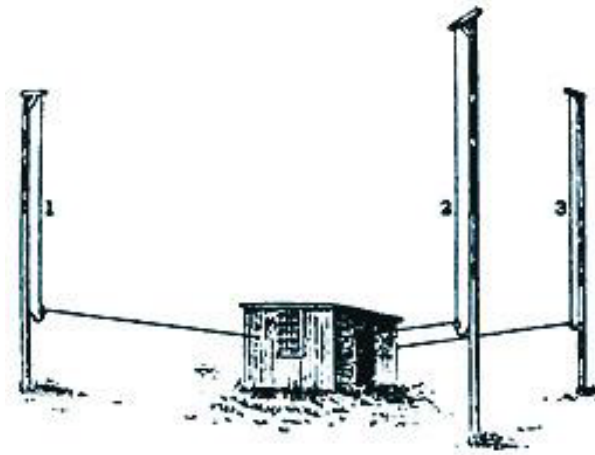




Часть А. Антенная система Брауна

В ряде работ нобелевского лауреата 1909 года Карла Фердинанда Брауна и его учеников теоретически и экспериментально исследуются способы построения антенных систем для направленного излучения электромагнитных волн и их приема. Один из способов иллюстрирует рисунок. Передатчик нагружен на три вертикальные антенны, установленные в вершинах равностороннего треугольника, причем в антеннах 2 и 3 колебания начинаются одновременно, но с опозданием на четверть периода от начала колебаний антенны 1. Тогда, по расчетам Брауна, максимальное излучение будет происходить в направлении от антенны 1 к середине расстояния между антеннами 2 и 3. При помощи антенного коммутатора можно изменить направление максимального излучения на 60 и на 120 градусов. Опытная проверка на военно-учебном поле вблизи Страсбурга показала достаточно близкое совпадение результатов с теорией.



A1 0.50 Определите отношение минимальных расстояний между антеннами к длине радиоволны.

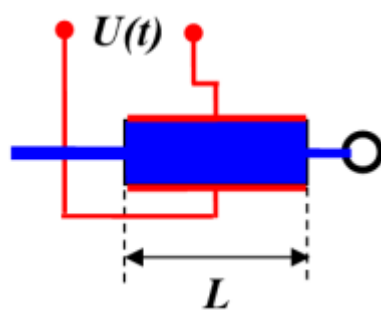
A2 0.50 Какие сдвиги фаз колебаний между антеннами 1, 2 и 3 должны быть в этой системе, чтобы максимальное излучение возникало в направлении от 1-ой ко 2-ой антенне?

Непременным элементом оборудования систем космической связи, противовоздушной или противоракетной обороны, аэропорта или морского порта являются радиолокационные антенны. Ясно, что во всех случаях необходимо создание узконаправленного «луча», который должен либо следовать за данным объектом, либо сканировать заданный телесный угол. Изменение направления луча можно осуществлять механически, поворачивая антенну. Однако антенны бывают очень громоздки, а необходимая скорость вращения луча может оказаться весьма значительной. К тому же иногда необходимо, чтобы эта скорость довольно быстро изменялась (например, если нужно, чтобы луч «медленно» проходил наиболее важные направления, где появление «цели» наиболее вероятно, и «быстро проскакивал» те направления, где сканирование все же необходимо, но появление «цели» маловероятно). Во всех этих случаях механические способы поворота луча становятся неэффективными, и нужно переходить к электронному управлению лучом. Такая задача решается с помощью *фазированных антенных решеток* (ФАР) – систем, в которых когерентные излучатели электромагнитных волн расставлены упорядоченно, а их излучением управляет электронная схема. Рассмотрим некоторые ее элементы.

Часть В. Фазовращатель

Фазовращатель. Это устройство для управляемого сдвига фазы волны. Существует несколько разновидностей фазовращателей, но мы рассмотрим только одну из них. Это сегнетоэлектрический стержень, диэлектрическая проницаемость которого зависит от приложенного «поперечного» напряжения:

$\epsilon = \bar{\epsilon} [1 + \alpha U(t)]$. Управляющее напряжение изменяется в пределах $-20 \text{ В} \leq U(t) \leq +20 \text{ В}$, а коэффициент $\alpha = 10^{-3} \text{ В}^{-1}$. На «вход» стержня приходит электромагнитный сигнал от генератора. Изменение напряженности электрического поля в этом сигнале описывается выражением $E_{in}(t) = E_0 \cos \omega t$. Сигнал распространяется вдоль стержня и попадает на излучатель (на рисунке обозначен кружком). Показатель преломления вещества стержня при нулевом управляющем сигнале $\bar{n} = 8$. Длина стержня $L = 20\pi c/\omega$, где c – скорость света в вакууме.

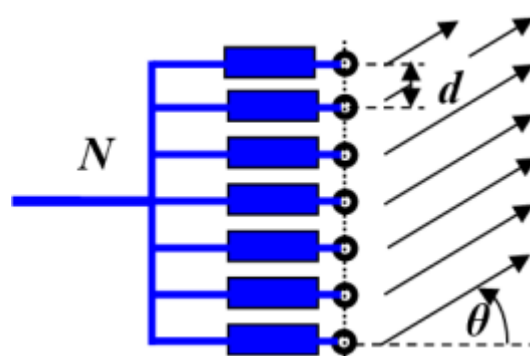


B1 0.50 Пренебрегая потерями, запишите выражение для изменения напряженности электрического поля $E_{out}(t)$ в сигнале на «выходе» из стержня.

B2 0.50 Какие сдвиги фазы сигнала может создать фазовращатель?

Часть С. Фазированная антенная решетка

Линейная цепочка. Рассмотрим теперь $N = 100$ излучателей, на которые подается один и тот же сигнал через независимые фазовращатели. Управляющее напряжение на фазовращатели подается таким образом, чтобы выходной сигнал $(n + 1)$ – го фазовращателя опережал по фазе выходной сигнал n – го на $\Delta\varphi = \varphi_0 \sin \Omega t$, $(\Omega \ll \omega)$.



C1 1.00 По какому закону должно изменяться управляющее напряжение n – го фазовращателя для обеспечения такого сигнала с $\varphi_0 = 3\pi/4$.

Пусть расстояние между излучателями равно половине длины волны излучения: $d = \pi c / \omega = \lambda / 2$. Изучите излучение цепочки в плоскости, образованной цепочкой излучателей и нормалью к этой цепочке.

C2^{2.50} Как будет изменяться с течением времени угол θ между нормалью и направлением луча?

Следует считать, что диаграмма направленности каждого из излучателей такова, что по всем направлениям в рассматриваемой плоскости в пределах значений $-80^\circ \leq \theta \leq +80^\circ$ он испускает волны с одинаковой амплитудой.

C3^{1.00} Найдите угловую ширину луча. Границей луча считать направление, в котором интенсивность излучения в 4 раза меньше, чем максимальная интенсивность в этом луче.

C4^{0.50} Найдите максимальную угловую скорость движения луча.

C5^{0.50} Во сколько раз максимальный поток энергии в луче превосходит поток энергии от одного излучателя?

На самом деле луч с интенсивностью, найденной в пункте C3, не всегда существует в течении всего периода сканирования, и не всегда он единственен. Поэтому введем две дополнительные характеристики антенны:

- 1. плотность сканирования $\beta = t_{\text{раб}} / T_{\text{ск}}$ – отношение длительности интервалов времени внутри периода сканирования, в течении которых такой луч существует, к величине периода сканирования;
- 2. кратность сканирования K – количество таких лучей.

Например, для изученной в пунктах C2-C5 антенны $\beta = 1$ и $K = 1$. С технической точки зрения это «оптимальные» значения этих характеристик – параметры реальных антенн обычно подбирают так, чтобы их значения были именно такими.

C6^{1.00} Найдите β и K для антенны с $d = \lambda / 4$, у которой используются те же законы изменения управляющих напряжений. Укажите область сканирования (интервал углов θ , в пределах которых движутся сканирующие лучи).

C7^{1.50} Аналогично найдите β и K для антенны с $d = \lambda$. Также укажите область сканирования.