***Лекция 5***

***Классификация ЭМП***

5.1. Статические поля.

5.2. Стационарные поля.

5.3. Квазистационарные поля.

5.4. Относительность свойств реальных сред.

5.5. Быстропеременные поля.

В основе классификации ЭМП лежат 2 критерия:

1. Зависимость полей от времени.
2. Соотношение между токами проводимости и смещения.

***5.1. Статические поля.***

Статические поля не зависят от времени :

 →

 = 0 ⇒ δсм = 0

 →

Заряды неподвижные δпр = 0.

**Уравнения Максвелла:**

→ →

 1. rot H = 0; 2. rot E = 0

 → →

 3. div B = 0; 4. div D = ρ

 → → → →

 B = μa H; D = εa E (5.1.1.)

В статических полях электрические и магнитные явления проявляют себя независимо. Уравнения Максвелла распадаются на 2 системы:

 → →

 ⎧ rot H = 0 ⎧ rot E = 0

 ⎨ → ⎨ →

 ⎩ div B =0 ⎩ div D = ρ (5.1.2.)

***5.2. Стационарные поля****.*

 Стационарные поля не зависят от времени  =0 ⇒

δсм = 0 ; δпр ≠ 0:

 → →

 rot H = δпр - магнитное поле становится вихревым

 →

 div B = 0

 → → → →

 B = μa H δпр = σ Е

 → →

 rot E = 0 div D = ρ

 →

 D = εa E (5.2.1.)

Поля зависят друг от друга. Электрическое поле не вихревое, магнитное вихревое.

***5.3. Квазистационарные поля****.*

  ≠ 0 ⇒ δсм ≠ 0 Процессы медленно изменяются во времени.

 → →

 rot H = δпр rot E = - 

 → →

 div B = 0 div D = ρ

 → → → →

 B = μa H D = εa E δпр >> δпр

 (5.3.1.)

Эти поля детально изучаются в ТЭЦ.

***5.4. Относительность свойств реальных сред****.*

 В реальных средах существуют токи проводимости и токи смещения. Рассмотрим поведение реальных сред в переменных полях.

 Е = Е0 cos ω t (5.4.1.)

 δпр = σ E = σ E0 cos ωt (5.4.2.)

δсм==(εaE)=(εaE0cosωt)=-ωεaE0sinωt (5.4.3.)

 |δпр| = σ E0 = = tg Δ - тангенс угла диэлектрических потерь

 |δсм| = ω εа Е0  (5.4.4.)

 если tg Δ >> 1 - проводящая среда.

 tg Δ << 1 - диэлектрическая среда.

 С ростом частоты все среды тяготеют к диэлектрикам.

***5.5. Быстропеременные поля***

 5.5.1. Гармонические процессы и метод комплексных

 амплитуд.

 5.5.2. Уравнения Максвелла в комплексной форме.

***5.5.1. Гармонические процессы и метод комплексных***

 ***амплитуд.***

 Из-за того, что процесс очень быстро изменяется по времени, то :

  >> | δпр| (производные по времени большие)

Уравнения Максвелла принимают вид:

 → → → → →

 rot H = δсм ; rot E = -; div D = ρ ; div B = 0

 (5.5.1.1.)

 В дальнейшем в курсе мы будем иметь дело с таким классом полей, т.е. быстропеременным. Из всего многообразия временных зависимостей полей в нашем курсе мы рассмотрим группу, где поля изменяются по гармоническому закону:

 ⎧ cos ωt

 V = V0 ⎨cos или sin непринципиально + 

 ⎩ sin ωt

 Метод комплексных амплитуд имеет те же предположения, что и в курсе ТЭЦ, мы несколько распространим его на векторные величины.

 → →

 V = V0 cos ωt - в общем виде записана производная векторная величина, изменяющаяся по гармоническому закону.

Как выражается такая величина в методе комплексных амплитуд ?

 → → →

 V = V0 cos ωt ⇒ V = V0 e ω - временная зависимость.

Как вернуться к исходному вектору без точки? Какая теорема используется ? Теорема Эйлера.

 → \_\_

 V = Re V = V0 cos ωt

 → → \_\_ → →

 V = V0 cos (ωt + ϕ) ⇒ V = V0 e ωϕ) = V0 e ω

 → →

 V0 = V0 e ϕ В этом методе на амплитуду ничего не действует.

*Вывод:*

1. В окончательных выражениях зависимость от времени исчезает хотя она всегда известна, ее можно восстановить.
2. Значительно упрощается дифференцирование и интегрирование по времени, дифференцируем → умножаем на jω , интегрируем → делим на jω

 → \_\_

 = V0 jω e ω = V jω

Средняя мощность:

 Рср = U I\*;

 Рсракт = Re (U I\*);

 Рсрреак = Im (U I\*)

 → \_\_ \_\_

 П =  [E x H\*]

 →

 Пактср = Re П

 →

 Преакср = Im П

***5.5.2. Комплексные уравнения Максвелла***

 Комплексные уравнения Максвелла являются дифференциальной формой законов электромагнетизма для гармонических процессов:

 → → → → →

 E = E0 cos (ωt + ϕE) ⇒ E0 e ω ; E0 = E0 e ϕe

 → → → → →

 D = D0 cos (ωt + ϕD) ⇒ D0 e ω ; D0 = D0 e ϕd

 → → → → →

 H = H0 cos (ωt + ϕH) ⇒ H0 e ω ; H0 = H0 eϕh

 → → → → →

 B = B0 cos (ωt + ϕB) ⇒ B0 e ω ; B0 = B0 e ϕb

 (5.5.2.1.)

 Применим метод комплексных амплитуд к этому процессу:

 → →

 D = ε a E

Формально можно записать хотя деление векторов не встречается.

 εa =;

где εа - комплексная диэлектрическая проницаемость

  = e ϕd−ϕe) = εa e ϕD−ϕE) = ε`a - jε``a (5.5.2.2.)

 В общем случае фаза, с которой изменяется вектор D и вектор Е могут неравны ϕD - ϕE ≠ 0, т.е. возможно опережение или отставание.

 В гармонических полях абсолютная диэлектрическая и магнитная проницаемости величины комплексные:

 .

 μa = = μa e ϕb−ϕh) = μ`a - jμ``a (5.5.2.3.)

 Площадь петли равна энергии на перемагничевание. В любых магнитных материалах имеется запаздывание

 → →

вектора В относительно Н.

*Уравнения Максвелла*

 → → → →

 rot H = δпр + δсм = σ E +  - в обычной дифференциальной форме.

 Покажем, что уравнения Максвелла относительно временных процессов являются линейными.

 → → →

 H = H0 cos ωt ⇒ rot H0 cos ωt ⎫

 → → → ⎬ применяем операцию rot.

 H = j H0 sin ωt ⇒ rot j H0 sin ωt ⎭

 →

 rot H0 (cos ωt + j sin ωt) = rot H0 e ω

 Применим первое уравнение Максвелла к векторным характеристикам полей, записанных в комплексной форме:

 → → → →

 rot H0 = σ E0 + j ω εa E0 = j ω E0 (εa - j )

 →

 D0 εa

 → → (5.5.2.4.)

 rot H0 = j ω εa E0 в комплексной форме отсутствует зависимость от времени.

 εa = εa - j= ε`a - jε``a

где: ε`а = εa - характеризует процессы поляризации.

 ε``a = - характеризует джоулевые потери.

По аналогии второе уравнение Максвелла:

 → . →

 rot E0 = - j ω μa H0 (5.5.2.5.)

 → →

 div D = ρ ; div B = 0

Третье и четвертое уравнения не реагируют на время, не зависят от того, какой процесс гармонический или нет.

 Для гармонических процессов третье и четвертое уравнения теряют смысл, они входят в первое и второе.

 → → →

 rot E = - j ω μa H0 = - j ω B0 (5.5.2.6.)

 Применим к правой и левой части уравнения (5.5.2.6.) операцию div:

 → →

 div rot E = - j ω div B0

 ⎪⎪⎪ →

 0 ⇒ div B0 = 0

 Метод комплексных амплитуд позволил существенно упростить описание полей, т.к. требуется только два уравнения:

 → →

 rot H = j ω εa E εа = εа` - j εa``

 → →

 rot E = - j ω μa H μa = μa` - j μa``

В дальнейшем черточку опускаем, но всегда имеем в виду, что комплексная форма, т.к. присутствует символ j.