

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 үндсэн ажиллагаа болон хэлхээний параметрууд хүчдэлийн тогтворжилт, шилжилтийн хариунд хэрхэн нөлөөлдөгийг судлав.

PSIM симуляц ашиглан янз бүрийн *duty cycle* нөхцөлд гаралтын зан төлвийг шинжилж, гаралтын хүчдэл ба *duty cycle*-ийн хамаарлыг баталгаажуулсан.

Үр дүнгээс харахад индукц, конденсаторын утга, асаалтын нөхцөл нь overshoot болон ripple-д тодорхой нөлөө үзүүлж, тогтвортой DC–DC хувиргагчийн суурь загварын зарчмыг тодорхой болгосон.

Оршил

Энэхүү туршилтаар DC–DC buck хувиргагчийн хүчдэлийг бууруулах үндсэн ажиллагааг баталгаажуулж, хэлхээний бүтэц нь системийн зан төлөвт хэрхэн нөлөөлдөгийг судалсан.

Судалгаа нь дараах хоёр гол чиглэлд төвлөрсөн:

1. Нээлттэй PWM удирдлагын үед *duty cycle* ($D = 0.3, 0.5, 0.7$)-ийг өөрчлөхөд гаралтын хүчдэл болон индукцийн гүйдлийн хариу.
2. Индукц (L) болон конденсатор (C)-ын утга нь асаалтын үеийн хүчдэлийн тогтворжилт, ripple болон шилжилтийн хариунд хэрхэн нөлөөлдөг.

Эдгээр үр дүнгээр хэлхээний параметр болон хувиргагчийн гүйцэтгэлийн уялдаа холбоог тодорхойлох ба цаашдын хаалттай удирдлага, бодит төхөөрөмжийн загвар гаргалгаанд суурь ойлголт өгөх зорилготой байв.

Үндсэн зарчим

Ажиллагааны горимууд

Унтраалга (Switch) АССАН үед:

Оролтын хүчдэл нь индукцэд (L) шууд 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.

$$V_L = -V_{out}$$

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 Ω	Ачааллыг төлөөлөх эсэргүүцэл
ИНДУКЦ	(L)	1 mH	Гүйдлийн долгионжилтыг (ripple) хянах
КОНДЕНСАТОР	(C)	100 μF	Хүчдэлийн долгионжилтыг жигдрүүлэх
УНТРААЛГЫН ДАВТАМЖ	(fs)	5 kHz	Долгионжилт ба алдагдалд нөлөөлөх гол хүчин зүйл
АЖЛЫН ЦИКЛ	(D)	0.5	Хүссэн гаралтын харьцааг илэрхийлнэ

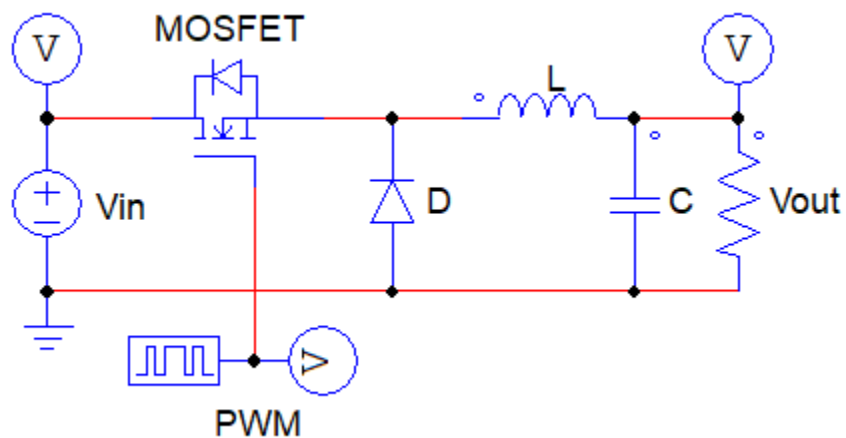
Эдгээр параметруудийг сонгохдоо гаралтын хүчдэлийн долгионжилтыг 10 %-иас доош байлгах, мөн тогтвортой ажиллагаа ба долгионы хэлбэр (waveform) тодорхой харагдах нөхцөлийг хангах зорилготой.

Симуляцийн үр дүн

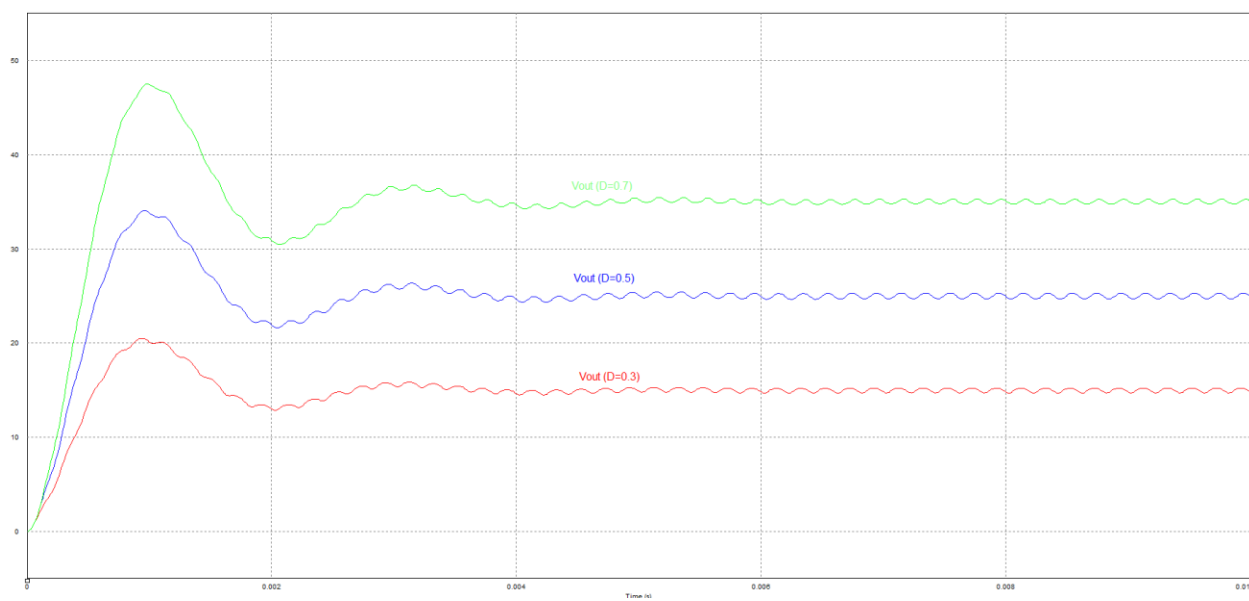
PSIM симуляцийн хэлхээг Зураг 1-д, гаралтын хүчдэл ба индукцийн гүйдлийн долгионыг Зураг 2 ба Зураг 3-т харуулав.

- Гаралтын хүчдэл дунджаар 25 V орчимд тогтворжсон.
- *Duty cycle*-ийг 0.3, 0.5, 0.7 болгон өөрчлөхөд гаралтын хүчдэл D-тэй пропорциональ өссөн.
- $L = 1\text{ mH}$, $C = 100\text{ }\mu\text{F}$ нөхцөлд асаалтын үеэр overshoot илэрсэн.
- L-г 5 mH болгож, C-г 30–50 μF болгон бууруулахад хүчдэл overshoot гүйгээр жигд өссөн.

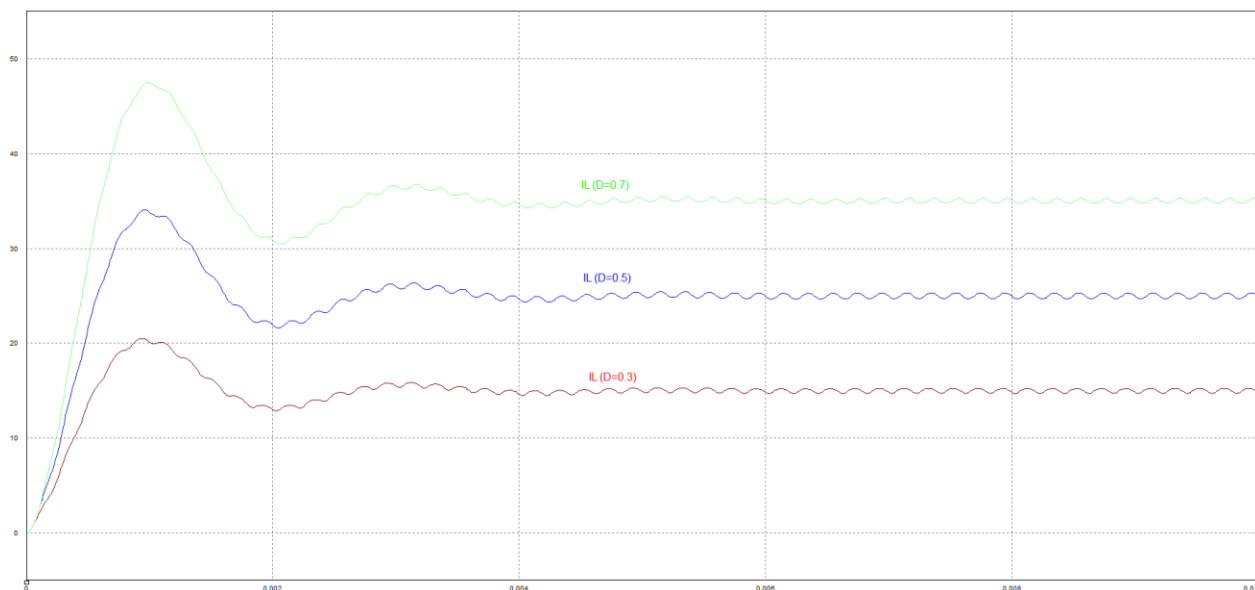
- Эдгээр үр дүнгээр хүчдэлийн ба *duty* хамаарал батлагдаж, элементүүдийн утгаас хамаарсан долгион хэлбэрийн ялгаа тод ажиглагдсан.



Зураг 1 PSIM симуляцийн хэлхээ



Зураг 2 Duty cycle ($D = 0.3, 0.5, 0.7$) үед гаралтын хүчдэлийн долгионы харьцуулалт

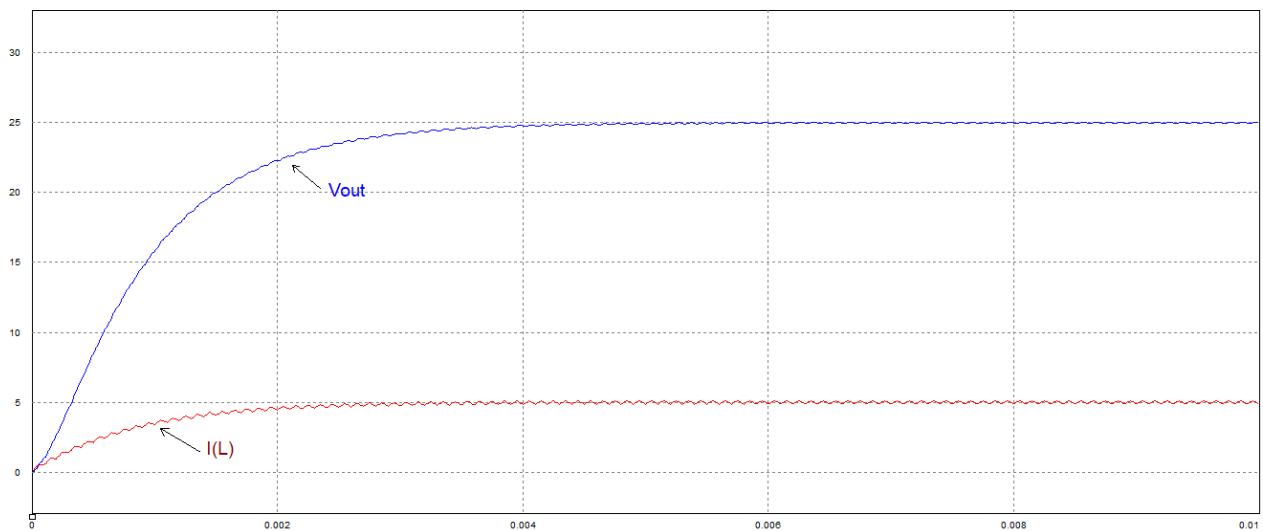


Зураг 3 Duty cycle ($D = 0.3, 0.5, 0.7$) үед индукцийн гүйдлийн долгионы харьцуулалт

Хэлэлцүүлэг

Симуляцийн үр дүнгээс *duty cycle* 0.3-аас 0.7 хүртэл өсөхөд гаралтын хүчдэл пропорциональ нэмэгдэж байгааг харуулсан. Buck хувиргагчийн асаалтын үеийн хүчдэлийн өөрчлөлт хариу нь индукц (L) болон конденсаторын (C) утгуудаас шууд хамаардаг болох нь харагдав.

Асаалтын үед $L = 1 \text{ mH}$, $C = 100 \text{ }\mu\text{F}$ нөхцөлд тод overshoot ажиглагдсан ч параметруудийг өөрчилж, индукцийн утгыг 1 mH -аас 5 mH , харин конденсаторын багтаамжийг $100 \text{ }\mu\text{F}$ -аас $50 \text{ }\mu\text{F}$ болгон бууруулсан. Ингэснээр гаралтын хүчдэлийн өсөлт удаан боловч тогтвортой, хэт өсөлтгүй, нэгэн жигд өсөлттэй (monotonic rise) болсон нь (Зураг 4). -т харуулагдана.



Зураг 4

Дүгнэлт

PSIM симуляцийн үр дүнд buck хувиргагчийн үндсэн ажиллагааг амжилттай баталгаажуулсан. Гаралтын хүчдэл *duty cycle*-ийн утгад тохируулан өөрчлөгдөж, $D = 0.3, 0.5, 0.7$ утгуудын ялгаа тодорхой ажиглагдсан.

Асаалтын туршилтаар индукц ба конденсаторын утгыг өөрчлөхөд хүчдэлийн өсөлтийн хэв маяг мөн өөрчлөгдөж байв.

Бага индукц, их багтаамжийн үед overshoot гарч, харин их индукц, бага багтаамжийн үед хүчдэл жигд өсөлттэй байсан.

Эдгээр үр дүн нь buck хувиргагчийн гаралтын хариу янз бүрийн нөхцөлд хэрхэн өөрчлөгддөгийг тодорхой харуулсан.