

# ТОКОИЗПРАВИТЕЛЯТ КАТО ИЗТОЧНИК НА БЯГАЩИ ЕЛЕКТРОМАГНИТНИ ВЪЛНИ С ЧЕСТОТА $f \rightarrow 0$ .

Доц. ктн Стефан Митев Дамянов  
Технически университет-София, 1993 г.

Известно е, че токоизправителят и инверторът са основните токо-преобразователни звена в структурната електрическа схема на съвременните мощни електропреносни системи за постоянен ток [1]. Токоизправителят и инверторът осъществяват функционална електрическа връзка между трифазните променливотокови системи и електропроводите за постоянен ток /ЕПТ/ предназначени за далечно транспортиране на електрическа енергия.

В настоящата работа се разглежда функцията на токоизправителя и инвертора по нетрадиционен начин от гледна точка на електродинамика. Токоизправителят се интерпретира като преобразовател на вълново електромагнитно поле с крайна честота /напр.  $f = 50 \text{ Hz}$  /, във вълново електромагнитно поле с безкрайно малка честота  $f \rightarrow 0$ . Последното, от изводите на токоизправителя се разпространява по ЕПТ с фазова скорост към инвертора, който също се явява преобразовател на вълново електромагнитно поле, но в обратна последователност спрямо токоизправителя.

В съвременната електродинамика се счита, че електропроводите за променлив и постоянен ток имат различни принципи на действие [1] /цит./:

1. с. 37 - "Енергия, предавана по линиям електропередачи с помощно переменного тока, связана с распространяющимися электромагнитными волнами."...

2. с. 160 - "Процесс передачи электрической энергии по линии постоянного тока носит принципиально иной характер по сравнению с передачей по линии переменного тока. Передача энергии в этом случае не связана с волновыми электромагнитными процессами, благодаря чему линии постоянного тока обладают качественно иными характеристиками, нежели линии переменного тока"...

Трябва да се подчертае, че цитираните по-горе твърдения на съществуващата теория напълно коректно отразяват съответните уравнения, които описват електромагнитния процес в двата вида електропроводи. Така например, докато електропроводите за променлив ток се разглеждат като електрически линии с разпределени параметри въз основа на пълни-

те телеграфни уравнения, а именно:

$$- \partial u / \partial x = R_0 i + L_0 (\partial i / \partial t); \quad /1/$$

$$- \partial i / \partial x = G_0 u + C_0 (\partial u / \partial t); \quad /2/$$

то ЕПТ се разглеждат като електрически вериги със съсредоточен параметър ( $R = R_0 \ell$ ) въз основа на редуцираните телеграфни уравнения, а именно:

$$- dU/dx = R_0 I; \quad /3/ \quad - dI/dx = G_0 U; \quad /4/$$

при  $G_0 \rightarrow 0$ .

Вижда се, че докато в /1/ и /2/ участвуват реактивните параметри  $L_0$ ,  $C_0$ , които определят вълновите свойства на електропроводите за променлив ток ( $C = 1/\sqrt{L_0 C_0} \approx 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ ), то същите параметри липсват в /3/ и /4/ относно ЕПТ.

Посоченото различие в телеграфните уравнения при двата случая, по подобен начин се отнася и до уравненията на MAXWELL [2].

От гореизложеното следва, че в светлината на съществуващата теория, токоизправителят и инверторът изпълняват фундаментално сложни електродинамически роли за физическото съвместяване на различните принципи на действие на двете разноводни токови системи, а именно: Токоизправителят преобразува постъпващия на входа му вълнов електромагнитен процес имаш крайна честота /напр.  $f = 50 \text{ Hz}$  / в невълнов електромагнитен процес с нулева честота /  $f = 0$  / на неговия изход, а инверторът изпълнява обратно действие.

При тази усложнена съвременна научна картина относно преобразуването на електромагнитния процес е съвсем логично да се прояви известен скептицизъм по отношение научната достоверност на твърдението, че посочените токови системи имат различни принципи на действие. Много по-логично е да се приеме, че те работят въз основа на единен фундаментален принцип.

В разработената от автора Вълнова електромагнитна теория /ВЕМТ/ на ЕПТ изложена в значителен брой публикации и доклади у нас и в чужбина, строго научно е обоснован вълновият характер на електромагнитния процес в ЕПТ, следователно, и единен принцип на действието им с електропроводите за променлив ток. Въз основа на тази теория е създадено изобретението "Въздушен електропровод за постоянен ток" работещ в режим на бягащи вълни, признато у нас за патент и регистрирано в САЩ. В частност, разработената ВЕМТ на ЕПТ логично неутрализира абсур-

дният постулат в някои учебници, че електромагнитният процес във веригите със съсредоточени параметри се разпространява с безкрайно голяма скорост [3].

Един от фундаменталните физически факти послужили за опорни точки на автора при разработването на ВЕМТ на ЕПТ е безспорното участие на електродинамическата константа  $c \approx 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ , както в класическите закони на постоянния ток - на AMPERE и BIOT-SAVART, така и във фундаменталното вълново уравнение, а именно:

$$dF = (1/c) H i d l \sin \alpha; \quad (5) \quad dH = (1/c r^2) I d l \sin \alpha; \quad (6)$$

$$\lambda = c; \quad (7)$$

Тук първоначално ще разгледаме проблеми свързани с величината честота на постоянния ток. В съществуващата физическа и техническа литература в световен мащаб постоянния ток се разглежда като частен случай на хармоничен ток с константна нулева честота ( $f = 0$ ), респективно, константна нулева кръгова честота ( $\omega = 0$ ). В тази връзка, много автори, за да "доизяснят" физическия смисъл на постоянния ток, след неговия словесен израз добавят в скоби константната нулева честота ( $f = 0; \omega = 0$ ). Съществуващата увереност в константната нулева честота на постоянния ток се подхранва от математическия израз на хармоничния ток по закона на косинуса при нулева честота:

$$i = I_m \cos \omega t = I_m \cos 0 = I_m = \text{const}; \quad (8)$$

Въз основа на /8/, някои автори разглеждат постоянния ток и постоянното напрежение като изродени /дегенерирани/ хармонични колебания при нулева честота и фаза [4].

Независимо от гореказаното, трябва да се изтъкне категорично, че възприетата константна нулева честота ( $f = 0; \omega = 0$ ) като характеристика на постоянния ток представлява един световно тиражиран абсурд в науката, който се намира във фундаментално противоречие с определени научни положения в математиката и физиката.

Известно е, че по определение периодът  $T$  и честотата  $f$  на периодичните процеси са свързани с равенството  $f T = 1$ .

Нека това равенство го разгледаме като функционална зависимост

$$T(f) = 1/f; \quad (9)$$

Дефиниционната област на /9/ представлява отворения интервал  $(0 < f < \infty)$  [5] /тук разгледаме  $f$  само като положителна величина/. От това следва, че  $T(f)$  не е дефинирана за  $f = 0$ .

Графиката на  $T(f)$  е кривата 1 от фиг. 1. Тя представлява равно-странна хипербола с асимптоти - координатните оси [6]. От графика се вижда, че тя няма точка за  $f=0$ . Следователно, от гледна точка на математиката, величината честота няма константна нулева стойност  $f=0$ , поради което, постоянния ток не може да бъде характеризиран с последната. При тази математическа забрана за  $f=0$ , остава да се провери възможността за характеризиране на постоянния ток с безкрайно малка честота  $f \rightarrow 0$ , която въз основа на определена математическа теорема закономерно е свързана с безкрайно голям период  $T \rightarrow \infty$  [7].

В тази връзка нека да разгледаме проблема от гледна точка на електродинамиката.

От изразите /5/, /6/ и /7/ се вижда, че електродинамичната константа  $c \approx 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$  едновременно участва във фундаменталните закони на постоянния ток, от една страна, и във вълновото уравнение, от друга страна. Следователно, логично е да се направи изводът, че постоянния ток може да се разглежда като вълнов електромагнитен процес. Научната логика на направения извод напълно съпада с известната научна логика на MAXWELL при установяването на физическата връзка между електромагнетизма и оптиката [8].

От уравнение /7/ се вижда, че то като функционална зависимост между дължината на вълната  $\lambda$  и честотата  $f$ ,

$$\lambda(f) = c(1/f); \quad /7'/$$

математически не се различава от /9/, включително и относно дефиниционния интервал. Графиката на  $\lambda(f)$  е кривата 2 на фиг. 1. Ясно е, че уравнение /7'/ и неговата графика характеризират вълнов електромагнитен процес за всяка точка от дефиниционния интервал  $(0 < f < \infty)$ , включително, точката с координати  $(f \rightarrow 0, \lambda \rightarrow \infty)$ . Следователно, тази точка характеризира постоянния ток като вълнов електромагнитен процес.

В светлината на направения извод следва, че формула /8/, която е сегашната "научна опора" на константната нулева честота ( $\omega=0$ ) не е коректна от гледна точка на електродинамиката. Тя трябва да се коригира, както следва:

$$I = \lim_{\omega \rightarrow 0} I_m \cos \omega t = I_m = \text{const}; \quad /8'/$$

Въз основа на направения извод за безкрайно малката честота  $(f \rightarrow 0, \omega \rightarrow 0)$  на постоянния ток разглеждан като вълнов електромагнитен процес може да се дефинира и определи фазовата скорост на бяга-

щите вълни в ЕПТ, а именно:

$$V = \lim_{\omega \rightarrow 0} (\omega/\beta) = \pm c \left[ (2\sqrt{R_0 C_0 G_0 L_0}) / (R_0 C_0 + G_0 L_0) \right]; \quad /10/$$

Доказателството на /10/ може да се проведе по няколко начина, като се изходи от зависимости в теорията на електропроводите за променлив ток /линия с разпределени параметри/ и се направи граничен преход при  $\omega \rightarrow 0$ .

От /10/ е ясно, че фазовата скорост  $V$  е напълно определена физическа величина. Тя зависи от всички разпределени параметри на ЕПТ -  $R_0, G_0, L_0, C_0$ . Това показва, че за ЕПТ са валидни пълните телеграфни уравнения /1/ и /2/.

Тъй като бягащите вълни при ЕПТ са монохармонични, фазовата им скорост съвпада с груповата скорост, с която се пренася енергията.

Някои типични закономерности на бягащите вълни на напрежението и тока в ЕПТ са изложени в [9, 10].

Ясно е, че от гледна точка на ВЕМТ на ЕПТ, последните напълно закономерно трябва да се разглеждат като линии с разпределени параметри, въпреки че в сегашната теория съществува дефинитивна забрана за това.

Тук без доказателство ще въведем съответната система от диференциални векторни уравнения, които коректно характеризират вълновият електромагнитен процес в ЕПТ:

а/ Идеален ЕПТ ( $R_0 = 0, G_0 = 0$ )

$$\text{rot } \vec{H} = -\text{rot}[\vec{D} \vec{V}] = -\partial \vec{D} / \partial t; \quad /11/$$

$$\text{rot } \vec{E} = \text{rot}[\vec{B} \vec{V}] = \partial \vec{B} / \partial t; \quad /12/$$

$$\text{div } \vec{B} = 0; \quad \text{div } \vec{D} = 0; \quad /13/$$

б/ Реален ЕПТ ( $R_0 \neq 0, G_0 \neq 0$ )

$$\text{rot } \vec{H} = -K_E G_0 \vec{E} - \text{rot}[\vec{D} \vec{V}]; \quad /14/$$

$$\text{rot } \vec{E} = K_H R_0 \vec{H} + \text{rot}[\vec{B} \vec{V}]; \quad /15/$$

$$\text{div } \vec{B} = 0; \quad \text{div } \vec{D} = 0; \quad /13/$$

където:  $K_E, K_H$  - безразмерни коефициенти със стойности зависими от геометричния вид на ЕПТ и се определят както следва:

$$K_E = \sigma / G_0 = \epsilon / C_0; \quad K_H = \mu / L_0 c \quad /16/$$

$\sigma$  - специфична проводимост на диелектричната среда;

$L_{0l}$  - вътрешна индуктивност на проводниците за единица дължина на ЕПТ.

Например, за двупроводен въздушен ЕПТ имаме:

$$K_E \approx (1/\pi) \ln(d/\tau_0); \quad K_H \approx 4\pi; \quad /17/$$

$d$  - разстояние между осите на проводниците;

$\tau_0$  - радиус на проводниците.

Вижда се, че уравнения /11/, /12/, респективно /14/, /15/ са фундаментално различни от известните уравнения на МАХВЕЛЛ за стационарното електромагнитно поле /постоянен ток/. Освен това е необходимо да се изтъкне, че между /14/ и /15/ от една страна, и /1/ и /2/ от друга страна, съществува пълно съответствие.

Теорема на Poynting за ЕПТ:

$$\int_{V_g} \operatorname{div}[\vec{E} \vec{H}] dV = \oint_S [\vec{E} \vec{H}] d\vec{s} = \oint_S \vec{P} d\vec{s} = \int (\vec{E} \frac{\partial D}{\partial t} + \vec{H} \frac{\partial B}{\partial t}) dV + \int_{V_{np}} \sigma \vec{E}^2 dV + \int_{V_{np}} K_H R_0 \vec{H}^2 dV; \quad /18/$$

където:  $V_g$  - обем на диелектричното пространство  
 $V_{np}$  - обем на проводниците.

На фиг. 2 са дадени векторните величини, които характеризират вълновия електромагнитен процес при токоизправителя и инвертора за идеален ЕПТ. Вижда се, че векторът на Poynting  $\vec{P}$  е насочен "навън" от токоизправителя и "навътре" към инвертора, т.е. токоизправителят "излъчва" вълново електромагнитно поле с честота  $f \rightarrow 0$ , а инверторът го "приема".

Може да се пресметне, че потокът на вектора на Poynting е равен на електрическата мощност на токоизправителя:

$$\oint_S \vec{P} d\vec{s} = UI; \quad /19/$$

Въз основа на проведенения анализ могат да се направят следните изводи:

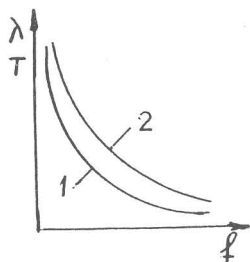
1. По своята фундаментална електродинамична функция токоизправителят представлява преобразувател на вълново електромагнитно поле с крайна честота /напр.  $f = 50 \text{ Hz}$  /, във вълново електромагнитно поле с безкрайно малка честота ( $f \rightarrow 0$ ), което се разпространява по ЕПТ с фазова скорост. Инверторът също е преобразувател на вълново електромагнитно поле, но с обратна последователност.

2. В съществуващата теория константната нулева честота ( $f=0$ ) е некоректна характеристика на постоянния ток.

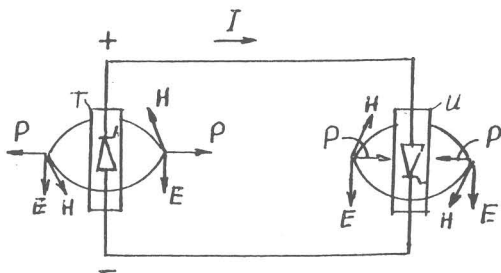
3. Противно на становището от съществуващата теория, принципът на действие на ЕПТ се основава на вълнов електромагнитен процес, за който са валидни пълните телеграфни уравнения /вместо редуцираните/ и въведените в настоящата работа диференциални векторни уравнения.

## Л И Т Е Р А Т У Р А

1. ВЕНИКОВ В.А., РЫЖОВ, Ю.П. Дальние электропередачи переменного и постоянного тока. Энергоатомиздат, Москва, 1985 г, с. 37, 160.
2. ФАЙНМАН Р., ЛЕЙТОН Р., СЕНДС М. Файманови лекции по физика. Том 2. Превод от руски, Народна просвета, София, 1972 г, с. 50.
3. ФАРХИ С.Л., ПАПАЗОВ С.П. Теоретична електротехника, Част 2. Трето преработено издание, Техника, София, 1990 г, с. 5.
4. ЛОСЕВ А.К. Теория линейных электрических цепей. Высшая школа, Москва, 1987 г, с. 16.
5. ДИЧИНОВ Д. Математически анализ. Трето преработено издание. Наука и изкуство, София, 1983 г, с. 8.
6. ВЪЙГОДСКИЙ М.Я. Справочник по высшей математике. Издание десятая, Наука, Москва, 1972 г, с. 105, 106, 252.
7. МЕЛАМЕДМАН Н.М. Курс высшей математики, Часть 1, Высшая школа, Москва, 1974 г, с. 193.
8. МАХВЕЛЛ Ж.С. Динамическая теория электромагнитного поля, Избранные сочинения по теории электромагнитного поля, Москва, 1952 г, с. 321.
9. ДАМЯНОВ С.М. Представление стационарного режима длинной линии постоянного тока суммой бегущих волн, Электричество, Москва, № 12/1988 г, с. 51-53.
10. ДАМЯНОВ С.М. О волновом сопротивлении длинных линий постоянного тока, Электричество, № 3/1987 г, с. 67-69.



фиг. 1



фиг. 2