

Υψηλές Τάσεις Ι

Εργαστηριακή Αναφορά

Ομάδα 1

Ευστρατίου Ευστράτιος ΑΕΜ 10489

Κουτσικάκης Δημήτριος ΑΕΜ 10532

Μανακίδης Παύλος ΑΕΜ 10436

Παναγιωτίδης Γεώργιος ΑΕΜ 10369

Παναπακίδης Δημήτριος ΑΕΜ 9298

Εργαστηριακή Άσκηση 2

Μετασχηματιστές Δοκιμής και Φαινόμενο Ferranti

Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών
ΑΠΘ

Δευτέρα 13 Νοεμβρίου 2023

ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΕΣ ΔΟΚΙΜΗΣ ΚΑΙ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ FERRANTI

Ερώτημα 1.1 - Υπολογισμός U'_1

Οι τρεις Μ/Σ δοκιμής ΤΕΟ 100/10, 2x220V/100kV/220V, 5kVA, 4% που χρησιμοποιούνται στην εργαστηριακή άσκηση έχουν έκαστος **Λόγο Μετασχηματισμού** $w = 454.54$, ο οποίος προκύπτει ως εξής:

$$w = \frac{V_{n\text{δευτερεύοντος}}}{V_{n\text{πρωτεύοντος}}} = \frac{100kV}{220V} = 454.54$$

όπου " V_n " η ονομαστική τάση ενός τυλίγματος του Μ/Σ.

Όταν αυτοί χρησιμοποιούνται ένας μόνος ή δύο συνδεδεμένοι κατα βαθμίδες ή τρεις συνδεδεμένοι κατά βαθμίδες, στην πλευρά της ΥΤ παρουσιάζουν ονομαστική τάση 100kV, 200kV και 300kV αντίστοιχα (όπως φαίνεται και στον Πίνακα 3.1 του φυλλαδίου του εργαστηρίου). Τότε οι συνολικές διατάξεις έχουν αντίστοιχα Λόγους Μετασχηματισμού:

$$w_1 = \frac{100kV}{220V} = 454.54$$

$$w_2 = \frac{200kV}{220V} = 909.09$$

$$w_3 = \frac{300kV}{220V} = 1363.63$$

Αν οι Μ/Σ θεωρηθούν **ιδανικοί** και λειτουργούν **εν κενώ**, για δοθείσες τάσεις πρωτεύοντος οι τάσεις στην έξοδο της διάταξης (U'_1) ισούνται με τις ανηγμένες τάσεις του πρωτεύοντος στο δευτερεύον και προκύπτουν όπως παρακάτω:

Αριθμός Βαθμίδων Μ/Σ Δοκιμής	Τάση Εισόδου U_1	Τάση Εξόδου U'_1
1	30V	13.63kV
2	15V	13.63kV
3	10V	13.63kV

Παρακάτω παρατίθενται αναλυτικά τις πράξεις:

$$U'_1 = U_1 \cdot w_1 = 30 \cdot 454.54 = 13.63kV$$

$$U'_1 = U_1 \cdot w_2 = 15 \cdot 909.09 = 13.63kV$$

$$U'_1 = U_1 \cdot w_3 = 10 \cdot 1363.63 = 13.63kV$$

Ερωτήματα 1.2 και 1.3 - Υπολογισμός U_{2F} και Ανύψωσης Τάσης

Η φόρτιση των Μ/Σ δοκιμής είναι σχεδόν πάντα χωρητική λόγω της εσωτερικής χωρητικότητας τους και των διαφόρων δοκιμών που συνδέονται στην έξοδό τους, τα οποία έχουν χωρητικό χαρακτήρα). Η τάση εξόδου τους U_{2F} (τάση δευτερεύοντος τυλίγματος) σε αυτές τις περιπτώσεις υπολογίζεται προσεγγιστικά από τη σχέση:

$$U_{2F} \approx U'_1 \cdot \frac{1}{1-u} \quad (1)$$

όπου με u συμβολίζεται η συνολική ανά μονάδα τάσης βραχυκύκλωσης της διάταξης (λαμβάνοντας υπόψιν και την επίδραση του φορτίου).

Τότε, συγκεκριμένα για λειτουργία εν κενώ, για δοθείσες τάσεις πρωτεύοντος οι τάσεις στην έξοδο της διάταξης (U_{2F}) προκύπτουν όπως παρακάτω:

Αριθμός Βαθμίδων Μ/Σ Δοκιμής	Τάση Βραχυκύκλωσης (u)	Τάση Εισόδου (U_1)	Τάση Εξόδου (U'_1)	Τάση Εξόδου (U_{2F})	$\epsilon(\%)$
1	4%	30V	13.63kV	14.21kV	4.2%
2	7%	15V	13.63kV	14.66kV	7.6%
3	11%	10V	13.63kV	15.32kV	12.4%

Η ανύψωση τάσης $\epsilon(\%)$ προκύπτει ως εξής:

$$\epsilon(\%) = \frac{U_{2F} - U'_1}{U'_1}$$

και οφείλεται στην παρουσία **παρασιτικών χωρητικοτήτων** στην διάταξη.

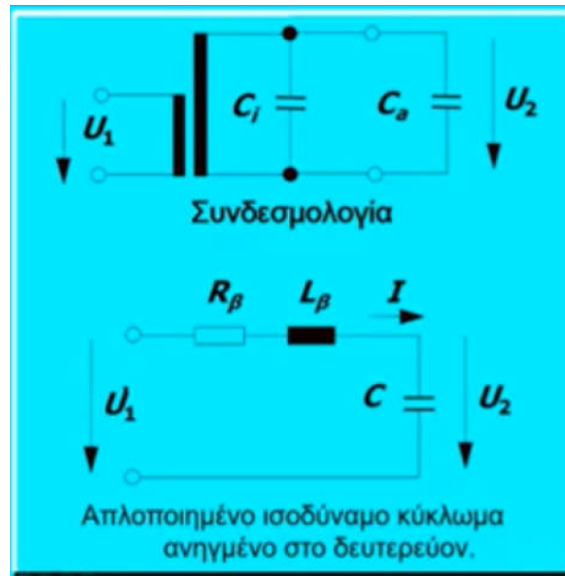
Αξίζει να σημειωθεί το γεγονός ότι οι χωρητικότητες αυτές έχουν πολύ μεγαλύτερη σύνθετη αντίσταση (συγκ. αντίδραση) από την ισοδύναμη αυτεπαγωγή των διατάξεων - ειδικά θα υπήρχε πτώση τάσης αντί για ανύψωση.

Ερώτημα 2 - Αποτελέσματα Εργαστηριακών Μετρήσεων

Συνδέθηκαν στην έξοδο των διατάξεων Μ/Σ δοκιμής:

1. Αρχικά ένας πυκνωτής $100pF$
2. Έπειτα δύο πυκνωτές $100pF$ και $1300pF$ **παράλληλα**.

Αυτοί οι πυκνωτές μπορούν να θεωρηθούν παράλληλα συνδεδεμένοι με την παρασιτική χωρητικότητα (C_i) της διάταξης, όπως φαίνεται στην παρακάτω φωτογραφία.



Σχήμα 1: Μ/Σ δοκιμής με χωρητικό φορτίο

Η συνολική ισοδύναμη χωρητικότητα C μπορεί να υπολογιστεί ως εξής:

$$\begin{aligned}C_a &= C_{100pF} + C_{1300pF} \\C &= C_i + C_a = C_i + C_{100pF} + C_{1300pF}\end{aligned}$$

Σε αυτό το σημείο να σημειωθεί ότι η εξίσωση (1) μπορεί να γραφεί και ως εξής:

$$U_{2F} \approx U_1' \cdot \frac{1}{1 - u} \approx U_1' \cdot \frac{1}{1 - \omega^2 L_\beta C} \quad (2)$$

Παρατηρούμε ότι αύξηση της συνολικής χωρητικότητας (C) συνεπάγεται **αύξηση** και της τάσης εξόδου (U_{2F}) της διάταξης του Μ/Σ δοκιμής.

Αυτό επιβεβαιώνεται και από τις πειραματικές μετρήσεις στο εργαστήριο, οι οποίες συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα.

Αριθμός Βαθμίδων Μ/Σ Δοκιμής	Τάση Εισόδου (U_1)	Τάση Εξόδου ΕΝ ΚΕΝΩ	Πειραματική Τάση Εξόδου ($100pF$)	Πειραματική Τάση Εξόδου ($1300pF$)	$\epsilon(\%)$ ($100pF$)	$\epsilon(\%)$ ($1300pF$)
1	30V	14.21kV	14.0kV	14.5kV	0%	3.6%
2	15V	14.66kV	14.3kV	18.9kV	2.1%	35%
3	10V	15.32kV	15.2kV	22.5kV	8.6%	61%

όπου η ανύψωση τάσης $\epsilon(\%)$ προκύπτει ως εξής:

$$\epsilon(\%) = \frac{U_{2F} - U_{2F-100pF}}{U_{2F-100pF}}, \quad U_{2F} : \text{Η πειραματική τάση εξόδου των διατάξεων}$$

Ερώτημα 3 - Σχολιασμός Μετρήσεων και Υπολογισμών

Μέσα από τη διεξαγωγή της εργαστηριακής άσκησης επιβεβαιώθηκε και πειραματικά ότι όσο εντονότερη είναι η συνολική χωρητική φόρτιση, τόσο μεγαλύτερη είναι και η ανύψωση της τάσης εξόδου (U_{2F}) της διάταξης του Μ/Σ δοκιμής (Φαινόμενο Ferranti).

Σε κάθε περίπτωση, όπως φαίνεται από τις πειραματικές μετρήσεις, η προσθήκη του δεύτερου πυκνωτή παράλληλα ενίσχυσε τη συνολική χωρητική φόρτιση και αύξησε την τάση εξόδου (U_{2F}) της διάταξης.

Το ίδιο παρατηρείται και κατά την προσθήκη βαθμίδας στη διάταξη των Μ/Σ δοκιμής. Οι Μ/Σ δοκιμής έχουν από την κατασκευή τους μια εσωτερική χωρητικότητα. Επομένως, η προσθήκη νέας βαθμίδας Μ/Σ θα προσθέσει επιπλέον χωρητικότητα στη διάταξη, γεγονός το οποίο εξηγεί και την αύξηση της ανύψωσης τάσης $\epsilon(\%)$ μετά την προσθήκη νέας βαθμίδας, δηλαδή την ανύψωση της τάσης εξόδου (U_{2F}). Όσον αφορά βέβαια την ανηγμένη τάση του πρωτεύοντος στο δευτερεύον (U'_1), κατά την πειραματική διαδικασία, με κατάλληλη μεταβολή των τυλιγμάτων του αυτομετασχηματιστή του εργαστηρίου η τάση αυτή παρέμεινε κατά το δυνατόν σταθερή.

Μετά από αυτή την ανάλυση, βέβαια, θα περίμενε κανείς η τάση εξόδου **εν κενώ** να ήταν χαμηλότερη της τάσης με φορτίο των πυκνωτή των $100pF$. Το γεγονός ότι κάτι τέτοιο δεν παρατηρείται μπορεί να εξηγηθεί, καθώς η τιμή της "Τάσης Εξόδου EN KENΩ" δεν είναι πειραματική, αλλά θεωρητική. Στην πράξη οι τάσεις βραχυκύκλωσης (u) των Μ/Σ δοκιμής αναμένεται να είναι **μικρότερες** και έτσι η "Τάση Εξόδου EN KENΩ" **μικρότερη** από την Τάση Εξόδου U_{2F} (βλ. εξίσωση (1)).

Ολοκληρώνοντας, ο υπολογισμός της τάσης εξόδου U_{2F} (τάση δευτερεύοντος τυλίγματος) του Μ/Σ δοκιμής μέσω του γινομένου της τάσης πρωτεύοντος επί το λόγο μετασχηματισμού w μπορεί να οδηγήσει σε σημαντικά σφάλματα ιδιαίτερα στις περιπτώσεις μεγάλης χωρητικής φόρτισης Μ/Σ δοκιμής με τάση βραχυκύκλωσης μεγάλης τιμής.