

# Γραμμικοί ΣΤΑΘΕΡΟΠΟΙΗΤΕΣ Τάσης

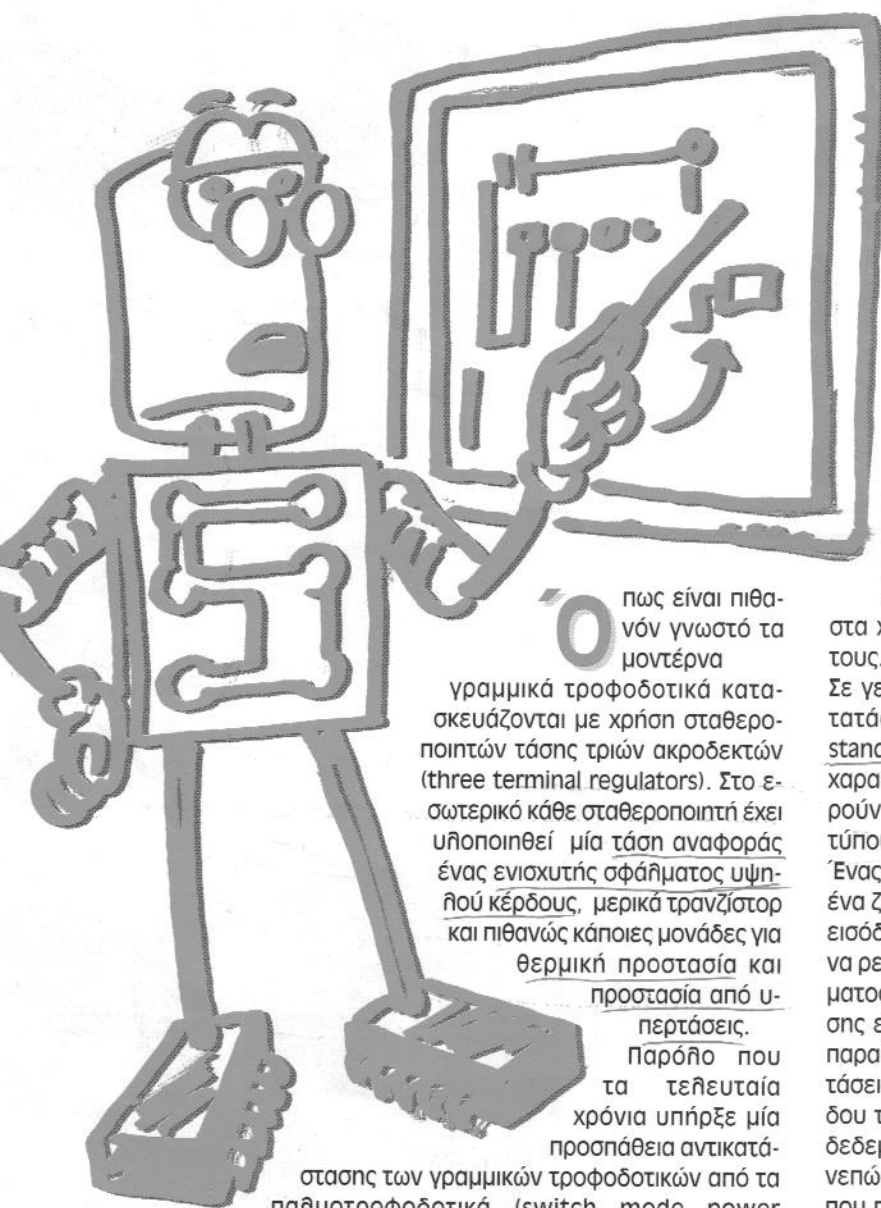
είναι η μόνη επιλογή.

Η καρδιά βέβαια κάθε γραμμικού τροφοδοτικού είναι ο σταθεροποιητής τάσης τριών ακροδεκτών. Οι εταιρείες Fairchild, National και Motorola είναι οι σημαντικότεροι κατασκευαστές σταθεροποιητών τάσης. Οι κατασκευαστές έχουν υιοθετήσει συγκεκριμένους αλφαριθμητικούς συνδυασμούς προκειμένου να κατηγοριοποιήσουν τους σταθεροποιητές τάσης. Έτσι ο συνδυασμός LM7805C περιγράφει έναν σταθεροποιητή τάσης 5V 1.5A της National Semiconductors. Ο αντίστοιχος σταθεροποιητής της Texas Instruments είναι ο UA7805KC.

Η εξέλιξη των γραμμικών σταθεροποιητών τάσης έχει δημιουργήσει νέους τύπους όπως για παράδειγμα τον σταθεροποιητή (χαμηλής διαρροής) low dropout (LDO). Κάθε τύπος γραμμικού σταθεροποιητή έχει πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα και γι αυτό τον λόγο είναι απαραίτητη μία προσεκτικότερη ματιά

στα χαρακτηριστικά και στον τρόπο λειτουργίας τους.

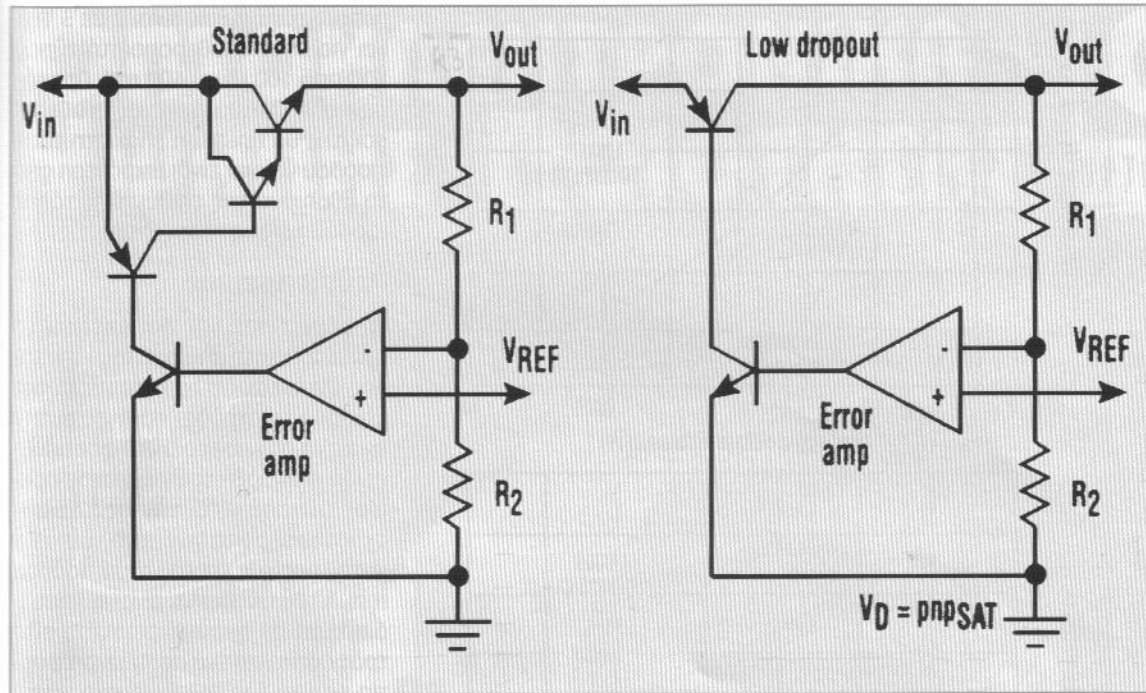
Σε γενικές γραμμές οι σταθεροποιητές τάσης κατατάσσονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες: τους standard (npn Darlington) και τους LDO. Ορισμένα χαρακτηριστικά παράδειγματα κυκλωμάτων μπορούν να κάνουν κατανοητή την λειτουργία κάθε τύπου αλλά και τις διαφορές που παρουσιάζουν. Ένας σταθεροποιητής standard τύπου χρησιμοποιεί ένα ζεύγος Darlington μεταξύ του φορτίου και της εισόδου του. Το τρανζίστορ αυτό οδηγείται από ένα ρεύμα που παρέχεται από έναν ενισχυτή σφάλματος ο οποίος δειγματοληπτεί ένα μέρος της τάσης εξόδου και παρέχει τόσο ρεύμα όσο είναι απαραίτητο για να κρατηθούν ίσες μεταξύ τους οι τάσεις που εφαρμόζονται στους ακροδέκτες εισόδου του. Η μία από αυτές τις εισόδους είναι συνδεδεμένη με την σταθερή τάση αναφοράς και συνεπώς ο ενισχυτής διορθώνει μέσω του ρεύματος που παρέχει την τάση στο άλλο άκρο του. Η σταθεροποιημένη έξοδος είναι πολλαπλάσιο της τάσης αναφοράς.



Όπως είναι πιθανόν γνωστό τα μοντέρνα

γραμμικά τροφοδοτικά κατασκευάζονται με χρήση σταθεροποιητών τάσης τριών ακροδεκτών (three terminal regulators). Στο εσωτερικό κάθε σταθεροποιητή έχει υλοποιηθεί μία τάση αναφοράς ένας ενισχυτής σφάλματος ψηλού κέρδους, μερικά τρανζίστορ και πιθανώς κάποιες μονάδες για θερμική προστασία και προστασία από υπερτάσεις.

Παρόλο που τα τελευταία χρόνια υπήρξε μία προσπάθεια αντικατάστασης των γραμμικών τροφοδοτικών από τα παλμοτροφοδοτικά (switch mode power supplies), σε περιπτώσεις που ο θόρυβος μεταγωγής είναι ανεπιθύμητος τα γραμμικά τροφοδοτικά



Σχήμα 1 Οι γραμμικοί ολοκληρωμένοι σταθεροποιητές μπορούν να διαιρεθούν σε δύο κατηγορίες του τύπου standard και τους LDO. Οι σταθεροποιητές LDO αντικαθιστούν το πηλίο ζεύγος Darlington με ένα τρανζίστορ pnp μειώνοντας έτσι στο ελάχιστο την πτώση τάσεως ανάμεσα στην είσοδο και την έξοδό τους.

$$V_{out} = (R1/R2 + 1) V_{REF}$$

Από το σχήμα 1 μπορεί εύκολα να δειχθεί ότι η ελάχιστη πτώση τάσεως στο τρανζίστορ που συνδέει την είσοδο με την έξοδο του σταθεροποιητή θα πρέπει να είναι  $V_D = 2V_{BE} + pnpSAT$

Αυτός είναι και ο λόγος που οι σταθεροποιητές αυτού του τύπου απαιτούν μία ελάχιστη τάση εισόδου μεταξύ 2 και 3 Volt. Αν η τάση εισόδου πέσει κάτω από το κατώφλι που προσδιορίζεται από την προηγούμενη σχέση οποιαδήποτε κυμάτωση στην είσοδο θα εμφανισθεί αμέσως και στην έξοδο.

Σε αντίθεση με τον standard τύπου οι σταθεροποιητές χαμηλής διαρροής LDO χρησιμοποιούν ένα μονάχα τρανζίστορ pnp για να συνδέσουν την είσοδο με την έξοδο. Επειδή βέβαια το κέρδος ρεύματος για το απλό τρανζίστορ είναι μικρότερα από αυτό του ζεύγους Darlington το μέγιστο ρεύμα φορτίου περιορίζεται εδώ στο 1A περίπου.

Μία σημαντική διαφορά ανάμεσα στους δύο τύπους είναι ότι στον σταθεροποιητή LDO η ελάχιστη απαιτούμενη πτώση τάσεως ανάμεσα στην είσοδο και στην έξοδο ισούται με την τάση κόρου του τρανζίστορ pnp. Έτσι ο σταθεροποιητής LDO μπορεί να λειτουργήσει ακόμη και όταν η τάση στην είσοδο του είναι μερικές εκατοντάδες mV. Αυτό είναι άηλωστε και το κύριο πλεονέκτημα του. Ο χαμηλής διαρροής σταθεροποιητής χρησιμοποιείται κυρίως σε περιπτώσεις που το ρεύμα φορτίου είναι σχετικά μικρό και χρειάζεται να γίνει η μέγιστη εκμετάλλευση της τάσης εισόδου.

Είναι επίσης σημαντικό να παρατηρηθεί ότι ο σταθεροποιητής χαμηλής διαρροής LDO απαιτεί μεγαλύτερο ρεύμα ηρεμίας από ότι ο standard pnp τύπος. Αυτό συμβαίνει διότι το ρεύμα βάσης που α-

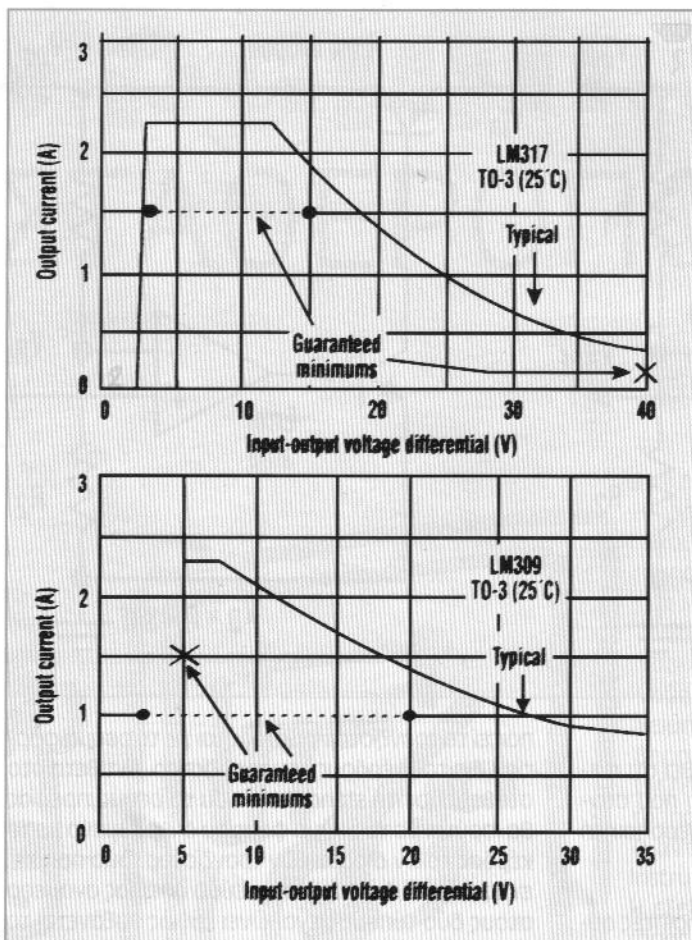
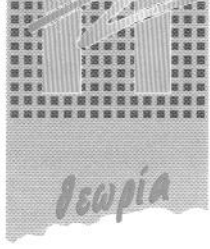
παιτεί το τρανζίστορ pnp ισούται με το ρεύμα φορτίου δια του κέρδους του τρανζίστορ. Αντίθετα στο σταθεροποιητή standard τύπου το ρεύμα ηρεμίας θα ισούται με το ρεύμα φορτίου διαιρούμενο με το κέρδος τριών διαδοχικών τρανζίστορ (δύο pnp και ενός nnp). Η διαφορά στο ρεύμα ηρεμίας ανάμεσα στους δύο τύπους μεγαλώνει καθώς αυξάνεται το ρεύμα φορτίου.

Από όσα αναφέρθηκαν πιο πάνω είναι προφανές ότι ο σταθεροποιητής χαμηλής διαρροής δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί όταν απαιτείται υψηλό ρεύμα φορτίου. Το ρεύμα ηρεμίας από την άληλη πλευρά προκαλεί άσκοπη κατανάλωση ισχύος η οποία δεν συνεισφέρει στο φορτίο.

Όταν όμως χρειάζεται να τροφοδοτηθεί ένα μικρό φορτίο και συνάμα απαιτείται η μέγιστη εκμετάλλευση της τάσης εισόδου οι σταθεροποιητές LDO είναι η μόνη λύση. Η πτώση τάσης ("τάση διαρροής") πάνω στο τρανζίστορ pnp μπορεί να είναι μέχρι και 50mV για πολύ μικρά ρεύματα φορτίου.

Με βάση τα φύλλα δεδομένων που προσφέρουν οι κατασκευαστές μπορεί να γίνει η επιλογή του καταλληλότερου σταθεροποιητή για κάθε εφαρμογή. Θα πρέπει να προσεχθεί ότι οι τυπικές τιμές που παρέχουν οι κατασκευαστές για τα χαρακτηριστικά κάθε σταθεροποιητή δεν περιγράφουν απαραίτητα κάθε κομμάτι. Μόνον οι ακραίες τιμές είναι εγγυημένες και μας δίνουν τα ό-





Σχήμα 2 Οι τυπικές καμπύλες μεγίστου ρεύματος φορτίου για δύο γραμμικούς σταθεροποιητές που δείχνουν πόσο το διαθέσιμο ρεύμα φορτίου μειούται καθώς αυξάνει η διαφορά τάσης εισόδου-εξόδου.

ρια της συμπεριφοράς κάθε στοιχείου. Προκειμένου να γίνει η επιλογή ενός σταθεροποιητή με βάση τα στοιχεία του κατασκευαστή θα πρέπει να έχουν κατανοηθεί οι παράμετροι που περιγράφουν την λειτουργία του. Παρακάτω γίνεται μία περιληπτική αναφορά στις περισσότερες από αυτές.

### Θερμοκρασία λειτουργίας

Αναφέρεται συνήθως η μέγιστη θερμοκρασία στην οποία μπορεί να λειτουργήσει ο σταθεροποιητής. Ειδικά μέτρα λαμβάνονται έτσι ώστε να παύει η λειτουργία του σταθεροποιητή όταν η θερμοκρασία υπερβεί την μέγιστη τιμή ασφαούς λειτουργίας.

### Μέγιστη τάση εισόδου

Είναι μία τιμή η οποία δεν πρέπει να ξεπεραστεί σε καμία περίπτωση αφού και για τον σταθεροποιητή υπάρχει μία τάση κατάρρευσης στην οποία καταστρέφεται η εσωτερική του δομή.

### Ελάχιστη τάση εισόδου

Η παράμετρος αυτή δικαιολογείται αφού κάθε σταθεροποιητής απαιτεί μία ελάχιστη πτώση τάσεως μεταξύ εισόδου και εξόδου (τάση διαρροής). Σε ένα σταθεροποιητή τύπου standard η τιμή της

παραμέτρου αυτής είναι 2 με 3 Volt και για έναν σταθεροποιητή τύπου LDO από 100 μέχρι 600 mV. Προκειμένου να λειτουργεί ένας σταθεροποιητής θα πρέπει η ελάχιστη τάση εισόδου να μην είναι μικρότερη από το άθροισμα της επιθυμητής τάσης εξόδου και της τάσης διαρροής.

### Ρεύμα ηρεμίας

Το ρεύμα ηρεμίας παρέχεται στο σταθεροποιητή από την πηγή της τάσης στην είσοδο του και μέσω της γείωσης επιστρέφει πάλι σε αυτήν χωρίς να συνεισφέρει στο φορτίο. Επειδή η ύπαρξη του ρεύματος ηρεμίας συνεπάγεται την απώλεια ισχύος ίσης με το γινόμενο του ρεύματος ηρεμίας επί την τάση εισόδου η τιμή του μπορεί να είναι κρίσιμη ιδιαίτερα σε περιπτώσεις που είτε τροφοδοτείται ένα πολύ μικρό φορτίο είτε το τροφοδοτικό παραμένει για πολύ χρόνο σε κατάσταση αναμονής χωρίς να τροφοδοτεί κάποιο φορτίο.

### Τάση εξόδου

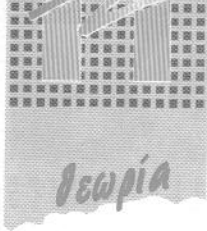
Είναι η πλέον προφανής παράμετρος.

### Ρεύμα φορτίου

Η παράμετρος αυτή δημιουργεί συνήθως την μεγαλύτερη σύγχυση. Για ορισμένους σταθεροποιητές κυρίως αυτούς που παρέχουν χαμηλό ρεύμα φορτίου ορίζεται μία μόνον τιμή για το μέγιστο ρεύμα φορτίου. Η τιμή αυτή εφαρμόζεται ανεξάρτητα από την τάση εισόδου ή την τάση εξόδου και συνεπώς η παράμετρος είναι πλήρως κατανοητή. Αρκετοί όμως σταθεροποιητές παρέχουν το μέγιστο ρεύμα φορτίου σε συνάρτηση με την διαφορά ανάμεσα στην τάση εισόδου και την τάση εξόδου. Σε περιπτώσεις που παρέχεται υψηλό ρεύμα φορτίου ο σταθεροποιητής θα πρέπει να ελέγχει την διαφορά ανάμεσα στην τάση εισόδου και εξόδου και να μειώνει το ρεύμα που παρέχει στην έξοδο καθώς αυτή η διαφορά αυξάνει.

Και αυτό γιατί η κατανάλωση ισχύος στον σταθεροποιητή η οποία ισούται με το ρεύμα φορτίου επί την διαφορά τάσης ανάμεσα στην είσοδο και την έξοδο πρέπει να περιορίζεται σε ασφαλείς τιμές. Η μορφή της καμπύλης μεγίστου ρεύματος φορτίου ακολουθεί μία καμπύλη σταθερής ισχύος όπως μπορεί να διαπιστωθεί και από το σχήμα 2 όπου φαίνονται συγκεκριμένα οι καμπύλες μεγίστου διαθέσιμου ρεύματος φορτίου για τους σταθεροποιητές LM309 και LM317. Οι σταθεροποιητές αυτοί έχουν έναν μηχανισμό περιορισμού του ρεύματος





ανάλογα με την διαφορά τάσης εισόδου εξόδου. Οι καμπύλες του σχήματος 3 δείχνουν ότι το μέγιστο ρεύμα που παρέχεται στην έξοδο δεν είναι σταθερό. Ο σταθεροποιητής LM317 θεωρείται ότι παρέχει ένα τυπικό μέγιστο ρεύμα φορτίου ίσο με 1.5A αλλά το ρεύμα που μπορεί πραγματικά να δώσει στην έξοδο του δεν αντιπροσωπεύεται πάντοτε από αυτή την τιμή. Στο σχήμα 3 φαίνεται ότι η τυπική καμπύλη μέγιστου ρεύματος φορτίου διαφέρει σημαντικά από το εγγυημένο ελάχιστο (με διακεκομμένη γραμμή) για το μέγιστο ρεύμα φορτίου που μπορεί να δώσει κάθε κομμάτι της παραγωγής. Στα φύλλα του κατασκευαστή δίνεται αυτό το εγγυημένο ελάχιστο για το μέγιστο ρεύμα εξόδου αφού ορισθούν δύο περιοχές λειτουργίας ανάλογα με την διαφορά τάσης εισόδου εξόδου. Έτσι  $V_{in}-V_{out} < 15V$ ,  $I_L = 1.5A$   $V_{in}-V_{out} = 40V$ ,  $I_L = 0.15A$

Ομοίως και για το LM309 προβλέπεται ένα εγγυημένο ελάχιστο για το μέγιστο ρεύμα φορτίου ίσο με 1 A. Όταν η διαφορά τάσης εισόδου εξόδου γίνει 5V (δηλαδή η τάση εισόδου φθάσει τα 10V αφού το LM309 παρέχει στην έξοδο του μία τάση 5V) η τιμή αυτή αυξάνεται στα 1.5 A.

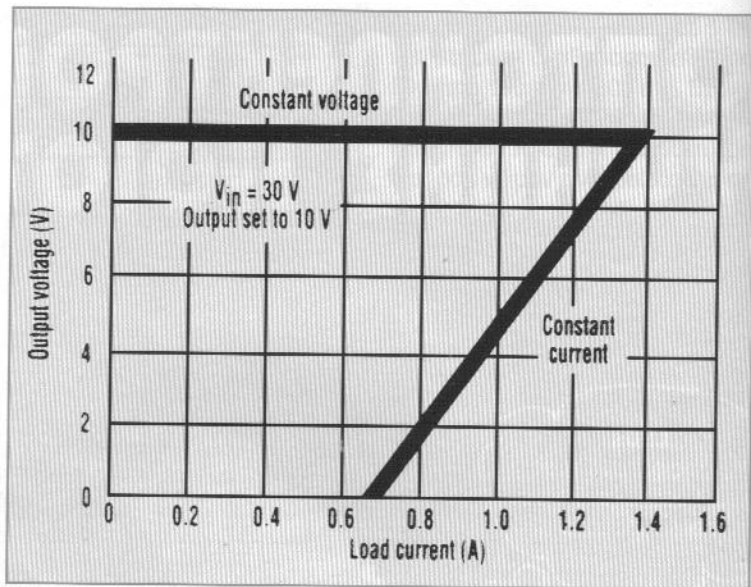
Η μορφή των χαρακτηριστικών που φαίνονται στο σχήμα 2 υποδεικνύουν μία λειτουργία του σταθεροποιητή μακριά από την επιθυμητή όταν το σημείο λειτουργίας του φθάσει στα όρια της καμπύλης μέγιστου φορτίου.

Το φαινόμενο δηλαδή που παρατηρείται είναι ότι ενώ ο σταθεροποιητής λειτουργεί κανονικά είναι δυνατόν να μειωθεί ξαφνικά η τάση εξόδου του σε μία αρκετά χαμηλότερη τιμή. Προκειμένου να εξηγηθεί αυτό το φαινόμενο θα πρέπει πρώτα να εξηγηθεί ο μηχανισμός περιορισμού ρεύματος.

Κάθε φορά δηλαδή που το ρεύμα φορτίου φθάνει ή τείνει να ξεπεράσει την μέγιστη τιμή του ο μηχανισμός περιορισμού ρεύματος αναλαμβάνει να μειώσει την τάση εξόδου έτσι ώστε το ρεύμα να παραμείνει μέσα στα επιθυμητά όρια. Στο σχήμα 3 φαίνεται η "καμπύλη φορτίου" για το LM317.

Αυτή η καμπύλη δείχνει το μέγιστο ρεύμα που μπορεί να δώσει ο σταθεροποιητής όταν η τάση εισόδου είναι 30V και η τάση εξόδου 10V. Η γραμμή φορτίου κατασκευάζεται με βάση την τυπική καμπύλη του LM317 του σχήματος 2.

Εφόσον τώρα το ρεύμα φορτίου παραμένει κάτω από το όριο των 1.4A η έξοδος του σταθεροποιητή βρίσκεται σταθερά στα 10V.



Σχήμα 3 Η επέμβαση του μηχανισμού περιορισμού ρεύματος μειώνει το ρεύμα φορτίου.

Όταν όμως για οιοδήποτε λόγο το ρεύμα φθάσει τα 1.4A ο μηχανισμός περιορισμού ρεύματος επεμβαίνει και μειώνει την τάση εξόδου προκειμένου να περιορίσει το ρεύμα κάτω από την μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή του. Αποτέλεσμα αυτού είναι ότι το ρεύμα πέφτει πιο χαμηλά από τα 1.4 A. Αυτό συμβαίνει διότι η μείωση της τάσης εξόδου προκαλεί αύξηση της διαφοράς τάσης εισόδου εξόδου και συνεπώς το σημείο λειτουργίας μετακινείται δεξιά κατά μήκος της καμπύλης μέγιστου φορτίου (σχήμα 2) όπου το μέγιστο ρεύμα πέφτει σε μικρότερες τιμές.

Η τελική τιμή συνεπώς τόσο του ρεύματος φορτίου όσο και της τάσης εξόδου θα είναι μικρότερη από τις τιμές που είχαν αυτά τα μεγέθη πριν ξεκινήσει ο μηχανισμός περιορισμού του ρεύματος.

Η μορφή της καμπύλης φορτίου στο σχήμα 3 δείχνει γιατί αυτός ο μηχανισμός περιορισμού ρεύματος αναφέρεται σαν αναδίπλωση ("foldback"). Μόλις δηλαδή το ρεύμα φθάσει στο κατώφλι της μέγιστης τιμής του ο μηχανισμός περιορισμού ρεύματος φορτίου μειώνει το ρεύμα σε μία τιμή χαμηλότερη από αυτήν στην οποία λειτουργούσε η μονάδα. Εάν συνεπώς ένας σταθεροποιητής λειτουργεί κοντά στο όριο του μέγιστου ρεύματος φορτίου μία μικρή μεταβολή αυτού του ρεύματος ή μία μικρή μείωση της τάσης εισόδου μπορεί να θέσει σε ενεργοποίηση τον μηχανισμό περιορισμού του φορτίου.

Όταν αυτό συμβεί η τάση εξόδου αλλά και το ρεύμα φορτίου κλειδώνουν σε μία χαμηλότερη τιμή και ο σταθεροποιητής δεν μπορεί να επιστρέψει στην αρχική του κατάσταση παρά μόνον αν το ρεύμα φορτίου ή η τάση εξόδου μειωθούν σημαντικά.

