ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՍՍՀ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ ՏԵՂԵԿԱԳԻՐ
ИЗВЕСТИЯ АКАДЕМИИ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР
Տեխնիկական գիտութ. սերիա XXXVIII, № 2, 1985 Серия технических наук.

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

П. Ю. КААСИК, Г. К. САФАРЯН, С. Ю. МЕЛЬНИКОВ

ХАРАКТЕРИСТИКИ ДВУХСКОРОСТНЫХ СОВМЕЩЕННЫХ АСИНХРОННО-ИНДУКТОРНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

В маломощных электроприводах, в которых требуется обеспечить две, в десятки раз отличающиеся друг от друга частоты вращения, могут найти применение совмещенные асинхронно-индукторные двигатели (САИД), которые могут быть также использованы в лентопротяжных механизмах и бытовых приборах, в системах грубой и точной наводки и др.

Многоскоростные асинхронные двигатели малой мощности с переключением числа пар полюсов обеспечивают максимальные пределы ступенчатого регулирования частоты вращения не более 1:6. Однако, при заданной мощности снижение нижнего предела частоты вращения приводит к увеличению габаритов двигателя и к ухудшению его энергетических показателей, что делает этот способ изменения частоты вращения малоэффективным.

От последних недостатков свободны САИД, в которых большой диапазон регулирования достигается путем совмещения на одном магнитопроводе асинхронного короткозамкнутого (АД) и индукторного асинхронного (АИД) двигателей. В режиме АД САИД при частоте питания 50 *Гц* можно получить высокие частоты вращения (1000 *об/мин* и более), а в режиме АИД минимальная частота вращения составляет несколько десятков оборотов в минуту. Очевидно, что применение САИД в режиме АИД позволяет обеспечить низкие частоты вращения без применения понижающих механических редукторов.

При исследовании САИД в разных режимах, в основном, внимание уделялось вопросам проектирования и выбора схем обмоток [1, 2]. Подробное исследование характеристик, а также вопросы создания новых разновидностей САИД с упрощенными конструкциями в технической литературе отсутствуют.

В предлагаемом магнитно-совмещенном двухскоростном асинхронно-индукторном двигателе [2] первичная обмотка статора выполняется полюсно-переключаемой, а на зубчатом роторе размещается короткозамкнутая обмотка типа фазной обмотки с одним короткозамыкающим кольцом.

Принципиальная схема рассматриваемого САИД показана на рис. 1. Первичная полюсно-переключаемая 2 и вторичная 3 в общем многофазные обмотки размещены в открытых пазах статора 1, а $m_к$ — фазная короткозамкнутая обмотка 5 — в пазах ротора 4.

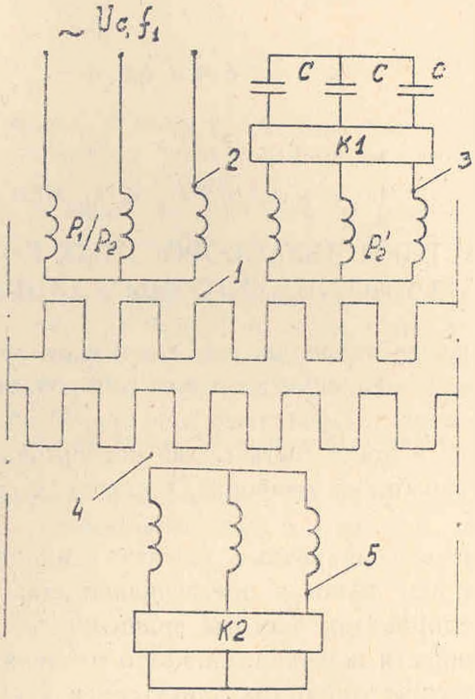

Рис. 1. Принципиальная схема включения обмоток совмещенного асинхронного-индукторного двигателя.

Такая конструкция требует установки на статоре полюсно-переключаемой обмотки, что приводит к увеличению выводных концов и к усложнению схемы коммутации. В целях упрощения конструкции и увеличения надежности работы САИД целесообразно использовать совмещенные АД—АИД с совмещенными обмотками статора. В таком двигателе вместе с магнитным совмещением разнополюсных магнитных полей в общем магнитопроводе имеет место электрическое совмещение отдельных разнополюсных обмоток.

В вышеуказанном САИД вместо полюсно-переключаемой первичной обмотки 2 статора применяется совмещенная обмотка, а роторная обмотка 5 выполняется переключаемой (рис. 1). В зависимости от выбора числа пар полюсов вторичной обмотки p_2' выбирается совмещенная обмотка с числом пар полюсов p_1 и p_2: $p_1 = 2k_1 p_2'$ ($k_1 = 2, 4, 6, 8, ...$); $p_2 = 2k_2 p_2'$ ($k_2 = 1, 2, 3, 4, ...$); $p_1 = 2p_2$. Роторная обмотка выбирается таким образом, чтобы она взаимодействовала с магнитным полем первичной обмотки при числе пар полюсов p_2.

Совмещенные первичные обмотки статора могут быть получены путем применения специальных дробных обмоток с $q < 1$, в кривой МДС

которых появляются две разнополюсные гармоники МДС, примерно одинаковой амплитуды. Одна из них обуславливает в воздушном зазоре гармонику индукции с числом пар полюсов p_2, которая при взаимодействии с обмоткой ротора образует асинхронный момент и режим работы при частоте вращения $n_2 = f_1(1 - S_2)/p_2$, где S_2 — скольжение ротора по отношению поля с числом пар полюсов p_2. Вторая гармоника МДС с числом пар полюсов p_1 с соответствующими гармониками проводимости зубчатого воздушного зазора обуславливает гармонику взаимной индукции со вторичной обмоткой на статоре с числом пар полюсов p_2', обеспечивающую режим асинхронного индукторного двигателя при частоте вращения $n_1 = f_1(1 - S_z)/N_R$, где $S_z = (n_{Rc} - n_1)/n_{Rc}$ — скольжение по отношению синхронной частоты вращения $n_{Rc} = f_1/N_R$; N_R — число зубцов ротора; f_1 — частота питающей сети. Для обеспечения чисто асинхронного режима САИД с частотой вращения n_2 вторичная обмотка 3 отключается от емкостного сопротивления с помощью коммутирующего устройства К1, первичная обмотка включается в сеть, а обмотка ротора, выполненная типа фазной, замыкается накоротко при помощи магнитоуправляемого переключателя К2, контакты которого замыкаются при отсутствии тока во вторичной обмотке статора. При включении вторичной обмотки на емкостное сопротивление, магнитоуправляемые контакты К2 отключают обмотку ротора и двигатель переходит в режим асинхронного индукторного двигателя, обеспечивающего низкую частоту вращения ротора.

Для определения характера статических механических и динамических характеристик в режиме АИД на базе асинхронных двигателей 4АА63А4 по методике расчета [1] рассчитаны и изготовлены макетные образцы 3-х и 2-х фазных двигателей: АИД-3 и АИД-2. На рис. 2 представлены механические характеристики АИД-2 при различных значениях, включенных во вторичную обмотку емкостей конденсаторов. Этот двигатель имеет следующие основные данные: напряжение сети $U_c = 220$ *В*; частота питающей сети $f_1 = 50$ *Гц*; число зубцов статора и ротора соответственно $N_S = 24$, $N_R = 27$; синхронная частота вращения $n_{Rc} = 111$ *об/мин*.

Для сравнительного анализа характеристики САИД рассчитан макетный образец, имеющий основные данные: $U_c = 36$ *В*; $N_R = 26$; $N_S = 24$; $p_1 = 4$; $p_2 = 2$; $p_2' = 1$, и для него рассчитаны механические характеристики в режиме АД и АИД (рис. 3).

Анализ механических характеристик САИД показывает, что: а) зависимость электромагнитного момента АИД от параметров имеет более сложную форму, чем для нормальных асинхронных двигателей; б) механические характеристики АИД при наличии емкостного сопротивления во вторичной обмотке имеют резонансный характер и представляют вогнутые кривые в отличие от выпуклых кривых исполнительных двигателей, работающих в асинхронном режиме; в) путем изменения емкостного сопротивления во вторичной цепи АИД можно осуще-

ствить регулирования частоты вращения; г) при одинаковых массо-габаритных показателях с асинхронными короткозамкнутыми управляемыми двигателями АИД обладают лучшими показателями удельного пускового момента; д) механические характеристики в режиме исполнительного АД имеют такой же вид, как и для других типов исполнительных асинхронных двигателей.

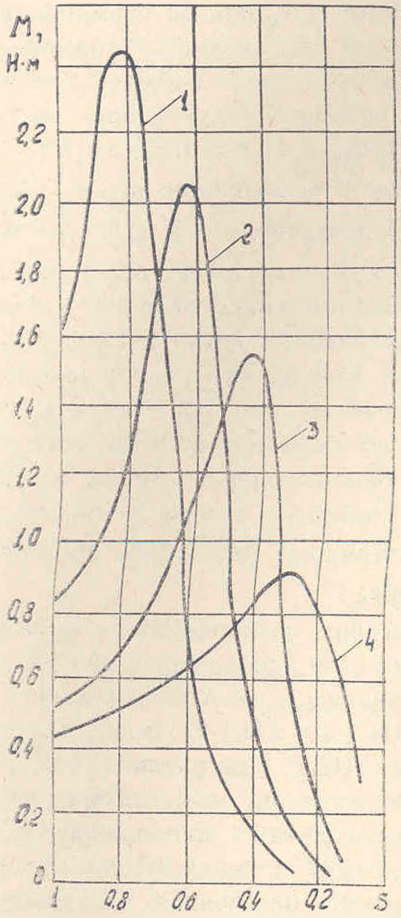

Рис. 2. Механические характеристики асинхронного индукторного двигателя АИД-2: *1* — x_{C2}=60,7 *Ом*; *2* — x_{C2}=34,1 *Ом*; *3* — x_{C2}=15,2 *Ом*; *4* — x_{C2}=3,8 *Ом*.

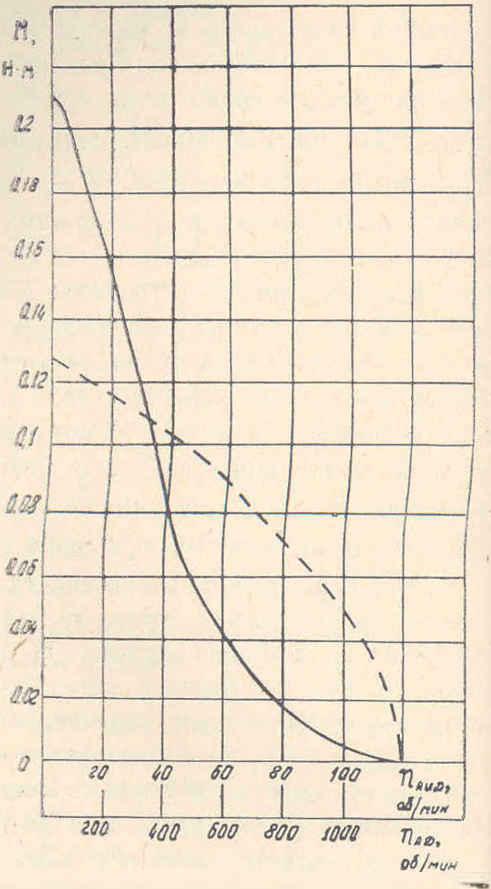

Рис. 3. Механические характеристики совмещенного асинхронно-индукторного двигателя в режиме асинхронного короткозамкнутого (штриховая линия) и индукторного асинхронного двигателя (сплошная линия).

Дифференциальные уравнения САИД, выведенные при общепринятых допущениях и ограничениях [1, 3] и записанные в синхронно-вращающейся системе координат в системе относительных единиц [3], имеют следующий вид:

$$\frac{d\psi_{x1}}{d\tau} = u_{x1} - \frac{R_{s1}}{x'_{s1}}\psi_{x1} + \frac{R_{s1}}{x'_{s1}}K_{m2}\psi_{r2} + \psi_{y1}; \qquad (1)$$

$$\frac{d\psi_{y1}}{d\tau} = u_{y1} - \frac{R_{s1}}{x'_{s1}}\psi_{y1} + \frac{R_{s1}}{x'_{s1}}K_{m2}\psi_{y2} - \psi_{x1}; \qquad (2)$$

$$\frac{d\psi_{x2}}{d\tau} = -u_{Cx2} - \frac{R_{s2}}{x'_{s2}}\psi_{x2} + \frac{R_{s2}}{x'_{s2}}K_{m1}\psi_{x1} + \psi_{y2} - \omega_p\psi_{y2}; \qquad (3)$$

$$\frac{d\psi_{y2}}{d\tau} = -u_{Cy2} - \frac{R_{s2}}{x'_{s2}}\psi_{y2} + \frac{R_{s2}}{x'_{s2}}K_{m1}\psi_{y1} - \psi_{x2} + \omega_p\psi_{x2}; \qquad (4)$$

$$\frac{du_{Cx2}}{d\tau} = u_{Cy2} - \omega_p u_{Cy2} + \frac{x_{C2}}{x'_{s2}}\psi_{x2} - \frac{x_{C2}}{x'_{s2}}K_{m1}\psi_{x1}; \qquad (5)$$

$$\frac{du_{Cy2}}{d\tau} = -u_{Cx2} + \omega_p u_{Cx2} + \frac{x_{C2}}{x'_{s2}}\psi_{y2} - \frac{x_{C2}}{x'_{s2}}K_{m2}\psi_{y1}; \qquad (6)$$

$$\frac{d\omega_p}{d\tau} = \frac{p_{s1}K_p M_Б}{J\omega_Б^2}(m_э - m_c); \qquad (7)$$

$$m_э = \frac{m_{s1}}{2}\frac{p_{s1}K_p\omega_1 K_{m2}}{x_{s1\sigma}}\frac{\Psi_Б^2}{M_Б}(\psi_{x2}\psi_{y1} - \psi_{x1}\psi_{y2}), \qquad (8)$$

где относительные величины ψ_{x1}, ψ_{x2}, ψ_{y1}, ψ_{y2} — потокосцепления первичной и вторичной статорных обмоток по осям X, Y; u_{Cx2}, u_{Cy2} — напряжения на емкостях во вторичном контуре; R_{s1}, R_{s1}, x_{s2}, x_{s2} — активные и полные индуктивные сопротивления фаз первичной и вторичной обмоток; $x_{s1} = x_{\sigma s1} + x_{r1}$; $x_{s2} = x_{\sigma s2} + x_{g2} + x_{r1}$; $K_{m1} = x_{r1}/x_{s1}$; $K_{m2} = x_{r1}/x_{s0}$, $x'_{s1} = x_{s1} - x^2_{r1}/x_{s2}$; $x'_{s2} = x_{s2} - x^2_{r1}/x_{s1}$; $\sigma = 1 - K_{m1}K_{m2}$, $x_{\sigma s1}$, $x_{\sigma s2}$ — индуктивные сопротивления рассеяния первичной и вторичной обмотки; x_{C2} — емкостное сопротивление вторичной обмотки; p_{s1} — число пар полюсов первичной обмотки; $K_p = N_R/p_{s1}$ — коэффициенты электромагнитной редукции частоты вращения; $\omega_1 = 2\pi f_1$; $m_э$ — электромагнитный момент; m_c — статический момент нагрузки; J — момент инерции ротора; $\tau = \omega_1 t$; $\Psi_Б$, $M_Б$ — базисные значения потокосцепления и момента; ω_p — угловая скорость ротора; $u_{x1} = \cos\varphi$, $u_{y1} = \sin\varphi$, φ — начальная фаза питающего напряжения; $\omega_Б = \omega_1$.

Дифференциальные уравнения (1)—(8) характеризуют переходные процессы, возникающие в режиме АИД САИД при пуске, реверсе и торможении, а уравнения (1)—(4) и (7)—(8), при $K_p = 1$, $u_{Cx2} = u_{Cy2} = 0$ — в режиме асинхронного двигателя.

Анализ многочисленных динамических характеристик САИД показывает, что: а) электромеханическая постоянная времени АИД на порядок меньше, чем у управляемых асинхронных двигателей; б) отношение ударного момента АИД к установившемуся пусковому значительно больше, а время переходного процесса меньше, чем у двигате-

лей обычного исполнения; в) на величину динамических показателей АИД наибольшее влияние оказывают активные сопротивления первичной и вторичной обмоток и емкостное сопротивление вторичного контура; г) увеличение емкостного сопротивления приводит к уменьшению времени пуска и реверса и к увеличению ударного момента.

Описанные двухскоростные асинхронно-индукторные двигатели, имеющие хорошие пусковые, динамические и рабочие характеристики, представляют интерес, в частности, для замены редукторных и некоторых типов двухскоростных двигателей, выпускаемых в АрмССР (ПО «Армэлектродвигатель»).

НПИЭлектромаш 5. XI. 1983

П. Ю. КААСИК, Г. К. САФАРЯН, И. Ю. МЕЛЬНИКОВ

ԵՐԿԱՐԱԳԱՅԻՆ ՀԱՄԱՏԵՂՎԱԾ ԱՍԻՆԽՐՈՆ — ԻՆԴՈՒԿՏՈՐԱՅԻՆ ՇԱՐԺԻՉՆԵՐԻ ԲՆՈՒԹԱԳՐԵՐԸ

Ա մ փ ո փ ո ւ մ

Դիտարկվում է ստատորի համատեղված առաջնային փաթույթներ ունեցող նույն մագնիսահաղորդչի վրա համատեղված ասինխրոն — ինդուկտորային շարժիչների ստեղծման հարցերը։ Ստացված են բանաձևեր զանազան փաթույթների զույգ բևեռների թվերի համար, որոնք բացատրում են այդ փաթույթների միջև տրանսֆորմատորային կապը։

Կատարված է երկարագային համատեղված ասինխրոն-ինդուկտորային շարժիչների մեխանիկական բնութագրերի համեմատական վերլուծության՝ կարճ փակված ասինխրոն և ինդուկտորային շարժիչների ռեժիմում։

Դիտարկված է համատեղված ասինխրոն-ինդուկտորային շարժիչների անցողիկ ռեժիմների հետազոտման եղանակը։ Բերված են դիֆֆերենցիալ հավասարումներ, որոնք հնարավորություն են տալիս հետազոտել այդ շարժիչներում անցողիկ պրոցեսները թողարկման, արգելակման և դարձափոխման դեպքում։ Կատարված է դինամիկական բնութագրերի վերլուծում կարճ փակված ասինխրոն և ինդուկտորային շարժիչների ռեժիմում։

ЛИТЕРАТУРА

1. *Каасик П. Ю., Блинов И. В.* Асинхронные индукторные микродвигатели устройств автоматики.— Л.: Энергоиздат, 1982.— 152 с.
2. *Каасик П. Ю., Фролов А. А., Щуревич В. А.* Асинхронно-индукторный двигатель.— В кн.: Автоматика и электромеханика.— Воронеж: 1977, Изд-во Воронеж. политех. и-та, с. 45—52.
3. *Каасик П. Ю., Сафарян Г. К.* Исследование переходных процессов асинхронных индукторных двигателей.— Изв. вузов СССР. Электромеханика, 1984, № 1, с. 61—66.