

ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА РЕАКТИВНЫХ СОПРОТИВЛЕНИЙ  
РАССЕЯНИЯ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ  
С ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ВСТАВКОЙ НА РОТОРЕ

Э. А. КНИПЕНБЕРГ, Э. М. ГУСЕЛЬНИКОВ

(Представлена научным семинаром кафедр электрических машин  
и общей электротехники)

Асинхронные электродвигатели являются наиболее часто встречающимся звеном привода, поэтому на базе этих электродвигателей разрабатывается больше всего модификаций, предназначенных для различных целей. Одной из таких модификаций является двигатель со специальной вставкой.

Исследования, проведенные в СКБ завода «Сибэлектромотор», показали, что, используя поля рассеяния короткозамкнутых колец и часть основного потока асинхронных электродвигателей, можно получить значительные тяговые усилия для притяжения в процессе пуска специальной вставки, свободно перемещающейся в осевом направлении на валу, а также для удержания вставки в дальнейшем при работе в номинальном режиме.

Ротор электродвигателя со вставкой (рис. 1) состоит из двух частей: специальной В и основной А, разделенных между собой изолирующей прокладкой 1 и соединенных общей беличьей клеткой. На валу

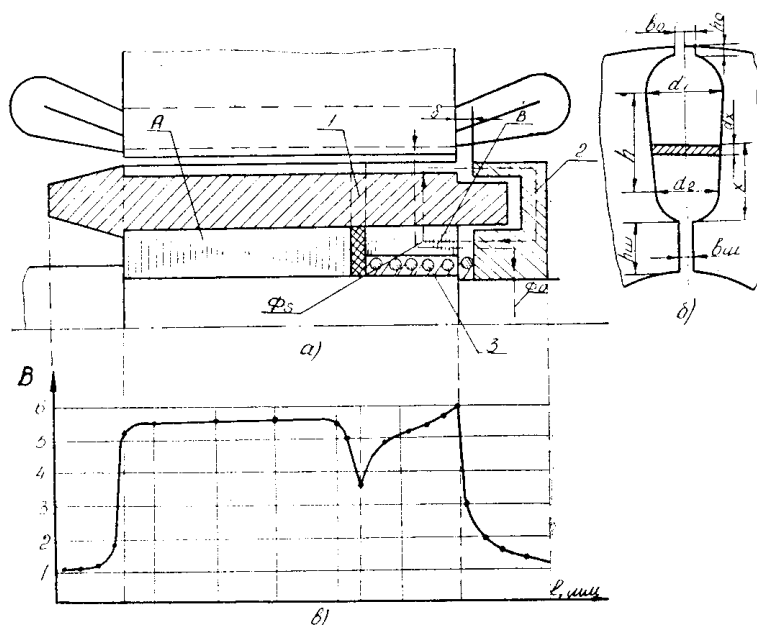


Рис. 1. Асинхронный электродвигатель с электромагнитной вставкой: а) продольный разрез ротора и статора, б) паз специальной части ротора, в) распределение магнитного потока по длине ротора

насажена специальная вставка 2 из магнитопроводящего материала. Вставка может перемещаться в аксиальном направлении.

Основная часть ротора набирается из обычных листов, а листы специальной части имеют конфигурацию, показанную на рис. 1 б. Изолирующая прокладка имеет ту же конфигурацию, что и листы основной части ротора. После заливки пакета ротора алюминием специальная часть ротора протачивается таким образом, чтобы шлицы  $b_{ш}$  оказались вскрытыми и зубцы разделенными друг от друга.

При подаче питания на электродвигатель вставка 2 под действием полей рассеяния короткозамкнутого кольца  $\Phi_s$  и частично основного потока  $\Phi_0$ , проходящего через специальную часть ротора и вставку, преодолевает усилие пружины 3, притягивается к торцу ротора и удерживается в притянтом положении действием приходящегося на специальную часть ротора основного магнитного потока двигателя  $\Phi_0$ , который из-за наличия шлицов  $b_{ш}$  и изолирующей прокладки 1 вынужден замыкаться по вставке 2, как по ярму ротора. Действие полей рассеяния короткозамкнутого кольца ротора при небольших скольжениях невелико, так как токи в короткозамкнутом кольце малы.

Электромагнитные усилия удерживают вставку в притянтом положении до тех пор, пока на двигатель подается напряжение. После отключения напряжения исчезает магнитный поток и электромагнитные силы, удерживающие вставку в притянтом положении, вставка под действием пружины отходит от пакета ротора. Если связать вставку и какой-либо исполнительный механизм, то указанный эффект можно использовать для затормаживания и растормаживания электродвигателей, а также для других различного рода действий, например, переключения в цепях автоматики и управления, открывания клапанов и др.

Введение в ротор магнитопроводящей втулки 2, изолирующей прокладки 1 и специальных листов со шлицами  $b_{ш}$  приводит к значительному изменению индуктивного сопротивления рассеяния лобовых частей статора и ротора, а также пазового рассеяния специальной части ротора.

#### а) Проводимость потоков рассеяния между стенками паза

На рис. 2 приведена схема для расчета пазовой проводимости потоков рассеяния специальной части ротора; схема выполнена с учетом описанных выше особенностей движения магнитного потока рассеяния.

На рис. 2 введены следующие обозначения:

$\lambda_1, \lambda_1'$  — проводимость паза и проводимость воздушного зазора между листами ротора, а также между торцом ротора и вставкой, приходящиеся на участок паза с высотой  $h_0$ ;

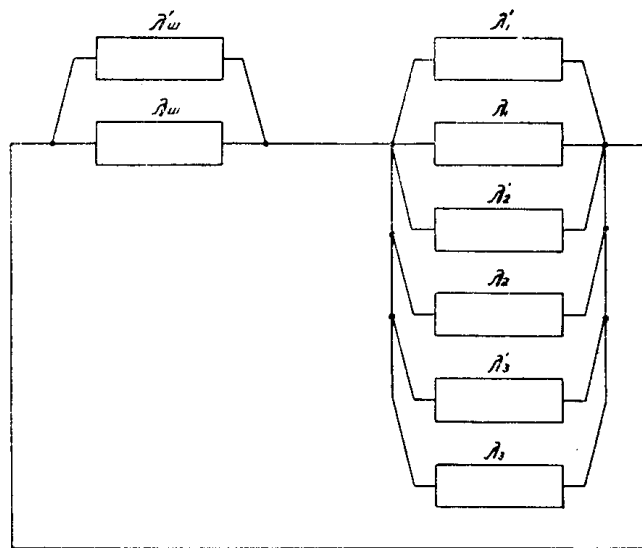
$\lambda_2, \lambda_2'$  — проводимость паза и проводимость воздушного зазора между листами ротора, а также между торцом ротора и вставкой, приходящиеся на участок паза с высотой  $h$ ;

$\lambda_3, \lambda_3'$  — проводимость паза и проводимость воздушного зазора между листами ротора, а также между торцом ротора и вставкой, приходящиеся на круглую часть паза;

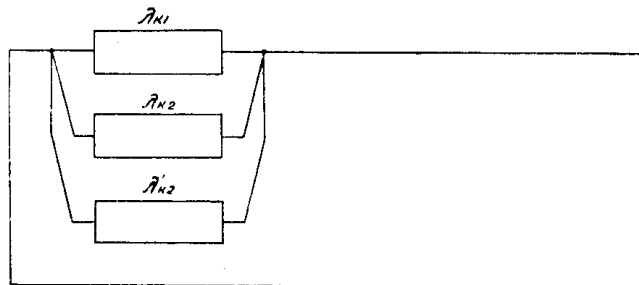
$\lambda_{ш}, \lambda_{ш}'$  — проводимость паза и проводимость воздушного зазора между листами ротора, а также между торцом ротора и вставкой, приходящиеся на участок паза с высотой  $h_{ш}$ .

Согласно приведенной схеме, суммарная проводимость потоков рассеяния между стенками паза специальной части ротора равна

$$\lambda_{п} = \frac{\left( \sum_{i=1}^{i=3} \lambda_i \times \sum_{i=1}^{i=3} \lambda_i' \right) \times (\lambda_{ш} + \lambda_{ш}')}{\left( \sum_{i=1}^{i=3} \lambda_i + \sum_{i=1}^{i=3} \lambda_i' \right) + (\lambda_{ш} + \lambda_{ш}')} \quad (1)$$



a)



б)

Рис. 2. Схема проводимостей потоков рассеяния а) между стенками паза специальной части ротора, б) вокруг короткозамкнутых колец ротора со стороны электромагнитной вставки

При этом проводимость потока рассеяния ротора по пути от паза к вставке определится как отношение полной высоты соответствующего участка паза к суммарной величине воздушного зазора  $\delta_1$  на пути потока к вставке и обратно с учетом различного положения участков по высоте паза

$$\lambda_1' = \frac{h_0}{\Sigma \delta_1}, \quad (2)$$

где

$$\Sigma \delta_1 = 2 \left[ \delta_1 + \frac{l_c}{2} (1 - \kappa_c) \right]$$

$\delta_1$  — величина воздушного зазора между торцом ротора и вставкой на высоте  $h_0$ ;

$\kappa_c$  — коэффициент заполнения сталью пакета ротора;

$l_c$  — длина специальной части ротора.

$$\lambda_2' + \lambda_3' = \frac{h + \frac{d_1 + d_2}{2}}{3 \Sigma \delta_{2,3}}, \quad (3)$$

где

$$\sum \delta_{2,3} = 2 \left[ \delta_{2,3} + \frac{l_c}{2} (1 - \kappa_c) \right]$$

$\delta_{2,3}$  — величина воздушного зазора между торцом ротора и вставкой на высоте  $h + \frac{d_1 + d_2}{2}$ .

$$\lambda_{ш}' = \frac{h_{ш}}{\sum \delta_{ш}}, \quad (4)$$

где

$$\sum \delta_{ш} = 2 \left[ \delta_{ш} + \frac{l_c}{2} (1 - \kappa_c) \right],$$

$\delta_{ш}$  — величина воздушного зазора между торцом ротора и вставкой на высоте  $h_{ш}$ .

Так как величина воздушного зазора  $\delta_{2,3}$  очень велика (не менее высоты короткозамыкающего кольца  $L$  — рис. 3), то проводимостями  $\lambda_2' + \lambda_3'$  можно пренебречь.

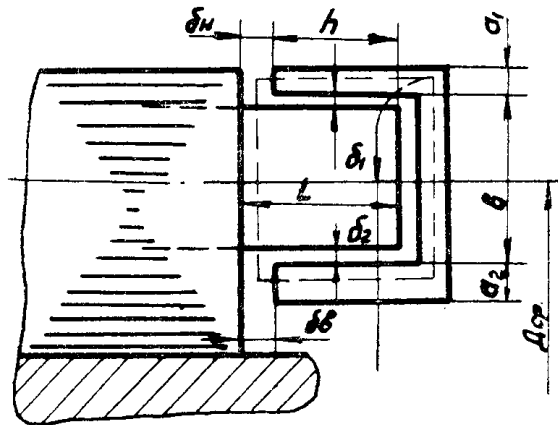


Рис. 3. Короткозамкнутое кольцо ротора с электромагнитной вставкой

Если учесть, что ширина  $b_{ш}$  обычно в 3—4 раза меньше средней ширины паза и высота шлица  $h_{ш}$  в 10÷15 раз больше высоты  $h_0$ , то при выводе формулы для проводимостей  $\sum_{i=1}^{i=3} \lambda_i$  можно сделать допущение, что на всех участках паза поток рассеяния замыкается через шлиц  $b_{ш}$  и частично через участок вставки, соответствующий высоте шлица. Это позволяет вести расчет проводимостей  $\sum_{i=1}^{i=3} \lambda_i$  с достаточной для практических целей точностью, как для обычного паза.

Проводимость шлица рассчитывается

$$\lambda_{ш} = \frac{h_{ш}}{b_{ш}}, \quad (5)$$

**б) Проводимость потока рассеяния вокруг короткозамкнутых колец ротора со стороны электромагнитной вставки**

Из-за наличия вставки короткозамкнутое кольцо ротора со стороны специальной части оказывается окруженным ферромагнитными по-

верхностями (рис. 3б), что приводит к значительному увеличению реактивного сопротивления этого кольца. Поэтому при выводе формулы для подсчета проводимости рассеяния вокруг лобовой части ротора со стороны электромагнитной вставки короткозамкнутое кольцо рассматривается как проводник с током, расположенный в открытом пазу. Этот паз полностью открыт на участках, расположенных против пазов ротора; на тех участках, которые соответствуют зубцам дополнительной части ротора, кроме потока рассеяния между стенками электромагнитной вставки появляется еще поток рассеяния, замыкающийся через зазоры  $\delta_n$  и  $\delta_b$  и зубцы ротора, играющие в данном случае роль ярма.

В соответствии с указанными особенностями распределения потоков рассеяния на рис. 2,б приведена схема замещения проводимостей потоков рассеяния вокруг короткозамкнутого кольца ротора со стороны электромагнитной вставки. На рис. 2,б введены следующие обозначения:

$\lambda_{k_1}$  — проводимость короткозамкнутого кольца на участках, соответствующих пазам ротора;

$\lambda_{k_2}$  — проводимость между стенками вставки на участках, соответствующих зубцам ротора;

проводимость потока рассеяния, замыкающегося через зазо-

$\lambda_{k_2}'$  — ры  $\delta_n$  и  $\delta_b$  и зубцы ротора.

Указанные проводимости с учетом рис. 3 определяются следующим образом:

$$\lambda_{k_1} = \lambda_{k_2} = \frac{h}{3b}, \quad (6)$$

$$\lambda_{k_2}' = \frac{\frac{a_1}{\delta_n} \times \frac{a_2}{\delta_b}}{\frac{a_1}{\delta_n} + \frac{a_2}{\delta_b}}. \quad (7)$$

Средняя длина участков короткозамкнутого кольца, расположенных против пазов ротора  $l_1$ , и участков кольца, расположенных против зубцов ротора  $l_2$ , равна соответственно:

$$l_1 = D_{cp} \frac{b_{ncp}}{b_{zcp} + b_{ncp}}, \quad (8)$$

$$l_2 = D_{cp} \frac{b_{zcp}}{b_{zcp} + b_{ncp}}, \quad (9)$$

где

$b_{ncp}$  и  $b_{zcp}$  — средняя ширина пазов и зубцов специальной части ротора.

Полная эквивалентная проводимость рассеяния короткозамкнутого кольца ротора со стороны вставки на единицу длины ротора в соответствии со схемой рис. 2,б с учетом выражений (6, 7, 8, 9) равна

$$\lambda_s = \lambda_{k_1} + \lambda_{k_2} + \lambda_{k_2}' = \frac{\pi \times D_{cp}}{l_s} \left[ \frac{h}{3b} + \left( \frac{\frac{a_1}{\delta_n} \times \frac{a_2}{\delta_b}}{\frac{a_1}{\delta_n} + \frac{a_2}{\delta_b}} \right) \frac{b_{zcp}}{b_{zcp} + b_{ncp}} \right]. \quad (10)$$

При равенстве зазоров  $\delta_n = \delta_b$  выражение (10) записывается

$$\lambda_s = \frac{\pi D_{cp}}{l_s} \left[ \frac{h}{3b} + \frac{a_1 \times a_2 \times b_{zcp}}{\delta_n \times (a_1 + a_2) \times (b_{zcp} + b_{ncp})} \right]. \quad (11)$$

### в) Проводимость рассеяния лобовых частей обмотки статора со стороны электромагнитной вставки

Проведенные исследования на электродвигателях мощностью

0,2÷7,5 квт показали, что из-за приближения вставки к лобовым частям обмотки статора поток рассеяния в лобовых частях увеличивается на 20÷25% (рис. 1, в), поэтому при определении величины проводимости рассеяния лобовых частей обмотки статора со стороны электромагнитной вставки в общепринятые формулы необходимо вводить поправочный коэффициент  $k=1,2\div 1,25$ . Большие значения коэффициента относятся к обмоткам с числом пар полюсов  $2p \geq 4$ .