

Specifiche Sistema di Timing

A. Drago
SuperB Timing Pico-Workshop

Frascati 26 Ottobre

Considerazioni preliminari

Questo intervento tenta soltanto di analizzare una parte delle problematiche relative alla redazione delle specifiche del sistema di Timing.

La realizzazione effettiva del sistema, che ovviamente potra' essere implementata con varie tecnologie, andra' analizzata separatamente.



A mio avviso il
Punto di partenza
Della discussione
Deve essere
L'ultima
Versione del CDR

In particolare nel
Paragrafo 12.6
Sono elencate
Una serie di
Specifiche per il
Sistema di Timing

SuperB Progress Report

The Collider

<http://agenda.infn.it/conferenceDisplay.py?confId=3828>

<http://arxiv.org/abs/1009.6178v3>

12.6 Synchronization and timing

The goal of the synchronization and timing system is to assure that all the RF systems and the other timed devices will be able to work with signal and frequencies locked in phase within the ranges defined by the specifications. A master sinusoidal oscillator at the RF frequency (476 MHz) including a phase continuity feature must be considered, and it must be able to provide a 10^{-11} short term stability. Small change of frequency in a range <100 KHz (by steps of 1 or 5 kHz) must be accepted without loose of signal phase. The distribution of the RF main signal must be assured with a peak-peak jitter < 0.5 ps. Very low jitter phase shifters must be implemented to synchronize, separately for each ring, beam collisions and bunch injections. The synchronization and timing system must also provide sinusoidal frequencies for the LINAC cavities, typically 6 and/or 12 times the main RF sinusoidal signal. Generation of other $(m/n)*\text{RF}$ frequencies, with m and n integer, could be considered if necessary. The utmost peak-peak jitter for these devices can be within 2 ps. The injection triggers have to be locked to the main RF frequency and to the 50 Hz of the main power supplies. Diagnostics and injection triggers must include at least the “Fiducial” (a reference revolution frequency given by main RF frequency divided by the harmonic number) and bunch number triggers, all locked in phase with the RF main frequency within a 2 ps peak-peak jitter.

Example: bunch-by-bunch & IP feedback

- sampling clock 476 or 238 MHz locked to the radio-frequency of the ring (LER, HER, DR), max peak-peak jitter (or dephasing): 2ps
- injection trigger of the ring (LER, HER, DR)
- fiducial (revolution frequency)
- electrical levels:
 - ac 7-10 dBm for sampling clock
 - NIM levels for the other triggers

Taking in mind Dafne Timing:

- 1) one master RF generator at Main Ring frequency (i.e. $\sim 476\text{MHz}$)
- 2) Main Ring clocks for distribution to diagnostics locked with radio-frequency phase shifters
- 3) gun + linac + damping ring + kicker must be also synchronized with bunch that have to be injected
- 4) machine state word at 50 Hz (SuperB 200Hz ?):
 - DAFNE $\Rightarrow$ 32 bit
 - SuperB $\Rightarrow$ 256 or 512 bit
- 5) bunch-by-bunch current monitor for both MR (and also DR)

Taking in mind Dafne Timing:

Machine State Word at 50 Hz (SuperB $\geq$ 200 Hz ?):

DAFNE $\Rightarrow$ 32 bit (in reality 31 bit + 1 bit toggle)

SuperB $\Rightarrow$ 256 or 512 bit

- 32 bit time stamp
- 16 bit LER bunch # to be injected
- 16 bit LER bunch # selected for diagnostics
- 16 bit HER bunch # to be injected
- 16 bit HER bunch # selected for diagnostics
- 32 bit Linac
- 32 bit damping ring including 16 bit bucket #
- 32 transfer lines
- 4 bit toggle
- Other bits: reserved for future upgrading

Domande poste nell'e-mail del 19 luglio

Ho letto la descrizione del sistema di timing proposto dal gruppo di Padova e mi sembra evidente che questo contributo apre una serie di questioni a cui in parte non e' ancora possibile rispondere.

Sulla SuperB:

- a) Quando saranno disponibili le specifiche richieste al Timing della SuperB ?
- b) Quali dispositivi devono essere asserviti al sistema di timing e con quali tolleranze ?
- c) Entrando nel merito: la frequenza di lavoro del LINAC (2856 MHz ?) va sincronizzata con la RF degli anelli principali?
- d) Se si: allora ovviamente spettera' al timing di farlo; come e con quale jitter?
- e) Quali sono le frequenze di lavoro del LINAC: soltanto la 2856 MHz o ci sono sezioni che lavorano anche frequenze piu' alte?
- f) Ci sono damping ring la cui RF va sincronizzata con gli anelli principali ?
- g) A che frequenza lavorano?
- h) Negli eventuali damping ring bisogna selezionare i bucket da iniettare e quelli da estrarre ?
- i) Quanti sono i bucket totali del damping ring (cioe' qual'e' il numero armonico)?
- j) Il LASER che attiva il fotocatodo va sincronizzato ?
- k) Con quale tolleranza sul jitter?
- l) Verra' usato un master clock ottico ?
- m) Sono previsti kicker di iniezione?
- n) Quanti?
- o) L'iniezione degli elettroni e dei positroni richiede due sistemi di timing completamente separati?
- p) Quali specifiche devono avere in termini di jitter ?
- q) La 50Hz della rete dell'ENEL va lockata con la 50Hz (o suo multiplo o sottomultiplo) dell'iniezione?

Domande poste nell'e-mail del 19 luglio

Sul sistema di timing proposto dal gruppo di Padova:

il sistema proposto e' stato sviluppato molto recentemente come sistema di temporizzazione di un detector (AGATA). Nella versione originale il master clock e' fissato a 100 MHz, a questo clock sono asserviti una serie di moduli molto sofisticati per la creazione di messaggi di time stamp e di impulsi di trigger. La loro distribuzione e' effettuata mediante fibre ottiche compensate in lunghezza. L'approccio progettuale seguito e', nel suo campo, molto avanzato ed ha prodotto delle schede che possono essere immediatamente inserite nel sistema di controllo !CHAOS. Domande:

- r) Prima di tutto il sistema di timing proposto puo' funzionare a 476 MHz, necessari per la gli anelli principali della SuperB senza modifiche sostanziali al progetto originario?
- s) Quali modifiche saranno necessarie ?
- t) Il sistema di timing proposto non e' in origine quello di un acceleratore circolare: da come e' concepito potra' tollerare i continui cambi di frequenza usuali per questo tipo di macchine per adattare il valore di radiofrequenza alla lunghezza dell'orbita negli anelli?
- u) Sara' possibile avere continuita' di fase anche ai cambi di frequenza ?
- v) Esempio: un operazione "banale" come la misura di cromatismo sara' possibile? [la misura implica, per dirla rozzamente, lo spostamento della frequenza di +/- 30 kHz con fascio in macchina che non deve essere perso e senza spegnere le cavita' a radiofrequenza]
- w) I sistema di timing di DAFNE, (che nonostante abbia solo 2 ps di jitter non e' tra i riferimenti - perche' ?) e' composto da tre sottosistemi che tra loro possono essere sfasati a piacimento con continuita' di fase (e quindi senza perdere fascio storato): i clock per l'anello positroni, quelli per l'anello elettroni e quelli per il sistema di iniezione che e' uno solo, mentre per la SuperB dovrebbero essere due (?) . Il sistema proposto puo' gestire un approccio di questo tipo?
- x) Che tipo di supporto on-site potranno o dovranno offrire i progettisti del gruppo di Padova?
- y) Saranno in grado di seguire tutte le problematiche del sistema almeno durante il commissioning della macchina ?
- z) Come verra' sincronizzata la 50 Hz della rete di alimentazione dell'ENEL con la frequenza del master oscillator?

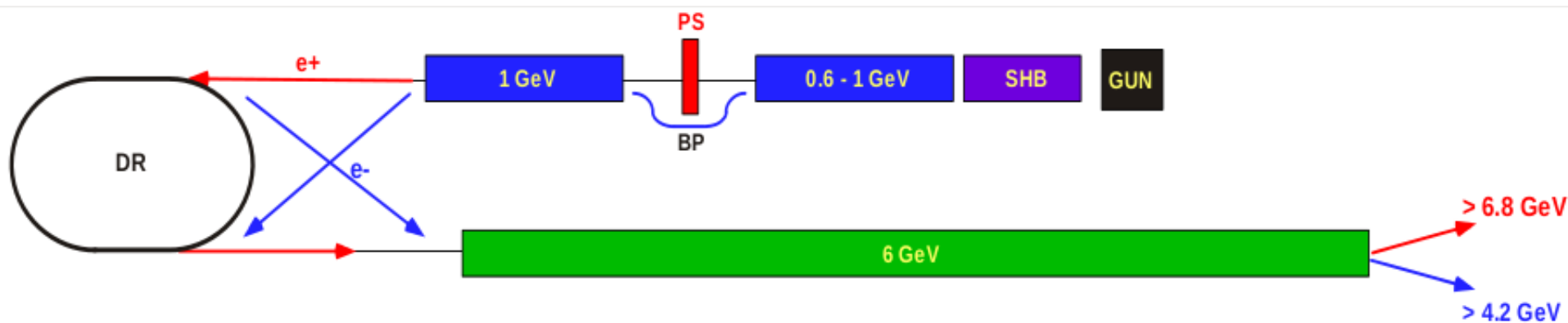


Figure 15.1: Overall layout of the SuperB Injection System.

From CDR

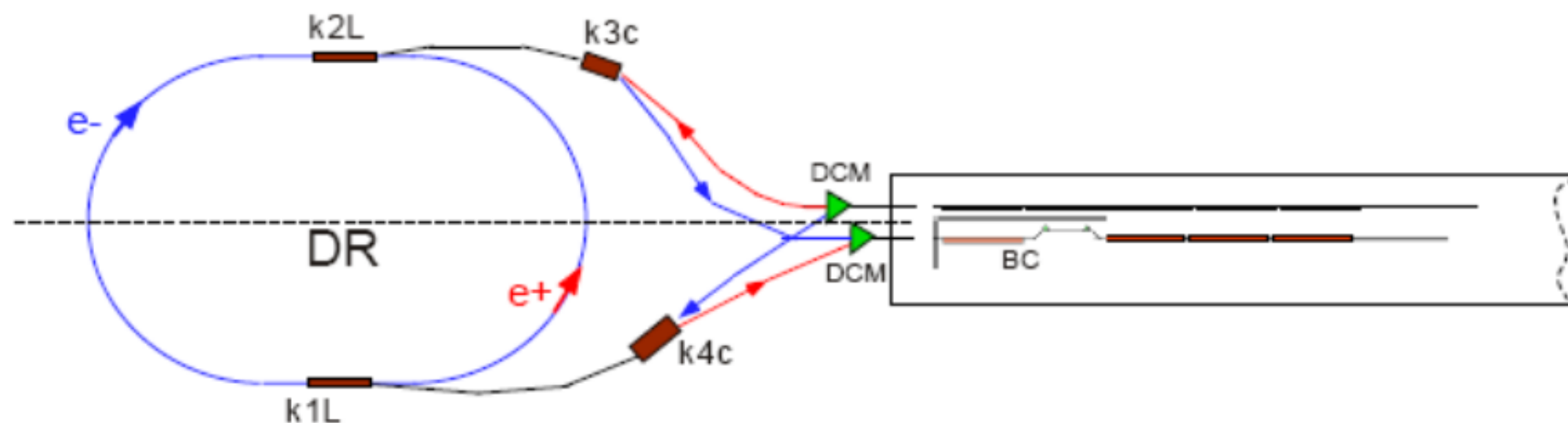


Figure 15.2: Injection and extraction from the shared Damping Ring.

Electrons are injected at one of the two septa indicated with S in the figure and extracted from the other one. Positrons follow the opposite path with the same fields in the ring. A train of 5 consecutive bunches from the Linac are stored in the damping ring at each injection pulse by means of the fast kicker, indicated with K in the figure, downstream the septum, damped and finally extracted by the second kicker upstream the extraction septum. Fig.15.17 shows the optical functions of half ring, the second half being identical. Each half ring consists of three cells surrounded by two half dispersion suppressors providing enough space for injection septa and kickers with the correct horizontal phase advance between them.

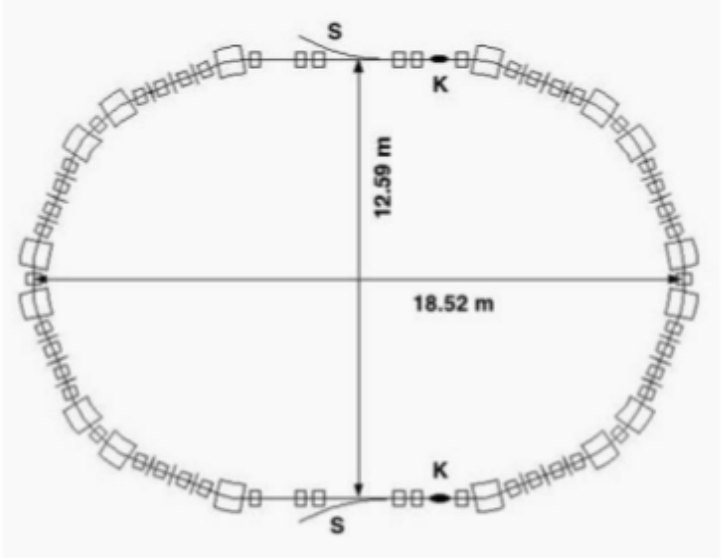


Figure 15.16: Damping ring layout.

Table 15.7: Damping ring main parameters

Parameter	Units
-----------	-------

Energy	GeV	1.0
Circumference	m	51.1
Horizontal betatron tune		7.403
Vertical betatron tune		2.717
Horizontal chromaticity		-11.5
Vertical chromaticity		-6.5
Horizontal phase advance/cell	degrees	270
Vertical phase advance/cell	degrees	90
Maximum horizontal beta	m	7.9
Maximum vertical beta	m	7.3
Maximum dispersion	m	0.77
Equil. horizontal emittance	nm	23
Momentum compaction		0.0057
Hor. betatron damping time	msec	7.26
Vert. betatron damping time	msec	7.36
Synchrotron damping time	msec	3.70
Equilibrium energy spread		6.2×10^{-4}
RF frequency	MHz	475
Harmonic number		81
RF peak voltage	MV	0.5
Bunch length	cm	0.48

← ?
←

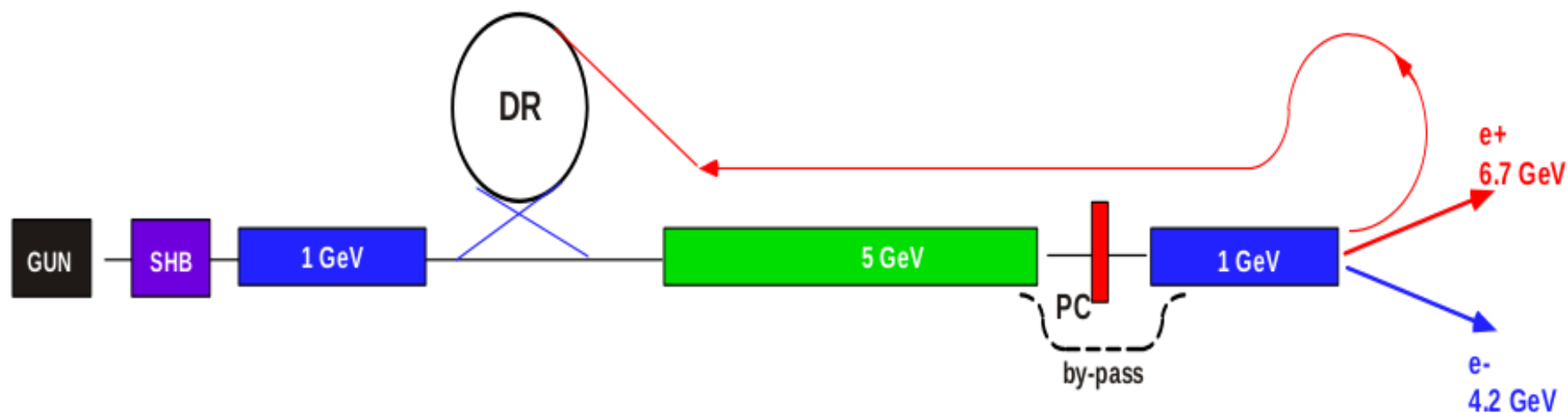


Figure 15.6: Overall layout of the SuperB Injection System for the high energy conversion option.

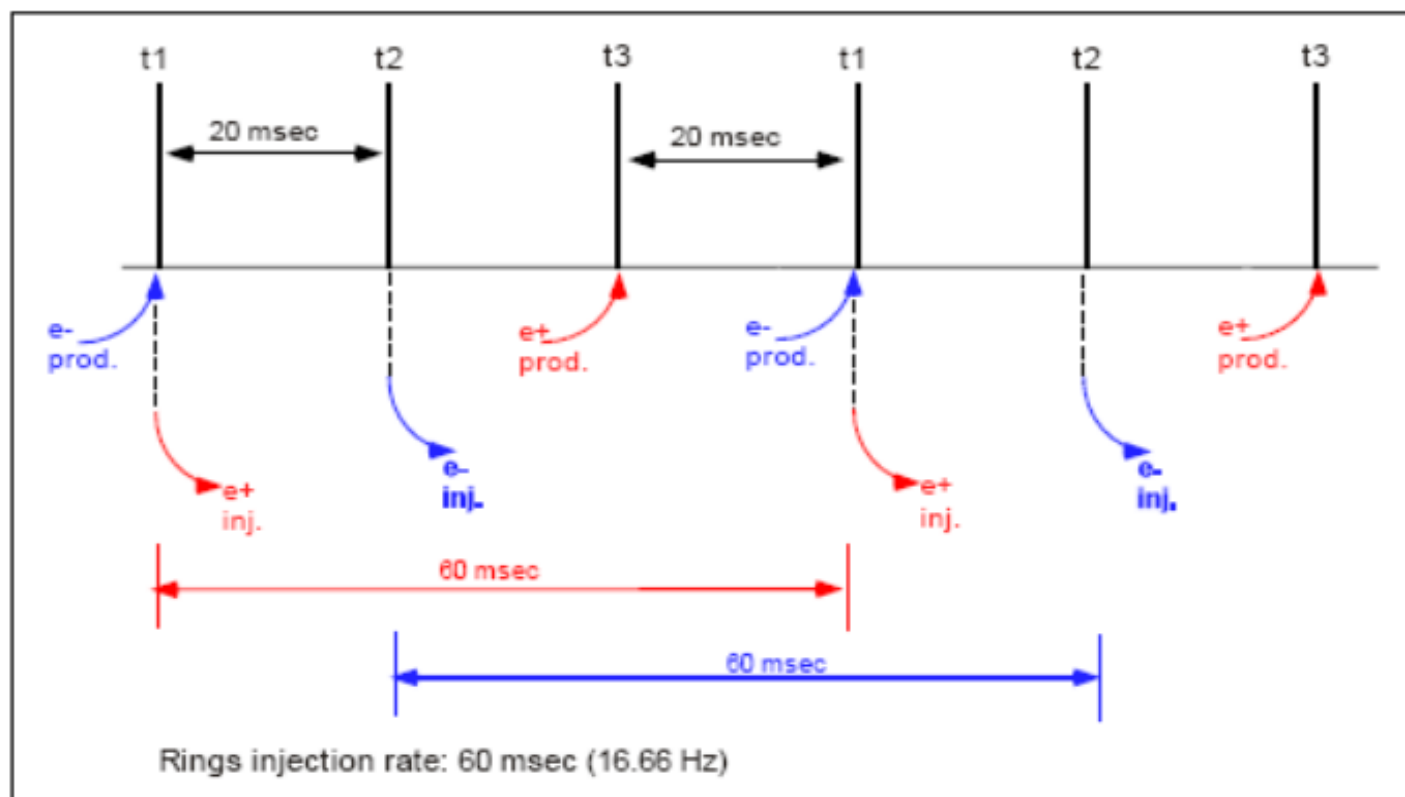


Figure 15.7: Timing of the high energy conversion injector option.

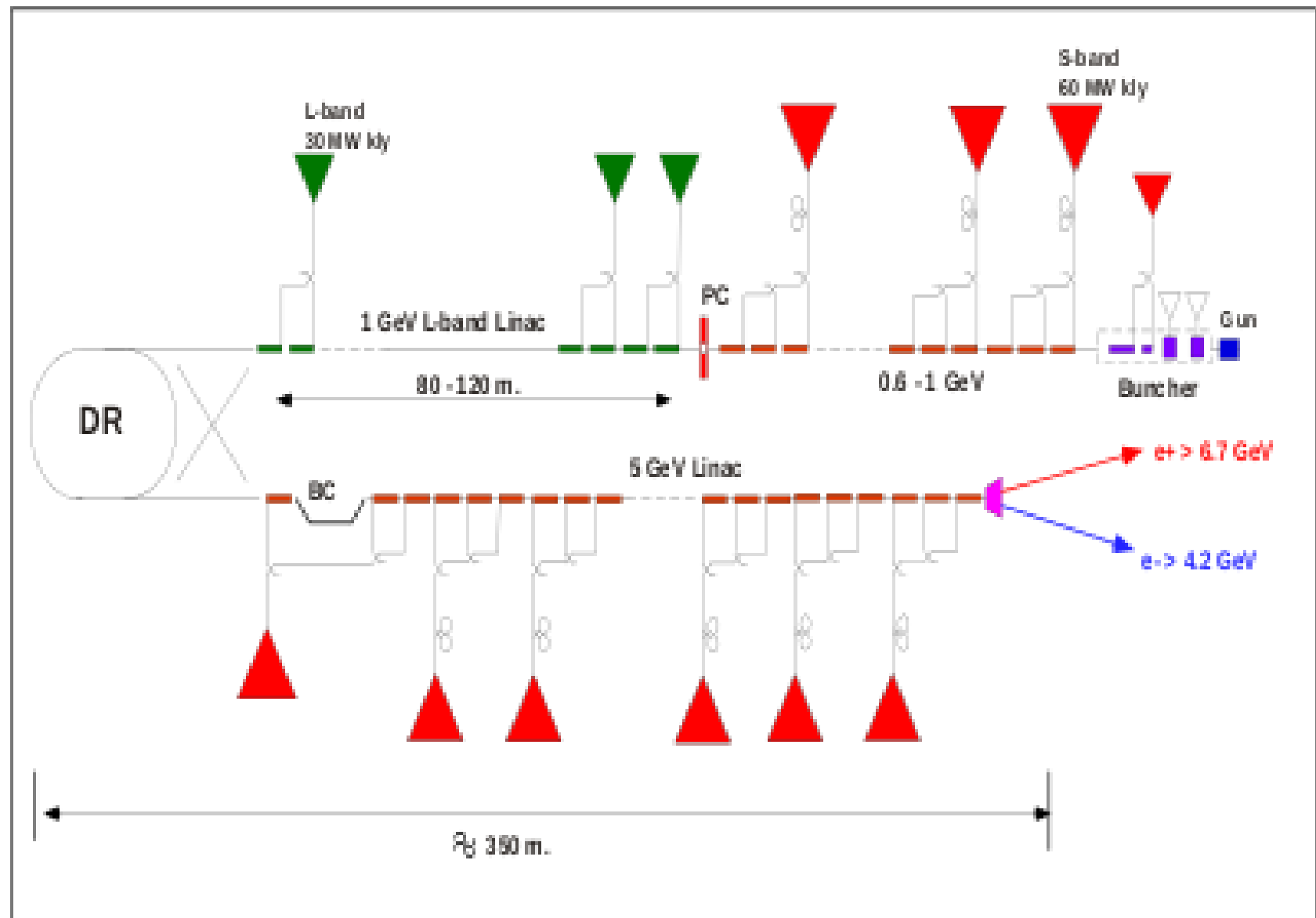


Figure 15.12: RF Layout of the injector with the L-band linac.

Open issues

- 1) photocathode ? Laser?
- 2) linac synchronized or not ? Should it shift with bunch number ?
- 3) what happen to linac at switching between LER and HER injection ?
- 4) OMO (Optical Master Oscillator) in case of the laser system?
- 5) MR harmonic number (1998 ?) and DR harmonic number (81 ?) ratio (24.666) ?

MRF [6] system used in many light sources and the UTC-synchronous White Rabbit [11] network currently being designed by CERN, GSI and others. Precisions of under 10 ps are relatively easy to achieve using this method (and the jitter minimization techniques presented in the PLL section), and accuracies of around 1 ns are realistic, the limiting factor being hard-to-determine non-symmetric delays in the nodes and the transmission medium.

Another important timing application in the nanosecond realm is the time transfer between laboratories for neutrino oscillation experiments [10]. In these experiments it is important to be able to discriminate neutrinos coming from the emitting lab from those coming from the Sun and other sources. A precision of 1 microsecond is typically enough, but nanosecond precisions open the way to interesting neutrino time-of-flight measurements. Time transfer systems for these experiments typically use the same techniques as national metrology labs use for the manufacturing of UTC time itself. A local atomic clock time base is continuously compared with time received through a GPS receiver. GPS time is noisy in the short term due to perturbations in the atmosphere and other noise sources, but averaged over 24 hours using e.g. a local Cesium clock, it achieves very good accuracy. This averaging can consist e.g. in fitting a

optical cross-correlator), CW systems measure phase delay and rely on a model to stabilize group delay. Both types of systems have achieved performances well below 50 fs of jitter for fiber lengths of several hundred meters.

CONCLUSIONS

We have explored timing figures of merit and some of the technologies available to fulfill varying requirements in accuracy and precision. In choosing a timing technology, the user should start with an accurate assessment of the needs. This includes, among other things, not only jitter but also the frequency range of interest in the phase noise PSD plot. Additional considerations to bear in mind include whether the system should be UTC or beam-synchronous and the possible need for real-time transmission delay compensation. After the needs are clearly specified in terms of objective and measurable figures of merit, the user can choose an appropriate technology to fulfill them. In this paper we have presented solutions going from software-based millisecond-range synchronization to optical femtosecond-range systems. Each one of them has uses in the field of control and data acquisition systems for particle accelerators.