

Συνδεσμολογία πυκνωτών σε ηλεκτρικά κυκλώματα

Μπορούμε να φορτίσουμε έναν πυκνωτή συνδέοντας τους οπλισμούς του με τους πόλους μιας μπαταρίας οι οποίοι διατηρούν σταθερή διαφορά δυναμικού V .

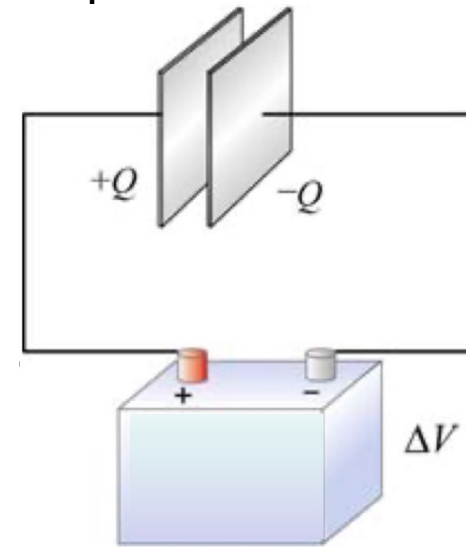
Η συνδεσμολογία έχει σαν αποτέλεσμα το μοίρασμα φορτίων μεταξύ των πόλων της μπαταρίας και των οπλισμών του πυκνωτή.

Ο οπλισμός που είναι συνδεδεμένος με τον θετικό πόλο της μπαταρίας αποκτά θετικό φορτίο ενώ αυτός που συνδέεται με τον αρνητικό πόλο της μπαταρίας αποκτά αρνητικό φορτίο

Το γεγονός ότι φορτίο μοιράζεται προκαλεί μείωση στο φορτίο των πόλων της μπαταρίας που με τη σειρά του προκαλεί μείωση στην διαφορά δυναμικού μεταξύ των πόλων

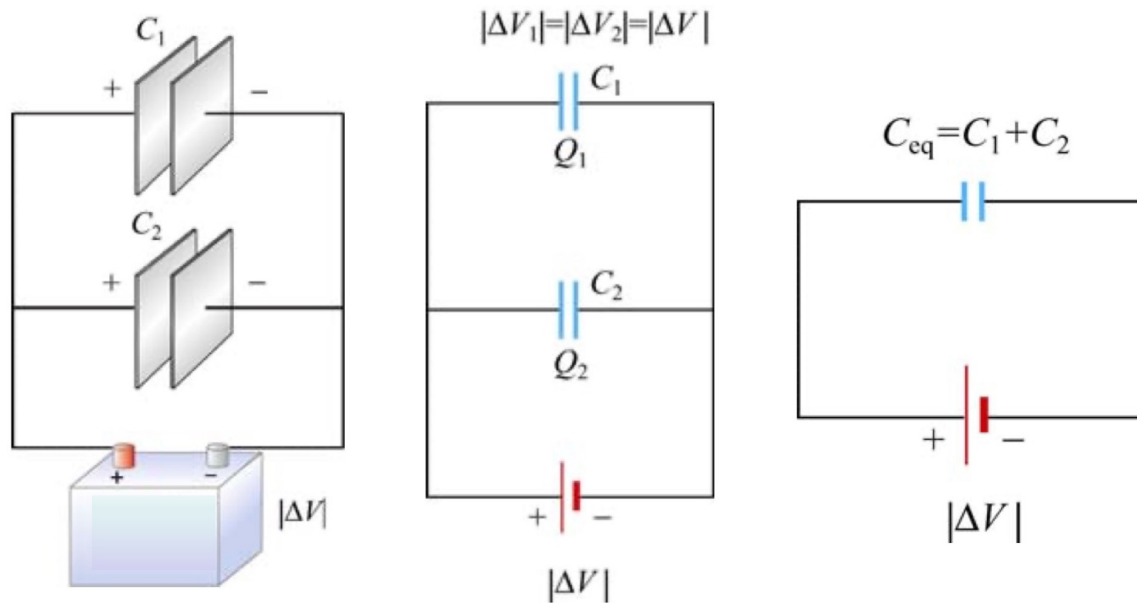
Αυτή η μεταβολή προκαλεί χημικές αντιδράσεις στο εσωτερικό της μπαταρίας και φορτία μεταφέρονται στους πόλους ώστε να αντισταθμίσουν την απώλεια φορτίων στους οπλισμούς του πυκνωτή και την σταθεροποίηση της διαφοράς δυναμικού.

Η μπαταρία δρα σαν αντλία μεταφοράς φορτίων που μεταφέρει φορτίο Q από τον έναν οπλισμό στον άλλο.



Παράλληλη συνδεσμολογία πυκνωτών

Υποθέτουμε ότι έχουμε δύο πυκνωτές χωρητικότητας C_1 και C_2 με φορτία Q_1 και Q_2 αντίστοιχα. Οι δύο πυκνωτές συνδέονται παράλληλα μεταξύ τους όπως στο σχήμα:



Οι δύο πυκνωτές έχουν τους αριστερούς οπλισμούς συνδεδεμένους μεταξύ τους στο ίδιο θετικό δυναμικό ενώ οι δεξιοί οπλισμοί είναι συνδεδεμένοι επίσης στο ίδιο αρνητικό δυναμικό

Η διαφορά δυναμικού επομένως είναι ίδια και στους δύο πυκνωτές.

Επομένως θα έχουμε: $C_1 = \frac{Q_1}{|\Delta V|}$ και $C_2 = \frac{Q_2}{|\Delta V|}$

Παράλληλη συνδεσμολογία πυκνωτών

Οι δύο πυκνωτές μπορούν να αντικατασταθούν από έναν ισοδύναμο πυκνωτή, με ολικό φορτίο Q που δίνει η μπαταρία

Επειδή το φορτίο Q μοιράζεται με τους δύο πυκνωτές, θα έχουμε:

$$Q = Q_1 + Q_2 = C_1 |\Delta V| + C_2 |\Delta V| = |\Delta V| (C_1 + C_2)$$

Η ισοδύναμη χωρητικότητα επομένως θα είναι:

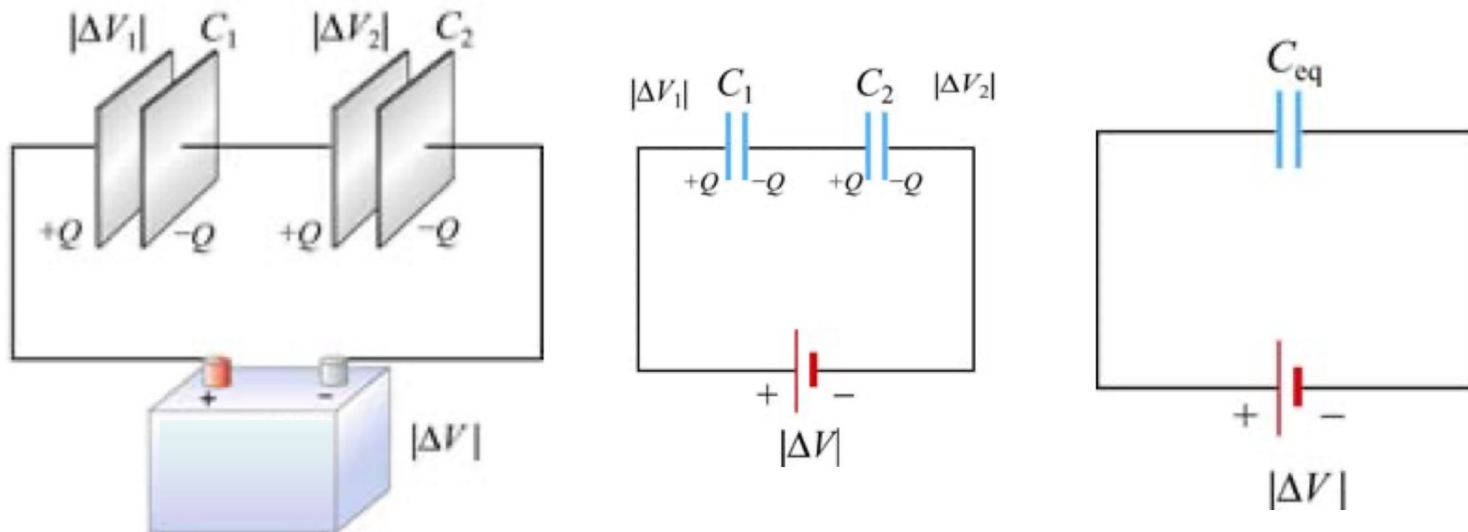
$$C = \frac{Q}{|\Delta V|} = \frac{|\Delta V| (C_1 + C_2)}{|\Delta V|} \Rightarrow C = C_1 + C_2$$

Επομένως πυκνωτές που συνδέονται μεταξύ τους παράλληλα, προσθέτουν την χωρητικότητά τους.

Η γενική σχέση είναι: $C_{ολ} = C_1 + C_2 + \dots + C_N \Rightarrow C_{ολ} = \sum_{i=1}^N C_i$ παράλληλη σύνδεση

Συνδεσμολογία σε σειρά

Υποθέτουμε ότι έχουμε δύο πυκνωτές χωρητικότητας C_1 και C_2 με φορτία Q_1 και Q_2 αντίστοιχα. Οι δύο πυκνωτές συνδέονται μεταξύ τους **σε σειρά** όπως στο σχήμα



Ο οπλισμός του ενός πυκνωτή συνδέεται με τον έναν οπλισμό του 2^{ου} πυκνωτή ενώ σταθερή διαφορά δυναμικού εφαρμόζεται στους ασύνδετους οπλισμούς των δύο πυκνωτών

Ο ένας οπλισμός συνδέεται με τον θετικό πόλο της μπαταρίας και άρα φορτίζεται με φορτίο $+Q$ ενώ ο οπλισμός που συνδέεται με τον αρνητικό πόλο αποκτά αρνητικά φορτία καθώς ηλεκτρόνια κινούνται στην επιφάνειά του

Συνδεσμολογία σε σειρά

Οι ενδιάμεσοι οπλισμοί που αρχικά ήταν αφόρτιστοι αποκτούν επαγόμενα φορτία εξαιτίας των φορτίων των εξωτερικών οπλισμών που συνδέονται με τους πόλους της μπαταρίας. Τα φορτία που αποκτούν είναι ίσα και για τους δύο πυκνωτές.

Ο δεξιός οπλισμός του 1^{ου} πυκνωτή αποκτά αρνητικό φορτίο ενώ ο αριστερός οπλισμός του 2^{ου} πυκνωτή θα αποκτήσει θετικό φορτίο.

Σε κάθε πυκνωτή εμφανίζεται διαφορά δυναμικού: $|V_1| = \frac{Q}{C_1}$ και $|V_2| = \frac{Q}{C_2}$

Η ολική διαφορά δυναμικού στα άκρα των δύο πυκνωτών είναι το άθροισμα της διαφοράς δυναμικού σε κάθε πυκνωτή: $|V_{ολ.}| = |V_1| + |V_2|$

Εν γένει, η διαφορά δυναμικού στα άκρα μιας συνδεσμολογίας πυκνωτών σε σειρά είναι ίση με το άθροισμα της διαφοράς δυναμικού στα άκρα κάθε πυκνωτή.

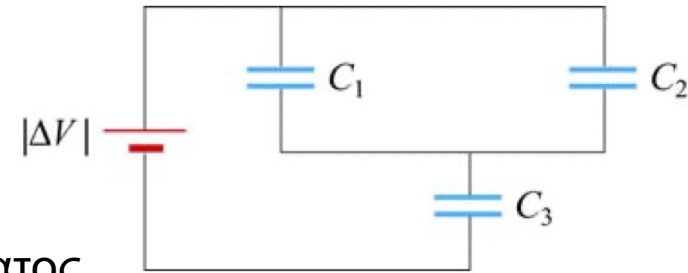
Μπορούμε να θεωρήσουμε ότι αντικαθιστούμε τους πυκνωτές με έναν ισοδύναμο πυκνωτή $C_{ολ.} = Q/|\Delta V_{ολ.}|$.

Αντικαθιστώντας τη διαφορά δυναμικού έχουμε: $\frac{Q}{C_{ολ.}} = \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2} \Rightarrow \frac{1}{C_{ολ.}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$

Για N πυκνωτές: $\frac{1}{C_{ολ.}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_N} \Rightarrow \frac{1}{C_{ολ.}} = \sum_{i=1}^N \frac{1}{C_i}$ **σύνδεση σε σειρά**

Μικτή σύνδεση

Έστω ότι δίνεται η συνδεσμολογία του σχήματος



Μπορούμε να βρούμε την χωρητικότητα του συστήματος των πυκνωτών παρατηρώντας ότι οι πυκνωτές C_1 και C_2 είναι συνδεδεμένοι μεταξύ τους παράλληλα.

Ο ισοδύναμος πυκνωτής των C_1 και C_2 είναι συνδεδεμένος με τον C_3 σε σειρά.

Θα έχουμε επομένως: $C_{12} = C_1 + C_2$



Η συνδεσμολογία του C_{12} με τον C_3 σε σειρά δίνει:

$$\frac{1}{C_{123}} = \frac{1}{C_{12}} + \frac{1}{C_3} \Rightarrow C_{123} = \frac{C_{12}C_3}{C_{12} + C_3} \Rightarrow C_{123} = \frac{(C_1 + C_2)C_3}{C_1 + C_2 + C_3}$$



Διηλεκτρικά

Διηλεκτρικά υλικά

Θεωρούμε έναν επίπεδο πυκνωτή.

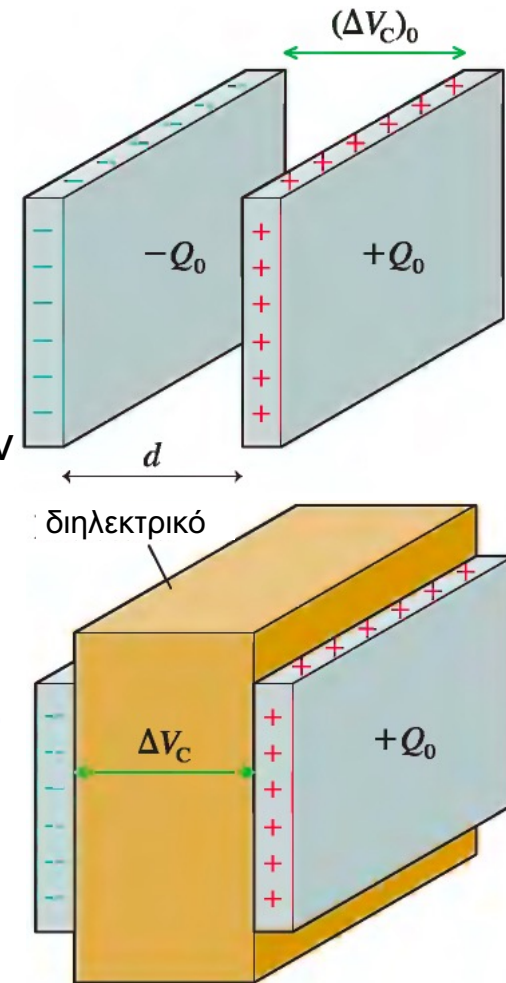
Ανάμεσα στους οπλισμούς του πυκνωτή υπάρχει κενό

Ο πυκνωτής παρουσιάζει χωρητικότητα $C_0 = \frac{Q_0}{(\Delta V_C)_0}$

Συχνά ανάμεσα στους οπλισμούς του πυκνωτή παρεμβάλλουμε κάποιο μονωτικό υλικό, όπως χαρτί, πλαστικό, γυαλί, λάδι, το οποίο δεν επιτρέπει φορτία να διαπεράσουν την απόσταση των δύο οπλισμών.

Θεωρούμε ότι το υλικό γεμίζει πλήρως την περιοχή ανάμεσα στους οπλισμούς και έχει πάχος d

- Μονωτικό υλικό σε ηλεκτρικό πεδίο ονομάζεται **διηλεκτρικό**
- Η παρουσία του μονωτικού υλικού δεν μεταβάλλει το φορτίο Q_0 στους οπλισμούς του πυκνωτή.
- Μέτρηση της διαφοράς δυναμικού στα άκρα των οπλισμών του πυκνωτή δείχνει ότι η διαφορά δυναμικού έχει μειωθεί $\Delta V < \Delta V_0$
- Από τον ορισμό της χωρητικότητας: $C = \frac{Q_0}{\Delta V}$ και $\Delta V < \Delta V_0$ έχουμε ότι: $C_{\text{διηλ.}} > C_0$
- Η παρουσία του διηλεκτρικού αυξάνει την χωρητικότητα



Διηλεκτρικά υλικά

Η διαπίστωση αυτή αποτελεί μια πολύ ενδιαφέρουσα παρατήρηση και χρησιμοποιείται σε διάφορες εφαρμογές.

➤ Εξήγηση του φαινομένου:

Όταν διηλεκτρικό υλικό εισαχθεί στην περιοχή ανάμεσα στους οπλισμούς ενός πυκνωτή, η χωρητικότητα αυξάνει: $C = k_e C_0$

Η σταθερά k_e είναι χαρακτηριστική του υλικού και ονομάζεται **διηλεκτρική σταθερά**

Για όλα τα διηλεκτρικά υλικά, η διηλεκτρική σταθερά είναι $k_e > 1$

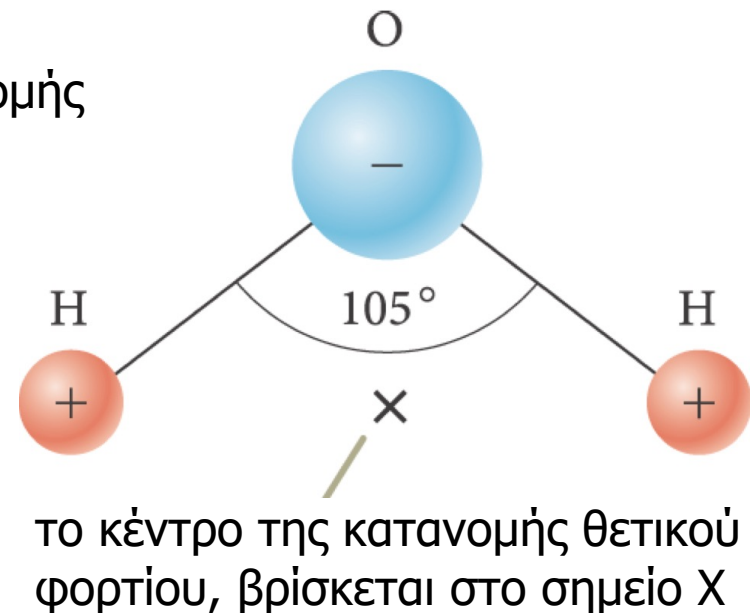
Η διηλεκτρική αντοχή κάθε υλικού είναι το μέτρο του ηλεκτρικού πεδίου στο οποίο έχουμε εκκένωση και φορτία αρχίζουν να άγουν μέσω του υλικού το οποίο χάνει τις μονωτικές του ιδιότητες.

Υλικό	Διηλεκτρική σταθερά	Διηλεκτρική αντοχή ($10^6 V/m$)
Αέρας	1.00059	3
Χαρτί	3.7	16
Γυαλί	4-6	9
Νερό	80	-

Διηλεκτρικά υλικά

Η αύξηση της χωρητικότητας μπορεί να εξηγηθεί από μοριακή θεώρηση του υλικού:
Η διηλεκτρική σταθερά αποτελεί την διηλεκτρική απόκριση του υλικού σε εξωτερικό ηλεκτρικό πεδίο.

- Όταν η μέση θέση των θετικών φορτίων ενός μορίου και η μέση θέση των αρνητικών φορτίων του μορίου δεν ταυτίζονται και το μόριο είναι **πολωμένο**
- Μόρια στα οποία η πόλωση αυτή είναι μόνιμη ονομάζονται **πολικά μόρια**
- ❑ Στο μόριο του νερού, το κέντρο της κατανομής του αρνητικού φορτίου βρίσκεται κοντά στο άτομο του Οξυγόνου
Στο σημείο X βρίσκεται το κέντρο της κατανομής του θετικού φορτίου
Οι μέσες θέσεις του θετικού φορτίου και του αρνητικού φορτίου συμπεριφέρονται ως σημειακά φορτία
 - Μοντελοποίηση πολικών μορίων ως ηλεκτρικά δίπολα



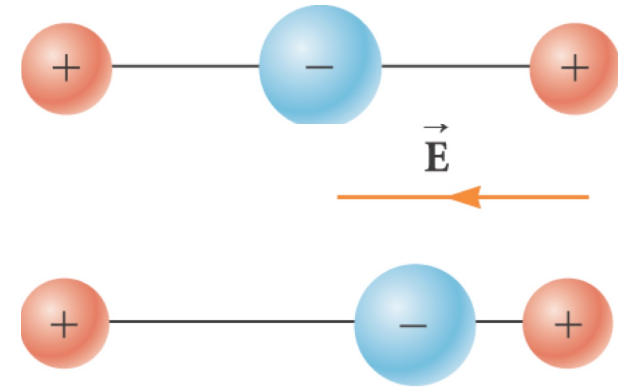
Επαγόμενη πόλωση (σε μη πολικά μόρια)

Ένα γραμμικά συμμετρικό μόριο δεν έχει μόνιμη πόλωση

Αν το μόριο εισαχθεί μέσα σε ηλεκτρικό πεδίο τότε

επάγεται πόλωση

Η επαγόμενη πόλωση κυριαρχεί ως διαδικασία στα περισσότερα υλικά που χρησιμοποιούνται στους πυκνωτές ως διηλεκτρικά



Διηλεκτρικά υλικά – Εξέταση σε Ατομικό Επίπεδο

Έστω ότι το μόρια του διηλεκτρικού υλικού είναι πολικά.
Όταν δεν υπάρχει εξωτερικό ηλεκτρικό πεδίο έχουν τυχαίο προσανατολισμό.

Εφαρμόζεται ένα εξωτερικό ηλεκτρικό πεδίο .

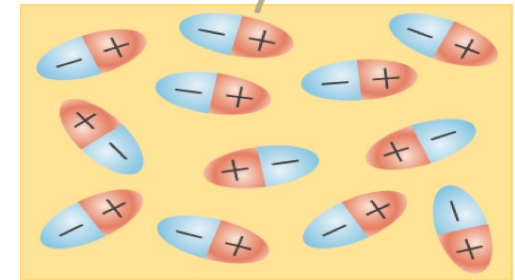
Αν τα μόρια του διηλεκτρικού υλικού είναι **μή πολικά** τότε το ηλεκτρικό πεδίο προκαλεί διαχωρισμό των φορτίων

Τα μόρια συμπεριφέρονται σαν να ήταν πολικά μόρια.
Αναπτύσσεται ροπή στα μόρια και αυτά ευθυγραμμίζονται μερικώς με το ηλεκτρικό πεδίο

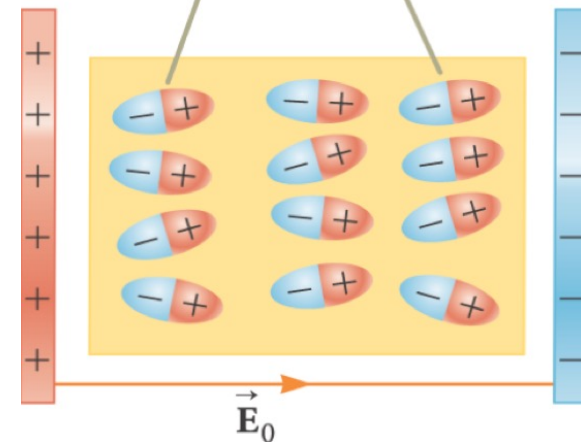
Ο βαθμός ευθυγράμμισης εξαρτάται από τη θερμοκρασία και το μέτρο του πεδίου

Γενικά ο βαθμός ευθυγράμμισης αυξάνεται όταν μειώνεται η θερμοκρασία και όταν αυξάνεται το μέτρο του εξωτερικού ηλεκτρικού πεδίου

Τυχαίος προσανατολισμός
απουσία πεδίου



Προσανατολισμός μορίων
παρουσία πεδίου



Διηλεκτρικά υλικά – Εξέταση σε Ατομικό Επίπεδο

Η τελική επίδραση στο διηλεκτρικό είναι η ανάπτυξη ενός επαγόμενου επιφανειακού φορτίου

Τα φορτισμένα άκρα του διηλεκτρικού υλικού δρουν ως ένα δεύτερο ζεύγος οπλισμών, δημιουργώντας ένα επαγόμενο ηλεκτρικό πεδίο που έχει κατεύθυνση αντίθετη εκείνης του αρχικού ηλεκτρικού πεδίου

Μοντελοποιούμε τα φορτισμένα άκρα του διηλεκτρικού ως ένα επιπλέον ζεύγος παράλληλων οπλισμών που δημιουργούν επαγόμενο ηλεκτρικό πεδίο $\vec{E}_{\text{επαγ.}}$ με κατεύθυνση αντίθετη του \vec{E}_0

