

5 Обмотки якоря и их ЭДС

Полусным делением τ называют часть окружности якоря, приходящуюся на один полюс или, как показано на рисунке 1.10 расстояние между средними линиями соседних разноименных полюсов.

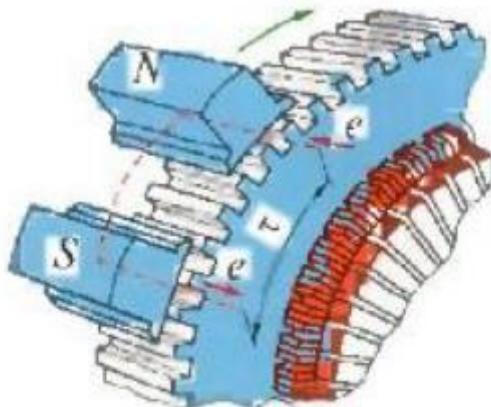


Рис. 1.10. Полусное деление

Обмотка якоря представляет собой замкнутую систему, в которой секции соединены последовательно, т. е. к каждой коллекторной пластине припаивают конец одной секции и начало другой, следующей за ней по схеме обмотки.

Число пар полюсов в машине обозначают p , тогда число полюсов равно $2p$. Если величину полюсного деления умножить на число полюсов, то их произведение даст длину окружности якоря, т. е.

$$2p\tau = \pi D \text{ где } D \text{ — диаметр якоря, м.}$$

При одной паре полюсов геометрическая нейтраль перпендикулярна оси полюсов. При большем числе пар полюсов количество нейтральных линий равно числу пар полюсов. На нейтральной магнитная индукция B при отсутствии нагрузки равна нулю.

Шаги обмотки по магнитопроводу ротора измеряют числом пропущенных промежутков между пазами, а шаг по коллектору — числом изоляционных прослоек между коллекторными пластинами.

В современных машинах ширину секции делают меньше величины полюсного деления, что позволяет экономить медь в лобовых соединениях и улучшить условия коммутации. Такую секцию называют секцией с укороченным шагом

Простая петлевая обмотка

Петлевой называют обмотку, секции которой имеют форму петли (рис. 1.13). В простой петлевой обмотке начало и конец секции присоединены к рядом расположенным коллекторным пластинам.

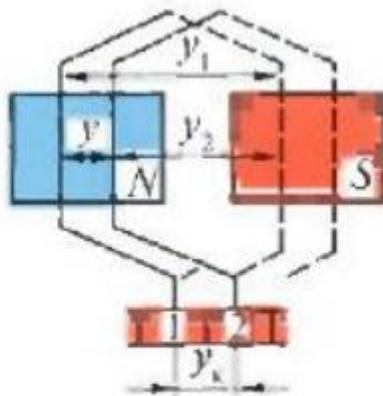


Рис. 1.13. Петлевая обмотка

Обмотку якоря машин постоянного тока делают двухслойной. В каждом пазу такой обмотки располагаются две активные стороны двух различных секций: начальная сторона одной секции вверху паза и конечная сторона второй — внизу паза.

При расчётах многослойных обмоток применяют понятие *элементарного паза*, под которым понимают паз с двумя активными сторонами. В многослойной обмотке в одном реальном пазу может быть несколько элементарных пазов.

Параллельной ветвью обмотки называют часть обмотки, находящуюся между двумя разноимёнными щётками. В одну ветвь входят секции, начальные стороны которых находятся под северным полюсом, а в другую - под южным (рис. 1.14).

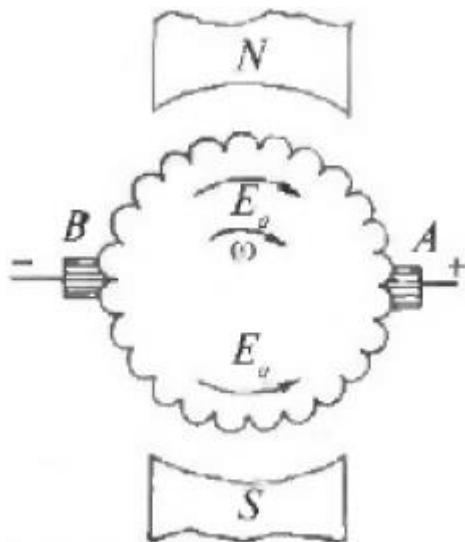


Рис. 1.14. Пример параллельной ветви

В простой петлевой обмотке число параллельных ветвей равно числу полюсов, т. е. $2a = 2p$, где a — число пар параллельных ветвей. ЭДС секций в параллельной ветви складываются.

Между щётками в разные моменты времени находятся различные секции, так как обмотка с коллектором при вращении непрерывно перемещается относительно щёток. Секции переходят из одной параллельной ветви в другую, но сумма ЭДС секций в параллельной ветви не изменяется по величине и, следовательно, на щётках ЭДС неизменна.

Если параллельные ветви обмотки обладают одинаковыми электрическими сопротивлениями и в них индуцируются одинаковые по величине ЭДС, то такая обмотка называется *симметричной*.

Щётки на коллекторе устанавливаются таким образом, что бы они находились на коллекторных пластинах, соединённых с проводами обмотки якоря, которые расположены на геометрической нейтрали. При правильной установке щёток, когда стороны замыкаемой накоротко секции лежат на геометрической нейтрали, коллекторные пластины, к которым эта секция присоединена, находятся под серединой полюса.

Число щёток в простой петлевой обмотке всегда равно числу полюсов, т. е. $2p$. Ширина щётки может быть равна суммарной ширине двух, трёх, а иногда и более коллекторных пластин.

Простая волновая обмотка

ВОЛНОВОЙ называют обмотку, секция которой по форме напоминает волну. Шаги простой волновой обмотки представлены на рисунке 1.16.

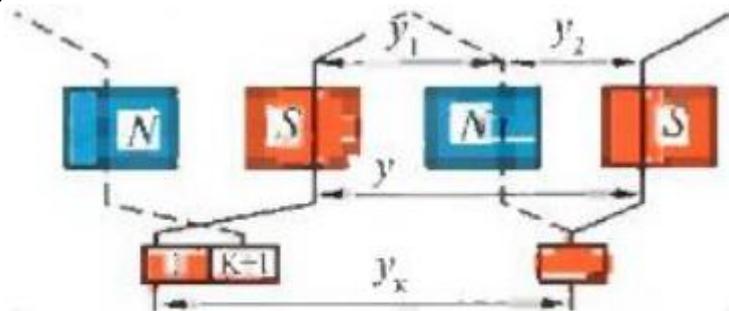


Рис. 1.16. Волновая обмотка

Число параллельных ветвей $2a$ простой волновой обмотки зависит от числа полюсов машины и всегда равно двум.

Число щёток в обмотке должно быть не менее одной на каждую параллельную ветвь. Поэтому в данном случае можно ограничиться и двумя щётками. Однако число щёток в машине должно соответствовать числу полюсов, что способствует снижению тока, приходящегося на одну щётку, уменьшению размеров коллектора и позволяет достичь большей симметрии обмоток.

Волновую последовательную обмотку применяют в электрических машинах больших напряжений, а петлевую параллельную — в машинах больших токов.

Сложные обмотки

В них простые петлевые и волновые обмотки соединены параллельно через щеточный контакт.

Обеспечить одинаковый контакт щёток со всеми простыми обмотками практически невозможно, поэтому ток между простыми обмотками распределяется неодинаково, что приводит к искрению на коллекторе.

Поэтому в сложных обмотках применяют *уравнительные соединения*, с помощью которых электрически соединяют между собой простые обмотки.

Магнитный поток, ЭДС и электромагнитный момент

Примерное распределение магнитного поля в воздушном зазоре под главным полюсом и кривая распределения магнитной индукции в зазоре машины постоянного тока при холостом ходе приведены на рисунке 1.22.

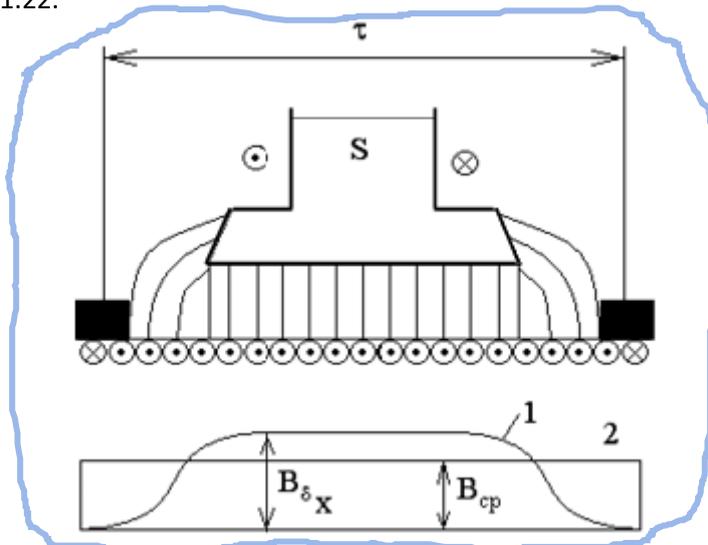


Рис. 1.22. Распределение магнитного поля в зазоре под полюсом:
1 — кривая распределения магнитной индукции в зазоре под полюсом;
2 — эквивалентное среднее значение магнитной индукции

Магнитный поток Φ в зазоре можно определить как $\Phi = B_{cp} \cdot l_n \cdot \tau$
где B_{cp} — средняя индукция в пределах полюсного деления;
 l_n — длина полюса по оси; τ — полюсное деление.

За время оборота якоря потокоцепление Ψ одного витка при p пар полюсов изменяется на величину $\Delta\Psi = 2\Phi 2p$; время одного оборота якоря $\Delta t = 60/n$. Следовательно, в каждом витке секции индуцируется ЭДС: $E = \Delta\Psi / \Delta t = 4\Phi p n / 60$.

Если число проводов на поверхности якоря равно N , число витков секций $N/2$ и число параллельных ветвей обмотки $2a$, ЭДС машины постоянного тока E определяется как

$$E = (4\Phi p n / 60) (N/2) (1/2a) = (p/60) (N/a) n \Phi = c_E \cdot n \cdot \Phi, \quad (1.8)$$

где c_E — конструктивный коэффициент ЭДС (константа электрическая), постоянная для данной машины величина $p \cdot N / (60 \cdot a)$.

Таким образом, можно определить ЭДС как результат пересечения линий магнитного поля N проводами якоря, вращающегося с частотой n .

Электромагнитный момент $M_{эм}$, действующий на провода, а следовательно, и на якорь, при протекании тока в обмотке якоря при работе машины генератором или двигателем определяется как

$$M_{эм} = B_{ф} l \frac{I_a p \tau}{2a \pi} = \frac{p N}{2\pi a} I_a \Phi$$

Обозначив неизменную для данной машины величину $c_M = p \cdot N / (2\pi \cdot a)$ – константа механическая – получим сокращенные выражения для E и $M_{эм}$, которыми часто пользуются на практике:

$$E = c_E \cdot n \cdot \Phi; \quad M_{эм} = c_M \cdot I_a \cdot \Phi.$$