

**НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ИМПУЛЬСНОГО
ЭНЕРГОПРЕОБРАЗОВАНИЯ В МНОГОСЕКЦИОННОМ
ИНДУКЦИОННО-ДИНАМИЧЕСКОМ ДВИГАТЕЛЕ
С ВОЗВРАТНО-ПОСТУПАТЕЛЬНЫМ ДВИЖЕНИЕМ ЯКОРЯ**

В. В. ИВАШИН, А. М. ЕЛЕНКИН

Развитие ряда отраслей науки и техники требует создания эффективных импульсных электромеханических преобразователей энергии с возвратно-поступательным характером движения подвижной части. Такого рода преобразователи все большее применение находят в технике физического эксперимента [1, 2, 3], для синхронной коммутации электроустановок [4, 5], в машинах ударного действия [6] и т. д. Благодаря бурному развитию полупроводниковой техники, имеющему место в последние годы, а также успехам конденсаторостроения и изоляционной техники появились предпосылки для разработки и изготовления двигателей для указанных целей с интенсифицированным процессом энергопреобразования, имеющих простую и компактную систему импульсного питания. Ниже описываются некоторые результаты исследований физических моделей индукционно-динамических двигателей (ИДД).

На рис. 1 представлена принципиальная конструкция ИДД, состоящего из цилиндрического ферромагнитного индуктора 1, в котором имеются кольцевые катушки 2, и ферромагнитного якоря 3 с токопроводящими кольцами 4 (короткозамкнутые витки). Индуктор набирается из листовой электротехнической стали, а сердечник якоря имеет продольные пазы (но может быть выполнен и шихтованным). Якорь может перемещаться внутри индуктора в аксиальном направлении. В исходном положении (рис. 1, а) якорь устанавливается таким образом, чтобы каждый к. з. виток находился напротив соответствующей катушки индуктора и несколько несимметрично относительно ее в аксиальном направлении. При подаче импульса тока в какую-либо катушку в к. з. витке, имеющем в данный момент сильную магнитную связь с этой катушкой, наводится ток обратного направления, магнитный поток которого демпфирует маг-

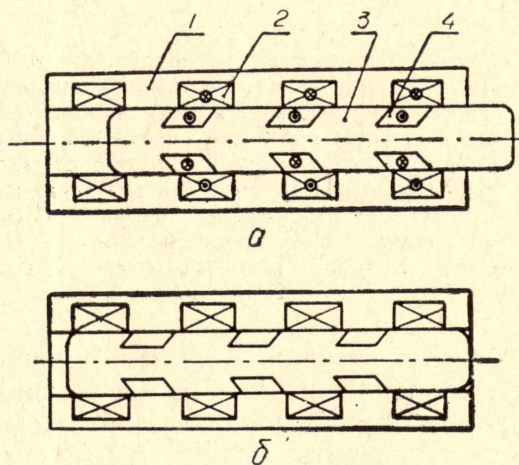


Рис. 1. Принципиальная конструкция ИДД

нитное поле катушки. В результате взаимодействия магнитных полей появляется аксиальное механическое усилие (из-за несимметричного положения витка относительно катушки), выталкивающее виток из катушки. Аналогичным образом происходит взаимодействие и в других катушках. В результате якорь выталкивается в положение, показанное на рис. 1, б, где магнитная связь к. з. витков с катушками равна нулю, разгоняясь при этом до некоторой скорости, т. е. происходит преобразование магнитной энергии в механическую. Возврат якоря в исходное положение производится под действием другого импульса тока или каким-либо пассивным устройством.

Принцип действия описанного ИДД основан на явлении, открытом профессором Томсоном в 1887 г. [8], и аналогичен приводам по [1, 4, 7], однако характер энергопреобразования существенно отличается из-за

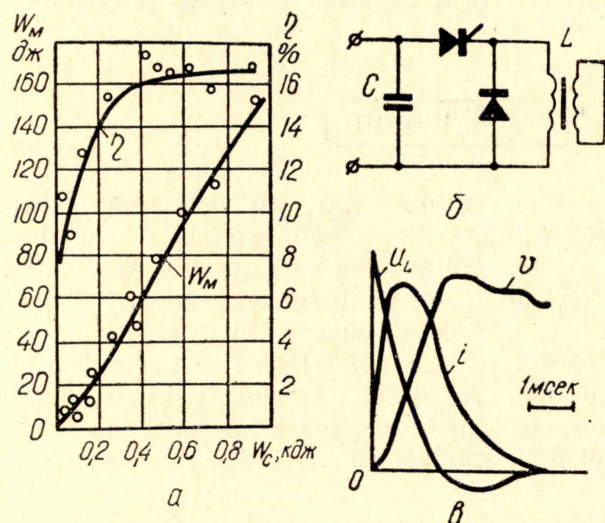


Рис. 2. Результаты исследования модели № 1: а) зависимость к. п. д. и кинетической энергии якоря W_M от начальной энергии конденсатора W_C ; б) схема формирования импульсов тока в катушках ИДД; в) осциллограмма тока i в катушках ИДД ($i_{\max}=1250$ а), скорости якоря V ($V_{\max}=8,3$ м/сек) и напряжения на зажимах ИДД U_L ($U_{L \max}=280$ в) при емкости конденсатора 6000 мкф

особенности конструктивного исполнения. Взаимная индуктивность первичного и вторичного контуров изменяется от максимума до нуля при сравнительно небольшом перемещении якоря, что выражается в значительно большей производной от взаимной индуктивности по перемещению. Это определяет более рациональное использование магнитной энергии (так как она практически вся преобразуется в механическую) при значительном механическом усилии по всей длине рабочего хода ИДД и снижение энергоемкости источника питания.

Конструктивное выполнение ИДД в виде нескольких пар катушка — к. з. виток (секций) применительно к использованию его в конкретном механизме имеет ряд положительных качеств.

Во-первых, можно простым образом менять отношение длины к диаметру индуктора при одной и той же мощности ИДД и времени срабатывания. Изменяя длину индуктора, можно также регулировать мощность ИДД. Во-вторых, непосредственно сам якорь, выполненный в виде стального штока, может передавать механическую энергию другим деталям механизма, в котором он используется. И, в-третьих, многосекционная конструкция ИДД допускает многоступенчатое ускорение якоря, что повышает использование активных материалов, а также позволяет осуществить торможение якоря путем подачи в соответствующие моменты времени в обмотки дополнительных импульсов тока.

На рис. 2, а представлены результаты экспериментальных исследований модели ИДД № 1, имеющей следующие параметры: индуктор с наружным диаметром $d=66$ мм, длиной $l=200$ мм; катушки по 20 витков каждая с сопротивлением $r=0,010$ ом, всего 4 штуки; якорь с диамет-

ром $d_{я} = 30$ мм с тремя медными к.з. витками и весом $m_{я} = 1,1$ кг; общий вес активных материалов $m_a = 3,5$ кг.

Генерирование импульсов тока в катушках, соединенных последовательно, производилось по схеме на рис. 2, б. Характерная осциллограмма процесса ускорения якоря приведена на рис. 2, в.

С целью более полного использования активных материалов четвертая секция работала в режиме обычного соленоидного электромагнита (см. рис. 1). Кривые к.п.д. электромеханического преобразования системы конденсатор — ИДД и максимальной кинетической энергии якоря построены в функции начальной энергии конденсатора при емкости последней 3000, 6000 и 9200 мкф, причем начальное напряжение менялось от 100 до 450 в. Максимальная кинетическая энергия якоря достигает 160 дж при к.п.д. системы 17%, причем к.п.д. нарастает до энергии якоря 80 дж, а затем рост его прекращается.

На рис. 3 представлены кривые зависимости к.п.д. от величины ускоряемой массы m (кривые а), которая создавалась путем прикрепления дополнительных грузов к якорю ИДД; и от числа секций n , в которые одновременно подавался импульс тока (кривые б), причем каждая кривая построена для одной и той же начальной энергии конденсатора. Видно, что к.п.д. уменьшается при увеличении ускоряемой массы и уменьшении числа секций.

На рис. 4,а представлены результаты экспериментальных исследований модели ИДД № 2, имеющей следующие параметры: индуктор с $d = 160$ мм; $l = 140$ мм; катушки по 68 витков каждая с $r = 0,070$ ом, всего две катушки; якорь с $d = 60$ мм с двумя медными к.з. витками и $m_{я} = 4$ кг, общий вес $m_a = 14$ кг. По сравнению с моделью № 1 здесь площадь меди катушки и к.з. витка увеличена в три раза. Емкость конденсатора менялась от 3000 мкф до 11000 мкф при начальном напряжении от 100 до 450 в. Получена максимальная энергия якоря 210 дж, причем к.п.д. системы сначала нарастал (до 24%), а затем медленно снижался (импульсы тока подавались по схеме на рис. 2,б). При больших энергиях в конечной стадии ускорения якоря наблюдалось сильное насыщение стали, поэтому в ИДД некоторая часть магнитной энергии оставалась неиспользованной. С целью выяснения принципиальной возможности эвакуации этой энергии использовалась схема по рис. 4,б, где конденсатор C_2 выбирался значительно меньшей емкости, чем основной конденсатор C_1 , заряжался до одинакового с последним начального напряжения и подключался к обмотке ИДД через соответствующий тиристор на конечной стадии разгона якоря. Происходил быстрый перезаряд конденсатора C_2 в отрицательную полярность с возвратом магнитной энергии из ИДД. Характерная осциллограмма такого процесса приведена на рис. 4,в. С учетом возвращенной энергии к.п.д. системы повысился до 32% (на рис. 4,а показано пунктирной линией).

Из рассмотрения кривых по рис. 2, а и 4, а можно заметить, что, не-

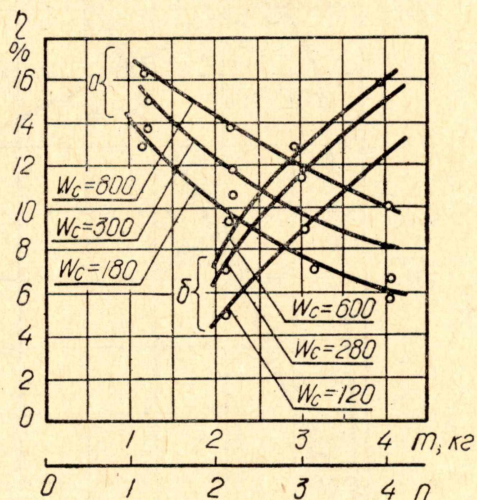


Рис. 3. Зависимости к.п.д. от величины массы m (кривые а) и числа одновременно включаемых катушек n (кривые б) при $m = 1,1$ кг.

смотря на некоторую вариацию параметров источника питания (емкости и напряжения конденсатора), к. п. д. и кинетическая энергия якоря зависят прежде всего от начальной энергии конденсатора. С ростом энергии в обоих случаях наблюдается рост к. п. д. Ограничение роста к. п. д. объясняется, по-видимому, сильным насыщением значительных участков магнитопровода в районе рабочего зазора двигателя. Таким образом, при более быстрых процессах энергопреобразования, характеризующихся большим отношением начальной энергии конденсатора к ускоряемой массе, к. п. д. выше, что согласуется с [9, 10].

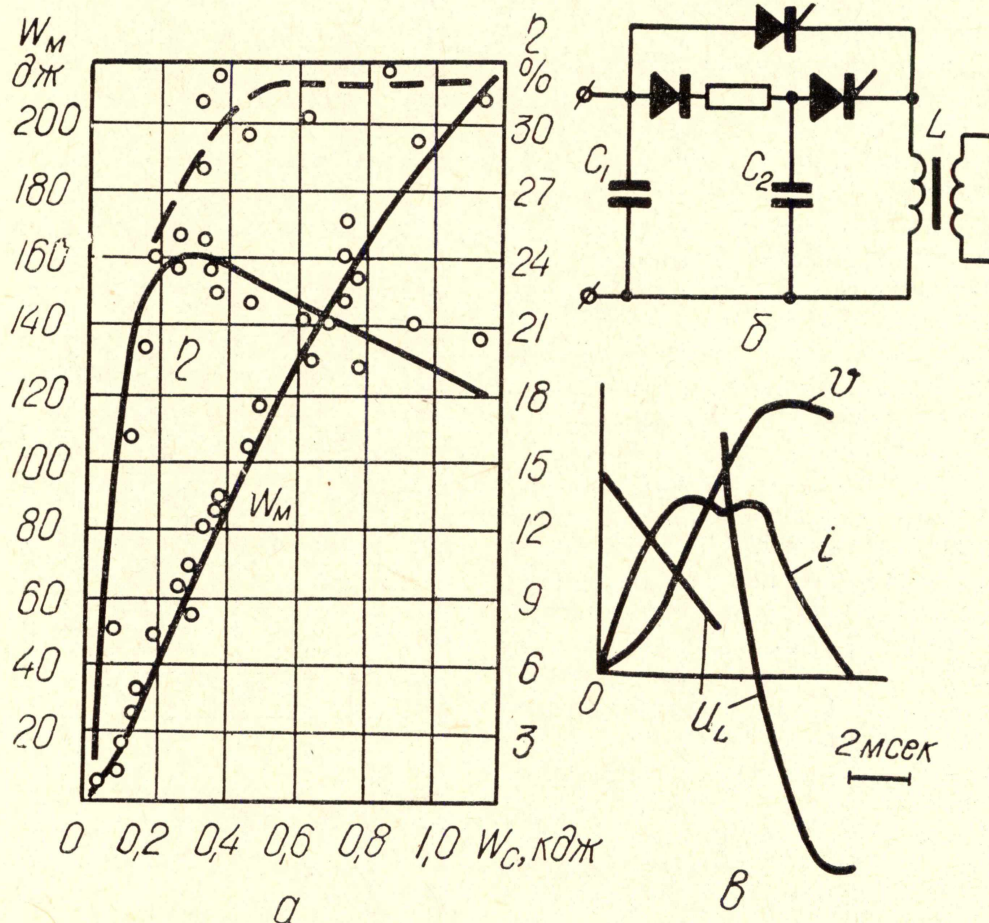


Рис. 4. Результаты исследования модели № 2: а) зависимости к. п. д. и W_M якоря от W_C . Пунктиром показан к. п. д. с учетом возвращенной энергии; б) схема формирования импульсов тока в катушках ИДД с возвращением остатка магнитной энергии в конденсатор C_2 ; в) осциллограмма тока ($i_{\max}=555 \text{ а}$), скорости якоря ($v_{\max}=8,1 \text{ м/сек}$) и напряжения ($U_{L\max}=400 \text{ в}$); $C_1=5900 \text{ мкф}$, $C_2=1740 \text{ мкф}$

При экспериментах было замечено, что питание катушек возбуждения импульсами тока чередующейся полярности сопровождается небольшим ($\sim 5\%$) повышением к. п. д. двигателя.

Путем подачи второго импульса тока в соответствующие моменты времени в катушки ИДД при движущемся якоре экспериментально осуществлялось двухступенчатое ускорение и плавное торможение якоря. За счет более высокой средней скорости на второй ступени ускорения к. п. д. возрастал в два раза. На основе модели № 1 был изготовлен отбойный молоток с регулируемой частотой и энергией ударов [11], а на основе модели № 2—устройство для исследования динамических свойств грунтов с регулируемой энергией и частотой импульсов.

Выводы

1. Индукционно-динамический привод по сравнению с электромагнитным (например, соленоидным) позволяет получать большие значения отношения энергии движения к весу двигателя, а его применение перспективно при необходимости создавать приводные устройства минимального веса.

2. Импульсная схема питания привода позволяет получать регулируемую в широких пределах частоту повторения рабочих циклов, в принципе от 0 до $3000 \div 5000$ в минуту.

3. Коэффициент полезного действия двигателя может быть не менее 30%, что открывает ему широкие возможности применения в различных устройствах типа вибраторов, ударных узлов, приводов коммутирующей аппаратуры с большой частотой коммутации и т. д.

4. Многоступенчатое ускорение подвижной части путем подачи последовательных импульсов тока в катушки возбуждения позволяет существенно повысить к. п. д. энергопреобразования. Применение схемы питания привода с рекуперацией остаточной энергии из технологических зазоров и насыщенных участков магнитопровода индуктора также увеличивает к. п. д.

ЛИТЕРАТУРА

1. Койн и Маллинз. Возвратно-поступательный индукционный механизм с критическим демпфированием.— «Приборы для научных исследований», 1967, № 5.

2. PROC. IEE, vol 116, No 1, January 1969, p. 173—179.

3. Авеллоун, Бьярд и Дэм. Быстродействующий электромагнитный затвор. «Приборы для научных исследований», 1967, № 12.

4. В. В. Ивашин, А. И. Блудов, А. М. Еленкин. Вентильно-механический аппарат для коммутации больших импульсных мощностей. «Изв. ТПИ», т. 160, Изд-во ТГУ, Томск, 1966.

5. И. М. Адоноев, В. В. Афанасьев, Л. Н. Карпенко. Быстродействующий электродинамический привод высоковольтных воздушных выключателей. «Электротехника», 1970, № 4.

6. Н. П. Ряшенцев, Е. М. Тимошенко, А. В. Фролов. Теория, расчет и конструирование электромагнитных машин ударного действия. Новосибирск, «Наука», 1970.

7. В. Я. Стариков. Описание электрического ударного инструмента, а. с. № 33499 по кл. 87 в, 3/04.

8. Г. И. Смирнов. 692 патента профессора Томсона. «Изобретатель и рационализатор», 1971, № 8.

9. А. Б. Новгородцев, Г. А. Шнеерсон. Энергетические соотношения в колебательном контуре, используемом для ускорения проводников электромагнитными силами. «Энергетика и транспорт», 1970, № 2.

10. В. Н. Бондалетов и Г. М. Гончаренко. Ускорение проводников в импульсном магнитном поле. ЖТФ. Т. 90. Вып. 10, 1970.

11. В. В. Ивашин, А. М. Еленкин. Разработка и исследование индукционно-динамического двигателя возвратно-поступательного движения для машин ударного действия. Сб. рефератов НИР, № 17—18, 1971.