**3. a) Connect the binary output γ of the linear PI current and voltage block to the MOSFET Gate. Disconnect and short-circuit current sources Ios and Iop. Run the simulation and  correct simulation issues.**

**Perguntas ao Professor:**

* Em *Rmax* o valor correto deve ser os 23.04 Ohms ou outra coisa?
* Uma imagem com captura de ecrã, eletrónica, computador

  Os conteúdos gerados por IA poderão estar incorretos.O valor de Rs deve ser: Rmax, 10\*Rmax ou 100\*Rmax, isto tem a ver com a dissipação não é? Quanto maior menos dissipação deverá haver?

**3.  b) Briefly describe the microgrid behavior, comparing to similar situation in lab 1 (2h). Register and compare the values of the Vo average value and Vo voltage dip.**

Lab 3 -> Vo (Average) = **48** V and Voltage dip = **30.17** V

Lab 1 (2h) -> Vo (Average) = **44.56** V and Voltage dip = **33.65** V

No Laboratório 3, com controlo em malha fechada, a tensão média de saída Vo foi de 48 V, com uma queda de tensão de apenas 30,17 V. Comparando com o Laboratório 1 (2h), onde não havia controlo, Vo teve uma média de 44,56 V e uma queda de 33,65 V. Isto demonstra que o sistema com controladores PI regula melhor a tensão, reduz a queda após variações de carga e estabiliza mais rapidamente. O comportamento da microrede é claramente mais robusto e eficiente com controlo, garantindo maior estabilidade e melhor desempenho face a perturbações.

**3.  c) Disconnect Req. Change the resistor Rmax to Rmax/3. Connect Ios (Po/2) and the constant power source Iop to absorb Po/4.**

Uma imagem com captura de ecrã

Os conteúdos gerados por IA poderão estar incorretos.**3.  d) Briefly describe the microgrid behavior, measure Vo, Pi, Po and compare to similar results in open-loop (lab. 2).**

Vo = **47.98** V | Pi = **1526** W | Po = **1426** W | -> Lab 3

Vo = **-26.55** V | Pi = **1571** W | Po = **2000** W | -> Lab 2

Uma imagem com captura de ecrã, texto

Os conteúdos gerados por IA poderão estar incorretos.

No laboratório 2, em regime de malha aberta, a microrede apresentou instabilidade acentuada, evidenciada por uma tensão Vo negativa de -26.55 V e uma potência de saída Po de 2000 W, superior à entrada Pi, o que indica comportamento fisicamente incoerente. Em contraste, no laboratório 3 com controlo PI em malha fechada, a microrede estabilizou corretamente: Vo ≈ 47.98 V, Pi ≈ 1526 W e Po ≈ 1426 W, garantindo regulação de tensão e operação eficiente. A comparação entre os gráficos confirma que o controlo fechou o sistema com sucesso, reduzindo oscilação e assegurando estabilidade.

**3.  i)  To maximize the capability of the converter to supply constant power loads, successively run several simulations. Change Rmax to Vo^2/(Po\*pr), where pr ϵ [0,1], and change the power of the constant power source Iop to absorb Po\*(1-pr). Start with an initial value of pr=0.75 and from there find the value of pr that maximizes the power of the Iop (constant power load) without causing instability.  
Do the same exercise for different values of Ios and take conclusions. (change Ios to absorb 0W, 10%Po).**

**Uma imagem com captura de ecrã, file

Os conteúdos gerados por IA poderão estar incorretos.**Para pr = **0.48**  and Ios = **0**:

**3.  f) After obtaining the maximum constant power capability, write the values of Vo, iLf, Ios, Iop, iload, Po and describe your findings.**

Com Ios desligado (Ios = 0) e carga 100% de potência constante, o sistema manteve estabilidade para pr = 0.48. A tensão de saída foi de 47.93 V, e a corrente no indutor iLf estabilizou próximo de 30 A. A corrente da carga total (iload) é também de 31.3 A, igual à corrente absorvida pela carga de potência constante Iop. A potência de saída foi de 1501 W, com rendimento de 93.2%. Estes resultados mostram que o conversor consegue fornecer quase toda a potência nominal a uma carga 100% de potência constante se esta for ligada com um atraso apropriado (por exemplo, em t = 0.02 s), evitando instabilidades iniciais.

**Compare to the result obtained by increasing the Time delay of the constant power load to Td= 8/(2\*fpwm). Comment on the obtained value of pr in these conditions.**

Ao aumentar o atraso da carga de potência constante para Td = 8/(2·fpwm), esperava-se uma melhoria da estabilidade, mas observou-se o contrário. Com pr = 0.48, o sistema, que era estável com Td = 1/(2·fpwm), torna-se instável. A tensão de saída apresenta oscilações crescentes e a corrente entra em regime descontrolado. Isto sugere que o aumento do atraso, sem ajuste dos controladores PI, prejudica a resposta dinâmica do sistema. Conclui-se que, embora o atraso possa ter um efeito estabilizador em certos cenários, neste caso concreto reduziu a margem de estabilidade, exigindo retuning dos ganhos.

**Uma imagem com captura de ecrã

Os conteúdos gerados por IA poderão estar incorretos.4.  b) i) Connect the binary output γ of the "buck\_non\_linear\_controller" to the MOSFET Gate. ii) Connect the Req resistor and breaker and make sure resistor Rmax is Rmax=Rmax. iii) Disconnect and short-circuit current sources Ios and Iop. iv) Run the simulation correcting any simulation issue.**

**4.  c) Briefly describe the microgrid behavior, comparing to similar situation in lab 1 (2h) and in this lab (3a). Register and compare the values of the Vo voltage dip.**

Lab 3 (4b) -> Vo (Average) =  **47.98** V and Voltage dip = **25.76** V

Lab 3 (3a) -> Vo (Average) = **48** V and Voltage dip = **30.17** V

Lab 1 (2h) -> Vo (Average) = **44.56** V and Voltage dip = **33.65** V

No Lab 3 (4b), com controlo **não linear por histerese**, a tensão média de saída foi de **47.98 V**, com uma queda de apenas **25.76 V**, o melhor desempenho observado. Comparando com o controlo linear (3a), que teve uma queda de **30.17 V**, e com o sistema em malha aberta do Lab 1 (2h), com **33.65 V**, conclui-se que o controlo não linear oferece resposta mais rápida e robusta à perturbação. A ação imediata da histerese sobre o sinal de PWM permite **reduzir o sobressinal e melhorar a estabilidade dinâmica**, garantindo **melhor regulação da tensão** face a variações bruscas de carga.

**4.  d) Disconnect Req. Change the resistor Rmax to Rmax/3. Connect Ios (Po/2) and the constant power source Iop to absorb Po/4.**

Uma imagem com captura de ecrã, eletrónica, computador

Os conteúdos gerados por IA poderão estar incorretos.

**4.  e) Briefly describe the microgrid behavior, measure Vo, Pi, Po and compare to similar results in this lab 3c). Try lowering the gain Cf\*kv.**

Vo = **47.98** V | Pi = **1526** W | Po = **1426** W | -> Lab 3 (3c)

Para Cf\*kv = 5:

Vo = **48.37** V | Pi = **1550** W | Po = **1425** W | -> Lab 3 (4d)

Para Cf\*kv = 2:

Vo = **48.24** V | Pi = **1543** W | Po = **1427** W | -> Lab 3 (4d)

Comparando os controladores, o sistema com controlo linear (3c) apresenta uma tensão de saída de 47.98 V e uma eficiência de 93.4% (Po = 1426 W; Pi = 1526 W). Com o controlo não linear (4d) e ganho Cf·kv = 5, Vo melhora para 48.37 V, mas Pi aumenta para 1550 W, reduzindo ligeiramente a eficiência. Ao reduzir o ganho para Cf·kv = 2, Vo estabiliza em 48.24 V, com menor esforço de controlo (Pi = 1543 W) e ligeiro ganho de potência útil (Po = 1427 W). Conclui-se que valores mais baixos de Cf·kv podem melhorar o compromisso entre estabilidade, desempenho e eficiência.

**4.  f)  To maximize the capability of the converter to supply constant power loads, successively run several simulations. Change Rmax to Vo^2/(Po\*pr), where pr ϵ [0,1], and change the power of the constant power source Iop to absorb Po\*(1-pr). Start with an initial value of pr=0.75 and from there find the value of pr that maximizes the power of the Iop (constant power load) without causing instability.  
Do the same exercise for different values of Ios and take conclusions. (change Ios to absorb 0W, 10%Po).**

**Try also with a reduced gain Cf\*kv.**

Para pr = **0.48** | Ios = **0** | Cf\*kv = **5**

**Uma imagem com captura de ecrã

Os conteúdos gerados por IA poderão estar incorretos.**

**4.  g) Briefly describe the microgrid behavior, measure Vo, Pi, Po, write the values of Rmax, Iop, Cf\*kv and compare similar results in this lab 3e).**

Vo = **47.83** V | Pi = **1567** W | Po = **1502** W | Rmax = **3.2** Ohm | Iop = **31.5 A** | Cf\*kv = **5** -> (4f)

Vo = **47.93** V | Pi = **1610** W | Po =  **1501** W | Rmax = Ohm | Iop = **31.3 A** -> (3e) -> pr = **0.48**  e Ios = **0**

Nesta simulação, com **Cf·kv = 5**, **Iop = 31.5 A**, e **Rmax = 3.2 Ω**, a microrede operou de forma estável sob uma carga de potência constante correspondente a **pr = 0.48**. A tensão de saída foi de **47.83 V**, a potência de entrada **Pi = 1567 W**, e a potência útil fornecida **Po = 1502 W**, com um rendimento de aproximadamente **95.9%**. Comparando com os resultados da simulação anterior (3e), em que **Vo = 47.93 V**, **Pi = 1610 W** e **Po = 1501 W**, observa-se que o comportamento é semelhante em termos de estabilidade, mas o rendimento foi ligeiramente superior nesta simulação, devido a menor esforço de controlo e perdas internas. Isto confirma que a combinação correta de **pr, Cf·kv e atraso na ligação da carga** permite ao conversor alimentar com segurança cargas eletrónicas exigentes.

**5. a) WRITE A SUITABLE LAB TITTLE:**

Controlo Linear e Não Linear de Microredes DC com Cargas de Potência Constante

**5. b) Executive Summary (meaningful work done, most important findings)**

Este laboratório analisou o comportamento de uma microrede DC com conversor Buck sob diferentes tipos de carga: resistiva, corrente constante (Ios) e potência constante (Iop). Implementou-se controlo linear com reguladores PI e controlo não linear por histerese.

Verificou-se que o controlo PI melhora significativamente a regulação da tensão face ao sistema em malha aberta (Lab 1), reduzindo a queda de tensão e estabilizando mais rapidamente após perturbações. Em cargas mistas, foi possível identificar o valor máximo de **pr** que o sistema suporta sem instabilidade.

O controlo não linear demonstrou resposta mais rápida e menor overshoot. Analisou-se ainda o impacto do atraso na ligação das cargas e da redução do ganho **Cf⋅kv**, verificando-se que o atraso pode melhorar a estabilidade, mas exige retuning dos controladores.

No final, a microrede conseguiu alimentar até **52% da potência nominal** em carga de potência constante com rendimento superior a 95%, validando a eficácia das estratégias de controlo testadas.

**5. c) Discussion of results (namely output voltage variation and ripple, range of output power with resistive loads, range of output power with constant current and constant power loads and minimum resistive load, conditions to obtain the maximum power, with with constant current and constant power loads,...)**

Ao longo do laboratório, foi estudado o comportamento de uma microrede DC com diferentes tipos de carga e estratégias de controlo. As principais observações foram:

* **Variação e ripple da tensão de saída (Vo)**:  
  O controlo PI reduziu significativamente o ripple e melhorou a estabilidade após perturbações. No exercício 3a, Vo teve uma queda de 30.17 V, enquanto com controlo não linear (4b) essa queda foi apenas 25.76 V.
* **Faixa de potência de saída com cargas resistivas:**  
  Rmax = 23.04 Ω permite operar a 100 W. Com Rmax/3, a microrede lida com potências mais elevadas, especialmente quando combinada com Ios e Iop.
* **Faixa de potência de saída com Ios (corrente constante):**Com Ios = 0 e atraso de 0.02 s na ligação de Iop, o sistema suporta pr = 0.48 de forma estável, com Vo ≈ 47.93 V, Po ≈ 1501 W e eficiência de 93.2%.
* **Faixa de potência de saída com Iop (potência constante):**  
  A potência máxima em carga constante foi cerca de **52% da nominal**, mantendo estabilidade com os parâmetros certos.
* **Efeito da redução do ganho Cf⋅kv:**  
  Reduzir **Cf⋅kv** de 5 para 2 melhorou ligeiramente a eficiência e reduziu o esforço de controlo, sem comprometer a estabilidade.
* **Condições para fornecer potência máxima a cargas exigentes:**  
  A combinação ideal para alimentar cargas de potência constante foi:
  + **pr = 0.48**, **Ios = 0**, **Cf⋅kv = 5**, **Rmax ≈ 3.2 Ω**
  + Ligação de Iop com atraso (t = 0.02 s)  
    Resultando em Vo estável e eficiência > 95%.

**5. d) Conclusions and recommendations (main conclusions and suggestions/recommendations)**

O controlo PI permitiu uma regulação eficaz da tensão com estabilidade mesmo sob perturbações. O controlo não linear apresentou melhor desempenho dinâmico e resposta mais rápida. A alimentação estável de cargas exigentes até **52% da potência nominal** foi possível com atraso na ligação e parâmetros otimizados. Recomenda-se utilizar controlo não linear ou PI bem sintonado, com **atraso na ligação de Iop e Cf⋅kv ajustado**, para garantir estabilidade, baixo ripple e alta eficiência.