Лекция 4

***Энергия электромагнитного поля***

4.1. Уравнение баланса энергии ЭМП.

4.2. Теорема Пойнтинга.

4.3. Некоторые примеры.

Любое реальное сообщение связано с передачей электромагнитной энергии. Чувствительность приемных устройств оценивается по той минимальной энергии, которой необходимо для того, чтобы эти устройства срабатывали.

Установим правило по которому можно рассчитывать энергию электромагнитного поля, если

→ → → →

известны Е и D, Н и В (векторные характеристики).

Уравнения Максвелла дают в целом полное описание уравнений. Любой акт проверки неизбежно связан с извлечением энергии ЭМП. Для сравнения экспериментальных и теоретических результатов ЭМП. Однако возникает вопрос о проверке этих необходимо связать энергию с напряженностью полей (векторные характеристики ЭМП).

***4.1. Уравнение баланса энергии.***

Баланс энергии ЭМП является следствием закона сохранения энергии для ЭМП. Выберем произвольный объем, ограниченный поверхностью S, внутри находятся источники ЭМП.

Считаем, что мощность источников нам известна, обозначим ее Рст (сторонняя). Природа сторонних источников не рассматривается. Выясним, на какие процессы расходуется Рст :

# Р стор

**S**

**V**

1) Часть Рст преобразуется в другие виды энергии (тепло и т.д.). Это мощность Рпот.

2) Внутри V могут находиться элементы, которые запасают энергию. Для характеристики этих процессов вводится понятие плотности энергии ЭМП WЭМ, удельная мощность По всему объему:

РЭМ = ∫ dV (4.1.1.)

V

РЭМ - мощность расходуемая на изменение накопленной внутри объема энергии ЭМП.

3) С ЭМП связаны процессы переноса энергии.

Эта часть Р называют излучаемой Ризл. Для характеристики таких процессов введем понятие плотности энергии переносимой ЭМП через единичную поверхность за единицу времени в перпендикулярном поверхности направлении. Эта величина получила название вектора Пойнтинга П и характеризует количество энергии переносимой через единичную площадку за единицу времени ⊥ поверхности:

→

П [Вт/м2]

Мощность излучения:

→ →

Ризл =П dS (4.1.2.)

S

В силу закона сохранения энергии имеем:

→ → (4.1.3.)

Рст = Рпот + ∫ (∂W / ∂t) dV + П dS - уравнение баланса энергии.

V S

*Пример:*

**R**

**Р сбор**

**Р потерь**

**С**

**Wэм**

**L**

***4.2. Теорема Пойнтинга.***

Теорема Пойнтинга устанавливает количественную связь между векторными характеристиками полей и отдельными составляющими баланса энергии ЭМП.

Для установления этой связи воспользуемся уравнениями Максвелла:

→ →

H ⋅ rot E = -  (4.2.1.)

→ → → → →

E ⋅ rot H = δсм +δпр + δст (4.2.2.)

Вычтем (4.2.2.) из (4.2.1.):

→ → → → → →→ →→ →→

H rot E - E rot H = - H - δсмЕ - δпрЕ - δстЕ (4.2.3.)

→ → → → → →

(div [a x b] = b rot a - a rot b) тождество (4.2.4.)

→ → → → →→ →→

div[ E x H] = - (H + E) - δпрЕ - δстЕ (4.2.5.)

Закон сохранения энергии это интегральное соотношение. Поэтому выполним интегрирование последнего уравнения по объему V:

→→ → →

∫ div [E H] dV = - ∫ (H + E) dV -

V → → → v →

- ∫ δпр E dV - ∫ δст E dV (4.2.6.)

V V

по теореме Остроградского-Гаусса:

∫ div [E x H] dV = [E x H] dS (4.2.7.)

V S

Упростим выражение под знаком объемного интеграла:

→ → → → →→

H + E = (μaH) H +() (εaE) E =

 (4.2.8)

- (4.2.9)

Сравним последнее уравнение с составляющими баланса энергии ЭМП (4.1.2.):

→ →

Рст = ∫ δст Е dV знак (-) говорит о том,

v → → что энергия расходуется.

Рпотерь = ∫ δпр Е dV

V

Wэм = 

Wэ  = ; Wм = 

→ → →

П = [E x H] (4.2.10.)

***3. Некоторые примеры.***

****





Для определения направления переноса энергии необходимо определить направления П. В соответствии с правилами векторного произведения направление вектора П, перпендикулярно плоскости векторов Е и Н. Основная энергия, переносимая вдоль линии, распределена вне проводов. Можно показать, что энергия, поступающая внутрь провода в точности равна джоулевым потерям.











