

## **ԷՆԵՐԳԵՏԻԿԱ, ԷԼԵԿՏՐԱՏԵԽՆԻԿԱ**

### **ԷԼԵԿՏՐԱՏԵԽՆԻԿԱ, ԷԼԵԿՏՐԱԷՆԵՐԳԵՏԻԿԱ**

ՀՏԴ 621.314.1

#### **Վ.Կ. ՀԱՄԲԱՐՅԱՆ, Մ.Զ. ՀԱԿՈՔՅԱՆ**

#### **ՀԱՍՏԱՏՈՒՆ ԼԱՐՄԱՆ ԿԵՐԱՎՈՒՄԻՆԻՍՏԻԿԱԿԱՆ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ ԵՎ ԲՆՈՒԹԱԳՐԵՐԻ ՍՏԱՅՈՒՄԸ ՎԻՐՏՈՒԱԼ ՄՈԴԵԼՈՎ**

Հետազոտվում են ավտոմատ կառավարման համակարգերում լայն կիրառում գտած հաստատուն լարման կերպափոխիչների սխեմաների տարբերակները, դիտարկվում է դրանց բնութագրերի ստացումը վիրտուալ մոդելի միջոցով:

Հաստատուն լարման կերպափոխիչները կիրառվում են հաստատուն լարման մեկ մակարդակը մեկ այլ մակարդակի կերպափոխելու համար, ընդ որում՝ ելքի լարման միջին արժեքը կարելի է կարգավորել (կայունացնել): Հաստատուն լարման կերպափոխիչների աշխատանքի հիմքում ընկած է էներգիայի իմպուլսային կերպափոխման եղանակը, որի դեպքում մուտքի հաստատուն լարումը վերածվում է ուղղանկյուն իմպուլսային լարման և հարթեցվում գոտիով:

**Առանցքային բաներ.** հաստատուն լարման կերպափոխիչ, ավտոմատ կառավարման համակարգ, կառավարման շղթա, տրանզիստոր, բեռ, գոտի:

Հաստատուն լարման կերպափոխիչները լայնորեն կիրառվում են տարբեր էլեկտրոնային սարքավորումներ սնելու համար: Դրանք օգտագործվում են տարբեր ավտոմատ կառավարման համակարգերի սխեմաներում, հաշվողական տեխնիկայի սարքերում, ռոբոտոտեխնիկայում, կապի սարքավորումներում և այլուր [1]:

Եթե սարքավորումները սնուցվում են գալվանական տարրերից կամ մարտկոցներից, ապա լարման՝ պահանջվող մակարդակին փոխարկմանը հնարավոր է հասնել միայն հաստատուն լարման կերպափոխիչների միջոցով [1,2]:

Սովորաբար հաստատուն լարումը վերածվում է փոփոխական լարման և մի քանի տասնյակ կամ նույնիսկ հարյուրավոր կիլոհերց հաճախականությամբ մեծանում (նվազում) է, այնուհետև ուղղիչի միջոցով ուղղվում և տրվում է բեռին: Նման կերպափոխիչները հաճախ կոչվում են իմպուլսային փոխարկիչներ: Որպես օրինակ համակարգչային բլոկում առկա 1,5 Վ-ը փոխակերպվում և համակարգչային USB պորտին է հասնում մինչև 5Վ [3,4]:

Իմպուլսային կերպափոխիչների առավելությունը նաև այն է, որ ունեն բարձր օ.գ.գ.(60÷90% սահմանում) և մուտքային լարումների լայն դիապազոն. Մուտքային լարումը կարող է լինել ելքայինից բավականին ցածր:

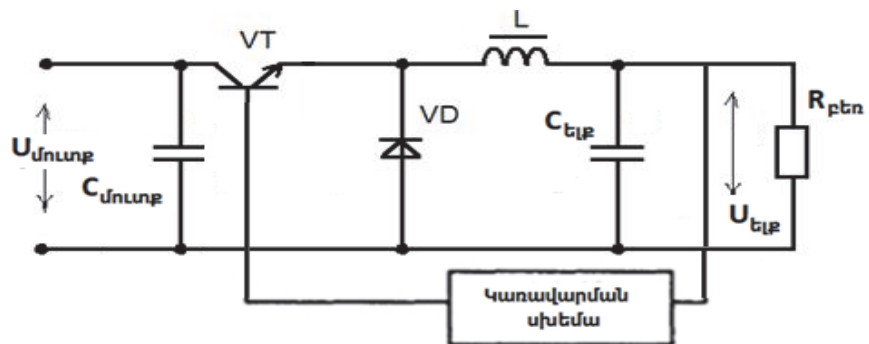
Հաստատուն լարման կերպափոխիչները բաժանվում են մի քանի խմբերի:

**1. step- down կամ buck- իջեցնող կերպափոխիչ:** Այս փոխարկիչների ելքային լարումը, որպես կանոն, ավելի ցածր է, քան մուտքային լարումը:

Առանց կարգավորող տրանզիստորի ջերմային հատուկ կորուստների՝ 12 ... 50 Վ մուտքային լարման դեպքում կարելի է ստանալ ընդամենը մի քանի վոլտ լարում:

Նման կերպափոխիչների ելքային հոսանքը կախված է բեռի պահանջարկից, որն իր հերթին որոշում է փոխարկիչի սխեման:

Իջեցնող chooper-buck տեսակի փոխարկիչի սխեման ցույց է տրված նկ.1-ում:



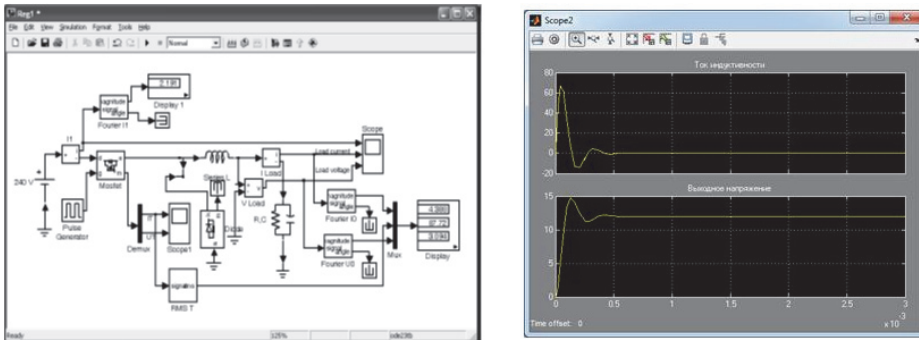
Նկ.1. Իջեցնող chooper-buck տեսակի փոխարկիչի սխեման

$U_{մուտք}$  մուտքային լարումը տրվում է  $C_{մուտք}$  զտող մուտքային կոնդենսատորին: Որպես բանալիային տարր օգտագործվում է VT տրանզիստորը: Այն իրականացնում է հոսանքի բարձր հաճախականային կոմուտացիա, որը կարող է լինել սովորական երկբևեռ տրանզիստոր կամ MOSFET, IGBT կառուցվածքով տրանզիստոր: Բացի նշվածներից, սխեմայում առակա են VD դիոդ, L և  $C_{ելք}$  ելքային զտիչներ, որոնցից էլ լարումն անցնում է  $R_{բեռ}$  բեռին: Դժվար չի տեսնել, որ բեռը հաջորդաբար միացված է VT և L տարրերին, այսինքն սխեման հաջորդական է, որի պատճառով էլ տեղի ունենում լարման իջեցումը:

Թվային տեխնիկայի ներկայիս զարգացածության աստիճանը թույլ է տալիս մոդելավորել տարատեսակ էլեկտրոնային սխեմաներ: Այդ գործընթացը հնարավորություն է ստեղծում՝ առանց նյութական մեծ ծախսերի և ժամանակի անտեղի կորուստի, ստանալ էլեկտրական սխեմաների աշխատանքի իդեալական պատկերը և պարամետրերը:

MATLAB համակարգի Simulink ընդլայնման փաթեթը գծային և ոչ գծային դինամիկական համակարգերի և սարքավորումների մոդելավորման համար նախատեսված ինտերակտիվ ծրագրային համալիրի միջուկն է:

Իջեցնող կերպափոխիչի մոդելը, հավաքված Simulink-ով, պատկերված է նկ. 2-ում:

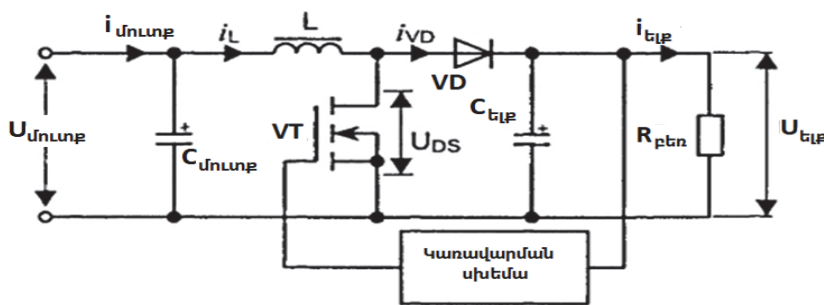


Նկ. 2. Իջեցնող կերպափոխիչի մոդելի տեսքը

Մոդելավորման մեթոդի ճիշտ ընտրությունը որոշիչ է մոդելավորման հաջողության համար:

**2. step-up կամ boost- բարձրացնող կերպափոխիչ:** Այս տիպի կերպափոխիչներում ելքային լարումը բարձր է մուտքայինից: Օրինակ՝ 5Վ մուտքային լարման դեպքում ելքում կարելի է ստանալ մինչև 30Վ լարում, ինչպես նաև հնարավոր են դրա սահուն կարգավորումը և կայունացումը:

Բարձրացնող կերպափոխիչներն օգտագործվում են հիմնականում ցածր վոլտային սնման դեպքում, օրինակ՝ 2-3 մարտկոցներից: Օգտագործելով բարձրացնող կերպափոխիչ՝ սխեմայի ելքում կարելի է ստանալ 12÷15Վ լարում՝ ցածր հոսանքի օգտագործմամբ (նկ.3): Շատ հաճախ բարձրացնող կերպափոխիչն անվանում են «բուստեր»:



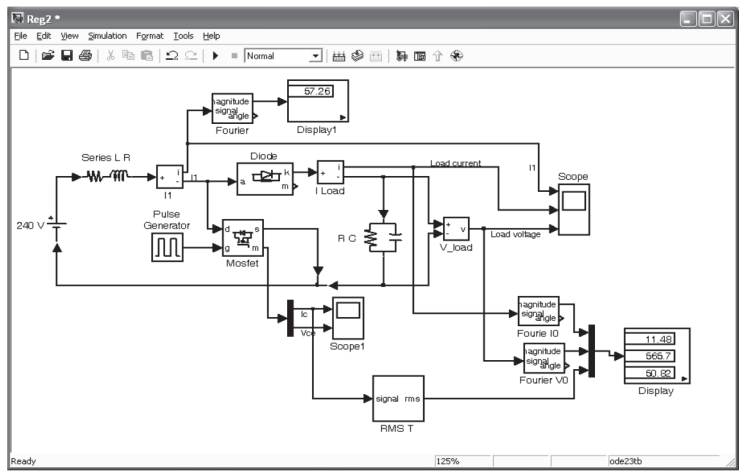
Նկ.3. Բարձրացնող կերպափոխիչի ֆունկցիոնալ սխեման

$U_{մուտք}$  մուտքային լարումը տրվում է  $C_{մուտք}$  մուտքային զտիչին և փոխանցվում հաջորդաբար միացված  $L$  ինդուկտիվ կոճին և  $VT$  կոմուտացնող դաշտային տրանզիստորին: Կոճի և տրանզիստորի միացման հանգույցին միացված է  $VD$

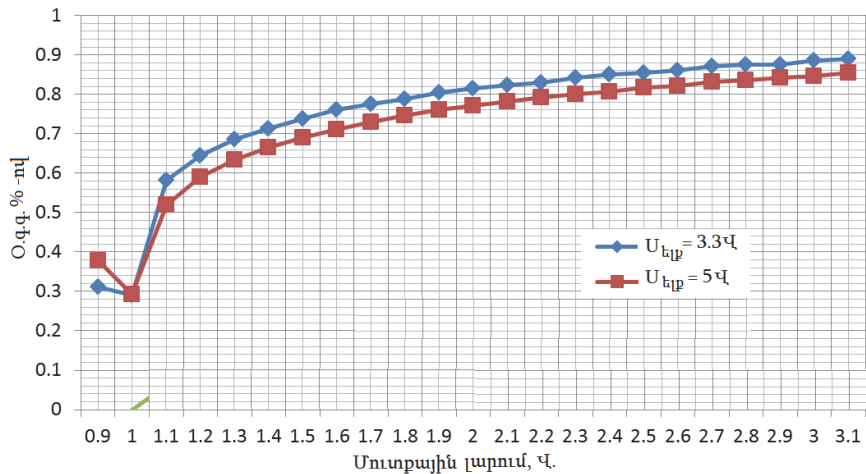
դիողը: Դիողի մյուս ելուստին միացված են  $R_{բեռ}$  բեռը և շունտավորող  $C_{ելք}$  կոնդենսատորը: VT տրանզիստորը կառավարվում է կառավարման սխեմայով, որն ապահովում է կայուն հաճախականությամբ կառավարման ազդանշան՝ D լրացման կարգավորվող գործակցով, այնպես, ինչպես նկ. 7-ում պատկերված սխեմայի նկարագրման դեպքում: VD դիողը անհրաժեշտ պահին արգելափակում է բանալիային տրանզիստորի բեռնվածությունը:

Երբ բաց է բանալիային տրանզիստորը, սխեմայի L կոճի աջ ելքը միանում է  $U_{մուտք}$  սնման աղբյուրի բացասական բևեռին: Աճող հոսանքը սնման աղբյուրից անցնում է կոճի և բաց տրանզիստորի միջով, կոճի մեջ կուտակելով էներգիա: Այդ ժամանակ VD դիողը արգելափակում է բեռը և ելքային կոնդենսատորը բանալիային սխեմայից՝ այդպիսով կանխարգելելով ելքային կոնդենսատորի լիցքաթափումը բաց տրանզիստորի միջով: Բեռնվածությունը այդ պահին սնվում է  $C_{ելք}$  կոնդենսատորում կուտակված էներգիայով: Բնական է, որ լարումը ելքային կոնդենսատորում ընկնում է: Հենց որ լարումը ելքում տրվածից փոքր ինչ կիջնի, VT բանալիային տրանզիստորը փակվում է, և դրոսելում կուտակված էներգիան VD դիողի միջոցով լիցքավորում է  $C_{ելք}$  կոնդենսատորը, որը սնում է բեռին: Այդ դեպքում L կոճի ինքնինդուկցիայի էլշուն գումարվում է մուտքային լարմանը և փոխանցվում է բեռին, հետևաբար՝ ելքում լարումը ստացվում է մուտքային լարումից մեծ: Երբ ելքային լարումը հասնում է կայունացված սահմանված մակարդակին, կառավարման սխեման բացում է VT տրանզիստորը, և գործընթացը կրկնվում է էներգիայի կուտակման փուլից:

Բարձրացնող կերպափոխիչի մոդելը, հավաքված Simulink-ով, պատկերված է նկ. 4-ի ա-ում, իսկ բնութագրերի տեսքը՝ նկ. 4-ի բ-ում:



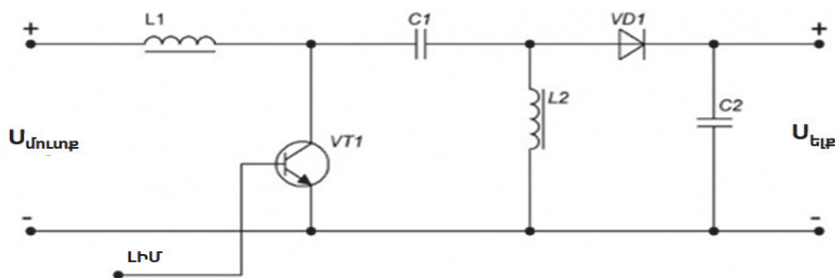
Նկ. 4- ա. Բարձրացնող կերպափոխիչի մոդելի տեսքը



Նկ. 4-բ. Բնութագրերի տեսքը

**3. SEPIK (single-ended primary-inductor converter)-ունիվերսալ կերպափոխիչներ:** Այս կերպափոխիչների ելքային լարումը պահվում է տրված մակարդակով՝ ինչպես մուտքայինից բարձր, այնպես էլ՝ ցածր: Խորհուրդ է տրվում օգտագործել, երբ մուտքային լարումը կարող է փոփոխվել զգալի սահմաններում: Օրինակ՝ մարտկոցի լարումը կարող է փոփոխվել 9÷14Վ սահմաններում, երբ պահանջվում է ստանալ 12Վ կայուն լարում:

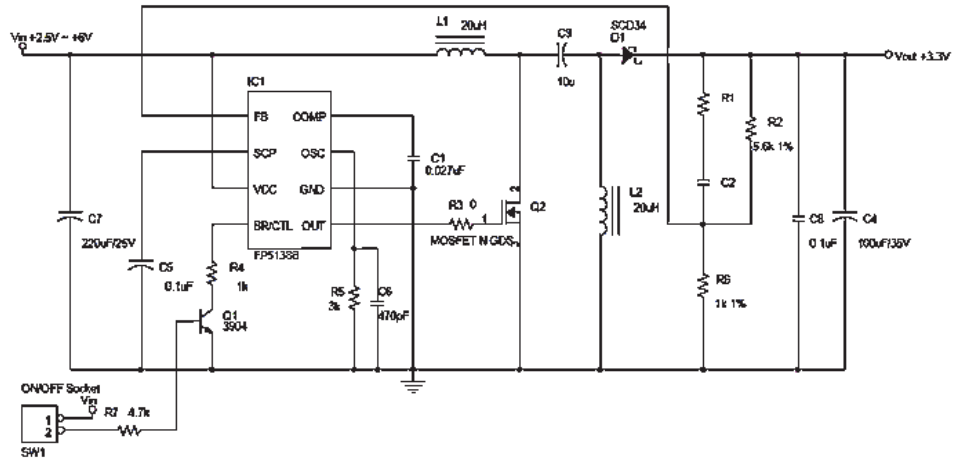
Նման կերպափոխիչներն օգտագործվում են հիմնականում այն դեպքում, երբ բեռն ունի աննշան հզորություն, իսկ մուտքային լարումը փոփոխվում է ելքից կախված (նկ. 5):



Նկ. 5. SEPIK կերպափոխիչի ֆունկցիոնալ սխեման

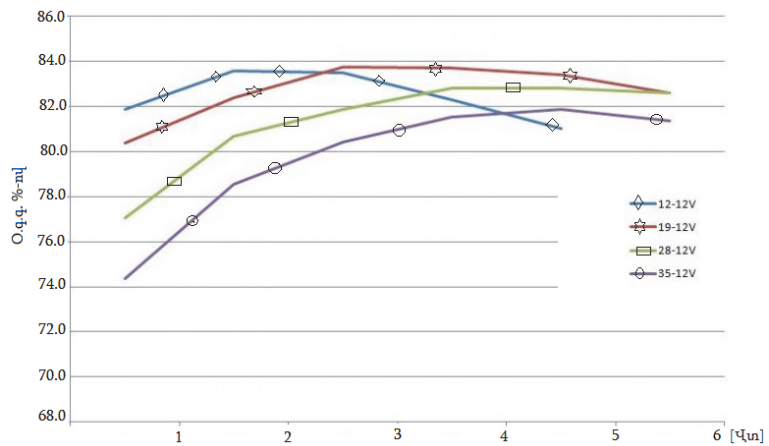
Սխեման շատ նման է բարձրացրող կերպափոխիչի սխեմային (նկ. 3), բայց ունի լրացուցիչ տարրեր՝ C1 կոնդենսատոր և L2 կոճ: Լարման իջեցման ռեժիմում հենց այդ տարրերն են ապահովում կերպափոխիչի աշխատանքը:

SEPIK կերպափոխիչներն օգտագործվում են այն դեպքերում, երբ մուտքային լարումը փոխվում է լայն դիապազոնում (նկ. 6-ա):



Նկ. 6-ա. SEPIK կերպավորիչի սկզբունքային սխեման

Քանի որ SEPIS կերպավորիչն օժտված է ոչ միայն կարգավորվող ելքով, այլև ունիվերսալ մուտքով, ապա օ. գ. գ. -ի արդյունավետությունը կարելի է չափել տարբեր աշխատանքային ռեժիմներում և ստանալ աշխատանքային բնութագծեր տարբեր գրաֆիկների տեսքով: Մուտքային 12, 19 և 35 վ լարումների դեպքում ելքում ստացվում է 5 վ: Գրաֆիկի հորիզոնական առանցքի միավորները համապատասխանում են 5 Վտ քայլերին (նկ. 6-բ):



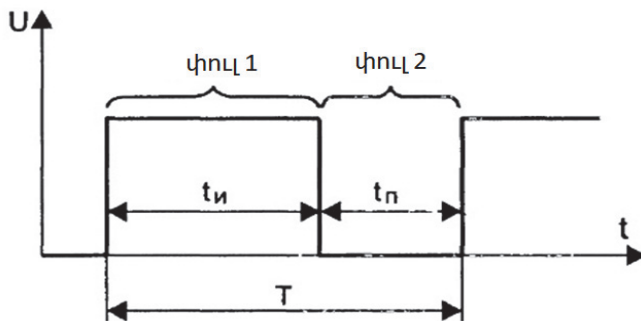
Նկ. 6-բ. SEPIK կերպավորիչի աշխատանքային բնութագծերը տարբեր գրաֆիկների տեսքով

4. **inverting converter - ինվերտող կերպավորիչ:** Այս կերպավորիչների հիմնական ֆունկցիան ելքում սնման աղբյուրի նկատմամբ հակառակ բևեռականությամբ լարում ստանալն է: Սա շատ հարմար է այն դեպքերում, երբ

պահանջվում է ստանալ երկբևեռ սնուցում: Նման կերպափոխիչ կիրառվում է հիմնականում օպերացիոն ուժեղարանների սնման համար:

Թվարկված կերպափոխիչները կարող են լինել կայունացված կամ չկայունացված, ելքային լարումը կարող է կապված լինել գալվանական կապով մուտքայինի հետ կամ ունենալ լարումների գալվանական հանգուցալուծում: Ամեն ինչ կախված է կոնկրետ սարքավորումից, որում օգտագործվելու է կերպափոխիչը:

5. **PWM -լայնա-իմպուլսային մոդուլյացիա (LHՄ):** Կառավարման սխեման ձևավորում է ուղղանկյունաձև կայուն հաճախականությամբ իմպուլսներ, որոնք ցույց են տրված նկ. 7-ում:



Նկ. 7. Կառավարման իմպուլսներ

Նկ. 7-ում  $t_n$ -ն իմպուլսի տևողությունն է, այսինքն տրանզիստորը բաց է,  $t_n$ -ն դադարի տևողությունն է, տրանզիստորը փակ է:  $t_n/T$  հարաբերակցությունը կոչվում է duty cycle լրացման գործակից, նշվում է  $D$  տառով և արտահայտվում է %-ներով կամ ուղղակի թվերով: Օրինակ,  $D=50\%$  դեպքում ստացվում է  $D=0,5$ :

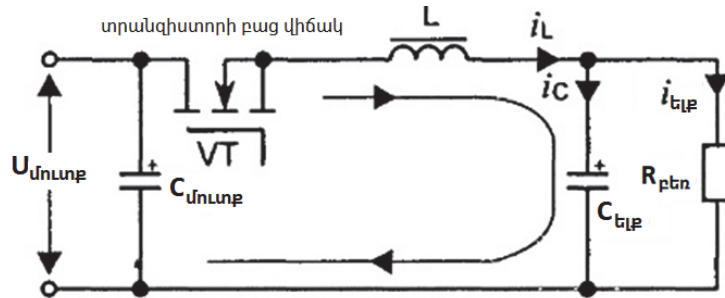
Այսպիսով,  $D$ -ն կարող է փոփոխվել 0-ից մինչև 1:  $D=1$  դեպքում բանալիային տանզիստորը գտնվում է լիարժեք հաղորդականության վիճակում, իսկ  $D=0$ ՝ անջատման վիճակում, այսինքն փակ է: Հեշտ է կռահել, որ երբ  $D=50\%$ , ելքային լարումը հավասար կլինի մուտքային լարման կեսին:

Ակնհայտ է, որ ելքային լարման կարգավորումը տեղի է ունենում  $t_n$  կառավարող իմպուլսի լայնության փոփոխության հաշվին: Կարգավորման այդ սկզբունքը կոչվում է լայնա-իմպուլսային մոդուլյացիա (PWM): Գործնականում բոլոր իմպուլսային սնուցման բլոկներում հենց LHՄ-ի միջոցով է իրականանում ելքային լարման կայունացումը:

Նկ. 1 և 3-ում ցուցադրված սխեմաներում LHՄ «թաքցված է» «կառավարման սխեմա» ուղղանկյուններում, որն իրականացնում է որոշակի լրացուցիչ ֆունկցիաներ: Օրինակ, դա կարող է լինել ելքային լարման սահուն թողարկում, փոխարկիչի հեռակառավարման միացում կամ կարճ միացումից պաշտպանություն:

Ըստ նկ. 8-ի և 9-ի, D գործակցով է որոշվում, թե որքան ժամանակով է բաց լինելու (փուլ 1) կամ փակ լինելու (փուլ 2) բանալիային տրանզիստորը: Այդ երկու ֆազերի համար կարելի է ներկայացնել սխեման երկու նկարներով՝ նկ. 8 և 9:

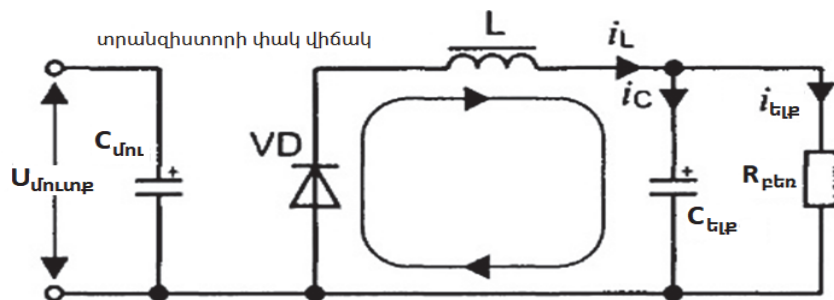
Նկ. 8-ում ցուցադրված չեն այն տարրերը, որոնք տվյալ ֆազում չեն օգտագործվում:



Նկ. 8. Փուլ 1

Բաց տրանզիստորի դեպքում սնման աղբյուրից (գալվանական էլեմենտ, մարտկոց, ուղղիչ) հոսանքն անցնում է L ինդուկտիվ դրոսելի, R<sub>բեռ</sub> բեռի, լիցքավորվող C<sub>ելք</sub> կոնդենսատորի միջով: Այդ ժամանակ բեռի միջով անցնում է հոսանք, C<sub>ելք</sub> կոնդենսատորը և L դրոսելը կուտակում են էներգիա: i<sub>L</sub> հոսանքը աստիճանաբար աճում է, ինչը դրոսելի ինդուկտիվության ազդեցությունն է: Այդ ֆազը կոչվում է «լիցքավորող-հավաքող»:

Հենց որ բեռի վրա լարումը հասնում է տրված արժեքին, VT տրանզիստորը փակվում է, և սարքավորումն անցնում է երկրորդ՝ լիցքաթափման ֆազին: Փակ տրանզիստորը նկարում ցուցադրված չէ, իրականում այն փակ է:



Նկ. 9. Փուլ 2

Փակ տրանզիստորի դեպքում դրոսելում էներգիայի համալրում տեղի չի ունենում, քանի որ սնման աղբյուրն անջատած է: L ինդուկտիվությունը ձգտելու է դիմադրել դրոսելի փաթույթի միջով անցնող հոսանքի արժեքի և ուղղության

փոփոխմանը: Հոսանքն ակնթարթորեն ընդհատվել չի կարող և փակվում է «դիոդ-բեռ» շղթայի միջոցով: Այդ պատճառով VD դիոդը կոչվում է լիցքաթափող: Կառավարման գործընթացի ավարտվելուց հետո ֆազ 2-ը անցնում է ֆազ 1-ին, գործընթացը նորից կրկնվում է: Դիտարկված սխեմայի ելքում մաքսիմալ լարումը կարող է հավասարվել մուտքայինին, բայց ոչ ավելի:

Որպեսզի ստանալ ավելի մեծ լարում, քան մուտքայինն է, օգտագործվում են բարձրացնող կերպափոխիչներ:

Բերված ցուցադրական օրինակներից ակնհայտ է, որ MATLAB/Simulink փաթեթի միջոցով մոդելավորումը ունակ է լուծելու սարքավորումների ստեղծման ոլորտի բազմաթիվ խնդիրներ: Իհարկե, այդպիսի մոդելավորումը երբեք չի փոխարինի սարքերի իրական (ֆիզիկական) կառուցմանը և թեստավորմանը: Սակայն այն կարող է կտրուկ կրճատել նոր էլեկտրական սարքերի ստեղծման աշխատարար և թանկարժեք փուլերը: Կարելի է համարել, որ այդպիսի սարքերի ստեղծումից առաջ կատարվող մոդելավորումը ներկայումս նախագծման պարտադիր նորմ է:

Արժե նշել նաև, որ մոդելավորման գործընթացում սխեմայի բոլոր բաղադրիչները իդեալական են, այսինքն միացումը և անջատումը տեղի է ունենում առանց ձգձգումների, իսկ ակտիվ դիմադրությունը զրոյական է:

Աշխատանքում դիտարկված ավտոմատ կառավարման համակարգերում լայն կիրառում գտած հաստատուն լարման կերպափոխիչների սխեմաների պատրաստման դեպքում անհրաժեշտ է հաշվի առնել շատ հանգամանքներ, քանի որ շատ բան կախված է օգտագործվող բաղադրիչների որակից և մոնտաժի պարագիտային կարողությունից: Չպետք է մոռանալ նաև, որ ինդուկտիվության արժեքը որոշում են կերպափոխիչի երկու ռեժիմները: Փոքր ինդուկտիվության դեպքում կերպափոխիչը կաշխատի ընդհատվող հոսանքների ռեժիմում, ինչը ընդհանրապես անթույլատրելի է սնման աղբյուրների համար, իսկ եթե ինդուկտիվությունը բավականին մեծ է, աշխատանքը իրականացվում է չընդհատվող հոսանքների ռեժիմում, ինչը թույլ է տալիս ելքային գոտիների միջոցով ստանալ անընդհատ լարում: Օ. գ. գ. -ի որոշակի բարձրացման համար VD կարգային դիոդը փոխարինվում է MOSFET տրանզիստորով, որը ցանկացած պահին բացվում է կառավարման սխեմայով: Այդպիսի կերպափոխիչները կոչվում են սինքրոն: Դրանց օգտագործումն արդարացված է, եթե կերպափոխիչի հզորությունը բավականին մեծ է:

Ամփոփելով կարելի է փաստել նաև, որ մոդելավորման գործընթացը հնարավորություն է ստեղծում, առանց նյութական մեծ ծախսերի և ժամանակի անտեղի կորստի, ստանալ էլեկտրական սխեմաների աշխատանքի իդեալական

պատկերը և պարամետրերը: Նման աշխատանքների կարևորության մեկ այլ տեսանկյունն էլ այն է, որ նախապես կարելի է չափել համակարգի սխալները և հնարավորինս փոքրացնել դրանք:

#### **ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ**

1. **Քարեղամյան Գ.Վ.** Ուժային էլեկտրոնիկայի հիմունքներ /Ուսումնական ձեռնարկ. – Երևան: ՀՊՃՀ, 2011. - 135 էջ:
2. **Попков О.З.** Основы преобразовательной техники. –М. : Издательский дом МЭИ, 2007. - 200 с.
3. **Розанов Ю.К.** Силовая электроника: Учебник для вузов. -М.: Издательский дом МЭИ, 2007.-632 с.
4. **Герман-Галкин С.Г.** Matlab & Simulink / Проектирование механотронных систем на ПК. – СПб.: КОРОНА Век, 2008. – 368 с.

**Վ.Կ. ԱՄԲԱՐՅԱՆ, Մ.Յ. ԱԿՕՍՅԱՆ**

#### **ИССЛЕДОВАНИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ПОСТОЯННОГО НАПРЯЖЕНИЯ И ПОЛУЧЕНИЕ ИХ ХАРАКТЕРИСТИК С ПОМОЩЬЮ ВИРТУАЛЬНОЙ МОДЕЛИ**

Исследованы варианты цепей преобразователей постоянного напряжения, широко используемых в системах автоматического управления, и вопросы получения их характеристик с помощью виртуальной модели.

**Ключевые слова:** преобразователь постоянного напряжения, система автоматического управления, схема управления, транзистор, нагрузка, фильтр.

**V.K. HAMBARYAN, M.Z. HAKOPYAN**

#### **INVESTIGATING TRANSFORMERS OF CONSTANT VOLTAGE AND OBTAINING THEIR CHARACTERISTICS BY A VIRTUAL MODEL.**

The variants of circuits of a CV converter widely used in automatic control systems, and issues on obtaining their characteristics using a virtual model are considered.

**Keywords:** CV voltage converter, automatic control system, control circuit, transistor, load, filter.