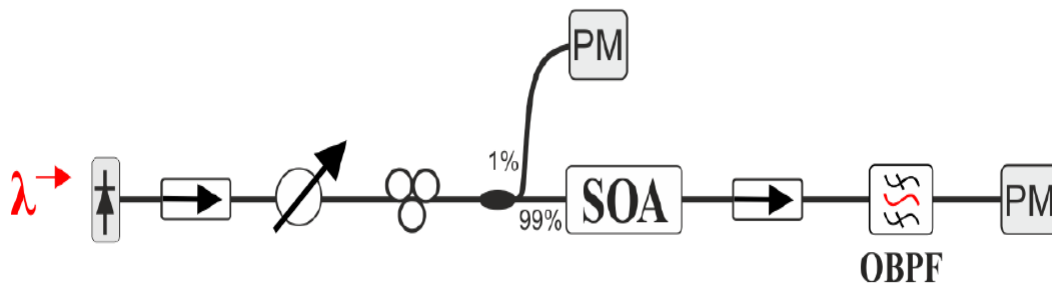


4ο ΣΕΤ ΑΣΚΗΣΕΩΝ ΣΤΟ ΜΑΘΗΜΑ «ΦΩΤΟΝΙΚΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ»

«Πειραματική μέτρηση σε Ημιαγωγίμο Οπτικό Ενισχυτή»

Ονοματεπώνυμο : Γιώργος Χατζηευφραιμίδης – ΑΕΜ : 3503

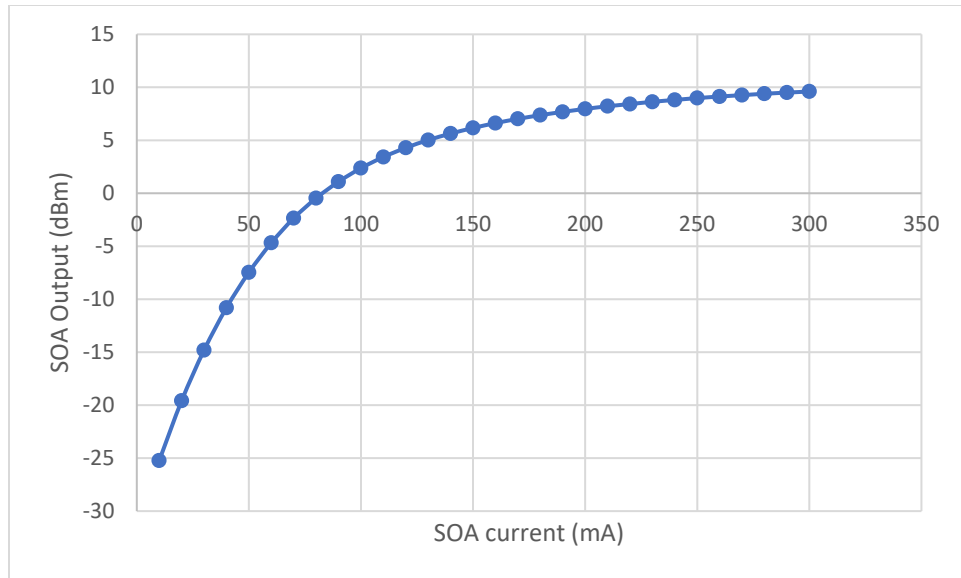
1. Το κύκλωμα που υλοποιήθηκε στο εργαστήριο είναι το παρακάτω:



Το σήμα παράγεται από μια πηγή (Tunable laser) με μήκος κύματος $\lambda=1550,1$ nm. Οδηγείται σε ένα απομονωτή που εμποδίζει τυχόν ανακλάσεις του φωτός να επιστρέψουν στην πηγή. Στην συνέχεια συνδέεται ένας εξασθενητής για να μεταβάλει την ισχύ του σήματος. Μετά συνδέεται ένας ελεγκτής πόλωσης για να μπορούμε να μεταβάλουμε την πόλωση του σήματος που εισάγεται στον SOA. Ακολουθεί ένας συζεύκτης 99%-1% ο οποίος χρησιμοποιείται για να μεταφέρει ένα πολύ μικρό ποσό οπτικής ισχύος (1%) στον μετρητή ισχύος (PM) για να μπορεί να γίνεται σε πραγματικό χρόνο η μέτρηση της. Στην συνέχεια το 99% της ισχύος οδηγείται σε ένα ημιαγωγίμο οπτικό ενισχυτή (Semiconductor Optical Amplifiers). Ο SOA μέσω της άντλησης (ηλεκτρικό ρεύμα) παράγει ασύμφωνο “θορυβώδες” φως που αποτελεί την καμπύλη κέρδους του και στην συνέχεια με εξαναγκασμένη εκπομπή πραγματοποιείται ενίσχυση του σήματος. Ο SOA επίσης διαθέτει ένα thermoelectric cooler (TEC) και ένα θερμικό αισθητήρα (NTC) για τον έλεγχο και σταθεροποίηση της θερμοκρασίας. Ακολουθεί ένας απομονωτής που εμποδίζει τυχόν ανακλάσεις του φωτός να επιστρέψουν στον SOA. Το τελικό στοιχείο της διάταξης είναι ένα φίλτρο OBPF για την αφαίρεση του θορύβου που έχει προκύψει από την ενίσχυση του σήματος.

2. Η καμπύλη ASE Power(dBm) vs SOA current(ma) προκύπτει για μηδενικό οπτικό σήμα εισόδου και δείχνει ότι όσο αυξάνεται το ρεύμα έκχυσης, αυξάνεται η τιμή της οπτικής ισχύος λόγω αυθόρμητης εκπομπής εξαιτίας της αναστροφής πληθυσμού. Αυτό τείνει να συγκλίνει σε κάποιο ανώτατο όριο ισχύος (~ 9.5 dBm) που εξαρτάται από το μήκος του SOA και κατά συνέπεια των αριθμό των φορέων που αυτός διαθέτει.

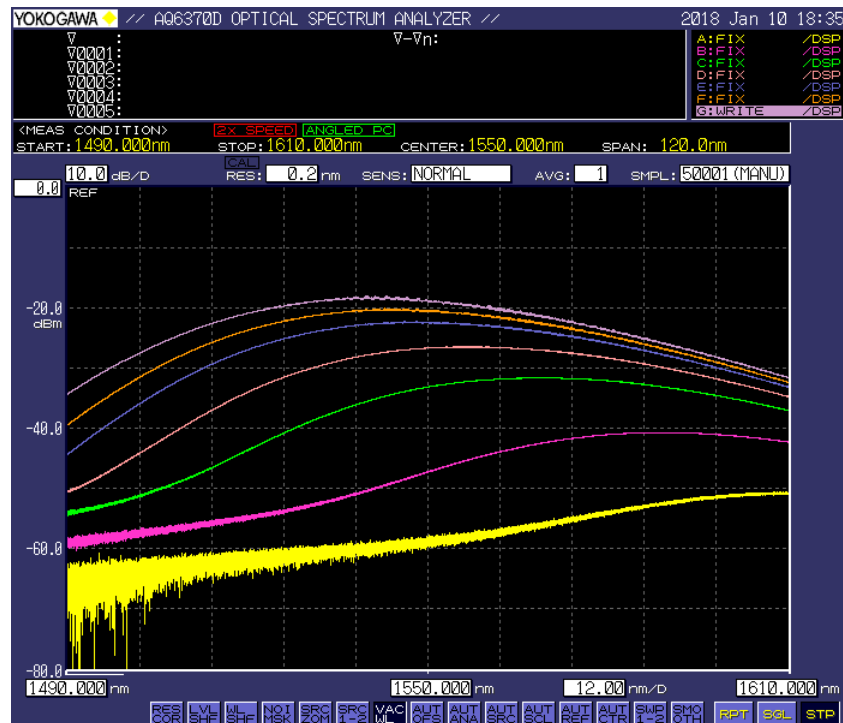
SOA CURRENT (mA)	SOA OUTPUT (dbm)
10	-25,22878745
20	-19,58607315
30	-14,8148606
40	-10,80921908
50	-7,47146969
60	-4,68521083
70	-2,350770154
80	-0,462403083
90	1,089031277
100	2,370407914
110	3,420276881
120	4,2894429
130	5,020172148
140	5,630061871
150	6,159500517
160	6,620018794
170	7,019994749
180	7,370335313
190	7,679717214
200	7,960189693
210	8,209891764
220	8,419848046
230	8,630252962
240	8,809849905
250	8,980117388
260	9,130186837
270	9,259821003
280	9,390197764
290	9,500239065
300	9,599948383



3. Στην ακόλουθη εικόνα παρουσιάζονται οι καμπύλες του ASE Power(dBm) vs wavelength για διαφορετικά ρεύματα έκχυσης (κίτρινο-20 mA μέχρι μωβ-300 mA). Είναι φανερό ότι όσο αυξάνεται το ρεύμα έκχυσης αυξάνεται η ισχύς ASE αλλά παράλληλα μετατοπίζεται και το κεντρικό σημείο μήκος κύματος που εμφανίζει το μεγαλύτερο κέρδος. Ενδεικτικά φαίνεται ότι :

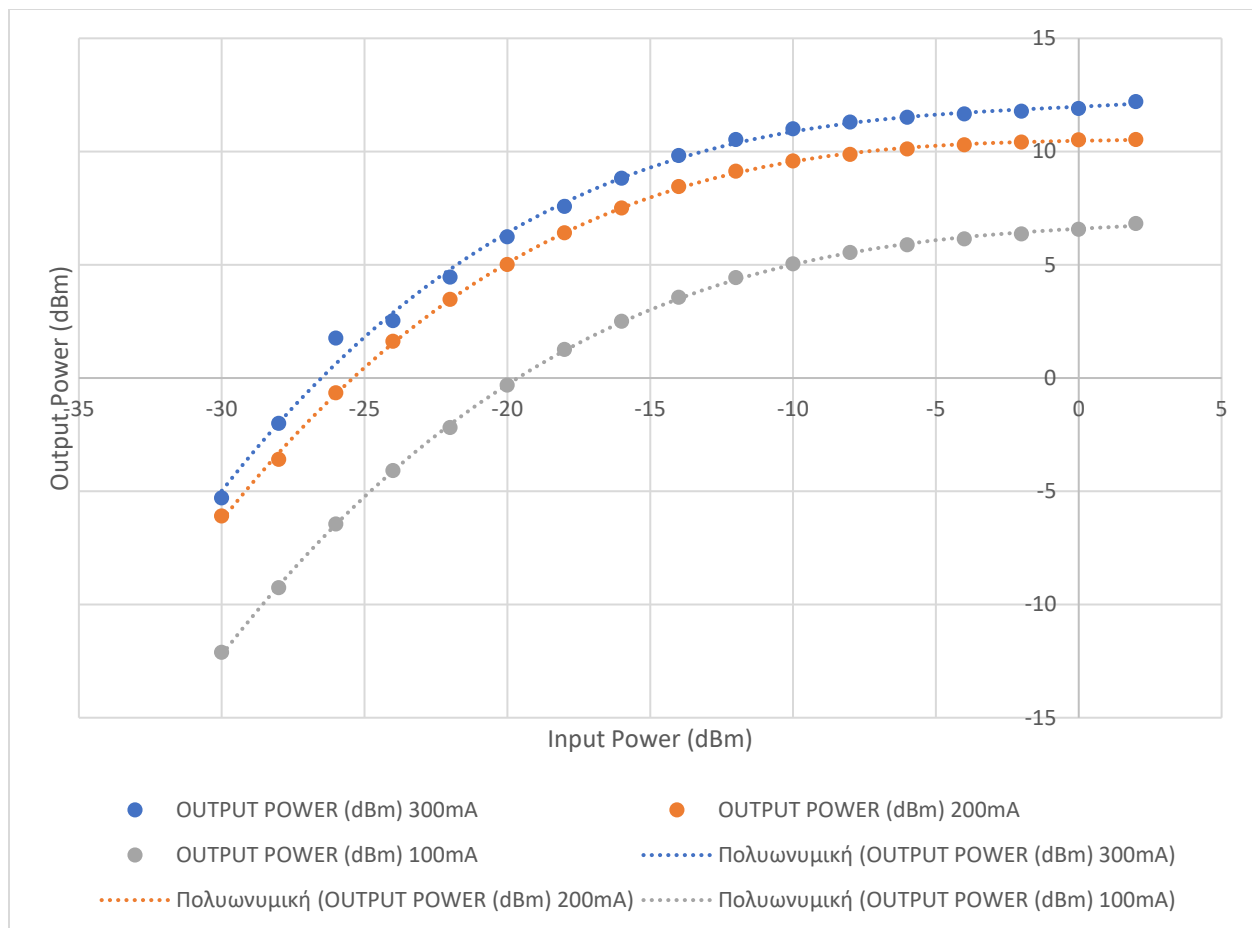
Ρεύμα έκχυσης 20 mA → κεντρικό μήκος ASE = 1610 nm και $P_{ASE} = -19,58$ dBm

Ρεύμα έκχυσης 300 mA → κεντρικό μήκος ASE = 1538 nm και $P_{ASE} = 9,59$ dBm



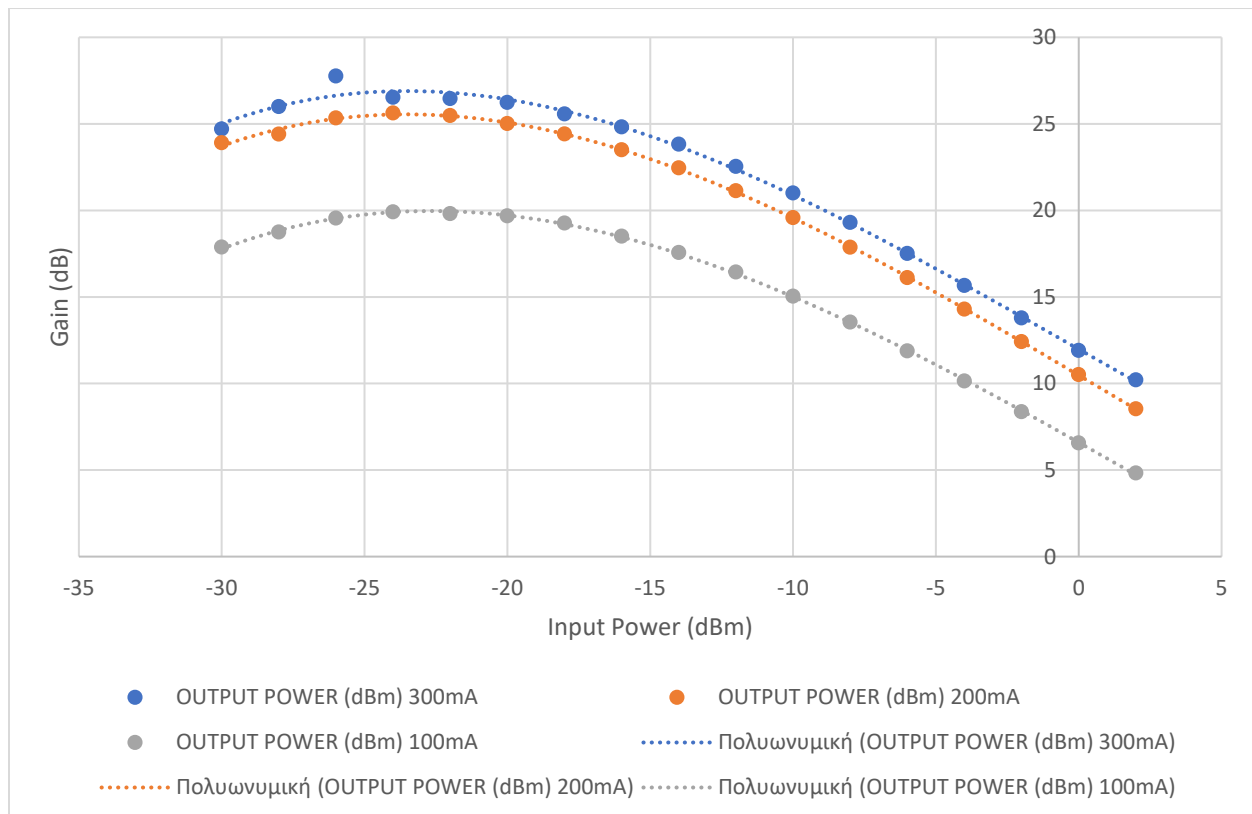
4. Στη ακόλουθη εικόνα παρουσιάζονται οι καμπύλες Output Power (dbm) vs Input Power (dBm) για τρεις διαφορετικές τιμές ρεύματος έκχυσης. Όπως φαίνεται από τις καμπύλες όσο αυξάνεται το ρεύμα έκχυσης, αυξάνει και η τιμή εξόδου για δεδομένη τιμή εισόδου, κάτι το οποίο είναι αναμενόμενο λόγω του μεγαλύτερου ASE που παράγεται από την αυξημένη τιμή του ρεύματος έκχυσης.

INPUT POWER (dBm)	OUTPUT POWER (dBm) 300mA	OUTPUT POWER (dBm) 200mA	OUTPUT POWER (dBm) 100mA
-30	-5,3	-6,1	-12,12
-28	-2,01	-3,6	-9,26
-26	1,76	-0,66	-6,45
-24	2,53	1,62	-4,09
-22	4,45	3,47	-2,19
-20	6,23	5,01	-0,32
-18	7,57	6,41	1,26
-16	8,82	7,5	2,5
-14	9,82	8,45	3,56
-12	10,53	9,13	4,43
-10	11	9,58	5,04
-8	11,3	9,87	5,54
-6	11,51	10,11	5,88
-4	11,66	10,29	6,14
-2	11,78	10,41	6,36
0	11,9	10,51	6,56
2	12,2	10,53	6,82



Στη ακόλουθη εικόνα παρουσιάζονται οι καμπύλες Gain (db) vs Input Power (dBm) για τρεις διαφορετικές τιμές ρεύματος έκχυσης. Όπως φαίνεται από τις καμπύλες όσο αυξάνεται το ρεύμα έκχυσης, αυξάνει και το κέρδος του ενισχυτή, κάτι το οποίο είναι αναμενόμενο λόγω του μεγαλύτερου ASE που παράγεται από την αυξημένη τιμή του ρεύματος έκχυσης. Επίσης παρατηρείται ότι το κέρδος του ενισχυτή παραμένει σχεδόν σταθερό μέχρι κάποια τιμή ισχύος του σήματος εισόδου για δεδομένο ρεύμα έκχυσης. Εκεί έχουμε το κέρδος ασθενούς σήματος. Μετά από αυτή την τιμή όταν η ισχύς του σήματος εισόδου ξεπεράσει κάποια οριακή τιμή, οι φορείς στην ενεργό περιοχή μειώνονται (εξαντλούνται) που οδηγεί σε μείωση του κέρδους του ενισχυτή. Εκεί έχουμε τον κορεσμό του ενισχυτή. Όταν το κέρδος του ενισχυτή γίνει ίσο με το μισό του κέρδους ασθενούς σήματος, τότε έχουμε το κορεσμένο κέρδος του ενισχυτή $P_{out, sat}$.

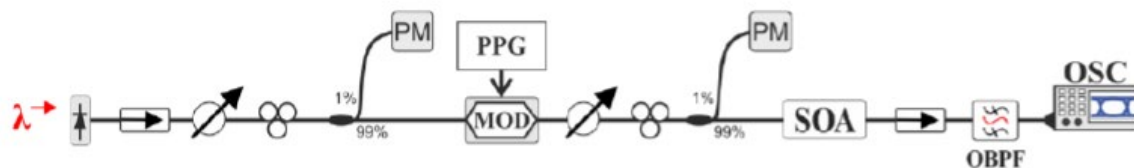
INPUT POWER (dBm)	Gain (dB) 300 mA	Gain (dB) 200 mA	Gain (dB) 100 mA
-30	24,7	23,9	17,88
-28	25,99	24,4	18,74
-26	27,76	25,34	19,55
-24	26,53	25,62	19,91
-22	26,45	25,47	19,81
-20	26,23	25,01	19,68
-18	25,57	24,41	19,26
-16	24,82	23,5	18,5
-14	23,82	22,45	17,56
-12	22,53	21,13	16,43
-10	21	19,58	15,04
-8	19,3	17,87	13,54
-6	17,51	16,11	11,88
-4	15,66	14,29	10,14
-2	13,78	12,41	8,36
0	11,9	10,51	6,56
2	10,2	8,53	4,82



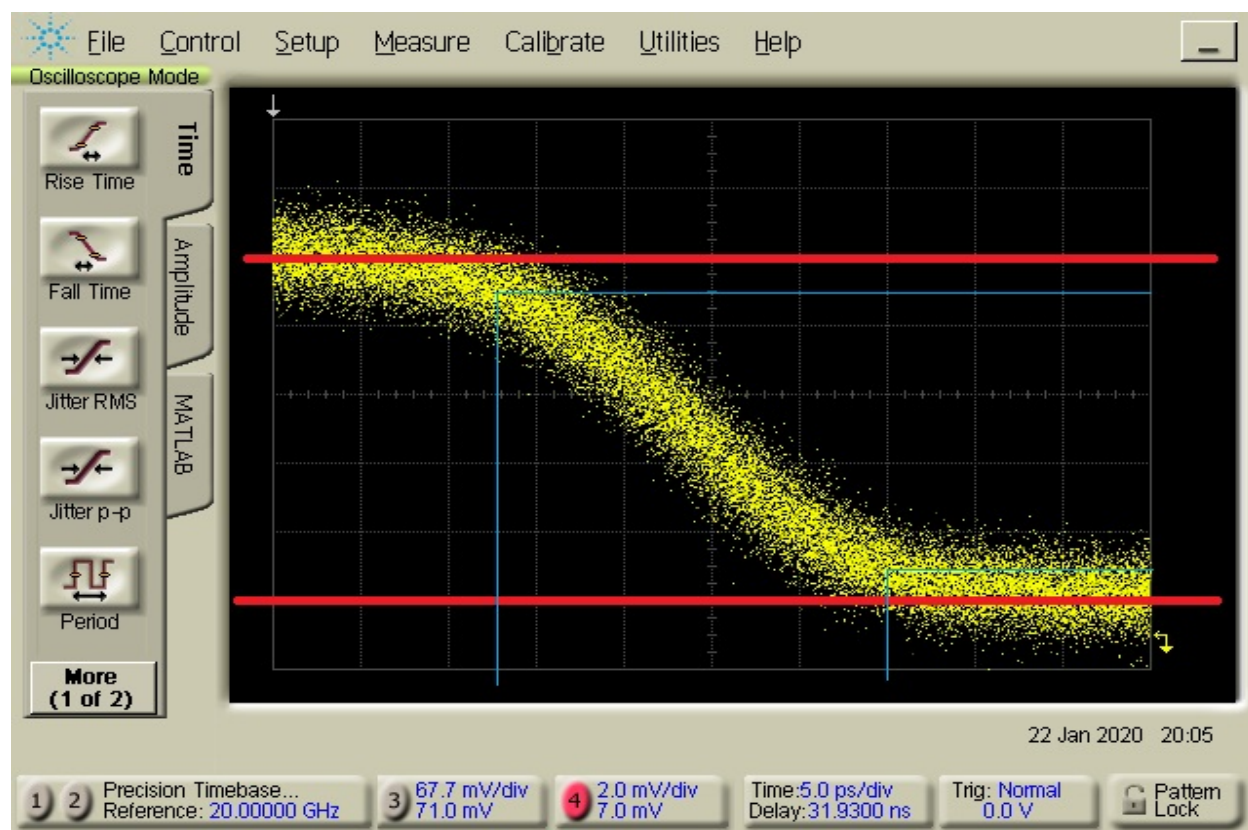
5. Χρησιμοποιώντας τα δεδομένα του προηγούμενου ερωτήματος προσδιορίζονται η περιοχή κέρδους ασθενούς σήματος, η περιοχή κορεσμού και η ισχύς κορεσμένου κέρδους για τις τρεις τιμές του ρεύματος έκχυσης. Τα αποτελέσματα καταγράφονται στον ακόλουθο πίνακα :

	I = 300mA	I = 200mA	I = 100mA
Περιοχή κέρδους ασθενούς σήματος	Το κέρδος είναι περίπου σταθερό και ίσο με 26 db για περιοχή από $P_{in} = -30$ dBm έως $P_{in} = -14$ dbm όπου το κέρδος έχει μειωθεί κατά 3 dB	Το κέρδος είναι περίπου σταθερό και ίσο με 25 db για περιοχή από $P_{in} = -30$ dBm έως $P_{in} = -14$ dbm όπου το κέρδος έχει μειωθεί κατά 3 dB	Το κέρδος είναι περίπου σταθερό και ίσο με 19 db για περιοχή από $P_{in} = -30$ dBm έως $P_{in} = -12$ dbm όπου το κέρδος έχει μειωθεί κατά 3 dB
Περιοχή κορεσμού	Η περιοχή κορεσμού ξεκινάει για σήμα $P_{in} = -14$ dbm και άνω	Η περιοχή κορεσμού ξεκινάει για σήμα $P_{in} = -14$ dbm και άνω	Η περιοχή κορεσμού ξεκινάει για σήμα $P_{in} = -12$ dbm και άνω
Ισχύς κορεσμένου κέρδους	Το κορεσμένο κέρδος του ενισχυτή είναι 3 dB λιγότερο από την περίπου σταθερή τιμή του δηλαδή 23 dB	Το κορεσμένο κέρδος του ενισχυτή είναι 3 dB λιγότερο από την περίπου σταθερή τιμή του δηλαδή 22 dB	Το κορεσμένο κέρδος του ενισχυτή είναι 3 dB λιγότερο από την περίπου σταθερή τιμή του δηλαδή 16 dB

6. Για την μέτρηση του χρόνου ανάκαμψης χρησιμοποιήθηκε η παρακάτω διάταξη :

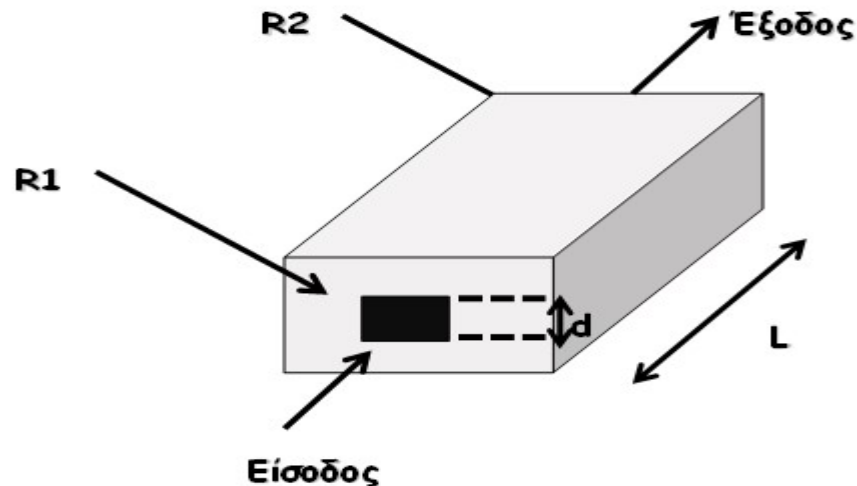


Ο συνδυασμός PPG και MOD χρησιμοποιείται για να παράγει μια ψευδοτυχαία ακολουθία PRBS-7 στα 10 Gbits/s η οποία διαμορφώνει το συνεχές οπτικό σήμα που παράγεται από την πηγή μήκους $\lambda = 1550,1\text{nm}$. Με τον τρόπο αυτό μπορούμε να μετρήσουμε το fall time ενός τυχαίου οπτικού παλμού που εκφράζει το «1». Έτσι ο χρόνος ανάκαμψης κέρδους του SOA από το 90% της ισχύος στο 10% με κλίμακα 5ps/div (βάση παλμογράφου), μετριέται από το ακόλουθο σχήμα :



Η 1η μπλε γραμμή αντιστοιχεί στο 90% της μέγιστης ισχύος ενώ η 2^η μπλε γραμμή αντιστοιχεί στο 10% της μέγιστης ισχύος. Χρονικά αυτό αντιστοιχεί σε περίπου 4.5 div δηλαδή σε $4.5\text{div} * 5\text{ps/div} = 22.5\text{ps}$. Άρα ο χρόνος ανάκαμψης του SOA είναι περίπου 22.5 ps. Η χρονική σταθερά ανάκαμψης καθορίζει την μέγιστη ταχύτητα λειτουργίας του ενισχυτή σε οπτικές μεταγωγικές διατάξεις.

7. Οι ενισχυτές SOA είναι ενισχυτές οδεύοντος κύματος δηλαδή ενισχύουν το προσπίπτον σήμα με μία μόνο διέλευση από την ενεργό περιοχή. Αυτό σημαίνει ότι οι ανακλαστικότητες (R1 και R2) των τερματικών επιφανειών πρέπει είναι όσο το δυνατό μικρότερες, θεωρητικά μηδέν, όπως φαίνεται στο ακόλουθο σχήμα :



Με τον τρόπο αυτό αποφεύγεται η λειτουργία του ενισχυτή ως laser (εμφάνιση κυμάτωσης λόγω υπέρθεσης ανακλάσεων και δημιουργίας στάσιμων κυμάτων).

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται το γράφημα κυματώσεων στο φάσμα ενίσχυσης του SOA για διαφορετικά ρεύματα έγχυσης, όπως προέκυψε από το πείραμα.



Όπως φαίνεται η αύξηση του ρεύματος έκχυσης μέχρι την μέγιστη τιμή του (300 mA -μωβ γραμμή) εμφανίζει μεγαλύτερο αριθμό κυματώσεων από την μικρότερη τιμή του (70 mA - πράσινη γραμμή). Αυτό σημαίνει ότι ναι μεν αυξάνει το κέρδος του SOA όσο αυξάνει το ρεύμα έκχυσης, αλλά παράλληλα λόγω της αύξησης του αριθμού των φορέων και της μετακίνησης του κεντρικού μήκους κύματος μέγιστης ενίσχυσης, η ανακλαστικότητα των τερματικών επιφανειών δεν έχει την ίδια συμπεριφορά. Συγκεκριμένα ο βαθμός ανάκλασης αυξάνεται όσο αυξάνεται το ρεύμα έκχυσης με αποτέλεσμα την εμφάνιση των κυματώσεων.