Inducirana napetost, drugič

Ugotovili smo že, da je inducirana napetost v zanki določena s časovno spremembo fluksa skozi zanko, kar smo v matematični obliki zapisali kot

$$u_i = -\frac{d\Phi}{dt}, \tag{1.1}$$

kjer je predznak minus posledica upoštevanja Lentzovega pravila, da je predznak inducirane napetosti v zanki tak, da induciran tok v zanki povzroča fluks, ki nasprotuje spremembi fluksa skozi zanko. V primeru N ovojev, je inducirana napetost seveda N krat večja.

Ugotovili smo tudi, da gre pri inducirani napetosti za notranjo, generatorsko napetost, ki je porazdeljena po zanki. Lahko bi v osnovi govorili tudi o induciranju električne poljske jakosti, ki v zanki požene inducirani tok. Če se spomnimo definicije električne napetosti kot integrala električne poljske jakosti, lahko tudi sedaj pogledamo, kaj dobimo z integracijo inducirane električne poljske jakosti po poti zanke. Zanima nas torej $\int_L \vec{E}_i \cdot d\vec{l}$. V elektrostatiki smo ugotovili, da je ta integral po zaključeni poti enak nič (dobimo kot razliko dveh elektrostatičnih potencialov v isti točki), iz česar je tudi sledila definicija električne poljske jakosti kot gradienta potenciala. V magnetostatiki ta integral očitno ne bo enak nič, pač pa kar enak inducirani napetosti

$$\oint_L \vec{E}_i \cdot d\vec{l} = u_i \tag{1.2}$$

Celotna električna poljska jakost je vsota elektrostatične in inducirane jakosti $\vec{E} = \vec{E}_{es} + \vec{E}_i$, kar pa enačbo (1.2) spremeni le v toliko, da velja še bolj splošno

$$\oint_L \vec{E} \cdot d\vec{l} = u_i\,. \tag{1.3}$$

Če upoštevamo v enačbi (1.3) še enačbo (1.1) in to, da lahko fluks zapišemo kot integral Bja po preseku zanke $\Phi = \int_A \vec{B} \cdot d\vec{A}$, dobimo splošen zapis

$$\oint_L \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\frac{d}{dt}\int_A \vec{B} \cdot d\vec{A}\,. \tag{1.4}$$

To je pomembna enačba, ki jo v elektrotehniki poznamo kot 2. Maxwellova enačba. V osnovi gre za Faradayevo enačbo, ki pa jo je Maxwell pravilno uvrstil v sistem osnovnih enačb za opis elektromagnetnega polja.

Gibalna (rezalna) napetost. Poglejmo si primer prevodne palice, ki se premika v prečnem polju gostote B. V prevodniku je zelo veliko prostih nosilcev naboja (elektronov) na katere deluje magnetna sila $\vec{F}_m = Q\vec{v} \times \vec{B}$. V polju bo na naboje delovala magnetna sila, oziroma (inducirana) električna poljska jakost $E_{m,ind}$, ki bo

$$\vec{E}_{m,ind} = \vec{v} \times \vec{B}. \tag{1.5}$$

Integral jakosti polja vzdolž palice pa da napetost – inducirano napetost:

$$u_i = \int_0^L \left(\vec{v} \times \vec{B}\right) \cdot d\vec{l} \tag{1.6}$$

Tej napetosti rečemo tudi rezalna napetost, saj nastane tedaj, ko prevodnik "reže" magnetno polje

Primer 1: Prevodna palica dolžine 5 cm se giblje v desno v homogenem polju 5 mT, ki je pravokoten na smer potovanja palice. Določite inducirano napetost med koncema palice.

Transformatorska in gibalna inducirana napetost. Kakšna pa je zveza med tem zapisom inducirane napetosti in tistim s časovno spremenljivim fluksom? Na tem primeru lahko pokažemo, da bi z uporabo osnovnega zapisa dobili enak rezultat. Le zamisliti bi si morali virtualno zanko, katere fluks se veča ali zmanjšuje s časom. …

Z drugačnim zapisom enačbe (1.4) lahko upoštevamo tako inducirano napetost, ki je posledica časovne spremembe gostote pretoka v mirujoči zanki in inducirano napetost, ki je posledica gibanja v časovno konstantnem polju:

$$\oint_L \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\int_A \frac{\partial}{\partial t} \vec{B} \cdot d\vec{A} + \oint_L \vec{v} \times \vec{B} \tag{1.7}$$

Prvi člen imenujemo transformatorska, drugega pa gibalna ali rezalna inducirana napetost. Odvisno od primer moramo upoštevati prvo, drugo ali pa kar obe hkrati.

Primer 2: Poglejmo si primer zanke (palice), ki se premika v desno v časovno spreminjajočem se polju.

Primer 3. Vrtenje zanke v magnetnem polju.