Определяне на параметрите на елементите на заместващата електрическа схема на растителната тъкан на плевелни стъбла

Никола Армянов, Недялко Недялков, Иван Палов, Емил Кузманов

Determination of the parameters of the elements substituted electrical circuit of the plant tissue of tobacco leaves and stems: *The methods for determination of the parameters of the elements substituted electrical circuit of the plant tissue and results of its determination at weeds stems are given in the paper.*

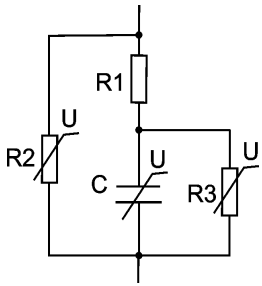
Key words: *electrical circuit, plant tissue, frequency characteristic, transitional characteristic, oscilloscope diagram.*

ВЪВЕДЕНИЕ

Известно е [1], че по отношение на електрическите си свойства, растителната тъкан представлява сложен биологичен обект. При това пълното електрическо съпротивление z на живата тъкан има активно-капацитивен характер. С увеличаване на честотата на приложеното напрежението, при което се провежда измерването, съпротивлението z на тъканта намалява. При предварителни наши изследвания са получени експериментални честотни характеристики на пълното електрическо съпротивление на растителната тъкан на плевелни стъбла, които потвърждават активно-капацитивния му характер.

При изследване на електрическите свойства на растителната тъкан е необходимо да се отчита анатомичния строеж на клетката. Клетъчната мембрана има по-високо електрическо съпротивление, отколкото протоплазмата. Вътрешноклетъчната и тъканната течности съдържат значително количество соли [8], което ги прави електропроводими.

Известни са [6,8] различни еквивалентни заместващи електрически схеми на растителната тъкан. Анализът показва, че най-точна връзка между елементите на схемата и морфологичния строеж на клетката се дава от еквивалентната заместваща електрическа схема [5,6,8], показана на фиг.1. На тази схема резисторът R_1 съответствува на съпротивлението на протоплазмата, резисторът R_2 - на съпротивлението на междуклетъчната течност, а резисторът R_3 - на съпротивлението на мембраната. Според фазовата теория [3] капацитетът C се обуславя от обемната поляризация на протоплазмата, а според мембранната теория - от поляризацията на мембраната [3].



Фиг.1. Заместваща електрическа схема на растителната тъкан, отразяваща морфологичния строеж на тъканта

В настоящата работа се разглеждат подходите за определяне на параметрите на елементите на схемата от фиг.1 и се привеждат резултати от определянето им по

отношение на растителната тъкан на стъбла от плевела Xanthium strumarium L (свиница) във фаза на развитие на растенията плодообразуване.

ИЗЛОЖЕНИЕ

При изследване електрическите свойства на растителната тъкан може да бъде използуван методът, описан в [4,5,7], при който се анализира зависимостта на пълното й съпротивление от честотата.

За живата растителна тъкан са в сила съотношенията: $R_2 >> R_1$ и $R_3 >> R_2$ [4,5,6,9]. Съпротивленията R_2 и R_3 и капацитетът C в общия случай зависят от приложеното напрежение.

При въведените означения на елементите в заместващата схема от фиг.1 за пълното съпротивление при ниски честоти $z_н$ и при високи честоти $z_в$ се записва:

$$z_н = \frac{R_2(R_1+R_3)}{R_1+R_2+R_3} \text{ и } z_в = \frac{R_2R_1}{R_1+R_2}. \quad (1)$$

Установено е, че при ниски интензитети на електрическото поле елементите R_2, R_3 и C на схемата от фиг.1 са линейни. Ако с R и X се означат активната и реактивна съставки на пълното съпротивление z, то за комлексното съпротивление Z се записва

$$Z = R - jX. \quad (2)$$

Изразите за съставките му R и X за схемата от фиг.1 са

$$R = R_2\frac{(R_1+R_3)(R_1+R_2+R_3)+\omega^2C^2R_3^2(R_1+R_2)R_1}{(R_1+R_2+R_3)^2+\omega^2C^2R_3^2(R_1+R_2)^2}; \quad (3)$$

$$X = \frac{\omega CR_2^2R_3^2}{(R_1+R_2+R_3)^2+\omega^2C^2R_3^2(R_1+R_2)^2}, \quad (4)$$

където ω е кръговата честота на измервателното напрежение, s^{-1}.

За живата растителна тъкан съпротивлението R_3 е много по-голямо от съпротивленията R_1 и R_2 и ако в изрази (3) и (4) се приеме $R_3 \to \infty$, се получава

$$R \approx R_2\frac{1+\omega^2C^2R_1(R_1+R_2)}{1+\omega^2C^2(R_1+R_2)^2}; \quad (5)$$

$$X \approx \frac{\omega CR_2^2}{1+\omega^2C^2(R_1+R_2)^2}. \quad (6)$$

За функцията $R = f(\omega)$ при честота $\omega = 0$ се получава

$$R(0) \approx R_2, \quad (7)$$

а при нарастване на честотата ω тя намалява, като при честота $\omega \to \infty$ се записва

$$R(\infty) = R_1R_2/(R_1+R_2). \quad (8)$$

При честота

$$\omega = 1/C(R_1+R_2) \quad (9)$$

функцията $X = f(\omega)$ има максимум

$$X_{max} = R_2^2/2(R_1+R_2). \quad (10)$$

Анализът на израз (6) показва, че реактивната съставка X на пълното съпротивление z на растителната тъкан е близка до нула, както при ниски честоти (практически до 1 кHz), така и при много високи честоти (повече от 1 MHz). Ето защо за тези честотни диапазони съпротивлението z съвпада с активната си съставка R. Както следва от израз (3) при ниски (н), съответно при високи (в) честоти, тя се определя по същите изрази (1), както съпротивленията $z_н$ и $z_в$, т.е.

$$R_н = R(0) = \frac{R_2(R_1+R_3)}{R_1+R_2+R_3} = z_н \text{ и } R_в = R(\infty) = \frac{R_2R_1}{R_1+R_2} = z_в. \quad (11)$$

Във връзка с изложеното по-горе може да се отбележи, че експерименталното

определяне на параметрите на елементите на заместващата електрическа схема на растителната тъкан от фиг.1 може да се извърши въз основа на честотните характеристики на електрическото съпротивление на тъканта, т.е. въз основа на зависимостите $z = f(\omega)$, $R = f(\omega)$ и $X = f(\omega)$. Такъв подход, обаче изисква използуването на специална измервателна апаратура.

При изследване на електрическите свойства на растителната тъкан може да бъде използуван и методът, описан в [2,3,6,9,10], при който се анализира кривата на тока през тъканта, когато към нея се приложи импулсно напрежение с правоъгълна форма.

При предположенията, че продължителността на импулсите е значително по-голяма от тази на преходния процес в заместващата електрическа схема на растителната тъкан от фиг.1 и че параметрите на елементите на схемата остават постоянни през времето на действие на импулса, то за преходната й проводимост се получава изразът

$$y(t) = [(R_1 + R_2)/R_1.R_2].e^{\alpha t} + [(R_1 + R_2 + R_3)/R_2.(R_1 + R_3)].(1 - e^{\alpha t}), \qquad (12)$$

където $\alpha = -1/\tau_C = -(R_1 + R_3)/C.R_1.R_3$ е коренът на характеристичното уравнение на преходния процес при включване на схемата от фиг.1 към постоянно напрежение.

За стойността на преходната проводимост в началния момент $t = 0$ се записва

$$y(0) = y_0 = (R_1 + R_2)/R_1.R_2, \qquad (13)$$

а за установената й стойност при $t \to \infty$ се получава

$$y(\infty) = y_\infty = (R_1 + R_2 + R_3)/R_2.(R_1 + R_3). \qquad (14)$$

Като се вземат под внимание съотношенията $R_2 >> R_1$ и $R_3 >> R_2$ за живата растителната тъкан, то за параметрите R_1, C и R_2 на заместващата й електрическа схема от фиг.1 се записва

$$R_1 \approx 1/y_0 = U/i_0;\ C \approx \tau_C/R_1 \text{ и } R_2 \approx 1/y_\infty = U/i_\infty, \qquad (15)$$

където U е амплитудата на напрежението на правоъгълните импулси, подавани към растителната тъкан, V;

i_0 - началната стойност на тока през тъканта, A;

i_∞ - установената му стойност, A.

Изложеното по-горе показва, че експерименталното определяне на параметрите на елементите на заместващата електрическа схема на растителната тъкан от фиг.1 може да се извърши и чрез осцилографиране на тока, протичащ през тъканта при прилагане към нея на импулсно напрежение с правоъгълна форма. Този подход, не изисква специална измервателна апаратура и е избран при настоящото изследване.

При изследването осцилографирането на електрическия ток през растителната тъкан на плевелните стъбла е извършено чрез осцилоскоп тип C1 - 65A. Като източник на импулсно напрежение с правоъгълна форма е използуван калибровъчният му сигнал (фиг.2а) с параметри: честота 1 кHz и амплитуда 50 V.

Осцилографирането на тока през растителната тъкан е осъществено чрез токов шунт, включен последователно във веригата с тъканта. Шунтът е реализиран от медна тръба с външен диаметър $d_{Ш} = 16$ mm, дебелина $b_{Ш} = 1$ mm и с дължина $l_{Ш} = 11$ cm. По оста на тръбата е монтиран резистор тип МЛТ 75 Ω, 2 W. Чрез коаксиален извод напрежението върху шунта се подвежда към осцилоскопа.

Импулсното напрежение с правоъгълна форма е подавано към плевелните стъбла чрез имерсионни електроди. Те са реализирани от цилиндрични месингови електроди с диаметър $d_{ИЕ} = 4$ mm и с фетрови имерсионни накрайници, напоени с 5 % разтвор на NaCl.

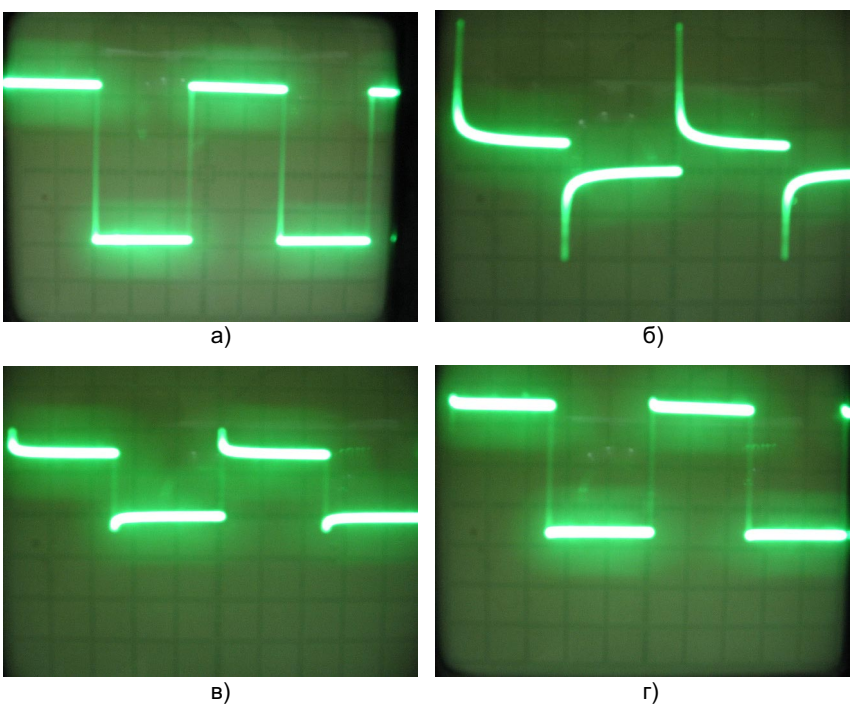
Определянето на параметрите на елементите на заместващата електрическа схема на растителната тъкан на плевелни стъбла е извършено за стъбло от плевела свиница с напречни размери $d_1 = 7{,}9$ mm и $d_2 = 7{,}1$ mm. При дължина $l_У = 0{,}25$ m на

изследвания участък на стъблото за параметрите R_1, C и R_2 са получени следните стойностите: R_1 = 34,72 кΩ; C = 144 pF и R_2 = 187,97 кΩ.

Същото плевелно стъбло е обработено с електроискрови разряди при режимни параметри на обработката: напрежение на обработка U_0 = 5 кV; капацитет на разрядния кондензатор C = 2 nF; мощност на входа на уредбата P_2 = 100 W и при продължителност на въздействието t_0 = 5, 10, 20, 40, 80 и 160 s. Тези стойности на режимните параметри са избрани въз основа на предварителни опити и дават възможност да се установи характера на изменение на тока през растителната тъкан за широк диапазон на изменение на продължителността t_0.

За параметрите R_1 и R_2 са получени следните стойности (параметърът C при обработката слабо се изменя и за него тук не се привеждат стойности): а) при t_0 = 5 s R_1 = 20,83 кΩ и R_2 = 30,12 кΩ; б) при t_0 = 10 s R_1 = 19,76 кΩ и R_2 = 23,47 кΩ; в) при t_0 = 20 s R_1 = 17,86 кΩ и R_2 = 20,83 кΩ; г) при t_0 = 40 s R_1 = 16,67 кΩ и R_2 = 18,73 кΩ; д) при t_0 = 80 s R_1 = 15,02 кΩ и R_2 = 15,97 кΩ; е) при t_0 = 160 s R_1 = 13,62 кΩ и R_2 = 14,41 кΩ.

Анализът на горните резултати показва, че след електроискрова обработка на плевелните стъбла параметрите R_1 и R_2 на растителната им тъкан намаляват и при пълно поразяване на тъканта те практически се изравняват. За илюстрация на фиг.2 са показани осцилограмите на тока през растителната тъкан на плевелното стъбло за жива тъкан и след електроискрово въздействие при t_0 = 5 s и при t_0 = 160 s (т.е. след пълно поразяване на тъканта).



Фиг.2. Вид на получените осцилограми на:
а) импулсното измервателно напрежение; б), в) и г) тока през растителната тъкан на плевелно стъбло: б) при жива тъкан; в) и г) след електроискрова обработка при режимни параметри: U_0 = 5 кV; C = 2 nF; P_2 = 100 W и при: в) t_0 = 5 s; г) t_0 = 160 s

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Разгледани са подходите за определяне на параметрите на елементите на заместващата електрическа схема на растителната тъкан и е обоснован подходът за определянето им чрез осцилографиране на електрическия ток през тъканта при въздействие на импулсно напрежение с правоъгълна форма.

2. На базата на избрания подход са определени параметрите на елементите на заместващата електрическа схема на растителната тъкан на плевелни стъбла и е установен характера на изменение на тези параметри от въздействието с електроискрови разряди върху тъканта.

ЛИТЕРАТУРА

[1]. Александров, В. Я. Реакция клетки на повреждение воздействия. Ж. “Природа”, № 1, 1948.
[2]. Баев, В. И. Электроимпульсная предуборочная обработка растений подсолнечника и табака. Автореферат докт. диссертации, М., 2001.
[3]. Климов, А. А. и др. О некоторых электрофизических параметрах и свойствах растительной ткани как объекта электроискрового воздействия. Ж. "Электронная обработка материалов", № 1, 1970.
[4]. Мелещенко, С. Н. К вопросу о природе изменений электрических свойств растительной ткани при изменении внешних условий. Ж. "Биофизика", т. 10, вып. 5, 1965.
[5]. Мелещенко, С. Н. и О. О. Лялин. Электрическая характеристика местной реакции листа растений на действие электрического тока звуковых частот. Ж. "Биофизика", т. 8, вып. 3, 1963.
[6]. Руководство по цитологии. Том 1 и 2, Отв. редактор А. С. Трошин, Изд-во "Наука", М.-Л., 1965-66 г.
[7]. Синюхин, А. М. и др. Коэффициент поляризации клеток как показатель жизнеспособности древесных растений. Ж. "Электронная обработка материалов", № 2, 1967.
[8]. Тарусов, Б. Н. и др. Биофизика, Изд-во "Высшая школа", М., 1968.
[9]. Чайлахян, Л. М. Электрическая структура живых тканей и механизм проведения нервного импульса. Ж. "Биофизика", т. 7, вып. 5, 1962.
[10]. Юдаев, И. В. Обоснование технологических параметров электроимпульсного уничтожения сорной растительности. Автореферат канд. диссертации, М., 2002.

За контакти:

1. Проф. д-р инж. Никола Колев Армянов, катедра: “Теоретична и измервателна електротехника”, Русенски университет “А. Кънчев”, ул. “Студентска” № 8, 7017 Русе, България, e-mail: armianov@ru.acad.bg

2. Ст. н. с. II ст. д-р инж. Недялко Аспарухов Недялков, Институт по мелиорации и механизация, ул. “Шосе Банкя” № 3, 1331 София, България, e-mail: ned51@abv.bg

3. Проф. д-р инж. Иван Йорданов Палов, катедра: “Електроснабдяване и електрообзавеждане”, Русенски университет “А. Кънчев”, ул. “Студентска” № 8, 7017 Русе, България, e-mail: ipalov@ru.acd.bg

4. Доц. д-р инж. Емил Константинов Кузманов, катедра: “Автоматика, информационна и управляваща техника”, Русенски университет “А. Кънчев”, ул. “Студентска” № 8, 7017 Русе, България, e-mail: ekkuzmanov@ru.acad.bg

Докладът е рецензиран.