

V. Nestacionární elektromagnetické pole, střídavé proudy

Osnova: 1. Elektromagnetická indukce
2. Maxwellovy rovnice
3. Střídavé proudy

1. Elektromagnetická indukce

Bude smyčkou z homogenního vodiče, kterou umístíme do mg. pole protékat el. proud?

Experiment: ne, ale **proud začne smyčkou protékat**, jestliže:

- a) se smyčka začne (vhodným způsobem) pohybovat
- b) se začne (vhodným způsobem) pohybovat zdroj m. pole
- c) smyčka i zdroj mg. pole budou v klidu a mg. pole bude proměnné v čase

Co je společné pro případy a)-c)? Mění se mg. indukční tok $\Phi = \iint_{\vec{S}} \vec{B} d\vec{S}$

Faradayův zákon elektromagnetické indukce

„Napětí naměřené na smyčce je úměrné změně mg. indukčního toku.“

$$U_{ei} = -\frac{d\Phi}{dt}$$

1. Elektromagnetická indukce

Lenzův zákon (vysvětlení znaménka „-“ ve Faradayově zákonu)

„Směr indukovaného proudu ve smyčce je takový, že mg. pole, které vytváří, působí proti změně, která ho vyvolala“

Vlastní indukčnost – zpětné induktivní působení na vlastní obvod

Vlastní indukce smyčky L – poměr indukčního toku Φ průřezem smyčky S a protékajícího proudu I

$$L = \frac{\Phi}{I}$$

pro cívku s N závitů

$$L = N \frac{\Phi}{I} = \frac{NBS}{I}$$

2. Maxwellovy rovnice

4 rovnice shrnující celou elektřinu a magnetismus, je jimi dán popis elektromagnetické interakce

$$\oint_{\vec{l}} \vec{H} \cdot d\vec{l} = I + \frac{d}{dt} \iint_{\vec{s}} \vec{D} \cdot d\vec{S} \quad (1. \text{ MR})$$

$$\oint_{\vec{l}} \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\frac{d}{dt} \iint_{\vec{s}} \vec{B} \cdot d\vec{S} \quad (2. \text{ MR})$$

$$\oiint_{\vec{s}} \vec{D} \cdot d\vec{S} = Q \quad (3. \text{ MR})$$

$$\oiint_{\vec{s}} \vec{B} \cdot d\vec{S} = 0 \quad (4. \text{ MR})$$

vazby mezi jednotlivými veličinami zprostředkovávají „materiálové vztahy“

$$\vec{D} = \epsilon_0 \vec{E} + \vec{P}$$

$$\vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu_0} - \vec{M}$$

2. Maxwellovy rovnice

Fyzikální interpretace Maxwellových rovnic

- 1. MR** (zobecněný Ampérův zákon) „Magnetické pole je vyvoláno měnícím se elektrickým polem nebo vodivým proudem.“, popř. „V časově proměnném elektrickém poli vzniká vírové magnetické pole.“
- 2. MR** (Faradayův zákon elektromagnetické indukce) „Časově proměnné elektrické pole vytváří vírové magnetické pole.“
- 3. MR** (zobecněná Gaussova věta) „Elektrické pole je zřídlové.“, popř. „Elektrické siločáry nejsou uzavřené.“
- 4. MR** „Magnetické pole je nezřídlové“, popř. „Magnetické siločáry jsou uzavřené.“

3. Střídavé proudy

Střídavý proud

Proud je periodickou funkcí času, tj. $I(t) = I(t+T)$, T je perioda, $f = 1/T$ frekvence.

Pro jeho popis se obvykle používají harmonické funkce – sinus, kosinus.

$$i = i_0 \cos(\omega t + \varphi)$$

Příklad generování střídavého proudu – **závit v homogenním magnetickém poli**

$$\Phi = \iint_{\vec{S}} \vec{B} d\vec{S} = BS \cos(\omega t),$$

okamžitá hodnota napětí $u = -\frac{d\Phi}{dt} = \omega BS \sin(\omega t) = u_0 \sin(\omega t)$

okamžitá hodnota proudu $i = \frac{u_0}{R} \sin(\omega t) = i_0 \sin(\omega t)$

3. Střídavé proudy

Jednoduché obvody střídavého proudu

obvod s odporem

$$u = u_0 \sin(\omega t) \quad i = i_0 \sin(\omega t)$$

fázový rozdíl je nulový

obvod s indukčností

$$u = u_0 \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right) \quad i = i_0 \sin(\omega t)$$

napětí předbíhá proud

obvod s kapacitou

$$u = u_0 \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right) \quad i = i_0 \sin(\omega t)$$

proud předbíhá napětí