

§ 27.5. Круговой огонь по коллектору

При значительных перегрузках или внезапном коротком замыкании машины постоянного тока 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. 27.13, а). Наряду с этим перегрузка машины сопровождается усилением реакции якоря, под действием которой распределение индукции в воздушном зазоре машины становится неравномерным (см. рис. 26.4, в). В результате напряжение между

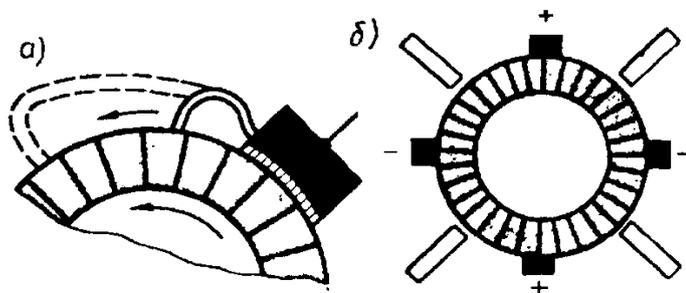


Рис. 27.13. Растяжение электрической дуги на вращающемся коллекторе (а) и расположение барьеров между щетками (б)

соседними коллекторными пластинами увеличивается, превышая допустимые пределы (см. § 25.5). Это, с одной стороны, может привести к возникновению электрических дуг между смежными пластинами, а с другой стороны, появление высокого потенциала на некоторых пластинах вызывает резкое повышение напряжения между щеткой и коллекторными пластинами по мере их удаления от сбегающего края щетки. Все это создает условия для возникновения электрической дуги между щеткой и коллекторными пластинами.

Таким образом, в условиях значительной перегрузки в машине постоянного тока появляются коммутационные и потенциальные причины для возникновения электрической дуги на коллекторе. При этом электрические дуги, вызванные коммутационными причинами, сливаются с дугами, вызванными потенциальными причинами, образуя вокруг коллектора мощную электрическую дугу, которая может перекинуться также и на корпус машины. Описанное явление называется *круговым огнем по коллектору*. Круговой огонь очень опасен, так как может привести к тяжелой аварии машины, включая возникновение в машине пожара.

Добавочные полюсы и компенсационная обмотка хотя и ослабляют опасность возникновения кругового огня, но полностью ее не устраняют. Поэтому для защиты обмотки якоря от повреждения электрической дугой в случае возникновения кругового огня в электрических машинах, работающих в условиях частых перегрузок, между коллектором и обмоткой на якоре устанавливают изолирующий экран. В некоторых машинах применяют воздушное дутье, сдувающее дугу в сторону подшипника, защищенного теплостойкой изоляционной перегородкой. Для создания препятствия на пути распространения дуги между щетками разной полярности устанавливают барьеры из изоляционного материала (рис. 27.13, б).

2.3.2. Последовательное включение индуктивной катушки и конденсатора

Для неразветвленной ЭЦ, содержащей индуктивную катушку с активным сопротивлением R и индуктивностью L и конденсатор с емкостью C (рис. 2.10, а), полное сопротивление:

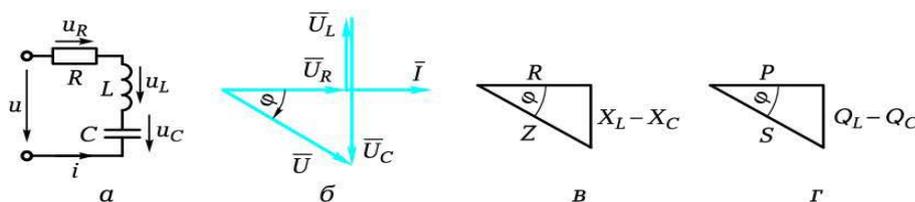


Рис. 2.10. Электрическая цепь с реальной индуктивной катушкой и конденсатором:
 а — схема ЭЦ; б — треугольник напряжений; в — треугольник сопротивлений; г — треугольник мощностей

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}.$$

Характер нагрузки зависит от величины и знака угла φ , определяемого соотношением индуктивного X_L и емкостного X_C сопротивлений. В общем случае угол φ может изменяться от $-\pi/2$ до $+\pi/2$.

Если $X_L < X_C$, то ЭЦ носит емкостный характер и угол $\varphi < 0$. Если $X_L > X_C$, то ЭЦ носит индуктивный характер и угол $\varphi > 0$.

В соответствии со вторым законом Кирхгофа для мгновенных значений напряжений справедливо выражение $u = u_R + u_C + u_L$, для векторов — $\bar{U} = \bar{U}_R + \bar{U}_C + \bar{U}_L$. Векторную диаграмму напряжений строим относительно общего для всех элементов ЭЦ тока I (рис. 2.10, б). Треугольник сопротивлений принимает вид, приведенный на рис. 2.10, в, а треугольник мощностей — на рис. 2.10, г.

2.3.3. Резонанс напряжений

Практический интерес представляет случай, когда $\varphi = 0$. Это может иметь место, если $X_L = X_C$. В данном случае собственные колебания, возникающие в электрической цепи, совпадают с вынужденными колебаниями, поступающими от источника питания. При этом $U = IR$, т.е. сдвиг фаз между U и I отсутствует. Величина тока $I = U/R$ максимальна, так как минимальна величина сопротивления ($Z = R$). В связи с этим напряжения на катушке индуктивности и конденсаторе ($U_L = U_C$) возрастают и могут значительно превышать напряжение питания, если $X_L = X_C \gg R$.

☛ В технике явление увеличения напряжения на отдельных элементах ЭЦ по отношению к напряжению источника питания получило название *резонанс напряжений*.

Резонансная частота электрической цепи с катушкой индуктивности и конденсатором, называемой в радиотехнике *LC*-контуром, равна частоте напряжения, подводимого к цепи.

Из условия $X_L = X_C$, или $2\pi fL = 1/(2\pi fC)$ может быть получено выражение для резонансной частоты

$$f_{\text{рез}} = 1/(2\pi\sqrt{LC}).$$

Для промышленной частоты $f = 50$ Гц можно записать приближенное выражение, связывающее между собой значения емкости и индуктивности:

$$C_{\text{рез}} = 10/L, \text{ мкФ.}$$

Поскольку при резонансе напряжений ток в цепи определяется только лишь активной составляющей сопротивления цепи, обмен реактивной мощностью цепью и источником отсутствует. Реактивная мощность циркулирует внутри контура от катушки индуктивности к конденсатору и обратно. При этом энергия электрического поля конденсатора переходит в энергию магнитного поля катушки индуктивности, и наоборот.

Коэффициент мощности $\cos \varphi = P/S = 1$.

☛ Таким образом, *условием резонанса напряжений* является равенство реактивных сопротивлений конденсатора и индуктивной катушки: $X_L = X_C$.

Следствием же резонанса являются:

- минимальное значение сопротивления ЭЦ ($Z = R$),
- максимальное значение тока в ЭЦ ($I = U/R$);
- потребление ЭЦ чисто активного тока ($\varphi = 0$);
- равенство напряжений на реактивных элементах $U_L = U_C$ и возможность значительного превышения ими напряжения источника питания.

Получение резонанса напряжений возможно либо за счет изменения частоты источника питания, либо за счет изменения собственной частоты контура, т.е. индуктивности L или емкости C . На практике чаще используется переменная емкость, изменение которой позволяет настроить контур в резонанс. При этом индук-

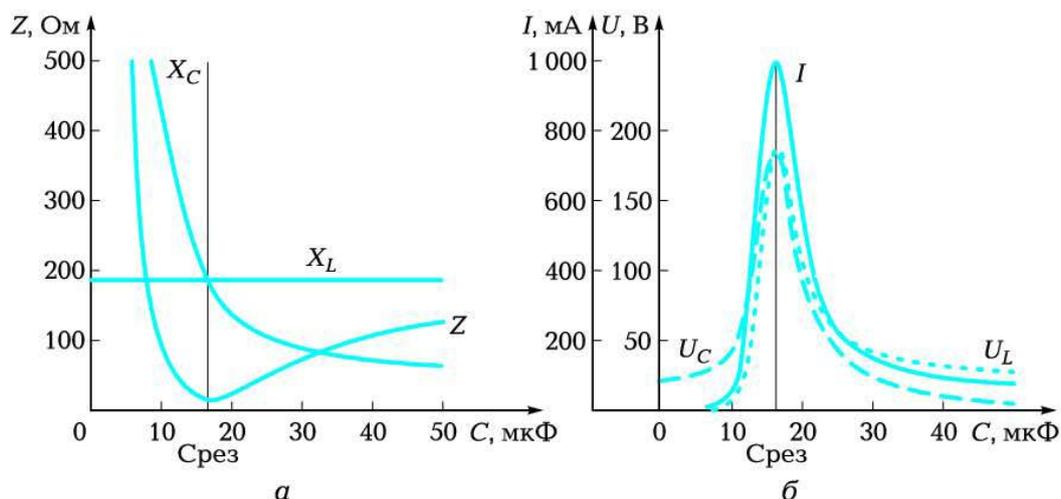


Рис. 2.11. Графики изменения сопротивлений [а], тока и напряжений [б] на элементах ЭЦ

тивное сопротивление $X_L = 2\pi fL$ остается неизменным, емкостное $X_C = 1/(2\pi fC)$ изменяется по гиперболическому закону. В результате изменяется полное сопротивление ЭЦ (контура)

$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$ (рис. 2.11, а), что ведет к изменению тока $I = U/Z$, потребляемого ею, и напряжения на элементах цепи $U_L = IX_L$ и $U_C = IX_C$ (рис. 2.11, б).

⚡ Резонанс напряжений — явление опасное и вредное, поскольку возможен пробой изоляции проводов и конденсаторов. В то же время в радиотехнике это явление нашло применение в приемопередающих устройствах.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что понимается под резонансом напряжений?
2. Назовите условие и следствия резонанса напряжений.
3. Поясните графики изменения тока и напряжений в электрической цепи при изменении емкости.
4. Изобразите с помощью векторных диаграмм момент резонанса напряжений.
5. Какими параметрами определяется резонансная частота?
6. Почему резонанс напряжений — явление опасное?
7. Где используется явление резонанса напряжений?