

К ПРОБЛЕМЕ ТОКОВ ЧЕРЕЗ ЗУБЦЫ КОРОТКОЗАМКНУТОГО РОТОРА АСИНХРОННОЙ МАШИНЫ

Р. ПАРТС

Примерно двадцать лет тому назад в электротехнической литературе [1] обсуждался вопрос об изолировании стержней беличьей клетки для того, чтобы уменьшить добавочные потери, которые возникают вследствие протекания тока через зубцы при неизолированной клетке. В статье В. Шуйского [2] приводится интересный факт о том, как один из первоначальных противников изолирования стержней В. Росмайер высказался все же затем за изолирование.

В настоящее время короткозамкнутые асинхронные машины с алюминиевыми беличьими клетками выпускаются в количестве нескольких миллионов штук в год. Поэтому уменьшение добавочных потерь, составляющих в некоторых случаях 0,5 и более процентов от подведенной к двигателю мощности, представляет практический интерес.

Экспериментальная проверка добавочных потерь из-за токов через зубцы весьма затруднительна, особенно при изготовлении беличьей клетки заливкой алюминия под давлением. Если беличья клетка отлита, то уже нет возможности для ее изолирования, или наоборот, если беличья клетка изолирована, то нет возможности для создания путем удаления изоляции любым способом именно того контакта между стержнем и зубцом, который возникает при непосредственной заливке неизолированных стержней.

Проще можно подойти к этой проблеме, рассуждая следующим образом. Поперечные точки через зубцы ухудшают коэффициент полезного действия асинхронной машины из-за добавочных потерь. Если пойти по пути явного уменьшения зубцового сопротивления, то эти токи должны возрасти и ухудшение характеристики асинхронной машины должно стать более заметной.

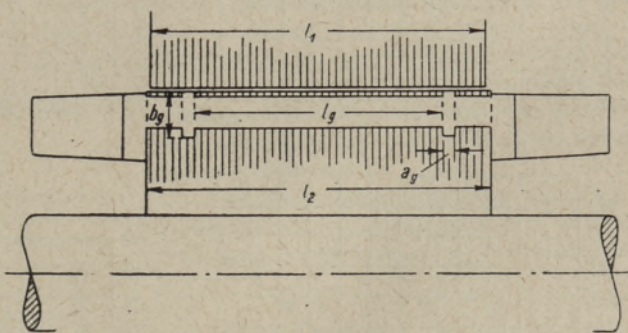


Рис. 1.

С этой целью были изготовлены два пакета из вырубков ротора типа АОТ 52-6 из одной и той же электротехнической листовой стали марки Э 12, из-под одного и того же штампа и т. д. Только у части листов второго пакета обрезались зубцы для образования двух дополнительных короткозамыкающих колец (рис. 1, $l_g = 108,5$ мм, $l_2 = 145$ мм, $b_g \times a_g = 13,5 \times 4$ мм).

Рабочие характеристики (рис. 2а, б, в, г) асинхронной машины с двойными короткозамыкающими кольцами и асинхронной машины в нормальном исполнении практически совпали. Это дает основание предполагать, что добавочные потери из-за токов через зубцы короткозамкнутого ротора весьма малы при скольжении $s \leq 0,05$. Зато при коротком замыкании произведенное нами изменение конструкции ротора уже сказывается. Это видно из табл. 1.

Таблица 1

Характери- зуемая ве- личина	Единица	Статор типа АО 52-6 № 285 541		
		Ротор типа АОТ 52-6 в нормальном исполнении	Ротор типа АОТ 52-6 с двойными ко- роткозамыкаю- щими кольцами	Ротор типа АОТ 52-6 с одинарными ко- роткозамыкаю- щими кольцами
M_n	кГм	10,3 (1)	9,4 (0,91)	6,5 (0,63)
M_n/M_n	—	2,23	2,03	1,4
I_n	а	51 (1)	50 (0,98)	34,8 (0,7)
I_n/I_n	—	5,0	5,0	3,5
$\cos \varphi_n$	—	0,630	0,58	0,46
M_{\max}	кГм	11,4 (1)	10,7 (0,94)	6,6 (0,6)
M_{\max}/M_n	—	2,5	2,31	1,4
M_n/I_n	$\frac{\text{кГм}}{\text{а}}$	0,2	0,19	0,19

Обозначения: M_n — момент пусковой, I_n — ток пусковой, $\cos \varphi_n$ — пусковой коэффициент мощности (при коротком замыкании), M_{\max} — максимальный момент, M_n — номинальный момент, I_n — номинальный ток. В табл. 1, а также в следующей табл. 2, с целью сравнения, для всех двигателей в качестве номинального момента и номинального тока были взяты условно одни и те же номинальные величины асинхрон-

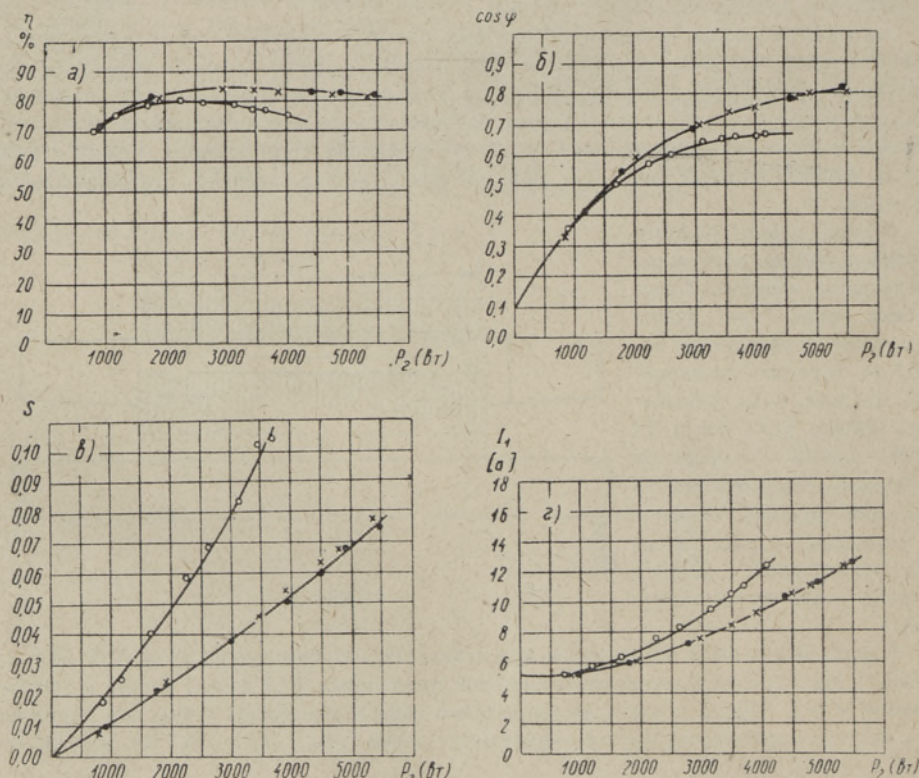


Рис. 2.

- Статор АО 52-6, ротор АОТ 52-6.
- ××× Статор АО 52-6, ротор АОТ 52-6 с двойными короткозамыкающими кольцами.
- ooo Статор АО 52-6, ротор АОТ 52-6 с одинарными короткозамыкающими кольцами.

ной машины в нормальном исполнении; в скобках приведены относительные величины абсолютных значений M_n , I_n и M_{\max} ; за базисную единицу приняты их величины при нормальном исполнении.

Ротор с одинарными короткозамыкающими кольцами внутри пакета получен путем сточки торцевых короткозамыкающих колец у ротора с двойными короткозамыкающими кольцами, использованного при указанном в табл. 1 опыте.

В некоторых работах [3, 4] рассматриваются токи через зубцы как причина, обуславливающая добавочные потери. Поэтому, по-видимому, полагают, что на схеме замещения ротора параллельно активному сопротивлению короткозамыкающего кольца следует включить активное сопротивление, эквивалентное зубцовому сопротивлению.

Уменьшение коэффициента мощности и пускового тока при коротком замыкании позволяет утверждать, что из-за токов через зубцы изменяется и индуктивное сопротивление ротора. В противном случае невозможно было бы объяснить уменьшение коэффициента мощности в случае ротора с одинарными короткозамыкающими кольцами по сравнению с опытом при нормальном исполнении ротора.

Учет добавочных потерь из-за токов через зубцы, как и методы расчета специальных короткозамкнутых асинхронных двигателей с разрезанными короткозамыкающими кольцами [5] могут основываться на надежности контакта между неизолированным стержнем и зубцом. В экспериментальной работе автора [6] подтвердилось наличие надежного контакта между алюминиевыми стержнями, залитыми под давлением, и зубцами пакета ротора, набранного из электротехнической листовой стали. Это создает предпосылки для создания новых специальных асинхронных машин, использующих эффект протекания токов через зубцы в той или иной мере.

При испытании асинхронной машины с короткозамкнутым ротором типа АОТ 52-6 после того, когда были сточены короткозамыкающие

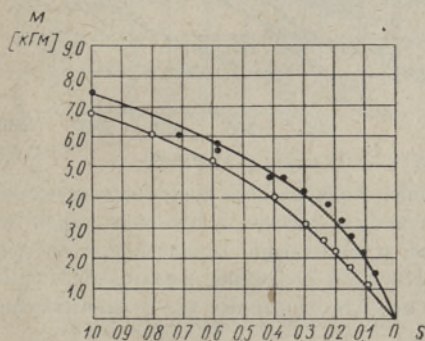


Рис. 3.

- ○ ○ АО 52-6, ротор массивный ферромагнитный из стали Ст. 35.
- ● ● АО 52-6, ротор без короткозамыкающих колец.

кольца (т. е. в случае, когда все токи в стержнях имели единственную возможность замыкаться по зубцам и ядру ротора), механическая характеристика $M = f(s)$ оказалась похожей на часто наблюдаемую механическую характеристику асинхронной машины с массивным ферромагнитным ротором [7, 8]. При изменении скольжения от единицы до нуля в кривой момента не наблюдались провалы (рис. 3).

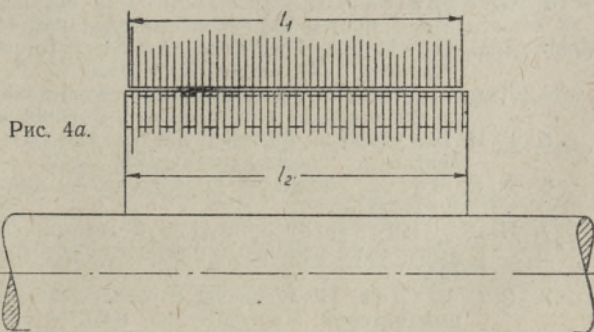


Рис. 4а.

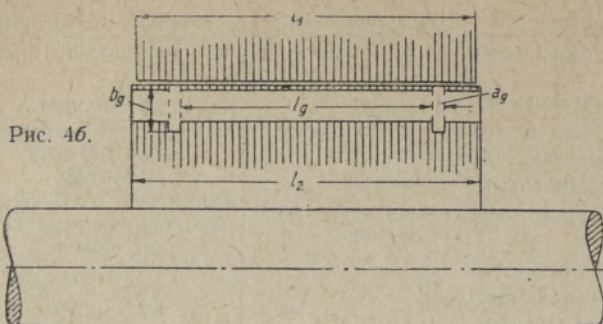


Рис. 46.

В табл. 2 приведены результаты опыта короткого замыкания асинхронной машины с ротором без короткозамыкающих колец (рис. 4а), а на рис. 5 ее рабочие характеристики изображены вместе с соответствующими характеристиками асинхронной машины с ротором, имеющим одинарные короткозамыкающие кольца внутри пакета (рис. 4б).

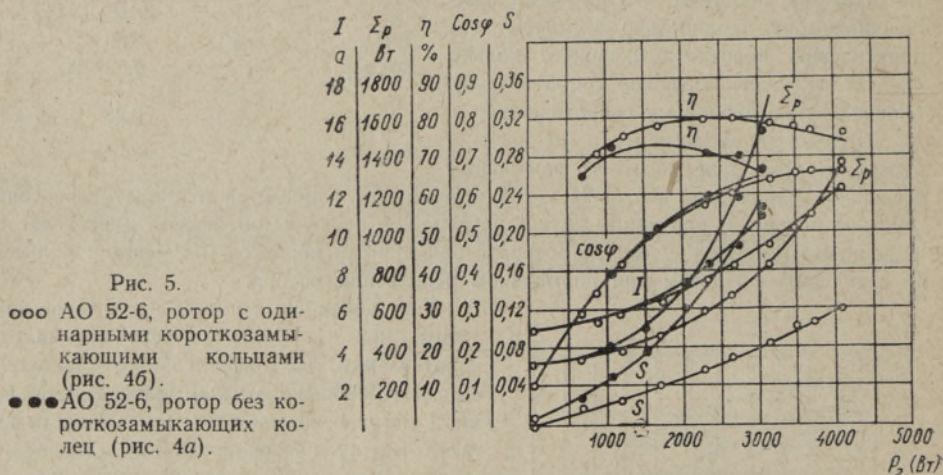


Рис. 5.

○○○ АО 52-6, ротор с одинарными короткозамыкающими кольцами (рис. 4б).
●●● АО 52-6, ротор без короткозамыкающих колец (рис. 4а).

По рис. 2 и 5 видно, что асинхронная машина с одинарными короткозамыкающими кольцами дает возможность получать промежуточные рабочие и пусковые характеристики по сравнению с асинхронными машинами в нормальном исполнении и по сравнению с теми же без короткозамыкающих колец. Для получения желательной характеристики можно варьировать расположение и сечение одинарных короткозамыкающих колец.

По своей механической характеристике короткозамкнутая асинхронная машина без короткозамыкающих колец может заменить асинхронную машину с ферромагнитным ротором.

ЛИТЕРАТУРА

1. Б. П. Апаров, Теоретические основы проектирования асинхронных двигателей. Докторская диссертация, 1937.
2. W. Schuisly, Die Zusatzverluste in der unisolierten Käfigwicklung. Bulletin de l'Association suisse des electriciens, 1953, 44, 7, 330.
3. A. M. Odok, Stray-Load Losses and Stray Torques in Induction Machines, AIEE, Power Apparatus and Systems, April, 1958, № 35, p. 43.
4. Ладислав Цыганек, Контактное сопротивление между стержнями алюминиевой клетки и сталью пакета ротора. Вестник электропромышленности, 1960, № 6.
5. Г. И. Штурман, Разомкнутые беличьи клетки в короткозамкнутых асинхронных двигателях. Электричество, 1951, № 9.
6. R. R. Parits, Lõhestatud lühisrõngastega asünkroonmootorid, Tehnika ja Tootmine, 1959, nr. 3.
7. Н. В. Синева, Теоретическое и экспериментальное исследование асинхронного двигателя с массивным омедненным ротором (кандидатская диссертация), МЭИ, 1956.
8. В. С. Шаров, Исследование и расчет асинхронного двигателя с массивным стальным ротором. Электричество, 1959, № 4.

Институт энергетики
Академии наук Эстонской ССР

Поступила в редакцию
25. XI 1961

ASÜNKROONMOTORI LÜHISMÄHISEGA ROOTORI HAMMASTES
TEKKIVATE VOOLUDE PROBLEEM

R. Parts

Resümee

Peaaegu kakskümmend aastat tagasi arutati elektrotehnilises kirjanduses lühismähisega rootori varraste isoleerimise küsimust, et vähendada asünkroonmootoris lisakadusid, mis tekivad läbi rootori hammaste kulgevate vooludega.

Autor on antud probleemile püüdnud läheneda teisest seisukohast ja püstitanud küsimuse, kas läbi hammaste kulgevaid voole on võimalik ära kasutada asünkroonmootori koormuskarakteristika ja ka teiste ekspluatatsiooniliste parameetrite muutmiseks. Eksperimentaaltöödeks valmistati samaaegselt kaks rootorit — üks tavaline ja teine topeltlühisrõngastega (joon. 1). Kuigi viimasel lisalühisrõngas vähendab tunduvalt hammaste takistust, ei erinenud nende masinate koormuskarakteristikad praktiliselt sugugi (joon. 2). Nähtavasti on läbi hammaste kulgevate voolude mõju antud konstruktsiooniga rootori puhul mootori koormuskarakteristikale tühine, kui rootori libisemine ei ületa 0,1.

Läbi hammaste kulgevad voolud mõjustavad rohkem mootori käivitusrežiimi iseloomustavaid suurusid (tab. 1).

Asetades lühisrõnga rootori paketi sisse (joon. 4b), võib asünkroonmootori karakteristikaid muuta väga laiades piirides.

Huvitava tulemuse andis ilma lühisrõngasteta rootoriga asünkroonmootori katsetamine (joon. 4a): sellise mootori momendikõver osutus paremaks massiivse ferromagnetilise rootoriga asünkroonmootori omast. See loob eeldused massiivsete ferromagnetiliste rootorite asendamiseks joonisel 4 kujutatuga neis täiturmootorites, mille pöörlemiskiirus ei ületa piiri, kus rootoris tekivad lubamatud mehhaanilised pinged.

Eesti NSV Teaduste Akadeemia
Energeetika Instituut

Saabus toimetusse
25. XI 1961

PROBLEM OF CURRENTS FORMED IN THE ROTOR TEETH
OF AN ASYNCHRON-MOTOR

R. Parts

Summary

About some two decades ago the problem was presented in electrotechnical literature of isolating the rotor bars of an asynchrone-motor so as to reduce additional losses in the asynchrone-motor, which are formed by currents passing through the rotor teeth.

The author has tried to approach the problem from another side, and namely by discussing whether it is not possible to utilize the currents passing through the rotor teeth so as to change the operation characteristics and other exploitational parameters of the asynchrone-motor. For experimental purposes two rotors were constructed — a usual one and another having double end rings (fig. 1). Though the resistance of the rotor teeth of the latter was considerably reduced by additional rings, the operation characteristics of those two motors did not practically differ from one another (fig. 2). Seemingly, in the case of a rotor with the given construction the effect of the currents passing through the rotor teeth on the operation characteristics is very inconsiderable if the slipping of the rotor does not exceed 0.1.

The currents passing through the rotor teeth affect to a greater extent the values characterizing the starting regime of the motor (table 1).

By placing an end ring into the rotor pack (fig. 4b), the characteristics of an asynchrone-motor may be changed within a very considerable range.

An interesting result was obtained in the experiment with the motor having a rotor without any end rings (fig. 4a): the moment curve of this motor proved to be better than that of an asynchrone-motor with a massive ferromagnetic rotor. This fact creates prospects for replacing massive ferromagnetic rotors in a servo-motor with those as shown in fig. 4, whose revolving velocity does not exceed the limits which may cause undesirable mechanical tensions.

Academy of Sciences of the Estonian S.S.R.,
Institute of Energetics

Received
Nov. 25 th, 1961