

ЭФФЕКТ ДЖОНСОНА-РАБЕКА, ЕГО ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ И ПРИМЕНЕНИЕ В МИКРОЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВАХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ АВТОМАТИКИ

Д. В. КОМНАТНЫЙ

Гомельский государственный технический университет им. П. О. Сухого, Республика Беларусь

Эффект Джонсона-Рабека заключается в том, что при приложении постоянного напряжения к структуре из металлической и полупроводящей пластин, разделенных газовым промежутком, между поверхностями металла и полупроводника возникает значительная пондеромоторная сила. Эффект известен с начала XX века. Хотя в годы его открытия физика явления оставалась неизвестной, эффект нашел широкое применение при разработке электростатических реле промышленного и даже кустарного изготовления.

С появлением бесконтактных электронных элементов интерес к эффекту Джонсона-Рабека угас, и он оставался малоизвестным до настоящего времени. Физические основы эффекта так и не были полностью выяснены. В конце XX века эффект вновь привлек к себе внимание инженеров в связи с разработкой микроэлектромеханических устройств (актюаторов).

Объяснение возникновения рассматриваемого эффекта можно получить на основе уже хорошо разработанной теории структур металл – диэлектрик – полупроводник (МДП). Показано, что в МДП-структурах при приложении отрицательного полюса напряжения к металлу, а положительного полюса – к полупроводнику у поверхности последнего возникает слой положительных зарядов за счет ухода электронов и притяжения дырок к приповерхностному слою. В металле же возникает слой отрицательных зарядов. Так формируется конденсатор с очень малым расстоянием между обкладками, в качестве которых выступают приповерхностные слои зарядов. Изолирующий газовый промежуток конденсатора находится между поверхностями металла и полупроводника. В этом конденсаторе и развиваются значительные пондеромоторные силы между обкладками, в чём и заключается обсуждаемый в докладе эффект.

На основе эффекта Джонсона-Рабека могут быть созданы микроэлектромеханические реле различной конструкции. В частности, известны реле с проводящей мембраной, которая под действием пондеромоторных сил между нею и неподвижной полупроводящей плоскостью изгибается и перемещает якорь реле, замыкая фронтальной контакт. Также известны реле, в которых имеется упругая пружина, изгибающаяся под действием пондеромоторных сил между нею и неподвижной полупроводящей плоскостью и замыкающая фронтальной контакт.

Путем использования в микроэлектромеханических электростатических реле известных технических решений, а именно: Г-образного якоря, на одном плече которого размещена металлическая обкладка, а на втором – противовес, контактов из несваривающихся материалов, класс надежности электростатических реле может быть повышен до первого. Автором разработаны две конструкции такого реле, защищенные патентами на полезную модель Республики Беларусь № 6918 и 6951.

Микроэлектромеханические реле отличаются малыми габаритами, что позволяет легко размещать их на одной плате с интегральными микросхемами и использовать эти реле и микросхемы совместно. Использование в конструкциях электростатических реле эффекта Джонсона-Рабека дает возможность получить достаточное контактное нажатие при невысоком напряжении питания. Это снижает опасность пробоя диэлектрического слоя в реле. Поскольку через электростатические реле не протекает постоянный ток, то эти реле потребляют малую мощность и являются экономичной элементной базой. Изготовление микроэлектромеханических реле производится по той же технологии, что и интегральных микросхем. Это позволяет добиться массовости производства при сравнительно низких затратах, следовательно, невысоких цен на такие реле.

Благодаря отмеченным достоинствам микроэлектромеханические электростатические реле первого класса надежности могут найти применение в системах железнодорожной автоматики – электрической централизации, автоблокировке, горючей автоматической централизации.

При этом управление системой железнодорожной автоматики может выполняться посредством микропроцессорных и компьютерных средств. Проверка условий безопасности производится в

блоках на основе микроэлектромеханических реле, которые через высоконадежные блоки телеуправления и телесигнализации связаны с исполнительными электромагнитными реле. Этим может быть достигнуто оптимальное сочетание современного метода управления железнодорожными объектами с автоматизированных рабочих мест, отработанных алгоритмов реализации команд на релейной базе, миниатюризации узлов систем ЖАТ, высокой надежности систем ЖАТ.

Поскольку микроэлектронные и микропроцессорные системы ЖАТ продолжают нуждаться в большом количестве электромагнитных реле (снижение потребности в реле составляет от 40 до 60 %), то применение реле микроэлектронных позволит, при развитии бесконтактных модулей управления исполнительными устройствами, отказаться от электромагнитных реле первого класса надежности и перейти к полностью интегрированной с микроэлектронными элементами релейной элементной базе. При этом остаются в силе апробированные способы обеспечения безопасности перевозочного процесса, что позволит преодолеть известные трудности, существующие для работников служб СЦБ при внедрении микроэлектронных и микропроцессорных СЖАТ.

Следует обратить внимание на то примечательное обстоятельство, что микроэлектромеханические электростатические реле являются синтезом двух предыдущих этапов развития элементной базы железнодорожной автоматики. Эти реле сохраняют в своей конструкции способы повышения надежности, используемые в электромагнитных реле первого класса надежности. С другой стороны, микрореле изготавливаются по тем же технологиям, что и полупроводниковые интегральные микросхемы. Это обеспечивает массовость производства, снижение стоимости изделий. Микроминиатюрное исполнение, как уже отмечалось, не затрудняет интеграцию микрореле и интегральных микросхем.

Поэтому на основании известных законов развития (диалектики): отрицания-отрицания и триады «тезис – антитезис – синтез» можно полагать, что применение микроэлектромеханических электростатических реле в качестве элементной базы железнодорожной автоматики и телемеханики действительно является новым этапом в ее развитии. Поскольку микрореле, построенные на базе описанных в докладе конструктивных решений, сочетают (синтезируют) в себе достоинства как традиционной релейной, так и современной микроэлектронной элементной базы. Микроэлектронные актуаторы первого класса надежности представляют собой повторение развития релейной элементной базы на более высоком техническом и технологическом уровне. При этом исключаются известные недостатки электромагнитных реле и бесконтактных элементов с несимметричными отказами на базе ферритовых модулей. К этим недостаткам относятся большие габариты, сложность изготовления, сравнительно узкая область применения.

Область применения электростатических микрореле первого класса надежности не ограничивается железнодорожной автоматикой. Эти элементы могут использоваться и в других системах управления ответственными технологическими процессами, что, в свою очередь, увеличивает объемы производства микроэлементов вместе со снижением их стоимости.

Всё изложенное позволяет сделать вывод, что применение микроэлектромеханических элементов в железнодорожной автоматике и телемеханике имеет большие перспективы, а исследования в этом направлении являются актуальными. Представляется, что именно этот путь совершенствования элементной базы железнодорожной автоматики основывается на общих законах развития любых систем в любой области человеческой деятельности. Это дает основания надеяться на предстоящие большие успехи предлагаемого в докладе направления разработки миниатюрной элементной базы первого класса надежности.