее выражение для полезной механической мощности на валу двигателя: $P_2 = M_2 \omega_2 = M_c \omega_2$, в котором угловая скорость вращения $\omega_2 = \omega_1 (1 - s)$. Имея в виду, что синхронная скорость вращения $\omega_1 = 2\pi f_1 / p$, окончательно получим $P_2 = M_c f_1 \times 2\pi(1 - s) / p$. Из данного выражения $M_c f_1 = k$, где $k = P_2 p / 2\pi(1 - s)$ представляет собой коэффициент пропорциональности. В результате имеем

$$M_c = k / f_1; M_c' = k / f_1'. \quad (14)$$

Отсюда следует, что при фиксированной мощности на валу двигателя $P_2 = \text{const}$ момент нагрузки на валу M_c должен меняться обратно пропорционально частоте питающего напряжения f_1 .

Подставив (14) в базовое выражение (11), получим после преобразований

$$\frac{U_1'}{U_1} = \sqrt{k_r \frac{f_1'}{f_1}}. \quad (15)$$

Из (15) новое значение частоты

$$f_1' = \left(\frac{U_1'}{U_1} \right)^2 \frac{f_1}{k_r}.$$

Выражение (15) показывает, что если при $M_c = \text{const}$ напряжение U_1 менялось пропорционально частоте f_1 , то при $P_2 = \text{const}$ напряжение U_1 будет меняться в меньшей степени по сравнению с частотой, и поэтому регулирование частоты будет сопровождаться изменением магнитного потока Φ_m .

Так как в рассматриваемом случае $P_2 = \text{const}$, то, например, при увеличении скорости вращения в два раза момент на валу уменьшается также в два раза.

На рис. 5 представлены механические характеристики АД, обеспечивающие практическую реализацию условия работы данного двигателя с постоянной мощностью на валу $P_2 = \text{const}$. На указанном рисунке изображены два семейства кривых с маркировками 1–5 и 1'–5'. Маркировка 1–5 соответствует случаю, когда активное сопротивление $r_1 \ll x_1 + c_1 x_2'$ или просто $r_1 = 0$. Кривые с маркировкой 1'–5' построены при учете сопротивления r_1 .

Из приведенного рисунка наглядно видно, что наибольшее расхождение между кривыми этих двух семейств наблюдается при малой скорости вращения, когда значение суммы $x_1 + c_1 x'_2$ становится соизмеримым со значением сопротивления r_1 . Повышение скорости вращения АД сопровождается увеличением $x_1 + c_1 x'_2$ по сравнению с r_1 и оба семейства кривых сближаются.

Кривые 1–5 и 1'–5' соответствуют напряжениям 60, 100, 140, 180 и 220 В.

На рис. 6 представлены механические характеристики реального АД, технические данные которого приведены ранее и при этом кривые 1–5 также соответствуют напряжениям 60, 100, 140, 180 и 220 В.

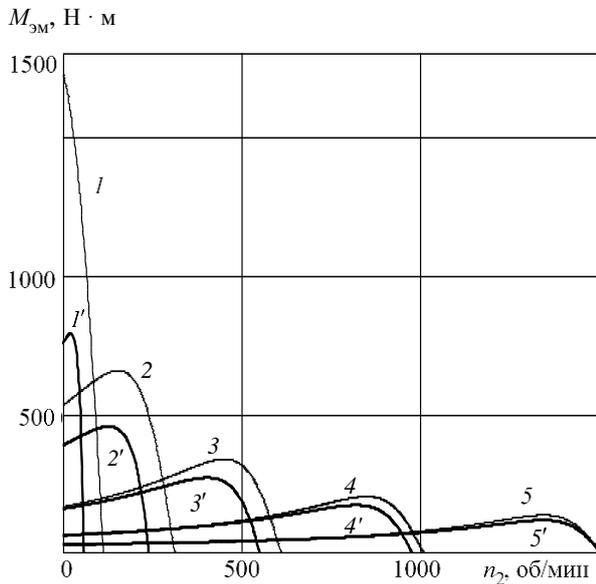


Рис. 5

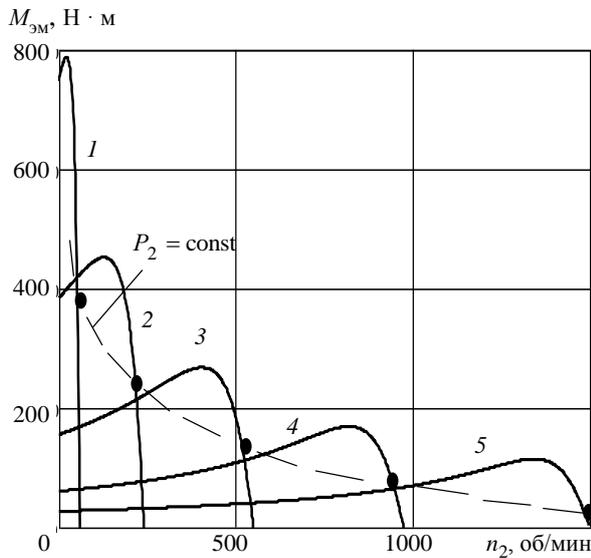


Рис. 6

На этом же рисунке штриховой линией изображена кривая $P_2 = \text{const}$, характеризующая рассматриваемый режим работы привода. Точки пересечения семейства кривых $M_{эм} = f(n_2)$ с кривой $P_2 = \text{const}$ определяют номинальный режим работы АД, применительно к которому перегрузочная способность АД равна двум, т. е. $k_m = 2$, и она сохраняется применительно ко всему диапазону регулирования скорости вращения.

3. Частотное регулирование скорости вращения асинхронных двигателей для случая вентиляторной характеристики привода. Момент сопротивления на валу двигателя при вентиляторной характеристике привода определяется выражением $M_c = k'\omega_2^2$ или, имея в виду, что $\frac{2\pi f_1}{p}(1-s)\omega_2 = \omega_1(1-s) = \frac{2\pi f_1}{p}(1-s)$, получим $M_2 = k f_1^2$, где коэффициент $k = [2\pi(1-s)/p]^2$.

Подставив выражение $M_c = k f_1^2$ в (11), после простых преобразований получим

$$\frac{U'_c}{U_c} = \left(\frac{f'_1}{f_1}\right)^2 \sqrt{\frac{1}{k_1}}. \quad (16)$$

Из (16) видно, что при вентиляторной характеристике привода действующее значение фазного напряжения АД должно меняться пропорционально квадрату частоты f_1^2 этого напряжения.

На рис. 7 кривые 1–5 соответствуют напряжениям 60, 100, 140, 180 и 220 В. Жирными линиями выделены кривые при учете активного сопротивления обмотки статора, другие – без его учета.

На рис. 7 показаны характеристики с учетом активного сопротивления, рассчитанные по закону $M = k\omega^2 : 48 = k157^2; k = 0.00195$.

В данном случае напряжение возрастает быстрее по сравнению с частотой и поэтому увеличивается амплитуда магнитного потока Φ_m , обуславливая повышение $M_{эм \text{ max}}$ и, следовательно, сохранение перегрузочной способности двигателя при разных значениях скорости вращения. Независимо от учета активного сопротивления зависимости остаются приблизительно одинаковыми; это обусловлено тем, что степень влияния сопротивления r_1 незначительна.

На основании изложенного можно сделать следующие выводы:

1. Получено точное аналитическое выражение, обеспечивающее практическую реализацию закона

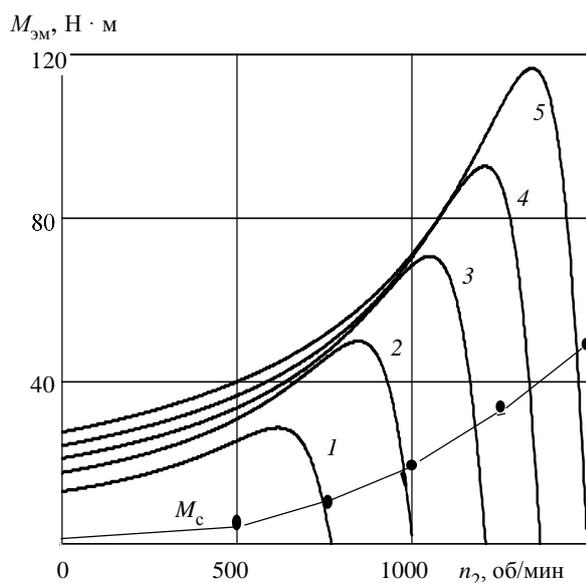


Рис. 7

оптимального регулирования напряжения–частоты применительно к частотному регулированию скорости вращения асинхронных двигателей.

2. В существующее ранее выражение приближенного оптимального закона регулирования введен поправочный коэффициент, построенный

на базе величин, входящих в выражение для максимального электромагнитного момента асинхронного двигателя, таким образом, что теперь учитываются все физические величины, входящие в состав указанного момента.

3. Расчеты, выполненные на базе реального асинхронного двигателя, показали хорошее совпадение результатов расчета с заданной перегрузочной способностью двигателя.

4. Предлагаемое выражение для оптимального закона учитывает механическую характеристику привода.

Успехи в развитии полупроводниковых преобразователей частоты открыли новые возможности в разработке более совершенных систем электропривода с частотным управлением, которые обеспечивают высокие технико-экономические показатели в установившихся и переходных режимах работы и в ряде случаев превосходят по своим свойствам электроприводы постоянного тока.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Масандилов Л. Б., Москаленко В. В. Регулирование частоты вращения асинхронных двигателей. 2-е изд., доп. М.: Энергия, 1978. 96 с.
2. Юферов Ф. М. Электрические машины автоматических устройств. М.: Высш. шк., 1988. 115 с.
3. Осин И. Л., Юферов Ф. М. Электрические машины. М.: Изд-во МЭИ, 2003. 234 с.
4. Вольдек А. И., Попов В. В. Электрические машины. Л.: Энергия, 2006. 724 с.

5. Усольцева А. А. Частотное управление асинхронного двигателя: учеб. пособие. СПб.: СПбГУ ИТМО, 2006. 94 с.

6. Новиков Г. В. Частотное управление асинхронными электродвигателями. М.: Изд-во МГУ им. Н. Э. Баумана, 2016. 498 с.

7. Гольдберг О. Д., Гурин. Я. С., Свириденко И. С. Проектирование электрических машин: учеб. для вузов / под ред. О. Д. Гольдберга. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Высш. шк., 2001. 430 с.

M. A. Vaganov, I. A. Babskay
Saint Petersburg Electrotechnical University «LETI»

THE LAW OF OPTIMAL REGULATION FOR FREQUENCY CONTROL OF ASYNCHRONOUS MOTORS

The main advantage of the frequency control of the speed of rotation of asynchronous motors is the possibility of ensuring smooth control of the speed of rotation of these engines in a fairly wide range, for example, 1:10, while maintaining the overload capacity of the engine as one of the most important indicators of its operation. With frequency control of the speed of rotation of the asynchronous motor, it is necessary to change both the effective value of the phase voltage and its frequency at the same time, but in a certain ratio depending on the type of mechanical characteristics of the drive. Unfortunately, currently in practice an approximate expression for the optimal regulation law is used, which does not take into account the active resistance of the stator winding, and which can be used only for a narrow range of speed control, no more than 1:1.2. In a wider range of regulation, the condition of preserving the overload capacity of the engine is not fulfilled. This article proposes a formulation for the optimal control law that takes into account all the parameters of the asynchronous motor and ensures the constancy of its overload capacity for the three modes of operation of the drive in relation to the left range of speed control.

Asynchronous motor with squirrel-cage rotor, frequency control, modes of operation, active resistance of stator winding, overload capacity, wher exhibition ratio, the algorithm for determining the frequency, the maximum electromagnetic torque