

and nonstationary time series analysis / Huang N. E., Shen Z., Long S. R., Wu M. L. [and others]. — Proc. R. Soc. London, 1998. — Vol. 454. — P. 903—995.

5. <http://prodav.narod.ru/>

Проанализированы предпосылки использования преобразования Гильберта-Хуанга для очистки информационных сигналов от шумов, исследованы разные реализации преобразования Гильберта-Хуанга.

Фильтрация, информационный канал, зашумленность, прогнозирование

Analyzed the preconditions of Hilbert-Huang transform to clean data signals from noise, studied different implementations Hilbert-Huang transform.

Filtering, information channel, noise, forecasting.

УДК 621.311.1:63

АНАЛІЗ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ПРОЦЕСІВ У СИСТЕМІ ПЕРЕДАЧІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ПО ОДНОМУ ПРОВОДУ

В.В. Василенко, доктор технічних наук

В.М. Комаров, аспірант*

Розглянуто фізичну сутність електромагнітних процесів, що відбуваються в однопровідній системі електропостачання локальних сільськогосподарських об'єктів. Наведено принципову схему фізичної моделі однопровідної системи електропостачання та проаналізовано електромагнітні процеси, що відбуваються в усіх її функціональних вузлах при передачі електроенергії синусоїдного змінного струму. Сформульовано загальний принцип передачі електроенергії по одному проволу.

Трансформатор Тесли, коливальний контур, електрична індукція, струм зміщення.

Однією з важливих проблем підвищення ефективності електропостачання сільськогосподарських об'єктів є проблема електропостачання автономних фермерських господарств і малих підприємств, віддалених від централізованих мереж електропостачання. Побудова традиційних ліній електропередачі для цих об'єктів пов'язана зі значними втратами електроенергії на нагрів проводів ліній електропередачі струмом провідності, високою матеріалоємністю і вартістю спорудження ліній електропередачі.

Розв'язання цієї проблеми може бути досягнуто застосуванням системи передачі електроенергії по одному проволу.

*Науковий керівник – доктор технічних наук, професор В.В. Василенко.

© В.В. Василенко, В.М. Комаров, 2013

Мета досліджень – аналіз електромагнітних процесів, що відбуваються при передачі електроенергії по одному проводу, та визначення принципу дії однопровідної системи електропередачі.

Матеріали та методика досліджень. Дослідження електромагнітних процесів виконувалися на фізичній моделі системи передачі електроенергії по одному проводу. Результати досліджень використано при обґрунтуванні принципу функціонування системи на основі перетворення струму провідності у високочастотний струм зміщення при передачі та зворотному перетворенню струму зміщення в струм провідності при живленні навантаження.

Результати досліджень. В основу побудови фізичної моделі системи передачі електроенергії по одному проводу покладена система передачі електроенергії по одному проводу.

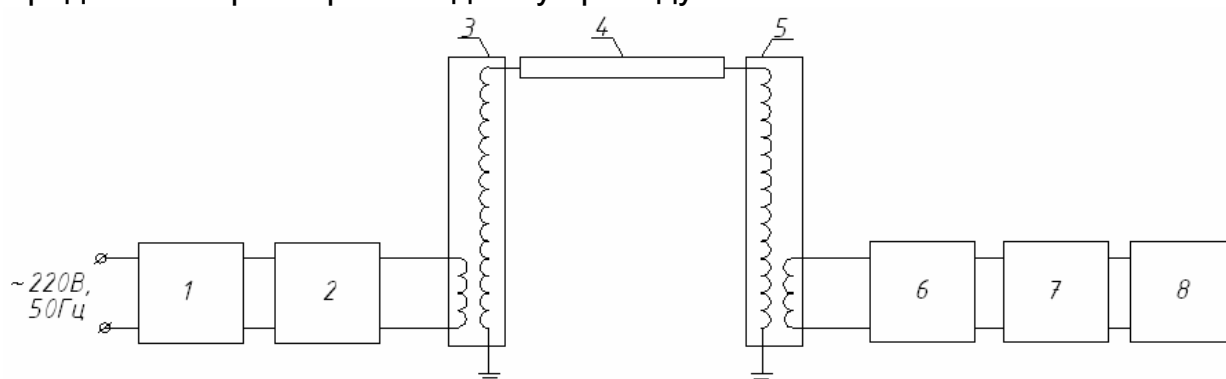


Рис.1. Принципова схема фізичної моделі системи передачі електроенергії по одному проводу

Як видно із рис.1 фізична модель системи передачі електроенергії по одному проводу складається із таких функціональних вузлів: випрямляча (1), що живиться від джерела однофазного синусоїдного змінного струму; високочастотного імпульсного генератора (2); передавального трансформатора Тесли (3); лінії передачі електроенергії по одному проводу (4); приймального трансформатора Тесли (5); діодно-конденсаторного випрямного блока (6); інвертора напруги постійного струму в напругу синусоїдного змінного струму промислової частоти (7) та навантаження (8).

Експериментальні дослідження розробленої згідно з наведеною принциповою схемою фізичної моделі системи передачі електроенергії по одному проводу показали її повну роботоздатність при резонансній частоті 500 кГц і напрузі 25 кВ. При цьому фізичні процеси в моделі цієї системи відбуваються так.

Електроенергія, що передається, синусоїдного змінного струму промислової частоти (220В, 50Гц) випрямляється випрямлячем (1) і випрямлений постійний струм напругою 220В подається на високочастотний імпульсний генератор (2), який перетворює постійний струм в імпульсний змінний струм прямокутної форми частотою 500 кГц і напругою 220В, при цьому частота імпульсів високочастотного генератора (500

кГц) налаштована на резонансну частоту розімкненого індуктивно-ємнісного контуру, який включає лінію передачі електроенергії по одному проводу (4) та багатовиткові заземлені обмотки приймального (5) і передавального (3) трансформаторів Тесли. Високочастотні імпульси прямокутної форми подаються на первинну маловиткову обмотку передавального трансформатора Тесли (3), в результаті чого на його вторинній багатовитковій (800 витків) заземленій обмотці індукується висока напруга (25 кВ), яка передається з початку цієї обмотки на однопровідну лінію електропередачі (4), під'єднану до початку багатовиткової заземленої обмотки приймального трансформатора Тесли (5), де накопичуються заряди, що стікають в ємність індуктивно-ємнісного контуру з вторинної обмотки передавального трансформатора Тесли (3), створюючи струм зміщення, який на відміну від струму провідності не створює резистивних теплових втрат енергії.

Високовольтна напруга та струм зміщення, подані по однопровідній лінії на первинну (багатовиткову) обмотку приймального трансформатора Тесли (5), створюють в його вторинній маловитковій замкненій обмотці понижену напругу (220В) високочастотного імпульсного струму провідності, яка подається на діодно-конденсаторний випрямний блок (6), де імпульсний струм випрямляється і заряджає ємнісний накопичувач, що згладжує пульсації випрямленого постійного струму провідності. Слід зазначити, що струм зміщення в однопровідній лінії та багатовиткових обмотках обох трансформаторів Тесли зв'язаний з перетоком зарядів по однопровідній лінії передачі електроенергії (4), обумовленим силовою взаємодією зарядів та швидкістю зміни електричного зміщення, а не дією ЕРС.

Випрямлений постійний струм провідності подається на інвертор напруги (7), який перетворює його в синусоїдний змінний струм промислової частоти і забезпечує живлення споживачів навантаження (8).

Суттєвою особливістю запропонованого способу передачі електроенергії є те, що струм зміщення перетворюється у вторинній обмотці приймального трансформатора Тесли в звичайний активний струм провідності замкненого кола навантаження, тобто струм зміщення використовується для передачі електроенергії.

Таким чином, принцип передачі електроенергії по одному проводу полягає в перетворенні синусоїдного змінного струму промислової напруги і частоти в імпульсний змінний струм високої частоти і напруги, при яких у розімкненій і заземленій однопровідній лінії передачі виникає струм зміщення, що разом з високою напругою створює падаючі хвилі, які є носіями електричної енергії, що подається на приймальний трансформатор Тесли, замкнена вторинна обмотка якого разом з діодно-конденсаторним випрямним блоком перетворює струм зміщення в постійний струм провідності з подальшим перетворенням інвертором напруги в синусоїдний змінний струм промислової частоти і напруги, який живить споживачів навантаження.

Іншими словами принцип передачі електроенергії по одному проволу полягає в перетворенні струму провідності в струм зміщення, що передається по лінії електропередачі з наступним перетворенням його в кінці лінії електропередачі в струм провідності, яким живиться навантаження.

Визначення параметрів і рівнянь електромагнітного поля в процесі передачі електроенергії по одному проволу доцільно розглянути, виходячи із теорії поширення плоских електромагнітних хвиль в ідеальному діелектрику, провідність якого, як відомо, дорівнює нулю. Таким діелектриком є нижні шари атмосфери, тобто повітря, в якому розташовуються лінії електропередачі, в тому числі і лінії передачі по одному проволу.

Враховуючи те, що в ідеальному діелектрику відносні величини діелектричної і магнітної проникності дорівнюють: $\epsilon_r=1$ і $\mu_r=1$, абсолютні значення діелектричної і магнітної проникності будуть рівнятись електричній і магнітній сталим: $\epsilon_0=8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м та $\mu_0=4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м. Тоді параметри плоскої електромагнітної хвилі, яка поширюється вздовж лінії електропередачі по одному проволу та є носієм електроенергії, що передається будуть дорівнювати таким величинам.

Коефіцієнт поширення електромагнітної хвилі:

$$\gamma = \alpha + j\beta = j\beta, \quad (1)$$

де α – коефіцієнт згасання та $\alpha=0$, оскільки провідність ідеального діелектрика дорівнює нулю;

$$\beta = \frac{\omega}{c} = 2\pi f \sqrt{\epsilon_0 \mu_0}, \frac{\text{рад}}{\text{м}} \text{ – коефіцієнт фази;}$$

$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с – швидкість хвилі(світла).}$$

Хвильовий опір:

$$\dot{Z}_{xs} = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} \approx 377 \text{ , Ом.} \quad (2)$$

Миттєве значення періодичної функції імпульсної напруги прямокутної форми, отримане шляхом розкладання її в ряд Фур'є до п'ятої гармоніки, дорівнює:

$$u(\omega t) = \frac{4U_m}{\pi} \sin(\omega t) + \frac{4U_m}{3\pi} \sin(3\omega t) + \frac{4U_m}{5\pi} \sin(5\omega t), \text{ В,} \quad (3)$$

де U_m – амплітудне значення напруги імпульсу.

Для отримання миттєвих значень напруженостей електричного і магнітного полів та вектора Пойнтінга визначимо амплітудне значення напруженості електричного поля:

$$E_m = \frac{U_m}{\sum l_i} = \frac{U_m}{2\pi(r_1 w_1 + r_2 w_2) + z}, \frac{\text{В}}{\text{м}}. \quad (4)$$

де z – довжина лінії, м; r_1, r_2 – радіуси обмоток, м; w_1, w_2 – кількість витків обмотки передавального та приймального трансформаторів Тесли.

Тоді миттєві значення напруженостей електричного і магнітного поля та вектора Пойнтінга будуть дорівнювати:

$$E(\omega t) = E_x = E_m \sin\{\omega(t - z_i / c)\}; \quad (5)$$

$$H(\omega t) = H_y = \frac{E_m}{Z_{x\phi}} \sin\{\omega(t - z_i / c)\};$$

$$\Pi(\omega t) = \Pi_z = \frac{E_m^2}{Z_{x\phi}} \sin^2\{\omega(t - z_i / c)\},$$

де E_m – амплітудне значення напруженості електричного поля, z_i – координата по осі z .

На рис. 2 наведено графік залежностей напруженостей електричного та магнітного поля для фіксованого моменту часу.

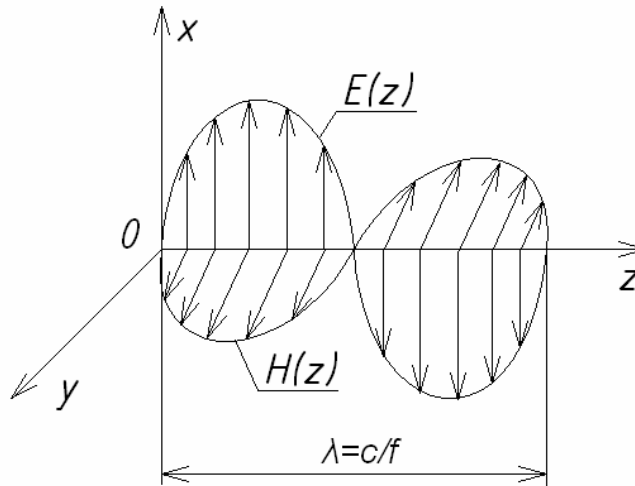


Рис. 2. Падаючі хвилі напруженостей електричного і магнітного полів

Довжина хвилі:

$$\lambda = \frac{2\pi}{\beta} = \frac{2\pi}{2\pi f \sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} = \frac{1}{f \sqrt{\epsilon_0 \mu_0}}, \text{ м}, \quad (6)$$

де f – частота, с^{-1} ; ϵ_0 – електрична стала, Ф/м ; μ_0 – магнітна стала, Гн/м

Енергія електричного і магнітного поля в об'ємі V :

$$w_e = \int_V \frac{\epsilon_0 E^2}{2} dV = w_M \int_V \frac{\mu_0 H^2}{2} dV, \text{ Вт} \cdot \text{с}. \quad (7)$$

У системі передавання електроенергії по одному проводу за відсутності навантаження (в режимі холостого ходу) встановлюються стоячі хвилі напруженостей електричного та магнітного полів, оскільки амплітуди падаючої і відбитої хвилі за відсутності резистивних втрат енергії є рівними. При підключенні навантаження разом зі стоячими хвилями створюється бігуха хвиля, яка є носієм електроенергії навантаження.

Миттєві значення напруженостей електричного і магнітного полів при цьому будуть дорівнювати:

$$E(t, x) = E_m \left[K e^{j\beta x} + (1 - K) \cos \beta x \right]; \quad (8)$$

$$H(t, y) = \frac{E_m}{\dot{Z}_{x\phi}} \left[K e^{j\beta y} + j(1 - K) \sin \beta y \right]. \quad (9)$$

Тоді при однаковій напруженості на початку та в кінці лінії отримаємо:

$$E(t, x) = E_m K \sin(\omega t + \beta x) + E_m (1 - K) \cos \beta x \cdot \sin \omega t; \quad (10)$$

$$H(t, y) = \frac{E_m}{\dot{Z}_{x\phi}} K \sin(\omega t + \beta y) + \frac{E_m (1 - K)}{\dot{Z}_{x\phi}} \sin \beta y \cdot \sin \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right), \quad (11)$$

де $E_m K \sin(\omega t + \beta x)$, $\frac{E_m (1 - K)}{\dot{Z}_{x\phi}} \sin \beta y \cdot \sin \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right)$ – стоячі хвилі напруженостей електричного та магнітного полів; $E_m K \sin(\omega t + \beta x)$, $\frac{E_m}{\dot{Z}_{x\phi}} K \sin(\omega t + \beta y)$ – бігучі хвилі напруженості цих полів; $K = \frac{\dot{Z}_{x\phi}}{Z_H}$ – коефіцієнт узгодження навантаження; Z_H – опір навантаження, Ом; $\dot{Z}_{x\phi}$ – хвильовий опір, Ом.

При $K=0$ (розімкнена лінія) і $K=\infty$ (коротке замикання) в лінії встановлюються тільки стоячі хвилі, чим ближче коефіцієнт узгодження K до одиниці, тим ефективніше проявляються бігучі хвилі.

Висновки

Принцип передачі електроенергії по одному проводу в загальному випадку полягає в перетворенні струму провідності у струм зміщення, що передається по однопровідній лінії електропередачі з наступним перетворенням його в кінці лінії електропередачі в струм провідності живлення навантаження.

Одиночний провід лінії передачі електроенергії є напрямним каналом, який разом з заземленими багатовитковими обмотками передавального і приймального трансформаторів Тесли створює індуктивно-ємнісний розімкнений контур, що визначає резонансні властивості системи передачі.

Носієм електроенергії, яка передається системою передачі по одному проводу, є бігуча плоска електромагнітна хвиля напруженості електричного і магнітного полів, що створюється при підключенні навантаження і поширюється вздовж напрямного каналу системи разом зі стоячими електромагнітними хвилями, які виникли до підключення навантаження в режимі холостого ходу.

Список літератури

1. Бессонов Л. А. Теоретические основы электротехники. Электромагнитное поле / Бессонов Л. А. - М.: Высш. шк., 1986 – 212 с.
2. Калашников С. Г. Электричество / Калашников С. Г. – М.:Наука , 1985. – 576 с.
3. Круг К. А. Основы электротехники / Круг К. А. - М.-Л.: Гос. энерг. изд-во., 1946. – 947 с.
4. Tesla N. Apparatus for transmission of electrical energy US Patent № 649621/ 15.05.1900. – 17 с.

Рассмотрено физическую сущность электромагнитных процессов, происходящих в однопроводной системе электроснабжения локальных сельскохозяйственных объектов. Приведена принципиальная схема физической модели однопроводной системы электроснабжения и проанализированы электромагнитные процессы, происходящие во всех ее функциональных узлах при передаче электроэнергии синусоидального переменного тока. Сформулирован общий принцип передачи электроэнергии по одному проводу.

Трансформатор Теслы, колебательный контур, электрическая индукция, ток смещения

In the article shown the physical electromagnetic processes' nature in single-wire line system of local agricultural facilities. Described schematical physical model of single-wire line power system and analyzed electromagnetic processes in all its functional units with power transmission sinusoidal AC. Formulated the general principle of transferring electric energy by single-wire line.

Tesla coil, oscillation circuit, electric induction, replacement current.

УДК 620.179:621.373.5

ТРИВИМІРНА МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ РОЗРЯДЖАННЯ ЄМНОСТІ НА ЕЛЕКТРОМАГНІТНУ СИСТЕМУ З ПОСЛІДОВНО З'ЄДНАНИХ КОТУШКИ ІНДУКТИВНОСТІ, ЕЛЕКТРОДА І НЕФЕРОМАГНІТНОЇ ПЛАСТИНИ

***І.П. Кондратенко, А.В. Жильцов, доктори технічних наук
В.В. Васюк, аспірант****

Розроблено тривимірну математичну модель для розрахунку густини струмів розтікання в масивних феромагнітних елементах електромагнітної системи для зменшення або визначення залишкових напружень у дослідному зразку.

Електромагнітне поле, інтегральні рівняння, струми розтікання, електродна система.

*Науковий керівник – доктор технічних наук А.В. Жильцов

© І.П. Кондратенко, А.В. Жильцов, В.В. Васюк, 2013