



Рис. 6. Окно представления результатов опытов.

### Выводы

Успешное внедрение данной системы демонстрирует возможность и целесообразность применения цифровых систем управления для решения подобных задач в различных областях современной техники. Использование цифровой системы позволило значительно упростить процесс настройки регулятора, расширить рабочий диапазон установки, увеличить функциональные возможности и облегчить работу оператора по обслуживанию стенда, за счет применения персонального компьютера.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Грибов А. Н., Журавлев Ю. Н., Мацевич В. Г. Вибровозбудитель низкочастотной вибрации с активной магнитной подвеской подвижной части // Современные проблемы совершенствования средств измерения механических величин. – Л.: Энергоатомиздат, 1986. – С. 77-82.
2. Журавлев Ю. Н. Активные магнитные подшипники: Теория, расчет, применение. – Спб.: Политехника, 2003. – 206 с.
3. Куо Б. Теория и проектирование цифровых систем управления. – М.: Машиностроение, 1986. – 447 с.
4. Изерман Р. Цифровые системы управления. – М.: Мир, 1984 – 541 с.

В.А. ИВАНОВ, А.И. МАРКЕВИЧ

## РЕЗОНАНСНЫЙ ИНВЕРТОР ТОКА

Рассмотрена возможность построения инвертора с использованием силового управляемого LC-колебательного контура. Приведены соотношения между параметрами зарядного и разрядного колебательных контуров, последовательность их работы.

Для электропитания приемников непромышленной частоты на кафедре Электроэнергетики разработан инвертор с использованием силового колебательного контура.

Устройство содержит управляемый выпрямитель 1, соединенный с инвертором 2 через дроссель 3 (рис.1). К выходу инвертора 2 подключена нагрузка через выходной трансформатор

4. Инвертор 2 содержит 5 и 6 конденсаторы, тиристоры 7-10, причем тиристоры 9,10 зашунтированы встречно включенными диодами 11, 12, дополнительный дроссель 13 с полуобмотками 14 и 15 [1].

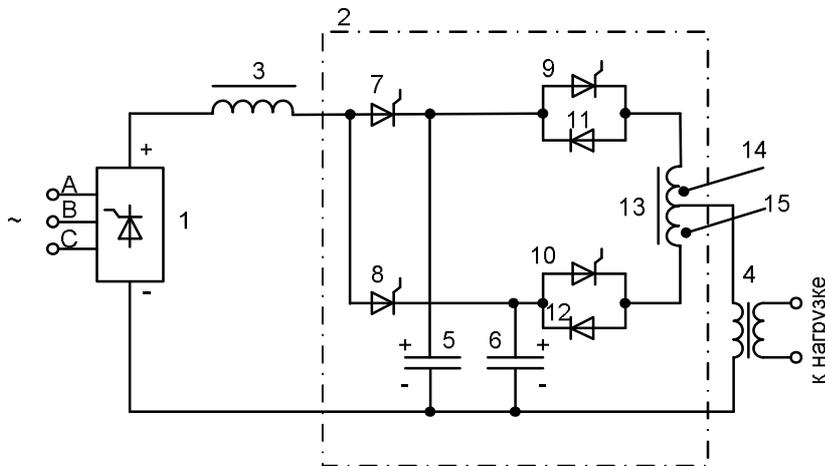


Рис.1

Индуктивности полуобмоток 14 и 15 дросселя 13, с учетом индуктивности первичной цепи трансформатора 4 и емкости конденсаторов 5 и 6 выбраны так, что разряд носит колебательный характер с частотой собственных колебаний, равной рабочей частоте преобразователя. Кроме этого, дроссель 13 с полуобмотками 14 и 15 служит для коммутации тиристора 9 (10) и диода 12 (11).

Устройство работает следующим образом.

Предположим, что к моменту времени  $t_0$  (рис.2б, в) конденсаторы 5 и 6 заряжены с полярностью, указанной на рис. 1.

В момент времени  $t_0$  открывается тиристор 9 и до момента времени  $t_1$  (рис.2а) через первичную обмотку трансформатора 4 протекает положительная полуволна тока от колебательного разряда конденсатора 5. К диоду 11 в это время приложено обратное напряжение и он находится в непроводящем состоянии. Одновременно с открыванием тиристора 9 и появлением тока через коммутирующий дроссель 13 в полуобмотке 15 со стороны полуобмотки 14 индуцируется напряжение, запирающее диод 12 и поддерживающее на его аноде отрицательный потенциал по отношению к катоду. Этим обеспечивается коммутация тиристора 9 и диода 12, что исключает броски уравнивающего тока через них. В момент времени  $t_1$  ток через тиристор 9 падает до нуля и он закрывается. К этому же моменту времени меняется полярность напряжения на конденсаторе 5, при этом диод 11 смещается в прямом направлении, и с момента времени  $t_1$  до момента времени  $t_2$  (рис.2а) через первичную обмотку трансформатора протекает отрицательная полуволна тока от колебательного разряда конденсатора 5. В момент времени  $t_2$  ток через диод падает до нуля, и на этом колебательный разряд конденсатора 5 в течение одного периода заканчивается.

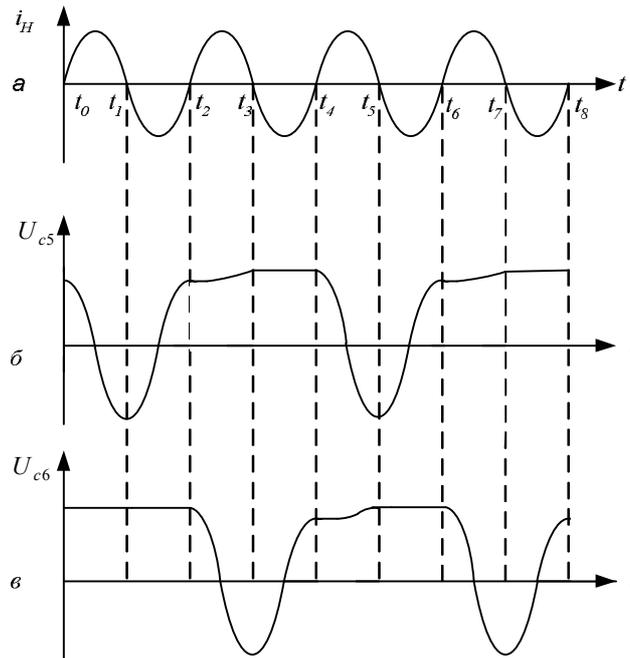


Рис.2

В этот же момент времени открывается тиристор 10 и с момента времени  $t_2$  до момента времени  $t_3$  (рис.2а) формируется положительная полуволна тока через первичную обмотку трансформатора 4 от колебательного разряда конденсатора 6. К диоду 12 в это время приложено обратное напряжение и он находится в непроводящем состоянии. Одновременно с открыванием тиристора 10 и появлением тока через коммутирующий дроссель 13 в полуобмотке 14, со стороны полуобмотки 15 индуцируется напряжение, запирающее диод 11 и поддерживающее на его аноде отрицательный потенциал по отношению к катоду. Этим обеспечивается коммутация тиристора 10 и диода 11, что исключает броски уравнивающего тока через них.

В момент времени  $t_3$  ток через тиристор 10 спадает до нуля и он закрывается. С момента времени  $t_3$  до момента времени  $t_4$  (рис.2а) диод 12 будет смещен в прямом направлении и формируется отрицательная полуволна тока через первичную обмотку трансформатора 4 от разряда конденсатора 6. На этом цикл разряда двух конденсаторов заканчивается и в дальнейшем процессы повторяются. В результате через нагрузку протекает непрерывный переменный ток (рис.2а). Наличие коммутирующего дросселя 13 обеспечивает также работу преобразователя в режиме принудительной коммутации, который может иметь место при случайном изменении сопротивления нагрузки.

Заряд конденсатора 5 осуществляется при открывании тиристора 7, одновременно с разрядом конденсатора 6, с момента времени  $t_2$  до момента времени  $t_3$  (рис.2б), а конденсатор 6 – при открывании тиристора 8, одновременно с разрядом конденсатора 5, с момента времени  $t_4$  до момента времени  $t_5$  (рис.2в), т.е. в течение полупериода рабочей частоты преобразователя. Такая последовательность заряда сохраняется и в дальнейшем.

В общем случае длительность заряда конденсаторов может быть выбрана и другой, причем как большей, так и меньшей. На рис.2б, видно, что заряд конденсатора, например, 5, должен происходить в интервале от момента времени  $t_2$  до момента времени  $t_4$ , но не более периода рабочей частоты преобразователя.

При колебательном заряде и разряде конденсаторов мгновенные значения токов

$$i_1(t) = \frac{E - U_{c0}}{\omega_1 L_1} e^{-(\omega_1 t) / \sqrt{4Q^2 - 1}} \sin(\omega_1 t); \quad (1)$$

$$i_2(t) = -\frac{kE}{\omega_2 L_2} e^{\frac{\omega_2(t-t_2)}{\sqrt{4Q_2^2-1}}} \sin[\omega_2(t-t_2)] \quad (2)$$

где  $i_1(t)$ ,  $i_2(t)$  – зарядный и разрядный токи конденсатора 5(6);  $U_{c0}$  – начальное напряжение на конденсаторе в квазиустановившемся режиме работы инвертора на этапе заряда

$$U_{c0} = E \frac{1 + e^{-\pi/\sqrt{4Q_1^2-1}}}{e^{2\pi/\sqrt{4Q_2^2-1}} + e^{-\pi/\sqrt{4Q_1^2-1}}}; \quad (3)$$

$\omega_1, \omega_2$  – собственные угловые частоты зарядного и разрядного контуров;

$$\omega_1 = \sqrt{\frac{4Q_1^2-1}{4Q_1^2 L_1 C}}; \quad \omega_2 = \sqrt{\frac{4Q_2^2-1}{4Q_2^2 L_2 C}}; \quad (4)$$

$Q = \rho_1 / r_1$ ;  $Q = \rho_2 / R_n$  – добротности зарядного и разрядного контуров;  $\rho_1 = \sqrt{L_1 / C}$ ,  $\rho_2 = \sqrt{L_2 / C}$  – волновые сопротивления зарядного и разрядного контуров;  $r_1$  – активное сопротивление, учитывающее потери в зарядном контуре;  $k$  – коэффициент кратности напряжения  $U_{cm}$  на конденсаторе, показывающий во сколько раз оно превышает напряжения источника питания,

$$k = \frac{U_{cm}}{E} = \frac{1 + e^{-\pi/\sqrt{4Q_1^2-1}}}{1 + e^{-\pi[1/\sqrt{4Q_1^2-1} + 2/\sqrt{4Q_2^2-1}]}]; \quad (5)$$

$t$  – текущее время, отсчитываемое от момента включения тиристора 7 (8);  $t_1$  – время, соответствующее моменту включения тиристора 9 (10).

Величина напряжения, до которого заряжаются конденсаторы, определяется добротностями зарядных и разрядных контуров, и в общем случае может составлять от  $U_{dcp}$  до  $2U_{dcp}$  ( $U_{dcp}$  – выходное напряжение управляемого выпрямителя 1), рис.2б,в. Это дает возможность при определенной мощности применять выпрямитель с меньшим выходным напряжением, т.е. уменьшить его установленную мощность.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. А.с. № 1385210 СССР. Инвертор/ А.И.Маркевич, А.А.Иванов, В.А.Иванов.// Открытия. Изобретения. 1988. №12.  
А.И. Маркевич, А.А. Иванов. Анализ резонансного инвертора с промежуточными емкостными накопителями. // Электротехника, 1989. №12.

А.В. ИЛЬИН, И.В. ПЛОХОВ

## МОДЕЛИРОВАНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ СТЯГИВАНИЯ

### *Сопротивление стягивания*

При контакте двух шероховатых тел общая поверхность соприкосновения распадается на множество отдельных пятен. В связи с этим при прохождении потока энергии через такую поверхность преодолевается дополнительное сопротивление, вносимое нарушением однородности линий потока, называемое сопротивлением стягивания.

Для вычисления сопротивления стягивания Хольмом [1] было предложено учитывать две компоненты, соответствующие стягиванию к группе пятен и стягиванию в пределах данной группы. Для тел с одинаковым удельным сопротивлением  $\rho$ , содержащих одну группу круглых, равномерно распределенных пятен получено выражение