

АВИАЦИОННЫЕ И СПЕЦИАЛЬНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ

Лекция 16

- 16.1 Реакция якоря в генераторах постоянного тока и способы её устранения.**
- 16.2 Коммутация в машинах постоянного тока.**

16.1 Реакция якоря в генераторах постоянного тока и способы её устранения.

При работе генератора в режиме холостого хода в магнитной системе генератора имеется только одно магнитное поле – поле индуктора от тока в ОВ (рис. 16.1). В параллельных ветвях ОЯ возникают лишь ЭДС, которые уравновешивают друг друга.

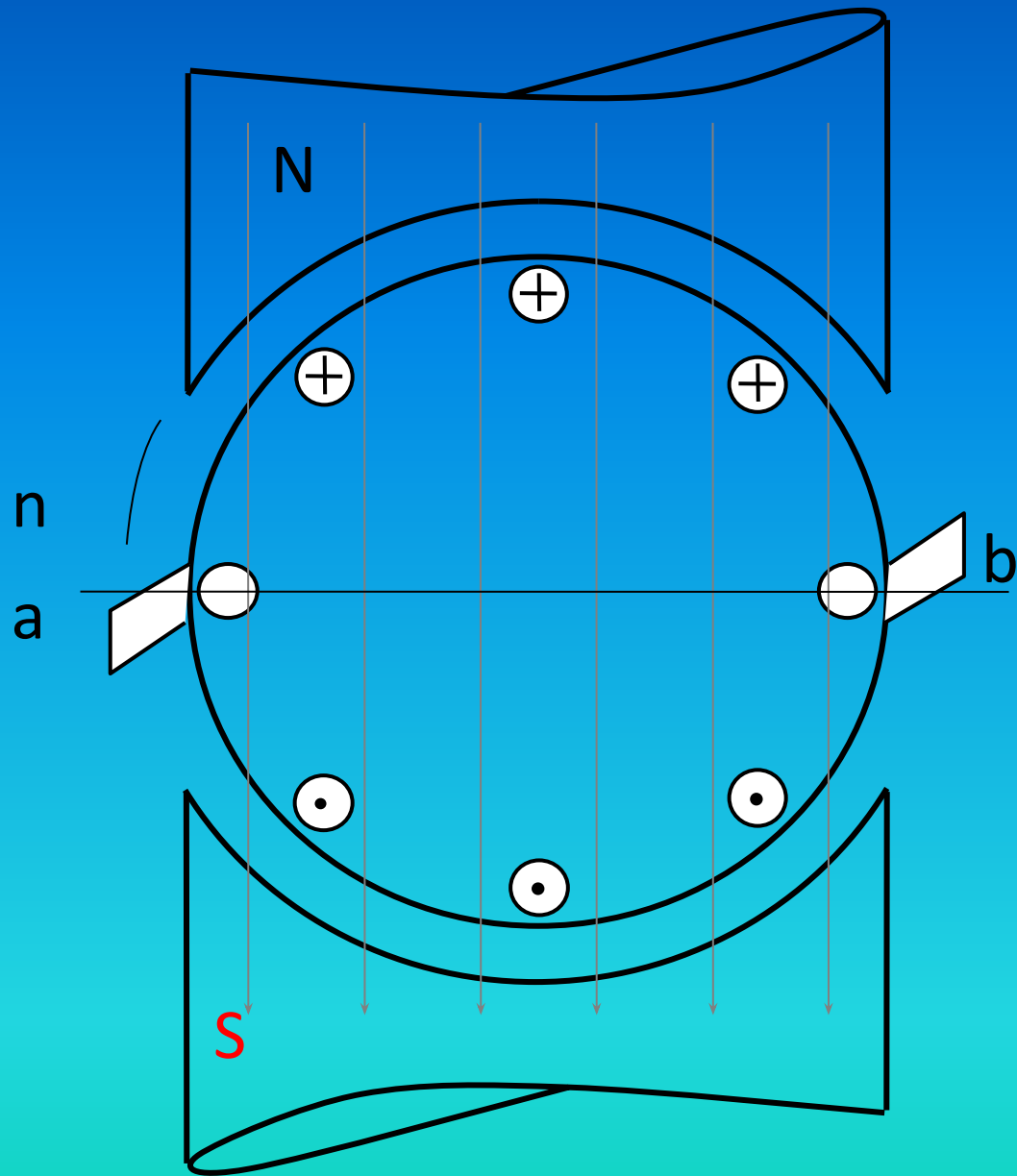


Рис. 16.1. Магнитное поле генератора постоянного тока в режиме холостого хода

Щетки расположены на нейтральной линии ab , поэтому искрения на коллекторе нет, так как в секциях, коммутируемых щетками, ЭДС равны нулю.

Если к генератору подключить нагрузку, то электрическую схему можно будет представить так, как изображено на рис. 16.2, а магнитное поле генератора постоянного тока в режиме нагрузки – как на рис. 16.3.

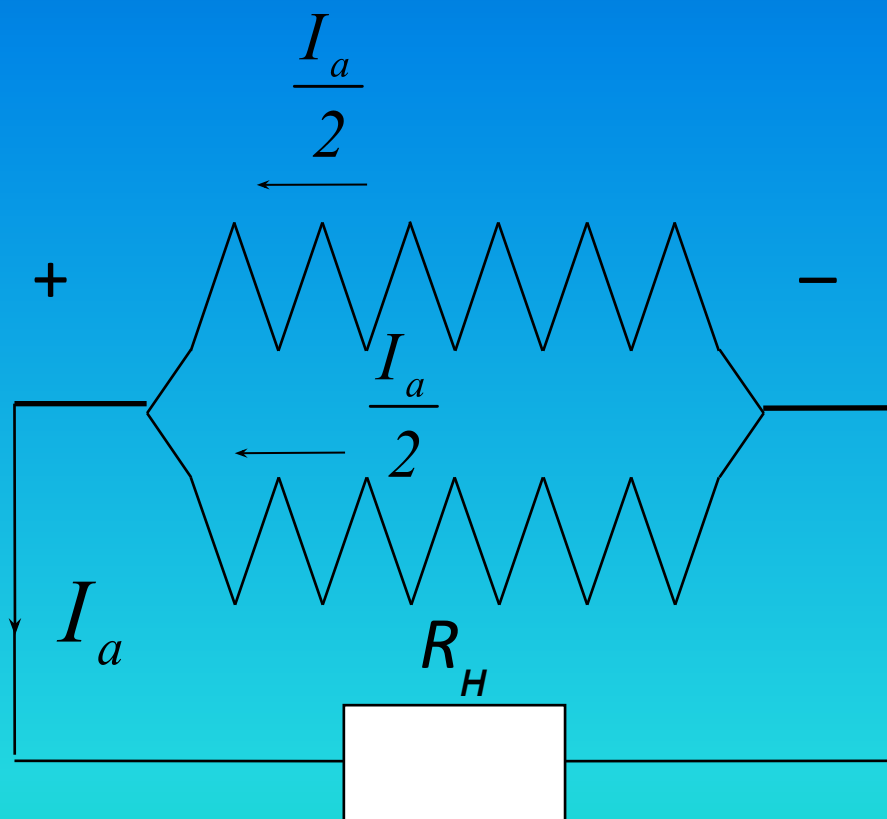
I_a 

Рис. 16.2. Электрическая схема генератора постоянного тока в режиме нагрузки

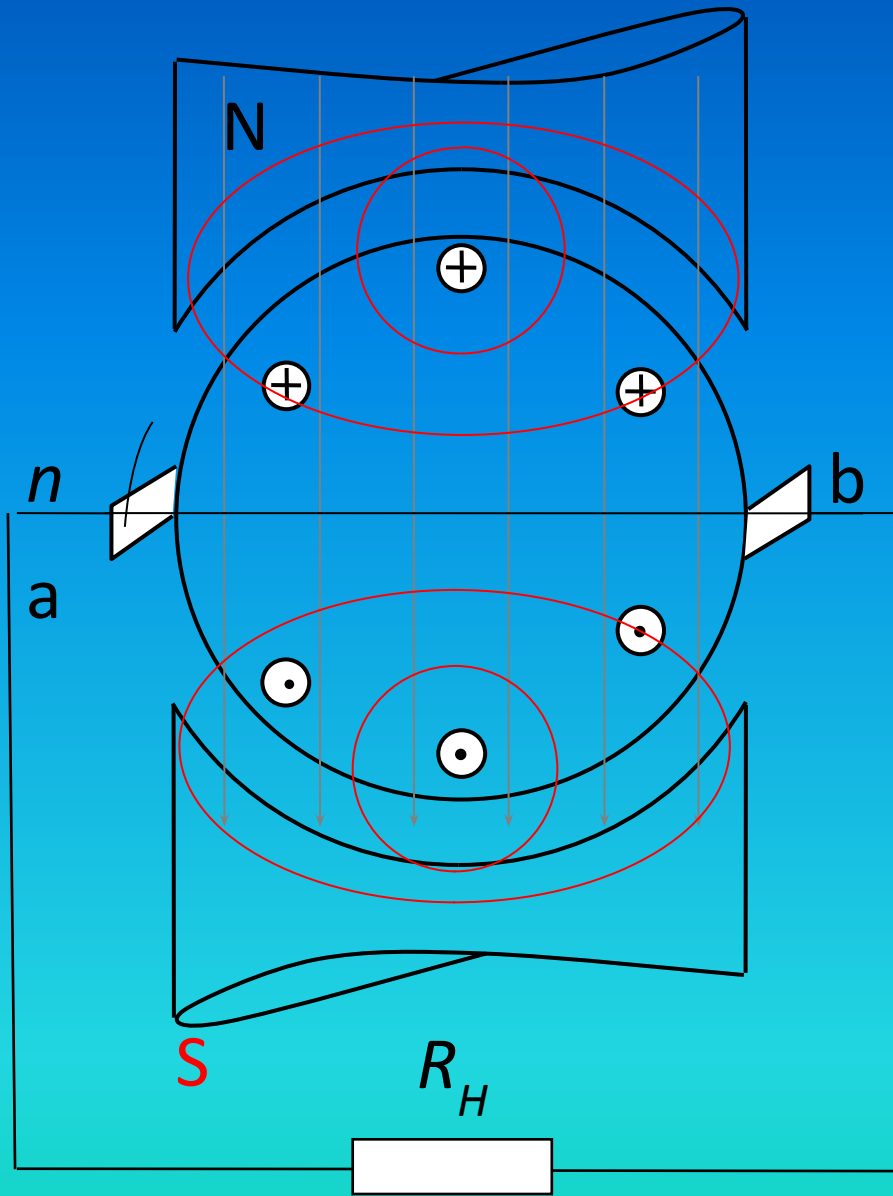


Рис. 16.3. Магнитное поле генератора постоянного тока в режиме нагрузки

Ось магнитного поля якоря перпендикулярна к оси магнитного поля индуктора.

У набегающего края каждого полюса магнитные силовые линии поля якоря имеют направление, противоположное направлению магнитных силовых линий индуктора – ослабляют его – а у сбегающего края – одинаковое направление – усиливают поле индуктора.

Результирующее поле можно рассматривать, как исходное, искаженное в результате воздействия на него поля якоря.

Воздействие поля якоря на магнитное поле индуктора называется реакцией якоря в генераторе постоянного тока.

С увеличением I_a искажение поля увеличивается, магнитные силовые линии результирующего поля еще больше отклоняются от направления, перпендикулярного к нейтральной оси ab (угол α увеличивается) (рис. 16.4). Поэтому искрение под щетками увеличивается

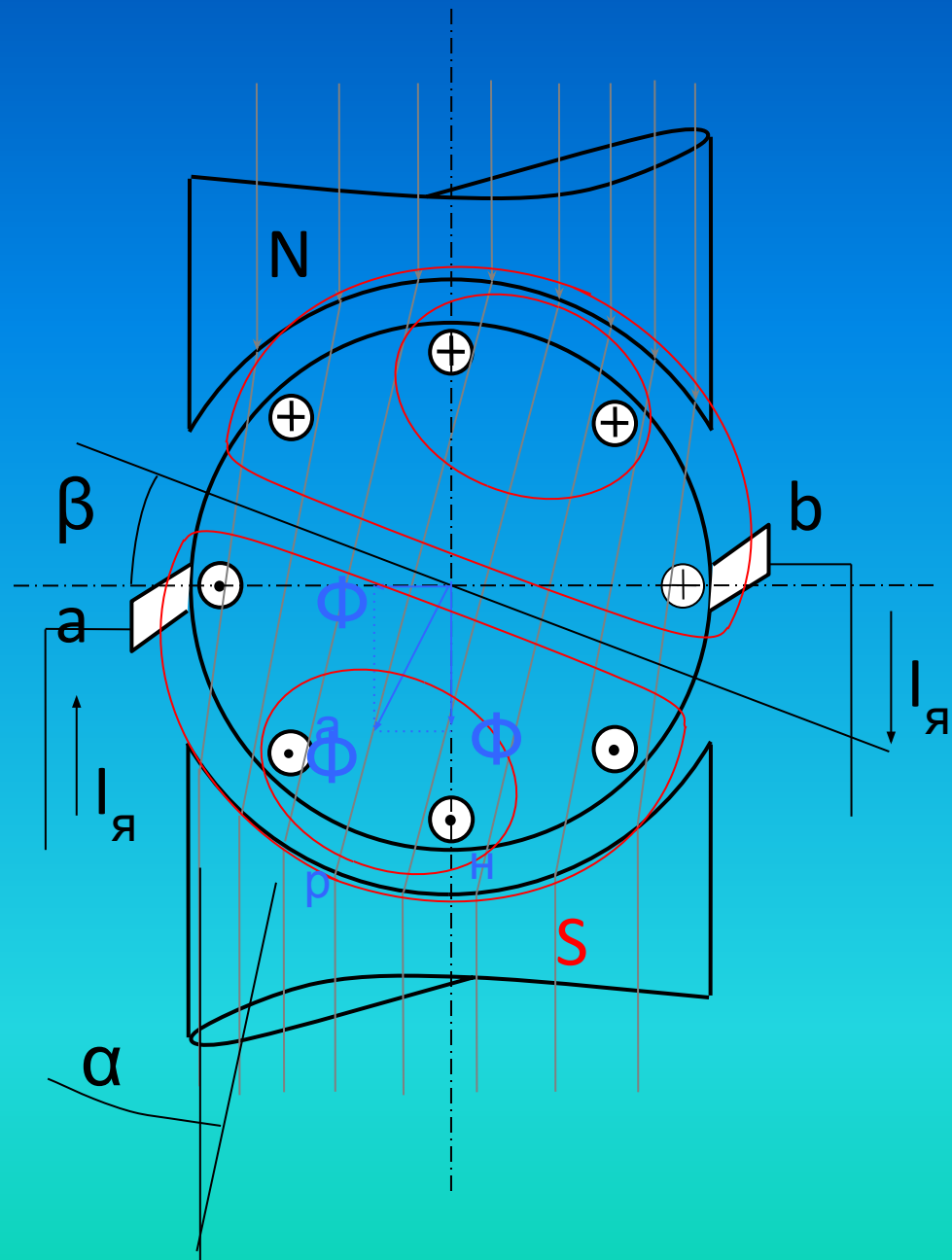


Рис. 16.5. Искажение основного магнитного поля машины постоянного тока магнитным полем реакции якоря

Если щетки переместить с геометрической нейтрали ab (ГН) на физическую нейтраль (ФН) $a'b'$, то искрение прекратится, так как щетки будут замыкать секции обмотки якоря в тот момент, когда эти секции не пересекают магнитные силовые линии.

Но этот способ борьбы с искрением не универсален, так как с изменением нагрузки положение щеток надо все время изменять.

Кроме этого: со сдвигом щеток на новую нейтраль появляется размагничивающая составляющая у поля якоря, которая ослабляет поле индуктора, следовательно уменьшает ЭДС.

Для устранения искрения щеток при любой нагрузке служат добавочные полюсы, расположенные на нейтрали (ab) (рис. 16.6).

Своим противоположным полем они размагничивают магнитное поле якоря и устраняют причину искажения магнитного поля индуктора.

Чтобы размагничивание происходило автоматически в соответствии с нагрузкой генератора, обмотка добавочных полюсов включается последовательно с внешней цепью.

Добавочные полюсы не устраняют создаваемое реакцией якоря неравномерное распределение индукции под главными полюсами и уменьшение полезного тока.

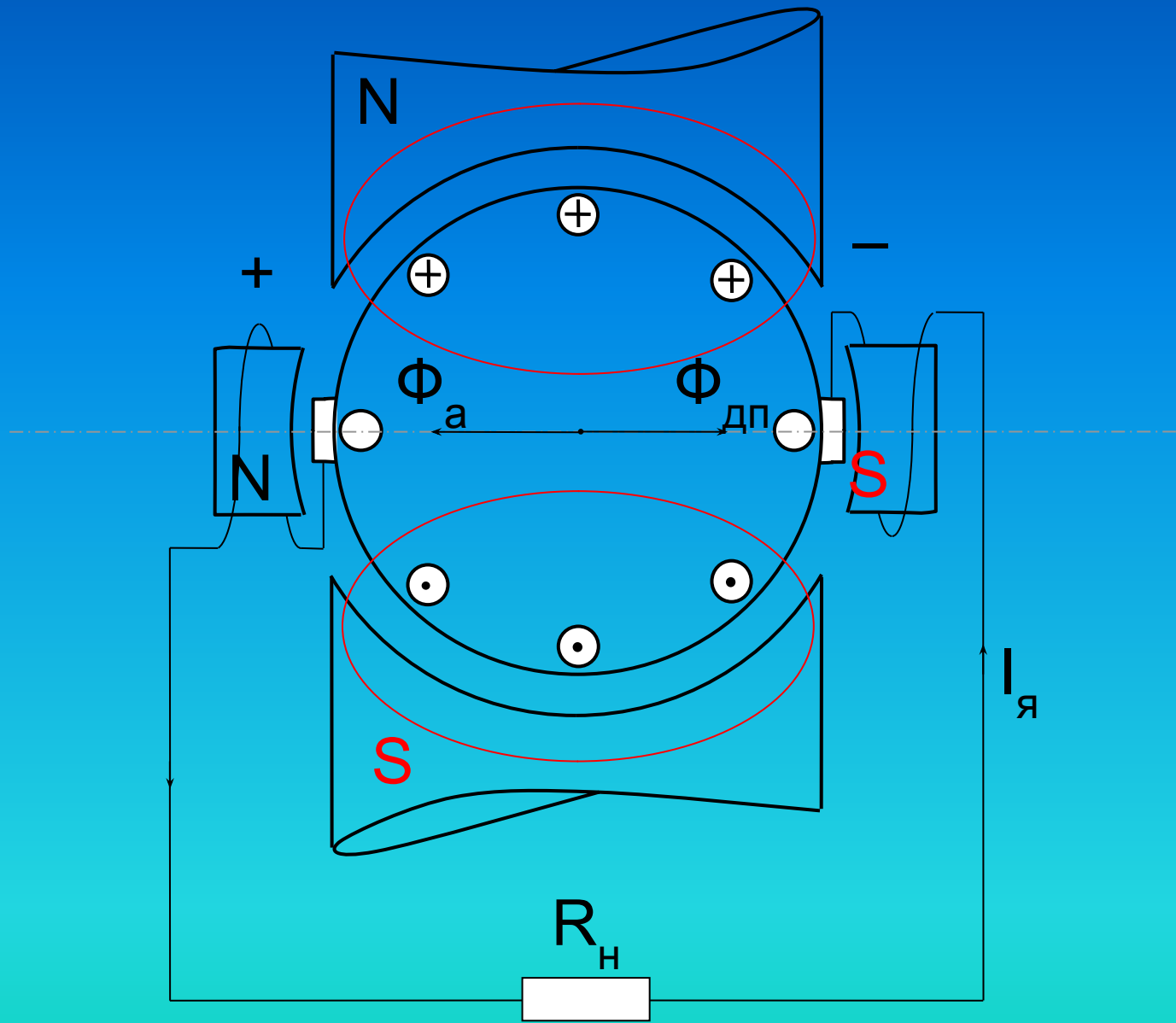


Рис. 16.6. Устранение влияния магнитного поля реакции якоря с помощью добавочных полюсов

В крупных электрических машинах, а также в электрических машинах, работающих в тяжелых условиях, сильное местное повышение индукции под главными полюсами может вызвать перекрытие изоляционного промежутка между пластинами коллектора, а затем и круговой огонь.

Необходимо полностью компенсировать реакцию якоря. Для этого делаются специальные компенсационные обмотки, которые размещаются в пазах, сделанных в несколько расширенных полюсных наконечниках главных полюсов (рис. 16.7).

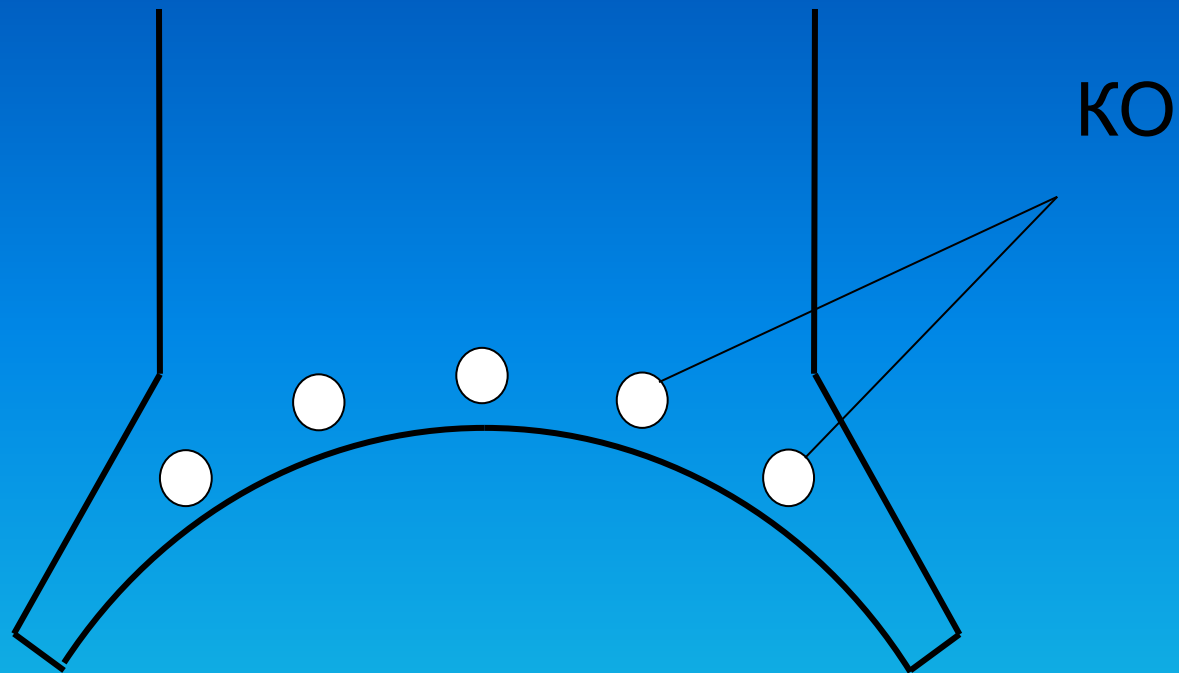


Рис. 16.7. Компенсационная обмотка

Компенсационные обмотки соединяются последовательно с якорем, таким образом, что каждый из её стержней как бы образует с находящимися под ним стержнем обмотки якоря бифилярную систему, магнитное поле у которой почти отсутствует. Однако компенсационные обмотки – дорогие, увеличиваются и потери в них.

16.2. Коммутация в машинах постоянного тока

Коммутация, то есть процесс переключения секций, является одним из важнейших факторов, определяющего работу МПТ.

При плохой коммутации появляется искрение на коллекторе, которое может привести к выходу машины из строя.

Шкала степеней искрения (классы коммутации)

Степень искрения	Характеристика степени искрения	Состояние коллектора и щеток
1	Отсутствие искрения (темная коммутация)	Нет почернения на коллекторе и нагара на щетках
$1\frac{1}{4}$	Слабое точечное искрение под небольшой частью щетки	
$1\frac{1}{2}$	Слабое искрение под большей частью щетки	Следы почернения на коллекторе, легко устранимые протиранием поверхности коллектора бензином, а также следы нагара на щетках
2	Искрение под всем краем щетки	Следы почернения на коллекторе, не устранимые протиранием поверхности коллектора бензином, а также следы нагара на щетках
3	Значительно искрение под всем краем щетки с наличием крупных и вылетающих искр	Значительное почернение на коллекторе, не устранимые протиранием поверхности коллектора бензином, а также подгар и разрушение щеток

16.2.1 Сущность коммутационного процесса

Ранее при рассмотрении вопросов обмоток было отмечено, что по обе стороны щетки, то есть в каждой ветви обмотки, проходит ток $i_{я'}$, и токи этих ветвей имеют разные направления.

В момент, когда щетки находятся только над пластиной 1, ток i_b секции abc идет от c к a и равен $+i_{я'}$. (рис 16.8,а).

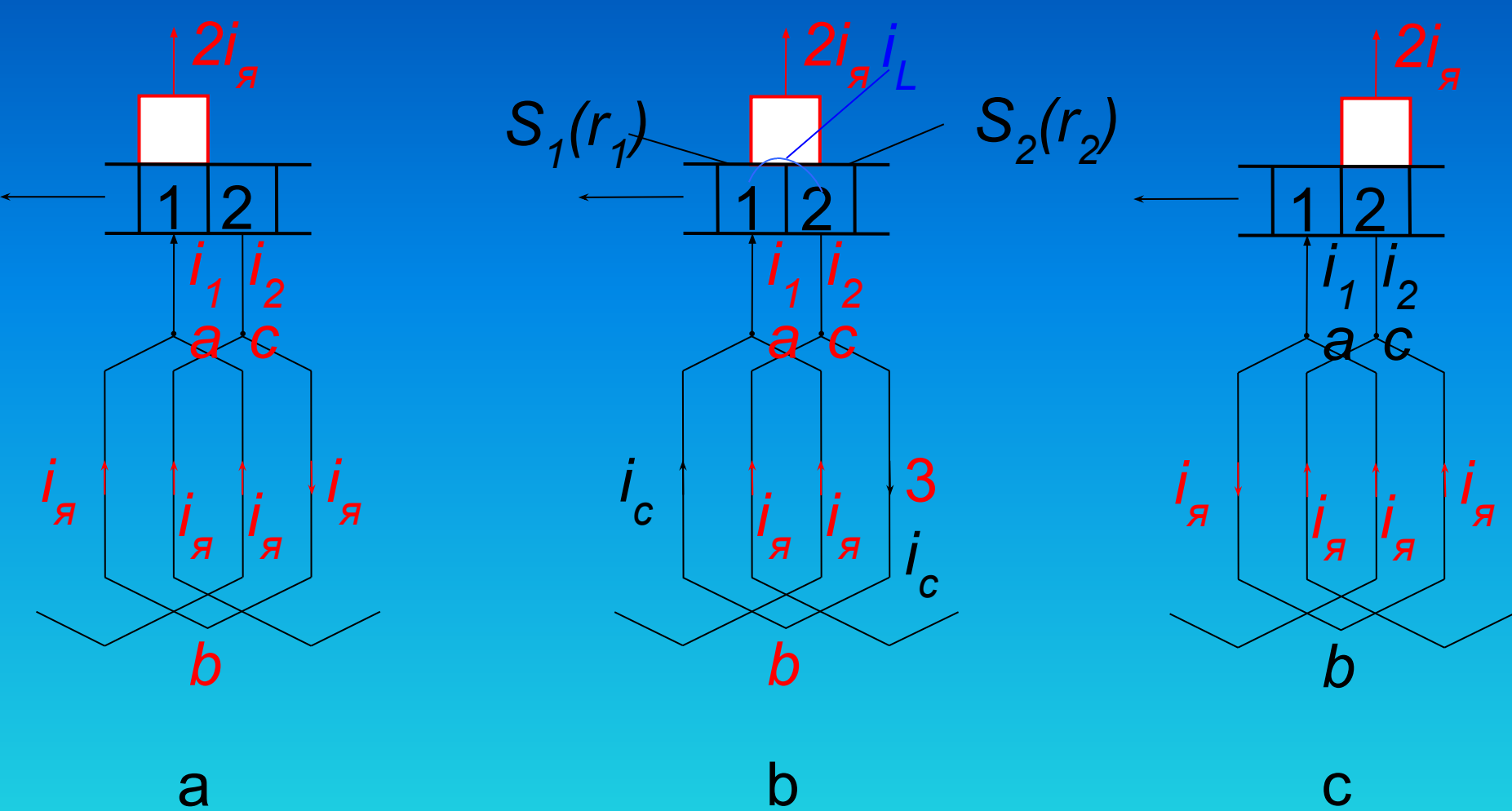


Рис. 16.8. Сущность процесса коммутации

Далее ток секции b и a складывается с током второй ветви ($i_1 = 2i_{я}$) и через пластину 1, а затем щетку будет идти во внешнюю цепь в этот момент $i_2 = 0$.

Спустя время T щетка будет только на пластине 2 (рис 16.8,с). В этот момент $i_1 = 0$, $i_2 = 2i_{я}$ и по секции abc проходит ток от a к c , то есть $i_c = -i_{я}$.

Таким образом, за время T , называемое периодом коммутации, коммутирующая цепь abc переходит из одной ветви обмотки в другую, и ток изменяется от $+i_{я}$ до $-i_{я}$, то есть на величину $2i_{я}$.

В процессе коммутации в секции обмотки будет наводиться ЭДС самоиндукции

$$e_L = -L \frac{d_{ic}}{dt} \quad (16.1)$$

и ЭДС взаимоиנדукции e_m .

Результирующая ЭДС – реактивная, она будет

$$e_p = e_L + e_m \quad (16.2)$$

В авиационных электрических машинах $e_m \approx 0$,

поэтому $e_L \approx e_p$.

Кроме этого может наводиться и ЭДС внешнего поля e_k (если щетка сдвинута с линии физической нейтрали).

Обозначим сопротивления переходных контактов сбегающего и набегающего краем щетки r_1 и r_2 . Тогда к замкнутому контуру (рис. 16.8, *b*) применим второй закон Кирхгофа

$$\sum e = i_1 r_1 - i_2 r_2 \quad (16.3)$$

Очевидно, что

$$i_1 = i_{\text{я}} + i_c \quad (16.4)$$

$$i_2 = i_{\text{я}} - i_c$$

получим:

$$i_c = i_{\text{я}} \frac{r_2 - r_1}{r_2 + r_1} + \frac{\sum e}{r_1 + r_2} \quad (16.5)$$

Будем считать, что r_1 и r_2 не зависят от плотности

тока, поэтому

$$\frac{r_1}{r_2} = \frac{S_2}{S_1} \quad (16.6)$$

Площадь S_2 пропорциональна времени t , протекающему от начального момента коммутации до рассматриваемого момента времени, а площадь S_1 – времени $T-t$, оставшемуся до конца коммутации.

Поэтому:

$$\frac{r_1}{r_2} = \frac{t}{T-t} \quad (16.7)$$

16.2.2 Виды коммутации. Распределение плотности тока в контакте щетки

Прямолинейная коммутация

Если $\sum_{\alpha \in \Omega} \sigma_{\alpha} = 0$ из (16.5) следует:

$$i_c = i_y \frac{r_2 - r_1}{r_1 + r_2} \quad (16.8)$$

и учитывая (16.7) получим

$$i_c = i_y \left(1 - \frac{2t}{T} \right) \quad (16.9)$$

То есть ток в коммутирующей секции изменяется прямолинейно (прямая 1, рис. 16.9). Эта коммутация – прямолинейная.

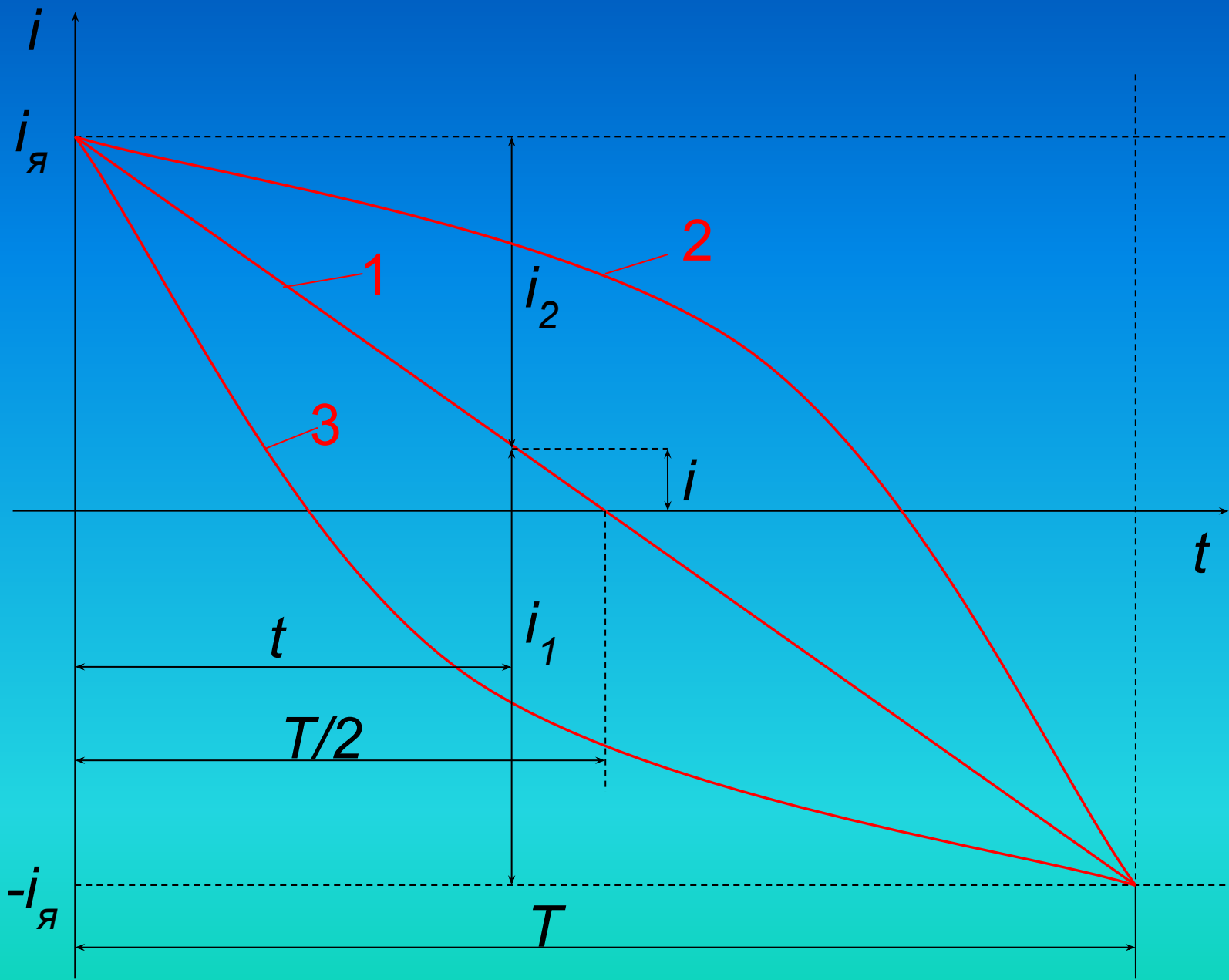


Рис. 16.9. Графики протекания коммутации в машине постоянного тока

При этой коммутации плотность тока по всей

площади щетки одинакова

$$j_1 = \frac{i_1}{S_1} = j_2 = \frac{i_2}{S_2} \quad (16.10)$$

Эта коммутация не вызывает искрения под

щеткой.

Криволинейная коммутация

В общем случае в коммутирующей секции наводится ЭДС e_L и e_k . Под действием этих ЭДС в цепи секции, замкнутой щеткой накоротко, проходит добавочный ток коммутации, который налагается на ток прямолинейной коммутации и делает ее криволинейной.

Если e_k ~~или~~ e_k , то e_k добавочный ток направлен согласно с уменьшающимся током i_1 и против возрастающего тока i_2 , так как ЭДС e_L препятствует происходящим в цепи изменениям.

Вследствие этого ток i_c в коммутирующей секции изменяется замедленно (кривая 2), и такая коммутация называется замедленной.

При замедленной коммутации плотность тока на сбегающем крае щетки возрастает, и может быть искрение при разрыве цепи в момент, когда щетка сбегает с коллекторной пластины.

Если $e_k > e_L$ процесс изменения тока в коммутирующей секции ускоряется, и коммутация называется ускоренной (кривая 3).

При ускоренной коммутации возрастает плотность тока под набегающим краем щетки, и может возникнуть искрение в момент, когда щетка набегаёт на коллекторную пластину.

16.2.3 Круговой огонь по коллектору

При значительных перегрузках или внезапном КЗ коммутация приобретает резко замедленный характер. В этом случае между сбегающей коллекторной пластиной и сбегающим краем щетки возникает электрическая дуга. Так как коллектор вращается, то дуга механически растягивается (рис. 16.10).

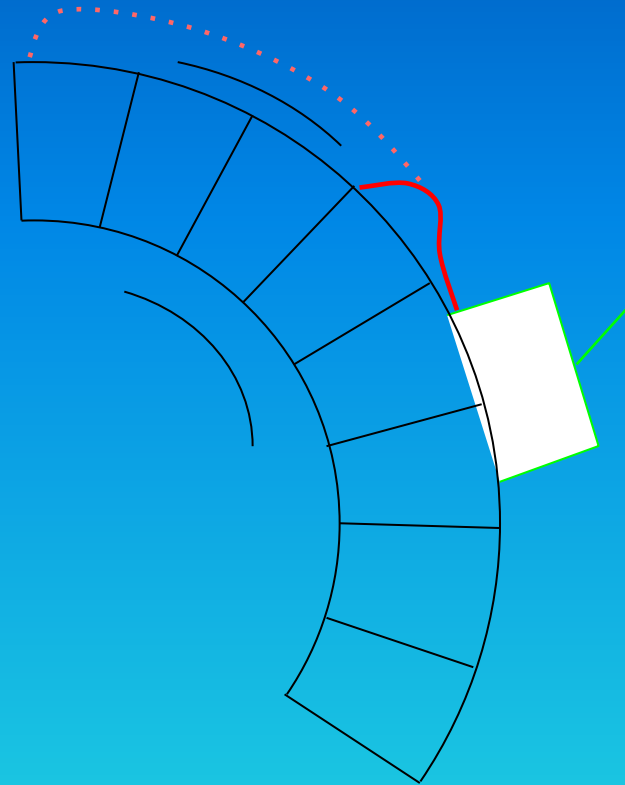


Рис. 16.10. Возникновение электрической дуги на коллекторе

Наряду с этим перегрузка машины сопровождается усилением реакции якоря, под действием которой распределение индукции в воздушном зазоре машины становится неравномерным.

В результате напряжение между соседними коллекторными пластинами увеличивается, превышая допустимые пределы. Это может привести к возникновению электрической дуги между смежными пластинами, а появление высокого потенциала на некоторых пластинах вызывает резкое повышение напряжения между щеткой и коллекторными пластинами по мере их удаления от сбегающего края щетки.

Электрические дуги сливаются «потенциальными» дугами, образуя вокруг коллектора мощную электрическую дугу, которая может перекинуться и на корпус машины. Это явление называется *круговым огнем по коллектору*.

Для защиты от него между коллектором и обмоткой на якоре устанавливают защитный экран (рис. 16.11).

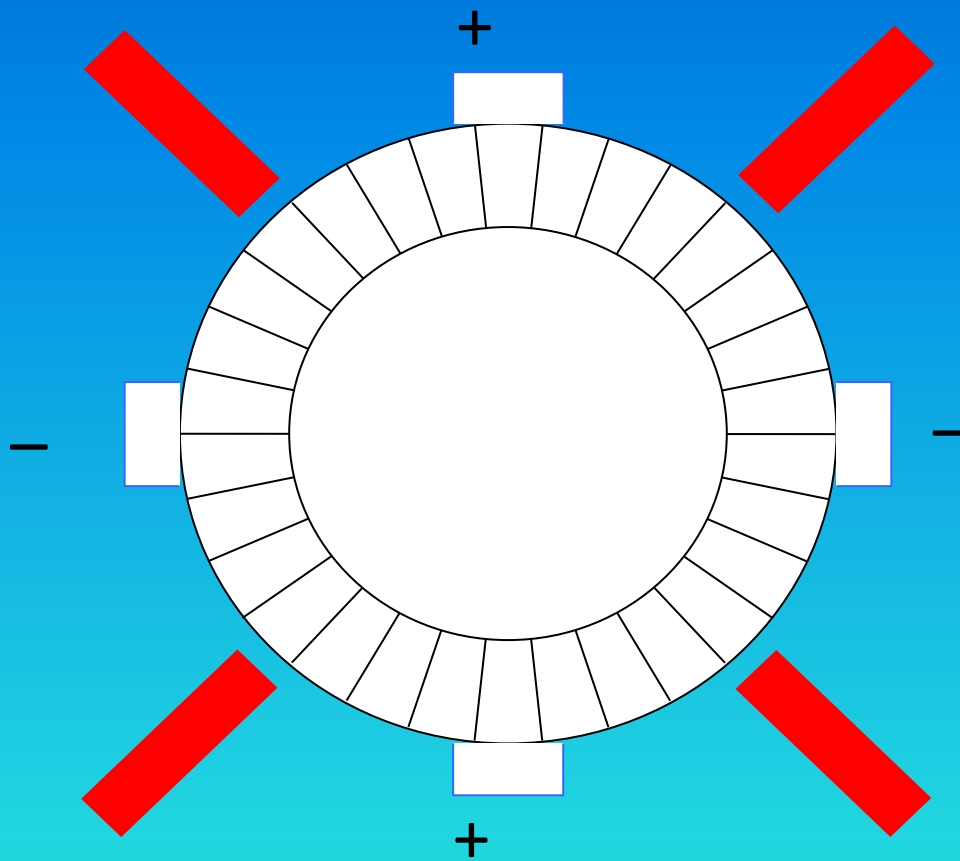


Рис. 16.11. Защитные экраны от кругового огня по коллектору

16.2.4. Способы улучшения коммутации

Чтобы приблизить коммутацию к прямолинейной, нужно ограничить добавочный ток коммутации:

$$i_{доб} = \frac{\sum e}{r_1 + r_2} = \frac{e_p + e_k}{r_k} \quad (16.11)$$

где r_k — сопротивление цепи коммутирующей секции.

Основным методом ограничения $i_{доб}$ является уменьшение ЭДС e_k , которую стремятся приблизить к нулю.

Это может быть достигнуто:

1. Сдвигом щеток с нейтрالي.

Щетки смещают с геометрической нейтрالي на физическую нейтраль. Для генератора щетки сдвигаются по направлению вращения якоря, для двигателя - против направления вращения.

2. Добавочные полюсы.

3. Укорочение шага обмотки.

В обмотке с полным шагом коммутация происходит одновременно в обеих секциях паза, что увеличивает значение реактивной ЭДС из-за явления взаимоиндукции.

4. Компенсационная обмотка.