

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA



FACOLTA DI INGEGNERIA

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA ELETTRONICA

Anno accademico 2009/2010

“SISTEMA DI SICUREZZA SU FUNIVIE VA E VIENI”

Candidato:
Fogarín Gabriele

Relatore:
Prof.ssa Gaio Elena

INDICE

Introduzione	5
Progetto Tesi e Tirocinio	6
CAPITOLO 1:	
Il trasporto a fune	
1.1 Impianti a fune a va e vieni	8
1.2 Funivia Passo Falzarego – Lagazuoi	10
CAPITOLO 2:	
Certificazione	12
CAPITOLO 3:	
Sistema di monitoraggio	
3.1 Descrizione generale del sistema	19
3.2 Valori Attesi	21
3.3 Unità di Trasmissione	23
3.4 PWM – Modulazione a larghezza di Impulsi	26
3.5 Unità di Ricezione	29
3.6 Unità monitoraggio	34
3.7 Relè modulati	44
CAPITOLO 4:	
Manutenzione, Test e possibili soluzioni	
4.1 Test Periodici	46
4.2 Test e Prove di Verifica	47

4.3 Altre Caratteristiche	49
4.4 Disturbi e possibili soluzioni	51
CONCLUSIONI	53
BIBLIOGRAFIA	54

Introduzione:

Negli ultimi anni con il grande sviluppo e richiesta degli impianti a fune le normative europee hanno imposto numerosi dispositivi di sicurezza sugli impianti a fune per trasporto di persone al fine di evitare eventuali danni, rotture e garantire la sicurezza dei passeggeri. È stato quindi necessario realizzare, modificare e potenziare nuovi tipi di sistemi di monitoraggio al fine di permettere una totale sicurezza e rientrare nelle normative imposte.

Si è quindi deciso di realizzare un nuovo dispositivo di sicurezza per funivie al fine di non dipendere da produttori esterni al momento disponibili nel mercato (es. Elin EBG).

Il sistema realizzato ha lo scopo di rilevare l'eventuale contatto fra la fune portante e la fune traente su funivie di tipologia va e vieni ed eventualmente emettere un segnale d'allarme e bloccare l'impianto; il contatto fra le due funi e quindi lo sfregamento fra esse porta alla loro usura più rapidamente ed in casi estremi anche alla rottura con conseguenze inevitabili per l'intera struttura.

Il sistema inoltre per essere installato necessita di una certificazione a livello europeo da parte di un ente esterno all'azienda al fine di garantirne le specifiche imposte dalla normativa europea, tutto ciò ha comportato una serie di accorgimenti e tecniche di costruzione particolari al fine di garantirne la massima compatibilità non solo alle normative italiane ma europee in modo da avere una rilevanza e una presentazione in ambito internazionale.

Progetto Tesi e Tirocinio:

Il presente lavoro è la descrizione di un progetto svolto durante il periodo di tirocinio presso la EEI: "Equipaggiamenti Elettronici Industriali" di Vicenza (VI) azienda di impianti ed azionamenti elettrici / elettronici industriali. La fase di studio preliminare e la realizzazione del sistema si è svolta in azienda dove si è realizzato e preparato la documentazione per un sistema di sicurezza su impianti a funi di tipo va e vieni.

Il lavoro di tesi è stato così distribuito:

- Studio degli impianti a fune e analisi delle varie tipologie di utilizzo e tecniche di costruzione; studio degli azionamenti elettrici installati su impianti a funi e degli attuali dispositivi di sicurezza di sistemi concorrenti ed evoluzione negli ultimi anni.
- Studio dell'impianto sul quale verrà installato il nuovo sistema di monitoraggio, con schede tecniche di costruzione, azionamenti elettrici installati, modalità di utilizzo e dispositivi di sicurezza al momento in uso.
- Studio delle certificazioni, richieste specifiche da parte dell'ente certificante e limitazioni imposte in fase di progettazione.
- Analisi del nuovo sistema di monitoraggio con studio di ogni singolo dispositivo utilizzato, possibili soluzioni ad eventuali problemi, perfezionamenti in fase di costruzione e presentazione di alcune prove di test sia in laboratorio che nel luogo di futura installazione.
- Analisi delle possibili fonti di disturbo al sistema ed eventuali soluzioni proposte ed in fase di valutazione, nonché accorgimenti presi al fine di diminuire i disturbi, studi sull'impatto dei disturbi sulle misurazioni.
- Preparazione della documentazione per la certificazione europea.

Capitolo 1: Il Trasporto a Fune

1.1 Struttura di una Funivia Va e Vieni:

Una funivia va e vieni è uno dei mezzi ad oggi più utilizzati per il trasporto di cose e persone su dislivelli notevoli con la presenza anche in ambienti pianeggianti o misti; negli ultimi anni inoltre questi impianti sono notevolmente richiesti per la loro alta efficienza energetica, il basso impatto ambientale, l'alto grado di sicurezza e per il miglioramento dei materiali utilizzati, nonché l'elettronica che ha aiutato a perfezionare gli impianti in uso. Tutti questi miglioramenti hanno portato l'utilizzo degli impianti a fune anche come trasporto urbano in alcune città.

Una funivia va e vieni per il trasporto di cose e persone è formata da due stazioni, una di monte e una di valle, e da 2 cabine, le quali si muovono contemporaneamente su direzioni opposte; avremo infatti sempre una cabina che sale e una che scende. L'utilizzo di due cabine contemporaneamente ma su direzioni opposte è per un'efficienza energetica, in quanto in salita si sfrutta la discesa dell'altra cabina con un notevole risparmio energetico per l'intero sistema; in caso di sistemi a unica cabina si utilizzano carichi zavorra che agevolino la salita/discesa della cabina.

Fra le due stazioni sono presenti 4 funi:

- fune portante con la funzione di sostenere la cabina, risulta tesa; a seconda dell'impianto possiamo trovare una o due funi portanti.
- fune traente è più lasca e ha la funzione di trainare la cabina; la fune portante inoltre presenta un diametro circa 2 volte più grande della fune traente.
- fune di soccorso, si trova a un paio di metri sopra le due funi precedenti, è utilizzata per l'evacuazione dei passeggeri attraverso un carrello di soccorso in caso di blocco della cabina principale;
- fune di zavorra, serve a mantenere in tensione la fune traente, su tratti pianeggianti funge anche da traente.

Solitamente i macchinari per la movimentazione della fune traente, i motori ausiliari di emergenza, i carrelli di soccorso sono installati nella stazione a monte. Fra le due stazioni si può presentare una campata unica oppure in caso di terreni scoscesi si utilizzano dei sostegni per le funi. Le cabine passeggeri variano in grandezza e capacità a seconda dell'impianto, si va dalle poche unità per gli impianti più piccoli alle 180 persone per gli impianti più grandi con cabine a due piani.

Un impianto a fune è soggetto a revisione periodica ad ogni fine stagione ed inoltre dopo vent'anni dall'entrata in esercizio subisce una revisione generale in cui vengono sostituite completamente le parti elettriche, mentre le parti meccaniche in parte; dopo ulteriori 20 anni l'impianto non è più utilizzabile.

Ad oggi le funivie va e vieni sono tra le soluzioni più efficaci per installazioni su pendii quasi inaccessibili, offrendo massima flessibilità di funzionamento, alta resistenza al vento e sicurezza d'esercizio.

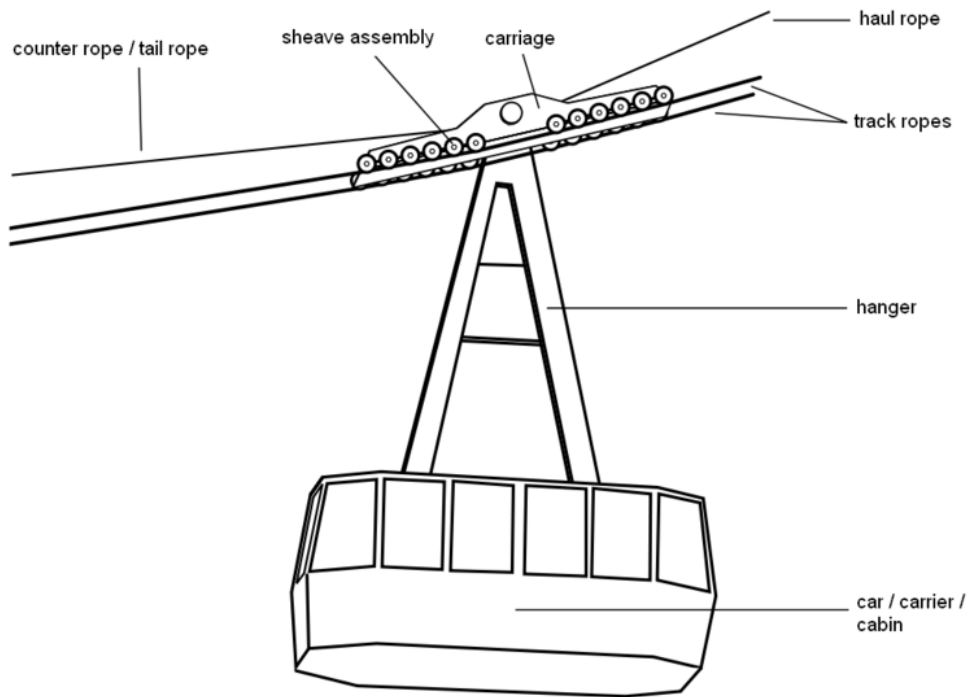


Fig. 1.1 Esempio di funivia di tipo va e vieni, si possono identificare anche i vari tipi di fune; con haul tope la fune traente e con track ropes la fune portante.

1.2 Funivia Passo Falzarego – Lagazuoi (2101-2742):

L'impianto a fune a va e vieni "Passo Falzarego – Lagazuoi" è il primo impianto nel quale verrà installato il nuovo sistema di monitoraggio delle funi (a seguire tutti gli impianti, alla data di revisione delle apparecchiature elettriche/elettroniche realizzati da EEI sostituiranno il vecchio sistema di monitoraggio con quello progettato). La sostituzione del sistema di sicurezza viene fatta in occasione della revisione generale (ogni 20 anni dalla messa in servizio dell'impianto).

Caratteristiche funivia Passo Falzarego – Lagazuoi:

Lunghezza: 1150 m;

Dislivello: 641 m;

Velocità: 10 m/s;

Portata: 936 Persone/ora;

Anno costruzione: 1988;

Costruttore: Agudio Costruzione Impianti a Fune (Torino);

Funi:

<i>Tipo Fune:</i>	<i>Diametro (mm):</i>	<i>Carico (kN):</i>	<i>somma</i>	<i>Lunghezza (m):</i>	<i>Peso Netto (kg):</i>
<i>Portanti</i>	56	3792		1300 x 2	23900 x 2
<i>Traente</i>	26	530		1250	3120
<i>Zavorra</i>	21	344		1250	2030
<i>Soccorso</i>	15	167		2500	2070

Azionamenti Elettrici:

Gli azionamenti elettrici, ausiliari e di sicurezza sono totalmente forniti dalla EEI, a differenza delle parti meccaniche che sono state prodotte dalla ditta Agudio di Torino.

Capitolo 2: La certificazione

Certificazione:

Dal 2004 è entrata in vigore la direttiva europea 2000/9/CE, relativa agli impianti a fune adibiti al trasporto di persone. La direttiva impone al progettista un approccio nuovo: essa infatti intende facilitare una libera circolazione delle merci in ambito europeo, garantendo un adeguato livello di sicurezza. Inoltre, essa richiede ai costruttori di certificare, presso organismi notificati, tutti i componenti e i sottosistemi delegati alla sicurezza, al fine di garantirne la rispondenza ai livelli di sicurezza richiesti.

Alle Autorità nazionali di sorveglianza, preposte alla sorveglianza degli impianti funiviari, è affidato il compito della verifica e dell'approvazione dell'impianto completo composto dai componenti e dai sottosistemi di sicurezza certificati e dall'infrastruttura. A loro spetta il compito di esaminare la documentazione ufficiale dei componenti e dei sottosistemi certificati, e di verificarne la corretta applicazione sull'impianto (ad esempio, verificare che i limiti di impiego di ciascun componente siano coerenti con il dimensionamento generale dell'impianto). Alle Autorità nazionali spetta anche la sorveglianza del mantenimento dei livelli di sicurezza durante l'esercizio degli impianti.

L'ente certificante ha il compito di curare la certificazione e valutare se sono state rispettate tutte le norme di progettazione e costruzione; nel nostro caso l'ente certificante è un organismo nazionale francese: STRMTG – Service Technique des Remontées Mécaniques ed des Transports Guidés.

La stesura della documentazione avverrà in lingua inglese in modo da renderla utilizzabile anche per la certificazione in altre nazioni extraeuropee con opportune modifiche.

Le norme sui requisiti di sicurezza per gli impianti a fune per il trasporto di persone sono:

- a) UNI EN 12929:2007 (parte 1 e 2)
Disposizioni Generali;
- UNI EN 12930:2007
Calcoli;
- UNI EN 12408:2007
Assicurazione della qualità;
- a) UNI EN 13243:2007
Apparecchiature elettriche ad esclusione di quelle per gli argani;
- UNI EN 1709:2007
Prove, manutenzioni, controlli di esercizi;
- UNI EN 1908:2007
Dispositivi di tensionamento;
- UNI EN 1909:2007
Recupero e salvataggio;
- UNI EN 12397:2007
Esercizio;

- UNI EN 13223:2007
Argani ed altri dispositivi meccanici;
- UNI EN 12927:2005 (parti da 1 a 8)
Funi;
- UNI EN 13107:2005
Opere di ingegneria civile;
- UNI EN 13796:2005 (parti da 1 a 3)
Veicoli;
- UNI EN 1907:2005
Terminologia;

In un impianto possiamo trovare sostanzialmente due tipi di dispositivi di sicurezza:

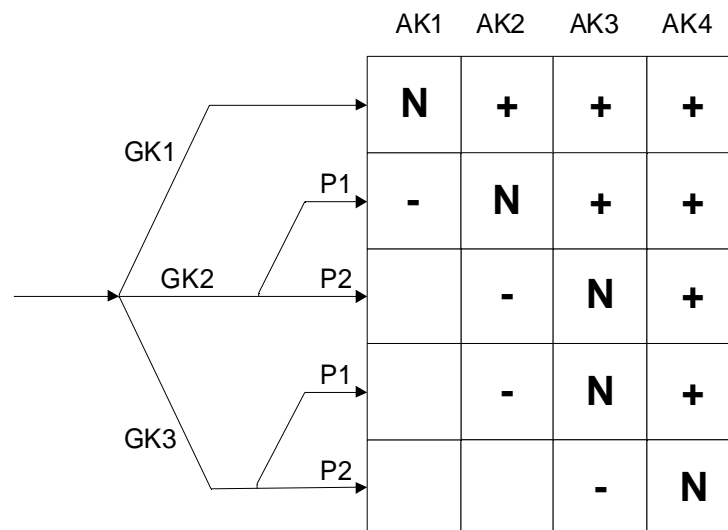
- Elettromeccanici: quando si tratta di apposite sagome a “bandiera”, che se urtate consentono l’intervento di un microinterruttore (per es. nel passaggio dei veicoli nelle stazioni),
- Elettronici: controllo della corretta equidistanza “anticollisione” tra i veicoli nei tratti di accelerazione e decelerazione, controllo della velocità di impianto, verifica delle forze di serraggio della morsa di ogni vettura, prima che questa si riagganci alla fune.

Misura del rischio e grafico del rischio:

Nelle recenti normative europee (EN 13243 allegato A) si individuano le classi di sicurezza (AK) dei dispositivi elettrici – elettronici da adottare per i relativi controlli. Si utilizza il metodo del “Risiko Graph” che classifica il rischio il base alla:

- Gravità della ferita
- Possibilità di evitare il pericolo

Per la classificazione della categoria di rischio si utilizza il seguente schema:



Scelta della categoria:

- N : categoria normale;
- - : categoria possibile (richiede misure aggiuntive);
- + : categoria sovradimensionata (permessa).

Parametro GK (gravità della ferita):

- GK1: nessun rischio per le persone;
- GK2 : lesioni reversibili alle persone;
- GK3 : lesioni irreversibili, compreso la morte, alle persone.

Parametro P (possibilità di evitare il pericolo):

- P1 : possibilità di riduzione del rischio (si applica solo nei casi eccezionali);
- P2 : nessuna possibilità di ridurre il rischio.

Mediante questi parametri si individuano le classi di sicurezza, che possono essere così riassunte:

AK1	}	= rischio per le cose ma non per le persone
AK2		
AK3		= rischio per le persone
AK4		

La norma europea EN 13243 definisce quindi le caratteristiche che devono possedere i dispositivi elettrici:

1° classe di requisiti AK1: i dispositivi elettrici devono quanto meno essere concepiti, scelti, elaborati e montati conformemente allo stato dell'arte, affinché possano resistere sufficientemente alle sollecitazioni imposte dalle condizioni di esercizio e dalle influenze esterne.

2° classe di requisiti AK2: devono essere soddisfatti i requisiti della prima classe di requisiti, essere utilizzati componenti già sperimentati ed osservati i principi di sicurezza consolidati. Le funzioni di sicurezza dei dispositivi elettrici relativi alla sicurezza che devono rispondere ai requisiti della seconda classe di requisiti devono essere verificati ad intervalli stabiliti (test automatico o manuale). La comparsa di un primo guasto può portare alla perdita della funzione di sicurezza durante l'intervallo di tempo compreso tra due cicli di test.

3° classe di requisiti AK3: devono essere soddisfatti i requisiti della seconda classe di requisiti. Le funzioni di sicurezza dei dispositivi elettrici relativi alla sicurezza che devono rispondere ai requisiti della terza classe di requisiti saranno concepiti in modo tale da garantire che un singolo guasto occorrente in uno di tali dispositivi non provochi la perdita della funzione di sicurezza. La comparsa di un secondo guasto può portare alla perdita della funzione di sicurezza durante l'intervallo di tempo compreso tra due cicli di test (test automatico o manuale).

4° classe di requisiti AK4: devono essere soddisfatti i requisiti della terza classe di requisiti. Le funzioni di sicurezza dei dispositivi elettrici relativi alla sicurezza che devono rispondere ai requisiti della quarta classe di requisiti saranno concepiti in modo tale che un singolo guasto occorrente in uno di tali dispositivi non provochi la perdita della funzione di sicurezza e:

- Che tale guasto, per quanto possibile, sia rilevato prima o al più in occasione del successivo svolgimento della funzione di sicurezza o che l'impianto sia trasferito in uno stato sicuro, oppure
- Se ciò è impossibile, che un secondo guasto non provochi la perdita della funzione di sicurezza e che provochi il trasferimento dell'impianto in uno stato sicuro. Quando mediante procedure di test automatico o manuale, aventi tasso di rilevamento dei guasti elevato, si svolgono ad intervalli appropriati e consentono di rilevare il primo guasto prima che compaia un secondo guasto, tale secondo guasto non deve essere preso in considerazione.

NOTA: "tasso di rilevamento guasti elevato" può significare che deve essere scoperto il 99% di tutti i guasti che devono essere considerati.

Dopo aver effettuato l'analisi del rischio, viene determinata la possibilità di riduzione del rischio, mediante la scelta e l'impiego di adatte misure di protezione. Tali misure di protezione possono essere costituite da semplici interblocchi meccanici o da controlli sia di tipo elettromeccanico che di tipo elettronico.

Sistema di monitoraggio:

Le norme da noi prese in considerazione per certificare il sistema di monitoraggio sono:

- EN 12929-1 Safety requirements for cableway installation designed to carry persons – General Provision – Part 1 : Requirements for all installations:
 - Article 12.4.1, point a): a monitoring system must stop the installation in automatic manner, in case of contact between the traction rope and the hauling rope.
- EN 13243 – Safety requirements for cableway installations designed to carry persons – Electrical equipment other than drive systems:
 - Article 7.1.3 – Internal line safety circuits,
 - Article 7.1.5 – An emergency stop shall be triggered by line safety circuits at latest when:
 - 1- the resistance to earth of the monitored ropes falls below 500 ohm – below 200 for a haulage rope loop;
 - 2- the resistance between monitored rope falls below 500 ohm.

Il sistema quindi deve bloccarsi in maniera automatica quando viene rilevata una resistenza totale verso terra di 500 Ω (la normativa italiana richiede un minimo di 1000 Ω rilevabili); sul sistema si potrà quindi impostare la minima resistenza rilevabile verso terra che si viene a generare in caso di contatto. Nel nostro caso la misurazione di impedenza verrà effettuata sulla fune traente.¹ Il sistema inoltre dovrà soddisfare i requisiti della classe di prescrizione AK4.

Per la presentazione della domanda di certificazione del sistema è necessario spiegare dettagliatamente ogni singolo componente e dispositivo installato nel sistema, valutare tutte le possibili condizioni di utilizzo, i margini di errore di sistema e se in caso si verificasse qualche errore eventualmente gestirlo, localizzarlo e capire in che modo è accaduto. Inoltre è necessario fornire tutte le schede del sistema e la documentazione con tutti i test effettuati, valutare la possibile vita di utilizzo in modo da prevenire eventuali rotture e sostituirle anticipatamente.

Sono stati presi inoltre altri accorgimenti per rendere il sistema adattabile ed utilizzabile anche in altre condizioni ed in altri impianti, è dotato infatti di alcuni trimmer per regolare le tensioni utilizzare; per quando riguarda nel settore di amplificazione invece è stata inserita un filtro totalmente indipendente ed estraibile per permettere l'utilizzo di frequenze diverse.

La certificazione comporta una serie di parametri molto restrittivi nella costruzione del sistema:

- Utilizzo di tensioni fino ad un massimo di 1500 V in quanto tensioni più elevate comportavano normative più severe ed ulteriori restrizioni;
- Costruzione di un sistema di rilevazione del segnale rindondante; il segnale acquisito viene analizzato su due linee di calcolo totalmente indipendenti e

¹ L'impedenza minima di intervento è di 1000 ohm nel caso italiano ma si può intervenire anche a più di 1000 ohm di rilevazione, a dispetto del gestore dell'impianto che avrà un sistema che si bloccherà prima. Il sistema precedente ad esempio scattava con impedenza minima di 4000 ohm.

diverse per tecnologia, software e compilazione del software, successivamente i due risultati vengono confrontati;

- Utilizzo di logica CPLD limitata in quanto comporta ulteriori spese per la certificazione poiché i sistemi digitali risultano più difficili da analizzare e il riconoscimento di eventuali errori di analisi o calcolo è più complicato;
- Utilizzo di strutture elettroniche meno complicate possibili in modo da rendere l'analisi da parte dell'ente certificante più semplice e interpretabile poiché strutture più semplici comportano minori problemi di implementazione.
- Utilizzo di alcuni componenti già certificati (es. alimentatori), in modo da snellire le pratiche di certificazione.
- Evitare componenti tarabili (es. trimmer) che permettano modifiche sostanziali al sistema di sicurezza (es. guadagno o modalità di funzionamento), poiché se manomessi possono comportare a errate interpretazioni del sistema, bensì si predilige utilizzare resistenze caratteristiche per il determinato impianto da inserire / rimuovere una volta installato il sistema.
- Preparare delle strutture e dei circuiti che simulino prove e test per effettuare durante la manutenzione ordinaria test periodici di corretto funzionamento.
- Analisi di ogni componente in caso di rottura, tentando di prevedere il comportamento del sistema ed inviare il segnale di stop.
- Utilizzo e scelta di componenti in grado di funzionare a temperature fino a -25°C.

Solo una parte delle schede di tutto il sistema verranno certificate; è necessario infatti certificare solamente le schede di ricezione, filtro del segnale in ricezione e di monitoraggio.

Nella scelta dei materiali è stata inoltre valutata l'incidenza dei costi di utilizzo di componenti certificati; questi ultimi infatti arrivano a costare anche 3-4 volte quelli normali ma permettono uno snellimento nella pratica di certificazione. La scelta di questi componenti è stata limitata agli alimentatori delle schede elettroniche.

Capitolo 3: Sistema di Monitoraggio

3.1 Descrizione generale del sistema.

La misura della resistenza verso terra viene effettuata attraverso una misura del potenziale fra fune e terra, l'unità di trasmissione infatti fa scorrere una corrente, nota ed alternata che genera un potenziale a seconda dell'impedenza che si presenta fra la fune e il riferimento di massa.

Il sistema è quindi composto da alcuni elementi principali:

- Unità di trasmissione: genera nella fune una corrente nota e alternata attraverso una antenna di trasmissione di tipo capacitivo.
- Unità di ricezione: riceve i segnali nella fune sotto forma di tensione elettrica per poi elaborarli ed analizzarli; la ricezione dei segnali avviene attraverso antenna di ricezione di tipo capacitivo
- Il riferimento di massa si comporta come un conduttore che ritorna la corrente all'unità di trasmissione.
- Impedenze: all'interno del sistema possiamo distinguere vari tipi di impedenze: resistenza fra la fune traente e il riferimento di massa in stato di normale utilizzo (solitamente attorno ai 10 K Ω); l'impedenza in caso di contatto fune traente (circa 10 K Ω) e fune portante (circa 500 Ω) che genera una resistenza equivalente di circa 480 Ω^2 ; la reattanza della capacità della fune traente (qualche decina di nF) che forma una impedenza unica con la resistenza della fune traente; l'impedenza dell'unità di ricezione (circa 7,5 M Ω).

A causa della grande impedenza presente nell'unità di ricezione³, in caso di contatto fra fune traente e fune portante si può ipotizzare che tutta la corrente scorra dall'unità di trasmissione verso il riferimento di massa.

L'unità di trasmissione si trova nella stazione motrice, mentre nella stazione di rinvio troviamo l'unità di ricezione e il sistema di controllo ed elaborazione del segnale.

² La resistenza equivalente è data dal parallelo tra resistenza fune portante e resistenza fune traente.

³ Le impedenze del sistema varieranno a seconda delle specifiche dell'impianto (frequenza della corrente nella fune, altezza da terra della fune, lunghezza delle funi, ecc.).

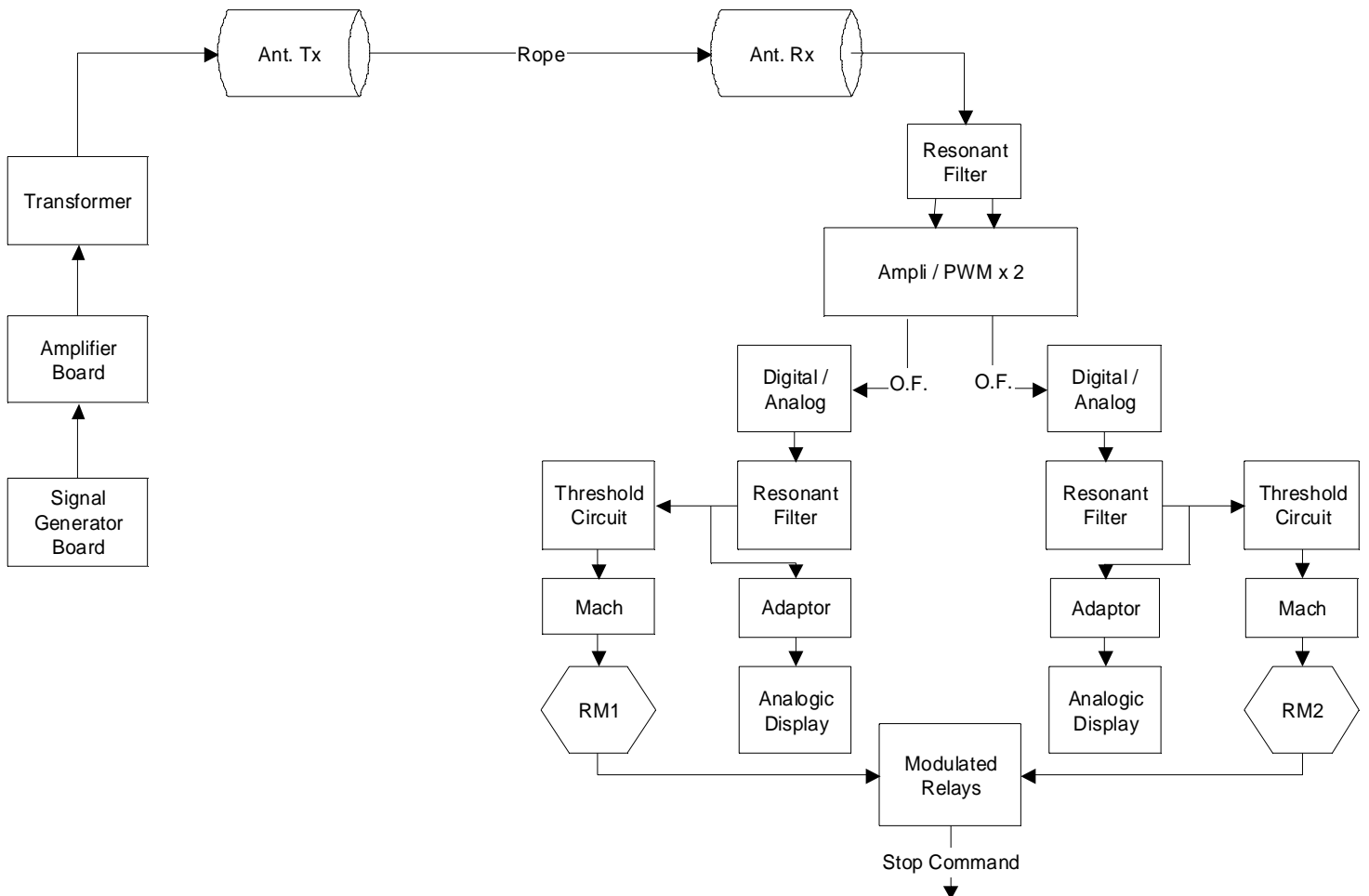
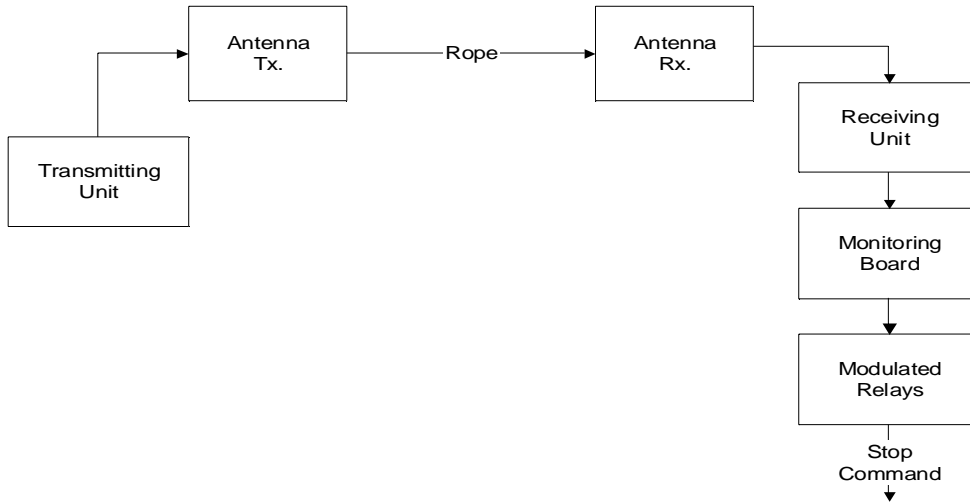


Fig. 2.1 – 2.2 Schema a blocchi dell'intero sistema.

3.2 Stima dei valori attesi:

L'unità di trasmissione carica l'antenna capacitiva con una tensione alternata pari a 1250V, con frequenze $f_1 = 358$ Hz ed $f_2 = 374$ Hz; che verranno approssimate ad una frequenza media di 366 Hz.

L'antenna capacitiva, si comporta come un condensatore caricandosi a circa 58 pF², che danno una reattanza di circa 7,5 M Ω alla frequenza di 366 Hz.

Impedenze parassite: la resistenza longitudinale totale della fune è stata calcolata in circa 5 Ω che messi in serie alla impedenza da 7,5 M Ω possono essere tralasciati. L'unica grandezza elettrica che è da tenere in considerazione è la capacità distribuita della fune con un massimo di 100nF, che alla frequenza utilizzata dà una reattanza di circa 4.3 K Ω .

L'impedenza finale della fune va calcolata fra il parallelo della resistenza tra fune e riferimento di massa e la capacità distribuita della fune.

L'impedenza di richiusura delle correnti nel riferimento di massa è bassa e anch'essa può essere tralasciata.

Effetti Impedenze: la resistenza R_o della fune verso il riferimento di massa può variare da 1K Ω a 10K Ω ³; la resistenza R_c della fune portante (riferimento di massa) resta sempre a 500 Ω e restano indipendenti dalla lunghezza della fune. A seconda della lunghezza della fune il circuito può presentare valori elettrici anche molto discordanti (capacità e induttanza distribuite sulla fune dipendono dalle caratteristiche della fune); possiamo infatti suddividere il sistema per due grandi gruppi: lunghezza della fune corta (circa 250m fra le stazioni); lunghezza della fune lunga (circa 2500m fra le due stazioni). In questo modo riusciamo a calcolarci i valori di soglia che deve essere in grado di analizzare il nostro sistema per ottenere un corretto funzionamento.

- Fune lunga: per funi lunghe in condizioni normali possiamo avere induttanze longitudinali di circa $L = 10$ mH che danno una reattanza induttiva di circa 22,3 Ω ; la capacità distribuita è pari a 100nF che dà una reattanza capacitiva di circa 4,3K Ω alla frequenza media di 366 Hz. In condizioni di normale utilizzo l'impedenza finale $R_o//C$ dà circa 4K Ω e la serie con l'impedenza induttiva può essere tralasciata. In condizioni di contatto fune - riferimento di massa abbiamo una impedenza finale $R_o//R_c//C$ che dà 428 Ω ed anche in questo caso la serie con l'impedenza induttiva può essere tralasciata.

Condizioni sistema:	Impedenza finale:	Induttanza	Differenza percentuale:
Normale utilizzo	4 K Ω	10 mH – 22.3 Ω	0.56 %
Contatto fune - massa	428 Ω	10 mH – 22.3 Ω	5.21 %

- Fune corta: per funi corte in condizioni normali possiamo avere induttanze longitudinali di circa $L = 1$ mH che creano una reattanza $X_L = 2,3$ Ω ; la capacità distribuita è pari a 10 nF che dà una reattanza capacitiva di circa 43,5 K Ω . In

² Nel successivo paragrafo viene spiegato come si giunge a questo valore della capacità.

³ Viene considerata una impedenza massima di 10K Ω poiché valori più elevati non si verificano su lunghe funivie va e vieni, a causa delle capacità distribuite; per funivie più corte invece hanno meno importanza.

condizioni di normale utilizzo l'impedenza finale $R_o//C$ dà circa $8,3 \text{ K}\Omega$ e la serie con l'impedenza induttiva può essere tralasciata. In condizioni di contatto fune - riferimento di massa abbiamo una impedenza finale $R_o//R_c//C$ che dà 471Ω ed anche in questo caso la serie con l'impedenza induttiva può essere tralasciata.⁴

Condizioni sistema:	Impedenza finale:	Induttanza	Differenza percentuale:
Normale utilizzo	$8.3 \text{ K}\Omega$	$1 \text{ mH} - 2.2 \Omega$	0.02 %
Contatto fune - massa	471Ω	$1 \text{ mH} - 2.2 \Omega$	0.46 %

Il sistema deve misurare la tensione che abbiamo ai capi della antenna ricevente, data dalla corrente che scorre lungo l'impedenza tra fune e riferimento di massa:

$$I_r = V_{in}/Z_{in} = (1250 \text{ V} / 7,5 \text{ M}\Omega) = 166,7 \text{ uA.}$$

Ai capi dell'antenna ricevente avremo quindi una tensione $V_o = 1360 \text{ mV}$ in condizioni normali (impedenza di $8,3 \text{ K}\Omega$) ed in condizioni di contatto fune - riferimento di terra $V_o = 71,4 \text{ mV}$; l'escursione fra la tensione minima e massima che il sistema deve rilevare è circa 19 volte la tensione minima.

L'antenna ricevente quindi deve essere in grado di leggere una d.d.p. V_o con una impedenza in ingresso di $7,5 \text{ M}\Omega$, nel circuito ricevente allora sarà presente una corrente V_o/R_{ant} proporzionale alla impedenza fune – riferimento di massa.

Nel caso migliore avremo una corrente $I_o = (1.36 \text{ V} / 7.5 \text{ M}\Omega) = 181.37 \text{ nA}$.

Nel caso peggiore avremo una corrente $I_o = (0.071 \text{ V} / 7.5 \text{ M}\Omega) = 9,51 \text{ nA}$.

Calcolo reattanza al variare resistenza R_o e reattanza X_c :

<i>Best Case:</i> <i>$X_c = 44 \text{ Kohm}$</i>	Valore resistenza R_o (ohm)	$R_o//X_c$ (ohm)	$R_o//R_c//X_c$ (ohm)
	1000	978	331
	2000	1914	396
	5000	4495	450
	10000	8164	471

<i>Worst Case:</i> <i>$X_c = 4.3 \text{ Kohm}$</i>	Valore resistenza R_o (ohm)	$R_o//X_c$ (ohm)	$R_o//R_c//X_c$ (ohm)
	1000	810	309
	2000	1361	366
	5000	2300	411
	10000	2986	428

Possiamo identificare un best case e un worst case a seconda della reattanza capacitiva che si presenta nella fune e delle condizioni di utilizzo (contatto o meno fra le due funi); questi saranno i valori limite dell'impedenza verso massa che il nostro sistema deve essere in grado di misurare:

Best Case: $Z = 8164 \Omega$;

Worst Case: $Z = 428 \Omega$.⁵

⁴ Tutte le impedenze capacitive e induttive sono state calcolate alla frequenza media di 366 Hz. Per un calcolo più approfondito riguardo il best-case e worst-case si sono utilizzate le frequenze minime e massime presenti nel sistema. (358 Hz e 374 Hz).

⁵ I best-case e worst-case vengono scelti entrambi con fune con resistenza di 10 Kohm; in tabella sono calcolati valori di impedenza per vari tipi di resistenza R_o .

3.3 Unità di Trasmissione:

L'unità di trasmissione è installata nella stazione di rinvio ed ha la funzione di generare il segnale utile da inviare attraverso il canale di trasmissione (funne traente). E' formata da una scheda elettronica con un generatore di segnale e un amplificatore collocati nella stazione di controllo, un trasformatore e l'antenna capacitiva posti vicino alla puleggia di rinvio; un cavo schermato trasmette il segnale dalla scheda elettronica al trasformatore.

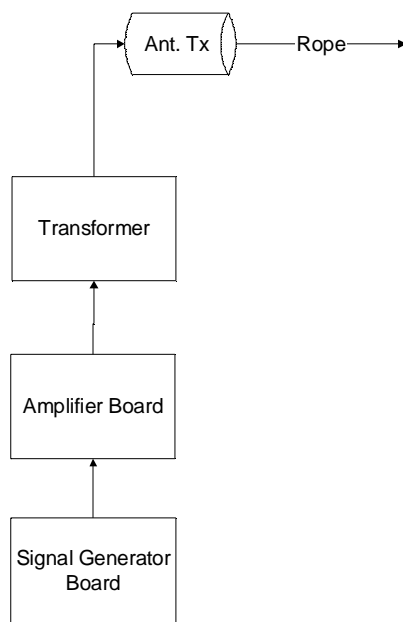


Fig. 4.1: Schema a blocchi unità di trasmissione.

3.3.1 Scheda generazione del segnale:

I circuiti elettronici di questa scheda hanno la funzione di generare un'onda sinusoidale, formata da due frequenze, $f_1 = 358$ Hz ed $f_2 = 374$ Hz; i circuiti sono realizzati con alcune CPLD (Complex Programmable Logic Device) e degli amplificatori operazionali. Il segnale generato può essere diviso in due periodi:

- Primo mezzo - periodo:
Frequenza $F_1 = 358$ Hz
Numero di onde = 17;
Tempo = 47,49 ms.

- Secondo mezzo - periodo:
Frequenza $F_2 = 374$ Hz
Numero di onde = 17;
Tempo = 45,45 ms.

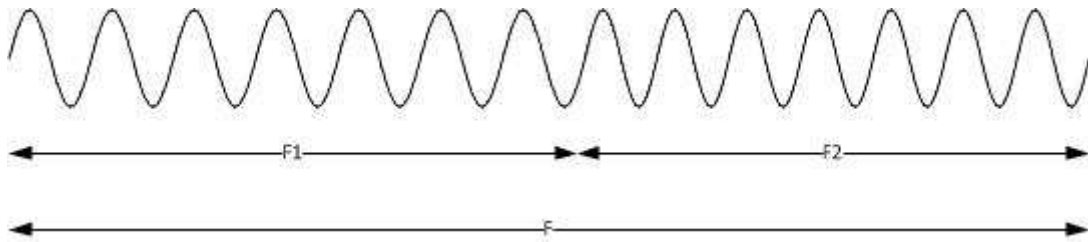


Fig. 4.2 Rappresentazione di un segnale inviato, formato da 17 onde alla frequenza F_1 e 17 onde alla frequenza F_2 ; per semplicità nella figura si rappresentano 7 onde alla frequenza F_1 e 7 onde alla frequenza F_2 .

La scheda di generazione del segnale ha in entrata solamente una alimentazione a 24 V e ha la presenza di due comandi ON/OFF per test periodici sul sistema con entrate Z_0 e Z_1 :

1. $Z_0 = 0\text{ V}$, $Z_1 = 0\text{ V}$: condizioni di normale utilizzo

La scheda genera in sequenza per mezzo periodo la frequenza f_1 e per mezzo la frequenza f_2 .

2. $Z_0 = 24\text{ V}$, $Z_1 = 0\text{ V}$: test sulla frequenza f_1 :

La scheda genera continuamente la frequenza f_2 , la scheda di ricezione dovrebbe segnalare la mancanza della frequenza f_1 .

3. $Z_0 = 0\text{ V}$, $Z_1 = 24\text{ V}$: test sulla frequenza f_2 :

La scheda genera continuamente la frequenza f_1 , la scheda di ricezione dovrebbe segnalare la mancanza della frequenza f_2 .

La scheda riceve dal secondario del trasformatore un segnale analogico che è proporzionale al potenziale di uscita, e pilota uno strumento che segnala la tensione di uscita. Il circuito ha un diodo raddrizzatore, un filtro e un amplificatore.

Sono presenti inoltre una serie di led con la funzione di notifica sullo stato di utilizzo e frequenza al momento in invio.

3.3.2 Scheda Amplificatore:

Il circuito elettronico di questa scheda amplifica il segnale ricevuto dalla scheda di generazione del segnale e pilota il trasformatore. L'ampiezza della tensione di uscita può essere regolata attraverso un trimmer, l'ampiezza massima è 10 Vrms.

3.3.3 Trasformatore:

Un trasformatore monofase aumenta la tensione da 10 V a 1000 V; il circuito primario è pilotato da una scheda di amplificazione.

È formato da 3 trasformatori collegati in parallelo al primario e in serie al secondario, ogni trasformatore ha un rapporto di conversione 1:27; poiché al secondario sono collegati in serie in uscita troveremo la tensione di 810 V.

Un terminale del circuito secondario è collegato alla fune portante, che è connessa a massa, il secondo terminale è collegato alla antenna capacitiva, attraverso una serie di resistenze che limitano la corrente, e da circuiti di protezione contro le sovratensioni provenienti dalla fune durante scariche atmosferiche.

La tensione di uscita è letta attraverso un circuito di alte impedenze resistive, che ritorna attraverso un cavo schermato la misura del segnale alla scheda di generazione del segnale con la funzione di dare il riferimento al generatore di onda.

3.3.4 Antenna Capacitiva:

L'antenna capacitiva è formata da un tubo metallico (Fig.4.3) , che è la prima armatura del condensatore; è connesso all'uscita del trasformatore e riceve il segnale. La seconda armatura del condensatore è formata dalla fune traente, che si trova all'interno del tubo metallico. Il condensatore che si viene a creare è ad aria.

La lunghezza del tubo metallico è circa 1300mm e il diametro circa 100 mm. Con un diametro della fune traente di 24 mm, la carica capacitiva è circa 58 pF.

Il calcolo della capacità dipende dalla lunghezza dell'armatura, e dal raggio dell'armatura interna ed esterna. Il valore di 58 pF si ottiene dalla seguente formula:

$$C = 2\pi\epsilon_0\epsilon_r l / \ln(R_2/R_1)$$

In cui ϵ_0 è la permittività nel vuoto mentre ϵ_r è la permittività del materiale usato come dielettrico (nel nostro caso l'aria, $\epsilon_r = 1,00059$, che può essere approssimata ad 1).

L'antenna capacitiva è protetta da contatto diretto attraverso un involucro metallico connesso a terra, e diviene una seconda armatura di un condensatore più grande, che pilota una debole corrente verso massa.

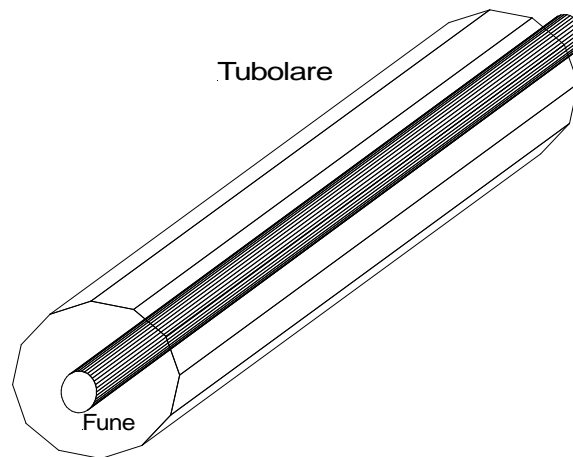


Fig. 4.3: Condensatore cilindrico ad aria, prima armatura tubolare in acciaio, seconda armatura fune traente.

Si è utilizzata una antenna di tipo capacitivo, sebbene non sia ideale per la trasmissione del segnale, poiché crea una alta impedenza in ingresso ed inoltre permette di non avere un contatto diretto con la fune, senza il rischio di usurarla; una antenna di tipo induttivo non avrebbe permesso la trasmissione del segnale in qualsiasi condizione poiché molte volte la fune si presenta sporca o ingrassata e non permetterebbe il pieno contatto fune-antenna.

3.4 Modulazione a larghezza di impulsi (PWM):

L'unità di ricezione del sistema utilizza una scheda di ricezione, installata vicino all'antenna, e 2 schede di monitoraggio, installate in un cabinet nella postazione di controllo.

La distanza fra le due postazioni può essere lunga, e necessitiamo di inviare due misure di segnali dalla scheda di ricezione alla scheda di monitoraggio. La miglior scelta per evitare rumore elettromagnetico, perdite, etc. è la trasmissione di ogni segnale attraverso la fibra ottica.

La modalità più semplice per effettuare la trasmissione, senza la necessità di utilizzare la conversione Analogico-Numerica è la conversione Analogico-PWM nella scheda di ricezione, e la conversione inversa PWM-Analogica nella scheda di monitoraggio. La soluzione è descritta nei seguenti paragrafi.

3.4.1 Il segnale PWM:

È un segnale digitale che ha due livelli, es. $V1 = 5V$ e $V2 = 0V$;

$T1$ = tempo in cui il segnale è al livello $V1$;

$T2$ = tempo in cui il segnale è al livello $V2$;

$Tp = T1 + T2$ = periodo dell'onda.

$Fp = 1/Tp$ = frequenza PWM.

3.4.2 Conversione da segnale PWM a segnale analogico:

Un filtro passa basso, che ha una frequenza di taglio Fc minore di Fp (es. $Fc = Fp / 100$), dà in uscita il valore medio $Vout$ del segnale nel periodo Tp , che può essere semplicemente calcolato come:

$$Vout = (V1 \times T1 + V2 \times T2) / Tp$$

Esempio 1: $V1 = +10V$, $V2 = 0V$, $T1 = 75$ ms, $T2 = 25$ ms, $Tp = 100$ ms, otteniamo:

$$Vout = (10 \times 75 + 0) / 100 = 7,5 V;$$

Esempio 2: $V1 = +10V$, $V2 = -10 V$, $T1 = 75$ ms, $T2 = 25$ ms, $Tp = 100$ ms, otteniamo:

$$Vout = (10 \times 75 + (-10) \times 25) / 100 = 5,0 V;$$

Il secondo esempio, che ha livelli uguali ed opposti (+10, -10) è più utile per le nostre applicazioni: frequenza massima del segnale (Fs), frequenza di taglio del filtro (Fc) e la frequenza PWM (Fp) sono:

$$Fp \text{ (es. } 100 \text{ KHz)} \gg Fc \text{ (es. } 6 \text{ KHz)} \gg Fs \text{ (es. } 366 \text{ Hz)}$$

3.4.3 Conversione da segnale analogico a segnale PWM:

Il circuito è un generatore di onda quadra, pilotato dalla tensione Vin del segnale di ingresso.

Possiamo ipotizzare che il periodo PWM è così corto che la tensione Vin in entrata al convertitore sia costante nel periodo Tp . Un resistore Rin , pilotato da Vin , dà la corrente $Iin = Vin/Rin$, che è costante in Tp . Possiamo analizzare i due tempi $T1$ e $T2$:

- Durante il tempo $T1$ (tempo da 0 a $T1$), un segnale interno Vr varia in maniera lineare dalla soglia negativa $-Vo$ (es. -2V) alla soglia positiva (es.+2V). Durante questo tempo $T1$, l'uscita PWM si porta al livello $V1$ (es.+2V).
- Durante il tempo $T2$ (tempo da $T1$ a Tp), il segnale interno Vr cambia in maniera lineare dalla soglia positiva $+Vo$ (es. +2V) alla soglia negativa $-Vo$ (es.-2V). Durante questo tempo $T2$, l'uscita PWM si porta al livello $V2$ (es.-2V).

L'operazione dipende dal segnale interno Vr:

- Durante T1: lo stato V1 pilota la tensione Vo al valore positivo +Vo, e un resistore Ro dà la corrente $I_o = V_o/R_o$. Un amplificatore operazionale esegue la somma $(I_{in} + I_o)$ e fa l'integrazione nel tempo $V_r = K \times \text{Integral} [(I_{in} + I_o) dt]$. I_o è sempre maggiore del massimo valore negativo di I_{in} . Successivamente Vr aumento a rampa, con ampiezza da -Vo a +Vo nel periodo T1, che può essere calcolato: $[(+V_o) - (-V_o)] = 2 \times V_o = T1(I_{in} + I_o)$ quindi $T1 = 2 \times V_o / (I_{in} + I_o)$. Al tempo T1, Vr raggiunge Vo e fa commutare l'uscita da V1 a V2, e da +Vo a -Vo. Questa commutazione è eseguita da un circuito con un trigger di Schmitt con un amplificatore operazionale.
- Durante T2: lo stato V2 pilota la tensione Vo al valore negativo -Vo, e un resistore Ro dà la corrente negativa $-I_o = -V_o/R_o$. Un amplificatore operazione esegue la somma $(I_{in} - I_o)$, esegue l'integrazione nel tempo $V_r = K \times \text{Integral} [(I_{in} - I_o) dt]$. I_o è sempre maggiore del massimo valore positivo di I_{in} . Successivamente Vr decresce a rampa, con ampiezza da +Vo a -Vo nel tempo T2, che può essere calcolato: $[(-V_o) - (+V_o)] = -2 \times V_o = T2(I_{in} - I_o)$ quindi $T2 = 2 \times V_o / (I_o - I_{in})$. Al tempo T2 Vr raggiunge -Vo e fa commutare l'uscita da V2 a V1, e da -Vo a +Vo.

Riassumendo:

$$T1 = 2 \times V_o / (I_o + I_{in}) \quad T2 = 2 \times V_o / (I_o - I_{in}) \quad T_p = 4 \times V_o \times I_o / [(I_o - I_{in}) \times (I_o + I_{in})]$$

Il valore medio Vo di quest'onda, quando calcolato come nel precedente esempio 2, è:

$$V_{out} = (V1 \times T1 + V2 \times T2) / T_p$$

Possiamo prendere $V1 = V_o$ e $V2 = -V_o$, per ottenere (in una maniera lunga ma semplice):

$$V_{out} = I_{in} \times V_o / I_o = I_{in} \times R_o = V_{in} \times [R_o / R_{in}]$$

Successivamente in teoria Vout è strettamente proporzionale a Vin, attraverso il guadagno $[R_o / R_{in}]$.

Il tempo Tp, e la frequenza Fp, cambiano con il segnale di ingresso lin.

Possiamo scrivere: $T_{po} = 4 \times V_o / I_o$ e $A = I_{in} / I_o$ e quindi riscrivere Tp:

$$T_p = T_{po} / [1 + A^2] \quad F_p = F_{po} \times [1 + A^2]$$

Esempio: $F_{po} = 100 \text{ KHz}$, $I_o = 10 \text{ mA}$

Quando $I_{in} = 0$, $A = I_{in} / I_o = 0$, $F_p = F_{po} = 100 \text{ KHz}$;

Quando $I_{in} = 5 \text{ mA}$, $A = 0,5$: $F_p = F_{po} \times 1,25 = 125 \text{ KHz}$;

Questa escursione di frequenze, da F_{po} a $F_{po} \times 1,25$, è sufficiente a permettere una grande variazione di frequenze, la corrente di ingresso lin può avere valori da $-I_o/2$ a $+I_o/2$.

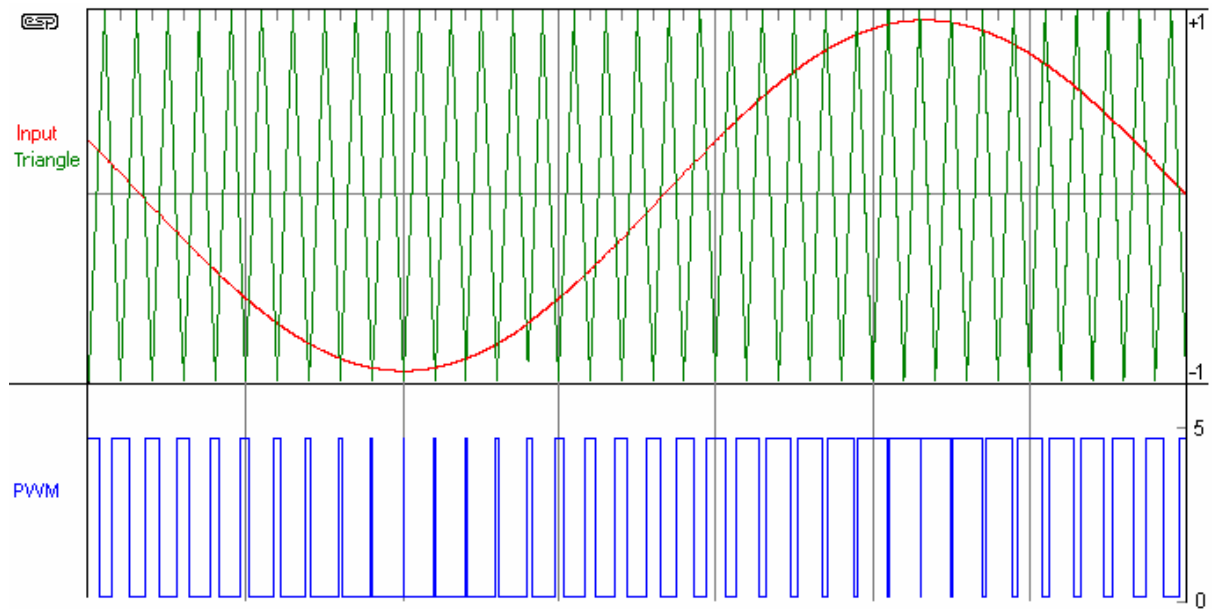


Fig. 6.3: Rappresentazione grafica del funzionamento del convertitore Analog-PWM: il segnale in rosso rappresenta il segnale in entrata da modulare (in questo caso di tipo sinusoidale), il segnale in verde rappresenta il segnale modulante ed il segnale in blu rappresenta l'uscita del convertitore.

3.5 Unità Ricezione:

L'unità di ricezione è installata nella scheda D960 e collocata vicino all'antenna di ricezione a causa del segnale molto debole che deve trattare, in modo da avere la possibilità di amplificarlo senza ulteriori attenuazioni dovute a cavi di trasmissione. Lo scopo dell'unità è quello di ricevere il segnale analogico, amplificarlo, modularlo in modulazione PWM e inviarlo via fibra ottica all'unità di monitoraggio.

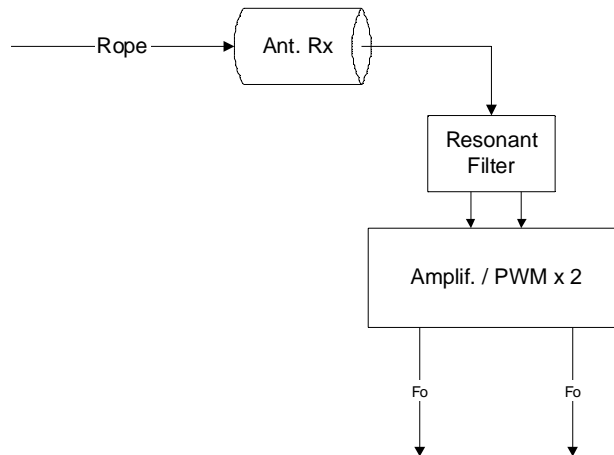


Fig 6.1: Schema semplificato unità ricezione.

3.5.1 Antenna Capacitiva:

L'antenna di ricezione è la stessa di trasmissione, è connessa alla scheda di ricezione, nel box vicino all'antenna.

3.5.2 Scheda Ricezione:

La scheda può essere suddivisa in tre sezioni:

- Sezione A: Circuito risonante, dà gli impulsi alla sezione B e alla sezione C;
- Sezione B: Circuito di misura nr.1: amplifica e filtra i segnali di ingresso, esegue la conversione "Analogica a PWM" e invia il segnale PWM all'unità monitoraggio nr.1, attraverso la fibra ottica nr.1.
- Sezione B: Circuito di misura nr.2: amplifica e filtra i segnali di ingresso, esegue la conversione "Analogica a PWM" e invia il segnale PWM all'unità monitoraggio nr.2, attraverso la fibra ottica nr.2.
- Sezione D: Generazione della tensione di alimentazione per le sezioni B e C.

3.5.2.1 Sezione A: Circuito Risonante:

Il circuito risonante è installato nella scheda XD960. Il primo terminale di ingresso è direttamente connesso alla armatura metallica dell'antenna di ricezione. Il secondo terminale è connesso alla fune portante, che è isolata a terra attraverso un conduttore di terra.

I seguenti dispositivi sono collegati in parallelo ai due terminali di ingresso:

- Circuito scarica sovratensioni: attraverso alcuni elementi (scaricatori, diodi, resistenze) permette una protezione dei circuiti a esso collegati da scariche atmosferiche.

- 2 Capacità connesse in parallelo (circa 242 nF in totale): la prima linea del filtro risonante.
- Un induttore: attraverso due induttori di 390 mH l'uno, in serie fra loro, nella seconda linea del filtro risonante. I trimmer sulle induttanze permettono di aggiustare la frequenza di risonanza a 366 Hz, che è la media fra la frequenza f_1 e la frequenza f_2 .
- Il circuito primario di un piccolo trasformatore T1.
- Il circuito primario di un piccolo trasformatore T2.

Il fattore di guadagno di tensione dei trasformatori è 2:1.

I due circuiti primari sono collegati in serie all'induttore, in ognuno di essi scorre la stessa corrente, in T1 e in T2; la loro funzione è creare un isolamento galvanico tra il circuito risonante e altri circuiti collegati successivamente, e leggere due volte consecutive la corrente per la ridondanza delle misure. L'intero circuito risonante non ha necessità di alimentazione, l'energia necessaria proviene dal segnale in ingresso all'antenna ricevente.

Per il circuito risonante LC, per una corrente I_0 ricevuta che ha una frequenza molto vicina alla frequenza di risonanza, la corrente che scorre nel circuito primario del trasformatore è circa 35 volte la corrente in ingresso I_0 , e poiché il fattore di guadagno del trasformatore è 2:1 la corrente I_2 che il trasformatore T2 dà al circuito secondario è circa 70 volte la corrente di ingresso I_0 . $I_2 = I_0 \times 70$.

Quindi, la corrente I_2 che il trasformatore rende disponibile per il circuito di amplificazione ad esso collegato è:

- Nel caso di condizioni normali avremo una corrente:
 $I_0 = 181,37 \text{ nA}$, $I_2 = 12,69 \text{ uA}$;
- Nel caso peggiore avremo una corrente:
 $I_0 = 9,51 \text{ nA}$ $I_2 = 665 \text{ nA}$;

Questi valori sono uguali sia per il trasformatore T1 che per il trasformatore T2.

Nel circuito risonante le correnti che hanno frequenze distanti da 366 Hz vengono filtrate; il circuito risonante inoltre amplifica di circa un fattore 35 le correnti al suo interno permettendo una prima amplificazione del segnale.

Il filtro risonante è collegato alla scheda D960 attraverso un connettore a 8 poli J2, questo accorgimento è stato adottato in modo da avere la possibilità di adattare il filtro in caso di nuove frequenze utilizzate nella trasmissione, senza la necessità di sostituire l'intera scheda.

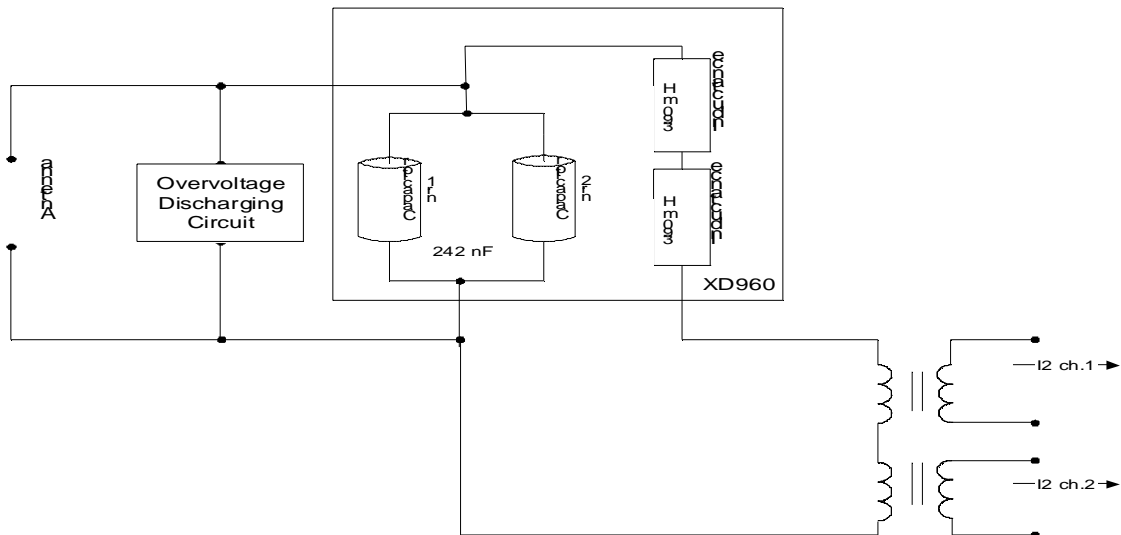


Fig. 6.2 Rappresentazione Circuito risonante.

3.5.2.2 Sezione B: Circuito di Misura nr. 1

Questa sezione è separata dalle altre sezioni e utilizza come ingresso il segnale di misura 1 (la corrente I_2), proveniente dal secondario del circuito T1, mentre in uscita un segnale che verrà trasmesso dalla fibra ottica nr.1.

I circuiti di questa sezione:

- **Circuito amplificazione:** formato da una serie di amplificatori operazionali:

Rendono una bassa impedenza in uscita al trasformatore, con la funzione di ridurre gli effetti del circuito risonante.

Effettuano un'ulteriore azione filtrante sulle frequenze indesiderate, attraverso un semplice filtro passa basso.

Danno una tensione di uscita V_2 che è proporzionale alla corrente I_2 ; il guadagno di amplificazione $G_2 = V_2 / I_2$ è scelto in modo da ottenere che V_1 abbia come valore di picco 1,0 V ($V_{2rms} = 0,707$ V) quando il valore di I_2 corrisponde all'impedenza fune - riferimento di massa di 10 K Ω .

Il guadagno di amplificazione è elevato (decine di migliaia) per aumentare il debole segnale in entrata dal circuito risonante.

In entrata al circuito di amplificazione avremo le correnti rese disponibili dal trasformatore, con ordine di grandezza dalle centinaia alle migliaia di nA; in uscita invece ci troveremo:

- Best case, $R_o = 10$ Kohm: $I_{2rms} = 12.69$ uA $V_{2rms} = 707,1$ mV $G = 55721$
- Worst Case, $R_c = 500$ ohm: $I_{2rms} = 665$ nA $V_{2rms} = 37.05$ mV

- **Circuito per la conversione Analogica a PWM:**

La conversione analogica – PWM descritta nel paragrafo 4 è effettuata attraverso un circuito che utilizza amplificatori operazionali, diodi zener ed altri semplici elementi.

Le operazioni principali sono:

1- Cambio del segnale in uscita e generazione delle correnti $+I_o$ e $-I_o$, il cambio dell'uscita dallo stato $V_{out} = V_1$ allo stato $V_{out} = V_2$ viene effettuato dal trigger di Schmitt, con un amplificatore operazionale.

2-La generazione della tensione positiva/negativa V_o per dare le correnti $+I_o$ e $-I_o$, è effettuata da un amplificatore operazionale che riceve due tensioni stabilizzate ($+2,5V = +V_o$; $-2,5V = -V_o$).

3-La somma delle correnti I_o e I_{in} (segnale in ingresso). L'operazione è effettuata da un amplificatore operazionale, con due resistenze in ingresso pilotate da $\pm V_o$ e il segnale di ingresso V_2 , e una capacità in retroazione per creare una integrazione temporale.

L'ingresso del segnale V_2 varia da $-1.0V$ a $+1.0V$ (valore di picco della sinusoide a 366 Hz).

L'uscita della frequenza PWM varia da 100 KHz (quando $V_2 = 0V$) a 125 KHz (quando $V_2 = +1\text{ V}$ o $-1V$). Questo corrisponde a trasmettere più di 300 campioni per ogni onda analizzata.

- Il circuito che pilota la fibra ottica:

Il circuito adatta i livelli V_1 e V_2 del precedente segnale V_{out} , per avere $V_1 = +12V$ e $V_2 = 0V$; il segnale così adattato pilota il LED trasmettitore della fibra ottica.

3.5.2.3 Sezione C: Circuito di Misura nr. 2

La sezione è separata da altre sezioni, ed utilizza solamente:

Come ingresso, il segnale Misura nr.2, proveniente dal circuito secondario del trasformatore T2.

Come uscita, il segnale ottico trasmesso dalla fibra ottica nr. 2.

La struttura e l'utilizzo di questa sezione è lo stesso del precedente circuito Sezione B.

3.5.2.4 Sezione D: Alimentatori stabilizzati:

L'ingresso della tensione di alimentazione proviene da una linea esterna a $0-24\text{ V}$ connessa attraverso connettore J3; molto spesso si tratta di una batteria a ricarica automatica; il circuito in entrata è fornito di un fusibile ripristinabile ($18-30V$) in caso di sbalzi di tensione che potrebbero danneggiare la scheda elettronica, un convertitore DC-DC integrato fornisce la tensione ai due trasformatori. Una protezione galvanica infatti permette di isolare il circuito; l'uscita $\pm 12\text{ V}$ dei trasformatori rifornisce 4 convertitori integrati per permettere la generazione delle tensioni $\pm 5V$ alle due linee di amplificazione⁶. Sono necessarie creare due linee di alimentazione $\pm 5V$ separate per l'amplificazione poiché il guadagno degli amplificatori operazioni dipende dall'alimentazione.

La generazione della tensione $\pm 2.5\text{ V}$ per l'alimentazione del convertitore PWM avviene tramite un amplificatore operazionale alimentato a $\pm 5\text{ V}$; anche la tensione di alimentazione del convertitore PWM come la tensione di alimentazione dell'amplificatore è divisa per ogni singolo canale (PWM Supply nr.1 / PWM Supply nr. 2), in modo da rendere ogni canale totalmente indipendente dall'altro.

⁶ Sono necessari 2 blocchi integrati per linea di alimentazione a ± 5 ; un blocco genera la tensione $+5V$, mentre un altro genera la tensione -5 V .

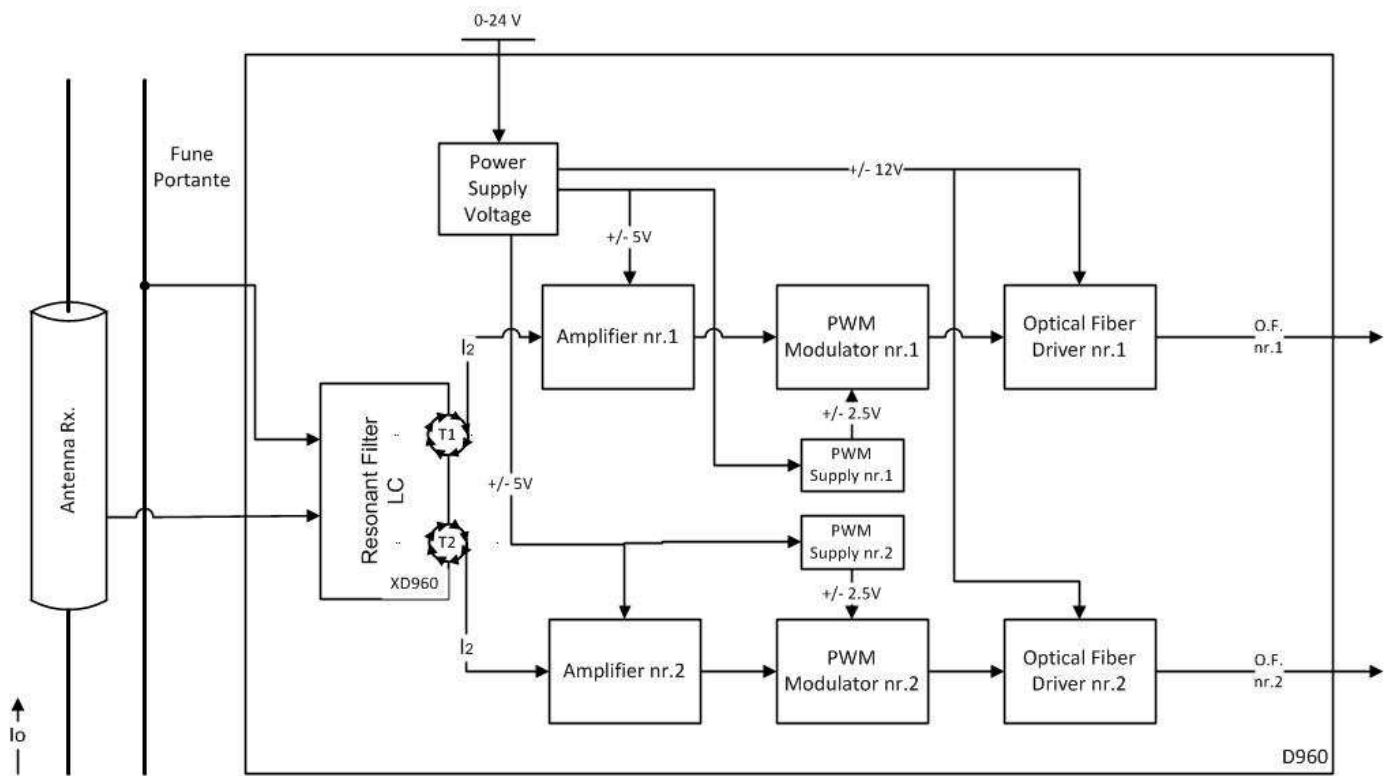


Fig.6.3: Schema a blocchi completo unità di ricezione

3.6 Unità monitoraggio:

L'unità di monitoraggio ha la funzione di elaborare il segnale proveniente dalla fibra ottica ed analizzarlo per trovare eventuali situazioni d'allarme nella linea. L'unità di monitoraggio è formata da 3 blocchi principali:

- Monitoring Board nr.1, analizza il segnale PWM proveniente dal primo canale;
- Monitoring Board nr.2, analizza il segnale PWM proveniente dal secondo canale;
- Relè Modulati, ricevono in ingresso i segnali dalle schede elettroniche precedenti ed eventualmente danno il comando di stop attraverso le loro uscite.

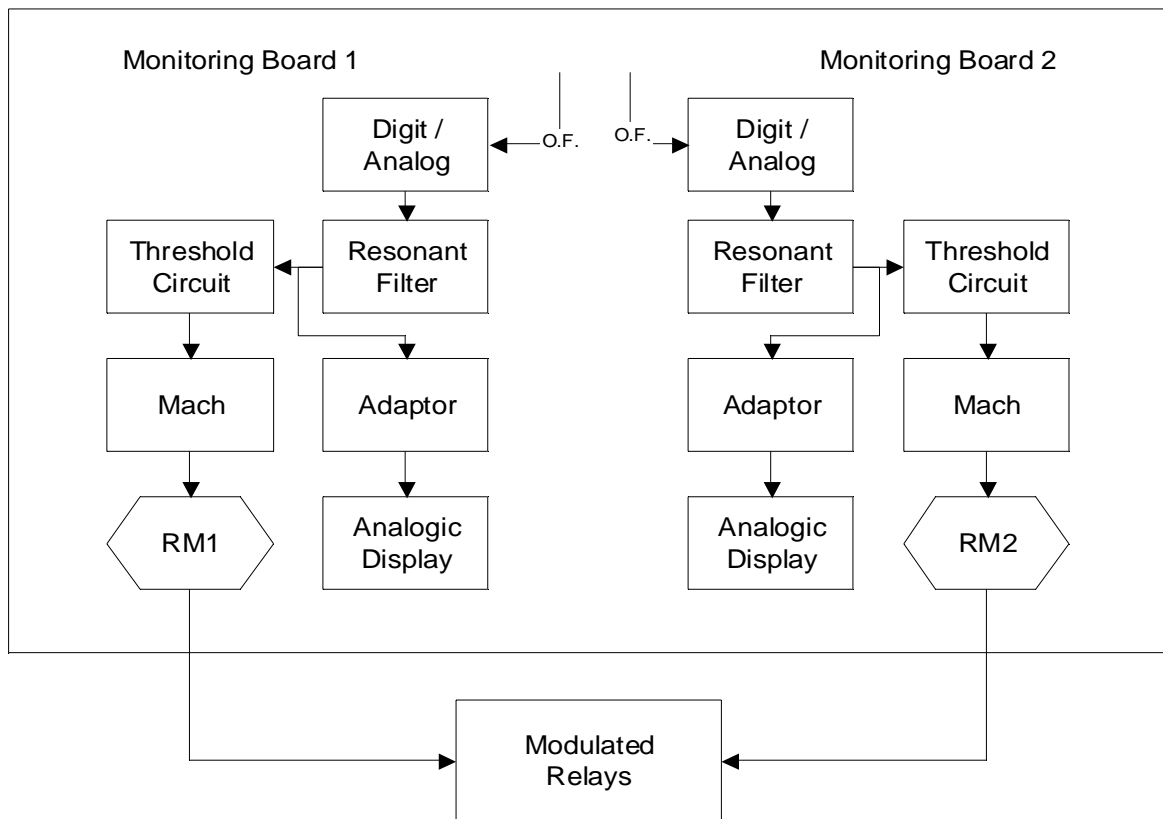


Fig. 7.1: Schema esemplificativo della Monitoring Unit.

Ogni singola monitoring Board può essere suddivisa nelle seguenti sezioni:

1. Alimentatori di tensione stabilizzata.
2. Circuito di conversione PWM – Analogico.
3. Filtro passa banda per il segnale analogico.
4. Circuito squadratore per creare un segnale a onda quadra.
5. Circuito per il tempo di ritardo.
6. Circuito CPLD per il controllo e la gestione dell'onda quadra.
7. Circuito d'uscita del comando modulato, per adattare il segnale.
8. Circuito raddrizzatore per adattare il segnale da dare al display analogico.

3.6.1 Alimentatori a tensione stabilizzata:

La tensione di alimentazione proviene da una linea esterna a 0 - 24 V, molto spesso si tratta di una batteria con ricarica automatica. La tensioni generate sono due: +/- 12V , +/- 5V. Le linee di alimentazione sono isolate dalla linea a 24 Vdc attraverso un isolamento galvanico ottenuto con un trasformatore inserito nella scheda principale di alimentazione. Le linee di tensione a +/- 12 V alimentano vari circuiti direttamente o attraverso altre tensioni stabilizzate ottenute con la linea a +/- 12V; l'alimentazione carica ed alimenta tutti i circuiti analogici presenti nella scheda, come ad esempio amplificatori operazioni.

La generazione della alimentazione a +/- 5 V avviene attraverso la linea di alimentazione a 12V , ed è utilizzata soprattutto per i circuiti digitali come ad esempio i circuiti CPLD; diodi zener sono utilizzati per la generazione delle tensioni di soglia.

3.6.2 Conversione PWM – Analogico:

Il segnale PWM proveniente dalla fibra ottica viene convertito in un segnale elettrico digitale (+5V, 0V) dal fototransistor. Un coppia di porte logiche generano due segnali: V1 = il segnale è +5V quando il segnale d'entrata è alto, durante il tempo T1, ed è 0V durante il tempo T2.

V2 = il segnale è 0V quando il segnale d'entrata è alto, ed è +5V durante T2, quando il segnale è basso.

Un circuito con un amplificatore operazionale effettua la differenza V1-V2, e l'integrazione temporale che permette di effettuare la seguente operazione:

$$(V1 \times T1 - V2 \times T2) / T_p$$

L'uscita del segnale analogico Vout raggiunge il picco di valore 2,0 V ($V_{2rms} = 1,414$ V) quando il segnale PWM ricevuto corrisponde a 10 K Ω di impedenza fra fune e terra:

Miglior caso: $R_o = 10K\Omega$ $V_{out} = 1414$ mV(valore efficace) 2000mV (valore di picco)

Peggior caso: $R_o = 500 \Omega$ $V_{out} = 68,86$ mV (valore efficace) 97,38mV (valore di picco)

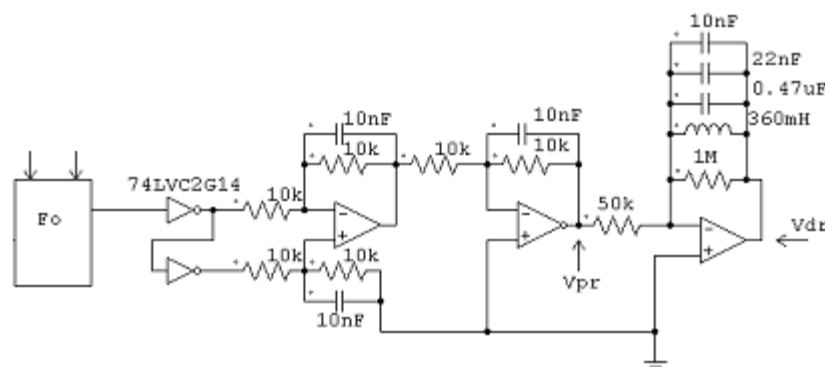


Fig 7.2 Rappresentazione semplificata elettrica del convertitore PWM – Analog.

3.6.3 Filtro passa banda(Resonant Filter):

Il segnale analogico Vout è filtrato attraverso un filtro risonante passa banda del 2° ordine (in figura Resonant Filter), attraverso un amplificatore operazionale, che

lavora alla frequenza centrale di 366 Hz. Questo riduce i rumori alle alte e basse frequenze a causa delle deviazioni dell'offset; i trimmers invece permettono di calibrare la frequenza centrale e il guadagno.

Il segnale d'uscita che ha la stessa ampiezza del segnale d'ingresso è inviato a:

- Lo squadratore per la generazione del comando modulato.
- Il circuito raddrizzatore che pilota il display analogico d'uscita.

3.6.4 *Circuito squadratore per la generazione del comando ad onda quadra:*

Il circuito è realizzato attraverso amplificatori operazionali e diodi zener per la tensione di soglia.

Il segnale analogico proviene dal circuito precedente, in normali condizioni è quasi perfettamente sinusoidale (a causa dei filtri passa banda inseriti); la frequenza è circa 366 Hz (precisamente $F1 = 358$ Hz ed $F2 = 374$ Hz in sequenza). L'ampiezza è proporzionale alla misura di impedenza.

Il circuito si comporta come un trigger di Schmitt, facendo variare lo stato $V1 = 5V$, $V2 = 0V$ del segnale d'uscita:

- Quando il segnale d'ingresso diviene positivo e raggiunge la soglia di valore $+V_o$, il segnale d'uscita cambia lo stato da $V2 = 0V$ a $V1 = 5V$.
- Quando il segnale d'ingresso diviene negativo e raggiunge la soglia di valore $-V_o$, il segnale d'uscita cambia lo stato da $V1 = 5V$ a $V2 = 0V$.

Quindi, se entrambi i valori di picco positivi e negativi del segnale d'ingresso sinusoidale sono maggiori delle soglie positive e negative $+V_o$ e $-V_o$, il segnale d'uscita è un'onda quadra con la frequenza dell'onda in ingresso, e i due tempi $T1 = T2 = T_p/2$.

Quando la resistenza fune – terra scende sotto il minimo valore accettato (es. sotto i 500Ω), almeno uno dei due picchi dell'onda sinusoidale (positivo o negativo) non raggiunge la relativa soglia (normalmente entrambi), il segnale di uscita non commuta il suo stato e mantiene un valore costante.

I valori di $+V_o$ e $-V_o$ delle soglie sono fissi.

La certificazione richiede differenti valori per la minima resistenza fune-terra, ad esempio 200Ω e 500Ω sono i valori minimi rilevabili nello standard europeo, mentre 1000Ω nello standard italiano (per le installazioni costruite prima della direttiva europea).

Il guadagno degli amplificatori operazionali può essere calibrato nei laboratori EEI, per impostare il minimo valore. Il segnale ad onda quadra V_{sw} generato è inviato a due circuiti:

- Il circuito CPLD
- Circuito per il tempo di ritardo.

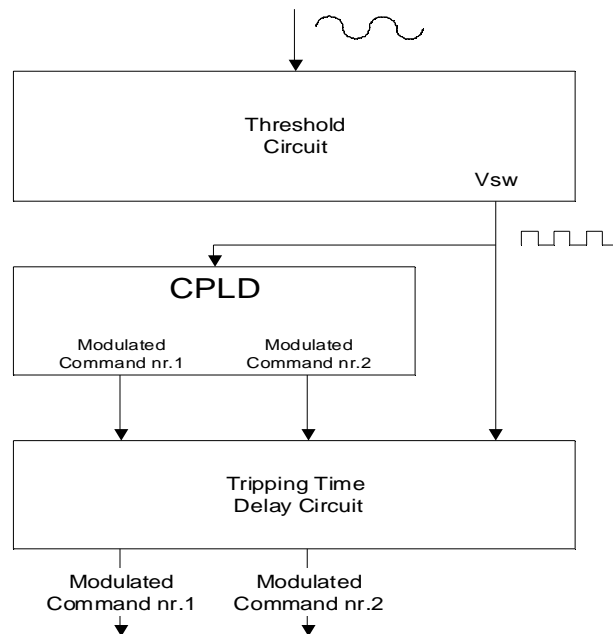


Fig.7.3 Schema rappresentante circuito CPLD e Threshold Circuit

3.6.5 Circuito per il tempo di ritardo (Tripping time delay circuit):

Il circuito CPLD che analizza le frequenze F1 ed F2 del segnale Vsw, pilota attraverso due segnali digitali gli amplificatori di uscita che generano il comando modulato per i relè modulati all'esterno del circuito. Lo scopo di questo circuito è consentire di trasferire questi segnali dal circuito CPLD all'amplificatore di uscita, o di fermarli.

Il circuito deve fermare i due segnali provenienti dalle CPLD, quando il segnale ad onda quadra Vsw si ferma e mantiene una costante (valore alto o basso) per un tempo superiore ai 0,5 secondi; inoltre ferma i segnali provenienti dalla CPLD, in un lungo periodo, se il segnale ad onda quadra perde una importante percentuale di impulsi.

L'operazione eseguita dal circuito per il tempo di ritardo è molto simile all'operazione eseguita dai relè modulati:

- Il segnale Vsw va in un piccolo trasformatore (o in un circuito con due capacità), che genera una componente alternata della frequenza e ferma la componente diretta; per ogni onda quando la componente T1 e T2 sono uguali, il trasformatore riceve un po' di energia $E = E_{max}$ di valore conosciuto; più la differenza fra i tempi T1 e T2 aumenta, meno energia il trasformatore cede.
- Un circuito raddrizzatore con diodi trasforma l'energia alternata in corrente diretta ed alimenta il circuito di carico.
- Il circuito di carico è composto da più rami in parallelo:
 - a) una capacità che immagazzina energia.
 - b) Il transistor di uscita dell'isolatore ottico nr.1, che trasferisce il segnale nr.1 del CPLD dalla CPLD al circuito di amplificazione di uscita. Ad ogni onda quadra del segnale nr.1 (frequenza di 800 Hz), questo ramo utilizza una quantità conosciuta di energia: in altri termini questo ramo utilizza una quantità costante di energia.

- c) Il transistor di uscita dell'isolatore ottico nr.2, che trasferisce il segnale nr.2 come per il precedente segnale.

In condizioni normali, quando il segnale V_{sw} è ben alternato, la capacità mantiene la sua massima energia, ed in un lungo periodo l'energia utilizzata dai singoli rami b) e c) eguaglia l'energia proveniente dal circuito raddrizzatore.

Quando il segnale V_{sw} si ferma, solo la capacità fornisce l'energia richiesta dai singoli rami b) e c), e la sua tensione inizia a scendere senza l'energia immagazzinata.

Dopo il tempo di ritardo richiesto, la tensione della capacità scende al di sotto del minimo valore che permette le operazioni all'isolatore ottico, l'amplificatore di uscita quindi non riceve il segnale CPLD e si ferma. Questo permette l'attivazione dei relè modulati.⁷

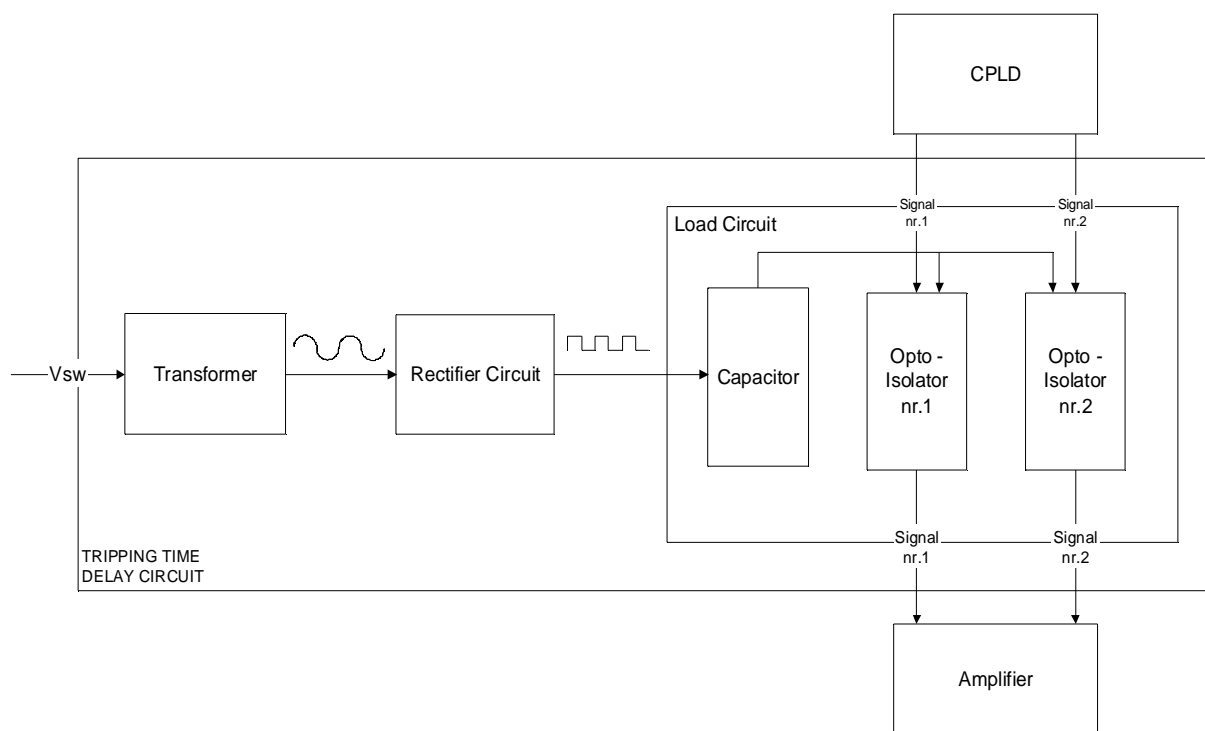


Fig 7.4 Rappresentazione circuito tempo di ritardo

3.6.6 Circuito CPLD per il controllo e la gestione dell'onda quadra:

Il circuito CPLD utilizza un dispositivo digitale programmabile MACH e un semplice dispositivo ausiliario (come un generatore di clock al quarzo ed un divisore hardware per un clock a bassa frequenza) per controllare la presenza e la sequenza delle frequenze F1 ed F2 nel segnale V_{sw} .

Le operazioni eseguite dal circuito CPLD sono:

- 1- Riconoscimento della frequenza F1 (358Hz):

⁷

Si sta pensando di realizzare un ulteriore ramo nel circuito che contenga un trimmer per regolare il tempo di ritardo, l'idea iniziale di un tempo che rimanga costante, senza l'utilizzo del trimmer sembra più semplice e quindi migliore.

Il fronte in salita dell'onda quadra attiva un contatore, che utilizza un segnale di clock proveniente dal circuito di generazione di clock al quarzo. Il successivo fronte in salita ferma il contatore.

La funzione individua "one wave F1" ed emette il relativo segnale di impulso quando il valore è grande quanto il minimo valore impostato e minore del massimo valore impostato. Il range di tolleranza ammesso va da circa 357 Hz a circa 359 Hz.⁸

2- Controllo della frequenza F2 (374 Hz):

La funzione si comporta esattamente alla stessa maniera precedente, usando differenti valori di massimo e di minimo ammessi: la tolleranza ad oggi ammessa va da 373 Hz a circa 375 Hz.⁹

3- Riconoscimento del cambiamento F1 – F2:

Quando la frequenza cambia, o quando l'impedenza varia velocemente (es. da 10 K Ω a 5 K Ω) il segnale ricevuto è perturbato e la funzione 1 o 2 può dare un valore errato e alcune volte un falso cambio F1-F2 è riconosciuto. Per cancellare questo errore:

- Quando la funzione 1) dà un impulso "one wave F1", il successivo impulso di "one wave F2" che può apparire viene cancellato per un tempo corrispondente a 3 impulsi.

- In maniera analoga per l'impulso "one wave F2", i successivi 3 impulsi di "one wave F1" vengono cancellati.

Questo permette l'errato riconoscimento.

Gli impulsi filtrati pilotano un flip-flop del CPLD: l'impulso "one wave F1" imposta l'uscita ad 1, l'impulso "one wave F2" resetta l'uscita a 0. Questo è il segnale "changes F2-F1" che verrà analizzato nel prossimo paragrafo. In condizioni normali, per 47,5 ms il segnale mantiene il valore 1 (frequenza F1), e per 45,5 ms mantiene il valore 0 (frequenza F2).

Si può notare che se l'impedenza è minore del minimo richiesto, il segnale ad onda quadra Vsw si ferma:

- la frequenza F1 non viene riconosciuta;
- la frequenza F2 non viene riconosciuta;
- il segnale "changes F2 – F1" mantiene l'ultimo valore per un lungo tempo.
-

4- Riconoscimento della variazione F1-F2:

La funzione riconosce il numero di volte in cui la frequenza cambia da F1 ad F2 in un periodo di un secondo, ad esempio il numero di fronti in salita del segnale "changes F2-F1".

Il periodo T_p del segnale trasmesso è composto da due mezzi periodi:

T1: 17 onde a frequenza F1 (totale di 47,48 ms);

T2: 17 onde a frequenza F2 (totale di 45,45 ms);

Quindi T_p = T1 + T2 = 92.94 ms, ed in condizioni normali in un secondo troviamo 10 o 11 fronti del segnale "changes F2- F1".

La regola della funzione è:

⁸ Il range utilizzato ad oggi è molto basso, poiché l'errore temporale è alto quando l'impedenza è vicina al minimo valore di soglia; probabilmente la tolleranza ammessa verrà incrementata.

⁹ Per le stesse ragioni del calcolo della frequenza precedente la tolleranza aumenterà.

- b) nel corto periodo di 0,5 secondi, il numero regolare di cambiamenti è 4 o 5: l'allarme è emesso quando si trovano 0 cambiamenti. Questa condizione avviene quando l'impedenza scende al di sotto del minimo richiesto, e resta sotto il minimo per più di 0,5 secondi.
- c) In un periodo lungo, ad esempio 10 secondi, in condizioni normali abbiamo 107 oppure 108 cambiamenti, per evitare queste perturbazioni come rumore elettromagnetico, facendo frequenti e indesiderate fermate, in questo periodo più lungo sono tollerati un numero d'errori più grandi.

Noi stiamo analizzando il software ordinario che fa questa funzione. È basato sulla seguente idea:

- 3- Il segnale perfetto "changes F2 – F1" che mostra un cambiamento ogni 92.94ms è generato da un contatore.
- 4- L'errore $E = (\text{cambiamenti perfetti}) - (\text{cambiamenti attuali})$ è rilevato da un contatore, che:
 - Somma +1 ad ogni 0-1 e 1-0 fronte del segnale perfetto (in un secondo somma +21 o +22);
 - Somma –1 ad ogni 0-1 e 1-0 fronte del segnale attuale "Changes F2-F1".
 In una condizione perfetta l'errore del contatore dà il valore di errore 0, +1 o -1.
 Il contatore è un integratore nel tempo dell'errore; un piccolo errore del segnale perfetto, in un lungo periodo genera un alto valore d'errore nel contatore; c'è la necessità quindi di inserire una correzione lenta chiamata : "slow correction".
- 5- Quando l'errore è maggiore di +1 (es. +2 ,+4), l'algoritmo di "slow correction – 1" dà ogni frazione stabilita di tempo un impulso –1, che riduce l'errore.¹⁰
- 6- Quando l'errore è minore di –1 (es. –2 , -4), l'algoritmo di "slow correction +1" dà ogni frazione stabilita di tempo un impulso +1.
- 7- L'allarme viene inviato quando l'errore raggiunge il valore di +10 oppure –10.

Esempio: il segnale "changes F2 - F1" si ferma completamente, partendo da una condizione di errore con valore –1 al tempo $t = 0$, valore di errore +10 viene raggiunto dopo 11 cambiamenti del segnale perfetto (dopo circa 0,51 .. 0,56 secondi). Se il valore d'errore di partenza fosse +1, il valore + 10 è raggiunto dopo circa 0,42 .. 0,47 secondi.

5- Memoria dell'allarme e segnali d'uscita:

La CPLD esegue le seguenti funzioni:

- 1- Pilota un LED " F1 on " della scheda con il segnale " Frequency F1";
- 2- Pilota un LED " F2 on" della scheda con il segnale " Frequency F2";

¹⁰ Al momento il periodo del segnale "slow correction -1" e "slow correction +1" è impostato come un impulso –1/+1 ogni secondo.

- 3- Memorizza il segnale d'allarme emesso dal contatore, e dà in uscita un segnale ON/OFF: "Consent" che pilota il LED "F1-F2 Consent" della scheda. L'allarme viene cancellato quando l'errore del contatore ritorna ai valori normali (+1, 0, -1) e dopo esser trascorso un tempo minimo.
- 4- Genera un segnale ad onda quadra "Modulated command nr. 1" alla frequenza di 800 Hz usando il segnale di clock e il contatore.
- 5- Quando il segnale "Consent" è ON, dà in uscita attraverso un primo input il segnale "Modulated command nr.1", e attraverso un secondo input il segnale "Modulated command nr.2", lo stesso del precedente ma con uno stato diverso. Entrambi i segnali pilotano i due isolatori ottici che pilotano il circuito di uscita per il comando modulato.

Quando il segnale "Consent" è OFF, la CPLD blocca i due segnali d'uscita.

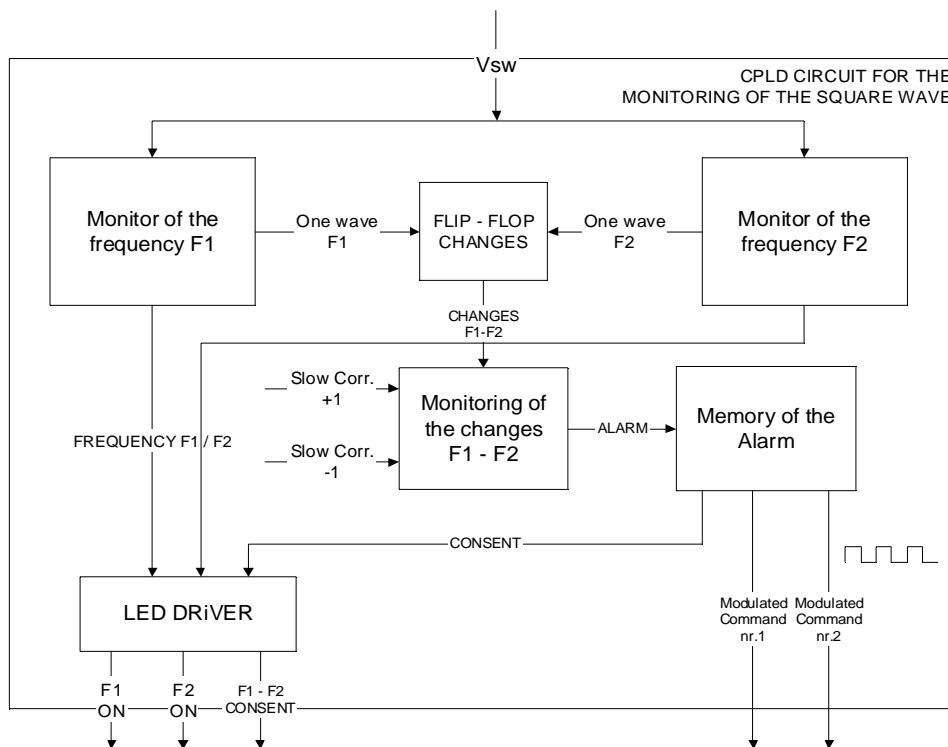


Fig. 7.5 Rappresentazione funzionamento CPLD

3.6.7 Circuito d'uscita del comando modulato:

La Monitoring Board nr.1 deve pilotare il relè R1 installato nella scheda Modulated Relays D550.

La Monitoring Board nr.2 deve pilotare il relè R2 installato nella scheda Modulated Relays D550.

Il circuito d'ingresso del relè R1 è il circuito primario del trasformatore; i due terminali d'ingresso della scheda D550 sono i terminali dell'avvolgimento secondario.

Il relè R1 mantiene lo stato di ON quando nell'avvolgimento primario del trasformatore scorre una corrente alternata con una sufficiente intensità e una frequenza di vicina agli 800 Hz.

Questi due terminali d'ingresso del D550 sono pilotati da due amplificatori ON/OFF (A1 ed A2) della Monitoring Board.

I due amplificatori generano la corrente alternata attraverso:

- Primo mezzo periodo: A1 è acceso e dà una tensione di +12V; A2 è spento e dà una tensione di 0V. La corrente scorre da A1 al trasformatore e ad A2.
- Secondo mezzo periodo: A2 è acceso e dà una tensione di +12V; A1 è spento e dà una tensione di 0V. La corrente scorre nella direzione opposta, da A2 al trasformatore e ad A1.

L'amplificatore A1 riceve come comando d'ingresso il segnale "Modulated command nr.1", proveniente dalla CPLD, e trasmesso attraverso l'isolatore ottico dedicato.

L'amplificatore A2 riceve come comando d'ingresso il segnale "Modulated command nr.2", proveniente dalla CPLD, e trasmesso attraverso l'isolatore ottico dedicato.

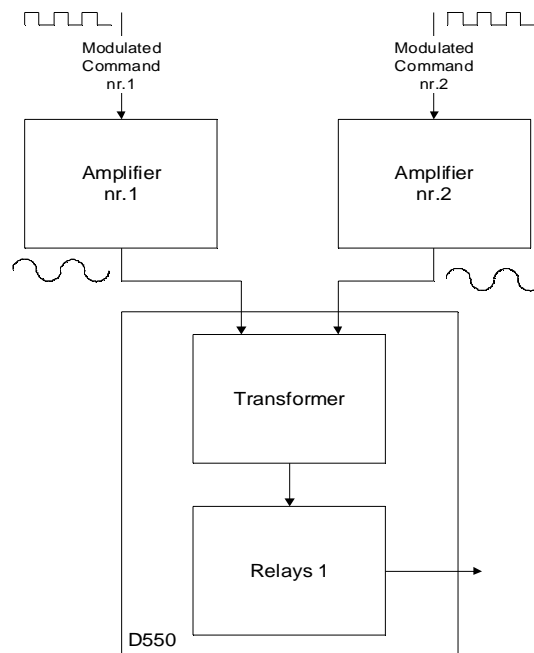


Fig. 7.6 Rappresentazione circuito d'uscita comando modulato; la scheda D550 è formata da 3 relè, in figura è rappresentato solamente il relè della scheda di monitoraggio nr.1; per la seconda scheda di monitoraggio è speculare.

3.6.8 Circuito raddrizzatore per adattare il segnale:

L'onda sinusoidale che proviene dal filtro passa basso ha una tensione che è proporzionale alla misura dell'impedenza fune – terra:

Best case: $R_o = 10K\Omega$: $V_{out} = 1414$ mV (valore efficace) 2000 mV (valore di picco)

Worst case: $R_c = 500 \Omega$: $V_{out} = 68,86$ mV (valore efficace) 97,38 mV (valore di picco)

Questo segnale è adattato dal circuito raddrizzatore, per ottenere in uscita un segnale continuo (0, +10V) che può pilotare lo strumento esterno che misura l'impedenza; il circuito utilizza un diodo raddrizzatore e un filtro passa basso capacitivo per ottenere il segnale continuo.

Un amplificatore operazionale dà in uscita un segnale continuo; inoltre un trimmer presente sulla scheda permetta di calibrare il segnale di uscita.

Probabilmente l'amplificatore userà un alto guadagno per le basse tensioni continue ed un guadagno basso per le alte tensione continue, in modo da avere un'ampia zona dello strumento che segnerà i valori di piccola impedenza.

Importante:

La scheda di monitoraggio numero 2 è uguale come struttura e funzionamento della scheda di monitoraggio numero 1, ma presenta il componente CPLD totalmente differente per codice sorgente, tecnologia, produttore e compilatore software (per la compilazione del software); l'utilizzo di due tecnologie totalmente diverse fra le due schede di monitoraggio è per evitare eventuali errori presenti nella singola tecnologia, eventuali errori in compilazione del codice di programmazione o errori in stesura del codice da parte del programmatore e del compilatore. I due segnali provenienti dalle due schede di monitoraggio vengono poi confrontati nella scheda D550.

3.7 Modulated Relays:

I relè modulati sono la scheda D550 “Relais pour Modules des Surveillances et Coordonnement” (Fig. 8,1) già utilizzata per altre applicazioni; viene utilizzata senza modifiche. Lo scopo è l’invio del comando di stop alla funivia, quando almeno una delle due schede di monitoraggio invia il segnale di blocco. La scheda fa quindi il confronto dei due segnali provenienti dalle due schede di monitoraggio ed in caso siano diversi provvede a mandare il segnale di stop al sistema.

Per evitare fermate improvvise causate da eventuali ritardi di analisi i relè scattano solamente al terzo segnale non ricevuto in ricezione ad es. con 2 segnali non ricevuti e un terzo ricevuto, resta il normale movimento della cabina.

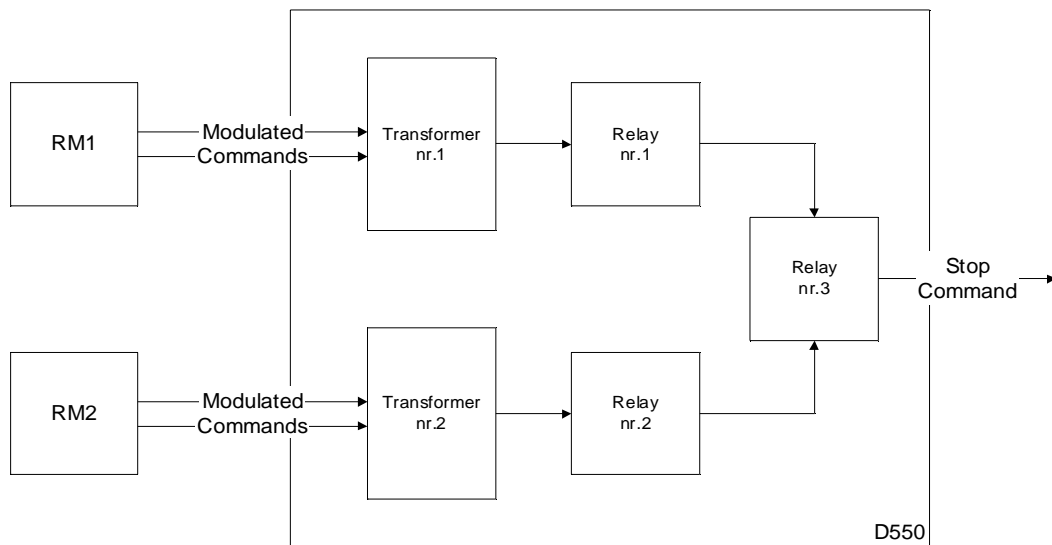


Fig. 8.1 Rappresentazione schema utilizzo della scheda D550

Capitolo 4: Manutenzione, Test e Possibili soluzioni

Prove, Test, disturbi e possibili soluzioni

Il sistema è progettato per effettuare dei test di prova durante la manutenzione ed eseguire tarature, in modo da verificare il corretto utilizzo del sistema periodicamente.

4.1 Test Periodici:

- Prova delle soglie minime di impedenza:

La procedura di test più efficace consiste nel verificare che il dispositivo di sicurezza intervenga quando si collega un resistore di 1000 ohm tra la fune traente ed il conduttore equipotenziale di terra. Con questa prova “reale” si può verificare il corretto funzionamento di tutto il dispositivo (trasmettitore e ricevitore), senza modificarne il funzionamento.

Quando la vettura è in linea, è molto difficile collegare la resistenza di test fra la fune traente ad una collegata a terra; l'operazione è più agevole quando la vettura è ferma sul fincorsa di stazione e viene collegata al caricabatterie di stazione per la ricarica delle batterie di vettura.

In queste condizioni sono disponibili in vettura:

- Un morsetto collegato elettricamente al conduttore equipotenziale di terra della stazione.
- Un morsetto collegato elettricamente alla fune traente.

La resistenza di test viene collegata fra i due morsetti, tramite il contatto di un relè di test. L'operazione comanda l'esecuzione della prova periodica con un pulsante; il comando viene trasmesso in vettura e provoca l'inserzione della resistenza.

L'operatore verifica l'intervento delle sorveglianze e la misura dello strumento indicatore.

- Prova delle sorveglianze delle frequenze:

La prova periodica consente di verificare se il dispositivo è in grado di intervenire quando il segnale ricevuto non presenta la corretta alternanza delle due frequenze F1 ed F2.

Un comando ON/OFF inviato al Trasmettitore consente di provare in modo simile l'intervento del dispositivo in caso di assenza della frequenza F1.

Uno di questi test periodici può essere utilizzato per il test automatico all'avviamento; il relativo comando viene trasmesso alla stazione di rinvio dal sistema per la trasmissione dei dati ausiliari, ed il PLC di rinvio trasmette il comando ON/OFF al trasmettitore.

Le Unità di Controllo della stazione motrice verificano l'annullamento dei consensi del dispositivo di sorveglianza e ne comandano il ripristino.

4.2 Test di verifica:

Sono stati effettuati numerosi test e verifiche sul sistema al fine di verificare passo dopo passo se il comportamento ottenuto è come quello desiderato in progettazione, inoltre sono state effettuate misurazioni nel sito di futura installazione per prendere alcuni dati caratteristici delle funi e del sistema in modo da avere una taratura del sistema di monitoraggio ottimale. I test impedenza e capacitivo sono stati tutti effettuati con la linea ad alta tensione in utilizzo quindi tutti i risultati sono da considerarsi con la capacità in parallelo fra fune e linea di alimentazione.

Il sistema inoltre per supplire a tutte le specifiche imposte dalla certificazione è stato sottoposto a numerose prove e controlli per identificare eventuali anomalie o errori in condizioni di limite di utilizzo; è stato sottoposto a scariche elettriche di numerosi KV per simulare scariche di fulmini sulla fune o sull'eventuale armatura del condensatore delle antenne. Sono stati effettuati anche numerosi test a condizioni limite di impedenza per verificare se il sistema riusciva a gestire segnali di bassa potenza e se fosse in grado di estrapolarne la frequenza.

Dopo una prima fase di test e prove in laboratorio presso la EEI ci si è recati nel luogo di futura installazione del sistema (Passo Falzarego) per controllare se il sistema funzionasse correttamente.

In seguito vengono riportati alcune tabelle di prove e test effettuati sull'impianto.

Test Impedenza:

Ho tentato di calcolare l'impedenza della fune; è stata fatta scorrere una corrente nota nella fune e sono stati posti in parallelo alla fune una serie di carichi resistivi e capacitivi.

Il calcolo della resistenza è ottenuto conoscendo le diverse cadute di tensione con i differenti carichi resistivi posti in parallelo.

Supponendo di avere una corrente alternata con valore efficace uguale in entrambi i casi si può porre:

$$I_1 = V_1 \times Z_1 ;$$

$$I_2 = V_2 \times Z_2 ;$$

poiché $I_1 = I_2$ allora $V_1 \times Z_1 = V_2 \times Z_2$ si riesce a calcolarsi l'impedenza della fune Z_1 .¹¹

<i>Tensione alimentazione</i>	<i>Resistenza in parallelo (Kohm)</i>	<i>Tensione misurata (V)</i>
707 V – 50Hz	--	68
707 V – 50 Hz	1	7.27
707 V – 50 Hz	10	0.75
707 V – 50 Hz	50	28

Test Capacitivo:

¹¹ Tutti i calcoli sono effettuati con valori espressi in termini efficaci per facilitare le analisi.

Si è tentato di calcolare la capacità e la resistenza della fune; è stata fatta scorrere una corrente a frequenza nota e sono stati posti in parallelo alla fune delle diverse capacità e resistenze.

Il calcolo della capacità è ottenuto conoscendo le diverse cadute di tensione ai capi della fune con correnti a frequenze diverse.

Supponendo di avere correnti alternate con valori efficaci uguali, ma frequenze diverse si può porre:

$$I_1 = V_1 \times Z_1 ;$$

$$I_2 = V_2 \times Z_2 ;$$

poiché $I_1 = I_2$ allora $V_1 \times Z_1 = V_2 \times Z_2$ si riesce a calcolare la parte capacitiva e la parte resistiva della fune.

<i>Tensione alimentazione</i>	<i>Impedenza in parallelo (nF)</i>	<i>Tensione misurata (V)</i>
707 V – 50 Hz	--	68
707 V – 366 Hz	--	11.6

Risultati:

I risultati ottenuti rispecchiano le supposizioni e i calcoli fatti in sede di progettazione, permettendo quindi di tarare in maniera ottimale tutti i componenti del sistema. Per quanto riguarda nella fune troviamo:

Resistenza: ~ 50 Kohm;

Capacità: ~ 6 nF.

I risultati ottenuti sulle caratteristiche della corda sono stati supponendo una capacità in parallelo fra linea di alimentazione e fune di circa 8 nF; con una distanza di circa 50-60 m, la lunghezza della fune di 2500 m e con un diametro dei rispettivi cavi di circa 15 mm riusciamo ad ottenere un valore di circa 7.9 nF

4.3 Altre Caratteristiche

Tarature:

Tutte le regolazioni necessarie per adattare l'esemplare del dispositivo di sorveglianza alle caratteristiche specifiche della funivia, sia sul Trasmettitore che sul ricevitore, sono eseguite mediante potenziometri, dip-switch o ponticelli. Non vengono impiegati parametri numerici programmabili per evitare complicazioni in fase di certificazione, si cerca inoltre di evitare l'inserimento di trimmer, si preferisce piuttosto l'inserimento di zoccoli con la possibilità di inserimento di resistenze specifiche e tarate per l'impianto.

Segnalazioni:

L'apparato ricevitore del dispositivo, installato alla stazione motrice, pilota uno strumento indicatore a lancetta che indica la misura della impedenza. La scala dello strumento ha settori colorati in verde, giallo e rosso secondo i gradi di pericolosità. Dei led sulle schede segnalano localmente gli stati di servizio ed alcuni allarmi. L'apparato Trasmettitore, installato alla stazione di rinvio, dispone di un indicatore locale della tensione del segnale trasmesso.

Esclusione dei consensi:

Per ottenere la conformità secondo le norme ed essere impiegabile su funivie di nuova costruzione, il sistema è progettato che quando uno dei due canali di analisi di segnale non dà il consenso (ad es. per un guasto) è indispensabile che venga emesso il comando di arresto; perciò non è possibile escludere singolarmente uno dei due canali del dispositivo. In caso di guasti, si utilizzano dispositivi esterni al dispositivo di sorveglianza con pesanti penalizzazioni in termini di velocità, l'inibizione dei modi di comando automatico e l'accensione del segnale di esclusioni.

Protezione contro i contatti diretti ed indiretti:

L'impedenza tra il trasmettitore e la fune è molto elevata, e raggiunge un valore attorno a 5 Mohm: se il generatore produce la tensione di 1000 V efficaci, la corrente presente sulla fune può raggiungere al massimo il valore di 0.2 mA.

- **Rischio per contatto con la fune:**
Se una persona tocca la fune ed una parte a terra, è percorsa da questa corrente, che risulta molto inferiore ai valori pericolosi (20 - 30mA). L'impedenza tra la fune e terra (sia capacitiva che resistiva), nel caso migliore di una funivia molto corta ha il valore massimo di 50 Kohm, la fune è sottoposta alla tensione massima di 20 V, inferiore al valore massimo consentito.

- **Rischio per contatto con antenna trasmittente:**

il tubo metallico che costituisce l'antenna trasmittente è sottoposto alla tensione di 1000 V circa. Esso è contenuto in un secondo involucro metallico, collegato al conduttore equipotenziale di terra, in modo da impedire il contatto diretto con le parti in tensione. Inoltre, all'uscita del secondario del trasformatore che alimenta l'antenna, sono collegate in serie delle resistenze elevate, per una resistenza complessiva attorno a 500 Kohm.

Ciò limita a qualche mA la corrente uscente del trasformatore che può percorrere una persona che, durante le operazioni di manutenzione, venga a contatto con parti attive.

Va anche considerato che l'energia incamerata dal condensatore di trasmissione ha entità trascurabile per la sua bassissima capacità.

4.4 Disturbi e possibili soluzioni:

Durante la progettazione e la realizzazione del sistema sono stati riscontrati numerosi disturbi che non erano stati presi in considerazione, questi hanno portato a successive modifiche del progetto originale con lo scopo di attenuare i disturbi e amplificare in maniera ottimale i segnali in ricezione all'antenna di ricezione.

Come si può notare subito dalle misurazioni effettuate il segnale in entrata alla antenna capacitiva è molto debole e quindi un minimo disturbo può influenzare notevolmente la misura; gran parte del segnale utile infatti scende nell'impedenza fune-terra poiché presenta una impedenza centinaia di volte più piccola: l'impedenza in entrata della antenna di ricezione è circa 7,5 Mohm, mentre nell'impianto troviamo una impedenza di 10 Kohm in normale utilizzo e di 500 ohm in condizioni di contatto tra le due funi. Per ovviare a questi inconvenienti si è deciso e sono al vaglio una serie di soluzioni:

- Sono stati posti una serie di trasformatori T1 e T2 con un fattore di guadagno 2:1 in modo che all'entrata degli amplificatori abbiamo un guadagno di circa 70 volte il segnale di entrata¹².
- Aumentare la frequenza del segnale inviato in modo da evitare i disturbi alle basse frequenze che sembra siano quelli a influenzare di più la misurazione; questa scelta però andrebbe ad interferire con le strumentazioni di comunicazioni fra le due stazioni e le cabine, che utilizzano frequenze attorno ai 1000 Hz.
- Aumentare la tensione di utilizzo sul trasformatore in modo da avere un segnale più forte ai capi dell'antenna di ricezione; al momento in trasmissione si utilizza un trasformatore a 1000 V ma si sta valutando di spingerlo fino ad un massimo di 1500V, oltre questo limite si rientra sulla normativa ad alta tensione che non sarebbe applicabile all'impianto.
- Utilizzare due antenne di trasmissione in serie al posto di una sola in modo da avere il doppio del segnale utile trattato; questa soluzione non comporterebbe eccessivi sforzi, basterebbe solamente porre in parallelo alla prima antenna di trasmissione un'altra uguale.

L'analisi del segnale inoltre ha difficoltà a gestire i passaggi della frequenza da 358 Hz a 374 Hz questo perché il trasmettitore in trasmissione invia 10 onde a 358 Hz e 10 onde a 374 Hz, con un passaggio di frequenza in maniera istantanea, in questa fase di passaggio il sistema di analisi fa difficoltà a riconoscere la frequenza del segnale. Per ovviare al problema si pensa di eseguire un passaggio di frequenza meno brusco, con un incremento più lento in modo che il riconoscimento venga facilitato; altrimenti si pensa di aumentare i margini di errore, l'incremento o l'utilizzo di un sistema risolutivo costringe a limitare l'altro sistema risolutivo.

Sono state inoltre riscontrate altre fonti di disturbo sulle funi: in parallelo alle funi corre la linea di alimentazione dell'impianto a fune poiché la stazione motrice si trova a monte. La linea di alimentazione è a media tensione 20 KV a corrente alternata trifase alla frequenza di 50Hz. Si è notato che tra la linea di alimentazione e le funi si crea un disturbo di tipo capacitivo e ad influenzare notevolmente la misura sono le

¹² Ricordiamo che il filtro risonante permette una prima amplificazione di circa 30-35 volte il segnale in ingresso.

armoniche a frequenza n-sima di quella base; per questi disturbi non si riesce ad avere una soluzione se non alzare la frequenza di utilizzo nel sistema andando però a interferire con i sistemi di comunicazione tra stazione e cabinovia.

Conclusioni:

Il sistema dopo numerose prove e test si comporta nei limiti richiesti, l'unica taratura da effettuare è per impostare il limite di impedenza da rilevare, che secondo la normativa impone che resti fissa e non può essere modificata; si sta ovviando al problema con l'idea di inserire una resistenza che avrà caratteristiche diverse per ogni impianto.

La parte di ricezione e gestione del segnale funziona correttamente, riuscendo a filtrare in maniera buona i disturbi.

Tutte le prove di collaudo e test sono state effettuate con buon esito e si sta provvedendo alla ottimizzazione del layout del circuito con gli ultimi ritocchi per poi procedere alla stampa dei circuiti.

Bibliografia:

UNI - EN 12929 – 1:2007

Requisiti di sicurezza per gli impianti a fune progettati per il trasporto di persone - Disposizioni generali - Parte 1: Requisiti applicabili a tutte le tipologie di impianti.

UNI - EN 13243 – 1:2007

Requisiti di sicurezza per gli impianti a fune progettati per il trasporto di persone - Apparecchiature elettriche ad esclusione di quelle per gli argani.