

АНАЛИЗ НА ЕФЕКТИВНОСТТА НА ИНФОРМАЦИОННИ ПАРАМЕТРИ НА ИЗХОДНИЯ СИГНАЛ НА ИМПУЛСЕН ВТП, СВЪРЗАНИ С ПЛОЩИ

Стефчо Гунински

Резюме: В работата е изследвана зависимостта на от специфичната електрическа проводимост на плосък проводящ контролиран обект (КО) на средната стойност (обикновена и по модул) и на ефективната стойност на изходното напрежение при захранване с източник на ток или на изходния ток при захранване с източник на напрежение на параметричен импулсен вихровотоков преобразувател (ВТП). Формата на захранващите импулси е периодични триъгълници или правоъгълници (трапеци).

Ключови думи: импулсен вихровотоков преобразувател, средна стойност, ефективна стойност,

ANALYSIS OF EFFECTIVENESS OF AREA-RELATED INFORMATION PARAMETERS OF THE OUTPUT SYGNAЛ OF PULSE ECT

Stefcho Guninski

Abstract: The research focuses on the dependence of the specific electrical conductivity of the flat conductive controlled object (CO) of the average (simple and module) and the effective value of the output voltage when supplied with a current source or the output current when supplied with a voltage source parametric pulsed eddy current transducer (ECT). The shape of the power pulses is periodic triangles or rectangles (trapezoids).

Keywords: pulse eddy current transducer, average value, RMS value

1. Въведение

Едно от големите предимства на импулсните вихровотокови методи (ИВТМ) е многопараметровостта и на изходния сигнал. При наличие на периодичност информационните му параметри може условно да се разделят на три групи. Първата група (екстремални параметри) включва стойности на екстремуми – абсолютни или локални максимуми и минимуми [1,2]. Втората включва времеви интервали или честоти. Тази работа е посветена на параметрите, свързани с големината на площи между графиката на изходния сигнал и оста на времето (площни параметри). Типичен пример на такива параметри са ефективната стойност и средната стойност (обикновена и по

модул) на периодичния изходен сигнал. Докато при синусоидални режими те са едни от основните параметри, то при ИВТМ не са подробно изучени. В настоящата работа е изследвана чувствителността на тези информационни параметри към специфичната електрическа проводимост γ на плосък проводящ контролиран обект (КО).

2. Изчислителен модел

Разглежда се параметричен импулсен вихротоков преобразувател (ИВТП), представляващ цилиндрична намотка с $N = 10$ навивки, разположен на разстояние $d = 0,01$ mm (*lift off*) над основата на цилиндричен хомогенен изотропен линеен проводящ КО със специфична електрическа проводимост γ (фиг. 1). В средата на програмния продукт MagNet 7.4 [5] са анализирани четири варианта. При вариантите **A** преобразувателят се захранва от идеален източник на ток, а при вариантите **B** – от идеален източник на напрежение. При вариантите с номер **1** (A1 и B1) формата на захранването е периодична поредица от триъгълни импулси, а при вариантите с номер **2** (A2 и B2) се разглежда периодична поредица от правоъгълни импулси (трапеци). Всички модели са параметризирани (проблеми от P1 до P8) по отношение на специфичната електрическа проводимост за 8 стойности на γ от 0,01 MS/m до 20000 MS/m . Във всички случаи като входна величина се разглежда специфичната електрическа проводимост γ , а изходен сигнал при източник на ток (варианти A1 и A2) е напрежението в крайщата на намотката. Когато ИВТП се захранва от идеален източник на напрежение (варианти B1 и B2) като изходен сигнал се разглежда токът през преобразувателя. При всички варианти информационни параметри са *ефективната стойност* на изходното напрежение (ток):

$$U = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2 dt} \quad \text{или} \quad I = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2 dt} \quad (1)$$

или *средната им стойност*

$$U_{av} = \frac{1}{T} \int_0^T u dt \quad \text{или} \quad I_{av} = \frac{1}{T} \int_0^T i dt . \quad (2)$$

При двуполярен изходен сигнал се разглежда и *средната стойност по модул*

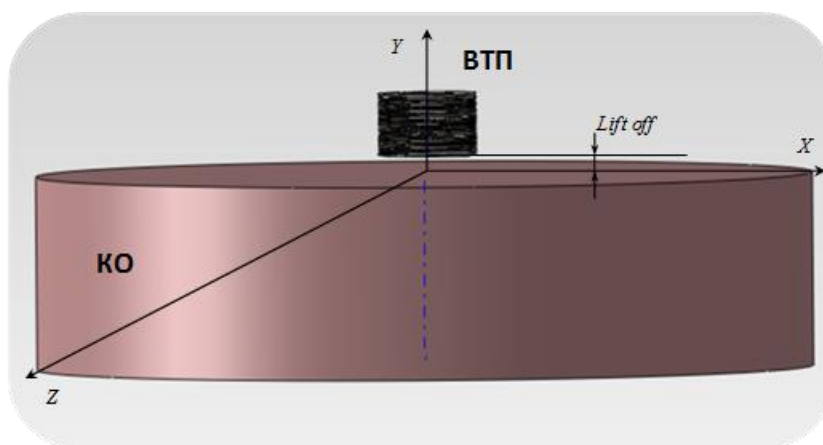
$$U_{av mod} = \frac{1}{T} \int_0^T |u| dt \quad \text{или} \quad I_{av mod} = \frac{1}{T} \int_0^T |i| dt . \quad (3)$$

3. Резултати от числените експерименти

Чрез съвместното числено решаване по МКЕ на полевата задача и на електрическия преходен процес са получени зависимостите на различните стойности на изходното напрежение u_{out} (варианти A1 и A2) и на изходния ток i_{out} (варианти B1 и B2) от специфичната електрическа проводимост γ по данни от решенията на проблеми от P1 до P8.

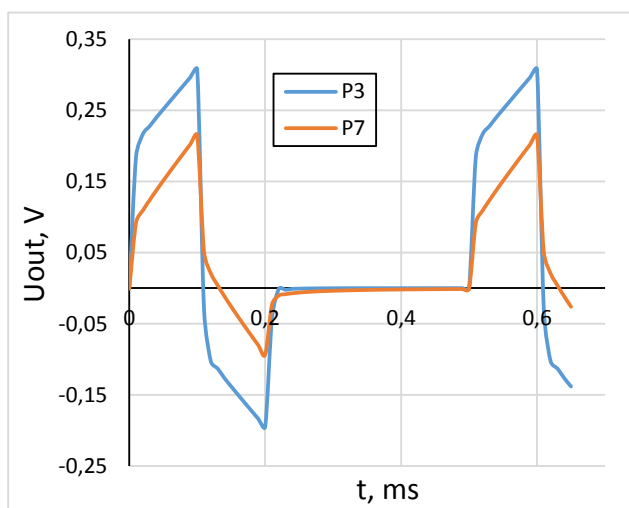
Вариант A1. Захранване с периодична поредица триъгълни импулси от идеален източник на ток.

От графиката на фиг. 2 [2,3] за проблеми P3 ($\gamma = 0,02 \text{ MS/m}$) и P7 ($\gamma = 300 \text{ MS/m}$) се вижда, че импулсите на изходното напрежение U_{out} са двуполярни,

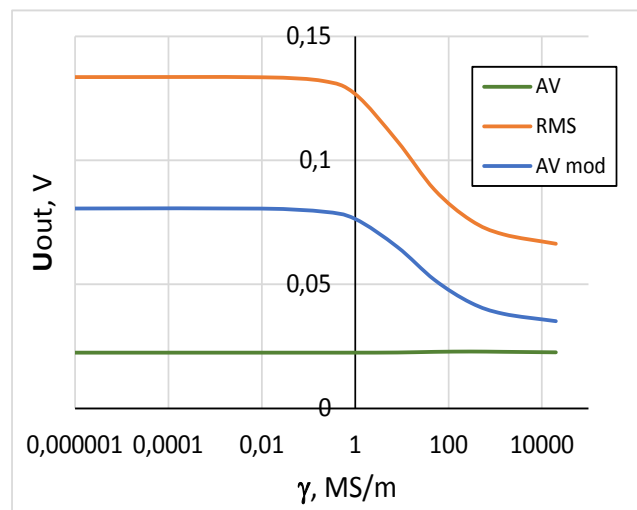


Фиг.1. Модел на параметричен ВТП над плосък КО

поради което в този случай има смисъл изследването и на средната му стойност по модул (3). Зависимостите от специфичната проводимост γ на средната стойност (AV) от (2), на ефективната стойност (RMS) от (1) и на средната стойност по модул (AV_{mod}) от (3) са показани на фиг. 3 в логаритмичен мащаб.



Фиг. 2. Зависимост на изходното напрежение от времето за вариант A1



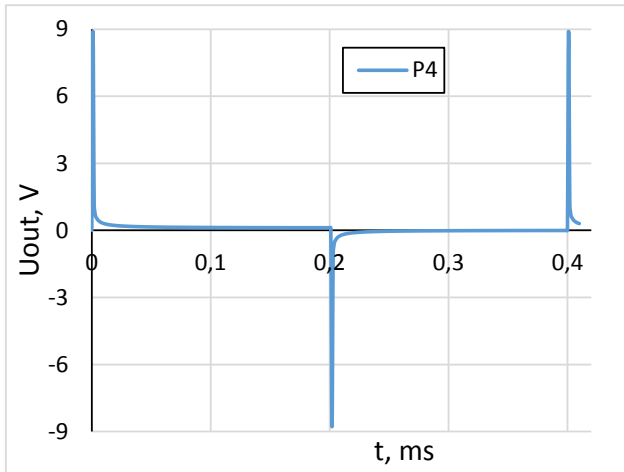
Фиг. 3. Зависимост на информационните параметри на изходното напрежение от проводимостта за вариант A1

Обикновената средна стойност от (2) практически не зависи от γ , докато и ефективната стойност, и средната стойност по модул (RMS и AV_{mod} от фиг. 3) в интервала от 1 MS/m до 500 MS/m съществено намаляват.

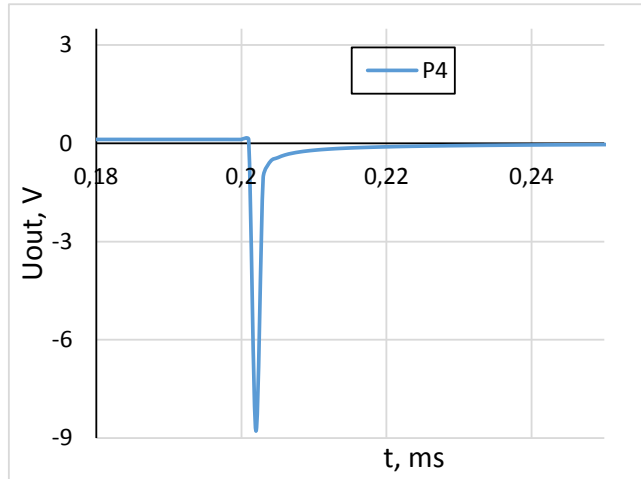
Вариант A2. Захранване с периодична поредица правоъгълни импулси от идеален източник на ток.

На фиг. 4 е показана графиката на изходното напрежение при проблем P4 ($\gamma = 8 \text{ MS/m}$) [2,3]. Вижда се, че импулсите отново са двуполярни, при това симетрични по отношение на оста на времето. Те обаче са много тесни триъгълни импулси (фиг. 5), което ги прави неподходящи за използване на площните им параметри. Ако въпреки схемотехническите трудности се

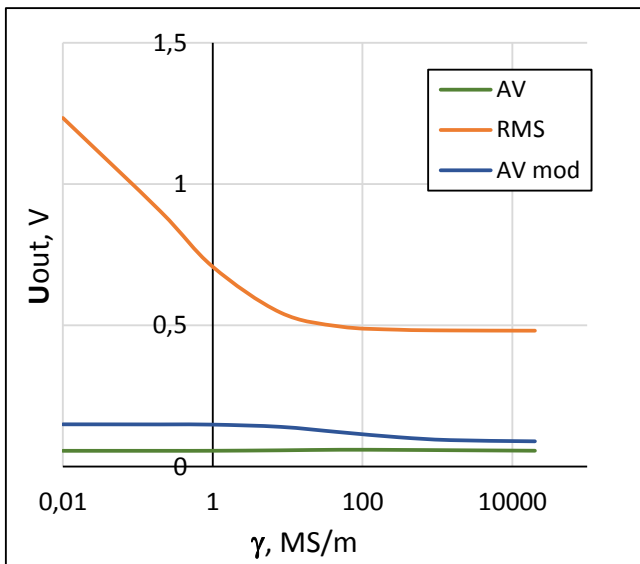
определят площните параметри от изрази (1), (2) и (3), то зависимостите им от специфичната електрическа проводимост имат вида, показан на фиг. 6. И тук средната стойност практически не зависи от проводимостта като следствие от симетричността на импулсите на изходния сигнал и е много малка. Средната стойност по модул намалява с увеличаване на γ , но тази зависимост е много по-слаба, отколкото при ефективната стойност (фиг. 6). Освен това зоната на чувствителност към специфичната проводимост при ефективната стойност е от 0,005 MS/m до 10 MS/m, докато при средната стойност по модул тя е от 10 MS/m до 20000 MS/m.



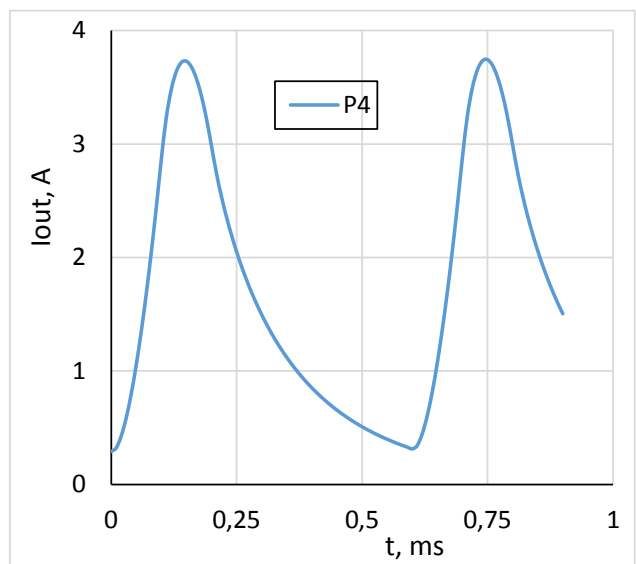
Фиг. 4. Зависимост на изходното напрежение от времето за вариант A2



Фиг. 5. Зависимост на изходното напрежение от времето за вариант A2 (само отрицателния импулс)



Фиг. 6. Зависимост на информационните параметри на изходното напрежение от проводимостта за вариант A2



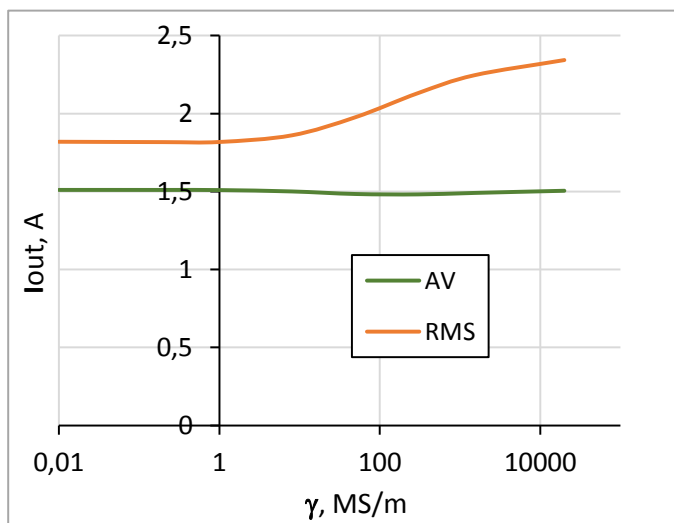
Фиг. 7. Зависимост на изходния ток от времето за вариант B1

Вариант B1. Захранване с периодична поредица триъгълни импулси от идеален източник на напрежение.

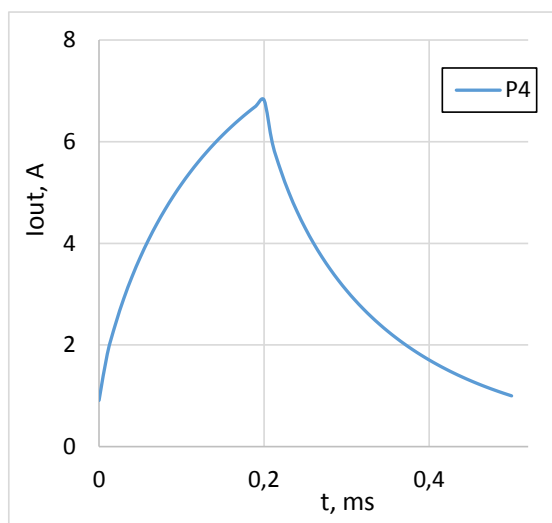
От фиг. 7 [2,3] се вижда, че в този случай изходният ток е еднополярен и затова на фиг. 8 като площни параметри са показани зависимостите от специфичната проводимост само на средната стойност и на ефективната стойност (от (2) и (3) се вижда, че в този случай средната стойност по модул съвпада с обикновената средна стойност). Както и в предните случаи средната стойност на изходния ток практически не зависи от γ . Отново ефективната стойност съществено зависи от специфичната електрическа проводимост, но само в интервала от 8 MS/m до 10000 MS/m. Съществено различие също е, че ефективната стойност расте с увеличаването на γ за разлика от случаите на захранване с идеален източник на ток (варианти A1 и A2).

Вариант B2. Захранване с периодична поредица правоъгълни импулси от идеален източник на напрежение.

И в този случай импулсите на изходния ток са еднополярни (фиг. 9) [2,3] и средната стойност по модул не се разглежда. Зависимостите на средната и ефективната стойности от специфичната проводимост са показани на фиг.10. Сравнението на графиките от фиг. 10 и фиг. 8 показва голямото им сходство. И тук средната стойност не се влияе от γ , докато ефективната стойност расте в същия интервал на проводимостта – от 8 MS/m до 10000 MS/m.



Фиг. 8. Зависимост на информационните параметри на изходния ток от проводимостта за вариант B1



Фиг. 9. Зависимост на изходния ток от времето за вариант B2

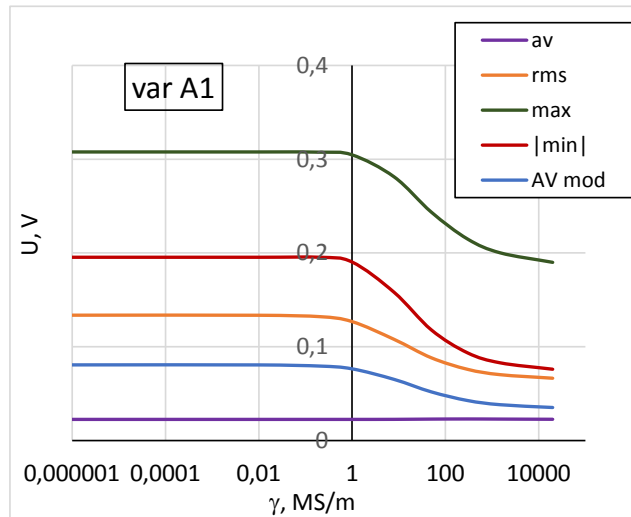
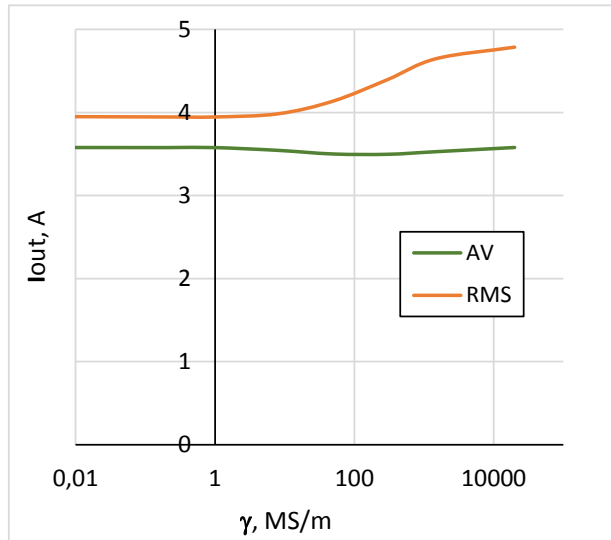
4. Изводи

От получените резултати може да се направят следните по важни изводи:

1. Във всички случаи (различна форма на импулсите и при двата типа захранващ източник) средната стойност от израз (2) практически не зависи от специфичната електрическа проводимост на контролирания обект (фиг. 3, фиг. 6, фиг. 8 и фиг. 10).

2. Само при захранване с триъгълни импулси от идеален източник на ток средната стойност по модул на изходния ток съществено зависи от специфичната проводимост γ в интервала от 1 MS/m до 500 MS/m (фиг. 3).

3. Във всички случаи има не малки интервали, в които ефективната стойност съществено зависи от γ (фиг. 3, фиг. 6, фиг. 8 и фиг. 10). Видът на зависимостта зависи основно от формата на импулсите и вида на захранващия източник.



Фиг. 10. Зависимост на информационните параметри на изходния ток от проводимостта за вариант B2

Фиг. 11. Сравнение на зависимостите на площните и екстремалните параметри на изходното напрежение от γ за вариант A1

4. Когато захранващият източник е идеален източник на ток ефективната стойност намалява с увеличаването на специфичната проводимост (фиг. 3 и фиг. 6), а при идеален източник на напрежение зависимостта е обратна – ефективната стойност расте с нарастването на γ (фиг. 8 и фиг. 10).

5. Формата на захранващите импулси влияе на интервала, в който ефективната стойност зависи от проводимостта само при идеален източник на ток (варианти A). При триъгълни импулси специфичната проводимост влияе на ефективната стойност при големи стойности ($500 \text{ MS/m} > \gamma > 1 \text{ MS/m}$) (фиг. 3), а при правоъгълни импулси тази зависимост е налице при $0,005 \text{ MS/m} > \gamma > 10 \text{ MS/m}$ (фиг. 6).

6. При захранване с идеален източник на напрежение (варианти B) [4] формата на импулсите практически не влияе на интервала, в който ефективната стойност на изходния ток се влияе от проводимостта (фиг. 8 и фиг. 10).

7. Като цяло площните информационни параметри са по-нечувствителни към специфичната електрическа проводимост, отколкото екстремалните. Това е илюстрирано на фиг. 11, където за вариант A1 са показани зависимостите от γ освен на площните параметри и съответните зависимости на:

av – средната стойност на изходното напрежение от фиг. 2;

rms – ефективната стойност на изходното напрежение от фиг. 2;
max – максималната стойност на изходното напрежение от фиг. 2;
|min| - абсолютната стойност на минимума на изходното напрежение от фиг. 2;
AV mod - средната стойност по модул на изходното напрежение от фиг. 2.

Таблица 1

Вид на източника	Форма на импулсите	Вид на зависимостта на rms от γ	Диапазон на чувствителност	Вариант
идеален на ток	триъгълна	намалява	1 – 500 MS/m	A1
	правоъгълна	намалява	0,005 – 10 MS/m	A2
идеален на напрежение	триъгълна	расте	8 – 10000 MS/m	B1
	правоъгълна	расте	8 – 10000 MS/m	B2

Очевиден е еднаквият характер на зависимостта на информационните параметри от проводимостта (намаляващ), но най-голяма е чувствителността при двата екстремума (**max** и **|min|**) и едва след тях следва площния параметър **rms**. Информацията за неговата зависимост от γ е обобщена в табл. 1.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Цветков Д. и кол., Електромагнитна дефектометрия, С., Техника, 1981.
[2] Guninski S., Power Source Type Impact on Output Signal of Pulse ECT, Proc. 10TH Summer School “Advanced Aspects of Theoretical Electrical Engineering Sozopol’14”, pp. 52-60, ISSN: 1313-9487.
[3] Тодорова К., С. ГУНИНСКИ, Изследване на зависимостта на изходния сигнал на ВТП от проводимостта при различни форми на импулса на възбудителния ток, Годишник на Техническият университет – София, т. 64, кн. 4, 2014 г., с. 197 – 202, ISSN 1311 - 0829.
[4] Menana Hocine, Mouloud Fe’liachi, CONTRIBUTION TO THE MODELING OF A VOLTAGE DRIVEN PULSED EDDY CURRENT SENSOR FOR THE CHARACTERIZATION OF CONDUCTIVE PLATES, Analog Integr Circ Sig Process (2011) 69: 75–80.
[5] 2D Tutorial, Preparing, Solving and Interpreting NDT Problems, Infolytica Corporation, 2005.

Автор: Стефчо Гунински, доцент д-р инж., катедра „Обща електротехника”, Електротехнически факултет, Технически университет – София, E-mail adress: sgg@tu-sofia.bg

Постъпила на

Рецензент: