

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
Τμήμα Ηλεκτρολόγων & Ηλεκτρονικών Μηχανικών

www.eee.uniwa.gr

Θηβών 250, Αθήνα-Αιγάλεω 12244
Τηλ. +30 210 538-1225, Fax. +30 210 538-1226



UNIVERSITY of WEST ATTICA
FACULTY OF ENGINEERING
Department of Electrical & Electronics Engineering

www.eee.uniwa.gr

250, Thivon Str., Athens, GR-12244, Greece
Tel: +30 210 538-1225, Fax: +30 210 538-1226

Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών
Τεχνολογίες Ήχου, Βίντεο και Μετάδοσης

Master of Science in
Audio, Video and Broadcasting Engineering

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Μελέτη τηλεοπτικής μονάδας εξωτερικών μεταδόσεων



Μεταπτυχιακός Φοιτητής: **ΞΕΝΟΣ ΙΩΑΝΝΗΣ, ΑΜ: MSCAVB-008**

Επιβλέπων: **Τάτλας Νικόλας - Αλέξανδρος, Αναπληρωτής Καθηγητής**

ΑΘΗΝΑ-ΑΙΓΑΛΕΩ, ΙΟΥΝΙΟΣ 2023

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
Τμήμα Ηλεκτρολόγων & Ηλεκτρονικών Μηχανικών
www.eee.uniwa.gr

Θηβών 250, Αθήνα-Αιγάλεω 12244
Τηλ. +30 210 538-1225, Fax. +30 210 538-1226



UNIVERSITY of WEST ATTICA
FACULTY OF ENGINEERING
Department of Electrical & Electronics Engineering
www.eee.uniwa.gr

250, Thivon Str., Athens, GR-12244, Greece
Tel:+30 210 538-1225, Fax:+30 210 538-1226

Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών
Τεχνολογίες Ήχου, Βίντεο και Μετάδοσης

Master of Science in
Audio, Video and Broadcasting Engineering

MSc Thesis

External broadcast television unit study



Student: **XENOS IOANNIS**, Registration Number **MSCAVB-008**

MSc Thesis Supervisor: **Tatlas Nikolaos - Alexandros**, Associate Professor

ATHENS-EGALEO, JUNE 2023

Η Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία έγινε αποδεκτή, εξετάστηκε και βαθμολογήθηκε από την εξής τριμελή εξεταστική επιτροπή:

Επιβλέπων	Μέλος	Μέλος
Τάτλας Νικόλας - Αλέξανδρος	Ποτηράκης Στυλιανός	Μυτιληναίος Στυλιανός
Αναπληρωτής Καθηγητής	Καθηγητής	Αναπληρωτής Καθηγητής

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Ξένος Ιωάννης του Διονυσίου, με αριθμό μητρώου MSCAVB-008 φοιτητής του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών «Τεχνολογίες Ήχου, Βίντεο και Μετάδοση» του Τμήματος Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών της Σχολής Μηχανικών του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, δηλώνω ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της μεταπτυχιακής διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της, είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

Ο Δηλών



ΞΕΝΟΣ ΙΩΑΝΝΗΣ

Copyright © Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ και ΞΕΝΟΣ ΙΩΑΝΝΗΣ

Ιούλιος 2023

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας Μεταπτυχιακής Διπλωματικής Εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον/την συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον/την συγγραφέα του και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις θέσεις του επιβλέποντος μέλους ΔΕΠ, της επιτροπής εξέτασης ή τις επίσημες θέσεις του Τμήματος και του Ιδρύματος.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως αντικείμενο την μελέτη μιας τηλεοπτικής μονάδας εξωτερικών μεταδόσεων (Outside Broadcast Van - OBvan).

Στόχος της διπλωματικής εργασίας είναι να παρουσιάσει την δομή και την λειτουργία του van αλλά και να μελετήσει την συμπεριφορά ομοαξονικών καλωδίων, οπτικών ινών και υβριδικών καλωδίων κατά την μεταφορά σήματος HD SDI και πως αυτή επηρεάζεται όχι μόνο από τα τεχνικά χαρακτηριστικά του αλλά και από την χρήση τους. Ένας ακόμα επιμέρους στόχος της εργασίας είναι να δώσει την απαραίτητη γνώση στους μηχανικούς του van το πόσο σημαντικός είναι ο έλεγχος κάθε καλωδίου πριν από την χρήση του έτσι ώστε να αποφεύγονται οι αστοχίες που προκύπτουν λόγω καταπόνησης του καλωδίου από τη μια μέρα στην άλλη.

Αναλυτικά στην διπλωματική εργασία αυτή θα γίνει ανάλυση της μονάδας εξωτερικών μεταδόσεων δηλαδή των σταδίων κατασκευής της, της δομής της και των μηχανημάτων που την αποτελούν, της καλωδίωσης και τέλος της ροής τους σήματος από το OB Van μέχρι τον τηλεθεατή. Στην συνέχεια θα γίνει παρουσίαση της προετοιμασίας μια τηλεοπτικής παραγωγής και των δυσκολιών που αντιμετωπίζει ο τεχνικός να μεταφέρει σήματα HD SDI με ασφάλεια και ποιοτικά σε κοντινές ή μακρινές αποστάσεις. Στην συνέχεια θα οριστεί το πλαίσιο πως θα γίνουν μετρήσεις μεταφοράς σήματος SDI μέσω ομοαξονικών καλωδίων, οπτικών ινών και μέσω σύνδεσης του CCU και της κάμερας (υβριδικά καλώδια). Με βάση αυτό το πλαίσιο θα γίνουν μετρήσεις με την βοήθεια της απεικόνισης «ματιού» (eye diagram) και τα αποτελέσματα θα αξιολογηθούν και θα οδηγήσουν σε ενδιαφέροντα συμπεράσματα.

Κυρίως σκοπός της διπλωματικής εργασίας αυτής είναι να αποτελέσει βοηθητικό εργαλείο και πηγή γνώσεων στους επαγγελματίες των van στην Ελλάδα και στο εξωτερικό γιατί είναι μια μελέτη που αφορά καλώδια σε χρήση και όχι ιδανικά καλώδια που έρχονται κατευθείαν από τον κατασκευαστή. Για αυτό το λόγο η εργασία αυτή περιέχει πιο ρεαλιστικά προβλήματα και αποτελέσματα που συναντά ο μηχανικός καθημερινά στο χώρο εργασίας του.

ΛΕΞΕΙΣ – ΚΛΕΙΔΙΑ: 1080i, BNC, eye diagram, HD, OB-Van, αξιοπιστία καλωδίων, Τηλεοπτική μονάδα εξωτερικών μεταδόσεων, μεταφορά σήματος SDI, μέτρηση καλωδίων, οπτική ίνα, πλάτος σήματος, υβριδικό καλώδιο

ABSTRACT

The present thesis is the study of an External broadcast Television Unit (Outside Broadcast Van) (OBvan).

The aim of the thesis is to present the structure and operation of the van and to study the behavior of coaxial cables, fiber optics and hybrid cables during HD SDI signal transmission and how it is affected not only by the technical characteristics but also by the use of them. Another sub-objective is to provide van engineers with the necessary knowledge of how important it is to test each cable before use in order to avoid failures that occur due to cable stress from one day to the next.

This thesis will analyze the OB Van i.e. the stages of its construction, its structure and the machines in the van, the cabling and finally the signal flow from the OB Van to the viewer. Then, the preparation of a TV production and the difficulties faced by the technician to transport HD SDI signals safely and with quality over short or long distances will be presented. Then the framework will be defined how SDI signal transmission measurements will be made via coaxial cables, fiber optic cables and via CCU and camera connection (hybrid cables). Based on this framework, measurements will be made using the "eye diagram" and the results will be evaluated and lead to interesting conclusions.

The main purpose of this thesis is to be a helpful tool and source of knowledge for van professionals in Greece and abroad because it is a study concerning cables in use and not ideal cables that come directly from the manufacturer. For this reason, this work contains more realistic problems and results that the engineer encounters daily in his workplace

KEYWORDS: 1080i, BNC, eye diagram, HD, OB-Van, cable measurement , cable reliability external broadcast televisions unit, hybrid cables, optical fiber , SDI signal transfer, signal amplitude

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή Δρ. Τάτλα Νικόλαο - Αλέξανδρο αλλά και τον Δρ. Χρηστάκη Ιωάννη για την επιστημονικής τους καθοδήγηση και την συνεχή υποστήριξη κατά την διάρκεια αυτής της διπλωματικής εργασίας.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΚΡΩΝΥΜΙΩΝ-ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΩΝ

Ακρωνύμιο	Περιγραφή
1080i	HD video με ανάλυση 1080 x1920 Interlaced
BNC	Bayonet Neill-Concelman connector
Embedded	Embedded audio in SDI
Eye diagram	Απεικόνιση τύπου “eye”
HD SDI	High Definition SDI
ITU	International Telecommunication Unit
OB Van	Outside Broadcast Van
PTZ	Pan Titl Zoom Camera
SDI	Serial Digital Interface
SMPTE	Society of Motion Picture and Television Engineers
Van	OB Van

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	16
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Ανάλυση μονάδας εξωτερικών μεταδόσεων	18
1.1 Σχεδιασμός και Κατασκευή.....	18
1.2 Δομικά μέρη	20
1.2.1 Ρύθμιση εικόνας	22
1.2.2 Παραγωγή εικόνας	22
1.2.3 Video replay και χώρος εγγράφων (recording).....	23
1.2.4 Ρύθμιση Ήχου.....	24
1.2.5 Παραγωγή Γραφικών ή τίτλων.....	24
1.2.6 Τεχνική διαχείριση van – Τεχνικός προϊστάμενου (Technical Manager)	24
1.2.7 Ηλεκτρολογικό μέρος.....	25
1.2.8 Κλιματισμός.....	25
1.2.9 Machine room.....	25
1.2.9.1 Video Router.....	26
1.2.9.2 Κονσόλα μίξης εικόνας	27
1.2.9.3 CCU (Camera Control Unit)	27
1.2.9.4 Γεννήτρια συγχρονισμού (SPG)	28
1.2.9.5 Multiviewer (κεντρική μονάδα)	29
1.2.9.6 Σύστημα video replay	29
1.2.9.7 Graphics Generator.....	29
1.2.9.8 Κονσόλα Μίξης ήχου	30
1.2.9.9 Μονάδα ενδοεπικοινωνίας	30
1.2.9.10 Glue υλικό.....	30
1.2.9.11 Εξωτερικό Panel	31
1.3 Καλωδίωση	31
1.4 Ροή σήματος από την έξοδο στον τελικό δέκτη	33
1.5 Προετοιμασία μιας τηλεοπτικής παραγωγής.....	34
1.5.1 Πλάνο θέσεων καμερών (Camera plan).....	35
1.5.2 Πλάνο των μικροφώνων (mic plan)	35
1.5.3 Πλάνο σημάτων ήχου	36
1.5.4 Πλάνο video ή embedded σημάτων	36
1.5.5 Πλάνο για σήματα δικτύου και διάφορων άλλων σημάτων	37

1.5.6 Πλάνο για φωτιστικά σώματα.....	37
1.5.7 Πλάνο για παροχές ρεύματος.....	37
1.5.8 Πλάνο για την διαδρομή όδευση των καλωδίων	38
1.6 Προκλήσεις στην μεταφορά σήματος SDI	38
1.6.1 Χρήση οπτικής ίνας.....	44
1.6.2 Χρήση του CCU και της κάμερας ως μέσου μεταφοράς σήματος	44
1.6.3 Πραγματικό σενάριο απαιτήσεων παραγωγής.....	45
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Σχεδιασμός μελέτης μεταφοράς σήματος SDI	47
2.1 Γεννήτρια σήματος SDI και όργανο απεικόνισης eye display	48
2.1.1 Γεννήτρια σήματος SDI.....	48
2.1.2 Όργανο απεικόνισης eye display	49
2.2 Σχεδιασμός μελέτης μεταφοράς SDI μέσω ομοαξονικών καλωδίων.....	50
2.3 Σχεδιασμός μελέτης μεταφοράς SDI μέσω οπτικής ίνας.....	53
2.4 Σχεδιασμός μελέτης μεταφοράς SDI μέσω σύνδεσης CCU και κάμερας.....	55
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Εφαρμογή και Αποτελέσματα της μελέτης	58
3.1 Μετρήσεις μεταφοράς SDI μέσω ομοαξονικών καλωδίων	59
3.1.1 Μέτρηση ομοαξονικών καλωδίων 10 μέτρων.....	60
3.1.2 Μέτρηση ομοαξονικών καλωδίων 20 μέτρων.....	61
3.1.3 Μέτρηση ομοαξονικών καλωδίων 50 μέτρων.....	62
3.1.4 Μέτρηση ομοαξονικών καλωδίων 80 μέτρων.....	64
3.1.5 Μέτρηση ομοαξονικών καλωδίων 100 μέτρων	65
3.2 Μετρήσεις μεταφοράς SDI μέσω οπτικής ίνας	66
3.3 Μετρήσεις μεταφοράς SDI μέσω σύνδεσης CCU και κάμερας	70
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Ανάλυση Αποτελεσμάτων.....	74
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: Συμπεράσματα.....	82
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ - ΠΗΓΕΣ	84

ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: Το πριν και το μετά χώρου παραγωγής εικόνας	19
Εικόνα 2: Το πριν και το μετά χώρου ρύθμιση εικόνας	19
Εικόνα 3: Φάση υλοποίησης αναβάθμισης OB VAN	20
Εικόνα 4: Εξωτερική όψη ενός van.....	21
Εικόνα 5: : Εσωτερική κάτοψη ενός van	21
Εικόνα 6: Εσωτερική όψη ενός van	21
Εικόνα 7 : Θέση ρύθμισης σε van.....	22
Εικόνα 8: Καλώδιο σύνδεσης RCP με CCU	22
Εικόνα 9: Χώρος παραγωγής εικόνας σε ένα van.....	22
Εικόνα 10: Θέσεις εργασίας video replay	23
Εικόνα 11: Συστοιχία συσκευών εγγραφής σε δίσκο ssd	23
Εικόνα 12: Θέση εργασίας της ρύθμισης ήχου	24
Εικόνα 13: Machine Room ενός van	25
Εικόνα 14: Πίσω πλευρά σύνδεσης των καλωδίων ενός router	26
Εικόνα 15: Χειριστήρια του router	26
Εικόνα 16: Πίσω πλευρά σύνδεσης καλωδίων στο mainframe μιας κονσόλα εικόνας ..	27
Εικόνα 17: Πίσω πλευρά σύνδεσης των καλωδίων στο CCU.....	28
Εικόνα 18: Πίσω πλευρά σύνδεσης των καλωδίων στο σύστημα video replay	29
Εικόνα 19: Το panel μιας μονάδας ενδοεπικοινωνίας.....	30
Εικόνα 20: Εξωτερικό patch panel του van.....	31
Εικόνα 21: Εσωτερική μορφή καλωδίου Canford SDV-LFH-E	32
Εικόνα 22: Εσωτερική μορφή καλωδίου Canford FST-F.....	32
Εικόνα 23: Εσωτερική μορφή υβριδικού οπτικού καλωδίου SMPTE-311	32
Εικόνα 24: Βύσμα SMPTE-304.....	32
Εικόνα 25: Βύσματα Lemo	32
Εικόνα 26: Βύσματα Fischer.....	32
Εικόνα 27: Camera plan UEFA Champions League final 2023	35
Εικόνα 28 : Microphone plan FIFA World Cup 2022.....	35
Εικόνα 29: Δημοφιλής τύποι καλωδίων και το μέγιστο επιτρεπτό μήκος τους	39
Εικόνα 30: Το eye display όπως εμφανίζεται στο φορητό όργανο Phabrics SxE	41
Εικόνα 31: «ανοιχτό μάτι» (open eye) - ιδανικό eye display	41
Εικόνα 32: «κλειστό μάτι» (closed eye)	41
Εικόνα 33: Eye display με τις βασικές παραμέτρους που μπορούν να μετρηθούν	42
Εικόνα 34: Open eye σήματος.....	43

Εικόνα 35: Closed eye σήματος μετά από προσθήκη μέτρων καλωδίου	43
Εικόνα 36: Επιλογές χαρακτηριστικών video generator σε όργανο Phabrics SxE	48
Εικόνα 37: Έξοδος video generator σε όργανο Phabrics SxE.....	48
Εικόνα 38: BNC εξόδου της γεννήτριας σήματος.....	48
Εικόνα 39: Οθόνη eye display του οργάνου Phabrics SxE.....	49
Εικόνα 40: Μπάρα μετρήσεων eye display σε Phabrics SxE.....	49
Εικόνα 41: Καλώδιο Canford-SDV-L-LFH	50
Εικόνα 42: BNC Telegartner BNC group Y.....	51
Εικόνα 43: Digitus Fiber Optic Singlemode LC/LC	53
Εικόνα 44: Η εγκάρσια τομή οπτικής ίνας.....	53
Εικόνα 45: Blackmagic Design Mini Converter Optical Fiber 12G	53
Εικόνα 46: Blackmagic Design 3G SFP Optical Module	53
Εικόνα 47: Είσοδοι και έξοδοι του Blackmagic Design Mini Converter Optical Fiber	54
Εικόνα 48: Block διάγραμμα Mini Converter Optical Fiber 12G	54
Εικόνα 49: Εσωτερική μορφή υβριδικού οπτικού καλωδίου SMPTE-311	55
Εικόνα 50: Βύσμα SMPTE-304.....	55
Εικόνα 51: Είσοδοι SDI σημάτων στο πίσω μέρος CCU Panasonic AK-UCU500.....	56
Εικόνα 52: Είσοδοι SDI σημάτων στο πίσω μέρος κάμερας Panasonic AK-HC5000G ...	57
Εικόνα 53: Συνδεσμολογία μέτρησης ομοαξονικού καλωδίου 1m - B0.....	58
Εικόνα 54: Οθόνη μετρήσεων ομοαξονικού καλωδίου 1m - B0	58
Εικόνα 55: Συνδεσμολογία μέτρησης ομοαξονικού καλωδίου	59
Εικόνα 56: Οθόνη μετρήσεων ομοαξονικού καλωδίου 10m – B101	60
Εικόνα 57: Οθόνη μετρήσεων ομοαξονικού καλωδίου 10m – B102.....	60
Εικόνα 58: Οθόνη μετρήσεων ομοαξονικού καλωδίου 10m – B103.....	60
Εικόνα 59: Οθόνη μετρήσεων ομοαξονικού καλωδίου 10m – B104.....	60
Εικόνα 60: Οθόνη μετρήσεων ομοαξονικού καλωδίου 10m – B105.....	60
Εικόνα 61: Οθόνη μετρήσεων ομοαξονικού καλωδίου 20m – B201.....	61
Εικόνα 62: Οθόνη μετρήσεων ομοαξονικού καλωδίου 20m – B202.....	61
Εικόνα 63: Οθόνη μετρήσεων ομοαξονικού καλωδίου 20m – B203.....	61
Εικόνα 64: Οθόνη μετρήσεων ομοαξονικού καλωδίου 20m – B204.....	61
Εικόνα 65: Οθόνη μετρήσεων ομοαξονικού καλωδίου 20m – B205.....	62
Εικόνα 66: Οθόνη μετρήσεων ομοαξονικού καλωδίου 50m – B501	62
Εικόνα 67: Οθόνη μετρήσεων ομοαξονικού καλωδίου 50m – B502.....	62
Εικόνα 68: Οθόνη μετρήσεων ομοαξονικού καλωδίου 50m – B503.....	63
Εικόνα 69: Οθόνη μετρήσεων ομοαξονικού καλωδίου 50m – B504.....	63
Εικόνα 70: Οθόνη μετρήσεων ομοαξονικού καλωδίου 50m – B505.....	63

Εικόνα 71: Οθόνη μετρήσεων ομοαξονικού καλωδίου 80m – B801	64
Εικόνα 72: Οθόνη μετρήσεων ομοαξονικού καλωδίου 80m – B802	64
Εικόνα 73: Οθόνη μετρήσεων ομοαξονικού καλωδίου 80m – B803	64
Εικόνα 74: Οθόνη μετρήσεων ομοαξονικού καλωδίου 80m – B804	64
Εικόνα 75: Οθόνη μετρήσεων ομοαξονικού καλωδίου 80m – B805	64
Εικόνα 76: Οθόνη μετρήσεων ομοαξονικού καλωδίου 100m – B1001	65
Εικόνα 77: Οθόνη μετρήσεων ομοαξονικού καλωδίου 100m – B1002	65
Εικόνα 78: Οθόνη μετρήσεων ομοαξονικού καλωδίου 100m – B1003	65
Εικόνα 79: Οθόνη μετρήσεων ομοαξονικού καλωδίου 100m – B1004	65
Εικόνα 80: Οθόνη μετρήσεων ομοαξονικού καλωδίου 100m – B1005	66
Εικόνα 81: Συνδεσμολογία μέτρησης οπτικής ίνας	67
Εικόνα 82: Οθόνη μετρήσεων οπτικής ίνας 10m – F101	68
Εικόνα 83: Οθόνη μετρήσεων οπτικής ίνας 10m – F102	68
Εικόνα 84: Οθόνη μετρήσεων οπτικής ίνας 20m – F201	68
Εικόνα 85: Οθόνη μετρήσεων οπτικής ίνας 20m – F202	68
Εικόνα 86: Οθόνη μετρήσεων οπτικής ίνας 50m – F501	68
Εικόνα 87: Οθόνη μετρήσεων οπτικής ίνας 50m – F502	68
Εικόνα 88: Οθόνη μετρήσεων οπτικής ίνας 80m – F801	68
Εικόνα 89: Οθόνη μετρήσεων οπτικής ίνας 80m – F802	68
Εικόνα 90: Οθόνη μετρήσεων οπτικής ίνας 100m – F1001	69
Εικόνα 91: Οθόνη μετρήσεων οπτικής ίνας 100m – F1002	69
Εικόνα 92: Οθόνη μετρήσεων οπτικής ίνας 200m – F2001	69
Εικόνα 93: Οθόνη μετρήσεων οπτικής ίνας 200m – F2002	69
Εικόνα 94: Συνδεσμολογία μέτρησης υβριδικού καλωδίου	70
Εικόνα 95: Οθόνη μετρήσεων υβριδικού καλωδίου 10m – H101	71
Εικόνα 96: Οθόνη μετρήσεων υβριδικού καλωδίου 10m – H102	71
Εικόνα 97: Οθόνη μετρήσεων υβριδικού καλωδίου 20m – H201	71
Εικόνα 98: Οθόνη μετρήσεων υβριδικού καλωδίου 20m – H202	71
Εικόνα 99: Οθόνη μετρήσεων υβριδικού καλωδίου 50m – H501	72
Εικόνα 100: Οθόνη μετρήσεων υβριδικού καλωδίου 50m – H502	72
Εικόνα 101: Οθόνη μετρήσεων υβριδικού καλωδίου 80m – H801	72
Εικόνα 102: Οθόνη μετρήσεων υβριδικού καλωδίου 80m – H802	72
Εικόνα 103: Οθόνη μετρήσεων υβριδικού καλωδίου 100m – H1001	72
Εικόνα 104: Οθόνη μετρήσεων υβριδικού καλωδίου 100m – H1002	72
Εικόνα 105: Οθόνη μετρήσεων υβριδικού καλωδίου 200m – H2001	72
Εικόνα 106: Οθόνη μετρήσεων υβριδικού καλωδίου 200m – H2002	72

ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1: Ροή σήματος.....	33
Σχήμα 2: Κάτοψη του χώρου παραγωγής με απαιτήσεις και αποστάσεις.....	45
Σχήμα 3: Συνδεσμολογία μελέτης ομοαξονικού καλωδίου.....	52
Σχήμα 4: Συνδεσμολογία μελέτης οπτικής ίνας.....	55
Σχήμα 5: Συνδεσμολογία μελέτης μεταφοράς σήματος μέσω CCU και κάμερας.....	57

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Αποστάσεις καλωδίων από το van.....	45
Πίνακας 2: Μετρήσεις ομοαξονικού καλωδίου 1m - B0.....	59
Πίνακας 3: Μετρήσεις ομοαξονικών καλωδίων 10m.....	61
Πίνακας 4: Μετρήσεις ομοαξονικών καλωδίων 20m.....	62
Πίνακας 5: Μετρήσεις ομοαξονικών καλωδίων 50m.....	63
Πίνακας 6: Μετρήσεις ομοαξονικών καλωδίων 80m.....	65
Πίνακας 7: Μετρήσεις ομοαξονικών καλωδίων 100m.....	66
Πίνακας 8: Μετρήσεις οπτικών ινών διαφόρων μηκών.....	69
Πίνακας 9: Μετρήσεις υβριδικών καλωδίων διαφόρων μηκών.....	73

ΠΙΝΑΚΑΣ ΓΡΑΦΗΜΑΤΩΝ

Γράφημα 1: Τιμές του πλάτους ομοαξονικών καλωδίων 10m.....	74
Γράφημα 2: Τιμές του πλάτους ομοαξονικών καλωδίων 20m.....	75
Γράφημα 3: Τιμές του πλάτους ομοαξονικών καλωδίων 20m χωρίς την τιμή του B203.....	75
Γράφημα 4: Τιμές του πλάτους ομοαξονικών καλωδίων 50m.....	76
Γράφημα 5: Τιμές του πλάτους ομοαξονικών καλωδίων 20m χωρίς την τιμή του B504.....	76
Γράφημα 6: Τιμές του πλάτους ομοαξονικών καλωδίων 80m.....	76
Γράφημα 7: Τιμές του πλάτους ομοαξονικών καλωδίων 100m.....	77
Γράφημα 8: Τιμές του πλάτους ομοαξονικών καλωδίων διαφόρων μέτρων.....	78
Γράφημα 9: Τιμές του πλάτους σήματος μέσω οπτικών ινών διαφόρων μηκών.....	78
Γράφημα 10: Τιμές του πλάτους σήματος μέσω υβριδικών καλωδίων.....	79
Γράφημα 11: Τιμές του πλάτους σήματος με όλους τους τρόπους μεταφοράς.....	80

Η παρακολούθηση ενός τηλεοπτικού προϊόντος σήμερα έχει γίνει ευκολότερη από ποτέ. Ο καθένας μπορεί να παρακολουθήσει ζωντανά ή αργότερα σε επανάληψη (on demand) μια εκπομπή, ένα δελτίο ειδήσεων, ένα αθλητικό γεγονός κ.α από οπουδήποτε είτε στο σπίτι είτε έξω μέσω φορητής συσκευής. Για να γίνει παραγωγή αυτού του τηλεοπτικού προϊόντος γίνονται χιλιάδες πολυμερές τηλεοπτικές παραγωγές σε όλο το κόσμο.

Στα πρώτα χρόνια λειτουργίας της τηλεόρασης όλες οι παραγωγές γινόταν μέσα σε τηλεοπτικό στούντιο. Η ανάγκη για παραγωγές που δεν είναι μέσα σε τηλεοπτικό στούντιο αλλά σε εξωτερικούς χώρους (γήπεδα, συναυλίες κτλ.) ανέδειξε την ανάγκη για την δημιουργία της τηλεοπτικής μονάδας εξωτερικών μεταδόσεων (Outside Broadcast Van - OBvan). Ένα OB-van εξωτερικών μεταδόσεων είναι ένα φορητό διαμορφωμένο εσωτερικά σαν control room τηλεόρασης και επιτρέπει την τηλεοπτική κάλυψη σε χώρους και τοποθεσίες εκτός στούντιο. Το τηλεοπτικό van είναι εξοπλισμένο με τα κατάλληλα μηχανήματα και διαμορφωμένο με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε να είναι εργονομικό και βολικό σε όλες τις θέσεις εργασίας που υπάρχουν μέσα σε αυτό. Συνήθως μαζί με το van υπάρχει και ένα συνοδευτικό όχημα (tender) [1] που περιέχει όλο το απαραίτητο υλικό (κάμερες, τριπόδια, καλώδια, μικρόφωνα, μόνιτορ κτλ) και μπορεί να περιέχει και ηλεκτρογεννήτρια για την τροφοδότηση του van.

Η παρούσα εργασία έχει ως αντικείμενο την μελέτη μιας τηλεοπτικής μονάδας εξωτερικών μεταδόσεων. Η μελέτη αυτή περιλαμβάνει την αναλυτική παρουσίαση της δομής και λειτουργίας της μονάδας. Επίσης στη μελέτη περιλαμβάνονται και η παρουσίαση των μεθόδων μεταφοράς σήματος SDI αλλά και των δυσκολιών που προκύπτουν λόγω του τρόπου μεταφοράς του σήματος ή της ποιότητας των καλωδίων.

Στόχος της εργασίας είναι να γίνει περιγραφή της μονάδας εξωτερικών μεταδόσεων και των δυσκολιών και προκλήσεων στη μεταφορά σήματος SDI. Ειδικότερα επιμέρους στόχο αποτελεί η αναλυτική περιγραφή των μεθόδων μέτρησης μεταφοράς σήματος SDI μέσω τριών διαφορετικών τρόπων μεταφοράς και η πραγματοποίηση μετρήσεων σε πραγματικές συνθήκες. Επιπλέον ένα επιμέρους στόχο αποτελεί η εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων ώστε να αποτελούν σημείο αναφοράς για του τεχνικούς του κλάδου.

Βασικός σκοπός της εργασίας είναι η ανάδειξη της σημασίας του ελέγχου των καλωδίων πριν από κάθε μετάδοση και η υιοθέτηση των μεθόδων μέτρησης και των συμπερασμάτων από μονάδες εξωτερικών μεταδόσεων από επαγγελματίες του κλάδου όπως τηλεοπτικοί σταθμοί, εταιρείες παραγωγής κ.α στην Ελλάδα ή στο εξωτερικό.

Η εργασία διακρίνεται σε πέντε κεφάλαια:

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται συνολική ανάλυση της μονάδας εξωτερικών μεταδόσεων. Αρχικά περιγράφονται τα βήματα κατασκευής της, στην συνέχεια γίνεται

ανάλυση της δομής και των μηχανημάτων που αποτελείται. Γίνεται παρουσίαση της ροής του σήματος από την μονάδα εξωτερικών μεταδόσεων μέχρι τον τηλεθεατή. Στο τέλος γίνεται παρουσίαση των βημάτων για την προετοιμασία μιας παραγωγής. Αμέσως μετά παρουσιάζονται οι προκλήσεις που αντιμετωπίζουν καθημερινά οι μηχανικοί για να μεταφέρουν τα σήματα SDI από το van προς το χώρο της παραγωγής.

Στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζεται μια θεωρητική περιγραφή της μελέτης που πρέπει να γίνει σχετικά με την μεταφορά σήματος SDI και κατά πόσο αυτή επηρεάζεται από την καταπόνησή του καλωδίου αλλά και από το μέσο μεταφοράς. Αρχικά καταγράφονται τα όργανα και οι συσκευές που θα χρησιμοποιηθούν για την μελέτη. Στη συνέχεια περιγράφονται αναλυτικά τα βήματα για την μελέτη μεταφοράς σήματος SDI μέσω ομοαξονικού καλωδίου, οπτικής ίνας και μέσω σύνδεση CCU και κάμερας (υβριδικό καλώδιο).

Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται η πρακτική εφαρμογή της μελέτης που περιεγράφηκε στο κεφάλαιο 2. Έτσι περιγράφονται οι μετρήσεις για μεταφορά σήματος SDI μέσω ομοαξονικών καλωδίων, οπτικών ινών και υβριδικών καλωδίων (σύνδεσης CCU με κάμερα) και καταγράφονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων.

Στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται ανάλυση των αποτελεσμάτων του προηγούμενου κεφαλαίου με την βοήθεια γραφικών παραστάσεων. Επίσης από την ανάλυση αυτή εξάγονται ενδιαφέροντα συμπεράσματα για την το πόσο επηρεάζεται το μεταφερόμενο σήμα από την ποιότητα και το μήκος του καλωδίου, από τις καταπονήσεις και τον τρόπο μεταφοράς.

Στο πέμπτο κεφάλαιο γίνεται μια αποτίμηση της επίτευξης των στόχων και των σκοπών αυτής της εργασίας και εξάγονται και τα συνολικά συμπεράσματα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1:

Ανάλυση μονάδας εξωτερικών μεταδόσεων

Από την εφεύρεση της τηλεόρασης και στα πρώτα χρόνια λειτουργίας της όλες οι παραγωγές γινόταν μέσα σε τηλεοπτικό στούντιο με μόνιμα εγκατεστημένα μηχανήματα. Περνώντας τα χρόνια δημιουργήθηκε η ανάγκη να γίνουν παράγωγες και εκτός στούντιο ή να καλυφθεί τηλεοπτικά ένα μεγάλο γεγονός. Για αυτό το λόγο δημιουργήθηκε η μονάδα εξωτερικών μεταδόσεων (Outside Broadcast Van - OBvan). Η μονάδα εξωτερικών μεταδόσεων είναι ένα φορτηγό διαμορφωμένο εσωτερικά κατάλληλα ώστε να περιλαμβάνει ότι ένα control room τηλεόρασης ώστε να μπορεί να κάνει μια παραγωγή. Η πρώτη μονάδα τηλεοπτικών μεταδόσεων που δημιουργήθηκε ήταν το 1937 [2] με αφορμή την στέψη του Βασιλιά και της Βασίλισσας από το BBC. Καθώς περνούσαν τα χρόνια οι μονάδες αυτές γίνονταν όλο και καλύτερα εξοπλισμένες και αναβαθμιζόταν συνεχώς. Η ανάγκη να καλυφθούν τηλεοπτικά μεγάλα γεγονότα όπως Ολυμπιακοί Αγώνες εξέλιξαν την βιομηχανία των μονάδων εξωτερικών μεταδόσεων.

Σε αυτό το κεφάλαιο θα γίνει ανάλυση μιας μονάδας εξωτερικών μεταδόσεων (van) από την κατασκευή μέχρι τη χρήση της. Αρχικά θα γίνει παρουσίαση της μελέτης και της κατασκευής της και στη συνέχεια θα γίνει ανάλυση της δομής και των μηχανημάτων που αποτελείται η μονάδα εξωτερικών μεταδόσεων. Στην συνέχεια θα γίνει μία παρουσίαση της ροής του σήματος από την μονάδα εξωτερικών μεταδόσεων μέχρι τον τηλεθεατή. Τέλος, θα παρουσιαστούν τα βήματα για την προετοιμασία μιας παραγωγής αλλά και οι προκλήσεις που αντιμετωπίζουν καθημερινά οι μηχανικοί για να μεταφέρουν τα σήματα SDI από την μονάδα εξωτερικών μεταδόσεων στο χώρο της παραγωγής.

1.1 Σχεδιασμός και Κατασκευή

Η κατασκευή μιας μονάδας εξωτερικών μεταδόσεων περιλαμβάνει κάποια σημαντικά τεχνικά βήματα μελετών και τεχνικών υλοποιήσεων. Ακολουθεί το γενικό περίγραμμα των βημάτων που θα γίνουν από τον σχεδιασμό μέχρι την πρώτη τηλεοπτική μετάδοση.

Το πρώτο βήμα είναι ο καθορισμός των αναγκών και του προϋπολογισμού. Για αυτό το λόγο γίνεται ο καθορισμός του πλαισίου των τηλεοπτικών παραγωγών που θα καλύπτει το van και έτσι αποφασίζονται ο αριθμός των καμερών και το μέγεθος του φορτηγού. Επίσης καθορίζεται το πλαίσιο του προϋπολογισμού που θα διατεθεί για την κατασκευή της μονάδας εξωτερικών μεταδόσεων.

Στην συνέχεια γίνεται η επιλογή του φορητού και από εδώ και στο εξής αρχίζει η μελέτη των μηχανικών για τα τελικά σχέδια. Έτσι πραγματοποιείται μελέτη αρχιτεκτονική για την διαρρύθμιση του χώρου, ηλεκτρομηχανολογική μελέτη για τα ηλεκτρολογικά και τον κλιματισμό του van και ηλεκτρονική μελέτη για τα μηχανήματα εικόνας, ήχου και δικτύου. Όταν είναι έτοιμα τα σχέδια αρχίζει η υλοποίηση της κατασκευής.

Στο τέλος όταν τελειώσει η κατασκευή, γίνονται δοκιμές με τους επαγγελματίες κάθε ειδικότητας και γίνονται διορθώσεις και βελτιώσεις. Μετά από αυτό το στάδιο η μονάδα εξωτερικών μεταδόσεων (van) είναι έτοιμη να υλοποιήσει την πρώτη παραγωγή.

Σε περίπτωση που υπάρχει μια μονάδα εξωτερικών μεταδόσεων με παλιότερης τεχνολογίας μηχανήματα μπορεί να γίνει ανακατασκευή και αναβάθμιση. Σε αυτή την περίπτωση δεν θα γίνει αγορά φορητού, και από τις μελέτες και τα σχέδια θα προκύψει αν θα κρατηθούν ανέπαφα το ηλεκτρολογικό μέρος και του κλιματισμού και ίσως και κάποιες από τις καλωδιώσεις εικόνας και ήχου.

Στις Εικόνα 1, Εικόνα 2, Εικόνα 3 φαίνεται η αναβάθμιση ενός van από SD σε HD που υλοποιήθηκε στην EPT A.E το 2021.



Εικόνα 1: Το πριν και το μετά χώρου παραγωγής εικόνας



Εικόνα 2: Το πριν και το μετά χώρου ρύθμιση εικόνας





Εικόνα 3: Φάση υλοποίησης αναβάθμισης OB VAN

1.2 Δομικά μέρη

Μια μονάδα εξωτερικών μεταδόσεων (van) εξωτερικά μοιάζει με ένα φορτηγό αλλά εσωτερικά είναι διαμορφωμένο με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε να υπάρχουν άνετες και εργονομικές θέσεις εργασίας για την κάθε απαραίτητη ειδικότητα που απαιτείται για την εκάστοτε τηλεοπτική παραγωγή. Έτσι χωροταξικά θα μπορούσαμε να χωρίσουμε το van σε βασικούς χώρους, που ανάλογα το μέγεθος του van μπορεί να μην είναι ευδιάκριτα χωρισμένοι αλλά σε κάθε van υπάρχουν οι συγκεκριμένες θέσεις εργασίας. Άρα ένα van είναι διαμορφωμένο και περιλαμβάνει τα εξής μέρη [3]:

- Ρύθμιση εικόνας
- Παραγωγή εικόνας (μίξη, σκηνοθέτης)
- Video replay και χώρος εγγραφών (recording)
- Ρύθμιση Ήχου
- Παραγωγή γραφικών ή τίτλων
- Τεχνική διαχείριση van – Τεχνικός προϊστάμενος (Technical Manager)
- Ηλεκτρολογικό μέρος
- Κλιματισμός
- Machine room (Χώρος μηχανημάτων)

Στις παρακάτω εικόνες [4] φαίνεται εξωτερικά ένα van (Εικόνα 4), μια κάτοψη ενός van που φαίνονται οι θέσεις εργασίας (Εικόνα 5), και μια εσωτερική άποψη ενός van (Εικόνα 6).



Εικόνα 4: Εξωτερική όψη ενός van



Εικόνα 5: : Εσωτερική κάτοψη ενός van



Εικόνα 6: Εσωτερική όψη ενός van

1.2.1 Ρύθμιση εικόνας

Στο χώρο αυτό γίνεται η ρύθμιση εικόνας των καμερών. Περιλαμβάνει 1 ή 2 ή και παραπάνω θέσεις εργασίας ανάλογα πόσες κάμερες υπάρχουν. Υπάρχει 1 multiviewer που απεικονίζονται όλες οι κάμερες και ίσως κάποια άλλα σήματά εικόνας. Κάθε θέση εργασίας έχει τα RCP (Remote Camera Panel) (χειριστήριο κάμερας) των καμερών, ένα monitor αναφοράς και παλμογράφο και vectorscope για την ρύθμιση της εικόνας. Το RCP είναι το χειριστήριο όπου ο ρυθμιστής εικόνας ρυθμίζει την κάμερα σε χρώμα, διάφραγμα, θερμοκρασία, gain, shutter, φίλτρα κ. α και τα μενού της κάμερας. Η σύνδεση του με το CCU της κάμερας γίνεται μέσω καλωδίου RS422 ή με 10pin στρογγυλό καλώδιο ανάλογα τα μοντέλο της κάμερας. Διαθέτει θύρα δικτύου και του ορίζουμε IP για να μπορούμε να διαχειριζόμαστε το RCP μέσω web interface εφαρμογής αλλά και το έλεγχο πολλών καμερών με ένα RCP. Στην Εικόνα 7 [5] φαίνεται η θέση εργασίας ρύθμισης εικόνας σε ένα van. Στην Εικόνα 8 φαίνεται το καλώδιο που συνδέει το RCP με το CCU (π.χ Panasonic) [6].



Εικόνα 7 : Θέση ρύθμισης σε van



Εικόνα 8: Καλώδιο σύνδεσης RCP με CCU

1.2.2 Παραγωγή εικόνας

Είναι από τα κεντρικότερα σημεία του βαν. Εκεί υπάρχει το panel της μίξης εικόνας και το κεντρικό multiviewer που γίνεται απεικόνιση όλων των πηγών που καταλήγουν στη μίξη. (κάμερες, γραφικά κτλ). Στην Εικόνα 9 [7] φαίνεται χώρος παραγωγής εικόνας σε ένα van.



Εικόνα 9: Χώρος παραγωγής εικόνας σε ένα van

1.2.3 Video replay και χώρος εγγράφων (recording)

Εκεί υπάρχουν 1 ή 2 ή και παραπάνω θέσεις εργασίας ανάλογα τις απαιτήσεις της παραγωγής. Κάθε θέση εργασίας έχει το χειριστήριο του μηχανήματος replay και monitor που απεικονίζει τις πηγές αναπαραγωγής και εγγραφής αλλά και οπτική απεικόνιση των ήχων που γράφονται ή αναπαράγονται. Στην Εικόνα 10 φαίνεται θέσεις εργασίας video replay [8].



Εικόνα 10: Θέσεις εργασίας video replay

Επίσης σε αυτό το χώρο υπάρχουν εγγραφείς σε σκληρό δίσκο, βίντεο, video server για εγγραφή του υλικού σε κάποια από τα παραπάνω μέσα. Όλες αυτές οι συσκευές διαθέτουν εισόδους και εξόδους τύπου bnc. Επίσης διαθέτουν είσοδο και έξοδο timecode και κάποια αυτά διαθέτουν θύρες RS422 για χρήση απομακρυσμένου χειριστηρίου ελέγχου (remote) άλλα και για tally.[9]. Στην Εικόνα 11 φαίνονται μια συστοιχία συσκευών εγγραφής σε δίσκο ssd.



Εικόνα 11: Συστοιχία συσκευών εγγραφής σε δίσκο ssd

1.2.4 Ρύθμιση Ήχου

Συνήθως είναι διαχωρισμένος χώρος από το υπόλοιπο van για να μην επηρεάζεται ο ηχολήπτης από άλλους ήχους και ομιλίες που υπάρχουν μέσα στο van. Στο χώρο αυτό υπάρχει το panel την κονσόλας ήχου. Επίσης υπάρχουν τα απαραίτητα εργαλεία για την διαχείριση , επεξεργασία και διανομή ήχου. Έτσι υπάρχουν διανομείς, delay, υβρίδια για τηλεφωνικές γραμμές, συσκευές αναπαραγωγής ήχου και άλλα που είναι απαραίτητα για κάθε είδους και απαίτησης τηλεοπτική μετάδοση. Επίσης στη θέση του ήχου υπάρχουν τα απαραίτητα monitor θέασης εικόνας που ο ηχολήπτης βλέπει την έξοδο του προγράμματος, κάποιες κάμερες ή και εξωτερικές πηγές που θα τον διευκολύνουν στην εργασία του. Στην Εικόνα 12 φαίνεται η θέση εργασίας της ρύθμισης ήχου [10].



Εικόνα 12: Θέση εργασίας της ρύθμισης ήχου

1.2.5 Παραγωγή Γραφικών ή τίτλων

Υπάρχει συνήθως μια θέση εργασίας σε κάθε van. Υπάρχει μια οθόνη και ένα υπολογιστής που λειτουργεί ως client του server του graphics generator που βρίσκεται στο machine room.

1.2.6 Τεχνική διαχείριση van – Τεχνικός προϊστάμενου (Technical Manager)

Συνήθως εκεί υπάρχει ένας υπολογιστής που ελέγχονται τα περισσότερα από τα μηχανήματα που υπάρχουν στο van μέσω web interface. Επίσης εκεί υπάρχει το κεντρικό χειριστήριο XY του κεντρικού router σημάτων εικόνας και ήχου για να γίνεται η διαχείριση όλων των εισερχομένων και εξερχομένων σημάτων. Υπάρχει επίσης ένα monitor αναφοράς με ένα παλμογράφο και audio monitor έτσι ώστε ο τεχνικός προϊστάμενος να μπορεί να ελέγξει εύκολα και με ακρίβεια οποιοδήποτε εισερχόμενο ή εξερχόμενο σήμα [11].

1.2.7 Ηλεκτρολογικό μέρος

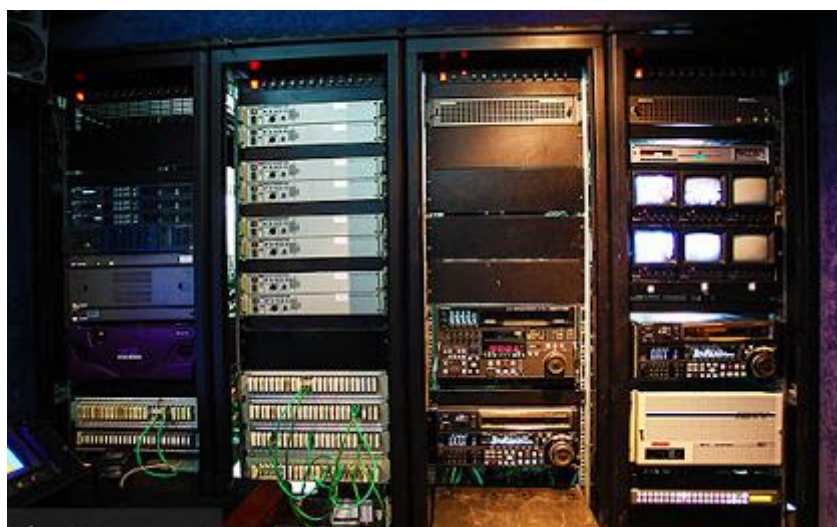
Αποτελείται από τον ηλεκτρολογικό πίνακα με ρελέ προστασίας και ασφαλοδιακόπτες που είναι κατανομημένα όλα τα ηλεκτρολογικά φορτία του van. Επίσης υπάρχουν μονάδες UPS που είναι συνδεδεμένες όλες οι συσκευές του van έτσι ώστε να παρέχουν αδιάληπτη λειτουργία σε περίπτωση διακοπής του ρεύματος. Για την τροφοδότησή του van με ρεύμα υπάρχει εξωτερικά μια αναμονή παροχής (συνήθως βύσμα Legrand 32A ή 63A) που μπαίνει στον ηλεκτρολογικό πίνακα. Για την ηλεκτροδότηση του van χρησιμοποιείτε μια παροχή του χώρου ή ηλεκτρογεννήτρια.

1.2.8 Κλιματισμός

Αποτελείται από τις μονάδες κλιματισμού του χώρου εργασίας αλλά και των μηχανημάτων. Είναι νευραλγικό σημείο του van αφού χωρίς καλή ψύξη των μηχανημάτων θα υπάρχει υπερθέρμανση αυτών και άρα βλάβη ή διακοπή του μηχανήματος για προστασία ανάφλεξης λόγω υπερθέρμανσης.

1.2.9 Machine room

Είναι ο χώρος που υπάρχουν rack και βρίσκονται όλα τα μηχανήματα. Συνήθως είναι ξεχωριστός χώρος και κλιματίζεται ξεχωριστά. Η ιδανική θερμοκρασία του machine room είναι όχι περισσότερο από 17οC [12]. Στην Εικόνα 13 φαίνεται machine room ενός van [13].



Εικόνα 13: Machine Room ενός van

Αναλυτικά στο machine room υπάρχουν:

- Video router
- Κονσόλα μίξης εικόνας
- CCU (Camera Control Unit)
- Γεννήτρια συγχρονισμού (SPG)
- Multiviewer (κεντρική μονάδα)

- Σύστημα video replay
- Graphics Generator
- Κονσόλα Μίξης ήχου
- Μονάδα ενδοεπικοινωνίας
- Glue υλικό
- Εξωτερικό Panel

1.2.9.1 Video Router

Κομβικό σημείο στη διαχείριση των σημάτων βίντεο στο βαν είναι το router. Συνήθως στα μεγάλα βαν είναι 96 εισόδων και 96 εξόδων (96x96) για να είναι επαρκής για τις ανάγκες κάθε παραγωγής. Στο router καταλήγουν όλα τα σήματα από τις κάμερες, τις εξωτερικές πηγές, τα βίντεο, server, υπολογιστές, replay, γραφικά κτλ και μπορούν να δρομολογηθούν σε οποιαδήποτε έξοδο του ρουτερ. Οι εξοδοί του router είναι οι εισοδοί της μίξης, τα multiviewer, εξωτερικοί προορισμοί, εισοδοί replay, embedder, deembeder, vda κτλ [9].

Οι εισοδοί και εξοδοί του router είναι τύπου bnc και μπορεί να διαχειριστεί σήματα όχι μόνο video αλλά και embedded (που περιέχουν ήχο). Το router έχει 1 ή περισσότερες θύρες δικτύου για διαχείριση μέσω web interface εφαρμογής. Επίσης μπορεί να έχει θύρα RS422 ή και δικτύου για να μπορεί να μιλάει με πρωτόκολλο TSL και UMD και tally interface [14].

Σε πολλά σημεία του βαν υπάρχουν χειριστήρια XY του router για να μπορεί ο τεχνικός να ελέγχει 1 ή και περισσότερες εισόδους ή εξόδους του router. Το κάθε χειριστήριο έχει μια μοναδική IP και έτσι η σύνδεση των χειριστηρίων γίνονται εύκολα μέσω καλωδίου UTP παρεμβάλλοντας ένα απλό switch.

Στην Εικόνα 14 φαίνεται η πίσω πλευρά σύνδεσης των καλωδίων ενός router και στην Εικόνα 15 φαίνονται μερικά χειριστήρια του router.



Εικόνα 14: Πίσω πλευρά σύνδεσης των καλωδίων ενός router



Εικόνα 15: Χειριστήρια του router

1.2.9.2 Κονσόλα μίξης εικόνας

Εδώ βρίσκεται το mainframe της κονσόλας μίξης. Οι είσοδοι και έξοδοι της κονσόλας μίξης είναι τύπου bnc και μπορεί να διαχειριστεί σήματα όχι μόνο video αλλά και embedded (που περιέχουν ήχο). Διαθέτει θύρες RS422 και 25pin για επικοινωνία Tally, GPI in, GPI out, TSL interface, UMD interface κτλ. [14] [9]. Επίσης διαθέτει θύρες UTP για επικοινωνία με το panel της μίξης που βρίσκεται στο χώρο της παραγωγής εικόνας, επικοινωνία με τα AUX panel αλλά και για διαχείριση της μίξης με web interface. Όλες τις σύγχρονες κονσόλες εικόνας διαθέτουν usb, esata για σύνδεση εξωτερικών μέσων αποθήκευσης για εισαγωγή δεδομένων από αυτά ή για εξαγωγή δεδομένων σε αυτά. Στις θύρες usb μπορεί να συνδεθούν πληκτρολόγιο και ποντίκι για πιο εύκολη πλοήγηση στα μενού της κονσόλας μίξης.

Στο mainframe της κονσόλας μίξης γίνονται η επεξεργασία, η διαχείριση, η αποθήκευση των εισερχόμενων και εξερχόμενων σημάτων. Το panel είναι μόνο για τον χειρισμό και κάθε εντολή που δίνεται από το panel μεταφέρεται σύγχρονα στο mainframe με το καλώδιο δικτύου που τα συνδέει. Έτσι το mainframe δεν μπορεί να λειτουργήσει χωρίς το panel και το αντίστροφο.

Στην Εικόνα 16 φαίνεται η πίσω πλευρά σύνδεσης των καλωδίων στο mainframe μιας κονσόλας εικόνας.



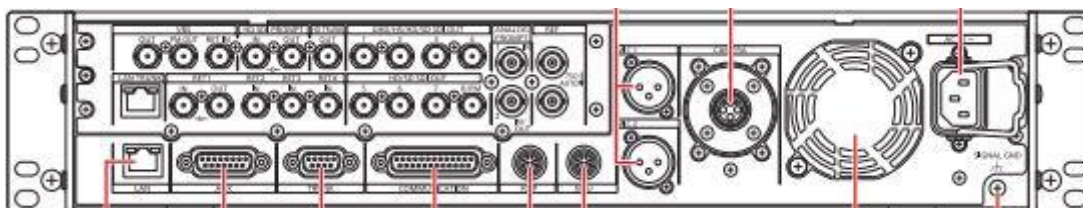
Εικόνα 16: Πίσω πλευρά σύνδεσης καλωδίων στο mainframe μιας κονσόλας εικόνας

1.2.9.3 CCU (Camera Control Unit)

Το CCU (Camera Control Unit) είναι το βασικό μέρος μια επαγγελματικής κάμερας αφού είναι υπεύθυνο για την τροφοδότηση της, διαχείριση των σημάτων εικόνας από και προς την κάμερα που μεταφέρονται με το καλώδιο σύνδεσης του CCU με την κάμερα αλλά και για τον έλεγχο διαφόρων παραμέτρων της κάμερας. Η σύνδεση CCU με τις σύγχρονες κάμερες γίνεται με υβριδικό οπτικό καλώδιο SMPTE 311. Υπάρχει

περίπτωση να συναντήσουμε και σύνδεση της κάμερας με το CCU με καλώδιο triax με βύσμα Lemo ή Fischer [15].

Το CCU έχει αρκετούς εξόδους bnc που έχουμε την εικόνα της κάμερας και μπορούν να παραμετροποιηθούν για την ποιότητα τους (SD, HD interlace or progressive, HD-HS, HD-HDR, UHD κτλ) . Έτσι μπορούμε να έχουμε παράλληλα την έξοδο της κάμερας σε διαφορετικό format. Επίσης υπάρχουν εξοδοι με data που εμφανίζονται τα μενού της κάμερας και τα μενού πληροφοριών. Αυτή η έξοδος πάει στο monitor ρύθμισης εικόνας για να μπορεί ο τεχνικός να διαχειρίζεται τα μενού χωρίς να φαίνεται κάτι στην κύρια έξοδο της κάμερας. Επίσης υπάρχουν εισοδοι video με βύσμα bnc που εκεί στέλνουμε συνήθως την έξοδο προγράμματος (PGM) για να μπορεί να την βλέπει ο οπερατέρ στην κάμερα . Επίσης υπάρχουν και άλλες εισοδοι στο CCU που μπορούμε να στείλουμε οποιοδήποτε σήμα και βγαίνουν σε εξόδους bnc που υπάρχουν στην camera.(πχ. prompter). Το CCU διαθέτει εξόδους ήχου XLR που εκεί έχουμε την έξοδο των μικροφώνων (ή των γραμμών) που είναι συνδεδεμένα στις ανάλογες εισόδους της κάμερας. Επίσης υπάρχουν θύρες RS422, 25pin για ενδοεπικοινωνία, tally. Η επικοινωνία του CCU με το RCP γίνεται με RS422 ή με 10pin στρογγυλό καλώδιο ανάλογα τα μοντέλο της κάμερας. Επίσης διαθέτει θύρα δικτύου για να μπορούμε να διαχειριζόμαστε το CCU μέσω web interface εφαρμογής. Στην Εικόνα 17 φαίνεται η πίσω πλευρά σύνδεσης των καλωδίων στο CCU [16].



Εικόνα 17: Πίσω πλευρά σύνδεσης των καλωδίων στο CCU

1.2.9.4 Γεννήτρια συγχρονισμού (SPG)

Η γεννήτρια συγχρονισμού SPG (Sync Pulse Generator) δίνει ένα παλμό συγχρονισμού και έτσι συγχρονίζονται όλα τα μηχανήματα που υπάρχουν στο van και έτσι όταν πάμε στην μίξη από την μια πηγή στην άλλη αποφεύγουμε να υπάρχει κύλιση της εικόνας ή «πήδημα». Συνήθως υπάρχουν 2 γεννήτριες συγχρονισμού με αυτόματο changerover σε περίπτωση αποτυχίας της 1 από τις 2. Η γεννήτρια έχει out σε βύσμα bnc που ένα από αυτά είναι ο παλμός συγχρονισμού (reference), ενώ άλλο είναι οι έγχρωμες μπάρες ή κάποια άλλα μοτίβα γεννήτριας σήματος. Επίσης έχει είσοδο από δέκτη gps για να δέχεται την ώρα και βγάζει έξοδο σε bnc και XLR το timecode. [17] Και ο παλμός συγχρονισμού και το timecode διανέμονται μέσω διανεμητών σε όλες τις συσκευές του van.

1.2.9.5 Multiviewer (κεντρική μονάδα)

Το multiviewer είναι η συσκευή που μπορεί να απεικονίσει πολλές εικόνες μαζί σε μια έξοδο (οθόνη). Είναι 1 κάρτα ή και περισσότερες 8/16/32 εισόδων τοποθετημένες σε ένα frame και μπορεί να βγάλει 1-4 εξόδους η κάθε κάρτα. Η σύνδεση των εισόδων είναι με bnc ή με mini bnc για οικονομία χώρου. Οι εξοδοί είναι hdmi ή και bnc. Έτσι η σύνδεση με τα monitor του multiviewer γίνεται με hdmi καλώδιο.

1.2.9.6 Σύστημα video replay

Εδώ βρίσκεται το frame του συστήματος video replay. Διαθέτει εισόδους για να δέχεται τα σήματα εικόνας που θα κάνει εγγραφή και εξόδους για να δίνει τα σήματα με το τελικό αποτέλεσμα της επεξεργασίας. Οι εισοδοί και εξοδοί του συστήματος replay είναι τύπου bnc. Επίσης μπορεί να έχει θύρα RS422 ή και δικτύου για να μπορεί να μιλάει με πρωτόκολλο TSL και UMD και tally interface. [14] Διαθέτει θύρες UTP για επικοινωνία με τα χειριστήρια. Διαθέτει θύρες usb για σύνδεση αποθηκευτικού μέσου για εισαγωγή εξαγωγή video και usb για σύνδεση ποντικιού και πληκτρολογίου. Όλα τα σύγχρονα μοντέλα συστημάτων video replay διαθέτουν δικό τους multiviewer και άρα έχουν εξόδους Hdmi ή sdi για την σύνδεση του monitor [18]. Στην Εικόνα 18 φαίνεται η πίσω πλευρά σύνδεσης των καλωδίων στο σύστημα video replay [19].



Εικόνα 18: Πίσω πλευρά σύνδεσης των καλωδίων στο σύστημα video replay

1.2.9.7 Graphics Generator

Εδώ βρίσκεται ο κεντρικός υπολογιστής (server) της γεννήτριας γραφικών. Με το κατάλληλο λογισμικό που περιέχει μπορεί να παράγει στατικά ή κινούμενα γραφικά που συναντάμε σε κάθε τηλεοπτική παραγωγή [20]. Έχει τις θύρες ενός κοινού υπολογιστή αλλά έχει και εξόδους για Fill , key (alpha channel) , preview του σήματος αλλά και είσοδο για reference που όλες είναι τύπου bnc. Διαθέτει θύρες utp για σύνδεση με ένα ή περισσότερους client που βρίσκεται στο χώρο παραγωγής του van ή και κάπου αλλού (πχ μέσα σε ένα γήπεδο). Επίσης διαθέτει θύρες RS422 ή και 25pin για GPI in και out και για Tally.

1.2.9.8 Κονσόλα Μίξης ήχου

Εδώ βρίσκεται η κεντρική μονάδα (mainframe) της κονσόλας μίξης ήχου. Η κονσόλα διαθέτει εισόδους και εξόδους XLR, BNC, οπτικές. Έτσι μπορεί να δεχτεί και να πάρει σήμα που να περιέχει ήχο σε οποιαδήποτε μορφή αναλογικό, AES, Embedded, οπτικό. Η σύνδεση του mainframe με το panel της κονσόλας που έχει μπροστά του ο ηχολήπτης συνδέεται με 2 οπτικές ίνες που η 2η είναι redundant της 1ης. Επίσης διαθέτει θύρες utp για να μπορεί να γίνει διαχείριση και παραμετροποίηση μέσω web interface εφαρμογής.

1.2.9.9 Μονάδα ενδοεπικοινωνίας

Εδώ βρίσκεται το mainframe της μονάδας ενδοεπικοινωνίας. Η μονάδα αυτή ελέγχει, επεξεργάζεται και δρομολογεί τα σήματα επικοινωνίας μεταξύ των θέσεων εργασίας μέσα στο van αλλά επικοινωνίας του van και με απομακρυσμένες θέσεις εργασίας (κάμερες, stage manager κτλ). Η μονάδα αυτή διαθέτει εισόδους και εξόδους XLR, BNC, οπτικές για την εισαγωγή και εξαγωγή των πηγών ήχου επικοινωνίας. Επίσης σε όλες τις θέσεις εργασίας υπάρχει ένα panel επικοινωνίας με μικρόφωνο και κουμπιά για με τον ποιον θα μιλήσεις κάθε φορά. Το mainframe έχει θύρες δικτύου utp για την επικοινωνία με τα panel της κάθε θέσης εργασίας αλλά και για να μπορεί να γίνει διαχείριση και παραμετροποίηση μέσω web interface εφαρμογής. Στην Εικόνα 19 φαίνεται το panel μιας μονάδας ενδοεπικοινωνίας [21].



Εικόνα 19: Το panel μιας μονάδας ενδοεπικοινωνίας

1.2.9.10 Glue υλικό

Υπάρχουν 2 ή περισσότερα frame που περιέχουν απαραίτητες κάρτες που χρειάζονται για την σύνδεση των συσκευών (για αυτό και όρος glue). Αυτές οι κάρτες είναι video distribution, up down converters, embedders, de-embedders, frame synchronizer, sdi to analog, analog to sdi, scan converter, hdmi to sdi, sdi to hdmi και άλλα. Οι κάρτες έχουν είσοδο και έξοδο με βύσμα bnc ή οπτική ίνα ανάλογα την ανάγκη μας. Κάθε frame που περιέχει διάφορες κάρτες (10-14) έχει θύρα δικτύου έτσι ώστε να μπορούμε να τις διαχειριζόμαστε από web interface εφαρμογή.

1.2.9.11 Εξωτερικό Panel

Στην εξωτερική μεριά του βαν υπάρχει patch panel. Εκεί υπάρχουν συνδέσεις για εύκολη είσοδο και έξοδο σημάτων εικόνας, ήχου, δικτύου, δεδομένων κτλ χωρίς να χρειαστεί να πάμε στο machine room ή στο πίσω μέρος των μηχανημάτων. Αρά υπάρχουν όλα τα είδη των συνδέσεων bnc, xlr, utp, οπτικές ίνες, υβριδικά, RS422, 15pin, hdmi, usb, πρίζες τροφοδοσίας κ.α. Επίσης υπάρχει ένα monitor εικόνας και ήχου για τον εύκολο έλεγχο των σημάτων. Στο patch panel π.χ της εικόνας θα βρούμε έξοδο της μίξης, έξοδο καμερών, είσοδο και έξοδο distribution, έξοδοι router, είσοδοι external, είσοδο router κ.α. Στην Εικόνα 20 φαίνεται το εξωτερικό patch panel του van.



Εικόνα 20: Εξωτερικό patch panel του van

1.3 Καλωδίωση

Όλη η καλωδίωση του van για μεταφορά σημάτων video ή embedded έχει γίνει σύμφωνα με το πρότυπο SMPTE-424M (3Gb/s) [22]. Τα καλώδια που χρησιμοποιούνται είναι συνήθως ομοαξονικά SDV-LFH-E της εταιρείας Canford [23] και η εσωτερική τους μορφή φαίνεται στην Εικόνα 21. Η μικρή τους διάμετρος (0.6/2.8) είναι πολύ μεγάλο πλεονέκτημα αφού έχουν μειωμένο όγκο άλλα και μειωμένο βάρος που είναι σημαντικό σε ένα van. Τα καλώδια αυτά ακολουθούν το πρότυπο SMPTE-424M [24] αλλά για μικρές αποστάσεις όπως μέσα στο van [25] είναι κατάλληλα και για το πρότυπο SMPTE-2081M (6Gb/s) και SMPTE-2082M (12Gb/s) [26] και άρα η καλωδίωσή θα είναι κατάλληλη για ενδεχόμενη αναβάθμιση σε UHD.

Όλη η καλωδίωση του ήχου έχει γίνει με καλώδιο FST-F της εταιρείας Canford [27] που είναι ποιοτικά και με μικρή διάμετρο (7/0,1mm) και άρα καταλαμβάνουν μικρότερο όγκο που είναι κρίσιμο σε ένα βαν. Η εσωτερική τους μορφή φαίνεται στην Εικόνα 22.

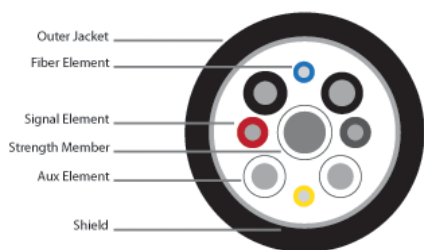
Τα καλώδια σύνδεσης των καμερών με τα CCU είναι υβριδικά οπτικά καλώδια SMPTE-311 [28] με βύσματα της εταιρείας Lemo SMPTE-304 [29]. Η εσωτερική μορφή και το βύσμα φαίνονται στην Εικόνα 23 [30] και στην Εικόνα 24 [31] αντίστοιχα.



Εικόνα 21: Εσωτερική μορφή καλωδίου Canford SDV-LFH-E



Εικόνα 22: Εσωτερική μορφή καλωδίου Canford FST-F



Εικόνα 23: Εσωτερική μορφή υβριδικού οπτικού καλωδίου SMPTE-311



Εικόνα 24: Βύσμα SMPTE-304

Σε κάποια van αντί για υβριδικά οπτικά καλώδια υπάρχουν καλώδια Triax [32] με βύσμα Lemo [33] ή Fischer [34]. Στην Εικόνα 25 φαίνεται βύσματα Lemo και στην Εικόνα 26 βύσματα Fischer αντίστοιχα.



Εικόνα 25: Βύσματα Lemo



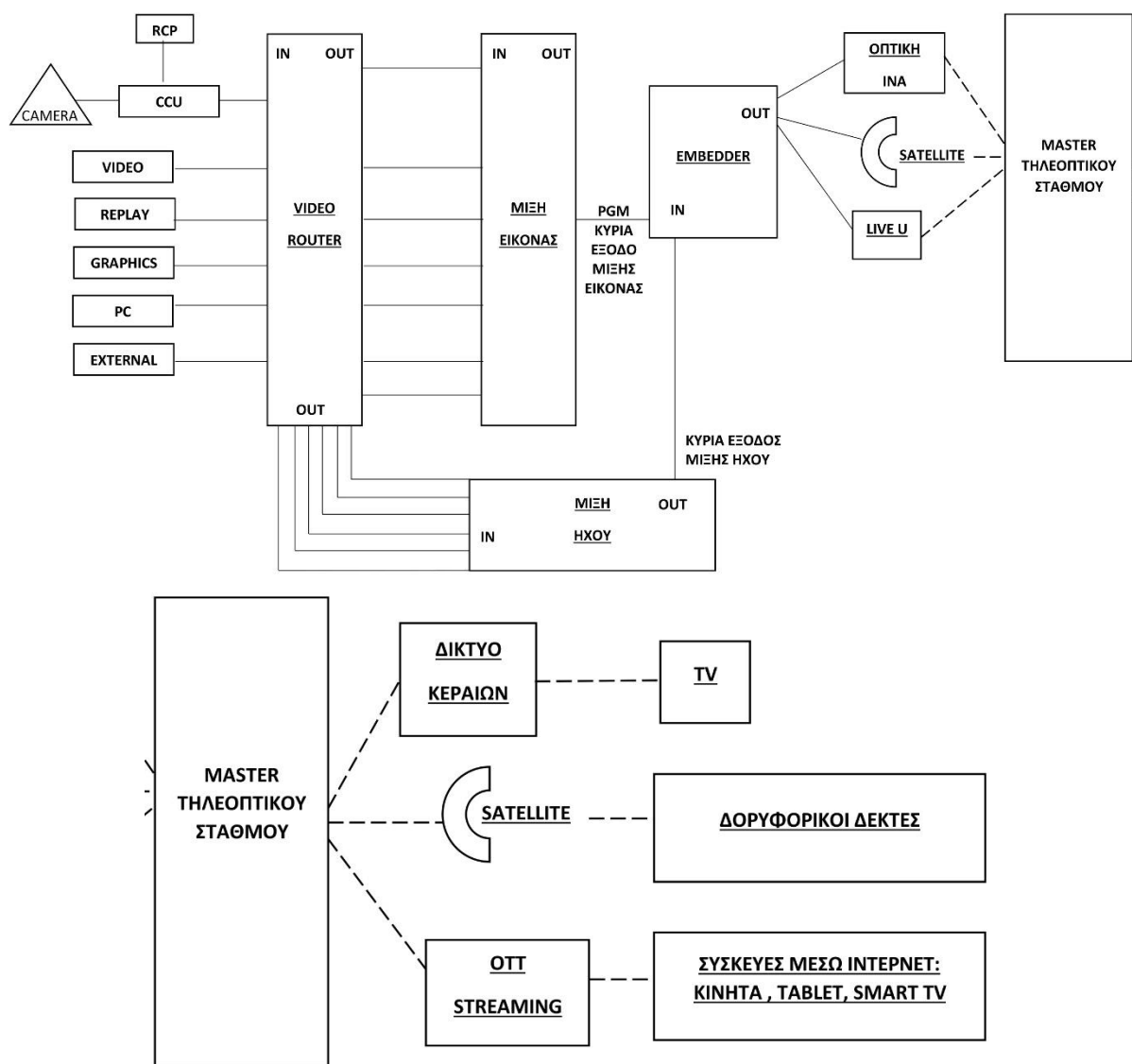
Εικόνα 26: Βύσματα Fischer

Όλες οι συσκευές του van έχουν διπλά τροφοδοτικά έτσι αν αποτύχει το ένα να λειτουργήσει το άλλο. Συνήθως το καθένα τροφοδοτικό συνδέεται με διαφορετική πηγή ρεύματος για λόγους ασφαλείας (2 διαφορετικά UPS ή το ένα στο UPS και το άλλο στην εξωτερική τροφοδοσία).

Όλες οι συσκευές του van έχουν ρυθμιστεί να έχουν μοναδική static ip και όλες μπορούν να διαχειριστούν από web interface εφαρμογές. Για την καλωδίωσή τους χρησιμοποιούνται καλώδια utp cat6 και όλα καταλήγουν σε gigabit switch ενωμένα μεταξύ τους.

1.4 Ροή σήματος από την έξοδο στον τελικό δέκτη

Καθημερινά γίνονται χιλιάδες τηλεοπτικές παραγωγές και υπάρχουν εκατομμύρια τηλεθεατών που τις παρακολουθούν είτε ζωντανά είτε σε επανάληψη. Παραπάνω έγινε περιγραφή των μηχανημάτων μια εξωτερικής μονάδας τηλεοπτικών μεταδόσεων. Αλλά πως φτάνει το σήμα από την κάμερα μέχρι τον τελικό τηλεθεατή. Στο παρακάτω σχεδιάγραμμα (Σχήμα 1) φαίνεται η ροή του σήματος από την κάμερα ή μια άλλη πηγή μέσω της μονάδας εξωτερικών μεταδόσεων καταλήγει στην οπτική ίνα ή στο δορυφόρο ή στη μονάδα τύπου LiveU και από εκεί μέσω του master του σταθμού στον τελικό δέκτη (τηλεόραση, κινητό, tablet κτλ).



Σχήμα 1: Ροή σήματος

Αναλυτικά τα σήματα εικόνας και ήχου έρχονται από την κάμερα, το video, server, video replay, graphics, εξωτερικές πηγές κ.α και μπαίνουν στο κεντρικό router του van και μέσω αυτού καταλήγουν στην κονσόλα μίξης ήχου και εικόνας. Μετά την μίξη και επεξεργασία που γίνεται εκεί η κύρια έξοδος της κονσόλας μίξης εικόνας και η κύρια έξοδος της κονσόλας μίξης ήχου εισέρχονται σε έναν embedder που τα διαμορφώνει σε ένα ενιαίο embedded σήμα. Αυτό το σήμα είναι και το τελικό σήμα που πάει στην οπτική ίνα ή στον δορυφόρο για να καταλήξει στο master control του σταθμού. Από εκεί ακολουθεί 3 δρόμους:

- Πηγαίνει στους πομπούς που βρίσκονται σε όλη την επικράτεια και ο τηλεθεατής βλέπει το τηλεοπτικό προϊόν μέσω της τηλεόρασης.
- Εκπέμπεται δορυφορικά και ο τηλεθεατής βλέπει το προϊόν έχοντας δορυφορικό δέκτη.
- Μέσω υπηρεσίας streaming ή OTT (Over The Top) [35] (πχ. Ertflix) και ο τηλεθεατής βλέπει το προϊόν σε κινητό, tablet ή smart TV ζωντανά ή αργότερα on demand.

1.5 Προετοιμασία μιας τηλεοπτικής παραγωγής

Μια μονάδα εξωτερικών μεταδόσεων καλείται να καλύψει οποιουδήποτε είδος παραγωγές σε οποιονδήποτε χώρο σε ολόκληρο τον κόσμο. Οι πιο συνηθισμένες παραγωγές μπορεί να είναι ένα αθλητικό γεγονός, μια συναυλία, ένα πολιτικό γεγονός κτλ σε ένα συγκεκριμένο χώρο που είτε είναι εξωτερικός είτε εσωτερικός (κλειστό γήπεδο, αίθουσα, θέατρο κτλ). Πριν την έναρξη της κάθε παραγωγής (ανεξαρτήτου μεγέθους) γίνεται προετοιμασία της παραγωγής που αυτό περιλαμβάνει σχεδίαση και μελέτη των απαιτήσεων της συγκεκριμένης παραγωγής αλλά και τις ιδιαιτερότητες του χώρου [36]. Από την παραπάνω μελέτη προκύπτουν τα τελικά πλάνα για τα παρακάτω:

- θέσεις των καμερών
- των μικροφώνων
- σημάτων ήχου
- σημάτων video ή embedded
- δικτύου και διάφορων άλλα σήματα (tally, trigger,gpo,gpi κτλ)
- για φώτα
- για παροχές ρεύματος
- την διαδρομή όδευσης των καλωδίων

Στη συνέχεια γίνεται η εγκατάσταση όλων των παραπάνω και γίνονται μετρήσεις και δοκιμές πριν την έναρξη κάθε παραγωγής.

1.5.1 Πλάνο θέσεων καμερών (Camera plan)

Ο σκηνοθέτης βασιζόμενος στις ανάγκες της παραγωγής αποφασίζει για τον αριθμό και την θέση των καμερών. Μετά από συνεργασία του σκηνοθέτη με τους με τους τεχνικούς αποφασίζεται οι φακοί που θα απαιτηθούν για κάθε κάμερα και το είδος της κάμερας (σταθερή, φορητή, ασύρματη, steady, triangle, supertechno κτλ) ανάλογα με τις ανάγκες της παραγωγής. Στην Εικόνα 27 φαίνεται το camera plan του τελικού 2023 του UEFA Champions League [37].

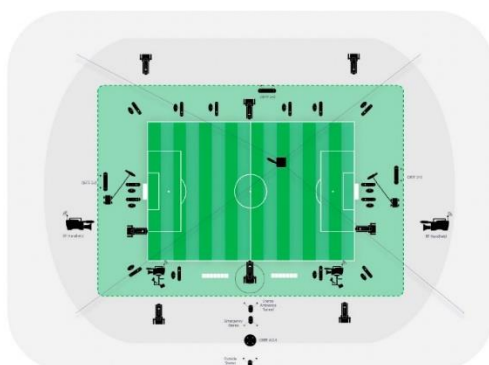
Όλες οι καλωδιακές κάμερες καλωδιώνονται με υβριδικά οπτικά καλώδια SMPTE-311 [28] με βύσματα της εταιρείας Lemo SMPTE-304 [29]. Για τις ασύρματες κάμερες γίνεται η εγκατάσταση των απαραίτητων κεραιών και δεκτών έτσι ώστε να γίνεται αξιόπιστα και η μετάδοση της εικόνας και ο έλεγχος της κάμερας για την ρύθμιση της εικόνας από το van.



Εικόνα 27: Camera plan UEFA Champions League final 2023

1.5.2 Πλάνο των μικροφώνων (mic plan)

Ο μηχανικός ήχου μελετάει τις ανάγκες κάθε παραγωγής και επιλέγει την θέση των μικροφώνων και το είδος των μικροφώνων (κατευθυντικά, gun, δυναμικά, πυκνωτικά, ασύρματα κ.α.) [38]. Τα μικρόφωνα καλωδιώνονται είτε με καλώδιο με βύσματα Canon XLR, είτε με καλώδιο δικτύου αν χρησιμοποιείται πρωτόκολλο Dante [39] ή ανάλογο πρωτόκολλο ή μέσω κάμερας από τις εισόδους μικροφώνου της. Στην Εικόνα 28 φαίνεται το camera plan του FIFA World Cup 2022 [40].



Εικόνα 28 : Microphone plan FIFA World Cup 2022

1.5.3 Πλάνο σημάτων ήχου

Ο μηχανικός ήχου ενημερώνεται για τις ανάγκες ήχου στο χώρο της παραγωγής και καταστρώνει το πλάνο πως θα μεταφέρει αυτά τα σήματα. Τα κυριότερα σήματα ήχου που χρειάζονται σε μια παραγωγή είναι:

- Σήμα ήχου από και προς τις θέσεις των σχολιαστών (commentary position). Το συναντάμε πάντα σε αθλητικές μεταδόσεις αλλά μπορεί να χρειαστεί και σε άλλου τύπου μεταδόσεις (Eurovision κ.α.). Συνήθως η κάθε θέση έχει από 1-4 κάσκες (μικρόφωνα-ακουστικό) [41]. Καλωδιώνεται με καλώδιο XLR ή αν μέσω δικτύου αν είναι συμβατή με Dante ή ανάλογο πρωτόκολλο.
- Σήμα ήχου για ενδοεπικοινωνία μεταξύ ατόμων (δημοσιογράφων, τεχνικών κτλ) στο χώρο της παραγωγής με το van. Χρησιμοποιούνται μονάδες ενσύρματης ή ασύρματης επικοινωνίας και καλωδιώνονται με καλώδιο XLR ή αν μέσω δικτύου αν είναι συμβατή με Dante ή ανάλογο πρωτόκολλο.
- Σήματα ήχου για ηχεία ή για κονσόλα ήχου που βρίσκεται στο χώρο της παραγωγής και χρειάζεται το ήχο της εξόδου του van για να οδηγήσει ηχεία, ακουστικά κτλ.

1.5.4 Πλάνο video ή embedded σημάτων

Ο μηχανικός εικόνας ή ο τεχνικός υπεύθυνος του van ενημερώνεται για τις ανάγκες σημάτων video στο χώρο της παραγωγής και σχεδιάζει τον τρόπο που θα μεταφέρει αυτά τα σήματα.

Τα κυριότερα σήματα video ή embedded που χρειάζονται σε μια παραγωγή είναι:

- Για τις θέσεις σχολιαστών.
- Για οθόνες, video wall, projector κ.α.
- Σήματα video κάποιων καμερών για να χρησιμοποιηθούν από μίξη εικόνας της παραγωγής.
- Σήμα video από μικροκάμερες ή ρομποτικές (PTZ) προς το van.

Η μεταφορά των σημάτων γίνεται κυρίως με ομοαξονικά καλώδια με βύσμα BNC. Η ανάγκη για μεταφορά σημάτων υψηλής ευκρίνειας (HD) ή υπερύψηλης ευκρίνειας (UHD) είναι μια συνεχής πρόκληση έτσι ώστε να μην ξεπεραστούν οι περιορισμοί που θέτει το πρότυπο SMPTE 292 [42] σχετικά με τις αποστάσεις για ποιοτικό σήμα. Εναλλακτικά για την μεταφορά σημάτων video και embedded χρησιμοποιείται οπτική ίνα με τους ανάλογους μετατροπείς ή μεταφορά σημάτων γίνεται μέσω της κάμερας και του CCU που συνδέεται με μεταξύ τους με υβριδικό καλώδιο [16] [43]. Άρα πολύ κρίσιμη για την επιλογή του μέσου μεταφοράς είναι η σωστή μελέτη των απαιτήσεων και των δεδομένων από το μηχανικό.

1.5.5 Πλάνο για σήματα δικτύου και διάφορων άλλων σημάτων

Ο μηχανικός σύμφωνα με τις ανάγκες της παραγωγής σχεδιάζει ένα πλάνο των σημάτων δικτύου και άλλων σημάτων που θα χρειαστούν με τα κυριότερα να είναι:

- Δίκτυο για μεταφορά δεδομένων ή αρχείων μεταξύ του χώρου παραγωγής και του van που μπορεί να χρησιμοποιηθούν από μονάδες graphics ή γεννήτριες χαρακτήρων ή και από άλλες μονάδες.
- Δίκτυο για τον έλεγχο ή σύνδεση μηχανημάτων που βρίσκονται στο χώρο παραγωγής με το van (Ρομποτική κάμερα PTZ, εξωτερικό aux panel, router panel, χειριστήριο replay κ.α.
- Μεταφορά ήχου μέσω πρωτοκόλλου Dante ή άλλου ανάλογου.

Για τις παραπάνω περιπτώσεις χρησιμοποιείται καλώδιο UTP κατά προτίμηση CAT 6 ή μεγαλύτερη τερματισμένα σε βύσμα RJ45 σύμφωνα με τον κανονισμό T568A [46].

- Επίσης υπάρχει η ανάγκη μεταφοράς διάφορων άλλων σημάτων όπως tally, trigger, gro, gri κτλ που χρησιμοποιείται συνήθως καλώδιο utp και όσοι από τους εσωτερικούς αγωγούς του καλωδίου χρειάζονται, συνδέονται απευθείας στο κάθε μηχανήμα.

1.5.6 Πλάνο για φωτιστικά σώματα

Ο διευθυντής φωτογραφίας αφού ενημερωθεί για τις ανάγκες τις παραγωγής σχεδιάζει το πλάνο των φωτιστικών σωμάτων [47]. Σε συνεργασία με τον ηλεκτρολόγο τοποθετεί τα φώτα σύμφωνα με το σχέδιο και τα τροφοδοτεί με ρεύμα. Τα φωτιστικά σώματα μπορεί να είναι αυτόνομα ή να συνδέονται σε κονσόλα φωτισμού με καλώδια DMX [48] και ελέγχονται συνολικά και απομακρυσμένα από την κονσόλα φωτισμού.

1.5.7 Πλάνο για παροχές ρεύματος

Ο μηχανικός ηλεκτρολόγος ενημερώνετε για τις ανάγκες τις παραγωγής και σχεδιάζει το πλάνο των παροχών ρεύματος [49].

Οι κυριότερες παροχές ρεύματος που χρειάζονται για μια παραγωγή είναι:

- Παροχή για την επαρκή ηλεκτροδότηση του van.
- Παροχές για τα φωτιστικά σώματα.
- Παροχές για τις θέσεις σχολιαστών. Συνήθως είναι από το ups του van για αδιάλειπτη λειτουργία αλλά και για να έχουν κοινή γείωση ώστε να μην υπάρχει διαφορά δυναμικού.
- Παροχές για μηχανήματα ήχου, εικόνες, ρομποτικές κάμερες ή μικροκάμερες κτλ που βρίσκονται στο χώρο της παραγωγής.

1.5.8 Πλάνο για την διαδρομή όδευση των καλωδίων

Όλοι τεχνικοί αφού έχουν μελετήσει τις ανάγκες και έχουν κάνει τα ανάλογα πλάνα συνεργάζονται έτσι ώστε να βρουν τις πιο κατάλληλες διαδρομές όδευσης καλωδίων από το βαν μέχρι το σημείο της παραγωγής. Είναι σημαντικό να γίνει σωστή μελέτη ώστε να βρεθεί η κοντινότερη διαδρομή αλλά συγχρόνως να είναι ασφαλή για την διέλευση των ανθρώπων που θα κινηθούν στο χώρο αλλά και την ασφάλεια των καλωδίων από καταστροφή.

1.6 Προκλήσεις στην μεταφορά σήματος SDI

Σήμερα για την μεταφορά ψηφιακών σημάτων video (που μπορεί να είναι embedded) μεταξύ των συσκευών χρησιμοποιείται το πρότυπο SDI (Serial Digital Interface) που τυποποιήθηκε για πρώτη φορά από την SMPTE (The Society of Motion Picture and Television Engineers) το 1989 [50]. Στην συνέχεια λόγω των αυξανόμενων αναγκών για υψηλότερες αναλύσεις εικόνας τυποποιήθηκαν νέα πρότυπα SDI (SD-SDI, HD-SDI, UHD-SDI) [51]. Η τυποποίηση για σήματα υψηλής ευκρίνειας και ρυθμό δεδομένων 1,485 Gbit/s τυποποιήθηκε στο SMPTE 292M [42] και αυτό το πρότυπο χρησιμοποιείται κατά κόρον στις μέρες μας.

Οι λόγοι που οδήγησαν να επικρατήσει το πρότυπο SDI στην πάροδο των χρόνων και να χρησιμοποιείται παντού στην βιομηχανία της εικόνας σήμερα είναι πρακτικοί. Ένας και από τους κυριότερους λόγους ήταν η δυνατότητα της επαναχρησιμοποίησης των υφιστάμενων υποδομών (patch panel, bnc connector κ.α). Επίσης σημαντικό ρόλο έπαιξε η δυνατότητα μεταφοράς ασυμπιεστων σημάτων, η χαμηλή καθυστέρηση, η αξιοπιστία του προτύπου και σε γενικές γραμμές ο οικονομικός τρόπος εφαρμογής [52].

Για την μεταφορά σημάτων SDI χρησιμοποιούνται ομοαξονικά καλώδια ονομαστικής αντίστασης 75Ω και ο τερματισμός γίνεται σε βύσμα BNC [53]. Τα καλώδια και τα βύσματα πρέπει να πληρούν τις προϋποθέσεις και τους περιορισμούς που δίνονται στο ITU-R BT.1120-7 [54]. Στο εμπόριο κυκλοφορούν διάφοροι τύποι καλωδίων το καθένα με διαφορετικά τεχνικά χαρακτηριστικά (εξασθένηση, απώλειες επιστροφής κ.α). Τα διαφορετικά αυτά χαρακτηριστικά, τους επιτρέπουν την μεταφορά σημάτων SDI σε συγκεκριμένο μήκος καλωδίων. Ανάλογα με το ρυθμό μετάδοσης δεδομένων SD (270Mb/s), HD (1,5 Gb/s) και 3 Gb/s και τα διαφορετικά χαρακτηριστικά κάθε καλωδίου, είναι διαφορετική η μέγιστη απόσταση που μπορεί να μεταφερθεί το σήμα σύμφωνα με το ITU-R BT.1120-7 [54].

Στην Εικόνα 29 φαίνεται μερικοί τύποι καλωδίων που χρησιμοποιούνται ευρέως στην τηλεοπτική βιομηχανία και το μέγιστο μήκος τους για διαφορετικούς ρυθμούς μετάδοσης (SD, HD, 3G) [55].

Cable Type	3 Gb/s-SDI		HD-SDI		SD-SDI	
	Feet	Meters	Feet	Meters	Feet	Meters
Belden 8281			260	79	1000	305
Belden 1694A	250	76	364	111	1339	408
Belden1855A	154	47	209	64	732	223
Belden 1505A	215	66	308	94	1111	339
Image 1000					1325	404
Canare L-5CFB					1210 (max)	368

Εικόνα 29: Δημοφιλής τύποι καλωδίων και το μέγιστο επιτρεπτό μήκος τους

Ανάλογα με τον τύπου του καλωδίου και την εξασθένιση που δίνεται από τον κατασκευαστή μπορεί να υπολογιστεί το μέγιστο μήκος καλωδίου. Σύμφωνα με SMPTE ST 292-1 [42] για να γίνει ο υπολογισμός της μέγιστης απόστασης, η μέγιστη εξασθένιση του σήματος από το καλώδιο δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 20dB στο μισό της συχνότητας του ρολογιού.

Στο πρότυπο ITU-R BT.1120-7 [54] ορίζονται και μερικά ακόμη χαρακτηριστικά του καλωδίου και του συνδέσμου (BNC). Έτσι το καλώδιο και ο σύνδεσμος πρέπει να έχουν απώλεια επιστροφής (return loss) $\geq 15\text{dB}$. Όσο υψηλότερη είναι η μετρούμενη τιμή της απώλειας επιστροφής σε μια διασύνδεση, τόσο καλύτερη είναι η αντίσταση της διασύνδεσης με την υποδομή [56]. Συνήθως όλα τα δημοφιλή καλώδια και οι δημοφιλής σύνδεσμοι που χρησιμοποιούνται στην τηλεοπτική βιομηχανία δεν ξεφεύγουν από τα όρια που θέτει το πρότυπο. Τα καλώδια και οι σύνδεσμοι μεταξύ τους διαφέρουν και έτσι ο μηχανικός καλείται να μελετήσει τα χαρακτηριστικά τους σε σχέση με τις ανάγκες πριν την τελική του απόφαση αγοράς ή χρήσης τους.

Κατά την εγκατάσταση και χρήση του καλωδίου ο μηχανικός θα πρέπει να προσέξει και μερικά ακόμα χαρακτηριστικά που μπορεί να επηρεάσουν την απόδοση του [55]. Τα κυριότερα από αυτά είναι:

- Η θερμοκρασία του περιβάλλοντος που γίνεται χρήση του καλωδίου πρέπει να είναι στα προβλεπόμενα όρια θερμοκρασίας από τον κατασκευαστή. Σε διαφορετική περίπτωση η συμπεριφορά του καλωδίου θα είναι απρόβλεπτη. Για τους μηχανικούς της μονάδας εξωτερικών μεταδόσεων είναι ένα στοιχείο πολύ κρίσιμο που πρέπει να λαμβάνετε σοβαρά υπόψιν λόγω ότι οι περισσότερες παραγωγές γίνονται σε εξωτερικό περιβάλλον.
- Η επιλογή του βύσματος BNC θα πρέπει να γίνεται σύμφωνα με την καταλληλότητα για τις συγκεκριμένες διαστάσεις καλωδίου και να προτιμώνται αυτό που προτείνει ο κατασκευαστής του καλωδίου.
- Η σωστή κοπή και η απογύμνωση του καλωδίου στα σημεία όπου συνδέονται οι σύνδεσμοι είναι ζωτικής σημασίας για την ποιότητα του σήματος που μεταφέρετε.

- Ανάλογα με το πάχος του καλωδίου είναι διαφορετική η ακτίνα κάμψης / καμπυλότητας και η επιτρεπόμενη τάση έλξης και πρέπει να είναι πάντα σε ανεκτά όρια.
- Όταν γίνεται εγκατάσταση πολλών καλωδίων μαζί, το βάρος της δέσμης καλωδίων που πέφτουν σε κάθε καλώδιο μπορεί να το καταπονήσει και να επηρεάσει την ποιότητα του μεταφερόμενου σήματος.

Εκτός από τα διαφορετικά τεχνικά χαρακτηριστικά κάθε καλωδίου που τα δίνει ο κατασκευαστής, και τα χαρακτηριστικά που αναφέρθηκαν παραπάνω, υπάρχουν αρκετοί άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν το καλώδιο. Οι παράγοντες αυτοί κυρίως αφορούν τις μηχανικές καταπονήσεις που δεν είναι φυσικά ορατές αλλά επηρεάζουν την απόδοση του και άρα το μεταφερόμενο σήμα [55]. Οι πιο κρίσιμοι παράγοντες είναι:

- Η παραμόρφωση του σχήματος του καλωδίου, που δεν είναι φυσικά ορατό, από πέρασμα ενός καροτσιού εξοπλισμού ή οχήματος ή οτιδήποτε άλλου αντικειμένου πάνω από το καλώδιο. Αυτό θα επηρεάσει τις ιδιότητες διάδοσης του καλωδίου.
- Το πέρασμα του καλωδίου μέσα από αγωγούς συνεπάγεται και τράβηγμα. Αν υπερβεί η μέγιστη τάση έλξης θα τεντώσει και θα παραμορφωθεί. Και πάλι αυτό δεν θα φαίνεται με γυμνό μάτι αλλά θα επηρεάσει το μεταφερόμενο σήμα.
- Τα καλώδια για να αλλάξει η διαδρομή τους σε μια εγκατάσταση θα πρέπει να κάμπτονται. Το κάθε καλώδιο, ανάλογα τον τύπο του, έχει ελάχιστη ακτίνα κάμψης συνήθως 10 φορές τη διάμετρο του καλωδίου. Η υπέρβαση της ελάχιστης ακτίνας κάμψης θα προκαλέσει καταπόνηση και άρα δυσμενής αλλαγή στις ιδιότητες του. Σημειώστε ότι μια στροφή 90° του καλωδίου ισοδυναμεί με την προσθήκη επιπλέον 30 ποδιών καλωδίου στη φυσική διαδρομή του σήματος [55].
- Τα δερματικά καλωδίων μπορεί να προκαλέσουν παραμόρφωση, που μπορεί να μην φαίνεται ή άλλες φορές να είναι εμφανή αυτή η παραμόρφωση. Έτσι προτείνεται να μην σφίγγονται πολύ τα δερματικά, ώστε σε μια δέσμη καλωδίων να μπορεί κάθε καλώδιο να τραβηχτεί ξεχωριστά. Επίσης προτείνεται αντί για δερματικά καλωδίων να χρησιμοποιείται ταινίες Velcro® [56].

Οι μηχανικοί κατά την μελέτη, σχεδιασμό και εγκατάσταση μιας παραγωγής, εκτός από την επιλογή του κατάλληλου τύπου καλωδίου σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά του, και τα όρια που θέτουν τα πρότυπα είναι επιβεβλημένο να προσέξουν και όλους τους παραπάνω παράγοντες για τη διασφάλιση μιας ποιοτικής εγκατάστασης. Μια προσεκτική εγκατάσταση, που αποφεύγονται οι λανθασμένες πτυχώσεις, οι συστροφές, οι καμπύλες ή η καταπόνηση του καλωδίου, διασφαλίζει σε μεγάλο βαθμό στη διατήρηση της αρχικής φυσικής μορφής του καλωδίου και στη διατήρηση των ιδιοτήτων του. Αυτά θα εξασφαλίζουν βέλτιστη απόδοση και άρα ότι το σήμα SDI θα μεταδοθεί αξιόπιστα.

Δυστυχώς όμως, όσο προσεκτική και αν είναι η εγκατάσταση κατά την πάροδο του χρόνου η καταπόνηση του καλωδίου θα μεγαλώνει ακόμη και αν δεν θα είναι εμφανή με γυμνό μάτι. Έτσι η ποιότητα και η ακεραιότητα των εκπεμπόμενου σήματος δεν θα είναι καλή και σε αντίθεση με τα αναλογικά συστήματα τα ψηφιακά συστήματα τείνουν να

λειτουργούν χωρίς σφάλματα μέχρι να καταρρεύσουν με αποτέλεσμα να μην υπάρχει εμφανή προειδοποίηση για την βλάβη. Αυτό συμβαίνει γιατί το σήμα που μεταφέρετε, που είναι βίντεο ή και ήχος, αποτελείται από πολλά δείγματα δεδομένων. Μεμονωμένα λανθασμένα δείγματα θα οδηγήσουν στην καταστροφή ολόκληρων λέξεων δεδομένων άρα και γραμμών βίντεο [57]. Το αποτέλεσμα είναι η στιγμιαία ή επαναλαμβανόμενες διακοπές του video, σπινθηροβόλησης στην εικόνα, διακοπές γραμμών ή ακόμη και παγωμένες εικόνες [58].

Η καθημερινή πρόκληση των μηχανικών είναι να προλαβαίνουν αυτά τα προβλήματα και να γίνεται απρόσκοπτα η μετάδοση της εικόνας. Πολύ κρίσιμο είναι σε κάθε παραγωγή πριν την εγκατάσταση των καλωδίων να γίνονται μετρήσεις σε αυτά ώστε να διασφαλίζεται η αξιοπιστία τους και ότι λειτουργούν σύμφωνα με τις προδιαγραφές τους και μέσα στα όρια που ορίζουν τα πρότυπα SMPTE.

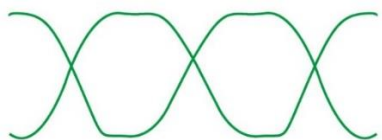
Ένα ανεκτίμητο εργαλείο για τη διερεύνηση προβλημάτων που εντοπίζονται στην μεταφορά σημάτων SDI είναι το «διάγραμμα ματιού» (eye display) [59]. Η εξοικείωση με τα χαρακτηριστικά της απεικόνισης αυτής και η ανάλυση σειριακών σημάτων δεδομένων μπορεί να βοηθήσει στον προσδιορισμό προβλημάτων. Τα όργανα που μπορούν να απεικονίσουν το «διάγραμμα ματιού» (eye display) είναι παλμογράφοι και όργανα μέτρησης σημάτων [57] [60] [61]. Στην Εικόνα 30 φαίνεται το eye display όπως εμφανίζεται στο φορητό όργανο Phabrics SxE [57].



Εικόνα 30: Το eye display όπως εμφανίζεται στο φορητό όργανο Phabrics SxE

Το eye display είναι η απεικόνιση που σχηματίζει το σχήμα ενός «ματιού» με την υπέρθεση πολλαπλών κύκλων ρολογιού σε μια οθόνη παλμογράφου ή αλλού κατάλληλου οργάνου.

Το ιδανικό eye display φαίνεται στην Εικόνα 31 [57] και ονομάζεται «ανοιχτό μάτι» (open eye) και αντιστοιχεί σε μέτρηση μικρού μήκους καλωδίου (συνήθως 1 μέτρο). Όσο αυξάνει οι παράγοντες που επηρεάζουν την ποιότητα του καλωδίου και αναφέρθηκαν παραπάνω (μήκος, τύπος, απώλειες, καταπόνηση κ.α) το «μάτι» κλείνει και ονομάζεται «κλειστό μάτι» (closed eye) και φαίνεται Εικόνα 32 [57].

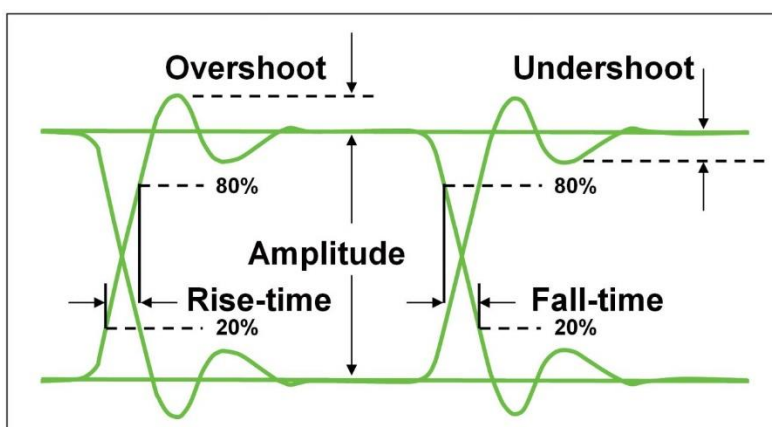


Εικόνα 31: «ανοιχτό μάτι» (open eye) - ιδανικό eye display



Εικόνα 32: «κλειστό μάτι» (closed eye)

Οι βασικοί παράμετροι που μπορούν να μετρηθούν από ένα eye display είναι το πλάτος του σήματος (amplitude), ο χρόνος ανόδου (rise time), ο χρόνος πτώσης (fall time), η υπέρβαση (overshoot) και η πτώση (undershoot) και φαίνονται στην Εικόνα 33 [57].



Εικόνα 33: Eye display με τις βασικές παραμέτρους που μπορούν να μετρηθούν

Το σχήμα του σήματος είναι κρίσιμο για τη σωστή αποκωδικοποίηση της ροής δεδομένων και για να εξασφαλιστεί αυτό, οι κρίσιμες παράμετροι ορίζονται στις προδιαγραφές SMPTE που αφορούν το συγκεκριμένο σήμα. Για σήματα HD-SDI (1,485Gbit/s) οι παράμετροι και οι ανοχές ορίζονται στο SMPTE ST 292-1 [42] και στο ITU-R BT.1120-7 [54].

Αναλυτικά σύμφωνα με τις παραπάνω προδιαγραφές οι μετρήσεις γίνονται στην πηγή σήματος με καλώδιο 1 μέτρου και θεωρούνται ιδανικές και χωρίς απώλειες. Με βάση αυτό:

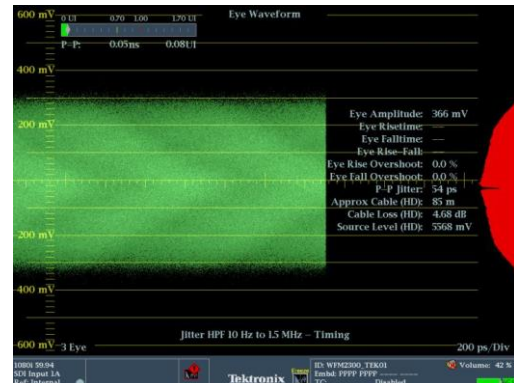
- Το πλάτος του σήματος πρέπει να είναι 800mV +/- 10%.
- Ο χρόνος ανόδου/καθόδου του σήματος δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερος από 270ps.
- Η διαφορά μεταξύ του χρόνου ανόδου και του χρόνου πτώσης δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 100ps.
- Η υπέρβαση (overshoot) και η πτώση (undershoot) πρέπει να είναι μικρότερες από 10% του πλάτους του σήματος.

Η προσθήκη μήκους καλωδίου μεταξύ της πηγής και του οργάνου μέτρησης έχει ως αποτέλεσμα την μείωση του πλάτους του σήματος. Σύμφωνα με SMPTE ST 292-1 [42] για να γίνει ο υπολογισμός της μέγιστης απόστασης, η μέγιστη εξασθένιση του σήματος από το καλώδιο δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 20dB στο μισό της συχνότητας του ρολογιού. Συνήθως και τα μέγιστα μήκη καλωδίων δίνονται από τον κατασκευαστή (Εικόνα 29). Όσο η απόσταση του καλωδίου πλησιάζει στην μέγιστη, το άνοιγμα του «ματιού» κλείνει και δεν είναι πλέον ευδιάκριτο στην οθόνη. Επίσης παρατηρείται μεγαλύτερες υπέρβασεις (overshoot) και μεγαλύτερο χρόνο ανόδου και πτώσης του σήματος [63].

Στην Εικόνα 34 [64] φαίνεται το eye display ενός σήματος συνδεδεμένο στην πηγή με 1 μέτρο καλώδιο (ιδανικό) και διακρίνεται το ανοικτό «μάτι» (open eye). Στην Εικόνα 35 [64] φαίνεται το ίδιο σήμα όταν έχουμε προσθέσει πολλά μέτρα καλώδιού και το «μάτι» έχει κλείσει (closed eye) που με δυσκολία μπορεί να γίνει ευδιάκριτο το σχήμα του.



Εικόνα 34: Open eye σήματος



Εικόνα 35: Closed eye σήματος μετά από προσθήκη μέτρων καλωδίου

Σε όλες τις συσκευές πομπούς και δέκτες ψηφιακών σημάτων εικόνας υπάρχουν ισοσταθμιστές έτσι ώστε να εξισορροπούν την εξασθένηση του καλωδίου και τις αποσβέσεις από την απώλεια επιστροφής και άλλους παράγοντες που αναφέρθηκαν παραπάνω. Κάθε συσκευή έχει διαφορετικό όριο ισοστάθμισης και έτσι πιθανότητα κάποια συσκευή να μην είναι σε θέση να ανακτήσει το σήμα.

Ωστόσο, η παραμόρφωση του σήματος λόγω του μήκους καλωδίου θα προστεθεί σε άλλες παραμορφώσεις κατά μήκος της διαδρομής του σήματος που αναφέρθηκαν παραπάνω, περιορίζοντας το άνοιγμα του «ματιού» πιο γρήγορα και μειώνοντας την ικανότητα του δέκτη να ανακτήσει το ρολόι και τα δεδομένα από το σήμα. Σε μια τέτοια περίπτωση ο δέκτης θα πρέπει να εργαστεί σκληρότερα για να ανακτήσει το ρολόι και τα δεδομένα. Σε αυτή την περίπτωση υπάρχει μεγαλύτερη πιθανότητα εμφάνισης σφαλμάτων δεδομένων στον δέκτη. Το αποτέλεσμα είναι η στιγμιαία ή επαναλαμβανόμενες διακοπές του video, σπινθηροβόλησης στην εικόνα, διακοπές γραμμών ή ακόμη και παγωμένες εικόνες [58].

Για αυτό το λόγο το πρότυπο στο SMPTE ST 292-1 [42] θέτει το περιορισμό ότι η μέγιστη εξασθένηση του σήματος συνολικά από όλους τους παράγοντες στο καλώδιο δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 20dB στο μισό της συχνότητας του ρολογιού. Έτσι αν τα σήματα βρίσκονται μέσα σε αυτά τα όρια, όλες οι συσκευές θα έχουν την δυνατότητα να ισοσταθμίσουν το σήμα και να το αποκωδικοποιήσουν.

Σε πραγματικά συστήματα ενώ ο μηχανικός έχει μελετήσει τα χαρακτηριστικά του καλωδίου και έχει επιλέξει το κατάλληλο, η μηχανική του καταπόνηση που γίνεται από τους παράγοντες που αναφέρθηκαν παραπάνω κάνει το καλώδιο ακατάλληλο για χρήση. Πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στο μέγιστο μήκος του καλωδίου αφού για

τον υπολογισμό δεν έχουν ληφθεί υπόψιν όλοι οι άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν το σήμα και καλό είναι το καλώδιο να μην υπερβαίνει το 85-90% του μέγιστου μήκους που δίνει ο κατασκευαστής [58]. Για αυτούς τους λόγους ο μηχανικός καθημερινά θα πρέπει να κάνει μετρήσεις με την βοήθεια του eye display να διαπιστώσει αν το καλώδιο είναι σε καλή κατάσταση και δεν έχει επηρεαστεί από τους παράγοντες που αναφέρθηκαν έτσι ώστε να μεταφερθεί το σήμα αξιόπιστα από το ένα σημείο στο άλλο.

Πολλές φορές η απόσταση του μεταδιδόμενου σήματος υπερβαίνει το μέγιστο μήκος που καθορίζεται από τον κατασκευαστή του καλωδίου, ή οι καταπονήσεις του καλωδίου έχουν κάνει την μεταφορά του σήματος αμφίβολη. Σε αυτές τις περιπτώσεις ο μηχανικός θα πρέπει να αναζητήσει άλλες λύσεις. Οι κυριότερες λύσεις από αυτές που θα μελετηθούν είναι:

- Χρήση οπτικής ίνας [9].
- Χρήση του CCU και της κάμερας ως μέσου μεταφοράς σήματος [9].

1.6.1 Χρήση οπτικής ίνας

Η μετατροπή του σήματος με οπτική ίνα είναι από τις αξιόπιστες λύσεις αν και ακριβή. Για να γίνει αυτό γίνεται μετατροπή του σήματος σε οπτικό με την κατάλληλη συσκευή, μεταφορά του σήματος μέσω οπτικής ίνας και στο δέκτη μετατροπή του οπτικού σήματος σε ηλεκτρικού με πάλι κατάλληλη συσκευή [9]. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά που πρέπει να έχει η οπτική ίνα και οι περιορισμοί ορίζονται στο SMPTE ST 292-1 [42] και στο SMPTE ST 297 [65] και στο ITU-R BT.1120-7 [54]. Οι ελάχιστες εξασθενίσεις που έχει την καθιστούν ιδανική για μεγάλες αποστάσεις. Τα δεδομένα που εξάγονται από το eye display (amplitude, rise time, fall time, overshoot, undershoot) έχουν τους ίδιους περιορισμούς όπως στο ομοαξονικό καλώδιο σύμφωνα με το ITU-R BT.1120-7 [54].

1.6.2 Χρήση του CCU και της κάμερας ως μέσου μεταφοράς σήματος

Οι κατασκευαστές των καμερών που συνδέονται σε CCU έχουν συμπεριλάβει στο CCU μία ή περισσότερες εισόδους που μπορείς να συνδεθεί ένα σήμα video. Αυτό το σήμα πολυπλέκεται μέσα στο CCU και μεταφέρετε με το υβριδικό καλώδιο σύνδεσης κάμερας-CCU και απόπολυπλέκεται στο σώμα της κάμερας. Έτσι στην κάμερα υπάρχει έξοδος BNC που βρίσκεται το σήμα [9]. Η ροή του σήματος μπορεί να είναι και αντίθετη δηλαδή από την κάμερα στο CCU. Η μεταφορά με αυτόν το τρόπο είναι πολύ καλή και βολεύει αρκετά γιατί σε μια παραγωγή πολύ συχνά απαιτείται ένα σήμα video από το van κοντά στην κάμερα.

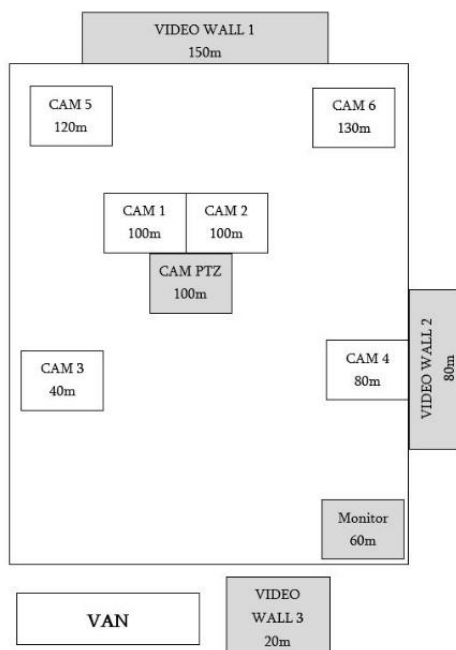
Για να γίνει πιο κατανοητές οι προκλήσεις που αντιμετωπίζουν οι τεχνικοί για την αξιόπιστη μεταφορά σημάτων SDI σε μια παραγωγή, θα παρουσιαστεί ένα πραγματικό σενάριο μιας παραγωγής και των απαιτήσεων της. Εκτός από την μελέτη σε είδος του καλωδίου αλλά και των αποστάσεων οι μηχανικοί θα πρέπει να κάνουν και τις

απαραίτητες μετρήσεις στα καλώδια να διαπιστώσουν ότι δεν έχουν καταπονηθεί (κόψιμο, λύγισμα κ.α) που θα επηρεάσουν την απόδοσή τους.

1.6.3 Πραγματικό σενάριο απαιτήσεων παραγωγής

Έστω ότι έχουμε να καλύψουμε μια παραγωγή σε κλειστό χώρο που απαιτεί 6 κάμερες, τροφοδότηση από το van με σήμα βίντεο 2 video wall και ενός μόνιτορ μέσα στην αίθουσα, να επιστρέψουμε το σήμα βίντεο της ρομποτικής κάμερας που είναι μέσα στο χώρο και τέλος να τροφοδοτηθεί ένα video wall που βρίσκεται στον εξωτερικό χώρο πολύ κοντά στο van. Όλες οι απαιτήσεις είναι για μεταφορά σήματος SDI - HD 1080i.

Στο Σχήμα 2 φαίνεται μια κάτοψη του χώρου και οι θέσεις των καμερών, video wall, monitor, van κ.α.



Σχήμα 2: Κάτοψη του χώρου παραγωγής με απαιτήσεις και αποστάσεις

Στο Πίνακα 1 φαίνονται οι αποστάσεις των καλωδίων από το βαν.

Camera 1	100 m	Monitor	60 m	Σήμα Video
Camera 2	100 m	Video Wall 1	150 m	Σήμα Video
Camera 3	40 m	Video Wall 2	80 m	Σήμα Video
Camera 4	80 m	Video Wall 3	20 m	Σήμα Video
Camera 5	120 m	Ρομποτική PTZ	100 m	Σήμα Video
Camera 6	130 m			

Πίνακας 1: Αποστάσεις καλωδίων από το van

Με αυτά τα δεδομένα ο μηχανικός θα πρέπει να μελετήσει τις απαιτήσεις, και πολύ κρίσιμη είναι και η ενδεδειγμένη μέτρηση της ποιότητας των καλωδίων που διαθέτει και να βγάλει τα τελικά συμπεράσματα για το τι μέσα θα χρησιμοποιήσει για την μεταφορά των σημάτων.

Οι μέχρι τώρα μελέτες και οι βιβλιογραφικές αναφορές περιγράφουν τους παράγοντες που επηρεάζουν την ποιότητα του μεταφερόμενου σήματος σε επίπεδο θεωρητικό. Με αυτή την εργασία θα γίνει προσπάθεια να βγουν ενδιαφέροντα συμπεράσματα για την καταπόνηση των καλωδίων κατά την χρήση τους αφού θα γίνει μελέτη με την βοήθεια eye display καλωδίων που είναι ήδη σε χρήση και όχι καινούργιων κατευθείαν από τον κατασκευαστή. Στην συνέχεια θα γίνουν μετρήσεις με μεταφορά σήματος με οπτική ίνα και μέσω κάμερας ώστε να εξαχθούν και από αυτές τις μετρήσεις πολύτιμα συμπεράσματα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Σχεδιασμός μελέτης μεταφοράς σήματος SDI

Καθημερινά μια μονάδα εξωτερικών μεταδόσεων σε κάθε τηλεοπτική παραγωγή που υλοποιεί, συναντά την ανάγκη μεταφοράς πολλών σημάτων βίντεο σε διάφορες αποστάσεις. Παλιότερα η μεταφορά σημάτων βίντεο ήταν πιο εύκολη αφού τα σήματα ήταν αναλογικά και με μικρό ρυθμό μετάδοσης και μεν υπήρχαν απώλειες αλλά δεν ήταν τόσο σημαντικές στην ποιότητα του σήματος. Σήμερα η ανάγκη για μεταφορά σημάτων βίντεο 1080i HDTV βάζει κάποιους περιορισμούς στην απόσταση που προκύπτουν λόγω εξασθένησης στο καλώδιο.

Όπως αναλύθηκε στο κεφάλαιο 1.6 τα τεχνικά χαρακτηριστικά του καλωδίου δεν είναι τα μόνα που επηρεάζουν την ποιότητα του μεταφερόμενου σήματος. Για την μεταφορά σήματος εικόνας κατά κύριο λόγο χρησιμοποιούνται καλώδια ομοαξονικά με βύσμα BNC αλλά όπως παρουσιάστηκε παραπάνω η μεταφορά αυτή μπορεί να γίνει με χρήση οπτικών ινών ή με την βοήθεια της κάμερας και του CCU.

Στο πρώτο στάδιο της μελέτης θα γίνουν μετρήσεις ομοαξονικών καλωδίων διαφόρων μηκών ώστε να εξαχθούν συμπεράσματα για το πόσο επηρεάζει η καταπόνηση τα ομοαξονικά καλώδια στην μεταφορά σήματος υψηλής ευκρίνειας.

Στο δεύτερο στάδιο της μελέτης θα γίνουν μετρήσεις για μεταφορά του σήματος μέσω οπτική ίνας ώστε να μπορέσουν να βγουν συμπεράσματα για την επιλογή του μέσου μεταφοράς του σήματος

Στο τρίτο στάδιο θα γίνουν μετρήσεις με μεταφορά σήματος μέσω της κάμερας και του CCU και θα συνεκτιμηθεί με τα προηγούμενα συμπεράσματα από τους άλλους τρόπος μεταφοράς.

Και στα τρία στάδια της μελέτης θα μετρηθούν και θα αναλυθούν η ποιότητα του σήματος που φτάνει στον δέκτη σε σχέση με το αρχικό σήμα, μέσω διαφόρων μηκών καλωδίων και διαφορετικών τρόπων μεταφοράς.

Και στα τρία στάδια της μελέτης θα χρησιμοποιηθεί η ίδια γεννήτρια σήματος SDI και το ίδιο όργανο απεικόνισης του eye display.

2.1 Γεννήτρια σήματος SDI και όργανο απεικόνισης eye display

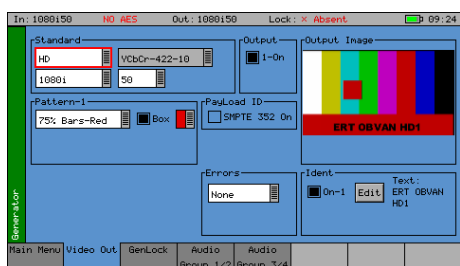
2.1.1 Γεννήτρια σήματος SDI

Για την δημιουργία σήματος SDI χρησιμοποιείτε όργανο Phabrics SxE [66] με λογισμικό έκδοσης 14.2. Το όργανο αυτό μπορεί να δημιουργήσει διάφορα σήματα δοκιμής βίντεο για όλα τα υποστηριζόμενα πρότυπα εξόδου SD-SDI, HD-SDI, 3G-SDI σε διαφορετικά πρότυπα χρώματος και διαφορετικά μοτίβα.

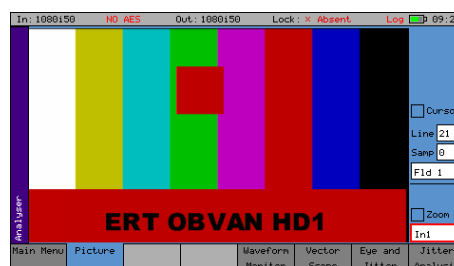
Για τις μετρήσεις μας θα χρησιμοποιηθεί σήμα δοκιμής με τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- Video format: SDI-HD 1080i / 50Hz
- Color format: YCbCr 4:2:2 10 bit
- Video Pattern: Color Bars 75%+Red

Στην Εικόνα 36 φαίνονται αναλυτικά όλες οι επιλογές που έγιναν στο μενού του οργάνου και στην Εικόνα 37 φαίνεται η έξοδος του οργάνου.



Εικόνα 36: Επιλογές χαρακτηριστικών video generator σε όργανο Phabrics SxE



Εικόνα 37: Έξοδος video generator σε όργανο Phabrics SxE

Η έξοδος της γεννήτριας του οργάνου βρίσκεται σε BNC 75Ω στη πλάγια μεριά του οργάνου με την ένδειξη SDI OUT (Εικόνα 38) [66].



Εικόνα 38: BNC εξόδου της γεννήτριας σήματος

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά της εξόδου όπως δίνονται από τον κατασκευαστή είναι [66]:

Label: SDI OUT

Supported standards (Υποστηριζόμενα στάνταρτ) : SD-SDI or HD-SDI

Connector: BNC 75 ohm type

Output Return Loss: ≥ 15 dB (5 MHz to 1.5 GHz) , ≥ 10 dB (1.5 GHz to 2.97 GHz)

Output Impedance: 75 ohm terminated

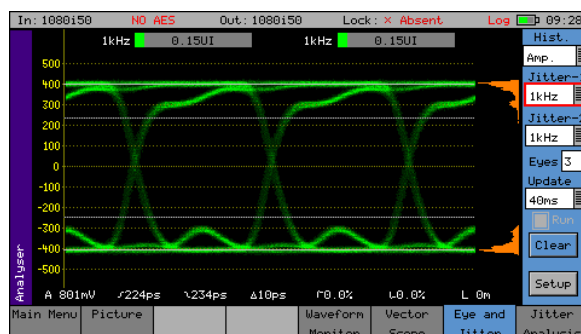
Output Level: +/- 400 mV

Purpose: Generator Output

2.1.2 Όργανο απεικόνισης eye display

Για όργανο απεικόνισης eye display χρησιμοποιείτε πάλι το όργανο Phabrics SxE [66] με λογισμικό έκδοσης 14.2. Το όργανο αυτό μπορεί να απεικονίσει το eye display και να μας δώσει μετρήσεις για το πλάτος του σήματος (amplitude), τον χρόνο ανόδου (rise time), τον χρόνο πτώσης (fall time) , τη διαφορά μεταξύ αυτών των 2 χρόνων (Rise/Fall Difference), την υπέρβαση(overshoot) και την πτώση (undershoot) και το μήκος του καλωδίου. Η απεικόνιση γίνεται σε ιστόγραμμα πλάτους (Hist=Amp) και χρησιμοποιούνται 3 απεικονίσεις eye ανά οθόνη (Eyes=3)

Στην Εικόνα 39 φαίνεται μια οθόνη eye display του οργάνου.



Εικόνα 39: Οθόνη eye display του οργάνου Phabrics SxE

Στην Εικόνα 40 φαίνεται η μπάρα των μετρήσεων eye display. Αναλυτικά οι ενδείξεις είναι:

A= Amplitude , / = Rise time, \= Fall Time, Δ= Rise/ Fall Difference, r= Rising Edge Overshoot, l=Falling Edge Overshoot, L =Cable length.



Εικόνα 40: Μπάρα μετρήσεων eye display σε Phabrics SxE

Η είσοδος του οργάνου, έτσι ώστε να έχουμε απεικόνιση του σήματος σε eye display βρίσκεται σε BNC 75Ω στη πλάγια μεριά του οργάνου με την ένδειξη SDI IN (Εικόνα 38).

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά της εισόδου όπως δίνονται από τον κατασκευαστή είναι [66]:

Label: SDI IN

Supported standards: SD-SDI or HD-SDI.

Connector: BNC 75 ohm type

Input Impedance: 75 ohm terminated

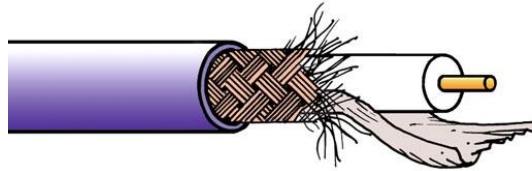
Input Return Loss: ≥ 15 dB (5 MHz to 1.5 GHz) , ≥ 10 dB (1.5 GHz to 2.97 GHz)

Maximum Input Voltage: - 2 V

Purpose: Analyzer Input

2.2 Σχεδιασμός μελέτης μεταφοράς SDI μέσω ομοαξονικών καλωδίων

Για την μελέτη μεταφοράς σήματος SDI HD μέσω ομοαξονικών καλωδίων διαφόρων μεγεθών θα χρησιμοποιήσουμε καλώδιο Canford-SDV-L-LFH [67] που φαίνεται στην Εικόνα 41. Έχει μηχανικές διαστάσεις 1.0/4.8 (διάμετρος εσωτερικού/εξωτερικού αγωγού).



Εικόνα 41: Καλώδιο Canford-SDV-L-LFH

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά που δίνει ο κατασκευαστής είναι [67]:

Inner conductor:	1.0mm plain copper
Dielectric:	Gas injected foam high density polyethylene, 4.8mm O.D.
Screen 1:	Aluminium/polypropylene/aluminium tape
Screen 2:	Tinned copper braid, optical coverage 95%
Screening efficiency:	95%
Construction:	Coaxial cable
Jacket:	LFH compound (FRNC to IEC60332-1), black, turquoise or violet
Overall diameter:	6.8mm
CPR Euroclass:	Eca
Minimum bend radius:	35mm indoor, 70mm outdoor
Impedance:	75 ohms +/-1%
Capacitance:	56pF/m
Return loss:	26dB: 50-300MHz, 22dB: 300-3000MHz, 18dB: 3000-3500MHz 15dB: 3500-5000MHz
Attenuation:	MHz 10 100 200 750 1500 3000 6000 9000 12000 dB/100m 2.0 6.7 9.2 18.4 26.5 38.3 56.8 69.6 80.3

Ο τερματισμός των καλωδίων έχει γίνει με συνδέσμους Telegartner BNC 3G HD Male cable, crimp, 75 ohm, group Y [68] που προτείνεται από τον κατασκευαστή του καλωδίου που χρησιμοποιείται και φαίνεται στην Εικόνα 42.



Εικόνα 42: BNC Telegartner BNC group Y

Τα χαρακτηριστικά του συνδέσμου BNC είναι [68]:

Mechanical Characteristics

Cable Group	Canford Y Telegartner G27
Interface dimensions acc. To	IEC 61169-8
Mating life	>500

Materials

Centre contact	CuZn39Pb3	Finish	Cu1Ni2Au0.8
Outer contact	CuZn39Pb3		Cu2Ni5
Other metal parts	GD-ZnAl4Cu1		Zn/Cu6Ni6
Crimp ferrule	SF Cu w		Ni5
Isulator	PE		
Gasket	Silicone		

Electrical characteristics

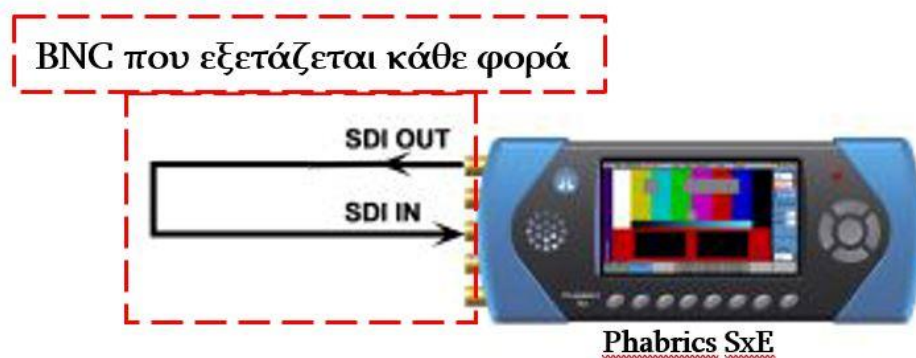
Impedance	75 Ω
Frequency	0-3 GHz
Typical return loss (cable dependent)	1 GHz - 36 dB , 2 GHz - 31 dB, 3 GHz - 29 dB
Working voltage	≤ 0.5 kVeff / 50 Hz
Voltage proof	1.5 kVeff / 50 Hz
Insulation resistance	≥ 5 GΩ
Centre contact resistance	≤ 20 mΩ
Outer contact resistance	≤ 5 mΩ

Environmental

Operating temperature	-40°C to +75°C
RoHS compliant	2002/95/EC

Για την μελέτη του ομοαξονικού καλωδίου διαφόρων μηκών γίνεται εφαρμογή της παρακάτω συνδεσμολογίας:

Η μια άκρη του καλωδίου συνδέεται στο SDI OUT του οργάνου Phabrics SxE ώστε να εξάγεται το σήμα της γεννήτριας και το άλλο άκρο του καλωδίου συνδέεται στο SDI IN του οργάνου ώστε να μελετηθεί με το eye display. Η ίδια συνδεσμολογία ακολουθείτε για διαφορετικά μήκη καλωδίου. Στο Σχήμα 3 φαίνεται η συνδεσμολογία μελέτης ομοαξονικού καλωδίου.



Σχήμα 3: Συνδεσμολογία μελέτης ομοαξονικού καλωδίου

Για την εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων πρέπει να ληφθεί υπόψιν ότι σε όλες τις μετρήσεις:

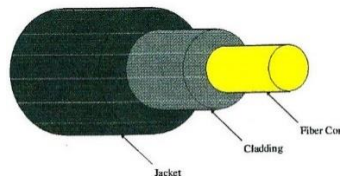
- Θα χρησιμοποιηθούν ο ίδιος τύπος καλωδίου και ίδιος τύπος βύσματος BNC για όλα τα καλώδια και θα αλλάζει μόνο το μήκος τους.
- Όλα τα καλώδια είναι σε χρήση και δεν είναι κατευθείαν από τον κατασκευαστή και έτσι έχουν διαφορετικές καταπονήσεις.
- Το BNC είναι τοποθετημένο με τον ίδιο τρόπο και με τα ίδια εργαλεία σε όλα τα καλώδια.
- Η θερμοκρασία περιβάλλοντος είναι ίδια αφού οι μετρήσεις γίνονται όλες μαζί
- Η ένδειξη μήκους του οργάνου Phabrics SxE στην απεικόνιση eye display δεν πρέπει να λαμβάνεται υπόψιν γιατί το καλώδιο Canford-SDV-L-LFH δεν είναι στην λίστα το καλωδίων που υποστηρίζεται η μέτρησή του με το συγκεκριμένο όργανο [66]. Για αυτό το λόγο ή ένδειξη είναι τυχαία.

2.3 Σχεδιασμός μελέτης μεταφοράς SDI μέσω οπτικής ίνας

Για την μελέτη μεταφοράς σήματος SDI HD μέσω οπτικής ίνας διαφόρων μεγεθών θα χρησιμοποιηθεί οπτική ίνα Digitus Fiber Optic Singlemode LC/LC [69] και διαμέτρου 9/125μ που φαίνεται στην Εικόνα 43 [69]. Στην Εικόνα 44 [70] φαίνεται η εγκάρσια τομή μιας οπτικής ίνας.



Εικόνα 43: Digitus Fiber Optic Singlemode LC/LC



Εικόνα 44: Η εγκάρσια τομή οπτικής ίνας

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά της οπτικής ίνας που δίνει ο κατασκευαστής είναι [69]:

Cable Type	Duplex SM 9/125	OS2 LSZH		
Fiber diameter:	9/125μ			
Fiber class:	OS2			
Mode:	Singlemode			
	END A		END B	
Connector Type	LC		LC	
Insertion Loss (dB)	0.12	0.15	0.15	0.19
Return Loss (dB)	51.8	53.2	51.1	50.7

Για την μελέτη της οπτικής ίνας θα χρειαστεί στην μια άκρη της μια συσκευή που θα μετατρέψει το ηλεκτρικό σήμα σε οπτικό (SDI to fiber) και στην άλλη άκρη μια συσκευή που θα κάνει το αντίθετο (fiber to SDI). Για λόγους πρακτικούς και ομοιομορφίας στην μελέτη θα χρησιμοποιηθεί μια συσκευή που μπορεί να κάνει και τις 2 μετατροπές. Η συσκευή που θα χρησιμοποιηθεί είναι το Blackmagic Design Mini Converter Optical Fiber 12G [71] (Εικόνα 45) που συνδυάζεται με το Blackmagic Design 3G SFP Optical Module (Εικόνα 46). Το module αυτό 1310nm Laser Driver με LC βύσματα για είσοδο και έξοδο singlemode οπτικής ίνας. Επίσης ο μετατροπέας έχει είσοδο και έξοδο BNC.

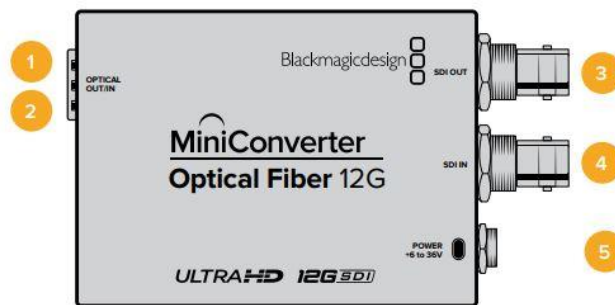


Εικόνα 45: Blackmagic Design Mini Converter Optical Fiber 12G



Εικόνα 46: Blackmagic Design 3G SFP Optical Module

Στην Εικόνα 47 [72] φαίνονται αναλυτικά οι είσοδοι και οι έξοδοι του Blackmagic Design Mini Converter Optical Fiber 12G.



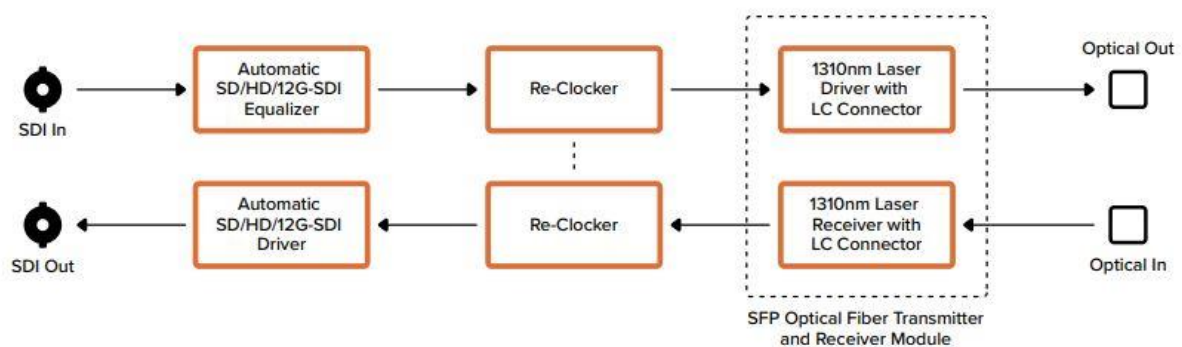
Εικόνα 47: Είσοδοι και έξοδοι του Blackmagic Design Mini Converter Optical Fiber

Αναλυτικά:

1. OPTICAL OUT – Έξοδος οπτικής ίνας.
2. OPTICAL IN - Είσοδος οπτικής ίνας.
3. SDI OUT - Έξοδος SDI.
4. SDI IN – Είσοδος SDI.
5. POWER +6 to 36V – Τροφοδοσία.

Το block διάγραμμα του Mini Converter Optical Fiber φαίνεται στην Εικόνα 48.

Mini Converter Optical Fiber 12G Block Diagram

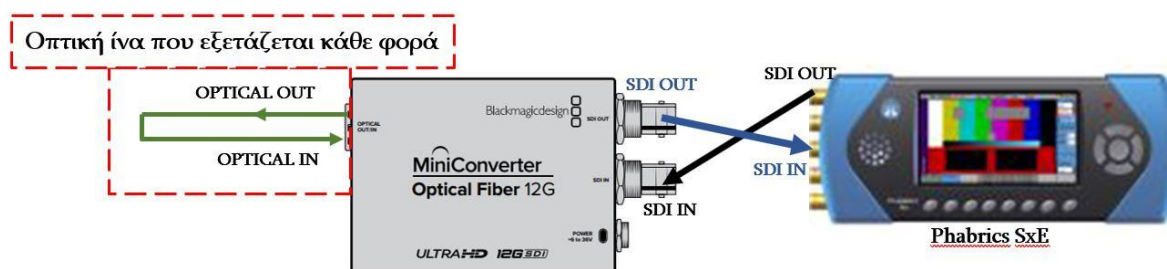


Εικόνα 48: Block διάγραμμα Mini Converter Optical Fiber 12G

Από το παραπάνω block διάγραμμα φαίνεται ότι εσωτερικά το σύστημα κάνει re-clocking και έτσι τα αποτελέσματα των μετρήσεων θα είναι μετά από αυτό το reclocking.

Για την μελέτη της μεταφοράς σήματος SDI μέσω οπτικής ίνας διαφόρων μεγεθών γίνεται εφαρμογή της παρακάτω συνδεσμολογίας:

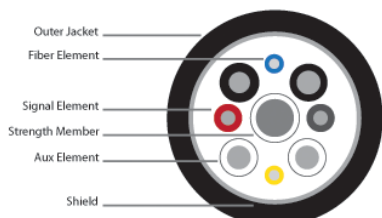
Η μια άκρη ενός μικρού καλωδίου BNC 1m (θεωρείτε ιδανικό και αμελητέο [55]) συνδέεται στο SDI OUT του οργάνου Phabrics SxE ώστε να εξάγεται το σήμα της γεννήτριας και το άλλο άκρο του καλωδίου αυτού συνδέεται στο SDI IN του Mini Converter Optical Fiber . Το ένα άκρο της οπτικής ίνας που θα μελετηθεί συνδέεται στο OPTICAL OUT του Mini Converter Optical Fiber και το άλλο άκρο της οπτικής ίνας στο OPTICAL IN του Converter. Από το SDI OUT του Converter συνδέετε καλώδιο BNC ενός μέτρου και το άλλο άκρο του συνδέετε στο SDI IN του οργάνου Phabrics ώστε να γίνει απεικόνιση με το eye display. Η ίδια συνδεσμολογία ακολουθείτε για διαφορετικά μήκη οπτικής ίνας. Στο Σχήμα 4 φαίνεται η συνδεσμολογία μελέτης οπτικής ίνας.



Σχήμα 4: Συνδεσμολογία μελέτης οπτικής ίνας

2.4 Σχεδιασμός μελέτης μεταφοράς SDI μέσω σύνδεσης CCU και κάμερας

Για την μελέτη μεταφοράς σήματος HD SDI μέσω σύνδεσης CCU και κάμερας χρησιμοποιείτε CCU Panasonic AK-UCU500 και κάμερα Panasonic AK-HC5000G. Η σύνδεση του CCU και της κάμερας πραγματοποιείτε με υβριδικά οπτικά καλώδια SMPTE-311 [28] με βύσματα της εταιρείας Lemo SMPTE-304 [29]. Η εσωτερική μορφή του υβριδικού καλωδίου και το βύσμα φαίνονται στην Εικόνα 23 [30] και στην Εικόνα 24 [31] αντίστοιχα.

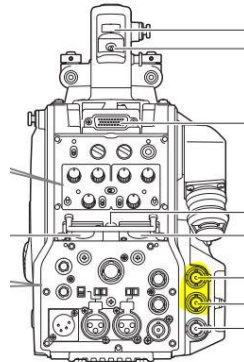


Εικόνα 49: Εσωτερική μορφή υβριδικού οπτικού καλωδίου SMPTE-311



Εικόνα 50: Βύσμα SMPTE-304

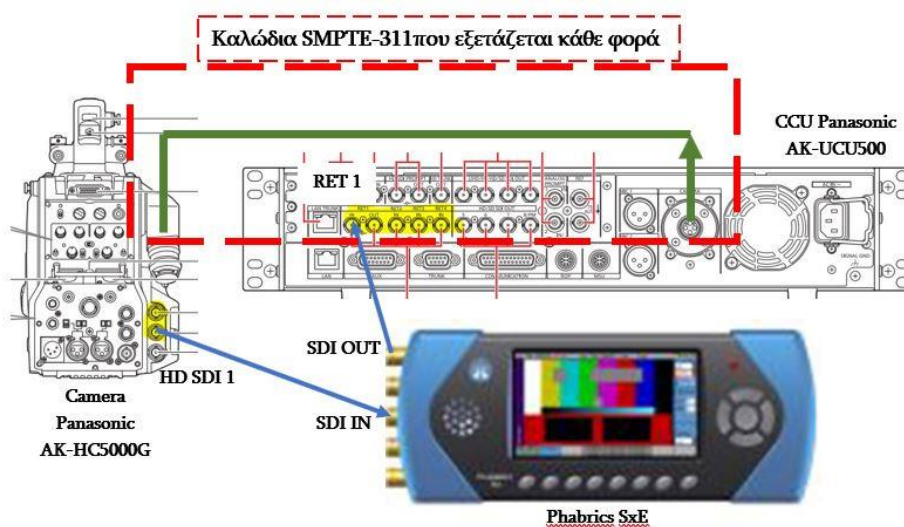
Τα τεχνικά χαρακτηριστικά που δίνονται από τον κατασκευαστή για τις εισόδους και τις εξόδους είναι[43]: BNC: 3G/1.5G-SDI: 0.8 V [p-p], 75 Ω. Στην Εικόνα 52 φαίνεται το πίσω μέρος της κάμερα και οι εισοδοί είναι μαρκαρισμένες με κίτρινη διαγράμμιση.



Εικόνα 52: Είσοδοι SDI σημάτων στο πίσω μέρος κάμερας Panasonic AK-HC5000G

Για την μελέτη της μεταφοράς σήματος SDI μέσω σύνδεσης κάμερας και CCU διαφόρων αποστάσεων γίνεται εφαρμογή της παρακάτω συνδεσμολογίας:

Η μια άκρη ενός μικρού καλωδίου BNC 1m (θεωρείτε ιδανικό και αμελητέο [55]) συνδέεται στο SDI OUT του οργάνου Phabrics SxE ώστε να εξάγεται το σήμα της γεννήτριας και το άλλο άκρο του καλωδίου αυτού συνδέεται στο RET 1 IN του CCU. Το CCU και η κάμερα συνδέονται μέσω υβριδικού καλωδίου SMPTE-311. Από το HD SDI 2 της κάμερας συνδέετε καλώδιο BNC ενός μέτρου και το άλλο άκρο του συνδέετε στο SDI IN του οργάνου Phabrics ώστε να γίνει απεικόνιση με το eye display. Η ίδια συνδεσμολογία ακολουθείτε για διαφορετικά μήκη υβριδικού καλωδίου SMPTE-311 . Στο Σχήμα 5 φαίνεται η συνδεσμολογία μελέτης της μεταφοράς σήματος μέσω CCU και κάμερας.



Σχήμα 5: Συνδεσμολογία μελέτης μεταφοράς σήματος μέσω CCU και κάμερας

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Εφαρμογή και Αποτελέσματα της μελέτης

Στο προηγούμενο κεφάλαιο έγινε θεωρητική περιγραφή της μελέτης που πρέπει να γίνει για να εξαχθούν συμπεράσματα σχετικά με την μεταφορά σήματος SDI και κατά πόσο επηρεάζονται από την καταπόνησή του καλωδίου αλλά και από το μέσο μεταφοράς. Σε αυτό το κεφάλαιο θα γίνει η πρακτική εφαρμογή της μελέτης αυτής και θα καταγραφούν τα αποτελέσματα των μετρήσεων.

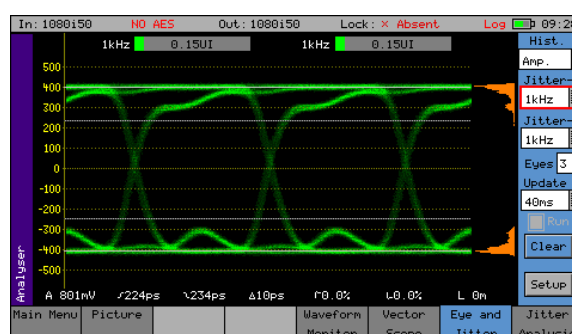
Για την πιο εύκολη ανάγνωση των αποτελεσμάτων το κάθε καλώδιο που θα μετρηθεί θα ονομαστεί με ένα μοναδικό γραμμικό αριθμητικό κώδικα. Το πρώτο συνθετικό θα είναι το είδος του καλωδίου που γίνεται η μελέτη και έτσι τα καλώδια BNC θα έχουν στην αρχή το γράμμα “B”, οι οπτικές ίνες το γράμμα “F” και τα υβριδικά καλώδια SMPTE-311 με το γράμμα “H”. Στη συνέχεια θα είναι το μήκος του καλωδίου σε μέτρα και μετά θα ακολουθεί ο αριθμός κατά σειρά στο ίδιο μήκος (π.χ. 3ο καλώδιο BNC 20 μέτρων θα έχει το διακριτικό B204).

Πριν από κάθε μέτρηση που θα περιγράφει, το όργανο βαθμονομήθηκε για να εξασφαλιστεί η συνοχή των αποτελεσμάτων.

Για αρχή γίνεται μια μέτρηση ενός καλωδίου BNC ενός μέτρου που θεωρείτε ιδανικό έτσι ώστε να είναι σημείο αναφοράς στις υπόλοιπες μετρήσεις. Δίνεται σε αυτό διακριτικό όνομα B0 για να ξεχωρίζει από τα άλλα. Το όργανο που χρησιμοποιήθηκε είναι το Phabrics SxE όπως περιεγράφηκε αναλυτικά στο κεφάλαιο 2.1 και 2.2 ως γεννήτρια σήματος και για την απεικόνιση σε eye display. Για την μέτρηση η μία άκρη του καλωδίου συνδέεται στο SDI OUT του οργάνου και η άλλη στο SDI IN όπως φαίνεται και στην Εικόνα 53. Το eye display του οργάνου με τα αποτελέσματα φαίνονται στην Εικόνα 54.



Εικόνα 53: Συνδεσμολογία μέτρησης ομοαξονικού καλωδίου 1m - B0



Εικόνα 54: Οθόνη μετρήσεων ομοαξονικού καλωδίου 1m - B0

Στον Πίνακα 2 φαίνονται οι μετρήσεις του οργάνου σε απεικόνιση eye display για ομοαξονικό καλώδιο 1m – B0 όπου A= Ampitude (mV) , L= Cable length (m) , RT = Rise time (ps), FT= Fall Time (ps), D= Rise/ Fall Difference (ps), R= Rising Edge Overshoot (%), F=Falling Edge Overshoot(%).

Ονομασία	L(m)	A(mV)	RT(ps)	FT(ps)	D(ps)	R (%)	F (%)
B0	1	801	224	234	10	0	0

Πίνακας 2: Μετρήσεις ομοαξονικού καλωδίου 1m - B0

3.1 Μετρήσεις μεταφοράς SDI μέσω ομοαξονικών καλωδίων

Για να βγουν συμπεράσματα για το πόσο επηρεάζονται τα ομοαξονικά καλώδια από το μήκος και τις καταπονήσεις θα γίνουν μετρήσεις σε καλώδια διαφόρων μηκών και καταπονήσεων. Για τις μετρήσεις θα γίνει μεταφορά σήματος SDI HD 1080i. Σε όλες τις μετρήσεις θα χρησιμοποιηθεί ο ίδιος τύπος καλωδίου και ίδιος τύπος συνδέσμου BNC για όλα τα καλώδια και θα αλλάζει μόνο το μήκος τους. Το καλώδιο που θα χρησιμοποιηθεί είναι το Canford-SDV-L-LFH [67] και ο σύνδεσμος είναι ο Telegartner BNC, crimp, 75Ω, group Y [68]. Όλα τα καλώδια είναι σε χρήση και δεν είναι κατευθείαν από τον κατασκευαστή και έτσι έχουν διαφορετικές καταπονήσεις. Τα BNC σε όλα τα καλώδια είναι τοποθετημένα με τον ίδιο τρόπο και με τα ίδια εργαλεία. Η θερμοκρασία περιβάλλοντος είναι ίδια αφού οι μετρήσεις γίνονται όλες μαζί. Η ένδειξη μήκους του οργάνου Phabrics SxE στην απεικόνιση eye display δεν πρέπει να λαμβάνεται υπόψιν γιατί το καλώδιο Canford-SDV-L-LFH δεν είναι στην λίστα το καλωδίων που υποστηρίζεται η μέτρησή του με το συγκεκριμένο όργανο [66]. Για αυτό το λόγο ή ένδειξη είναι τυχαία.

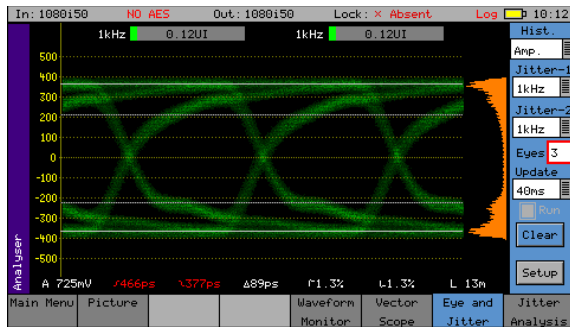
Το όργανο που θα χρησιμοποιηθεί είναι Phabrics SxE όπως περιεγράφηκε αναλυτικά στο κεφάλαιο 2.1 και 2.2 ως γεννήτρια σήματος και για την απεικόνιση σε eye display. Για την μέτρηση η μία άκρη του καλωδίου συνδέεται στο SDI OUT του οργάνου και η άλλη στο SDI IN όπως φαίνεται και στην Εικόνα 55.



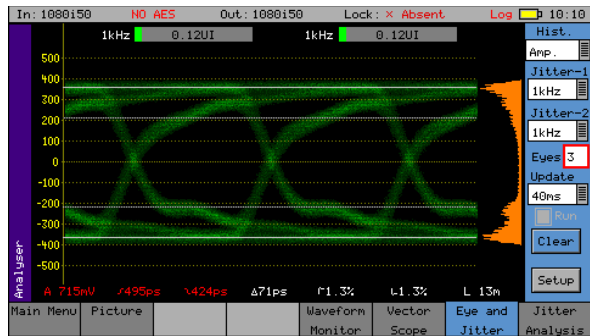
Εικόνα 55: Συνδεσμολογία μέτρησης ομοαξονικού καλωδίου

3.1.1 Μέτρηση ομοαξονικών καλωδίων 10 μέτρων

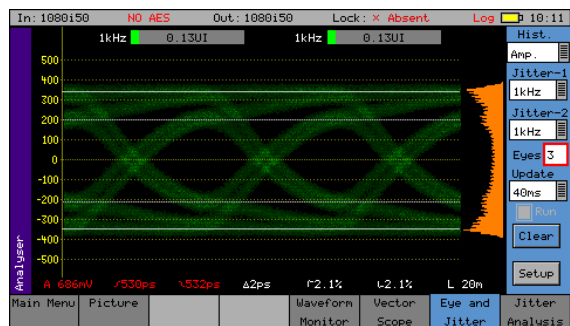
Αρχικά γίνεται μέτρηση σε 5 καλώδια 10 μέτρων (B101-B105). Το eye display του οργάνου με τα αποτελέσματα φαίνονται στην Εικόνα 56, Εικόνα 57, Εικόνα 58, Εικόνα 59, Εικόνα 60 αντίστοιχα.



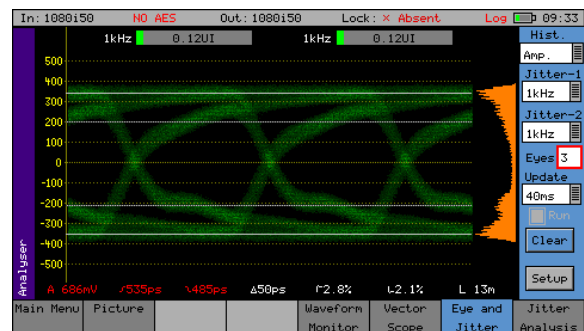
Εικόνα 56: Οθόνη μετρήσεων ομοαξονικού καλωδίου 10m – B101



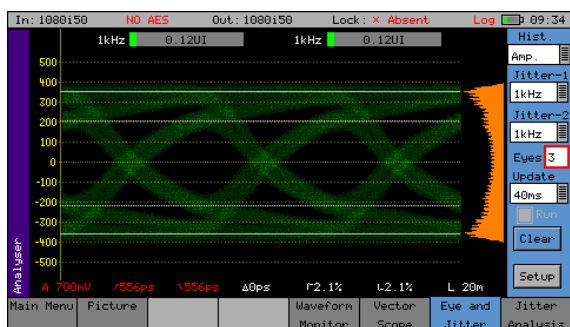
Εικόνα 57: Οθόνη μετρήσεων ομοαξονικού καλωδίου 10m – B102



Εικόνα 58: Οθόνη μετρήσεων ομοαξονικού καλωδίου 10m – B103



Εικόνα 59: Οθόνη μετρήσεων ομοαξονικού καλωδίου 10m – B104



Εικόνα 60: Οθόνη μετρήσεων ομοαξονικού καλωδίου 10m – B105

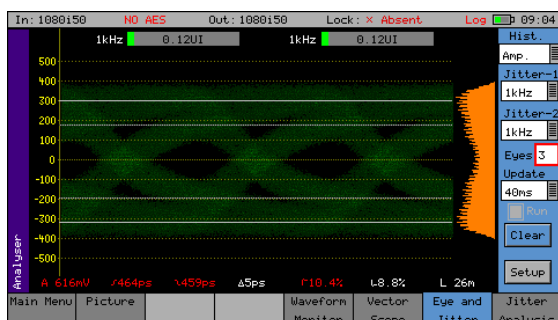
Στον Πίνακα 3 φαίνονται οι μετρήσεις του οργάνου σε απεικόνιση eye display για 5 ομοαξονικά καλώδια 10 μέτρων (B101-B105) όπου A= Amplitude (mV) , L= Cable length (m) , RT = Rise time (ps), FT= Fall Time (ps), D= Rise/ Fall Difference (ps), R= Rising Edge Overshoot (%), F=Falling Edge Overshoot(%).

Ονομασία	L(m)	A(mV)	RT(ps)	FT(ps)	D(ps)	R (%)	F (%)
B101	10	725	466	377	89	1,3	1,3
B102	10	715	495	424	71	1,3	1,3
B103	10	686	530	532	2	2.1	2.1
B104	10	686	535	485	50	2,8	2.1
B105	10	700	556	556	0	2,1	2,1

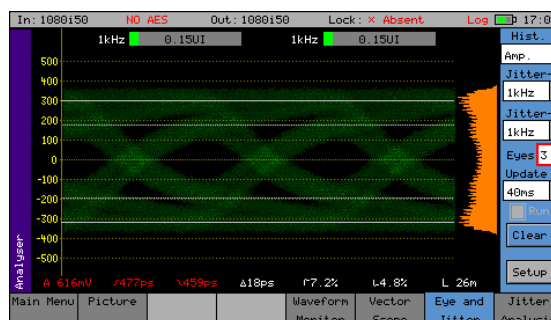
Πίνακας 3: Μετρήσεις ομοαξονικών καλωδίων 10m

3.1.2 Μέτρηση ομοαξονικών καλωδίων 20 μέτρων

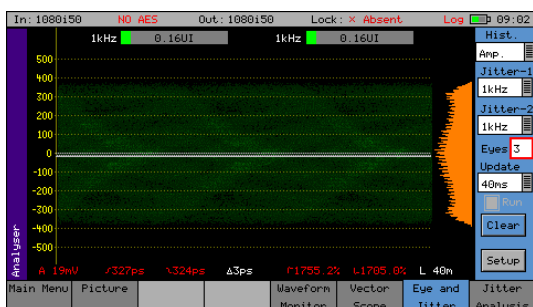
Στην συνέχεια γίνεται μέτρηση σε 5 καλώδια 20 μέτρων (B201-B205). Το eye display του οργάνου με τα αποτελέσματα φαίνονται στην Εικόνα 61, Εικόνα 62, Εικόνα 63, Εικόνα 64, Εικόνα 65 αντίστοιχα.



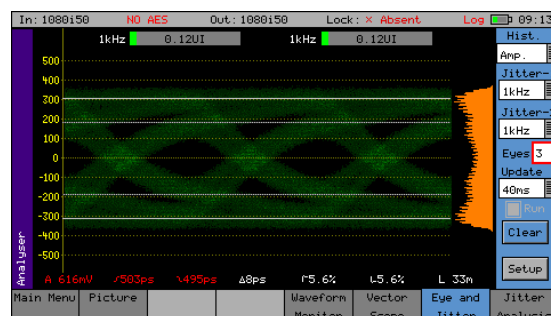
Εικόνα 61: Οθόνη μετρήσεων ομοαξονικού καλωδίου 20m – B201



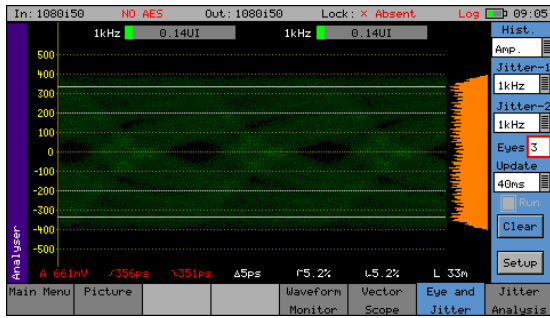
Εικόνα 62: Οθόνη μετρήσεων ομοαξονικού καλωδίου 20m – B202



Εικόνα 63: Οθόνη μετρήσεων ομοαξονικού καλωδίου 20m – B203



Εικόνα 64: Οθόνη μετρήσεων ομοαξονικού καλωδίου 20m – B204



Εικόνα 65: Οθόνη μετρήσεων ομοαξονικού καλωδίου 20m – B205

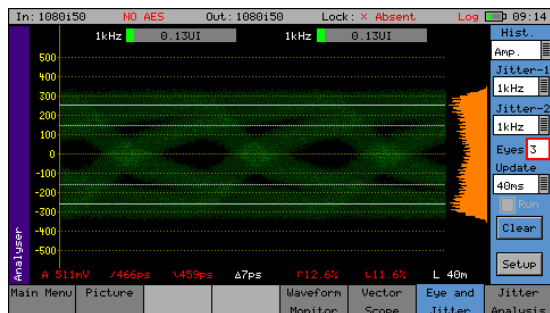
Στον Πίνακα 4 φαίνονται οι μετρήσεις του οργάνου σε απεικόνιση eye display για 5 ομοαξονικά καλώδια 20 μέτρων (B201-B205) όπου A= Amplitude (mV) , L= Cable length (m) , RT = Rise time (ps), FT= Fall Time (ps), D= Rise/ Fall Difference (ps), R= Rising Edge Overshoot (%), F=Falling Edge Overshoot(%).

Ονομασία	L(m)	A(mV)	RT(ps)	FT(ps)	D(ps)	R (%)	F (%)
B201	20	616	464	459	5	10,4	8,8
B202	20	616	477	459	18	7,2	7,2
B203	20	19	327	324	3	1755	1705,2
B204	20	616	503	495	8	5,6	5,6
B205	20	661	356	351	5	5,2	5,2

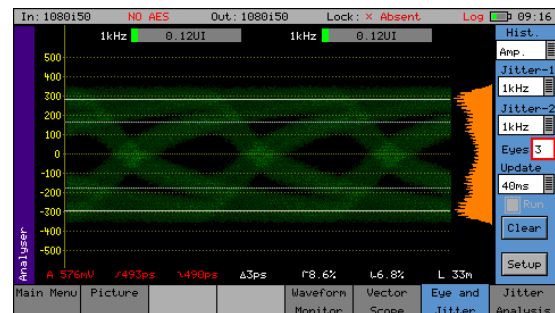
Πίνακας 4: Μετρήσεις ομοαξονικών καλωδίων 20m

3.1.3 Μέτρηση ομοαξονικών καλωδίων 50 μέτρων

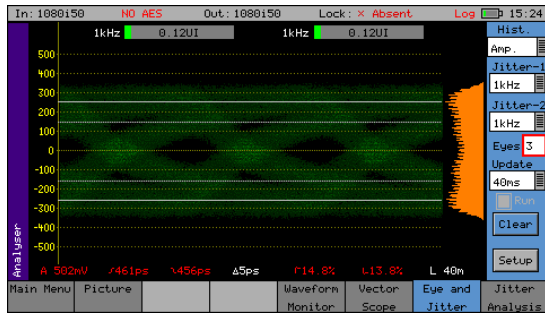
Στην συνέχεια γίνεται μέτρηση σε 5 καλώδια 50 μέτρων (B501-B505). Το eye display του οργάνου με τα αποτελέσματα φαίνονται στην Εικόνα 66, Εικόνα 67, Εικόνα 68, Εικόνα 69, Εικόνα 70 αντίστοιχα.



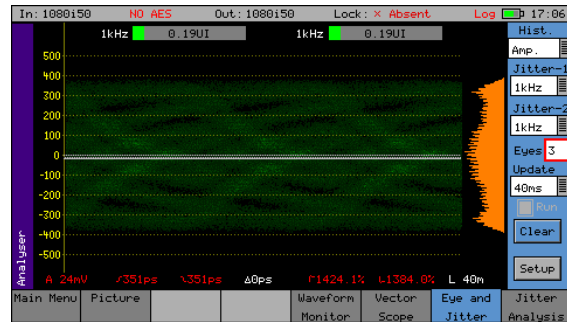
Εικόνα 66: Οθόνη μετρήσεων ομοαξονικού καλωδίου 50m – B501



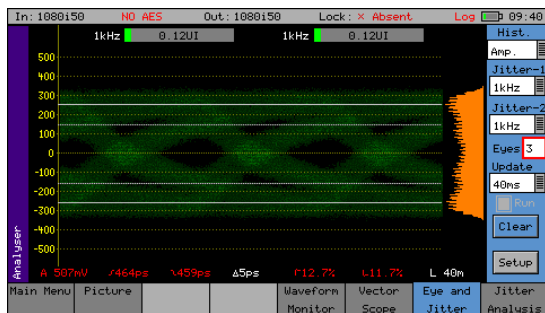
Εικόνα 67: Οθόνη μετρήσεων ομοαξονικού καλωδίου 50m – B502



Εικόνα 68: Οθόνη μετρήσεων ομοαξονικού καλωδίου 50m – B503



Εικόνα 69: Οθόνη μετρήσεων ομοαξονικού καλωδίου 50m – B504



Εικόνα 70: Οθόνη μετρήσεων ομοαξονικού καλωδίου 50m – B505

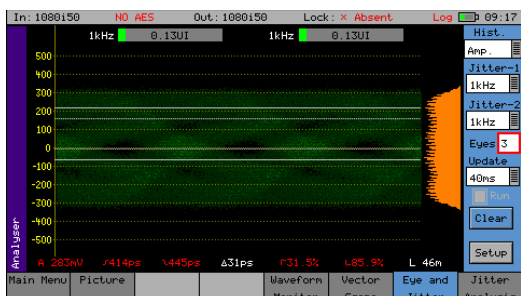
Στον Πίνακα 5 φαίνονται οι μετρήσεις του οργάνου σε απεικόνιση eye display για 5 ομοαξονικά καλώδια 50 μέτρων (B501-B505) όπου A= Amplitude (mV) , L= Cable length (m) , RT = Rise time (ps), FT= Fall Time (ps), D= Rise/ Fall Difference (ps), R= Rising Edge Overshoot (%), F=Falling Edge Overshoot(%).

Ονομασία	L(m)	A(mV)	RT(ps)	FT(ps)	D(ps)	R (%)	F (%)
B501	50	511	566	459	7	12,6	11,6
B502	50	576	493	490	3	8,6	8,6
B503	50	502	461	456	5	14,8	13,8
B504	50	24	351	351	0	1424	1384
B505	50	507	464	459	5	12,7	11,7

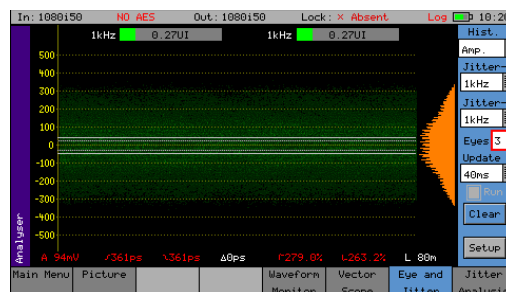
Πίνακας 5: Μετρήσεις ομοαξονικών καλωδίων 50m

3.1.4 Μέτρηση ομοαξονικών καλωδίων 80 μέτρων

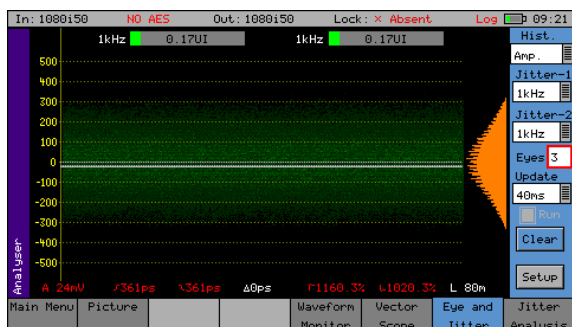
Στην συνέχεια γίνεται μέτρηση σε 5 καλώδια 80 μέτρων (B801-B805). Το eye display του οργάνου με τα αποτελέσματα φαίνονται στην Εικόνα 71, Εικόνα 72, Εικόνα 73, Εικόνα 74, Εικόνα 75 αντίστοιχα.



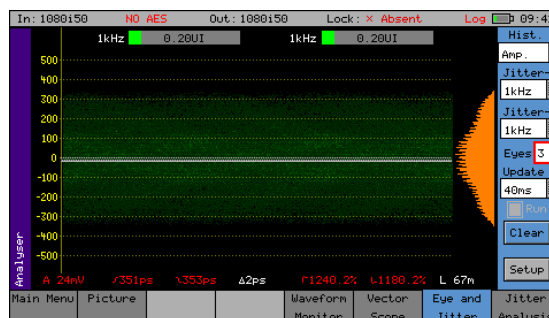
Εικόνα 71: Οθόνη μετρήσεων ομοαξονικού καλωδίου 80m – B801



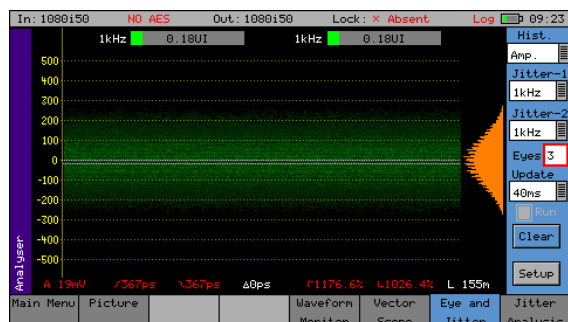
Εικόνα 72: Οθόνη μετρήσεων ομοαξονικού καλωδίου 80m – B802



Εικόνα 73: Οθόνη μετρήσεων ομοαξονικού καλωδίου 80m – B803



Εικόνα 74: Οθόνη μετρήσεων ομοαξονικού καλωδίου 80m – B804



Εικόνα 75: Οθόνη μετρήσεων ομοαξονικού καλωδίου 80m – B805

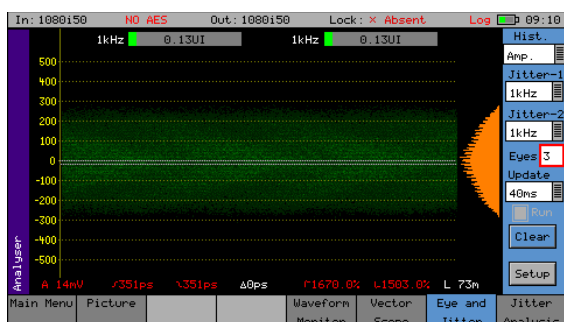
Στον Πίνακα 6 φαίνονται οι μετρήσεις του οργάνου σε απεικόνιση eye display για 5 ομοαξονικά καλώδια 80 μέτρων (B801-B805) όπου A= Amplitude (mV) , L= Cable length (m) , RT = Rise time (ps), FT= Fall Time (ps), D= Rise/ Fall Difference (ps), R= Rising Edge Overshoot (%), F=Falling Edge Overshoot(%).

Ονομασία	L(m)	A(mV)	RT(ps)	FT(ps)	D(ps)	R (%)	F (%)
B801	80	283	414	445	31	31,5	85,9
B802	80	94	361	361	0	279	263,2
B803	80	24	361	361	0	1160	1020,3
B804	80	24	351	353	2	1240	1180,2
B805	80	19	367	367	0	1177	1026,4

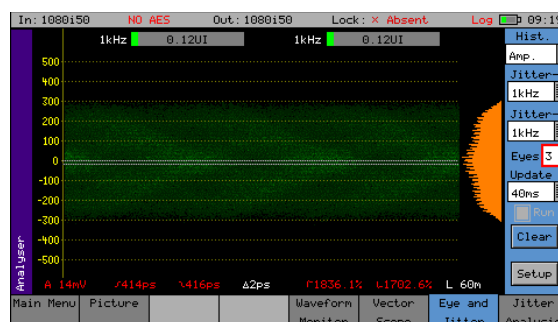
Πίνακας 6: Μετρήσεις ομοαξονικών καλωδίων 80m

3.1.5 Μέτρηση ομοαξονικών καλωδίων 100 μέτρων

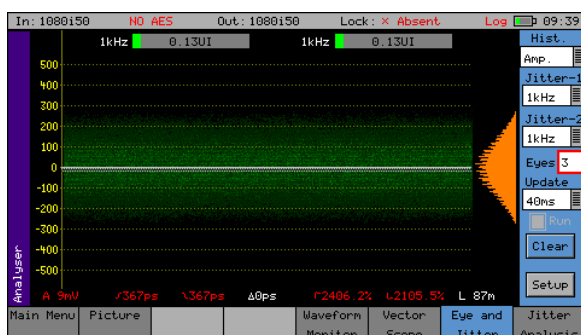
Στην συνέχεια γίνεται μέτρηση σε 5 καλώδια 100 μέτρων (B1001-B1005). Το eye display του οργάνου με τα αποτελέσματα φαίνονται στην Εικόνα 76, Εικόνα 77, Εικόνα 78, Εικόνα 79, Εικόνα 80 αντίστοιχα.



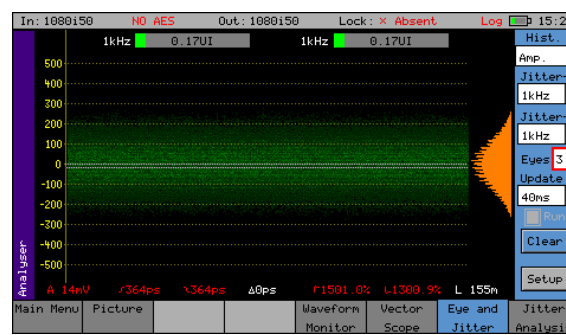
Εικόνα 76: Οθόνη μετρήσεων ομοαξονικού καλωδίου 100m – B1001



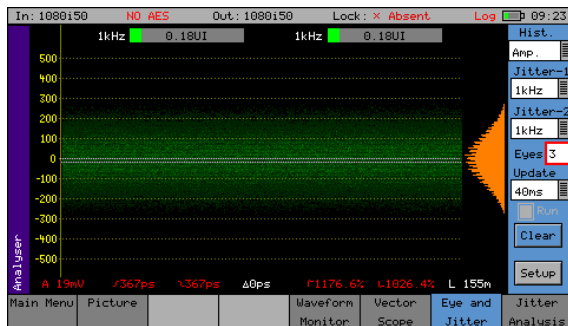
Εικόνα 77: Οθόνη μετρήσεων ομοαξονικού καλωδίου 100m – B1002



Εικόνα 78: Οθόνη μετρήσεων ομοαξονικού καλωδίου 100m – B1003



Εικόνα 79: Οθόνη μετρήσεων ομοαξονικού καλωδίου 100m – B1004



Εικόνα 80: Οθόνη μετρήσεων ομοαξονικού καλωδίου 100m – B1005

Στον Πίνακα 7 φαίνονται οι μετρήσεις του οργάνου σε απεικόνιση eye display για 5 ομοαξονικά καλώδια 100 μέτρων (B1001-B1005) όπου A= Amplitude (mV) , L= Cable length (m) , RT = Rise time (ps), FT= Fall Time (ps), D= Rise/ Fall Difference (ps), R= Rising Edge Overshoot (%), F=Falling Edge Overshoot(%).

Ονομασία	L(m)	A(mV)	RT(ps)	FT(ps)	D(ps)	R (%)	F (%)
B1001	100	14	351	351	0	1670	1503
B1002	100	14	414	416	2	1836	1702,6
B1003	100	9	367	367	0	2406	2105,5
B1004	100	14	364	364	0	1501	1300,9
B1005	100	14	335	335	0	1836	1702,6

Πίνακας 7: Μετρήσεις ομοαξονικών καλωδίων 100m

3.2 Μετρήσεις μεταφοράς SDI μέσω οπτικής ίνας

Για να οδηγήσει η μελέτη σε συμπεράσματα για το πόσο επηρεάζεται το τελικό σήμα που φτάνει στον αποδέκτη μέσω οπτικών ινών από το μήκος και τις καταπονήσεις τους, θα γίνουν μετρήσεις σε οπτικές ίνες διαφόρων μηκών και καταπονήσεων. Για τις μετρήσεις θα γίνει μεταφορά σήματος SDI HD 1080i. Σε όλες τις μετρήσεις θα χρησιμοποιηθεί ο ίδιος τύπος οπτικής ίνας και θα αλλάζει μόνο το μήκος τους. Η οπτική ίνα που θα χρησιμοποιηθεί είναι Digitus Fiber Optic Singlemode LC/LC [69] και διαμέτρου 9/125μ . Όλες οι οπτικές ίνες είναι σε χρήση και δεν είναι κατευθείαν από τον κατασκευαστή και έτσι έχουν διαφορετικές καταπονήσεις. Η θερμοκρασία περιβάλλοντος είναι ίδια αφού οι μετρήσεις γίνονται όλες μαζί.

Το όργανο που θα χρησιμοποιηθεί είναι το Phabrics SxE όπως περιεγράφηκε αναλυτικά στο κεφάλαιο 2.1 και 2.3 ως γεννήτρια σήματος και για την απεικόνιση σε eye display. Για την μέτρηση η μια άκρη ενός μικρού καλωδίου BNC 1m (θεωρείτε ιδανικό και αμελητέο [55]) συνδέεται στο SDI OUT του οργάνου Phabrics SxE ώστε να εξάγεται το σήμα της γεννήτριας και το άλλο άκρο του καλωδίου αυτού συνδέεται στο SDI IN του Mini Converter Optical Fiber . Το ένα άκρο της οπτικής ίνας που θα μελετηθεί συνδέεται στο OPTICAL OUT του Mini Converter Optical Fiber και το άλλο άκρο της οπτικής ίνας στο OPTICAL IN του Converter. Από το SDI OUT του Converter συνδέετε καλώδιο BNC ενός μέτρου και το άλλο άκρο του συνδέετε στο SDI IN του οργάνου Phabrics ώστε να γίνει απεικόνιση με το eye display. Η ίδια συνδεσμολογία ακολουθείτε για διαφορετικά μήκη οπτικής ίνας. Η συνδεσμολογία αυτή φαίνεται και στην Εικόνα 81.



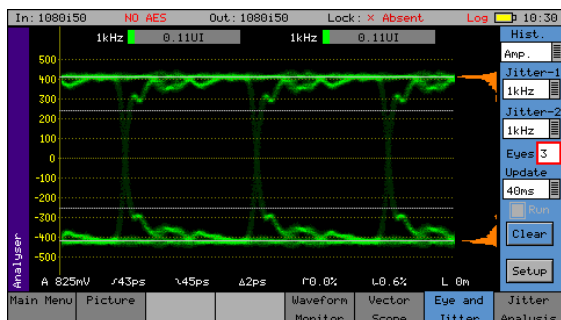
Εικόνα 81: Συνδεσμολογία μέτρησης οπτικής ίνας

Θα γίνει μέτρηση σε 2 οπτικές ίνες για καθένα από τα ακόλουθα μήκη:

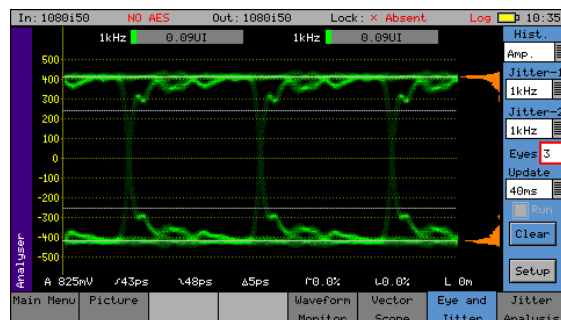
- 10 μέτρων (F101-F102),
- 20 μέτρων (F201-F202),
- 50 μέτρων (F501-F502),
- 80 μέτρων (F801-F802),
- 100 μέτρων (F1001-F1002),
- 200 μέτρων (F2001-F2002).

Το eye display του οργάνου με τα αποτελέσματα φαίνονται αντίστοιχα για τις οπτικές ίνες:

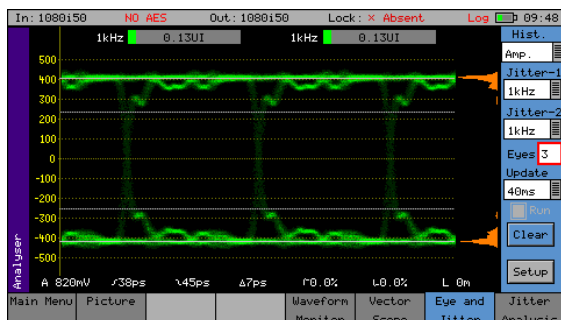
- F101-F102 στην Εικόνα 82, Εικόνα 83,
- F201-F202 στην Εικόνα 84, Εικόνα 85
- F501-F502 στην Εικόνα 86, Εικόνα 87,
- F801-F802 στην Εικόνα 88, Εικόνα 89,
- F1001-F1002 στην Εικόνα 90, Εικόνα 91
- F2001-F2002 στην Εικόνα 92, Εικόνα 93.



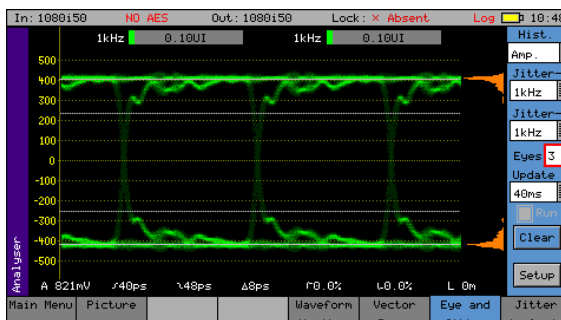
Εικόνα 82: Οθόνη μετρήσεων οπτικής ίνας 10m – F101



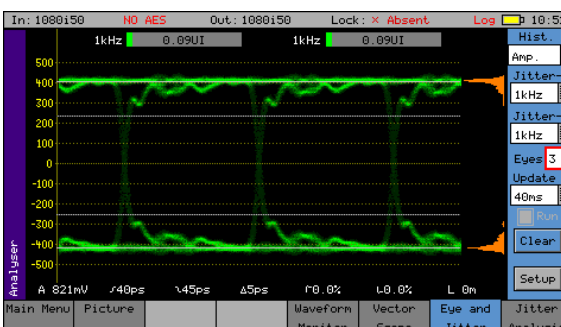
Εικόνα 83: Οθόνη μετρήσεων οπτικής ίνας 10m – F102



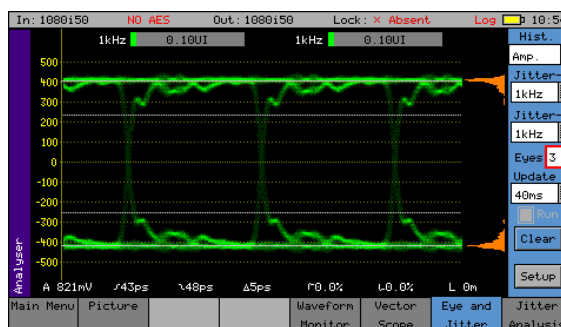
Εικόνα 84: Οθόνη μετρήσεων οπτικής ίνας 20m – F201



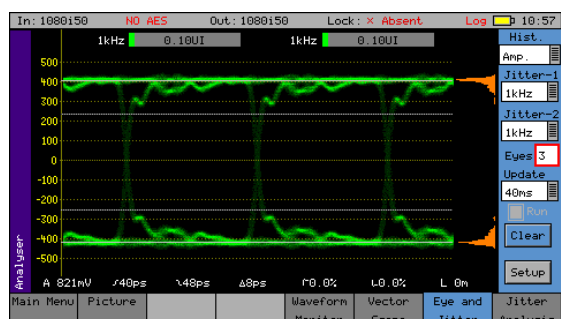
Εικόνα 85: Οθόνη μετρήσεων οπτικής ίνας 20m – F202



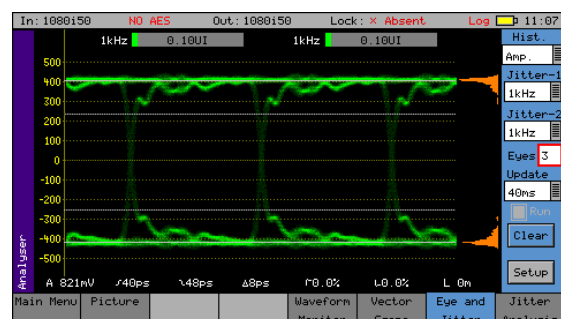
Εικόνα 86: Οθόνη μετρήσεων οπτικής ίνας 50m – F501



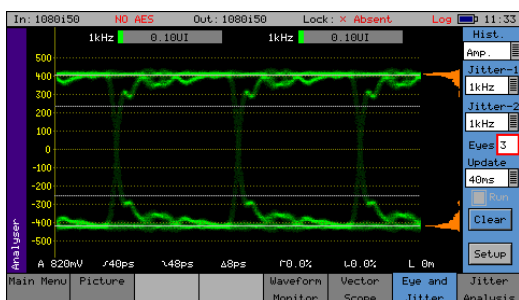
Εικόνα 87: Οθόνη μετρήσεων οπτικής ίνας 50m – F502



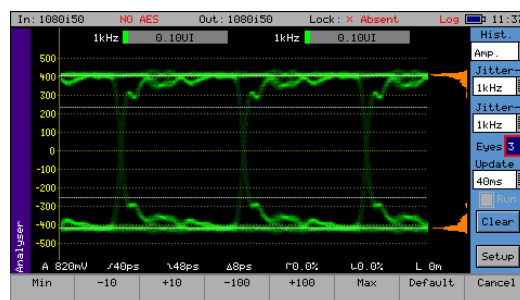
Εικόνα 88: Οθόνη μετρήσεων οπτικής ίνας 80m – F801



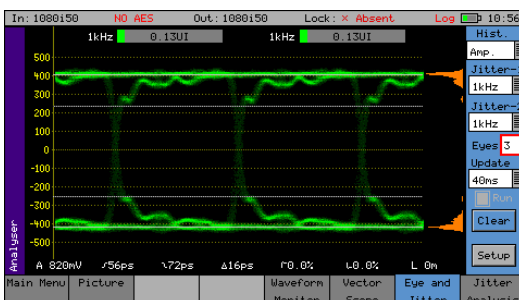
Εικόνα 89: Οθόνη μετρήσεων οπτικής ίνας 80m – F802



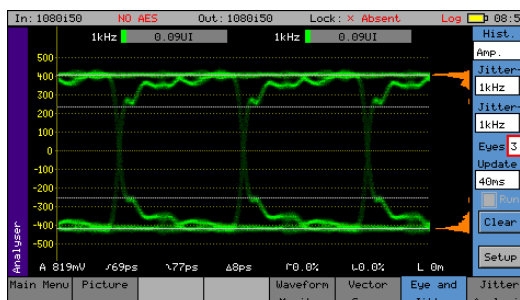
Εικόνα 90: Οθόνη μετρήσεων οπτικής ίνας 100m – F1001



Εικόνα 91: Οθόνη μετρήσεων οπτικής ίνας 100m – F1002



Εικόνα 92: Οθόνη μετρήσεων οπτικής ίνας 200m – F2001



Εικόνα 93: Οθόνη μετρήσεων οπτικής ίνας 200m – F2002

Στον Πίνακα 8 φαίνονται οι μετρήσεις του οργάνου σε απεικόνιση eye display για οπτικές ίνες διαφόρων μηκών όπου A= Ampitude (mV) , L= Cable length (m) , RT = Rise time (ps), FT= Fall Time (ps), D= Rise/ Fall Difference (ps), R= Rising Edge Overshoot (%), F=Falling Edge Overshoot(%).

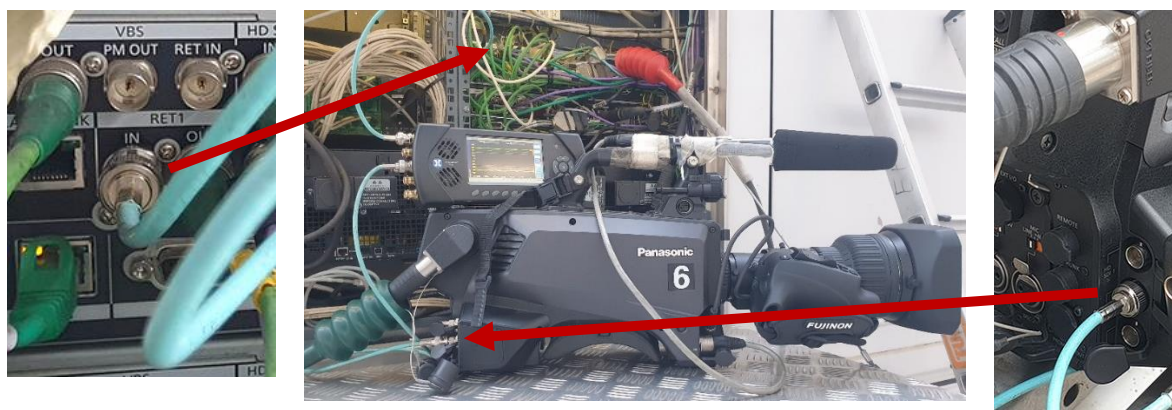
Ονομασία	L(m)	A(mV)	RT(ps)	FT(ps)	D(ps)	R (%)	F (%)
F101	10	825	43	45	2	0	0,6
F102	10	825	43	48	5	0	0
F201	20	820	38	45	7	0	0
F202	20	821	40	48	8	0	0
F501	50	821	40	45	5	0	0
F502	50	821	43	48	5	0	0
F801	80	821	40	48	8	0	0
F802	80	821	40	48	8	0	0
F1001	100	820	40	48	8	0	0
F1002	100	820	40	48	8	0	0
F2001	200	820	56	72	16	0	0
F2002	200	819	69	77	8	0	0

Πίνακας 8: Μετρήσεις οπτικών ινών διαφόρων μηκών

3.3 Μετρήσεις μεταφοράς SDI μέσω σύνδεσης CCU και κάμερας

Για να εξαχθούν συμπεράσματα για το πόσο επηρεάζεται το τελικό σήμα που φτάνει στον αποδέκτη όταν η μεταφορά σήματος SDI γίνεται μέσω υβριδικών καλωδίων που συνδέουν το CCU και την κάμερα, θα γίνουν μετρήσεις σε υβριδικά καλώδια διαφόρων μηκών και καταπονήσεων. Για τις μετρήσεις θα γίνει μεταφορά σήματος SDI HD 1080i. Σε όλες τις μετρήσεις θα χρησιμοποιηθεί CCU Panasonic AK-UCU500 και κάμερα Panasonic AK-HC5000G. Για την σύνδεση του CCU και της κάμερας θα χρησιμοποιηθούν τα ίδια υβριδικά οπτικά καλώδια SMPTE-311 της εταιρείας Belden [28] με βύσματα της εταιρείας Lemo SMPTE-304 [29] και θα αλλάζει μόνο το μήκος τους. Όλα τα υβριδικά καλώδια είναι σε χρήση και δεν είναι κατευθείαν από τον κατασκευαστή και έτσι έχουν διαφορετικές καταπονήσεις. Η θερμοκρασία περιβάλλοντος είναι ίδια αφού οι μετρήσεις γίνονται όλες μαζί.

Θα χρησιμοποιηθεί όργανο Phabrics SxE όπως περιεγράφηκε αναλυτικά στο κεφάλαιο 2.1 και 2.4 ως γεννήτρια σήματος και για την απεικόνιση σε eye display. Για την μέτρηση η μια άκρη ενός μικρού καλωδίου BNC 1m (θεωρείτε ιδανικό και αμελητέο [55]) συνδέεται στο SDI OUT του οργάνου Phabrics SxE ώστε να εξάγεται το σήμα της γεννήτριας και το άλλο άκρο του καλωδίου αυτού συνδέεται στο RET 1 IN του CCU. Το CCU και η κάμερα συνδέονται μέσω υβριδικού καλωδίου SMPTE-311. Από το HD SDI 2 της κάμερας συνδέετε καλώδιο BNC ενός μέτρου και το άλλο άκρο του συνδέετε στο SDI IN του οργάνου Phabrics ώστε να γίνει απεικόνιση με το eye display. Η ίδια συνδεσμολογία ακολουθείτε για διαφορετικά μήκη υβριδικού καλωδίου SMPTE-311. Η συνδεσμολογία αυτή φαίνεται και στην Εικόνα 94.



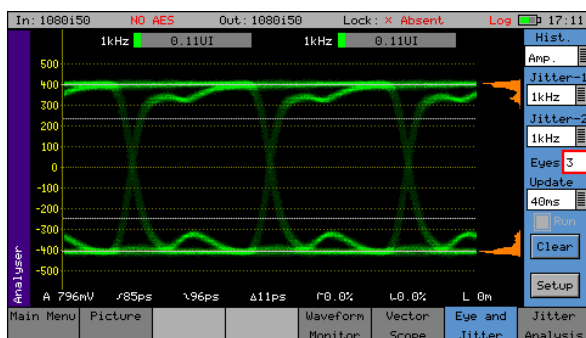
Εικόνα 94: Συνδεσμολογία μέτρησης υβριδικού καλωδίου

Θα γίνει μέτρηση σε 2 υβριδικά καλώδια για καθένα από τα ακόλουθα μήκη:

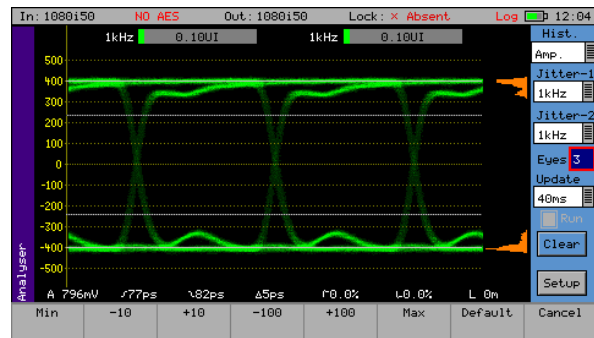
- 10 μέτρων (H101-H102),
- 20 μέτρων (H201-H202),
- 50 μέτρων (H501-H502),
- 80 μέτρων (H801-H802),
- 100 μέτρων (H1001-H1002),
- 200 μέτρων (H2001-H2002).

Το eye display του οργάνου με τα αποτελέσματα φαίνονται αντίστοιχα για τα υβριδικά καλώδια:

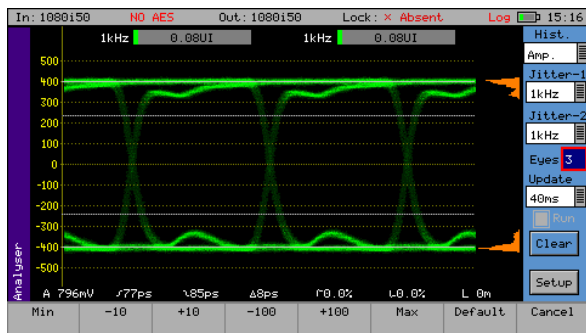
- H101-H102 στην Εικόνα 95, Εικόνα 96 ,
- H201-H202 στην Εικόνα 97, Εικόνα 98,
- H501-H502 στην Εικόνα 99, Εικόνα 100,
- H801-H802 στην Εικόνα 101, Εικόνα 102,
- H1001-H1002 στην Εικόνα 103, Εικόνα 104,
- H2001-H2002 στην, Εικόνα 105, Εικόνα 106.



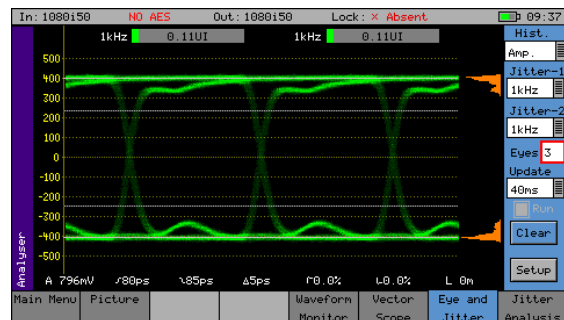
Εικόνα 95: Οθόνη μετρήσεων υβριδικού καλωδίου 10m – H101



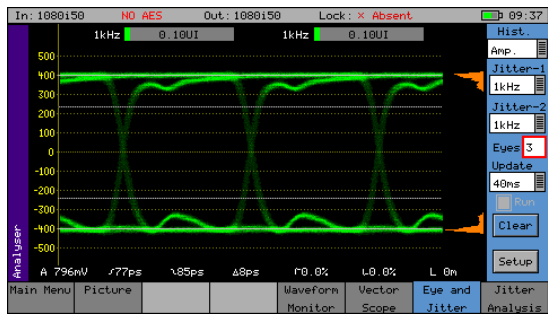
Εικόνα 96: Οθόνη μετρήσεων υβριδικού καλωδίου 10m – H102



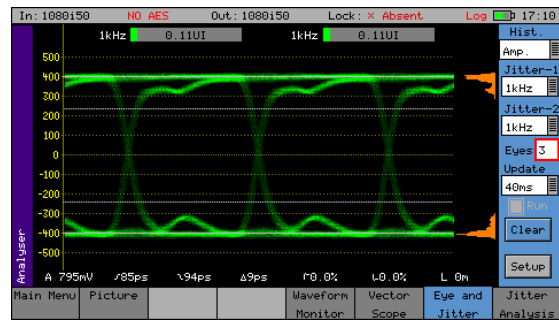
Εικόνα 97: Οθόνη μετρήσεων υβριδικού καλωδίου 20m – H201



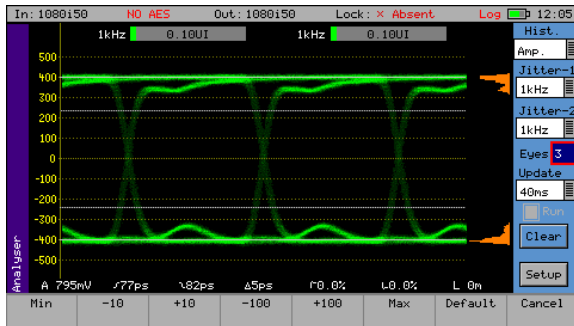
Εικόνα 98: Οθόνη μετρήσεων υβριδικού καλωδίου 20m – H202



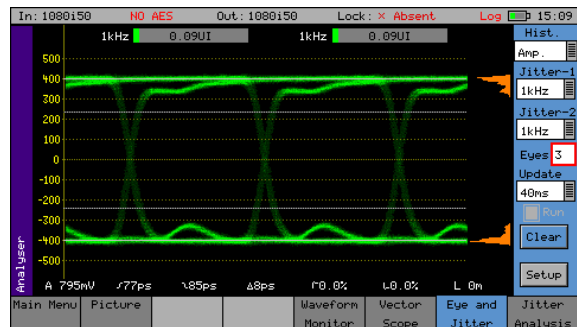
Εικόνα 99: Οθόνη μετρήσεων υβριδικού καλωδίου 50m – H501



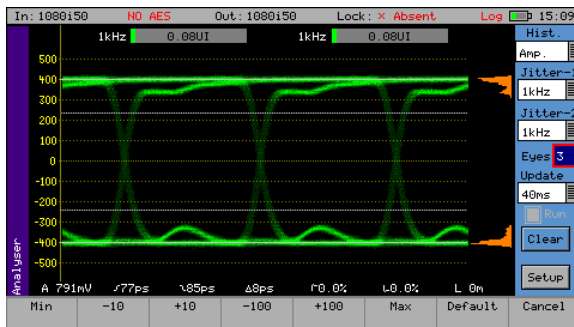
Εικόνα 100: Οθόνη μετρήσεων υβριδικού καλωδίου 50m – H502



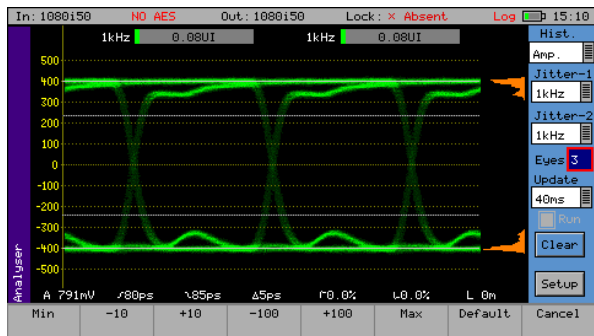
Εικόνα 101: Οθόνη μετρήσεων υβριδικού καλωδίου 80m – H801



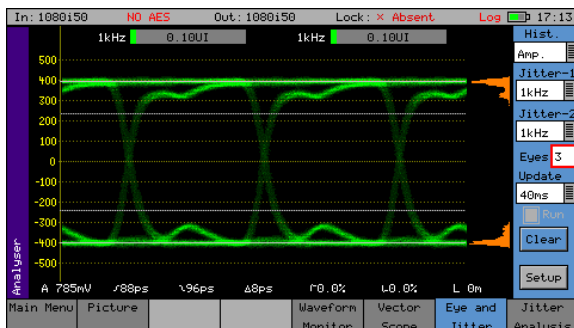
Εικόνα 102: Οθόνη μετρήσεων υβριδικού καλωδίου 80m – H802



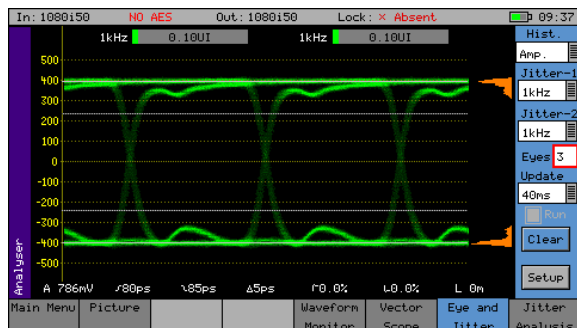
Εικόνα 103: Οθόνη μετρήσεων υβριδικού καλωδίου 100m – H1001



Εικόνα 104: Οθόνη μετρήσεων υβριδικού καλωδίου 100m – H1002



Εικόνα 105: Οθόνη μετρήσεων υβριδικού καλωδίου 200m – H2001



Εικόνα 106: Οθόνη μετρήσεων υβριδικού καλωδίου 200m – H2002

Στον Πίνακα 9 φαίνονται οι μετρήσεις του οργάνου σε απεικόνιση eye display για υβριδικά καλώδια διαφόρων μηκών όπου A= Amplitude (mV) , L= Cable length (m) , RT = Rise time (ps), FT= Fall Time (ps), D= Rise/ Fall Difference (ps), R= Rising Edge Overshoot (%), F=Falling Edge Overshoot(%).

Ονομασία	L(m)	A(mV)	RT(ps)	FT(ps)	D(ps)	R (%)	F (%)
H101	10	796	85	96	11	0	0
H102	10	796	77	82	5	0	0
H201	20	796	77	85	8	0	0
H202	20	796	80	85	5	0	0
H501	50	796	77	85	8	0	0
H502	50	795	85	94	9	0	0
H801	80	795	77	82	5	0	0
H802	80	795	77	85	8	0	0
H1001	100	791	77	85	8	0	0
H1002	100	791	80	85	5	0	0
H2001	200	785	88	96	8	0	0
H2002	200	786	80	85	5	0	0

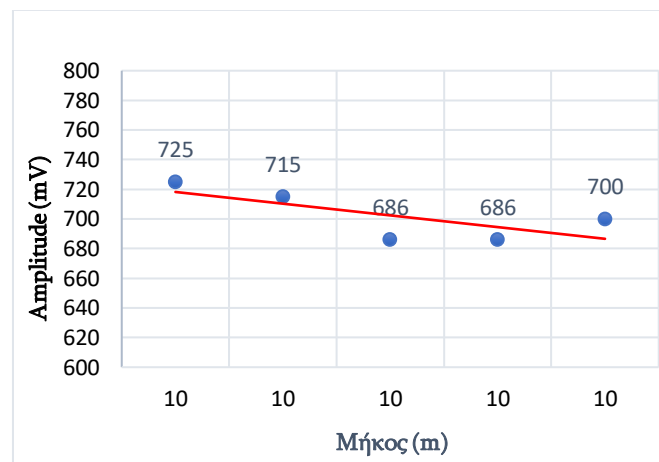
Πίνακας 9: Μετρήσεις υβριδικών καλωδίων διαφόρων μηκών

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Ανάλυση Αποτελεσμάτων

Στο προηγούμενο κεφάλαιο έγιναν μετρήσεις για μεταφορά σήματος SDI μέσω ομοαξονικών καλωδίων, οπτικών ινών και υβριδικών καλωδίων (σύνδεσης CCU με κάμερα). Από την μελέτη αυτών των μετρήσεων θα εξαχθούν ενδιαφέροντα συμπεράσματα για το πόσο επηρεάζεται το μεταφερόμενο σήμα από την ποιότητα και το μήκος του καλωδίου, από τις καταπονήσεις και τον τρόπο μεταφοράς. Επιπλέον τα συμπεράσματα αυτά θα βοηθήσουν τους μηχανικούς για τις μετρήσεις που πρέπει να γίνονται και τα σημεία που είναι κρίσιμα για την ποιότητα του σήματος σε πραγματικές συνθήκες.

Για να γίνουν πιο εύκολα κατανοητά τα αποτελέσματα θα αποτυπωθούν σε ανάλογες γραφικές παραστάσεις και θα βγουν τα συμπεράσματα από την ανάλυση τους.

Στο Γράφημα 1 αποτυπώνονται γραφικά οι τιμές του πλάτους του σήματος HD SDI που μεταφέρετε μέσω των 5 διαφορετικών ομοαξονικών καλωδίων 10m που φαίνονται στο κεφάλαιο 3.1.1. Εύκολα γίνεται κατανοητό ότι οι τιμές του πλάτους είναι κοντινές και έτσι έχουμε με ήπια διασπορά. Με κόκκινη γραμμή αποτυπώνετε η τάση μέση τιμής.



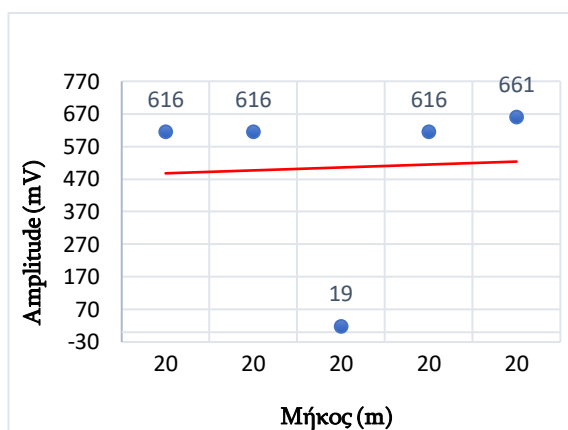
Γράφημα 1: Τιμές του πλάτους ομοαξονικών καλωδίων 10m

Οι τιμές πλάτους παρατηρείται ότι είναι πολύ κοντά στα 800mV που είναι λογικό αφού οι εξασθένηση σε τόσο μικρό μήκος είναι ελάχιστη και από τα αποτελέσματα φαίνεται ότι τα καλώδια ήταν σε καλή κατάσταση χωρίς καταπονήσεις ώστε να επηρεάσουν το τελικό τους πλάτος.

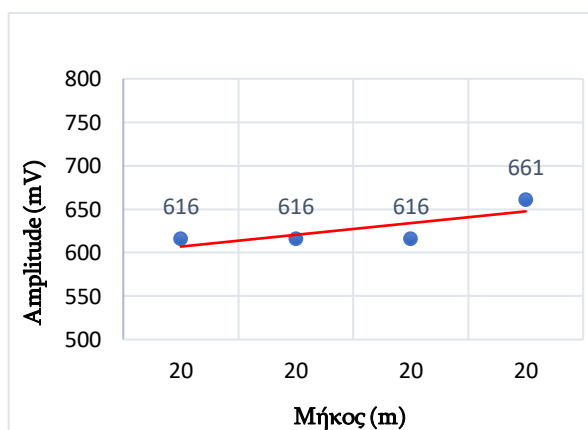
Στην συνέχεια στο Γράφημα 2 αποτυπώνονται γραφικά οι τιμές του πλάτους του σήματος HD SDI που μεταφέρετε μέσω των 5 διαφορετικών ομοαξονικών καλωδίων 20m που φαίνονται στο κεφάλαιο 3.1.2. Εύκολα γίνεται κατανοητό ότι μία τιμή (καλώδιο

B203) ξεφεύγει και είναι εκτός ορίων. Παρατηρείτε επίσης ότι σε αυτό το καλώδιο οι μετρήσεις Overshoot (%) και Undershoot(%) είναι υπερβολικά υψηλές δηλαδή 1000 φορές πάνω από το όριο που ορίζεται από το SMPTE 292 [42]. Όλα τα παραπάνω οδηγούν στο συμπέρασμα ότι το καλώδιο αυτό έχει βλάβη και δεν θα μεταφέρει το σήμα με αξιοπιστία και ασφάλεια [55] αν και εξωτερικά δεν φαίνεται κάποια βλάβη. Αν και το μήκος του είναι ίδιο με τα υπόλοιπα 4 καλώδια δηλαδή 20m και η εξασθένιση είναι ίδια σε όλα, κάποια μηχανική καταπόνηση έχει κάνει το καλώδιο αυτό ακατάλληλο. Συνήθως οι πιο πολλές βλάβες είναι από κάμψη του καλωδίου περισσότερο από τα όρια που δίνει ο κατασκευαστής. Σύμφωνα με την βιβλιογραφία [55] μια στροφή 90° του καλωδίου ισοδυναμεί με την προσθήκη επιπλέον 30 ποδιών καλωδίου. Επίσης πολλές βλάβες οφείλονται στην χαλάρωση του συνδέσμου BNC αν και αυτό είναι πιο εύκολα ορατό.

Στο Γράφημα 3 αποτυπώνονται ξανά οι τιμές πλάτους των καλωδίων 20m και έχει αφαιρεθεί η τιμή του καλωδίου B203 που είναι εκτός ορίων. Αποτυπώνετε εκ νέου η μέση τιμή τάσης με κόκκινη γραμμή.



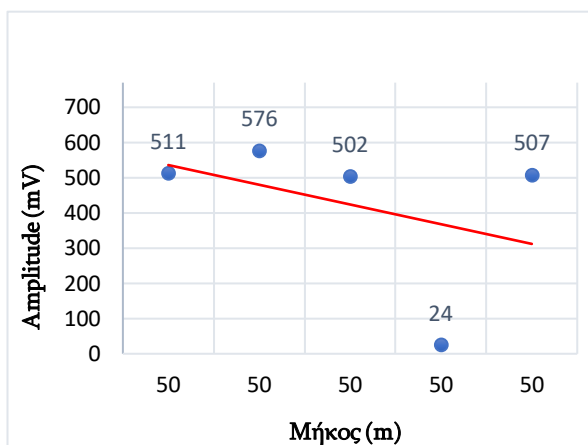
Γράφημα 2: Τιμές του πλάτους ομοαξονικών καλωδίων 20m



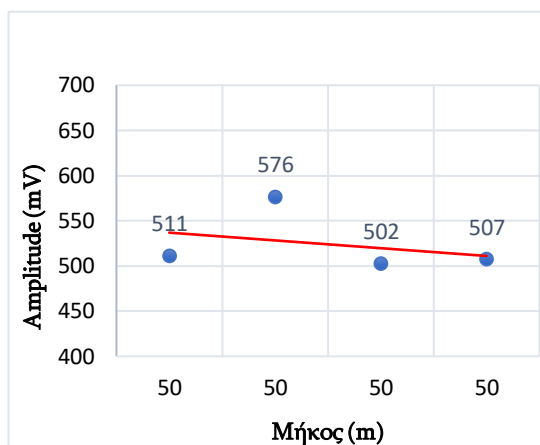
Γράφημα 3: Τιμές του πλάτους ομοαξονικών καλωδίων 20m χωρίς την τιμή του B203

Προχωρώντας την ανάλυση, στο Γράφημα 4 αποτυπώνονται γραφικά οι τιμές του πλάτους του σήματος HD SDI που μεταφέρετε μέσω των 5 διαφορετικών ομοαξονικών καλωδίων 50m που φαίνονται στο κεφάλαιο 3.1.3. Το καλώδιο B504 όπως παραπάνω και το καλώδιο B203, είναι εκτός ορίων και οι μετρήσεις Overshoot (%) και Undershoot(%) είναι υπερβολικά υψηλές. Όλα αυτά οδηγούν στο ίδιο συμπέρασμα όπως και παραπάνω ότι το καλώδιο B504 αυτό έχει βλάβη και δεν θα μεταφέρει το σήμα με αξιοπιστία και ασφάλεια [55] αν και εξωτερικά δεν φαίνεται κάποια βλάβη. Οι πιθανοί λόγοι βλάβης αναφέρθηκαν προηγουμένως.

Στο Γράφημα 5 αποτυπώνονται πάλι οι τιμές πλάτους των καλωδίων 50m και έχει αφαιρεθεί η τιμή του καλωδίου B205 που είναι εκτός ορίων. Αποτυπώνετε εκ νέου η μέση τιμή τάσης.

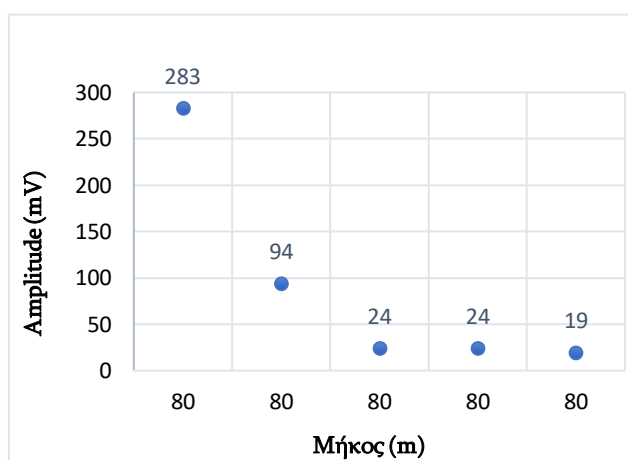


Γράφημα 4: Τιμές του πλάτους ομοαξονικών καλωδίων 50m



Γράφημα 5: Τιμές του πλάτους ομοαξονικών καλωδίων 20m χωρίς την τιμή του B504

Στην συνέχεια στο Γράφημα 6 αποτυπώνονται γραφικά οι τιμές του πλάτους του σήματος HD SDI που μεταφέρετε μέσω των 5 διαφορετικών ομοαξονικών καλωδίων 80m που φαίνονται στο κεφάλαιο 3.1.4. Από τις τιμές φαίνεται ότι μόνη η τιμή του B801 δείχνει εντός ορίων, οι υπόλοιπες τιμές είναι πολύ χαμηλές που κάνει την μεταφορά του σήματος αμφίβολη. Για αυτό το λόγο δεν αποτυπώνετε η μέση τιμή αφού οι 4 τιμές είναι εκτός ορίων.

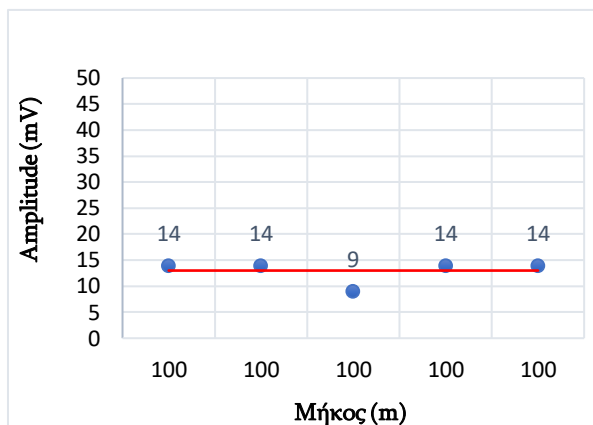


Γράφημα 6: Τιμές του πλάτους ομοαξονικών καλωδίων 80m

Σε κάποιες συσκευές ίσως δουλέψει και το καλώδιο B802 αν το μηχάνημα διαθέτει καλό ισοσταθμιστή στην είσοδο του [55]. Αυτό που παρατηρείτε είναι ότι αν ο κατασκευαστής του καλωδίου δίνει μέγιστη απόσταση 108 μέτρα για μεταφορά σήματος HD SDI [74] από τις μετρήσεις προκύπτει ότι μόνο 1 καλώδιο από τα 5 των 80 μέτρων είναι ικανό για αξιόπιστη μεταφορά του σήματος. Αυτό συμβαίνει γιατί ήδη στην μεγάλη εξασθένιση του σήματος λόγω μήκος έχουν προστεθεί καταπονήσεις του καλωδίου λόγω

χρήσης του (κάμψη, τσακίσματα, χαλαρό BNC κ.α.) που ο κατασκευαστής της δεν μπορεί να τα προβλέψει και να τα μετρήσει.

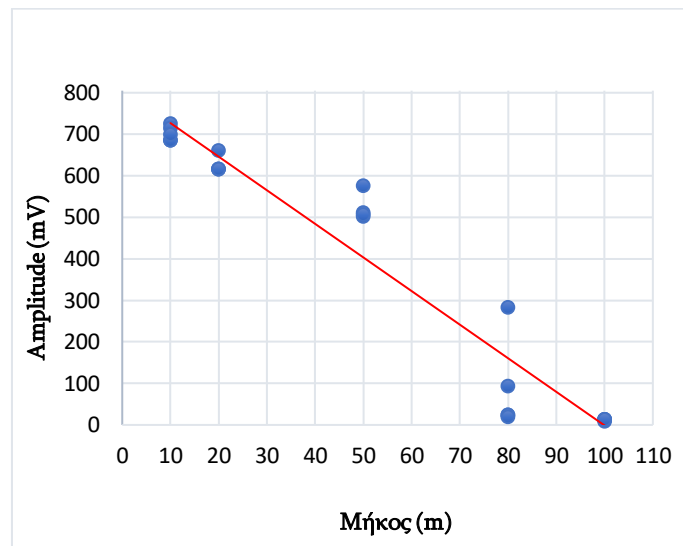
Τέλος στο Γράφημα 7 αποτυπώνονται γραφικά οι τιμές του πλάτους του σήματος HD SDI που μεταφέρετε μέσω των 5 διαφορετικών ομοαξονικών καλωδίων 100m που φαίνονται στο κεφάλαιο 3.1.5.. Εύκολα γίνεται κατανοητό ότι οι τιμές είναι υπερβολικά χαμηλές και όλα αυτά τα καλώδια (B1001-B1005) είναι αναξιόπιστα για μεταφορά σήματος HD. Με κόκκινη γραμμή αποτυπώνετε η τάση μέση τιμής.



Γράφημα 7: Τιμές του πλάτους ομοαξονικών καλωδίων 100m

Από όλα τα παραπάνω συνολικά, βγαίνουν πολύ χρήσιμα συμπεράσματα. Αρχικώς το κύριο συμπέρασμα είναι ότι η μεταφορά σήματος βίντεο σε μεγάλες αποστάσεις είναι απαγορευτικές για καλώδιο BNC και φάνηκε ξεκάθαρα από τις μετρήσεις πως μειώνεται η ποιότητα του σήματος καθώς αυξάνεται η απόσταση. Είναι κάτι που ήταν αναμενόμενο αλλά με τις μετρήσεις, έγινε ξεκάθαρο πόσο πολύ επηρεάζουν οι καταπονήσεις το καλώδιο και απέχει πολύ η πραγματική μέγιστη απόσταση από που αυτή που δίνει ο κατασκευαστής και θεωρείτε ιδανική. Τα καλώδια που μετρήθηκαν είναι σε χρήση κάθε μέρα, άρα προστεθείτε κάθε μέρα καταπόνηση από άπλωμα, τράβηγμα, κάμψη κ.α. Έτσι γίνεται εύκολα κατανοητό ότι τα ίδια καλώδια αν είχαν μετρηθεί 6 μήνες νωρίτερα θα είχαν διαφορετικά αποτελέσματα προς το καλύτερο.

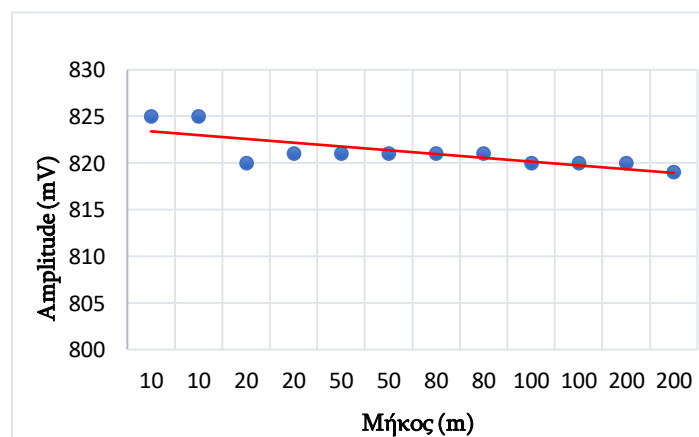
Στο Γράφημα 8 θα γίνει αποτύπωση γραφικά οι τιμές του πλάτους του σήματος HD SDI που μεταφέρετε μέσω όλων των ομοαξονικών καλωδίων που μετρήθηκαν. Έχει αφαιρεθεί η μέτρηση του καλωδίου B203 και B504 επειδή είναι εκτός ορίων και δεν θα βοηθούσαν στην κατανόηση. Τα καλώδια των 80 μέτρων και των 100 μέτρων έχουν συμπεριληφθεί για να γίνει πιο σαφές η συμπεριφορά στις μεγάλες αποστάσεις.



Γράφημα 8: Τιμές του πλάτους ομοαξονικών καλωδίων διαφόρων μέτρων

Για όλους τους παραπάνω λόγους φαίνεται πόσο κρίσιμο είναι να γίνεται έλεγχος και μέτρηση των καλωδίων για την ποιότητα τους ανεξαρτήτως αν ήταν σωστά την προηγούμενη ημέρα μετάδοσης. Έτσι θα αποφευχθεί μια αποτυχία στην μεταφορά του σήματος που θα έχει σαν αποτέλεσμα τις παροδικές ή μόνιμες διακοπές ή το πάγωμα της εικόνας ή τον σπινθηρισμό.

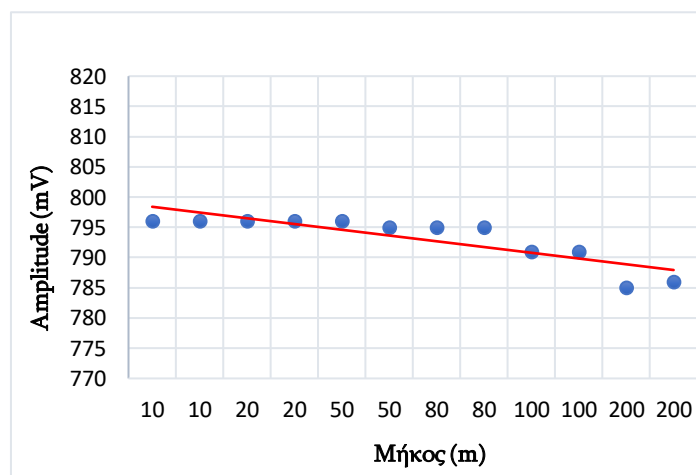
Στην συνέχεια θα γίνει ανάλυση με των αποτελεσμάτων για μεταφορά σήματος μέσω οπτικής ίνας. Στο Γράφημα 9 αποτυπώνονται γραφικά οι τιμές του πλάτους του σήματος HD SDI που μεταφέρετε μέσω οπτικών ινών διαφόρων μηκών που φαίνονται στο κεφάλαιο 3.2. Εύκολα γίνεται κατανοητό ότι οι τιμές είναι πολύ κοντά. Με κόκκινη γραμμή αποτυπώνετε η τάση μέση τιμής.



Γράφημα 9: Τιμές του πλάτους σήματος μέσω οπτικών ινών διαφόρων μηκών

Από την μελέτη των οπτικών ινών φαίνονται τα πλεονεκτήματά τους και η αξιοπιστία τους σχετικά με το ποιοτικό αποτέλεσμα. Το συμπέρασμα αυτό ήταν αναμενόμενο αφού οι οπτικές ίνες σύμφωνα με τα τεχνικά τους χαρακτηριστικά έχουν πολύ μικρή εξασθένηση. Στην επιλογή μιας οπτικής ίνας αντί ενός BNC θα πρέπει να λάβουμε μερικούς σημαντικούς παράγοντες που μπορεί να επηρεάσουν την τελική μας απόφαση. Το κύριο πλεονέκτημα μιας οπτικής ίνας έναντι του BNC είναι η ποιότητα του μεταφερόμενου σήματος σε μεγάλες αποστάσεις. Ένα από τα βασικά του μειονεκτήματα είναι το μεγάλο του κόστος σε σχέση με το BNC δηλαδή είναι διπλάσια ή τριπλάσια η τιμή του. Ένα άλλο μειονέκτημα της οπτικής ίνας είναι ότι είναι πολύ λεπτό και ευαίσθητο σε σχέση και με τις εξωτερικές συνθήκες την καταπόνηση (χτυπήματα, τσακίσματα κτλ.) και έτσι πρέπει να το λάβουμε σοβαρά υπόψη αφού μια μικρή καταπόνηση μπορεί να καταστρέψει την οπτική ίνα. Η επισκευή της είναι ακριβή και πολλές φορές είναι καλύτερα η αγορά νέας οπτικής ίνας παρά η επισκευή της. Επίσης οι περισσότερες παραγωγές που γίνονται από την μονάδα εξωτερικών μεταδόσεων είναι σε εξωτερικό χώρο άρα θα οδηγήσει σε περισσότερες βλάβες οπτικών ινών. Επίσης για να γίνει το οπτικό σήμα πάλι ηλεκτρικό θα χρειαστεί ένας μετατροπέας που θα θέλει τροφοδοσία ρεύματος που ίσως αποτελεί πρόβλημα ανάλογα με το χώρο της μετάδοσης.

Φτάνοντας στο τέλος θα γίνει ανάλυση των αποτελεσμάτων για μεταφορά σήματος μέσω σύνδεσης CCU και κάμερας μέσω υβριδικού καλωδίου. Στο Γράφημα 10 αποτυπώνονται γραφικά οι τιμές του πλάτους του σήματος HD SDI που μεταφέρετε μέσω υβριδικών καλωδίων διαφόρων μηκών που φαίνονται στο κεφάλαιο 3.3. Εύκολα γίνεται κατανοητό ότι οι τιμές είναι πολύ κοντά. Με κόκκινη γραμμή αποτυπώνετε η τάση μέση τιμής

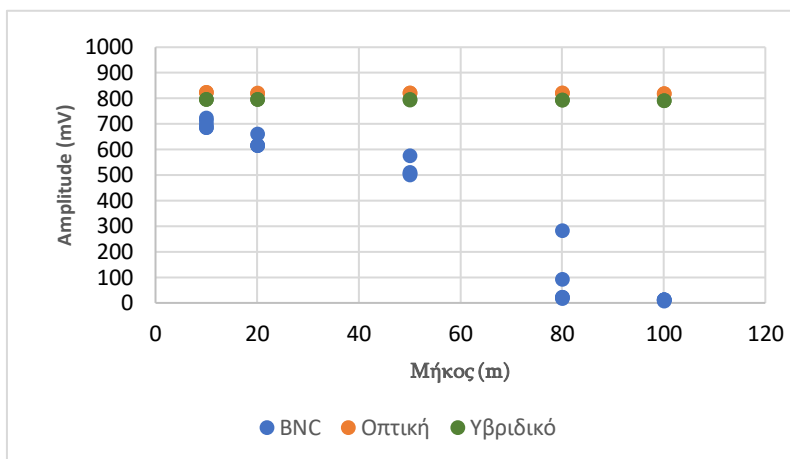


Γράφημα 10: Τιμές του πλάτους σήματος μέσω υβριδικών καλωδίων

Από τα αποτελέσματα φαίνεται ότι η ποιότητα του σήματος που φτάνει στον δέκτη είναι πολύ καλή. Το αποτέλεσμα αυτό ήταν αναμενόμενο αφού οι εξασθενίσεις του καλωδίου είναι ελάχιστες και επίσης αφού το σήμα πολυπλέκεται και μεταφέρετε μέσω του υβριδικού καλωδίου και αποπλέκεται είναι σαν να δημιουργείται ξανά από την αρχή άρα η ποιότητα του σήματος είναι σχεδόν όπως το αρχικό. Το μειονέκτημα αυτής της

μεθόδου είναι ότι ίσως τα σημεία που χρειάζεται ένα σήμα βίντεο να μην είναι κοντά στην κάμερα. Επίσης ένα άλλο μειονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι το κόστος αγοράς του καλωδίου αλλά και το κόστος επισκευής σε περίπτωση βλάβης.

Εν κατακλείδι γίνεται ομαδοποίησή όλων των αποτελεσμάτων και στο Γράφημα 11 φαίνονται οι τιμές του πλάτους του σήματος HD SDI που μεταφέρετε μέσω και των τριών τρόπων που περιεγράφηκαν παραπάνω.



Γράφημα 11: Τιμές του πλάτους σήματος με όλους τους τρόπους μεταφοράς

Καταλήγοντας και συνοψίζοντας όλα τα αποτελέσματα τα χρήσιμα συμπεράσματα είναι:

- Ότι η μεταφορά με ομοαξονικό καλώδιο έχει περιορισμούς στο μήκος και η καταπόνηση τους είναι ένας παράγοντας πολύ σημαντικός στην μεταφορά σήματος.
- Ο έλεγχος και η μέτρηση των καλωδίων πριν από κάθε παραγωγή είναι απόλυτης προτεραιότητας και πολύ κρίσιμος για την εξασφάλιση αξιόπιστης μεταφοράς σήματος.
- Οι οπτικές ίνες προσφέρουν σαφώς πολύ καλύτερο αποτέλεσμα αλλά κατά περίπτωση πρέπει να συνυπολογίζεται και η διαφορά κόστους από τα BNC. Επίσης πρέπει να λαμβάνετε υπόψη και η όδευση της οπτικής ίνας από σημεία που θα είναι ασφαλής να μην καταστραφεί λόγω τις ευαισθησίας της.
- Η μεταφορά του σήματος μέσω σύνδεσης CCU και κάμερας είναι μια πολύ καλή επιλογή αφού δεν προϋποθέτει επιπλέον κόστος αφού η σύνδεση μεταξύ CCU και κάμερας με υβριδικό καλώδιο θα γίνει για να λειτουργήσει η κάμερα. Το μειονέκτημα σε αυτή τη μέθοδο είναι ότι δεν είναι όλα τα σημεία που χρειάζεται μεταφορά σήματος πάντα κοντά σε κάμερα.

Συνοψίζοντας, ο μηχανικός θα πρέπει να κάνει σωστή μελέτη των απαιτήσεων και λαμβάνοντας υπόψη τα συμπεράσματα αυτής της εργασίας που προαναφέρθηκαν να αποφασίζει για τον τρόπο μεταφοράς κάθε σήματος.

Για να γίνει πρακτική χρήση της μελέτης αυτής και των συμπερασμάτων θα παρουσιαστούν οι λύσεις που προτείνονται για την μεταφορά των σημάτων του παραδείγματος του κεφαλαίου 1.6.3. με βάση τη γνώση που αποκτήθηκε από αυτή την εργασία.

Αναλυτικά η επιλογή του τρόπου μεταφοράς είναι:

- Το video wall 3 που βρίσκεται 20μ από το van θα χρησιμοποιηθεί BNC καλώδιο για να μεταφερθεί το σήμα HD 1080i.
- Το monitor που βρίσκεται στα 60μ και δεν έχει κάποια κάμερα κοντά θα χρησιμοποιηθεί και εδώ ομοαξονικό καλώδιο αφού τα αποτελέσματα της ποιότητας του καλωδίου μέχρι τα 60m είναι ανεκτά. Εννοείτε όλα τα καλώδια θα μετρηθούν πριν για την ποιότητα τους.
- Στο video wall 2 που βρίσκεται δίπλα στην κάμερα 4 θα χρησιμοποιηθεί μεταφορά σήματος μέσω κάμερας αφού η κάμερα είναι σταθερή και είναι ακριβώς δίπλα.
- Η ρομποτική κάμερα PTZ που βρίσκεται στα 60μ, θα χρησιμοποιηθεί η κάμερα για την μεταφορά σήματος (με την αντίστροφη φορά από ότι στην μελέτη μας) δηλαδή σαν είσοδο του σήματος θα είναι η κάμερα και σαν έξοδος το CCU.
- Για το video wall 1 που βρίσκεται στα 150μ θα χρησιμοποιηθεί μονότροπη οπτική ίνα όπως και στην μελέτη μας αφού δεν υπάρχει κάποια σταθερή κάμερα κοντά και το BNC είναι απαγορευτικό για την απόσταση που θέλουμε να καλύψουμε.

Τα τελευταία χρόνια στο εμπόριο έχουν κυκλοφορήσει λύσεις, αν και αρκετά ακριβές, που δίνουν ένα είδος λύσης στο πρόβλημα που μελετάμε με αυτή την εργασία. Σε γενικές γραμμές προσομοιάζουν τον τρόπο που χρησιμοποιήθηκε στην μελέτη η σύνδεση κάμερας και CCU για την μεταφορά σήματος SDI. Δηλαδή κάνουν πολυπλεξία κάποιων σημάτων όχι μόνο βίντεο αλλά και ήχου, δικτύου, gri, tally . Χρησιμοποιώντας καλώδιο υβριδικό που περιέχει 2 οπτικές ίνες για αμφίδρομη επικοινωνία μεταφέρουν αυτό το σήμα και το κάνουν αποπολυπλεξία στην άλλη άκρη του καλωδίου. Και στις 2 άκρες του καλωδίου υπάρχει ένα box που το ονομάζουμε stage box και μπορούν να δεχτούν ή να στείλουν όλα τα παραπάνω σήματα αμφίδρομα. Ο έλεγχος και η διαμόρφωση της πορείας του σήματος, τι είδους σήματος θα είναι και άλλες ρυθμίσεις μπορούν να γίνουν από μια web interface εφαρμογή εύκολα και απλά. Έτσι με ένα απλό υβριδικό καλώδιο μπορούν να μεταφερθούν πολλά σήματα SDI, ήχου, δικτύου, ελέγχου και άλλα και έτσι γίνεται οικονομία αφού με ένα καλώδιο μεταφέρονται πολλά και διαφορετικά σήματα.

Η μονάδα εξωτερικών μεταδόσεων είναι βασικό μέρος της τηλεοπτικής βιομηχανίας. Τα περισσότερα από τα σημαντικά παγκόσμια γεγονότα που καλύπτονται τηλεοπτικά γίνονται σε εξωτερικό χώρο και αρά με χρήση OB Van. Για αυτό το λόγο από την μελέτη μέχρι την χρήση ενός OB van πρέπει να γίνεται με πολύ προσοχή.

Έτσι στην μελέτη και την κατασκευή θα πρέπει να δοθεί βάση στην εργονομία του van και στην σωστή επιλογή των υλικών για την ποιότητα αλλά και για το κόστος. Κατά την χρήση του θα πρέπει να δίνεται προσοχή στην σωστή μελέτη κάθε παραγωγής αλλά και στον έλεγχο μηχανημάτων και καλωδίων πριν την κάθε παραγωγή.

Σε αυτή την εργασία μέσα από τις μετρήσεις και τα συμπεράσματα φάνηκε η κρισιμότητα της μέτρησης των καλωδίων πριν από κάθε παραγωγή. Οι μετρήσεις οδήγησαν στο συμπέρασμα ότι η χρήση ομοαξονικών καλωδίων για την μεταφορά σήματος SDI είναι περιοριστική λόγω του μήκους του καλωδίου. Για αυτό το λόγο σε μεγαλύτερες αποστάσεις προτιμώνται οι άλλες λύσεις. Η πραγματική απόσταση ομοαξονικού καλωδίου που το σήμα SDI είναι κατάλληλο για χρήση και ποιοτικό, τις περισσότερες φορές είναι σε αρκετά μικρότερη απόσταση από αυτή που δίνει ο κατασκευαστής λόγω καταπονήσεων.

Η χρήση οπτικών ινών σε μεγάλες αποστάσεις είναι θέμα ποιότητας και δεν πρέπει να πιέζετε ο μηχανικός από το θέμα του κόστους. Θα πρέπει οι κατασκευαστές οπτικών ινών να περιορίσουν την τιμή τους έτσι ώστε να αυξηθεί η χρήση τους και κατά συνέπεια θα έχουμε πιο ποιοτικό τηλεοπτικό αποτέλεσμα.

Η λύση της μεταφοράς σήματος SDI μέσω της σύνδεσης κάμερας κ CCU είναι η πιο συμφέρουσα λύση αφού το κόστος της αγοράς των υβριδικών καλωδίων, της κάμερας και του CCU έχει γίνει ήδη και αυτή η λύση πρέπει να είναι από τις πρώτες επιλογές ενός μηχανικού.

Τα stage box που αναφέρθηκαν στο κεφάλαιο 4 είναι μια πολύ χρήσιμη λύση αλλά και εδώ οι κατασκευαστές πρέπει να περιορίσουν το κόστος τους. Έτσι θα αυξηθεί η χρήση τους κ το αποτέλεσμα θα είναι πιο ποιοτικό και οι μηχανικοί θα έχουν λιγότερο άγχος για προβλήματα μεταφοράς σήματος.

Οι στόχοι της εργασίας που τέθηκαν στην εισαγωγή και ήταν να γίνει αναλυτική περιγραφή της μονάδας εξωτερικών μεταδόσεων, των δυσκολιών μεταφοράς σήματος SDI, να γίνουν μετρήσεις και να βγουν χρήσιμα συμπεράσματα που θα βοηθήσουν τους μηχανικούς επιτευχθήκαν πλήρως.

Ο κύριος σκοπός της εργασίας ήταν να αποτελέσει χρήσιμο εργαλείο στους επαγγελματίες του κλάδου. Αυτός ο σκοπός επιτευχθεί αφού οι μετρήσεις και τα συμπεράσματα από τότε που εκπονήθηκαν υιοθετήθηκαν πλήρως από το τμήμα εξωτερικών μεταδόσεων της EPT και εφαρμόζονται ως ενιαίο πρωτόκολλο με όνομα

«Μεταφορά σήματος HD SDI». Τα αποτελέσματα είναι εντυπωσιακά και τα ποσοστά επιτυχίας στην μεταφορά του σήματος αγγίζουν το 100%. Οι αποτυχίες είναι ελάχιστες και έτσι δεν γίνεται αντικατάσταση καλωδίων κατά την διάρκεια των μεταδόσεων λόγω αποτυχίας τους όπως γινόταν παλιότερα. Αυτό είναι το αποτέλεσμα της μελέτης και της αναλυτικής μέτρησης που γίνεται πριν κάθε μεταφορά όπως περιεγράφηκε σε αυτή την εργασία. Εκτός από το ποιοτικότερο τηλεοπτικό αποτέλεσμα η υιοθέτηση αυτής της μεθόδου είχε κέρδος σε χρόνο αλλά και σε κόπο των τεχνικών αφού τώρα δεν απλώνονται άσκοπα καλώδια που στο τέλος δεν θα λειτουργούσαν. Επίσης αυτή η μέθοδος βοήθησε τους μηχανικούς του ναυ να αποβάλουν το άγχος αν θα φτάσει ή όχι ποιοτικά ένα σήμα SDI στον προορισμό του, που το άγχος αυτό υπήρχε πριν από την υιοθέτησή της μεθόδου αυτής από το τμήμα εξωτερικών μεταδόσεων.

Το πλεονέκτημα αυτής της μελέτης που έγινε, είναι ότι όλες οι μετρήσεις έγιναν σε καλώδια που είναι σε χρήση και χρησιμοποιούνται καθημερινά. Έτσι τα αποτελέσματα είναι πιο ρεαλιστικά σε σχέση με άλλες μελέτες που βασίζονται μόνο στα τεχνικά χαρακτηριστικά των καλωδίων και ίσως λαμβάνουν θεωρητικά υπόψη την καταπόνηση τους. Σε αυτή την μελέτη εκτός από τα τεχνικά χαρακτηριστικά που δίνει ο κατασκευαστής, οι καταπονήσεις των καλωδίων επηρεάζουν τα αποτελέσματα και έτσι μας οδηγούν σε ενδιαφέροντα συμπεράσματα που είδαμε αναλυτικά παραπάνω.

Η ευχή για το μέλλον είναι αυτή η εργασία να αποτελέσει έναυσμα στους μηχανικούς να αξιολογήσουν την κρισιμότητα των μετρήσεων των καλωδίων πριν από κάθε παραγωγή και να μην επαναπαύονται στο ότι λειτουργούσαν στην προηγούμενη μετάδοση. Επίσης ευχή είναι να υιοθετηθεί από περισσότερους μηχανικούς και εταιρείες του κλάδου ώστε να αποτελέσει ορόσημο στην πιο αποτελεσματική μεταφορά σήματος SDI.

- [1] Wikipedia – Production_truck, https://en.m.wikipedia.org/wiki/Production_truck [Προσπελάστηκε 20/6/23]
- [2] https://en.wikipedia.org/wiki/Outside_broadcasting [Προσπελάστηκε 20/6/23]
- [3] <https://www.mediacollege.com/video/outside-broadcast/control-room/> [Προσπελάστηκε 20/6/23]
- [4] https://broadcast-solutions.de/fileadmin/PDF/contentpages/streamline/BS_P_Streamline_92017_Web.pdf [Προσπελάστηκε 20/6/23]
- [5] <http://www.erreciessegroun.it/ob-van/765-2?lang=en> [Προσπελάστηκε 20/6/23]
- [6] <https://na.panasonic.com/us/audio-video-solutions/broadcast-cinema-pro-video/broadcast-cinema-pro-video-accessories/50-meter-remote-control-cable> [Προσπελάστηκε 20/6/23]
- [7] <https://www.tvc.tv/gds-24-cam-hd-ob-van> [Προσπελάστηκε 20/6/23]
- [8] <https://www.prosoundweb.com/japans-nishio-rental-house-invests-in-riedel-for-its-4k-ob-van/> [Προσπελάστηκε 20/6/23]
- [9] E.P. Tozar, Broadcast Engineer's Reference Book, Focal Press, 2004
- [10] <https://www.svggeurope.org/blog/headlines/italys-nvp-uses-lawo-technologies-for-new-4k-ob-van/> [Προσπελάστηκε 20/6/23]
- [11] https://tech.ebu.ch/docs/events/hdtech05/presentations/ebu_hdtech05_biber.pdf [Προσπελάστηκε 20/6/23]
- [12] Wikipedia – CAR https://en.wikipedia.org/wiki/Central_apparatus_room [Προσπελάστηκε 20/6/23]
- [13] <http://www.ozkanprod.com/eng/broadcast-van-istanbul-obvan4.asp> [Προσπελάστηκε 20/6/23]
- [14] <http://help.rossvideo.com/acuity-device/Topics/Devices/UMD/TSL.html> [Προσπελάστηκε 20/6/23]
- [15] Wikipedia – CCU https://en.wikipedia.org/wiki/Camera_control_unit [Προσπελάστηκε 20/6/23]
- [16] [https://pro-av.panasonic.net/manual/html/AK-UCU500P_PS_E_ES\(VQT5M18A-4\)_E/content/manual/ucu/90_appendix/AK-UCU500P_PS_E_ES\(VQT5M18A-4\)_E.pdf](https://pro-av.panasonic.net/manual/html/AK-UCU500P_PS_E_ES(VQT5M18A-4)_E/content/manual/ucu/90_appendix/AK-UCU500P_PS_E_ES(VQT5M18A-4)_E.pdf) [Προσπελάστηκε 20/6/23]
- [17] <https://in.tek.com/sync-pulse-generator> [Προσπελάστηκε 20/6/23]
- [18] Wikipedia – Instant Replay https://en.wikipedia.org/wiki/Instant_replay#In_television [Προσπελάστηκε 20/6/23]
- [19] <https://evs.com/backpanel/xt36uUSB.html> [Προσπελάστηκε 20/6/23]

- [20] Wikipedia – Character Generator
https://en.wikipedia.org/wiki/Character_generator. [Προσπελάστηκε 20/6/23]
- [21] <https://www.sportsvenue-technology.com/products/riedel-communications-gmbh-co-kg/riedel-artist> [Προσπελάστηκε 20/6/23]
- [22] Wikipedia - SMPTE424M https://en.wikipedia.org/wiki/SMPTE_424M
 [Προσπελάστηκε 20/6/23]
- [23] https://www.canford.co.uk/Products/36-117_CANFORD-SDV-LFH-E-CABLE-Violet [Προσπελάστηκε 20/6/23]
- [24] <https://tech.ebu.ch/docs/techreports/tr002.pdf> [Προσπελάστηκε 20/6/23]
- [25] <https://www.canford.co.uk/TechZone/Article/MaximumTransmissionDistances?portable=true> [Προσπελάστηκε 20/6/23]
- [26] IEEE Std. OV 2081-0:2016, SMPTE Overview Document - 6G-SDI Bit-Serial Interfaces — Overview for the SMPTE ST 2081 Document Suite, IEEE, 2016.
- [27] <https://www.canford.co.uk/CANFORD-FST-F-FOIL-SCREENED-STRANDED-CONDUCTOR-TWIN-CABLE-Flexible> [Προσπελάστηκε 20/6/23]
- [28] <https://www.belden.com/products/cable/broadcast-cable/smp-te-camera-cable> ,
 [Προσπελάστηκε 20/6/23]
- [29] <https://www.lemo.com/en/products/smp-te-connector/3k-93c-y> , [Προσπελάστηκε 20/6/23]
- [30] <http://www.clarkwire.com/cableHFCTP.htm> [Προσπελάστηκε 20/6/23]
- [31] <https://www.fiberoptics4sale.com/blogs/wave-optics/what-is-a-lemo-connector> ,
 [Προσπελάστηκε 20/6/23]
- [32] <https://www.canford.co.uk/CANFORD-VTF-VIDEO-TRIAX-CABLE-Flexible>
 [Προσπελάστηκε 20/6/23]
- [33] <https://www.canford.co.uk/LEMO-TRIAX-CONNECTORS-4M-Series-BBC-Style>
 [Προσπελάστηκε 20/6/23]
- [34] <https://www.canford.co.uk/FISCHER-TRIAX-CONNECTORS-1051-Series#>
 [Προσπελάστηκε 20/6/23]
- [35] ITU Publications, Handbook on digital terrestrial television broadcasting networks and systems implementation, 2021 (<https://www.itu.int/pub/R-HDB-63>)
 [Προσπελάστηκε 20/6/23]
- [36] <https://www.adapttvhistory.org.uk/outside-broadcast/technical-planning>
 [Προσπελάστηκε 20/6/23]
- [37] <https://www.svggeurope.org/blog/headlines/champions-league-final-42-camera-coverage-for-man-city-v-inter-milan-tie/> [Προσπελάστηκε 20/6/23]
- [38] Johann-Markus Batke, Jens Spille, Holger Kropp, Stefan Abeling , Ben Shirley, Rob Oldfield, Spatial Audio Processing for Interactive TV Services Conference Paper · January 2011 (<https://www.researchgate.net/publication/263925215>) [Προσπελάστηκε 20/6/23]

- [39] [https://en.wikipedia.org/wiki/Dante_\(networking\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Dante_(networking)) [Προσπελάστηκε 20/6/23]
- [40] <https://www.sportsvideo.org/2022/11/18/fifa-world-cup-2022-overview-of-fifa-world-cup-match-coverage-plans/> [Προσπελάστηκε 20/6/23]
- [41] <https://www.eurovision.net/handbook/page/48/export> [Προσπελάστηκε 20/6/23]
- [42] IEEE ST 292-1:2012, SMPTE Standard - 1.5 Gb/s Signal/Data Serial Interface, IEEE, 2012
- [43] [https://pro-av.panasonic.net/manual/html/AK-UC4000G_GS\(DVQP1727XA\)_E/chapter02_04.htm](https://pro-av.panasonic.net/manual/html/AK-UC4000G_GS(DVQP1727XA)_E/chapter02_04.htm) [Προσπελάστηκε 20/6/23]
- [44] https://en.wikipedia.org/wiki/Network_Device_Interface [Προσπελάστηκε 20/6/23]
- [45] Κωφός Δ. , Σοφός Α. «Τηλεόραση υψηλής ευκρίνειας και μετάδοσή της μέσω δικτύου IP», Διπλωματική εργασία, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Η/Υ, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 2009.
- [46] <https://en.wikipedia.org/wiki/ANSI/TIA-568> [Προσπελάστηκε 20/6/23]
- [47] Κάρλος Χ, Τεχνολογία της τηλεοπτικής παραγωγής, Έναστρον 2005
- [48] <https://en.wikipedia.org/wiki/DMX512#DMX512-A> [Προσπελάστηκε 20/6/23]
- [49] Gerald Millerson , Jim Owens, Asbury College, Video Production Handbook, Focal Press, 2004
- [50] https://en.wikipedia.org/wiki/Serial_digital_interface [Προσπελάστηκε 20/6/23]
- [51] Francis Rumsey, John Watkinson, Digital Interface Handbook, Digital communications, 2004
- [52] Neutrik, White Paper, BNC -HD 1080p, 2009 ,
(<https://www.neutrik.us/media/10110/download/white-paper-neutrik-uhd.pdf?v=1>) [Προσπελάστηκε 20/6/23]
- [53] Charles A. Poynton, Digital Video and HDTV, Morgan Kaufmann, 2003
- [54] Recommendation ITU-R BT.1120-7, Digital interfaces for HDTV studio signals, Int'l Telecommunications Union, 2007.
- [55] Tektronix, Physical Layer Testing of 3G-SDI and HD-SDI Serial Digital Signals, 2016 (https://download.tek.com/document/Physical-Layer-Testing-3G-SDI-HD-SDI-Serial-Digital-Signals_AppNote_25W-19525-3.pdf) [Προσπελάστηκε 20/6/23]
- [56] EBU, Advice on the use of 3Gbit/s HD/SDI Interfaces-Technical Report 002, 2011 (<https://tech.ebu.ch/docs/techreports/tr002.pdf>) [Προσπελάστηκε 20/6/23]
- [57] Phabrics, 3G-SDI Signal Quality & Compliance Testing, Application Note, 2017 (https://phabrix.com/ftp/App_Notes/3G_SDI_Testing.pdf) [Προσπελάστηκε 20/6/23]
- [58] Tektronics, A Guide to Standard and High-Definition Digital Video Measurements, 2009 (<https://www.telestream.net/pdfs/technical/Guide-to-Standard-HD-Digital-Video-Measurements-25W147006.pdf>) [Προσπελάστηκε 20/6/23]

- [59] Tektronics, Fundamentals of Signal Integrity, 2008 (https://www.mouser.com/pdfDocs/Tektronix_Fundamentals_of_Signal_Integrity.pdf) [Προσπελάστηκε 20/6/23]
- [60] Tektronics, Oscilloscope Fundamentals, 2009 (https://engineering.case.edu/lab/circuitlab/sites/engineering.case.edu/lab/circuitlab/files/docs/Oscilloscope_Fundamentals_-_Tektronix.pdf) [Προσπελάστηκε 20/6/23]
- [61] Tektronix, 3G-SDI Testing Solution Signal Generation & Physical Layer Compliance Test, 2009 (<https://download.tek.com/document/2PW-24847-0.pdf>) [Προσπελάστηκε 20/6/23]
- [62] Dorsey, G. (2013) " Video Signals and Slip Rings" Moog Components Group White Paper#312 (https://www.researchgate.net/publication/268521610_Video_Signals_and_Slip_Rings) [Προσπελάστηκε 20/6/23]
- [63] Tektronics, Understanding Jitter Measurement for Serial Digital Video Signals, 2004 (<https://download.tek.com/document/2BW-18906-0.pdf>) [Προσπελάστηκε 20/6/23]
- [64] Tektronics, How to Guide, SDI Eye and Jitter Measurements, 2014 (<https://download.tek.com/document/25W-30137-0%20WFM2300%20How%20To%20Guide.pdf>) [Προσπελάστηκε 20/6/23]
- [65] IEEE ST 297-2006, SMPTE Standard - Optical Interface for Multi-channel Audio, IEEE, 2006
- [66] Phabrics SxE manual (https://phabrix.com/ftp/Software/Sx/SxE_Manual.pdf) [Προσπελάστηκε 20/6/23]
- [67] Cable Canford-SDV-L-LFH , Specifications, https://www.canford.co.uk/ProductResources/resources/C/Canford/Cables/SDV%20range/36-53X%20CANFORD%20SDV-L-LFH%20CABLE_Rev_C.pdf [Προσπελάστηκε 20/6/23]
- [68] Telegartner BNC 3G HD Male , Specifications https://www.canford.co.uk/ProductResources/resources/T/Telegartner/BNC/Cable%20mount/48-788_778_TELEGARTNER%20BNC%203G%20HD%20Male%20cable%20crimp%2075%20ohm%20group%20Y_J01002A0056W.pdf [Προσπελάστηκε 20/6/23]
- [69] Digitus Fiber Optic Singlemode LC/LC, Specifications <https://www.assmann.com/product-pdf/4016032248934?PL=en> [Προσπελάστηκε 20/6/23]
- [70] Aniefiok Akpan (2014) " The Vulnerability of Fiber- Optics communication Systems: The Role of Optical Tapping (https://www.researchgate.net/publication/299656513_The_Vulnerability_of_Fiber-Optics_communication_Systems_The_Role_of_Optical_Tapping) [Προσπελάστηκε 20/6/23]

- [71] Blackmagic Design Mini Converter Optical Fiber 12G, Specifications
<https://www.blackmagicdesign.com/products/miniconverters/techspecs/W-CONM-29>
[Προσπελάστηκε 20/6/23]
- [72] Blackmagic Design Mini Converter Optical Fiber 12G, Manual
https://documents.blackmagicdesign.com/UserManuals/BlackmagicConvertersManual.pdf?_v=1636704010000 [Προσπελάστηκε 20/6/23]
- [73] https://catalog.belden.com/techdata/EN/7804P_techdata.pdf?_gl=1*980xhp*_ga*MTk4MjQ2NzY5Ni4xNjg1MjEzMTM1*_ga_X6Q7YE8B3L*MTY4NzAwNDU1My4zLjAuMTY4NzAwNDU1My4wLjAuMA [Προσπελάστηκε 20/6/23]
- [74] <https://www.canford.co.uk/TechZone/Article/MaximumTransmissionDistances?portable=true> [Προσπελάστηκε 20/6/23]