

ИЗСЛЕДВАНЕ НА ПОВЕДЕНИЕТО НА ЦИФРОВИТЕ РЕЛЕЙНИ ЗАЩИТИ ПРИ ОТЧИТАНЕ НА НЕЛИНЕЙНОСТТА ОТ ХИСТЕРЕЗИСА НА ТОКОВИТЕ ТРАНСФОРМАТОРИ

Проф. д-р Неделчо Неделчев, Маг.инж. Милен Димов

Резюме

В статията се изследва поведението на релейна защита и зоната на нечувствителност (мъртвата зона) при отчитане на нелинейността, създавана от хистерезиса на токовите измервателни трансформатори. Съставят се модели в Matlab/Simulink среда, с които се повишава точността на функциониране на цифровите релейни защиты.

Ключови думи

Цифрова релейна защита, токов трансформатор, нелинейност, хистерезис, мъртва зона

Въведение

Отчитането на различните нелинейности в електрическите вериги е задължително условие при изследване на преминаването на сигналите през различните елементи към цифровите релейни защиты.

По принцип нелинейностите се получават в резултат от ограничения на пренасяните мощности или други величини, явяват се при наличието на загуби от нагряване, триене, хистерезис. Нелинейностите във веригите на цифровите релейни защиты се дължат на токовите трансформатори.

Целта на изследването е да се анализира поведението на релейна защита и зоната на нечувствителност (мъртвата зона) при отчитане на нелинейността от хистерезиса на токовия трансформатор.

Изследване на поведението на релейна защита и зоната на нечувствителност (мъртвата зона) при отчитане на нелинейността от хистерезиса на токовите трансформатори

Нелинейността и нееднозначността на зависимостта $B(H)$ за феромагнитите е една от основните трудности при изчисляване веригата на магнитопровода. Обикновено изчисленията се провеждат с използването на експериментални данни за кривите на намагнитване. Видът на тези характеристики зависи от условията, при които се провеждат експериментите: формата на магнитопровода, режимите на пренамагнитване, методите за измерване и др.

Полага се, че магнитното поле на сърцевината се възбужда от магнитодвижещото напрежение (м.д.н.) и $F=iv$ е равномерно разпределен по намотката. Интензитетът на магнитното поле H за някоя средна линия l е равна $H=iv/l$.

Ако ширината на магнитопровода е по-малка от дължината, то l се изчислява като средно аритметична стойност на външната l_n и вътрешната линия l_g с параметъра $l=(l_g+l_n)/2$.

Интензитетът на полето H , изчислен при използването на средногеометричния диаметър на тялото съответства на средната по сечение стойност на H , ако се приеме абсолютната магнитна проницаемост $\mu = const$. Средната по сечение стойност на магнитната индукция се изчислява с

$$B = \frac{\Phi}{s} = \frac{\Psi}{\omega_m s},$$

където Φ потокът на магнитната сърцевина; s – сечението на стоманата; Ψ – потокоразпределението в изменителна намотка ω_m .

За тясно тороидална сърцевина с равномерно разпределена намагнитваща намотка магнитното поле е еднородно в целия обем на магнитопровода. Затова характеристиката на намагнитване на магнитопровода $B_c(H_c)$ може да се построи по експерименталната крива $\Psi(i)$, близка до характеристиката на намагнитване на материала $B(H)$. Експериментално снетата характеристика $B_c(H_c)$ е зависимостта на отделното потокосцепление на относителното м.д.н. и може значително да се отличава от кривата на намагнитване на материала $B(H)$.

Характеристиката $B_c(H_c)$ е нелинейна и нееднозначна. Видът на кривата се определя от свойствата на материала, геометричните параметри на сърцевината, разположението на намотката, а също динамичния процес на намагнитване, т.е. от характера на $B(t)$ и $H(t)$.

При анализ на процесите в магнитопроводите чрез използване на характеристиките на материала $B(H)$, се уточнява заместващата схема на магнитната верига, за да се отчетат факторите, съществено влияещи на разпределението на магнитното поле.

По-висока точност се получава от експериментално снетите криви $\Phi(i)$ за конкретния магнитопровод. От основната крива на намагнитване при симетрично пренамагнитване се определя B_{max} при зададената стойност на H_{max} (и обратно). Връзката между $B(t)$ и $H(t)$ се определя от групата частни хистерезисни цикли, съответстващи на изследвания процес. Трудностите при реализацията на нееднозначните хистерезисни зависимости $B(H)$ възникват при тяхното математическо описание.

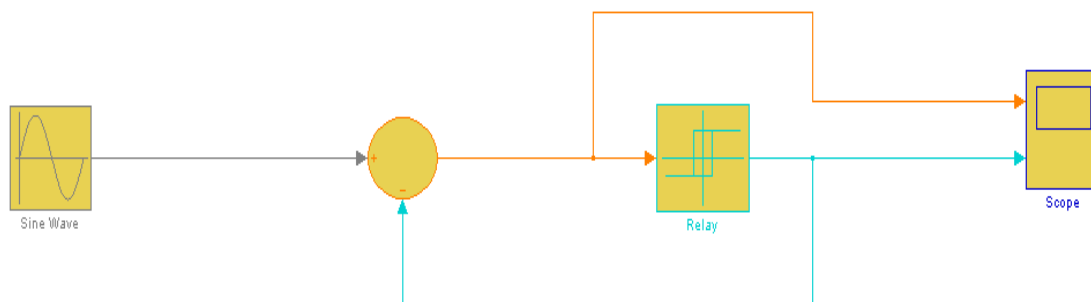
При изчисляване на преходните процеси се използват еднозначни апроксимации на характеристиките на намагнитване, като се осигурява необходимата точност.

Параметрите на товара на токовия трансформатор в реални условия винаги са такива, че при насищането на сърцевината големината на вторичния ток i_2 е 1 до 2 пъти по-голям от тока на намагнитване i_0 . Затова законът за изменение на индукцията в сърцевината зависи само от изменение на параметрите на товара r_2 и L_2 . За чисто активен товар на токовия трансформатор

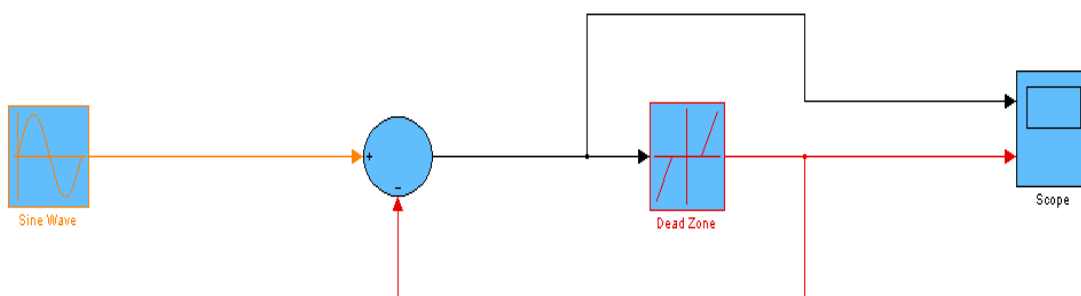
$$B = \frac{r_2}{\omega s} \int_0^t i_1 dt + B(0) \text{ при } i_2 \approx i_1 \gg i_0$$

Избира се една от апроксимациите на характеристиката $B(H)$ в ненситената област на хистерезисния цикъл. На изменението на $B(t)$ съществено влияе индукцията на веригата на намагнитване L_0 , а при дълбоко насищане неговата роля е определяща. При дълбоко насищане кривата на намагнитване добре се апроксимира с наклонена права.

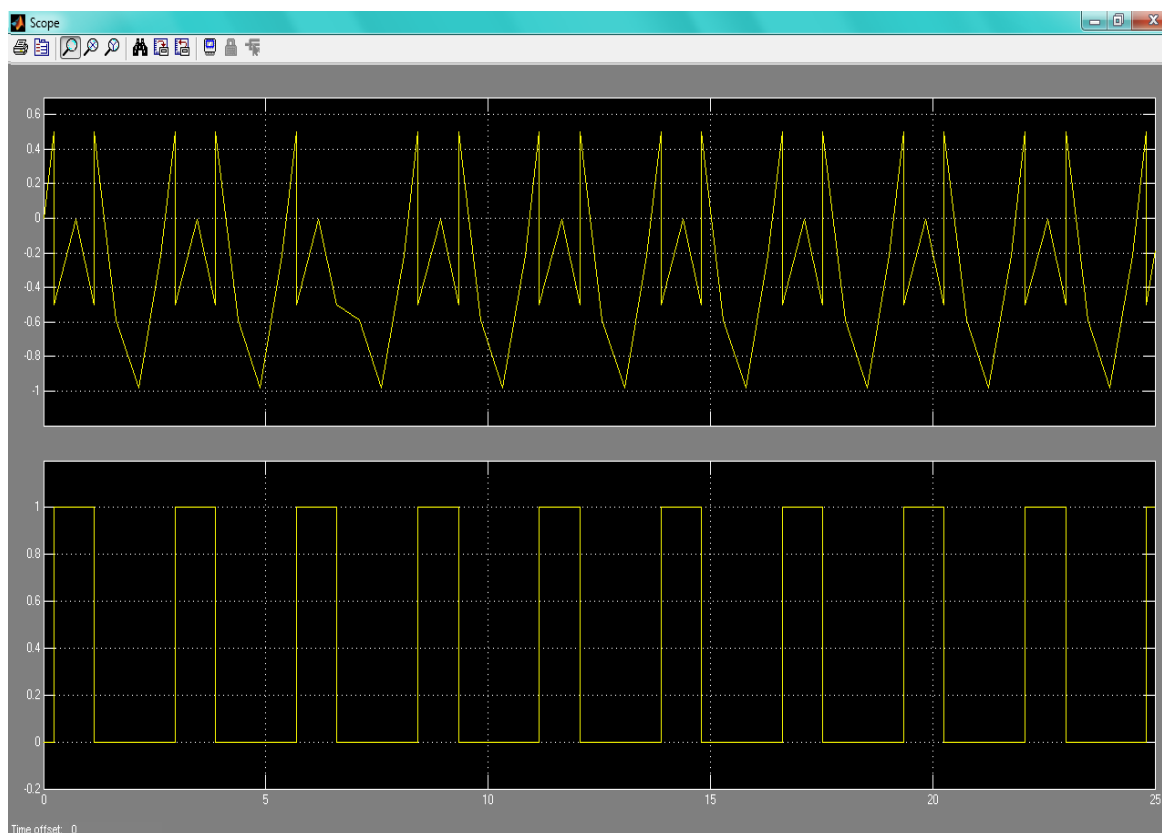
Анализът е направен чрез програмният продукт Matlab/Simulink. На фиг.1 е показан моделът за изследване на поведението на релейна защита при отчитане на нелинейността от хистерезиса на токовите трансформатори, а на фиг.2 – моделът за изследване на зоната на нечувствителност.



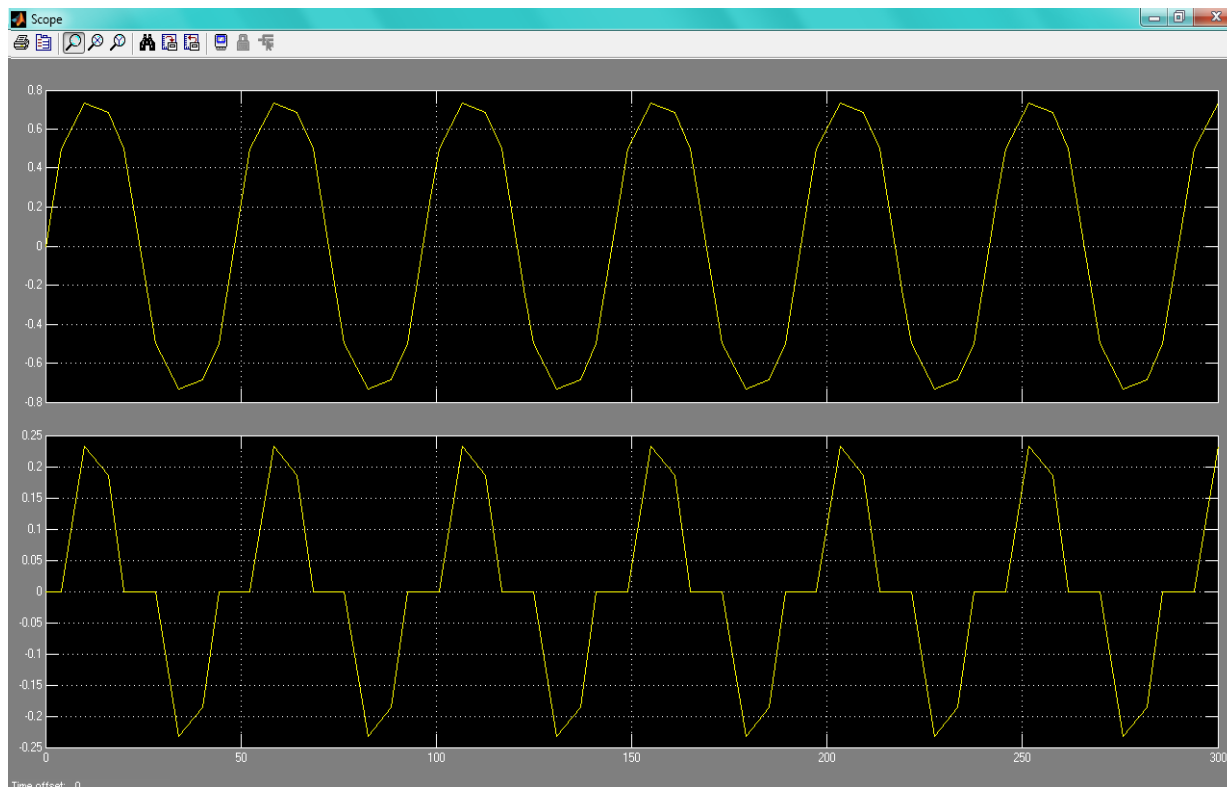
Фигура 1. Изследване на поведението на релейна защита при отчитане на нелинейността от хистерезис на токовите трансформатори



Фигура 2. Изследване зоната на нечувствителност



Фигура 3. Характеристика на релейна защита при отчитане на нелинейността от хистерезис на токовите трансформатори



Фигура 4. Реакция на нелинейна система (мъртва зона)

На фиг.3. е представена характеристиката на цифровата релейна защита при отчитане на нелинейността от хистерезис на токовите трансформатори, а на фиг.4 – мъртвата зона на нелинейната система.

С помощта на съставените модели се визуализира характеристиката на функциониране на цифровата релейна защита, която е несиметрична и има зона на нееднозначност, определяна от режимните параметри на включване и на изключване на релето.

Изводи

- Съставени са модели за визуализиране на характеристиката на функциониране на цифровата релейна защита и на „мъртвата зона”, която не се обхваща от защитата.
- Новият подход за моделиране с отчитане на хистерезиса на токовите трансформатори повишава точността на функциониране на цифровите релейни защиты.

Научните изследвания, резултатите от които са представени в настоящата публикация, са финансирани от Вътрешния конкурс на ТУ-София-2015 г. по Проект № 152ПД0050-16.

Статията е рецензирана.