

В. И. ЛАЛЕТИН, Ф. Э. ТОЧАНСКИЙ

(Ленинград)

АНАЛИЗ РАБОТЫ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ МЕХАНИЧЕСКИХ КОММУТАТОРОВ НА МАГНИТОУПРАВЛЯЕМЫХ КОНТАКТАХ

Измерительные коммутаторы, предназначенные для последовательного циклического опроса ряда каналов, находят широкое применение в автоматике и технике измерений. При небольших скоростях коммутации (до 200—300 кан/сек) наиболее целесообразным является применение электромеханических контактных коммутаторов, характеризующихся наличием контактных переходов в коммутируемых цепях и управляемых от моторного привода. Использование контактного способа передачи сигнала обеспечивает за механическим коммутатором ряд таких ценных свойств, как возможность коммутации чрезвычайно слабых сигналов (начиная от долей микровольта), идеальная релейная характеристика переключения, практически неограниченный частотный диапазон коммутируемых сигналов и т. д.

Основным недостатком контактных коммутаторов является присущий им износ контактных поверхностей, ограничивающий срок службы коммутаторов. Однако при рациональном конструировании коммутатора можно обеспечить довольно высокий срок службы устройства. Наиболее перспективным в этом отношении является использование в измерительных коммутаторах магнитоуправляемых контактов (МК), которые, сохраняя все преимущества контактного способа передачи сигнала, вместе с тем близки к электронным (полупроводниковым) приборам по сроку службы и даже быстрдействию.

На рис. 1 схематически изображен коммутатор на МК. По окружности статора расположены МК, под которыми перемещается источник намагничивающей силы (НС) — постоянный магнит или электромагнит, закрепленный на роторе коммутатора.

При проектировании механического коммутатора, помимо параметров измеряемых сигналов, обычно являются заданными следующие: число каналов N ; скорость вращения вала n в об/мин; длительность

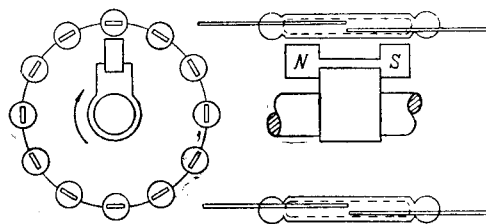


Рис. 1. Коммутатор на магнитоуправляемых контактах.

замыкания канала T в сек; точность коммутации ν в % — допустимый сдвиг в моментах начала и конца коммутации канала относительно расчетных положений, выраженных в процентах от заданной длительности замыкания канала.

Если заданное число каналов и скорость вращения вала легко обеспечиваются соответствующей конструкцией коммутатора и привода, то обеспечение заданной длительности замыкания канала и заданной точности коммутации в коммутаторе на МК связано с серьезными трудностями ввиду присущего МК значительного разброса параметров (НС срабатывания и НС отпускания).

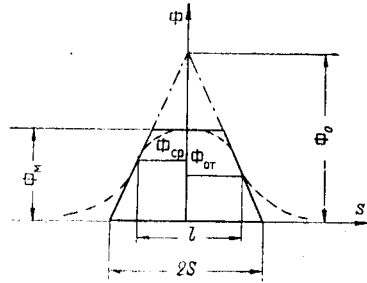


Рис. 2. Реальная и идеализированная характеристики рабочего потока.

Действительно, рассмотрим рис. 2, где штрихами представлен примерный вид зависимости магнитного потока в рабочем зазоре МК при перемещении источника НС около контакта. Будем называть эту зависимость $\Phi = \Phi(s)$ характеристикой рабочего потока. Введем обозначения: $\Phi_{\text{сп}}$ — поток срабатывания МК; $\Phi_{\text{от}} = k\Phi_{\text{сп}}$ — поток отпус-

кания МК, где $k \leq 1$ — коэффициент возврата.

При равенстве $\Phi = \Phi_{\text{сп}}$, которое имеет место при достижении источником НС точки S_1 , контакт замыкается, при равенстве $\Phi = \Phi_{\text{от}}$, наступающем в точке S_2 , контакт размыкается. Из рисунка видно, что изменение потока срабатывания $\Phi_{\text{сп}}$, равно как и коэффициента возврата k , ведет к изменению зоны замкнутого состояния S_1S_2 , т. е. к изменению длительности замыкания канала и точности коммутации.

Проектированию коммутаторов на МК при условии нестабильности параметров МК посвящена статья [1], однако предлагаемая в ней методика целиком основана на экспериментальном материале и относится лишь к конкретному типу МК. Рассматриваемый ниже метод носит более общий характер и может быть использован при проектировании коммутатора на МК любого типа.

Вернемся к рассмотрению рис. 2. Отношение протяженности l зоны замкнутого состояния контакта к шагу t между контактами назовем коэффициентом заполнения шага:

$$\rho = \frac{l}{t}.$$

Нетрудно показать, что при заданных N , n и T коэффициент заполнения шага равен

$$\rho = \frac{T n N}{60}. \quad (1)$$

Если $\rho > 1$, коммутатор работает с перекрытием, если $\rho < 1$, имеет место разрыв между коммутируемыми каналами. На основании заданной длительности замыкания канала и заданной точности коммутации можно рассчитать диапазон допустимых изменений длительности замыкания:

$$T_{\text{max}} = T (1 + 0,02\nu); \quad (2)$$

$$T_{\text{min}} = T (1 - 0,02\nu). \quad (3)$$

Соответственно по формуле (1) определяются ρ_{max} и ρ_{min} . Для упрощения дальнейшего анализа идеализируем кривую $\Phi = \Phi(s)$, за-

менив ее характеристикой в виде трапеции (сплошная линия на рис. 2), определяемой следующими параметрами: $2S$ — основание; Φ_m — высота; Φ_0 — параметр, определяющий кругизну боковых сторон. Как будет показано ниже, такое допущение вполне правомерно.

Тогда коэффициент заполнения шага можно выразить следующим образом:

$$\Phi_{\text{ср}} = \Phi_{\text{от}} = \Phi_{\text{max}}; \quad k = 1.$$

Величина ρ будет максимальна при минимальных значениях ИС срабатывания и отпущения:

$$\Phi_{\text{ср}} = \Phi_{\text{min}} = \frac{\Phi_{\text{max}}}{\beta}; \quad \Phi_{\text{от}} = \Phi_{\text{min}} k_{\text{max}}; \quad k = k_{\text{max}}.$$

Здесь $\beta = \frac{\Phi_{\text{max}}}{\Phi_{\text{min}}}$ — коэффициент, характеризующий разброс величин потока срабатывания или, что то же самое, разброс величин ИС срабатывания МК в используемой партии. При этом на основании (4) можно написать:

$$\rho_{\text{min}} = \frac{S}{t} \left[\left(1 - \frac{\Phi_{\text{max}}}{\Phi_0} \right) + \left(1 - \frac{\Phi_{\text{max}}}{\Phi_0} \right) \right] = 2\tau (1 - \varphi); \quad (5)$$

$$\rho_{\text{max}} = \frac{S}{t} \left[\left(1 - \frac{\Phi_{\text{max}}}{\beta \Phi_0} \right) + \left(1 - \frac{\Phi_{\text{max}} k_{\text{max}}}{\beta \Phi_0} \right) \right] = \tau (2 - \varphi \mu), \quad (6)$$

где

$$\tau = \frac{S}{t}; \quad \varphi = \frac{\Phi_{\text{max}}}{\Phi_0}; \quad \mu = \frac{1 + k_{\text{max}}}{\beta}.$$

Если известны параметры k_{max} и β используемой партии контактов, то по заданным или рассчитанным величинам ρ_{min} и ρ_{max} можно установить требования к виду характеристики рабочего потока, при выполнении которых реализуются заданные условия проектирования (длительность замыкания канала и точность коммутации).

Действительно, решая совместно уравнения (5) и (6) относительно τ и φ , получаем:

$$\varphi = \frac{2(\rho_{\text{max}} - \rho_{\text{min}})}{2\rho_{\text{max}} - \rho_{\text{min}} \mu}; \quad (7)$$

$$\tau = \frac{2\rho_{\text{max}} - \rho_{\text{min}} \mu}{2(2 - \mu)}. \quad (8)$$

Из выражений (7) и (8) следует, что параметры характеристики рабочего потока $\Phi_0 = \frac{1}{\varphi} \Phi_{\text{max}}$ и $S = t\tau$ должны быть вполне определенными для заданных условий проектирования и известных параметров контактов. Обеспечить одновременно требуемые значения Φ_0 и S возможно только при независимой регулировке этих величин. В то же время для коммутатора, изображенного на рис. 1, при изменении величины ИС источника ИС изменяется и ширина характеристики рабочего

потока (штриховая линия на рис. 2). Для исключения этой зависимости необходимо на статоре и роторе использовать ферромагнитные экраны, ограничивающие зону действия источника НС на МК, как показано на рис. 3. Из этого рисунка видно, что при положениях магнита, соответствующих точкам 1 и 2, путь для потока от магнита к выделенному МК перекрыт экранами, т. е. указанные положения магнита соответствуют началу и концу характеристики рабочего потока независимо от величины НС магнита, что и требовалось обеспечить. При этом величина НС магнита влияет только на параметр Φ_0 .

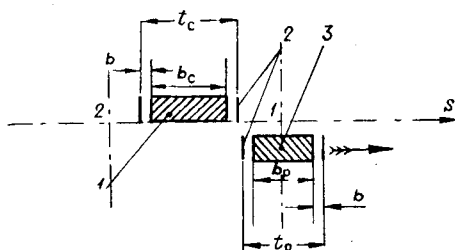


Рис. 3. Схема коммутатора с экранами на статоре и роторе:
1 — полюсный наконечник НМС; 2 — экран;
3 — полюсный наконечник магнита.

Чтобы увеличить проводимость от магнита до МК, целесообразно также ввести направляющие магнитные системы (НМС) — магнитопроводы, по которым поток попадает в МК. Если обеспечить выполнение условий $b_c \ll t_c$ и $b_p \ll t_p$ (см. рис. 3), рабочие (боковые) участки характеристики рабочего потока становятся линейными и вид характеристики приближается к трапеции, т. е. к характеристике,

принятой при анализе. С целью подтверждения этого положения было произведено аналитическое и экспериментальное исследования характеристики рабочего потока коммутатора с экранами на статоре и роторе.

На рис. 4 представлена эквивалентная схема магнитной цепи коммутатора, построенная в предположении, что на вид характеристики рабочего потока данного МК влияют четыре статорных элемента — два слева и два справа от рассматриваемого. На рис. 4 $g_1 - g_5$ — проводимости между полюсом магнита и полюсами НМС; $g_6 - g_{10}$ — проводимости между двумя противоположными полюсами НМС; $g_{11} - g_{15}$ — проводимости МК; $g_{16} - g_{19}$ — проводимости между полюсами соседних НМС; g_m — проводимость рассеяния магнита.

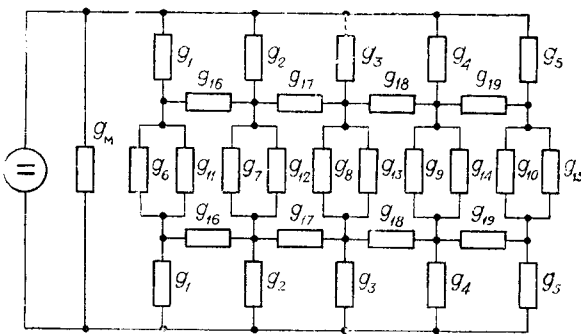


Рис. 4. Эквивалентная схема магнитной цепи коммутатора.

Расчет эквивалентной схемы производился на ЭЦВМ с помощью обычных методов расчета цепей. Проводимости отдельных элементов схемы определялись на основании методов Поля [2] и Русина [3]. На рис. 5 представлена рассчитанная таким образом характеристика рабочего потока для коммутатора со следующими основными размерами: $b_c = 2,5$ см; $t_c = 2,7$ см; $b_p = 0,2$ см; $t_p = 0,4$ см; $t = 2,7$ см. Представленная на этом же рисунке экспериментально полученная характеристика коммутатора показывает хорошее совпадение расчетных и опытных данных. Таким образом, рис. 5 подтверждает справедливость сделанного нами допущения о трапецеидальном виде характеристики рабочего потока коммутатора с экранами на статоре и роторе.

На основании изложенного, пользуясь обозначениями, приведенными на рис 3, получаем

$$S = \frac{t_c}{2} + \frac{t_p}{2}, \quad (9)$$

где t_c — эквивалентная ширина полюсного наконечника НМС (с учетом экранов); t_p — эквивалентная ширина полюса постоянного магнита (с учетом экранов).

Величина t_c в общем случае связана с шагом коммутации соотношением

$$t_c = \gamma t, \quad (10)$$

где $0 < \gamma \leq 1$.

С учетом этого соотношения и выражения $S = t\tau$, из (9) получаем

$$t = \frac{t_p}{2\tau - \gamma}. \quad (11)$$

Таким образом, шаг по контактам и, следовательно, габариты коммутатора определяются тремя величинами: τ , t_p и γ .

Величина τ рассчитывается по (8) и зависит лишь от исходных данных. Эквивалентную ширину магнита t_p с целью уменьшения шага t целесообразно выбирать равной минимально допустимой величине, определяемой из технологических соображений:

$$t_p = t_{p \min}.$$

Коэффициент γ , в свою очередь, целесообразно выбирать минимально возможным, учитывая, однако, то обстоятельство, что эквивалентная ширина полюсного наконечника НМС t_c не должна быть меньше некоторой допустимой величины, также определяемой из технологических соображений, т. е.

$$t_c \geq t_{c \min}$$

или

$$\gamma t - t_{c \min} \geq 0. \quad (12)$$

Для γ_{\min} из выражения (11) с учетом соотношения (12) найдем

$$\gamma_{\min} = \frac{2\tau t_{c \min}}{t_{p \min} + t_{c \min}}. \quad (13)$$

В частном случае при $t_{c \min} = t_{p \min}$

$$\gamma_{\min} = \tau. \quad (14)$$

Таким образом, окончательно минимальный статорный шаг равен

$$t_{\min} = \frac{t_{p \min}^2}{2\tau - \gamma_{\min}}. \quad (15)$$

В заключение приведем пример расчета геометрии коммутатора на основании следующих данных: $N=30$; $n=20$ об/мин; $T=0,11$ сек; $\nu = \pm 3\%$; параметры контактов: $\beta=2$; $k_{\max} = 0,7$; минимально возможные размеры $t_{p \min} = t_{c \min} = 6$ мм.

На основании выражений (2) и (3) находим: $T_{\max} = 0,11 (1 + 0,06) = 0,1165$ сек; $T_{\min} = 0,11 (1 - 0,06) = 0,1035$ сек.

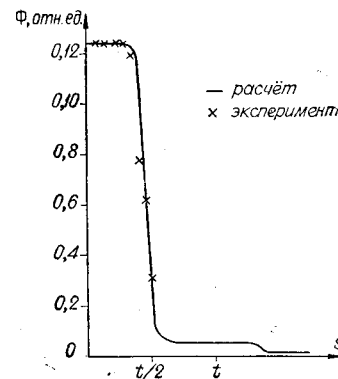


Рис. 5. Характеристика рабочего потока.

По формуле (1) определяем:

$$\rho_{\max} = \frac{0,1165 \cdot 20 \cdot 30}{60} = 1,165;$$

$$\rho_{\min} = \frac{0,1035 \cdot 20 \cdot 30}{60} = 1,035.$$

Таким образом, коммутатор должен обеспечивать перекрытие между соседними каналами. Коэффициент

$$\mu = \frac{1 + k_{\max}}{\beta} = \frac{1 + 0,7}{2} = 0,85.$$

По формуле (8) рассчитываем

$$\tau = \frac{2\rho_{\max} - \rho_{\min} \mu}{2(2 - \mu)} = \frac{2 \cdot 1,165 - 1,035 \cdot 0,85}{2(2 - 0,85)} = 0,63.$$

Так как $t_{p \min} = t_{c \min}$, то, согласно выражению (14), имеем

$$\gamma_{\min} = \tau = 0,63.$$

При этом на основании соотношения (15)

$$t_{\min} = \frac{t_{p \min}}{\tau} = \frac{6}{0,63} = 9,52 \text{ мм}$$

и диаметр по воздушному зазору коммутатора

$$D = \frac{N t_{\min}}{\pi} = \frac{30 \cdot 9,52}{\pi} = 91 \text{ мм.}$$

ВЫВОДЫ

С целью повышения надежности и срока службы измерительных механических коммутаторов целесообразно использовать магнитоуправляемые контакты, возбуждаемые перемещающимся магнитом.

Для обеспечения заданной длительности замыкания канала и заданной точности коммутации при условии разброса параметров магнитоуправляемых контактов рекомендуется конструкция коммутатора с направляющими магнитными системами и экранами на статоре и роторе. Расчет коммутатора при этом производится по методике, изложенной в данной работе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Я. М. Диковский, И. С. Малышев, Л. Е. Пинчук. Особенности работы измерительных магнитоуправляемых контактов в поперечном магнитном поле.— Измерительная техника, 1966, № 4.
2. R. Pohl. Theory of pulsating field machines JIEE, 1946, V. 93, pt. II, № 31.
3. Ю. С. Русин. Расчет магнитных проводимостей.— ИВУЗ, Электромеханика, 1963, № 12.

Поступила в редакцию
18 сентября 1967 г.