

УДК 612.822.3.087

БИОФИЗИКА

А. А. СОКОЛОВ, П. П. КОНДРАТЬЕВ, Я. А. СОКОЛОВ

ДВОИЧНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ В СПЕКТРЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ  
ВОЛН МОЗГА

(Представлено академиком В. В. Париным 17 IX 1970)

Закон распределения мультиплетов — частот электрических волн мозга (э.в.м.), соответствующих экстремумам спектральной плотности, получается в аналогии между э.в.м. и работой электронного генератора типа  $RC$ . Измерениями импеданса мозга <sup>(1)</sup> обнаружено, что он содержит элементы  $R$  и  $C$ , а существование э.в.м. доказывает, что в мозге имеются также зависимые и независимые источники электрического напряжения и обратные связи.

Электронный  $RC$ -генератор содержит в цепи согласной связи не менее двух хронирующих элементарных цепей (х.э.ц.) с постоянными времени  $\tau_1 = R_1 C_1$  и  $\tau_2 = R_2 C_2$ . Возможны только 3 структуры соединения двух цепей х.э.ц.: с  $\tau_1$  и  $\tau_1$ , с  $\tau_2$  и  $\tau_2$ , с  $\tau_1$  и  $\tau_2$ , которым соответствуют граничные частоты  $f_1 = 1 / (2\pi\tau_1)$  и  $f_2 = 1 / (2\pi\tau_2)$ , и средняя геометрическая частота

$$f_1^1 = f_1^{1/2} f_2^{1/2}. \quad (1)$$

В мозге, в системе данной э.в.м. в общем случае цепь согласной связи содержит число разных пар х.э.ц., большее трех, и поэтому число структур разных соединений этих пар больше трех. Каждая структура обусловливает свою дискретную частоту генерации. Эти структуры зависят от состояния мозга и переключаются статистически. В спектре э.в.м. появляются пики спектральной плотности на частотах, соответствующих тем структурам цепи согласной связи, появление которых наиболее вероятно при данном состоянии мозга.

Математическая модель распределения мультиплетов была подсказана обработкой взятых из <sup>(2, 3)</sup> записей частотных характеристик спектральной плотности (квадратов напряжения э.в.м., просуммированных в течение интервалов по 3 сек.). В этой модели синглет  $f_1^1$  составляет первую спектральную серию, находящуюся на первом структурном уровне ( $l = 1$ ), и делит полосу  $B = f_2 - f_1$  частот данной э.в.м. на субполосы  $s$  и  $b$  и служит для них граничной частотой. В субполосах аналогично образуются свои средние геометрические частоты — два дублета  $f_2^1$  и  $f_2^2$ , составляющие вторую спектральную серию, расположенную на втором структурном уровне ( $l = 2$ ) (рис. 1). Таким же образом получаются мультиплеты третьей и других высших спектральных серий.

Число мультиплетов  $N$  последующей спектральной серии  $l$  в два раза больше числа мультиплетов предыдущей серии  $l - 1$ :

$$N_l = 2N_{l-1} = 2^{l-1}. \quad (2)$$

Двухкратному увеличению числа мультиплетов при переходе от заданной спектральной серии к соседней серии высшего порядка в электрической модели колебательной структуры э.в.м. соответствует удвоение числа пар х.э.ц. в схеме согласной связи эквивалентного генератора. Из матема-

тической модели находим значение частоты мультиплета с порядковым номером  $n$ ,  $n = 1, 2, \dots, 2^{l-1}$ , принадлежащего спектральной серии  $l$ :

$$f_l^{(n)} = f_1^{(2l-2n+1)/2^l} f_2^{(2n-1)/2^l}, \quad (3)$$

или

$$f_l^{(n)} = f_1^p f_2^q, \quad (4)$$

где  $p$  и  $q$  — рациональные дроби с нечетными числителями,  $p + q = 1$ .

Взаимные связи между мультиплетами и граничными частотами представлены нелинейным, симметричным направленным графом (рис. 1), в котором узлами источников служат граничные частоты  $f_1$  и  $f_2$  данной э.в.м.

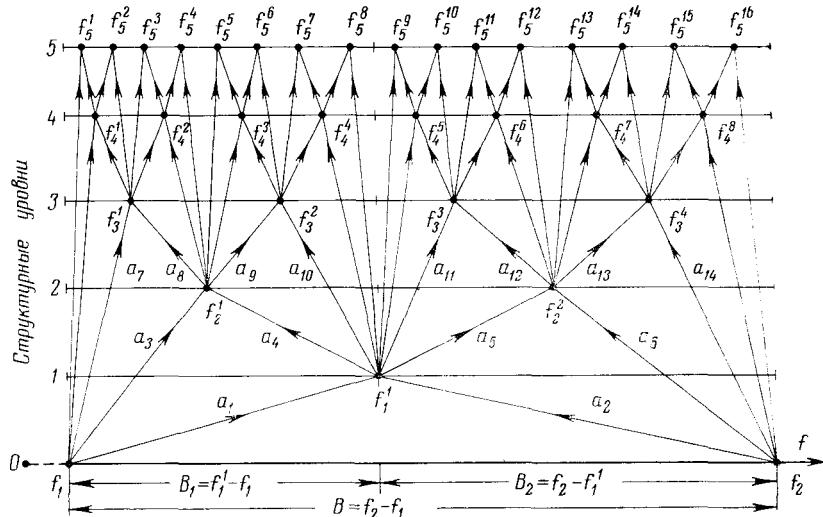


Рис. 1. Распределение структурных уровней (спектральных серий) мультиплетов э.в.м.: 1 — синглет, 2 — дублеты, 3 — квадруплеты, 4 — октоплеты, 5 — секстодецимплеты

Стоком служит любой другой узел графа, представляющий частоту заданного мультиплета, которую нужно определить. Передача любой дуги равна  $\frac{1}{2}$ . Передача пути между источником и стоком равна произведению передач дуг этого пути. Сигнал в узле  $n$  стока, находящемся на структурном уровне  $l$ , равен сигналу первого источника (частоте  $f_1$ , возведенной в степень, равную сумме путей  $P_k$  от узла этого источника до узла стока), умноженному на сигнал другого источника (частоту  $f_2$ , возведенной в степень, равную сумме путей  $P_m$  от узла этого источника до стока  $f_l^{(n)}$ ):

$$f_l^{(n)} = f_1^{\alpha} f_2^{\beta}, \quad \alpha = \sum_1^k P_k, \quad \beta = \sum_1^m P_m. \quad (5)$$

Суммы  $P_k$  и  $P_m$  путей представляют собой двоичные функции. Топологическое уравнение (5) показывает связи мультиплетов с источниками  $f_1$  и  $f_2$ .

Расхождение результатов вычислений по формулам (3) и (5) и экспериментальных данных оказалось меньше 4 %. Уравнения (3) и (5) дают частоту существующего мультиплета, но не утверждают, что на этой частоте обязательно должен быть мультиплет. При существующей технике измерений, по-видимому, возможно обнаружение мультиплетов не выше пятой серии.

Известно, что увеличение активности мозга сопровождается увеличением частоты Э.В.М. Существование мультиплетов доказывает дискретные изменения активности.

Найденная закономерность распределения мультиплетов подтверждает существование в спектре Э.В.М. упорядоченности, определяемой структурами цепи согласной связи.

Подмножества мультиплетов могут быть использованы в новом количественном методе оценки состояния и деятельности мозга.

Московский энергетический  
институт

Поступило  
4 VIII 1970

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

<sup>1</sup> Ю. В. Публикаций, Биофизика, 4, 62 (1959). <sup>2</sup> А. М. Клочков, ЖВНД, 17, № 2, 374 (1967). <sup>3</sup> А. М. Клочков, ЖВНД, 19, № 6, 1011 (1969).