

## ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО ИЗСЛЕДВАНЕ НА ЕЛЕКТРОМАГНИТНАТА СИСТЕМА НА СЕПАРАТОР, РАБОТЕЩ С ИМПУЛСНИ МАГНИТНИ ПОЛЕТА

**Ромео Александров**

*Минно-Геоложки Университет "Св. Иван Рилски" – София 1700 България*

**РЕЗЮМЕ.** За намиране на управляващите параметри на системата за магнитна сепарация се налага изследване на преходни процеси в нелинейни вериги. При тях между електрическите и магнитните величини съществуват значително по-сложни зависимости, които най-често се представят под формата на експериментално снети криви или числови стойности в табличен вид. Експериментално е изследвано магнитното поле в магнитопровода на електромагнитите.

### EXPERIMENTAL RESEARCH OF ELECTROMAGNETIC SEPARATOR SYSTEM WORKING WITH IMPULSE MAGNETIC FIELDS

*Romeo Alexandrov*

*University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski" – 1700 Sofia Bulgaria*

**ABSTRACT.** To find the parameters running the magnetic separation system is necessary to study transient processes in nonlinear circuits. There are significantly more complex relationships between electric and magnetic variables in them which are most often presented in the form of experimental taken curves or numeric values in tabular form. The magnetic field is experimentally studied in the core of the electromagnets of the separator.

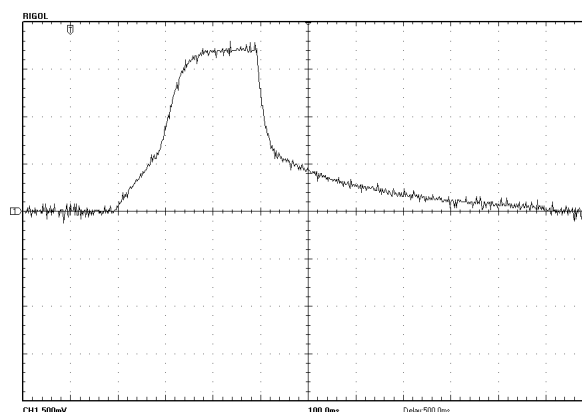
### Въведение

При експерименталните изследвания на схемата, публикувана в (Александров 2011), за управление на физически модел на електромагнитен сепаратор се установи появата на изразена нелинейност при изменението на тока (фиг. 1), което очевидно се дължи на голямата стойност на протичащите импулсни токове, необходими за създаването в сравнително големия обем на работната неферомагнитна среда на поле със значителна магнитна индукция. В ограничения обем на феромагнитната сърцевина това води до насищане на магнитопровода. Тази особеност затруднява проектирането на управляващото устройство на електромагнитния сепаратор. За намиране на управляващите параметри на системата за магнитна сепарация се налага изследване на преходни процеси в нелинейни вериги.

За разлика от линейните, в нелинейните вериги между електрическите и магнитните величини съществуват значително по-сложни зависимости, които най-често се представят под формата на експериментално снети криви или числови стойности в табличен вид.

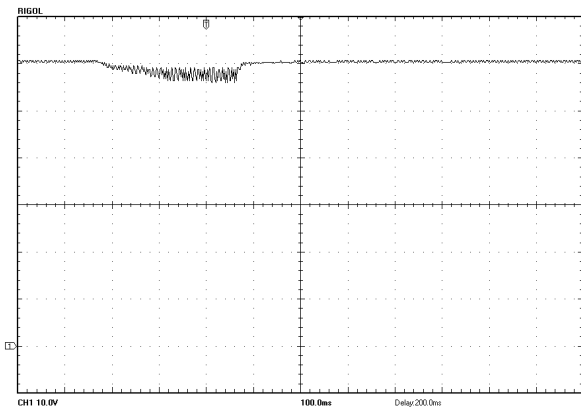
На фиг. 1 е показана осцилограмата на тока, снет върху измерителен шунт със стойност  $0,1\Omega$ , през електромагнитите на сепаратора при подаване на импулс от постоянно напрежение. Времетраенето на импулса е  $300\text{ms}$ , отговарящо на нарастващия фронт и установената стойност на

токовия импулс, Импулси с времена от такъв порядък се използват по технологични съображения.



Фиг. 1

Напрежението на постояннотоковата шина на силовото електронно устройство снабдена с електролитен кондензатор с голям капацитет, по време на импулса е показано на фиг. 2. Спадът в напрежението е по време на създадения от устройството напрежен импулс подаден на изводите на електромагнитната система на сепаратора.

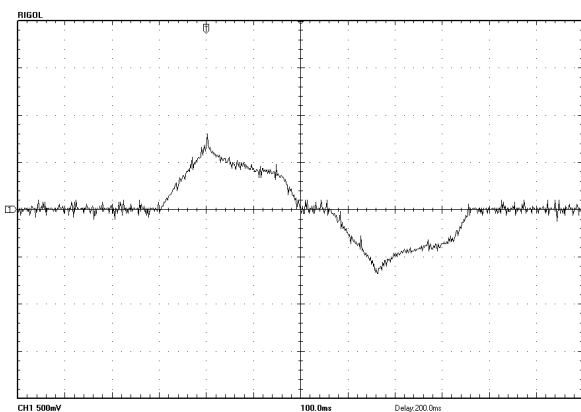


Фиг. 2

Чрез промяна на зададеното времетраене на напрежените импулси може да се формира токов импулс с определени параметри.

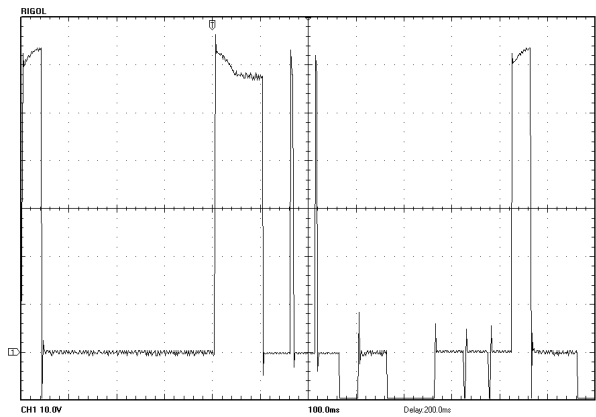
### Формиране на токови импулси в електромагнитната система на сепаратора

На фиг. 3 са показани формираните положителен и отрицателен токови импулси с продължителност 300ms. Ако се приеме, че идеалната форма на токовия импулс е правоъгълна, така формираният импулс е с форма максимално близка до нея. Стръмният преден фронт на тока със скорост на нарастване по-голяма от  $50A.s^{-1}$  при сравнително голямата индуктивност на електромагнитите се дължи на използването на напрежениви импулси с голяма стойност (фиг. 4 и фиг. 5). Платото на токовия импулс се формира чрез допълнително импулсно напрежение в зависимост от отношението на времето на импулса и периода на поредицата. За формиране на спадания фронт на силовия токов импулс се използва спецификата на мостовия преобразувател - диодите за обратна проводимост на противоположните управляеми електронни ключове, те създават условия за подаване на обратен напрежение.

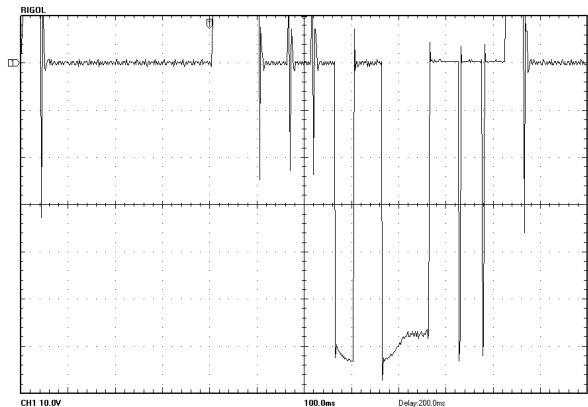


Фиг. 3

На фиг. 4 и фиг. 5 са показани съответните положителни и отрицателни напрежениви импулси отговарящи на тока от фиг. 3 (осцилограмите на напреженията са снети при превключена сонда по 10). Представянето на напрежението на две фигури е с цел по детайлно показване на импулсите.

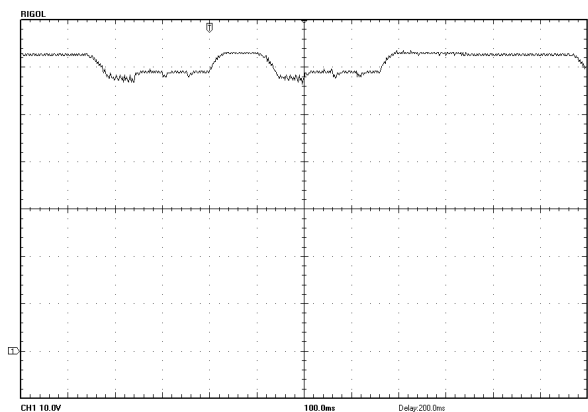


Фиг. 4



Фиг. 5

На фиг. 6 е показано напрежението на постоянно-токовата шина отговарящо на тока от фиг. 3 и напреженията от фиг. 4 и фиг. 5. За разлика от напрежението от фиг. 2 тук напрежението в края на токовия импулс се повишава за сметка на върнатата към електролитния кондензатор електромагнитна енергия, запасена по време на намагнитването, в електромагнитната система. Стойността на нарастване на това напрежение е критично по отношение безаварийната работа на силовото електронно устройство и зависи от капацитета на кондензатора на постоянно-токовата шина при определени технологични изисквания към електромагнитната система и токовия импулс.



фиг. 6

## Снемане на опитни данни и построяване на нормирани характеристики на електромагнитите на сепаратора.

За получаване на конкретни резултати е необходимо експерименталното изследване на магнитното поле в магнитопровода на електромагнитите. При експеримента от съществено значение е изборът на метод и средства за измерване.

В индукционните преобразуватели е залегнал принципът на закона за електромагнитната индукция. Те преобразуват измерваната величина в пропорционално на нея напрежение.

$$e = -\frac{d\psi}{dt}; \quad (1)$$

Индукционният преобразувател представлява бобина, която обхваща пълен магнитен поток  $\psi$ , променящ се във времето. Ако измерителната бобина има  $w$  навивки (1) може да се представи във вида

$$e = -w \frac{d\Phi}{dt} = -ws \frac{dB}{dt}, \quad (2)$$

където  $s$  е площта на заградения от измерителната бобина магнитен поток.

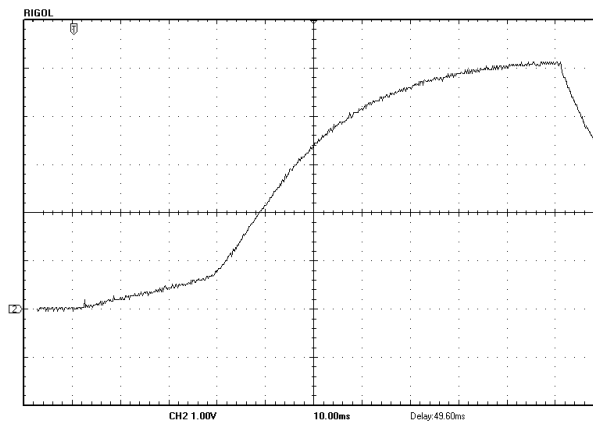
При пасивните преобразуватели в процеса на измерването геометрията на преобразувателя и свойствата на ядрото остават неизменни, а индуктираното напрежение се получава вследствие на изменението на магнитното поле. (Матраков, Б., Д. Русев, Ж. Костов. 1985.) Когато обхванатият от бобината поток се изменя, изменението на изходното напрежение може да се снее под формата на числови данни с помощта на запомнящ цифров уред снабден с подходящ аналого-цифров преобразувател. След интегриране на тези данни се получава пълният магнитен поток  $\psi$ , променящ се с течение на времето. При допълнителна математическа обработка могат да се намерят магнитният поток и магнитната индукция. В (2) с  $\Phi$  и  $B$  са означени нормалните (спрямо  $s$ ) компоненти на потока и индукцията на преобразувателя.

При измерване с помощта на измервателна бобина всяка от навивките  $w$  обхваща магнитен поток  $\Phi$ . Потокосцеплението  $\Psi = w\Phi$  е първичната измервана, т.е. входната, за индукционния преобразувател, величина.

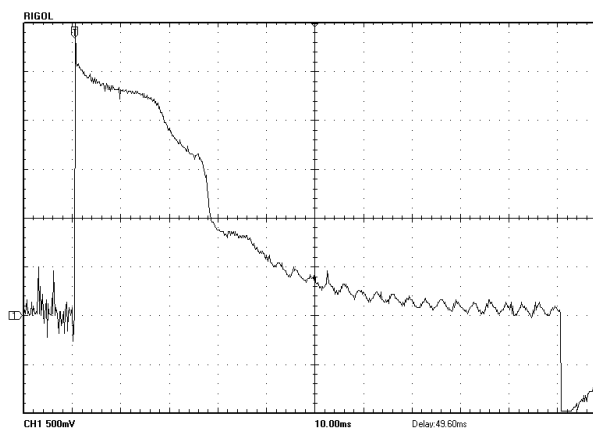
Измерваната величина, в зависимост от измервателния уред, включен в схемата, и в зависимост от вида на магнитното поле, може да е електродвижещо напрежение, ток, или количество електричество. В случая величината е електродвижещо напрежение, а за измервателен уред се използва цифров осцилоскоп.

Всички експериментални изследвания са направени върху един от електромагнитите на сепаратора с помощта на запаметяващ осцилоскоп. Чрез него се записва файл състоящ се от числови стойности на текущата величина в

определени моменти от време (т.е. дискретизира сигнала). Полученият файл е във формат, който се разчита освен от Excel и от обикновени текстообработващи програми (Notepad и др.). Това е подходящо за по-нататъшна програмна обработка на резултатите. За изчисляване на потока е създаден програмен код в програмата Matlab, с помощта, на който се начертават времевите характеристики на тока и потока, а така също и Вебер-амперните характеристики на електромагнита.



Фиг. 7



Фиг. 8

За получаване характеристиките е използван следният подход. Едновременно се снемат данните за тока през намагнитващата бобина и електродвижещото напрежение на измерителната бобина. Измерването се прави при подаване на стъпален напреженов импулс на изводите на намагнитващата бобина на експерименталния електромагнит. За потока се съди по интегрирания сигнал на електродвижещото напрежение, получено на изводите на измервателна бобина (пасивен индукционен преобразувател).

За изчисляване на потока е избран характерен участък от магнитната верига, а именно феромагнитната част на магнитопровода обхващаща възможно най-добре магнитния поток. В този участък се снемат индуктираното електродвижещо напрежение в измервателната бобина, разположена по подходящ начин.

Едната сондата на осцилоскопа е свързана към шунтово съпротивление със стойност  $0,1\Omega$  последователно свързано с намагнитващата бобината на електромагнита.

Обхватът на този канал е 1 V/деление, а обхватът за времето е 10ms/деление. Напрежението на подавания импулс от управляващото устройство е със стойност 580V и времетраене 100ms. Графиката на изменението на тока през бобината, за времето на подавания от управляващото устройство импулс е дадена на фиг. 7. По същото време, с другата сонда е снето индуктираното електродвижещо напрежение (фиг. 8) в измервателна бобина с 10 навивки, навита върху феромагнитната част на магнитопровода.

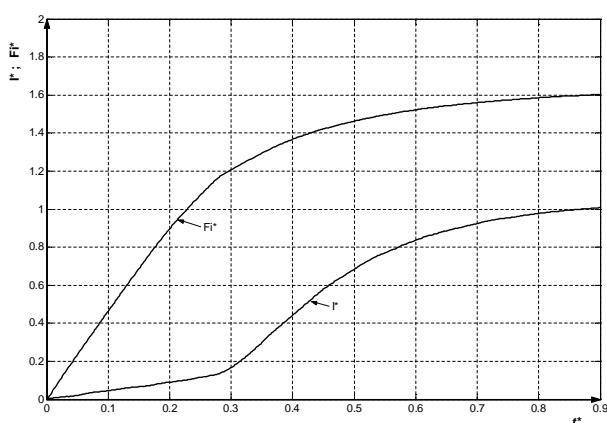
Нормирането (Филипов, Е. 1979) - преобразуването на зависимостите между разглежданите физични величини в зависимост между бездимензионни величини се постига, като всичките физични величини - напрежение, съпротивление, индуктивност, ток и т. н., както и времето бъдат отнесени към определените постоянни стойности на базисните величини. Базисните величини се избират от характерни стойности на съответната величина.

Опитно снетите зависимости за пълния поток и тока, се характеризират с определена физична размерност. За нормиране се въвеждат базисни стойности на участващите параметри, при което се получават зависимости между бездимензионни (безразмерни) величини.

За базисна стойност за времето се приема началната времеконстанта на електромагнита, т.е. за токове, при които няма насищане на магнитопровода.

$$T_{\sigma} = \frac{L_{нач}}{R}$$

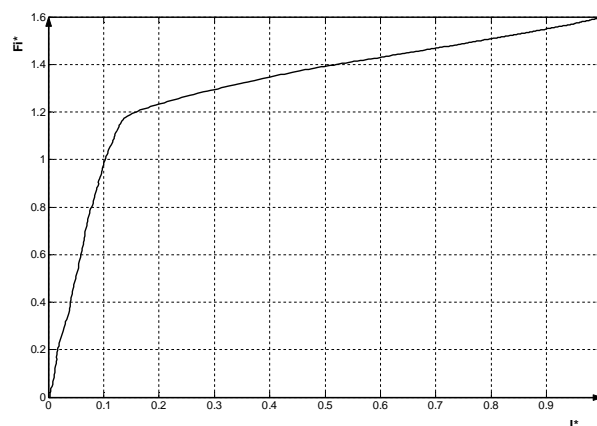
Експерименталният електромагнит е с начална времеконстанта  $T_{\sigma} = 0,1s$ . За базисна на стойност за потока от фиг. 8 приблизително може да се отчете  $\Psi_{\sigma} = 5Wb$ . За базисна стойност на тока се приема установената му стойност  $I = 50A$ .



Фиг. 9

След обработката в Matlab на данните (в числов вид) за тока и електродвижещото напрежение от файловете записани чрез цифров осцилоскоп, са получени норми-

раните характеристики на тока и потока (фиг. 9), и съответната им Вебер-амперната характеристика (фиг. 10).



Фиг. 10

Поради наличието на значителни смущения в данните за тока графиката е построена след преминаване през изглаждаща процедура. За електродвижещото напрежение това не се прави, защото данните се интегрират, за да се получи потока, което само по себе си води до изглаждане.

## Заклучение

Получените резултати при експерименталното изследване за формиране на силов ток импулс в електромагнитната система на сепаратора показват приложимостта им за целите на управлението на магнитни сепаратори.

Представените нормирани характеристики водят до известна универсалност на резултатите от анализа, т.е. опростяване и според случая обобщаване на получените резултати.

На тази основа може да се определи апроксимиращата функция, като се зададе някакъв физически обоснован аналитичен израз за развитие на пълния поток във времето  $\psi = \psi(t)$  и от диференциалното уравнение описващо веригата да се определи каква трябва да бъде функцията  $\psi = \psi(i)$ .

## Литература

- Александров, Р. 2011. Изследване на импулсен преобразувател за електромагнитна сепарация. JOHN ATANASOFF SOCIETY OF AUTOMATICS AND INFORMATICS International Conference AUTOMATICS AND INFORMATICS '11, CD: ISSN1313-1869, Sofia.
- Филипов, Е. 1979. Нелинейна електротехника. ДИ "Техника" София, 56 с.
- Матраков, Б., Д. Русев, Ж. Костов. 1985. Техника на магнитните измервания. ДИ "Техника" София, 32 с.