

НАРУШЕНИЕ ЗАКОНА МАЛЮСА В ДИАПАЗОНЕ СВЧ

Н.Я. Молотков, О.В. Ломакина

*Кафедра «Физика», ФГБОУ ВПО «ТГТУ»;
lomakinaolga@mail.ru*

Представлена членом редколлегии профессором В.И. Коноваловым

Ключевые слова и фразы: волноводы; закон Малюса; поляризация; сверхвысокие частоты; электромагнитные волны.

Аннотация: Закон Малюса о поляризации света справедлив для электромагнитных волн СВЧ-диапазона $\lambda = 3,2$ см, если в источнике и приемнике радиоволн используются прямоугольные волноводы с пирамидальными рупорными антеннами. Если же генератор СВЧ нагружен цилиндрическим волноводом с конической антенной, то наблюдаются значительные отклонения от закона Малюса. Рассмотрена причина нарушения закона Малюса.

Известный физик Г. Герц, впервые открывший электромагнитные волны (1888 г.), показал, что для этих волн справедлив оптический закон Малюса (1810 г.), где источник и приемник (электрические вибраторы) электромагнитных волн ($\lambda = 0,6 \dots 10$ м) следует рассматривать как поляризатор и анализатор соответствующего оптического прибора [1]. В наших работах [3–5] теоретически и экспериментально показано, что закон Малюса справедлив в диапазоне СВЧ ($\lambda = 3,2$ см). При этом источником волн служит клистронный генератор К-19, нагруженный прямоугольным волноводом с пирамидальной рупорной антенной. Этот источник можно рассматривать как поляризатор, главная линия поляризации (направление колебаний электрического вектора \vec{E}) которого направлена перпендикулярно широкой стенке волновода. Приемником электромагнитных волн в диапазоне СВЧ служит пирамидальная рупорная антенна, соединенная с прямоугольным волноводом, который заканчивается детекторной секцией Д-403. Этот приемник обладает избирательными свойствами по отношению к поляризации принимаемой волны. Он регистрирует лишь ту волну, проекция электрического вектора \vec{E} которой совпадает с нормалью к широкой стенке прямоугольного волновода приемника. Описанную приемную антенну можно рассматривать как анализатор, главная линия поляризации которого расположена перпендикулярно широкой стенке прямоугольного волновода приемника.

Возьмем в качестве источника электромагнитных волн ($\lambda = 3,2$ см) клистронный генератор, нагруженный *цилиндрическим волноводом с конической антенной*, а приемником пусть служит пирамидальная антенна, соединенная с *прямоугольным волноводом* и детекторной секцией. Интенсивность принимаемой волны измеряется микроамперметром Ф-195, соединенным с детектором. Для проверки справедливости закона Малюса устанавливают указанные источник и приемник волн напротив друг друга так, чтобы их продольные оси совпадали.

При неподвижном источнике поворачивают приемную антенну, как анализатор, вокруг продольной оси. Убеждаются, что интенсивность принимаемой волны изменяется от максимального значения до минимально нулевого при повороте на 90° и далее от минимально нулевого до максимального значения при повороте на 180° и т.д. В таблице приведены экспериментальные значения интенсивности J_3 принимаемой волны и угла поворота φ приемной антенны, как анализатора. Угол отсчета $\varphi = 0^\circ$ соответствует максимальному приему электромагнитных волн, то есть случаю, при котором главные линии поляризации передающей и приемной антенн параллельны.

На первый взгляд кажется, что периодическое изменение интенсивности J_3 принимаемой волны при вращении приемной антенны, как анализатора, говорит о справедливости закона Малюса. Рассчитаем теоретические значения интенсивности J_T принимаемой волны по закону Малюса: $J_T = J_0 \cos^2 \varphi$, считая, что $J_0 = J_3 = 82$ мкА, то есть J_0 равно максимальной интенсивности принимаемой волны, когда главные линии поляризации передающей и приемной антенн совпадают. Теоретические значения J_T приведены в таблице.

Сравнение теоретических и экспериментальных значений интенсивностей J_T и J_3 показывает, что они совпадают только при $\varphi = 0^\circ$, $\varphi = 90^\circ$ и $\varphi = 180^\circ$, то есть когда главные линии поляризации источника и приемника параллельны или взаимно перпендикулярны; во всех других случаях $J_3 < J_T$, что говорит о существенном нарушении закона Малюса в диапазоне СВЧ.

Наблюдаемое отступление от закона Малюса более наглядно можно представить с помощью графических полярных диаграмм. Под полярной диаграммой исследуемой волны понимается графическая зависимость интенсивности принимаемой волны от угла поворота приемника, как анализатора, выраженная в полярных координатах, $J = J(\varphi)$. На рисунке 1 показана полярная диаграмма (линия 2) волны, излучаемой цилиндрическим волноводом с конической антенной, и теоретическая полярная диаграмма (линия 1) линейно поляризованной волны, рассчитанная в соответствии с законом Малюса. При построении полярных диаграмм использованы данные таблицы. Несовпадение полярных диаграмм говорит о нарушении закона Малюса. Следовательно, электромагнитная волна, излучаемая цилиндрическим волноводом с конической антенной, не является строго линейно поляризованной.

Объяснение полученных результатов. Электромагнитная волна, излучаемая прямоугольным волноводом с пира-

Экспериментальные и теоретические значения электромагнитных волн

φ , град	J_3 , мкА	J_T , мкА
0	82	82
10	70	79
20	50	72
30	31	62
40	18	49
50	10	34
60	5	21
70	2	9,9
80	1	2,5
90	0	0
100	1	2,5
110	2	9,9
120	5	21
130	10	34
140	18	48
150	30	62
160	50	72
170	69	79
180	82	82

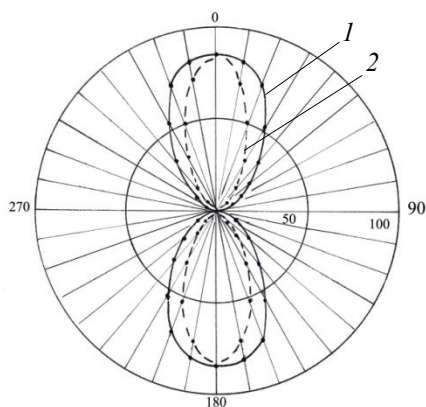


Рис. 1. Полярные диаграммы

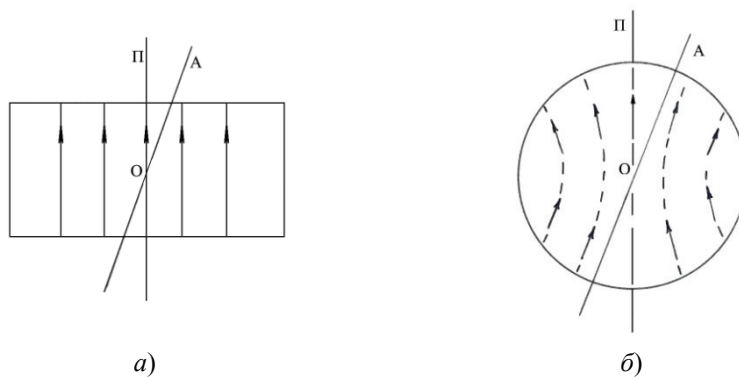


Рис. 2. Направления силовых линий электрического поля волнового фронта

мигальной рупорной антенной, характеризуется тем, что ее силовые линии электрического поля волнового фронта представляют собой прямые линии, параллельные главной линии поляризации ОП источника (рис. 2, а). Эти линии перпендикулярны широкой стенке прямоугольного волновода. Поэтому проекции электрических векторов \vec{E} элементарных полей от различных точек волнового фронта на направление линии поляризации ОА приемника, как анализатора, оказываются одинаковыми, так как угол φ для всех векторов \vec{E} элементарных волн одинаков. Другими словами, элементарные волны от различных точек волнового фронта вносят в результирующую линейно поляризованную волну одинаковый вклад.

Электромагнитная волна, излучаемая цилиндрическим волноводом с конической антенной, характеризуется тем, что ее силовые линии электрического поля волнового фронта представляют собой кривые линии [5]. Вследствие этого электрические векторы \vec{E} элементарных полей от различных точек волнового фронта ориентированы различно (рис. 2, б). Поэтому проекции электрических векторов \vec{E} элементарных полей от различных точек волнового фронта на направление линии поляризации ОА приемника, как анализатора, оказываются разными. Это приводит к тому, что элементарные волны от различных точек волнового фронта вносят различный вклад в результирующую волну. Другими словами, элементарные электрические векторы \vec{E} от различных точек волнового фронта не всегда параллельны главной линии поляризации ОП и, следовательно, волна не является строго линейно поляризованной, что и приводит к нарушению закона Малюса.

Список литературы

1. Герц, Г. Электрическая сила / Г. Герц. – СПб., 1894. – 32 с.
2. Лавров, В.М. Теория электромагнитного поля и основы распространения радиоволн / В.М. Лавров. – М. : Связь, 1964. – 368 с.
3. Молотков, Н.Я. Учебные эксперименты по волновой оптике. СВЧ демонстрации / Н.Я. Молотков. – Долгопрудный : Интеллект, 2011. – 347 с.
4. Молотков, Н.Я. Лабораторный практикум по оптике в сантиметровом диапазоне радиоволн : учеб. пособие / Н.Я. Молотков, В.Б. Дивак. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2005. – 94 с.
5. Молотков, Н.Я. Оптика и квазиоптика СВЧ : учеб. пособие / Н.Я. Молотков, О.В. Ломакина, А.А. Егоров. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2009. – 380 с.

Violation of Malus Law in the Microwave Range

N.Ya. Molotkov, O.V. Lomakina

Department "Physics", TSTU;
lomakinaolga@mail.ru

Key words and phrases: electromagnetic waves; Malus law; polarization; ultra-high frequency.

Abstract: Malus law on polarization of electromagnetic waves is valid for microwave range with $\lambda = 3,2$ cm, if the source and receiver of radio waves use rectangular waveguides with a pyramidal horn antennas. If the microwave generator is loaded with cylindrical waveguide with finite-mechanical antenna, then there are significant deviations from the law of Malus. The reason for breaking the law is revealed.

Verletzung des Gesetzes von Malus im SHF-Bereich

Zusammenfassung: Das Gesetz von Malus über die Polarisierung des Lichtes ist für die elektromagnetischen Wellen des SHF-Bereiches $\lambda = 3,2$ cm berecht, wenn es in der Quelle und im Empfänger der Radiowellen die rechtwinkligen Wellenleiter mit den pyramidenförmigen trichterförmigen Antennen benutzt werden. Wenn der SHF-Generator vom zylindrischen Wellenleiter mit der kegelförmigen Antenne belastet ist, so werden die wesentlichen Abweichungen vom Malus-Gesetz beobachtet. Es wird den Grund der Gesetzverletzung aufgedeckt.

Violation de la loi Malus dans la gamme de micro-ondes

Résumé: La loi Malus sur la polarisation de la lumière est juste pour les micro-ondes de la gamme $\lambda = 3,2$ cm si dans la source et le récepteur des ondes radio sont utilisés les guides d'ondes rectangulaires avec des antennes pyramidales. Si le générateur des micro-ondes est chargé de guide d'onde cylindrique avec une antenne conique, sont observées les déviations importantes de la loi Malus. Est expliquée la cause de la violation de la loi.

Авторы: *Молотков Николай Яковлевич* – доктор педагогических наук, профессор кафедры «Физика»; *Ломакина Ольга Владимировна* – кандидат педагогических наук, доцент кафедры «Физика», ФГБОУ ВПО «ТГТУ».

Рецензент: *Гайнутдинов Олег Инсахович* – доктор технических наук, профессор кафедры «Физика», ФГБОУ ВПО «ТГТУ».
