

УДК 621.313.333.02

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПАРАМЕТРОВ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ НИЗКОЧАСТОТНОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО НАПРЯЖЕНИЯ

*Резник Д.В., ассистент, Родькин Д.И., д.т.н., проф., Калинов А.П., к.т.н., доц.
Кременчугский государственный политехнический университет им. М. Остроградского
39614, г. Кременчуг, ул. Первомайская, 20
E-mail: saue@polytech.poltava.ua*

В статті розкривається можливість підвищення достовірності визначення електромагнітних параметрів асинхронних двигунів, проведено дослідження енергетичних характеристик та залежностей еквівалентного активного, реактивного та комплексного опорів Т-подібної схеми заміщення при зміні частоти напруги живлення та виявлено наявність характерних точок, за якими складена система рівнянь.

Ключові слова: асинхронний двигун, електромагнітні параметри.

The paper presents the opportunity for increasing the reliability of determination of induction motor electromagnetic parameters in low-frequency voltage supply. Energy characteristics and dependencies of equivalent active, reactive and complex resistance of T-shape equivalent circuit have been investigated in variable voltage supply frequency. The system of non-linear equations for induction motor electromagnetic parameters determination is posed according to determined points.

Key words: induction motor, electromagnetic parameters.

Введение. Определению электромагнитных параметров асинхронных двигателей уделяется большое внимание [1 - 5]. Это связано с тем, что, зная данные двигателя, можно реализовать режимы работы электромеханической системы с минимальными потерями. Существующие методы определения электромагнитных параметров базируются на исследовании квазиустановившихся процессов, которые реализуются при гармонических или негармонических воздействиях на обмотки машины и последующего анализа частотных характеристик [6]. Частотные методы оценивания параметров двигателей переменного тока осуществляются при использовании полигармонического питания [5]. В основном указанные методы определения электромагнитных параметров асинхронных двигателей базируются на использовании полигармонического питания с основной частотой (50 ÷ 150) Гц и выше. В этом диапазоне частот питающего напряжения наблюдается незначительное изменение значений эквивалентных активного, реактивного и полного сопротивлений асинхронного двигателя при изменении воздействий, что приводит к снижению точности определения электромагнитных параметров. Анализу области низких частот питающего напряжения не уделялось должное внимание, хотя здесь наблюдаются характерные особенности изменения указанных сопротивлений, что способствует повышению точности определения электромагнитных параметров.

Анализ предыдущих исследований. Методы [1, 2, 4], базирующиеся на применении низкочастот-

ного питающего напряжения, используют частоты (0 ÷ 50) Гц. При этом для произвольных частот определяют значения токов и напряжений, а по ним полное, эквивалентные активное и реактивное сопротивления. Предложенный метод [7, 8] позволяет повысить точность и упростить систему уравнений для определения электромагнитных параметров асинхронных двигателей.

Цель работы. Повышение точности определения электромагнитных параметров (ЭМП) асинхронных двигателей (АД) с использованием низкочастотного испытательного напряжения.

Материал и результаты исследования. Особенностью определения ЭМП с использованием низкочастотного питающего напряжения [7, 8], является рассмотрение процессов в Т-образной схеме замещения асинхронного двигателя (рис. 1).

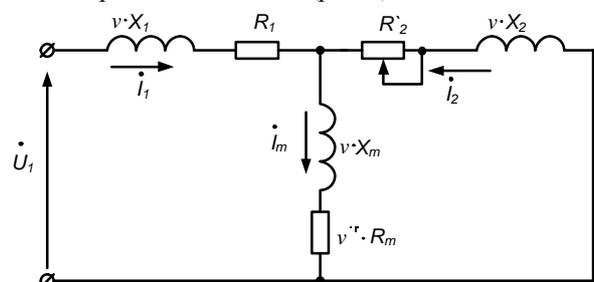


Рисунок 1 - Т-образная схема замещения асинхронного двигателя

В области низких частот потери в стали незначительны, поэтому ими можно пренебречь. Тогда сопротивление контура намагничивания запишем в

виде $Z_m(\nu) = j\nu X_m$. Сопротивление статора и ротора соответственно будут записаны $Z_1(\nu) = (R_1 + j\nu X_1)$, $Z_2(\nu) = (R_2 + j\nu X_2)$.

Выражение комплексного сопротивление схемы замещения:

$$Z_{\Sigma 1}(\nu) = Z_1(\nu) + \frac{Z_2(\nu) \cdot Z_m(\nu)}{Z_2(\nu) + Z_m(\nu)} = R_{\Sigma}(\nu) + jX_{\Sigma}(\nu) = (R_1 + j\nu X_1) + \frac{j\nu^3(X_m X_2^2 + X_m^2 X_2) + \nu^2 X_m^2 R_2 + j\nu X_m R_2^2}{R_2^2 + (\nu X_2 + \nu X_m)^2}, \quad (1)$$

откуда:

– эквивалентное реактивное сопротивление:

$$X_{\Sigma 1}(\nu) = j\nu X_1 + \frac{j\nu^3(X_m X_2^2 + X_m^2 X_2) + j\nu X_m R_2^2}{R_2^2 + (\nu X_2 + \nu X_m)^2}; \quad (2)$$

– эквивалентное активное сопротивление:

$$R_{\Sigma 1}(\nu) = R_1 + \frac{\nu^2 X_m^2 R_2}{R_2^2 + (\nu X_2 + \nu X_m)^2}. \quad (3)$$

В соответствии с выражениями (1) – (3) для асинхронного двигателя 4A180M2 мощностью 30кВт, с параметрами $R_1 = 0,117 \text{ Ом}$, $X_1 = 0,287 \text{ Ом}$, $R_2 = 0,071 \text{ Ом}$, $X_m = 15,79 \text{ Ом}$, $X_2 = 0,432 \text{ Ом}$ [9], построены кривые эквивалентных активного (рис. 2), реактивного (рис. 3) и комплексного (рис. 4) сопротивлений для Т-образной схемы замещения.

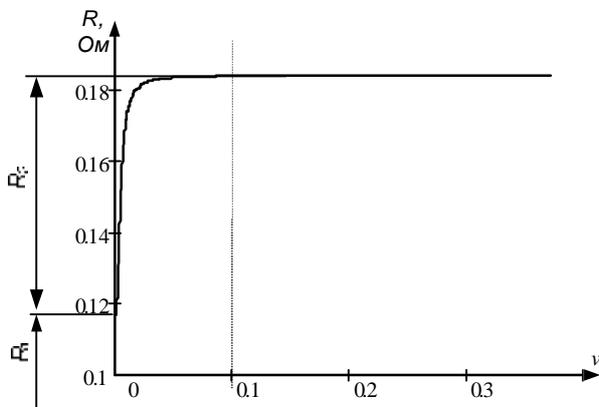


Рисунок 2 - Зависимость изменения эквивалентного активного сопротивления для Т-образной схемы замещения

По представленным на рис. 3 и 4 зависимостям эквивалентного реактивного и комплексного сопротивлений, видно, что последние имеют характерные точки - перегибы. Рассматривая энергетические процессы в любой электромеханической системе, можно изучить и понять принципы работы этой системы. Поэтому исследование особенностей работы схемы замещения вблизи точек перегибов было проведено на основании энергетических соотношений.

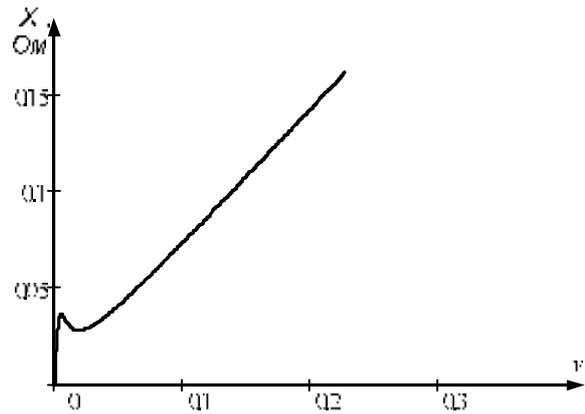


Рисунок 3 - Зависимость изменения эквивалентного реактивного сопротивления для Т-образной схемы замещения

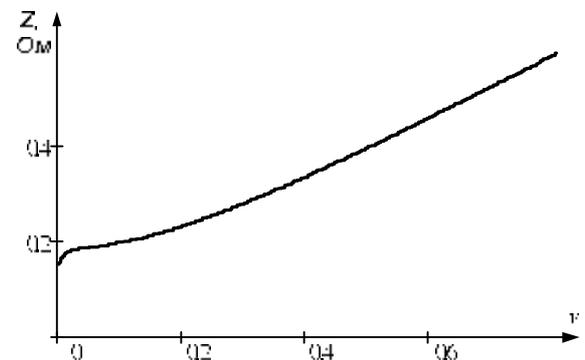


Рисунок 4 - Зависимость изменения комплексного сопротивления для Т-образной схемы замещения

Анализируя схему замещения рис.1, ток статора определим следующим выражением:

$$I_1(\nu) = \frac{U}{Z_{\Sigma}} = \frac{U}{\sqrt{R_1^2 + \nu^2 X_1^2} + \frac{\sqrt{R_m^2 + \nu^2 X_m^2} \cdot \sqrt{R_2^2 + \nu^2 X_2^2}}{\sqrt{R_m^2 + \nu^2 X_m^2} + \sqrt{R_2^2 + \nu^2 X_2^2}}} = \frac{U}{\sqrt{R_1^2 + \nu^2 X_1^2} + \frac{\sqrt{\nu^2 X_m^2} \cdot \sqrt{R_2^2 + \nu^2 X_2^2}}{\sqrt{\nu^2 X_m^2} + \sqrt{R_2^2 + \nu^2 X_2^2}}}, \quad (4)$$

где ν - относительная частота, $R_m = 0$ - активное сопротивление контура намагничивания
Реактивная мощность статорной цепи будет:

$$Q_1(\nu) = \left(\frac{U}{Z_{\Sigma}} \right)^2 \cdot \nu \cdot X_1. \quad (5)$$

Активная мощность статорной цепи:

$$P_1(\nu) = \left(\frac{U}{Z_{\Sigma}} \right)^2 \cdot R_1. \quad (6)$$

Полная мощность статорной цепи:

$$S_1(\nu) = \sqrt{P_1(\nu)^2 + Q_1(\nu)^2}. \quad (7)$$

Электродвижущая сила параллельного контура:

$$E(v) = U - I_1 \cdot Z_1 = U - \frac{U}{\sqrt{R_1^2 + v^2 X_1^2} + \frac{\sqrt{R_m^2 + v^2 X_m^2} \cdot \sqrt{R_2^2 + v^2 X_2^2}}{\sqrt{R_m^2 + v^2 X_m^2} + \sqrt{R_2^2 + v^2 X_2^2}}} \times \sqrt{R_1^2 + v^2 X_1^2} = U - \sqrt{R_1^2 + v^2 X_1^2} \times \frac{U}{\sqrt{R_1^2 + v^2 X_1^2} + \frac{\sqrt{v^2 X_m^2} \cdot \sqrt{R_2^2 + v^2 X_2^2}}{\sqrt{v^2 X_m^2} + \sqrt{R_2^2 + v^2 X_2^2}}}$$

Роторную цепь можно описать совокупностью следующих выражений:

– ток ротора:

$$I_2(v) = \frac{E(v)}{\sqrt{R_2^2 + v^2 \cdot X_2^2}}; \quad (9)$$

– реактивная мощность роторной цепи:

$$Q_2(v) = \left(\frac{E(v)}{\sqrt{R_2^2 + v^2 \cdot X_2^2}} \right)^2 \cdot v \cdot X_2; \quad (10)$$

– активная мощность роторной цепи:

$$P_2(v) = \left(\frac{E(v)}{\sqrt{R_2^2 + v^2 \cdot X_2^2}} \right)^2 \cdot R_2; \quad (11)$$

– полная мощность роторной цепи:

$$S_2(v) = \sqrt{P_2(v)^2 + Q_2(v)^2}. \quad (12)$$

Контур намагничивания описывается соответствующими соотношениями:

– ток контура намагничивания:

$$I_m(v) = \frac{E(v)}{\sqrt{R_m^2 + v^2 \cdot X_m^2}} = \frac{E(v)}{v \cdot X_m}; \quad (13)$$

– реактивная мощность контура намагничивания:

$$Q_m(v) = \left(\frac{E(v)}{\sqrt{R_m^2 + v^2 \cdot X_m^2}} \right)^2 \cdot v \cdot X_m = \frac{E(v)}{v \cdot X_m}; \quad (14)$$

– активная мощность контура намагничивания:

$$P_m(v) = \left(\frac{E(v)}{\sqrt{R_m^2 + v^2 \cdot L_m^2}} \right)^2 \cdot R_m = 0; \quad (15)$$

– полная мощность контура намагничивания:

$$S_m(v) = \sqrt{P_m(v)^2 + Q_m(v)^2}. \quad (16)$$

Суммарная активная мощность схемы замещения:

$$\Sigma P(v) = P_1(v) + P_2(v) + P_m(v). \quad (17)$$

Суммарная реактивная мощность схемы замещения:

$$\Sigma Q(v) = Q_1(v) + Q_2(v) + Q_m(v). \quad (18)$$

По выражениям (4) - (18) на рис. 5 – 7 построены зависимости токов, мощностей и сопротивлений для асинхронного двигателя. При построении характеристик пренебрегаем активным сопротивлением контура намагничивания, так как при использовании низкочастотного питающего напряжения потери в стали пренебрежительно малы.

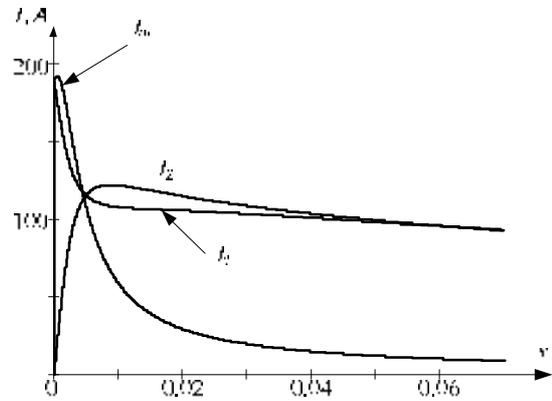


Рисунок 5 – Зависимости изменения токов для Т-образной схемы замещения

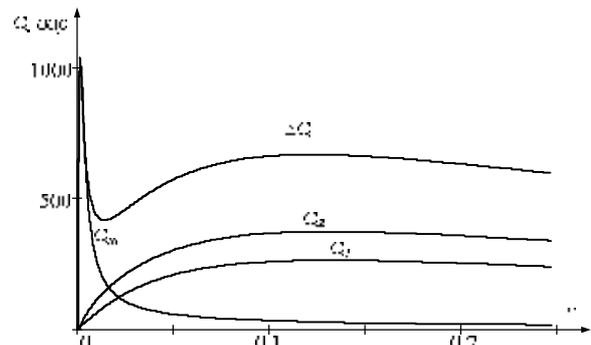


Рисунок 6 – Зависимости изменения реактивной мощности для Т-образной схемы замещения

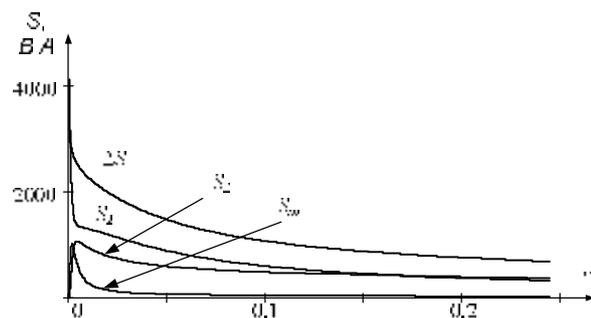


Рисунок 7 – Зависимости изменения полной мощности для Т-образной схемы замещения

Наличие характерных точек перегибов в кривой эквивалентного реактивного сопротивления можно объяснить тем, что на низких частотах ток контура намагничивания возрастает при $v \rightarrow 0$ и по величине больше значения тока ротора. При этом параллельный контур представляет собой индуктивную нагрузку (рис. 5). С увеличением частоты питающе-

го напруги ток роторної цепі росте, т.е. відбувається перерозподіл енергії між контуром намагнічування і контуром ротора, а значить, паралельний контур набуває характер активно-індуктивної навантаження за рахунок активного і реактивного опорів контура ротора.

Це встановлює залежність, пов'язану з енергопроцесами при низькочастотному живленні. Точки перегибу кривих складових повного опору зміщуються в бік менших частот з збільшенням потужності аналізованих двигунів, крім електричних машин з підвищеним ковзанням (МТК, МТКВ, МТКМ). Машини цих серій характеризуються збільшенням відносних частот, при яких спостерігаються перегиби кривих складових повного опору.

Ця особливість має принципове значення, так як в основному визначає вимоги до обладнання, з допомогою якого здійснюється живлення статора електричної машини при виконанні ідентифікації параметрів електрообладнання.

Проведений аналіз кривих, представлених на рис. 2-4, дозволяє визначити ряд параметрів. Так, при відносній частоті $\nu = 0$, для визначення параметра R_1 необхідно виразити $\lim_{\nu \rightarrow 0} (R_{\Sigma}(\nu))$ із вираження (3):

$$\lim_{\nu \rightarrow 0} (R_{\Sigma}(\nu)) = \lim_{\nu \rightarrow 0} \left(R_1 + \frac{\nu^2 X_m^2 R_2}{(R_2 + R_m)^2 + (\nu X_2 + \nu X_m)^2} \right) = R_1. \quad (18)$$

Параметр R_1 також можна визначити по кривим еквівалентного активного або комплексного опору в тому випадку, коли відносна частота живлячого напруги $\nu = 0$ (рис. 2, рис. 4).

Взявши похідну від еквівалентного реактивного опору (2), (рис. 8), визначив $\lim_{\nu \rightarrow 0} (X_{\Sigma}(\nu))'$, отримаємо суму індуктивних опорів контурів намагнічування і статора:

$$\begin{aligned} \frac{dX_{\Sigma}(\nu)}{d\nu} &= X_1 + \\ &+ \frac{3 \cdot \nu^2 (X_2^2 \cdot X_m + X_2 \cdot X_m^2) + R_2^2 X_m +}{R_2^2 + (\nu X_2 + \nu X_m)^2} - \\ &- 2 \cdot \frac{\nu^3 (X_m X_2^2 + X_m^2 X_2) + \nu X_m R_2^2}{R_2^2 + (\nu X_2 + \nu X_m)^2} \times \\ &\times (\nu X_2 + \nu X_m)(X_2 + X_m); \end{aligned} \quad (19)$$

откуда:

$$\lim_{\nu \rightarrow 0} (X_{\Sigma}(\nu))' = X_1 + \frac{R_2^2 X_m}{R_2^2} = X_1 + X_m.$$

Для визначення ЕМП Т-образної схеми заміщення АД необхідно скласти систему рівнянь. Отримана система нелінійних рівнянь (20), складається з виражень для еквівалентних активного і реактивного опорів при різних

частотах живлячого напруги. Кількість рівнянь в системі відповідає кількості невіданих. При цьому необхідно вибирати частоти в області, де існує значуще змінення еквівалентних активного і реактивного опорів, т.е. в області низьких частот [10].

$$\begin{cases} X_{\Sigma}(\nu_1) = \nu_1 X_1 + \frac{\nu_1^3 (X_m X_2^2 + X_m^2 X_2) + \nu_1 X_m R_2^2}{R_2^2 + (\nu_1 X_2 + \nu_1 X_m)^2}; \\ R_{\Sigma}(\nu_1) = R_1 + \frac{\nu_1^2 X_m^2 R_2}{R_2^2 + (\nu_1 X_2 + \nu_1 X_m)^2}; \\ X_{\Sigma}(\nu_2) = \nu_2 X_1 + \frac{\nu_2^3 (X_m X_2^2 + X_m^2 X_2) + \nu_2 X_m R_2^2}{R_2^2 + (\nu_2 X_2 + \nu_2 X_m)^2}; \\ R_{\Sigma}(\nu_2) = R_1 + \frac{\nu_2^2 X_m^2 R_2}{R_2^2 + (\nu_2 X_2 + \nu_2 X_m)^2}; \\ (X_{\Sigma}(\nu_0))' = X_1 + X_m, \end{cases} \quad (20)$$

де $\nu_0 = 0$ - частота, при якій визначається $\lim_{\nu \rightarrow 0} (X_{\Sigma}(\nu))' = X_1 + X_m$; ν_1, ν_2 - довільні частоти, в яких визначаються значення еквівалентного активного і реактивного опорів.

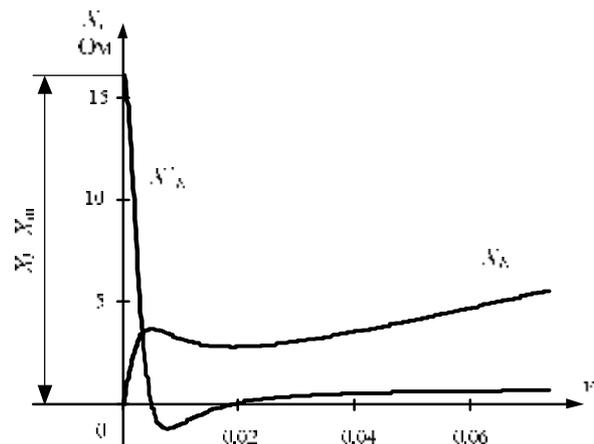


Рисунок 8 - Крива еквівалентного опору і його похідної для Т-образної схеми заміщення АД

Для використання (20), необхідно визначити значення еквівалентних реактивних ($X_{\Sigma}(\nu_1), X_{\Sigma}(\nu_2)$) і активних ($R_{\Sigma}(\nu_1)$ і $R_{\Sigma}(\nu_2)$) опорів при відповідних частотах. Проведене дослідження по визначенню ЕМП з допомогою (20), показало, що похибка визначення $R_1 - 0\%$; $X_1 - (0 \div 28,6)\%$; $R_2 - (3 \div 8)\%$; $X_2 - (0 \div 17)\%$.

В діапазоні відносних частот $\nu = 0,1 \div 1$ (рис. 2), еквівалентний активний опір $R_{\Sigma}(\nu)$ не змінюється. Тому параметр R_2 можна визначити, як різницю між еквівалентним активним опором $R_{\Sigma}(\nu)$ і активним сопро-

тивлением статора R_1 при относительно частоте $\nu = 0,1$ (рис. 2). Тогда систему уравнений (20), можно представить:

$$\begin{cases} X_{\Sigma}(\nu_1) = \nu_1 X_1 + \frac{\nu_1^3 (X_m X_2^2 + X_m^2 X_2) + \nu_1 X_m R_2^2}{R_2^2 + (\nu_1 X_2 + \nu_1 X_m)^2}; \\ R_{\Sigma}(\nu_1) = R_1 + \frac{\nu_1^2 X_m^2 R_2}{R_2^2 + (\nu_1 X_2 + \nu_1 X_m)^2}; \\ (X_{\Sigma}(\nu_0))' = X_1 + X_m. \end{cases} \quad (21)$$

Используя систему уравнений (21) достаточно будет найти значения $X_{\Sigma}(\nu_1)$ и $R_{\Sigma}(\nu_1)$, что упростит процесс определения параметров.

Представленные кривые на рис. 2-4, можно разбить на три диапазона, в которых определяют ЭМП АД (рис. 9). В зависимости от относительной частоты питающего напряжения схемы замещения: первый диапазон от 0 до ν_{max} , второй - от ν_{max} до ν_{min} и третий - от ν_{min} до 1. Для указанных диапазонов относительной частоты определены ЭМП АД, результаты сведены в табл. 1-3.

Анализируя результаты расчета ЭПМ АД, приведенные в табл. 1-3, видим, что в первом

диапазоне, где наблюдается значительное изменение кривых эквивалентных сопротивлений, погрешность определения меньше, чем при использовании других диапазонов.

В качестве сравнения был проведен расчет ЭМП по паспортным данным для указанных двигателей, при этом была использована методика. Отклонение погрешности определяемых параметров от табличных составила R_1 - (0 ÷ 50) %; X_1 - (4,5 ÷ 20) %; R_2 - (12 ÷ 150) %; X_2 - (30 ÷ 43) %.

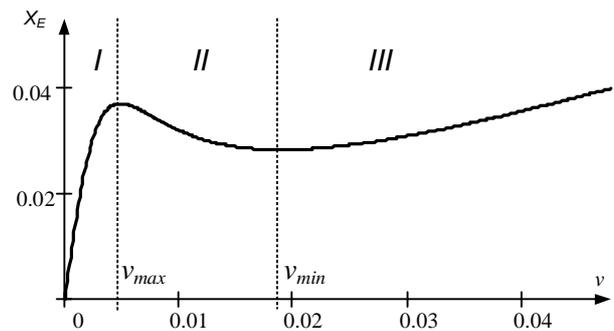


Рисунок 9 - Диапазоны изменения эквивалентного реактивного сопротивления асинхронного двигателя:

- ν_{max} - частота максимума,
- ν_{min} - частота минимума

Таблица 1 - Расчетные данные электромагнитных параметров АД в диапазоне от 0 до ν_{max}

Тип двигателя	Определенные электромагнитные параметры и их отклонения от справочных данных							
	R_1 , Ом	ΔR_1 , %	X_1 , Ом	ΔX_1 , %	R_2 , Ом	ΔR_2 , %	X_2 , Ом	ΔX_2 , %
4A160S2	0.4	-	0.703	0.4	0.157	7.6	1.042	12
4A180M2	0.117	-	0.322	12.2	0.067	5.6	0.482	11.6
4A250S2	0.033	-	0.122	6.2	0.022	8.3	0.184	12.3
4A315S2	0.011	-	0.063	10	0.008	11.1	0.091	1.1

Таблица 2 - Расчетные данные электромагнитных параметров АД в диапазоне от ν_{max} до ν_{min}

Тип двигателя	Определенные электромагнитные параметры и их отклонения от справочных данных							
	R_1 , Ом	ΔR_1 , %	X_1 , Ом	ΔX_1 , %	R_2 , Ом	ΔR_2 , %	X_2 , Ом	ΔX_2 , %
4A160S2	0.4	-	0.713	1.9	0.157	7.6	0.997	5.1
4A180M2	0.117	-	0.377	31.4	0.067	5.6	0.528	22.2
4A250S2	0.033	-	0.126	3.1	0.022	8.3	0.168	20
4A315S2	0.011	-	0.062	11.4	0.008	11.1	0.091	1.1

Таблица 3 - Расчетные данные электромагнитных параметров АД в диапазоне от ν_{min} до 1

Тип двигателя	Определенные электромагнитные параметры и их отклонения от справочных данных							
	R_1 , Ом	ΔR_1 , %	X_1 , Ом	ΔX_1 , %	R_2 , Ом	ΔR_2 , %	X_2 , Ом	ΔX_2 , %
4A160S2	0.4	-	0.745	6.4	0.157	7.6	0.894	3.9
4A180M2	0.117	-	0.279	2.8	0.067	5.6	0.339	21.5
4A250S2	0.033	-	0.126	3.1	0.022	8.3	0.177	15.7
4A315S2	0.011	-	0.062	11.4	0.008	11.1	0.092	2.2

Выводы. По результатам анализа можно заключить следующее:

- предложенный метод позволяет получить более приемлемые результаты при определении ЭМП (погрешность составляет: $R_1 - 0 \%$; $X_1 - (0,4 \div 12,2) \%$; $R_2 - (5,6 \div 11,1) \%$; $X_2 - (1,1 \div 12,3) \%$, что значительно лучше по сравнению с другими методами);

- результаты расчета ЭПМ АД более точные в диапазоне относительной частоты от 0 до частоты максимума в кривой эквивалентного реактивного сопротивления v_{max} ;

- установлена зависимость, связанная с энергопроцессами при низкочастотном питании. Точки перегиба кривых составляющих полного сопротивления смещаются в сторону меньших частот с увеличением мощности всех анализируемых двигателей, кроме электрических машин с повышенным скольжением (МТК, МТКВ, МТКМ). Машины этих серий характеризуются увеличением относительных частот, при которых наблюдаются перегибы кривых составляющих полного сопротивления;

- повышение точности определения ЭМП на низких частотах достигается благодаря перераспределению токов в параллельном контуре, который образуется роторной цепью и цепью намагничивания.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ

1. Машины электрические вращающиеся. Двигатели асинхронные. Методы испытаний. ГОСТ 7217-87 (СТ СЭВ 168-85) – Москва, 1987.
2. Котеленец Н.Ф., Кузнецов Н.Л. Испытания и надежность электрических машин. М.: Высшая школа, 1988. - 232с.
3. Гемке Р.Г. Неисправности электрических машин - Л.: Энергоатомиздат, 1989. – 336 с.
4. Жерве Г.К. Промышленные испытания электрических машин. Л.: Энергоатомиздат, 1984. – 408 с.
5. Родькин Д.И., Калинов А.П., Ромашихин Ю.В. Развитие частотных методов оценки параметров двигателей переменного тока // Вісник КДПУ. Наукові праці КДПУ. – Вип. 5 (34). – Кременчук: КДПУ, 2005. – С. 43-46.
6. Родькин Д.И., Здор И.В. Современные методы определения параметров асинхронных двигателей после их ремонта // Вестник КПУ. Труды КПИ, 2000, вып. 1. С. 76-81.
7. Калинов А.П., Резник Д.В., Родькин Д.И., Ромашихин Ю.В. Определение электромагнитных параметров асинхронных двигателей при питании напряжением низких частот // Вісник КДПУ. Наукові праці КДПУ. – Вип. 4 частина 1(39). – Кременчук: КДПУ, 2006. – С. 117 - 121.
8. Резник Д.В., Родькин Д.И., Ромашихин Ю.В. Особенности определения электромагнитных параметров асинхронных двигателей при использовании низкочастотного испытательного напряжения // Электроприводы переменного тока: Труды международной четырнадцатой научно-технической конференции. Екатеринбург, 2007. – С. 279 – 283.
9. Кравчик А.Э., Шлаф М.М., Афонин В.И., Соболенская Е.А. Асинхронные двигатели серии 4А /Справочник/ - М.: Энергоиздат, 1982. – 504 с.
10. Зевеке Г.В., Ионкин П.А., Нетушил А.В., Страхо С.В. Основы теории цепей. - М.: Энергоатомиздат, 1989. – 530 с
11. Родькин Д.И., Калинов А.П., Ромашихин Ю.В. Оценка эффективности методов диагностики двигателей переменного тока // Вісник КДПУ. Наукові праці КДПУ. – Вип. 2 частина 2(38). – Кременчук: КДПУ, 2006. – С. 77-82.