

Basic Buck Converter — Step-Down DC-DC Conversion

This paper is part of the Power Electronics Learning Portfolio, a self-study documentation series.

Mini Research Paper By Altanbaatar Enkhsuld

November 2025

Хураангуй

Энэхүү судалгаанд Buck хувиргагчийн (DC–DC converter) үндсэн ажиллагааг тайлбарлав. Энэ хэлхээ нь өндөр хүчдэлтэй оролтыг бага хүчдэл болгон үр ашигтай хувиргах зориулалттай. PSIM симуляцийн орчинд 50 V оролтыг 25 V гаралт болгон хувиргах (open loop) PWM удирдлага бүхий туршилт хийв. Энэхүү судалгааны зорилго нь унтраалга, индукц, конденсаторын параметрүүд гаралтын хүчдэлийн тогтвржилт, хэлбэлзэл болон шилжилтийн үзүүлэлт нөлөөг тодорхойлох явдал юм.

Оршил

Buck хувиргагч нь DC–DC хувиргагчийн хамгийн энгийн бөгөөд түгээмэл бүтэцтэй хэлбэрийн нэг юм. Энэ хэлхээ нь өндөр тогтмол хүчдэлийг (DC) бага хүчдэл болгон үр ашигтай хувиргахын тулд өндөр давтамжийн унтраалга (switch) болон энерги хадгалах эд ангиудыг (индукц ба конденсатор) ашигладаг. Энэхүү судалгаанд PSIM симуляцийн програм ашиглан Buck хувиргагчийн ажиллагааг шинжилж, ажлын цикл (duty ratio), индукц, конденсаторын утга нь гаралтын хүчдэлийн тогтвржилтод хэрхэн нөлөөлж байгааг тодорхойллоо.

Үндсэн зарчим

Ажиллагааны горимууд

Унтраалга (Switch) ACCAH үед:

Оролтын хүчдэл нь индукцэд (L) шүүд холбогдох, түүний соронзон оронд энерги хуримтлагдана.

$$V_L = V_{in} - V_{out}$$

Унтраалга(Switch) УНТАРСАН үед:

Индукц нь хуримтлагдсан энергийг диод (D)-ын дамжуулгаар эсэргүүцэл рүү (load) гаргаж, гүйдлийн тасралтгүй урсгалыг хадгална.

$$V_L = -V_{out}$$

Гаралтын хүчдэлийн дундаж утга:

Buck хувиргагчийн гаралтын хүчдэлийг дараах томъёогоор илэрхийлнэ:

$$V_{out} = D * V_{in}$$

Энд D нь ажлын цикл (duty cycle) юм.

Жишээ: Хэрэв $V_{in} = 50 V$ ба $D = 0.5$ бол $V_{out} = 50V$

Хэлхээний параметрууд

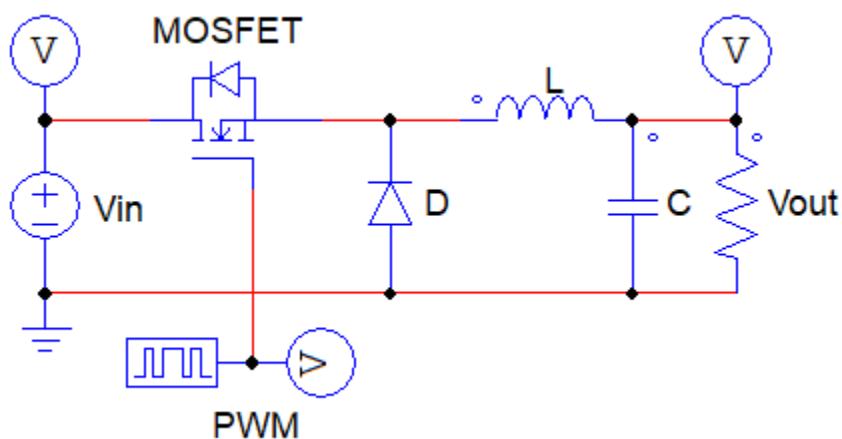
ПАРАМЕТР	ТЭМДЭГЛЭГЭЭ	УТГА	ТАЙЛБАР
ОРОЛТЫН ХҮЧДЭЛ	(V)	50 V	Тэжээлийн хүчдэл
АЧААЛЛЫН ЭСЭРГҮҮЦЭЛ	(R)	5 Ω	Ачааллыг төлөөлөх эсэргүүцэл
ИНДУКЦИЯ	(L)	1 mH	Гүйдлийн долгионжилтыг (ripple) хянах
КОНДЕНСАТОР	(C)	100 μF	Хүчдэлийн долгионжилтыг жигдүүлэх
УНТРААЛГЫН ДАВТАМЖ	(fs)	5 kHz	Долгионжилт ба алдагдалд нөлөөлөх гол хүчин зүйл
АЖЛЫН ЦИКЛ	(D)	0.5	Хүссэн гаралтын харьцааг илэрхийлнэ

Эдгээр параметруудийг сонгохдоо гаралтын хүчдэлийн долгионжилтыг 10 %-иас доош байлгах, мөн тогтвортой ажиллагаа ба долгионы хэлбэр (waveform) тодорхой харагдах нохцэлийг хангах зорилготой.

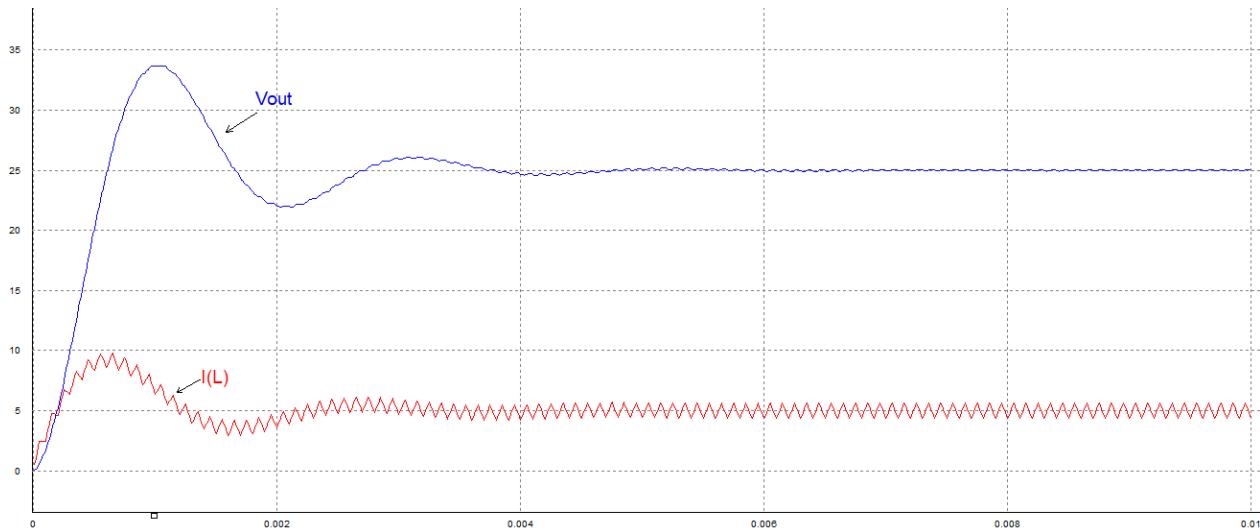
Симуляцийн үр дүн

Зураг 1-д PSIM симуляцийн хэлхээ, Зураг 2-т гаралтын хүчдэл ба индукцийн гүйдлийн долгион (waveform) харуулав.

- Гаралтын хүчдэлийн дундаж утга ойролцоогоор **25 V** орчимд тогтвожсон.
- Эхний шилжилтийн үеийн **хэт өсөлт (overshoot)** нь ойролцоогоор **34 V** хүрсэн.



Зураг 1



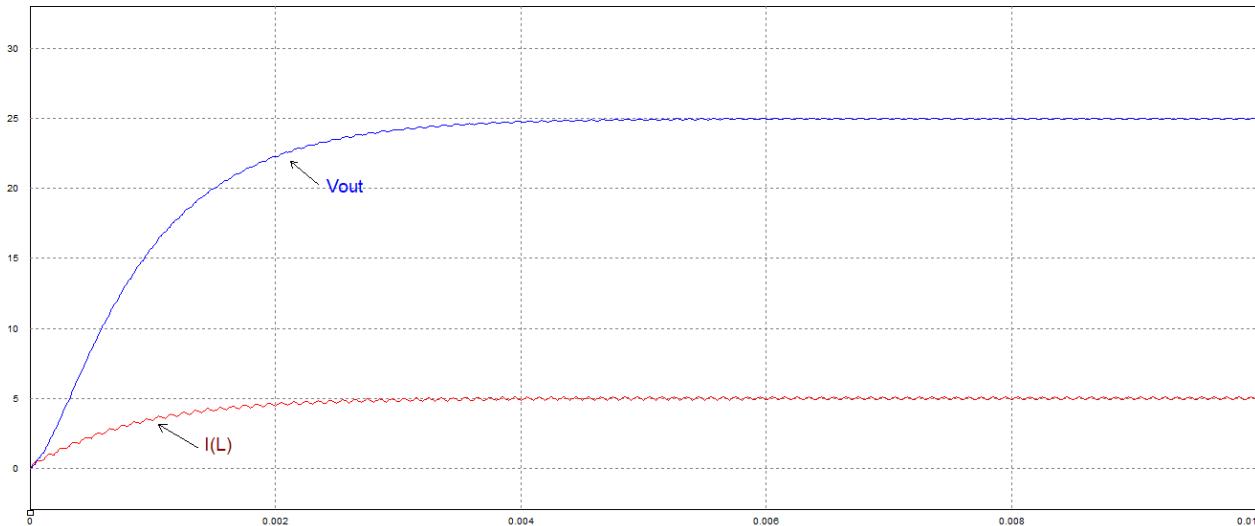
Зураг 2

Хэлэлцүүлэг

Туршилтын үр дүнгээс харахад Buck хувиргагчийн асаалтын үеийн хүчдэлийн өөрчлөлт хариу нь индукц (L) болон конденсаторын (C) утгуудаас шууд хамаардаг болох нь харагдav.

Эхний нөхцөлд $L = 1 \text{ mH}$, $C = 100 \mu\text{F}$ үед гаралтын хүчдэл нь зорилтолт 25 V-д хүрэхээс өмнө оролтын хүчдэлтэй ойролцоо түвшинд хэт өсөлт (overshoot) үүссэн. Энэ нь индукцийн гүйдэл гаралтын хүчдэл зорилтолт утгад хүрсний дараа ч конденсатор руу цэнэг хуриатлуулж байсан тул LC хэлхээ хэт сул даралттай (underdamped) хариу үзүүлсэнтэй холбоотой юм.

Дараагийн шатанд параметрүүдийг өөрчилж, индукцийн утгыг 1 mH-aас 5 mH, харин конденсаторын багтаамжийг 100 μF -aас 50 μF ба 30 μF болгон бууруулсан. Ингэснээр гаралтын хүчдэлийн өсөлт удаан боловч тогтвортой, хэт өсөлтгүй, нэгэн жигд өсөлттэй (monotonic rise) болсон нь Зураг 3-т харуулагдана.



Зураг 3

Дүгнэлт

Энэхүү судалгаагаар Buck хувиргагчийн үндсэн ажиллагааг баталгаажуулж, хэлхээний эд ангиудын утга ба тохиргоо нь асаалтын үеийн хүчдэлийн өөрчлөлт болон гаралтын тогтвортой байдалд шууд нөлөөлдөг болохыг тогтоов.

Оролтын хүчдэл $V_{in} = 50$ V, ажлын цикл $D = 0.5$, индукц $L = 1$ mH, конденсатор $C = 100$ μ F нөхцөлд хувиргагч нь зөв дундаж гаралт үүсгэсэн ч асаалтын үед хүчдэлийн хэт өсөлт (overshoot) ажиглагдсан.

Харин индукцийн утгыг 5 mН болгон нэмэгдүүлж, конденсаторын багтаамжийг 30–50 μ F болгон бууруулснаар хэт өсөлт бүрэн арилж, гаралтын хүчдэл алгуур бөгөөд тогтвортой өсөлттэй (monotonic rise) болж, ойролцоогоор 25 V орчимд тогтвожсон.

Эдгээр үр дүнгээс хараад индукцийн утга ихсэхэд гүйдлийн өсөлт удааширч, конденсатор руу дамжих илүүдэл энериgi багасдаг бол конденсаторын багтаамж буураад системийн даралт (damping) нэмэгдэж, хэт сул даралттай хэлбэлзэл (underdamped oscillation) дарагддаг. Ийнхүү систем илүү тогтвортой шилжилтийн шинжтэй (well-damped) ажиллах нөхцөл бүрдэнэ.

Бага багтаамжтай конденсатор нь тогтсон төлөвийн хүчдэлийн хэлбэлзлийг бага зэрэг нэмэгдүүлдэг ч индукцийн утга ихэссэнээр энэ нөлөө бага байв.

Цаашдын судалгаанд soft-start удирдлага болон хаалттай гогцооны (closed-loop) хүчдэлийн хяналт хэрэгжүүлснээр яз бүрийн ачаалал болон эд ангийн хэлбэлзэлд илүү тогтвортой асаалтын зан төлөв бий болгох боломжтой.