

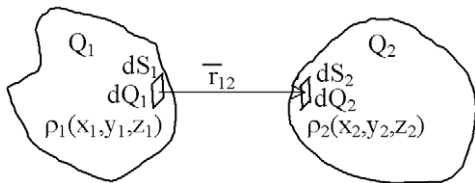
Elektromagnetická kompatibilita elektrických pohonov (5)

Kapacitná väzba

Kapacitná väzba je typická najmä pre uzly galvanicky oddelených elektrických obvodov, medzi ktorými existuje vzájomné pôsobenie prostredníctvom jednotlivých vektorov \vec{E}_i intenzity elektrostatického poľa. Vplyv jedného obvodu na druhý je daný strmostou nárastu alebo poklesu potenciálu v príslušnom uzle, veľkosťou plochy elektród, dielektrickými vlastnosťami prostredia, v ktorom sa obvody nachádzajú, a geometrickým usporiadaním vodičov v príslušných uzloch.

Teoretická analýza

Na prediktívne vyšetrenie vplyvu kapacitnej väzby nám poslúži nasledujúci obr. 19. Uvažujme dva samostatné nabité vodivé objekty, pričom vyšetrujeme ich vzájomný vplyv.



Obr.19 Analyzovaný prípad

Vychádzajme z Maxwellových rovníc pre elektrostatické pole:

$$\text{rot } \vec{E} = 0 \quad (11)$$

$$\text{div } \vec{D} = \rho \quad (12)$$

kde pre vektor elektrickej indukcie \vec{D} platí:

$$\vec{D} = \epsilon \cdot \vec{E} \quad (13)$$

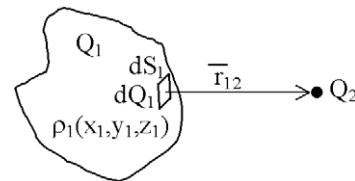
Na základe poznatkov z fyziky vieme, že pre silu pôsobiacu medzi dvoma objektmi, umiestnenými vo vzduchu a nabitými nábojmi Q_1 a Q_2 , platí:

$$\vec{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon} \iint_{Q_1, Q_2} \frac{\vec{r}_{12}}{r_{12}^3} \cdot dQ_1 \cdot dQ_2 \quad (14)$$

Pri vodivých telesách je celý ich náboj rozložený na povrchu, preto zavedieme pojem plošný element ΔS . Ďalej predpokladajme, že náboj Q je na povrchu vodivého telesa rozložený rovnomerne. Zavedme pojem plošnej hustoty náboja σ . Ak uvažujeme prípad, že $\Delta S \rightarrow 0$, tak môžeme prejsť k diferenciálnemu tvaru plošnej hustoty. Jeho dosadením do predchádzajúcej rovnice dostaneme upravený tvar na výpočet sily pôsobiacej medzi dvoma nabitými objemovými elementmi:

$$\vec{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon} \iint_{S_1, S_2} \frac{\vec{r}_{12}}{r_{12}^3} \cdot \sigma_1 \cdot dS_1 \cdot \sigma_2 \cdot dS_2 \quad (15)$$

Pre zjednodušenie ďalšieho výpočtu zredukujeme druhé objemové teleso iba do podoby bodového náboja Q_2 tak, ako je to znázornené na obr. 2. Na výpočet veľkosti intenzity \vec{E}_1 elektrického poľa spôsobeného nábojom Q_1 na mieste náboja Q_2 platí:



Obr.20 Analyzovaný prípad – zjednodušený

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{Q_2} = \frac{\frac{Q_2}{4\pi\epsilon} \int_{S_1} \frac{\vec{r}_{12}}{r_{12}^3} \cdot \rho_1 \cdot dS_1}{Q_2} = \frac{1}{4\pi\epsilon} \int_{S_1} \frac{\vec{r}_{12}}{r_{12}^3} \cdot \rho_1 \cdot dS_1 \quad (16)$$

Z rovnice (11) s využitím Stokesovej vety dostaneme jej integrálny tvar:

$$\oint_l \vec{E} \cdot d\vec{l} = \int_A^B \vec{E} \cdot d\vec{l}_{AB} + \int_B^A \vec{E} \cdot d\vec{l}_{BA} = 0 \quad (17)$$

Získaná rovnica opisuje elektrické napätia, ktoré sú definované ako čiarové integrály intenzity elektrického poľa. Takisto z nej vyplýva, že každému bodu priestoru môžeme priradiť určitú jednoznačnú hodnotu skalárnej veličiny, ktorú označujeme ako elektrický skalárny potenciál φ (ďalej len potenciál). Veľkosť elektrického napätia medzi dvoma bodmi priestoru je potom definovaná ako rozdiel potenciálov týchto bodov.

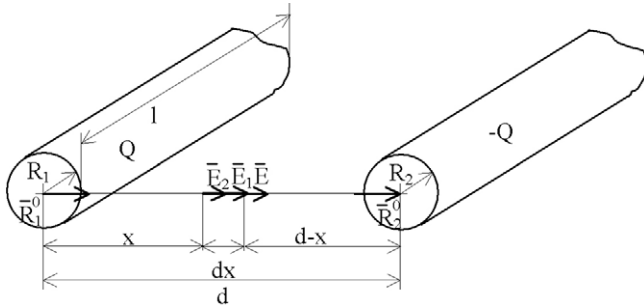
Keď sa v úvahách opäť vrátíme k dvom samostatným nabitým vodivým objektom, pričom vieme, že vektor \vec{E} intenzity elektrostatického poľa na vyšetrovanom mieste bude daný vektorovým súčtom príspevkov vektorov \vec{E}_1 a \vec{E}_2 od jednotlivých nabitých telies, tak výsledné napätie medzi obidvoma vodivými telesami bude:

$$\begin{aligned} U_{12} &= \varphi_1 - \varphi_2 = \int_1^{\infty} (\vec{E}_1 + \vec{E}_2) \cdot d\vec{l}_{1\infty} - \int_2^{\infty} (\vec{E}_1 + \vec{E}_2) \cdot d\vec{l}_{2\infty} = \\ &= \int_1^2 (\vec{E}_1 + \vec{E}_2) \cdot (d\vec{l}_{1\infty} - d\vec{l}_{2\infty}) = \int_1^2 (\vec{E}_1 + \vec{E}_2) \cdot d\vec{r}_{12} = \\ &= \int_1^2 \left(\frac{1}{4\pi\epsilon} \int_{S_1} \frac{\vec{r}_{12}}{r_{12}^3} \cdot \rho_1 \cdot dS_1 + \frac{1}{4\pi\epsilon} \int_{S_2} \frac{\vec{r}_{21}}{r_{21}^3} \cdot \rho_2 \cdot dS_2 \right) \cdot d\vec{r}_{12} \end{aligned} \quad (18)$$

Na určenie výslednej kapacitnej väzby potrebujeme najprv stanoviť veľkosť kapacity medzi obidvoma telesami. Ak budeme predpokladať, že náboj prvého telesa $Q_1 = Q = \sigma_1 \cdot S_1$ a náboj druhého telesa $Q_2 = -Q = \sigma_2 \cdot S_2$, tak aplikovaním Coulombovho zákona dostaneme hľadaný vzťah ako:

$$C_{12} = \frac{Q}{U_{12}} \quad (19)$$

V elektrických obvodoch sa zriedkavo stretávame s vodivými telesami nepravidelných tvarov. Väčšinu prípadov, v ktorých treba vyšetriť kapacitnú väzbu, tvorí sústava dvoch alebo viacerých vodičov, sústava dvoch alebo viacerých nabitých vodivých rovín, sústava dvoch alebo viacerých vodičov vzhľadom na zem, sústava



Obr.21 Vyšetovanie vzájomnej kapacity dvoch rovnobežných vodičov

dvoch alebo viacerých nabitých vodivých rovín vzhľadom na zem a koaxiálny kábel.

Pre prvú praktickú úvahu vezmime obr. 21 dvoch nabitých rovnobežných vodičov s dĺžkami l a polermi R_1 a R_2 , pričom $l \gg R_1, R_2$ a vodič 1 je nabitý na hodnotu náboja Q a vodič 2 na hodnotu $-Q$. Ďalej musíme vziať do úvahy skutočnosť, že pre vodič platí, že vektor elektrickej intenzity je orientovaný z plochy plášťa vodiča kolmo smerom von. Pre výsledný vektor \vec{E} intenzity elektrostatického poľa na ľubovoľnom mieste platí zároveň princíp vektorovej superpozície vektorov intenzít pochádzajúcich od všetkých nabitých telies, v našom prípade \vec{E}_1 a \vec{E}_2 .

Na základe predchádzajúcich faktov je výsledná intenzita elektrického poľa valcového vodiča na mieste vzdialenom od vodiča o vzdialenosť x daná vzťahom:

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 = \frac{Q}{2\pi\epsilon l x} \cdot \vec{R}_1^0 + \frac{-Q}{2\pi\epsilon l (d-x)} \cdot \vec{R}_2^0 \quad (20)$$

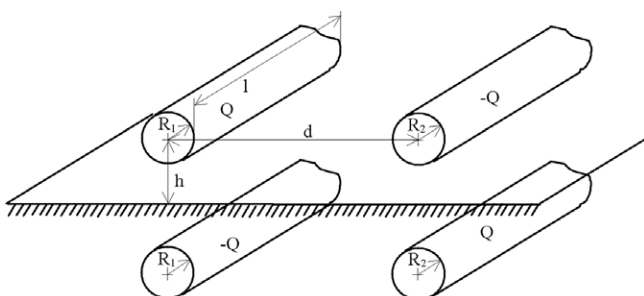
Ako možno vidieť z obr. 21, obidva vektory intenzity majú na spojnici osí vodičov rovnaký smer, a preto ich nahradíme jediným spoločným vektorom \vec{E} pôsobiacim v smere jednotkového vektora \vec{x}^0 . Na základe predchádzajúcich analýz pre výsledné napätie medzi vodičmi píšeme výraz:

$$U_{12} = \int_{R_1}^{d-R_2} \vec{E} \cdot d\vec{x} = \int_{R_1}^{d-R_2} \left(\frac{Q}{2\pi\epsilon l x} + \frac{Q}{2\pi\epsilon l (d-x)} \right) \cdot \vec{x}^0 \cdot d\vec{x} = \frac{Q}{2\pi\epsilon l} \int_{R_1}^{d-R_2} \left(\frac{dx}{x} + \frac{dx}{(d-x)} \right) = \frac{Q}{\pi\epsilon l} \cdot \ln \frac{d-R_2}{R_1} \quad (21)$$

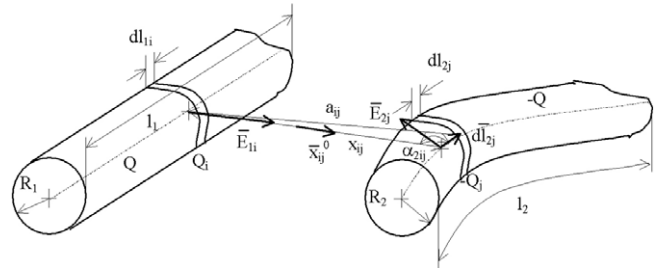
Z Coulombovho zákona dostaneme výraz pre hľadajú kapacitu:

$$C_{12} = \frac{Q}{U_{12}} = \frac{Q}{\frac{Q}{\pi\epsilon l} \cdot \ln \frac{d-R_2}{R_1}} = \frac{\pi\epsilon l}{\ln \frac{d-R_2}{R_1}} \quad (22)$$

V praxi sa často stretávame s tým, že dvojvodičové vedenie je uložené blízko roviny s nulovým potenciálom. Potom treba pri výpočte kapacity počítať aj s touto skutočnosťou, ako je to znázornené na obr. 22. Pri výpočte potenciálov vyšetovaných vodičov musíme zohľadniť aj intenzity elektrického poľa ich zrkadlových obrazov. Pre výsledné napätie po odvodení dostaneme nasledujúci vzťah:



Obr.22 Vyšetovanie vzájomnej kapacity dvoch rovnobežných vodičov umiestnených nad rovinou s nulovým potenciálom



Obr.23 Vyšetovanie vzájomnej kapacity dvoch rôznobežných vodičov

$$U_{12} = 2 \cdot \left(\int_{R_1}^{d-R_2} \frac{Q}{2\pi\epsilon l x} \cdot dx + \int_{R_2}^{2h-R_2} \frac{Q}{2\pi\epsilon l x} \cdot dx - \int_{R_1}^{\sqrt{4h^2+d^2}-R_2} \frac{Q}{2\pi\epsilon l x} \cdot dx \right) = \frac{Q}{\pi\epsilon l} \left(\ln \frac{d-R_2}{R_1} + \ln \frac{2h-R_2}{R_2} - \ln \frac{\sqrt{4h^2+d^2}-R_2}{R_1} \right) \quad (23)$$

Výslednú kapacitu určíme zo vzťahu:

$$C_{12} = \frac{\pi\epsilon l}{\left(\ln \frac{d-R_2}{R_1} + \ln \frac{2h-R_2}{R_2} - \ln \frac{\sqrt{4h^2+d^2}-R_2}{R_1} \right)} = \frac{\pi\epsilon l}{\ln \frac{(d-R_2)(2h-R_2)}{R_2(\sqrt{4h^2+d^2}-R_2)}} \quad (24)$$

Často sa vyskytuje aj existencia vzájomnej kapacitnej väzby vodičov, ktoré nemusia byť priame rovnobežné, ako to zobrazuje obr. 23.

Vtedy je výpočet výslednej kapacity v analytickej forme veľmi náročný, a preto sa výhodne využíva analyticko-numerická metóda spočívajúca v prechode k diferenciálnemu tvaru vyjadrenia. Základným predpokladom je, aby platili nasledujúce vzťahy:

$$l_1 = \sum_{i=1}^{m \rightarrow \infty} dl_{1i} \quad (25)$$

$$l_2 = \sum_{j=1}^{n \rightarrow \infty} dl_{2j} \quad (26)$$

Na výpočet potenciálu na mieste druhého vodiča použijeme princíp skalárnej superpozície všetkých potenciálov ϕ_i od takých elementov prvého vodiča, ktoré spĺňajú podmienku

$$\vec{E}_{1i}^0 \cdot \vec{x}_{ij}^0 = 1$$

teda len od takých elementov, pre ktoré sú tieto vektory kolinéarne. Podobne na vyjadrenie potenciálu na mieste prvého vodiča platí princíp skalárnej superpozície. Pre výsledné napätie po odvedení bude platiť:

$$U = \frac{Q}{2\pi\epsilon} \left(\sum_{i=1}^m \frac{\ln \frac{x_{ij}-R_2}{R_1} \cdot \sqrt{1 - \frac{\left(x_{ij}^2 + \left(\frac{dl_{2j}}{2} \right)^2 - a_{ij}^2 \right)^2}{x_{ij} \cdot dl_{2j}}}}{dl_{1i}} + \sum_{j=1}^n \frac{\ln \frac{x_{ij}-R_2}{R_1} \cdot \sqrt{1 - \frac{\left(x_{ij}^2 + \left(\frac{dl_{1i}}{2} \right)^2 - a_{ji}^2 \right)^2}{x_{ji} \cdot dl_{1i}}}}{dl_{2j}} \right) \quad (27)$$

Z Coulombovho zákona určíme výslednú kapacitu C_{12} medzi vodičmi:

$$C_{12} = \frac{2\pi\epsilon}{\left[\ln \frac{x_{ij} - R_2}{R_1} \cdot \sqrt{1 - \frac{\left(x_{ij}^2 + \left(\frac{dl_{2j}}{2} \right)^2 - a_{ij}^2 \right)^2}{x_{ij} \cdot dl_{2j}}} \right] + \sum_{i=1}^m \frac{1}{dl_{1i}} \left[\ln \frac{x_{ji} - R_2}{R_1} \cdot \sqrt{1 - \frac{\left(x_{ji}^2 + \left(\frac{dl_{1i}}{2} \right)^2 - a_{ji}^2 \right)^2}{x_{ji} \cdot dl_{1i}}} \right] + \sum_{j=1}^m \frac{1}{dl_{2j}} \left[\ln \frac{x_{ji} - R_2}{R_1} \cdot \sqrt{1 - \frac{\left(x_{ji}^2 + \left(\frac{dl_{1i}}{2} \right)^2 - a_{ji}^2 \right)^2}{x_{ji} \cdot dl_{1i}}} \right]} \quad (28)$$

Ak budeme poznať súradnice začiatkových a koncových bodov elementov dĺžok jedného a druhého vodiča tak, ako to ukazuje obr. 24, potom výslednú kapacitu môžeme vypočítať na základe predchádzajúceho vzorca.

V príklade podľa obr. 25, keď by sme potrebovali určiť výslednú kapacitu dvoch rôznebočných vodičov, ale nachádzajúcich sa vo výške h nad rovinou s nulovým elektrickým potenciálom, musíme opäť použiť metódu zrkadlenia, ktorá už bola aplikovaná v predchádzajúcom opise.

Na jej základe napíšeme vzťahy pre potenciály na jednotlivých vyšetrovaných miestach, podobné ako v predchádzajúcom prípade, ale s tým rozdielom, že uvažujeme príspevky potenciálov aj zrkadlových vodičov:

$$\varphi_2 = \sum_{i=1}^m \left[\frac{Q_i}{2\pi\epsilon dl_i} \cdot \ln \frac{x_{ij} - R_2}{R_1^*} \cdot \sin(\alpha_{2ij}) - \frac{Q_i}{2\pi\epsilon dl_i} \cdot \ln \frac{\sqrt{4h^2 + x_{ij}^2} - R_2}{R_1^*} \cdot \sin(\alpha_{2ij}^1) \right] + \sum_{j=1}^n \frac{Q_j}{2\pi\epsilon dl_j} \cdot \ln \frac{2h - R_2}{R_2^*} \quad (29)$$

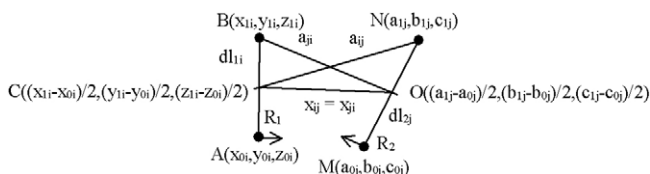
$$\varphi_1 = \sum_{j=1}^m \left[\frac{-Q_j}{2\pi\epsilon dl_j} \cdot \ln \frac{x_{ji} - R_2}{R_1^*} \cdot \sin(\alpha_{1ji}) + \frac{Q_j}{2\pi\epsilon dl_j} \cdot \ln \frac{\sqrt{4h^2 + x_{ji}^2} - R_2}{R_1^*} \cdot \sin(\alpha_{1ji}^2) \right] + \sum_{i=1}^m \frac{-Q_i}{2\pi\epsilon dl_i} \cdot \ln \frac{2h - R_2}{R_1^*} \quad (30)$$

Podmienky pre započítavanie potenciálov sú rovnaké ako v predchádzajúcom prípade. Z uvedených rovníc známym spôsobom:

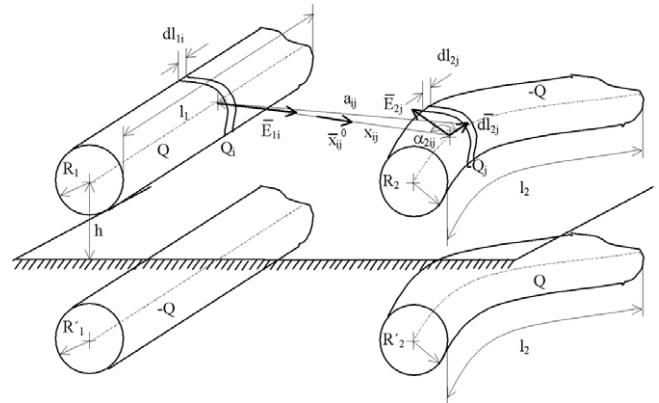
$$C = \frac{Q}{\varphi_2 - \varphi_1} \quad (31)$$

stanovíme výslednú kapacitu, ktorú však pre jej rozsah nebudeme uvádzať.

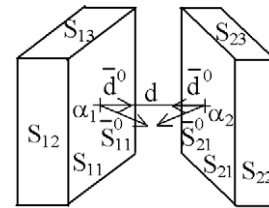
Pre prípad dvoch vodivých nabitých obdĺžnikových telies podľa obr. 26 s veľkosťami plôch S_{ij} vzdialenými od seba o vzdialenosť d po odvodení píšme vzťah pre výsledné napätie a kapacitu:



Obr.24 Súradnice elementov dĺžok



Obr.25 Vyšetovanie vzájomnej kapacity dvoch rôznebočných vodičov umiestnených nad rovinou s nulovým potenciálom

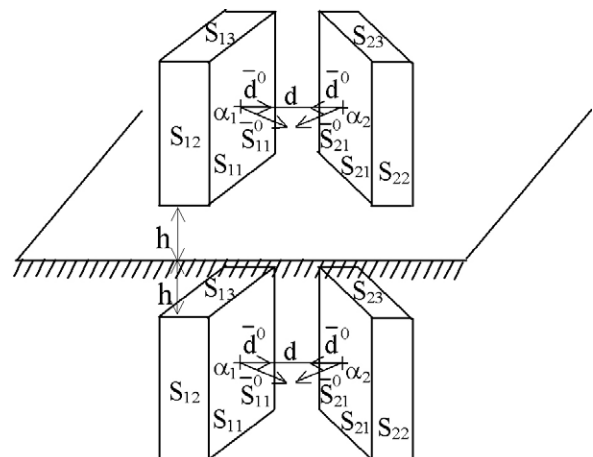


Obr.26 Vyšetovanie vzájomnej kapacity dvoch obdĺžnikových vodičov

$$U_{12} = \int_0^d \vec{E} \cdot d\vec{x} = \frac{Q}{\epsilon 2(S_{11} + S_{12} + S_{13})} \cdot \vec{S}_{11}^0 \cdot d \cdot \vec{d}^0 + \frac{Q}{\epsilon 2(S_{21} + S_{22} + S_{23})} \cdot \vec{S}_{21}^0 \cdot d \cdot \vec{d}^0 = \frac{Q}{\epsilon 2(S_{11} + S_{12} + S_{13})} \cdot d \cdot \cos \alpha_1 + \frac{Q}{\epsilon 2(S_{21} + S_{22} + S_{23})} \cdot d \cdot \cos \alpha_2 \quad (32)$$

$$C_{12} = \frac{Q}{\frac{Q}{\epsilon 2(S_{11} + S_{12} + S_{13})} \cdot d \cdot \cos \alpha_1 + \frac{Q}{\epsilon 2(S_{21} + S_{22} + S_{23})} \cdot d \cdot \cos \alpha_2} = \frac{1}{\frac{d}{2\epsilon} \left(\frac{\cos \alpha_1}{(S_{11} + S_{12} + S_{13})} + \frac{\cos \alpha_2}{(S_{21} + S_{22} + S_{23})} \right)} \quad (33)$$

Ak sa budú obidve nabité vodivé obdĺžnikové telesá nachádzať vo vzdialenosti h od vodivej roviny s nulovým potenciálom, ako to zobrazuje obr. 27, potom ich potenciály môžeme pri zanedbaní okrajových podmienok vyjadriť pomocou nasledujúcich rovníc:



Obr.27 Vyšetovanie vzájomnej kapacity dvoch obdĺžnikových vodičov umiestnených nad rovinou s nulovým potenciálom

$$\varphi_2 = \int_0^d \frac{Q}{\epsilon 2(S_{11} + S_{12} + S_{13})} \cdot \bar{S}_{11}^0 \cdot d\bar{x} + \int_0^{2h} \frac{Q}{\epsilon 2(S_{21} + S_{22} + S_{23})} \cdot \bar{S}_{23}^0 \cdot d\bar{x} = \frac{Q}{\epsilon 2(S_{11} + S_{12} + S_{13})} \cdot d \cdot \cos \alpha_1 + \frac{Q}{\epsilon 2(S_{21} + S_{22} + S_{23})} \cdot 2h \quad (34)$$

$$\varphi_1 = \int_0^d \frac{-Q}{\epsilon 2(S_{21} + S_{22} + S_{23})} \cdot \bar{S}_{21}^0 \cdot d\bar{x} + \int_0^{2h} \frac{-Q}{\epsilon 2(S_{11} + S_{12} + S_{13})} \cdot \bar{S}_{13}^0 \cdot d\bar{x} = \frac{-Q}{\epsilon 2(S_{21} + S_{22} + S_{23})} \cdot d \cdot \cos \alpha_2 + \frac{Q}{\epsilon 2(S_{11} + S_{12} + S_{13})} \cdot 2h \quad (35)$$

Napätie a výslednú kapacitu vypočítame na základe odvodených vzťahov:

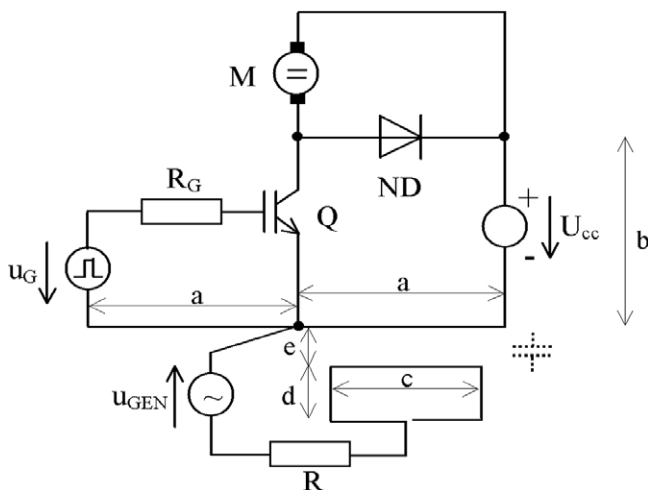
$$U = \varphi_2 - \varphi_1 = \frac{Q}{\epsilon 2(S_{11} + S_{12} + S_{13})} \cdot (d \cdot \cos \alpha_1 + 2h) + \frac{Q}{\epsilon 2(S_{21} + S_{22} + S_{23})} \cdot (d \cdot \cos \alpha_2 + 2h) \quad (36)$$

$$C = \frac{Q}{U} = \frac{1}{\frac{(d \cdot \cos \alpha_1 + 2h)}{\epsilon 2(S_{11} + S_{12} + S_{13})} + \frac{(d \cdot \cos \alpha_2 + 2h)}{\epsilon 2(S_{21} + S_{22} + S_{23})}} \quad (37)$$

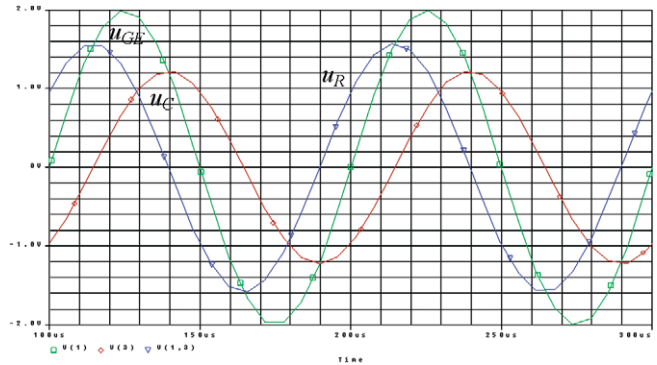
Simulácia a meranie

Na získanie konkrétnej prediktívnej informácie o jednej zložke EMC – pôsobení kapacitnej väzby, treba mať informáciu o časovom priebehu potenciálov v uzloch vyšetřovaného obvodu, ktoré sú zároveň uzlami pripojenia existujúcej parazitnej kapacity, ktorej veľkosť sme vypočítali podľa vzťahov uvedených v predchádzajúcej časti. Na to opäť využijeme program PSPICE a už spomínané zapojenie jednovadrantového impulzového meniča. Vyšetřujeme veľkosť parazitnej kapacity CAB pozostávajúcej z jednej elektródy tvorenej emitorovým uzlom výkonového polm riadeného tranzistora IGBT a druhej elektródy tvorenej rozpojenou slučkou pomocného obvodu tak, ako je to uvedené na obr. 28. Dielektrické prostredie medzi elektródami je tvorené vzduchom.

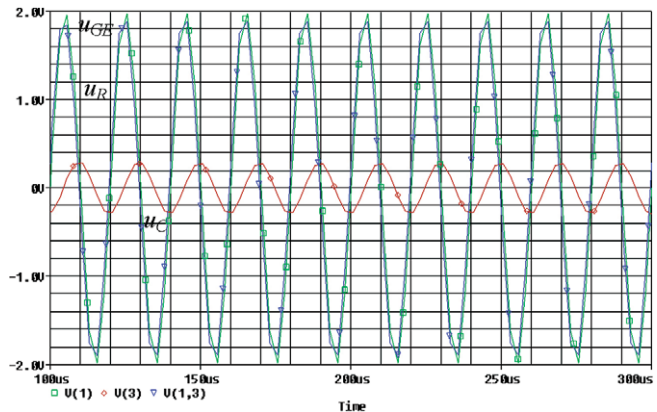
Na výpočet celkovej kapacity takto vytvoreného kondenzátora využijeme odvodené rovnice v predošlej teoretickej analýze. Po dosadení konkrétnych geometrických rozmerov a až e je výsledná kapacita 20,26 pF. Na základe vypočítaných hodnôt vykonáme simulačnú analýzu v programe PSPICE, kde je motor nahradený R-L-Ui záťažou. Výsledky získané simuláciou, ako napätie generátora u_{GEN} , napätie na kondenzátore u_C a napätie u_R na odpore R pre frekvenciu $f = 10$ kHz, sú uvedené na obr. 29. Rovnaké prie-



Obr.28 Schéma zapojenia vyšetřovaných obvodov



Obr.29 Výsledné priebehy získané simuláciou pri frekvencii $f = 10$ kHz

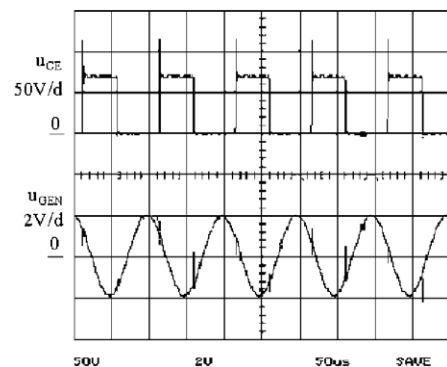


Obr.30 Výsledné priebehy získané simuláciou pri frekvencii $f = 50$ kHz

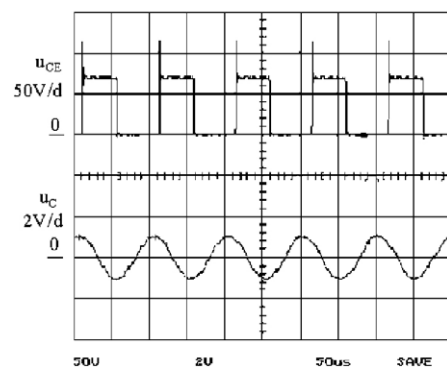
behy, ale simulované pri frekvencii $f = 50$ kHz, sú znázornené na obr. 30.

Namerané priebehy u_{CE} , u_{GEN} a u_C , pre dve zvolené frekvencie sú uvedené na obr. 31 až 34. Referenčným priebehom je priebeh napätia u_{CE} na tranzistore IGBT.

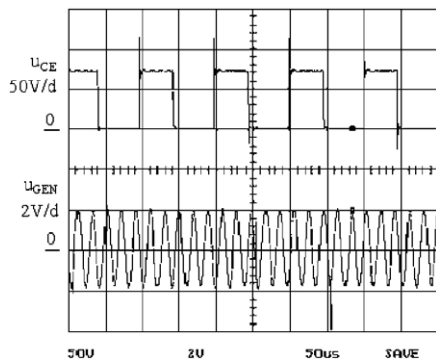
Porovnaním simulovaných a nameraných hodnôt vidíme, že v oboch prípadoch sme dostali výsledky, ktoré sú totožné.



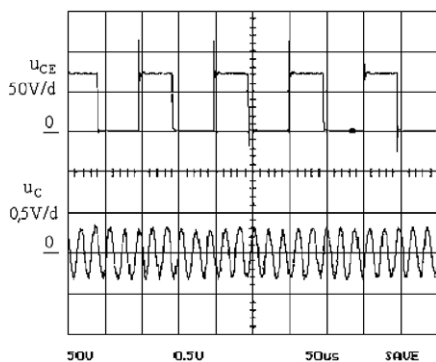
Obr.31 Výsledky získané meraním pri $f = 10$ kHz



Obr.32 Výsledky získané meraním pri $f = 10$ kHz



Obr.33 Výsledky získané meraním pri $f = 50 \text{ kHz}$

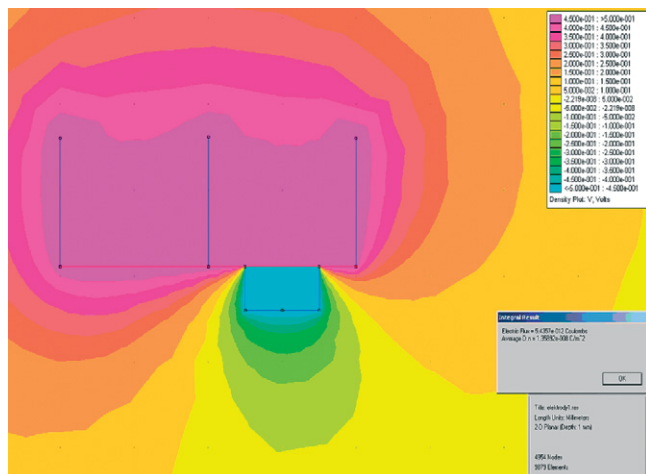


Obr.34 Výsledky získané meraním pri $f = 50 \text{ kHz}$

Táto skutočnosť znamená, že teoreticky vypočítaná hodnota parazitnej kapacity je správna a že uvedený postup je aplikovateľný pri predikcii dôsledkov kapacitnej väzby EMC. Kvôli viacnásobnej verifikácii výsledkov získaných teoretickým výpočtom vykonajme numerickú analýzu zložky kapacitnej väzby EMC prostredníctvom simulácie elektrostatického poľa metódou konečných prvkov. Jej výsledky sú uvedené na obr. 35.

Zo získaných údajov (okienko „Integral Result“) vidíme, že veľkosť elektrického toku vo vzduchovej medzere medzi dvoma vyšetrovanými uzlami je $5,4357 \cdot 10^{-12} \text{ C}$. Keďže program poskytuje údaj elektrického toku iba na jednotku hĺbky 1 mm, získaný údaj musíme ešte vynásobiť dĺžkou plochy použitého valcového vodiča, teda $l = 2 \cdot \pi \cdot R = 2 \cdot \pi \cdot 0,6 = 3,76 \text{ mm}$. Výsledný elektrický tok cez celkovú plochu potom bude $20,4382 \text{ pC}$. S využitím faktu, že napätie medzi vyšetrovanými elektródami je presne 1 V, môžeme získať hodnotu výslednej kapacity $C = 20,4382 \text{ pF}$.

Porovnaním oboch získaných výsledkov je zjavné, že rozdiel v hodnotách kapacity, ktoré sme získali rôznymi postupmi, predstavuje iba 0,879 %, čo sa javí ako dobrá zhoda a zároveň potvrdzuje správnosť použitých metódik.



Obr.35 Simulácia elektrostatického poľa metódou konečných prvkov

V nasledujúcom dieli tohto seriálu rozoberieme vplyv galvanickej väzby v elektrických pohonoch z hľadiska EMC.

Literatúra

- [1] KOVÁČOVÁ, I., KOVÁČ, D.: Parasitic Capacitances of Converters and EMC, Transactions of the Universities, 2005, No. 1, pp. 40-47.
- [2] KOVÁČOVÁ, I., KOVÁČ, D.: EMC Compatibility of Power Semiconductor Converters and Inverters. Acta Electrotechnica et Informatica, No. 2, Vol. 3, 2003, pp. 12-14.
- [3] RYBÁR, R., KUDELAS, D., FISCHER, G.: Alternative sources of energy III – Winding energy. Textbook, Košice, 2004.
- [4] FODOR, J. C.: Contrapositive Symmetry of Fuzzy Implications. Fuzzy Sets and Systems 69, 1995, pp. 141-148.
- [5] GALLOVÁ, Š.: A Progressive Manufacturing Operation. International Congress MATAR, Prague 2004, pp. 141-146
- [6] KOVÁČOVÁ, I., KOVÁČ, D.: Converter's EMC – Parasitic Capacitances. Electronics Letters, Vol. 5, No. 1, 2005, 6 pages.
- [7] ŠPÁNIK P., FEŇO I., KÁCSOR G., LOKŠENINEC, I.: Using Planar Transformers in Soft Switching DC/DC Power Converters, Advances in Electrical and Electronic Engineering, 2004, Vol. 3, No. 1, pp. 59-65.
- [8] TAR, J. K., RUDAS, I. J., MADARÁSZ, L., BITÓ, J. F.: Simultaneous Optimization of the External Loop Parameters in an Adaptive Control Based on the Co-operation of Uniform Procedures. Journal of Advanced Computational Intelligence 4, 2000, pp. 279-285.
- [9] KOVÁČOVÁ, I., KAŇUCH, J., KOVÁČ, D.: Elektromagnetická kompatibilita výkonových elektrotechnických systémov, vydavateľstvo Equilibria, s.r.o., Košice, 2005, 182 strán.
- [10] KOVÁČOVÁ, I., KAŇUCH, J., KOVÁČ, D.: DC permanent magnet disc motor design with improved EMC, Acta Technica CSAV, Vol. 50, No. 3, 2005, pp. 291-306.
- [11] DOBRUCKÝ B., RÁČEK V., ŠPÁNIK P., GUBRIC, R.: Výkonové polovodičové štruktúry, Edičné stredisko VŠDS Žilina, 1. vyd., 1995.
- [12] KOVÁČOVÁ, I., KAŇUCH, J., KOVÁČ, D.: The EMC of Electrical Systems – Galvanic Coupling (Part I.), Acta Electrotechnica et Informatica, 2005, Vol. 5, pp. 22-28.

doc. Ing. Irena Kováčová, CSc.

Katedra elektrotechniky, mechatroniky a priemyselného inžinierstva
e-mail: irena.kovacova@tuke.sk

prof. Ing. Dobroslav Kováč, CSc.

Katedra teoretickej elektrotechniky a elektrického merania
e-mail: dobroslav.kovac@tuke.sk

Ing. Ján Kaňuch

Katedra elektrotechniky, mechatroniky a priemyselného inžinierstva
e-mail: jan.kanuch@tuke.sk

Technická univerzita v Košiciach
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Letná 9, 042 00 Košice

doc. Ing. Štefánia Gallová, CSc.

Technická univerzita v Košiciach
Strojnícka fakulta, Katedra automatizácie a riadenia
Park Komenského 9, 042 00 Košice
e-mail: stefania.gallova@tuke.sk

43