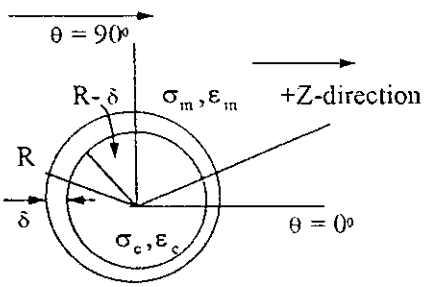
ภาคผนวก จ

ทฤษฎีสำหรับไดอิเล็กทริกของ Mahaworasilpa (1994)

การเหนี่ยวนำไดโพลโมเมนต์(μ)สำหรับทรงกลมรูปทรงที่มีเนื้อในสม่ำเสมอหรืออนุภาคที่มีสภาพไดอิเล็กทริกทางไฟฟ้าซึ่งมีค่าคงที่ไดอิเล็กทริกเชิงซ้อน($\varepsilon_{\mathrm{p}}^{'}$) อยู่ ในตัวกลางที่ไม่นำไฟฟ้าซึ่งมีค่าคงที่ไดอิเล็กทริกเชิงซ้อนเป็น ($\varepsilon_{\mathrm{s}}^{'}$) ในสนามไฟฟ้ากระแสสลับ (E) ซึ่งมีความถี่เชิงมุม ω เขียนความสัมพันธ์ได้เป็น

$$\mu(\omega) = 4\pi\ R^3 \varepsilon_s \left[\frac{\varepsilon_{\mathrm{p}}' - \varepsilon_s'}{\varepsilon_{\mathrm{p}}' + 2\varepsilon_s'}\right] \mathrm{E} \qquad (1)$$

สำหรับทรงกลมที่ไม่สม่ำเสมอตามภาพประกอบ มีชั้นไดอิเล็กทริกที่มีค่าคงที่ไดอิเล็กทริกเชิงซ้อน ($\varepsilon_{\mathrm{m}}^{'}$)และค่าสภาพนำไฟฟ้าเชิงซ้อน$\sigma_m^{'}$ซึ่งโอบล้อมชั้นที่นำไฟฟ้าภายในซึ่งมีค่าคงที่ไดอิเล็กทริกเชิงซ้อน $\varepsilon_{\mathrm{c}}^{'}$ และค่าสภาพนำไฟฟ้าเชิงซ้อน $\sigma_c^{'}$ ให้สนามไฟฟ้าที่กระทำกับโมเดลไม่สม่ำเสมอนี้เหมือนกับสนามที่กระทำต่อวัตถุที่เป็นทรงกลมสม่ำเสมอแต่ให้ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกเชิงซ้อนเป็น $\sigma_{\mathrm{eff}}^{'}$ซึ่งเขียนความสัมพันธ์ได้เป็น



ภาพประกอบ 15 แสดงรูปแบบของไดอิเล็กทริกของเซลล์โมเดลมีเปลือก เมื่อ δ คือความหนาของเปลือกเซลล์ (เซลล์เมมเบรน) R คือรัศมีภายนอกของเซลล์ $\varepsilon_{\mathrm{m}}, \varepsilon_c, \varepsilon_s$ เป็นค่าคงที่ไดอิเล็กทริกของเมมเบรน ไซโตพลาสซึม และของสารละลายภายนอกตามลำดับ $\sigma_m, \sigma_c, \sigma_s$ เป็นค่าสภาพนำไฟฟ้าของเมมเบรน ไซโตพลาสซึมและสารละลายภายนอกตามลำดับ

$$\sigma'_{\text{eff}} = -\frac{\sigma'_{\text{m}}\left[2(R-\delta)^3(\sigma'_{\text{c}}-\sigma'_{\text{m}})+R^3(\sigma'_{\text{c}}+2\sigma'_{\text{m}})\right]}{\left[(R-\delta)^3(\sigma'_{\text{c}}-\sigma'_{\text{m}})-R^3(\sigma'_{\text{c}}+2\sigma'_{\text{m}})\right]} \qquad (2)$$

เมื่อ $\sigma' = j\omega\varepsilon'$ (เมื่อ ω คือค่าความถี่เชิงมุมของสนามไฟฟ้า)สมการที่(2)สามารถเขียนได้โดย

$$\varepsilon'_{\text{eff}} = -\frac{\varepsilon'_{\text{m}}\left[2(R-\delta)^3(\varepsilon'_{\text{c}}-\varepsilon'_{\text{m}})+R^3(\varepsilon'_{\text{c}}+2\varepsilon'_{\text{m}})\right]}{\left[(R-\delta)^3(\varepsilon'_{\text{c}}-\varepsilon'_{\text{m}})-R^3(\varepsilon'_{\text{c}}+2\varepsilon'_{\text{m}})\right]} \qquad (3)$$

การเหนี่ยวนำไดโพลโมเมนต์ $\mu(\omega)$ ในวัตถุไดอิเล็กทริกทรงกลมเมื่อแขวนลอยในสารละลายตัวกลางที่มีค่าสภาพนำไฟฟ้า σ'_{s} และค่าคงที่ไดอิเล็กทริกเชิงซ้อน ε'_{s} จะอยู่ในรูปของความสัมพันธ์

$$\mu(\omega) = 4\pi R^3 \varepsilon_s \left[\frac{\varepsilon'_{\text{eff}} - \varepsilon'_s}{\varepsilon'_{\text{eff}} + 2\varepsilon'_s}\right] \text{E} \qquad (4)$$

$$= 4\pi R^3 \varepsilon_s f(\omega) \text{E} \qquad (5)$$

เมื่อให้ค่าเชิงซ้อนขึ้นกับฟังก์ชั่นความถี่

$$f(\omega) = \left[\frac{\varepsilon'_{\text{eff}} - \varepsilon'_s}{\varepsilon'_{\text{eff}} + 2\varepsilon'_s}\right] \qquad (6)$$

$$= -\frac{(1-\alpha_s)(1+2\alpha_c) - (1+2\alpha_s)(1-\alpha_c)\left(\frac{R-\delta}{R}\right)^3}{(2+\alpha_s)(1+2\alpha_c) - 2(1-\alpha_s)(1-\alpha_c)\left(\frac{R-\delta}{R}\right)^3} \qquad (7)$$

เมื่อ

$$\alpha_s = \frac{\varepsilon'_{\text{m}}}{\varepsilon'_{\text{s}}} = \frac{\sigma_{\text{m}} + j\omega\varepsilon_{\text{m}}}{\sigma_s + j\omega\varepsilon_s} \qquad (8)$$

และ

$$\alpha_c = \frac{\varepsilon'_{\mathrm{m}}}{\varepsilon'_{\mathrm{c}}} = \frac{\sigma_{\mathrm{m}} + j\omega\varepsilon_{\mathrm{m}}}{\sigma_c + j\omega\varepsilon_c} \tag{9}$$

อันตรกิริยาระหว่างสนามไฟฟ้ากับไดโพลโมเมนต์ทำให้เกิดแรงไดอิเล็กโทรฟอเรซีสที่กระทำ
ซลล์ดังนี้

$$\begin{aligned} \mathrm{F_{DEP}} &= \mathrm{Re}\left[\left(\mu(\omega)\nabla\right)\mathrm{E}\right] \\ &= 2\pi\varepsilon_{\mathrm{S}} R^3 \nabla\left(E^2\right)\mathrm{Re}\left[f(\omega)\right] \end{aligned} \tag{10}$$

การคำนวณค่าความถี่
$\mathrm{f}(\omega)$และไดโพลโมเมนต์อ้างจากคำตอบของสมการลาปาสซ์ในเรื่องของฟังก์ชั่นของศักย์
ซึ่งอยู่ในรูป

$$\psi_\mu = \frac{\mu\ \cos\theta}{4\pi\varepsilon_{\mathrm{S}} r^2} \tag{11}$$

และสามารถเขียนในรูปของค่าจริงของฟังชั่นความถี่ $\mathrm{Re[f}(\omega)]$ ได้ดังนี้

$$\mathrm{Re}\left[f(\omega)\right] = -\left[\frac{\mathrm{AB} + \mathrm{CD}\omega^2}{\mathrm{B}^2 + \mathrm{D}^2\omega^2}\right] \tag{12}$$

เมื่อ

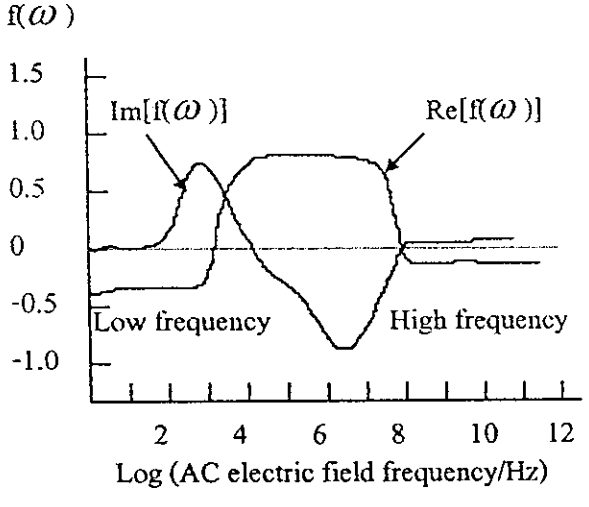
$$\begin{aligned} \mathrm{A} = &(2k-1)\left(\sigma_c\sigma_{\mathrm{m}} - \varepsilon_c\varepsilon_{\mathrm{m}}\omega^2\right) \\ &+ (1-k)\left(\sigma_s\sigma_{\mathrm{m}} - \varepsilon_s\varepsilon_{\mathrm{m}}\omega^2\right) \\ &+ k\left[\sigma_s\sigma_c - 2\sigma_{\mathrm{m}}^2 + \omega^2\left(2\varepsilon_{\mathrm{m}}^2 - \varepsilon_s\varepsilon_c\right)\right] \end{aligned}$$

$$B = (1-2k)\left(\sigma_c\sigma_m - \varepsilon_c\varepsilon_m\omega^2\right) + 2(1-k)\left(\sigma_s\sigma_m - \varepsilon_s\varepsilon_m\omega^2\right) + 2k\left[\sigma_s\sigma_c + \sigma_m^2 - \omega^2\left(\varepsilon_m^2 + \varepsilon_s\varepsilon_c\right)\right]$$

$$C = (2k-1)\left(\sigma_m\varepsilon_c + \sigma_c\varepsilon_m\right) + (1-k)\left(\sigma_m\varepsilon_s + \sigma_s\varepsilon_m\right) + k\left[\sigma_c\varepsilon_s + \sigma_s\varepsilon_c - 4\sigma_m\varepsilon_m\right]$$

$$D = (1-2k)\left(\sigma_m\varepsilon_c + \sigma_c\varepsilon_m\right) + 2(1-k)\left(\sigma_m\varepsilon_s + \sigma_s\varepsilon_m\right) + 2k\left[\sigma_c\varepsilon_s + \sigma_s\varepsilon_c + 2\sigma_m\varepsilon_m\right]$$

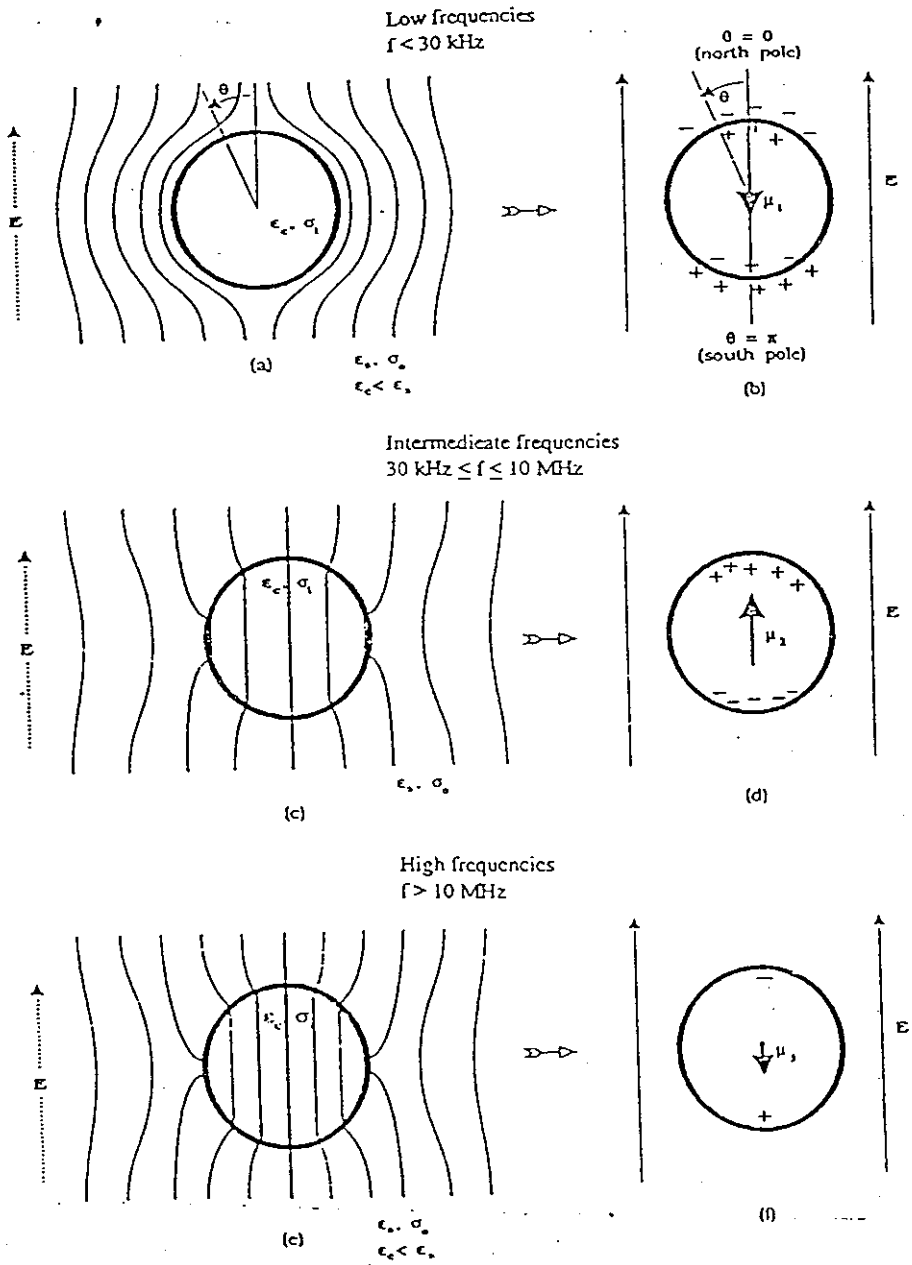
เมื่อ $k = \delta / R$



ภาพประกอบ 16 แสดงกราฟแสดงค่าจริง Re[f(ω)] และค่าจินตภาพ Im[f(ω)] ของฟังก์ชั่นความถี่ กับค่าล๊อกการิทึมของความถี่

จากภาพประกอบ16
กราฟแสดงค่าจริงและค่าจินตภาพของฟังก์ชั่นความถี่เมื่อให้ความถี่สนามไฟฟ้าภายนอก จะเห็นว่าการเกิดการโพลาไรซ์ซึ่งขึ้นกับความถี่ตามภาพประกอบ 17(ก-ค)

ภาพประกอบ17 แสดงไดอะแกรมเส้นแรงสนามไฟฟ้า ซึ่งเหนี่ยวนำให้เกิดไดโพล เมื่อเซลล์แขวนลอยในสารละลายภายนอกที่มีค่าสภาพนำไฟฟ้าต่ำเมื่อ(ก)ความเข้มของสนามไฟฟ้าต่ำ(ข)ความเข้มของสนามไฟฟ้าในช่วงกลาง(ค) เมื่อความเข้มสนามไฟฟ้าสูง โดยที่ $\varepsilon_c < \varepsilon_s$ และ $\sigma_c > \sigma_s$ ในขณะที่ $\sigma_m << \sigma_c$



การประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 27

27th Congress on Science and Technology of Thailand

16 - 18 ตุลาคม 2544

ณ โรงแรม ลี การ์เดนส์ พลาซ่า อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา

ขอมอบเกียรติบัตรเพื่อแสดงว่างานวิจัยเรื่อง

การศึกษาการตรวจจับโลหะหนักของแพลงก์ตอนพืชชนิด คลอเรลล่า โดยใช้วิธีไดอิเทกโทรฟอเรซีส

จุติพร สุดศิริ, พิกุล วณิชาภิชาติ และดวงรัตน์ ชูเกิด

เป็นผลงานดีมาก และได้รับการคัดเลือกให้เสนอแบบบรรยาย

ศาสตราจารย์ ศักดา ศิริพันธุ์
นายกสมาคมวิทยาศาสตร์แห่งประเทศไทยฯ
President, The Science Society of Thailand

รองศาสตราจารย์ ดร. ศุภวรรณ ตันตยานนท์
ประธานจัดการประชุม วทท 27
Chairperson, Organizing Committee

รองศาสตราจารย์ ดร. รวัช ชิตระการ
คณบดีคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
Dean, Faculty of Science, Prince of Songkla University