

Η Φυσική του Ηλεκτρικού Τόξου και το τεράστιο Πεδίο των Τεχνολογικών Εφαρμογών του

Καρύδας Χρόνης¹, Κουταλιός Ιωάννης², Ντόζη Ελίνα³

1^ο Πρότυπο Πειραματικό Γενικό Λύκειο Θεσ/νίκης «Μανόλης Ανδρόνικος»

¹ hronis97@gmail.com, ² jkoutalios@gmail.com, ³ elinanto@yahoo.gr

Επιβλέπων Καθηγητής: Δρ. Σταύρος Παπαδόπουλος¹

Φυσικός, 1^ο Πρότυπο Πειραματικό Γεν. Λύκειο Θεσ/νίκης «Μανόλης Ανδρόνικος»

¹ stpapado@sch.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ηλεκτρικό τόξο είναι μια εκφόρτιση μεταξύ στερεών ηλεκτρικών αγωγών ή ηλεκτροδίων, μέσω αερίου, που παρουσιάζει μικρή πτώση τάσης, αλλά ιδιαίτερα υψηλή πυκνότητα ρεύματος. Το αέριο στον χώρο μεταξύ των ηλεκτροδίων μετατρέπεται σε έναν ηλεκτρικό αγωγό καθώς έχει ιοντιστεί από το ηλεκτρικό ρεύμα. Αυτό σημαίνει ότι τα άτομα του αερίου αποβάλλουν ηλεκτρόνια και αποκτούν ηλεκτρικό φορτίο. Οι δύο άκρες των αγωγών (ή τα ηλεκτρόδια) χαρακτηρίζονται ως κάθοδος και άνοδος, κάτι που εξαρτάται από την θετική ή αρνητική πολικότητα αντίστοιχα. Ο όρος ηλεκτρικό τόξο μπορεί να αναφέρεται στο φαινόμενο αυτό ή στο σύστημα στο σύνολό του. Τα τόξα χρησιμοποιούν την ατμοσφαιρική πίεση και μπορούν να αποτελούνται από ποικίλα αέρια. Το ηλεκτρικό τόξο παράγει λάμψη και θερμότητα. Έχει την τάση να είναι αυτοσυντηρούμενο, γεγονός που άλλοτε είναι χρήσιμο και άλλοτε ενοχλητικό έως καταστροφικό.

Στο άρθρο αυτό θα ασχοληθούμε με το πώς δημιουργείται ένα ηλεκτρικό τόξο, πως μπορούμε να το σταθεροποιήσουμε καθώς και με τα επιρρεύματα διακοπής. Θα εξετάσουμε την ιδιαίτερη περίπτωση του κεραυνού, που αποτελεί μια εντυπωσιακή και συχνή μορφή ηλεκτρικής εκκένωσης. Θα παρουσιαστεί μια διάταξη με απλά, καθημερινά υλικά, με την οποία μπορούμε να δούμε (ίσως και να ακούσουμε), στιγμιαίες ηλεκτρικές εκκενώσεις σαν τον κεραυνό.

Επιπλέον θα αναφερθούμε στο πώς σχετίζεται το ηλεκτρικό τόξο με την τέταρτη κατάσταση της ύλης, το πλάσμα, με την οποία δεν έχουμε καμία καθημερινή εμπειρία.

Το ηλεκτρικό τόξο έχει πληθώρα τεχνολογικών εφαρμογών που κάνουν την ζωή μας πιο εύκολη. Πιο συγκεκριμένα το ηλεκτρικό τόξο συναντάται σε ηλεκτρικούς φούρνους τήξης στην σιδηρουργία, σε συγκολλήσεις μετάλλων, στους λεγόμενους «πυρσούς», καθώς και στις γεννήτριες πλάσματος.

Τέλος θα αναφερθούμε στο «σβήσιμο» του ηλεκτρικού τόξου που μοιραία δημιουργείται όταν θέλουμε να διακόψουμε την παροχή ρεύματος υψηλής τάσης. Αυτή είναι μια πολύπλοκη διαδικασία που επιτυγχάνεται με ειδικούς διακόπτες, τους λεγόμενους διακόπτες υψηλής τάσης (circuit breakers).

ΛΕΞΕΙΣ-ΚΛΕΙΔΙΑ : ηλεκτρικό τόξο, πλάσμα, συγκολλήσεις, διακόπτες υψηλής τάσης, κεραυνός, electric arc, plasma generators, circuit breakers.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ηλεκτρικό τόξο είναι μια εκφόρτιση μεταξύ στερεών ηλεκτρικών αγωγών ή ηλεκτροδίων μέσω αερίου, που παρουσιάζει μικρή πτώση τάσης αλλά ιδιαίτερα υψηλή πυκνότητα ρεύματος. Το αέριο στον χώρο μεταξύ των ηλεκτροδίων μετατρέπεται σε έναν ηλεκτρικό αγωγό καθώς έχει ιοντιστεί από το ηλεκτρικό ρεύμα.

Συγκεκριμένα τα μόρια του αέρα χάνουν τα ηλεκτρόνια της εξωτερικής τους στοιβάδας, τα οποία μετά κινούνται λόγω της διαφοράς δυναμικού ανάμεσα στα ηλεκτρόδια. Αποτέλεσμα αυτής της κίνησης μεγάλων φορτίων μέσω του αέρα είναι η θερμοκρασία να αυξάνεται απότομα και να φτάνει αρκετές χιλιάδες βαθμούς. Η ύλη επομένως δεν μπορεί πλέον να θεωρηθεί ως αέριο, έχει μετατραπεί σε πλάσμα, δηλαδή στην τέταρτη κατάσταση της ύλης κατά την οποία τα άτομα έχουν χάσει όλα τα ηλεκτρόνια τους.

Η κατάσταση πλάσματος, στην οποία θα αναφερθούμε παρακάτω, παρουσιάζει ιδιαίτερο επιστημονικό ενδιαφέρον αλλά έχει και πολυάριθμες τεχνολογικές εφαρμογές. Οι πιο γνωστοί τομείς πλάσματος είναι αυτοί που έχουν να κάνουν με το διάστημα και την ελεγχόμενη θερμοπυρηνική σύντηξη, εμείς όμως θα ασχοληθούμε με τις πιο διαδεδομένες πρακτικές εφαρμογές του, εστιάζοντας στο ηλεκτρικό τόξο.

ΕΚΚΙΝΗΣΗ ΚΑΙ ΣΤΑΘΕΡΟΠΟΙΗΣΗ

Το ηλεκτρικό τόξο επιτυγχάνεται εφόσον δύο ηλεκτρόδια που βρίσκονται σε επαφή, έτσι ώστε να αποτελούν, μαζί με μια πηγή ρεύματος, ένα κλειστό κύκλωμα, που διαρρέεται από ρεύμα έντασης μερικών αμπερ, απομακρυνθούν κατά μερικά χιλιοστά. Τότε δημιουργείται ανάμεσα στα άκρα τους ένας σπινθήρας, ο οποίος σταθεροποιείται αν στα άκρα των ηλεκτροδίων διατηρηθεί μια κατάλληλη διαφορά δυναμικού (45-50 βολτ). Το αέριο που βρίσκεται ανάμεσα στα ηλεκτρόδια εξασφαλίζει τη συνέχιση της κυκλοφορίας του ηλεκτρικού ρεύματος στο διάστημα αυτό, λειτουργεί δηλαδή ως γέφυρα. Αν υπάρχουν οι κατάλληλες συνθήκες τότε το ηλεκτρικό τόξο σταθεροποιείται και γίνεται συνεχές.



Εικόνα 1 Ηλεκτρικό τόξο ανάμεσα σε δύο φορτία

ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΣΤΡΑΠΗ ΣΤΟΝ ΚΕΡΑΥΝΟ

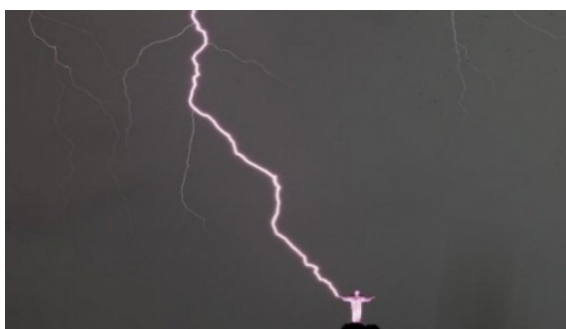
Αστραπή ονομάζεται ο τεράστιος ηλεκτρικός σπινθήρας που δημιουργείται ανάμεσα σε δύο διαφορετικά νέφη ή μεταξύ δύο διαφορετικών τμημάτων του ίδιου του νέφους ή ανάμεσα σε ένα νέφος και στο έδαφος, οπότε και ειδικότερα ονομάζεται κεραυνός.

Ο σπινθήρας αυτός δημιουργείται όταν η συσσώρευση στατικού ηλεκτρισμού υπερνικά τη φυσική αντίσταση που προβάλλει ο ατμοσφαιρικός αέρας στη διόδο του ηλεκτρικού ρεύματος. Όταν ο αέρας είναι ξηρός τότε η αντίσταση αυτή είναι μεγάλη. Όταν όμως περιέχει υδροσταγόνες αναπτύσσεται τάση 10 εκατομμυρίων βολτ (Volt) που προκαλεί ηλεκτρική εκκένωση, δηλαδή διόδο ηλεκτρικού ρεύματος μέσα από τον αέρα που συνοδεύεται από μια λάμψη, την αστραπή.



Εικόνα 2 Κεραυνός μεταξύ του σύννεφου και του εδάφους

Ο ηλεκτρικός αυτός σπινθήρας θερμαίνει τον αέρα και τον πυρακτώνει σύμφωνα με το φαινόμενο του ηλεκτρικού τόξου. Δηλαδή ο πυρακτωμένος αέρας που βλέπουμε ως κεραυνό ή αστραπή βρίσκεται σε κατάσταση πλάσματος. Επίσης παράγεται ένας δυνατός κρότος όπως συμβαίνει με όλα τα βολταϊκά τόξα. Αυτόν τον ήχο τον ακούμε ως βροντή.



Εικόνα 3 Κεραυνός στο άγαλμα του Ιησού Λυτρωτή στο Ρίο της Βραζιλίας

Όλες οι καταγίδες συνοδεύονται από αστραπές και κεραυνούς και επομένως αποτελούν κίνδυνο. Οι αστραπές μπορούν να παρατηρηθούν μέχρι και 15 χιλιόμετρα απόσταση από το σημείο της εντονότερης βροχόπτωσης. Υπάρχει επομένως κίνδυνος κεραυνού ακόμα και σε περιοχές όπου δεν βρέχει ή βρέχει ασθενώς. Αν ακούμε τις

βροντές σημαίνει ότι βρισκόμαστε σε περιοχή η οποία είναι αρκετά κοντά ώστε να κινδυνεύουμε από κτύπημα κεραυνού.

Οι κεραυνοί μπορεί να είναι θανατηφόροι. Περίπου το 20% των θυμάτων καταλήγουν ενώ περίπου το 70% των επιζώντων παρουσιάζει σοβαρά μακροχρόνια προβλήματα.

ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΤΟΞΟ ΚΑΙ ΠΛΑΣΜΑ

Το ηλεκτρικό τόξο, λόγω των υψηλών θερμοκρασιών που εμφανίζονται κατά την δημιουργία του, σχετίζεται με την τέταρτη κατάσταση της ύλης, το πλάσμα, με την οποία βέβαια δεν έχουμε καμία καθημερινή εμπειρία. Ας δούμε λοιπόν μερικά βασικά στοιχεία για την κατάσταση αυτή της ύλης.

Για να βρεθούν δύο πυρήνες σε μικρή απόσταση μεταξύ τους πρέπει να δαπανηθούν τεράστια ποσά ενέργειας. Πράγματι οι κατάλληλες συνθήκες για σύντηξη απαιτούν θερμοκρασίες της τάξης των 100 εκατομμυρίων βαθμών Κέλβιν.

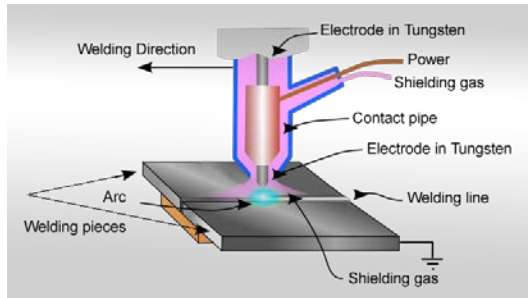
Στον Ήλιο η διαδικασία της σύντηξης συμβαίνει αυθόρμητα, λόγω και της μεγάλης συμπίεσης που προξενεί η βαρύτητά του. Η επιφάνεια του Ήλιου (και όλων των αστέρων) βρίσκεται στην λεγόμενη τέταρτη κατάσταση της ύλης που προφανώς είναι η πιο διαδεδομένη κατάσταση στην οποία εμφανίζεται η ύλη στο Σύμπαν. Δεν μιλάμε για στερεή, υγρή ή αέρια κατάσταση, αλλά για την κατάσταση πλάσματος.

Ένα αέριο γίνεται πλάσμα όταν η προσθήκη θερμότητας ή άλλης ενέργειας αναγκάζει έναν σημαντικό αριθμό ατόμων να απελευθερώσουν μερικά ή όλα τα ηλεκτρόνια τους. Τα υπόλοιπα μέρη εκείνων των ατόμων αφήνονται με ένα θετικό φορτίο, και τα αποσυνδεδεμένα αρνητικά ηλεκτρόνια είναι ελεύθερα να μετακινηθούν. Το μίγμα των θετικά φορτισμένων πυρήνων και αρνητικά φορτισμένων ηλεκτρονίων είναι ένα πλάσμα. Φυσικά τα «πλάσματα» που εμφανίζονται στην Γή θα πρέπει να θεωρηθούν «ψυχρά», καθώς οι συνθήκες στον πλανήτη μας δεν έχουν σχέση με αυτές που επικρατούν στον Ήλιο.

ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗ ΤΟΞΟΥ

Μία από τις πιο συνήθεις εφαρμογές του ηλεκτρικού τόξου είναι η χρήση του για την συγκόλληση μετάλλων. Η συγκόλληση τόξου ή ηλεκτροσυγκόλληση στηρίζεται στη δημιουργία ηλεκτρικού τόξου ανάμεσα στο κομμάτι, που θέλουμε να κολληθεί, και σε ένα ηλεκτρόδιο, που είναι ταυτόχρονα και συγκολλητικό μέσο. Για να επιτευχθεί αυτό χρησιμοποιούνται ειδικές μηχανές που της ονομάζουμε μηχανές ηλεκτροσυγκόλλησης, οι οποίες δημιουργούν ηλεκτρικό τόξο κάνοντας χρήση συνεχούς ή εναλλασσόμενου ρεύματος.

Η συσκευή αυτή αποτελείται από δύο καλώδια. Στην άκρη του ενός από αυτά βρίσκεται ένα ηλεκτρόδιο το οποίο είναι το μέσο δημιουργίας του ηλεκτρικού τόξου ενώ η άλλη συνδέεται με το μέταλλο που θέλουμε να συγκολλήσουμε. Το ηλεκτρικό τόξο που δημιουργείται μεταξύ αυτών των δύο έχει ως αποτέλεσμα την υψηλή θέρμανση (περίπου 4.000 °C) του σημείου επαφής των δύο μετάλλων και άρα την τήξη και συγκόλλησή τους. Για να ξεκινήσει η διαδικασία συγκόλλησης, χτυπάμε ή τρίβουμε το ηλεκτρόδιο πάνω στο προς συγκόλληση τεμάχιο και στη συνέχεια το σηκώνουμε, διατηρώντας από κει και πέρα μία σταθερή απόσταση.

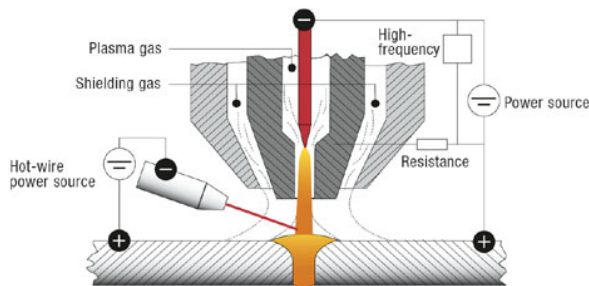


Εικόνα 4 Συγκόλληση μετάλλων με την χρήση ηλεκτρικού τόξου

ΠΥΡΣΟΙ ΠΛΑΣΜΑΤΟΣ

Οι πυρσοί πλάσματος είναι συσκευές, οι οποίες μεταδίδουν ηλεκτρικό ρεύμα ή αέριο μέσο, μέσω ηλεκτρικών εκκενώσεων που οφείλονται στη διαφορά δυναμικού δύο ηλεκτροδίων ανόδου – καθόδου. Έτσι δημιουργείται τόξο πλάσματος (plasma arc) και μετατρέπεται το αέριο σε πλάσμα. Ανάλογα με τη διάταξη των ηλεκτροδίων οι πυρσοί πλάσματος διαχωρίζονται στους πυρσούς μεταβίβασης και στους πυρσούς μη μεταβίβασης.

Στους πυρσούς μεταβίβασης αναπτύσσεται διαφορά δυναμικού ανάμεσα στο ηλεκτρόδιο εσωτερικά του πυρσού και σε κάποιο άλλο αγωγίμο υλικό εκτός πυρσού. Το υλικό αυτό μπορεί είτε να βρίσκεται εκ κατασκευής στα τοιχώματα του αντιδραστήρα πλάσματος είτε να υπάρχει αυτούσιο στα απορρίμματα τροφοδοσίας. Το τόξο πλάσματος δημιουργείται εντός του αντιδραστήρα και το αέριο που καταλαμβάνει το χώρο ανάμεσα στα ηλεκτρόδια περνάει στη φάση του πλάσματος. Ως αέριο μέσο μπορεί να χρησιμοποιηθεί καθαρό οξυγόνο, ήλιο, αργό και άλλα αέρια αλλά προτιμάται ο αέρας λόγω χαμηλού κόστους.

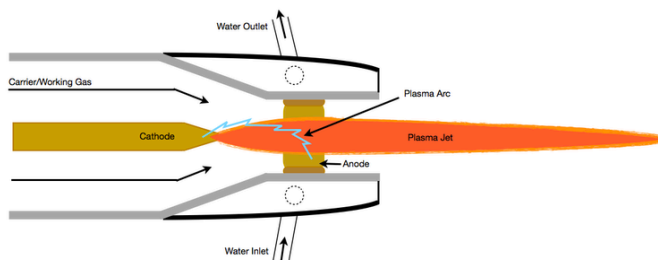


Basic components of a plasma welding torch

Εικόνα 5 Λειτουργία συσκευής πυρσού πλάσματος (μεταβίβασης)

Στους πυρσούς μη μεταβίβασης το τόξο πλάσματος δημιουργείται εντός του πυρσού αφού τα ηλεκτρόδια (άνοδος – κάθοδος) βρίσκονται μέσα σ' αυτόν. Το αέριο εισέρχεται στον πυρσό μέσω του θαλάμου εισαγωγής. Στον πυρσό βρίσκονται δύο κυλινδρικά ηλεκτρόδια ανάμεσα στα οποία πραγματοποιούνται εκκενώσεις. Το αέριο μέσο διέρχεται μέσα από το ηλεκτρικό πεδίο και γίνεται πλάσμα εντός του πυρσού. Έπειτα εισέρχεται στον αντιδραστήρα.

Τα ηλεκτρόδια ψύχονται με νερό το οποίο κινείται στα εξωτερικά τοιχώματα του πυρσού. Για αυτόν το λόγο οι πυρσοί μη μεταβίβασης έχουν ενεργειακές απώλειες και δεν πραγματοποιείται 100% μετατροπή του ηλεκτρικού ρεύματος σε χρήσιμη θερμική ενέργεια. Η απόδοση αυτού του είδους πυρσού κυμαίνεται από 75 ως 95%.

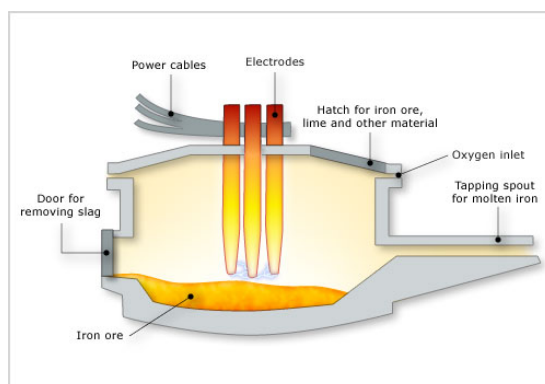


Εικόνα 6 Η τεχνική που χρησιμοποιεί ένας πυρσός πλάσματος (μη μεταβίβασης)

Αναλόγως την εφαρμογή, μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε ο ένας είτε ο άλλος τύπος. Στην περίπτωση του πυρσού μεταβίβασης χρησιμοποιείται ηλεκτρόδιο (συνήθως γραφίτη) εντός του αντιδραστήρα το οποίο πρέπει να αντικαθιστάται, επειδή καταναλώνεται λόγω του χημικού περιβάλλοντος του αντιδραστήρα. Από την άλλη, οι πυρσοί μεταβίβασης τοποθετούνται εκτός του αντιδραστήρα και έχουν έτσι λιγότερες απαιτήσεις σε συντήρηση. Μπορούν επίσης να τοποθετηθούν περισσότεροι από ένας πυρσοί μη μεταβίβασης στο ίδιο δοχείο αντίδρασης αν και η επίτευξη υψηλών θερμοκρασιών και άριστων αποδόσεων μετατροπής του άνθρακα απαιτεί τη ταυτόχρονη χρήση και των δύο τύπων πυρσών.

ΟΙ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΙ ΦΟΥΡΝΟΙ ΤΗΞΗΣ ΣΤΗΝ ΣΙΔΗΡΟΥΡΓΙΑ

Το ηλεκτρικό τόξο χρησιμοποιείται και στην βιομηχανία μετάλλων. Μία από τις εφαρμογές του είναι η κατασκευή φούρνων πολύ υψηλής θερμοκρασίας, για την τήξη μετάλλων. Η θερμοκρασία που αναπτύσσεται στον φούρνο κυμαίνεται από 1800 °C έως 3000 °C.



Εικόνα 7 Λειτουργία ενός ηλεκτρικού φούρνου τήξης

Η λειτουργία του φούρνου αυτού βασίζεται στην εκκίνηση και συντήρηση ενός ηλεκτρικού τόξου. Από την στιγμή που ένα μέταλλο μπει μέσα στο τόξο αυτό, η θερμοκρασία που έχει δημιουργηθεί εξαιτίας του, λιώνει το μέταλλο. Τα πλεονεκτήματα τις καινούργιας αυτής μεθόδου έναντι της κλασικής με τον φούρνο που χρησιμοποιεί την φωτιά για να λιώσει το μέταλλο, είναι ότι η πρώτη είναι πιο οικονομική αφού η συντήρηση ενός ηλεκτρικού τόξου από την στιγμή που θα σταθεροποιηθεί δεν απαιτεί μεγάλα ποσά ενέργειας. Επιπλέον το μείγμα από λιωμένο μέταλλο που παίρνουμε είναι καθαρό από προσμίξεις άνθρακα, που χρησιμοποιείται για την συντήρηση της φωτιάς.



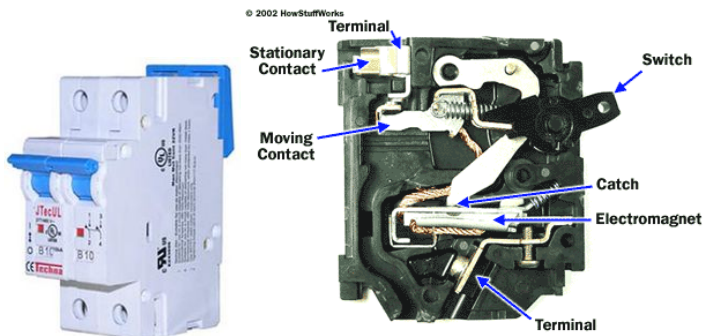
Εικόνα 8 Φωτογραφία ενός εν λειτουργία ηλεκτρικού φούρνου τήξης

ΤΟ ΣΒΗΣΙΜΟ ΤΟΥ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΤΟΞΟΥ (ΔΙΑΚΟΠΤΕΣ)

Ο βασικός διακόπτης οικιακού ρεύματος αποτελείται από ένα διακόπτη, ο οποίος συνδέεται ή με ένα διμεταλλικό έλασμα ή με έναν ηλεκτρομαγνήτη.

Το καλώδιο της φάσης συνδέεται με το ένα άκρο του διακόπτη. Επίσης περιλαμβάνει δύο επαφές μια σταθερή και μια κινητή. Στην κινητή επαφή είναι προσαρμοσμένος ένας μηχανισμός πίεσης, ο οποίος κρατάει συνδεδεμένες τις δύο επαφές.

Έναν τέτοιο διακόπτη παρουσιάζουμε στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 9 Κλασικός διακόπτης οικιακού ρεύματος (220Volts) και η δομή του

Με τον διακόπτη στην θέση «on», το ηλεκτρικό ρεύμα ρέει μέσα από τον ηλεκτρομαγνήτη στην κινητή επαφή και από τη σταθερή επαφή εξέρχεται από τον διακόπτη. Το ηλεκτρικό ρεύμα κάνει τον ηλεκτρομαγνήτη να λειτουργεί. Όσο μεγαλύτερη είναι η ένταση του ρεύματος τόσο μεγαλύτερο είναι το μαγνητικό πεδίο του ηλεκτρομαγνήτη.

Όταν το ρεύμα υπερβεί μια ορισμένη τιμή και καθίσταται επικίνδυνο, η δύναμη του ηλεκτρομαγνήτη είναι αρκετά ισχυρή έτσι ώστε να έλξει τον μεταλλικό μοχλό που είναι συνδεδεμένος με το διακόπτη. Έτσι ο διακόπτης πέφτει στη θέση «off».

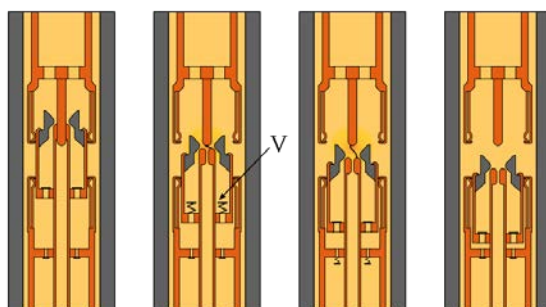
Στην περίπτωση όμως που θέλουμε να διακόψουμε ρεύματα μεγάλης τάσης (π.χ. σε μία συνοικία, σε μία πόλη κλπ), τότε πρέπει να χρησιμοποιηθούν ειδικοί διακόπτες. Οι ονομαζόμενοι «διακόπτες υψηλής τάσης» (αποζεύκτες, circuit breakers) είναι ειδικές διατάξεις που εξασφαλίζουν την διακοπή ενός κυκλώματος ισχύος, αφενός διαχωρίζοντας δυο επαφές και αφετέρου αποτρέποντας τη δημιουργία ηλεκτρικού τόξου μεταξύ των δύο αυτών επαφών.

Για αυτόν τον σκοπό οι διακόπτες συνήθως περιέχουν ένα αέριο που δεν είναι αγωγός του ηλεκτρικού ρεύματος ώστε να μην μπορούν τα φορτία να περάσουν μέσω του αέρα.



Εικόνα 10 Συστοιχία Διακοπών Υψηλής Τάσης

Ανάλογα με συγκεκριμένα κριτήρια, οι διακόπτες υψηλής τάσης διακρίνονται σε διάφορους τύπους. Με κριτήριο το μέσο διακοπής του ηλεκτρικού τόξου, έχουμε τους διακόπτες λαδιού, αέρα, αζώτου, SF₆, κενού, CO₂. Με κριτήριο τη χρήση διακρίνονται σε εσωτερικού και εξωτερικού χώρου. Τέλος με κριτήριο το μηχανισμό διαχωρισμού των επαφών σε υδραυλικούς, πνευματικούς και ελατηρίου.



Εικόνα 11 Τρόπος λειτουργίας διακόπτη υψηλής τάσης με SF₆

Η διακοπή ρεύματος σε έναν διακόπτη υψηλής τάσης επιτυγχάνεται (όπως αναφέρθηκε και παραπάνω) με το χωρισμό δύο επαφών σε ένα μέσο, όπως το εξαφθοριούχο θείο (SF₆) που έχει άριστες διηλεκτρικές ιδιότητες. Μετά από το χωρισμό των επαφών, το ρεύμα μεταφέρεται μέσω ενός ηλεκτρικού τόξου και διακόπτεται όταν η θερμοκρασία του τόξου αυτού μειωθεί, από ένα ρεύμα αερίου ικανοποιητικής έντασης που εκτοξεύεται επάνω στο τόξο.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Το ηλεκτρικό τόξο και τα φαινόμενα στα οποία αυτό εμφανίζεται παρουσιάζει έντονο ενδιαφέρον τόσο για την θεωρητική του κατανόηση όσο και για την ανάπτυξη εφαρμογών, μέσω πληθώρας συσκευών και μηχανισμών.

Η τεχνολογία που βρίσκεται πίσω από την χρήση του φαινομένου του ηλεκτρικού τόξου είναι σε υψηλό επίπεδο και αναμένεται στο μέλλον να αναπτυχθεί ακόμα πιο πολύ, ώστε να μας διευκολύνει περισσότερο είτε σε κατασκευές είτε σε διάφορες τεχνικές.

Η διαρκής μελέτη του φαινομένου οδηγεί σε πολυπληθείς εφαρμογές που αφενός βελτιώνουν την ζωή μας και αφετέρου μας προστατεύουν, χωρίς ίσως να το συνειδητοποιούμε στην καθημερινότητά μας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Luxat, J.C., Lees, L.H. “Requirements for stable a.c. electric-arc discharges”, *Electronics Letters*, vol. 6, issue 9, 30/04/1970

Στο Διαδίκτυο [Online]. Available:

http://greek_greek.enacademic.com/236552/τόξο_ηλεκτρικό

<http://scholar.lib.vt.edu/theses/available/etd-71998-13553/unrestricted/Sec6.pdf>

<http://electronics.howstuffworks.com/circuit-breaker2.htm>

<http://www.electrical4u.com/electrical-circuit-breaker-operation-and-types-of-circuit-breaker/>

<http://science.howstuffworks.com/environmental/energy/plasma-converter.htm>

http://en.wikipedia.org/wiki/Electric_arc

<http://www.quora.com/>

<http://www.howitworksdaily.com/science/question-of-the-day-what-is-an-electrical-arc/>