

# 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 параметрууд гаралтын хүчдэлийн тогтворжилт, хэлбэлзэл болон шилжилтийн үзэгдэлд үзүүлэх 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 тогтворжилтод хэрхэн нөлөөлж байгааг тодорхойллоо.

## Үндсэн зарчим

### *Ажиллагааны горимууд*

Унтраалга (Switch) АССАН үед:

Оролтын хүчдэл нь индукцэд (L) шүүд холбогдож, 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  $V_{in} = 50 \text{ V}$  ба  $D = 0.5$  бол  $V_{out} = 50 \text{ V}$

## Хэлхээний параметрууд

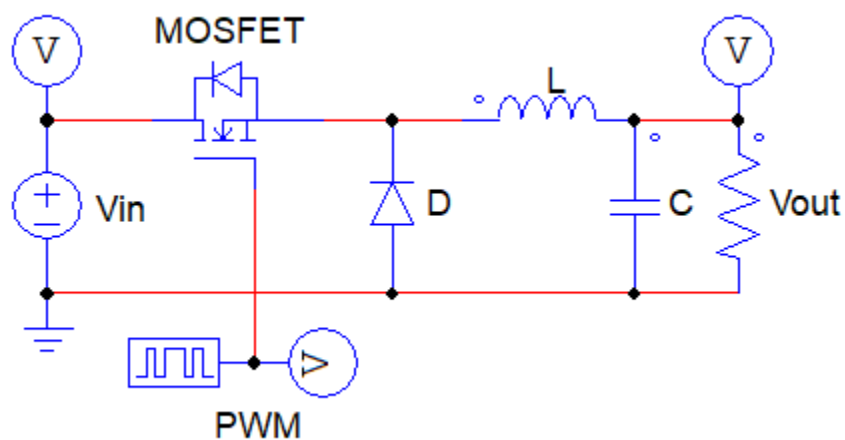
ПАРАМЕТР	ТЭМДЭГЛЭГЭЭ	УТГА	ТАЙЛБАР
ОРОЛТЫН ХҮЧДЭЛ	(V)	50 V	Тэжээлийн хүчдэл
АЧААЛЛЫН ЭСЭРГҮҮЦЭЛ	(R)	5 $\Omega$	Ачааллыг төлөөлөх эсэргүүцэл
ИНДУКЦ	(L)	1 mH	Гүйдлийн долгионжилтыг (ripple) хянах
КОНДЕНСАТОР	(C)	100 $\mu$ F	Хүчдэлийн долгионжилтыг жигдрүүлэх
УНТРААЛГЫН ДАВТАМЖ	(fs)	5 kHz	Долгионжилт ба 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 нөхцөлийг хангах зорилготой.

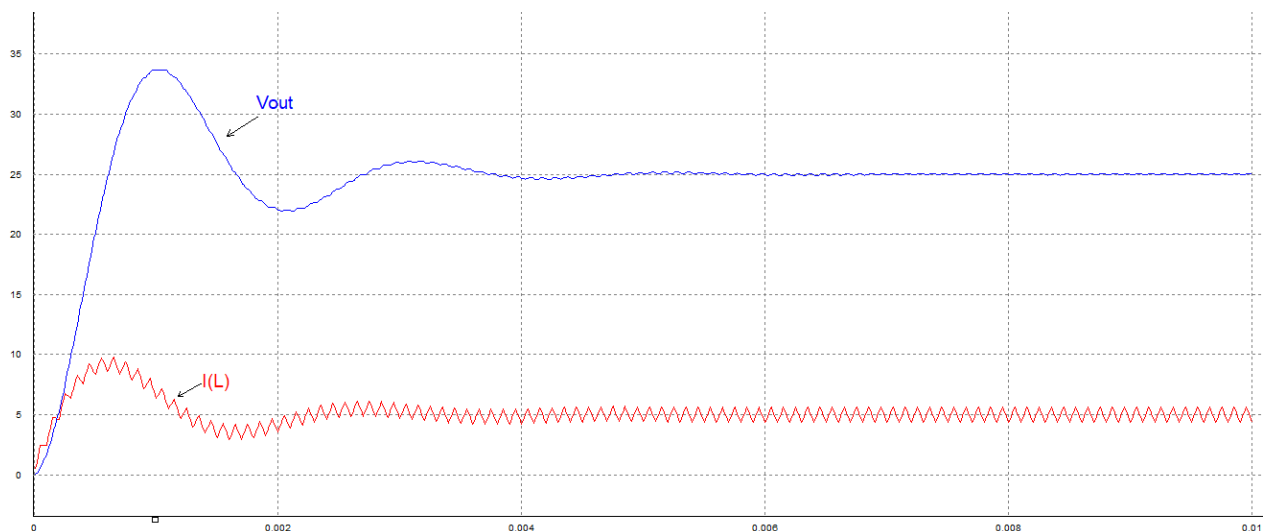
## Симуляцийн үр дүн

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 тогтворжсон.
- Эхний шилжилтийн үеийн **хэт өсөлт (overshoot)** нь ойролцоогоор **34 V** хүрсэн.



Зураг 1



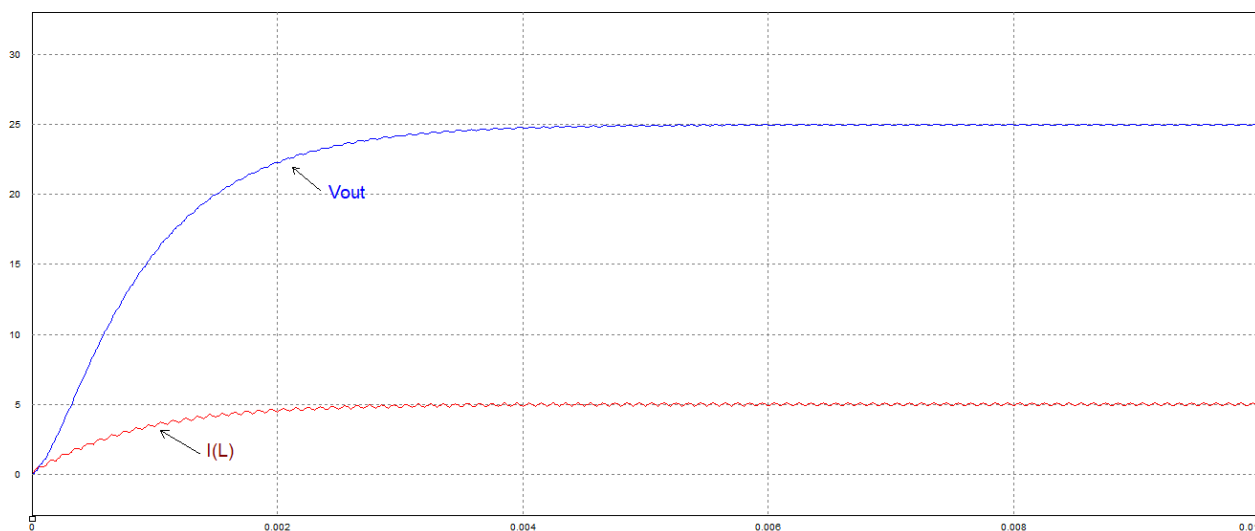
Зураг 2

## Хэлэлцүүлэг

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

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

Дараагийн шатанд параметруудийг өөрчилж, индукцийн утгыг  $1 \text{ mH}$ -аас  $5 \text{ mH}$ , харин конденсаторын багтаамжийг  $100 \text{ }\mu\text{F}$ -аас  $50 \text{ }\mu\text{F}$  ба  $30 \text{ }\mu\text{F}$  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  $V_{in} = 50 \text{ V}$ , ажлын цикл  $D = 0.5$ , индукц  $L = 1 \text{ mH}$ , конденсатор  $C = 100 \text{ }\mu\text{F}$  нөхцөлд хувиргагч нь зөв дундаж гаралт үүсгэсэн ч асаалтын үед хүчдэлийн хэт өсөлт (overshoot) ажиглагдсан.

Харин индукцийн утгыг  $5 \text{ mH}$  болгон нэмэгдүүлж, конденсаторын багтаамжийг  $30\text{--}50 \text{ }\mu\text{F}$  болгон бууруулснаар хэт өсөлт бүрэн арилж, гаралтын хүчдэл алгуур бөгөөд тогтвортой өсөлттэй (monotonic rise) болж, ойролцоогоор  $25 \text{ V}$  орчимд тогтворжсон.

Эдгээр үр дүнгээс харахад индукцийн утга ихсэхэд гүйдлийн өсөлт удааширч, конденсатор руу дамжих илүүдэл энерги багасдаг бол конденсаторын багтаамж буурахад 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 янз бүрийн ачаалал болон эд ангийн хэлбэлзэлд илүү тогтвортой асаалтын зан төлөв бий болгох боломжтой.