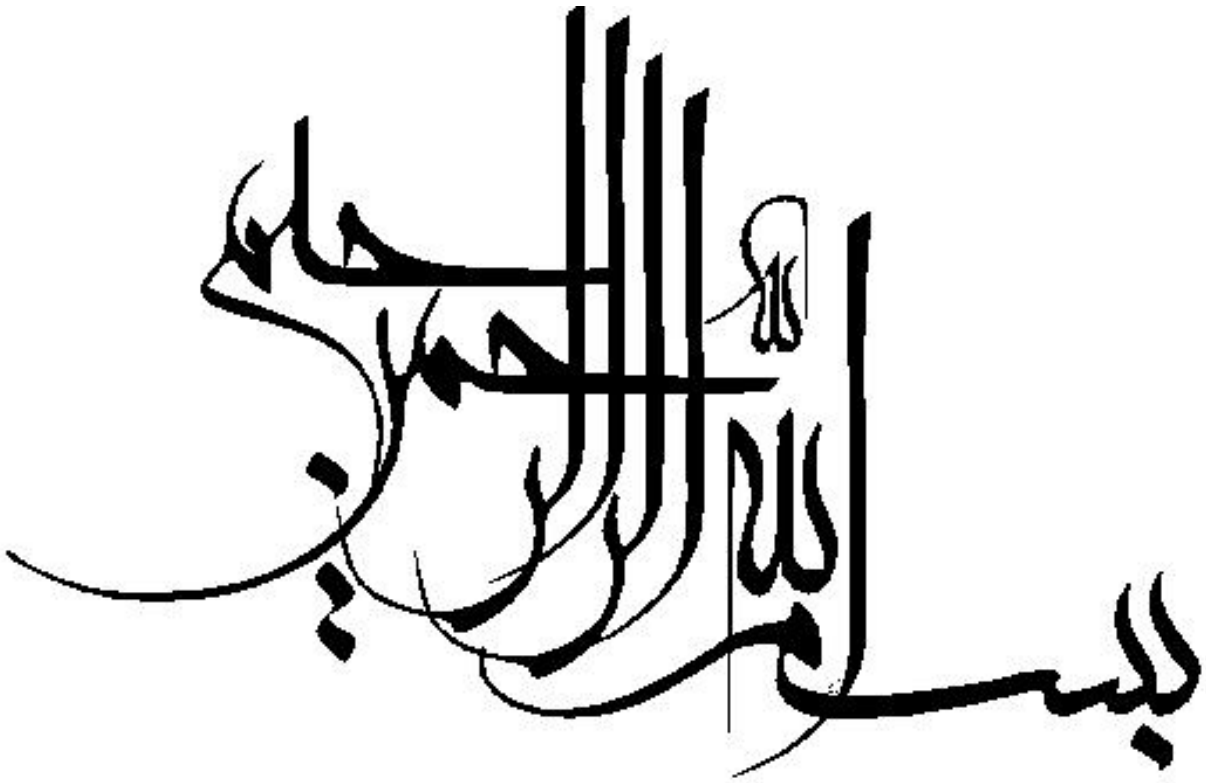

بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه کاشان

دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

گروه مهندسی برق - قدرت

پایان نامه

جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد

در رشته:

مهندسی برق – قدرت

عنوان:

طراحی سیستم کنترل توان برای ادوات ذخیره کننده انرژی در یک ریزشبکه دارای منابع تولید پراکنده

استاد راهنما:

دکتر عباس کتابی

استاد مشاور:

دکتر حمیدرضا محمدی

توسط:

سعید غفاری مقدم

بهمن ماه ۹۱

تقدیم به :

پدر ومادر عزیز

و خواهر مهربانم

که پشتیبان همیشگی من

دعای خیرشان است

((مَن عَلَّمَنی حَرفاً قَد سَیِّرنی عَبداً))

حمد و سپاس

خداوند مهربان

که بی الطافش هیچ کاری به ثمر نخواهد نشست

و باتشکر از

استاد گرانقدر جناب آقای **دکتر حمیدرضا محمدی** که با ارائه مشاوره‌هایشان راهگشای بنده بودند و همچنین اساتید محترم جناب آقای **دکتر ابوالفضل حلوایی نیاسر** و جناب آقای **دکتر محسن رحیمی** که زحمت داوری این پایان-نامه را برعهده گرفتند.

و با قدردانی ویژه از

استاد گرانقدر جناب آقای دکتر عباس کتابی

که با راهنمایی‌های بی‌دریغشان در این مسیر مرا یاری نمودند.

چکیده:

در عصر حاضر، یکی از منابع تأمین انرژی، انرژی‌های تجدیدپذیر است. محققین پیش‌بینی می‌کنند، نقش منابع انرژی تجدیدپذیر در تأمین انرژی در آینده، اساسی خواهد بود که لزوم تحقیقات در این حوزه را آشکار می‌سازد.

در این پایان‌نامه، سیستم مورد مطالعه، ترکیبی از فتوولتائیک (منبع اصلی)، باتری (ذخیره-کننده انرژی فرکانس پایین) و ابرخازن (ذخیره‌کننده انرژی فرکانس بالا) می‌باشد که به صورت متصل به شبکه مورد استفاده قرار گرفته است. ارتباط منابع با شبکه نیز، به کمک مبدل‌های واسط DC/DC و DC/AC انجام می‌پذیرد.

پس از معرفی و مدل‌سازی اجزای سیستم ترکیبی، سیستم کنترل توان برای هریک از المان‌ها معرفی و به کار برده می‌شود. برای آرایه فتوولتائیک از روش تعقیب نقطه حداکثر توان جهت قراردادن نقطه کار آن در نقطه کار متناظر با توان ماکزیمم استفاده می‌شود. همچنین از تفکیک فرکانس جهت تعیین سهم هریک از عناصر ذخیره‌کننده انرژی، در برقراری توازن توان بهره برده می‌شود. در ادامه، کنترل‌کننده ویولت معرفی می‌گردد و رفتار آن در مقابل کنترل-کننده PID ارزیابی می‌گردد.

در نهایت سیستم کنترل توان کلی، معرفی گردیده و در محیط نرم‌افزار Matlab/Simulink

شبیه‌سازی شده است که نتایج، حاکی از عملکرد صحیح سیستم کنترل، جهت تأمین توان مورد تقاضای شبکه و همچنین برتری کنترل‌کننده ویولت نسبت به PID است.

کلمات کلیدی: سیستم کنترل توان، فتوولتائیک، باتری، ابرخازن، کنترل‌کننده ویولت

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: مقدمه

۱-۱ اهمیت موضوع ۲

۱-۲ اهداف پایان‌نامه ۸

۱-۳ ساختار پایان‌نامه ۹

فصل دوم: مروری بر مطالعات انجام‌شده

۲-۱ مقدمه ۱۱

۲-۲ منابع و ذخیره‌کننده‌های انرژی ۱۱

۲-۳ کنترل منابع و سیستم ترکیبی ۱۳

۲-۴ بهره‌برداری از سیستم ترکیبی ۱۶

۲-۵ جمع‌بندی ۱۸

فصل سوم: معرفی و مدل‌سازی اجزای تشکیل‌دهنده سیستم ترکیبی

۳-۱ مقدمه ۲۰

۳-۲ سلول فتوولتائیک ۲۰

۳-۲-۱ مدار معادل سلول فتوولتائیک ۲۲
۳-۲-۲ مشخصه ولتاژ – جریان مدل دو دیودی سلول فتوولتائیک ۲۴
۳-۲-۳ ماژول و آرایه سلول فتوولتائیک ۲۵
۳-۲-۴ مشخصه عملکرد ماژول فتوولتائیک ۲۷
۳-۲-۵ تأثیر دما و چگالی تابش بر مشخصه ماژول فتوولتائیک ۲۸
۳-۲-۶ تعیین نقطه حداکثر توان ۳۰
۳-۳ باتری ۳۴
۳-۳-۱ مقایسه انواع باتری‌ها ۳۵
۳-۳-۱-۱ سرب - اسید ۳۵
۳-۳-۱-۲ سدیم سولفور ۳۶
۳-۳-۱-۳ نیکل – کادمیوم ۳۷
۳-۳-۱-۴ لیتیم – یون ۳۷
۳-۳-۲ مقایسه انواع باتری‌های لیتیم – یون ۳۸
۳-۳-۲-۱ اکسید کبالت لیتیم ۳۹
۳-۳-۲-۲ اکسید منگنز لیتیم ۳۹
۳-۳-۲-۳ $Li(NiCoMn)O_2$ ۳۹
۳-۳-۲-۴ فسفات آهن لیتیم ۴۰
۳-۳-۳ مدل‌سازی باتری ۴۰
۳-۳-۳-۱ مدل بر مبنای مدار معادل تونن ۴۱
۳-۳-۳-۲ مدل بر مبنای امپدانس ۴۱

۳-۳-۳-۳ مدل بر مبنای زمان کارکرد ۴۲
۳-۳-۳-۴ مدل هیبرید ۴۲
۳-۴ ابرخازن ۴۴
۳-۴-۱ چرا ابرخازن‌ها توسعه یافته‌اند؟ ۴۵
۳-۴-۲ چگونگی ذخیره انرژی در ابرخازن‌ها ۴۷
۳-۴-۳ مدل‌سازی ابرخازن ۴۹
۳-۵ مبدل‌های الکترونیک قدرت ۴۹
۳-۵-۱ مبدل DC/DC ۵۱
۳-۵-۱-۱ مبدل باک – بوست ۵۲
۳-۵-۱-۲ مبدل دوجهته DC/DC ۵۳
۳-۵-۲ مبدل DC/AC ۵۵

فصل چهارم: کنترل و شبیه‌سازی سیستم ترکیبی فتوولتائیک – باتری - ابرخازن

۴-۱ مقدمه ۵۸
۴-۲ سلول فتوولتائیک ۵۹
۴-۲-۱ شبیه‌سازی ماژول فتوولتائیک ۵۹
۴-۲-۲ کنترل سلول فتوولتائیک به کمک الگوریتم MPPT ۶۰
۴-۲-۲-۱ روش اغتشاش و مشاهده (P&O) ۶۱
۴-۲-۲-۲ روش رسانای افزایشی (Inc. Cond.) ۶۳
۴-۳ عناصر ذخیره‌کننده انرژی ۶۵

۴-۳-۱ پیاده‌سازی باتری ۶۵
۴-۳-۲ پیاده‌سازی ابرخازن ۶۷
۴-۳-۳ کنترل عناصر ذخیره‌کننده انرژی ۶۷
۴-۴ کنترل‌کننده ویولت ۶۸
۴-۴-۱ مقدمه ۶۹
۴-۴-۲ تئوری ویولت و آنالیز چنددقته (MR) ۷۰
۴-۴-۳ نگرش جدید بر عملکرد کنترل‌کننده PID ۷۴
۴-۴-۴ طراحی کنترل‌کننده MRPID ۷۵
۴-۵ سیستم کنترل کلی سیستم ۷۷
۴-۶ جمع‌بندی ۷۹

فصل پنجم: نتایج شبیه‌سازی

۵-۱ شبیه‌سازی عناصر به صورت مستقل ۸۱
۵-۱-۱ بررسی صحت عملکرد مدل باتری ارائه‌شده ۸۱
۵-۱-۲ بررسی صحت عملکرد مدل فتوولتائیک ارائه‌شده ۸۲
۵-۲ نتایج شبیه‌سازی سیستم ترکیبی مورد مطالعه اول ۸۳
۵-۲-۱ استفاده از کنترل‌کننده PID ۸۴
۵-۲-۲ استفاده از کنترل‌کننده ویولت ۸۶
۵-۲-۳ مقایسه بین عملکرد دو کنترل‌کننده PID و ویولت ۸۷
۵-۲-۳-۱ بررسی توان تولیدی ریزشبکه ۸۸

۵-۲-۳-۲ بررسی ولتاژ باس dc ۸۹

۵-۳ نتایج شبیه‌سازی سیستم ترکیبی مورد مطالعه دوم ۹۰

۵-۳-۱ استفاده از کنترل‌کننده ویولت ۹۱

۵-۳-۲ استفاده از کنترل‌کننده PID ۹۳

فصل ششم: نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهادات

۶-۱ نتیجه‌گیری ۹۶

۶-۲ پیشنهادات ۹۷

مراجع ۹۸

فهرست جدول‌ها

عنوان **صفحه**

جدول ۳-۱ مقایسه مشخصه سلول‌های فتوولتائیک ۲۱

جدول ۳-۲ مقایسه روش‌های تعیین نقطه حداکثر توان ماژول فتوولتائیک ۳۳

جدول ۳-۳ مقایسه خواص برخی باتری‌ها ۳۸

جدول ۳-۴ مقایسه انواع باتری‌های لیتیم – یون ۴۰

جدول ۳-۵ مقایسه ابرخازن با باتری سرب – اسید ۴۶

جدول ۴-۱ نمادهای مورد استفاده در بحث ویولت ۷۰

جدول ۴-۲ مثال‌هایی از ویولت‌های مادر مرسوم ۷۱

جدول ۵-۱ خصوصیات فنی ماژول SPR-200-BLK در شرایط استاندارد ۸۲

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل ۱-۱ سهم هریک از نیروگاه‌ها در تولید انرژی الکتریکی جهان ۳

شکل ۱-۲ تغییرات توان تولیدی سلول فتوولتائیک و پروفیل بار ۷

شکل ۱-۳ چگالی توان در برابر چگالی انرژی برای ذخیره‌کننده‌های متفاوت ۸

شکل ۳-۱ ساختار سلول فتوولتائیک ۲۱

شکل ۳-۲ مدار معادل ایده‌ال سلول فتوولتائیک ۲۲

شکل ۳-۳ مدار معادل تک دیودی سلول فتوولتائیک ۲۳

شکل ۳-۴ مدار معادل دو دیودی سلول فتوولتائیک ۲۳

شکل ۳-۵ اتصال سلول‌ها به یکدیگر به صورت سری و موازی ۲۶

شکل ۳-۶ یک نمونه ماژول فتوولتائیک دارای ۳۶ سلول ۲۶

شکل ۳-۷ سلول، ماژول و آرایه فتوولتائیک ۲۷

شکل ۳-۸ مشخصه عملکرد ماژول فتوولتائیک ۲۸

شکل ۳-۹ مشخصه ولتاژ– جریان ماژول فتوولتائیک در ازای تغییر دما و چگالی تابش ثابت ۲۹

شکل ۳-۱۰ مشخصه ولتاژ– توان ماژول فتوولتائیک در ازای تغییر دما و چگالی تابش ثابت ۲۹

شکل ۳-۱۱مشخصه ولتاژ– جریان ماژول فتوولتائیک درازای تغییرچگالی تابش ودمای ثابت۳۰

شکل ۳-۱۲ مشخصه ولتاژ– توان ماژول فتوولتائیک درازای تغییر چگالی تابش ودمای ثابت ۳۰

شکل ۳-۱۳ مقایسه توان دریافتی از ماژول با MPPT و بدون آن ۳۲

شکل ۳-۱۴ سلول باتری ۳۴

شکل ۳-۱۵ باتری سرب – اسید ۳۵

شکل ۳-۱۶ باتری سدیم سولفور ۳۶

شکل ۳-۱۷ باتری لیتیم – یون ۳۷

شکل ۳-۱۸ مدل بر مبنای مدارمعادل تونن باتری ۴۱

شکل ۳-۱۹ مدل بر مبنای امپدانس باتری ۴۲

شکل ۳-۲۰ مدل بر پایه زمان کارکرد باتری لیتیم – یون ۴۲

شکل ۳-۲۱ مدار دینامیکی باتری لیتیم – یون ۴۳

شکل ۳-۲۲ شماتیک یک ابرخازن از نوع لایه دوگانه ۴۸

شکل ۳-۲۳ مدارمعادل پیشنهادی بسیار دقیق برای ابرخازن ۴۹

شکل ۳-۲۴ شمای کلی از یک نوع سیستم ترکیبی ذخیره‌کننده انرژی ۵۰

شکل ۳-۲۵ شمای کلی از سیستم ترکیبی ذخیره‌کننده انرژی مورد استفاده ۵۱

شکل ۳-۲۶ مبدل باک – بوست ۵۲

شکل ۳-۲۷ مبدل باک – بوست در وضعیت S روشن و D خاموش ۵۲

شکل ۳-۲۸ مبدل باک – بوست در وضعیت S خاموش و D روشن ۵۳
شکل ۳-۲۹ ساختار مداری مبدل DC/DC دوجهته ۵۴
شکل ۳-۳۰ شماتیک اینورتر سه شاخه ۵۶
شکل ۴-۱ شمای کلی از عناصر ریزشبکه و سیستم کنترلی ۵۸
شکل ۴-۲ شبیه‌سازی ماژول فتوولتائیک ۶۰
شکل ۴-۳ کنترل آرایه خورشیدی به کمک الگوریتم MPPT ۶۰
شکل ۴-۴ فلوچارت روش P&O با گام اغتشاش C_P ۶۱
شکل ۴-۵ تغییر منحنی عملکرد در نتیجه تغییر چگالی تابش ۶۲
شکل ۴-۶ تغییرات مشتق توان نسبت به ولتاژ در مشخصه سلول فتوولتائیک ۶۳
شکل ۴-۷ فلوچارت روش رسانای افزایشی با گام اغتشاش C_a ۶۴
شکل ۴-۸ مدارمعادل باتری مورد استفاده در پایان‌نامه ۶۶
شکل ۴-۹ مدل الکتریکی ابرخازن ۶۷
شکل ۴-۱۰ مدیریت انرژی در عناصر ذخیره‌کننده انرژی ۶۸
شکل ۴-۱۱ نمودارهای اندازه در برابر زمان (ثانیه) ویولت‌های مادر جدول ۲-۴ ..... ۷۱
شکل ۴-۱۲ نمای کلی یک سیستم تک ورودی تک خروجی با کنترل‌کننده PID ۷۴
شکل ۴-۱۳ مراحل تجزیه سیگنال خطا ۷۶
شکل ۴-۱۴ بلوک دیاگرام یک سیستم با استفاده از کنترل‌کننده ویولت MR ۷۶
شکل ۴-۱۵ سیستم کنترل توان PV متصل به شبکه به همراه عناصرذخیره‌کننده انرژی ... ۷۸
شکل ۵-۱ منحنی ولتاژ در برابر زمان دشارژ باتری ۸۱
شکل ۵-۲ منحنی مشخصه جریان – ولتاژ شبیه‌سازی شده ۸۳

شکل ۵-۳ منحنی مشخصه ارائه شده توسط شرکت Sun Power ۸۳
شکل ۵-۴ مرجع توان شبکه ۸۴
شکل ۵-۵ توان تولیدی ماژول فتوولتائیک با کنترل‌کننده PID ۸۴
شکل ۵-۶ توان تولیدی باتری با کنترل‌کننده PID ۸۵
شکل ۵-۷ توان تولیدی ابرخازن با کنترل‌کننده PID ۸۵
شکل ۵-۸ توان تولیدی توسط ریزشبکه با کنترل‌کننده PID ۸۵
شکل ۵-۹ توان تولیدی ماژول فتوولتائیک با کنترل‌کننده ویولت ۸۶
شکل ۵-۱۰ توان تولیدی باتری با کنترل‌کننده ویولت ۸۶
شکل ۵-۱۱ توان تولیدی ابرخازن با کنترل‌کننده ویولت ۸۷
شکل ۵-۱۲ توان تولیدی ریزشبکه با کنترل‌کننده ویولت ۸۷
شکل ۵-۱۳ توان تولیدی ریزشبکه با کنترل‌کننده PID و ویولت ۸۸
شکل ۵-۱۴ مقدار ولتاژ باس dc با استفاده از کنترل‌کننده PI ۸۹
شکل ۵-۱۵ مقدار ولتاژ باس dc با استفاده از کنترل‌کننده ویولت ۸۹
شکل ۵-۱۶ مرجع توان شبکه ۹۰
شکل ۵-۱۷ توان تولیدی ماژول فتوولتائیک ۹۱
شکل ۵-۱۸ توان تولیدی باتری ۹۱
شکل ۵-۱۹ توان تولیدی ابرخازن ۹۲
شکل ۵-۲۰ توان تولیدی اجزای سیستم ترکیبی ۹۲
شکل ۵-۲۱ توان تولیدی ریزشبکه با کنترل‌کننده ویولت ۹۳
شکل ۵-۲۲ توان تولیدی ریزشبکه با کنترل‌کننده PID ۹۳

فهرست علائم اختصاری (Abbreviation)

PV	Photovoltaic
MPP	Maximum Power Point
MPPT	Maximum Power Point Tracking
P&O	Perturbation and Observe
IC	Incremental Conductance
SOC	State of Charge
PWM	Pulse Width Modulation
PID	Proportional Integrate Derivative
MR	Multi Resolution
SCU	Switching Control Unit
ACU	Automatic Control Unit
PCU	Power Control Unit
STC	Standard Test Condition

فصل اول

مقدمه

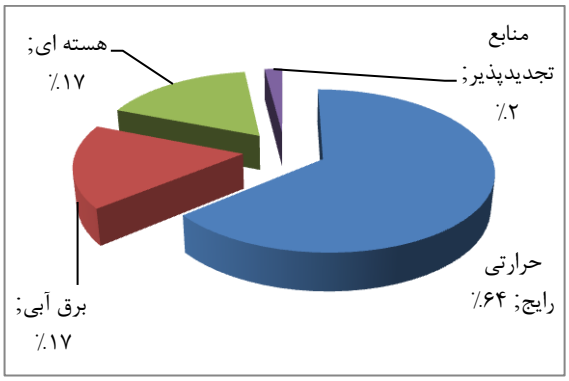
۱–۱ اهمیت موضوع

افزایش روزافزون مصرف انرژی، قیمت بالا و روبه افزایش، طبیعت فناپذیر سوخت‌های فسیلی و موقعیت بسیار بد محیط زیست جهانی، علاقه شدیدی را نسبت به منابع انرژی دوستدار محیط زیست ایجاد کرده است. در میان اشکال مختلف انرژی، انرژی الکتریکی یکی از مهمترین اقلام انرژی مورد نیاز بشر امروز است [۱].

هرچند مقدار ۸۶٪ از انرژی مصرفی جهان از منابع سوخت‌های فسیلی تأمین می‌شود اما کشمکش‌های جهانی در مناطق نفت و گاز و زغال‌سنگ خیز دنیا و اثرات آن‌ها روی بهای انواع سوخت‌های فسیلی، اقتصاد کشورهای پیشرفته را به سمت جدایی و عدم وابستگی به سوخت‌های فسیلی سوق می‌دهد. از طرفی، پیشرفت‌های تکنولوژیکی در بخش‌های مختلف مصرف، شکل انرژی مصرفی نهایی را به سمت انرژی الکتریکی کشانده است. آلودگی بسیار ناچیز در محل مصرف، انتقال ساده‌تر و کم‌خطرتر و با راندمان بالاتر، قابلیت کنترل بالا در محل تولید و مصرف و انعطاف‌پذیری بسیار زیاد در تغییر شکل به انواع دیگر انرژی در محل مصرف از جمله عوامل مؤثر دیگر در جذاب‌ترشدن انرژی الکتریکی نسبت به سایر انواع انرژی می‌باشد.

انرژی الکتریکی از منابع انرژی متنوعی قابل تولید است. انرژی الکتریکی را می‌توان به کمک نیروگاه‌های حرارتی (که از سوخت‌های فسیلی یا انرژی هسته‌ای استفاده می کنند)، نیروگاه‌های برق-آبی و سایر منابع انرژی تجدیدپذیر شامل توربین بادی، آرایه‌های خورشیدی، پیل‌های سوختی، نیروگاه‌های بیوماس، نیروگاه‌های زمین‌گرمایی و ... تولید کرد. سوخت‌های فسیلی (شامل زغال‌سنگ، نفت و گاز طبیعی) و انرژی هسته‌ای قابلیت تجدیدپذیری ندارند و منابع در دسترس آن‌ها نیز محدود است. از طرف دیگر، منابع انرژی تجدید پذیر (به عنوان مثال باد و خوشید) می-

توانند برای استفاده‌های آتی، خودتجدیدپذیر و پایدار باشند. شکل ۱-۱ سهم هریک از منابع اولیه انرژی (انواع نیروگاه‌ها) در تولید نهایی انرژی الکتریکی را در جهان نشان می‌دهد [۱].



شکل ۱-۱ سهم هریک از انواع نیروگاه‌ها در تولید انرژی الکتریکی جهان

علی رغم اینکه امروزه بخش اعظم انرژی الکتریکی جهان از منابع انرژی تجدیدناپذیر تولید می‌شود اما به دلایل زیر نقش انرژی‌های تجدیدپذیر در آینده بسیار بیشتر خواهد شد:

- منابع انرژی سنتی و رایج، تجدیدپذیر نیستند: همان‌طور که می‌دانیم منابع انرژی فسیلی و هسته‌ای تجدیدپذیر نیستند. منابع شناخته‌شده این سوخت‌ها در آینده نزدیک به پایان خواهند رسید. لذا استراتژی توسعه انرژی بلندمدت برای رشد پایدار و پیوسته اقتصادی بسیار مهم خواهد بود.
- تکنولوژی‌های تولید رایج، دوستدار محیط زیست نیستند: هرچند پیشرفت‌های قابل ملاحظه‌ای در تکنولوژی‌های مربوط به کاهش انتشار آلودگی در نیروگاه‌های مرسوم رخ داده است، اما نیروگاه‌های حرارتی رایج، هم‌چنان بیشترین حجم تولید گازهای آلاینده از قبیل اکسید سولفور و اکسید نیتروژن را به خود اختصاص داده‌اند [۱]. پسماندهای رادیواکتیویته نیروگاه‌های هسته‌ای یکی از بزرگترین نگرانی‌ها برای حافظان محیط زیست می‌باشد. سدها و منابع ذخیره آب در نیروگاه‌های برق-آبی می‌توانند سیستم‌های اکولوژیکی رودخانه‌های مبدأ و نواحی اطراف سد و منابع ذخیره را تغییر دهند.
- هزینه استفاده از سوخت‌های فسیلی و هسته‌ای هرروز بیشتر و بیشتر می‌شود: از آنجا که منابع سوخت فسیلی تجدیدپذیر نیستند و در عین حال تقاضای انرژی

جهانی همچنان رو به افزایش است، واضح است که بهای این سوخت‌ها بیشتر خواهد شد. به عنوان مثال در مقایسه با گاز و فرآورده‌های نفتی، زغال‌سنگ سوختی ارزان قیمت برای تولید انرژی الکتریکی محسوب می‌شود اما اگر هزینه‌های مربوط به کاهش آلایندگی این نیروگاه‌ها را در محاسبات مدنظر قرار دهیم، قیمت واقعی تولید واحد انرژی الکتریکی از منابع زغال‌سنگ عدد قابل ملاحظه‌ای خواهد بود. هزینه‌های در حال رشد استفاده از تکنولوژی‌های مرسوم، امکان رقابت را برای منابع انرژی تجدیدپذیر ایجاد کرده است و تغییر جهت از نیروگاه‌های مرسوم به منابع انرژی تجدیدپذیر جهت تولید انرژی الکتریکی را تأیید می‌کند.

- منابع انرژی برق-آبی بسیار محدود بوده و اغلب از محل مصرف فاصله زیادی دارند: انرژی برق-آبی مناسب به نظر می‌آید چرا که هم پاکیزه است و هم تجدیدپذیر. اما همانطور که قبلاً ذکر شد، حجم کل منابع برق-آبی که تا به حال کشف شده‌اند بسیار محدود و ناکافی است. در بسیاری از کشورهای توسعه‌یافته، تمامی منابع برق-آبی ممکن یافت شده و مورد بهره‌برداری قرار گرفته‌اند. علاوه بر این، به طور معمول منابع انرژی برق-آبی در مناطق دورافتاده از محل مصرف واقع شده‌اند. لذا خطوط انتقال طولانی نیز بر سختی‌ها و هزینه‌های بهره‌برداری افزوده است.
- نگرانی‌های سیاسی و اجتماعی در مورد امنیت و پایداری انرژی، انرژی هسته-ای را پیشتاز توسعه کرده است: به طور عموم، استراتژی انرژی دولت‌ها بر توسعه انرژی هسته‌ای استوار است. تقریباً هیچ مورد دیگری وجود ندارد که شرکت‌های تولید انرژی آن را با در نظرگرفتن ملاحظات اقتصادی جایگزین نیروگاه‌های هسته‌ای کنند. اما حوادثی نظیر نیروگاه هسته‌ای Three Mile Island در آمریکا در سال ۱۹۷۹ میلادی، Chernobyl در اوکراین در سال ۱۹۸۶ و Fukushima daiichi در ژاپن در سال ۲۰۱۱، ترسی را در میان مردم و مسئولان ایجاد کرده است. هیچ کس نمی-خواهد در همسایگی یک نیروگاه هسته‌ای یا تأسیسات جانبی آن ساکن باشد. لذا مواردی از این دست سیاست‌های دولت را به اجبار تغییر داده است؛ به طوری که در ایالت متحده آمریکا هیچ برنامه‌ای برای تأسیس نیروگاه‌های هسته‌ای جدید در آینده نزدیک وجود ندارد [۱]. در اروپا، چند کشور شامل ایتالیا، اتریش، بلژیک، آلمان و سوئد بعد از حادثه Chernobyl برنامه‌های نیروگاه‌های هسته‌ای خود را متوقف کرده‌اند.