

Програмно осигуряване за изчисляване на стойностите на димни емисии използвайки филтър на Бесел

Георги Кръстев

Software program for smoke emissions values calculation based on Bessel filter: The paper focuses on the development of software algorithm for calculation smoke emission values using Bessel's method.

Key words: Ecology, Bessel filter, Smoke emissions, Internal combustion engines.

ВЪВЕДЕНИЕ

Опазването на околната среда стана основен проблем на нашата съвременност, проблем, от който зависи по нататъшното развитие на човешката цивилизация. Заедно с енергетиката и промишлеността, транспортът е един от основните замърсители на атмосферата. Бързото увеличение на автомобилния парк, високата степен на неговата концентрация доведе до значително замърсяване на въздуха в големите агломерации, където съдържанието на редица токсични вещества вече превишават пределно допустимите концентрации.

Статистическите данни говорят сами за себе си. Една четвърт от всички емисии в ЕС се отделят от сектора на транспорта и е възможно тази цифра да отбележи ръст с 30 % до 2030 г.

Основните замърсители на въздуха са предмет на международни актове. Европейският съюз въвежда норми както за производството на нови транспортни средства, така и за тези в експлоатация, които ограничават изпускането на вредни емисии в атмосферата [1, 3].

ФИЛТЪР НА БЕСЕЛ

Поради наличието на високочестотни изкривявания сигнала, характеризиращ неразредената димност (непрозрачност), обикновено показва разсеяна следа. За да се премахнат тези високочестотни изкривявания, при изпитването се използва филтър на Бесел. Той представлява рекурентен нискочестотен филтър от втори ред. Характерна особеност на филтъра на Бесел е максимално гладката фазо-честотна характеристика.

Алгоритъмът на Бесел се използва за изчисляване на средните стойности за 1 s въз основа на измерените моментни стойности на димните емисии. Този алгоритъм позволява да се осъществи емуляция, приложима за нискочестотния филтър от втори ред, и използването му налага извършване на повтарящи се изчисления за определяне на коефициентите. Тези коефициенти зависят от времето за реагиране на димомера и от честотата на вземане на пробите. Следователно процедурата за изчисляване се повтаря всеки път, когато се променя времето за реагиране на димомера и/или честотата на вземане на пробите.

Използването на филтър на Бесел цели да се гарантира наличието на общи характеристики на филтриране, които са еднакви за всеки димомер и по-специално:

- времето за физическо реагиране на димомера (t_p);
- времето за електрическо реагиране на димомера (t_e);
- времето за реагиране на конкретно използвания филтър на Бесел (t_f).

Общото резултатно време за реагиране на системата $t_{\text{средно}}$ се изчислява по следната формула:

$$t_{\text{средно}} = \sqrt{t_F^2 + t_p^2 + t_e^2} \quad (1)$$

То трябва да бъде еднакво за всички видове димомери, за да даде като резултат еднаква стойност на димните емисии. Филтърът на Бесел трябва да бъде

изработен по такъв начин, че времето за реагиране на филтъра (t_f), както и времената за физическо реагиране (t_p) и електрическо реагиране (t_e) на всеки димомер да дават като резултат изискваното общо време за реагиране ($t_{\text{средно}}$). Тъй като t_p и t_e са стойности, определени за всеки индивидуален димомер, и $t_{\text{средно}}$ в се приема за 1,0 s, t_f може да бъде изчислено, както следва:

$$t_f = \sqrt{t_{\text{средно}}^2 + t_p^2 + t_e^2} \quad (2)$$

По определение времето за реагиране на филтъра t_f е времето за нарастване на филтриран изходящ сигнал между 10 и 90 % от входящия сигнал за всеки етап (стъпка). Вследствие на това граничната честота на филтъра на Бесел се повтаря по такъв начин, че времето за реагиране на филтъра да съответства на изискваното време за нарастване на сигнала.

Съставянето на крайния алгоритъм на филтъра на Бесел е многоетапен процес, който налага изпълняването на няколко повторения на цикъла.

Изчисленията за оценяване на честотата на среза на филтъра (f_c) се основават на входящия стъпаловиден сигнал от 0 до 1 при интервал $\leq 0,01$ s. Под честота на среза се разбира честотата, при която се достига необходимото време за реагиране t_f на филтъра. Времето за реагиране се определя като времеви интервал между момента, когато изходната стойност на Бесел достига 10 % (t_{10}), и момента, когато тя достига 90 % (t_{90}) от тази стъпаловидна функция. Това се получава чрез повторение на f_c , докато $t_{90} - t_{10} \approx t_f$. Първото повторение за f_c се извършва по формулата:

$$f_c = \frac{\pi}{10 \cdot t_f} \quad (3)$$

Константите Е и К на Бесел се изчисляват посредством уравненията:

$$E = \frac{1}{1 + \Omega \cdot \sqrt{3 \cdot D} + D \cdot \Omega^2} \quad (4)$$

$$K = 2 \cdot E \cdot (D \cdot \Omega^2 - 1) - 1 \quad (5)$$

където:

$$D = 0,618034;$$

$$\Delta t = 1/\text{честотата на вземане на пробите};$$

$$\Omega = 1/[\tan(\pi \cdot \Delta t \cdot f_c)]. \quad (6)$$

Изчислителна процедура

Стойностите Е и К позволяват да се изчисли средната стойност на Бесел за 1 s при входящ стъпаловиден сигнал S_i , както следва:

$$Y_i = Y_{i-1} + E \cdot (S_i + 2 \cdot S_{i-1} + S_{i-2} - 4 \cdot Y_{i-2}) + K \cdot (Y_{i-1} - Y_{i-2}) \quad (7)$$

където:

S_i представлява стойностите на стъпаловидния входящ сигнал – 0 или 1.

Y_i са филтрираните стойности на изходящият сигнал.

и

$$S_{i-2} = S_{i-1} = 0$$

$$S_i = 1$$

$$Y_{i-2} = Y_{i-1} = 0$$

Времето за реагиране на филтъра на Бесел t_f се определя като времето за нарастване на филтрирания изходящ сигнал между 10 и 90 % по отношение на стъпаловидния входящ сигнал. За да се определят времената 10 % (t_{10}) и 90 % (t_{90}) от входящия сигнал, филтърът на Бесел се използва за входящия сигнал на етапа с помощта на посочените стойности на f_c , Е и К.

Стойностите на времената t_{10} и t_{90} се интерполират. Разликата между t_{90} и t_{10} определя времето за реагиране t_f за тази стойност на $f_c - t_{10}$.

Когато времето за реагиране не е достатъчно близко до изискваното време за реагиране, се продължава с извършване на повторения, докато действителното време за реагиране не се различава с повече от 1 % от изискваното време за реагиране:

$$(t_{F,Iter} - t_F) \leq 0,01.t_F \quad (8)$$

Стойностите на измерените димни емисии се определят при взимане на проби с минимална честота 20 Hz.

Изчисляване на стойностите на димните емисии

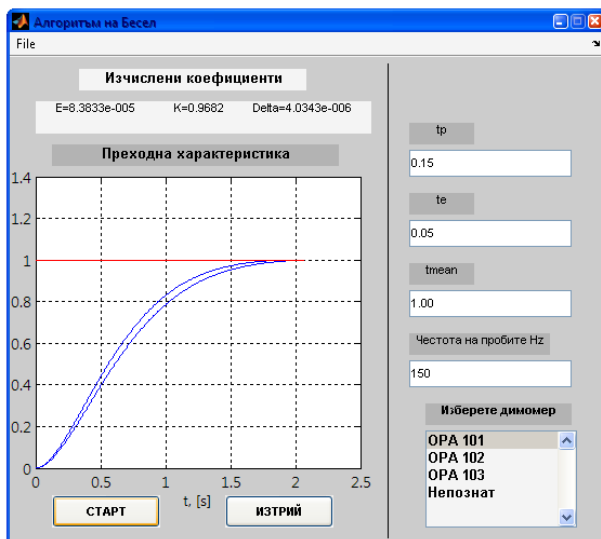
След като се определи честотата f_c се изчисляват точните стойности на константите Е и К на алгоритъма на Бесел. Тогава алгоритъмът на Бесел се прилага към моментната следа на кривата за димните емисии (стойност k):

$$Y_i = Y_{i-1} + E \cdot (S_i + 2.S_{i-1} + S_{i-2} - 4.Y_{i-2}) + K \cdot (Y_{i-1} - Y_{i-2})$$

По своята същност алгоритъмът на Бесел е рекурентен. Следователно, за да се определи алгоритъмът, са необходими няколко входящи начални стойности за S_{i-1} и S_{i-2} и няколко изходящи начални стойности за Y_{i-1} и Y_{i-2} .

За разработката е използвана програмната среда MATLAB [2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10], която позволява да се провеждат сложни изчисления, свързани с моделирането на протичащи процеси по образуване на димните емисии в съвременните двигатели с вътрешно горене.

На фиг. 1 са показани изчислените точните стойности на константите Е и К на алгоритъма на Бесел.

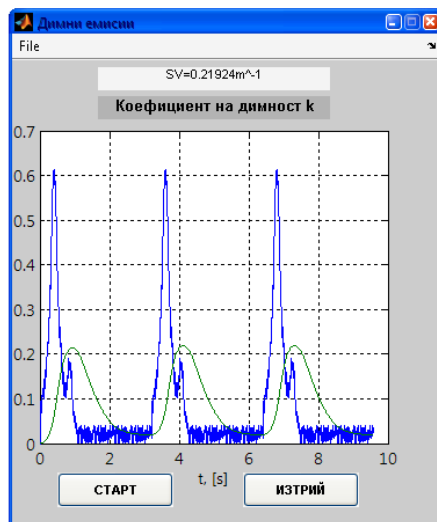


Фиг. 1. Изчисляване на точните стойности на константите Е и К на алгоритъма на Бесел

Крайният алгоритъм служи след това за определяне на средните стойности на димните емисии.

$$Y_i = Y_{i-1} + 8,3833 \cdot 10^{-5} \cdot (S_i + 2S_{i-1} + S_{i-2} - 4Y_{i-2}) + 0,9682 \cdot (Y_{i-1} - Y_{i-2})$$

На Фиг. 2 графично са показани филтрираните и нефилтрираните коефициенти на поглъщане на светлината k при изпитването.



Фиг. 2. Визуализиране на филтрираният коефициент на димност k и изчислената стойност на димните емисии

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Настоящата разработка отчита всички държавни изисквания, свързани с обработката на информацията при определянето на стойността на димни емисии. Разработеният графичен потребителски интерфейс дава възможност за оперативна промяна на параметрите на програмната система за изчисляването на средната стойност на димните емисии с различни видове димомери.

Използването на MATLAB, като основна среда за програмиране позволява в бъдеще да се вградят програмни модули, за изчисляване на сложни математически алгоритми, свързани с моделирането на протичащи процеси по образуване на димните емисии в съвременните двигатели с вътрешно горене.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Бързев К., Станков Е., „Екологични проблеми на транспорта“, Русе, 2007
- [2] Кръстев Г., Георгиев Цв., „Средства за автоматизация на научните изследвания“, Русе, 2002
- [3] Сестримски Д., „Диагностика на автомобила“, София, 1989
- [4] Тончев Й., „MATLAB 7“, Техника, 2009
- [5] Ермачкова Ю.А., „Построение графического интерфейса (GUI) в системе MATLAB“, 2006
- [6] <http://matlab.exponenta.ru/gui/index.php>
- [7] <http://web.cecs.pdx.edu/~gerry/MATLAB/>
- [8] <http://www.mathworks.com/>
- [9] <http://www.paragraf22.com/pravo//naredbi/n-pr/79714/74714p8.html>
- [10] <http://www.radiomaster.ru/cad/matlab/glava7/index18.php>

За контакти:

Доц. д-р Георги Кръстев “Компютърни системи и технологии”, Русенски университет “Ангел Кънчев”, тел.: 082-888 672, e-mail: gkrastev@ecs.ru.acad.bg

Докладът е рецензиран.