**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНСТВО СВЯЗИ**

Ордена Трудового Красного Знамени

Федеральное государственное бюджетное образовательного учреждения высшего образования

**«МОСКОВСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ СВЯЗИ и ИНФОРМАТИКИ»**



**Основы теории электромагнитных полей и волн**

Выполнил:

Студент группы БИН2153

Соболева Е.Л.

Проверил:

Корнюхин В.И

Москва 2023

Вариант № 70

В полупространстве , ограниченном снизу идеально проводящей плоскостью (рисунок 1), распространяется гармоническая электромагнитная волна. Известны некоторые проекции векторов либо сами векторы поля у этой волны. Они указаны в таблице 1 в соответствии с последней цифрой номера студенческого билета. Параметры среды в полупространстве и ряд других параметров поля волны приведены в таблице 2 по предпоследней цифре номера студенческого билета.

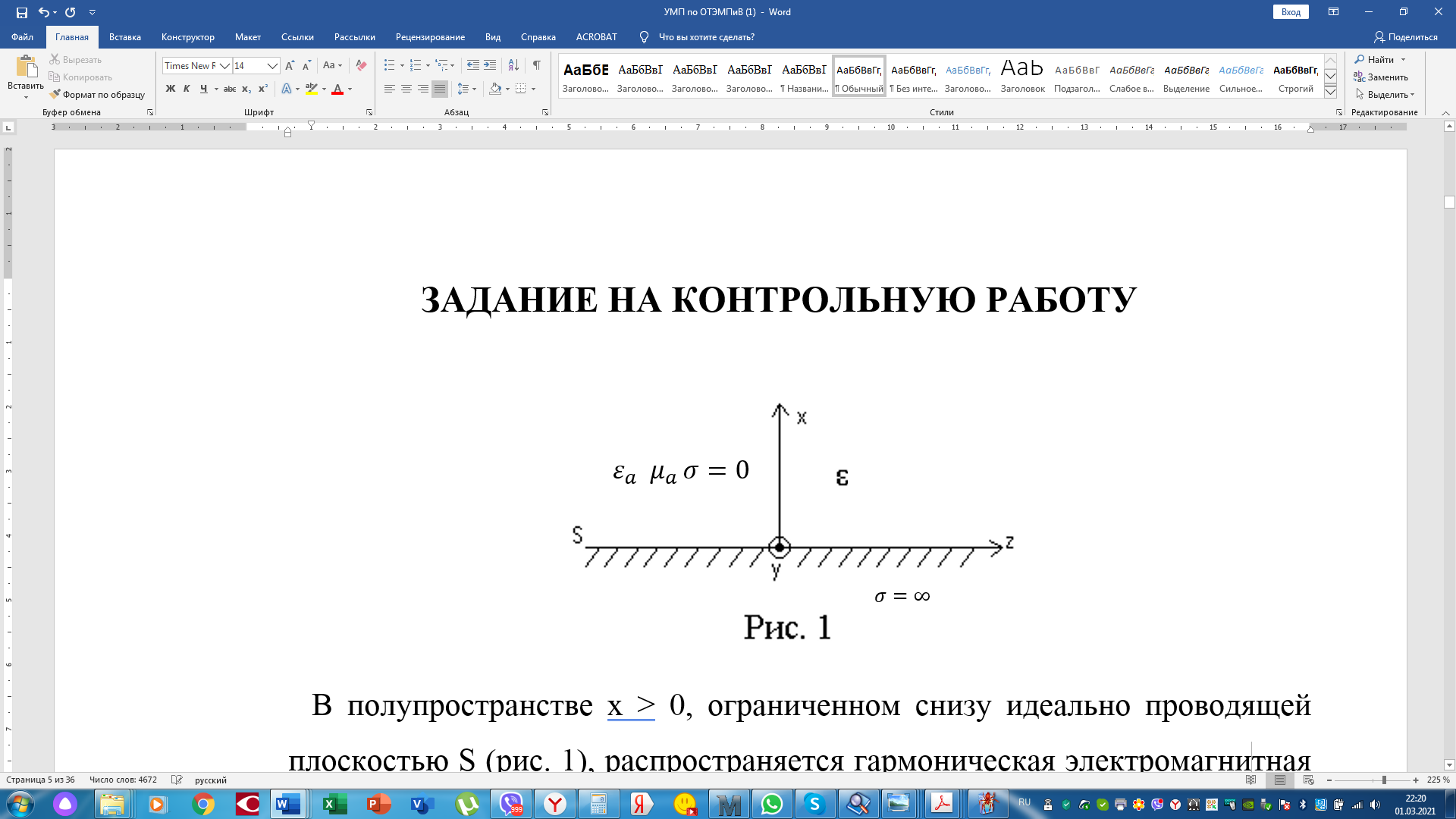


Рисунок 1.

Таблица 1.

|  |  |
| --- | --- |
| Последняя цифра номера студенческого билета | Проекция векторов электромагнитного поля |
| 0 | , |

Таблица 2.

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Предпоследняя цифра номера студенческого билета | , | , | , |  |  |  | , |
| 7 | 300 | 16 | 30 | 1 | 1 | 0,8 | 45 |

Требуется:

1. определить неизвестные проекции либо сами векторы заданного поля волны и охарактеризовать тип волны;

2. проверить выполнение граничных условий на плоскости (поверхности) ;

3. записать выражения для мгновенных значений всех проекций поля волны;

4. записать выражения для мгновенного, комплексного и среднего за период значения вектора Пойнтинга;

5. определить комплексную амплитуду плотности тока, протекающего по поверхности (плоскости) ;

6. рассчитать фазовый коэффициент волны;

7. построить зависимость фазовой скорости волны от частоты, т. е. ;

8. построить зависимости ненулевых мгновенных значений проекции полей волны от координаты в сечении для момента времени , где - период высокой частоты;

9. определить потери мощности волны, приходящиеся на единичную площадку поверхности , если в качестве этой поверхности использовать реальный проводник с удельной проводимостью .

Решение:

1. определить неизвестные проекции либо сами векторы заданного поля волны и охарактеризовать тип волны

Когда в таблице № 1 заданы все три проекции вектора , то необходимо воспользоваться только одним уравнением Максвелла (1.76) в [3]. В рассматриваемом случае:

;

;

.

Для определения неизвестных проекций вектора используем верхнее уравнение:

. (1)

В этом уравнении, как видим, используется обозначение (1.76) в [2]:

,

где , - магнитная постоянная

- относительная магнитная проницаемость среды в полупространстве (задана в таблице № 2).

Раскрывая определитель в (1), получаем:

.

Приравняв в левой и правой частях этого соотношения одноимённые проекции, получаем:

;

;

;

;

;

;

;

;

;

;

;

.

Для рассматриваемого случая все проекции заданного электромагнитного поля будут иметь следующий вид:

;

;

;

(2)

;

;

.

Вывод: заданное электромагнитное поле представляет собой плоскую неоднородную гармоническую волну магнитного типа.

2. проверить выполнение граничных условий на плоскости (поверхности)

Решение пункта 2 заключается в доказательстве того, что на поверхности (рисунок 1), имеющей бесконечную проводимость, отсутствуют нормальная проекция у вектора и касательная проекция у вектора . С этой целью надо в соотношениях (2) принять . В результате получим:

- нормальная проекция у вектора :

;

- касательная проекция у вектора :

;

.

3. записать выражения для мгновенных значений всех проекций поля волны

Чтобы решить пункт 3, следует учесть, что согласно методу комплексных амплитуд для перехода от комплексной амплитуды к мгновенному значению амплитуды следует произвести следующую математическую операцию:

.

В результате получаем мгновенные значения для всех проекций векторов заданного поля:

;

;

;

(3)

;

;

.

4. записать выражения для мгновенного, комплексного и среднего за период значения вектора Пойнтинга

Для решения пункта 4 надо воспользоваться соотношениями вида:

;

; (4)

.

Проекции векторов, указанных в (4), следует взять из соотношений (2) и (3). Если рассмотреть всё тот же частный случай, то имеем:

;

.

В результате получим:

;

;

.

5. определить комплексную амплитуду плотности тока, протекающего по поверхности (плоскости)

Для решения пункта 5 надо использовать следующее векторное соотношение:

, (5)

где - комплексная амплитуда плотности тока на поверхности ,

- единичный орт внешней нормали к этой поверхности,

- комплексная амплитуда напряженности магнитного поля на этой поверхности.

Для данного частного случая имеем:

.

6. рассчитать фазовый коэффициент волны

При решении пункта 6 следует использовать соотношение (9.11) в [2]:

, (6)

где - поперечное волновое число;

- волновое число для волны в свободном пространстве.

Подставив численные значения, получим:

;

;

;

.

7. построить зависимость фазовой скорости волны от частоты, т. е. ;

Волна будет распространяться вдоль оси только при условии что β - действительное положительное число.

При волна распространяться не будет. Определим частоту, когда это имеет место. Она называется критической частотой:

;

, (7)

где - скорость волны в среде, тогда:

.

Используя формулу (7) можно получить соотношение, позволяющее рассчитать фазовую скорость волны:

.

Полученная зависимость приведена на рисунке 2.

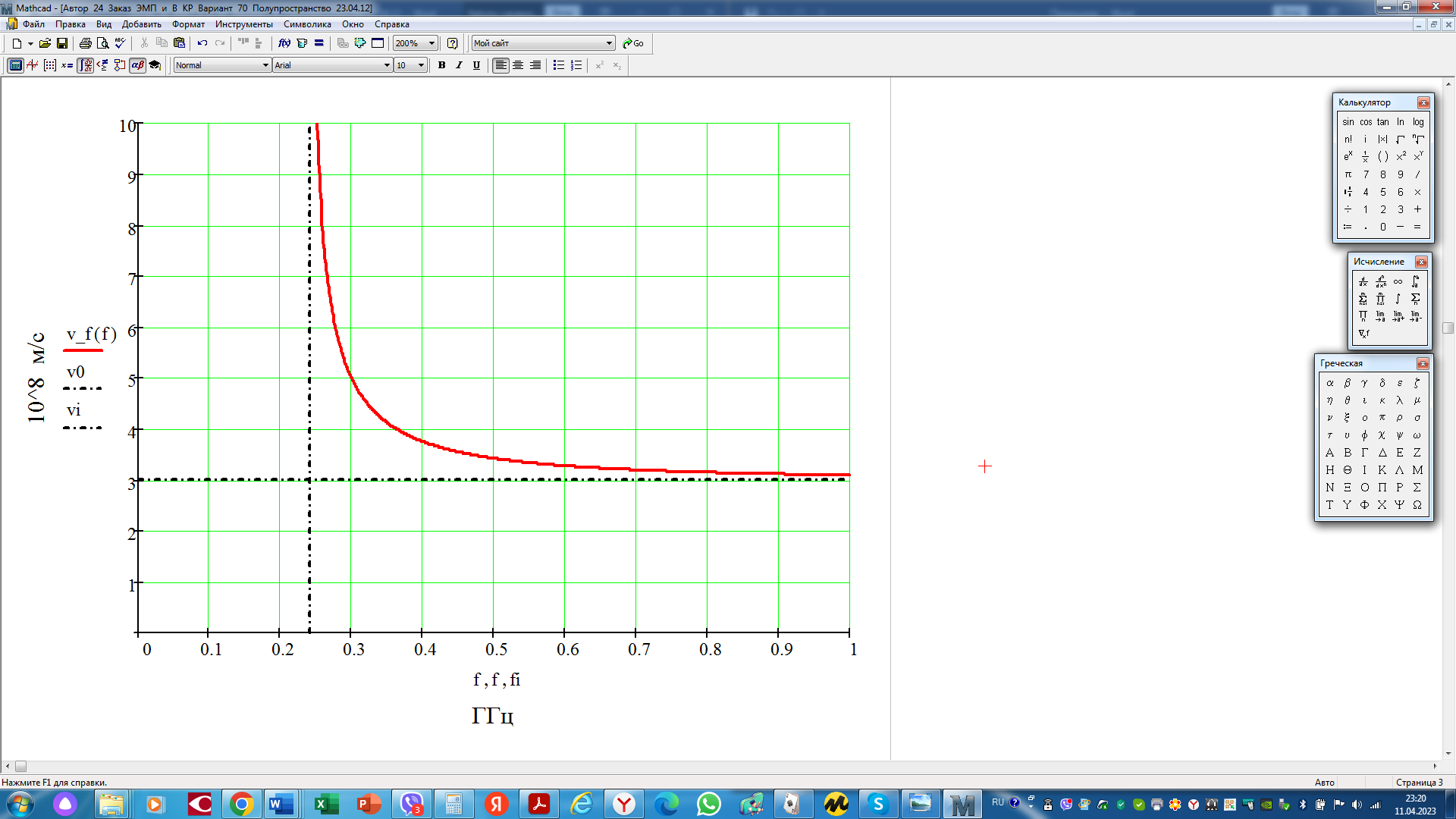


Рисунок 2. Зависимость

8. построить зависимости ненулевых мгновенных значений проекции полей волны от координаты х в сечении для момента времени , где - период высокой частоты

Для выполнения пункта 8 следует использовать выражения (3), полученные ранее при решении пункта 3. В эти выражения надо подставить все константы, а затем произвести расчёты функций при изменении координаты в пределах , где - длина «стоячей» волны:

.

При построении графиков для рассчитанных функций требуется, чтобы масштабы величин по осям были целыми числами. С этой целью необходимо использовать такие единицы измерения, как , , , и т. д.

Внешний вид зависимостей , , (проекции , всегда равны 0) для моментов времени в сечении приведены на рисунках 3 - 5.

9. определить потери мощности волны, приходящиеся на единичную площадку поверхности , если в качестве этой поверхности использовать реальный проводник с удельной проводимостью

Вычисление потерь волны в пункте 9 следует выполнять по формуле вида:

,

где - комплексная амплитуда напряжённости магнитного поля волны на поверхности при условии, что эта поверхность имеет бесконечную проводимость (для рассматриваемого частного случая );

- поверхностное сопротивление реального проводника;

.

Величина вычисляется по формуле:

. (8)

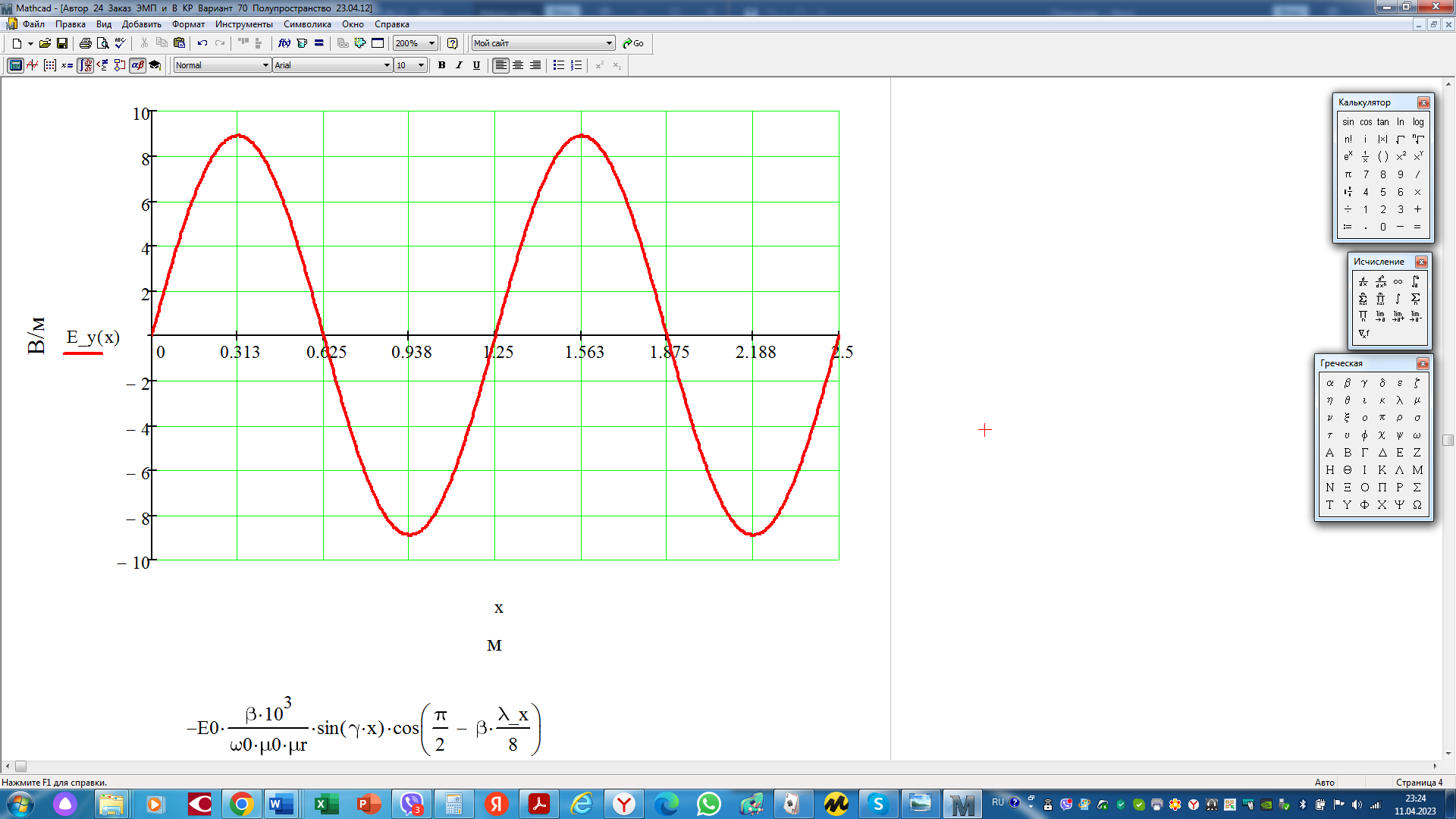


Рисунок 3. Зависимость

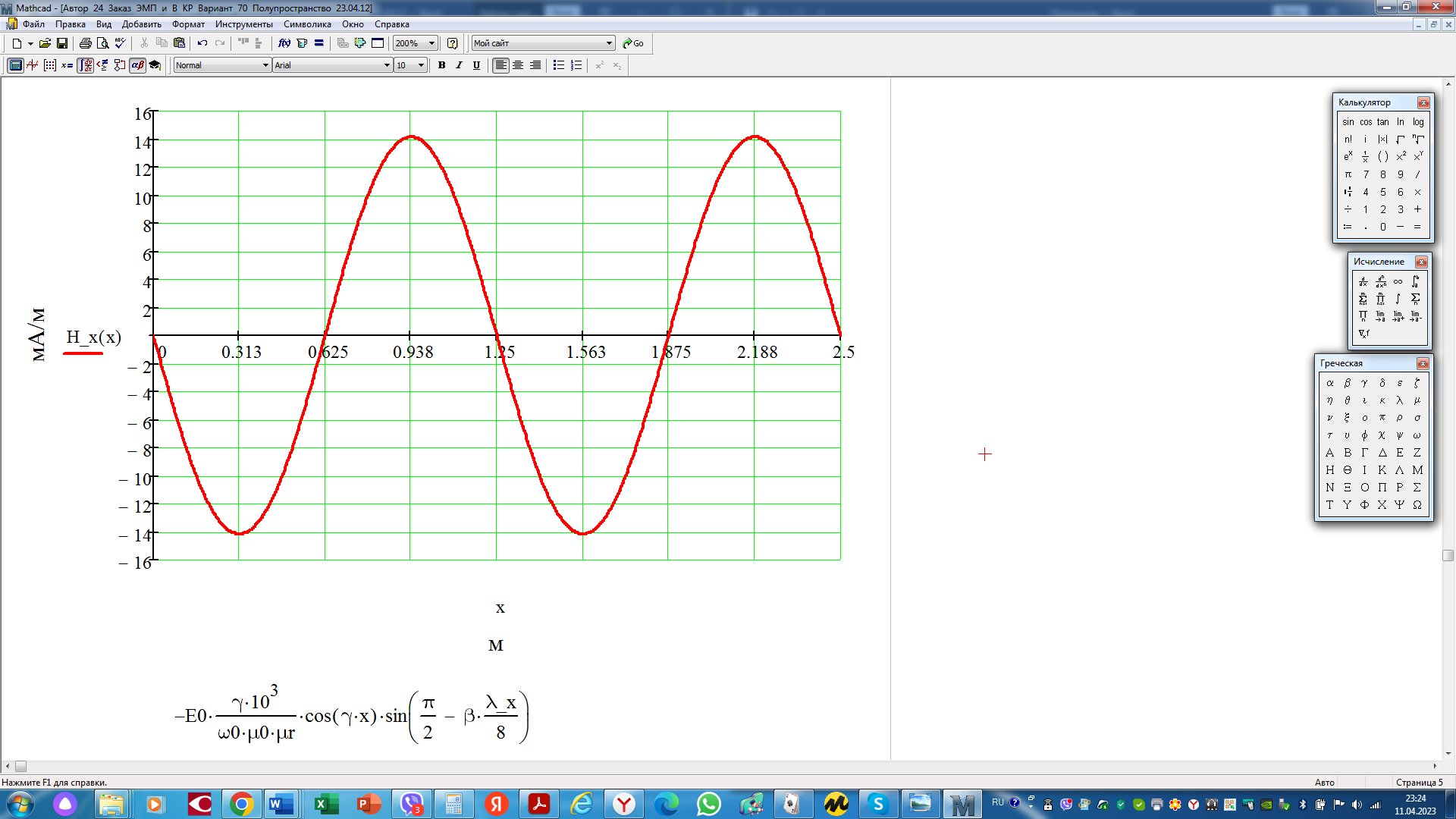


Рисунок 4. Зависимость

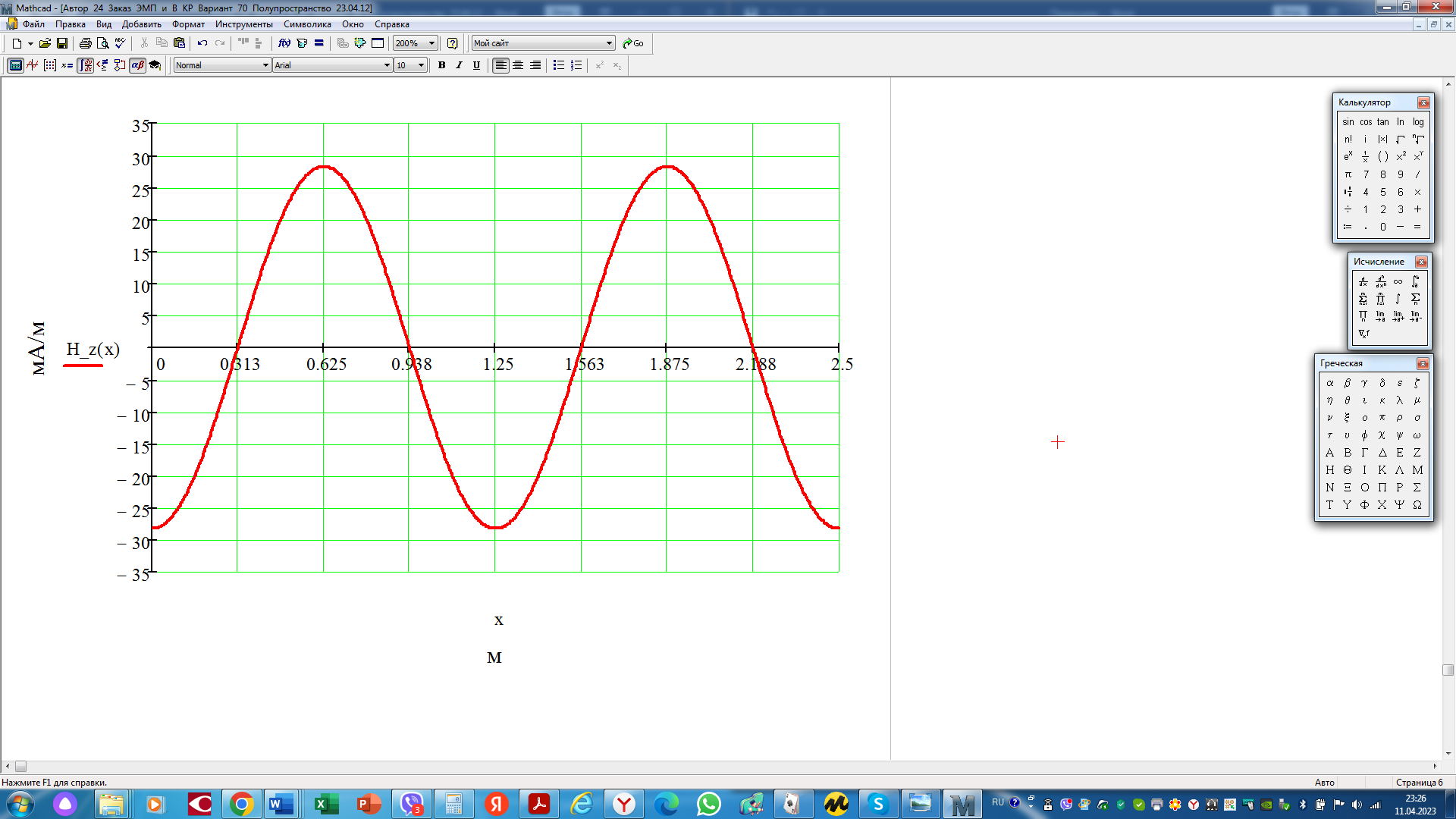


Рисунок 5. Зависимость

Подставив численные значения, получим:

;

;

.

Использованная литература

1. Седов В. М., Корнюхин В. И. Методические указания по изучению курса и выполнению контрольной работы по дисциплине «Основы теории электромагнитных полей и волн» / МТУСИ - Москва, 2020 г. - 45 стр.

2. Седов В. М., Гайнутдинов Т. А. Электромагнитные поля и волны: Учебно-методическое пособие к контрольной и курсовой работам / МТУСИ. - Москва, 2017 г. - 33 стр.

3. Седов В. М., Гайнутдинов Т. А. Электромагнитные поля и волны. - Москва: Горячая линия - Телеком, 2017 г. - 284 стр.

4. Пименов Ю. В., Вольман В. И., Муравцов А. Д. Техническая электродинамика. - Москва: «Радио и связь», 2000 г. - 536 стр.

5. Соколов В. А., Соколова М. В. Математические основы теории электромагнитных полей и волн: Учебное пособие / МТУСИ - Москва, 2004 г. - 52 стр.