

De rubidiumfrequentiestandaard

SUPERNAUWKEURIG:
HOE WERKT DEZE 'ATOOMKLOK'?

DOOR HENK VROLIJK, PA0HPV
PA0HPV@VERON.NL

Overzicht lezing

Wat is rubidium

Atoomfysica: $\Delta E = h \cdot f$, electron spin

Optisch pompen

De regellus

Rubidiumklok en automatische kalibratie

Het metaal rubidium (Rb)

Kwik-achtig metaal, zelfde groep als lithium, natrium, kalium, cesium

Opwarmen >> damp in glazen buisje

Zeer nauwkeurig en goede lange termijn stabiliteit (ca. $1,2 \cdot 10^{-10}$ /jaar)

Rb-osc. is redelijk klein, maar duurder dan xtal en trekt meer vermogen (de FE-5680A 32 W bij opwarmen, daarna 11 W)

Voorbeeld uitvoeringsvorm



De PRS-10 van SRS



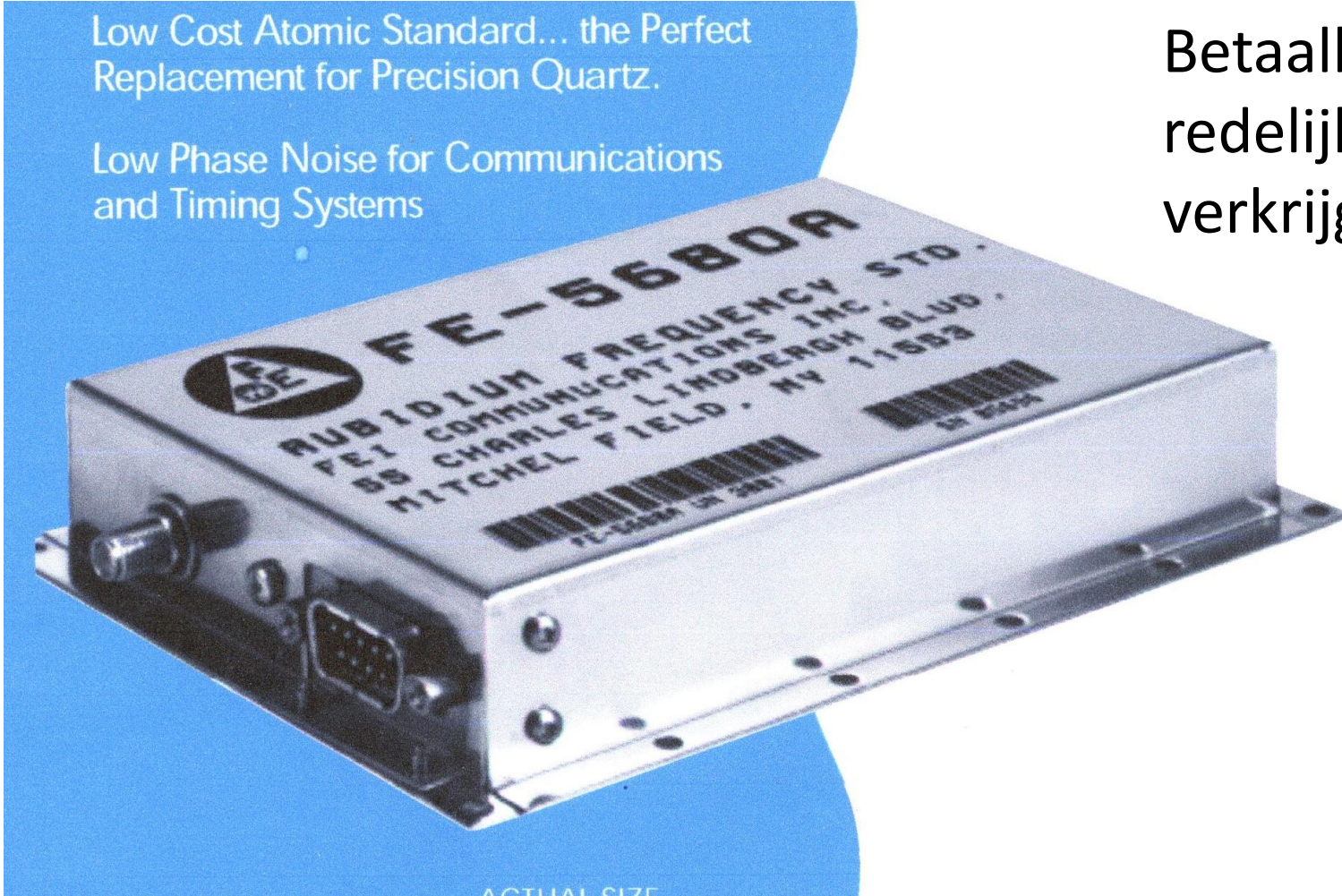
Een van de beste...
dus een van de duurste

De FE-5680A

Low Cost Atomic Standard... the Perfect Replacement for Precision Quartz.

Low Phase Noise for Communications and Timing Systems

Betaalbaar en redelijk goed verkrijgbaar



ACTUAL SIZE

Verkrijgbaarheid en prijzen

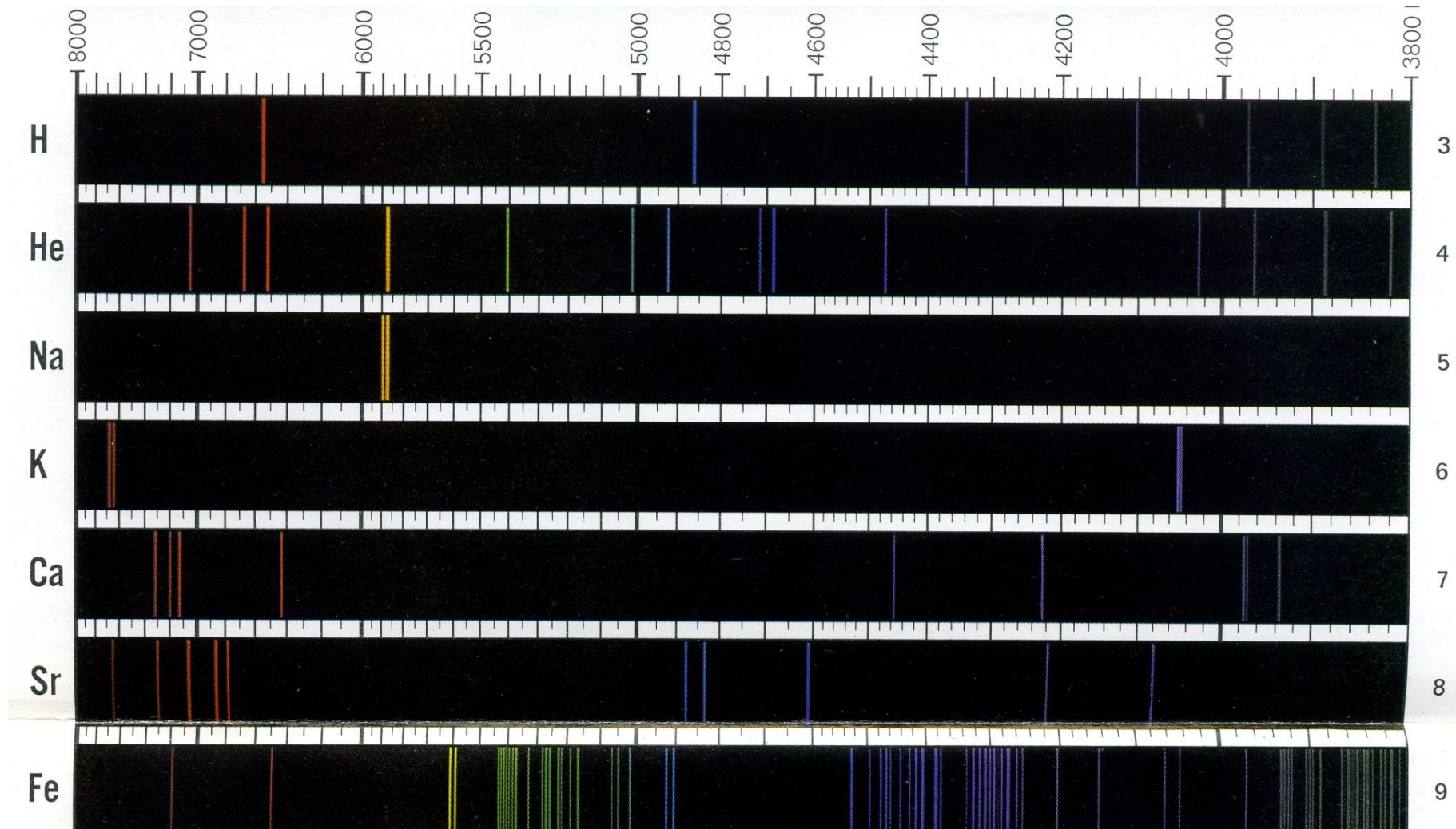
Nieuwe rubidium-osc. ca \$ 1500,- (USA) plus transport, invoerrechten, BTW

Merken: Datum Inc., AccuBeat, Temex, Symmetricom, F.E.I. Communications Inc., Stanford Research Systems

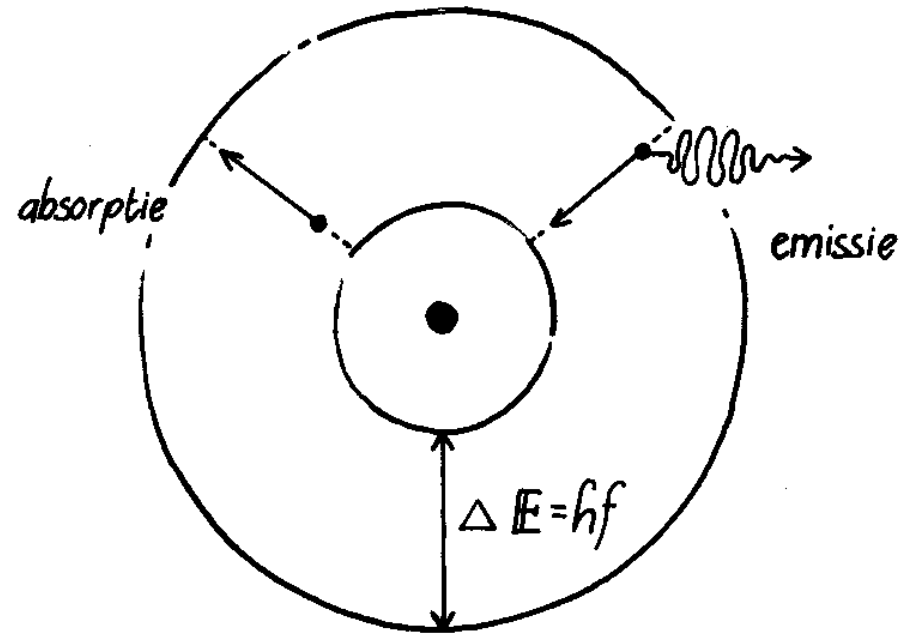
Gebruikt: 50 - 100 Euro (F.E.I. FE-5680A)

Voeding 15 - 18 V / 2 A en PC-interface

Emissiespectra (schaal in Å)



Aangeslagen toestand, formule $\Delta E = h \cdot f$



Constante van Planck: $h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J/Hz}$

Emissiespectra

Emissiespectrum vaak meerdere lijnen

Fotonen, $\Delta E = h \cdot f$

h = constante van Planck ($6,626 \cdot 10^{-34}$ J/Hz)

Bijzondere “hyperfine structure” in spectra van rubidium en cesium bij aangeslagen toestand, dus veel verschilfrequenties

Kleine verschillen in energieniveau's komen volgens $\Delta E = h \cdot f$ uit in GHz gebied

Verklaring: verschillen in elektron spin

Electron spin (als een tolletje)

In grondtoestand meerdere spinrichtingen / assen

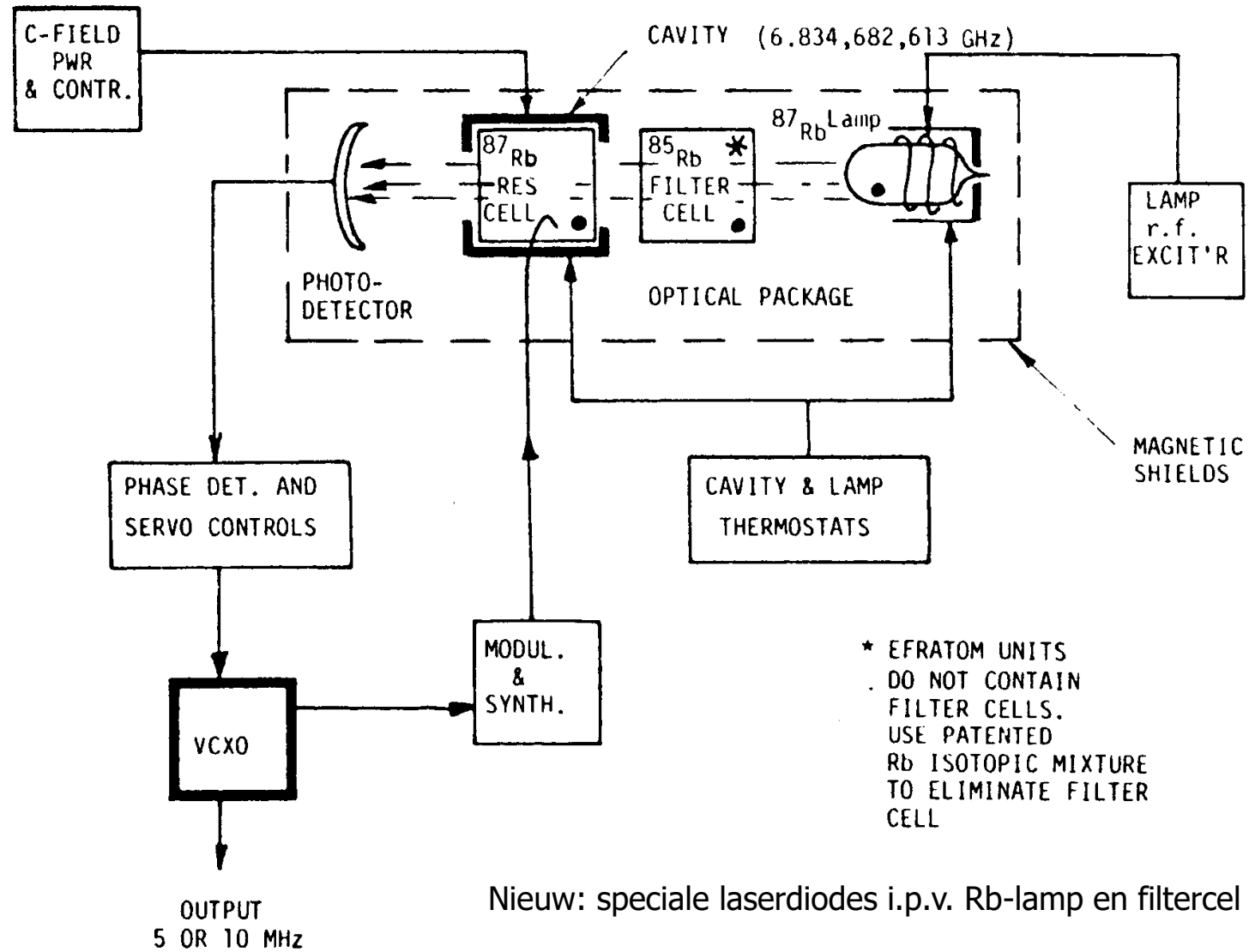
Magnetisch moment t.o.v. kern (daar zitten ook magnetisch gepolariseerde protonen in)

Spinselectie met magnetisch veld: Zeeman-effect (Pieter Zeeman, Nobelprijs 1902): het waas van spectraallijnen verandert in 1 “schoon” paar

Bij rubidium komt het energieververschil overeen met freq: 6,834682313 GHz, maar dit “straalt” niet

Hoe halen we die “passieve” frequentie er uit?

Opbouw rubidiumoscillator



Opbouw rubidium oscillator

Rb moet op juiste temperatuur worden gehouden

Rb87 lamp en Rb85 filter zorgen samen voor monochromatische belichting Rb-cel

Rb-cel in cavity, in magn. veld, belicht met eigen spectraallijn en aangestoten op 6,834 GHz door synthesizer met 10 MHz VCXO referentie

Fotodetector kijkt via smal tunneltje in Rb-cel

Detectie van absorptie en het optisch pompproces

De regellus met hulpmodulatie

Detectie van absorptie

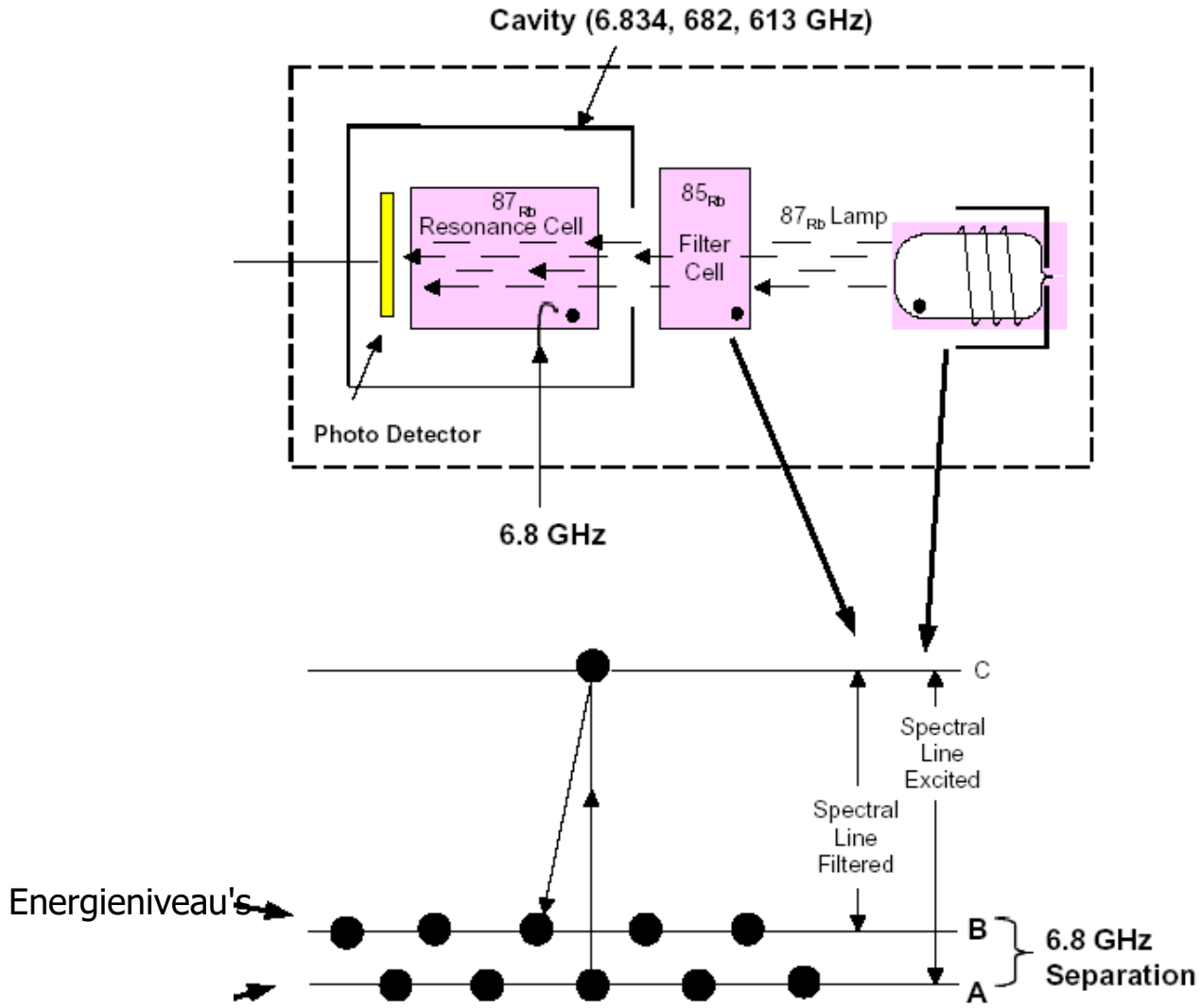
Rubidiumdamp is in normale toestand doorschijnend, fotodetector ziet de spectraallijn uit Rb-lamp en filter

Belichting met infrarode bundel van eigen spectraallijn (fotonenbombardement)

Atomen absorberen de fotonen en geven ze even later weer af in alle richtingen, maar smalle opening richting fotodetector

Netto resultaat is dip op fotodetector

Optisch pomproces



Optisch pompproces

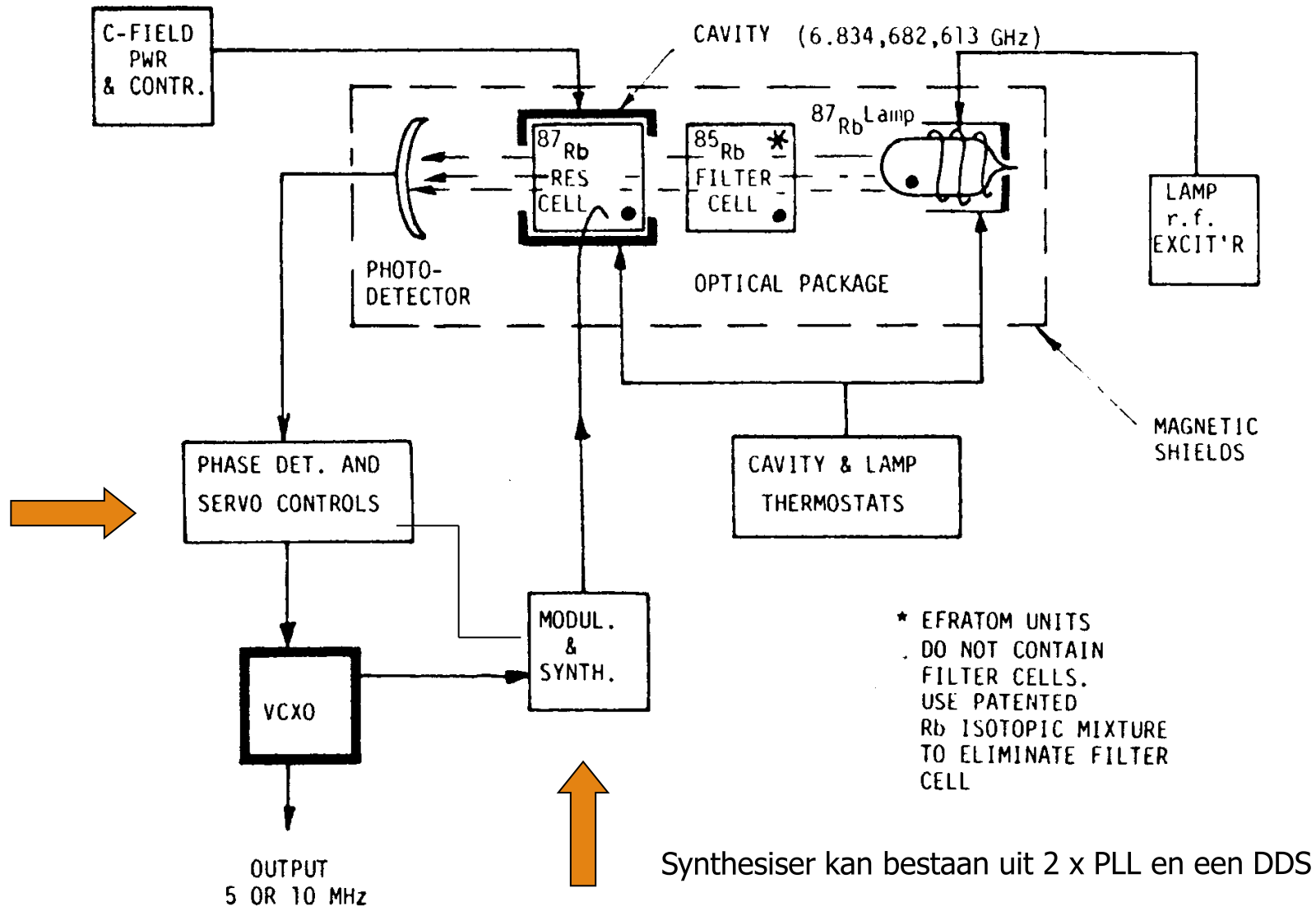
Nodig voor detectie van 6,834 GHz dip

Rb85-filter laat uitsluitend de lijn A - C door, hierdoor pompen naar niveau C

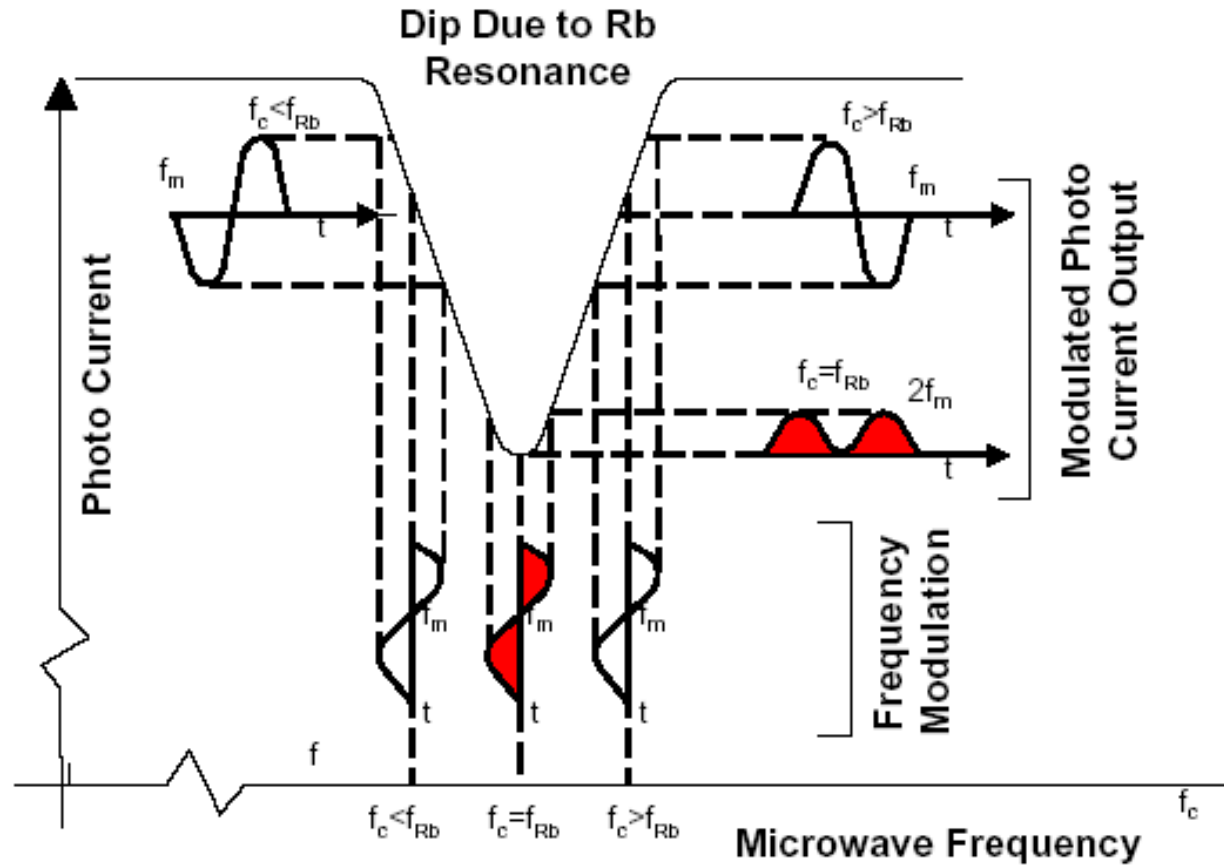
Terugval zowel naar A als B, maar A raakt leeg en licht wordt niet meer geabsorbeerd (dip verdwijnt)

Toevoeren microgolfenergie met exact juiste freq. laat electronen van B naar A overgaan, dus treedt weer absorptie op, gevolg: dipje met $Q > 10^7$!

Regellus in de rubidiumoscillator



Modulatie met zoeksignaal in de regellus



De regellus

Dip is slechts 700 Hz breed en fotodetector geeft geen uitslag over “Freq. te hoog/laag”

Beetje FM met 127 Hz als hulpmiddel

Flankdetectie stuurt servoloop van VCXO

Midden op de dip verdubbelt de 127 Hz (254 Hz lock detectie)

Regellus moet traag zijn: korte termijn stabiliteit van xtal osc.,
lange termijn stabiliteit van rubidium

Alleen de aging van rubidium blijft over (ca. $1,2 \cdot 10^{-10}$ /jaar)

Tijdbaken (rubidiumklok)

Staat de hele dag TOD-berichten ('packets') uit te zenden (ook op lijnuitgang)

Moet nauwkeurig blijven, ook als stroom uitvalt en externe referenties uitvallen: dus rubidium en no-break voeding

Kalibratie in ijkcentrum kost veel tijd

Kalibreert zichzelf op GPS en kan een tijd 'vooruit kijken' mocht GPS wegvallen

Nauwkeurigheid wordt gelijk aan cesium-standaard van GPS

Principe automatische kalibratie

Elke week wordt verschil tussen de klok en GPS-tijd bepaald en met de datum gelogd, klok wordt daarna gecorrigeerd

Na enkele weken trend bepalen en trim uitvoeren

“Trimmertje”: precisie-stroombron van magneetspoel gestuurd door DA omzetter

Voorspelling aging mogelijk (dan kun je enkele jaren zonder externe GPS-ref.)

Time Of Day-baken (rubidiumklok)

