

## 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.

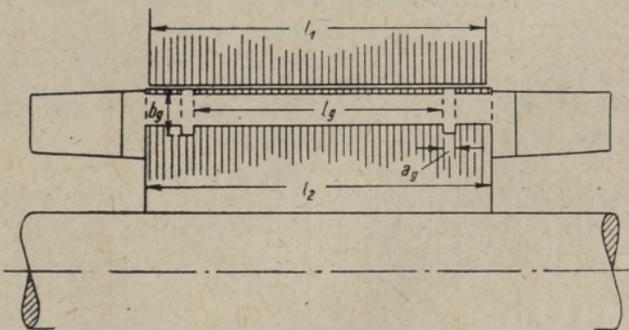


Рис. 1.

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-

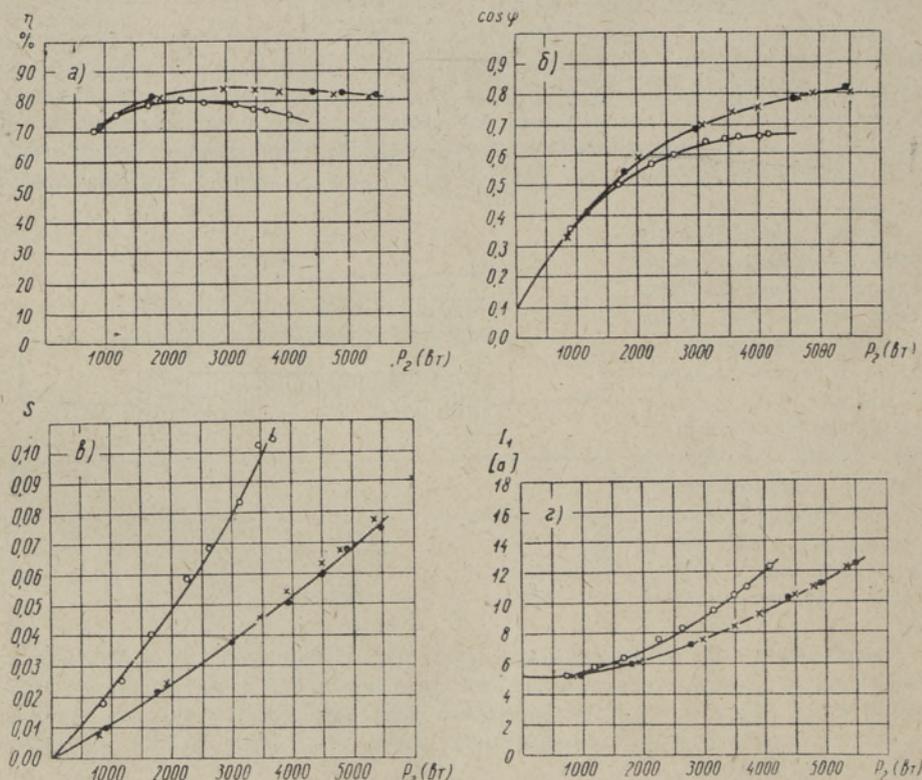


Рис. 2.

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

Таблица 2

Характеризуемая величина	Единица	Статор АО 52-6 № 348 890 Ротор типа АОТ 52-6 без короткозамыкающих колец
$M_n$	кГм	8,1 (0,79)
$M_n/M_n$	—	1,94
$I_n$	а	28,9 (0,56)
$I_n/I_n$	—	2,86
$\cos \varphi_n$	—	0,62
$M_n/I_n$	$\frac{\text{кГм}}{\text{а}}$	0,28

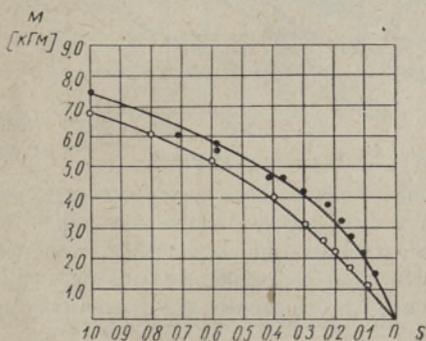
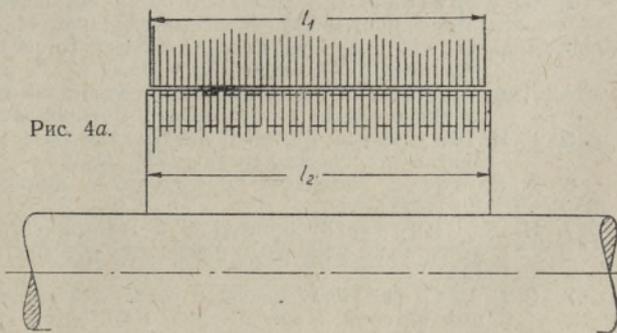


Рис. 3.

- ○ ○ 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 яру 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.



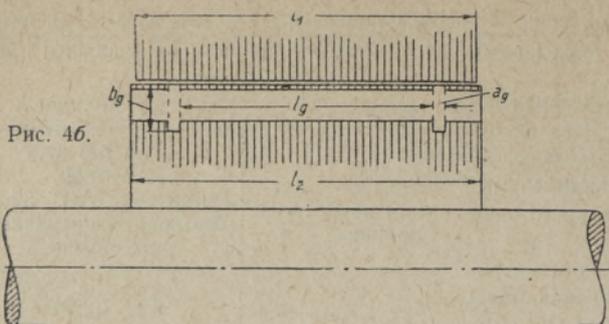
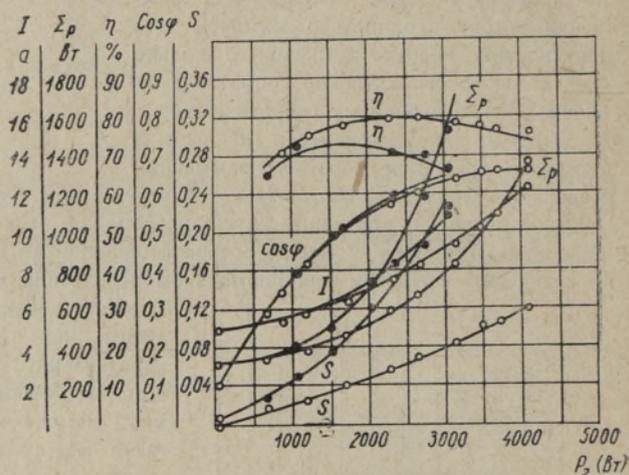


Рис. 46.

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. Schuisky, Die Zusatzverluste in der unisolierten Käfigwicklung. Bulletin de l'Association suisse des electriciens, 1953, 44, 7, 330.
3. A. M. Odoк, 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 lühismähise-  
ga 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 küsi-  
muse, kas läbi hammaste kulgevaid voole on võimalik ära kasutada asünkroonmootori  
koormuskarakteristika ja ka teiste ekspluatatsiooniliste parameetrite muutmiseks. Eksperi-  
mentaaltöödeks valmistati samaaegselt kaks rootorit — üks tavaline ja teine topeltlühis-  
rõngastega (joon. 1). Kuigi viimasel lisalühisrõngas vähendab tunduvalt hammaste takis-  
tust, ei erinenud nende masinate koormuskarakteristikad praktiliselt sugugi (joon. 2). Näh-  
tavasti 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 iseloo-  
mustavaid suurusi (tab. 1).

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

Huvitava tulemuse andis ilma lühisrõngasteta rootoriga asünkroonmootori katsetamine  
(joon. 4a): sellise mootori momendikõver osutus paremaks massiivse ferromagnetilise roo-  
toriga 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 discuss-  
ing 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 cha-  
racterizing the starting regime of the motor (table 1).

By placing an end ring into the rotor pack (fig. 4b), the characteristics of an asyn-  
chrone-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