

## УСТРОЙСТВО ЗАЩИТЫ КОМПЬЮТЕРНОЙ ИНФОРМАЦИИ ОТ НЕСАНКЦИОНИРОВАННОГО ДОСТУПА НА ОСНОВЕ ИНДУКЦИОННО-ДИНАМИЧЕСКОГО ДВИГАТЕЛЯ

Болух В.Ф., д.т.н., проф., Марков А.М., Лучук В.Ф., к.т.н., Шукин И.С., к.т.н., доц.  
Национальный технический университет "Харьковский политехнический институт"  
Украина, 61002, Харьков, ул. Фрунзе, 21, НТУ "ХПИ", каф. "Общая электротехника" и "Электрические машины"  
тел. (057) 70-76-427, E-mail: bolukh@kpi.kharkov.ua, tech@tetra.kharkiv.com.

*Запропонована концепція пристрою захисту комп'ютерної інформації від несанкціонованого доступу, виконаного на основі індукційно-динамічного двигуна з електронним керуванням. Встановлені особливості роботи електродвигуна при вільному початковому прискоренні та наступному різкому гальмуванні якоря, що виникає при взаємодії бойка з вінчестером комп'ютера. Розроблена конструкція пристрою та проведені його експериментальні дослідження і випробування.*

*Предложена концепция устройства защиты компьютерной информации от несанкционированного доступа, выполненного на основе индукционно-динамического двигателя с электронным управлением. Установлены особенности работы электродвигателя при свободном начальном ускорении и последующем резком торможении якоря, которое возникает при взаимодействии бойка с винчестером компьютера. Разработана конструкция устройства и проведены его экспериментальные исследования и испытания.*

### ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время на персональных компьютерах хранятся значительные объемы информации, представляющую высокую коммерческую или служебную ценности. Стоимость хранящейся на компьютере информации может многократно превышать стоимость самого носителя – винчестера (жесткого магнитного диска). Поэтому компьютер должен иметь защиту важной информации от несанкционированного доступа посторонними лицами при непосредственном обращении к винчестеру или через сеть, например Интернет [1]. Для предотвращения утечки такой информации наиболее целесообразным представляется ее уничтожение. В последнее время появилось целое семейство устройств, обеспечивающих защиту компьютерной информации от несанкционированного доступа. Все эти устройства стирают информацию с винчестеров при помощи возбуждаемого магнитного поля различного характера: сильного постоянного, импульсного, изменяющего направление, величину и частоту следования импульсов и др. [2-4]. Однако при воздействии внешним магнитным полем сохраняется возможность восстановления информации винчестера специальными средствами. Кроме того, известные устройства должны иметь мощный источник для возбуждения магнитного поля и значительные габариты. При этом сами винчестеры имеют защиту от внешних электромагнитных полей в виде электропроводящего и ферромагнитного корпуса. Именно поэтому в мировой практике информационной безопасности для полной сохранности рекомендуется физическое повреждение или уничтожение винчестера.

Исходя из этого, предлагается устройство защиты информации на компьютере от несанкционированного доступа, выполненное на основе автономного индукционно-динамического двигателя (ИДД), которое обеспечивает необратимое деформирование винчестера [5]. Над винчестером устанавливается исполнительный блок ИДД со стальным заостренным бойком. Устройство в сборе монтируется в короб системного блока компьютера. Получив управляющий импульс, например, с дистанционного пульта, по команде датчиков на вскрытие или изменения положения, по команде с телефона и др., ИДД через заданное

время срабатывания стремительно разгоняет якорь с бойком, который пробивает насквозь прочную крышку винчестера и хрупкие алюминиевые или стеклянные пластины – носители данных. От резкой остановки пластин привод винчестера выходит из строя, а магнитные головки разрушаются. Винчестер не подлежит восстановлению и с него не представляется возможным снятие информации.

Целью статьи является разработка устройства защиты компьютерной информации от несанкционированного доступа на основе индукционно-динамического двигателя, который должен питаться от низковольтного аккумулятора, обеспечивать необходимую ударную нагрузку, возможность многократного срабатывания для гарантированного пробивания винчестера и иметь ограниченные массогабаритные показатели.

### ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ И КОНСТРУКТИВНАЯ СХЕМЫ ИДД

Функциональная схема ИДД, предназначенного для пробивания отверстий в винчестере, включает (рис. 1): зарядное устройство ЗУ, аккумулятор А, преобразователь ПР, обеспечивающий на выходе ток высокой частоты, трансформаторно-выпрямительный блок ТВ, обеспечивающий повышение напряжения переменного сигнала и его выпрямление, емкостной накопитель ЕН, разрядник Р, датчик положения ДП, регистрирующий перемещение якоря с бойком, коммутатор К, формирователь импульсов тока ФИ, неподвижный индуктор И и ускоряемый электропроводящий якорь Я. Блок управления БУ обеспечивает запуск устройства защиты информации, задает величину напряжения и форму разрядного тока в индукторе. После подачи управляющего импульса осуществляется зарядка емкостного накопителя ЕН и при достижении определенного напряжения срабатывает разрядник Р и происходит импульсное возбуждение индуктора И. Перемещение якоря Я с бойком при прямом ходе осуществляется под действием электродинамической силы, действующей со стороны индуктора И, а при обратном ходе – под действием возвратной пружины. Такой цикл повторяется до проникновения бойка в винчестер на глубину, задаваемую

мую датчиком положения ДП.

Конструктивная схема ИДД содержит неподвижный индуктор с многovitковой обмоткой 1, которая уложена в стеклотекстолитовый кожух 2 и замонтирована эпоксидной смолой (рис. 2).

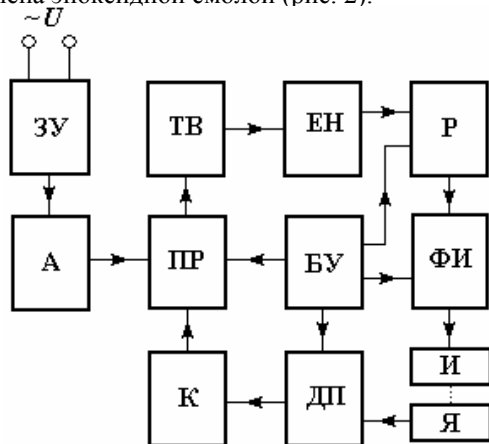


Рис. 1

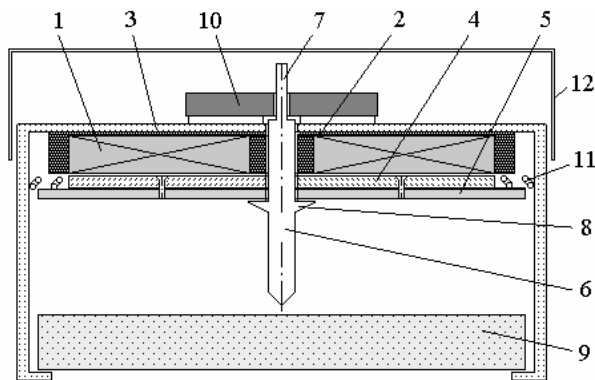


Рис. 2

Индуктор прикреплен к каркасу устройства 3. Напротив открытой стороны обмотки индуктора установлен медный якорь 4, который прикреплен к силовой пластине 5. В центре индуктора, якоря и силовой пластины выполнено отверстие, в котором расположен подвижный боек 6, имеющий концевую часть 7 и упорный выступ 8. Заостренная ударная часть бойка установлена напротив винчестера 9, зафиксированного относительно каркаса 3, концевая часть 7 – установлена в зазоре оптического датчика положения 10, а упорный выступ 8 механически взаимодействует с силовой пластиной 5. Пружина 11, прикрепленная к каркасу 3 и силовой пластине 5, обеспечивает плотное прижатие якоря 3 к обмотке 1 до и после силового импульса. Сверху устройство закрыто защитным кожухом 12.

#### МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ИДД

Как показывают исследования, рабочие характеристики ИДД, работающего в импульсном режиме с кратковременным рабочим циклом, во многом зависят от эффективного сочетания переходных электромагнитных процессов и механических нагрузок [6, 7]. При этом скорости протекания этих процессов должны быть согласованными. Поскольку при работе электродвигателя в массивном (одновитковом) якоре в каждый момент времени возникает существенная неравномерность распределения индуцированного тока, для расчета электрических процессов воспользуемся методикой, при которой якорь заменяется совокупностью элемен-

тарных короткозамкнутых токовых контуров, а индуктор представляется первичным контуром, подсоединенным к системе возбуждения от емкостного накопителя [8]. В таком случае расчетную электрическую схему, обеспечивающую циклическую работу ИДД, можно представить следующим образом (рис. 3). На схеме обозначены: 1 – неподвижный индуктор; 2 – массивный якорь, перемещаемый со скоростью  $V$ ; 3 – коммутатор, обеспечивающий периодический заряд емкостного накопителя от источника постоянного напряжения и последующий разряд на индуктор. Поскольку для емкостного накопителя  $C$  используются электролитические конденсаторы, имеющие повышенные массогабаритные показатели по сравнению с импульсными конденсаторами, то возбуждение ИДД должно осуществляться аperiodическими импульсами, для чего индуктор шунтирован обратным диодом  $VD$ .

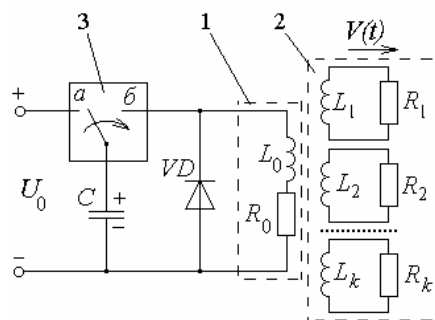


Рис. 3

Электрические процессы ИДД описываются системой дифференциальных уравнений:

$$R_0(T_0) \cdot i_0 + L_0 \frac{di_0}{dt} + \frac{1}{C} \int_0^t i_0 dt + M_{01}(z) \frac{di_1}{dt} + \dots + M_{0k}(z) \times$$

$$\times \frac{di_k}{dt} + V(t) \left( i_1 \frac{dM_{01}}{dz} + \dots + i_k \frac{dM_{0k}}{dz} \right) = U_0;$$

$$R_1(T_1) \cdot i_1 + L_1 \frac{di_1}{dt} + M_{01}(z) \frac{di_0}{dt} + M_{12} \frac{di_2}{dt} + \dots + M_{1k} \frac{di_k}{dt} +$$

$$+ V(t) \left( i_0 \frac{dM_{01}}{dz} + i_2 \frac{dM_{12}}{dz} + \dots + i_k \frac{dM_{1k}}{dz} \right) = 0;$$

$$R_k(T_k) \cdot i_k + L_k \frac{di_k}{dt} + M_{0k}(z) \frac{di_0}{dt} + M_{1k} \frac{di_1}{dt} + \dots + M_{k-1k} \times$$

$$\times \frac{di_{k-1}}{dt} + V(t) \left( i_0 \frac{dM_{0k}}{dz} + i_1 \frac{dM_{1k}}{dz} + \dots + i_{k-1} \frac{dM_{k-1k}}{dz} \right) = 0,$$

где  $i_0$ ,  $L_0$ ,  $R_0$  – соответственно ток, индуктивность и сопротивление индуктора;  $i_k$ ,  $L_k$ ,  $R_k$  – соответственно ток, индуктивность и сопротивление элементарного короткозамкнутого  $k$ -го контура массивного якоря, перемещающегося со скоростью  $V(t)$  вдоль оси  $z$  относительно индуктора;  $M_{kp}$  – взаимоиנדуктивность между  $k$  и  $p$  токовыми элементами двигателя ( $k \neq p$ );  $T_0$ ,  $T_k$  – температура 0-го и  $k$ -го токовых контуров;  $C$ ,  $U_0$  – емкость и зарядное напряжение емкостного накопителя соответственно.

Перемещение якоря с бойком возникает из-за электродинамической силы

$$f_z(t) = i_0(t_n) \cdot \sum_k i_k(t_n) \frac{dM_{0k}}{dz},$$

действующей на якорь со стороны индуктора. При этом их скорость можно представить в виде рекуррентного соотношения:

$$V(t_{n+1}) = V(t_n) + \frac{t_{n+1} - t_n}{m_1 + m_2} i_0(t_n) \cdot \sum_k i_k(t_n) \frac{dM_{0k}}{dz} - K_p \times \\ \times \Delta Z(t_n) - K_T \cdot V(t_n) - 0,125 \cdot \pi \cdot \gamma_a \beta_a D_{2m}^2 V^2(t_n),$$

где  $m_1, m_2$  - масса якоря и исполнительного элемента (силовой пластины и бойка) соответственно;  $K_p$  - коэффициент упругости пружины;  $\Delta Z(t)$  - величина перемещения;  $K_T$  - коэффициент динамического трения;  $\gamma_a$  - плотность воздуха;  $\beta_a$  - коэффициент аэродинамического сопротивления;  $D_{2m}$  - максимальный размер силовой пластины.

Для определения температуры, изменяемой во времени в течение рабочего процесса и распределенной по сечению индуктора и якоря, используется нелинейное уравнение теплопроводности в цилиндрической системе координат

$$c^*(T) \cdot \gamma \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda_w(T) \left( \frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) + j^2(t) \cdot k_z \cdot \rho(T),$$

где  $c^*(T)$  - усредненная удельная теплоемкость;  $\gamma$  - усредненная плотность материала;  $j(t)$  - плотность тока;  $\lambda_w(T)$  - коэффициент теплопроводности;  $k_z$  - коэффициент заполнения индуктора;  $\rho(T)$  - удельное сопротивление.

#### МОДЕЛИРОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ИДД

На основе представленных выражений разработана компьютерная программа, моделирующая работу ИДД с учетом всех основных характеристик и параметров. Рассмотрим особенности работы электродвигателя при свободном начальном ускорении и последующем резком торможении якоря, которое возникает при взаимодействии бойка с винчестером, после чего скорость якоря затухает по экспоненциальному закону

$$V(t) = V_e \exp(-t \cdot V_e / \Delta Z_e),$$

где  $V_e$  - скорость при контакте бойка с винчестером;  $\Delta Z_e$  - эффективное расстояние, на которое боек проникает вглубь винчестера.

На рис. 3 представлены рассчитанные усредненные плотности тока в обмотке индуктора  $j_1$  и якоря  $j_2$  при возбуждении индуктора апериодическим импульсом от емкостного накопителя и начальном зазоре между бойком и винчестером  $Z_e$ : 0 (тонкие линии); 1,5 мм (тонкие линии с метками); 3,0 мм (жирные линии) [9].

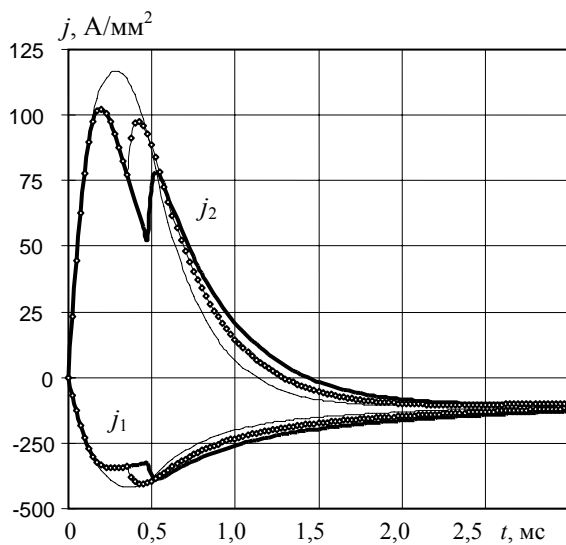


Рис. 3

Импульс тока в обмотке индуктора сохраняет полярность в течение рабочего цикла, а импульс тока в якоре через определенное время (1,2 - 1,5 мс) меняет полярность на противоположную. Вследствие этого изменяется характер аксиальной составляющей интегральной электродинамической силы  $F_z$ , действующей на якорь, от начального отталкивания до последующего притяжения (рис. 4). Причем, при отсутствии начального зазора между бойком и винчестером указанное изменение полярности происходит быстрее.

При отсутствии начального зазора между бойком и винчестером кривые плотностей тока в активных элементах имеют плавный характер, обусловленный отсутствием резких изменений в характере перемещения якоря. При наличии начального зазора  $Z_e$  на кривых появляются дополнительные всплески токов, обусловленные резким торможением якоря при взаимодействии бойка с винчестером.

На рис. 4 представлены аксиальная составляющая интегральной силы  $F_z$  и скорость  $V$  для рассматриваемого ИДД при условиях, аналогичных рис. 3.

$$\frac{F_z}{\text{кН}} \quad \frac{V}{\text{м/с}}$$

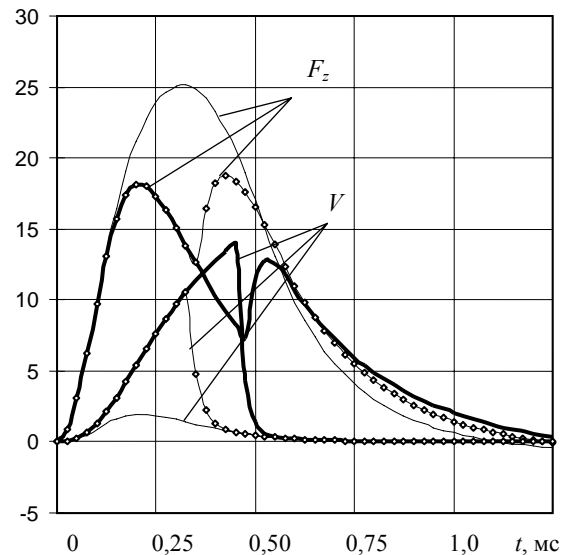


Рис. 4

При отсутствии начального зазора между бойком и объектом деформирования ( $Z_e=0$ ) якорь приобретает небольшую скорость  $V$  и заостренный боек совершает незначительное перемещение вглубь массивного объекта. Форма кривой аксиальной силы  $F_z$  имеет гладкий характер, изменяемый в зависимости от импульса тока возбуждения индуктора. При наличии начального зазора  $Z_e$  и свободном ускорении якоря наблюдается бросок электродинамической силы, связанный с резким торможением якоря при взаимодействии бойка с массивным объектом.

Помимо сложного характера временных зависимостей интегральных электродинамических сил, действующих на якорь в целом, наблюдается и существенная пространственная неравномерность распределения удельных сил, действующих на отдельные участки якоря. Последнее обстоятельство обусловлено неравномерностью распределения индуцированного тока по массиву якоря. На рис. 5 показаны распределения аксиальной  $f_z$  и радиальной  $f_r$  составляющих

удельных электродинамических сил, действующих на круглый якорь с наружным радиусом  $r_{ex}$  в различные моменты времени при начальном зазоре  $Z_e=0$ .

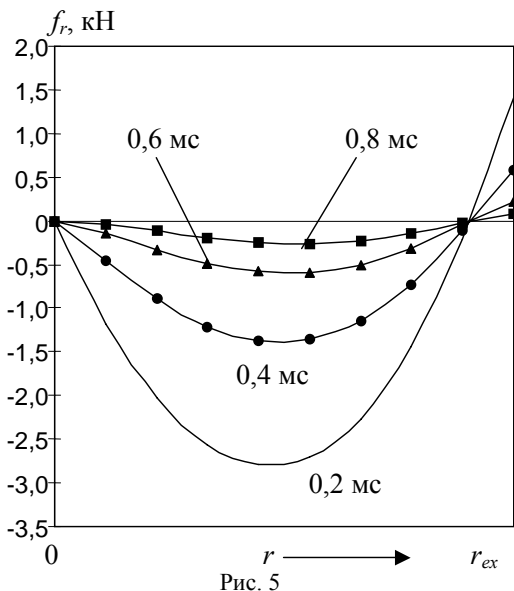
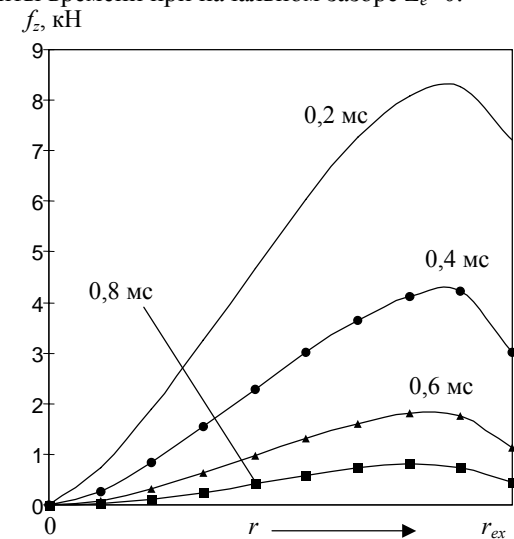


Рис. 5

Можно отметить существенную неравномерность распределения удельных сил по поверхности якоря. Аксиальные электродинамические силы  $f_z$  значительно превосходят радиальные  $f_r$ , причем максимальная их величина приходится на внешние участки якоря, что необходимо учитывать при конструировании устройства. Такое соотношение аксиальных и радиальных удельных электродинамических сил объясняется характером распределения результирующего магнитного поля в активной зоне ИДД, поскольку в зазоре между обмоткой индуктора и якорем магнитное поле в основном имеет радиальное направление.

На рис. 6 показано распределение силовых линий магнитного поля в момент максимума электродинамических сил, действующих на ускоряемый якорь. Здесь использованы обозначения, аналогичные рис. 2.

### КОНСТРУКЦИЯ УСТРОЙСТВА ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ

На базе проведенных исследований была разработана конструкция устройства защиты компьютерной информации от несанкционированного доступа

на основе автономного (питаемого от аккумулятора) ИДД с электронным управлением. Конструктивно устройство состоит из двух блоков: электронного и силового, которые соединены между собой силовыми и сигнальными проводами (рис. 7).

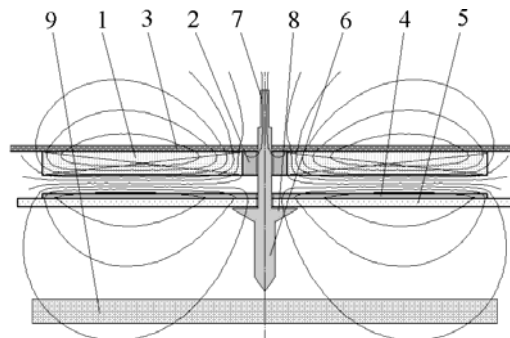


Рис. 6

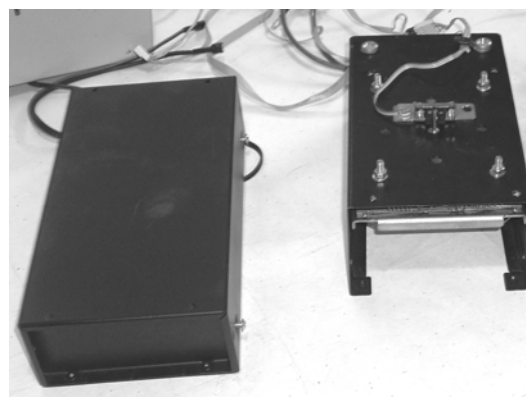


Рис. 7

В состав электронного блока входят (рис. 8): зарядное устройство для аккумулятора; преобразователь постоянного напряжения, обеспечивающий напряжение 450 В для емкостного накопителя из напряжения 12 В, поступающего от аккумулятора; батарея из 20 электролитических конденсаторов НТ (snap-in terminal type, miniaturized series) емкостью 150 мкФ и напряжением 450 В; спусковое устройство (разрядник), обеспечивающее разряд емкостного накопителя на индуктор при напряжении 430 В.



Рис. 8

В состав силового блока, схематически представленного на рис.9 входят: 1 – защитный кожух; 2 – оптический датчик положения бойка; 3 – каркас устройства; 4 – возвратные пружины; 5 – обмотка индуктора; 6 – якорь из одной или нескольких медных пластин; 7 – силовая пластина с направляющими выступами; 8 – электронный модуль, включающий силовой тиристор и диод; 9 – боек; 10 – винчестер.

При подаче переменного напряжения 220 В на электронный блок происходит зарядка аккумулятора током 40 мА (рис. 10).

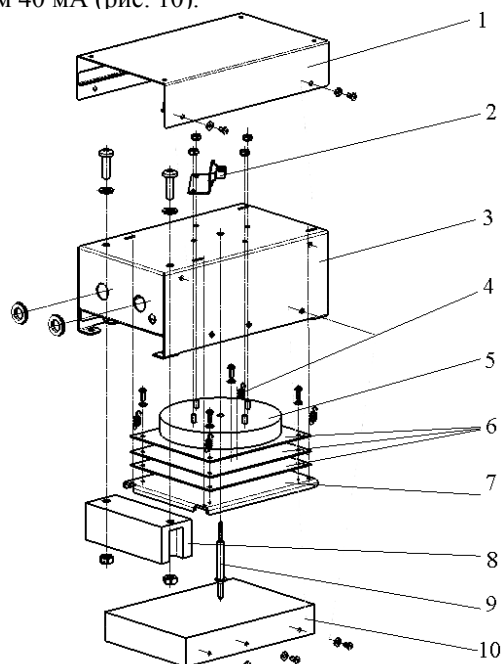


Рис. 9

При полном заряде аккумулятора включается красный светодиод, после чего процесс зарядки прекращается. Контакты реле автоматики включения должны коммутировать ток не менее 40 мА при напряжении 15 В. При замыкании контактов реле автоматики срабатывает реле К1.1, начинает работать преобразователь постоянного напряжения 12 В/ 450 В. Через определенное время, когда батарея конденсаторов С8 заряжается до напряжения 430 В, с помощью разрядника Р1 происходит автоматический разряд батареи конденсаторов на индуктор (L11, R11). Этот процесс будет повторяться до тех пор, пока не сработает датчик положения SQ1, установленный на силовом блоке. Это произойдет после того, как концевая часть бойка выйдет из зазора оптического датчика положения, т.е. боек проникнет вглубь винчестера на заданное расстояние.

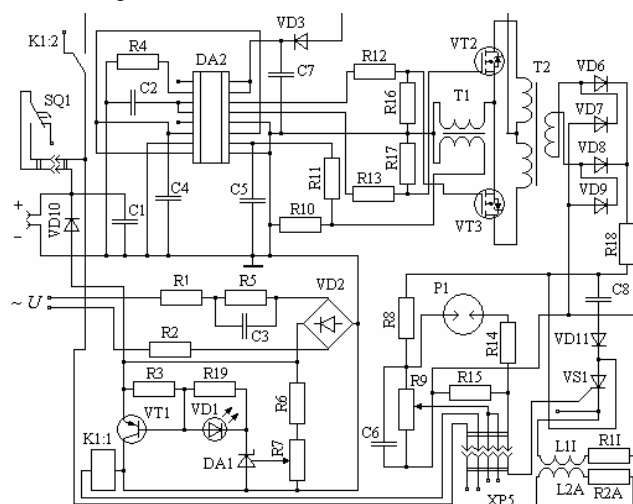


Рис. 10

На рис. 11 показан изготовленный и собранный

силовой блок (вид с торца). У этого блока пружины соединяют силовую пластину с каркасом при помощи перекрестных тяг.



Рис. 11

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Были проведены экспериментальные исследования устройства защиты информации, при которых с помощью электронного осциллографа RIGOL измерялись ток в индукторе и динамическое давление на неподвижный винчестер. Для измерения динамического давления использовался датчик M101A06, фирмы РСВ, который снабжен встроенным усилителем, характеризуется динамическим диапазоном 0,68-3450 кПа, чувствительностью 1,45 мВ/кПа и выдерживает максимальное давление 34,5 МПа. На рис. 12 показан измеренный ток в индукторе при отсутствии начального зазора между бойком и винчестером, который удовлетворительно совпадает с рассчитанным током (см. рис. 3). На рис. 13 показаны измеренные значения динамического давления, снятые при разрядном напряжении емкостного накопителя 200 В (а) и 350 В (б). Эти кривые удовлетворительно совпадают с рассчитанными значениями интегральной электродинамической силы  $F_z$  (см. рис. 4).

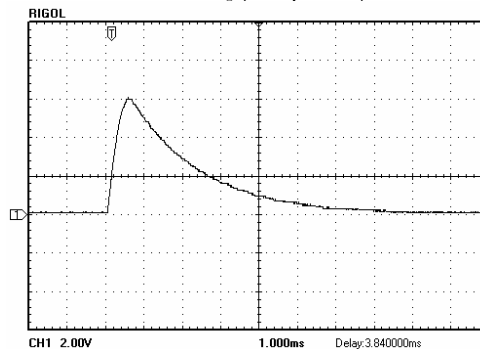


Рис. 12

В табл. 1 представлены основные электромагнитные и механические параметры ИДД, развиваемые в устройстве защиты компьютерной информации.

В целом экспериментальные исследования подтвердили достоверность расчетной методики и работоспособность устройства защиты компьютерной информации.

Как установлено в процессе испытаний, пробой стандартного винчестера бойком происходит после 1 удара, на что необходимо 3 с после подачи запускающего импульса. В случае использования винчестера с особо прочным корпусом устройство возбуждает серию последовательных силовых импульсов для проникновения бойка на заданную глубину. При этом

для возбуждения двух импульсов необходимо 7 с, для трех – 10 с и т.д. Отметим, что за три импульса пробивался винчестер с самым прочным корпусом.

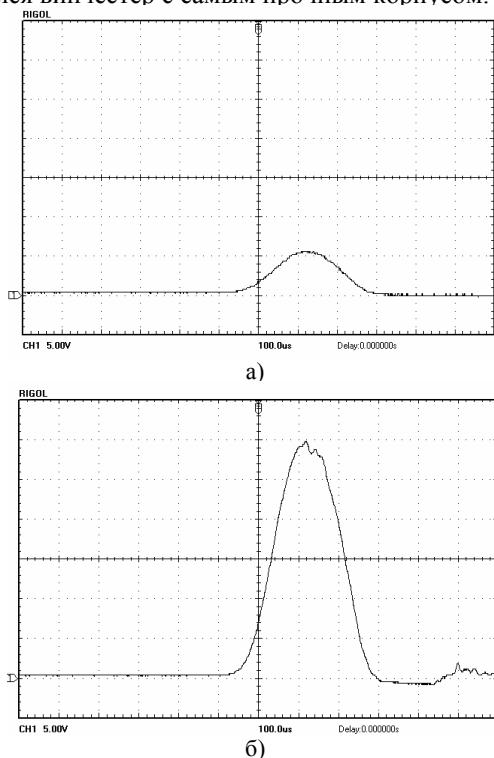


Рис. 13

Таблица 1

Мощность в импульсе	10 кВт
Энергия удара	30 Дж
Величина импульса тока индуктора	2,4 кА
Максимальная скорость якоря	13,6 м/с
Продолжительность включения	0,5 %
Частота работы	20 мин <sup>-1</sup>
Вес устройства	1,5 кг
Диаметр бойка	5 мм
Ход бойка	15 мм

На рис. 14 показан общий вид винчестера со снятой крышкой после срабатывания устройства защиты.



Рис. 14

Предлагаемая технология защиты информации защищена патентами [5, 10] и характеризуется высокой эффективностью. По заключению специалистов по восстановлению винчестеров компании Ontrack Data Recovery, которые гарантируют среднюю эффективность восстановления данных винчестера на уровне 75%, в том числе после воздействия внешнего магнитного поля, на данный момент не существует технологии, с помощью которой можно было бы восста-

новить информацию, когда в пластинах винчестера есть дырка. При этом отмечаются следующие повреждения винчестера: сквозные отверстия во всех пластинах с магнитным слоем, деформация блока головок, нарушение геометрии пластин (видно по отражению света на пластинах) и микротрещины магнитного слоя в районе удара.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложена концепция устройства защиты компьютерной информации от несанкционированного доступа, выполненного на основе ИДД с электронным управлением.

Для расчета параметров и характеристик ИДД, работающего в импульсном режиме с кратковременным рабочим циклом, использована методика, учитывающая переходные электромагнитные процессы с изменяемыми параметрами и механические нагрузки.

Установлены особенности работы электродвигателя при свободном начальном ускорении и последующем резком торможении якоря, которое возникает при взаимодействии бойка с винчестером.

Разработана конструкция устройства защиты компьютерной информации, состоящего из электронного и силового блоков.

Проведены экспериментальные исследования, которые подтвердили достоверность расчетной методики и работоспособность устройства защиты информации.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Спесивцев А.В. Защита информации в персональных компьютерах. – М., Радио и связь. 1992, С. 140-149.
- [2] Пат. РФ № 2206131. Способ стирания информации на магнитном носителе и устройство для его осуществления / Гумиров Р.Ф. – МКИ G11B5/024. – 10.06.2003.
- [3] Пат. РФ № 2210807. Устройство защиты информации / Шапкин Д.И. – МКИ. G06F12/14, G11B5/024 – 20.08.2003.
- [4] Пат РФ № 2256955. Устройство оперативного уничтожения информации на магнитных носителях / Сапунов А.С., Кузнецов О.А. – МКИ G11B5/024. – 20.07.2005.
- [5] Пристрій для захисту інформації, розміщеної на носії запису, від несанкціонованого доступу / Боллох В.Ф., Марков О.М., Лучук В.Ф., Щукін І.С. – З. № 200505448. – Заявл. 07.06.2005. – МПК G11B5/024. Рішення про видачу патенту України від 09.08.2007.
- [6] Чемерис В.Т., Васильковский Ю.Н., Петровский В.П. и др. Физическое моделирование особенностей ускорения якоря в импульсном электромеханическом преобразователе индукционного типа // Техн. электродинамика. – 1986. - № 3. – С. 66-68.
- [7] J.A.Andrews, J.R.Devine, "Armature design for coaxial induction launchers", *IEEE Trans. Magnetics*, vol. 27, № 1, pp. 639-643, 1991.
- [8] Боллох В.Ф., Марков А.М., Лучук В.Ф., Щукін І.С. Теоретические и экспериментальные исследования индукционно-динамического двигателя, возбуждаемого от полярного емкостного накопителя // Техн. электродинамика. Тем. выпуск: Проблемы сучасної електротехніки. - 2006. - Ч. 2. - С. 65-70.
- [9] Боллох В.Ф., Марков А.М., Лучук В.Ф., Щукін І.С. Исследование индукционно-динамического двигателя при наличии ускорительной и тормозной фаз рабочего процесса // *Електротехніка і електромеханіка*. – 2007. - № 2. – С. 13-18.
- [10] Пат. РФ № 2305329, МКИ G11B 5/024. Способ защиты информации и устройство для его осуществления / Боллох В.Ф., Марков А.М., Лучук В.Ф., Щукін І.С. – З. № 2005120956. – Заявлено 04.07.2005. – Опубл. 28.08.2007, Бюл. № 24. – 9 с.