### Problemstilling:

1. Replikation af alle figurer (og deres underlæggende simulation, reference rammer, eller formler) i artiklen arxiv:2406.08295v1
2. Replikation og komplet høj-fidelity styring (dvs. at der kan laves en transformation mellem ethvert punkt A,B på bloch-spheren) af en fluxonium qubit ved Hammiltonianen:

Med:

Skulle efter atiklen være tilfældet for ovenstående hammiltonian.

Efter diagonalisering kan hamiltonianen skrives som følgende ():

\*Bemærk at denne diagonalisering kan gøres ved en vilkårlig qubit, og hele processen er altså ikke specifik til fluxonium; der bør ikke være nogen begrænsinger ift. implementering på fx transmon.

### Figur 1

##### Teori:

###### Lab frame gates

Ved laboratorie frame kan n, phi obskrives som følgende opperatorer:

For reference kan exponentellen af paulimatricerne opskrives:

Og der vælges at drivningen ved \phi attenueres med u\_phi, drivningen med n attenueres med u\_n, og u\_01 sættes til at attenuere en matrix.

Ved at vælge en dominant u\_phi=1/2\hbar (og 0 ellers) drivning, fås:

Ved fx påførning af på fås (double coverage af SU(3)), og påførning af giver .

I praksis er det selvfølgelig hele hammiltonianen man exponentioerer, hvad der giver anledning til Lamor procession i laboratorie-frame.

###### Linear drives:

Nogle eksempler for transformationernes faseforskydning kan evalueres.

I artiklen bliver scenariet focuseret på, og det vil altså blive brugt fremover.

Ved en lineær drivning kan der sættes (eller multiplum af ), hvormed den samlede drivningsmatrix evalueres til:

##### Replikering

Figur 1 illustrerer blot drivningsmetoden med den benyttede faseforskel. Plottet kan skitseres ved at drive qubitten kun med drive hammiltonianen uden :

### Figur 2

#### Teori

* Rotating frame of reference
* Hammiltonian deraf
* Tjæk transformationen til eq. 6
* Tjæk QM bogen for eq 7

##### Rotating frames

Givet Lamour procession er det naturligt at transformere bloch-sphere systemet til et statisk under påvirking af . I det gennerelle defineres en opperator , hvormed . vælges ofte til , da dette følger Lamour procession, men den kan (og bliver i paperet) blive sat til flere værdier. Med transformationen kan der udførres en kanonisk transformation af Hammiltonnen til denne ramme:

Hvormed enhver hammilton og dens udvikling kan undersøges i rotating frame. Dette inkluderer som fører til , altså ingen tidsudvikling.

##### Drivning i rotating frame

Den førstnævnte Hammilton (med lige store ) kan transformeres, først i (drivningsfrkevensen), da (¿) kommende udtryk ser pænest ud i denne ramme(?). Ved indsættelse:

Første led differentieres og de trivielle kommuterende led skrives pænt:

Til resten bruges identiteten :

(ikke kønt men fungerer)

Ved Pauli matrice identiteter:

Og tilsvarende for ledet. Samlet kan forgående udtryk forkortes:

Her kan der noteres som et hurtigt-roterende term, som often kan fjernes ved RWA (rotating wave approximation). Hvis der i stedet vælges (fasen mellem og ), går termet ud, og dette kalder forfatterne for ”Co-rotating drive”:

Altså et drive hvor det hurtigt-oscillerende term ikke er en faktor, og qubitten kan i princippet blot drives uden at tage højde for det (selv jf. Figur 1d, så optræder der oscilleringer grundet andre effekter).

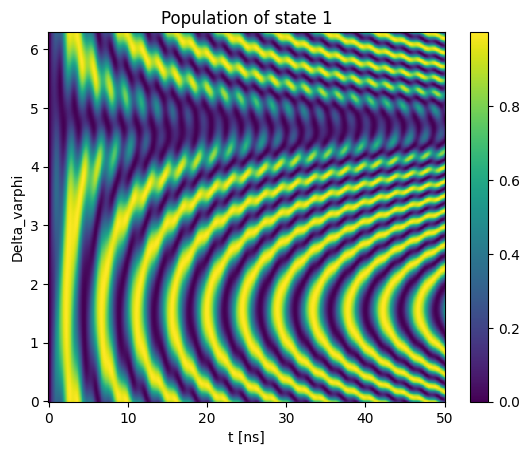
Hvis man i stedet vælger , kan man vælge den modsatte rotating frame transformation med , for at få hvad forfatterne kalder ”Counter-rotating drive”:

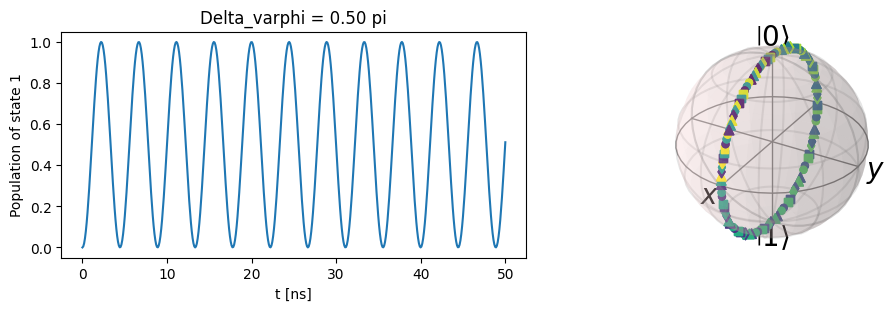
(ikke eftervist, blot tage for givet)

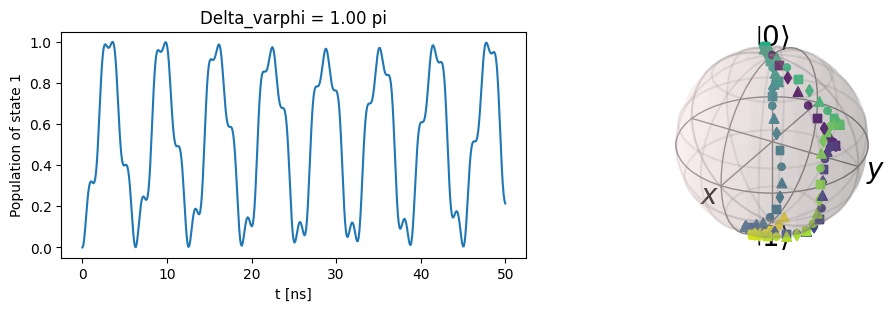
Forfatterne laver desuden en model med og RWA for at få en hammiltonian uden , hvilket er brugt til at kallibrere faseforskdyning vha. Rabi oscillering frekvensen (bør jeg berøre på senere).

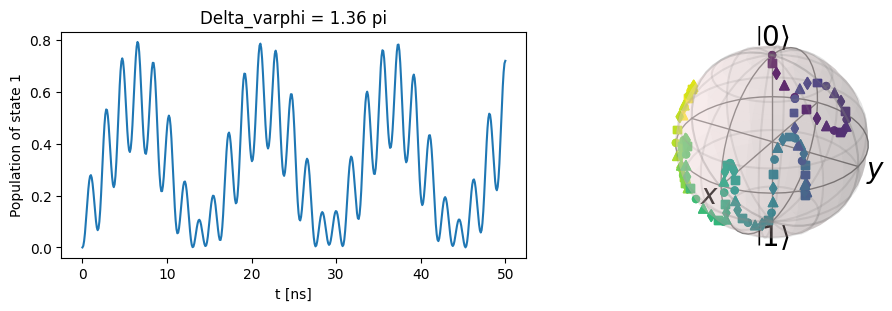
#### Replikering

Figur 1a bør kunne replikeres i simulation, ved at vælge en række værdier for , og udvikle hammiltoniannen derfra. er sat til , da det cirka replikerer tidsrammen. er sat efter forfatternes kredsløb









### Figur 3

#### Teori

##### Commensurate driving

Forfatterne betragter nu en vilkårlig linear polariseret puls (vinkel givet ved ) i co-rotating frame (), med envelope funktion , og med en off-resonant drivning . Lab-frame hammiltonnen følger:

(mangler eftervisning)

Og i co-rotating frame:

(mangler eftervisning)

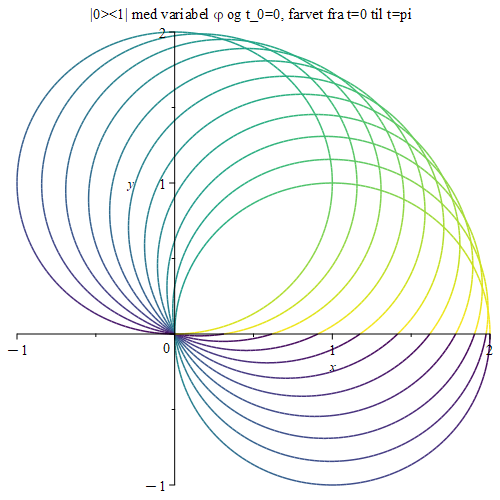
I det generelle er Schrödinger ligningen (¿) løst ved udviklingsoperatoren (?):

Det bemærkelsesværdiger er her at der er 2 intrisiske afhængigheder, (¿)som udspring fra at systemets udvikling er afhængig af dens startfase i lab-frame(?).

Ved ummidelbart at sætte kan on-ressonance behandles. Hammiltonnen simplificeres til:

\* og er blugt som i artiklen.

Ved kan fasen tegnes på et komplekst plan for illustration:



\*Bemærk at ledet blot er x-akse spejlet fra denne.

Med fasen mellem og , er alle lineære polariserede opperatorer mellem og tegnet. Med RWA forventer man at (pulstiden) er , da man herved bevæger sig mange gange rundt i dette faseplan. Hvis dette derimod ikke er tilfældet, er startfasen kritisk for at holde opperationen konsistent.

Paperet påpeger her at startfasen bliver moduleret(?) af direkte, og man konventionelt i praksis udvælger semi-tilfældigt ved gatedrivning. Som løsning, foreslår paperet derfor at kontrollere , og specifikt, for at gates er konsistente, sætter de . Dette er kriteriet, givet den periodiske funktion, for at gates er konsistente. er her en fri parameter til senere brug.

(Egen holdning: Forfatterne påpeger at dette er på minimal kompromis med program tid. Givet at er en fri parameter, så bør en addaptiv placering af den kunne imødekomme en vilkårlig for at mindske eksekveringstid. Men det kommer klart på bekostning af kompleksitet, og er nok ikke den mest oplagte forbedring.)

##### Monokromatisk off-resonant commensurate drives

Forfatterne påpeger en yderligere gevindst ved at undersøge Hammiltonnen:

Her kommer en yderligere pre-faktor af , som ændrer fasen mellem og . Men grundet den konstant satte , er det nu en konsistent effekt, og forfatterne påpeger at det kan modvirkes med en gate.

##### {X,Y} gate sæt

Siden X, Y blot har til forskel, kan sættes specifikt til og , siden den perfekt modvirker ændringen i det hurtigt-roterende term. Man kan også se i ovenstående graf, at det vil bibeholde startfasen for drivningen med højst modulo i det komplekse plan, altså et ”rent” X eller Y signal. Det giver dog et anderledes led, med det modvirkes ved forskellige efterjusteringer.

(bør nok lave et til plot ligesom ovenstående hvor man kan se at denne ændring gør at de starter equivalent i faserummet)

Forfatterne benytter sig af ”virtual Z gates”, hvilket (¿) formodes blot at være en transformation af reference ramme (?).

Til at starte med kan en implementeres. Der er 3 frie parametre:

: global lattice forskydning

: samlet envelope tid

: vinkel af efterfølgende virtuel Z rotation

: drivningsenvelope

kan sættes ved et argument. Som ovenstående plot viser, så justerer startfasen for både X og Y. Ved formodning om at man ønsker en ”ren” gate, kan denne sættes således at gennemsnitsfasen er lig fasen af , altså 1 for X. Ved en symetrisk envelope, kan dette udtrykkes som betingelsen:

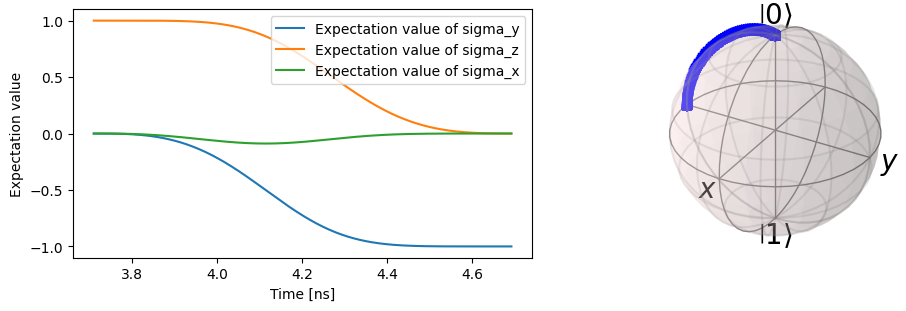
Indsættelse af :

Og grundet periodicitet:

Dette tager dog ikke højde for effekter ved , så det er snarere et udgangspunkt.

I paperet benytter de som en envelope funktion. Her udspringer i virkeligheden som en contrainted parameter for at lande tætest muligt på en gate givet en målsat . Hvis udviklingsintegralet kunne løses analytisk, ville det kunne blive sat efter, men det kan i stedet blive sat ved numerisk optimering. Der optimeres efter hvor tæt på ækvatoren stadiet rammer fra et udgangspunkt.

Desuden skal også effektivt sættes ved numerisk optimering, da exponentielfunktion ligheden ikke i praksis gælder. Med med simultan optimering af og kan en prototype til en ideel gate opnås:



Udført på alle andre unit states opnås:

Ein Bild, das Diagramm, Reihe, Text enthält.

Automatisch generierte Beschreibung

Ein Bild, das Text, Diagramm, Screenshot, Reihe enthält.

Automatisch generierte Beschreibung

Ein Bild, das Text, Diagramm, Reihe, Screenshot enthält.

Automatisch generierte Beschreibung

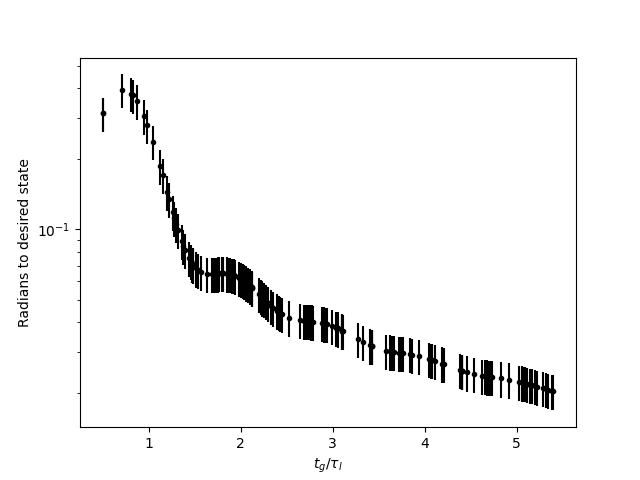
Ein Bild, das Diagramm, Text, Reihe, Kreis enthält.

Automatisch generierte Beschreibung

Ein Bild, das Diagramm, Text, Reihe enthält.

Automatisch generierte Beschreibung

De dårlige resultater er forventet, siden ved denne lave , der bliver drivningen forholdsvis asymetrisk i phasespace, on en enkelt fundet er ikke nok. Hvis man plotter for en række fås:

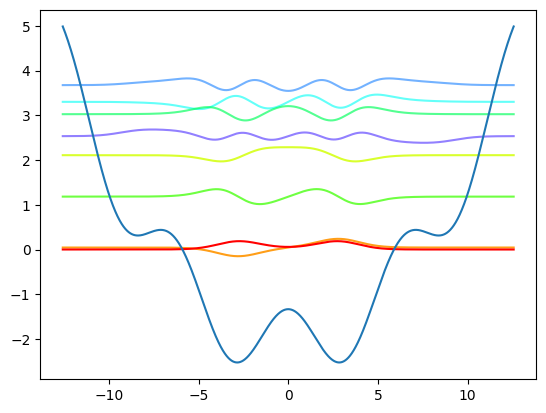


Hvis dette skal forbedres yderligere, skal der findes en metode til at sætte bedre. Som det er nu, kan det evt. blot betydde kalibrering.

##### Forfremmelse til flerniveausystem

En naiv tilgang til en fler-niveau hammilton er blot at substituere i hammiltonnen fra før:

Hvor der med og menes de reelle strøm/ladning gates skaleret til . For at finde gatenes matrix-repræsentation løses der først for fluxonium hammiltonnen efter paperet’s koeficeinter:



Hvor hammiltonnen er implemeteret som følgende funktionskald:

def **get\_fluxonium\_hammilton\_op**(dim,xmax,EC,EL,EJ,phi\_dc):

    a\_squared = **get\_nsquared\_op**(dim,xmax)

    b\_squared = **get\_phisquared\_op**(dim,xmax)

    n = **np**.**linspace**(-xmax,xmax,dim)

    extra\_term = lambda n: **np**.cos(n-phi\_dc)

    extra\_term = **np**.**vectorize**(extra\_term)

    extra\_term = extra\_term(n)

    extra\_term = **np**.**diag**(extra\_term)

*#hamiltonian*

    ham = 4\*EC\*b\_squared + 0.5\*EL**\***a\_squared - EJ**\***extra\_term

    return ham

Løsning af eigenvektorer og diagonalisering af og giver følgende:

Ein Bild, das Screenshot, Text, Farbigkeit, Diagramm enthält.

Automatisch generierte Beschreibung Ein Bild, das Screenshot, Farbigkeit, Quadrat, Diagramm enthält.

Automatisch generierte Beschreibung

Med den nye hammilton og , repræsentationer, kan samme tests som ovenstående udførres (p.t. med et lidt dårligt valg af metrik, blot midlertidigt):

Ein Bild, das Text, Screenshot, Diagramm, Reihe enthält.

Automatisch generierte BeschreibungEin Bild, das Text, Screenshot, Diagramm, Reihe enthält.

Automatisch generierte Beschreibung

Forskellen på de to ovenståede er at venstre er udført cuttoff af dimensioner på , mens højre er med . Meget af denne struktur mistænker jeg at have at gøre med optimizer og metrik. Bemærkelsesværdigt er dog at ved er der et spring ved , og ikke . En sjov konklusision er altså at ved commensurate driving under 5ns, der er i hvert fald de næste 15 non-computational states relevante for gate-implementeringen.