



УДК 621.317.76

DOI: 10.31388/2220-8674-2018-2-41

## РОЗРАХУНОК ЕНЕРГЕТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК АВТОГЕНЕРАТОРА З ВИКОРИСТАННЯМ КВАРЦОВИХ ГЕНЕРАТОРІВ НВЧ

Орел О. М., к.т.н.

Орел М. О.,

Кузьменко В. В.

*Таврійський державний агротехнологічний університет*

e-mail: orelan2006@ukr.net

**Анотація** – визначено оптимальні параметри електромагнітного поля ультрависокого частотного діапазону, що взаємодіє з кістковими тканинами тварин. Метою роботи є виявлення високочастотного діапазону параметрів електромагнітного поля при взаємодії з тканинами тварин з використанням розробленої математичної моделі. Актуальним завданням є розробка ефективного лікування без медикаментозного лікування та засобів лікування травм тварин. Застосовуючи отримані математичні вирази, були виконані числові розрахунки значень біотропних параметрів електромагнітного поля в кінцівках тварин різних геометричних розмірів; визначена оптимальна частота впливу, що дозволяє дати відповідні рекомендації щодо технічних особливостей розробленого терапевтичного апарату. Визначено оптимальні параметри електромагнітного поля ультрависокого частотного діапазону, що взаємодіють з кістковими тканинами тварин. Досліджена залежність амплітуди електричних компонент магнітного поля. Доведено, що розміри кінцівок і внутрішніх тканин суттєво впливають на внутрішній розподіл електромагнітних полів. Результати експериментальних досліджень дозволили визначити оптимальну схему частот, потужності та джерела випромінювання для лікування травм різних видів тварин. Застосування електромагнітного випромінювання з оптимальними параметрами підсилює метаболізм на рівні мембрани уражених клітин і сприяє більш швидкому відновленню пошкодженої кісткової тканини..

**Ключові слова** – НВЧ випромінювання, кварцовий генератор, автогенератор.

**Постановка проблеми.** В даний час для лікування травм тварин в основному використовують медикаментозні способи лікування. Застосування антибіотиків і інших медикаментів не завжди сприяє одужанню тварин і, крім того, лікарські препарати з молоком і м'ясом потрапляють в організм людини, що негативно на нього впливають. Ведеться невпинний пошук не медикаментозних засобів лікування та профілактики захворювань тварин [3, 4].

Однією з найактуальніших проблем, яка стоїть перед аграрним комплексом України на сучасному етапі є підвищення продуктивності



в тваринництві зі збереженням і збільшенням поголів'я сільськогосподарських тварин, яке у великій мірі залежить від своєчасного лікування їх травматизму. В результаті травм і їх ускладнень хворі тварини знижують продуктивність, передчасно выбраковуюються, нерідко гинуть [1, 2].

Оскільки СВЧ терапія тварин пов'язана з резонансним акустоелектричних хвиль в замкнених клітинних мембранах, то для передачі максимальної енергії опромінення біологічних об'єктів (95 %) слід використовувати високо стабільні СВЧ генератори (нестабільність частоти  $10^{-7} \dots 10^{-8}$ ), перебудовуванні по частоті і вихідною потужністю до 50 мВт [7, 8]. Рішення поставленої задачі можливе на основі застосування електромагнітних випромінювань НВЧ і КВЧ діапазонів [5,6].

*Аналіз останніх досліджень.* Аналіз показує, що відсутність спеціалізованих монохроматичних джерел НВЧ випромінювання сантиметрового діапазону робить проблематичною постановку питання про створення низькоенергетичної електротехнології лікування сільськогосподарських тварин [9, 10].

Також необхідно проводити теоретичний аналіз основних характеристик кварцового генератора і аналіз його короткочасної нестабільності в залежності від флуктуаційних параметрів елементів схеми автогенератора [11. 12].

*Формулювання цілей статті (постановка завдання).* Метою статті є розрахунок енергетичних характеристик автогенератора, з використанням кварцових генераторів.

*Основні матеріали дослідження (основна частина).* В даний час існує велика кількість схем кварцових генераторів до частот 100 МГц, методики розрахунку яких різноманітні і обмежені в частотній області генерації. У той же час в інженерній практиці необхідний досить простий метод розрахунку кварцових генераторів в діапазоні частот від 200 до 500 МГц, доступний при використанні довідкових даних або даних, виміряних простими методами.

Нижче наводиться один із можливих варіантів такої методики розрахунку, яка справедлива в широкій частотній області і при значних вихідних потужностях. Для розрахунку енергетичних співвідношень стаціонарного режиму скористаємося спрощеною структурною схемою рис. 1. При цьому припустимо, що реактивні компоненти  $Z_{вх}$ ,  $Z_{вих}$ ,  $Z_{н}$  впливають на фазові співвідношення в генераторі (на баланс фаз), тобто на частоту генерації, і не впливають на баланс амплітуд.

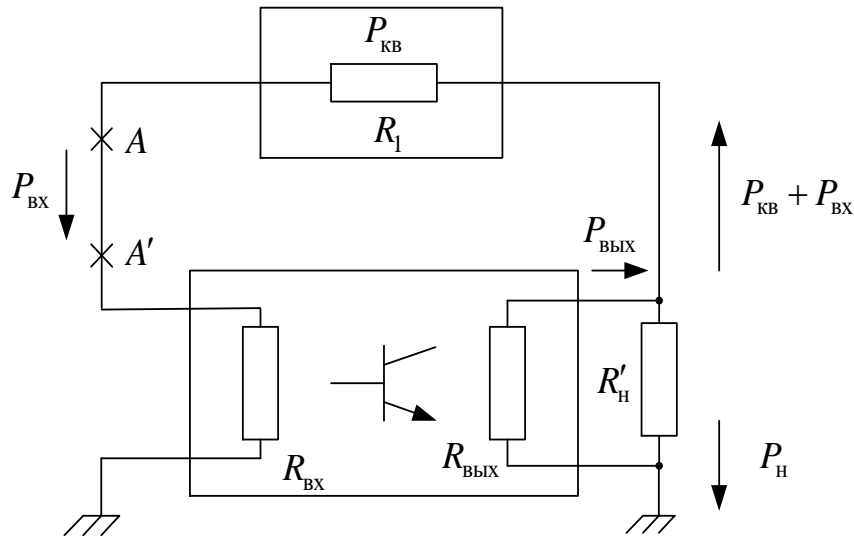


Рис. 1. Еквівалентна схема кварцового генератора

Розглянемо баланс амплітуд. З рис. 1 видно, що вихідна частина транзистора  $P_{вих}$  виділяється в навантаженні, а частина її через коло ОС надходить на вхід (базу) транзистора, причому деяка частка вхідної потужності розсіюється на кварцовому резонаторі  $P_{кв}$ :

$$P_{ВЫХ} = P_H + P_{кв} + P_{ВХ}. \quad (1)$$

Коефіцієнт передачі транзистора за проектною потужністю

$$K_p = \frac{P_{ВЫХ}}{P_{ВХ}}. \quad (2)$$

Позначимо через  $K_Q$  коефіцієнт використання добротності резонатора:

$$K_Q = \frac{P_{кв}}{P_{ВХ}} = \frac{R_1^1}{R_{ВХ}}, \quad (3)$$

де  $R_1^1$  – еквівалентний опір втрат складного резонатора. Вважаємо  $R_{ВХ} = R_H^1$ , схему рис. 1 можна представити у вигляді рис. 2.

Підключення кварцового резонатора до точок з опорами  $\frac{R_1^1}{K_Q}$  знижує його добротність до деякої величини

$$Q_3 = Q \frac{R_1^1}{R_1 + 2 \frac{R_1^1}{K_Q}} = \frac{Q_{KQ}}{K_Q + 2}, \quad (4)$$

де  $Q$  – навантажена добротність кварцового резонатора.

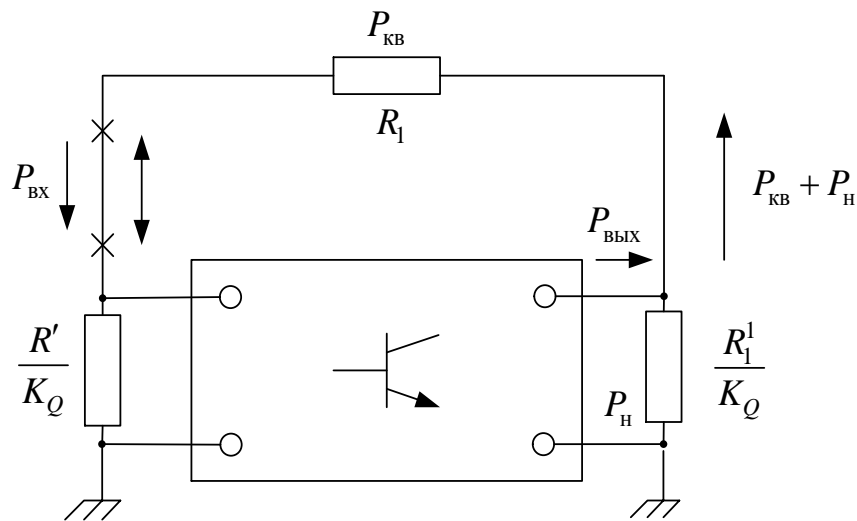


Рис. 2. Еквівалентна схема кварцового генератора

З виразів (2) - (4) маємо

$$K_p = \frac{P_{КВ} + P_H + \frac{P_{КВ}}{K_Q}}{\frac{P_{КВ}}{K_Q}} = K_Q \left( \frac{P_H}{P_{КВ}} + 1 \right) + 1. \quad (5)$$

Вираз (5) є умовою балансу амплітуд генератора в стаціонарному режимі. Після перетворення (5) отримаємо вираз для вихідної коливальної потужності генератора:

$$P_H = \frac{P_{КВ}}{K_Q} (K_p - K_Q - 1). \quad (6)$$

На практиці зазвичай  $K_p > 1 > K_Q + 1$ . Тоді маємо:

$$P_H = \frac{P_{КВ} K_p}{K_Q} = \frac{P_{КВ} K_p}{2} \left( \frac{Q}{K_Q} - 1 \right). \quad (7)$$

З виразу (6) видно, що при  $K_p = K_Q + 1$   $P_H = 0$ , так як вся вихідна потужність витрачається на підтримання самозбудження.

Позначимо через  $K_{Q_H}$  коефіцієнт зниження добротності резонатора:

$$K_{Q_H} = \frac{Q_э}{Q} = \frac{K_Q}{K_Q + 2}. \quad (8)$$

Коефіцієнт передачі ланки зворотного зв'язку дорівнює:



$$K_{oc} = \frac{P_{вх}}{P_{oc}} = \frac{1}{K_Q + 1}. \quad (9)$$

Звідси:

$$K_{oc} = \frac{1 - K_{Q_H}}{1 + K_{Q_H}}. \quad (10)$$

Використовуючи вираз для коефіцієнта регенерації  $G = K_{oc} \cdot K_p$  неважко отримати:

$$K_{Q_H} = \frac{K_p - G}{K_p + G}. \quad (11)$$

З виразу (11) видно, що при деякому заданому коефіцієнті  $G$ , який зазвичай вибирається рівним 2, збільшення  $K_{Q_H}$  можна домогтися лише за допомогою підвищення  $K_p$ . До цього висновку також можна прийти з аналізу виразу (6). При підвищенні  $K_p$  необхідний коефіцієнт регенерації  $G$  може бути забезпечений при менших значеннях  $P_{кв}$ . У той же час для забезпечення максимального  $Q_3$  сильне зниження  $P_H$  небажано. Оптимальним з цієї точки зору будучи значення, що  $P_{кв}$  не викликає нелінійних ефектів (багаточастотну) коливань в безпосередній близькості до частоти  $n$  механічної гармонії резонатора. Ця потужність зазвичай узгоджується на кожен тип резонатора.

Для вітчизняних резонаторів на 250 МГц величина  $P_{кв} = 0,5$  мВт. У зв'язку з вище викладеним зручно виразити  $P_H$  через  $K_p$ ,  $P_{кв}$ ,  $K_{Q_H}$ :

$$K_Q = \frac{2K_{Q_H}}{1 - K_{Q_H}}; \quad (12)$$

$$P_H = P_K \frac{K_p(1 - K_{Q_H}) - K_{Q_H} - 1}{2K_{Q_H}}. \quad (13)$$

Реальну величину  $K_{Q_H}$  можна визначити з формули (3.11), а потім за формулою (3.13) можна обчислити при заданому значенні  $K_p$  максимально досягнуто вихідну потужність  $P_H$ . Використовуючи вище наведені співвідношення досить просто провести енергетичний розрахунок генератора при заданому  $G$ ,  $K_{кв}$  і  $Q_3$ .

За відомими (вимірним) значенням  $Re(Z_{вх})$  і, залежно  $K_p(P_{вх})$  можна визначити коефіцієнт трансформації і фазовий зсув, після чого скласти схему генератора.



*Висновки.* Інженерна методика з розрахунку основних енергетичних параметрів автогенератора проста, дійсна для широкої смуги частот і може використовуватися для синтезу кварцових генераторів в діапазоні частот від 200 до 500 МГц.

*Література*

1. Загальна ветеринарна хірургія / А. В. Лебедев [та ін.]. - М.: Колос, 2000. - 488 с.
2. Герцен П. П. Профілактика і лікування травм в промисловому тваринництві / П. П. Герцен. - Кишинів: Кармен Молдовеняска, 1981. - 354 с.
3. Веремій Э. И. Довідник по застосуванню лікарських засобів у ветеринарній хірургії / Э. И. Веремій, А. Н. Єлисеєв, В. А. Лук'янівський. - Мінськ: Урожай, 1989. - 170 с.
4. Улащина В. С. Актуальні питання електролікування і ультразвукової терапії / В. С. Улащина - Мінськ: Урожай, 1983. - 144 с.
5. Пресман А. С. Електромагнітні поля і жива природа / А. С. Пресман. - М.: Наука, 1968. - 288 с.
6. Дев'ятков А. Д. Міліметрові хвилі і їх роль в процесах життєдіяльності / А. Д. Дев'ятков, М. Б. Голант, О. В. Бецкий - М.: Радіо і зв'язок, 1991. - 169 с.
7. Ісмаїлов Э. Ш. Біофізична дія СВЧ випромінювань / Э. Ш. Ісмаїлов. - М.: Вища школа, 1987. - 144 с.
8. Кузнецов А. П. Електромагнітні поля живих клітин в КВЧ діапазоні / А. П. Кузнецов // Електронні техніка: Сер. 1. Електроніка СВЧ. - 1991. - Вип. 7 (441). - С. 3 - 6.
9. Довідник по радіовимірвальних приладів (під ред. В. С. Насонова). - М.: Сов. радіо, 1986. - 485 с.
10. Hewlett Packard Test Measurement Catalog 1984 - 1998.
11. Малахов А. Н. Флуктуації в автоколивальних системах / А. Н. Малахов. - М.: Наука, 1967. - 660 с.
12. Кабанов Д. А. Узагальнений підхід до дослідження автогенераторів / Д. А. Кабанов // Радіотехніка та електроніка. - 1974. - № 8. - С. 1690 - 1697.

**РАСЧЕТ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК АВТОГЕНЕРАТОРА  
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КВАРЦЕВЫХ ГЕНЕРАТОРОВ СВЧ**

Орел А. Н., Орел Н. А., Кузьменко В. В.

**Аннотация** – определены оптимальные параметры электромагнитного поля сверхвысокочастотного диапазона, взаимодействующего с костной тканью животных. Целью работы является выявление высокочастотного диапазона параметров электромагнитного поля при взаимодействии с тканями животных с использованием разработанной математической модели.



Разработка эффективного медикаментозного лечения и средств лечения травм животных является актуальной задачей.

Используя полученные математические выражения, были произведены численные расчеты значений биотропных параметров электромагнитного поля в конечностях животных различных геометрических размеров; определена оптимальная частота воздействия, позволяющая дать соответствующие рекомендации по техническим особенностям разрабатываемого терапевтического аппарата. Определены оптимальные параметры электромагнитного поля сверхвысокочастотного диапазона, взаимодействующего с костной тканью животных. Исследована зависимость амплитуды электрической составляющей магнитного поля частоты. Доказано, что размеры конечностей и внутренних тканей существенно влияют на внутреннее распределение электромагнитных полей.

Результаты экспериментальных исследований позволили определить оптимальную частоту, мощность и расположение источников излучения для лечения травм различных видов животных.

Применение электромагнитного излучения с оптимальными параметрами интенсифицирует обмен веществ на уровне мембран больных клеток и способствует более быстрому восстановлению поврежденной костной ткани.

## **CALCULATION OF ENERGY CHARACTERISTICS OF THE AUTO-GENERATOR WITH USING QUARTZ MICROWAVE GENERATORS**

O. Orel, M. Orel, V. Kuzmenko

### ***Summary***

The method of calculating energy characteristics of quartz microwave generators, which are used in devices for electromagnetic therapy animals.

The optimal parameters of electromagnetic field of ultra-high frequency range interacting with the bone tissues of animals have been determined.

The aim of the work is to identify the high-frequency range of the electromagnetic field parameters in interaction with animal tissues using the developed mathematical model. The development of effective medication-free treatment and means of animal injuries treatment is urgent task.

Applying the obtained mathematical expressions, the numeric computations of the biotropic parameter values of the electromagnetic field in animal limbs of different geometric dimensions have been made; the optimal frequency of impact which allows to give the appropriate recommendations on technical features of the developed therapeutic apparatus has been defined. The aim of the work is to identify the high-frequency range of the electromagnetic field parameters in interaction with animal tissues using the developed mathematical model. The dependence of electric component amplitude of magnetic frequency field was investigated. It has been proved that the dimensions of the limbs and internal tissues significantly affect the internal distribution of the electromagnetic fields. The results of experimental studies have made it possible to determine the optimal frequency, power and radiation source arrangement for the injury treatment of different animal species. The application of electromagnetic radiation with optimal parameters intensifies metabolism on the diseased cells membrane level and assists more rapid recovery of the injured bone tissue.

*Keywords:* microwave radiation, quartz oscillator, autogenerator.