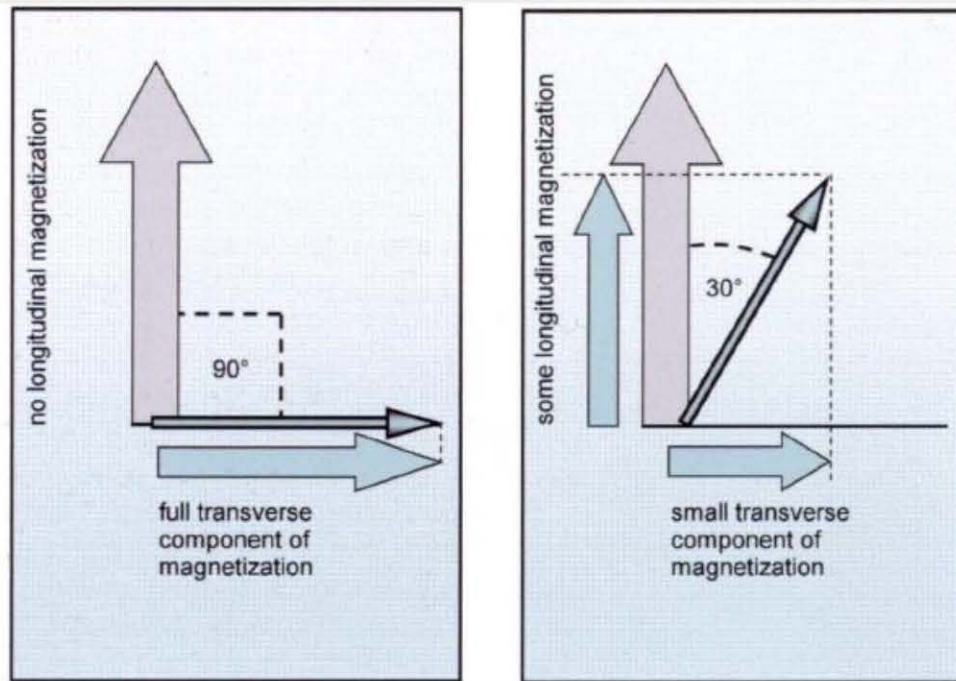


پالس سکانس گرادیان-اکو

یک پالس سکانس گرادیان اکو از پالس تحریک RF استفاده می کند که متغیر است و در نتیجه بردار NMV (بردار مغناطش کلی) را در هر زاویه دلخواهی می چرخاند (نه تنها زاویه 90°). المان عرضی مغناطش ایجاد می شود که بزرگی آن از معادلش در اسپین اکو که کل مغناطش طولی به صفحه عرضی منتقل می شود کمتر است. هنگامی که زاویه چرخش (flip angle) ای غیر از 90° استفاده شود، تنها بخشی از مغناطش طولی به مغناطش عرضی تبدیل می شود، که در صفحه عرضی حرکت تقدیمی انجام می دهد و در کویل دریافت کننده، سیگنال تولید می کند (شکل ۲-۲۷).



شکل ۲-۲۷- چگونگی تاثیر زاویه چرخش بر اندازه سیگنال

پس از برداشته شدن پالس RF، سیگنال FID بلافاصله به علت ناهمگنی های میدان مغناطیسی ایجاد می شود و در نتیجه، غیرهمفاز شدن $T2^*$ رخ می دهد. ممان های مغناطیسی درون جزء عرضی مغناطش دفازه (غیرهمفاز) می شوند و سپس توسط یک گرادیان دوباره همفاز می شوند. یک گرادیان باعث ایجاد تغییر در قدرت میدان مغناطیسی درون مگنت می شود. گرادیان باعث دوباره همفاز شدن ممان های مغناطیسی می شود و در نتیجه، سیگنالی که دارای اطلاعات $T1$ و $T2$ است، توسط کوئل دریافت می شود. به این سیگنال "گرادیان-اکو" گفته می شود.

گرادیان ها

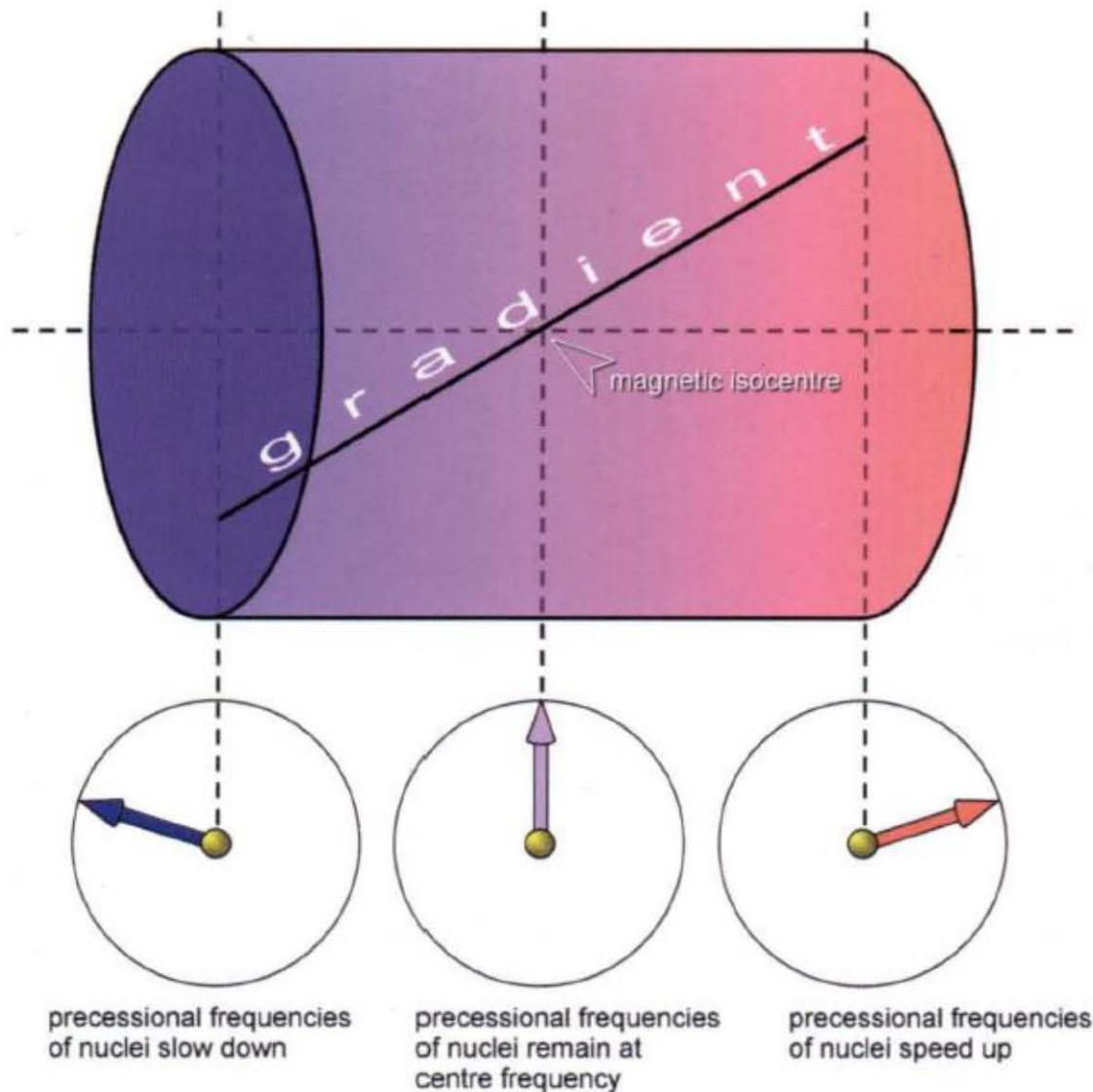
گرادیان ها کارهای متعددی انجام می دهند که در فصل ۳ توضیح داده می شود. گرادیان های میدان مغناطیسی توسط کویل های سیم پیچی شده درون مگنت ایجاد می شوند. قوانین القای الکترومغناطیسی بیان می کنند که هنگامی که بار الکتریکی از درون کویل گرادیان عبور می کند، یک میدان مغناطیسی (یا میدان گرادیان) حول آن ایجاد می شود. این میدان گرادیان با میدان مغناطیسی استاتیک اصلی اندرکنش دارد و در نتیجه، شدت میدان مغناطیسی در طول محور کویل گرادیان بصورت خطی تغییر می کند. میانه محور گرادیان ها در شدت میدان مغناطیسی اصلی باقی می ماند. به این "magnetic isocenter" گفته می شود.

شدت میدان مغناطیسی نسبت به ایزوسنتر در یک جهت محور گرادیان افزایش پیدا می کند چون میدان مغناطیسی ایجاد شده توسط گرادیان به میدان مغناطیسی اصلی اضافه می شود (با رنگ قرمز در شکل ۲-۲۸). از سوی دیگر، این میدان نسبت به ایزوسنتر در جهت دیگر محور گرادیان کاهش می یابد چون میدان مغناطیسی ایجاد شده توسط گرادیان از میدان مغناطیسی اصلی تفاضل پیدا می کند (با رنگ آبی در شکل ۲-۲۸). اینکه یک گرادیان به میدان مغناطیسی اصلی اضافه شود یا از

آن کم شود، بستگی به جهت جریان عبور کننده از درون کویل های گرادیان است. به این مساله، پلاریته یا قطبیت گرادیان گفته می شود.

هنگامی که یک گرادیان روشن می شود، شدت میدان مغناطیسی در طول محور آن شیبدار می شود. معادله لارمور بیان می کند که فرکانس حرکت تقدیمی ممان های مغناطیسی بسته به شدت میدان مغناطیسی که در نقاط مختلف در طول گرادیان تجربه می کنند افزایش یا کاهش می یابد (شکل ۲-۲۸).

فرکانس حرکت تقدیمی با افزایش میدان مغناطیسی افزایش می یابد و با کاهش آن نیز کاهش می یابد. ممان های مغناطیسی که شدت میدان بیشتری را به علت گرادیان تجربه می کنند، سرعت بالتری دارند یعنی فرکانس حرکت تقدیمی آن ها افزایش می یابد. ممان های مغناطیسی که شدت میدان کمتری را تجربه می کنند، کاهش سرعت می دهند یعنی فرکانس حرکت تقدیمی آنها کاهش می یابد. از آنجایی که گرادیان ها باعث می شوند سرعت هسته ها بالا یا پایین رود، می توان از آن ها برای غیرهمفاز یا دوباره همفاز کردن ممان های مغناطیسی آن ها استفاده کرد.



شکل ۲-۲۸- گرادیانها

گرادیان ها چگونه غیرهمفاز می شوند. به شکل ۲-۲۹ توجه کنید. بدون اعمال گرادیان،

همه اسپین ها در فرکانس مشابهی حرکت تقدیمی دارند زیرا همگی شدت میدان یکسانی را تجربه

می کنند (در واقع اینطور نیست چون ناهمگنی میدان مغناطیسی چنین اجازه ای نمی دهد ولی این

تغییرات نسبت به تغییرات ایجاد شده توسط گرادیان ها کوچک هستند). یک گرادیان به مغناطش

همگرا (همفاز) اعمال می شود (همه ممان های مغناطیسی در زمان مشخص در یک مکان یکسان

قرار دارند). گرادیان، شدت میدان مغناطیسی تجربه شده توسط مغناطش همگرا، را تغییر می دهد.

بسته به مکان آن ها روی محور گرادیانی، برخی از ممان های مغناطیسی سرعت بالاتر و برخی

سرعت پایین تری پیدا می کنند. در نتیجه، ممان های مغناطیسی غیرهمفاز می شوند زیرا فرکانس

آن ها توسط گرادیان تغییر یافته است.

لبه عقبی بادزن (یا پنکه) که با رنگ آبی نشان داده شده است متشکل از هسته هایی است که

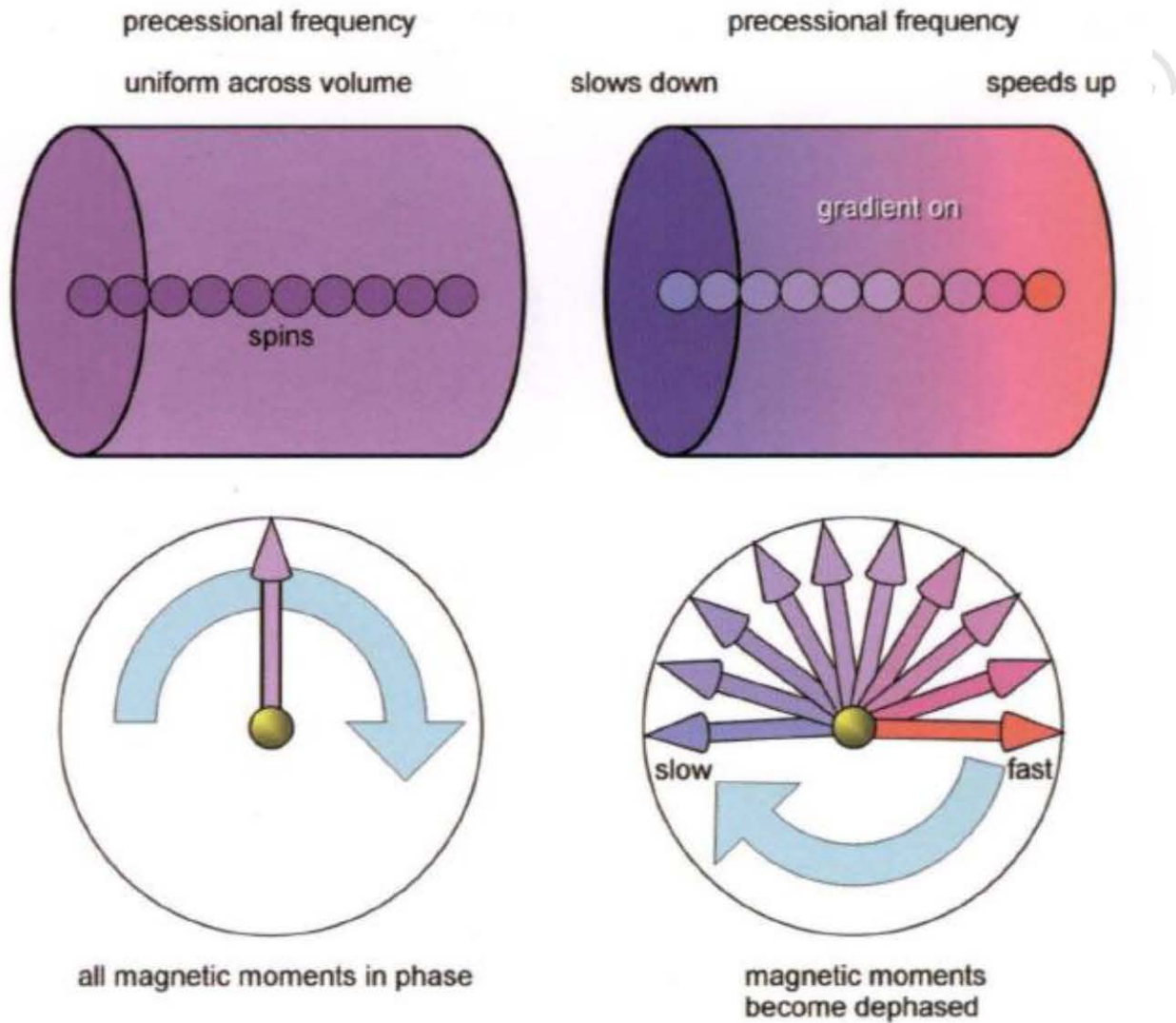
سرعتشان کاهش یافته است زیرا بر روی محور گرادیانی که شدت میدان مغناطیسی کمتری نسبت

به ایزوسنتر دارند، قرار گرفته است. لبه پیشرونده (با رنگ قرمز) متشکل از هسته هایی است که

سرعت بیشتری دارند زیرا بر روی محور گرادیانی که شدت میدان مغناطیسی بیشتری نسبت به

ایزوستر دارد، قرار گرفته اند. در نتیجه، ممان های مغناطیسی هسته ها در یک زمان مشخص در یک مکان قرار ندارند و در نتیجه، مغناطش توسط گرادیان غیرهمفاز شده است. گرادیان هایی که غیرهمفاز می شوند را "spoiler" می نامند.

Quantitative Medical Imaging Systems Group (QMISG)



شکل ۲-۲۹- چگونگی غیرهمفاز شدن گرادیان ها

گرادیان ها چگونه دوباره همفاز می شوند. به شکل ۲-۳۰ توجه فرمایید. یک گرادیان به

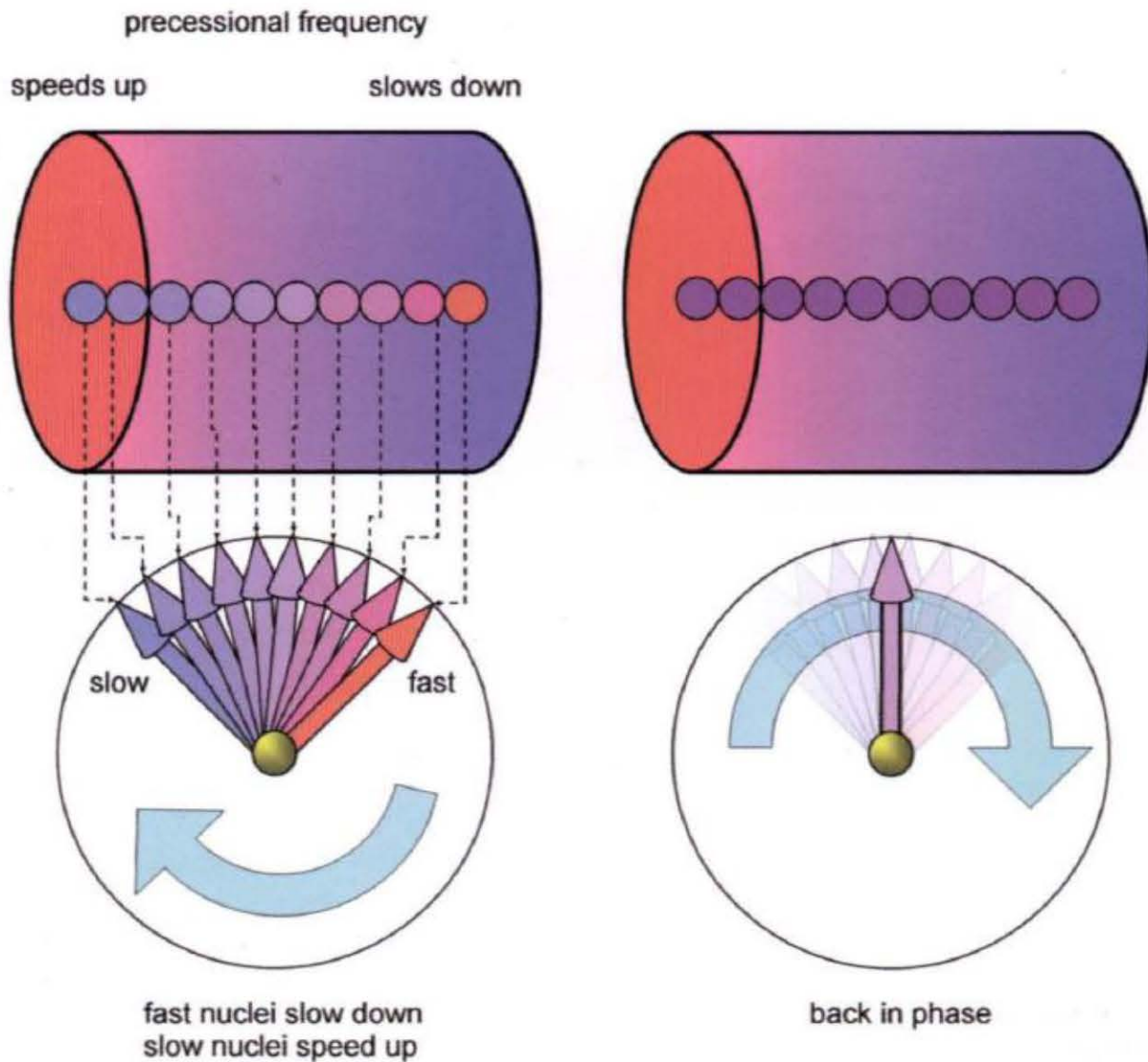
مغناطش همگرا (غیرهمفاز) اعمال می شود. ممان های مغناطیسی بعلاوه غیرهمفاز شدن $T2^*$ از هم دور می شوند و این پنکه یا بادبزنی دارای یک لبه عقبی شامل هسته های آهسته (به رنگ آبی) و یک لبه پیشرونده شامل هسته های سریع (به رنگ قرمز) می باشد. سپس یک گرادیان اعمال می شود و شدت میدان مغناطیسی بصورت خطی در طول محور گرادیان تغییر می کند. جهت این شدت میدان تغییر یافته به گونه ای است که هسته های آهسته در لبه عقبی پنکه شدت میدان مغناطیسی بالاتری را تجربه می کنند و سرعت آن ها بالا می رود.

در شکل ۲-۳۰، اسپین های آبی رنگ بخش قرمز رنگ گرادیان که دارای شدت بیشتری است را تجربه می کنند. هسته های سریعتر در لبه پیشرونده شدت میدان کمتری را تجربه می کنند و سرعتشان کاهش می یابد. در شکل ۲-۳۰، اسپین های قرمز رنگ در معرض بخش آبی رنگ گرادیان قرار گرفته اند. پس از گذشت مدت زمان کوتاهی، هسته های آهسته به اندازه کافی سرعت گرفته اند که به هسته های سریع که هم اکنون کند شده اند، برسند. هنگامی که این دو دسته به هم می رسند، همه ممان های مغناطیسی در یک زمان در یک مکان قرار گرفته اند و توسط گرادیان

دوباره همفاز می شوند. در نتیجه، سیگنال بیشینه ای در کویل دریافت ایجاد می شود که به این

سیگنال "گرادیان-اکو" گفته می شود. به گرادیان هایی که غیرهمفاز می شوند "rewinder"

اطلاق می شود.



شکل ۲-۳۰- چگونگی دوباره همفاز شدن گرادیان ها

مزایای پالس سکانس های گرادیان اکو

از آنجایی که گرادیان ها سریعتر از پالس های 180° دوباره همفاز می شوند، کمترین TE ممکن بسیار کوتاهتر از پالس سکانس های اسپین-اکو می باشد و در نتیجه، TR را نیز می توان کاهش داد. همچنین، می توان TR را بعلاوه استفاده از زاویه چرخش غیر از 90° کاهش داد. با زوایای چرخش کم، آسایش کامل مغناطش طولی سریعتر از زوایای چرخش بزرگتر رخ می دهد. در نتیجه، می توان TR را بدون ایجاد اشباع کوتاه کرد. پارامتر TR نقش مهمی در زمان اسکن دارد و در نتیجه با کاهش TR، زمان اسکن نیز کاهش می یابد. به همین علت، پالس سکانس های گرادیان-اکو زمان های اسکن کوتاه تری نسبت به پالس سکانس های اسپین-اکو دارند.

معایب پالس سکانس های گرادیان-اکو

مهمترین عیب این پالس سکانس این است که نمی توان ناهمگنی های میدان مغناطیسی را جبران کرد. پس، پالس سکانس های گرادیان-اکو بسیار به ناهمگنی میدان مغناطیسی حساس هستند و به همین علت، این پالس سکانس ها آرتیفکت susceptibility مغناطیسی دارند. چون اثرات $T2^*$

حذف نمی شود، در تصویربرداری گرادیان-اکو، وزندهی T2 به نام وزندهی T2* و میرایی T2 به نام میرایی T2* اطلاق می شوند.

پارامترهای زمان بندی در گرادیان-اکو

همانند پالس سکانس اسپین-اکو، TR مدت زمان بین هر پالس تحریک RF است؛ در حالیکه TE مدت زمان از پالس تحریک تا پیک گرادیان-اکو است. با اینکه زاویه چرخش (flip angle) پارامتر زمان بندی نیست، در پالس سکانس های گرادیان-اکو زاویه چرخش پارامتر غیرذاتی کنتراست است و برای تغییر در کنتراست تصویر می توان آن را تغییر داد. مقدار زاویه چرخش در ترکیب با TR تعیین می کند که آیا اثرات T1 ماکزیمم شده اند یا مینیمم.