



MINISTERO DELLO SVILUPPO ECONOMICO
DIREZIONE GENERALE PER LA LOTTA ALLA CONTRAFFAZIONE
UFFICIO ITALIANO BREVETTI E MARCHI

DOMANDA DI INVENZIONE NUMERO	102009901714601
Data Deposito	19/03/2009
Data Pubblicazione	19/09/2010

Classifiche IPC

Titolo

SISTEMA DI PROTEZIONE ANTIPOMPAGGIO PER COMPRESSORI CENTRIFUGHI
--

Descrizione dell'Invenzione Industriale dal titolo:

Sistema di protezione antipompaggio per compressori centrifughi

A nome di:

Industrial Plants Consultants S.r.l. in sigla IPC S.r.l.,

con sede in Modugno, Via Paradiso 18 F, 70026 (BA)

0	emissione	Di Liso	Paganini	Di Febo	21/10/08	Sh. 1 /15	
						i	Code
rev	description	prepared	checked	approved	date	0010.01	

STATO ANTERIORE DELLA TECNICA

I compressori centrifughi sono soggetti nel loro funzionamento al fenomeno del pompaggio. Il pompaggio consiste in una rapida oscillazione della portata elaborata dalla macchina, accompagnata da una caratteristica rumorosità ed elevate vibrazioni. Il pompaggio è una condizione di funzionamento anomala del compressore, che può assumere carattere distruttivo e comportare, in assenza di adeguati sistemi di protezione e qualora la macchina permanga per tempo prolungato in tale condizione, il danneggiamento o la rottura del compressore stesso.

Il pompaggio si verifica quando il punto operativo del compressore si sposta fino a raggiungerne la curva limite di pompaggio (SSL, Surge Limit Line). La tecnica attuale prevede l'intervento del sistema di protezione quando il punto operativo raggiunge una curva di sicurezza (SCL Surge Limit Line).

La tecnica attuale protegge i compressori dal fenomeno del pompaggio con appositi sistemi detti di "ANTIPOMPAGGIO" (ANTISURGE SYSTEMS). In tali sistemi la protezione è attuata tramite una valvola di riciclo comandata da una strumentazione dedicata. I sistemi attuali si basano su un algoritmo semplificato che associa solo ad alcuni parametri operativi l'azione di protezione. In particolare essi operano confrontando la portata aspirata con un valore minimo limite dipendente dal rapporto di compressione fornito dalla macchina.

						Sh 2 /15
0	emissione	Di Liso	Paganini	Di Febo	21/10/08	Code
rev	description	prepared	checked	approved	date	0010.01

Ricordiamo che nei sistemi attuali eventuali variazioni relative al gas non vengono rilevate dagli algoritmi e la protezione resta sempre legata alle condizioni di progetto del gas, anche quando queste non sono più attuali ed operative invalidando l'azione di protezione e rendendo possibile il danneggiamento o rottura del compressore.

						Sh 3 /15
0		emissione	Di Liso	Paganini	Di Febo	21/10/08
rev		description	prepared	checked	approved	date
						Code
						0010.01

OBIETTIVO CHE L'INNOVAZIONE INTENDE RAGGIUNGERE

La protezione dei sistemi di antipompaggio attuali può divenire inefficace per i seguenti motivi:

- variazione delle caratteristiche del gas aspirato (composizione del miscuglio e peso molecolare medio)
- bloccaggio (guasto meccanico) della valvola di riciclo
- guasto della strumentazione

In tali situazioni i sistemi attuali perdono di efficacia, il compressore resta privo di protezione e diventa possibile il danneggiamento o la rottura dello stesso.

IPC ha realizzato un innovativo sistema di antipompaggio che consente di superare i limiti dei sistemi contemplati dalla tecnica attuale (descritti al punto precedente) e ottenere la protezione del compressore dal pompaggio in ogni condizione operativa anche al variare delle caratteristiche del gas aspirato o in presenza di eventuali disfunzioni strumentali o dei dispositivi meccanici del loop di controllo.

							Sh 4 /15
0		emissione	Di Liso	Paganini	Di Febo	21/10/08	Code
rev		description	prepared	checked	approved	date	0010.01

ANALISI DEL RISULTATO RAGGIUNTO

A) introduzione

Nelle seguenti pagine si riporta la descrizione dell'innovativo sistema per la protezione dal pompaggio dei compressori centrifughi ideato da IPC srl.

Il sistema oggetto della descrizione incorpora le funzionalità principali dei sistemi proposti dalla tecnica attuale ed estende le funzionalità a nuovi livelli assicurando una efficace azione di protezione dal pompaggio in ogni possibile condizione operativa nonché introducendo innovative funzionalità diagnostiche utili per la gestione delle attività manutentive del macchinario.

B) Descrizione della architettura del sistema IPC di protezione dei compressori centrifughi dal fenomeno del pompaggio SPS1

La IPC srl ha ideato e realizzato un innovativo sistema di protezione dei compressori centrifughi dal pompaggio che supera i limiti dei sistemi tradizionali descritti e protegge la macchina in ogni condizione operativa. In aggiunta il sistema è capace di generare informazioni diagnostiche relative allo stato del macchinario, utilizzabili per finalità di manutenzione predittiva e preventiva.

Di seguito si elencano gli elementi principali costituenti il sistema (rif tavola 1):

						Sh 5 /15	
0		emissione	Di Liso	Paganini	Di Febo	21/10/08	Code
rev		description	prepared	checked	approved	date	0010.01

B.1- Modulo TCM : Thermodynamic Compressor Model

Utilizzando un modello termodinamico del compressore è possibile rilevare le eventuali variazioni del gas aspirato (Peso molecolare) o delle condizioni termodinamiche in ingresso (pressione e temperatura) ed adeguare conseguentemente la protezione di antipompaggio.

Ricordiamo che nei sistemi attuali eventuali variazioni relative al gas non vengono rilevate dagli algoritmi e la protezione resta sempre legata alle condizioni di progetto anche quando queste non sono più attuali ed operative.

Il modulo TCM incorpora un modello termodinamico del compressore che IPC è in grado di elaborare in base alla documentazione standard di progetto dello stesso.

B.2 - Modulo MDS: Machinery Diagnostic System.

Dal confronto tra le prestazioni attese, elaborate dal modulo TCM, e quelle realmente misurate dalla strumentazione di macchina, si ricavano delle indicazioni diagnostiche relative a:

- eventuale deterioramento meccanico del compressore
- eventuale avaria della strumentazione

tali informazioni come già detto possono essere impiegate per finalità di manutenzione predittiva

						Sh 6 /15
0	emissione	Di Liso	Paganini	Di Febo	21/10/08	Code
rev	description	prepared	checked	approved	date	0010.01

B.3 - Modulo SDS + SDSC:

SDS: Surge Detection System. Il sistema SDS è costituito da un sensore che, indipendentemente dalle condizioni operative termodinamiche, e dallo stato della strumentazione della macchina, rileva in maniera diretta la vicinanza a pompaggio basandosi sulla misura di parametri prettamente meccanici. Il sistema SDS è quindi completamente slegato ed indipendente dal sistema di protezione ad algoritmo termodinamico e dal modulo di gestione diagnostica. SDS opera in modalità override ai sistemi TCM e MDS. Si realizza in tal modo un duplice grado di protezione che rende impossibile il verificarsi del pompaggio del compressore. Infatti il sistema SDS anche nel caso di bloccaggio della valvola, o di un proprio guasto risponde con un blocco del compressore. In particolare il sistema SDS analizza le vibrazioni radiali dell'albero del compressore e seleziona le sole frequenze associate all'insorgere del pompaggio del particolare compressore. Tali frequenze verranno rilevate in fase di primo avvio ed impostate nel sistema di protezione.

SDSC: Surge Detection System Controller.

SDSC è il modulo controllore che presiede alle azioni di protezione e dialoga con gli altri moduli del sistema. La prima risposta del modulo SDSC quando SDS rileva pompaggio nella modalità sopradescritta, è quella di aprire la valvola di antipompaggio portando il compressore in condizioni di sicurezza. Se

						Sh 7 /15.	
0	emissione	Di Liso	Paganini	Di Febo	21/10/08	1	Code
rev	description	prepared	checked	approved	date		0010.01

nonostante l'azione precedente, le frequenze indicative del pompaggio dovessero persistere, dopo qualche secondo (tempo legato alla apertura della valvola) SDSC genera il segnale di blocco del compressore. Infatti il sistema considera il persistere delle frequenze tipiche del pompaggio come indicativo di una mancata azione della valvola di antipompaggio e quindi considera una avaria della stessa.

Un sistema di autodiagnosi interno al modulo SDS determina il blocco del compressore per perdita di protezione e genera un segnale diagnostico indicante la necessità di manutenzione.

B.4 - Modulo ACS: Antisurge Control System

Il sistema ACS è preposto al controllo e comando della valvola di antipompaggio. ACS realizza un controllo di tipo PID (proporzionale integrale – derivativo) al fine di riciclare una portata minima necessaria per rimanere in condizioni di sicurezza ed evitare l'insorgere del pompaggio. Inoltre ACS, se le condizioni dinamiche evolvono con velocità superiore al tempo di reazione del sistema, determina l'apertura rapida e completa della valvola di riciclo operando su un sistema di attuazione di emergenza ad apertura rapida.

Il modulo ACS dialoga con i moduli TCM e MDS per il controllo e l'attuazione e per la generazione dei segnali di emergenza.

							Sh 8 /15
0		emissione	Di Liso	Paganini	Di Febo	21/10/08	Code
REV		description	prepared	checked	approved	date	0010.01

C) Descrizione di dettaglio dei moduli del sistema SPS1

C.1-TCM:

TCM è il modulo per la modellazione termodinamica del compressore. Il modello termodinamico del compressore è ottenuto tramite la adimensionalizzazione della mappa delle prestazioni del compressore. TCM in base ai dati di input provenienti dai sensori di campo, ed in base al modello adimensionale della macchina, calcola tutti i parametri termodinamici attesi (expected values) e tra questi, in particolare, il valore della portata di pompaggio nelle condizioni operative. Tale valore viene inviato al modulo ACS per il controllo della valvola di antipompaggio.

TCM confronta i parametri termodinamici expected con quelli rilevati dalla strumentazione ed invia i risultati al modulo di gestione diagnostica MDS.

In caso di discordanza tra i valori attesi e quelli misurati, e qualora il modulo di diagnostica MDS non rilevi guasti alla strumentazione o indicazioni di deterioramento meccanico del compressore, TCM con un apposito algoritmo iterativo determina il nuovo peso molecolare e in base a questo aggiorna i calcoli delle prestazioni nonché i parametri della protezione di antipompaggio.

In definitiva il sistema rileva variazioni delle caratteristiche del gas aspirato, ne determina il nuovo peso molecolare e aggiorna di conseguenza la protezione di antipompaggio. Vengono in questo modo superati i limiti degli attuali sistemi in cui la protezione dal pompaggio resta legata e ai parametri di specifica e fissa

						Sh 9 /15
0	emissione	Di Liso	Paganini	Di Febo	21/10/08	Code
rev	description	prepared	checked	approved	date	0010.01

(quindi inefficace) anche in caso di variazione delle condizioni operative rispetto a questi.

Con i moderni calcolatori di processo tutto il loop descritto viene eseguito in tempi dell'ordine del secondo, consentendo quindi una continua protezione della macchina in modalità completamente automatica.

C.2 - MDS:

Questo modulo del sistema riceve i parametri termodinamici "expected" dal modulo TCM e li confronta con i valori misurati tramite i sensori di campo. In caso di discordanza una apposita logica verifica se la stessa discordanza è attribuibile ad un degrado meccanico del compressore oppure ad una variazione delle caratteristiche del gas. Nel primo caso il sistema genera un segnale diagnostico di richiesta attività di manutenzione. Nel secondo caso il segnale relativo è trasmesso al modulo TCM per la attivazione della procedura iterativa per la determinazione del nuovo peso molecolare.

Il modulo MDS inoltre opera un controllo su tutti i sensori collegati ed elabora le seguenti verifiche:

- 1) controlla la credibilità di ciascun segnale proveniente dai sensori, ed emette il relativo allarme di guasto in caso di avaria
- 2) rileva la possibilità che il segnale sia credibile ma non congruente con le elaborazioni termodinamiche in corso. In questo caso viene

						Sh 10 /15
0		emissione	Di Liso	Paganini	Di Febo	21/10/08
rev		description	prepared	checked	approved	date
						Code
						0010.01

generato un segnale diagnostico di richiesta calibrazione del sensore interessato.

- 3) In entrambi i casi 1) e 2) le elaborazioni termodinamiche vengono considerate non attendibili ed il controllo viene automaticamente commutato su un algoritmo semplificato basato sui soli sensori di pressione e portata. Qual'ora questi ultimi siano anchessi in avaria, la macchina viene messa in sicurezza e forzata in riciclo.

C.3 - SDS+SDSC:

SDS è un modulo elettronico preposto alla segnalazione dell'incipiente pompaggio. SDS riceve dai sensori di vibrazione radiali a normale corredo dei compressori (come previsto dagli standard attuali del settore rif. API 617). Il modulo riceve il valore globale dello spettro delle vibrazioni e ne seleziona solo quelle con frequenza tipica del pompaggio della particolare macchina in considerazione. Il modulo elettronico realizzato da IPC consente di impostare la soglia desiderata in modo configurabile e variabile a seconda della macchina su cui il modulo viene impiegato.

Il segnale selezionato relativo viene trasformato in un segnale analogico standard $4 \div 20$ mA (segnale SVS, Surge Vibration Signal) e trasmesso al modulo SDSC. Inoltre SDS esegue una propria autodiagnosi e trasmette il segnale relativo al modulo MDS.

						Sh 11 /15
0	emissione	Di Liso	Paganini	Di Febo	21/10/08	Code
rev	description	prepared	checked	approved	date	0010.01

SDSC è un modulo controllore (PID) che in modalità override ed in connessione autoselector con i controllori antipompaggio e di carico (ACS) controlla il valore del segnale di vibrazioni di pompaggio ed opera sulla valvola di antipompaggio. La finalità di questo controllo è quella di mantenere il valore del segnale SVC ad un valore ancora lontano dall'insorgere del pompaggio. L'eventuale intervento di SDSC viene trasmesso al modulo MDS che genera il relativo segnale diagnostico. Nel caso in cui, nonostante l'intervento di SDSC, il segnale SVC continua a salire (il compressore entra in pompaggio) il sistema considera la valvola di antipompaggio bloccata e di conseguenza genera un segnale di trip con la relativa indicazione diagnostica.

C.4 - ACS:

E' il modulo di controllo della valvola di antipompaggio. Questo modulo implementa differenti contributi per l'azione di controllo di seguito elencati:

- 1) Controllo di antipompaggio con algoritmo termodinamico
- 2) Controllo di antipompaggio con algoritmo semplificato
- 3) Controllo di antipompaggio basato sul rilievo delle vibrazioni subsincrone dell'albero
- 4) Controllo di stazione di compressione (quando presente)

						Sh 12 /15
0		emissione	Di Liso	Paganini	Di Febo	21/10/08
rev		description	prepared	checked	approved	date
						Code
						0010.01

Il modulo ACS impiega tecniche di controllo di tipo autoselector per operare l'azione di controllo di algoritmi diversi.

Descrizione dei contributi di controllo:

- 1) il modulo TCM elabora in tempo reale la portata di pompaggio in base alle condizioni reali di funzionamento. TCM esegue tale determinazione verificando la possibilità di variazione del peso molecolare ed eseguendone il calcolo quando necessario. La portata di pompaggio così determinata, previa applicazione di un opportuno coefficiente di sicurezza, viene trasmessa al modulo ACS che confronta tale valore con la portata aspirata e aziona la valvola di antipompaggio (SVCS) in modo da evitare che il valore della portata aspirata diventi inferiore a valore di sicurezza determinato.
- 2) Il sistema commuta automaticamente su un algoritmo semplificato quando una autodiagnosi interna rileva la non attendibilità delle misure di temperatura (TFS). L'algoritmo semplificato è indipendente infatti dalle temperature ed opera secondo la seguente relazione:

$$\frac{Q^3}{P_s} \propto \left(\frac{\Delta p}{P_s} \right) \propto \frac{Q^3_{surge}}{P_s}$$

						Sh 13 /15
0		emissione	Di Liso	Paganini	Di Febo	21/10/08
rev		description	prepared	checked	approved	date
						Code 0010.01

questa modalità di controllo è quella classica implementata attualmente per la protezione di antipompaggio dei compressori centrifughi.

- 3) Il sensore SDS seleziona dallo spettro delle vibrazioni radiali dell'albero del compressore, solo le componenti armoniche connesse al pompaggio dello stesso. La frequenza selezionata viene trasformata in un segnale standardizzato $4 + 20$ mA (segnale SVS, Surge Vibration Signal) e trasmesso al modulo SDSC e al modulo MDS. Quest'ultimo confronta il segnale con una soglia di sicurezza adeguatamente distante dal pompaggio e tramite l'azione di un apposito regolatore PID comanda la valvola di antipompaggio. Qualora il segnale SVC, nonostante l'intervento della azione di controllo, dovesse persistere oltre il limite impostato, il sistema reagirà comandando l'apertura in emergenza della valvola di antipompaggio (attraverso apposito solenoide dedicato). Se anche dopo tale azione il segnale SVC persiste su livelli non accettabili, il sistema considera un malfunzionamento della valvola e quindi genera un segnale di blocco del compressore.

- 4) Il controllo di stazione è slegato dai sistemi di protezione della macchina e riguarda solo il controllo dell'intera stazione di compressione.

Nota: i quattro controlli descritti operano contemporaneamente ; ognuno di essi si inserisce in modo automatico al verificarsi di specifiche condizioni con le modalità previste dalla tecnologia autoselector.

						Sh 14 /15
0		emissione	Di Liso	Paganini	Di Febo	21/10/08
REV		Description	prepared	checked	approved	date
						Code 0010.01

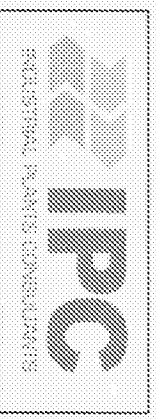
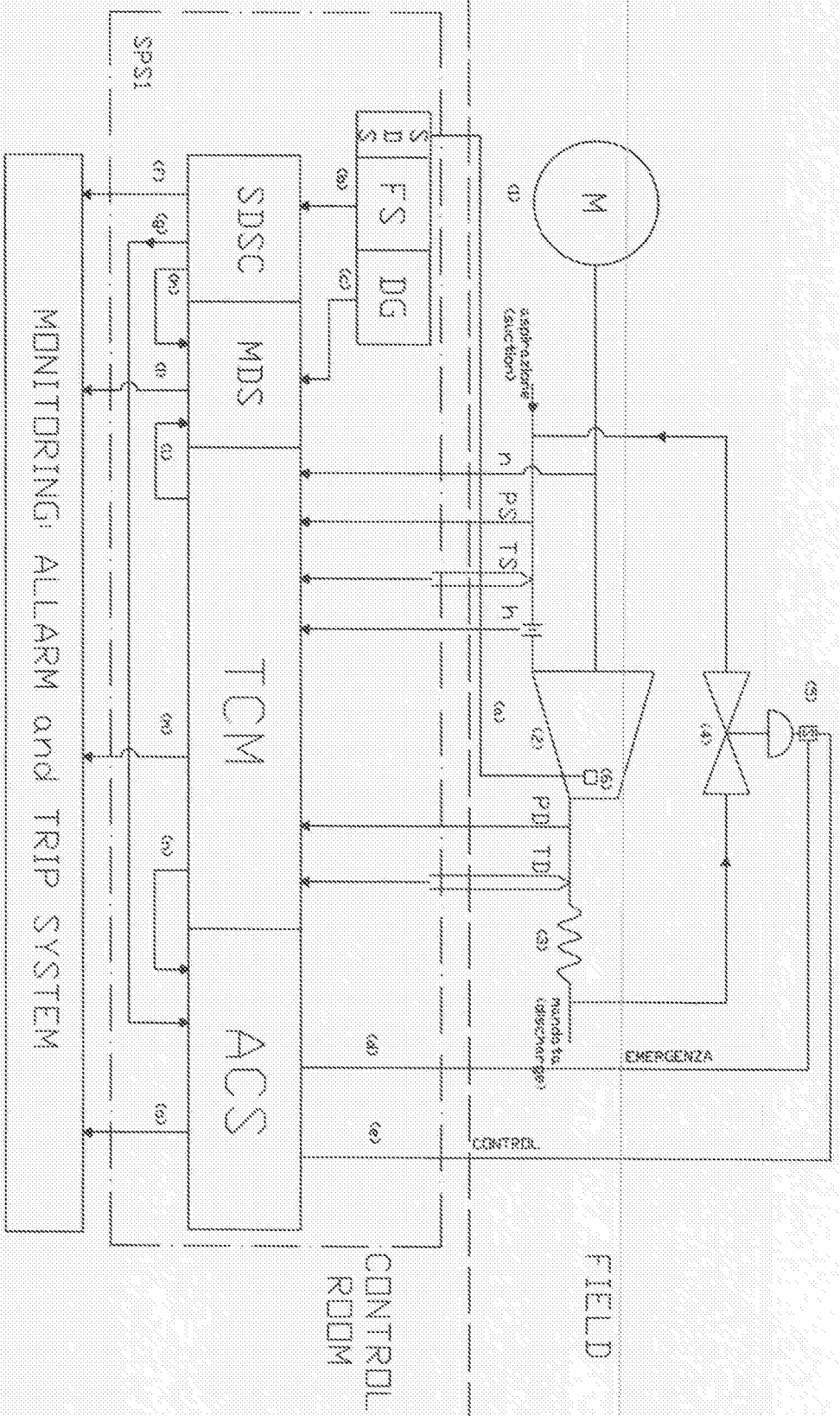
RIVENDICAZIONI

Per il presente progetto si rivendica il riconoscimento dell'invenzione per gli elementi di seguito elencati:

Sistema di protezione totale del compressore dal fenomeno del pompaggio basato su

- 1) rilievo di particolari frequenze di vibrazione (specifiche per ogni macchina) e connesse all'insorgere del fenomeno del pompaggio stesso. (modulo SDS, modulo SDSC)
- 2) Impiego di un modello termodinamico del compressore finalizzato all'aggiornamento continuo ed in tempo reale della protezione di antipompaggio in base alla determinazione automatica del peso molecolare del miscuglio gassoso aspirato ottenuto via calcolo e senza l'impegno di gascromatografo. (modulo TCM)
- 3) Impiego di un modello termodinamico del compressore centrifugo finalizzato alla determinazione delle prestazioni attese della macchina e confronto con quelle attuali per generazione di segnalazioni diagnostiche (modulo MDS)

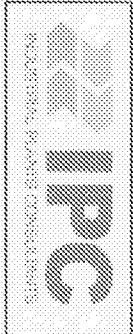
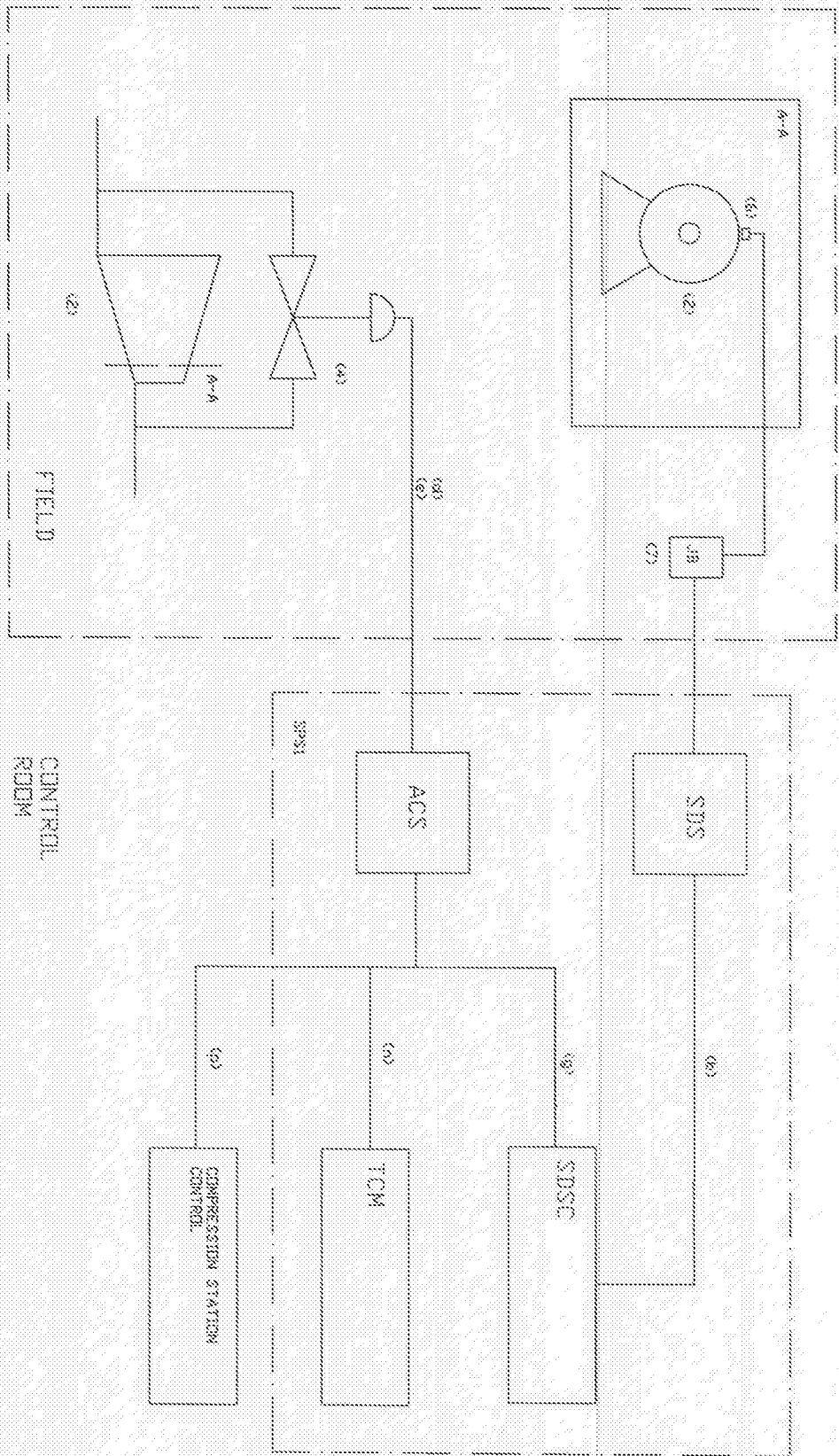
							Sh 15 /15	
0		emissione: Di Liso		Paganini	Di Febo	21/10/08	1	Code
rev		description prepared		checked	approved	date		0010.01



Rev.	Quantità	Titolo, Nome, designazione, materiale, dimensioni, ecc.	N. articolo, riferimento
Proprietà da	Controllore da	Approvato da - data	Nome file
Rev.	Rev.	Rev.	Rev.
www.ipc-consultants.com			Schema SPS1
000-000000000000			Modulo: SPS1

Handwritten signature

BA20009A0000013



SCHEMA DI CONTROLLO				
RF	Quantità	Titolare/Ruolo	Ingresso/uscita materiale, lavorazione, ecc.	N° attività/Riferimento
Proprietario da CRM	Contrattista da PP	Approvato da BPA	Nota da TAVOLA 2	Data 07/06/88
				Scala ...

0000000000000000

